

平成 26 年度～平成 30 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業
研究成果報告書

赤外線高分散分光天文学研究拠点 Infrared Spectroscopy Laboratory の形成



令和元年 5 月

学校法人名 京都産業大学

大 学 名 京都産業大学

研究組織名 神山天文台

研究代表者 河北 秀世

(京都産業大学・理学部・教授)

平成 26 年度～平成 30 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業
研究成果報告書

「赤外線高分散分光天文学研究拠点 Infrared Spectroscopy Laboratory の形成」

令和元年 5 月

学校法人名 京都産業大学

大 学 名 京都産業大学

研究組織名 神山天文台

研究代表者 河北 秀世

(京都産業大学・理学部・教授)

〔目次〕

- ◇成果報告書をまとめるにあたって・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

- ◇研究成果報告書概要（様式2）・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3

- ◇研究成果の詳細・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 39

- ◇神山天文台の普及教育活動・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 166

成果報告書をまとめるにあたって

京都産業大学神山天文台
神山天文台長 河北秀世

本報告書は、平成26年度から30年度までの5年間、文部科学省・私立大学戦略的研究基盤形成支援事業に採択された研究課題「赤外線高分散分光天文学研究拠点 **Infrared Spectroscopy Laboratory** の形成」に関する研究プロジェクトについてまとめたものです。本研究プロジェクトは「赤外線高分散ラボ」というプロジェクト名を冠し、神山天文台のプロジェクトとして遂行いたしました。当該プロジェクトは、神山天文台の연구원だけでなく、本学理学部および本学大学院理学研究科の学生諸子、そして多くの客員연구원（他大学等研究機関および企業の研究者のみならず）のお力を集結したからこそ、多くの成果をあげることが出来ました。神山天文台は、学祖・荒木俊馬博士の建学の理念に従い、大学（スタッフ、学生）と社会（市民、企業）とを結びつけ、イノベーションにつなげる場として、研究、教育、社会貢献という3つの活動を柱として運営を行ってまいりました。「赤外線高分散ラボ」は、そうした研究活動の一貫として、他大学・企業で活躍する国内一級の研究者に客員연구원としてご参加いただいております。本学の学生にとっても世界の第一線で活躍する研究者・企業人のみなさんと活動を共にすることが大きなメリットになったと確信しております。

「赤外線高分散ラボ」の大きな成果のひとつは、現在、チリ共和国ラシヤ天文台の口径3.6m NTT望遠鏡に設置している近赤外線高分散分光器 **WINERED** です。この **WINERED** そのものが神山天文台で観測装置に詳しい客員연구원の方々が中心となって学生を含めたグループで開発したものであり、世界随一の効率・性能を誇っています。平成28年度までは、この観測装置を本学神山天文台の口径1.3m 荒木望遠鏡に取り付けて、様々な成果を挙げてまいりました。平成29年度からはラシヤ天文台の口径3.6m NTT望遠鏡に取り付けて更に詳しい観測を行ない、成果を挙げつつあります。しかも、令和元年からはチリ共和国ラスカンパナス天文台の口径6.5m マゼラン望遠鏡で観測を実施する予定です。世界で最も詳しい観測が可能になる予定であり、更に多くの成果が得られると期待できます。その他、**WINERED** が波長1 μ m帯を中心とした高分散

分光器であるのに対し、更に波長の長い $2-5 \mu\text{m}$ 帯を観測対象とする VINROUGE の開発も行ってきました。特に、赤外線高分散分光器を実現するために必要なイメージング回折格子の開発に成功しており、超熱膨張セラミックを使ったアサーマル光学系の実現に向けても基礎開発研究を行ってまいりました。今後も、神山天文台は「むすびわざ」という本学の理念を具現化する場として、「赤外線高分散ラボ」の活動を継続してゆく予定です。

以上

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

**平成 26 年度～平成 30 年度「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」
研究成果報告書概要**

- 1 学校法人名 京都産業大学 2 大学名 京都産業大学
- 3 研究組織名 京都産業大学 神山天文台
- 4 プロジェクト所在地 京都市北区上賀茂本山
- 5 研究プロジェクト名 赤外線高分散分光天文学研究拠点 Infrared Spectroscopy Laboratory の形成
- 6 研究観点 研究拠点を形成する研究
- 7 研究代表者
- | 研究代表者名 | 所属部局名 | 職名 |
|--------|-------|--------|
| 河北 秀世 | 神山天文台 | 神山天文台長 |
- 8 プロジェクト参加研究者数 16 名
- 9 該当審査区分 理工・情報 生物・医歯 人文・社会

10 研究プロジェクトに参加する主な研究者

研究者名	所属・職名	プロジェクトでの研究課題	プロジェクトでの役割
河北 秀世	神山天文台・台長	太陽系始原物質における同位体比	太陽系天文学研究の推進、装置開発
鈴木 信三	理学部宇宙物理・気象学科・教授	DIB(拡散状星間吸収バンド)の起源解明	宇宙化学、分子分光学研究の推進
高木 征弘	理学部宇宙物理・気象学科・教授	惑星大気の化学動力学	惑星大気物理学研究の推進
佐川 英夫	理学部宇宙物理・気象学科・准教授	惑星大気の化学分析	惑星大気物理学研究の推進
近藤 荘平	神山天文台・研究員	大質量星における化学進化過程の解明	恒星物理学研究の推進、装置開発
新井 彰	神山天文台・研究員	古典新星の放出物の幾何および組成解析	新星爆発にかかる観測研究の推進
猿楽 祐樹	神山天文台・研究員	赤外線用分散素子材料の光学測定	赤外線分光器の高分散分光素子開発
鮫島 寛明	神山天文台・研究員	AGN の共進化、恒星大気組成解析	恒星組成解析、地球大気吸収線除去手法開発
濱野 哲史	神山天文台・研究員	星間物質の化学進化	DIB、C ₂ 、CN ほか星間分子の組成・温度・密度分析

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

福江 慧	神山天文台・ 研究員	セファイド型変光星の恒星大気 分析	恒星物理学研究の推進、 装置開発
新中 善晴	神山天文台・ 研究員	太陽系始原天体の同位体比ほ か形成過程・起源物質解明	彗星組成解析、小惑星表 面分析ほか
(共同研究機関等) 小林尚人	東京大学大学 院・准教授	クエーサー吸収線系を用いた宇 宙化学進化史解明および次世 代高分散分光素子の開発	宇宙進化史の解明、高分 散分光器開発統括
松永典之	東京大学大学 院・助教	セファイド型変光星による化学 動力学	銀河天文学の推進と解析 パイプライン開発
安井千香子	国立天文台・ 助教	原始惑星系円盤の化学動力学	星間星周天文学の推進と パイプライン開発
泉奈都子	国立天文台・ 特任研究員	次世代赤外線高分散分光器の 開発	赤外線分光器の機械光学 系開発
池田優二	Photocoding・ 代表	晩期型星外層の物理解明、次 世代高分散分光素子の開発	恒星天文学の推進、高分 散分光素子製作に関する 基礎技術開発

<研究者の変更状況(研究代表者を含む)>

追加

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
	神山天文台・研究員	新井 彰	時間変動天体の観測的研 究、高分散分光器開発

(変更の時期:平成 26 年 11 月 1 日)

追加

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
	神山天文台・研究員	濱野 哲史	星間空間における赤外線 DIB の観測的研究

(変更の時期:平成 27 年 4 月 1 日)

追加

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
	神山天文台・研究員	鮫島 寛明	地球大気吸収の高精度補 正方式の確立

(変更の時期:平成 27 年 4 月 1 日)

追加

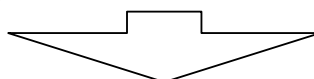
変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
	神山天文台・研究員	新崎 貴之	分光器の光学設計検討

(変更の時期:平成 27 年 4 月 1 日)

旧

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
大質量星における化学進 化過程の解明	神山天文台・専門 員	近藤 荘平	恒星物理学研究の推進、 装置開発

(変更の時期:平成 27 年 4 月 1 日)



法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

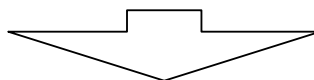
新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
神山天文台・専門員	神山天文台・研究員	近藤 莊平	恒星物理学研究の推進、装置開発

旧

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
赤外線用分散素子材料の光学測定	宇宙航空研究開発機構・研究員	猿楽 祐樹	赤外線分光器の高分散分光素子開発

(変更の時期:平成 27 年4月1日)



新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
宇宙航空研究開発機構・研究員	東京大学大学院・特任研究員	猿楽 祐樹	赤外線分光器の高分散分光素子開発

削除

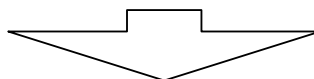
プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
次世代赤外線高分散分光器の開発	東京大学大学院・特任研究員	三戸 洋之	赤外線分光器の機械光学系開発

(変更の時期:平成 28 年3月 31 日)

旧

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
可視・近赤外線補償光学装置の開発	神山天文台・専門員	藤代 尚文	高分散化の為の補償光学装置実現

(変更の時期:平成 28 年4月1日)



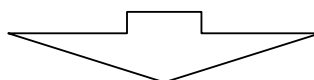
新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
神山天文台・専門員	神山天文台・研究員	藤代 尚文	高分散化の為の補償光学装置実現

旧

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
原始惑星系円盤の化学動力学	東京大学大学院・特任研究員	安井 千香子	星間星周天文学の推進とパイプライン開発

(変更の時期:平成 28 年4月1日)



新

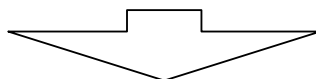
変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
東京大学大学院・特任研究員	国立天文台・助教	安井 千香子	星間星周天文学の推進とパイプライン開発

旧

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
惑星大気の化学動力学	理学部物理科学 科・准教授	高木 征弘	惑星大気物理学研究の推 進

(変更の時期:平成 28 年4月1日)



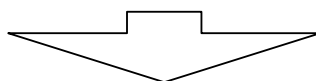
新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
理学部物理科学科・ 准教授	理学部宇宙物理・気象学科・ 准教授	高木 征弘	惑星大気物理学研究の推 進

旧

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
惑星大気の化学分析	理学部物理科学 科・准教授	佐川 英夫	惑星大気物理学研究の推 進

(変更の時期:平成 28 年4月1日)



新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
理学部物理科学科・ 准教授	理学部宇宙物理・気象学科・ 准教授	佐川 英夫	惑星大気物理学研究の推 進

追加

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
	神山天文台・研究員	福江 慧	LDR 法による恒星大気物 理状態の解明

(変更の時期:平成 28 年5月1日)

追加

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
	国立天文台 チリ観測所・研 究員	泉 奈都子	次世代赤外線高分散分光 器の開発

(変更の時期:平成 28 年7月1日)

削除

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
次世代・赤外線高分散分 光器の開発	神山天文台・研究 員	新崎 貴之	分光器の光学設計検討

(変更の時期:平成 29 年2月 28 日)

削除

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
可視・近赤外線補償光学 装置の開発	神山天文台・研究 員	藤代 尚文	高分散化の為の補償光学 装置実現

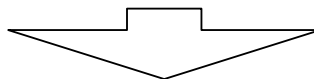
(変更の時期:平成 29 年4月1日)

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

旧

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
赤外線用分散素子材料の光学測定	東京大学大学院・特任研究員	猿楽 祐樹	赤外線分光器の高分散分光素子開発

(変更の時期:平成 29 年8月1日)



新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
宇宙航空研究開発機構・研究員	神山天文台・研究員	猿楽 祐樹	赤外線分光器の高分散分光素子開発

追加

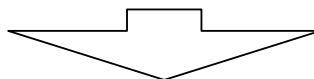
変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
	神山天文台・研究員	新中 善晴	彗星組成解析、小惑星表面分析ほか

(変更の時期:平成 30 年4月1日)

旧

プロジェクトでの研究課題	所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
惑星大気の化学動力学	理学部宇宙物理・気象学科・准教授	高木 征弘	惑星大気物理学研究の推進

(変更の時期:平成 30 年4月1日)



新

変更前の所属・職名	変更(就任)後の所属・職名	研究者氏名	プロジェクトでの役割
理学部物理科学科・准教授	理学部宇宙物理・気象学科・教授	高木 征弘	惑星大気物理学研究の推進

11 研究の概要(※ 項目全体を10枚以内で作成)

(1) 研究プロジェクトの目的・意義及び計画の概要

天文学者である荒木俊馬を学祖とする京都産業大学では、装置開発を基盤とした研究教育拠点として国内私立大学として最大口径の望遠鏡を有する神山天文台を平成 22 年度に設置し、これを研究・教育の要として位置付け、世界最高水準の機器開発を中心に研究を推進してきた。特に、これまで未開拓であった波長 $1\mu\text{m}$ 帯域における天体分光学の分野では、世界最高水準の性能を誇る近赤外線高分散分光器の開発を行い、これを活用した観測天文学的成果を上げている。神山天文台は装置開発／観測研究の両面から、近赤外線波長域における高分散分光学研究において国内で重要な位置を占めつつある。本研究では、「近赤外線高分散分光器の高分散化およびこれを活用した天体の精密化学分析・動力的研究」を中核とし、赤外線高分散分光天文学およびその関連装置／基礎技術開発のための国内拠点を形成する。

神山天文台の過去の研究活動の中では、「独自の観測装置を開発し、これを用いて世界最高水準の研究を推進する」という戦略が成功しており、開発／研究活動と学生教育を一体化したスタイルによって、人材の育成にも取り組んでいる。平成 25 年度より、波長 $1\mu\text{m}$ 帯で世界最高性能を誇る近赤外線高分散分光器を用いた開発／研究にリソースを集中投資し、観

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

測研究ならびに装置開発を推進してきた。このような研究業績を背景に、今後、近赤外線波長域におけるイメージング回折格子や高ブレイズ角回折格子など赤外線高分散分光天文学の発展に不可欠となる基礎技術の開発を含め、赤外線高分散分光器の開発拠点およびこれを用いた研究拠点として神山天文台を更に発展させることで、京都産業大学の独自性を打ち出すとともに、国内における関連研究の発展を支援することができる。特に波長 $1\mu\text{m}$ 付近での高分散化は、各種回折格子など分光器に必要な分散素子の開発のみならず、可視～近赤外線波長域における補償光学技術の開発などとも密接に関連しており、未だ十分には開拓されていない困難かつ重要な研究・開発課題であると言える。赤外線波長域での高分散化は、宇宙における各種元素組成比、同位体比などの決定に重要な役割を果たし、かつ、天の川銀河の中心方向のようなダストによる減光が大きな領域であっても透過性が高いという観点から、また、遠方の形外銀河などについては、遠く過去の情報を得ることができるという観点からも、研究上の重要性が極めて高い課題であると言える。本研究プロジェクトの学術的な特色は、赤外線波長域の高分散化基盤技術を開発し、これを応用した独自の天体観測装置を用いて、各種天体の化学／動力学を手がかりとして宇宙の化学進化史を明らかにするという点にある。更に、この研究プロジェクトを推進することで、国内に赤外線高分散分光天文学の研究拠点を形成し、各研究機関における関連装置の開発を業務委託等の形で支援できる体制が整う。

研究プロジェクトでは①観測天文学的研究と②関連する装置および基礎技術開発を、歩調を合わせて推進する。いずれも京都産業大学神山天文台において実施する研究・教育の要であり、既に、ある程度の設備が整っていることがメリットである。国内では、観測装置関連技術の高度化に伴い、赤外線天文学における高分散分光学の発展が遅れている。赤外線高分散分光天文学の推進のためには関連する観測装置・基礎技術の開発が必要であり、また技術開発が天文学的研究テーマと乖離しないためにも、観測天文学的研究と一体となった推進体制が必要である。天文学の発展において分光学が果たして来た役割は非常に大きい。特に、赤外線波長域では原子だけでなく多種多様な分子の遷移が観測されることが特徴である。分子の形では各種同位体元素の存在比が観測しやすくなる等の利点の他、銀河系中心方向など星間塵のシビアな減光に隠されている領域についても観測が可能となるメリットがある。観測される分子の多様性という点からは、電波領域では観測できないような対称性の高い分子でも、近赤外線領域の振動または電子遷移によって観測が可能となる。このように利点の多い波長域ではあるものの、効率の良い天体用高分散分光器の発展が可視光線波長域に比べて遅れたため、未だに高分散分光学的視点からの研究が十分には進んでいない波長域でもある。赤外線高分散分光天文学のメリットは、まさにここにある。

(2) 研究組織

本研究では、京都産業大学神山天文台が中心となって研究を実施している。神山天文台には台長の河北をはじめ、研究員として赤外線波長域での高分散分光学的研究および関連装置開発を主たる研究テーマとするスタッフが揃っている。また、神山天文台は平成 25 年度に東京大学大学院と近赤外線高分散分光器の開発等を目的として研究協定を結び、両組織の研究者が神山天文台における装置開発および当該施設を活用した観測研究を推進してきた。更に、客員研究員として国内装置開発の有力者を招いて研究を実施しており、国内における高分散赤外線天文学の研究者が一堂に会するといった様相を呈している。以上の陣容に加え、神山天文台と教育面で連携を図っている京都産業大学理学部物理科学科から分子分光学に造詣の深いスタッフを迎えており、実験室分光学分野を強化した。また、本研究では若手研究者中心に更にスタッフを採用し、国内における当該分野の将来に向けた強化を図っており、平成28年度にはPD研究員7名が研究プロジェクトに参加している。また、PD研究員に加えてリサーチアシスタント(RA)の雇用も行い、当該分野の将来を担う博士課程在籍者の育成にも取り組んできた。毎年1-2名のRAを雇用している。

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

研究代表者は、神山天文台長として当該研究組織の全体を統括する一方で研究プロジェクトの中で太陽系天文学の分野を担当し、観測研究を推進してきた。また、総勢16名になる研究者の分担や責任体制については、毎週ミーティングを実施し、各担当の報告および今後についての議論を継続し、担当者の責任を明確にする体制をとっている。前述のように RA として2名程度を雇用する一方、修士課程在籍の大学院生および学部学生が定常的に5-10名程度、研究プロジェクトに参加しており、その教育的効果も含め、研究の活性化に繋がっている。研究支援体制については、神山天文台が属する本学・研究機構事務職員による各種物品調達、予算執行、アウトリーチ活動などの業務についての支援体制をとっており、研究者と事務職員との連携によって、きわめて効率的かつ速やかな研究遂行を可能としている。共同研究機関である東京大学大学院とはスタッフの綿密な連携を実現しており、共同研究基幹の研究スタッフが前述の定例ミーティングにも参加している。

(3) 研究施設・設備等

研究施設としては神山天文台(平成21年度完成、1,889m²)および万有館B209 実験室ならびに B204 実験室(平成25年度完成、合計 168m²)を利用している。それぞれ、平均30名および10名程度の研究者が利用している。これらは既に本研究プロジェクト開始前に整備ができており、プロジェクト開始当初から利用を続けている。

主な研究装置・設備については、本研究プロジェクト開始前に整備が済んでいるもの以外では以下のとおりとなっている。

- ・赤外線検出器(Eng.級)【平成27年度】、利用時間:6000時間
- ・イメージン回折格子(波長1 μm 、装置搭載用)【平成27年度】、利用時間:7000時間
- ・赤外線検出器(Sci.級)【平成28年度】、利用時間:2000時間
- ・イメージン回折格子(MIR、装置搭載用)【平成28年度】、利用時間:3000時間
- ・中間赤外線用エシェルメーター【平成28年度】、利用時間2000時間

(4) 研究成果の概要 ※下記、13及び14に対応する成果には下線及び*を付すこと。

本研究の成果は、大きく3つに分けられる。①近赤外線高分散分光天文学の観測的成果、②近赤外線高分散分光天文装置の開発、③赤外線高分散分光測定技術における基盤技術の開発、である。その他、④太陽系始原天体の観測的研究についての成果が顕著であった。

<優れた成果が上がった点>

本研究プロジェクトにおける優れた成果が上がった点は、神山天文台の口径 1.3m 荒木望遠鏡に設置されていた近赤外線高分散分光器 WINERED を、チリ共和国 ランヤ天文台の口径 3.6m NTT 望遠鏡に移設し、天文学的にも興味のある天体が多い南天において、より大きな口径の望遠鏡を用いて観測研究を推進することができた点であろう。また、研究プロジェクトの最終年度には、更に大口径の口径 6.5m マゼラン望遠鏡(ラスカンパナス天文台、チリ共和国)に WINERED を移設することが確定している。口径 1.3m 荒木望遠鏡および口径 3.6m NTT 望遠鏡に装着した WINERED による観測成果は、中小口径の望遠鏡ではあるものの世界トップレベルの成果を挙げることに成功している。特に口径 3.6m NTT 望遠鏡に WINERED を装着した際のキューサー吸収線系の観測成果は、口径 8.2m すばる望遠鏡および同望遠鏡に現時点で装着されている近赤外線高分散分光器を用いて行った同一天体の観測データ S/N 比を凌駕しており、実質的に 1 μm 波長域において世界でもっとも遠方の天体に手が届くといえる。口径 6.5m マゼラン望遠鏡と WINERED の組み合わせは、その限界を更に推し進め、現時点でもっとも遠方の宇宙に手が届くということを意味している。

以下、各テーマにおける成果を列挙した。

①近赤外線高分散分光天文学の観測的成果

- ・DIB(ぼやけた星間吸収線)に関する観測的研究[* 10, 21, 30]

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

近赤外線波長域におけるDIBを多数、発見した。従来、DIBの研究は可視光線波長域において行われており、陽イオンや比較的大きな分子のラインが現れると予想されている近赤外線波長域でのDIB探査およびその研究は進んでいなかった。近赤外線波長域における高効率・高分散分光器 WINERED を用いることで、従来の望遠鏡・観測装置よりも効率的に多くのDIBを発見することに成功した。

・地球大気吸収線の補正手法に関する研究[* 8]

赤外線高分散分光観測において地球大気吸収線の補正は非常に重要な処理プロセスである。しかし、S/N比>500にも達する高精密スペクトルの解析においては、地球大気吸収線の補正もこれに匹敵する精度が要求される。われわれはWINEREDで得られた高S/N比スペクトルの大気吸収線補正を行うため、A型星のような恒星大気由来の吸収線の少ない天体を「大気標準星」として観測することで、装置由来の吸収線プロファイルの微妙な違いを取り入れた補正手法を確立した。

・LBVにおける質量放出現象に関する研究[* 7]

典型的なLBV(Luminous Blue Variable)であるP Cygの近赤外線分光観測によりスペクトル中に[Fe II]の輝線を検出した。この輝線の空間プロファイルからP Cygからの質量放出についてA.D.1600年の放出による成分のほか、恒星風が先の質量放出部分に衝突することで発生するリバーショックによるものであることを突き止めた。

・変光星を含む恒星の大気組成分析手法に関する研究[* 1, 11, 13, 27]

従来、比較的低温度の恒星大気についての化学組成・有効温度等の研究は、高分散スペクトルにおいてさえ連続光成分が決定しにくいという課題があり、特に近赤外線波長域では十分に発展してこなかった。しかし、RR Lyr型、セファイド型、Mira型変光星といった不安定帯に属する低温度大気の恒星については、近赤外線波長域での観測が非常に有効である。本研究では、各種脈度変光星における有効温度や化学組成解析の新しい手法の確立を行った。

・1ミクロン波長帯における恒星ラインリスト[* 5]

近赤外線波長域は、可視光線波長域にくらべて高分散分光学的手法の適応が遅れてきたため、可視光線波長域のような恒星ラインリストの整備が遅れている。特に高分散分光スペクトルに見られる微弱な吸収線の同定などは、たとえばA型星を地球大気吸収線の補正のために利用するという従前の手法において、十分に確認されるべき問題である。本研究プロジェクトではO-B-A-F-G-K-Mというスペクトル系列の中で、順次、恒星ラインリストの出版を行っている。現在、A型星のラインリストが出版済みとなり、OB型およびFGK型についてのラインリストが準備中である。

・彗星コマ中の有機分子組成比、同位体組成比などに関する研究[* 4, 15]

太陽系の始原天体である彗星に含まれるガス成分の同定および組成比解析、同位体比に関する研究は、太陽系資源物質の起源を探る上で重要である。特にWINEREDが開拓した近赤外線波長域(0.9–1.3 μm)は、過去に十分なラインサーベイがなされておらず、同波長域に見られるCN分子の同位体比決定などにおいて重要な波長域と考えられる。本研究では彗星コマの同波長域における高分散分光スペクトルからCN分子の発光メカニズムについて太陽光励起が主な駆動原因であることを突き止めた。また、波長3 μm 帯における有機分子輝線の観測を行い、観測例が少ない木星族短周期彗星について多くの有機分子組成比を明らかにした。

②近赤外線高分散分光天文装置の開発

・WINEREDの開発に関する研究[* 24, 25, 28]

WINEREDは波長帯0.9–1.3 μm においてきわめて高い効率を有する高分散分光器である。観測モードとして、前述の波長域を一度にカバーするWIDEモード(波長分解能R=28,000)と高波長分解能モード(R=70,000)を安定して実現できる。そのためには多くの開発要素がある

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

が、カメラ部分以外は非冷却で実現するというコンセプトにより、高いメンテナンス性を実現した。また、そうした特長が功を奏し、比較的柔軟な開発スケジュールのもとで様々な開発を行ってきた。特に高波長分解能モードの実現には高ブレイズ角エシェル格子を2つモザイクにして使用しており、そのための高精度な位置決めメカニズムを開発している。

・次世代近赤外線高分散分光器の開発に関する研究[* 22]

波長 2.5-5 μ m 帯の赤外線高分散分光器 VINROUGE の開発を行った。分散素子としてイメージジョン回折格子を用いており、きわめてコンパクト(60cm×60cm×60cm)に高い波長分解能(R=80,000)を実現できる設計を実現した。Ge 製イメージジョン回折格子を用いているため、通常のエシェル回折格子を用いた場合に比べてサイズが $1/n^3$ に縮小できる(n は屈折率であり Ge の場合は約4)。本研究は、将来的な地上の超大型望遠鏡用の赤外線高分散分光器あるいは宇宙望遠鏡用の赤外線高分散分光器を実現するうえで必須の基礎技術開発である。

③赤外線高分散分光測定技術における基盤技術の開発

・イメージジョン回折格子の開発研究(CZT 製/Ge 製イメージジョン回折格子開発、材料候補物質の透過率精密測定)[* 19, 20, 23, 26, 29, 31, 32]

前述②の「次世代近赤外線高分散分光器の開発に関する研究」でも述べたように、赤外線高分散分光器の開発においてイメージジョン回折格子の開発は必須の基礎技術である。とくに赤外線波長域で十分に透明であること(光路が材料中を透過する必要がある)ならびに十分な精密加工性が担保され、かつ大型の結晶材料が入手できることが必要である。これまで、Cd-Zc-Te および Ge 製のイメージジョン回折格子の開発に成功している。また、こうした材料選定において、赤外線波長域において精密な透過率測定が必須であり、独自システムの開発を行って、実際の運用温度である 30K 程度での透過率測定を目指している。

④その他、太陽系始原天体に関する観測的研究[* 2, 3, 6, 9, 12, 14, 16, 17, 18]

太陽系始原天体である彗星や小惑星の物理観測を通じて、太陽系形成過程あるいは起源物質に迫ってきた。可視光高分散分光および可視光偏光観測など、様々な観測手法を用いることで飛翔体との連携を行ない、惑星科学的見地から研究を進めた。

<課題となった点>

WINERED を国外の天文台へ移設する際には、輸出入や免税手続きに関して専門的な知識を必要とする申請を行う。これらは研究以外の事務手続きの部分になるが、通常の大学事務とは大きく異なり、当該分野の知識がなければ多くの時間と労力を費やすことになり、研究の進捗に支障をきたすことになる。手続きを迅速に進めるためには、手続きに精通したスタッフが必要になる。これらの手続き・申請をスムーズに行えるように、専門的知識をもったスタッフの雇用・派遣について、文部科学省からの支援を受けて研究の効率化を図れるように期待する。

<自己評価の実施結果と対応状況>

神山天文台での活動に関しては、神山天文台運営委員会(委員長:神山天文台長)にて審議が行われる。本研究プロジェクトについては年度ごとの実施計画を毎年、同委員会にて報告しており、同委員会の構成員(理学部、情報理工学部、生命科学部など理系学部の教員および神山天文台の研究員、事務職員)からのコメントを参考にしつつ、年度計画立案・推進している。最終的な 5 年間の成果についても、2019 年 5 月 9 日開催の報告を行い、研究の進捗

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

がおおむね妥当であると結論した。

<外部(第三者)評価の実施結果と対応状況>

京都産業大学 神山天文台は、同大学 研究機構の下に位置する研究所のひとつであり、その研究成果等については、研究機構運営委員会(委員長:学長)において報告を行っている。同委員会でのコメントを受け、適宜これらに対応する形で、神山天文台長が研究を主導してきた。

<研究期間終了後の展望>

京都産業大学 神山天文台は、本研究プロジェクトの成果を受けて日本国内外における赤外線高分散分光天文学の拠点として、多くの成果を挙げてきた。2019 年度以降も赤外線高分散分光天文学を神山天文台の研究・開発の柱として、「赤外線高分散ラボ: Laboratory of Infrared High-resolution spectroscopy」プロジェクトの活動を継続する。現在も WINERED のチリ共和国ラスカンパナス天文台・口径 6.5m マゼラン望遠鏡への移設や各種基盤技術の開発、また既にチリ共和国のラシヤ天文台・口径 3.5m NTT 望遠鏡で WINERED を用いて得られた各種高分散スペクトルの解析・論文化を継続して行っている。神山天文台における研究活動は京都産業大学にとっても理系ブランディングとして確立されたものであり、既に2019年度から3カ年の研究計画を立案して推進中である。

<研究成果の副次的効果>

本研究プロジェクトの成果の多くは、これまでに高分散分光天文学の観点で日の目を見ることが少なかった波長 0.9-1.3 μ m 帯での観測研究、および赤外線高分散分光測定の本盤技術となるべき要素の研究開発がメインとなっている。そのため、観測研究においては、今後、更に大型の地上望遠鏡や宇宙望遠鏡においてなすべき次世代のサイエンスを明確なものにするための本盤となっている。また、イマージョン回折格子やセラミックス製アサーマル光学系のように、次世代赤外線天文観測装置の本盤技術となる技術要素開発の成果は、今後の天文装置開発に大きなインパクトを与えることになる。

12 キーワード(当該研究内容をよく表していると思われるものを8項目以内で記載してください。)

- (1) 赤外線高分散分光天文学 (2) 恒星 (3) 星間物質
 (4) 太陽系 (5) イマージョン回折格子 (6) _____
 (7) _____ (8) _____

13 研究発表の状況(研究論文等公表状況。印刷中も含む。)

上記、11(4)に記載した研究成果に対応するものには*を付すこと。

<雑誌論文>

1. 論文名: FeI lines in 0.91-1.33 μ m spectra of red giants for measuring the microturbulence and metallicities、著者名: Kondo, Sohei; Fukue, Kei; Matsunaga, Noriyuki; Ikeda, Yuji; Taniguchi, Daisuke; Kobayashi, Naoto; Sameshima, Hiroaki; Hamano, Satoshi; Arai, Akira; Kawakita, Hideyo; Yasui, Chikako; Izumi, Natsuko; Mizumoto, Misaki; Otsubo, Shogo; Takenaka, Keiichi; Watase, Ayaka; Asano, Akira; Yoshikawa, Tomohiro; Tsujimoto,

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

- Takuji、掲載誌名:The Astrophysical Journal、査読の有無:有、巻:、最初と最後の頁:、
発表年:2019年(印刷中)(*1)
2. 論文名:超低熱膨張セラミックを用いた回折限界モノリシック反射光学系の開発、著者名:猿楽 祐樹,池田 優二,小林 尚人、掲載誌名:日本赤外線学会誌、査読の有無:有、巻:28、最初と最後の頁:59-64、発表年:2019年
 3. 論文名:Luminous AGB variables in the dwarf irregular galaxy, NGC 3109、著者名: Menzies, John W.; Whitelock, Patricia A.; Feast, Michael W.; Matsunaga, Noriyuki、掲載誌名:Monthly Notices of the Royal Astronomical Society、査読の有無:有、巻: Volume 483、最初と最後の頁:Issue 4, p.5150-5165、発表年:2019年
 4. 論文名:High-resolution Optical Spectropolarimetry of Nova V339 Del: Spatial Distribution of Nova Ejecta during the Early Phase of Explosion、著者名:Kawakita, H.; Shinnaka, Y.; Arai, A.; Arasaki, T.; Ikeda, Y.、掲載誌名:The Astrophysical Journal、査読の有無:有、巻:Volume 872、最初と最後の頁:Issue 2, article id. 120, 11 pp、発表年:2019年
 5. 論文名:Luminosity Function of Faint Sporadic Meteors measured with a Wide-Field CMOS mosaic camera Tomo-e PM、著者名:Ohsawa, Ryou; Sako, Shigeyuki; Sarugaku, Yuki; Usui, Fumihiko; Ootsubo, Takafumi; Fujiwara, Yasunori; Sato, Mikiya; Kasuga, Toshihiro; Arimatsu, Ko; Watanabe, Jun-ichi; Doi, Mamoru; Kobayashi, Naoto; Takahashi, Hidenori; Motohara, Kentaro; Morokuma, Tomoki; Konishi, Masahiro; Aoki, Tsutomu; Soyano, Takao; Tarusawa, Ken'ichi; Mori, Yuki; Nakada, Yoshikazu; Ichiki, Makoto; Arima, Noriaki; Kojima, Yuto; Morita, Masahiro; Shigeyama, Toshikazu; Ita, Yoshifusa; Kokubo, Mitsuru; Mitsuda, Kazuma; Maehara, Hiroyuki; Tominaga, Nozomu; Yamashita, Takuya; Ikeda, Shiro; Morii, Mikio; Urakawa, Seitaro; Okumura, Shin-ichiro; Yoshikawa, Makoto、掲載誌名:Planetary and Space Science、査読の有無:有、巻:Volume 165、最初と最後の頁:p. 281-292、発表年:2019年
 6. 論文名:The Mid-Infrared Transit Spectrometer Instrument (MISC) for the Origins Space Telescope Baseline Mission Concept、著者名:Roellig, Thomas; Sakon, Itsuki; Ennico, Kimberly; Matsuo, Taro; Yamamuro, Tomoyasu; Ikeda, Yuji、掲載誌名:American Astronomical Society、査読の有無:無、巻:AAS Meeting #233、最初と最後の頁:id.157.07、発表年:2019年
 7. 論文名:On a New Method to Estimate the Distance, Reddening, and Metallicity of RR Lyrae Stars Using Optical/Near-infrared (B, V, I, J, H, K) Mean Magnitudes: omega Centauri as a First Test Case、著者名:Bono, G.; Iannicola, G.; Braga, V. F.; Ferraro, I.; Stetson, P. B.; Magurno, D.; Matsunaga, N.; Beaton, R. L.; Buonanno, R.; Chaboyer, B.; Dall'Ora, M.; Fabrizio, M.; Fiorentino, G.; Freedman, W. L.; Gilligan, C. K.; Madore, B. F.; Marconi, M.; Marengo, M.; Marinoni, S.; Marrese, P. M.; Martinez-Vazquez, C. E.; Mateo, M.; Monelli, M.; Neeley, J. R.; Nonino, M.; Sneden, C.; Thevenin, F.; Valenti, E.; Walker, A. R.、掲載誌名:The Astrophysical Journal、査読の有無:有、巻:Volume 870、最初と最後の頁:Issue 2, article id. 115, 21 pp、発表年:2019年
 8. 論文名:Variable Stars in Terzan 5: Additional Evidence of Multi-age and Multi-iron Stellar Populations、著者名:Origlia, L.; Mucciarelli, A.; Fiorentino, G.; Ferraro, F. R.; Dalessandro, E.; Lanzoni, B.; Rich, R. M.; Massari, D.; Contreras Ramos, R.; Matsunaga, N.、掲載誌名:The Astrophysical Journal、査読の有無:有、巻:Volume 871、最初と最後の頁:Issue 1, article id. 114, 8 pp、発表年:2019年
 9. 論文名:Possibility Of Condensation Of Glycine Near The Surface Of Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko、著者名:Suzuki, Taiki; Shinnaka, Yoshiharu; Shibata,

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

- Takashi; Shibaike, Yuhito; Majumdar, Liron; Nomura, Hideko; Minamoto, Harumi、掲載誌名: The Astrophysical Journal、査読の有無: 有、巻: 、最初と最後の頁: 、発表年: 2019 年 (印刷中)
10. 論文名: Galactic rotation from Cepheids with Gaia DR2 and effects of non-axisymmetry、著者名: Kawata, Daisuke; Bovy, Jo; Matsunaga, Noriyuki; Baba, Junichi、掲載誌名: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society、査読の有無: 有、巻: Volume 482、最初と最後の頁: Issue 1, p.40-51、発表年: 2019 年
11. 論文名: First metallicity determination from near-infrared spectra for five obscured Cepheids discovered in the inner disc、著者名: Inno, L.; Urbaneja, M. A.; Matsunaga, N.; Bono, G.; Nonino, M.; Debattista, V. P.; Sormani, M. C.; Bergemann, M.; da Silva, R.; Lemasle, B.; Romaniello, M.; Rix, H.-W.、掲載誌名: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society、査読の有無: 有、巻: Volume 482、最初と最後の頁: Issue 1, p.83-97、発表年: 2019 年
12. 論文名: A kilometre-sized Kuiper belt object discovered by stellar occultation using amateur telescopes、著者名: Arimatsu, K.; Tsumura, K.; Usui, F.; Shinnaka, Y.; Ichikawa, K.; Ootsubo, T.; Kotani, T.; Wada, T.; Nagase, K.; Watanabe, J.、掲載誌名: Nature Astronomy、査読の有無: 有、巻: Advanced Online Publication、最初と最後の頁: 、発表年: 2019 年 (* 2)
13. 論文名: High polarization degree of the continuum of comet 2P/Encke based on spectropolarimetric signals during its 2017 apparition、著者名: Kwon, Y. G.; Ishiguro, M.; Shinnaka, Y.; Nakaoka, T.; Kuroda, D.; Hanayama, H.; Takahashi, J.; Baar, S.; Saito, T.; Kawabata, M.; Uemura, M.; Morokuma, T.; Murata, K. L.; Takagi, S.; Morihana, K.; Nagayama, T.; Sekiguchi, K.; Kawabata, K. S.; Akitaya, H.、掲載誌名: Astronomy & Astrophysics、査読の有無: 有、巻: Volume 620、最初と最後の頁: id.A161, 9 pp、発表年: 2018 年 (* 3)
14. 論文名: A Tale of ``Two'' Comets: The Primary Volatile Composition of Comet 2P/Encke Across Apparitions and Implications for Cometary Science、著者名: Roth, Nathan X.; Gibb, Erika L.; Bonev, Boncho P.; DiSanti, Michael A.; Dello Russo, Neil; Vervack, Ronald J., Jr.; McKay, Adam J.; Kawakita, Hideyo、掲載誌名: The Astronomical Journal、査読の有無: 有、巻: Volume 156、最初と最後の頁: Issue 6, article id. 251, 14 pp、発表年: 2018 年 (* 4)
15. 論文名: WINERED High-resolution Near-infrared Line Catalog: A-type Star、著者名: Sameshima, Hiroaki; Ikeda, Yuji; Matsunaga, Noriyuki; Fukue, Kei; Kobayashi, Naoto; Kondo, Sohei; Hamano, Satoshi; Kawakita, Hideyo; Yasui, Chikako; Izumi, Natsuko; Mizumoto, Misaki; Ootsubo, Shogo; Takenaka, Keiichi; Watase, Ayaka; Asano, Akira; Yoshikawa, Tomohiro、掲載誌名: The Astrophysical Journal Supplement Series、査読の有無: 有、巻: Volume 239、最初と最後の頁: Issue 2, article id. 19, 13 pp、発表年: 2018 年 (* 5)
16. 論文名: unVEil the darknesS of The gAlactic bulGE (VESTALE)、著者名: Bono, G.; Dall'Ora, M.; Fabrizio, M.; Crestani, J.; Braga, V. F.; Fiorentino, G.; Altavilla, G.; Botticella, M. T.; Calamida, A.; Castellani, M.; Catelan, M.; Chaboyer, B.; Chiappini, C.; Clarkson, W.; Contreras Ramos, R.; Creevey, O.; da Silva, R.; Debattista, V.; Degl'Innocenti, S.; Ferraro, I.; Gilligan, C. K.; Gonzalez, O.; Hambleton, K.; Iannicola, G.; Inno, L.; Kunder, A.; Lemasle, B.; Magrini, L.; Magurno, D.; Marconi, M.; Marengo, M.; Marinoni, S.; Marrese, P. M.; Martinez-Vazquez, C. E.; Matsunaga, N.; Monelli, M.; Prada Moroni, P. G.; Musella, I.; Navarro, M. G.; Neeley, J.; Nonino, M.; Pietrinferni, A.; Pulone, L.; Rich, M. R.; Ripepi, V.; Sacco, G.; Saha, A.; Salaris, M.; Sneden, C.; Stetson, P. B.; Street, R. A.; Szabo, R.; Tantaló, M.; Tognelli, E.; Torelli, M.; Valenti, E.; Walker, A. R.; Zoccali, M.、掲載誌名: eprint

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

- arXiv:1812.03124、査読の有無:無、巻:、最初と最後の頁:、発表年:2018年
17. 論文名: New Near-Infrared JHK_s light-curve templates for RR Lyrae variables、著者名: Braga, V. F.; Stetson, P. B.; Bono, G.; Dall’Ora, M.; Ferraro, I.; Fiorentino, G.; Iannicola, G.; Inno, L.; Marengo, M.; Neeley, J.; Beaton, R. L.; Buonanno, R.; Calamida, A.; Contreras Ramos, R.; Chaboyer, B.; Fabrizio, M.; Freedman, W. L.; Gilligan, C. K.; Johnston, K. V.; Madore, B. F.; Magurno, D.; Marconi, M.; Marinoni, S.; Marrese, P.; Mateo, M.; Matsunaga, N.; Minniti, D.; Monson, A. J.; Monelli, M.; Nonino, M.; Persson, S. E.; Pietrinferni, A.; Sneden, C.; Storm, J.; Walker, A. R.; Valenti, E.; Zoccali, M.、掲載誌名: Astronomy & Astrophysics、査読の有無:有、巻:、最初と最後の頁:、発表年:2018年(印刷中)
18. 論文名: Interstellar extinction toward the Galactic bulge、著者名: Matsunaga, Noriyuki、掲載誌名: The Galactic Bulge at the Crossroads (GBX2018), held 10–14 December, 2018 in Pucón, Chile、査読の有無:、巻:、最初と最後の頁: id.24、発表年: 2018年
19. 論文名: A near-infrared variable star survey in the Magellanic Clouds: the Small Magellanic Cloud data、著者名: Ita, Yoshifusa; Matsunaga, Noriyuki; Tanabé, Toshihiko; Nakada, Yoshikazu; Kato, Daisuke; Nagayama, Takahiro; Nagashima, Chie; Kurita, Mikio; Nakajima, Yasushi; Whitelock, Patricia A.; Menzies, John W.; Feast, Michael W.; Nagata, Tetsuya; Tamura, Motohide; Nakaya, Hidehiko、掲載誌名: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society、査読の有無:有、巻: Volume 481、最初と最後の頁: Issue 3, p.4206–4220、発表年: 2018年
20. 論文名: Physical properties of near-Earth asteroids with a low delta-v: Survey of target candidates for the Hayabusa2 mission、著者名: Hasegawa, Sunao; Kuroda, Daisuke; Kitazato, Kohei; Kasuga, Toshihiro; Sekiguchi, Tomohiko; Takato, Naruhisa; Aoki, Kentaro; Arai, Akira; Choi, Young-Jun; Fuse, Tetsuharu; Hanayama, Hidekazu; Hattori, Takashi; Hsiao, Hsiang-Yao; Kashikawa, Nobunari; Kawai, Nobuyuki; Kawakami, Kyoko; Kinoshita, Daisuke; Larson, Steve; Lin, Chi-Sheng; Miyasaka, Seidai; Miura, Naoya; Nagayama, Shogo; Nagumo, Yu; Nishihara, Setsuko; Ohba, Yohei; Ohta, Kouji; Ohyama, Youichi; Okumura, Shin-ichiro; Sarugaku, Yuki; Shimizu, Yasuhiro; Takagi, Yuhei; Takahashi, Jun; Toda, Hiroyuki; Urakawa, Seitaro; Usui, Fumihiko; Watanabe, Makoto; Weissman, Paul; Yanagisawa, Kenshi; Yang, Hongu; Yoshida, Michitoshi; Yoshikawa, Makoto; Ishiguro, Masateru; Abe, Masanao、掲載誌名: Publications of the Astronomical Society of Japan、査読の有無:有、巻: Volume 70、最初と最後の頁: Issue 6, id.114、発表年: 2018年
21. 論文名: Old-Aged Primary Distance Indicators、著者名: Beaton, Rachael L.; Bono, Giuseppe; Braga, Vittorio Francesco; Dall’Ora, Massimo; Fiorentino, Giuliana; Jang, In Sung; Martínez-Vázquez, Clara E.; Matsunaga, Noriyuki; Monelli, Matteo; Neeley, Jillian R.; Salaris, Maurizio、掲載誌名: Space Science Reviews、査読の有無:有、巻: Volume 214、最初と最後の頁: Issue 8, article id. 113, 93 pp、発表年: 2018年
22. 論文名: Mid-infrared spectroscopic observations of comet 17P/Holmes immediately after its great outburst in October 2007、著者名: Shinnaka, Yoshiharu; Ootsubo, Takafumi; Kawakita, Hideyo; Yamaguchi, Mitsuru; Honda, Mitsuhiko; Watanabe, Jun-ichi、掲載誌名: The Astronomical Journal、査読の有無:有、巻: Volume 156、最初と最後の頁: Issue 5, article id. 242, 8 pp、発表年: 2018年 (* 6)
23. 論文名: A newly identified emission-line region around P Cygni、著者名: Mizumoto, Misaki; Kobayashi, Naoto; Hamano, Satoshi; Ikeda, Yuji; Kondo, Sohei; Sameshima, Hiroaki; Matsunaga, Noriyuki; Fukue, Kei; Yasui, Chikako; Izumi, Natsuko; Kawakita, Hideyo; Nakanishi, Kenshi; Nakaoka, Tetsuya; Ootsubo, Shogo; Maehara, Hiroyuki、掲載誌名:

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

- Monthly Notices of the Royal Astronomical Society、査読の有無：有、巻：Volume 481、最初と最後の頁： Issue 1, p.793–805、発表年：2018 年（* 7）
24. 論文名：Extremely large telescopes for complex stellar populations around the Galactic centre、著者名：Matsunaga, Noriyuki、掲載誌名：Proceedings IAU Symposium、査読の有無：無、巻：No. 347、最初と最後の頁：、発表年：2018 年
25. 論文名：Probing the Evolutionary History of Comets: An Investigation of the Hypervolatiles CO and CH₄ and Parent Volatile Abundances in the Jupiter-family Comet 21P/Giacobini-Zinner、著者名：Roth, Nathan; Gibb, Erika; Dello Russo, Neil; DiSanti, Michael; Bonev, Boncho; Vervack, Ron J.; Saki, Mohammad; McKay, Adam; Kawakita, Hideyo、掲載誌名：American Astronomical Society、査読の有無：無、巻：DPS meeting #50、最初と最後の頁：id.210.11、発表年：2018 年
26. 論文名：Wide phase-polarization curve of asteroid (3200) Phaethon during December 2017、著者名：Shinnaka, Yoshiharu; Kasuga, Toshihiro; Boice, Daniel; Terai, Tsuyoshi; Furusho, Reiko; Noda, Hiroto; Namiki, Noriyuki; Watanabe, Jun-ichi、掲載誌名：American Astronomical Society、査読の有無：無、巻：DPS meeting #50、最初と最後の頁：id.312.05、発表年：2018 年
27. 論文名：Origin of Peculiar Comet 21P/Giacobini-Zinner: Volatiles and Crystalline Silicates、著者名：Kawakita, Hideyo; Ootsubo, Takafumi; Shinnaka, Yoshiharu; Dello Russo, Neil; Vervack, Ron J.; Bonev, Boncho; DiSanti, Michael; Gibb, Erika; Roth, Nathan; McKay, Adam J.; Cochran, Anita; Sarugaku, Yuki; Honda, Mitsuhiko、掲載誌名：American Astronomical Society、査読の有無：無、巻：DPS meeting #50、最初と最後の頁：id.210.10、発表年：2018 年
28. 論文名：Volatile Composition of Comet C/2015 ER61 (PanSTARRS)、著者名：Saki, Mohammad; Gibb, Erika; Bonev, Boncho; DiSanti, Michael A.; Dello Russo, Neil; Roth, Nathan; Vervack, Ron J.; Kawakita, Hideyo; Feaga, Lori、掲載誌名：American Astronomical Society、査読の有無：無、巻：DPS meeting #50、最初と最後の頁：id.210.05、発表年：2018 年
29. 論文名：A coordinated ground- and space-based observing campaign to measure CO₂ and CO emission in C/2016 R2 (PANSTARRS)、著者名：Harrington Pinto, Olga; McKay, Adam; DiSanti, Michael A.; Kelley, Michael S.; Cochran, Anita; Dello Russo, Neil; Womack, Maria; Wierzchos, Kacper; Biver, Nicolas; Bauer, James; Vervack, Ron J.; Bonev, Boncho; Gibb, Erika; Roth, Nathan; Kawakita, Hideyo、掲載誌名：American Astronomical Society、査読の有無：無、巻：DPS meeting #50、最初と最後の頁：id.204.04、発表年：2018 年
30. 論文名：The Volatile Composition of CO-Dominated Comet C/2016 R2 (PANSTARRS)、著者名：McKay, Adam; DiSanti, Michael; Kelley, Michael S.; Cochran, Anita; Dello Russo, Neil; Villanueva, Geronimo; Womack, Maria; Wierzchos, Kacper; Biver, Nicolas; Bauer, James; Harrington, Olga; Vervack, Ron J.; Bonev, Boncho; Gibb, Erika; Roth, Nathan; Kawakita, Hideyo、掲載誌名：American Astronomical Society、査読の有無：無、巻：DPS meeting #50、最初と最後の頁：id.204.02、発表年：2018 年
31. 論文名：A near infrared variable star survey in the Magellanic Clouds: The Small Magellanic Cloud data、著者名：Ita, Yoshifusa; Matsunaga, Noriyuki; Tanabé, Toshihiko; Nakada, Yoshikazu; Kato, Daisuke; Nagayama, Takahiro; Nagashima, Chie; Kurita, Mikio; Nakajima, Yasushi; Whitelock, Patricia A.; Menzies, John W.; Feast, Michael W.; Nagata, Tetsuya; Tamura, Motohide; Nakaya, Hidehiko、掲載誌名：Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Advance Access、査読の有無：、巻：、最初と最後の頁：、発表

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

年:2018 年

32. 論文名: Inversion Angle of Phase-polarization Curve of Near-Earth Asteroid (3200) Phaethon、著者名: Shinnaka, Yoshiharu; Kasuga, Toshihiro; Furusho, Reiko; Boice, Daniel C.; Terai, Tsuyoshi; Noda, Hiroto; Namiki, Noriyuki; Watanabe, Jun-ichi、掲載誌名: The Astrophysical Journal Letters、査読の有無: 有、巻: Volume 864、最初と最後の頁: L33, 8 pp、発表年: 2018 年
33. 論文名: Radial velocity measurements of an orbiting star around Sgr A*、著者名: Nishiyama, Shogo; Saida, Hiromi; Takamori, Yohsuke; Takahashi, Masaaki; Schödel, Rainer; Najarro, Francisco; Hamano, Satoshi; Omiya, Masashi; Tamura, Motohide; Takahashi, Mizuki; Gorin, Haruka; Nagatomo, Schun; Nagata, Tetsuya、掲載誌名: Publications of the Astronomical Society of Japan、査読の有無: 有、巻: Volume 70、最初と最後の頁: Issue 4, id.74、発表年: 2018 年
34. 論文名: A large-scale variability survey for the northern Galactic plane: KISO GP、著者名: Matsunaga, Noriyuki; KISO GP Team、掲載誌名: Rediscovering our Galaxy, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium、査読の有無: 無、巻: Volume 334、最初と最後の頁: pp. 57-64、発表年: 2018 年
35. 論文名: Cepheids as Swiss army knives for Milky Way archaeology、著者名: Lemasle, B.; Kovtyukh, V.; da Silva, R.; Mor, R.; Bono, G.; Figueras, F.; François, P.; Inno, L.; Magurno, D.; Matsunaga, N.; McWilliam, A.; Robin, A. C.、掲載誌名: Rediscovering our Galaxy, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium、査読の有無: 無、巻: Volume 334、最初と最後の頁: pp. 329-330、発表年: 2018 年
36. 論文名: Large-Scale Surveys of Pulsating Stars for Studying Stellar Populations in the Inner Galaxy、著者名: Matsunaga, Noriyuki、掲載誌名: Rediscovering our Galaxy, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium、査読の有無: 無、巻: Volume 334、最初と最後の頁: pp. 57-64、発表年: 2018 年
37. 論文名: Old-Aged Primary Distance Indicators、著者名: Beaton, Rachael L.; Bono, Giuseppe; Braga, Vittorio Francesco; Dall'Orta, Massimo; Fiorentino, Giuliana; Jang, In Sung; Martínez-Vázquez, Clara E.; Matsunaga, Noriyuki; Monelli, Matteo; Neeley, Jillian R.; Salaris, Maurizio、掲載誌名: Space Science Reviews、査読の有無: 有、巻: Volume 214、最初と最後の頁: Issue 8, article id. 113, 93 pp、発表年: 2018 年
38. 論文名: A new and homogeneous metallicity scale for Galactic classical Cepheids. I. Physical parameters、著者名: Proxauf, B.; da Silva, R.; Kovtyukh, V. V.; Bono, G.; Inno, L.; Lemasle, B.; Pritchard, J.; Przybilla, N.; Storm, J.; Urbaneja, M. A.; Valenti, E.; Bergemann, M.; Buonanno, R.; D'Orazi, V.; Fabrizio, M.; Ferraro, I.; Fiorentino, G.; François, P.; Iannicola, G.; Laney, C. D.; Kudritzki, R.-P.; Matsunaga, N.; Nonino, M.; Primas, F.; Romaniello, M.; Thévenin, F.、掲載誌名: Astronomy & Astrophysics、査読の有無: 有、巻: Volume 616、最初と最後の頁: id.A82, 13 pp、発表年: 2018 年
39. 論文名: Correction of Near-infrared High-resolution Spectra for Telluric Absorption at 0.90-1.35 μ m、著者名: Sameshima, H., Matsunaga, N., Kobayashi, N., et al.、掲載誌名: Publications of the Astronomical Society of the Pacific、査読の有無: 有、巻: Volume 130、最初と最後の頁: pp. 074502、発表年: 2018 年 (* 8)
40. 論文名: Evolution of H₂O production in comet C/2012 S1 (ISON) as inferred from forbidden oxygen and OH emission、著者名: McKay, Adam J.; Cochran, Anita L.; DiSanti, Michael A.; Dello Russo, Neil; Weaver, Harold; Vervack, Ronald J.; Harris, Walter M.; Kawakita, Hideyo、掲載誌名: Icarus、査読の有無: 有、巻: Volume 309、最初と最後の頁: p. 1-12、発表年: 2018 年 (* 9)

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

41. 論文名: Impact of Distance Determinations on Galactic Structure. I. Young and Intermediate-Age Tracers、著者名: Matsunaga, Noriyuki; Bono, Giuseppe; Chen, Xiaodian; de Grijs, Richard; Inno, Laura; Nishiyama, Shogo、掲載誌名: Space Science Reviews、査読の有無: 有、巻: Volume 214、最初と最後の頁: Issue 4, article id. 74, 36 pp、発表年: 2018 年
42. 論文名: The Metallicity Effect on Cepheid Absolute Magnitudes、著者名: Wielgórski, Piotr; Pietrzynski, Grzegorz; Gieren, Wolfgang; Górski, Marek; Kudritzki, Rolf-Peter; Zgirski, Bartłomiej; Bresolin, Fabio; Storm, Jesper; Matsunaga, Noriyuki; Graczyk, Dariusz; Soszynski, Igor、掲載誌名: The RR Lyrae 2017 Conference、査読の有無: 無、巻: ISBN 978-83-938279-9-2、最初と最後の頁: pp.327-328、発表年: 2018 年
43. 論文名: WINERED as a Stepping Stone for the Cosmic Distance Scale、著者名: Monelli, Matteo; Magurno, Davide; Bono, Giuseppe; Matsunaga, Noriyuki、掲載誌名: The RR Lyrae 2017 Conference、査読の有無: 無、巻: ISBN 978-83-938279-9-2、最初と最後の頁: pp.186-190、発表年: 2018 年
44. 論文名: Chemical Composition of Cepheids in the Milky Way and in the Magellanic Clouds、著者名: Lemasle, B.; Inno, L.; Groenewegen, M. A. T.; Kovtyukh, V. V.; Bono, G.; da Silva, R.; François, P.; Genovali, K.; Grebel, E. K.; Matsunaga, N.; Romaniello, M.、掲載誌名: The RR Lyrae 2017 Conference、査読の有無: 無、巻: ISBN 978-83-938279-9-2、最初と最後の頁: pp.82-87、発表年: 2018 年
45. 論文名: A Survey of Near-infrared Diffuse Interstellar Bands、著者名: Hamano, Satochi; Kobayashi, Naoto; Kawakita, Hideyo; Ikeda, Yuji; Kondo, Sohei; Sameshima, Hiroaki; Arai, Akira; Matsunaga, Noriyuki; Yasui, Chikako; Mizumoto, Misaki; Fukue, Kei; Izumi, Natsuko; Otsubo, Shogo; Takenada, Keiichi、掲載誌名: Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, in Proceedings of the First Belgo-Indian Network for Astronomy & Astrophysics (BINA) workshop、査読の有無: 無、巻: Vol. 87、最初と最後の頁: pp. 276-280、発表年: 2018 年 (* 10)
46. 論文名: Breaking the Habit: The Peculiar 2016 Eruption of the Unique Recurrent Nova M31N 2008-12a、著者名: Henze, M.; Darnley, M. J.; Williams, S. C.; Kato, M.; Hachisu, I.; Anupama, G. C.; Arai, A.; Boyd, D.; Burke, D.; Ciardullo, R.; Chinetti, K.; Cook, L. M.; Cook, M. J.; Erdman, P.; Gao, X.; Harris, B.; Hartmann, D. H.; Hornoch, K.; Horst, J. Chuck; Hounsell, R.; Husar, D.; Itagaki, K.; Kabashima, F.; Kafka, S.; Kaur, A.; Kiyota, S.; Kojiguchi, N.; Kucáková, H.; Kuramoto, K.; Maehara, H.; Mantero, A.; Masci, F. J.; Matsumoto, K.; Naito, H.; Ness, J.-U.; Nishiyama, K.; Oksanen, A.; Osborne, J. P.; Page, K. L.; Paunzen, E.; Pavana, M.; Pickard, R.; Prieto-Arranz, J.; Rodríguez-Gil, P.; Sala, G.; Sano, Y.; Shafter, A. W.; Sugiura, Y.; Tan, H.; Tordai, T.; Vrástil, J.; Wagner, R. M.; Watanabe, F.; Williams, B. F.; Bode, M. F.; Bruno, A.; Buchheim, B.; Crawford, T.; Goff, B.; Hernanz, M.; Igarashi, A. S.; José, J.; Motta, M.; O'Brien, T. J.; Oswald, T.; Poyner, G.; Ribeiro, V. A. R. M.; Sabo, R.; Shara, M. M.; Shears, J.; Starkey, D.; Starrfield, S.; Woodward, C. E.、掲載誌名: The Astrophysical Journal、査読の有無: 有、巻: Volume 857、最初と最後の頁: id. 68, 29 pp、発表年: 2018 年
47. 論文名: Hitomi (ASTRO-H) X-ray Astronomy Satellite、著者名: Takahashi, Tadayuki; Kokubun, Motohide; Mitsuda, Kazuhisa; Kelley, Richard L.; Ohashi, Takaya; Aharonian, Felix; Akamatsu, Hiroki; Akimoto, Fumie; Allen, Steven W.; Anabuki, Naohisa; Angelini, Lorella; Arnaud, Keith; Asai, Makoto; Audard, Marc; Awaki, Hisamitsu; Axelsson, Magnus; Azzarello, Philipp; Baluta, Chris; Bamba, Aya; Bando, Nobutaka; Bautz, Marshall W.; Bialas, Thomas; Blandford, Roger; Boyce, Kevin; Brenneman, Laura W.; Brown, Gregory V.; Bulbul,

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

Esra; Cackett, Edward M.; Canavan, Edgar; Chernyakova, Maria; Chiao, Meng P.; Coppi, Paolo S.; Costantini, Elisa; O'Dell, Steve; DiPirro, Michael; Done, Chris; Dotani, Tadayasu; Doty, John; Ebisawa, Ken; Eckart, Megan E.; Enoto, Teruaki; Ezoe, Yuichiro; Fabian, Andrew C.; Ferrigno, Carlo; Foster, Adam R.; Fujimoto, Ryuichi; Fukazawa, Yasushi; Funk, Stefan; Furuzawa, Akihiro; Galeazzi, Massimiliano; Gallo, Luigi C.; Gandhi, Poshak; Gilmore, Kirk; Giustini, Margherita; Goldwurm, Andrea; Gu, Liyi; Guainazzi, Matteo; Haas, Daniel; Haba, Yoshito; Hagino, Kouichi; Hamaguchi, Kenji; Harrus, Ilana M.; Hatsukade, Isamu; Hayashi, Takayuki; Hayashi, Katsuhiko; Hayashida, Kiyoshi; den Herder, Jan-Willem; Hiraga, Junko S.; Hirose, Kazuyuki; Hornschemeier, Ann; Hoshino, Akio; Hughes, John P.; Ichinohe, Yuto; Iizuka, Ryo; Inoue, Hajime; Inoue, Yoshiyuki; Ishibashi, Kazunori; Ishida, Manabu; Ishikawa, Kumi; Ishimura, Kosei; Ishisaki, Yoshitaka; Itoh, Masayuki; Iwai, Masachika; Iwata, Naoko; Iyomoto, Naoko; Jewell, Chris; Kaastra, Jelle; Kallman, Tim; Kamae, Tsuneyoshi; Kara, Erin; Kataoka, Jun; Katsuda, Satoru; Katsuta, Junichiro; Kawaharada, Madoka; Kawai, Nobuyuki; Kawano, Taro; Kawasaki, Shigeo; Khangulyan, Dmitry; Kilbourne, Caroline A.; Kimball, Mark; King, Ashley; Kitaguchi, Takao; Kitamoto, Shunji; Kitayama, Tetsu; Kohmura, Takayoshi; Konami, Saori; Kosaka, Tatsuro; Koujelev, Alex; Koyama, Katsuji; Koyama, Shu; Kretschmar, Peter; Krimm, Hans A.; Kubota, Aya; Kunieda, Hideyo; Laurent, Philippe; Lee, Shiu-Hang; Leutenegger, Maurice A.; Limousin, Olivier; Loewenstein, Michael; Long, Knox S.; Lumb, David; Madejski, Greg; Maeda, Yoshitomo; Maier, Daniel; Makishima, Kazuo; Markevitch, Maxim; Masters, Candace; Matsumoto, Hironori; Matsushita, Kyoko; McGammon, Dan; Mcguinness, Daniel; McNamara, Brian R.; Mehdipour, Missagh; Miko, Joseph; Miller, Eric D.; Miller, Jon M.; Mineshige, Shin; Minesugi, Kenji; Mitsuishi, Ikuyuki; Miyazawa, Takuya; Mizuno, Tsunefumi; Mori, Hideyuki; Mori, Koji; Moroso, Franco; Moseley, Harvey; Muench, Theodore; Mukai, Koji; Murakami, Hiroshi; Murakami, Toshio; Mushotzky, Richard F.; Nagano, Housei; Nagino, Ryo; Nakagawa, Takao; Nakajima, Hiroshi; Nakamori, Takeshi; Nakano, Toshio; Nakashima, Shinya; Nakazawa, Kazuhiro; Namba, Yoshiharu; Natsukari, Chikara; Nishioka, Yusuke; Nobukawa, Kumiko K.; Nobukawa, Masayoshi; Noda, Hirofumi; Nomachi, Masaharu; Odaka, Hirokazu; Ogawa, Hiroyuki; Ogawa, Mina; Ogi, Keiji; Ohno, Masanori; Ohta, Masayuki; Okajima, Takashi; Okamoto, Atsushi; Okazaki, Tsuyoshi; Ota, Naomi; Ozaki, Masanobu; Paerels, Frits; Paltani, Stéphane; Parmar, Arvind; Petre, Robert; Pinto, Ciro; de Plaa, Jelle; Pohl, Martin; Pontius, James; Porter, Frederick S.; Pottschmidt, Katja; Ramsey, Brian; Reynolds, Christopher; Russell, Helen; Safi-Harb, Samar; Saito, Shinya; Sakai, Kazuhiro; Sakai, Shin-ichiro; Sameshima, Hiroaki; Sasaki, Toru; Sato, Goro; Sato, Kosuke; Sato, Rie; Sato, Yoichi; Sawada, Makoto; Schartel, Norbert; Serlemitsos, Peter J.; Seta, Hiromi; Shibano, Yasuko; Shida, Maki; Shidatsu, Megumi; Shimada, Takanobu; Shinozaki, Keisuke; Shirron, Peter; Simionescu, Aurora; Simmons, Cynthia; Smith, Randall K.; Sneiderman, Gary; Soong, Yang; Stawarz, Lukasz; Sugawara, Yasuharu; Sugita, Satoshi; Sugita, Hiroyuki; Szymkowiak, Andrew; Tajima, Hiroyasu; Takahashi, Hiromitsu; Takeda, Shin-ichiro; Takei, Yoh; Tamagawa, Toru; Tamura, Takayuki; Tamura, Keisuke; Tanaka, Takaaki; Tanaka, Yasuo; Tanaka, Yasuyuki T.; Tashiro, Makoto S.; Tawara, Yuzuru; Terada, Yukikatsu; Terashima, Yuichi; Tombesi, Francesco; Tomida, Hiroshi; Tsuboi, Yohko; Tsujimoto, Masahiro; Tsunemi, Hiroshi; Tsuru, Takeshi Go; Uchida, Hiroyuki; Uchiyama, Hideki; Uchiyama, Yasunobu; Ueda, Shutaro; Ueda, Yoshihiro; Ueno, Shiro; Uno, Shin-ichiro; Urry, C. Megan; Ursino, Eugenio; de Vries, Cor P.; Wada, Atsushi; Watanabe, Shin; Watanabe, Tomomi; Werner, Norbert; Wik, Daniel R.; Wilkins, Dan R.; Williams, Brian J.; Yamada, Shinya; Yamada, Takahiro; Yamaguchi, Hiroya; Yamaoka,

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

- Kazutaka; Yamasaki, Noriko Y.; Yamauchi, Makoto; Yamauchi, Shigeo; Yaqoob, Tahir; Yatsu, Yoichi; Yonetoku, Daisuke; Yoshida, Atsumasa; Yuasa, Takayuki; Zhuravleva, Irina; Zoghbi, Abderahmen、掲載誌名: Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems、査読の有無:、巻: Volume 4、最初と最後の頁: id. 021402、発表年: 2018 年
48. 論文名: On the Chemical Abundances of Miras in Clusters: V1 in the Metal-rich Globular NGC 5927、著者名: D' Orazi, V., Magurno, D., Bono, G., et al.、掲載誌名: The Astrophysical Journal Letters、査読の有無: 有、巻: Volume 855、最初と最後の頁: L9, 7 pp、発表年: 2018 年 (* 11)
49. 論文名: Opportunities for In-Depth Compositional Studies of Short-Period Comets: Summary from Semester 2017A Observations and Prospects for a 2018 Observing、著者名: DiSanti, M. A.; Dello Russo, N.; Bonev, B. P.; Gibb, E. L.; Roth, N. X.; Vervack, R. J.; McKay, A. J.; Kawakita, H.; Cochran, A. L.、掲載誌名: 49th Lunar and Planetary Science Conference、査読の有無:、巻: No. 2083、最初と最後の頁: id.2289、発表年: 2018 年 (* 12)
50. 論文名: AKARI color useful for classifying chemical types of Miras、著者名: Matsunaga, Noriyuki、掲載誌名: The Cosmic Wheel and the Legacy of the AKARI archive: from galaxies and stars to planets and life.、査読の有無: 無、巻:、最初と最後の頁: pp.167-170、発表年: 2018 年
51. 論文名: On the RR Lyrae Stars in Globulars. V. The Complete Near-infrared (JHK s) Census of omega Centauri RR Lyrae Variables、著者名: Braga, V. F.; Stetson, P. B.; Bono, G.; Dall'Ora, M.; Ferraro, I.; Fiorentino, G.; Iannicola, G.; Marconi, M.; Marengo, M.; Monson, A. J.; Neeley, J.; Persson, S. E.; Beaton, R. L.; Buonanno, R.; Calamida, A.; Castellani, M.; Di Carlo, E.; Fabrizio, M.; Freedman, W. L.; Inno, L.; Madore, B. F.; Magurno, D.; Marchetti, E.; Marinoni, S.; Marrese, P.; Matsunaga, N.; Minniti, D.; Monelli, M.; Nonino, M.; Piersimoni, A. M.; Pietrinferni, A.; Prada-Moroni, P.; Pulone, L.; Stellingwerf, R.; Tognelli, E.; Walker, A. R.; Valenti, E.; Zoccali, M.、掲載誌名: The Astronomical Journal、査読の有無: 有、巻: Volume 155、最初と最後の頁: id. 137, 27 pp、発表年: 2018 年
52. 論文名: Method to Estimate the Effective Temperatures of Late-Type Giants using Line-Depth Ratios in the Wavelength Range 0.97-1.32 um、著者名: Taniguchi, Daisuke; Matsunaga, Noriyuki; Kobayashi, Naoto; Fukue, Kei; Hamano, Satoshi; Ikeda, Yuji; Kawakita, Hideyo; Kondo, Sohei; Sameshima, Hiroaki; Yasui, Chikako、掲載誌名: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society、査読の有無: 有、巻: Volume 473, Issue 4、最初と最後の頁: 4993-5001、発表年: 2018 年 (* 13)
53. 論文名: Ground-based lightcurve observation campaign of (25143) Itokawa between 2001 and 2004、著者名: Nishihara, Setsuko; Kitazato, Kouhei; Abe, Masanao; Hasegawa, Sunao; Ishiguro, Masateru; Nonaka, Hidenori; Ohba, Yohei; Ozawa, Tomohiko; Sarugaku, Yuki; Yadoumaru, Yasushi; Yoshizumi, Chiaki; Okyudo, Masami、掲載誌名: ASP Conference Series、査読の有無:、巻:、最初と最後の頁:、発表年: 2018 年
54. 論文名: Gaia DR1 Evidence of Disrupting the Perseus Arm、著者名: Baba, Junichi; Kawata, Daisuke; Matsunaga, Noriyuki; Grand, Robert J. J.; Hunt, Jason A. S.、掲載誌名: The Astrophysical Journal Letters、査読の有無: 有、巻: Volume 853、最初と最後の頁: L23, 6 pp、発表年: 2018 年
55. 論文名: The Spectroscopic Variations of the FU Orionis Object V960 Mon、著者名: Takagi, Yuhei; Honda, Satoshi; Arai, Akira; Morihana, Kumiko; Takahashi, Jun; Oasa, Yumiko; Itoh, Yoichi、掲載誌名: The Astronomical Journal、査読の有無: 有、巻: Volume 155、最初と最後の頁: id. 101, 8 pp、発表年: 2018 年

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

56. 論文名: SiO maser survey towards off-plane O-rich AGBs around the orbital plane of the Sagittarius stellar stream、著者名: Wu, Y. W.; Matsunaga, Noriyuki; Burns, Ross A.; Zhang, B.、掲載誌名: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society、査読の有無: 有、巻: Volume 473、最初と最後の頁: p.3325-3350、発表年: 2018 年
57. 論文名: Hypervolatiles in a Jupiter-family Comet: Observations of 45P/Honda-Mrkos-Pajdusáková Using iSHELL at the NASA-IRTF、著者名: DiSanti, Michael A.; Bonev, Boncho P.; Dello Russo, Neil; Vervack, Ronald J., Jr.; Gibb, Erika L.; Roth, Nathan X.; McKay, Adam J.; Kawakita, Hideyo; Feaga, Lori M.; Weaver, Harold A.、掲載誌名: The Astronomical Journal、査読の有無: 有、巻: Volume 154, Issue 6、最初と最後の頁: article id. 246, 17、発表年: 2017 年 (* 14)
58. 論文名: Detailed chemical composition of classical Cepheids in the LMC cluster NGC 1866 and in the field of the SMC、著者名: Lemasle, B.; Groenewegen, M. A. T.; Grebel, E. K.; Bono, G.; Fiorentino, G.; François, P.; Inno, L.; Kovtyukh, V. V.; Matsunaga, N.; Pedicelli, S.; Primas, F.; Pritchard, J.; Romaniello, M.; da Silva, R.、掲載誌名: Astronomy & Astrophysics、査読の有無: 有、巻: Volume 608、最初と最後の頁: id.A85, 36 pp、発表年: 2017 年
59. 論文名: Editorial: Topical Collection on Astronomical Distance Determination in the Space Age、著者名: de Grijs, Richard; Bono, Giuseppe; Matsunaga, Noriyuki; Suyu, Sherry H.; Falanga, Maurizio、掲載誌名: Space Science Reviews、査読の有無: 有、巻: Volume 212、最初と最後の頁: pp. 1739-1741、発表年: 2017 年
60. 論文名: Free-form reflective optics for mid-infrared camera and spectrometer on board SPICA、著者名: Fujishiro, Naofumi; Kataza, Hirokazu; Wada, Takehiko; Ikeda, Yuji; Sakon, Itsuki; Oyabu, Shinki、掲載誌名: Proceedings of the SPIE、査読の有無: 無、巻: Volume 10564、最初と最後の頁: id. 105640G 10 pp、発表年: 2017 年
61. 論文名: A Tale of “Two” Comets: The Primary Volatile Composition of Comet 2P/Encke Across Apparitions、著者名: Roth, Nathan X.; Gibb, Erika L.; Bonev, Boncho P.; DiSanti, Michael A.; Dello Russo, Neil; Vervack, Ronald J.; McKay, Adam J.; Kawakita, Hideyo、掲載誌名: American Astronomical Society、査読の有無: 無、巻: DPS meeting #49、最初と最後の頁: id.414.12、発表年: 2017 年
62. 論文名: Constraining the Volatile Composition and Coma Photochemistry in Jupiter Family Comet 41P/Tuttle-Giacobini-Kresak with High Resolution IR and Optical Spectroscopy、著者名: McKay, Adam; DiSanti, Michael A.; Cochran, Anita L.; Dello Russo, Neil; Bonev, Boncho P.; Vervack, Ronald J.; Gibb, Erika L.; Roth, Nathan X.; Kawakita, Hideyo、掲載誌名: American Astronomical Society、査読の有無: 無、巻: DPS meeting #49、最初と最後の頁: id.305.09、発表年: 2017 年
63. 論文名: Evolving coma abundances and detection of hypervolatiles in Jupiter-family comet 45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova、著者名: Dello Russo, Neil; DiSanti, Michael A.; Kawakita, Hideyo; Shinnaka, Yoshiharu; Vervack, Ronald J.; Bonev, Boncho P.; Gibb, Erika L.; Roth, Nathan; McKay, Adam J.; Weaver, Harold A.; Cochran, Anita L.、掲載誌名: American Astronomical Society、査読の有無: 無、巻: DPS meeting #49、最初と最後の頁: id.305.04、発表年: 2017 年
64. 論文名: Mineral abundances of comet 17P/Holmes derived from the mid-infrared spectrum、著者名: Shinnaka, Yoshiharu; Yamaguchi, Mitsuru; Ootsubo, Takafumi; Kawakita, Hideyo; Sakon, Itsuki; Honda, Mitsuhiro; Watanabe, Jun-ichi、掲載誌名: American Astronomical Society、査読の有無: 無、巻: DPS meeting #49、最初と最後の頁: id.414.01、発表年: 2017 年

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

65. 論文名: Opportunities for in-depth compositional studies of comets: Summary from semester 2017A observations and prospects for a 2018 observing campaign、著者名: DiSanti, Michael A.; Dello Russo, Neil; Bonev, Boncho P.; Gibb, Erika L.; Roth, Nathan; Vervack, Ronald J.; McKay, Adam J.; Kawakita, Hideyo; Cochran, Anita L.、掲載誌名: American Astronomical Society、査読の有無: 無、巻: DPS meeting #49、最初と最後の頁: id.305.03、発表年: 2017 年
66. 論文名: Search for CH₃D in Comets with NIRSPEC/Keck II: D/H Ratios in Methane、著者名: Kawakita, Hideyo; Dello Russo, Neil; Vervack, Ronald J.; Weaver, Harold A.; Bonev, Boncho P.; Gibb, Erika L.; DiSanti, Michael A.、掲載誌名: American Astronomical Society、査読の有無: 無、巻: DPS meeting #49、最初と最後の頁: id.414.13、発表年: 2017 年
67. 論文名: The Inner Coma Physical Environments of Ecliptic Comets 45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova, 2P/Encke, and 41P/Tuttle-Giacobini-Kresak Revealed Through Long-Slit Spectroscopy at NASA IRTF、著者名: Bonev, Boncho P.; DiSanti, Michael A.; Roth, Nathan; Dello Russo, Neil; Vervack, Ronald J.; Gibb, Erika L.; Villanueva, Geronimo Luis; Combi, Michael R.; Fougere, Nicolas; Kawakita, Hideyo; and 5 coauthors、掲載誌名: American Astronomical Society、査読の有無: 無、巻: DPS meeting #49、最初と最後の頁: id.414.06、発表年: 2017 年
68. 論文名: Star Formation Activity Beyond the Outer Arm. I. WISE-selected Candidate Star-forming Regions、著者名: Izumi, Natsuko; Kobayashi, Naoto; Yasui, Chikako; Saito, Masao; Hamano, Satoshi、掲載誌名: The Astronomical Journal、査読の有無: 有、巻: Volume 154、最初と最後の頁: Issue 4, article id. 163, 27 pp、発表年: 2017 年
69. 論文名: OISTER optical and near-infrared monitoring observations of peculiar radio-loud active galactic nucleus SDSS J110006.07+442144.3、著者名: Morokuma, Tomoki; Tanaka, Masaomi; Tanaka, Yasuyuki T.; Itoh, Ryosuke; Tominaga, Nozomu; Gandhi, Poshak; Pian, Elena; Mazzali, Paolo; Ohta, Kouji; Matsumoto, Emiko; Shibata, Takumi; Akimoto, Hinako; Akitaya, Hiroshi; Ali, Gamal B.; Aoki, Tsutomu; Doi, Mamoru; Ebisuda, Nana; Essam, Ahmed; Fujisawa, Kenta; Fukushima, Hideo; Goda, Shuhei; Gouda, Yuya; Hanayama, Hidekazu; Hashiba, Yasuhito; Hashimoto, Osamu; Hayashida, Kenzo; Hiratsuka, Yuichiro; Honda, Satoshi; Imai, Masataka; Inoue, Kanichiro; Ishibashi, Michiko; Iwata, Ikuru; Izumiura, Hideyuki; Kanda, Yuka; Kawabata, Miho; Kawaguchi, Kenji; Kawai, Nobuyuki; Kokubo, Mitsuru; Kuroda, Daisuke; Maehara, Hiroyuki; Mito, Hiroyuki; Mitsuda, Kazuma; Miyagawa, Ryota; Miyaji, Takeshi; Miyamoto, Yusuke; Morihana, Kumiko; Moritani, Yuki; Morokuma-Matsui, Kana; Murakami, Kotone; Murata, Katsuhiko L.; Nagayama, Takahiro; Nakamura, Kazuki; Nakaoka, Tatsuya; Niinuma, Kotaro; Nishimori, Takafumi; Nogami, Daisaku; Oasa, Yumiko; Oda, Tatsunori; Ohshima, Tomohito; Saito, Yoshihiko; Sakata, Shuichiro; Sako, Shigeyuki; Sarugaku, Yuki; Sawada-Satoh, Satoko; Seino, Genta; Sorai, Kazuo; Soyano, Takao; Taddia, Francesco; Takahashi, Jun; Takagi, Yuhei; Takaki, Katsutoshi; Takata, Koji; Tarusawa, Ken'ichi; Uemura, Makoto; Ui, Takahiro; Urago, Riku; Ushioda, Kazutoshi; Watanabe, Jun-ichi; Watanabe, Makoto; Yamashita, Satoshi; Yanagisawa, Kenshi; Yonekura, Yoshinori; Yoshida, Michitoshi、掲載誌名: Publications of the Astronomical Society of Japan、査読の有無: 有、巻: Volume 69、最初と最後の頁: Issue 5, id.82、発表年: 2017 年
70. 論文名: A unified spectral variation model for Seyfert 1 Galaxies observed with NuSTAR and XMM/Suzaku、著者名: Ebisawa, K.; Kusunoki, E.; Mizumoto, M.; Sameshima, H.、掲載誌名: The X-ray Universe 2017、査読の有無: 、巻: 、最初と最後の頁: p.73、発表年:

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

2017 年

71. 論文名: Near-infrared Spectroscopic Observations of Comet C/2013 R1 (Lovejoy) by WINERED: CN Red-system Band Emission、著者名: Shinnaka, Yoshiharu; Kawakita, Hideyo; Kondo, Sohei; Ikeda, Yuji; Kobayashi, Naoto; Hamano, Satoshi; Sameshima, Hiroaki; Fukue, Kei; Matsunaga, Noriyuki; Yasui, Chikako; and 8 coauthors、掲載誌名: The Astronomical Journal、査読の有無: 有、巻: 154、最初と最後の頁: article id. 45、発表年: 2017 年 (* 15)
72. 論文名: The Abel transformation deconvolves comets: Gas structure of comet C/2013 R1 (Lovejoy)、著者名: Hasegawa, Takashi; Kawakita, Hideyo、掲載誌名: Pub. Astron. Soc. Japan、査読の有無: 有、巻: 69、最初と最後の頁: article id. 54、発表年: 2017 年 (* 16)
73. 論文名: the Formation Mechanism of C₂H₆ with Astronomical Interest、著者名: Kobayashi, Hitomi; Hidaka, Hiroshi; Lamberts, Thanja; Hama, Tetsuya; Kawakita, Hideyo; Kästner, Johannes; Watanabe, Naoki、掲載誌名: The Astrophysical Journal、査読の有無: 有、巻: 837、最初と最後の頁: article id. 155、発表年: 2017 年 (* 17)
74. 論文名: Imaging Observations of the Hydrogen Coma of Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko in 2015 September by the PROCYON/LAICA、著者名: Shinnaka, Yoshiharu; Fougere, Nicolas; Kawakita, Hideyo; Kameda, Shingo; Combi, Michael R.; Ikezawa, Shota; Seki, Ayana; Kuwabara, Masaki; Sato, Masaki; Taguchi, Makoto; Yoshikawa, Ichiro、掲載誌名: The Astronomical Journal、査読の有無: 有、巻: 153、最初と最後の頁: article id. 76、発表年: 2017 年 (* 18)
75. 論文名: Mid-infrared Spectroscopic Observations of the Dust-forming Classical Nova V2676 Oph、著者名: Kawakita, Hideyo; Ootsubo, Takafumi; Arai, Akira; Shinnaka, Yoshiharu; Nagashima, Masayoshi、掲載誌名: The Astronomical Journal、査読の有無: 有、巻: 153、最初と最後の頁: article id. 74、発表年: 2017 年
76. 論文名: High dispersion spectroscopy of Venus at 1.0 μ m using WINERED at Koyama Astronomical Observatory、著者名: Sagawa, Hideo; Hamano, Satoshi; Kawakita, Hideyo; Ikeda, Yuji; Ootsubo, Shogo; Lee, Yeon Joo、掲載誌名: American Astronomical Society、査読の有無: 無、巻: DPS meeting #48、最初と最後の頁: id.216.14、発表年: 2016 年
77. 論文名: Immersion Gratings for Infrared High-resolution Spectroscopy、著者名: Sarugaku, Yuki; Ikeda, Yuji; Kobayashi, Naoto; Kaji, Sayumi; Sukegawa, Takashi; Sugiyama, Shigeru; Nakagawa, Takao; Arasaki, Takayuki; Kondo, Sohei; Nakanishi, Kenshi; Yasui, Chikako; Kawakita, Hideyo、掲載誌名: American Astronomical Society、査読の有無: 有、巻: DPS meeting #48、最初と最後の頁: id.123.40、発表年: 2016 年 (* 19)
78. 論文名: A lack of classical Cepheids in the inner part of the Galactic disc、著者名: Matsunaga, Noriyuki; Feast, Michael W.; Bono, Giuseppe; Kobayashi, Naoto; Inno, Laura; Nagayama, Takahiro; Nishiyama, Shogo; Matsuoka, Yoshiki; Nagata, Tetsuya、掲載誌名: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society、査読の有無: 有、巻: Volume 462 Issue 1、最初と最後の頁: p.414-420、発表年: 2016 年
79. 論文名: Low-metallicity Young Clusters in the Outer Galaxy. II. Sh 2-208、著者名: Yasui, Chikako; Kobayashi, Naoto; Saito, Masao; Izumi, Natsuko、掲載誌名: The Astronomical Journal、査読の有無: 有、巻: Volume 151 Issue5、最初と最後の頁: article id. 115、発表年: 2016 年
80. 論文名: Infrared Attenuation Spectrum of Bulk High-Resistivity CdZnTe Single Crystal in Transparent Wavelength Region Between Electronic and Lattice Absorptions、著者名: Sarugaku, Yuki; Kaji, Sayumi; Ikeda, Yuji; Kobayashi, Naoto; Sukegawa, Takashi; Nakagawa, Takao; Kataza, Hirokazu; Kondo, Sohei; Yasui, Chikako; Nakanishi, Kenshi; Kawakita,

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

- Hideyo、掲載誌名:Journal of Electronic Materials、査読の有無:有、巻:Vol. 46、最初と最後の頁:DOI: 10.1007/s11664-016-4917-3、発表年:2016年(*20)
81. 論文名:Near Infrared Diffuse Interstellar Bands Toward the Cygnus OB2 Association、著者名:Hamano, Satoshi; Kobayashi, Naoto; Kondo, Sohei; Sameshima, Hiroaki; Nakanishi, Kenshi; Ikeda, Yuji; Yasui, Chikako; Mizumoto, Misaki; Matsunaga, Noriyuki; Fukue, Kei; and 9 coauthors、掲載誌名:The Astrophysical Journal、査読の有無:有、巻:Volume 821, Issue 1、最初と最後の頁:article id. 42、発表年:2016年(*21)
82. 論文名:VINROUGE: a very compact 2-5um high-resolution spectrograph with germanium immersion grating、著者名:Arasaki, T.; Ikeda, Y.; and 5 authors、掲載誌名:Proceedings of the SPIE、査読の有無:無、巻 Volume 9908:、最初と最後の頁:DOI:10.1117/12.2233739、発表年:2016年(*22)
83. 論文名:Cryogenic performances of high-efficiency germanium immersion grating、著者名: Sarugaku, Y.; Kaji, S.; Ikeda, Y.; and 7 authors、掲載誌名:Proceedings of the SPIE、査読の有無:無、巻 Volume 9906:、最初と最後の頁:id. 990637、発表年:2016年(*23)
84. 論文名:High-sensitivity, wide coverage, and high-resolution NIR non-cryogenic spectrograph: WINERED、著者名:Ikeda, Y.; Kobayashi, N.; and 24 authors、掲載誌名:Proceedings of the SPIE、査読の有無:無、巻 Volume 9908:、最初と最後の頁:DOI:10.1117/12.2230886、発表年:2016年(*24)
85. 論文名:First high-efficiency and high-resolution NIR spectroscopy with high-blazed Echelle grating: WINERED HIRES-mode w/R80,000 commissioned、著者名:Ootsubo, S.; and 15 authors、掲載誌名:Proceedings of the SPIE、査読の有無:無、巻:Volume 9908、最初と最後の頁:DOI:10.1117/12.2233845、発表年:2016年(*25)
86. 論文名:The development of a cryogenic FTIR system for measuring very small attenuation coefficients of infrared material、著者名:Kaji, S.; and 8 authors、掲載誌名:Proceedings of the SPIE、査読の有無:無、巻: Volume 9912、最初と最後の頁:DOI:10.1117/12.2233943、発表年:2016年(*26)
87. 論文名:Herbig Ae/Be Candidate Stars in the Innermost Galactic Disk: Quartet Cluster、著者名:Yasui, C.; Kobayashi, N.; Hamano, S.; Kondo, S.; and 3 authors、掲載誌名:The Astrophysical Journal、査読の有無:有、巻:Volume 817、最初と最後の頁:article id. 181、発表年:2016年
88. 論文名:Low-metallicity Young Clusters in the Outer Galaxy. I. Sh 2-207、著者名:Yasui, C.; Kobayashi, N., and 3 authors、掲載誌名:The Astronomical Journal、査読の有無:有、巻:Volume 151、最初と最後の頁:article id. 50、発表年:2016年
89. 論文名:Line-depth Ratios in H-band Spectra to Determine Effective Temperatures of G- and K-type Giants and Supergiants、著者名:Fukue, Kei; Matsunaga, Noriyuki; Yamamoto, Ryo; Kondo, Sohei; Kobayashi, Naoto; Ikeda, Yuji; Hamano, Satoshi; Yasui, Chikako; Arasaki, Takayuki; Tsujimoto, Takuji; Bono, Giuseppe; Inno, Laura.、掲載誌名:The Astrophysical Journal、査読の有無:有、巻:Volume 812 Issue 1、最初と最後の頁:article id. 64、発表年:2015年(*27)
90. 論文名:Performance Estimation of the Mid-Infrared Camera and Spectrometer Aboard SPICA、著者名:Katata, Hirokazu; Sakon, Itsuki; Wada, Takehiko; Sarugaku, Yuki; Fujishiro, Naofumi; Ikeda, Yuji; Mitani, Shinji; Ohyama, Youichi; Kobayashi, Naoto.、掲載誌名:Journal of Astronomical Instrumentation、査読の有無:有、巻:Volume 4、最初と最後の頁:Issue 1n02, id. 1550001、発表年:2015年
91. 論文名:High-resolution spectroscopy of the CN red system in comet C/2013 R1 (Lovejoy) using WINERED at Koyama Astronomical Observatory、著者名:Kawakita,

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

Hideyo; Shinnaka, Yoshiharu; Kondo, Sohei; Hamano, Satoshi; Sameshima, Hiroaki; Nakanishi, Kenshi; Kawanishi, Takafumi; Nakaoka, Tetsuya; Otsubo, Shogo; Kinoshita, Masaomi; Ikeda, Yuji; Yamamoto, Ryo; Izumi, Natsuko; Fukue, Kei; Yasui, Chikako; Mito, Hiroyuki; Sarugaku, Yuki; Matsunaga, Noriyuki; Kobayashi, Naoto、掲載誌名: American Astronomical Society、査読の有無: 無、巻: DPS meeting #47、最初と最後の頁: id.415.15、発表年: 2015 年

92. 論文名: A Warm Near-Infrared High-Resolution Spectrograph with Very High Throughput (WINERED)、著者名 Kondo, Sohei; Ikeda, Yuji; Kobayashi, Naoto; Yasui, Chikako; Mito, Hiroyuki; Fukue, Kei; Nakanishi, Kenshi; Kawanishi, Takafumi; Nakaoka, Tetsuya; Otsubo, Shogo; Kinoshita, Masaomi; Kitano, Ayaka; Hamano, Satoshi; Mizumoto, Misaki; Yamamoto, Ryo; Izumi, Natsuko; Matsunaga, Noriyuki; Kawakita, Hideyo、掲載誌名: eprint arXiv:1501.03403、査読の有無: 無、最初と最後の頁: 1501.03403、発表年: 2015 年 (* 28)
93. 論文名: Machined immersion grating with theoretically predicted diffraction efficiency、著者名: Ikeda, Y., Kobayashi, N., Sarugaku, Y., et al.、掲載誌名: Applied Optics、査読の有無: 有、巻: vol. 54, issue 16、最初と最後の頁: 5193-5202、発表年: 2015 年 (* 29)
94. 論文名: Near-infrared Diffuse Interstellar Bands in 0.91-1.32 μm 、著者名: Hamano, S., Kobayashi, N., Kondo, S., et al.、掲載誌名: The Astrophysical Journal、査読の有無: 有、巻: Volume 800、最初と最後の頁: article id. 137、発表年: 2015 年 (* 30)
95. 論文名: Kinematics of Classical Cepheids in the Nuclear Stellar Disk、著者名: Matsunaga, N., Fukue, K., Yamamoto, R., et al.、掲載誌名: The Astrophysical Journal、査読の有無: 有、巻: Volume 799、最初と最後の頁: article id. 46、発表年: 2015 年
96. 論文名: ZnSe immersion grating in the short NIR region、著者名: Ikeda, Y., Kobayashi, N., et al.、掲載誌名: Proceedings of the SPIE、査読の有無: 無、巻: Volume 9151、最初と最後の頁: doi: 10.1117/12.2055378、発表年: 2014 年 (* 31)
97. 論文名: The precise measurement of the attenuation coefficients of various IR optical materials applicable to immersion grating、著者名: Kaji, S; Ikeda, Y., et al.、掲載誌名: Proceedings of the SPIE、査読の有無: 無、巻: Volume 9147、最初と最後の頁: doi: 10.1117/12.2055644、発表年: 2014 年 (* 32)

<図書>

該当なし

<学会発表>

1. 学会名: 日本天文学会 2019 年春季年会、発表者: 濱野哲史、発表標題名: 近赤外線高分散分光器 WINERED: データ解析パイプラインの開発、開催地: 東京都 法政大学小金井キャンパス、発表年月: 2019.3.14-17
2. 学会名: 日本天文学会 2019 年春季年会、発表者: 鮫島寛明、発表標題名: 中赤方偏移クエーサーの広輝線領域における[Mg/Fe]組成比の導出、開催地: 東京都 法政大学小金井キャンパス、発表年月: 2019.3.14-17
3. 学会名: 日本天文学会 2019 年春季年会、発表者: 福江慧、発表標題名: 近赤外線高分散分光器 WINERED: 晩期型星の近赤外線高分散スペクトルを用いた元素のアバundance導出と発展性について、開催地: 東京都 法政大学小金井キャンパス、発表年月: 2019.3.14-17
4. 学会名: 第8回可視赤外線観測装置技術ワークショップ、発表者: 池田優二、発表標題名: WINERED チリに行く - La Silla から Magellan へ、開催地: 国立天文台、発表年月: 2019.2.25-26

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

5. 学会名: Subaru Users' Meeting FY2018 Final Circular(すばるユーザーズミーティング FY2018)、発表者: Shinnaka, Yoshiharu、発表標題名: Birth-place of comet 17P/Holmes: Mass ratios of minerals determined from mid-infrared spectra of the comet、開催地: 国立天文台三鷹キャンパス、発表年月: 2019.1.28-30
6. 学会名: Cosmic Shadow 2018 -クエーサー吸収線系でみる宇宙-、発表者: 濱野哲史、発表標題名: Diffuse Interstellar Bands: Cosmic Shadow of Interstellar Molecules、開催地: 沖縄県石垣市 大濱信泉記念館、発表年月: 2018.11.24-25
7. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 鮫島寛明、発表標題名: 大気吸収補正法の考案と WINERED スペクトルへの適用例、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
8. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 池田優二、発表標題名: ラインリスト(K 型、G 型)、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
9. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 近藤荘平、発表標題名: WINERED 波長域の FeI ラインによる K 型 Giant の金属量とマイクロ乱流の決定、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
10. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 福江慧、発表標題名: WINERED データを用いた金属量標準星の化学組成解析、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
11. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 松永典之、発表標題名: WINERED 波長域のレアな元素・イオンのライン、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
12. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 谷口大輔、発表標題名: 赤色超巨星組成解析の手法と結果の現状、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
13. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 安井千香子、発表標題名: 中心星付近の mass flow プロセスの時間進化: 近赤外線高分散分光器 WINERED による Taurus 星生成領域中の中質量星の観、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
14. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 濱野哲史、発表標題名: NIR Diffuse Interstellar Bands Survey with WINERED、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
15. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 竹中慶一、発表標題名: DIB λ 10697 のキャリアへの制限、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
16. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 濱野哲史、発表標題名: WINERED Pipeline: current status, problems, & upcoming updates、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
17. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 池田優二、発表標題名: マゼラン移設の現状と見通し、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
18. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 大坪翔悟、発表標題名: マゼラン移設に向けた装置改修、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
19. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 渡瀬彩華、発表標題名: マゼラン望遠鏡用 大気分散補正の開発状況、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
20. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 松永典之、発表標題名: マゼランで期待される限界等級、ターゲット、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
21. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 松永典之、発表標題名: Magellan/WINERED によるセファイドの分光観測、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
22. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 谷口大輔、発表標題名: 散開星団を用いた銀河系円盤の金属量分布、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
23. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 辻本拓司、発表標題名: トランスアイアン及び r 過程元素の化学進化研究、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
24. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 安井千香子、発表標題名: 様々なパラメータ空間における YSO の観測提案、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

25. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 濱野哲史、発表標題名: Magellanic Clouds with Magellan: Complex Molecules in Low Metallicity Environment、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
26. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 河北秀世、発表標題名: Ozone in Solar System Objects: O₂ emission at 1.27 μ m、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
27. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 新井彰、発表標題名: 新星のラインリストと今後の研究、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
28. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 新中善晴、発表標題名: 彗星の N₂ 分子観測、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
29. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 鮫島寛明、発表標題名: スペクトルライブラリーの構築と z ~ 3 ケーサーの観測、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
30. 学会名: WINERED 研究会 2018、発表者: 小林尚人、発表標題名: 議論(マゼラン望遠鏡での観測へ向けて)、開催地: 東京大学、発表年月: 2018.11.19-20
31. 学会名: The life and times of the Milky Way、発表者: Daisuke Taniguchi, Noriyuki Matsunaga, Naoto Kobayashi, Kei Fukue, Satoshi Hamano, Yuji Ikeda, Hideyo Kawakita, Sohei Kondo, Hiroaki Sameshima, Chikako Yasui, Takuji Tsujimoto、発表標題名: Does the Bar-End Region Have Chemical Peculiarity? - NIR Spectroscopy of Red Supergiants around GMC Complex G23.3-0.4、開催地: Shanghai、発表年月: 2018.11.12-16
32. 学会名: The life and times of the Milky Way、発表者: Kei Fuku, Noriyuki Matsunaga, Sohei Kondo, Daisuke Taniguchi, Yuji Ikeda, Naoto Kobayashi, Hiroaki Sameshima, Satoshi Hamano, Akira Arai, Hideyo Kawakita, Chikako Yasui, Natsuko Izumi, Misaki Mizumoto, Shogo Otsubo, Keiichi Takenaka, Ayaka Watase, Akira Asano, Tomohiro Yoshikawa, Takuji Tsujimoto、発表標題名: Measuring chemical abundances of red giants using high-resolution z' YJ-band spectra of WINERED、開催地: Shanghai、発表年月: 2018.11.12-16
33. 学会名: The life and times of the Milky Way、発表者: Mingjie Jian、発表標題名: Line-depth ratios as indicators of stellar parameters: the metallicity and gravity effects based on WINERED near-IR high-resolution spectra、開催地: Shanghai、発表年月: 2018.11.12-16
34. 学会名: The life and times of the Milky Way、発表者: Noriyuki Matsunaga、発表標題名: Cepheids as tracers of the Milky Way with the Gaia DR2 catalogues、開催地: Shanghai、発表年月: 2018.11.12-16
35. 学会名: 50th Annual Meeting Division for Planetary Science、発表者: Hideyo Kawakita、発表標題名: Origin of Peculiar Comet 21P/Giacobini-Zinner: Volatiles and Crystalline Silicates、開催地: Knoxville, TN, USA、発表年月: 2018.10.21-26
36. 学会名: 日本天文学会 2018 年秋季年会、発表者: 安井千香子、濱野哲史、福江慧、近藤荘平、鮫島寛明、竹中慶一、池田優二、河北秀世、大坪翔悟、渡瀬彩華、松永典之、水本岬希、谷口大輔、泉奈都子、小林尚人、WINERED 開発チーム、発表標題名: 中心星付近の mass flow プロセスの時間進化: 近赤外線高分散分光器 WINERED による Tuauris 星生成領域中の中質量星の観測、開催地: 兵庫県立大学、発表年月: 2018.9.19-21
37. 学会名: 日本天文学会 2018 年秋季年会、発表者: 猿楽祐樹、池田優二、小林尚人、馬目威男、柳橋健太郎、飯田直人、堀内雅彦、向井伸二、近藤荘平、河北秀世、安井千香子、松永典之、発表標題名: 解説限界モノリシック反射光学系: 冷却環境下での光学性能評価、開催地: 兵庫県立大学、発表年月: 2018.9.19-21
38. 学会名: 日本天文学会 2018 年秋季年会、発表者: 谷口大輔、松永典之、小林尚人、福

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

- 江慧、濱野哲史、池田優二、河北秀世、近藤莊平、鮫島寛明、安井千香子、辻本拓司、
発表標題名:近赤外線高分散分光器 WINERED を用いた分子雲複合体 G23.3-0.4 近傍に
ある赤色超巨星の組成解析、開催地:兵庫県立大学、発表年月:2018.9.19-21
39. 学会名:日本天文学会 2018 年秋季年会、発表者:猿楽祐樹, 池田優二, 小林尚人, 馬
目威男, 柳橋健太郎, 飯田直人, 堀内雅彦, 向井伸二, 近藤莊平, 河北秀世, 安井千香
子, 松永雅之、発表標題名:回折限界モノリシック反射光学系:冷却環境下での光学性
能評価、開催地:兵庫県立大学、発表年月:2018.9.19-21
40. 学会名:日本天文学会 2018 年秋季年会、発表者:谷口大輔、松永典之、小林尚人、福
江慧、濱野哲史、池田優二、河北秀世、近藤莊平、鮫島寛明、安井千香子、辻本拓司、
発表標題名:近赤外線高分散分光器 WINERED を用いた分子雲複合体 G23.3-0.4 近傍に
ある赤色超巨星の組成解析、開催地:兵庫県立大学、発表年月:2018.9.19-21
41. 学会名:日本天文学会 2018 年秋季年会、発表者:安井千香子, 濱野哲史, 福江慧, 近
藤莊平, 鮫島寛明, 竹中慶一, 池田優二, 河北秀世, 大坪翔悟, 渡瀬彩華, 松永典之,
水本岬希, 谷口大輔, 泉奈都子, 小林尚人, WINERED 開発チーム、発表標題名:中心星
付近の mass flow プロセスの時間進化: 近赤外線高分散分光器 WINERED による Tuaur
星生成領域中の中質量星の観測、開催地:兵庫県立大学、発表年月:2018.9.19-21
42. 学会名:第 48 回天文・天体物理若手夏の学校、発表者:渡瀬彩華、発表標題名:近赤外
線高分散分光器 WINERED:マゼラン望遠鏡用大気分散補正ユニットの設計、開催地:
愛知県 ロワジュールホテル豊橋、発表年月:2018.7.22-25
43. 学会名:第 48 回天文・天体物理若手夏の学校、発表者:谷口大輔、松永典之、小林尚
人、福江慧、濱野哲史、池田優二、河北秀世、近藤莊平、鮫島寛明、安井千香子、発表
標題名:近赤外線高分散分光器 WINERED:マゼラン望遠鏡用大気分散補正ユニットの設
計、開催地:愛知県 ロワジュールホテル豊橋、発表年月:2018.7.22-25
44. 学会名:SPIE 2018 Astronomical Telescopes + Instrumentation、発表者:Yuji Ikeda, Naoto
Kobayashi, Sohei Kondo, Shogo Otsubo, Ayaka Watase, Taichi Murai, Kyoko Sakamoto,
Satoshi Hamano, Hiroaki Sameshima, Kei Fukue, Akira Arai, Tomohiro Yoshikawa, Kei-ichi
Takenaka, Takeo Manome, Shinji Mukai, Naoto Iida, Kentaro Yanagibashi, Chikako Yasui,
Misaki Mizumoto, Noriyuki Matsunaga, Giuseppe Bono, and Hideyo Kawakita、発表標題
名: Very high-sensitive NIR high-resolution spectrograph WINERED: On-going
observations at NTT、開催地:Austin, Texas、発表年月:2018.06.10-15
45. 学会名:SPIE (Astronomical Telescopes + Instrumentation)、発表者:Yuji Ikeda, Naoto
Kobayashi, Sohei Kondo, Shogo Otsubo, Ayaka Watase, Taichi Murai, Kyoko Sakamoto,
Satoshi Hamano, Hiroaki Sameshima, Kei Fukue, Akira Arai, Tomohiro Yoshikawa, Kei-ichi
Takenaka, Takeo Manome, Shinji Mukai, Naoto Iida, Kentaro Yanagibashi, Chikako Yasui,
Misaki Mizumoto, Noriyuki Matsunaga, Giuseppe Bono, and Hideyo Kawakita、発表標題
名: Very high-sensitive NIR high-resolution spectrograph WINERED: On-going
observations at NTT、開催地:Austin, Texas、発表年月:2018.6.14-19
46. 学会名:Rosetta Science Workshop and SWT49、発表者:Shinnaka, Yoshiharu、発表標題
名:Nitrogen isotopic ratios in amine and nitrile in comets、開催地:ギリシャ、発表年月:
2018.5.28-6.1
47. 学会名:日本地球惑星科学連合 2018 年大会、発表者:新中善晴、発表標題名:
17P/Homes 彗星の中間赤外線スペクトルから探る鉱物の形成環境、開催地:千葉県 幕
張メッセ 国際会議場、発表年月:2018.5.20-24
48. 学会名:日本地球惑星科学連合 2018 年大会、発表者:新中善晴、発表標題名:
Polarimetry of Near-Earth Asteroid(3200) phaethon 2017 December、開催地:千葉県 幕
張メッセ 国際会議場、発表年月:2018.5.20-24

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

49. 学会名: 日本地球惑星科学連合 2018 年大会、発表者: Yuna Grace Kwon、Masateru Ishiguro、Yoshiharu Shinnaka、Tatsuya Nakaoka、Koji S. Kawabata、Daisuke Kuroda、Hidekazu Hanayama、Miho Kawabata、Makoto Uemura、Hiroshi Akitaya、発表標題名: Spectropolarimetric Signals of Comet 2P/Encke During Its 2017 Apparition、開催地: 千葉県 幕張メッセ 国際会議場、発表年月: 2018.5.20-24
50. 学会名: EWASS、発表者: kawakita、発表標題名: Nucleosynthesis in Classical Novae: Isotopic Ratios of Carbon and Nitrogen in V2676 Oph、開催地: Liverpool、発表年月: 2018.4.3-6
51. 学会名: EWASS、発表者: Arai, Akira、発表標題名: Nucleosynthesis in Classical Novae: Detection of Beryllium-7 by Optical High-Resolution Spectroscopic Observations、開催地: Liverpool、発表年月: 2018.4.3-6
52. 学会名: 第 23 回 天体スペクトル研究会、発表者: 福江 慧, 松永典之, 谷口大輔, 小林尚人, 近藤荘平, 鮫島寛明, 濱野哲史, 河北秀世, 池田優二, 辻本拓司, 安井千香子, G.Bono, L.Inno, WINERED 開発チーム、発表標題名: 近赤外線高分散分光器 WINERED を用いた、z',Y,J バンドにおける晩期型星の化学組成解析、開催地: ノートルダム清心女子大学、発表年月: 2018.02.24-25
53. 学会名: 天の川銀河研究会 2017、発表者: 谷口 大輔, 松永典之, 小林尚人, 福江慧, 濱野哲史, 池田優二, 河北秀世, 近藤荘平, 鮫島寛明, 安井千香子、発表標題名: 近赤外高分散分光器 WINERED を用いた Y、J バンドのライン強度比からの晩期型巨星有効温度の決定法、開催地: 鹿児島大学、発表年月: 2017.10.24-26
54. 学会名: 天の川銀河研究会 2017、発表者: 福江 慧, 松永典之, 谷口大輔, 小林尚人, 近藤荘平, 鮫島寛明, 濱野哲史, 河北秀世, 池田優二, 辻本拓司, 安井千香子, G.Bono, L.Inno, WINERED 開発チーム、発表標題名: 近赤外高分散分光器 WINERED を用いた変光星の分光観測と組成解析の現状、開催地: 鹿児島大学、発表年月: 2017.10.24-26
55. 学会名: 天の川銀河研究会 2017、発表者: 池田優二, 小林尚人, 松永典之, 河北秀世, WINERED 開発/運用チーム、発表標題名: 高感度近赤外線高分散分光器 WINERED とそれをを用いた銀河の化学進化の研究、開催地: 鹿児島大学、発表年月: 2017.10.24-26
56. 学会名: 天の川銀河研究会 2017、発表者: 松永典之、発表標題名: 脈動変光星を用いた銀河系研究、開催地: 鹿児島大学、発表年月: 2017.10.24-26
57. 学会名: 日本天文学会 2017 年秋季、発表者: 池田優二, 小林尚人, 松永典之, 河北秀世, 近藤荘平, 福江慧, 鮫島寛明, 濱野哲史, 新井彰, 安井千香子, WINERED 開発チーム、発表標題名: 近赤外線高分散分光器 WINERED が拓く short-NIR 領域での恒星物理学、開催地: 北海道大学、発表年月: 2017.9.11-13
58. 学会名: 日本天文学会 2017 年秋季、発表者: 近藤荘平, 池田優二, 小林尚人, 安井千香子, 福江慧, 鮫島寛明, 濱野哲史, 大坪翔悟, 渡瀬彩華, 村井太一, 竹中慶一, 新井彰, 河北秀世, 松永典之, WINERED 開発グループ、発表標題名: 近赤外線高分散分光器 WINERED: 高感度非冷却近赤外線分光器の実現、開催地: 北海道大学、発表年月: 2017.9.11-13
59. 学会名: 日本天文学会 2017 年秋季、発表者: 渡瀬彩華, 池田優二, 近藤荘平, 濱野哲史, 大坪翔悟, 福江慧, 鮫島寛明, 新井彰, 村井太一, 河北秀世, 安井千香子, Giuseppe Bono, 松永典之, 小林尚人, WINERED 開発グループ、発表標題名: 近赤外線高分散分光器 WINERED: 波長安定性が高 S/N 赤外線スペクトルに与える影響、開催地: 北海道大学、発表年月: 2017.9.11-13
60. 学会名: 日本天文学会 2017 年秋季、発表者: 濱野哲史, 河北秀世, 竹中慶一, 池田優二, 近藤荘平, 鮫島寛明, 福江慧, 新井彰, 大坪翔悟, 渡瀬彩華, 小林尚人, 松永典之, 安井千香子, WINERED 開発チーム、発表標題名: 近赤外線高分散分光器 WINERED: C2,

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

CN 分子バンドの検出、開催地：北海道大学、発表年月：2017.9.11-13

61. 学会名：日本天文学会 2017 年秋季、発表者：猿楽祐樹、猿楽祐樹、池田優二、加地紗由美、小林尚人、助川隆、新崎貴之、近藤荘平、河北秀世、安井千香子、発表標題名：VINROUGE 搭載用高効率 Ge イメージングレーティングの低温性能実証、開催地：北海道大学、発表年月：2017.9.11-13
62. 学会名：日本天文学会 2017 年秋季、発表者：福江慧、近藤荘平、鮫島寛明、濱野哲史、河北秀世、池田優二、松永典之、谷口大輔、小林尚人、安井千香子、辻本拓司、WINERED 開発チーム、発表標題名：近赤外線高分散分光器 WINERED : z', Y, J バンドにおける晩期型星の元素組成解析、開催地：北海道大学、発表年月：2017.9.11-13
63. 学会名：日本天文学会 2017 年秋季、発表者：竹中慶一、濱野哲史、河北秀世、池田優二、近藤荘平、鮫島寛明、福江慧、新井彰、大坪翔悟、渡瀬彩華、小林尚人、松永典之、安井千香子、WINERED 開発チーム、発表標題名：近赤外線高分散分光器 WINERED : DIB λ 10697 のキャリア分子への制限、開催地：北海道大学、発表年月：2017.9.11-13
64. 学会名：日本天文学会 2017 年秋季、発表者：谷口大輔、松永典之、小林尚人、福江慧、濱野哲史、池田優二、河北秀世、近藤荘平、鮫島寛明、安井千香子、発表標題名：近赤外線高分散分光器 WINERED を用いた Y, J バンドのライン強度比からの晩期型巨星有効温度の決定法、開催地：北海道大学、発表年月：2017.9.11-13
65. 学会名：The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects IV、発表者：Kawakita, Hideyo、発表標題名：Evolution of V2676 Oph: formation of molecules and dust grains、開催地：Palermo, Italy、発表年月：2017.9.11-13
66. 学会名：The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects IV、発表者：Arai, Akira、発表標題名：The origin of absorption feature and the ejecta structure of V2659 Cyg、開催地：Palermo, Italy、発表年月：2017.9.11-13
67. 学会名：日本天文学会 2017 年秋季、発表者：福江慧、近藤荘平、鮫島寛明、濱野哲史、河北秀世、池田優二、松永典之、谷口大輔、小林尚人、安井千香子、辻本拓司、WINERED 開発チーム、発表標題名：近赤外線高分散分光器 WINERED : z', Y, J バンドにおける晩期型星の元素組成解析、開催地：北海道大学、発表年月：2017.9.11-13
68. 学会名：日本天文学会 2017 年秋季、発表者：鮫島寛明、池田優二、福江慧、近藤荘平、濱野哲史、河北秀世、松永典之、小林尚人、安井千香子、辻本拓司、WINERED 開発チーム、発表標題名：近赤外線高分散分光器 WINERED: A 型星の近赤外線ラインリスト、開催地：北海道大学、発表年月：2017.9.11-13
69. 学会名：日本天文学会 2017 年秋季、発表者：竹中慶一、濱野哲史、河北秀世、池田優二、近藤荘平、鮫島寛明、福江慧、小林尚人、松永典之、安井千香子、WINERED 開発チーム、発表標題名：近赤外線高分散分光器 WINERED: DIB λ 10697 のキャリア分子への制限、開催地：北海道大学、発表年月：2017.9.11-13
70. 学会名：日本天文学会 2017 年秋季、発表者：猿楽祐樹、池田優二、加地紗由美、小林尚人、助川隆、新崎貴之、近藤荘平、河北秀世、安井千香子、発表標題名：近赤外線高分散分光器 WINERED:高感度非冷却近赤外線分光器の実現、開催地：北海道大学、発表年月：2017.9.11-13
71. 学会名：日本天文学会 2017 年秋季、発表者：猿楽祐樹、池田優二、小林尚人、馬目威男、堀内雅彦、柳橋健太郎、飯田直人、新崎貴之、加地紗由美、河北秀世、近藤荘平、松永典之、本田充彦、安井千香子、臼田知史、発表標題名：超低熱膨張セラミックを用いた赤外線観測用アサーマル反射光学系の開発、開催地：北海道大学、発表年月：2017.9.11-13
72. 学会名：Nuclear spin effects in Astrochemistry、発表者：Kawakita, Hideyo、発表標題名：Nuclear Spin Isomers in Cometary Molecules: Survey for Ortho-to-Para Ratios of

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

- Ammonia in Comets、開催地:Grenoble, France、発表年月:2017.5.2-4
73. 学会名:Fullerenes in Space Workshop、発表者:Hamano, Satoshi、発表標題名:Survey of Near infrared Diffuse Interstellar Bands、開催地:Edinburgh, UK、発表年月:2017.4.9-10
74. 学会名:IAUS 332: Astrochemistry VII — Through the Cosmos from Galaxies to Planets、発表者:Hamano, S.、発表標題名:A Survey of Near-infrared Diffuse Interstellar Bands、開催地:Puerto Varas, Chile、発表年月:2017.3.20-24(＊)
75. 学会名:日本天文学会 2017 年春季年会、発表者:河北秀世、新中善晴、WINERED グループ、発表標題名:WINERED による彗星 CN 分子バンド輝線の高分散分光観測、開催地:九州大学、発表年月:2017.3.15-18
76. 学会名:日本天文学会 2017 年春季年会、発表者:加地紗由美、猿楽祐樹、池田優二、小林尚人、助川隆、中西賢之、近藤莊平、河北秀世、発表標題名:赤外線光学材料の低温度減光係数測定のための高精度 FTIR システムの開発と初期測定結果、開催地:九州大学、発表年月:2017.3.15-18(＊)
77. 学会名:日本天文学会 2017 年春季年会、発表者:大坪翔悟、近藤莊平、池田優二、小林尚人、渡瀬彩華、福江慧、吉川智裕、濱野哲史、鮫島寛明、竹中慶一、村井太一、坂本匡子、河北秀世、Giuseppe Bono、松永典之、WINERED グループ、発表標題名:近赤外高分散分光器 WINERED:NTT 搭載時における総合性能の評価、開催地:九州大学、発表年月:2017.3.15-18
78. 学会名:日本天文学会 2016 年春季年会、発表者:福江慧、松永典之、山本遼、小林尚人、安井千香子、近藤莊平、池田優二、濱野哲史、新崎貴之、辻本拓司、G. Bono、L. Inno、発表標題名:近赤外線高分散分光による銀河系中心セフィアの金属量の導出、開催地:首都大学東京、発表年月:2016.3.14-17
79. 学会名:日本天文学会 2016 年春季年会、発表者:鮫島寛明、池田優二、近藤莊平、濱野哲史、河北秀世、小林尚人、松永典之、福江慧、発表標題名:近赤外線高分散分光器 WINERED: 大気吸収線の補正、開催地:首都大学東京、発表年月:2016.3.14-17(＊)
80. 学会名:日本天文学会 2016 年春季年会、発表者:鮫島寛明、吉井謙、発表標題名:クエーサーで探る[Mg/Fe] 組成比の宇宙論的進化と星形成史、開催地:首都大学東京、発表年月:2016.3.14-17
81. 学会名:第 21 回天体スペクトル研究会、発表者:鮫島寛明、発表標題名:近赤外線高分散スペクトルでの大気吸収線の高度な補正、開催地:甲南大学、発表年月:2016.2.27-28
82. 学会名:第 5 回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ、発表者:大坪翔悟、小林尚人、池田優二、松永典之、近藤莊平、鮫島寛明、濱野哲史、河北秀世、発表標題名:近赤外高分散分光器「WINERED」:広帯域モードの性能と R80,000 モードの搭載、開催地:東北大学、発表年月:2015.12.07-09
83. 学会名:近赤外高分散分光研究会、発表者:近藤莊平、発表標題名:近赤外高分散分光器「WINERED」:広帯域モードでの初期成果、開催地:国立天文台、発表年月:2015.11.24-26
84. 学会名:近赤外高分散分光研究会、発表者:大坪翔悟、発表標題名:近赤外高分散分光器「WINERED」:広帯域モードの性能と超高分散モードの搭載、開催地:国立天文台、発表年月:2015.11.24-26
85. 学会名:日本天文学会 2015 年秋季年会、発表者:水本岬希、発表標題名:近赤外高分散分光観測で迫る LBV 星の周辺構造、開催地:甲南大学、発表年月:2016.9.9-11
86. 学会名:日本天文学会 2015 年秋季年会、発表者:安井千香子、小林尚人、泉奈都子、斎藤正雄、Alan T. Tokunaga、発表標題名:銀河系外縁部における低金属量星生成領域 Sh 2-207 の近赤外深撮像、開催地:甲南大学、発表年月:2016.9.9-11

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

87. 学会名: 日本天文学会 2015 年秋季年会、発表者: 泉奈都子, 小林尚人, 安井千香子, 濱野哲史, 斎藤正雄, Alan T. Tokunaga.、発表標題名: WISE データを用いた銀河系最外縁領域における星生成領域探査、開催地: 甲南大学、発表年月: 2016.9.9-11
88. 学会名: 日本天文学会 2015 年秋季年会、発表者: 濱野哲史.、発表標題名: WINERED を用いた Cyg OB2 association の赤外線高分散分光観測-DIB の環境依存性-、開催地: 甲南大学、発表年月: 2016.9.9-11
89. 学会名: 日本天文学会 2015 年秋季年会、発表者: 大坪翔悟.、発表標題名: 、近赤外線高分散分光器 WINERED: high-blazed echelle grating を用いた超高分散化 開催地: 甲南大学、発表年月: 2016.9.9-11
90. 学会名: From Interstellar Ices to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons A Symposium to Honor Lou Allamandola's Contributions to the Molecular Universe、発表者: .Satoshi Hamano、発表標題名: The Survey of Near-Infrared Di use Interstellar Bands、開催地: Annapolis、発表年月: 2015.9.13-17
91. 学会名: The 8th meeting on Cosmic Dust、発表者: .Satoshi Hamano、発表標題名: The interstellar medium viewed by the AKARI far-infrared all-sky survey、開催地: Tokyo、発表年月: 2015.8.17-21
92. 学会名: Frontiers of Stellar Spectroscopy、発表者: .Noriyuki Matsunaga、発表標題名: Kinematics of classical Cepheids in the Nuclear Stellar Disk、開催地: Heidelberg、発表年月: 2015.04.27-30
93. 学会名: Frontiers of Stellar Spectroscopy、発表者: Sohei Kondo.、発表標題名: Studies of late type stars with z-, Y-, J- bands high-resolution spectrograph, WINERED、開催地: Heidelberg、発表年月: 2015.04.27-30
94. 学会名: Frontiers of Stellar Spectroscopy、発表者: .Misaki Mizumoto、発表標題名: Near-Infrared 0.91-1.32 μ m High-resolution Spectroscopy of Luminous Blue Variable Stars with WINERED、開催地: Heidelberg、発表年月: 2015.04.27-30

<研究成果の公開状況>(上記以外)

シンポジウム・学会等の実施状況、インターネットでの公開状況等

<既に実施しているもの>

WINERED 研究会 2018

日時: 2018 年 11 月 19 日(月) 13:00 ~ 20 日(火) 17:00

会場: 東京大学 理学部 1 号館(中央棟)10 階 1042 号室

<http://stella.astron.s.u-tokyo.ac.jp/workshop201811/>

<これから実施する予定のもの>

該当なし

14 その他の研究成果等

赤外線高分散ラボ(LIH=Laboratory of Infrared High-resolution spectroscopy)

・赤外線高分散ラボ

<http://merlot.kyoto-su.ac.jp/LIH/index.html>

・新星爆発関連

<https://www.kyoto-su.ac.jp/observatory/project.html>

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

15 「選定時」及び「中間評価時」に付された留意事項及び対応

<「選定時」に付された留意事項>

該当なし

<「選定時」に付された留意事項への対応>

該当なし

<「中間評価時」に付された留意事項>

該当なし

<「中間評価時」に付された留意事項への対応>

該当なし

(様式2)

法人番号	261003
プロジェクト番号	S1411028

16

(千円)

年度・区分	支出額	内 訳						備考
		法人負担	私学助成	共同研究機関負担	受託研究等	寄付金	その他()	
平成26年度	施設	0						
	装置	0						
	設備	0						
	研究費	9,385	5,495	3,890				
平成27年度	施設	0						
	装置	49,896	24,948	24,948				
	設備	21,206	7,873	13,333				
	研究費	26,324	22,796	3,528				
平成28年度	施設	0						
	装置	149,640	74,820	74,820				
	設備	0						
	研究費	52,693	38,246	14,447				
平成29年度	施設	0						
	装置	0						
	設備	0						
	研究費	52,350	35,612	13,338		3,400		国立天文台
平成30年度	施設	0						
	装置	0						
	設備	0						
	研究費	66,764	36,150	14,401		16,213		国立天文台
総額	施設	0	0	0	0	0	0	
	装置	199,536	99,768	99,768	0	0	0	
	設備	21,206	7,873	13,333	0	0	0	
	研究費	207,516	138,299	49,604	0	19,613	0	
総計	428,258	245,940	162,705	0	19,613	0		

法人番号	261003
------	--------

17

《施設》(私学助成を受けていないものも含め、使用している施設をすべて記載してください。)(千円)

施設の名 称	整備年度	研究施設面積	研究室等数	使用者数	事業経費	補助金額	補助主体
神山天文台	H21	1,880㎡		30			
万有館(B209実験室 およびB204実験室)	H25	168㎡		10			

※ 私学助成による補助事業として行った新增築により、整備前と比較して増加した面積

0 m²

《装置・設備》(私学助成を受けていないものは、主なもののみを記載してください。)(千円)

装置・設備の名称	整備年度	型番	台数	稼働時間数	事業経費	補助金額	補助主体
(研究装置) イメージング回析格子 (波長1μm、装置搭載用)	H27		1台	4,000 h	49,896	24,948	私学助成
赤外線検出器(Sci級)	H28		1台	700 h	49,978	24,989	私学助成
イメージング回析格子 (MIR、装置搭載用)	H28		1台	1,400 h	49,982	24,991	私学助成
中間赤外線用エシエル メーター	H28		1台	1,000 h	49,680	24,840	私学助成
(研究設備) 赤外線検出器(Eng.級)	H27		1台	4,000 h	21,206	13,333	私学助成
(情報処理関係設備)							

18 研究費の支出状況

(千円)

年 度	平成	26	年度	積 算 内 訳		
小 科 目	支 出 額	主 な 使 途		主 な 内 容		
		金 額				
教 育 研 究 経 費 支 出						
消 耗 品 費	664	消耗品費		664	プリンタ消耗品(148)、中間赤外線偏光フィルター他(516)	
光 熱 水 費	0			0		
通 信 運 搬 費	0			0		
印 刷 製 本 費	164	論文投稿掲載料		164	論文投稿掲載料(164)	
旅 費 交 通 費	2,240	国外旅費、国内旅費		2,240	国外旅費(1,444)、国内旅費(796)	
報 酬 ・ 委 託 料	2,235	謝金、業務委託費		2,235	謝金(70)、業務委託費(2,165)	
(支 払 手 数 料)	7	送金手数料		7	送金手数料(7)	
計	5,310					
ア ル バ イ ト 関 係 支 出						
人 件 費 支 出 (兼 務 職 員)	358	アルバイト代		358	時給1,000円・年間358時間 実人数4人	
教 育 研 究 経 費 支 出	0			0		
計	358					
設 備 関 係 支 出(1個又は1組の価格が500万円未満のもの)						
教 育 研 究 用 機 器 備 品	2,343	3Dプリンタ		2,343	3Dプリンタ Projeto1000システム(2,343)	
図 書						
計	2,343					
研 究 ス タ ッ フ 関 係 支 出						
リサーチ・アシスタント	1,374				学内3人	
ポストドクター	0					
研究支援推進経費	0					
計	1,374					

		法人番号		261003
年 度	平成 27 年度			
小 科 目	支 出 額	積 算 内 訳		
		主 な 使 途	金 額	主 な 内 容
教 育 研 究 経 費 支 出				
消 耗 品 費	972	消耗品費	972	真空デシケータ(342)、可視光用反射型回折格子(172)、その他消耗品(458)
光 熱 水 費	0		0	
通 信 運 搬 費	139	輸送費	139	機器輸送費(139)
印 刷 製 本 費	206	論文投稿掲載料	206	論文投稿掲載料(206)
旅 費 交 通 費	2,478	国外旅費、国内旅費	2,478	国外旅費(1,941)、国内旅費(537)
報 酬・委 託 料	2,358	謝金、業務委託費	2,358	謝金(20)、業務委託費(2,338)
(支 払 手 数 料)	15	送金手数料	15	送金手数料(15)
(諸 会 費)	161	学会参加費	161	学会参加費(161)
(公租公課・保険料)	150	空港税ほか	150	公租公課(34)、その他の保険料(116)
計	6,479			
ア ル バ イ ト 関 係 支 出				
人件費支出 (兼務職員)	708	アルバイト代	708	時給1,450円・年間202時間、時給1,000円・年間416時間 実人数 2人
教育研究経費支出	0		0	
計	708			
設 備 関 係 支 出(1個又は1組の価格が500万円未満のもの)				
教育研究用機器備品	0		0	
図 書	0		0	
計	0			
研 究 ス タ ッ フ 関 係 支 出				
リサーチ・アシスタント	1,857			学内2人
ポスト・ドクター	17,280			学内4人
研究支援推進経費	0			
計	19,137			

		法人番号		261003
年 度	平成 28 年度			
小 科 目	支 出 額	積 算 内 訳		
		主 な 使 途	金 額	主 な 内 容
教 育 研 究 経 費 支 出				
消 耗 品 費	1,335	消耗品費	1,335	一般消耗品(1,335)
光 熱 水 費	0		0	
通 信 運 搬 費	10,067	輸送費	10,067	輸送費(10,067)
印 刷 製 本 費	158	論文投稿掲載料	158	論文掲載料(158)
旅 費 交 通 費	7,534	国内旅費、国外旅費	7,534	国内旅費(617)、国外旅費(6,917)
報 酬・委 託 料	9,845	業務委託費、謝金	9,845	業務委託費(9,795)、謝金(50)
(諸 会 費・出 版 物 費)	323	学会参加費・出版物費	323	学会参加費(320)、出版物費(3)
(公租公課・保険料)	261	空港税ほか	261	公租公課(233)、その他の保険料(28)
(支 払 手 数 料)	107	送金手数料	691	送金手数料(107)
計	29,630		30,214	
ア ル バ イ ト 関 係 支 出				
人件費支出 (兼務職員)	586	アルバイト代	586	時給1,000円・年間586時間 実人数 4人
教育研究経費支出	0		0	
計	586			
設 備 関 係 支 出(1個又は1組の価格が500万円未満のもの)				
教育研究用機器備品	2,321	真空ポンプほか	2,321	真空ポンプ(1,306)、温度コントローラ(1,015)
図 書	0			
計	2,321			
研 究 ス タ ッ フ 関 係 支 出				
リサーチ・アシスタント	236			学内1人
ポスト・ドクター	19,920			学内5人
研究支援推進経費	0			
計	20,156			

		法人番号		261003	
年 度	平成 29 年度				
小 科 目	支 出 額	積 算 内 訳			
		主 な 使 途	金 額	主 な 内 容	
教 育 研 究 経 費 支 出					
消 耗 品 費	472	消耗品費	472	一般消耗品(472)	
光 熱 水 費	0		0		
通 信 運 搬 費	1,482	輸送費	1,482	輸送費(1,482)	
印 刷 製 本 費	0	印刷製本費	0		
旅 費 交 通 費	9,252	国内外出張旅費	9,252	国内旅費(846)、国外旅費(8,406)	
報 酬・委 託 料	8,826	業務委託費・謝金	8,826	業務委託費(8,826)	
(賃借料・諸会費)	411	賃借料・学会参加費	411	賃借料(337)学会参加費(74)	
(公租公課・支払手数料)	1,524	公租公課・支払手数料	1,524	公租公課(1,396)、支払手数料(128)	
(燃料費・保険料)	95	燃料費・保険料	95	燃料費(9)、保険料(86)	
計	22,062		22,062		
ア ル バ イ ト 関 係 支 出					
人件費支出 (兼務職員)	996	アルバイト代	996	時給1,450円・年間330時間、時給1,000円・年間518時間 実人数5人	
教育研究経費支出	0		0		
計	996		996		
設 備 関 係 支 出(1個又は1組の価格が500万円未満のもの)					
教育研究用機器備品	6,242	冷凍機ほか	6,242	冷凍機(3,132)、透過型球面原器(1,188)、複合機他(1,922)	
図 書	19	図書	19		
計	6,261		6,261		
研 究 ス タ ッ フ 関 係 支 出					
リサーチ・アシスタント	2,351			学内2人	
ポスト・ドクター	17,280			学内4人	
研究支援推進経費	0				
計	19,631				

年 度	平成 30 年度				
小 科 目	支 出 額	積 算 内 訳			
		主 な 使 途	金 額	主 な 内 容	
教 育 研 究 経 費 支 出					
消 耗 品 費	5,134	消耗品費	5,134	一般消耗品(5,134)	
光 熱 水 費	0		0		
通 信 運 搬 費	1,715	輸送費	1,715	輸送費(1,715)	
印 刷 製 本 費	14	印刷製本費	14	印刷製本費(14)	
旅 費 交 通 費	7,087	国内外出張旅費	7,087	国内旅費(1,171)、国外旅費(5,916)	
報 酬・委 託 料	11,578	業務委託費・保守委託費	11,578	業務委託費(11,085)、保守委託費(493)	
(賃借料・諸会費)	521	賃借料・学会参加費	521	賃借料(269)学会参加費(252)	
(公租公課・支払手数料)	529	公租公課・支払手数料	529	公租公課(198)、支払手数料(331)	
(燃料費・保険料)	32	燃料費・保険料	32	燃料費(8)、保険料(24)	
計	26,610		26,610		
ア ル バ イ ト 関 係 支 出					
人件費支出 (兼務職員)	641		641	時給1,450円・年間175時間、時給1,000円・年間388時間 実人数2人	
教育研究経費支出	0				
計	641		641		
設 備 関 係 支 出(1個又は1組の価格が500万円未満のもの)					
教育研究用機器備品	3,888	観測装置制御ユニット	3,888	観測装置制御ユニット(3,888)	
図 書	0				
計	3,888		3,888		
研 究 ス タ ッ フ 関 係 支 出					
リサーチ・アシスタント	2,372			学内2人	
ポスト・ドクター	17,040			学内4人	
研究支援推進経費	0				
計	19,412				

研究成果の詳細

WINERED研究会2018

日程 : 2018年11月19日(月) 13:00 ~ 20日(火) 17:00頃
 場所 : 東京大学 理学部1号館(中央棟) 1042号室



11月19日(月) 現在までの研究成果

セッション1 (座長: 濱野)		
13:00 - 13:20	鮫島	大気吸収補正法の考案とWINEREDスペクトルへの適用例
13:20 - 13:40	池田	ラインリスト (K型、G型)
13:40 - 14:00	近藤	WINERED波長域のFeIラインによるK型Giantの金属量とマイクロ乱流の決定
14:00 - 14:20	福江	WINEREDデータを用いた金属量標準星の化学組成解析
14:20 - 14:40	松永	WINERED波長域のレアなラインの調査
14:40 - 14:55	コーヒーブレイク	
セッション2 (座長: 新中)		
14:55 - 15:15	谷口	赤色超巨星組成解析の手法と結果の現状
15:15 - 15:35	安井	中心星付近のmass flowプロセスの時間進化: 近赤外線高分散分光器WINEREDによるTaurus星生成領域中の中質量星の観測
15:35 - 15:55	濱野	NIR Diffuse Interstellar Bands Survey with WINERED
15:55 - 16:15	竹中	DIB λ 10697のキャリアへの制限
16:15 - 16:30	コーヒーブレイク	
16:30 - 16:50	水本 (skype)	活動銀河核アウトフローが作る衝撃波の近赤外線分光観測
セッション3 (座長: 松永)		
16:50 - 17:30	議論 (解析・解釈の議題、データ解析の今後)	
	濱野	WINERED Pipeline: current status, problems, & upcoming updates
17:30	終了 (*向ヶ丘ファカルティハウスへのチェックイン)	
18:30 - late	懇親会	

11月20日(火) マゼラン望遠鏡での計画

セッション4 (座長: 福江)		
9:30 - 9:45	小林	マゼラン移設の現状と見通し
9:45 - 10:25	大坪	マゼラン移設に向けた装置改修
10:25 - 10:40	渡瀬	マゼラン望遠鏡用 大気分散補正の開発状況
10:40 - 10:50	松永	マゼランで期待される限界等級、ターゲット
10:50 - 11:10	コーヒーブレイク	
セッション5 (座長: 福江)		
11:10 - 11:30	松永	銀河系セフィイド
11:30 - 11:50	谷口	散開星団を用いた銀河系円盤の金属量分布
11:50 - 13:00	昼休み	
セッション6 (座長: 新井)		
13:00 - 13:20	辻本	トランスアイアン及びr過程元素の化学進化研究
13:20 - 13:40	安井	様々なパラメータ空間におけるYSOの観測提案
13:40 - 14:00	濱野	Magellanic Clouds with Magellan: Complex Molecules in Low Metallicity Environment
14:00 - 14:20	河北	Ozone in Solar System Objects: O ₂ emission at 1.27 μ m
14:20 - 14:40	コーヒーブレイク (集合写真)	
セッション7 (座長: 近藤)		
14:40 - 15:00	新井	WINEREDで行う新星の組成解析など
15:00 - 15:20	新中	マゼラン望遠鏡での彗星の同位体観測
15:20 - 15:40	鮫島	スペクトルライブラリーの構築と $z \sim 3$ クェーサーの観測
15:40 - 16:00	コーヒーブレイク	
セッション8 (座長: 小林)		
16:00 - 17:00	議論 (マゼラン望遠鏡での観測へ向けて)	
17:00	終了	

*Internet : eduroam をご利用下さい。

*Banquet : 炙り酒場 縁~yukari~ (<https://tabelog.com/tokyo/A1310/A131004/13150422/>)

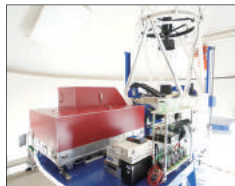
大気吸収補正法の考案と WINERED スペクトルへの適用例

2018-11-19
 鮫島 寛明 (京都産業大学)

WINERED 研究会 2018 (@東京大学)

1

近赤外線高分散分光器 WINERED の概要



WINERED とは...

Warm **I**nfrared **E**chelle spectrograph to
 Realize **E**xtrême **D**ispersion and sensitivity

特徴

高感度 (スループット >50% (WIDE) / >35% (HIRES))
 高分散 (R ~ 28,000 (WIDE) / 68,000 (HIRES))
 広波長域 (0.90-1.35 μm)

運用

2012-2016年 神山天文台 1.3 m 望遠鏡 @京都
 2015年 HIRES モード実装
 2016年 140, 200, 400 μm スリット実装
 2017-2018年 NTT 3.5 m 望遠鏡 @チリ
 2017年 オートガイダー実装
 2019年- マゼラン 6.5 m 望遠鏡 @チリ

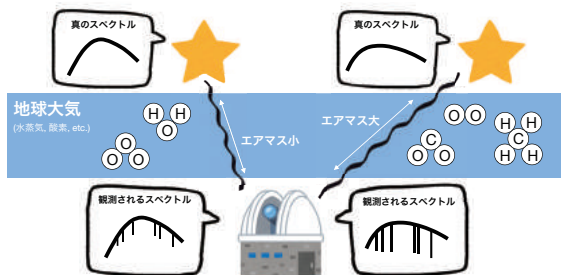
本講演は基本的に WIDE モードの話

Mode	WIDE	HIRES-Y	HIRES-J
Wavelength coverage	0.90-1.35 μm (J, Y, I bands)	0.96-1.11 μm (Y band)	1.14-1.35 μm (J band)
Spectral resolution (R=λ/Δλ)	28,000	68,000	
Throughput	> 50%	> 35%	
Main disperser	Reflective echelle grating	Mosaicked high-blazed echelle grating	
Array	1.7 μm cut-off HAWAII-2RG		
Size	1.8m(L) x 1.1m(W) x 1.0m(H)		

2

大気による光の吸収

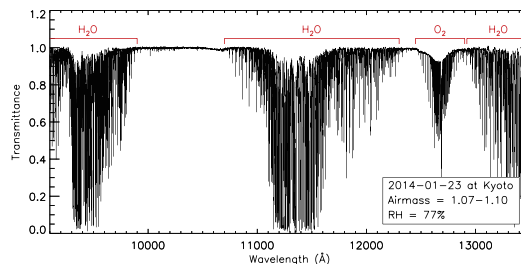
- 近赤外線の地上観測では避けられない問題
- エアマスが大きいほど吸収が深くなる (空間依存性)
- 大気中の吸収分子の量は時間とともに変化する (時間依存性)



3

大気吸収の実際の様子

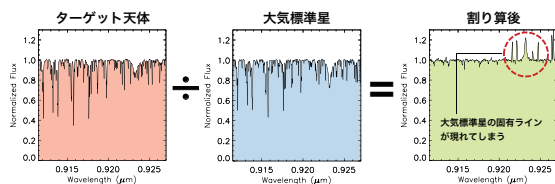
- WINERED 波長域の場合、大部分は水蒸気の吸収。
- 大気吸収の補正をしないと、スペクトル情報の多くを失ってしまいます。



4

大気標準星による補正と問題点

- ターゲットと近い位置にありスペクトルに特徴のない天体を大気標準星として観測し、割り算により大気吸収補正を施すことが昔から行われている。
- が、実際にはのっぺらぼうなスペクトルを持った星はほとんど存在しない。
- そのまま割り算すると標準星の固有ラインが割り算後のスペクトルに残ってしまい、ターゲットの真のスペクトルが得られない。



5

モデルによる補正と問題点

公開されている大気吸収補正プログラムの例

- TellFit (Gullikson+14)
- molecfit (Smette+15, Kaush+15)

モデル法の長所

- 標準星の観測が不要 (貴重な観測時間の節約)
- 標準星を取得しそこねたデータの救済

モデル法の弱点

- ラインデータベース (HITRAN) の不完全性
- ラインプロファイル関数の再現の不完全性
- 観測時の大気パラメータ取得の不完全性
- 風の影響の再現の不完全性

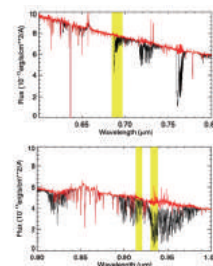


Fig. 7. Visible near-infrared spectrum of RT1 LRV star. The pipeline-retrieved spectrum is shown in black. The shaded areas show the inclusion regions used to model the line spectral functions and determine the column densities of H₂O and O₂. The spectrum corrected by the derived transmission spectrum is shown in red. (Smette+15)

6

本講演の内容

WINERED スペクトルの大気吸収補正法の確立

- モデルによる補正
- 標準星による補正

補正精度の検証

- 2つの手法の定性的および定量的比較
- エアマス差および時間差と補正精度

大気補正作業の体制

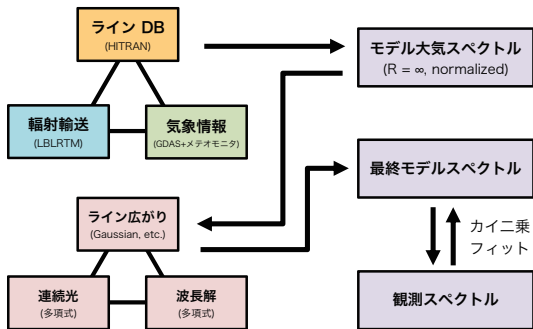
- 具体的な作業内容
- 今後の検討事項

7

WINERED スペクトルの 大気吸収補正法の確立

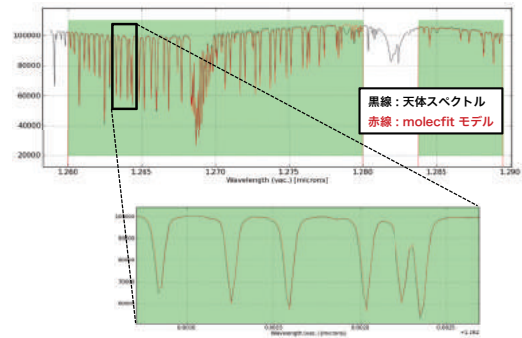
8

モデル法 (molecfit) の概要



9

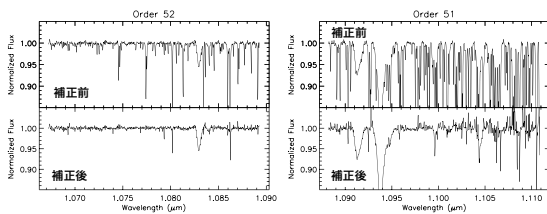
molecfit のフィット例



10

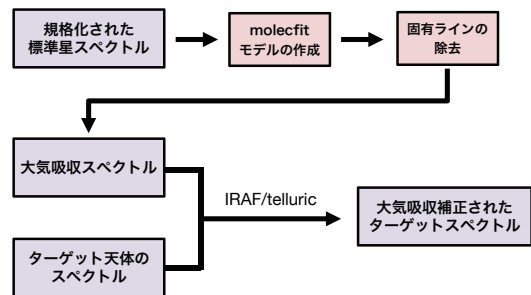
molecfit による補正例

- 浅い吸収であればかなりの精度で補正可能。
- Line spread function 再現の不完全性がノイズに最も寄与している印象。
- 固有ラインの多い天体だとフィット領域が限られるので要工夫。



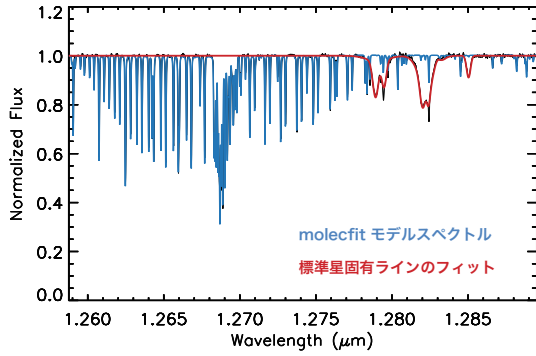
11

標準星を用いた補正法



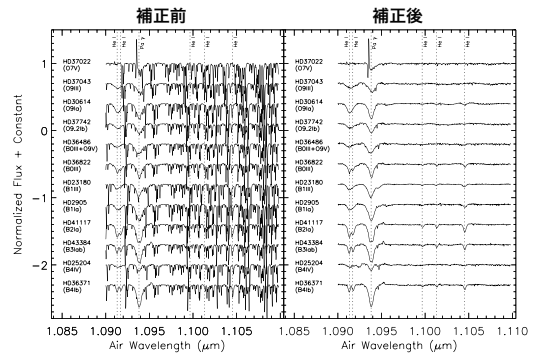
12

標準星の固有ライン除去



13

固有ライン除去した標準星による OB 型星の大気補正

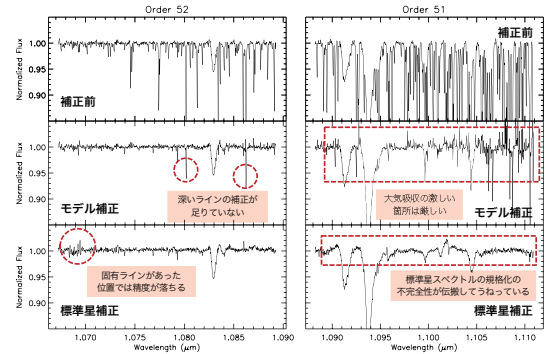


14

補正精度の検証

15

定性的な比較



16

定量的検証

図の見方

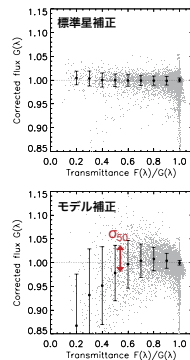
- 【横軸】 大気吸収の深さ。左ほど深い。
- 【縦軸】 1に近いほど、また分散が小さいほど補正精度が高い。
- 観測スペクトルのうち、酸素吸収帯域以外の全ピクセルについてプロットしている。

考察

- 定性的な比較と同様、モデル法では吸収が深いところで精度が落ちている。

記号の定義

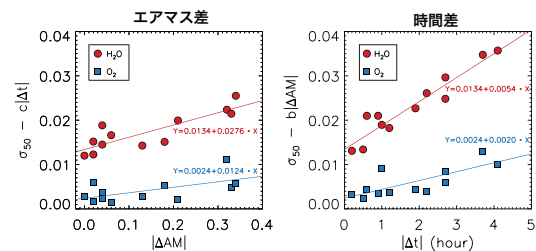
- $F(\lambda)$: 大気吸収補正前の規格化済みスペクトル
- $G(\lambda)$: 大気吸収補正後の規格化済みスペクトル
- σ_{50} : 透過率 50% での $G(\lambda)$ の標準偏差



17

標準星による補正の精度のエアマス差、時間差依存性

- 予想通り、ターゲットと標準星間のエアマス差、時間差が大きいかほど補正精度が落ちている。
- 特に水蒸気は時間依存性が高い。なるべくターゲットと標準星間の観測時間差を縮めた方がよい。



18

まとめ

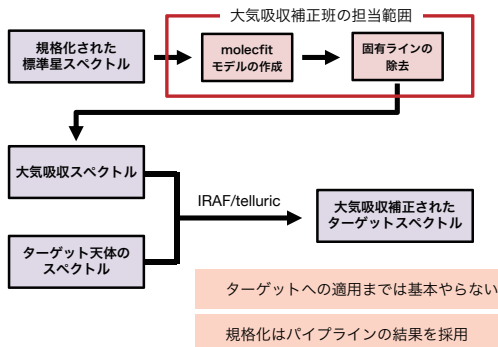
	モデル法	標準星
長所	<ul style="list-style-type: none"> 標準星の観測不要 	<ul style="list-style-type: none"> 補正精度が高い
短所	<ul style="list-style-type: none"> 補正精度が今ひとつ 吸収の深いオーダーは実質補正できない 	<ul style="list-style-type: none"> 標準星の観測が必要 固有ライン除去に人手と時間が必要
その他注意点	<ul style="list-style-type: none"> 天体に若干依存 (固有ラインの多い天体では困難) 	<ul style="list-style-type: none"> 高精度達成にはターゲットとの時間差を短くする必要 連続光規格化の精度がターゲットに伝搬する

19

大気吸収補正作業の体制

20

担当している箇所



21

標準星処理の作業内容

molecfit モデルの作成

- 適当な初期値で自動フィットするスクリプトがあるので、ほぼ自動でできる。
- 作業時間は約 0.5-2 時間。

固有ラインの除去

- 自動化できていない。作業者が各オーダースペクトルを目で確認し、フィット範囲とガウシアン数を設定している。
- 作業時間は約 2-3 時間。

作業者一人あたり 3-4 天体/週 が現実的な処理量だろう

22

今後の検討事項

項目	優先度	期限	処理状況
HIRES 対応化	高	2018年度中	基本はできている。既存のスクリプトに組み込む。
解析ログ作成	中	2018年度中	フォーマットの策定中。フォーマットさえ決まればすぐできるはず。
固有ライン除去の自動化	低	未設定	未着手。完全自動化は厳しそうだが、一部ラインの処理だけなら可能か。
連続光規格化の精度向上	低	未設定	未着手。molecfit の連続光情報を使う案。

23

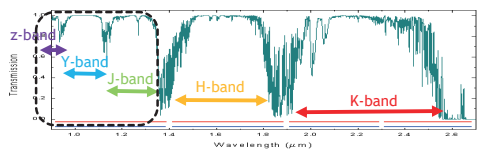
WINERED分光スペクトルを用いた 晩期型星ラインリストの作成

2018/11/19 WINERED研究会@本郷
池田優二

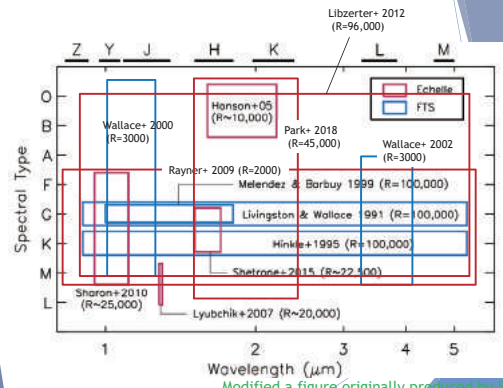
近赤外線領域のラインリストの有用性

- 近赤外線領域（特に z, Y, J=short NIR）での高分散分光は恒星物理学の分野において実りが多い、新しいツール
- 高感度分光器の発展によって可視レベルでの解析が可能に
- 化学組成の研究においてラインリストの整備は重要かつ急務

- ①可視光では暗い天体の高感度観測
 - 低温度星 (M型矮星、褐色矮星、炭素星...)
 - 星間/星周ガスに埋もれた天体 (銀河内縁部天体、YSO、LBVなど)
- ②可視光領域には現れない (or 弱い) 原子・分子種の観測
 - S, P, S-process元素 (Sr, Y), heavy elementsなど
 - 2原子分子 (CO, C₂, CNなど)

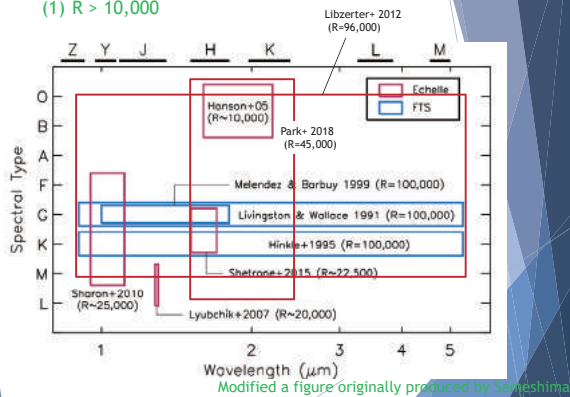


近赤外線領域のラインリスト



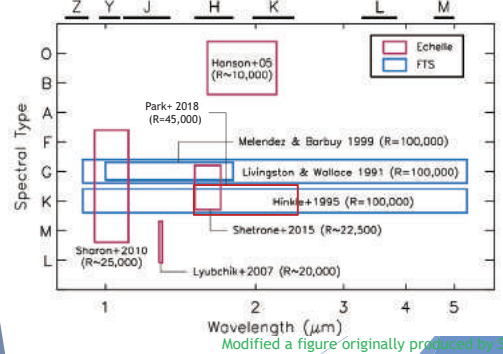
近赤外線領域のラインリスト

(1) $R > 10,000$



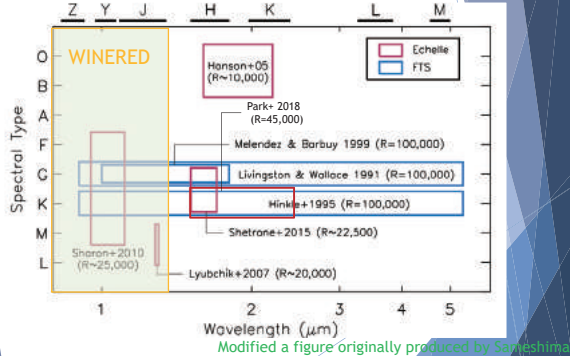
近赤外線領域のラインリスト

- (1) $R > 10,000$
- (2) アトラスを除く (lineがIDされている)



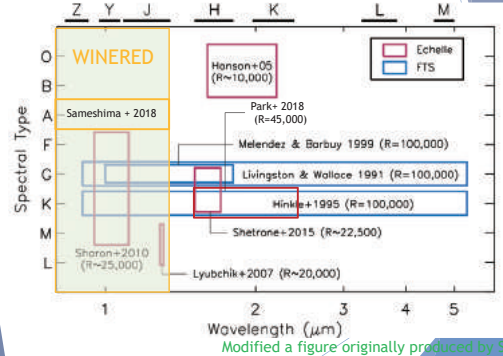
近赤外線領域のラインリスト

- (1) $R > 10,000$
- (2) アトラスを除く (lineがIDされている)



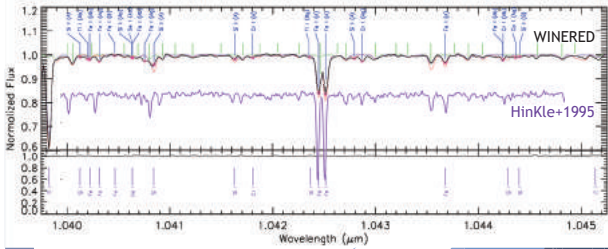
近赤外線領域のラインリスト

- (1) $R > 10,000$
- (2) アトラスを除く



WINERED Astronomical Line-List program (WALL)

- 未開拓の波長域 (0.9-1.35 μ m) とスペクトルタイプにおいて近赤外線領域のラインリストを提供
- 高クオリティの高分散スペクトルによって、より弱いライン (-1%) までのラインリストを提供
- 最終的には、標準的な天体のスペクトルも公開 (= WINERED spectral atlas)



WINERED Astronomical Line-List program (WALL)

- 先行分のラインリスト
 - A型星 ... 21 Lyn (Sameshima + 2018) telluric correctionとbi-product
 - G型星 ... ϵ Leo (進行中: 池田, 鮫島, 福江) FTSによる太陽スペクトルとの比較
 - K型星 ... Arcturus (進行中: 池田, 鮫島, 福江) FTSによるArcturusスペクトルとの比較
- 今後予定しているラインリスト
 - OB型星 ... (準備中: 鮫島+)
 - M型星 ... (未定)
 - Carbon star ... (未定)
 - emission line star ... LVBs, PN, symbiotic star (進行中: 小林+)
 - Nova ... (進行中: 新井+)

WINERED Astronomical Line-List program (WALL)

- 先行分のラインリスト
 - A型星 ... 21 Lyn (Sameshima + 2018) telluric correctionとbi-product
 - G型星 ... ϵ Leo (進行中: 池田, 鮫島, 福江) FTSによる太陽スペクトルとの比較
 - K型星 ... Arcturus (進行中: 池田, 鮫島, 福江) FTSによるArcturusスペクトルとの比較
- 今後予定しているラインリスト
 - OB型星 ... (準備中: 鮫島+)
 - M型星 ... (未定)
 - Carbon star ... (未定)
 - emission line star ... LVBs, PN, symbiotic star (進行中: 小林+)
 - Nova ... (進行中: 新井+)

K型星ラインリスト：観測天体と観測条件

恒星パラメータ

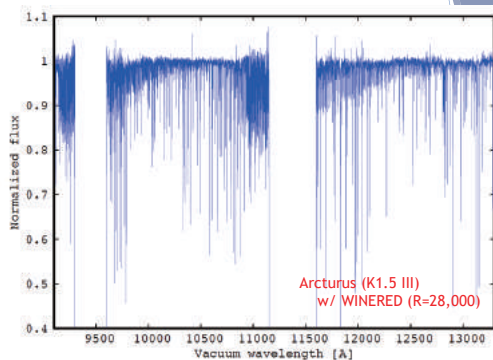
	name	Spe type	J_{mag}	T_{eff}	$\log [g]$	[F/H]	V_{mer}
Object	Arcturus	K1.5 III	-2.25	4,286 [K]	1.64	-0.52	5.7 [km/s]
Std. star	HIP76267	A1IV	2.25	-	-	-	-

観測条件

	Obs. date	$\lambda/\Delta\lambda$	Airmass	Exp. time
Object	2013.02.23 (2 nd run)	28,300	1.27-1.28	2 [sec] x 9
Std. star	2013.02.23 (2 nd run)	28,300	1.33-1.43	60 [sec] x 10

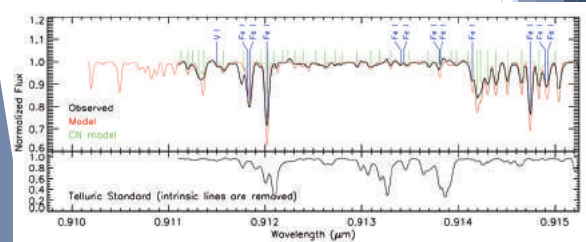
- Objectは明るすぎるためデフォーカスしての撮影
- 解析にはWINERED data pipeline ver. 3.5を使用
- 最終的なSNは-850程度 (ただし、一部波長域ではフリッジの影響がある)

実際に用いたスペクトル



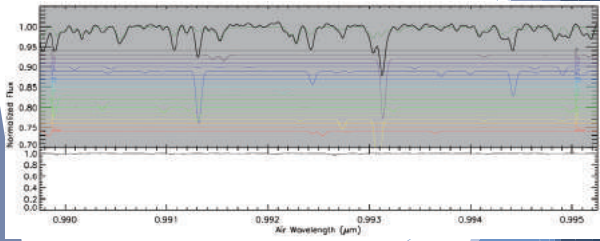
ラインリスト作成手順

- 候補ラインの抽出
 - 観測スペクトルと合成スペクトル (SPTOOLSで作成) の比較
 - ラインデータベースは、VALD3を使用
 - CNラインのみ/個々の元素のみの合成スペクトルも作成
 - 大気吸収の影響確認のため、大気標準星のスペクトルとも比較



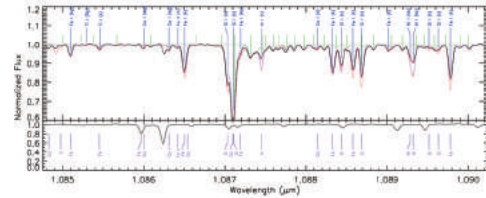
ラインリスト作成手順

- ② ブレンドラインの判定
- 該当元素のみの大気合成スペクトルも用いて判断
 - η の値で判定 (違いが1/10の場合はダブルラインと判定)



ラインリスト作成手順

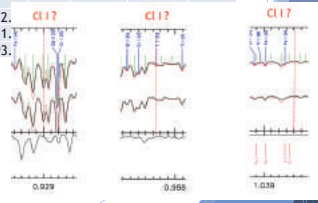
- ③ 強度違い、波長違いのラインの判定
- $|\Delta\lambda| < 0.15\text{\AA}$, $EW_{\text{mod}} > -7$ のものがあればそれを採用
 - $|\Delta\lambda| < 0.3\text{\AA}$, $EW_{\text{mod}} > -4$ のものがあればそれを採用
 - $|\Delta\lambda| < 0.6\text{\AA}$, $EW_{\text{mod}} > -1.5$ のものがあればそれを採用
 - 選択時に違いが1/10の場合はダブルラインと判定
- ④ データベースの違いによるチェック
- Melendez & Barbuy (1999) ラインリストと無矛盾であることの確認



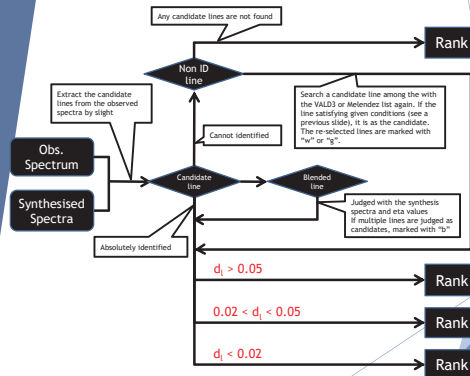
ラインリスト作成手順

- ⑤ レア元素ラインの判定 (後述)

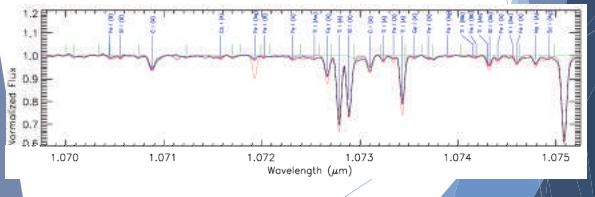
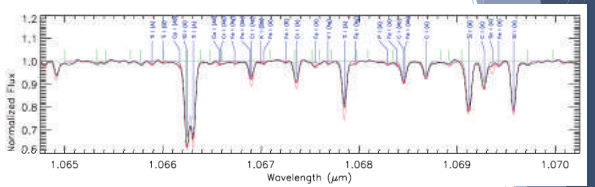
Atomic number	element	Wavelength (Å)	Log ϵ	E.P. (low)	E.P. (high)	Log $\pm \sigma$
64	Gd	9290.469	1.07	0.9909	2.3251	-1
66	Dy	9111.18	1.1	1.8407	3.2011	-0.68
	Dy	10305.36	1.1	1.9983	3.2011	-0.7
	Dy	10523.39	1.1	1.9456	3.1234	-0.45
69	Tm	9244.359	0.1	5.2306	6.5715	-1.77
70	Yb	11912.				
	Yb	12151.				
	Yb	12293.				



作成手順のまとめとランク



同定結果



同定結果

λ_{lit}	λ_{acc}	ion	log g_f	E.P. ₁	E.P. _h	term	Rank
9111.1800	9113.6809	Dy II	-0.680	1.8407	3.2011	$^3P_{1/2} - ^4K_{3/2}$	3 LS-LS
9112.2396	9114.7408	Fe I	-1.190	4.9913	6.3515	$x^3F_2 - e^7G_5$	1 LS-LS
9113.7091	9116.2107	V I	-2.700	1.1948	2.5549	$a^4F_{3/2} - e^4D_{1/2}$	2 LS-LS
9115.3129	9117.8149	V I	-2.520	1.9553	3.3151	$b^4F_{3/2} - y^6D_{3/2}$	3 LS-LS
9116.2							X
9116.9031	9119.4056	Fe I	-1.815	5.0095	6.3691	$x^3D_1 - e^6G_2$	1 LS-LS
9117.1309	9119.6334	Fe I	-3.454	2.8581	4.2176	$b^3P_1 - y^6D_1^o$	1 LS-LS
9118.8896	9121.3836	Fe I	-2.115	2.8316	4.1009	$b^3P_1 - y^6D_1^o$	1 LS-LS
9119.9687	9122.4720	Fe I	-2.508	4.2833	5.6424	$y^3F_2 - e^6D_1$	1 LS-LS
9123.2029	9125.7071	Ti I	-0.610	3.1120	4.4715	$y^3F_2 - b^3G_2$	2 LS-LS
9132.6272	9135.1339	Fe I	-1.757	5.9890	7.3462	$x^3P_0 - ^2[7_2]$	2 LS-JK
9132.7415	9135.2483	Fe I	-2.371	4.9658	6.3290	$y^3P_0 - ^1D_2$	2 LS-LS
9135.8438	9138.3514	Ti I	-2.170	2.3341	3.6908	$e^3P_1 - w^3D_2$	3 LS-LS
9136.7404	9139.2482	Fe I	-2.123	4.9850	6.3417	$y^3P_1 - e^6S_2$	1 LS-LS
9136.7922	9139.3000	Fe I	-1.666	4.9850	6.3416	$y^3P_1 - e^6S_2$	2 LS-LS
9138.5018	9141.0101	Cr I	-5.085	4.2075	5.5638	$e^3D_2 - e^7F_3$	3 LS-LS
9138.8093	9141.3176	Ti I	-8.207	1.7335	3.0808	$a^3F_3 - e^6S_1^o$	3 LS-LS
9140.1169	9142.6256	Fe I	-1.197	3.2515	4.6076	$a^3D_1 - y^3F_2$	1 LS-LS
9146.1275	9148.6378	Fe I	-2.804	2.5881	3.9433	$b^3F_2 - e^3F_2$	1 LS-LS
9147.7058	9150.2166	Fe I	-0.803	5.3204	6.6754	$x^3G_2 - e^3H_6$	1 LS-LS
9147.9570	9150.4678	Fe I	-0.822	5.0638	6.4187	$x^3F_3 - e^6D_3$	1 LS-LS
9154.6540	9157.1667	P I	-1.880	8.2838	9.6377	$^2D_{3/2} - ^4P_{1/2}$	2 LS-LS
9155.6470	9158.1600	Fe I	-1.873	5.0995	6.4534	$x^3F_1 - e^6D_2$	2 LS-LS
9156.2063	9158.7194	Fe I	-3.670	3.0176	4.3714	$b^3G_3 - e^6G_1$	1 LS-LS

同定結果のまとめ

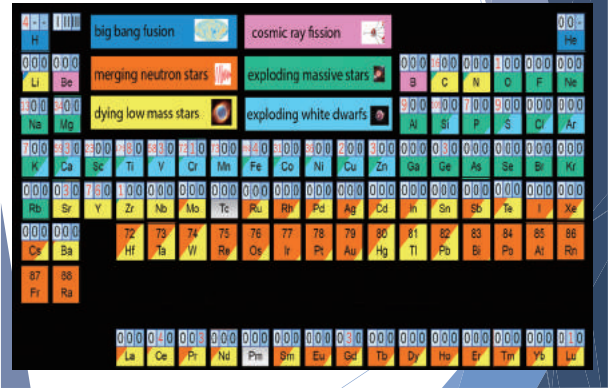
	Rank 1 (d > 0.05)	Rank 2	Rank 3 (d < 0.02)	Rank X	合計
同定数	416	388	382	40	1226

- Hinkle + 1995では、同波長域に582本

	Suffix "b"	Suffix "w"	Suffix "g"	Suffix "f"
同定数	315	16	277	53

- 多くのblended line
(R=70,000では多くは分離可能?)
- Log(g)は多くのラインでずれている
(ので補正を行った方がよいらろう)

同定結果のまとめ



レア元素のリスト

Atomic number	element	Wavelength (Å)	Log ε	E.P. (low)	E.P. (high)	Log gf
17	Cl	9712.745	5.5	10.9205	12.1967	-1.54
32	Ge	10734.05	3.65	4.6434	5.7982	-0.5
37	Rb	9235.051	2.52	2.4961	3.8384	-2.785
44	Ru	10512.63	1.75	2.7702	3.9493	-1
58	Ce	9111.715	1.58	4.2126	5.573	-2.28
	Ce	9157.681	1.58	4.2126	5.5661	-2.49
	Ce	9654.407	1.58	4.4396	5.7234	-2.57
	Ce	9805.492	1.58	0.3218	1.5859	-3.23
	Ce	9896.092	1.58	0.4954	1.7479	-3.17
	Ce	9993.199	1.58	0.6836	1.924	-1.6
	Ce	9999.982	1.58	0.6742	1.9137	-2.26
59	Pr	8893.058	0.72	3.6991	4.952	-3.686
	Pr	10108.07	0.72	2.5642	3.7906	-3.73
	Pr	10452.77	0.72	1.759	2.9448	-3.303
	Pr	12665.04	0.72	1.759	2.7377	-2.719
64	Gd	9290.469	1.07	0.9909	2.3251	-1
66	Dy	9111.18	1.1	1.8407	3.2011	-0.68
	Dy	10305.36	1.1	1.9983	3.2011	-0.7
	Dy	10523.39	1.1	1.9456	3.1234	-0.45
69	Tm	9244.359	0.1	5.2306	6.5715	-1.77
70	Yb	11912.61	0.84	5.5809	6.6214	-3.29
	Yb	12151.27	0.84	8.1507	9.1707	-2.23
	Yb	12293.82	0.84	5.6131	6.6214	-3.02

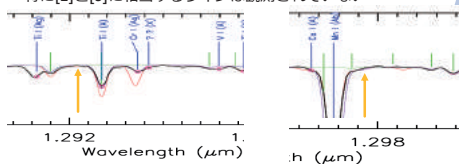
レア元素のIDの妥当性の検討方針

- [1] μ Leo (K2IIIb) でもIDされているか?
E.P.が高いものは、A型星のスペクトルとも比較
(IDそのものの妥当性を確認)
- [2] 関連ライン (同じ系列のライン) があるか?
- termが分かっている必要がある
- NIST database (relative intensity)の情報を
- [3] Reduced equivalent width (Lawler + 2008)
 $\log [EW/\lambda]$
 $\propto \log[\epsilon] + \log[N^i/N] + \log[gf] - E.P. \times 5040/T_{eff}$
 $\propto \log[\epsilon] + \log[gf] - E.P. \times 5040/T_{eff}$
- "All rare earth single ions need essentially no Saha corrections
(Grigoriev & Melikhov 1997, Lawler+2008)"
- 注目ラインのupper limitともいえる

関連ラインの確認: RbIの例

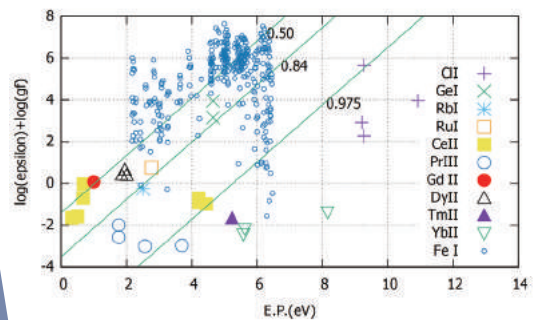
- 候補ライン
RbI 9235.051 Å $4d^6 6s \pm S_{1/2} \rightarrow 4d^6 9p \pm P_{1/2} 2.4961 \text{ eV}$
- 関連ライン (NIST data baseより)
[1] 13235.17 Å (1.5596 eV) $4d^6 5p \pm P^0 \rightarrow 4d^6 6s \pm S$
[2] 12922.14 Å (2.4961 eV) $4d^6 6s \pm S \rightarrow 4d^6 7p \pm P^0$
[3] 12981.017 Å (2.4961 eV) $4d^6 6s \pm S \rightarrow 4d^6 7p \pm P^0$

特に[2]と[3]に相当するラインは観測されていない



Reduced EW

- 関連ライン (NIST data baseより)
- Solar abundanceは、Asplund(2009)を仮定



レア元素： 判定結果

Atomic number	Element	Wavelength (Å)	Log g	EP (low)	EP (high)	Log(gf)	1	2	3
17Cl	I	9742.745	5.5	10.9205	12.1967	1.54	x	△	x
32Ge	I	10734.05	3.65	4.6434	5.7982	-0.5			○
37Rb	I	9235.051	2.52	2.4961	3.8384	-2.785	x	△	
44Ru	I	10512.63	1.75	2.7702	3.9493	-1	x	○	
58Ce	II	9111.715	1.58	4.2126	5.573	-2.28		△	
Ce	II	9157.681	1.58	4.2126	5.5661	-2.49		△	
Ce	II	9654.407	1.58	4.4396	5.7234	-2.57	x	△	
Ce	II	9805.492	1.58	0.3218	1.5859	-3.23		○	
Ce	II	9896.092	1.58	0.4954	1.7479	-3.17	△		○
Ce	II	9993.199	1.58	0.6836	1.924	-1.6	△		○
Ce	II	9999.982	1.58	0.6742	1.9137	-2.26		○	
59Pr	III	9893.056	0.72	3.6991	4.952	-3.686	x		
Pr	III	10108.07	0.72	2.5642	3.7906	-3.73	x	△	
Pr	III	10452.77	0.72	1.759	2.9448	-3.303	x	△	
Pr	III	12665.04	0.72	1.759	2.7377	-2.719	x	△	
64Gd	II	9290.469	1.07	0.9909	2.3251	-1	△		○
66Dy	II	9111.18	1.1	1.8407	3.2011	-0.68		△	○
Dy	II	10305.36	1.1	1.9983	3.2011	-0.7		△	○
Dy	II	10523.39	1.1	1.9456	3.1234	-0.45		△	○
69Tm	II	9244.359	0.1	5.2306	6.5745	-1.77	x	x	
70Yb	II	11912.61	0.04	5.5809	6.6214	-3.29	x	x	
Yb	II	12451.27	0.04	0.1507	0.1707	-2.23	x	x	
Yb	II	12293.82	0.04	5.6131	6.6214	-3.02	x	x	

まとめと今後

- WINEREDの高S/Nスペクトルを用いたzYJ領域でのラインリスト作成プログラムを進行中
- 同波長域では最大かつ最も詳細なものになる予定
- A型星はまもなく公表。K型星 (Arcturus) は作業がほぼ完了。G型星はこれから精査 (人材が必要)
- K型星については、レア元素の不定性は残るが、ここまでの結果を公表予定 (2018年末を目標)
- 今後
 - 数年に一度の改定
 - webでの公表
 - log[*gf*]のキャリブレーション
 - 他の天体のラインリスト
 - 体制づくり

WINERED 波長域の FeI ラインによる K 型巨星の金属量と マイクロ乱流の決定

京都産業大学

近藤 莊平

内容

(基本的に Kondo et al.
submitted ApJS の内容)

1. Introduction
2. Observation and data reduction
3. Tools and basic data
4. Selection of Fe I lines
5. Measurement of microturbulence and metallicity
6. Conclusion

1. Introduction

近赤外波長での恒星アバundance研究

・近赤外線での恒星アバundanceを研究する意義

一星間赤化

(e.g., 銀河系のバルジや銀河ディスクに存在する星)
Carr+2000(K-band), Origlia & Rich 2004, Smith+2013 (H-band),
APOGEE SDSS

一低温度星

(e.g., 赤色超巨星)
Gazak+2014 (J-band)

・2000年以降の装置の発達

e.g., NIRSPEC, IRCS, CRILES, APOGEE SDSS, GIANO,
WINERED

赤外線高分散分光観測を用いた恒星アバundance研究は可視光波長に比べ発展途上と言える

1. Introduction

アバundance測定のためのパラメータ： マイクロ乱流速度とその誤差

・マイクロ乱流速度：恒星大気パラメータの1つ
- 現状では、分光データからしか推定できない
- 可視光でのクラシックな推定方法
等価幅 (もしくはライン強度) に対して、アバundanceの依存性が無いマイクロ乱流を採用する

- 赤外線では
少ない本数で可視光と同じ方法を採用
(問題：分子ラインのブレンドで等価幅を過大評価する)
アプリオリに与える
分子バンドヘッド

今回は、bootstrap法を用いた方法を提案

1. Introduction

近赤外波長での恒星アバundance研究

WINERED で恒星の化学組成の研究を進めるにあたり、基本的な内容を確立する

- ・信頼できるラインを同定 (そして、ラインリストを update)
- ・恒星パラメータ、アバundanceを推定する方法
→ 近赤外波長で初めて可能な天体に応用

本研究では、

- 1) アバundance測定で信頼できる Fe I ライン
- 2) アバundance導出のための方法 (マイクロ乱流と logεFe の推定)

2. Observation and data reduction

Observation

・ Target : **Arcturus**(α Boo; HD 124897)
μLeo(HD85503)

・ 天体、観測情報

	Arcturus	μLeo
Spectral type	K1.5III	K2III
観測日時	2013 Feb 23 16:23	2013 Feb 23 17:18
積分時間 (sec)	20 (2sec x 10)	240 (20sec x 12)

・ モード : WIDE mode (R=28,000)

Data reduction

・ WINERED PIPELINE のデータを使用 (Hamano+ in prep.)

・ 高精度大気吸収線補正を実施 (Sameshima+2018)

3. Tools and basic data

Atmosphere models and stellar parameters

- ・ 大気モデル : Atlas9 (Kurucz)
- ・ スペクトル合成 : SPTOOL (Takeda95)
- ・ 恒星大気パラメーター : Heiter+(2015) を採用

	Arcturus	μLeo
Teff	4286 ± 35	4474 ± 60
logg	1.64 ± 0.06	2.51 ± 0.09
[Fe/H]	-0.52 ± 0.08	0.25 ± 0.15

Line lists of VALD3 and MB99

- ・ VALD3
- ・ Melendez & Barbuy 1999 (MB99)

4. Selection of Fe I lines

選択ラインの条件

- ・ アバundance測定する Fe I ラインの選択
- lkedat+ in prep の Fe I ライン (475 本)
- 大気吸収の影響が大きいバンド間のラインを除く
- 0.05 よりも浅いライン (モデルスペクトル) を除く
- 他のラインのブレンドが大きいラインを除く

ブレンドによる選択条件

- 吸収線領域のコンタミ評価

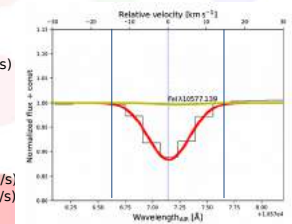
W (Fe を除いたモデルスペクトル, ±15km/s)
/W (モデルスペクトル, ±15km/s) > 0.3

$$\beta_1 = W1^*/W1 > 0.3$$

- コンティニウム領域の評価

(W (Fe を除いたモデルスペクトル, ±30km/s)
-W (Fe を除いたモデルスペクトル, ±15km/s))
/W (モデルスペクトル, ±15km/s) > 1

$$\beta_2 = (W2^* - W1^*)/W1 > 1$$



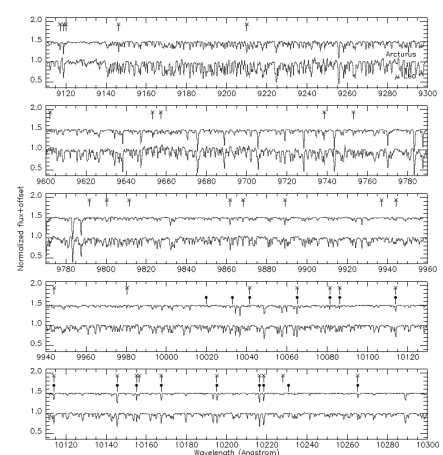
4. Selection of Fe I lines

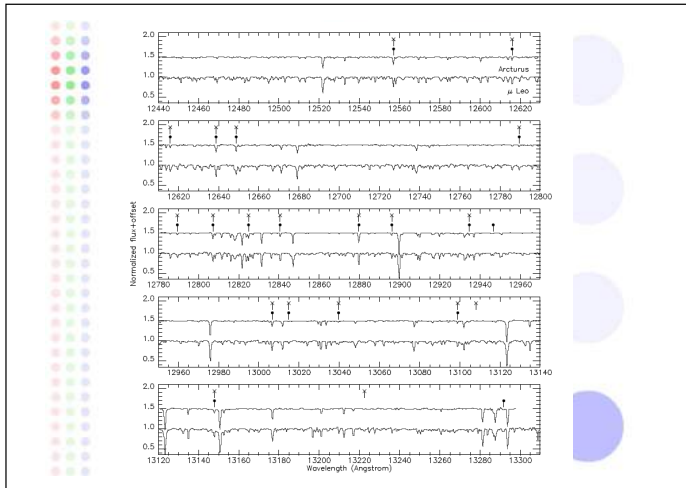
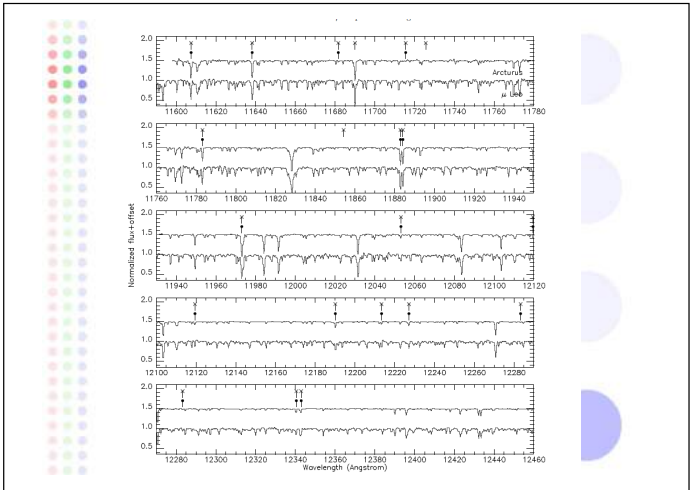
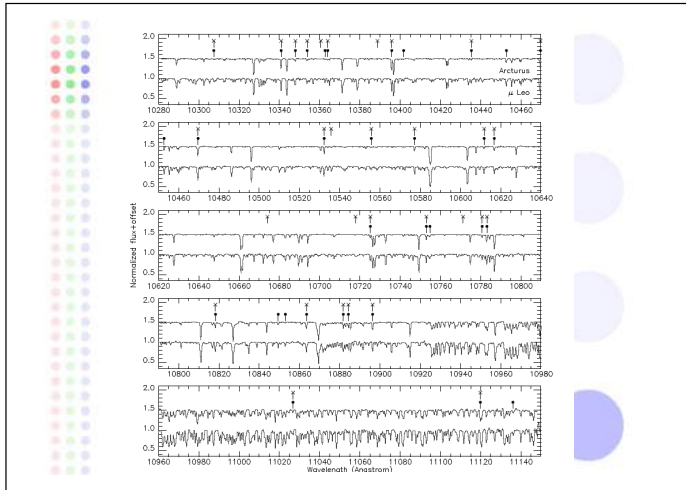
選択されたライン

- ・ VALD3: 104 本
- ・ MB99 : 81 本

Arcturus, μLeo のどちらからでも選択されたライン

VALD	Arcturus		μLeo		
波長	E.P. (eV)	log gf	波長	E.P. (eV)	log gf
9117.1309	2.8581	-3.454	10019.79	5.48	-1.44
9118.8806	2.8316	-2.115	10032.86	5.51	-1.36
9119.9687	4.2833	-2.508	10041.47	5.01	-1.84
9146.1275	2.5881	-2.804	10065.05	4.84	-0.57
9210.024	2.845	-2.404	10081.39	2.42	-4.53
9602.1301	5.0117	-1.744	10086.26	2.95	-4.1
9653.1147	4.7331	-0.684	10114.02	2.76	-3.76
9657.2326	5.0856	-0.78	10145.57	4.8	-0.41
9738.5725	4.9913	0.15	10155.16	2.18	-4.36
9753.0906	4.7955	-0.782	10167.47	2.2	-4.26
...			...		





5. Measurement of microturbulence and metallicity

方針

- ・VLAD3、MB99 でそれぞれ独立におこなう
- ・Fe アバundance は合成スペクトルフィットで推定 (SPTOOL の MPFIT を利用)

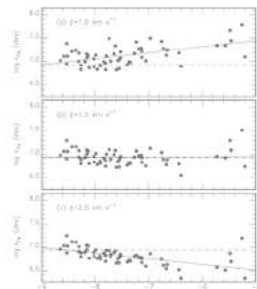
微小乱流速度を求める原理

- 各ラインのサチュレーションの程度を調べる
- 強いラインほどサチュレーションの影響を受ける
- ミクロ乱流が大きいほどサチュレーションを受けにくい
- ライン強度の定義: $X \equiv \log gf - E.P. \times \theta \text{ exc}$
 $\theta \text{ exc} \equiv 5040 / (0.86 \times T \text{ eff})$ (Gratton 2006)

5. Measurement of microturbulence and metallicity

ミクロ乱流を決める例

- ・ミクロ乱流速度と $\log \epsilon_{\text{Fe}}$ の関係
- ・ミクロ乱流 $\xi = 1.0, 1.5, 2.0 \text{ km/s}$ を固定し、全ラインについて $\log \epsilon_{\text{Fe}}$ を求める ($X, \log \epsilon_{\text{Fe}}$) の関係をプロット
- ・ $\log \epsilon_{\text{Fe}}$ が X に依存しないミクロ乱流の値を採用する
- ・ $\xi = 1.5 \text{ km/s}$ が適切なミクロ乱流と分かる



5. Measurement of microturbulence and metallicity

金属量と誤差の推定方法

- ・bootstrap method を用いた推定
- モンテカルロ方法の一種
- ・ミクロ乱流の推定誤差を含め、さまざまな要因の誤差を反映できる
- e.g., fitting、log gf、コンティニウム
- ・具体的な方法
- 1) $\xi = 0.5 - 2.5 \text{ km/s}$ まで 0.1 km/s 刻みで全ラインについて $\log \epsilon_{\text{Fe}}$ を求め、グリッドを作成する
- 2) N本のラインから重複を許してN本のラインを選択
- 3) 選ばれたN本で ($\xi, \langle \log \epsilon_{\text{Fe}} \rangle$) を決める
- 2), 3) を繰り返す (100 万回)
- 4) 100 万個の ($\xi, \langle \log \epsilon_{\text{Fe}} \rangle$) で頻度分布、平均、中央値、信頼区間 ($1, 2\sigma$) を求める

5. Measurement of microturbulence and metallicity

金属量と誤差の推定結果

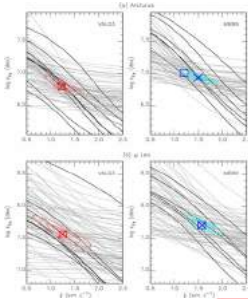


TABLE 4
MICROTURBULENCE AND IRON ABUNDANCE

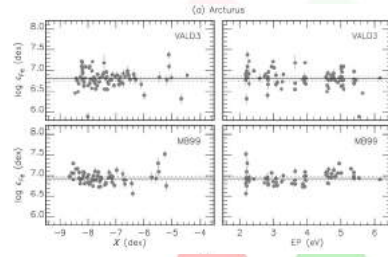
Line list	N ₁	N ₂	ξ (km s ⁻¹)	log ε _{Fe} (dex)	σ
Arcturus					
VALD	79	79	1.34 ^{+0.13}	6.80 ^{+0.05}	-0.006
MB99	61	61	1.49 ^{+0.13}	6.94 ^{+0.05}	-0.009
Leo					
VALD	97	96	1.24 ^{+0.12}	7.53 ^{+0.12}	-0.008
MB99	77	75	1.27 ^{+0.11}	7.71 ^{+0.12}	-0.055

N₁ and N₂ indicate the number of lines selected by our criteria (Section 4) and that of lines whose log ε_{Fe} were estimated with MPTT (Section 5.1), respectively. ξ indicates the correlation coefficient, defined as Equation (5), between the two parameters, ξ and log ε_{Fe}, estimated in our analysis.

5. Measurement of microturbulence and metallicity

Comparison between the two line lists

- VALD3, MB99 とともに log εFe について X と E.P. に依存性がない



5. Measurement of microturbulence and metallicity

Comparison between the two line lists

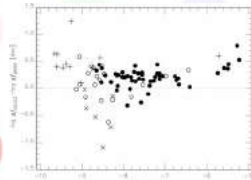
- VALD3, MB99 での ξ の違い

- X > -6 で systematic な違いがあり、ξ の決定に影響を与える
- X > -6 のラインを除き、ξ, log εps を推定
- 強いライン:
 - 星の外側の層でラインが形成
 - saturation, non-LET,
 - モデルの境界条件
- MB99 で Arcturus の場合は、1-2σ のずれ、それ以外は大きな違いはない

TABLE 4
MICROTURBULENCE AND IRON ABUNDANCE

Line list	N ₁	N ₂	ξ (km s ⁻¹)	log ε _{Fe} (dex)	σ
Arcturus					
VALD	79	79	1.34 ^{+0.13}	6.80 ^{+0.05}	-0.006
MB99	61	61	1.49 ^{+0.13}	6.94 ^{+0.05}	-0.009
Leo					
VALD	97	96	1.24 ^{+0.12}	7.53 ^{+0.12}	-0.008
MB99	77	75	1.27 ^{+0.11}	7.71 ^{+0.12}	-0.055

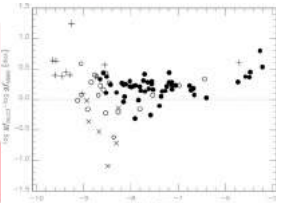
N₁ and N₂ indicate the number of lines selected by our criteria (Section 4) and that of lines whose log ε_{Fe} were estimated with MPTT (Section 5.1), respectively. ξ indicates the correlation coefficient, defined as Equation (5), between the two parameters, ξ and log ε_{Fe}, estimated in our analysis.



5. Measurement of microturbulence and metallicity

Comparison between the two line lists

- VALD3, MB99 での log εFe の違い
- log εFe は、VALD3 を用いた方が僅かに低い
- log gf の違い: VALD の方が系統的に ~0.25 大きい
- VALD3 を用いた方が log εFe は、~0.25dex 低い値が期待される
- 実際は VALD 3 の方が小さい ξ を採用されることで、MB99 との差は小さくなっている



5. Measurement of microturbulence and metallicity

Effects of stellar parameters on metallicity

- 恒星大気パラメータの誤差による、log εFe の不定性を考慮
- それらを足し合わせたトータルの log εFe の誤差を求める

$$\sigma_{\text{total}} = \sqrt{\sigma_b^2 + \Delta_T^2 + \Delta_{\log g}^2 + \Delta_Z^2}$$

TABLE 5
EFFECTS OF STELLAR PARAMETERS ON IRON ABUNDANCE

Line list	δ _T (K)	Δ _T [±] (dex)	δ _g (dex)	Δ _g [±] (dex)	δ _Z (dex)	Δ _Z [±] (dex)	σ _b [±] (dex)	σ _T [±] (dex)	σ _{total} (dex)
Arcturus									
VALD	±35	±0.006	±0.00	±0.007	±0.08	±0.028	+0.060	-0.055	0.061
MB99	±35	±0.007	±0.06	±0.009	±0.08	±0.021	+0.043	-0.041	0.049
Leo									
VALD	±60	±0.002	±0.00	±0.009	±0.15	±0.055	+0.104	-0.091	0.113
MB99	±60	±0.004	±0.00	±0.017	±0.15	±0.041	+0.057	-0.050	0.070

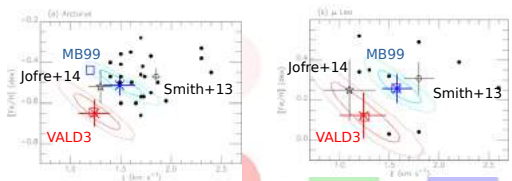
δ_p and Δ_p[±] indicate the error of stellar parameter p and its effect on log ε_{Fe}, where p takes T_{eff}, log g, or log Z. σ_b[±] indicates the error of log ε_{Fe} from the bootstrap method. In the last column, σ_{total} is the total uncertainty (see details in text).

- Arcturus で ~0.05、μLeo で ~0.1 の誤差となる

5. Measurement of microturbulence and metallicity

Comparison with previous results

- 過去の可視光、H-band の結果と一致
- MB99 を用いた方がよく一致
- 誤差の大きさも Jofre+14, Smith+13 と同程度



6. Conclusion

- ・ K型巨星の Arcturus, μ Leo を WINERED で赤外線高分散分光観測
- ・ $\log \epsilon_{\text{Fe}}$ 導出に適したラインを選択
- ・ Bootstrapを用いた方法で、マイクロ乱流と $\log \epsilon_{\text{Fe}}$ 、それらの誤差を精度よく推定できた
- ・ 導出した $\log \epsilon_{\text{Fe}}$ は過去の可視光、H-bandの結果と一致
→ 今後、多くの天体への適用が可能

WINEREDデータを用いた 金属量標準星の化学組成解析



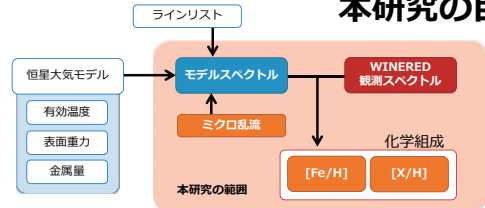
福江慧 (京都産業大学)

概要

目的

- ・ WINEREDは2019年にNTT望遠鏡からマゼラン望遠鏡への移設が予定されている。
- ・ 移設後にどのようなサイエンスができるかを検討するために、現時点でのWINEREDデータを用いたライン同定・組成解析の状況をまとめる。

本研究の目的



z',Yバンドでの組成解析の妥当性の検証

- ・ z'Y(0.9-1.35 μ m)バンドは原子ラインが豊富で組成解析に最適
- ・ モデルスペクトルのパラメータを最適化
 - ・ ミクロ乱流は波長帯やツールで導出方法が様々 (e.g., Jofre+14)
 - ・ → この波長帯での最適な方法を検証する
- ・ 各組成が良く調べられている天体を解析し、他文献の組成と比較する

近赤外線高分散分光器 WINERED

- ・ 京都産業大学神山天文台にて開発
- ・ 1~10mクラスのさまざまな望遠鏡に取り付けることを考慮した設計
- ・ 高スループットによる高感度観測と高S/N観測を実現

	Wide mode	Hires-Y mode	Hires-J mode
波長範囲(一度の露光)	0.91-1.35 μ m	0.96-1.11 μ m	1.14-1.35 μ m
最大波長分解能	28,300	70,000	70,000
トータルスループット	> 50%	> 32%	> 42%
スリット幅	100 μ m, 140 μ m, 200 μ m, 400 μ m		
スリット長	3.14 mm		
装置サイズ	1750 mm (H) x 1070 mm (W) x 500 mm (H)		
運用温度	280 K (光学系), 90 K (カメラレンズ), 78 K (赤外線検出器)		
検出器サイズ	2048 x 2048 pixels (HAWAII-2RG 1.7 μ m-cutoff)		

Ikeda+16, Ostubo+16

観測

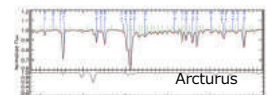
観測装置

望遠鏡(口径)	荒木望遠鏡(1.3m) @京都産業大学
分光装置	WINERED
観測波長	z',Y,Jバンド (0.9-1.35 μ m)
波長分解能($\lambda/\Delta\lambda$)	28,000

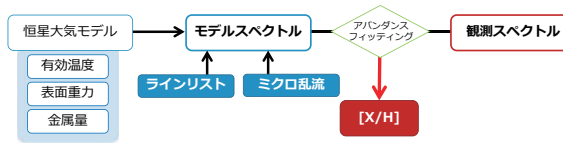
観測天体(化学組成が既知である天体を選択)

Object	Arcturus	μ Leo
Sp. Type	K1.5III	K2III
T_{eff} (K)	4286 \pm 35	4474 \pm 60
$\log g$ (dex)	1.64 \pm 0.06	2.51 \pm 0.09
[M/H] (dex)	-0.52 \pm 0.08	+0.25 \pm 0.15
Date	2013.02.23	2013.02.23
S/N	850	720

Note. The stellar parameters are adopted from Heiter et al. (2015).



解析の流れ

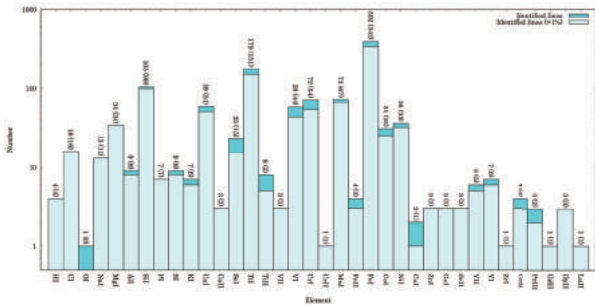


- 恒星大気モデル作成: SPTOOL (Y.Takeda)
 - 有効温度、表面重力、金属量: 文献値で固定
 - ATLAS9をベースにしたLTEモデル
- モデルスペクトル作成とフィッティング: MPFIT (Takeda+95)
 - ミクロ乱流: ライン強度指標Xから導出(近藤さんの発表参照)
 - 原子ラインリスト: 以下の2つを比べる
 - VALD3: The Vienna Atomic Line Database (Ryabchikova+15)
 - MB99: Melendez & Barbuy (1999)
 - 分子ラインリスト: VALD3からCO,CN,OHを採用

K型星での原子ラインのID (池田さんの発表参照)

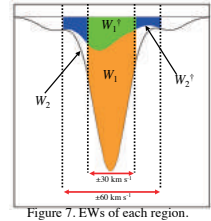
- We identified many metal lines following steps. (Ikeda et al. in prep.)
- Comparing observed spectra with synthesized spectra using ATLAS9 (Kurucz 1993)
- Atmospheric parameters (Teff, log g, [M/H], microturbulence, chemical abundance) were adopted from Heiter et al. (2015).
- Atomic line list
- the Vienna Atomic Line Database (VALD3; Ryabchikova et al. 2015)
- Meléndez & Barbuy (1999; hereinafter referred to as MB99)
- Selecting lines stronger than 1% in depth.

K型星で同定されている吸収線 (IKEDA ET AL.)

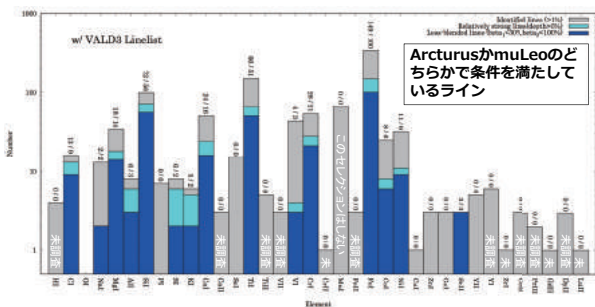


LINE SELECTION FOR ABUNDANCE ANALYSIS

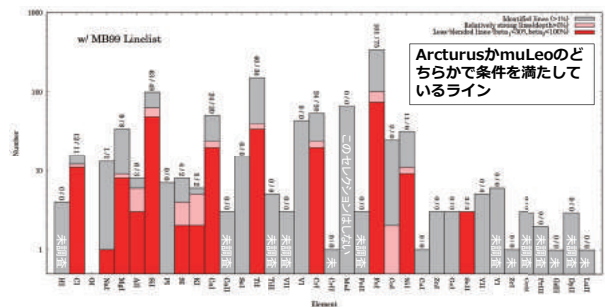
- Lines stronger than 5% in depth
- Lines with less-blended lines using model spectra
 - estimating equivalent widths around a target line (W_1) and contaminating lines for target and neighboring (W_1^+ and W_2^+ , see Fig.7).
 - the contamination to the main part of each target line
 - $\beta_1 = (W_2^+ / W_1) < 30\%$
 - the contamination mainly to the continuum part around the line
 - $\beta_2 = (W_2^+ - W_1^+) / W_1 < 100\%$

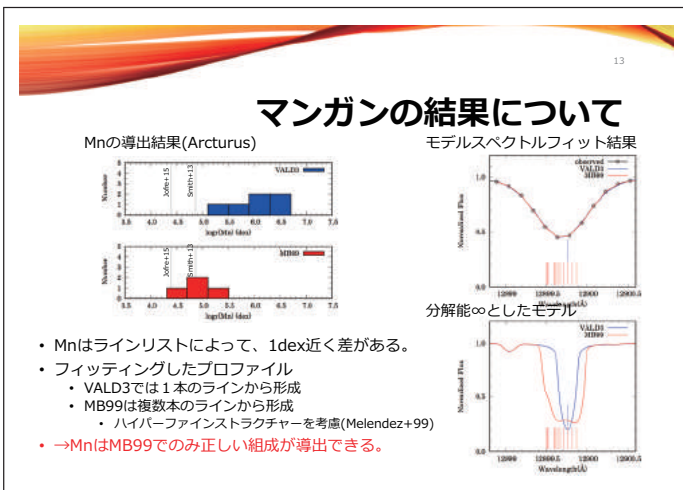
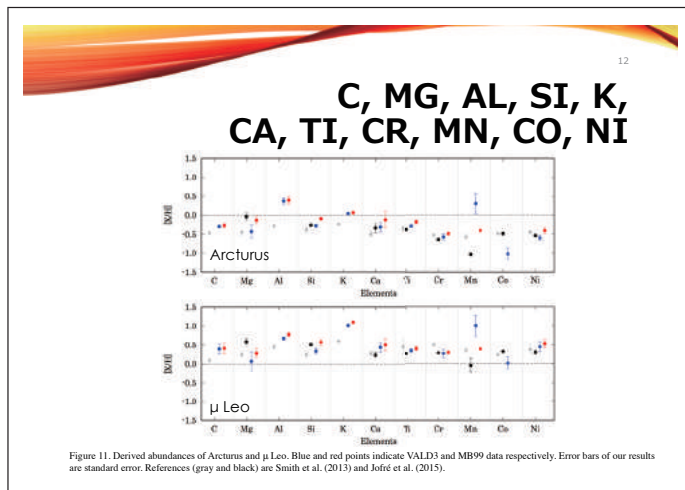


モデルスペクトルを用いた 組成解析用のライン選定 W/VALD3(暫定版)



モデルスペクトルを用いた 組成解析用のライン選定 W/MB99(暫定版)





14

他のラインのHFSの可能性

- Shetrone et al. (2015)はVとAlのHFSの可能性について議論しており、特にcoolかつmetal richな天体における強いAlのラインでは、0.4dex程度アバundanceが大きくなったと報告している。
- Vについては弱くselection ruleで除外され、影響はよくわからない。
- Alについてはselection ruleで選択されたのは強い2本のラインのみで結果を導出しており、文献値よりも0.2-0.5dex程度は高めにてているが、VALDとMB99ともに細かなライン情報はない。
 - もし、AlにもHFSの影響が大きくなるのであれば、Mnの場合の結果を考えると組成解析するにはHFSの情報が必要になると考えられる。
 - 影響の考察についてはShetroneなどの文献の調査がさらに必要。

15

Cについて

- Takeda+の組成の比較を見ると、Carbonの組成を分子から導出したか、原子から導出したかで異なっている傾向がある。
- 分子(CO, CN...)での導出結果の方が低めに出ている傾向があるので、比較する際は注意が必要。

16

まとめと今後

- Kondo et al.で決定したマイクロ乱流を用いて、鉄以外の元素の組成解析を行った。
- 用いたラインは5%以上の強さのラインかつ、ブレンドの影響が少ないと考えられるラインでC, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Co, Niについて解析を行った。
- SiやTiなどは十分なライン数があり、文献値ともエラー範囲で合致する結果が得られた。
- これまでMnについてHFSの影響を報告していたが、VとAlにも影響が出ている可能性が他文献で示唆されており、今回の結果でもAlはその影響がでている可能性があり、詳しい調査が必要。

WINERED波長域のレアな 元素・イオンのライン

松永 典之
(東京大学)

Noriyuki Matsunaga
(The University of Tokyo)

Outline

1. 動機・目的
2. 合成スペクトルを用いた予備調査
3. 観測スペクトルでの解析



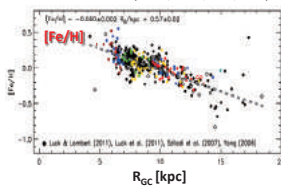
1. 動機・目的



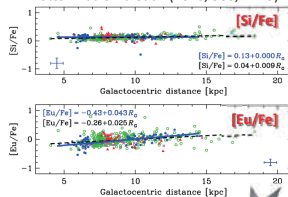
Application as chemical tracers

- Clear metallicity gradient traced by >400 Cepheids
 - Almost no variation in $[\alpha/\text{Fe}]$ (Genovali+2015)
 - Significant slope for n-capture elements (da Silva+2016)

Genovali et al. (2014, A&A, 566, A37)



Top: Genovali et al. (2015, A&A, 580, A17)
Bottom: da Silva et al. (2016, MNRAS, 458, 125)



Elements from optical spectra

- Genovali+14 used the linelist in Lemasle+13

Atom/ion	Na II	Al II	Mg II	Si II	Ca II
N(line)	2	6	1 weakH NLTE	14	9

- da Silva+16 used the linelist in Lemasle+13
 - Some lines show HFS.

Atom/ion	Y II	La II	Ce II	Nd II	Eu II
N(line)	6	6	3	6	2
s/r	light S	heavy S	heavy S	heavy S	r



目的

- ラインの少ない元素について、ラインが存在するか、化学組成が測定できそうかどうか調べる。
 - Arcturusに限らず、検出・測定が行いやすい星で確認を行う。
 - $\log gf$ は、再較正は行えないまでも(各組成が既知の天体をたぶん観測していない)、0.2 dexくらいで吸収線の深さが再現できていそうかどうかを確かめる。



調査に利用するラインリスト

- Arcturusのラインリスト論文用リスト
 - 2018年5月20日版
- Melendez & Barbuy (1999)のリスト
- VALD3
 - 2018年10月30日にダウンロード
 - ただし、VALD3にはあるがArcturusリストに無い(MB99にも無い)ラインは今のところ未調査。



調査元素の選定

- Arcturusラインリストには、Melendez & Barbuy (1999)に入っていないラインがある。
 - Cr II, Cu I, Dy II, Gd II, Lu II, Pr III, Y I, Zr I
- また、数本しかラインがない元素・イオンも調べてみる。
 - Al I, Ce II, Eu II, Ge I, La II, Ni, O I, P I, Sr II, VI+II, YI+II, Sc I, Zn I
- ついでに、ライン本数が多い中性元素に対するイオンも調べてみる。
 - Fe II, Ti II, Ca II, Mg II



リストにあるライン本数

Z	Atom/ion	Arcturusリスト	MB99	VALD3
7	NH	0	11	128
8	OH	1	5	128
12	MgH	0	6	43
15	PH	7	10	82
20	CaH	3	5	115
21	Sc I	23	0	1427
22	Ti II	8	1	373
23	VH	58	5	1638
	VH	3	0	898
24	CrH	1	0	2963
26	FeH	4	13	7871
29	Cu I	2	0	211
30	ZnH	3	3	7



リストにあるライン本数

Z	Atom/ion	Arcturusリスト	MB99	VALD3
32	Ge I	3	7	11
38	Sr II	3	3	7
39	YH	7	0	379
	YH	6	5	469
40	ZrH	1	0	3
57	LaH	0	1	1
58	CeH	4	0	315
59	Pr III	3	0	85
63	Eu II	0	1	8
64	Gd II	1	0	9
66	Dy II	3	0	27
71	LuH	1	0	5



2.

合成スペクトルを用いた予備調査



合成スペクトルの利用

- 谷口君の計算
 - MOOG (ATLAS9大気モデル)
 - $3500 \leq T_{\text{eff}} \leq 8500$, $0 \leq \log g \leq 5$
 - 化学組成はSolar (Asplund 2009)
 - $V_{\text{mic}}=1.06$, $V_{\text{mac}}=4.2$, $V_{\text{sin i}}=1.6$, $R=28,000$ で固定
- それぞれのラインがどの温度と表面重力の星で一番強くなるかを、合成スペクトルで調べてみる。
- 193本のラインを調べた。
 - MB99にあるVI $\lambda 10230.78$ は、VALD3には存在しないので無視した。



合成スペクトルで調査したライン

- 193本のラインの内訳
 - 一部のラインは全く同じ波長に複数本

Z	7	8	12	15	20	21	22	23	23
Atom/ion	NH	OH	MgH	PH	CaH	Sc I	Ti II	VH	VH
本数	11	6	4	12	4	23	9	62	3

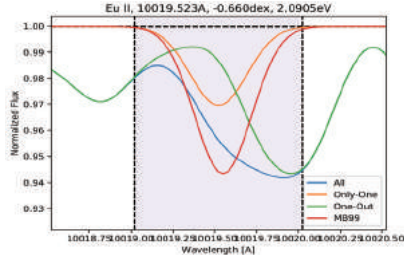
Z	24	26	29	30	32	38	39	39	40
Atom/ion	CrH	FeH	CuH	ZnH	Ge I	Sr II	YH	YH	ZrH
本数	1	15	2	4	7	3	7	6	1

Z	57	58	59	63	64	66	71		
Atom/ion	LaH	CeH	Pr III	Eu II	Gd II	Dy II	LuH		
本数	1	4	3	1	1	3	1		



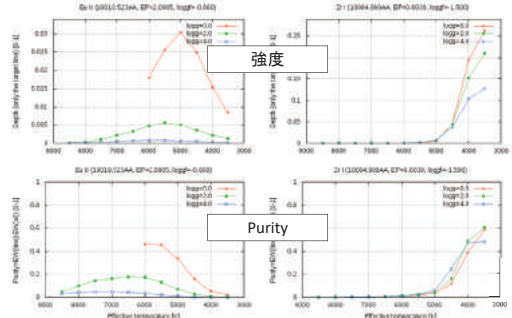
合成スペクトルの例

- All—VALDの全ラインを含めて計算
- Only One—ターゲットのライン1本だけで計算
- One Out—ターゲットのライン1本は除いて計算
- MB99—MB99リストのパラメータで計算



強度、ブレンド具合の調査

- 各ラインについて温度、表面重力への依存性を調べる。
 - 等幅幅でなく、深さで調べた。



おおまかな傾向

- まったく合成スペクトルにあらわれないラインもある。
- 中性ラインは低温に向かって強くなることが多い。
- 電離ラインは5000Kよりも高温で強度のピークを示すことが多い。
 - Ce IIIは例外で、低温(3500K)で最も強くなる。
- 低温でブレンドが強くなることが多い。



まったくラインが見えない場合

- どの温度、有効温度でも強度が数分の1%を超えないようなラインは、loggfがよほど間違っていない限り検出できないだろう。
- 調べた193本のうち、半数近くはまったくラインが見えないという予想。Loggfの間違ひもあるだろうが、Arcturusリストの確認も必要。

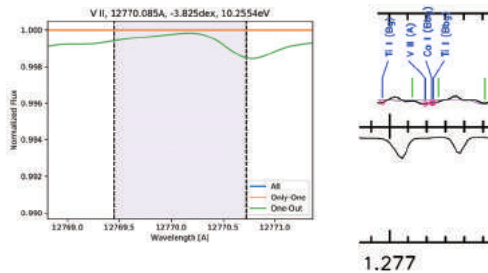
1本のラインも検出できないであろう元素・イオン

Z	21	23	24	29	39	59	71
Atom/Ion	Sc I	V III	Cr III	Cu III	Y III	Pr III	Lu III
調べたラインの本数	23	3	1	2	7	3	1



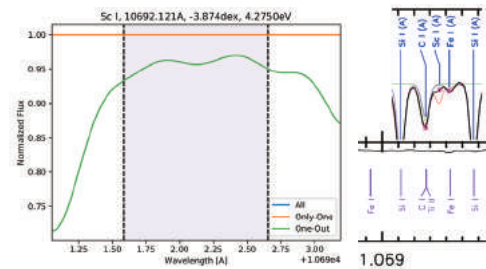
V II 12770.085A

- 合成スペクトルでは出てこない。
- Arcturusではいくつかのラインがブレンドした弱く幅広な吸収？ MB99には記載なし



Sc I 10692.121A

- 合成スペクトル、Arcturusのどちらにもその波長に何かの吸収線はありそう。
- MB99記載なし (MB99にはScのラインは一本もなし)
 - C I 10691.26 + Ti II 10691.26 + Fe I 10692.76, Si I 10694.26
- VALD3 では、Ti I, Ti II, Mn I, OH, CN, C2などのラインが周囲にある。



検出できそうな(できるかもしれない)元素

- **Zr I (Z=40), Ce II (Z=58), Gd II (Z=64), Dy II (Z=66)** は、MB99には無いイオンで新たに確認ができる可能性が十分ある。
- **Ni I (Z=7), O I (Z=8)** は、元素のラインを用いて、CNO組成を出せるなら重要だろう。**Cl I (Z=6)** はもっと多くのラインがある。8000 Kあたりの比較的高い温度帯でこれらのラインは強くなる。
- **Mg II (Z=12), Ca II (Z=20), Ti II (Z=22), Fe II (Z=26)** あたりは、中性元素のラインも見えているので、表面重力を調べるためのラインとして調べてみると良さそう。



検出できそうな(できるかもしれない)元素

- **Pl (Z=15), V I (Z=23)** は、それなりの数のラインがありそう。
- **Zn I (Z=30), Ge I (Z=32), Sr II (Z=38), Y II (Z=39), La II (Z=57), Eu II (Z=63)** は、MB99にも記載されている数少ないラインがあり、化学進化的に面白い元素であれば、組成解析がちゃんどできるか確かめてみると良いだろう。
- 辻本さんのおすすめで、この中から、**Eu II, Ge I, Zn I**を優先的に調べてみる。セファイドの可視での研究で調べられていた**Y II, La II**とせっかくなので**Sr II**も含める。



その他の元素

- **Mg I, Si I, Ca I, Ti I, Cr I, Fe I, Ni I** は組成解析に使えるラインが十分ありそう。
- **Na I, Al I, Si I, K I, Mn I** あたりは今回の解析に含めず、ラインの本数もそれなりにあるが、化学組成にどれくらい使えるかは確認する必要がありそう。(福江君の講演参照)
- 他にもレアな元素・イオンのラインがある？(池田さんの講演参照)
- **Ru I 10512.63 ?**



Dy II (Z=66)

- 3本 (λ 9111.180, 10305.360, 10523.390)
- MB99にはDy IIは入っていない。
- 3本とも超巨星では検出できる強さがあり、巨星、矮星では弱い。
- 5000 Kあたりにシャープな強さのピークを持つ。
- 9111.180はオーダー(WINERED波長帯)の端? 大気吸収はそれほど強くなさそうだが、強いブレンドがある。
- 10305.360は5000Kあたりから低温側へ向けてブレンドが強くなっていく。
- 10523.390は4500K以上ではブレンドなさそう。
- 10305.36と10523.39は大気吸収がほとんど無い波長帯で、ブレンドもそれほど強くないので検出は比較的容易なはず。



Eu II (Z=63)

- 1本 (λ 10019.523)
- この1本のラインは、MB99に入っている。
- 5000 Kあたりにシャープな強さのピークを持つ。
- 強度自体は検出可能なものだが、そのラインの3倍近い強度のブレンドが予想されるので要注意。Fe, Si, Cr, Kといくつかブレンドするラインの候補がありそう。
- 地球大気吸収線は少ない波長帯だが、10%程度の強度になる吸収線が近くに一本ある。

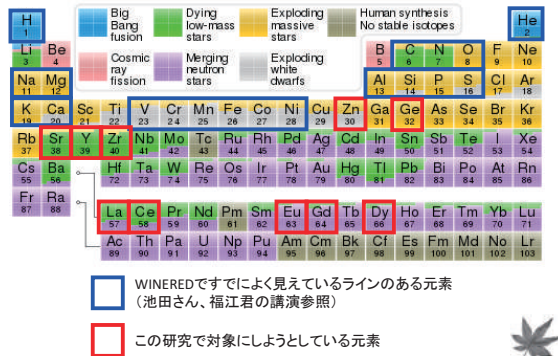


まず調べてみたいライン(19本)

Atom/ion	λ (Å)	EP (eV)	log gf	WIDE	HIRES	
Zr I	10084.99	0.6039	-1.50	m56	Y m175	Zr I-1
Ce II	9993.20	0.6836	-1.60	m56	Y m177	Ce II-2
Ce II	9999.98	0.6742	-2.26	m56	Y m177	Dy II-3
Gd II	9290.47	0.9909	-1.00	m60	-	Ge I-1
Eu II	10019.52	2.0905	-0.66	m56	Y m176	Zn I-2
Dy II	9111.18	1.8407	-0.68	m61	-	Y II-5
Dy II	10305.36	1.9983	-0.70	m54	Y m171	La II-1
Dy II	10523.39	1.9456	-0.45	m53	Y m168	Sr II-3
Ge I	11714.75	4.6434	0.30	m48	J m151	
Zn I	11054.25	5.7957	-0.30	m51	Y m160	
Zn I	13053.63	6.6545	0.34	m43	J m135	
Y II	10105.52	1.7213	-1.89	m55	Y m175	
Y II	10186.46	1.8390	-2.65	m55	Y m173	
Y II	10245.22	1.7380	-1.82	m55	Y m172	
Y II	10329.70	1.7479	-1.76	m54	Y m171	
Y II	10605.15	1.7380	-1.96	m53	Y m167	
La II	11874.19	0.9522	-1.00	m47	J m149	
Sr II	10036.65	1.8047	-1.31	m56	Y m176	
Sr II	10327.31	1.8395	-0.35	m54	Y m171	
Sr II	10914.89	1.8047	-0.64	m51	Y m162	



WINEREDで調べられそうな元素(仮)

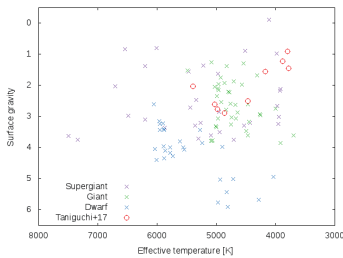


3. 観測スペクトルの解析 (の計画)



観測スペクトルの選定

- 超巨星でラインが強くなる。
- 金属量は高い方がよい。(太陽近傍の超巨星なら、たいてい太陽金属量程度だろう)
- Kovtyukh (LDR天体)の超巨星
 - $\log g$ は要確認



HIRES-Y、Jの超巨星スペクトルも見てみる

- Deneb
 - A2Ia, Teff~8500K, $\log g \sim 1.2$
 - 2015-09-23
- alf Cet
 - M1.5 IIIa, Teff~3700K, $\log g \sim 1.0$
 - 2015-09-22
- V487 Cas
- Mu Cep
- Betelgeuse
- Alf Tau (Aldebaran) K5+ III
- CQ Cam M0 II
- その他



今後の方針

- Mingjie君が大気吸収を補正したLDR超巨星のスペクトルを使う。
- 2つの合成スペクトルのどちらが合うか調べる。
 - 全てのラインを入れた合成スペクトル
 - 目標とするラインを除いた合成スペクトル
- (b)の合成スペクトルで足りない吸収成分が、有効温度と重力にどう依存するか。目標とするのラインと同じ依存性をもつことを確認する。
- $\log gf$ は0.2dex程度で合うかどうかを調べる。
- Arcturusのラインリスト論文と同時に投稿できることを目標として、調べやすい元素・ラインから調べていく。



End



Support materials



Zr I (Z=40)

- 1本 (λ 10084.989)
- MB99にはZr IIは入っていない。
- 唯一のラインは、4500K以下で検出可能になって、低温ほど強く見えそう。
- 大気吸収はそれほど強くない波長帯。
- ラインよりも強いFe Iのブレンドがある。表面重力への依存性はそれほど強くなく、ブレンドの傾向は表面重力によって変わらないので、合成スペクトルによるしっかりとした議論が必要。



Ce II (Z=58)

- 4本 (λ 9805.492, 9896.092, 9993.199, 9999.982)
- MB99にはCe IIIは入っていない。
- 超巨星ではそれなりに強く、巨星・矮星では弱い。
- 低温であるほど強くなっている。
- 2本は有望だが、ラインの3倍程度の強度をもつブレンドが入るので要注意。
- 大気吸収はそれほど強くない波長帯。
- 9993.199 は Mg I、9999.982 は Ti I とブレンドしている。CN吸収もそのあたりに散在している。



Gd (Z=64)

- 1本 (λ 9290.469)
- MB99にはGd IIIは入っていない。
- 強めの大气吸収線も並んでいる難しい波長帯。
- 超巨星では、低温側(4000~5000 K)でそれなりに強いという予想。ただし、ラインより5倍程度の強度を持つブレンドがある。
- Arcturusのラインリストでは、このラインの他にCr Iの9290.694がリストされているが、それ以外にもブレンドするラインがないか要注意。



Ge I (Z=32)

- 1本 (λ 11714.747)
- 他にも数分の1から約1%の深さに達することのあるラインが数本ある。
- 11714.75を含めて、これらのラインはすべてMB99に入っている。
- 1本(11714.747)は、4000~4500Kあたりの超巨星で検出できそうな強さ。ただし、ラインと同程度の強度のブレンドが入る。
- 11714.75の周囲には地球大気吸収がそれなりに効いている様子。



Zn I (Z=30)

- 4本 (λ 11054.253, 11801.047, 13053.627, 13196.623)
- 11054.253, 13053.627, 13196.62 はMB99にもリストされている。
- もう一本の11801.047は弱そうなので望み薄?
- 4500~5000 Kの超巨星で強度のピーク。
- 2本は強く、巨星でも見えるかも。ただし、4500K以下でブレンドも強くなる。
- 11054.253は何本か強めのtelluric lineが周りにある。
- 13053.627は近くに30%近くあるtelluricが一本ある。
- 13196.623も強いtelluricがそれなりに多い波長帯なので、それが重ならないような星を探したい。



La II (Z=57)

- 1本 (λ 11874.190)
- この1本のラインは、MB99に入っている。
- 4000~5000 Kあたりに強度のピーク。
- 超巨星で強く、巨星でその半分くらい。矮星では検出が難しい。
- ブレンドは小さそう。



HIRESで観測された超巨星

調査中

	Deneb	A2 Ia	~8500	~1.2	
V487 Cas		G4 Ia			
α Tau	Aldebaran	K5+ III			
CQ Cam		M0 II			
α Cet		M1.5 IIIa	3700	1.0	
α Ori	Betelgeuse	M1-2 Ia-lab			
μ Cep		M2 Ia			



赤色超巨星組成解析の手法と結果の現状

谷口大輔

東京大学理学系研究科天文学専攻修士1年

2018年11月19日

WINERED 研究会 2018, 1日目: 現在までの研究成果

谷口大輔 (東京大学天文修士1年) RSGの組成解析 2018-11-16, WINERED2018-1 1 / 35

Outline

- 1 Abundance Analysis Method of RSG
 - Introduction1
 - Overview and Atmospheric Parameters (T_{eff} and $\log g$)
 - [Fe/H] Derivation
 - Results and Validation
- 2 Science Case: Metallicity Deficiency in Bar-End Region
 - Introduction2
 - Observation
 - Results and Discussion—Kinematics and [Fe/H]
 - Summary

谷口大輔 (東京大学天文修士1年) RSGの組成解析 2018-11-16, WINERED2018-1 2 / 35

- 1 Abundance Analysis Method of RSG
 - Introduction1
 - Overview and Atmospheric Parameters (T_{eff} and $\log g$)
 - [Fe/H] Derivation
 - Results and Validation
- 2 Science Case: Metallicity Deficiency in Bar-End Region
 - Introduction2
 - Observation
 - Results and Discussion—Kinematics and [Fe/H]
 - Summary

谷口大輔 (東京大学天文修士1年) RSGの組成解析 2018-11-16, WINERED2018-1 3 / 35

Introduction1

- 1 Abundance Analysis Method of RSG
 - Introduction1
 - Overview and Atmospheric Parameters (T_{eff} and $\log g$)
 - [Fe/H] Derivation
 - Results and Validation
- 2 Science Case: Metallicity Deficiency in Bar-End Region
 - Introduction2
 - Observation
 - Results and Discussion—Kinematics and [Fe/H]
 - Summary

谷口大輔 (東京大学天文修士1年) RSGの組成解析 2018-11-16, WINERED2018-1 4 / 35

Introduction1

過去の RSG 組成解析手法の比較

	Carr+00	Lauer+05	Cunha+07
ターゲット	GC+nearby	nearby	GC
装置	CSHELL	GoldCam とか	Phoenix
分解能	40,000	1,000	50,000
波長	H,K	350-900	H,K
モデル大気	Plez	MARCS	Plez
T_{eff}	7 CO lines in HK	SED (mainly TiO)	EW(CO)+EW(H2O)
$\log g$	L, M, T_{eff}	L, M, T_{eff}	L, M, T_{eff}
ξ	7 CO lines in HK		fitting (visual inspection?)
Fe	6 lines in K		6 lines in K

	Davies+09	Luck+14	This Work
ターゲット	bar end	nearby (widely)	bar end+nearby
装置	NIRSPEC	SES	WINERED
分解能	17,000	60,000	28,000
波長	H	484-700	Y,J
モデル大気	Johnson	MARCS	MARCS
T_{eff}	EW(CO)	many Fe lines	LDR
$\log g$	L, M, T_{eff}	Fe/FeII	L, M, T_{eff}
ξ	CO and OH bandhead	many Fe lines	many Fe lines
Fe	some lines	many lines	many lines

山口大輔 (東大理学系天文修士1年) RSG の組成解析 2018-11-16, WINERED2018-1 5 / 35

Introduction1

Sample Spectra (Betelgeuse)

● 多くの分子吸収 × 大きなマクロ乱流 > ブレンドの激しさ

山口大輔 (東大理学系天文修士1年) RSG の組成解析 2018-11-16, WINERED2018-1 6 / 35

Overview and Atmospheric Parameters (T_{eff} and $\log g$)

Abundance Analysis Method of RSG

- Abundance Analysis Method of RSG
 - Introduction1
 - Overview and Atmospheric Parameters (T_{eff} and $\log g$)
 - [Fe/H] Derivation
 - Results and Validation
- Science Case: Metallicity Deficiency in Bar-End Region
 - Introduction2
 - Observation
 - Results and Discussion—Kinematics and [Fe/H]
 - Summary

山口大輔 (東大理学系天文修士1年) RSG の組成解析 2018-11-16, WINERED2018-1 7 / 35

Overview and Atmospheric Parameters (T_{eff} and $\log g$)

Overview of [Fe/H] Derivation

山口大輔 (東大理学系天文修士1年) RSG の組成解析 2018-11-16, WINERED2018-1 8 / 35

Overview and Atmospheric Parameters (T_{eff} and $\log g$)

温度指標としてのライン強度比 (LDR)

T への感受さ 良い温度指標

Taniguchi et al. (2018, MNRAS, 473, 4993)

山口大輔 (東大理学系天文修士1年) RSG の組成解析 2018-11-16, WINERED2018-1 9 / 35

Overview and Atmospheric Parameters (T_{eff} and $\log g$)

質量推定結果

● 見積もった T_{eff} と $\log L$ から, Ekstrom+12 の回転有り恒星進化モデルと比べて current mass を見積もった.

● GL9-1 の $\log L$ は $D = 2.5$ kpc で見積もっている。仮に $D = 4.6$ kpc に置いて更に変光を考慮しても RSG にしては高い。またミクロ乱流もきつと小さい。Messineo+10 の EW(CO) は大きいし、WINERED スペクトルの CN 吸収も強いので、金属量高めめの AGB と思うと整合的?

山口大輔 (東大理学系天文修士1年) RSG の組成解析 2018-11-16, WINERED2018-1 10 / 35

[Fe/H] Derivation

- Abundance Analysis Method of RSG
 - Introduction1
 - Overview and Atmospheric Parameters (T_{eff} and $\log g$)
 - [Fe/H] Derivation**
 - Results and Validation
- Science Case: Metallicity Deficiency in Bar-End Region
 - Introduction2
 - Observation
 - Results and Discussion—Kinematics and [Fe/H]
 - Summary

山口大輔 (東大理学部天文修士1年) RSGの組成解析 2018-11-16, WINERED2018-1 11 / 35

[Fe/H] Derivation

Synthesis of Model Spectrum

Line list from VALD3 (Ryabchikova+15)
+ FeH lines by Plez

+

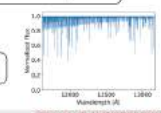
MARCS grid of model atmosphere (Gustafsson+08)
Spherical geometry $w/M = 5 M_{\odot}$ and $\xi = 2 \text{ km/s}$

+ $T = 5000 \text{ K}$ の大気モデルの一部は
 $\xi = 5 \text{ km/s}$ で代用 (グリッドに穴があるので)

Spectral synthesis code MOOG (Snedden 74)
Plane parallel geometry w/LTE assumption

↓

Model spectrum

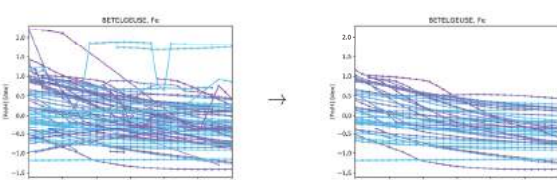


山口大輔 (東大理学部天文修士1年) RSGの組成解析 2018-11-16, WINERED2018-1 12 / 35

[Fe/H] Derivation

吸収線選定手順

- 「比較的」良い吸収線のみを選ぶ: 96 本 ($d > 3\%$, $\beta_1 < 0.7$, $\beta_2 < 1.5$)
- 各天体毎にフィットの具合が悪い吸収線を除く.



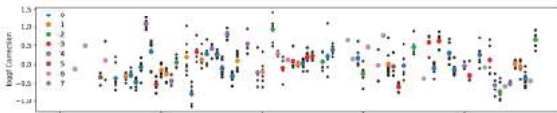
- 8 大体中 5 大体中で使える吸収線のみを選ぶ: 49 本

山口大輔 (東大理学部天文修士1年) RSGの組成解析 2018-11-16, WINERED2018-1 13 / 35

[Fe/H] Derivation

$\log gf$ の較正方法 (differential っぽい解析)

- 太陽近傍と bar end 天体間の相対的な金属量差を知りたいので、ラインリストの誤差に起因する系統誤差は取り除きたい.
- 吸収線毎に, $[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{line}}^{\text{star}} - [\text{Fe}/\text{H}]_{\text{mean}}^{\text{star}}$ と, この値の全ての天体での平均 $\langle [\text{Fe}/\text{H}]_{\text{line}}^{\text{star}} - [\text{Fe}/\text{H}]_{\text{mean}}^{\text{star}} \rangle$ を計算した.
- ここで較正した $\log gf$ は本当の $\log gf$ ではなくて, 「今回の観測/解析/天体の種類で組成解析を行う際に導出された $\log g$ を補正すべき量」でしかない点に注意. プレンドの具合やフィッティングの誤差も含まれた補正量.



山口大輔 (東大理学部天文修士1年) RSGの組成解析 2018-11-16, WINERED2018-1 14 / 35

Results and Validation

- Abundance Analysis Method of RSG
 - Introduction1
 - Overview and Atmospheric Parameters (T_{eff} and $\log g$)
 - [Fe/H] Derivation
 - Results and Validation**
- Science Case: Metallicity Deficiency in Bar-End Region
 - Introduction2
 - Observation
 - Results and Discussion—Kinematics and [Fe/H]
 - Summary

山口大輔 (東大理学部天文修士1年) RSGの組成解析 2018-11-16, WINERED2018-1 15 / 35

Results and Validation

Derived Atmospheric Parameters

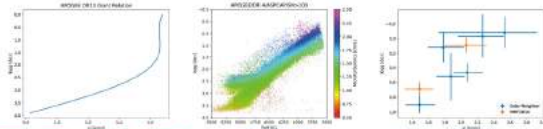
- We derived the metallicity with the precision of $< 0.1 \text{ dex}$.

Star	T_{eff} [K]	$\log g$ [dex]	v_{micro} [km/s]	[Fe/H] [dex]
Main target RSGs in the direction of the GMC complex				
ID39	3799 ± 25	$+0.09 \pm 0.10$	$2.06^{+0.26}_{-0.40}$	$-0.16^{+0.09}_{-0.09}$
ID42	3902 ± 34	$+0.69 \pm 0.09$	$1.49^{+0.15}_{-0.18}$	$+0.08^{+0.07}_{-0.06}$
Nearby RSGs for comparison				
Betelgeuse	3882 ± 23	-0.08 ± 0.21	$2.53^{+0.81}_{-0.30}$	$-0.18^{+0.09}_{-0.11}$
HD44537	4050 ± 26	-0.03 ± 0.29	$2.26^{+0.19}_{-0.26}$	$-0.22^{+0.07}_{-0.07}$
HD37536	3833 ± 19	$+0.12 \pm 0.21$	$1.78^{+0.19}_{-0.25}$	$-0.16^{+0.06}_{-0.06}$
HD219978	3945 ± 19	$+0.47 \pm 0.12$	$2.07^{+0.16}_{-0.19}$	$-0.12^{+0.04}_{-0.03}$
HD52005	4026 ± 16	$+0.52 \pm 0.32$	$1.87^{+0.17}_{-0.17}$	$+0.01^{+0.06}_{-0.05}$
HD200905	3985 ± 15	$+0.90 \pm 0.11$	$1.49^{+0.17}_{-0.19}$	$-0.03^{+0.07}_{-0.06}$

山口大輔 (東大理学部天文修士1年) RSGの組成解析 2018-11-16, WINERED2018-1 16 / 35

表面重力とマイクロ乱流の比較

- ミクロ乱流は主に表面重力と強く関係していることがよく知られている。
 - 左図：APOGEE DR13 の giant grid で使われている関係、supergiant では有効ではない。
 - 中央図：APOGEE DR14 で得られた分布。
 - 右図：今回の結果。
- 表面重力は（変光を考慮すると）不定性が非常に大きいですが、これを見るに MMF2014 の ID39 と ID42 の間のマイクロ乱流差は reasonable に見える。



山口大輔 (東大理学系天文修士1年)

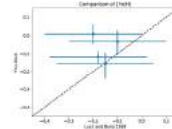
RSG の組成解析

2018-11-16, WINERED2018-1

17 / 35

Luck らの金属量との比較

- Luck らは $[Fe/H]$ の誤差を明示的に与えていないが、典型的な誤差は ± 0.2 dex だと述べている。この誤差が大きいため、今回の結果との比較があまりできない・・・。
- Luck らが観測した天体のうち、彼らが金属量を低めに見積もった4天体をたまたま解析してしまったが、これらの天体が本当に（太陽近傍の割には）金属量が低めなのか、それとも Luck らの結果も我々の結果も（たまたま）間違っているのか？



山口大輔 (東大理学系天文修士1年)

RSG の組成解析

2018-11-16, WINERED2018-1

16 / 35

RSG が属する OB Association に着目してみる

- (Levesque+05) は (Humphreys 78) と (Garmany+92) を元に RSG の OB association への帰属を考え、そこから距離を出している。
- Betelgeuse は Orion OB association から弾き出された恒星だと何かの論文に書いてあった記憶がある。
- 同一の OB association に属する恒星が同じくらいの金属量を持つか調べられないかと考えたが、同じ OB association に属すると同定されている天体はなかった・・・。

Star	Betelgeuse	psi01 Aur	HD37536
OB Assoc.	Ori OB	Aur OB1	
Star	HD219978	HD52005	HD200905
OB Assoc.	Cep OB3		

山口大輔 (東大理学系天文修士1年)

RSG の組成解析

2018-11-16, WINERED2018-1

19 / 35

1 Abundance Analysis Method of RSG

- Introduction1
- Overview and Atmospheric Parameters (T_{eff} and $\log g$)
- $[Fe/H]$ Derivation
- Results and Validation

2 Science Case: Metallicity Deficiency in Bar-End Region

- Introduction2
- Observation
- Results and Discussion—Kinematics and $[Fe/H]$
- Summary

山口大輔 (東大理学系天文修士1年)

RSG の組成解析

2018-11-16, WINERED2018-1

20 / 35

1 Abundance Analysis Method of RSG

- Introduction1
- Overview and Atmospheric Parameters (T_{eff} and $\log g$)
- $[Fe/H]$ Derivation
- Results and Validation

2 Science Case: Metallicity Deficiency in Bar-End Region

- Introduction2
- Observation
- Results and Discussion—Kinematics and $[Fe/H]$
- Summary

山口大輔 (東大理学系天文修士1年)

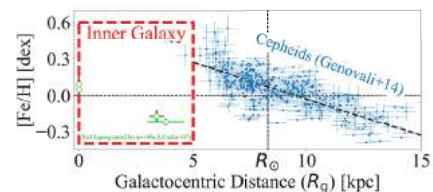
RSG の組成解析

2018-11-16, WINERED2018-1

21 / 35

Young Stars' Disk Metallicity Gradient

- $R_G > 5$ kpc:
 - Nominal metallicity gradient of young stars (< 100 Myr)
 - Tracer: Cepheids, other supergiants, B-type stars, and so on
- $R_G < 5$ kpc:
 - Not well studied yet.



山口大輔 (東大理学系天文修士1年)

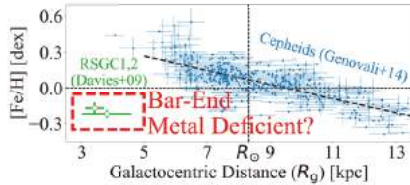
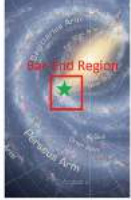
RSG の組成解析

2018-11-16, WINERED2018-1

22 / 35

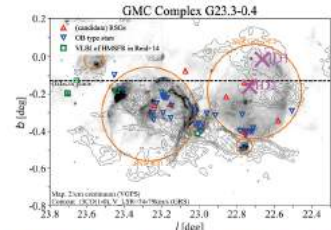
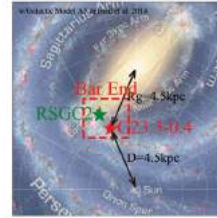
Chemical Peculiarity of the Bar-End Region

- Affected by the bar/bulge.
- Suggested to have sub-Solar metallicity (Davies et al. 2009).
- Need more observation with NIR.



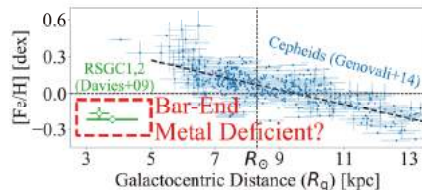
Targets—RSGs around GMC Complex

- Located at the bar-end region ($D = 4.5$ kpc, $R_g = 4.5$ kpc).
- Associated with a few SNRs and many massive stars.
- Many RSGs are found toward the GMC complex (Messineo et al. 2014), but association with the GMC complex is not confirmed.



Objective

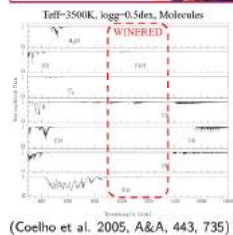
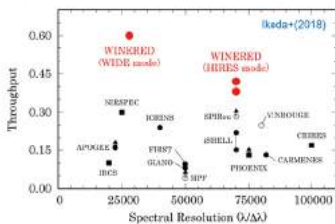
- WINERED を用いた RSG 組成解析手法を確立する。
- Bar end 領域の金属量を RSG をトレーサーにして調べる。
- G23.3-0.4 領域の運動と金属量から星形成史を探る。



- 1 Abundance Analysis Method of RSG
 - Introduction1
 - Overview and Atmospheric Parameters (T_{eff} and $\log g$)
 - [Fe/H] Derivation
 - Results and Validation
- 2 Science Case: Metallicity Deficiency in Bar-End Region
 - Introduction2
 - Observation
 - Results and Discussion—Kinematics and [Fe/H]
 - Summary

Observation w/WINERED

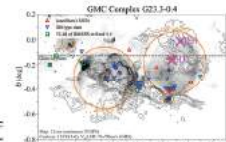
- NIR: z' , Y , J bands ($0.90-1.35 \mu\text{m}$)
- High resolution ($R \sim 28,000$)
- High throughput ($> 50\%$)
- Araki Telescope ($D = 1.3$ m)



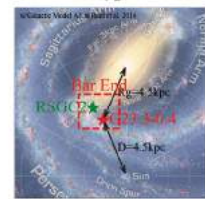
(Coelho et al. 2005, A&A, 443, 735)

Target Observation

- We observed two RSGs in the direction of the GMC complex.
- We also observed six nearby RSGs for comparison.

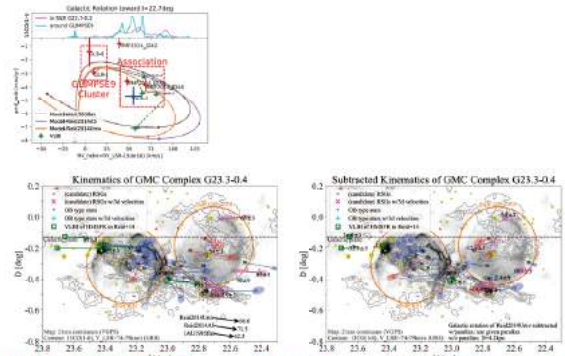


Name	SpType	J_{mag}	Exp [s]	ObsDate
Main target RSGs in the direction of the GMC complex				
K319	K3I	7.26	1200	2015-08-15
ID42	K3I	8.70	2400	2015-08-15
Nearby RSGs for comparison				
Betelgeuse	M1-2Ia-ab	-3.00	12	2013-02-22
HD44537	K5-M1Iab-Ib	1.51	180	2013-02-22
HD37536	M2Iab	2.09	120	2015-10-28
HD219978	K4.5Ib	2.16	120	2015-10-31
HD62005	K3 Ib	2.92	180	2015-10-28
HD200995	K4.5Ib-II	0.93	20	2016-05-14



- 1 Abundance Analysis Method of RSG
 - Introduction1
 - Overview and Atmospheric Parameters (T_{eff} and $\log g$)
 - [Fe/H] Derivation
 - Results and Validation
- 2 Science Case: Metallicity Deficiency in Bar-End Region
 - Introduction2
 - Observation
 - Results and Discussion—Kinematics and [Fe/H]
 - Summary

Stellar Kinematics and Suggested Locations



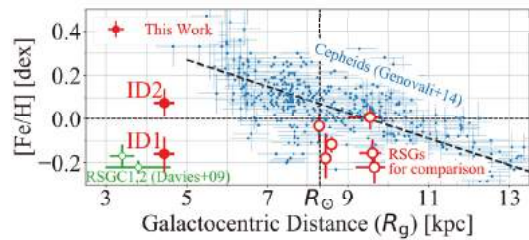
Derived Atmospheric Parameters (Again)

- We derived the metallicity with the precision of < 0.1 dex.

Star	T_{eff} [K]	$\log g$ [dex]	v_{micro} [km/s]	[Fe/H] [dex]
Main target RSGs in the direction of the GMC complex				
ID39	3799 ± 25	$+0.09 \pm 0.10$	$2.06^{+0.25}_{-0.25}$	$-0.16^{+0.09}_{-0.08}$
ID42	3902 ± 34	$+0.69 \pm 0.09$	$1.49^{+0.18}_{-0.16}$	$+0.08^{+0.07}_{-0.06}$
Nearby RSGs for comparison				
Betelgeuse	3882 ± 23	-0.08 ± 0.21	$2.53^{+0.81}_{-0.40}$	$-0.18^{+0.09}_{-0.11}$
HD44537	4050 ± 26	-0.03 ± 0.29	$2.26^{+0.30}_{-0.26}$	$-0.22^{+0.07}_{-0.07}$
HD37536	3833 ± 19	$+0.12 \pm 0.21$	$1.78^{+0.19}_{-0.22}$	$-0.16^{+0.08}_{-0.08}$
HD219978	3945 ± 19	$+0.47 \pm 0.12$	$2.07^{+0.15}_{-0.19}$	$-0.12^{+0.04}_{-0.03}$
HD52005	4026 ± 16	$+0.52 \pm 0.32$	$1.87^{+0.17}_{-0.17}$	$+0.01^{+0.06}_{-0.05}$
HD200905	3985 ± 15	$+0.90 \pm 0.11$	$1.49^{+0.17}_{-0.19}$	$-0.03^{+0.07}_{-0.06}$

Main Result—Radial Metallicity Gradient

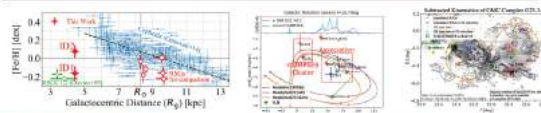
- The bar-end region hosts metal-poor young stars.
- Two stars toward the GMC complex have different metallicities.
 - There stars were formed from the mixture of two gas clouds (e.g. Galactic plane gas and HVC)



Discussion—[Fe/H] and Kinematics

- ID39 と ID42 を比較して、それぞれの素性を分かりやすく言うのは難しそう。
- 個別に何か言うのは諦めて、2天体をまとめて「この2天体は金属量の違うガスが混ざってきたから [Fe/H] も運動も変」と言うしかなさそう？

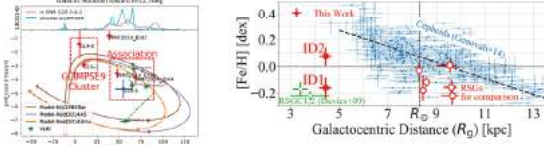
	[Fe/H]	銀河回転	他の天体の運動との比較
ID39	$-0.16^{+0.09}_{-0.08}$	乗っている	HMSFR の運動と似ている
ID42	$+0.08^{+0.07}_{-0.06}$	乗っていない	青い星の運動と似ている



- 1 Abundance Analysis Method of RSG
 - Introduction1
 - Overview and Atmospheric Parameters (T_{eff} and $\log g$)
 - [Fe/H] Derivation
 - Results and Validation
- 2 Science Case: Metallicity Deficiency in Bar-End Region
 - Introduction2
 - Observation
 - Results and Discussion—Kinematics and [Fe/H]
 - Summary

Summary

- We observed two RSGs toward GMC complex G23.3–0.4 at around the **bar-end region** and also six nearby RSGs with near-infrared high-resolution spectrograph WINERED.
- The GMC complex hosts **sub-Solar metallicity** young stars
- Two stars toward the GMC complex have different metallicities, which can give clues to the chemical evolution history in the bar-end region.



山口大輔 (東大理学部天文観測工1年) | 15G の研究成果 | 2018-11-16: WINERED2018-1 | 35 / 35

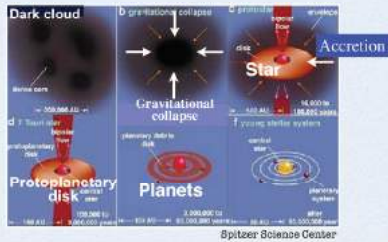
中心星付近の mass flow プロセスの時間進化: 近赤外線高分散分光器 WINERED による Tuaurs 星生成領域中の中質量星の観測

安井千香子 (国立天文台)

濱野哲史、福江慧、近藤在平、飯島寛明、竹中慶一、池田優二、河北秀世、大坪雅悟、渡瀬彩華 (京都産業大学)、松永典之、水本峰希、谷口大輔、泉奈都子、小林尚人 (東京大学)、WINERED 開発チーム

Protoplanetary disk

- ★ **Important role for star/planet formation**
Rotating accretion disks due to initial angular momentum of molecular clouds
- ✓ Stars form in the process of mass accretion
- ✓ Planets form in the process of disk dispersal



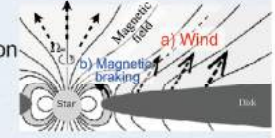
“The angular momentum problem”

How angular momentum of disks is removed?

- ✓ If stars accrete most of their mass from disks, they should be rotating quite rapidly
However, CTTSs (stars w/disks) rotate *more slowly than WTTSs (stars w/o disks)* (e.g., Stauffer+1986)
- ✓ At least 99.9% of initial angular momentum must be removed
Any theoretical models cannot explain completely

Proposed processes for angular momentum transport by gas flow

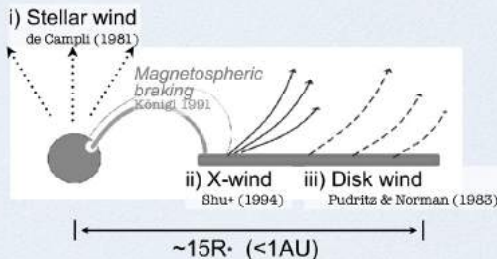
- a) Outflowing gas (wind)
- b) Magnetospheric accretion



Wind origin?

Where and how energetic winds originate in accretion disk systems

The star-disk interaction region is very important



Method: spectroscopy

- ✓ Conventional methods: Optical spectroscopy

e.g. H α , NaD, CaII, MgII (Mundt 1984)

- Redshifted absorption

Sensitive to magnetospheric accretion

- Blueshifted absorption

Sensitive to inner winds (Calvet+1997)

However, superimposed on broad emission features

→ Little information on the nature or location of the wind-launching region

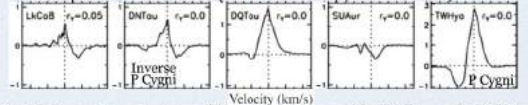
- ✓ **HeI λ 10830**

Very high exciting temperature: T>15,000K (21eV)

- Blueshifted/redshifted absorption

Sensitive to both winds/magnetospheric accretion

- Example for T Tauri stars (low-mass stars) (Edwards+2006)



Detected various types of line profiles with high probability but, no clearly correlated parameters with line profiles

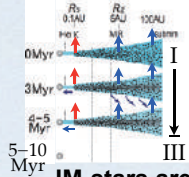
Evolution of protoplanetary disks

✓ Entire disk (gas+dust / from inner to outer) disperse almost simultaneously ($\Delta t \sim 0.5 \text{ Myr}$) in 5–10 Myr (Williams & Cieza 2011, ARAA)
 However, primarily for low-mass stars

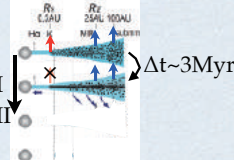
For intermediate-mass (IM) stars,
Innermost disks disperse much earlier

($\Delta t \sim 3 \text{ Myr}$ @ $r \sim 0.3 \text{ AU}$; Yasui+2014, MNRAS)

◆ Low-mass



◆ Intermediate-mass



IM-stars are suitable targets for identifying evolutionary stages

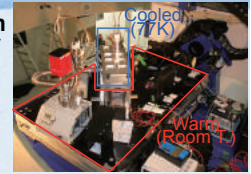
Observation

WINERED NIR high-resolution spectroscopy

- ✓ High spectral resolution: $R=30,000$
- ✓ Very high throughput ($\geq 40\%$)
- ✓ Period: Feb 2013–Oct 2014
- ✓ Wavelength: NIR Y, J-bands (0.9–1.35 μm)

Target selection

- ✓ IM-stars in Taurus star-forming region
- ✓ Different evolutionary phases of dust disk
- ✓ $J < 9 \text{ mag}$
- Selected 13 targets (K3 or earlier)



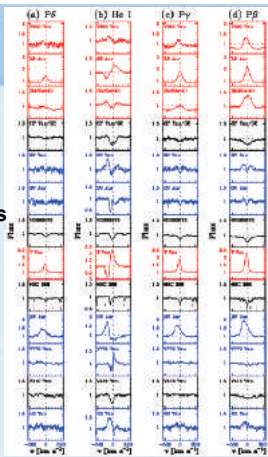
Results

Obtained spectra

- ✓ He I $\lambda 10830$
- ✓ Hydrogen Paschen lines
- Pa β features are most prominent

Remove photospheric features

v_{broad} , RV, veiling estimations

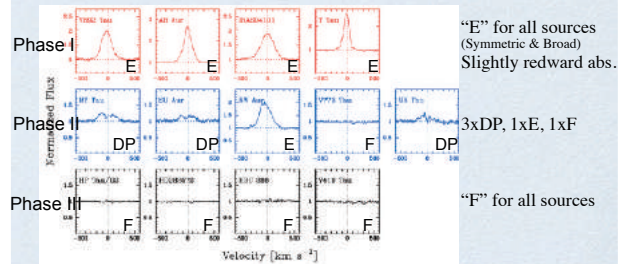


★ Pa β ($\lambda 12822$)

Sensitive to only magnetospheric accretion (MA)

Detection rate

Phase I: 100%, Phase II: 80%, Phase III 0%
 Detected for stars w/disks (Phase I & II),
 while not detected for stars w/o disks (Phase III)

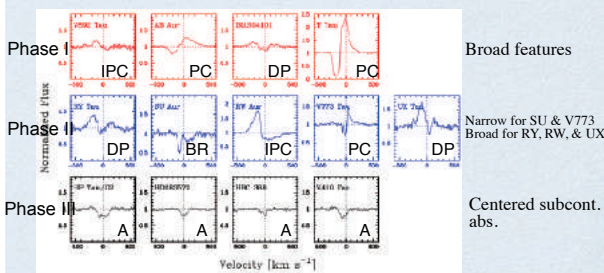


★ He I ($\lambda 10830$)

Sensitive to magnetospheric accretion & inner winds

Detection rate

Phase I: 100%, Phase II: 100%, Phase III 0%
 Detected for stars w/disks (Phase I & II),
 while not detected for stars w/o disks (Phase III)



Discussion

★ Interpretation of line profile morphologies

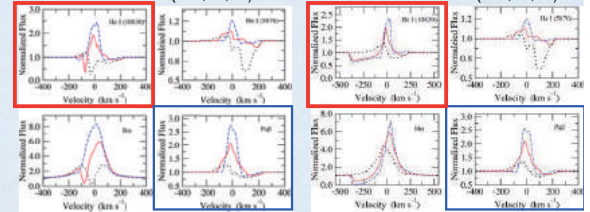
Comparison with model profiles

Disk wind tend to produce narrower blueshifted profiles with relatively weak emission compared with stellar wind profiles (Kurosawa+2011, Kwan+2007).

Line profiles heavily depend on inclination angles

◆ MA + Disk wind ($\tau=20, 50, 80$)

◆ MA + Stellar wind ($\tau=20, 50, 80$)



Kurosawa+2011

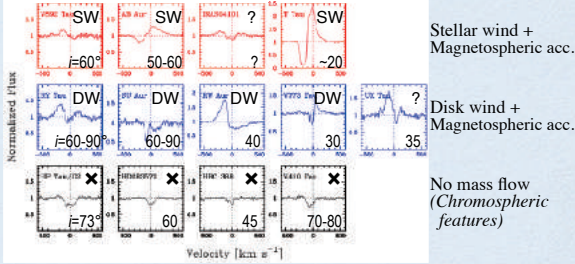
Discussion

★ Interpretation of line profile morphologies

Comparison with model profiles

Disk wind tend to produce narrower blueshifted profiles with relatively weak emission compared with stellar wind profiles.

Line profiles heavily depend on inclination angles



Stellar wind + Magnetospheric acc.

Disk wind + Magnetospheric acc.

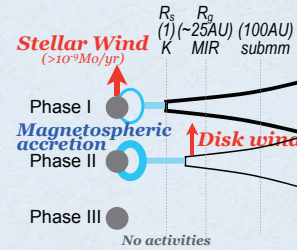
No mass flow (Chromospheric features)

★ Dominant processes in each phase

(for IM-stars (1.5–3M_⊙))

- Phase I: Stellar wind + magnetospheric accretion
- Phase II: Disk wind + magnetospheric accretion
- Phase III: No activity

A clear progression is suggested



★ Comparison with previous studies

Studies for H AeBes (Intermediate-mass stars in Phase I)

Reference: Cauley&Johns-Krull (2014)

Mass range of H Ae stars is roughly comparable to our targets.

✓ H Ae stars show evidence for stellar wind, whereas they show no evidence of disk wind

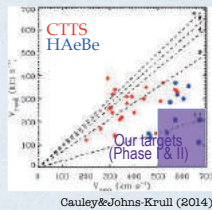
Consistent with the results for Phase I, but inconsistent with Phase II.

✓ Small magnetospheres are confirmed from maximum redshifted abs. velocities

The same trends are seen for our targets (both Phase I and II).

✓ The smaller magnetospheres as a result of smaller magnetic fields was indicated to be the reason for the lack of their disk wind signatures.

The signature is seen in Phase II sources despite that smaller magnetospheres are suggested generally for IM stars.



Cauley&Johns-Krull (2014)

★ Implication to theories

The signature of disk wind is seen in Phase II, whereas it is not seen in Phase I.

- ◆ Phase I: High dust surface density → Low ionization
- ◆ Phase II: Low dust surface density (due to dust growth/settling) → High ionization



Suggested that opacity in protoplanetary disks plays an important role on deciding dominant mass flow processes

Summary

★ Observation with high-resolution NIR spectrograph "WINERED"

- ✓ Obtained spectra for 13 intermediate-mass stars in different evolutionary phases of protoplanetary disks
- ✓ High S/N was achieved with R=30,000, 1m-class telescope, and short exposure time S/N>100 for J=6mag with 20min exposure

★ Star-disk interaction in intermediate-mass stars

- ✓ Detected HeI only in stars having disks
- ✓ Showing differences in HeI line profiles with disk evolution
 - Phase I: Stellar wind
 - Phase II: Magnetospheric accretion + disk wind
 - Phase III: No activities

The first clear suggestion of progression

Suggested that *opacity in protoplanetary disks* play an important role on mass flow processes.

★ Comparison with previous studies

Studies for CTTS (Edwards+2006, Kwan+2007, Fischer+2008)

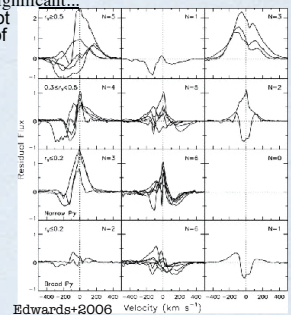
Another indicator of disk evolutionary phase: veiling (mass accretion rate)

Similar tendency is suggested

Broad PCyg-like profiles for high veilings, while narrow emissions coupled with blue-/redshifted absorption for low veilings

However, the tendency is not very significant...

The mass accretion rate, cannot be necessarily clear indicator of disk evolution?



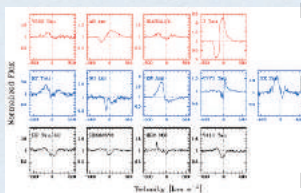
Edwards+2006

★ Progression of dominant processes

???

Detection rate

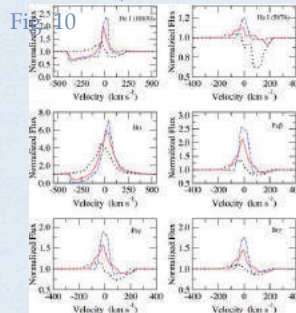
AAA



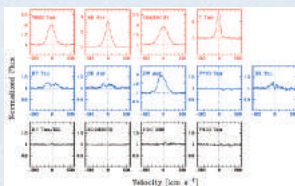
- I. Stellar wind
Broad features
- II. Magnetospheric accretion
+ disk wind
Narrow features
- III. No activity
Centered abs.
(chromospheric activities)

Progression of star-disk interactions is suggested

Kurosawa+2011,



Supportive diagnostics from P β



- I. Weak or no magnetospheric accretion
Slight redshifted abs. features
- II. Magnetospheric accretion
Clear redshifted abs. features
- III. No activity

Consistent with results from HeI

Future Prospects

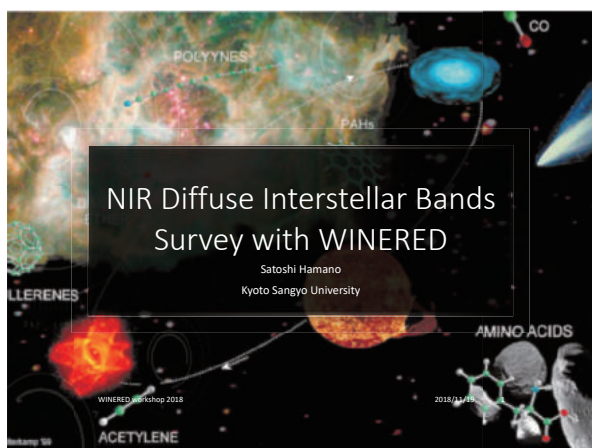
★ Statistical discussion

Already obtained spectra of stars in star-forming regions in different evolutionary stages:

- Taurus (1.5Myr)
- Tr 37 (4Myr)
- NGC 7160 (11Myr)

★ Quantitative discussion about inflowing/outflowing gas

Derivation of mass loss rate and geometry of wind/mass accretion from line profiles (e.g., Kwan+2007, Fischer+2008)



Diffuse interstellar bands (DIBs)

- ◆ Absorption features from interstellar medium detected in the spectra of background stars

Tielens 2014

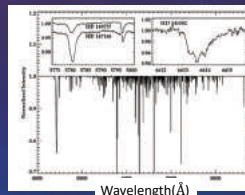
- ◆ Over 500 DIBs are detected from near UV to near infrared, mainly in optical.

Hobbs et al. 08, 09

- ◆ Although the carriers of most DIBs are not identified yet, they are now considered to be gas-phase carbonaceous molecules.

Sarre et al. 08

- ◆ The identification of DIB carriers is important for the understanding of chemistry in diffuse interstellar medium.



WINERED workshop 2018

2018/11/19

2

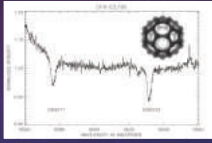
DIBs in NIR

Advantages of NIR

- ◆ C₆₀⁺ DIBs in short NIR *Campbell et al. 15*
 - Two main bands at $\lambda=9577, 9632\text{\AA}$
 - Only DIBs whose carrier are identified.
- ◆ DIBs in dense regions *Zasowski et al. 15*
Adamson et al. 14

Difficulty of NIR DIB studies

- ◆ In NIR, DIBs have not been studied enough.
- ◆ The strong telluric absorption lines in NIR prevent us from detecting weak DIBs.
 - High-resolution spectroscopy and sophisticated correction method are needed.




WINERED workshop 2018 2018/11/19 3

NIR DIB survey with WINERED

Advantages of WINERED for DIB study

- ◆ High sensitivity
 - Weak DIBs can be detected.
- ◆ Covering 0.9-1.35 μm range
 - All C₆₀⁺ bands, the strongest NIR DIB ($\lambda 13175$), many DIBs, and C₂ and CN bands can be detected simultaneously.
- ◆ High resolution (R=28,000 or 68,000)
 - Accurate telluric absorption correction.
 - Band profile of DIBs. (Takenaka's talk)



WINERED workshop 2018 2018/11/19 4

DIB study with WINERED

Toward the DIB carrier identification

- ◆ Search for DIBs → Hamano et al. 2015, 2018 in prep.
 - Comparison with laboratory spectrum of candidate molecules.
- ◆ DIB behavior in ISM → Hamano et al. 2016
 - Correlations among DIBs.
 - Dependence on ISM properties.
 - Relations with interstellar features (UIR band, dust emission, C₆₀⁺ DIBs ...).
- ◆ Molecular properties of DIB carriers → Takenaka's talk
 - DIB profile fitting.
 - Rotational excitation of DIB carriers.

Other interstellar features → Hamano et al. 2018, submitted

- ◆ C₂ and CN A-X bands
 - Physical parameters of clouds (T_{kin} , n_H , T_{CN}), isotope ratios

WINERED workshop 2018 2018/11/19 5

Observations

◆ 208 objects have been observed in 2013-2017.

Run	Period	Telescope	Obj. number ¹	Mode
3rd	2013.11 - 2014.01	Araki	34	WIDE
4th	2014.08 - 2014.10	"	52	WIDE (R~20,000)
5th ²	2015.07 - 2015.10 2016.01 - 2016.05	"	14 14	WIDE
6th	2016.07 - 2016.10	"	4	HIRES
NTT17c	2017.07	NTT	60 15	WIDE HIRES

1. Objects observed twice are counted twice.
2. 15 objects were observed in the engineering run of HIRES mode.

WINERED workshop 2018 2018/11/19 6

OVERVIEW of DIB STUDIES with WINERED

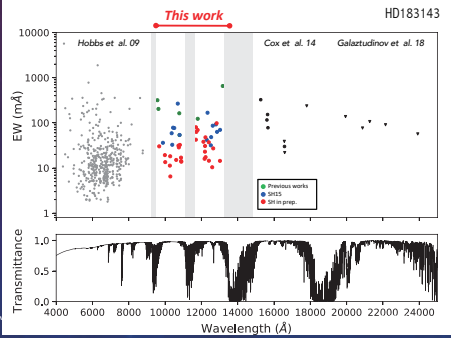
2013-2018



WINERED workshop 2018 2018/11/19 7

Search for NIR DIBs

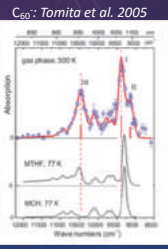
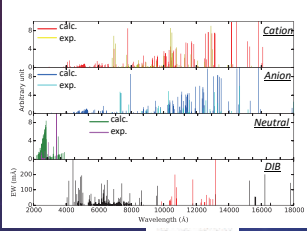
◆ 59 DIBs were detected in WINERED coverage.



WINERED workshop 2018 2018/11/19 8

Comparison with laboratory experiments.

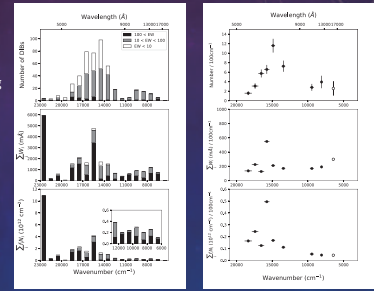
- ◆ PAHs calc.: Ruitkamp et al. 05
exp.: Gredeci et al. 11, Salama et al. 11, Mattioli et al. 05
- ◆ Fullerenes



2018/11/29 9

DIB distribution

- ◆ Wavelength: Short → Long
- DIB numbers: ↘
- Total EW: →
- Total column density: ↘

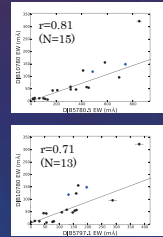
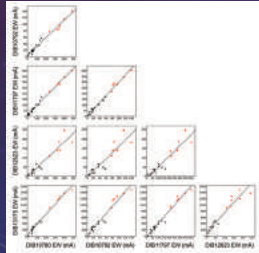


WINERED workshop 2018

2018/11/19 10

DIB correlations

- ◆ NIR DIB "family"
 - 10780, 10792, 11797, 12623, 13175
 - Similar molecules? (Perhaps, same?)
- ◆ Correlation with 5780, 5797
 - NIR DIB family correlates well with 5780.
 - Cation molecules?



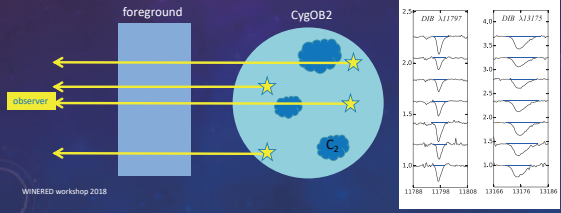
WINERED workshop 2018

2018/11/19

11

DIBs in Cyg OB2

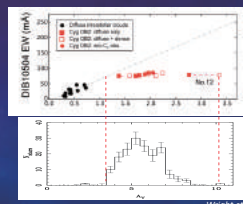
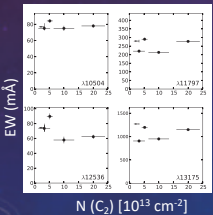
- ◆ Cygnus OB2 association
 - Large extinction & bright in NIR
 - Strong UV radiation from numerous OB stars
 - Well-investigated gaseous structure



WINERED workshop 2018

DIBs dependence on ISM environments

- ◆ Density dependence of DIBs
 - No correlation with C₂
 - Detected NIR DIB carriers exist only in diffuse gas.
- ◆ Destruction of DIB carrier by UV photon
 - The EWs of $\lambda 10504$ are contributed only from foreground diffuse gas clouds.
 - The carrier of $\lambda 10504$ is destroyed within Cyg OB2 by strong UV flux?



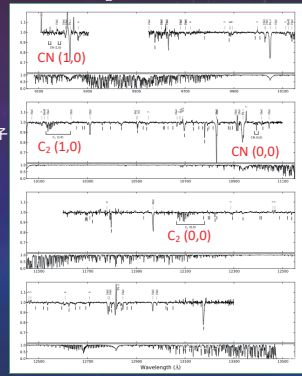
WINERED workshop 2018

2018/11/29

Wright et al. 15

First detection of A-X (0,0) bands of C₂, CN

- ◆ 近赤外線のC₂, CN吸収バンド
 - C₂ (1,0), (0,0) Phillips band (A-X)
 - CN (1,0), (0,0) red band (A-X)
 - ◆ 星間化学反応の理解に重要な2原子分子
 - C₂: 星間ガス雲の「温度計・「密度計」
 - CN: 電子密度・同位体比の決定
 - ◆ 従来使われてきた可視光の吸収バンドと比較して
 1. 長波長 = 減光に強い
 2. 振動子強度が大きい
- ⇒ 各種物理量の高精度な測定が可能に



WINERED workshop 2018

HIRES-J spectrum of C₂ (0,0) band (R=68,000)

- ◆ High quality spectrum of Cyg OB2 No.12 (S/N=400).
 - Three velocity components were clearly resolved.
 - Rotational lines up to J=28(l) could be detected.

WINERED workshop 2018 2018/11/19 15

Temperature & density estimate from C₂

- ◆ These parameters could be estimated with high accuracy for two components.

Component 2: T = 30 ± 5 K, n = 300 ± 30 cm⁻³
 Component 3: T = 30 ± 5 K, n = 340 ± 40 cm⁻³

WINERED workshop 2018 2018/11/19 16

Marginal detection of ¹²C¹³C

- ◆ Q(3) line of ¹²C¹³C could be marginally detected (>2σ).
 - First detection of ¹²C¹³C in ISM?
 - ¹²C/¹³C ~ 60
 - ▣ Consistent with Local ISM within uncertainty (~70).
- ◆ Constraints on chemical reaction processes in translucent clouds?
 - E.g., CN vs. CO

Ritchey et al. 2011

WINERED workshop 2018 2018/11/19 17

C₆₀⁺ DIBs

- ◆ 5 C₆₀⁺ DIBs in 0.92-0.96 μm
 - λ9577: Strong
 - λ9633: Strong, but overlapped by a stellar MgII absorption line.
 - Three other DIBs: weak
- ◆ These DIBs are contaminated with many strong telluric absorption lines.
 - Clearly detected in NTT spectra.

WINERED workshop 2018 2018/11/19 18

Summary of DIB studies with WINERED

- Toward DIB carrier identification:**
 - Search for DIBs → 59 DIBs within WINERED wavelength coverage
 - DIB behavior in ISM → Destruction of DIB carriers in Cyg OB2
 - Molecular properties of DIB carriers → Next talk by Takenaka
- C₂ and CN NIR absorption bands**
 - Accurate rotational distribution → T and n
 - First detection of ¹²C¹³C in ISM → Constraints on ISM chemical process
- C₆₀⁺ DIBs in NTT spectra**
 - Clearly detected in NTT spectra.

WINERED workshop 2018 2018/11/19 19

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

近赤外線高分散分光器WINEREDによる DIB λ 10697のキャリアへの制限

京都産業大学大学院
 理学研究科 物理学専攻
 博士後期課程1年
 竹中慶一

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

本発表の流れ

1. イントロダクション
2. 観測・解析
3. 結果
4. 議論
5. まとめ

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

Diffuse Interstellar Bands (DIBs)

- 恒星スペクトルに見られる未同定の広い幅を持った星間吸収バンド
Herbig 1995
- DIBを生み出す物質(キャリア)は炭素系気相分子であると考えられている
Snow & McCall 2006
- 近紫外線～近赤外線で約500本発見されている
Hobbs et al. 2008, 2009
- しかし、実験室分光測定に基づいて同定されたキャリアはC₆₀の1例のみ(4本)
Campbell et al. 2015

恒星 → 星間ガス雲 → 観測者
DIBキャリア

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

DIBの吸収プロファイル

- 高波長分解能 (R > 30,000) ・ 高S/N (> 300) なスペクトルにおいて、一部のDIBsの吸収プロファイルに複数のピーク(substructure)が見つかっている
Sarre et al., 1995; Krelowski & Schmidt, 1997; Galazutdinov et al., 2002; Galazutdinov et al., 2003; Slyk et al., 2006; Galazutdinov et al., 2008

Wavelength / Å vs Absorptivity Flux

DIB 15797, DIB 16614

K Iの吸収線
星間ガス雲の速度分散

これらは分子の電子・振動・回転遷移の包絡線と推測されている

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

DIBプロファイルの再現

- 分子の電子・振動・回転遷移の包絡線として吸収プロファイルを再現することにより、DIBキャリアの構造・サイズに制限を付けることが可能となる

対称コマ分子 (慣性モーメント)	小	大
長球対称コマ $A > B = C$ ($I_a < I_b = I_c$)		
偏平対称コマ $A = B > C$ ($I_a = I_b < I_c$)		

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

DIBプロファイルの再現

- 分子の電子・振動・回転遷移の包絡線として吸収プロファイルを再現することにより、DIBキャリアの構造・サイズに制限を付けることが可能となる

対称コマ分子 (慣性モーメント)	小	大
長球対称コマ $A > B = C$ ($I_a < I_b = I_c$)		
偏平対称コマ $A = B > C$ ($I_a = I_b < I_c$)		

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

DIBプロファイルの再現

- 分子の電子・振動・回転遷移の包絡線として吸収プロファイルを再現することにより、DIBキャリアの構造・サイズに制限を付けることが可能となる

対称コマ分子 (慣性モーメント)	小	大
長球対称コマ $A > B = C$ ($I_a < I_b = I_c$)		
偏平対称コマ $A = B > C$ ($I_a = I_b < I_c$)		

全体の幅は広くなる
構造が見やすくなる

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

DIBキャリアへの制限

DIB 16614の吸収プロファイルを対称コマ分子モデルで再現

偏平対称コマ炭素骨格で原子が14~30個に相当

PAH

SubstructureがあるDIBからはキャリア同定に繋がる重要な手がかりが得られる
無数にある分子の候補に制限を付けられ、実験室分光測定が容易となる可能性がある

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

DIBキャリアへの制限

DIB 16614の吸収プロファイルを対称コマ分子モデルで再現

しかし、substructureが見られ分子定数が推定されたDIBは可視光領域で数本しかない

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

近赤外線 DIB

• 近赤外線DIB ~30本発見されている

Joblin et al., 1990; Foing & Ehrenfreund, 1994; Geballe et al., 2011; Cox et al., 2014; Hamano et al., 2015; Galazutdinov et al., 2017

近年になり次々と発見されつつある

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

近赤外線 DIB

• 近赤外線DIB ~30本発見されている

Joblin et al., 1990; Foing & Ehrenfreund, 1994; Geballe et al., 2011; Cox et al., 2014; Hamano et al., 2015; Galazutdinov et al., 2017

近赤外線ではこれまで、高波長分解能・高S/Nなスペクトルにおいて吸収プロファイルの調査がほとんど行われていない

近年になり次々と発見されつつある

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

近赤外線 DIB

本研究の目的

• 近赤外線DIB

Joblin et al., 1990; Foing & Ehrenfreund, 1994; Geballe et al., 2011; Cox et al., 2014; Hamano et al., 2015; Galazutdinov et al., 2017

- 高S/Nな近赤外線高分散分光スペクトルを取得し、DIBのsubstructureの有無について調査する
- substructureのあるDIBについて分子の電子振動回転遷移の包絡線として吸収プロファイルを再現し、キャリアへの制限を試みる

近年になり次々と発見されつつある

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

近赤外線高分散分光器WINERED

• 高波長分解能・高S/Nなスペクトルを取得するため、1.3m荒木望遠鏡と近赤外線高分散分光器WINEREDを使用

WINEREDの主な仕様

項目	WIDE mode	HIRES-Y mode	HIRES-J mode
波長範囲(μm)	0.91~1.35 (Z, Y, Jバンド)	0.96~1.11 (Yバンド)	1.14~1.35 (Jバンド)
波長分解能 (λ/Δλ)	28,000	68,000	
スループット (%)	~50	~35	
限界等級※ (Jmag)	13.1	11.9	

近赤外線高分散分光器の効率

※荒木望遠鏡での値 Ikeda et al., 2016; Otubo et al., 2016

観測ターゲット天体

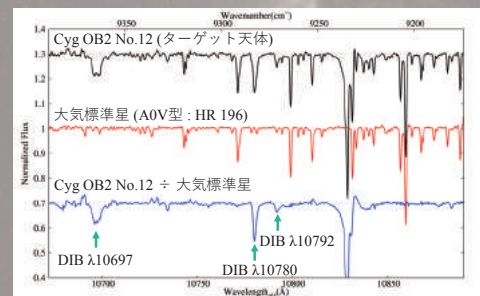
- DIBの吸収プロファイルを高S/Nで取得するため、DIBの強度が強いと予測される星間赤化量E(B-V)が高く、かつ明るい天体を過去のライン・サーベイで観測された天体から選出しそれを観測
- 恒星大気に特有の吸収線を確認するため、HD 23180を参照星として観測

観測状況

Object	観測日	J(mag)	Spectral-type	減光量 E(B-V)	積分時間 (sec)	S/N	波長分解能R
Cyg OB2 No.3	2014/09/11	6.50	O9	2.01	1800	250	~20,000
Cyg OB2 No.10	2014/09/11	6.29	O9.5Ia	1.83	1800	250	~20,000
Cyg OB2 No.9	2014/09/13	6.47	O5If	2.25	1800	300	~20,000
Cyg OB2 No.8A	2014/09/16	6.12	O6If+O4.5III	1.55	2400	330	~20,000
Cyg OB2 No.5	2014/09/20	5.19	O7Ia	1.99	1200	360	~20,000
HD 183143	2014/09/20	4.13	B6Ia	1.27	600	400	~20,000
Cyg OB2 No.12	2014/10/17	4.67	B3-4Iae	3.31	3600	600	~20,000
HD 23180(参照星)	2014/01/22	3.61	B1III	0.31	1300	450	~28,000

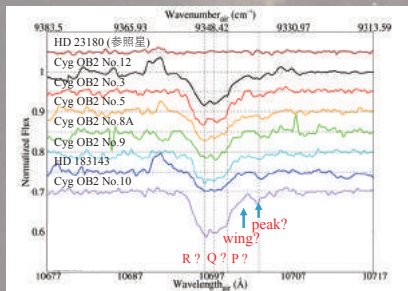
※その他、地球大気による吸収線の除去のため「大気標準星」を観測

地球大気による吸収線の補正



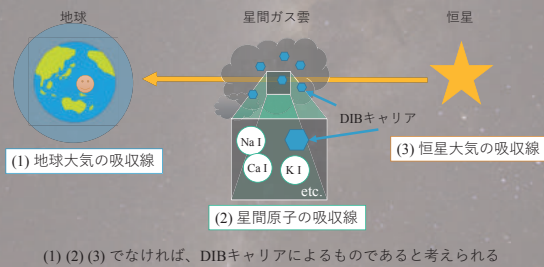
DIB λ10697

- 波長10697Åに検出されるDIB λ10697にsubstructureを発見した



Substructureの起源

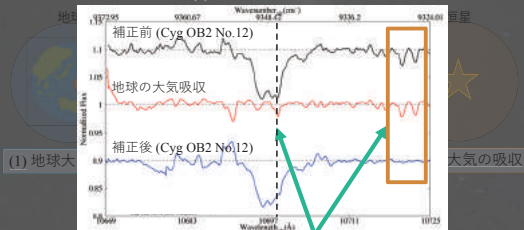
- Substructureは、DIBキャリア以外の起源を持つ可能性がある



(1) (2) (3) でなければ、DIBキャリアによるものと考えられる

Substructureの起源

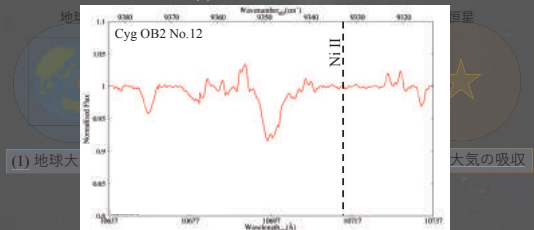
(1) 地球大気吸収



同等強度の地球大気吸収線は補正されている

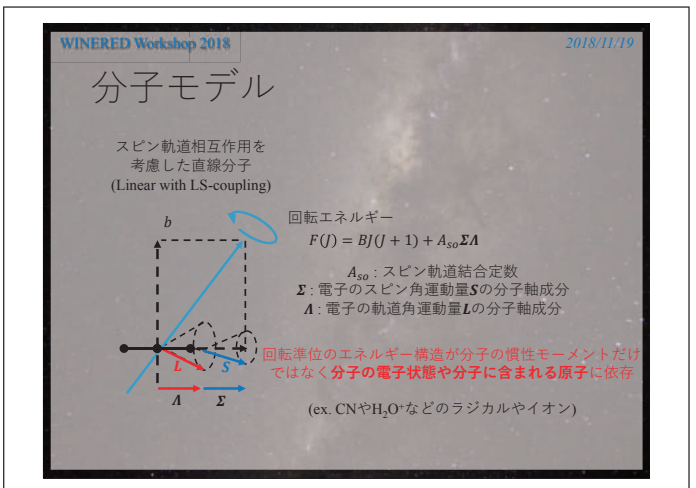
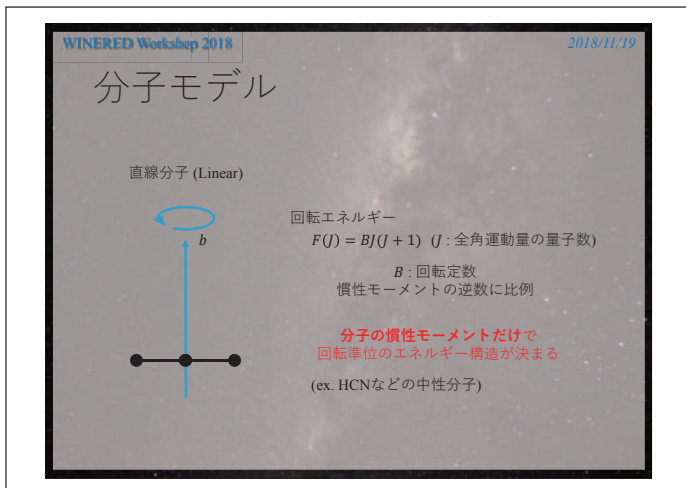
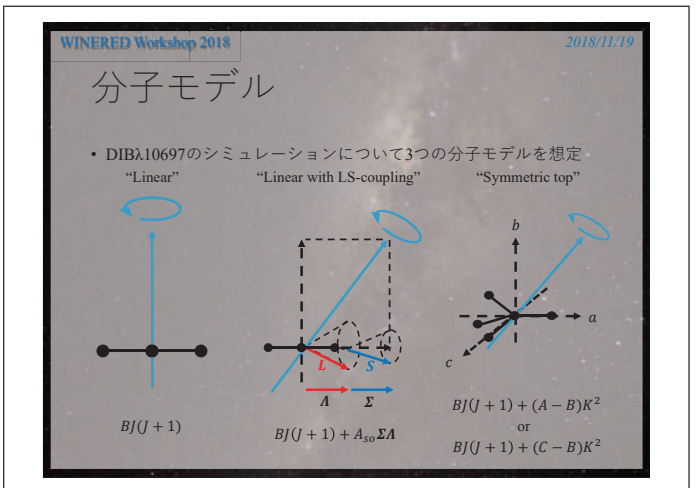
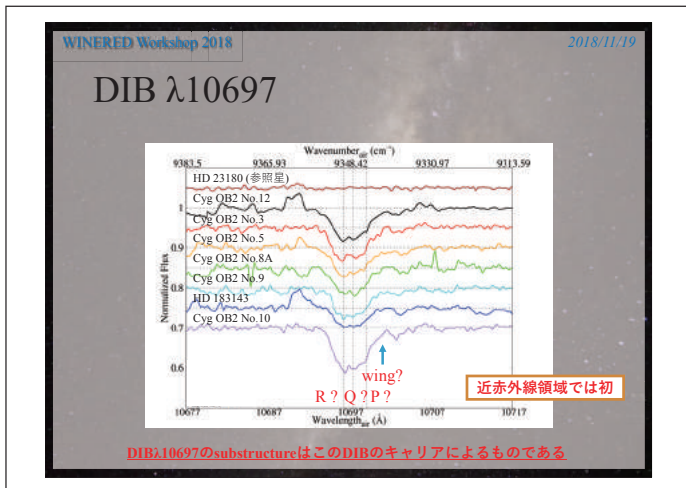
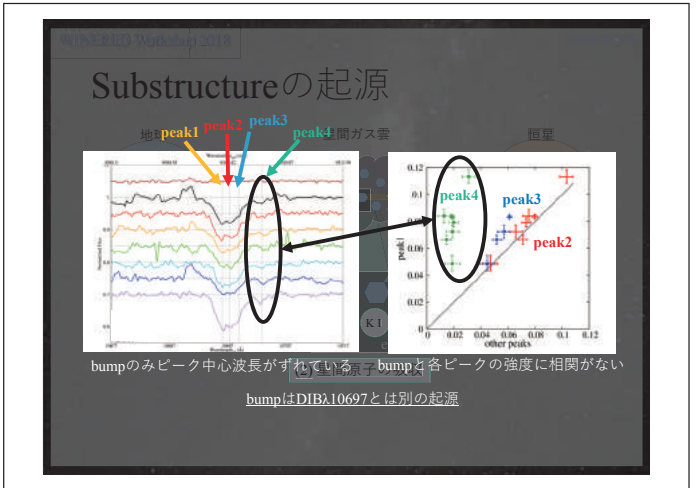
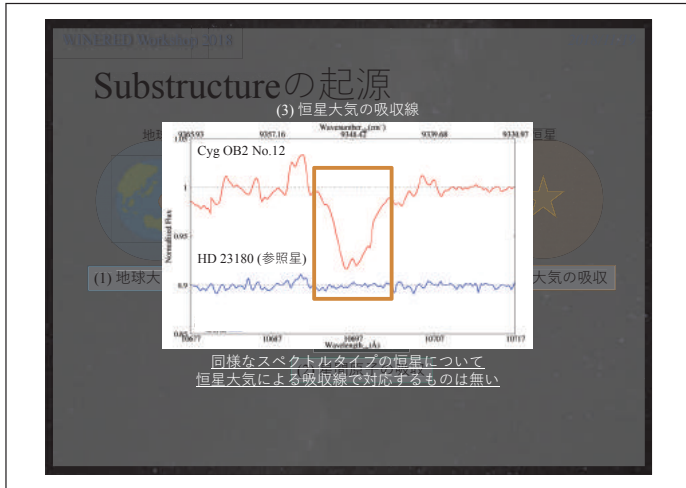
Substructureの起源

(2) 星間原子の吸収



宇宙背景放射 (~3K) と平衡状態にあるような原子の吸収線は対応しない

(NISTより <https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/index.html>)



WINERED Workshop 2018 2018/11/19

分子モデル

対称コマ分子 (Symmetric top)

$A > B = C$ の場合 ($I_a < I_b = I_c$)

$$F(J) = BJ(J+1) + (A-B)K^2$$

$A = B > C$ の場合 ($I_a = I_b < I_c$)

$$F(J) = BJ(J+1) + (C-B)K^2$$

各慣性主軸のまわりの慣性モーメントの大小関係で回転準位のエネルギー構造が決まる

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

シミュレーションモデル

- 電子基底状態のpopulation分布: Boltzmann分布
- 回転励起温度: 3K (宇宙背景放射と平衡状態)
- 装置関数と星間ガス雲の速度場構造: ガウス関数で近似

χ^2 のフィッティングの範囲

wingについては再現できなかったため、そもそもシミュレーション範囲から抜いた

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

計算手法

- 分子の電子・振動・回転遷移のシミュレーションには「PGOPHER ※ (Western 2017)」を使用 ※ <http://pgopher.chm.bris.ac.uk>
- 各分子モデルのフリーパラメータ

分子モデル	Linear	Linear with LS-coupling	Symmetric top
回転エネルギー $F(J)$	$BJ(J+1)$	$BJ(J+1) + A_{so}\Sigma A$	$BJ(J+1) + (A-B)K^2$
フリーパラメータ	Scale (Abundance)		
	Band Origin		
	装置関数等を表すガウス関数のFWHM		
	回転定数 B' (「'」は上位電子状態)		
	回転定数 B'' (「''」は下位電子状態)		
-	スピン軌道結合定数 A_{so}'	回転定数 A'	
-	スピン軌道結合定数 A_{so}''	回転定数 A''	

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

ベスト・フィットの結果

Linear	Linear with LS-coupling	Symmetric top
$\chi^2 = 55.72$ d.o.f = 41	$\chi^2 = 40.67$ d.o.f = 39	$\chi^2 = 41.04$ d.o.f = 39

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

分子サイズの不確定性

- 推定される分子サイズの不確定性を評価するため、 $B''_{best fit}$ の値を±30%、±20%、±10%、±5%、±1%として固定し、他のパラメータをフリーにして再フィッティングする

Linear	B'' (cm ⁻²)	$\Delta B''$ (cm ⁻²)	B' (K)	χ^2	Gaussian FWHM	
+30%	0.2180	0.011	5.046	117.4	1.871	52.43
+20%	0.2012	0.015	7.455	122.0	1.674	46.91
+10%	0.1845	0.013	7.154	73.83	1.660	46.52
+5%	0.1761	0.014	8.007	61.65	1.601	44.86
+1%	0.1694	0.014	8.323	57.95	1.592	44.61
best fit	0.1673	0.014	8.488	55.72	1.590	44.56
-1%	0.1660	0.014	8.494	55.29	1.592	44.61
-5%	0.1593	0.014	8.788	57.81	1.612	45.17
-10%	0.1509	0.014	9.013	71.63	1.663	46.60
-20%	0.1341	0.012	9.172	135.4	1.908	53.47
-30%	0.1174	0.008	6.729	288.4	2.187	61.29

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

分子サイズの不確定性

- 推定される分子サイズの不確定性を評価するため、 $B''_{best fit}$ の値を±30%、±20%、±10%、±5%、±1%として固定し、他のパラメータをフリーにして再フィッティングする

Linear	B'' (cm ⁻²)	$\Delta B''$ (cm ⁻²)	B' (K)	χ^2	Gaussian FWHM	
+30%	0.2180	0.011	5.046	117.4	1.871	52.43
+20%	0.2012	0.015	7.455	122.0	1.674	46.91
+10%	0.1845	0.013	7.154	73.83	1.660	46.52
+5%	0.1761	0.014	8.007	61.65	1.601	44.86
+1%	0.1694	0.014	8.323	57.95	1.592	44.61
best fit	0.1673	0.014	8.488	55.72	1.590	44.56
-1%	0.1660	0.014	8.494	55.29	1.592	44.61
-5%	0.1593	0.014	8.788	57.81	1.612	45.17
-10%	0.1509	0.014	9.013	71.63	1.663	46.60
-20%	0.1341	0.012	9.172	135.4	1.908	53.47
-30%	0.1174	0.008	6.729	288.4	2.187	61.29

0.1509 < B'' < 0.1845
(99.73%の信頼区間)

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

推定されるキャリアの構造

分子のモデル	回転定数 (99.73%の信頼区間) (cm ⁻¹)	$\Delta B (= B' - B'')$ (cm ⁻¹)	$\beta (= \Delta B / B'' \times 100)$ (%)
Linear	0.1509 < B'' < 0.1845	0.013 ~ 0.014	~ 8
Linear with LS-coupling	0.1199 < B'' < 0.1884	0.011 ~ 0.014	~ 8
Symmetric Top	0.1579 < B'' < 0.1929 A'' ~ 0.51	0.008 ~ 0.014	~ 8

— 重結合の炭素骨格(結合距離0.15nm)で構成されていると仮定すると、回転定数より...

if Linear / Linear with LS-coupling ⇒ 3~4個の炭素原子によって構成された分子

if Symmetric top ⇒ 長球対称コマ分子で5~6個の炭素原子によって構成された分子

DIBのキャリアは近年になって比較的に小さい分子も候補として考えられるようになったが、今回はそれを示唆する結果となった

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

モデルの妥当性

分子のモデル	回転定数 (99.73%の信頼区間) (cm ⁻¹)	$\Delta B (= B' - B'')$ (cm ⁻¹)	$\beta (= \Delta B / B'' \times 100)$ (%)
Linear	0.1509 < B'' < 0.1845	0.013 ~ 0.014	~ 8
Linear with LS-coupling	0.1199 < B'' < 0.1884	0.011 ~ 0.014	~ 8
Symmetric Top	0.1579 < B'' < 0.1929 A'' ~ 0.51	0.008 ~ 0.014	~ 8

実験室で求められた直鎖状分子の回転定数 (Oka et al. 2013; Table.2)

Molecule	B'' (cm ⁻¹)	ΔB (cm ⁻¹)	β (%)
C ₃	0.4305	-0.0183	-4.3
l-H ₂ C ₃	0.3468	-0.0118	-3.4
C ₄	0.1661	-0.0091	-5.7
HC ₃ H ⁺	0.1469	-0.0068	-4.9
HC ₄ H ⁺	0.0446	-0.0008	-1.8
HC ₅ H ⁺	0.0019	-0.0002	-1.2
HC ₆ H ⁺	0.0018	-0.0019	-1.0
C ₂ H ₁₂	0.0011	-0.00003	-0.3

一般的に電子励起で化学結合が弱くなる傾向がある

⇒ 結合距離が伸び分子のサイズが大きくなる (ΔB が負になる)

Oka et al. 2013

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

モデルの妥当性

今回のモデルに合う分子が存在しない可能性がある ⇒ 他の分子定数を考慮する必要がある (遠心力歪み、A形二重分離、Jahn-Teller効果他)

分子のモデル	回転定数 (99.73%の信頼区間) (cm ⁻¹)	$\Delta B (= B' - B'')$ (cm ⁻¹)	$\beta (= \Delta B / B'' \times 100)$ (%)
Linear	0.1509 < B'' < 0.1845	0.013 ~ 0.014	~ 8
Linear with LS-coupling	0.1199 < B'' < 0.1884 or 0.1884	0.011 ~ 0.014	~ 8
Symmetric Top	0.1579 < B'' < 0.1929	0.008 ~ 0.014	~ 8

・ ΔB が正になるような特殊な分子 (ex. CO₂)

実験室で求められた直鎖状分子の回転定数 (Oka et al. 2013; Table.2)

Molecule	B'' (cm ⁻¹)	ΔB (cm ⁻¹)	β (%)
C ₃	0.4305	-0.0183	-4.3
l-H ₂ C ₃	0.3468	-0.0118	-3.4
C ₄	0.1661	-0.0091	-5.7
HC ₃ H ⁺	0.1469	-0.0068	-4.9
HC ₄ H ⁺	0.0446	-0.0008	-1.8
HC ₅ H ⁺	0.0019	-0.0002	-1.2
HC ₆ H ⁺	0.0018	-0.0019	-1.0
C ₂ H ₁₂	0.0011	-0.00003	-0.3

電子基底状態

化学結合が弱くなる傾向がある

分子のサイズが大きくなる (ΔB が負になる)

励起して折れ曲がり、分子軸方向の大きさが小さくなる

Oka et al. 2013

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

WINERED / HIRES mode

convolutionしてない状態では、それぞれのモデルで細かな構造が違う

⇒ これらをDIBの吸収プロファイルで見分けることができれば、どのモデルが妥当かを判断できる可能性がある

WINERED / HIRES modeで観測すれば見える可能性がある

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

WINERED / HIRES mode

WINERED / HIRES modeで観測することによってDIB10697以外の近赤外線DIBについてsubstructureをconvolutionして見分けることが出来るかもしれない

⇒ これらをDIBの吸収プロファイルで見分けることができれば、どのモデルが妥当かを判断できる可能性がある

今後、WINERED / HIRES modeで観測することが重要となる

WINERED Workshop 2018 2018/11/19

電波領域の未同定輝線とDIB

電波領域には未同定の輝線が何千本も存在する ⇒ DIBキャリアによる輝線を含む可能性

未同定

Pagani et al. 2017

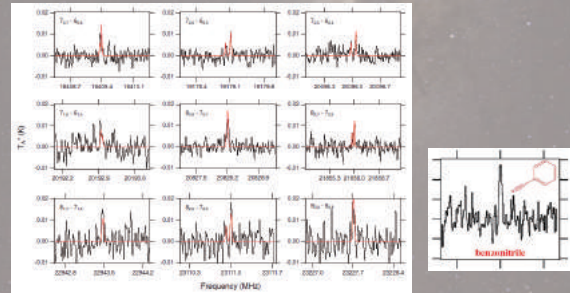
今回求めた分子定数等を用いて電波領域の未同定輝線と照合することで、DIBキャリアに制限をつける事ができる可能性がある

観測結果と電波領域のライン・サーベイデータと照合をし、DIBキャリアの同定を進めることが重要となる

まとめ

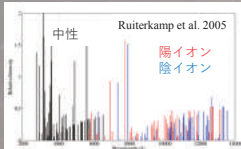
- 近赤外線の高波長分解能・高S/NなスペクトルにおいてDIBの吸収プロファイルを調査した
- DIB λ 10697にDIBキャリア起源のsubstructureがあることが分かった
- 直線分子と仮定しシミュレーションした結果、3~4個の炭素原子で構成された分子が候補の1つとして考えられる
- 対称コマ分子と仮定しシミュレーションした結果、5~6個の炭素原子で構成された分子が候補の1つとして考えられる
- 今後の展望
 - 遠心力歪み、 Λ 形二重分離、他の分子定数を検討
 - WINEREDのHIRES modeを使用して観測
 - 電波領域の未同定輝線との照合

星間分子の同定

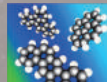


近赤外線の優位性

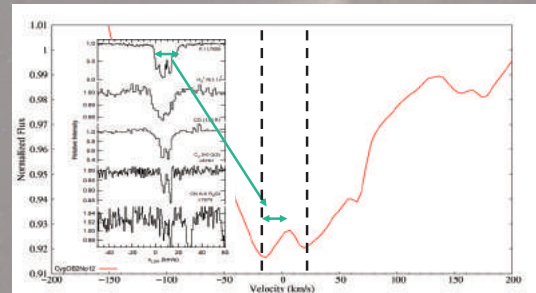
- 近赤外線の優位性
 - 可視光よりも透過力が高く、星間物質による減光を受けにくい
⇒ガスが多量に存在するような領域を高S/Nで観測できる
 - 大型のPAHのイオンが検出されると予測されている



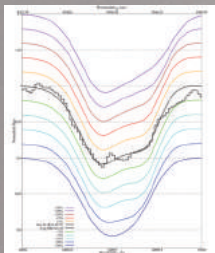
Ruiterkamp et al., 2005; Mattioda et al., 2005
←PAHイオンの理論計算
0.9~1.4 μ mの間にPAHイオンの電子遷移が集中



星間ガス雲の速度場構造

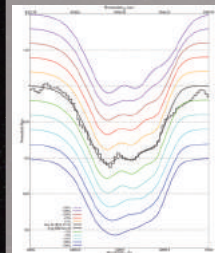


Linear

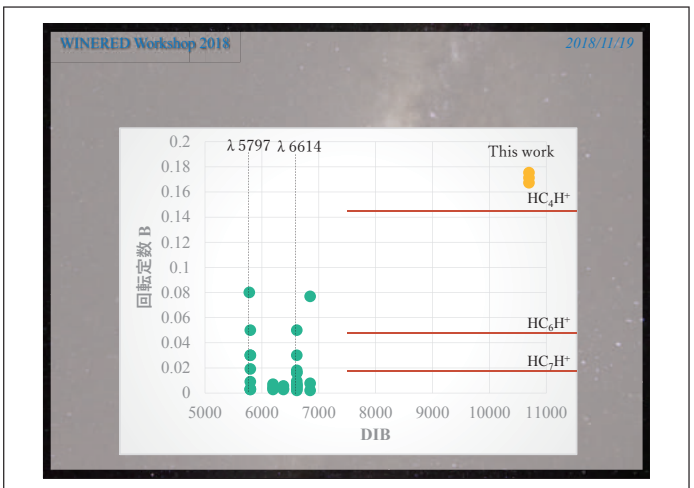
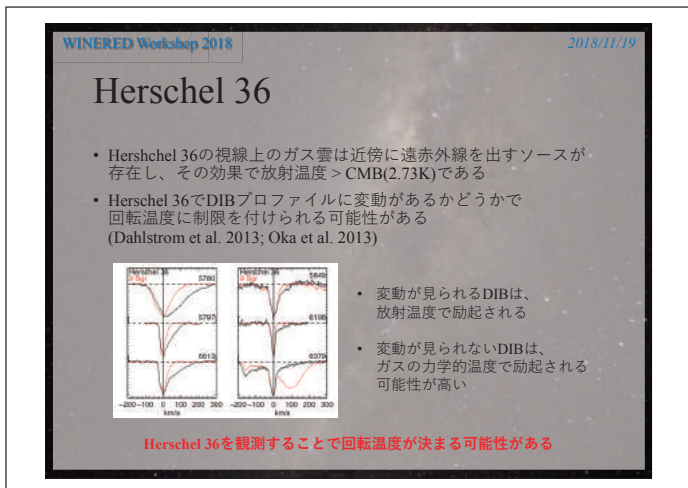
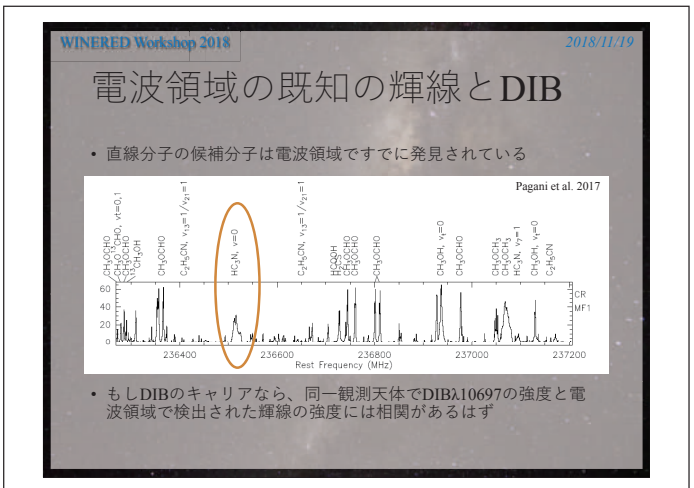
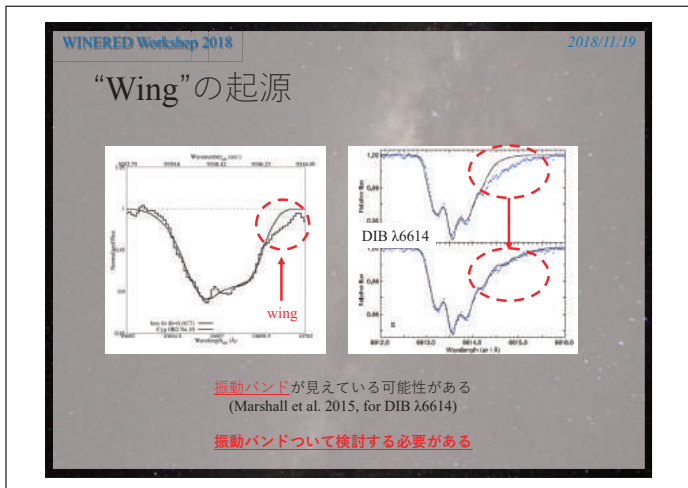
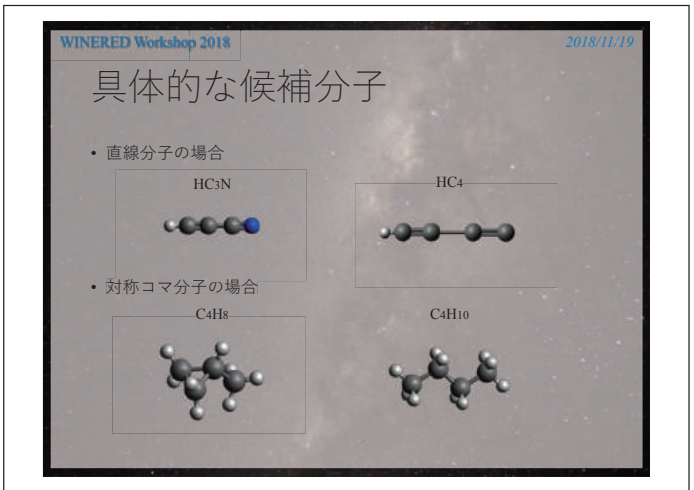
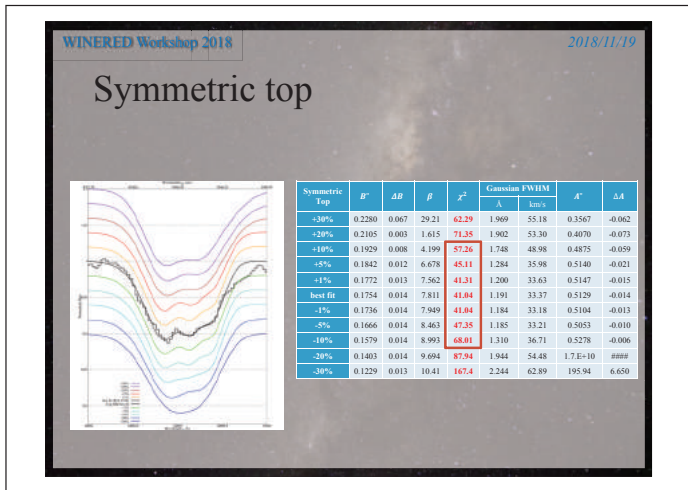


Linear	B^*	ΔB	β	χ^2	Gaussian FWHM	
					Λ	km/s
+30%	0.2180	0.011	5.046	117.4	1.871	52.43
+20%	0.2012	0.015	7.455	122.0	1.674	46.91
+10%	0.1845	0.013	7.154	73.83	1.660	46.52
-5%	0.1761	0.014	8.007	61.65	1.601	44.86
-15%	0.1694	0.014	8.323	57.96	1.592	44.61
best fit	0.1673	0.014	8.468	55.73	1.590	44.56
-1%	0.1660	0.014	8.494	55.29	1.592	44.61
-5%	0.1593	0.014	8.788	57.81	1.612	45.17
-10%	0.1509	0.014	9.013	71.63	1.663	46.60
-20%	0.1341	0.012	9.172	135.4	1.908	53.47
-30%	0.1174	0.008	6.729	288.4	2.187	61.29

Linear with LS-coupling



Linear with LS-coupling	B^*	ΔB	β	χ^2	Gaussian FWHM		A^*_{in}	ΔA^*_{in}
					Λ	km/s		
+30%	0.2227	0.011	5.119	114.3	1.532	42.93	-1.991	-0.118
+20%	0.2056	0.013	6.177	85.83	1.587	44.47	-1.821	-0.095
+10%	0.1884	0.014	7.537	63.78	1.423	39.88	-1.842	-0.036
-5%	0.1799	0.014	8.004	47.52	1.342	37.61	-1.844	-0.064
-1%	0.1730	0.014	8.092	41.62	1.298	36.37	-1.869	-0.143
best fit	0.1713	0.014	8.114	40.67	1.291	36.18	-1.876	-0.168
-1%	0.1696	0.014	8.078	40.92	1.286	36.04	-1.878	-0.200
-5%	0.1627	0.013	7.867	50.70	1.321	37.02	-1.658	-0.387
-10%	0.1542	0.012	7.458	52.51	1.432	40.13	-0.321	-1.016
-20%	0.1370	0.011	7.737	54.59	1.316	36.81	-0.161	-1.379
-30%	0.1199	0.010	8.007	58.52	1.231	34.49	-0.01	-1.624



活動銀河核アウトフローが作る 衝撃波の近赤外線分光観測

水本岬希

(Univ. of Durham, JSPS海外特別研究員)

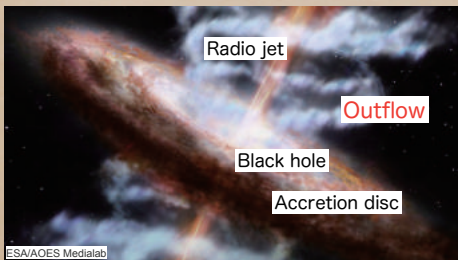
目次

1. Introduction
 - ・ 活動銀河核(AGN)アウトフローとは
 - ・ AGNフィードバックシナリオの検証
 - ・ 衝撃波のトレーサーとしての[Fe II]/[P II]比
2. Observation & Data reduction
 - ・ WINEREDによる輝線天体と広がった天体の観測
3. Results
 - ・ [Fe II]/[P II]比
4. Discussion
5. Conclusion & Future work

1. Introduction

AGN outflow

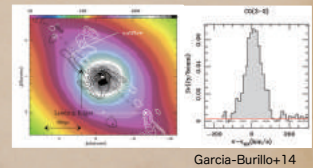
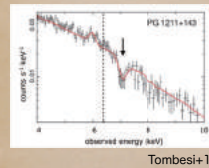
Active Galactic Nuclei (AGN)



1. Introduction

Observation of AGN outflow

1. UltraFast Outflow (UFO)
2. Molecular outflow



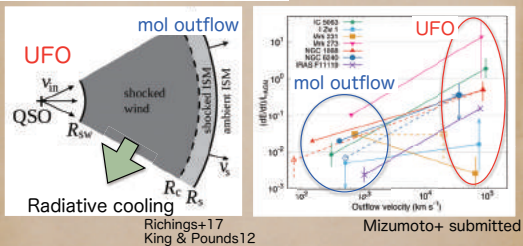
- ・ X-ray absorption
- ・ size: <<1pc
- ・ v=0.1-0.3c
- (Same as UV BAL?)

- ・ mm/sub-mm emission (or far-IR absorption)
- ・ size: 500pc-1kpc
- ・ v=100-500 km/s

1. Introduction

Connection of the two outflows

UFO: Driven by radiation pressure



UFO (+starburst) – radiative cooling = mol outflow

1. Introduction

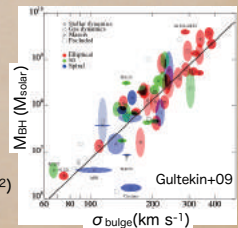
Why is AGN outflow important?

A: Feedback to galaxy evolution

- Gas around the central BH
- > Mass accretion onto BH
- > BH growth
- > AGN outflow blows away gas around BH, and suppresses mass accretion
- > "quasar-mode" feedback

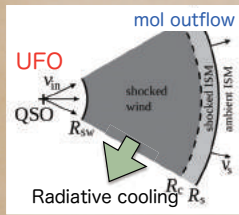
M- σ relation

- Velocity dispersion of the bulge (σ^2)
- \propto Gas around BH
- \propto Gas which should be blown away
- \propto UFO kinetic energy $\propto M_{BH}$



1. Introduction

Scope of this study



Is the AGN "quasar-mode" feedback scenario true?

Although UFO and molecular outflow are observed, their connection area is not yet fully understood.

"If this picture is true, AGN hosting UFO must have a shock region."

7

1. Introduction

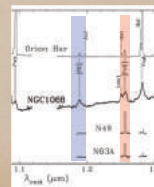
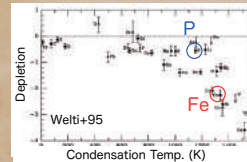
NIR spectroscopy

[Fe II] λ 12570 vs [P II] λ 11886

Similar properties (excitation temp., critical densities, ionisation potential ...)

The depletion onto dust grains are very different.

[Fe II]/[P II] \sim 2 \rightarrow photo-excited
[Fe II]/[P II] $>$ 20 \rightarrow shock-excited (Oliva+01)



<- Orion Bar low [Fe II]/[P II]

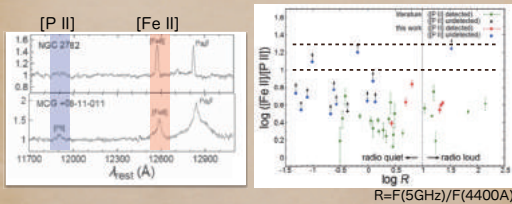
<- SNR high [Fe II]/[P II]

8

1. Introduction

AGN observation

26 nearby Seyferts in OAO/ISLE (Terao+16)



- Three targets have large [Fe II]/[P II] in 44 targets (w literature)
- No correlation with radio loudness (=jet) and starburst \rightarrow UFO origin?
- But no correlation with UFO

9

1. Introduction

Motivation of this work

Hypothesis:

UFO in AGN produces the shock front, and thus has a large [Fe II]/[P II] ratio.

Sample is limited

\rightarrow Focus on nearby UFO targets

\rightarrow NIR spectroscopy

10

2. Observation & Data reduction

Observation

NTT@La Silla) + WINERD wide mode

$\Delta \lambda / \lambda \sim$ 28000, $\lambda =$ 9100-13500Å

2017.11.30-31, 2018.3.1-3 (13 targets)

Target	z	Type	Obs. mode	Exposure
1H 0707-495	0.041	NLSy1	ABBA	3000
Ark 120	0.033	Sy 1	ABBA	3600
ESO 323-G77	0.015	Sy 2	AB	1800
IC4329A	0.016	Sy 1	ABA	900
IRAS 13224-3809	0.066	NLSy1	ABBA ABBA	7200
MCG-5-23-16	0.008	Sy 2	ABBA	3600
MCG-6-30-15	0.008	NLSy1	ABBA	2400
NGC 1365	0.005	Sy 1	OSO OS	2700
NGC 3783	0.010	Sy 1	AB	1800
NGC 4507	0.012	Sy 2	ASA	1800
NGC 5506	0.006	Sy 1	AB	1800
NGC 6240	0.024	Sy 2	ASA	1800
NGC 7582	0.005	Sy 2	OSO	1800

11

2. Observation & Data reduction

Reduction

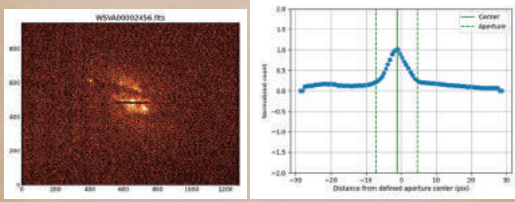
1. Pipeline (Aperture & bkg subtraction)
2. Heliocentric & redshift correction
3. Continuum
4. Velocity correction (using H I and He I lines)
5. Telluric correction around the line (using AOV star)
6. Stack

12

2. Observation & Data reduction

Slit & aperture

Extended source case (NGC 1365)



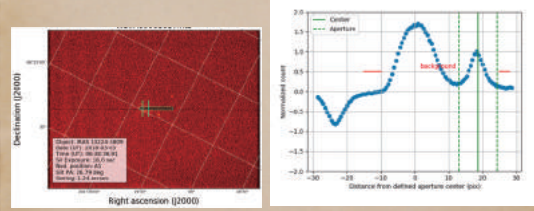
Future task: remove contamination of host galaxy
(SNR and stellar wind produce [Fe II])

13

2. Observation & Data reduction

Slit & aperture

Faint point source case (IRAS 13224-3809)

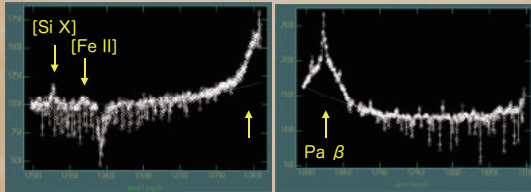


14

2. Observation & Data reduction

Continuum

MCG-6-30-15

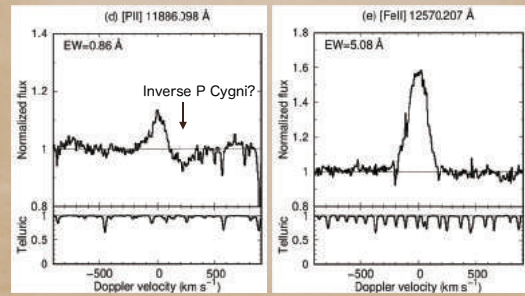


- Some H I and He I lines are broad and/or located at the edge
- The [Fe II] and [P II] are sufficiently narrow (FWHM<300km/s)

15

3. Results

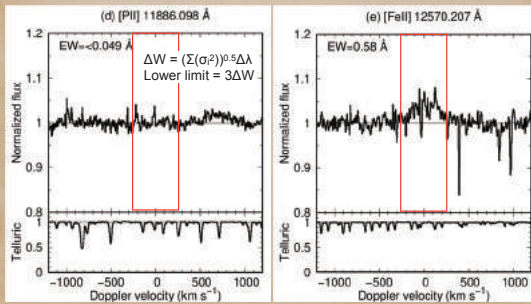
Line profile (NGC7582)



16

3. Results

Line profile (ESO 323-G77)



17

3. Results

[Fe II]/[P II]

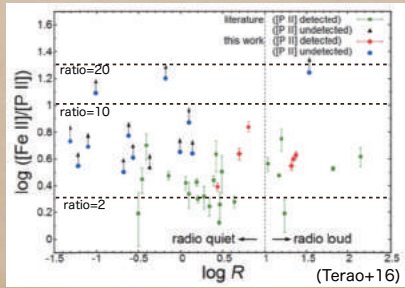
Target	z	[Fe II] EW (Å)	[P II] EW (Å)	[Fe II]/[P II]
1H 0707-495	0.041	0.87	<0.017	>52
Ark 120	0.033	0.41	<0.018	>23
ESO 323-G77	0.015	0.58	<0.05	>12
IC4329A	0.016	1.57	<0.16	>10
IRAS 13224-3809	0.066	1.38	<0.24	>6
MCG-5-23-16	0.008	0.57	<0.06	>10
MCG-6-30-15	0.008	0.31	<0.06	>5
NGC 1365	0.005	0.25	<0.05	>5.5
NGC 3783	0.010	1.37	0.38	3.6
NGC 4507	0.012	7.35	0.31	23.7
NGC 5506	0.006	16.16	1.90	8.5
NGC 6240	0.024	10.63	<0.18	>58
NGC 7582	0.005	5.08	0.86	5.9

Assumption: the continuum levels are same (i.e. EW ratio = flux ratio)
[Fe II] is detected in all the 13 targets, where [P II] in 4 targets
[Fe II]/[P II]>10 -> 7/13 (54%), [Fe II]/[P II]>20 -> 4/13 (31%)

18

4. Discussion

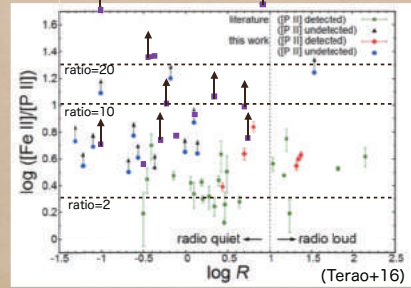
vs radio loudness



19

4. Discussion

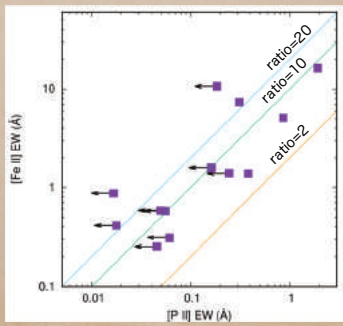
vs radio loudness



20

4. Discussion

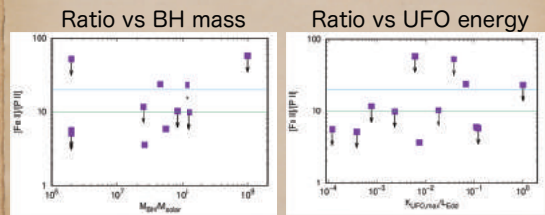
[Fe II] vs [P II]



21

4. Discussion

Parameter dependence



No correlation?

No/weak correlation?

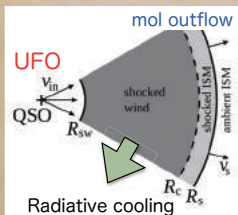
But large uncertainty in UFO energy...

22

4. Discussion

Radiative cooling

UFO (+starburst) – radiative cooling = mol outflow



$$\text{Cooling rate} = n^2 \Lambda(T_e) V$$

$$T_e = 3 \mu m / 16 k V_s^2$$

$$V = b (\Omega / 4 \pi)^{1/2} 4 / 3 \pi R_s^3$$

(b=filling factor)

n, b, $\Omega / 4 \pi$: unknown
 $n: [\text{Fe II}] \lambda 15335 / \lambda 16435$
 ↑ Future work

23

Summary & Future work

- High [Fe II]/[P II] ratio -> shock region
- NIR observations of 13 Seyfert galaxies
- [Fe II] is detected in all the 13 targets, whereas [P II] in 4 targets
- 7 targets show [Fe II]/[P II]>10, and 4 targets [Fe II]/[P II]>20
- UFO targets have shock regions in common
- Key tool to investigate energy transfer in the AGN wind
- Future work:
 - Increasing samples
 - [Fe II] $\lambda 15335 / \lambda 16435$ -> number density -> cooling rate
 - AO or Imaging-spectroscopy of the shock region

24

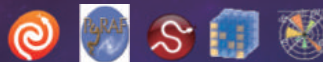
WINERED Pipeline: Current status, Problems, & Upcoming Updates

Satoshi Hamano
Kyoto Sangyo University

WINERED pipeline



- ◆ Python scripts for reducing the raw data obtained with WINERED spectrograph.
- ◆ Astropy, PyRAF, SciPy, NumPy, matplotlib, etc...



- ◆ Basically, all science data obtained with WINERED have been reduced using this pipeline software.
- ◆ Calibration mode:
Manual. Preparation of calibration data (Flat, dispersion solution, bad pix map, aperture trace). A few hours for a dataset.
- ◆ Science mode:
Automatic. Calibration dataset is necessary. A few minutes per frame.

WINERED workshop 2018

2018/11/19 1

Pipeline development (2013?-2018)

Ver.	担当者	日付	Point
1	近藤	?	今のパイプラインの原形となる解析プロセスの確立
2	"	2015.06.19	トランスフォーム高精度化⇒サイエンス利用できるクオリティにパイプラインの中に取り込まれていた較正データを外部から取り込むように
(3.0)	濱野	2017.01.25	HIRESモード追加/データの整理/中心検出方法の改良/解析オプションを設定できるように/位置ずれ補正の導入/S/N測定/空気波長変換導入...
(3.1)	"	2017.02.01	解析ログ作成
3.2	"	2017.02.22	スペクトルの図作成/aperture sizeのバグ修正
3.3	"	2017.04.14	中心検出の精度向上/slit profile図の作成/background引きを可能に/不要な中途ファイルを削除/hot pixelの検出・補正の導入
(3.4)	"	2017.11.06	解析レポートpdfの作成/background領域をフレームごとに指定できるように/中心検出の精度向上/hot pixel検出方法の改良/位置ずれ補正の改良/S/N測定方法の改良/S/N plotの作成/continuum fitのパラメータ変更(HIRES)
3.5	"	2017.12.28	バグを修正/Slit viewer画像を作成/オプション設定方法の追加
3.6	"	2018.08.21	Python 3にFSRの改訂(HIRESのみ)/SV画像の改良/中心検出方法の改良/位置ずれ補正の計算時間短縮/レポートpdfファイルを綺麗に

WINERED workshop 2018

2018/11/19 2

How to use

- ◆ Pipeline is not distributed.
- ◆ If you want to reduce WINERED data, please send a request to a member of WINERED team with providing following information.
 - Necessary: Object name, observation date
 - Additional: Run, mode, slit size, pipeline setting, special request (if any).
- ◆ Pipeline settings:
 - Changing the aperture range and background subtraction mode is frequently requested.

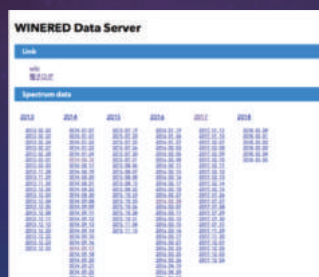
Option	Default setting
Subtract scattered light?	yes
Interpolate hot pixel?	yes
Manually set aperture range?	no
Extract sky emission spectra?	no
Conserve flux in transformation	no
Background subtraction mode.	none
Adapted range of spectra (x FSR).	1.05, 1.30

WINERED workshop

2018/11/19 3

Optional services

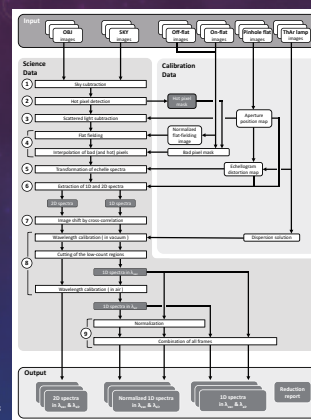
- ◆ Web page for downloading reduced spectrum data. ID and password are needed.
<http://merlot.kyoto-su.ac.jp/WINERED/DataServer/dataservice.php>



WINERED workshop 2018

2018/11/19 4

Reduction flow



- Telluric absorption correction is not included.
- Continuum fitting quality depends on the spectral type and spectrum quality. Strongly recommend you normalize the spectra by your own.

WINERED workshop 2018

2018/11/19 5

Problems

- ◆ The method of measuring wavelength shift should be improved.
- ◆ The wavelength conversion from vacuum to air is currently conducted just by velocity shift, which is slightly different from the conversion formula.
- ◆ The manual of calibration data reduction is not made.
- ◆ The calibration data preparation is time-consuming. Automization is necessary.
- ◆ Not using the information from WODB.
- ◆ Improvement of transformation accuracy. The slit image, which is slightly warped, is now treated as a straight line.
- ◆ Resampling noise in 2-dimensional spectrum.
- ◆ Improvement of S/N estimate method.
- ◆ The wavelength widths per pixel of each echelle order are different between observational runs.

WINERED workshop 2018

2018/11/29

6

Upcoming(?) updates

- ◆ **Optimal extraction with oversampling method** (without transformation)
→ Obtaining higher S/N spectra without resampling noise.
- ◆ **Persistence image subtraction**
→ A background region in a slit can be wider. Higher S/N can be achieved by avoiding the decrease of flux due to self-persistence-image subtraction.
- ◆ **Sophisticated background subtraction**
→ The sky emission can be subtracted more accurately.

WINERED workshop 2018

2018/11/29

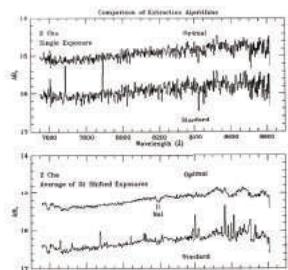
7

Optimal extractionによる WINEREDデータ解析に向けて

Satoshi Hamano
2018.05.18

Optimal extraction

- Slit上の天体の空間プロファイルの情報を使うことで、各ピクセルごとに重みをつけて積分する。
- 高S/N
 - Background noise limitedで特にS/Nの改善が得られる。
 - Background noiseが無視できるケースでは単純な積分と同程度のクオリティ。
- Cosmic ray除去を同時に行える。



Horne 1986

Optimal extraction

• Horne 1986

• シンプルな積分:
$$f_{\lambda}^{\text{std}} = \sum_{x=1}^{x_2} (D_{x\lambda} - S_{x\lambda})$$

• 空間プロファイル(P)による規格化と重み付け積分:

$$f_{\lambda}^{\text{unbiased}} = \frac{\sum_x W_{x\lambda} (D_{x\lambda} - S_{x\lambda}) P_{x\lambda}}{\sum_x W_{x\lambda} P_{x\lambda}}, \quad \sum_x P_{x\lambda} = 1$$

• Optimal extraction:

• 重み:
$$\frac{1}{W_{x\lambda}} = \text{var} \left[\frac{(D_{x\lambda} - S_{x\lambda})}{P_{x\lambda}} \right] = \frac{V_{x\lambda}}{P_{x\lambda}^2}$$

• スペクトルと分散:

$$f_{\lambda}^{\text{opt}} = \frac{\sum_x P_{x\lambda} (D_{x\lambda} - S_{x\lambda}) / V_{x\lambda}}{\sum_x P_{x\lambda}^2 / V_{x\lambda}}, \quad \text{var}[f_{\lambda}^{\text{opt}}] = \frac{1}{\sum_x P_{x\lambda}^2 / V_{x\lambda}}$$

Algorithms for optimal extraction

• Horne 1986

- 波長方向と空間方向が直行しており検出器座標と並行になっているケースについてのアルゴリズム
- 空間プロファイルの波長依存性も考慮

• Marsh 1989, Mukai 1990

- オーダーのstripが湾曲している場合について適用できるようにHorne 1986の方法を改良。
- ただし両者とも空間方向は検出器座標の1軸と並行になっていることをまだ仮定している。

• Piskunov 2002

- 波長、空間方向が両方とも検出器座標と並行になっていない場合についても適用できる方法。
- 煩雑になるため論文の中では空間方向が検出器座標の1軸と並行になっている場合について記述されているが、著者曰く「一般化は容易」。

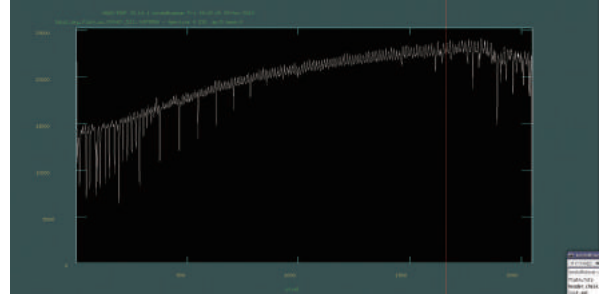
Resampling noise

Marsh 1989

- If the **resampling** algorithm conserves flux, then this method works for normal extraction. However, **for optimal extraction it fails for two reasons.**
- First, any resampling method leads to **correlation between adjacent pixels** and, therefore, we can no longer assume statistical independence during the extraction.
- Even without this effect, resampling always fails when the spectrum profile is undersampled. For example, consider a narrow profile which falls into a single pixel. In the absence of any other information, if such a profile were to be shifted by half a pixel, it must be divided equally between two pixels. However, although unavoidable, this is not necessarily the correct solution since the profile may not have been centered in the original pixel.
- The effect of this in practice is to cause **short scale oscillations** along the columns which are easy to miss in low signal-to-noise data but which cause **periodic modulation of the extracted spectrum.** I now consider a method which does not require resampling the data.

Resampling noise in WINERED data

- パイプライン ver0 では、まずapallで矩形化してから Transformをかけており、resampling noiseが顕著に現れていた。



Resampling noise in WINERED data

- パイプライン ver 1以降では矩形化のためのresamplingをやめ、transformを最初に行いその後単純な積分でスペクトルを抽出するように変更。
- その結果、resampling noiseはスペクトル上には見た目には見られなくなった。
- しかし、transformはresamplingを行っているので、optimal extractionを行うためにはtransformをせずに解析する方法に変更せざるを得ない。

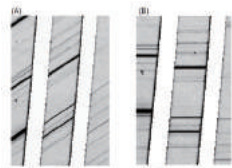
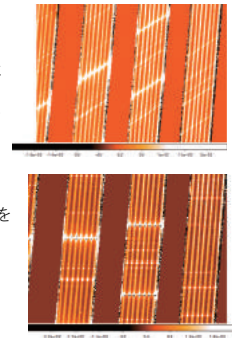


Figure 21. The raw comparison lamp (Th-Ar) images (A) and the corresponding echellogram region after transformation (B).

Resampling noise in WINERED data

- 天体のスペクトルではresampling noiseが明らかには見られないが、comparisonランプのスペクトルのようなカウントに波長方向の大きなgradientがあるデータではresampling noiseと見紛うfeatureが見られる。(下図の縦線のすぐ下の黒い点)
- これは今の解析手法でもある程度のresampling noiseが乗っていることを示唆している。
- 実際にどの程度かまだ調べていないがresamplingを含まない解析手法はスペクトルのクオリティを向上する可能性がある。



Piskunov 2002の手法

• Oversampling method

- 校正データから波長、スリット座標のmapを作成。
- 実際のデータを正確に再現できるように、データのピクセルよりも十分細かいgridでスペクトル f と空間プロファイル g を定義する。

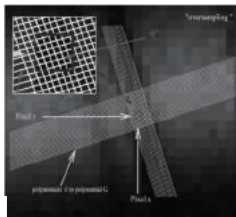
(空間方向が検出器座標と並行な場合)

$$\text{ピクセル}(x,y)\text{のカウント} \rightarrow S_{x,y} = \int_{\lambda} \int_{\lambda'} f(\lambda) g(\lambda') d\lambda d\lambda'$$

x行目のフランクス 重み 規格化空間プロファイル

$$w_{j,g} = \begin{cases} 0 & j < j_0 \\ \text{FRACT}((w(x)M) & j = j_0 \\ 1/M & j = j_0 + 1, \dots, M-1 \\ 1 - \text{FRACT}((w(x)M) & j = j_0 + M \\ 0 & j > j_0 + M \end{cases}$$

X-Shooter
(Modigliani et al. 2010)



Piskunov 2002

- 実際のデータと合うようにスペクトル f と空間プロファイル g を推定する。

$$\mathcal{F} \equiv \sum_{i,j} \left[f_i \sum_j w_{i,j} g_j - S_{i,j} \right]^2 = \text{minimum.}$$

- 空間プロファイルがなめらかになるための項(?)を加える。

$$\mathcal{F} + \lambda \sum_j (g_{j+1} - g_j)^2 = \text{minimum.}$$

- f と g を求める(次ページに続く)。

Piskunov 2002

(ここからは演算が書いた式だが変数の表記や定義が論文と若干異なっているので注意)

$$F = \sum_{i,j} \left[f_{xy} \sum_p w_{xy}^p \theta_i - s_{xy} \right]^2 + \lambda \sum_i (g_{i+1} - g_i)^2 \quad (7)$$

$$= \sum_{i,j} \left[f_{xy} \sum_p \sum_q w_{xy}^p w_{xy}^q \theta_i \theta_j - 2f_{xy} \sum_p w_{xy}^p \theta_i + s_{xy}^2 \right] + \lambda \sum_i (g_{i+1} - g_i)^2 \quad (8)$$

$$= \text{minimum} \quad (9)$$

$$\frac{\partial F}{\partial f_{xy}} = 2 \sum_p \sum_q f_{xy} \left(\sum_p w_{xy}^p w_{xy}^q \theta_i \theta_j \right) - 2 \sum_p w_{xy}^p \theta_i = 0 \quad (10)$$

$$f_{xy} = \frac{\sum_p \sum_q w_{xy}^p w_{xy}^q \theta_i \theta_j}{\sum_p \sum_q w_{xy}^p w_{xy}^q} \quad (11)$$

$$\frac{\partial F}{\partial g_i} = \sum_j \left[2f_{xy} \sum_p w_{xy}^p w_{xy}^q \theta_i \theta_j - 2s_{xy} f_{xy} w_{xy}^q \right] + \lambda (2g_i - g_{i+1} - g_{i-1}) = 0 \quad (12)$$

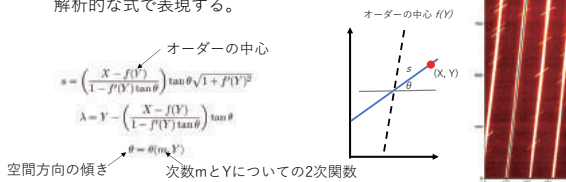
(11) と (12) の関係式が得られる。
f (g) を求めるには g (f) が必要なので実際にはiterativeに解く必要がある。

Piskunov 2002

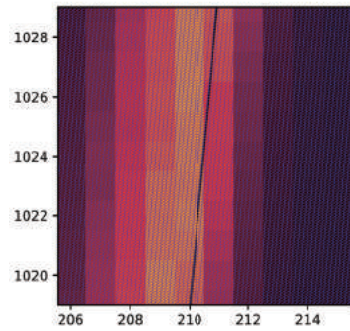
- ここまではノイズを考慮しておらず、optimal extractionではない。
- Optimal extraction についてはさらっとしか書かれておらず、具体的に上記の数式のどこに変更を加えるのかよくわからないが、おそらく(11)式に重みのfactorが入るのだろう。
- ここまでの議論をWINERED dataのような空間方向も検出器座標の軸と並行でない場合に一般化する。

Oversampling for WINERED data

- WIDEモードのデータについて考える。
- オーダーのstripはY軸に対して数度傾いており、空間方向はX軸に対して29-35度ほど傾きをもつ。
- 簡単のためスリット座標 s と波長(μm) λ を以下の解析的な式で表現する。



Oversampling for WINERED data



Oversampling for WINERED data

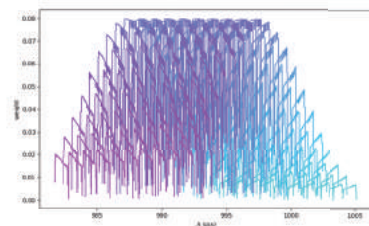
- 簡単のため空間プロファイルを最初に仮定

$$g(s) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{(s - s_0)^2}{2\sigma^2} \right)$$

- (s, λ) のgridを(X, Y)座標上に張り空間プロファイルが既知だとすると、各(s, λ)に入るフラックスの割合が空間プロファイルから計算できるので、各ピクセル(X,Y)ごとに、どの波長範囲の光がスリット全体の何パーセントの割合だけ入射しているかを計算することができる。

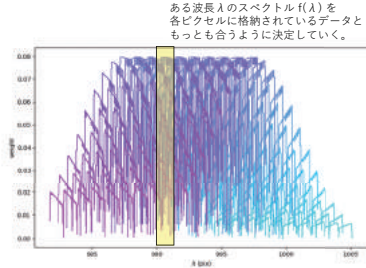
Oversampling for WINERED data

- 試しに200 pixelほど計算してみた。
- 一つ一つの線が1ピクセルに対応しており、波長λの光が全体の何パーセントそのピクセルに入射しているかを示している。
- ピクセルの境界の取り扱いをサボっていたり他にも多分計算間違いがあるので、あくまでイメージとして。



Oversampling for WINERED data

- 各ピクセルの割合から実際のデータのカウンタを再現するようにスペクトルを推定する。
- その際にノイズを考慮して各データに重み付けをすれば optimal extraction が完了。



現時点での課題

- まだ概要を示しただけでやることは山積み
 - (s, λ) gridをモデルを与えるのではなく較正データから数値的に決定する。
 - 空間プロファイルは実際には既知ではなく、スペクトルとiterativeに決めないといけない上、波長による変化も考慮しないとイケない。
 - ピクセルの境界を正しく取り扱う。
 - スペクトルを推定しないとイケない。
 - その際にノイズも考慮できるようにしないとイケない。
- 計算時間を短縮する工夫が必要
 - (色々と細部をサボっているのに)200 pixelでもそれなりに時間がかかる。
 - コーディングを工夫して計算時間を短縮しないと使い物にならない。

Optimal Techniques in Two-dimensional Spectroscopy: Background Subtraction for the 21st Century

Kelson 2003

概要

- X-shooterなどで採用されているbackground引きの手法
- resampling をすると夜光が正しく引けなくなるので、resamplingを避けた方法を考えている。

- 1ピクセル行の情報だけだと thick line のように粗いsamplingだが、スリット像の傾きのおかげで少しづつずれた場所でも sampleされるため全ての行の情報を利用すれば thin line のようになりに細かくサンプルできる。

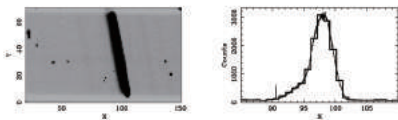
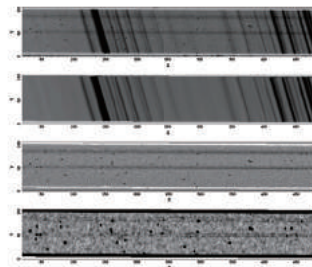
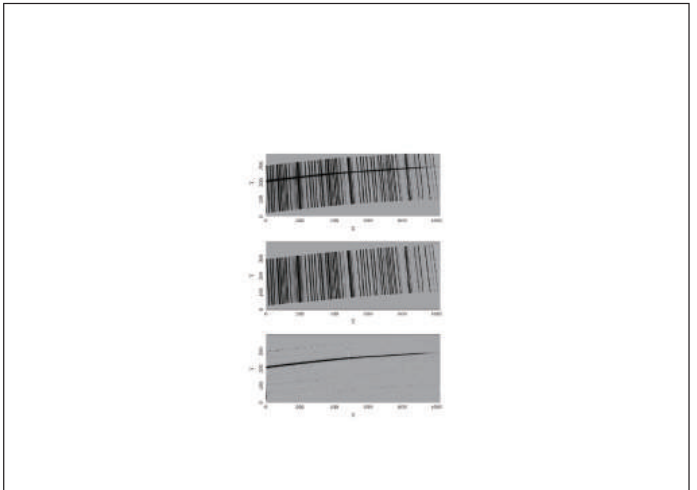
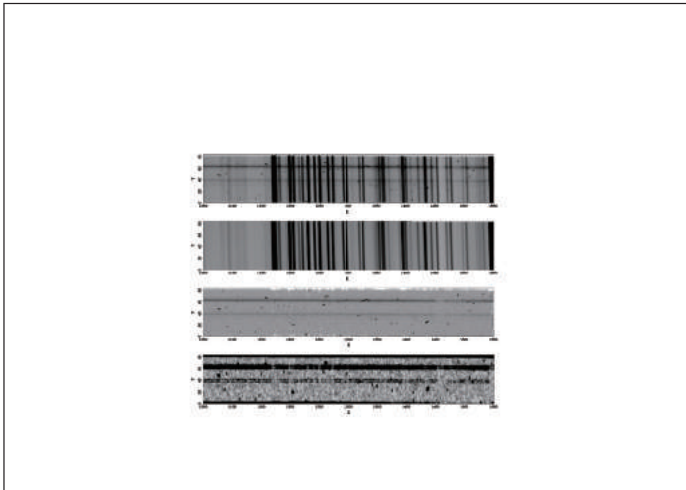


FIG. 1.—Left panel: Subsection of an LRIS two-dimensional spectrum surrounding the 5777 Å night-sky emission line. Right panel: Thick line shows the intensity of the 5777 Å line from a single CCD row, while the thin line shows the value of every pixel in the left panel, plotted as a function of its spectral position $s = \lambda(x, y)$ along the wavelength-dependent coordinate in the spectral coordinate system. Note that the shape of the line is actually quite well sampled as a result of the tilt of the spectral line, due to both the tilting of the slit on the aperture plane and the line curvature imposed by the instrument's optics. If the data were to be rebinned, the oversampling would be lost. From the optics at $s = 91$, σ which a cosmic ray is clearly visible above the rest of the data (see Fig. 2).

検出器上でスペクトルがどう歪むかを正確に把握できれば観測の情報だけから細かいsamplingで夜光スペクトルを作ることができ、得られた1次元スペクトルとスペクトルの歪みを使って2次元夜光スペクトルをシミュレーションすればかなりの精度で夜光成分を差し引くことが可能となる。





マゼラン移設の現状と見通し

小林、池田

マゼランへの移設？

From Andy-san
 As for engineering run: I asked for time in late February 2N and 2N in early July. I was on the committee. Our proposal received a very high grade: I think it was ranked tied 3rd out of 42 proposals.

- 観測はおそらく2月になるが、日程と日数は未定
- MOU (memorandum of understanding)が必要

MOU案
 It is our desire to make WINERED available for use on the Magellan/Clay Telescope at Las Campanas Observatory for an initial period of 5 years

- 少なくとも2年は運用？

ハードウェア

- 装置台 (カート)
- エクステンダー光学系
- 冷凍機配管
- 電源系統変更 (220V → 120V)
- 運搬/装置の格納 (at AUX building)

→ 大坪発表を参照

ソフトウェア

- Magellan I/Fソフトウェア
- オートガイダーシステム
 - 大坪発表、渡瀬発表、新井コメント参照

ソフトウェア

- ・ Magellan I/Fソフトウェア
- ・ オートガイドシステム
 - 大坪発表、渡瀬発表、新井コメント参照

From Andy-san:

here is a message from Dave Osip regarding moving WINERED to Magellan. I will draft a response to Dave today. Much of what he requests has already been stated; somehow people forget.

- > The AUX building is not a warehouse and is presently quite full of
- > actively rotating instruments. In order to prepare possible staging for
- > WINERED, we need to consider all the requirements or desires and
- > determine if and how they can be met and where at LCO this could occur.
- > For example, you mention a desire by our Japanese colleagues to keep
- > the instrument cold - this may make sense when the instrument is in
- > phased operations, but why should this be considered when simply
- > storing the instrument? The present cryocoolers are noted as 220V but ?
- > at what frequency do they operate ? 50 or 60 Hz? This could be
- > problematic... We need to know the full footprint of the instrument and
- > all associated equipment including packing boxes, coolers, computers,
- > hoses, carts, etc....

データ解析

- ・ 初期スペクトルの解析体制
- ・ フラット問題

サイエンス

- ・ エンジニアリング観測でのターゲット
- ・ 今後のMagellanでの観測時間（希望、契約）

→ 今日の後半の議論

契約

- ・ 装置設置に関わる覚書（MOU）
- ・ 設置に関わる合意書（from KSU ??）

体制

- ・ マゼランでのエンジニアリングスケジュール
- ・ マゼラン側からのサポートの確認
- ・ 2018年以降のLiHの体制

とりまく環境

- La Silla - NIRPS (2019-) at 3.6m
 - lambda=0.97-1.81um, R=100,000
 - SOX (2021-) at NTT
 - lamnda=0.35-2.0um, R=5,000

Las Campanas - APOGEE2

VLT - CRIRES+ (2018- ???)

CAO (Calar Alto Observatory)

- CARMENES (2016-) lambda = 0.52-1.71um

Gimini-S - IGRINS2 (just started)

Others.... SPIrou at CFHT, HPF at HET, new NIRSPEC...

Magellan 移設に向けた WINERED の装置改修

京都産業大学
大坪 翔悟

WINE RED アウトライン

- ▶ マゼラン望遠鏡について
- ▶ マゼラン望遠鏡でのWINEREDの仕様
- ▶ マゼランに向けての改修
- ▶ 試験観測までのスケジュール
- ▶ マゼラン移設の開発体制
- ▶ 改修が必要な装置の問題
- ▶ WINEREDチームが抱える問題
- ▶ まとめ

WINERED研究会2018 “マゼラン移設に向けた装置改修” Page 2

WINE RED マゼラン望遠鏡について

マゼラン望遠鏡	
有効径	6.5 m
F/#	11
高度	2380 m
形式	グレゴリアン
鏡のコート	アルミニウム

WINERED研究会2018 “マゼラン移設に向けた装置改修” Page 3

WINE RED 2018年8-9月のエンジニアリング

- 迷光除去

 もう迷光リミットなし！
- 検出器読み出しの安定性向上

 ASIC - JADE2間のケーブル変更を実施
 “NTT18a” 観測前に起こったような検出器の接続不安定なし！
- 波長分解能の回復

 WIDE, HIRES共に本来の波長分解能に！

WINERED研究会2018 “マゼラン移設に向けた装置改修” Page 4

WINE RED マゼランでのWINEREDの仕様

- メイン分光光学系

	WIDE	HIRES-Y	HIRES-J
波長範囲	0.91 - 1.35 μm	0.96 - 1.11 μm	1.14 - 1.35 μm
波長分解能	28,000	70,000	70,000
スループット	> 50%	~ 40%	~ 40%
スリット幅		0.3", 0.42", 0.6"	
スリット長		9"	
検出器	HAWAII-2RG 1.7 μm -cutoff (1 pixel = 18 μm)		

- スリットビュー

	スリットビュー
波長範囲	0.6 - 0.9 μm (I-bandが支配的)
視野	0.96' \times 0.72'
プレートスケール	0.0796 "/pixel (1 pixel = 4.65 μm)
ガイディングモード	オンソースモード、オフソースモード、(オフセットモード)

WINERED研究会2018 “マゼラン移設に向けた装置改修” Page 5

WINE RED なにを準備すれば観測できるか

機械系、光学系、冷却系、電気系、制御系 それぞれのインターフェイス

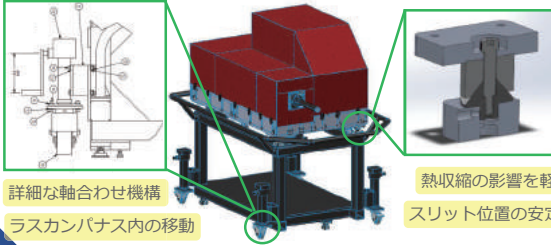
マゼラン観測によって必要となる新要素：ADC、イメージローテータなど

WINERED研究会2018 “マゼラン移設に向けた装置改修” Page 6

なにを準備すれば観測できるか

- 機械系：観測用カート（渡瀬）

マゼラン望遠鏡に搭載するために新しいカートが必要



詳細な軸合わせ機構
ラスカンパナス内の移動

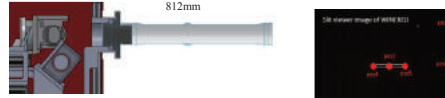
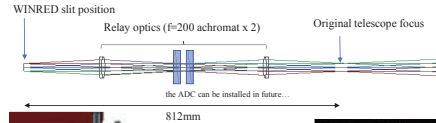
熱収縮の影響を軽減
スリット位置の安定性

カートに合わせて筐体の足を変更する

なにを準備すれば観測できるか

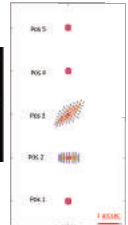
- 光学系：エクステンダー（大坪）

望遠鏡のバックフォーカスが短い



望遠鏡焦点像を再結像させる光学系

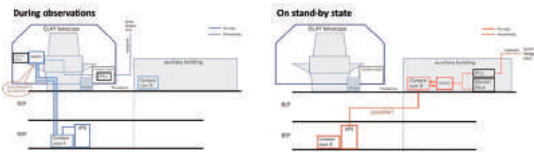
簡易的な光学系のため
スリット上以外は結像性能が悪い



なにを準備すれば観測できるか

- 冷却系：冷凍機の運用方法とメンテナンス（近藤）

各フェーズ毎の運用方法と、追加物品の購入および、メンテナンス



マゼラン望遠鏡での運用方法の確立

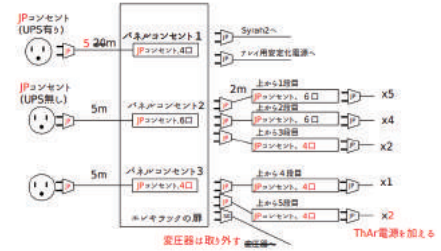
- ヘリウムホースの延長
- ホースの導線確立
- 待機状態の検討
- その他各種ケーブルの購入
- コンプレッサー用UPSの購入

今後10年間の安定的な運用を保証

- 予備のバルブユニットを購入
- コンプレッサーのメンテ
- コールドヘッドのメンテ方法確立

なにを準備すれば観測できるか

- 電気系：マゼラン-N T T間のエレキラック運用（近藤）



エレキラック内の構成を変更し、マゼラン（120V）に対応
N T Tでは電圧変換機能を持つUPSを入れる

なにを準備すれば観測できるか

- ソフトウェア：インターフェイス作成と改修（新井）



- ◆ マゼランに向けての開発
 - ・ I/F ソフトウェア
 - ・ パラメータの変更
 - ・ ヘッダーの変更
 - ・ モニタリングパラメータの変更
 - ・ 大気分散を考慮したオフセットガイド

- ◆ オートガイダー周りのアップデート
 - ・ 自動FWHM測定機能
 - ・ 長時間露光の対応（30秒以上に）
 - ・ AG専用GUI

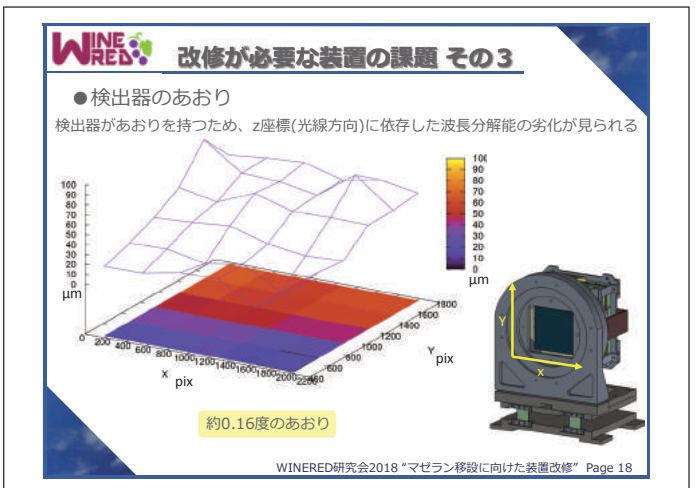
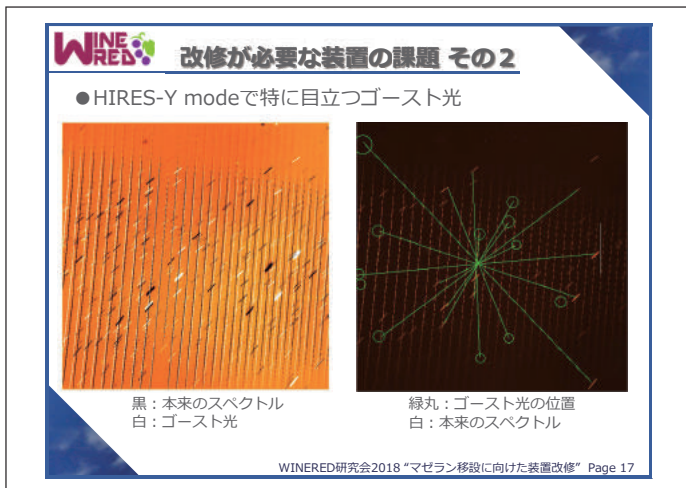
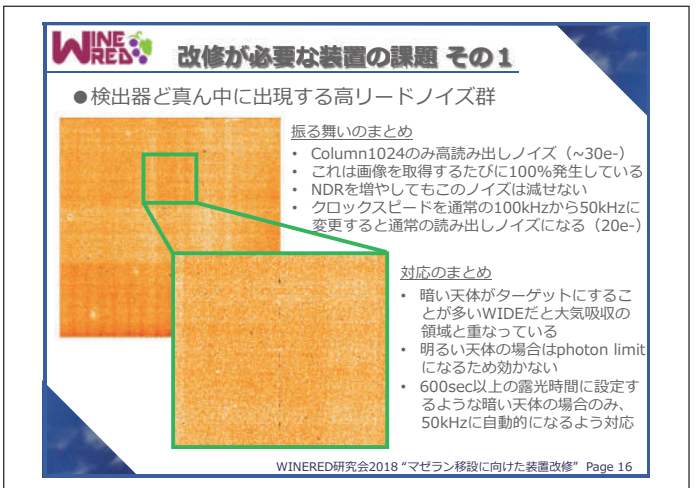
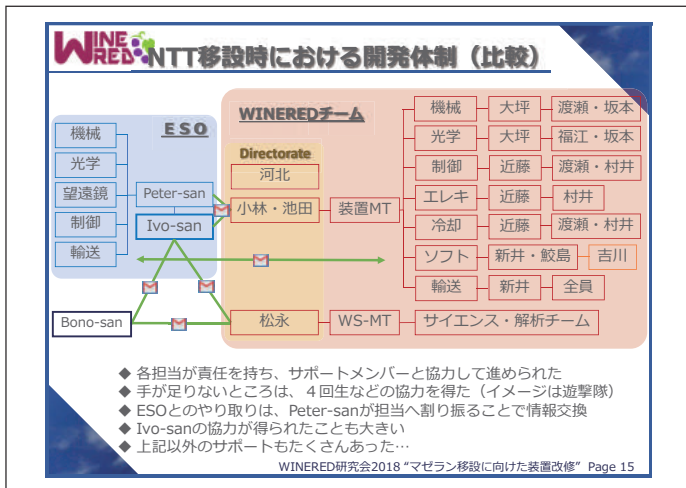
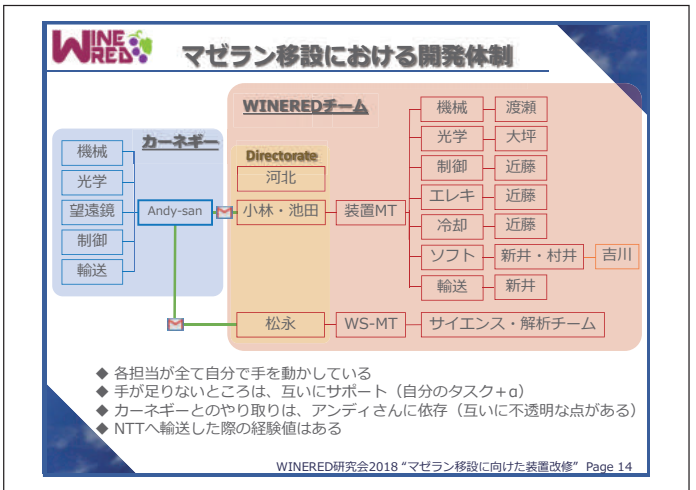
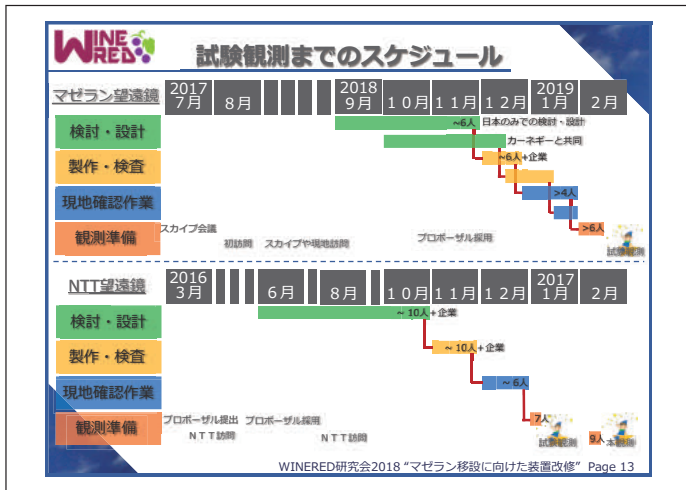
- ◆ その他のアップデート
 - ・ 電子ログの修正
 - ・ エラー対応の簡易化
 - ・ その他にも様々な使用感の向上

なにを準備すれば観測できるか

- その他にもたくさん…

- 外壁遮光部分の見直し（渡瀬）
- 検出器のヘルスチェックシステムの構築（近藤）
- エレキラックからの漏光対応（近藤）
- アレイ用安定化電源のモニタリング（近藤）
- HIRES周辺機構の見直し（大坪）
- フラットケーブルの固定方法見直し（近藤）
- 光学素子のカバー見直し（大坪）
- 校正用ランプボックスの見直し（大坪）
- マゼラン望遠鏡との光軸合わせ機構（大坪）
- 観測室の運用方法検討（新井）

- これらエンジニアリングと併せて、マゼランへ輸送（新井）





WINEREDチームが抱える課題

- 人員の確保
 - 大きな開発フェーズが終了したと同時にチリに装置があるため、新しい学生が参加しにくい状況が続く
 - マゼランで取得したデータの解析 (パイプラインの更新と対応、大気補正)
 - こういった開発や運用の中でのサイエンスリソースのバランス
- 予算の確保
 - 人員の確保そのものに直結している
 - 大規模な装置の改修は難しい (例えば、モード変換の自動化など)
 - しかしメンテナンスは観測が続く限り続いていく (メンテナンスの予算と渡航・滞在費)
- 来年度に向けて、大規模な引継ぎ
 - この3年間であらゆる点において前に進めた (ぐぐっと)
 - 大きく進めた分、継続して運営するにはしっかりとした引継ぎが必要
 - 大きな開発だけではなく、安定運用を目指した改修も必要

WINERED研究会2018 “マゼラン移設に向けた装置改修” Page 19



まとめ

- ◆ 装置の改修は2019年2月中旬の試験観測に向けてスケジュールしている
 - ◆ まずは各構成のインターフェイスを整えてNTT同等の観測を目指す
 - ◆ 本観測時 (8月?) には、ADCなど導入し、さらなる観測効率上昇を目指す
 - ◆ しかしNTT移設時に比べて時間と人員は不足しており人とスケジュールはギリギリで成立している状況
 - ◆ マゼラン移設後の課題も多く、整備していく必要がある
- それでも!
マゼランに行けばサイエンスも広がる (> 松永さん?)
コミュニティも広がる (> 小林さん?)
次の可能性も広がる (> 河北さん?)
- ◆ ご協力のほど、よろしくお願ひ致します



WINERED研究会2018 “マゼラン移設に向けた装置改修” Page 20

マゼラン望遠鏡用 大気分散補正の開発状況
京都産業大学大学院理学研究科修士2年 渡瀬彩華
2018.11.20 WINERED研究会2018

マゼラン望遠鏡用 大気分散補正の開発状況
京都産業大学大学院理学研究科修士2年 渡瀬彩華
2018.11.20 WINERED研究会2018

もくじ

- 1 大気分散
 - 1-1 大気分散とは
 - 1-2 大気分散がサイエンスに与える影響
 - 1-3 大気分散の補正方法
- 2 ソフトウェアADC
 - 2-1 補正の原理
 - 2-2 補正による効率
- 3 ハードウェアADC
 - 3-1 補正の原理
 - 3-2 設計の流れ
 - 3-3 光学設計
 - 3-4 機械設計
 - 3-5 今後のスケジュール
- 4 まとめ
- 5 Mag19eng観測について (新井さん)

1. 大気分散

1-1 大気分散とは

1-1 大気分散とは

1. 大気分散

★地球大気プリズム効果のため、天体像に空間方向の色収差が生じる現象

Atmospheric dispersion wo/ ADC

実測値 - 100ng
200ng
300ng
400ng
500ng
600ng

Airy Disk Diameter [arcsec]

Wavelength [μm]

0.9"

地球大気

1-1 大気分散とは

1. 大気分散

★地球大気プリズム効果のため、天体像に空間方向の色収差が生じる現象

望遠鏡焦点画像

大気分散の影響なし

大気分散の影響あり

地球大気

1-1 大気分散とは

1. 大気分散

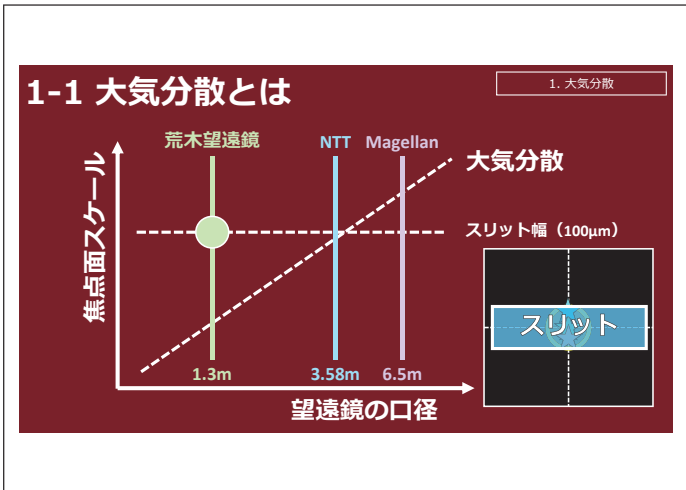
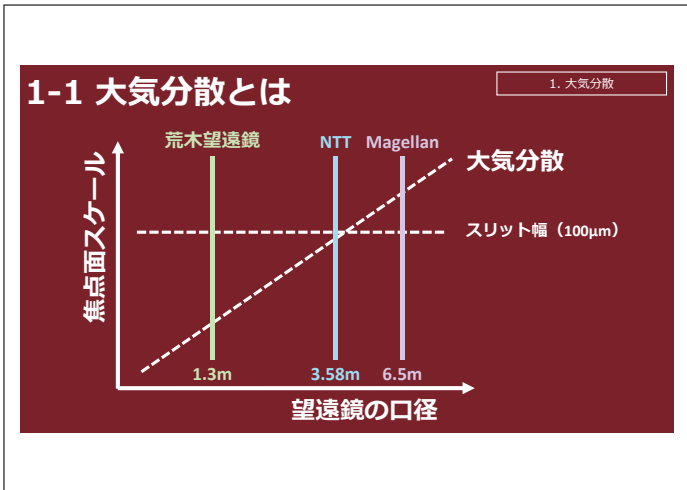
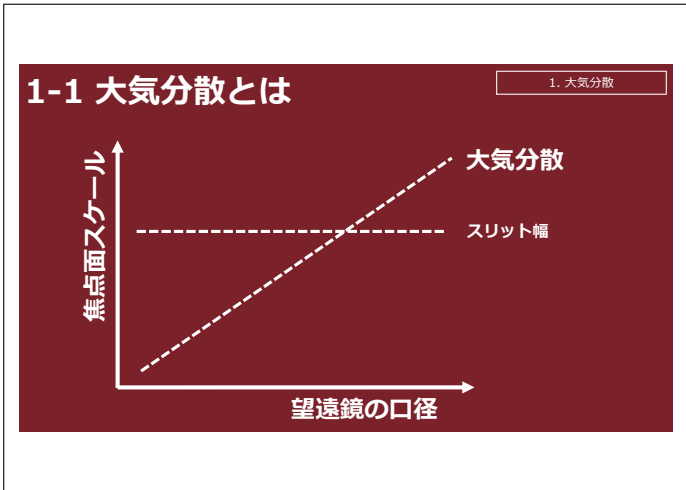
★地球大気プリズム効果のため、天体像に空間方向の色収差が生じる現象

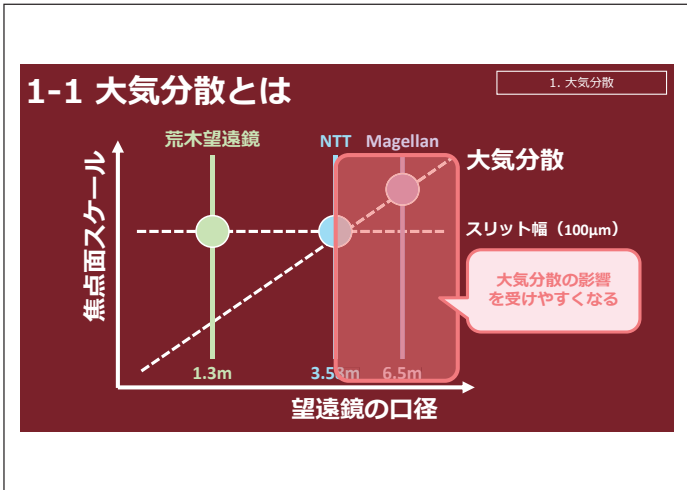
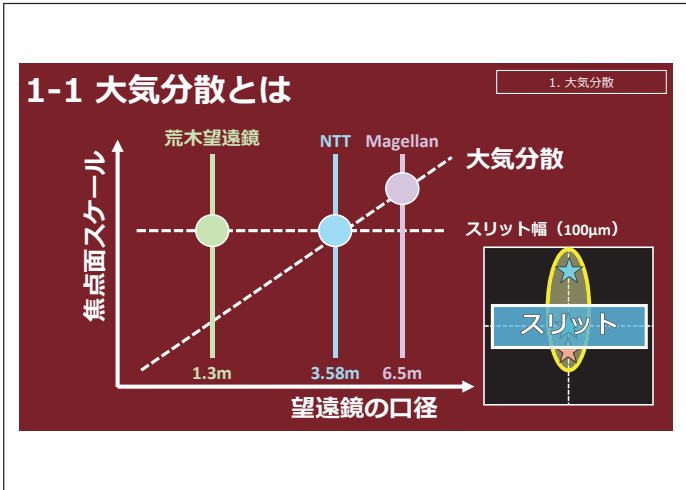
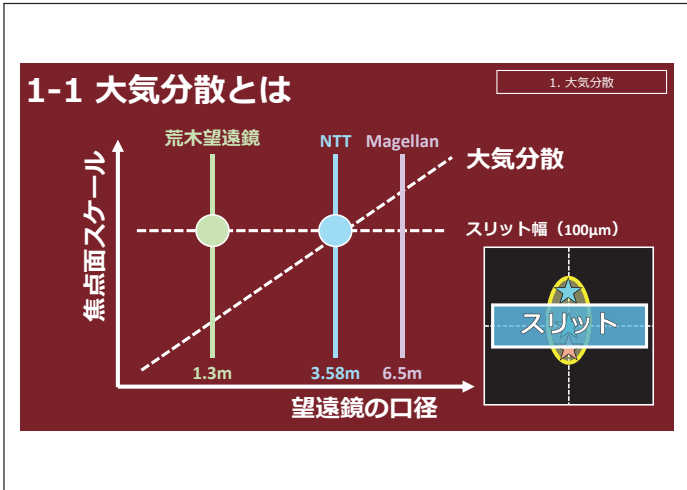
スリットサイズ < 大気分散
↓
スリットロス
↓
光量ロス(感度劣化)

スリット

望遠鏡焦点面

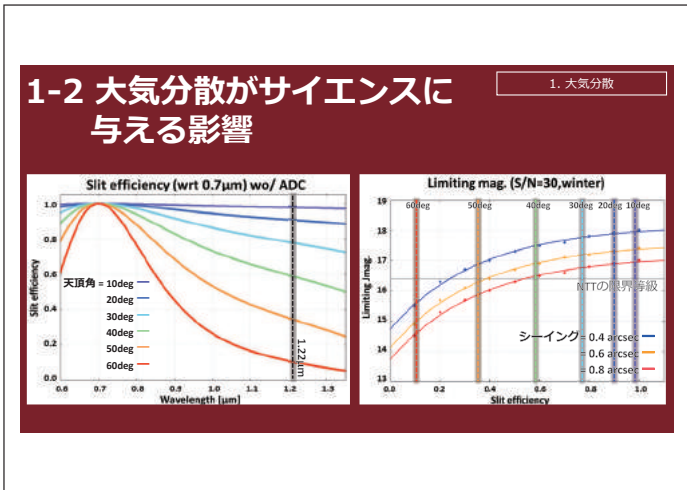
地球大気





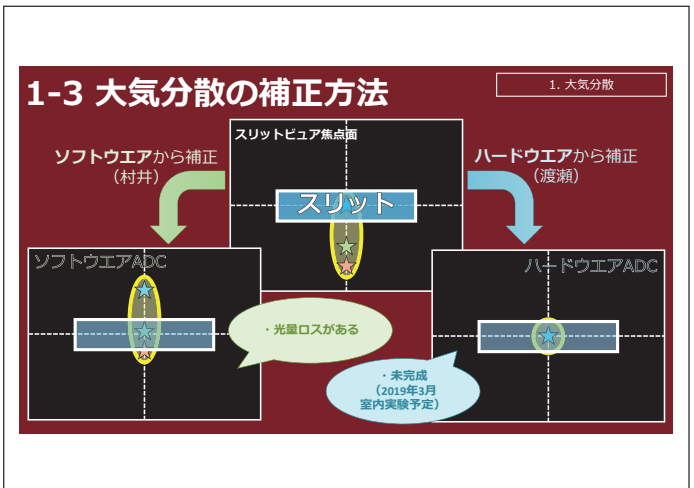
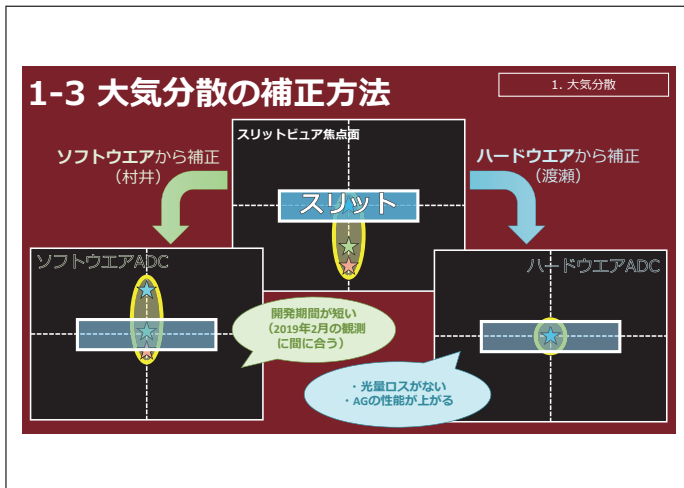
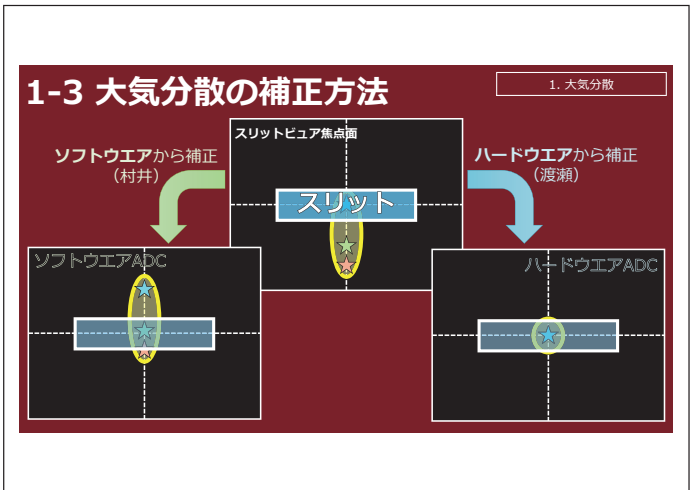
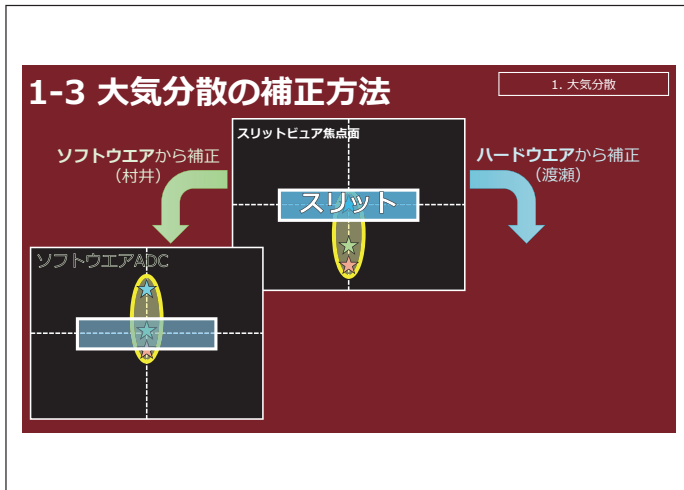
1-2 大気分散がサイエンスに与える影響

1. 大気分散



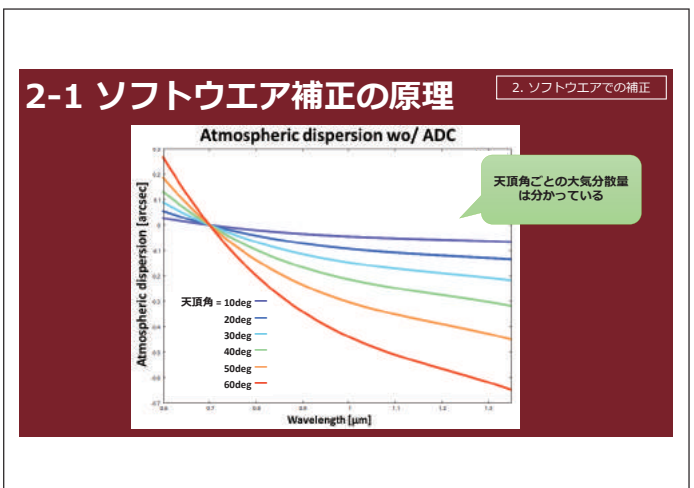
1-3 大気分散の補正方法

1. 大気分散



2-1 ソフトウェア補正の原理

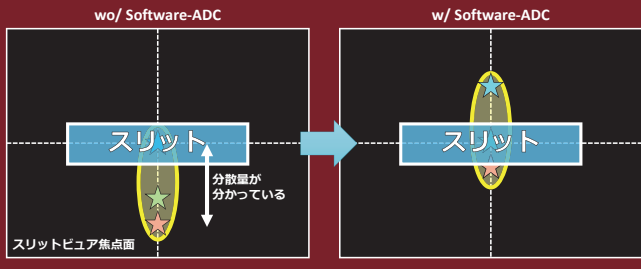
2. ソフトウェアでの補正



2-1 ソフトウェア補正の原理

2. ソフトウェアでの補正

★分散量分をシフトして観測中心波長をスリット中心にする



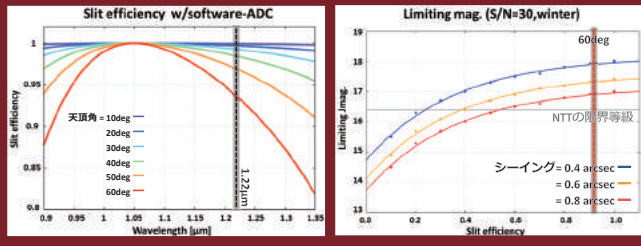
2-1 ソフトウェア補正の効率

2. ソフトウェアでの補正

2-1 ソフトウェア補正の効率

2. ソフトウェアでの補正

★ソフトウェアADCを使用することで、**限界等級は17.3等まで回復**
★ただし、**オンソースガイドが使えない**



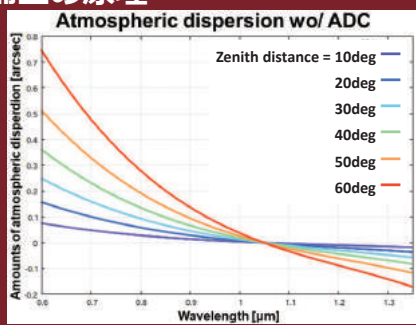
3. ハードウェアでの補正

3-1 ハードウェア補正の原理

3-1 大気分散補正の原理

3. ハードウェアでの補正

大気分散は「天頂角ごとに分散量が異なる」



3-1 大気分散補正の原理

3. ハードウェアでの補正



★屈折率の波長依存性によって色(波長)ごと異なる角度に分散する

★この性質を使って大気分散によって色ずれした天体像を補正する

<https://www.smartdixy.com/blog/spectrometer-spectrum/>より

3-1 大気分散補正の原理

3. ハードウェアでの補正

Phillips et al. 2010	Crossed Amici design	Linear design
光路図		
用いるプリズム	Amiciプリズム	Any
導入箇所	平行光束	集光 or 発散光
補正の原理	射出光束の角度を変化させる	結像位置を変化させる
利点	・ コリメート光に対して収差フリー	・ 追加光学系が必要ない ・ 駆動システムがシンプル
欠点	・ 歪曲収差が発生する ・ 追加光学系が必要な場合がある	・ 球面収差、コマ収差が発生する

3-1 大気分散補正の原理

3. ハードウェアでの補正

Phillips et al. 2010	Crossed Amici design	Linear design
光路図		
用いるプリズム	Amiciプリズム	Any
導入箇所	平行光束	集光 or 発散光
補正の原理	射出光束の角度を変化させる	結像位置を変化させる
利点	・ コリメート光に対して収差フリー	・ 追加光学系が必要ない ・ 駆動システムがシンプル
欠点	・ 歪曲収差が発生する ・ 追加光学系が必要な場合がある	・ 球面収差、コマ収差が発生する

3-1 大気分散補正の原理

3. ハードウェアでの補正

Phillips et al. 2010	Crossed Amici design	Linear design
光路図		
用いるプリズム	Amiciプリズム	Any
導入箇所	平行光束	集光 or 発散光
補正の原理	射出光束の角度を変化させる	結像位置を変化させる
利点	・ コリメート光に対して収差フリー	・ 追加光学系が必要ない ・ 駆動システムがシンプル
欠点	・ 歪曲収差が発生する ・ 追加光学系が必要な場合がある	・ 球面収差、コマ収差が発生する

3-1 大気分散補正の原理

3. ハードウェアでの補正

Phillips et al. 2010	Crossed Amici design	Linear design
光路図		
用いるプリズム	Amiciプリズム	Any
導入箇所	平行光束	集光 or 発散光
補正の原理	射出光束の角度を変化させる	結像位置を変化させる
利点	・ コリメート光に対して収差フリー	・ 追加光学系が必要ない ・ 駆動システムがシンプル
欠点	・ 歪曲収差が発生する ・ 追加光学系が必要な場合がある	・ 球面収差、コマ収差が発生する

3-2 設計の流れ

3. ハードウェアでの補正

3-2 設計の流れ

3. ハードウェアでの補正

- ① 光学設計
 - ①-1. 光学系の仕様値を決める
 - ①-2. 大気分散の補正手段を決める
 - ①-3. プリズムのガラス材を選ぶ
 - ①-4. レイトレースにより結像性能/補正精度を最適化する
 - ①-5. 熱歪みの効果を確認する
 - ①-6. 公差解析・ゴースト光解析を行う
 - ①-6. 発注（機械設計でおおよそその形状が決定次第）
- ② 機械設計
 - ②-1. 機械系の仕様値を決める
 - ②-2. 詳細設計
 - ②-3. 発注
- ③ 納品後、組立
- ④ 室内実験
- ⑤ WINEREDヘインストール

3-3 光学設計

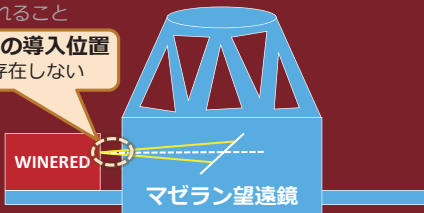
3-3 光学設計 -仕様

- 【要求】**
- ① 現行の光学系を大きく変更することなく導入できること
 - ② 0.6~1.35 μm 、5~60degにおいて、大気分散の補正が可能であること
 - ③ 限界等級の劣化が大気分散がない場合と比較して0.1等級以内に抑えられること

3-3 光学設計 -方式の検討

- 【要求】**
- ① 現行の光学系を大きく変更することなく導入できること
 - ② 0.6~1.35 μm 、5~60degにおいて、大気分散の補正が可能であること
 - ③ 限界等級の劣化が大気分散がない場合と比較して0.1等級以内に抑えられること

ADCユニットの導入位置
・平行光線は存在しない



3-3 光学設計 -方式の検討

- 【要求】**
- ① 現行の光学系を大きく変更することなく導入できること
 - ② 0.6~1.35 μm 、5~60degにおいて、大気分散の補正が可能であること
 - ③ 限界等級の劣化が大気分散がない場合と比較して0.1等級以内に抑えられること

	Crossed Amici design	Linear design
光路図		
用いるプリズム	Amiciプリズム	Any
導入箇所	平行光	集光光

3-3 光学設計 -方式の検討

- 【要求】**
- ① 現行の光学系を大きく変更することなく導入できること
 - ② 0.6~1.35 μm 、5~60degにおいて、大気分散の補正が可能であること
 - ③ 限界等級の劣化が大気分散がない場合と比較して0.1等級以内に抑えられること

	Crossed Amici design	Linear design
光路図		
用いるプリズム	Amiciプリズム	Any
導入箇所	平行光	集光光

3-3 光学設計 -方式の検討

- 【要求】**
- ① 現行の光学系を大きく変更することなく導入できること
 - ② 0.6~1.35 μm 、5~60degにおいて、大気分散の補正が可能であること
 - ③ 限界等級の劣化が大気分散がない場合と比較して0.1等級以内に抑えられること

	Linear design (採用)	Linear design
光路図		
用いるプリズム	Amiciプリズム	Any
導入箇所	集光光	集光光

主光線においてプリズム入射後と射出後の光線角度が変化しない

3-3 光学設計 -方式の検討

3. ハードウェアでの補正

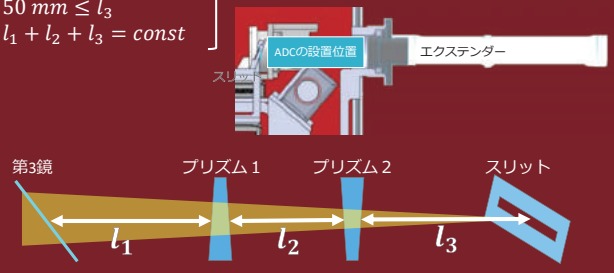
- 【要求】**
- ① 現行の光学系を大きく変更することなく導入できること
 - ② 0.6~1.35 μm 、5~60degにおいて、大気分散の補正が可能であること
 - ③ 限界等級の劣化が0.1等級以内に抑えられること

項目	ADCの仕様値
補正方式	Linear design w/ 直視プリズム
分散残差	< 0.12 arcsec (③)
天頂角	0 ~ 60 deg (②)
波長範囲	0.6 ~ 1.35 μm (②)
スループット	> 0.99 (③)
透過波面精度	$\lambda/4@1.05\mu\text{m}$ (③)

3-3 光学設計 -設計要件

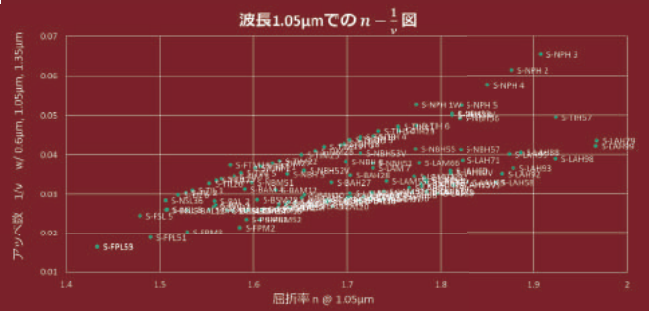
3. ハードウェアでの補正

- $5\text{ mm} \leq l_2 \leq 100\text{ mm}$ } 天頂角5 / 10 / 20 / 30 / 40 / 50 / 60 deg各々
- $50\text{ mm} \leq l_3$
- $l_1 + l_2 + l_3 = \text{const}$



3-4 光学設計 -プリズムの選択

3. ハードウェアでの補正



3-4 光学設計 -プリズムの選択

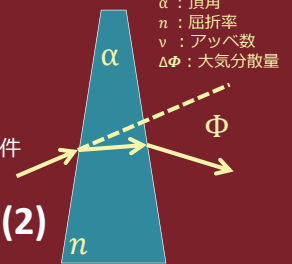
3. ハードウェアでの補正

★プリズムの偏角式

$$\Phi = \alpha (n - 1) \quad \dots(1)$$

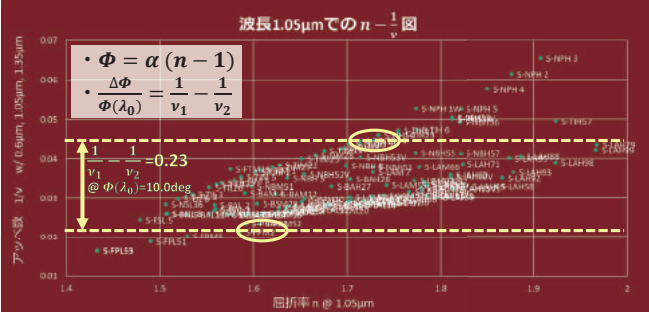
★大気分散をキャンセルできる
2枚直視プリズムが満たすべき条件

$$\frac{\Delta\Phi}{\Phi(\lambda_0)} = \frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \quad \dots(2)$$



3-4 光学設計 -プリズムの選択

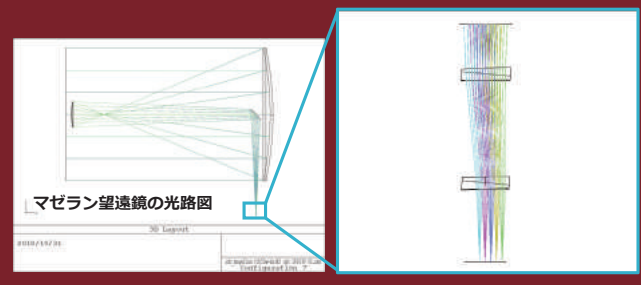
3. ハードウェアでの補正



3-4 光学設計 -結果の確認

3. ハードウェアでの補正

★レイトレースソフトウェア(ZEMAX)で結像性能や補正精度を確認



3-4 光学設計 -最適化

★レイトレースソフトウェア(ZEMAX)で結像性能や補正精度を確認

3. ハードウェアでの補正

スポットダイアグラム

光路図

最適化の ZEMAX画面

マルチコンフィグレーション

3-4 光学設計

項目	ADCの仕様値
分散残差	< 0.12 arcsec
天頂角	0 ~ 60 deg
波長範囲	0.6 ~ 1.35 μm
スルーカット	> 0.99
透過波面精度	λ/4@1.05μm

3. ハードウェアでの補正

解	プリズム1		プリズム2		中心厚さ	スポットダイアグラム (RMS)	最大分散残差
	ガラス	CTE	ガラス	CTE			
①	S-TIH53W	88×10 ⁻⁷ /°C	S-BAL42	66×10 ⁻⁷ /°C	5 mm	12.6 μm	0.078 arcsec
②	S-TIH53W	88×10 ⁻⁷ /°C	S-BSM14	62×10 ⁻⁷ /°C	5 mm	12.0 μm	0.075 arcsec
③	S-TIH53W	88×10 ⁻⁷ /°C	S-BAL12	86×10 ⁻⁷ /°C	5 mm	13.1 μm	0.081 arcsec

3-4 光学設計 -最適化

3. ハードウェアでの補正

解	プリズム1		プリズム2		中心厚さ	スポットダイアグラム (RMS)	最大分散残差
	ガラス	頂角	ガラス	頂角			
①	S-TIH53W	88×10 ⁻⁷ /°C	S-BAL42	66×10 ⁻⁷ /°C	5 mm	12.6 μm	0.078 arcsec

↓設計解①の光路図

3-4 光学設計 -最適化

3. ハードウェアでの補正

補正前

補正後

3-4 光学設計 -熱歪みの確認

★線膨張係数CTEの違いによる応力歪みの検討

3. ハードウェアでの補正

$\Delta(n-1) \leq \frac{\lambda}{4}$ より $\Delta \leq 6.1 \times 10^2 [nm]$
 になるようなプリズムの組み合わせを選ぶ

項目	ADCの仕様値
分散残差	< 0.12 arcsec
天頂角	0 ~ 60 deg
波長範囲	0.6 ~ 1.35 μm
スルーカット	> 0.99
透過波面精度	λ/4@1.05μm

CTE₁ > CTE₂ のとき

3-4 光学設計 -熱歪みの確認

3. ハードウェアでの補正

項目	ADCの仕様値
分散残差	< 0.12 arcsec
天頂角	0 ~ 60 deg
波長範囲	0.6 ~ 1.35 μm
スルーカット	> 0.99
透過波面精度	λ/4@1.05μm

解	プリズム1		プリズム2		中心厚さ	最大分散残差	CTEによる歪み量 @1.05μm, n=1.43
	ガラス	CTE	ガラス	CTE			
①	S-TIH53W	88×10 ⁻⁷ /°C	S-BAL42	66×10 ⁻⁷ /°C	5 mm	0.078 arcsec	$\frac{\lambda}{4.3 \times 10^{-6}}$
②	S-TIH53W	88×10 ⁻⁷ /°C	S-BSM14	62×10 ⁻⁷ /°C	5 mm	0.075 arcsec	$\frac{\lambda}{6.1 \times 10^{-6}}$
③	S-TIH53W	88×10 ⁻⁷ /°C	S-BAL12	86×10 ⁻⁷ /°C	5 mm	0.081 arcsec	$\frac{\lambda}{3.58 \times 10^{-8}}$

3-4 光学設計 - 熱歪みの確認

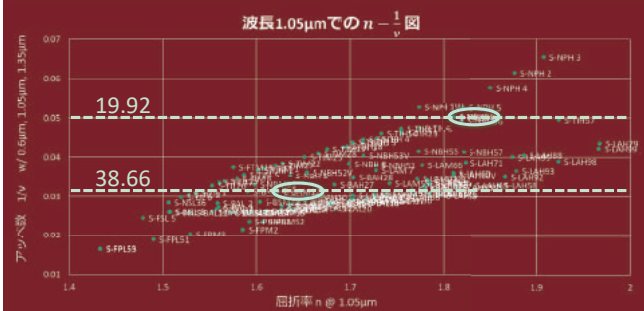
3. ハードウェアでの補正

項目	ADCの仕様値
分散残差	< 0.12 arcsec
天頂角	0 ~ 60 deg
波長範囲	0.6 ~ 1.35 μm
スルーバンド	> 0.99
透過波面精度	$\lambda/4@1.05\mu\text{m}$

解	プリズム1		プリズム2		中心厚さ	最大分散残差	CTEによる歪み量 @1.05μm, n=1.43
	ガラス	CTE	ガラス	CTE			
①	S-TIH53W	$88 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$	S-BAL42	$66 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$	5 mm	0.078 arcsec	$\frac{\lambda}{4.3 \times 10^{-6}}$
②	S-TIH53W	$88 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$	S-BSM14	$62 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$	5 mm	0.075 arcsec	$\frac{\lambda}{6.1 \times 10^{-6}}$
③	S-TIH53W	$88 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$	S-BAL12	$86 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$	5 mm	0.081 arcsec	$\frac{\lambda}{3.58 \times 10^{-8}}$

3-4 光学設計 - 選択結果

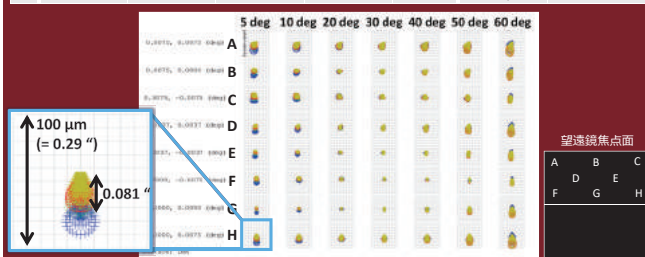
3. ハードウェアでの補正



3-4 光学設計 - 選択結果

3. ハードウェアでの補正

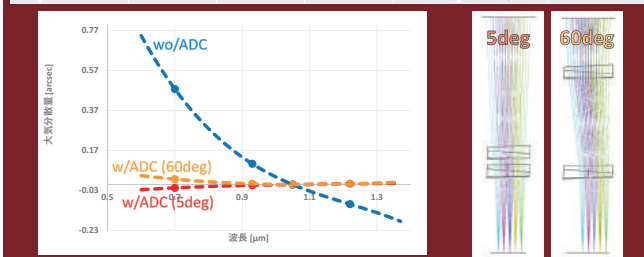
解	プリズム1		プリズム2		中心厚さ	スポットダイアグラム (RMS)	最大分散残差
	ガラス	CTE	ガラス	CTE			
③	S-TIH53W	$88 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$	S-BAL12	$86 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$	5 mm	13.1 μm	0.081 arcsec



3-4 光学設計 - 選択結果

3. ハードウェアでの補正

解	プリズム1		プリズム2		中心厚さ	スポットダイアグラム (RMS)	最大分散残差
	ガラス	CTE	ガラス	CTE			
③	S-TIH53W	$88 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$	S-BAL12	$86 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$	5 mm	13.1 μm	0.081 arcsec



3-4 光学設計 - 公差解析

3. ハードウェアでの補正



3-5 機械設計

3. ハードウェアでの補正

3-5 機械設計 -仕様

3. ハードウェアでの補正

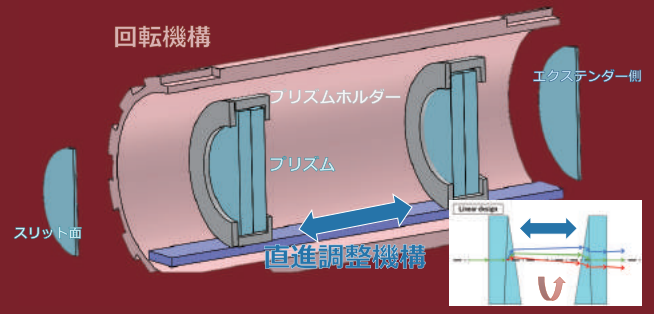
- 【要求】**
- ① 現行の機械系を大きく変更することなく導入できること
 - ② 光学設計結果を公差内で満たし、プリズムを保持する
 - ③ PAに合わせて像の回転に対応する



項目	ADCの仕様値
設置精度	計算中
直進位置精度	計算中
回転位置精度	< 1048.8 min

3-5 機械設計 -詳細設計

3. ハードウェアでの補正



3-6 今後のスケジュール

3. ハードウェアでの補正

3-6 今後のスケジュール

3. ハードウェアでの補正

① 光学設計

- ①-1. 光学系の仕様値を決める
- ①-2. 大気分散の補正手段を決める
- ①-3. プリズムのガラス材を選ぶ
- ①-4. レイトレースにより結像性能/補正精度を最適化する
- ①-5. 熱歪みの効果を確認する
- ①-6. 公差解析・ゴースト光解析を行う
- ①-6. 発注（機械設計でおおよそで形状が決定次第）

2019年12月

② 機械設計

- ②-1. 機械系の仕様値を決める
- ②-2. 詳細設計
- ②-3. 発注

2019年3月

- ③ 納品後、組立
- ④ 室内実験
- ⑤ WINEREDヘインストール

最速で2回目の
エンジニアリング
観測から実装

5 まとめ

5. まとめ

4 まとめ

- ★マゼラン望遠鏡に移設にあたって、ソフト/ハード両面から大気分散を補正するシステムの開発を行っている
- ★ソフトウェアADCはターゲットの大気分散量に合わせてオフセットをかける機能
- ★ハードウェアADCは分散そのものを光学的に補正する光学系ユニット
- ★直視プリズムを用いたLinear design方式を選択
- ★プリズムの偏角の公式とガラスの分散理論を用いた定式化によって、本ユニットに適切なガラスペアを複数見つけることに成功した
- ★さらにその中から、CTEの差による熱歪み量からTIH53W&BAL12を最終的な組み合わせとして選択し、公差解析を行っている
- ★今後は、ゴースト光解析・機械設計を行い、来年3月の室内実験を目指す

5 【議論】 2019年2月のマゼラン試験観測 ソフトウェアADCの 実装に関する相談

大気分散の軽減機能の実装について

文責:新井

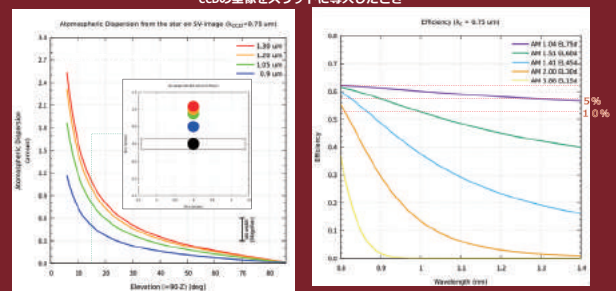
- 本説明の目的
 - ・ ADC導入までの間、ソフトウェアによる大気分散軽減機能を検討
 - ・ 実装をマゼラン2月ランに間に合わせる必要があるのかを判断したい
 - ・ 下記の仕様と制限を踏まえ、観測希望天体との兼ね合いから判断する
- 仕様
 - ・ ユーザーが指定した波長における星像重心（計算）をスリット中心に導入する。
 - ・ 任意波長の星像重心をsv上のガイド星の位置から推算してガイドする。
- 大気分散軽減機能の制限
 - ・ 大気分散を軽減できるのは、指定波長周辺に限られる
 - ・ オフソースガイドが実行可能な天体のみ適用可能
 - ・ sv画像にターゲット以外の1天体が写る必要がある

開発状況

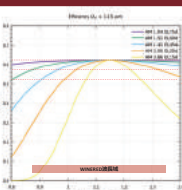
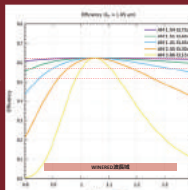
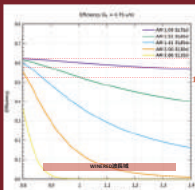
- 大気分散の計算コードは準備完了(村井)
 - ・ Zemaxによる計算結果との比較 (0.9%の差異で一致)
 - ・ 気象条件（気温、湿度、気圧）における計算結果の評価
 - ・ 実用範囲において最大で効率に1%程度差が生じるため、パラメータとして考慮
- AIRReCSへの組み込み
 - ・ 利用希望に応じて2月ランで実装するか判断する

大気分散

ccdの星像をスリットに導入したとき



大気分散の軽減具合

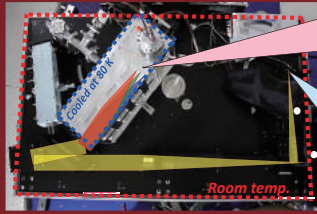
スリット長方向と鉛直方向の
成す角を垂直とした場合の計算村井条件
気圧: 770 hPa
気温: 10°C
湿度: 60%
スリット幅: 0.4 arcsec
スリット傾: 0.3 arcsec
スリット傾: 0.4 arcsec補正なし
スリットに乗せる星像の波長: 0.75 um補正あり
スリットに乗せる星像の波長: 1.05 um補正あり
スリットに乗せる星像の波長: 1.15 um大気分散によるS/N lossが10%未満となる波長範囲
EL:750:全域
EL:650:全域
EL:550:全域
EL:450:全域
EL:350:全域大気分散によるS/N lossが10%未満となる波長範囲
EL:650:全域
EL:450:全域
EL:300:0.298881-2.58um大気分散によるS/N lossが10%未満となる波長範囲
EL:650:全域
EL:450:1.0-2.58um
EL:300:0.298881-2.58um

大気分散の軽減機能の実装について

文責:新井

- 本説明の目的
 - ・ ADC導入までの間、ソフトウェアによる大気分散軽減機能を検討
 - ・ 実装をマゼラン2月ランに間に合わせる必要があるのかを判断したい
 - ・ 下記の仕様と制限を踏まえ、観測希望天体との兼ね合いから判断する
- 仕様
 - ・ ユーザーが指定した波長における星像重心（計算）をスリット中心に導入する。
 - ・ 任意波長の星像重心をsv上のガイド星の位置から推算してガイドする。
- 大気分散軽減機能の制限
 - ・ 大気分散を軽減できるのは、指定波長周辺に限られる
 - ・ オフソースガイドが実行可能な天体のみ適用可能
 - ・ sv画像にターゲット以外の1天体が写る必要がある

補正波長域について



メイン光学系：HAWAII-2RG
波長： $\lambda \pm 0.9 - 1.35 \mu\text{m}$

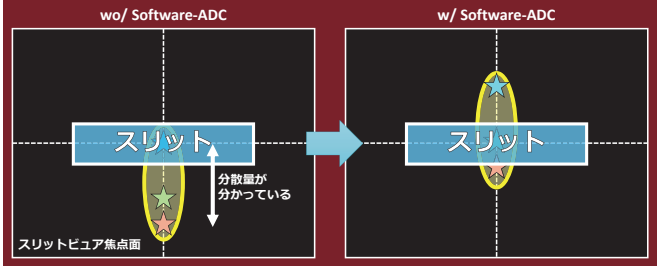


サブ光学系：CCD
波長： $\lambda \pm 0.6 - 0.9 \mu\text{m}$

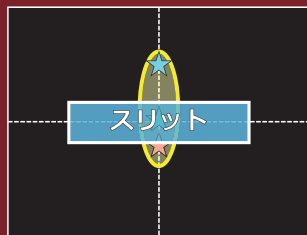


ソフトウェア補正の原理

★分散量をシフトして観測中心波長をスリット中心にする



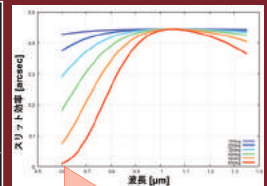
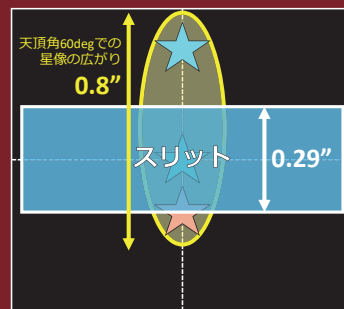
ソフトウェア補正の効率



- ★オンソースガイドは、スリットからの漏れ光の比でガイディング
- ★スペクトルタイプやシーイングによって比が変わる
- ★オンソースガイドは使用不可

スリット効率について

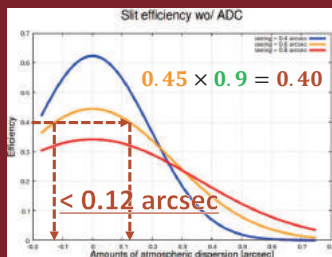
2. 大気分散と補正の原理



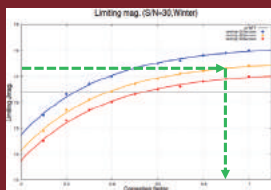
天頂角60degの天体を観測すると、可視光はほとんどスリットに入らない

分散残差の求め方

【要求】 ③限界等級の劣化が0.1等級以内に抑えられること



項目	ADCの仕様値
分散残差	< 0.12 arcsec



2枚の直視プリズムの式

$$\Phi_1 = \alpha_1 (n_1 - 1), \Phi_2 = \alpha_2 (n_2 - 1)$$

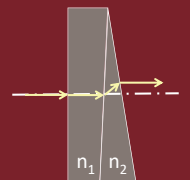
$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$$

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta\lambda} = \frac{\alpha_1 \Delta n_1}{v_1} + \frac{\alpha_2 \Delta n_2}{v_2}$$

$$= \frac{\Phi_1}{n_1 - 1} \frac{\Delta n_1}{\Delta\lambda} + \frac{\Phi_2}{n_2 - 1} \frac{\Delta n_2}{\Delta\lambda}$$

$$= \left(\frac{\Phi_1}{v_1} + \frac{\Phi_2}{v_2} \right) \frac{1}{\Delta\lambda}$$

アッベ数 $v = \frac{n(\lambda) - 1}{\Delta n(\lambda)}$



$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_1(\lambda_0)}{v_1} - \frac{\Phi_2(\lambda_0)}{v_2}$$

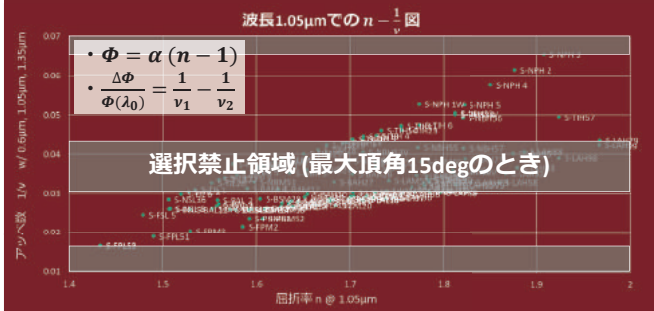
ここで直視プリズムの条件、偏角 $\Phi=0$ より、 $\Phi(\lambda_0) = \Phi_1(\lambda_0) + \Phi_2(\lambda_0) = 0$

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi(\lambda_0)}{v_1} - \frac{\Phi(\lambda_0)}{v_2}$$

$$\frac{\Delta\Phi}{\Phi(\lambda_0)} = \frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2}$$

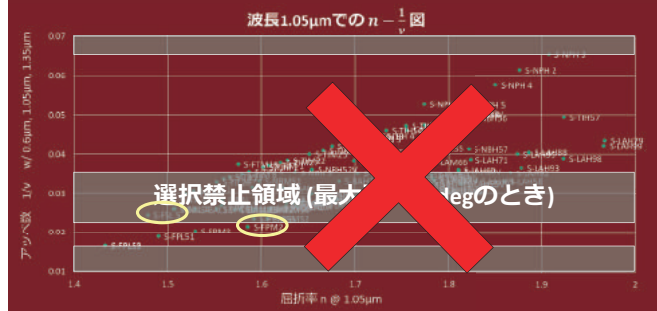
プリズムの選択 (頂角編①)

3. 大気分散補正ユニットの開発



プリズムの選択 (頂角編②)

3. 大気分散補正ユニットの開発

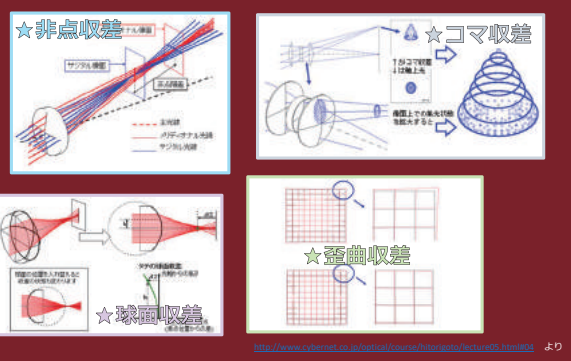


プリズムの選択 (頂角編③)

3. 大気分散補正ユニットの開発



収差



3-4 光学設計 - 公差解析

3. ハードウェアでの補正

★プリズム1個に対する公差

項目	公差
外形	
厚さ	
面	X軸
	Y軸
面精度	
材質	屈折率
	アッベ数

★機械公差

位置	項目	公差
prism1	X軸	
	Y軸	
	Z軸	
	α角	
	β角	
	β角	
prism2	X軸	
	Y軸	
相対位置	α角	
	β角	

★プリズム接着面に対する公差

項目	公差
ディセンタリング	X軸
	Y軸
位相ずれ	

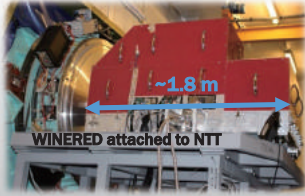
Limiting magnitudes of WINERED with Magellan



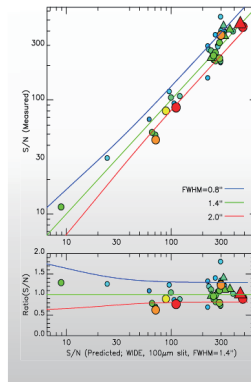
松永 典之 Noriyuki Matsunaga
(東京大学) (The University of Tokyo)

WINERED

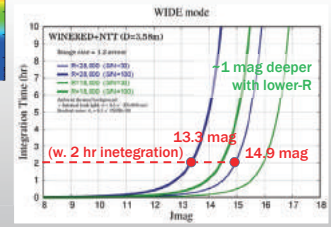
- PI: Naoto Kobayashi (UTokyo)
- 0.9–1.3 μm (z'YJ band), R~28,000 or 70,000
- High throughput (~50 %; 10–30 % for other spectrographs)
- In 2017–2018 Mar, 25 nights with NTT 3.6m@La Silla
- Preparing for the move to Magellan 6.5m telescope in 2019A.



Limiting magnitudes and S/N

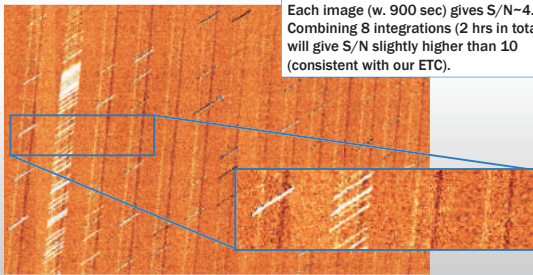


- Achieving expected S/N, 10–500, for J=14.5–5 mag
- Limiting magnitudes w/ NTT:
 - J=13.3 (S/N=100)
 - J=14.9 (S/N=30)
- w/ 2 hr, WIDE (R=28,000)



Observing fainter targets

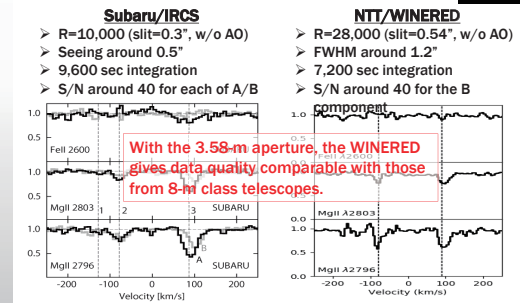
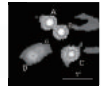
- QSO J0850+1108 (J=16.47, z=2.62)
- R=18,000 (1.08" slit)



A–B image:
Each image (w. 900 sec) gives S/N~4.
Combining 8 integrations (2 hrs in total) will give S/N slightly higher than 10 (consistent with our ETC).

Observing fainter targets

- QSO B1422+231 (J=13.88, z=3.63)
- Comparison with Subaru/IRCS data



ETC launched

- <http://merlot.kyoto-su.ac.jp/WINERED/ETC/>

WINERED Exposure Time Calculator (Signal)

Description
This tool calculates the required exposure time to achieve a target S/N and the observational times with a recommended set.

Input

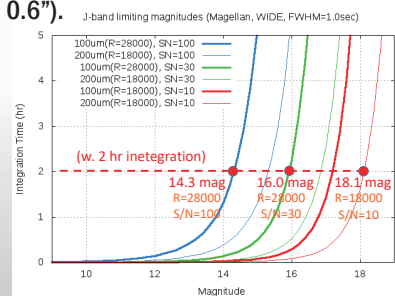
Telescope: Magellan 6.5m (La Silla) | Select which telescope to use.
 Mode: WIDE | Select the mode to use (WIDE, HIRDES-Y or HIRDES-J).
 Slit: 100 μm | Select the width of the slit to use (100, 140 or 200 μm).
 Season: Winter | Select Summer or Winter (this changes the thermal background).
 FWHM: 1.2 arcsecond | Give the FWHM of the target PSF.
 Sampling: Nyquist | Select the sampling to calculate the S/N (per half resolution with the Nyquist).
 S/N: 10 | Give the S/N you want.
 Jmag: 14.5 | Give the J-band magnitude of your target.
 Dither: ABEA | Select the dithering pattern (ABEA or OSD).

Buttons: Calculate, Save

Result

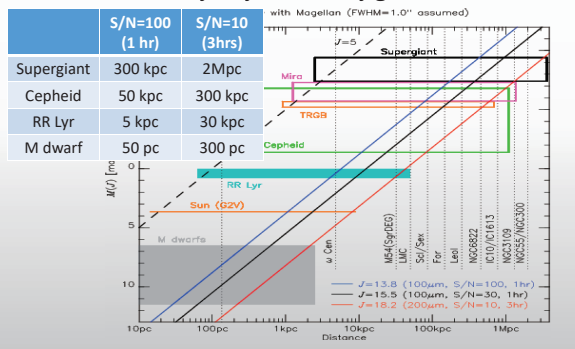
Expected limits at Magellan

- A gain of ~1 mag over NTT
- FWHM=1.0" assumed (S/N would increase by ~50% with 0.6").



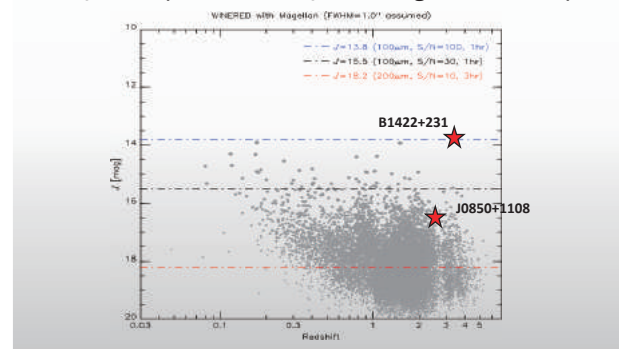
Targets within the reach (1)

- Stars in the Milky Way and nearby galaxies



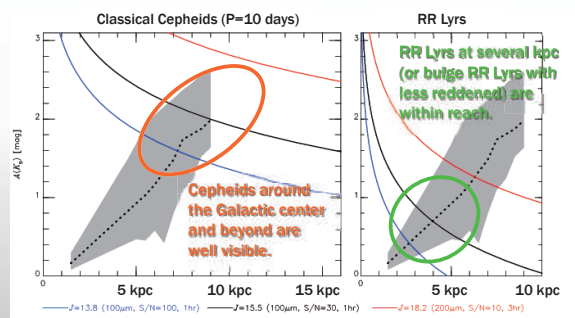
Targets within the reach (2)

- Quasars (based on the QSO catalog of Peth+2011)

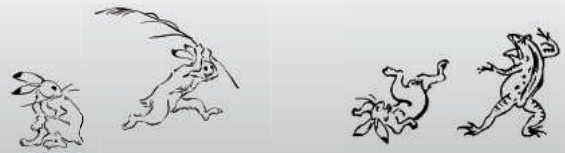


Targets within the reach

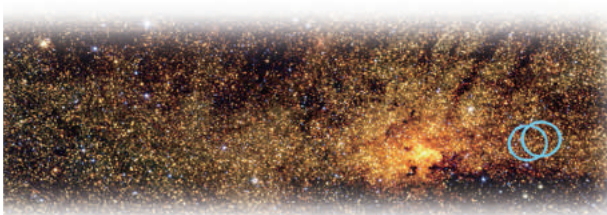
- Cepheids and RR Lyrs in the Galactic disk/bulge



End



Magellan/WINEREDによる セファイドの分光観測



松永 典之
(東京大学)

Noriyuki Matsunaga
(The University of Tokyo)

Outline

Introduction

Cepheids as tracers of the MW disk

Current status

Upcoming samples of Cepheids in the new era

For WINERED

A plan to observe Cepheids in the very inner and outer parts of the MW disk

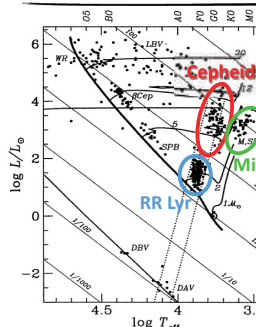


Introduction

Cepheids as tracers of the MW disk



Classical pulsating stars



Bright variable stars with **period-luminosity** relation

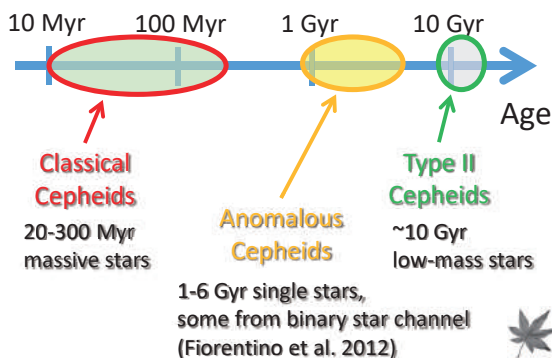
- Cepheids
- Miras
- RR Lyrae

- **Distance** indicators
- **Age** indicators
- **Kinematic** tracers
- **Chemical** tracers

Distribution of variable stars across the H-R diagram (Gautschy & Saio, 1995, ARA&A, 33, 75)

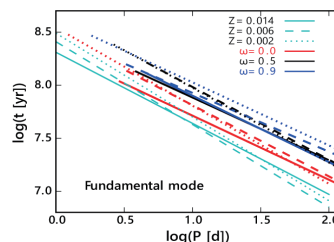


Division between Cepheids



Ages of classical Cepheids

- 20–300 Myr, evolved from 4–10 Msun stars
- P-Age relation; dependent on metallicity and rotation

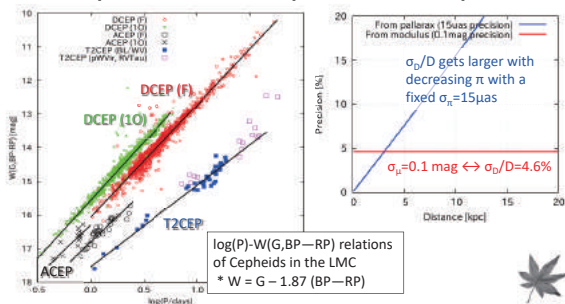


Period-age relation (Anderson et al. 2016, A&A, 591, A8)
* also see Bono et al. (2005, ApJ, 621, 966)



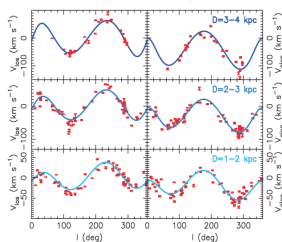
Distances to Cepheids

- PLR allows distance determination with $\sigma_\mu \sim 0.1$ mag.
- More precise than Gaia's parallax at $D > 3$ kpc.



Kinematics of Cepheids

- Small velocity dispersion—young stars
- RVs can be measured accurately by sharp absorption lines (cf. pulsation effect).
- Gaia's PMs will give us 3D space velocities.



Kawata et al. (2019, MNRAS, 482, 40) used 218 Cepheids with:

- Distances from Genovali+2014
- RVs from Mel'nik+2015
- PMs from Gaia DR2

and obtained

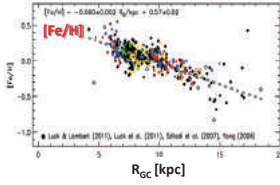
- $V_{\text{circ}}(R_0) = 236 \pm 3 \text{ [km s}^{-1}\text{]}$
- $\sigma_R = 13.0 \pm 0.6 \text{ [km s}^{-1}\text{]}$
- $\sigma_\phi = 10.2 \pm 0.9 \text{ [km s}^{-1}\text{]}$



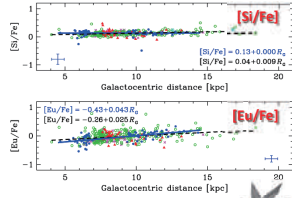
Application as chemical tracers

- Clear metallicity gradient traced by >400 Cepheids
 - Almost no variation in $[\alpha/\text{Fe}]$ (Genovali+2015)
 - Significant slope for n-capture elements (da Silva+2016)

Genovali et al. (2014, A&A, 566, A37)



Top: Genovali et al. (2015, A&A, 580, A17)
Bottom: da Silva et al. (2016, 586, A125)



Elements from optical spectra

- Genovali+14 used the linelist in Lemasle+13

Atom/ion	Na I	Al I	Mg I	Si I	Ca I
N(line)	2	6	1 weak NLTE	14	9

- da Silva+16 used the linelist in Lemasle+13

- Some lines show HFS.

Atom/ion	Y II	La II	Ce II	Nd	Eu
N(line)	6	6	3	6	2
s/r	light s	heavy s	heavy s	heavy s	r

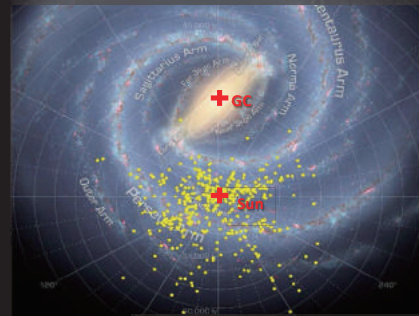
Current status

Upcoming samples of Cepheids in the new era



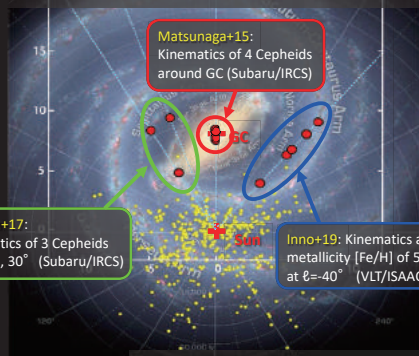
MW Cepheids from previous surveys

- Samples known at ~10 years ago



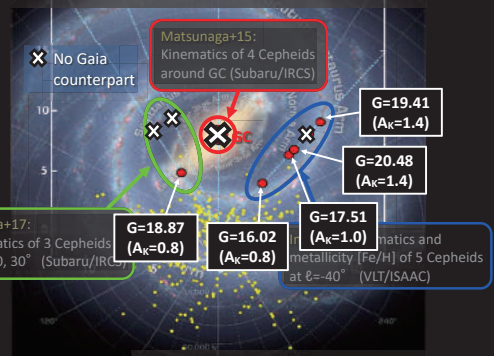
The distribution of ~500 Cepheids from DDO database: overlaid on the illustration by R. Hurt (SSC)

Some near-IR spectroscopic studies



The distribution of ~500 Cepheids from DDO database: overlaid on the illustration by R. Hurt (SSC)

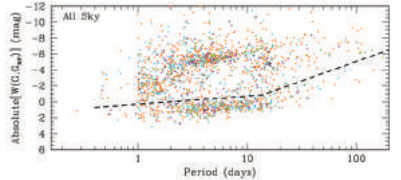
Some near-IR spectroscopic studies



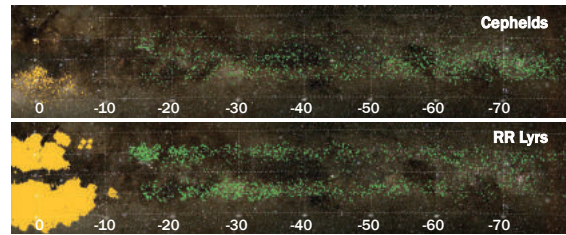
The distribution of ~500 Cepheids from DDO database: overlaid on the illustration by R. Hurt (SSC)

Gaia DR2 Cepheids

- 2,116 Cepheids outside the MCs (1,697 classical Ceps and 419 type II Ceps) listed in the DR2 catalogue of Cepheids
 - Clementini et al. (arXiv:1805.02079): Peculiar faint candidates
 - Ripepi et al. (arXiv:1810.10486): Re-classification of Cepheids
 - Rimoldini et al. (arXiv:1811.03919): Re-classification of high-amplitude variables including Cepheids
- Talk by **L. Eyser** on Friday



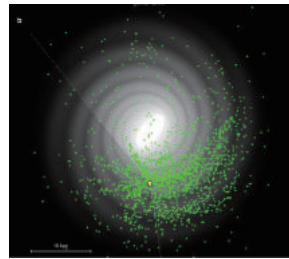
OGLE and VVV are finding thousands of variables



Udalski (2017, EPJ Web of Conferences, 152, 1002)
* also see Udalski (2018, arXiv:1810.09489)

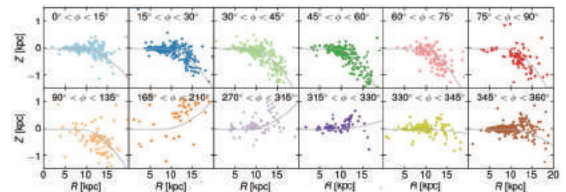
New OGLE(+more) Cepheids

- Skowron et al. (arXiv:1806.10653)
 - 2,387 Cepheids in total
 - 1,300 new ones from OGLE
 - Supplemented by ASAS-SN and ATLAS catalogues
 - The full catalogue is not public yet.



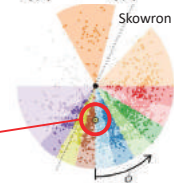
Skowron et al. (2018)
* See also Udalski et al. (2018, arXiv:1810.09489)

Cepheids tracing the warp/flare



- Warping at $R(\text{GC}) > 10$ kpc
- Flaring at $R(\text{GC}) > 10$ kpc

At $D > 3$ kpc, distances from PLR are more precise than those from Gaia final parallaxes.



Spectroscopic follow-ups

- The advantages of multi-object spectroscopy are limited by:
 - Density of Cepheids ~ 2400 Cepheids in $\sim 3,000$ deg² (Skowron+18) \rightarrow only a couple per deg²
 - A wide range of magnitudes (depth/reddening effects)
- Near-IR spectroscopic observations are required to observe new ones in obscured regions of the disk.
 - Gaia's RVS velocities are useful for optically bright ones.

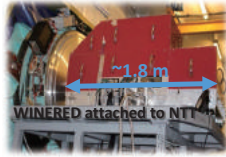
For WINERED

A plan to observe Cepheids in the very inner and outer parts of the MW disk



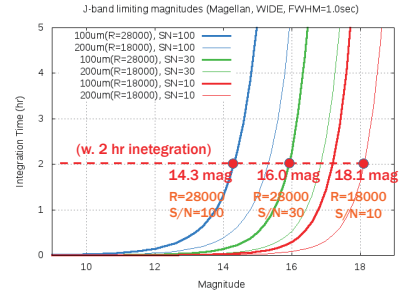
WINERED

- 0.9–1.3 μm (z'YJ band), R~28,000 or 68,000
- High throughput (~50%; \approx 20% for other spectrographs)
- In 2017–2018 Mar, 25 nights with NTT 3.6m@La Silla
- Preparing for the move to Magellan 6.5m telescope
 - J~16 mag (S/N=30, 2hr)



Expected limits at Magellan

- A gain of ~1 mag over NTT
- FWHM=1.0" assumed (S/N would increase by ~50% with 0.6").

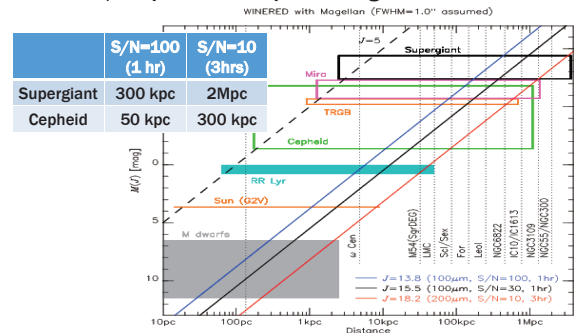


Magnitudes of new OGLE Ceps?

- 20+20 Cepheids at R(GC)<6 kpc and >15 kpc
- S/N=100 with R=28,000 requires ~10 min for J=11^{mag} and ~20 min for J=12.5^{mag} → 10 hours in total

Reach towards extragalactic

- High-S/N spectra of LMC/SMC Ceps (long-P)
- Low-S/N spectra of Ceps in dlrr galaxies in the LG



Summary and tasks

- Rapidly evolving samples of Cepheids are changing the map of young stars in the MW disk.
- WINERED at Magellan give efficient access to Cepheids located at unexplored regions of the disk, both the inner and outer ends.
- Decide necessary S/N for abundances of Cepheids
- Need of near-IR photometry (IRSF) to get accurate distances and of selecting good samples



End



Support materials



Some small-R(GC) Cepheids

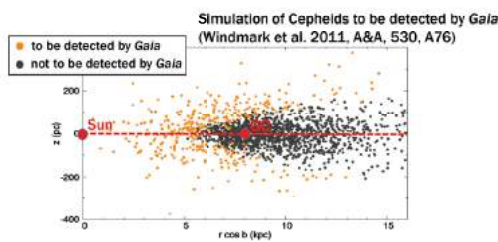
	R(GC) in Ref	(l, b)	Gaia check	
SU Sct	3.22 (M15)			
DV Ser	4.05 (G14)		Consistent	
V340 Ara	4.66 (G14), 4.34 (M15)		Supported	
BC Aql	4.58 (G14)		Rejected	Probably T2C
V526 Aql	5.46 (G14)		Rejected	Probably T2C
KQ Sco	5.95 (G14), 5.41 (M15)		?	
CN Sct	6.00 (G14), 5.64 (M15)		?	
TY Sct	5.99 (G14)		Supported	
BB Her	5.95 (G14)		Supported	
ASAS 171305	5.96 (M15)			
AV Sgr	5.98 (G14)		?	
VY Sgr	5.86 (G14)		Supported	
Z Sct	5.73 (G14)		?	
UZ Sct	5.31 (G14)		Supported	

Refs—G14=Genovali+14, M15=Martin+15

Cepheids waiting to be found

• Windmark et al. 2011, A&A, 530, A76

- A simple exponential-disc model: $f(R, z) = \exp\left(-\frac{R}{3.5\text{kpc}}\right) \text{sech}\left(\frac{z}{z_0}\right)$
- 20,000 Cepheids are predicted.
- 9,000 Cepheids may be detected by Gaia.



散開星団を用いた銀河系円盤の金属量分布

谷口大輔

東京大学理学系研究科天文学専攻修士1年

2018年11月2日
WINERED 研究会 2018, 2日目: マゼラン望遠鏡での計画

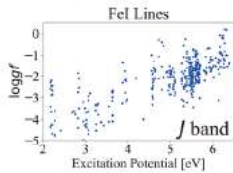
Outline

- 1 RSG の吸収線の概観
- 2 既に分かっていること・新たな疑問
- 3 Near Bar End の金属量分布
- 4 Near Bar End 以外の金属量分布

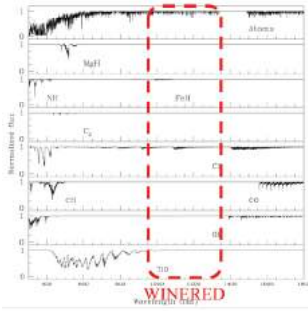
- 1 RSG の吸収線の概観
- 2 既に分かっていること・新たな疑問
- 3 Near Bar End の金属量分布
- 4 Near Bar End 以外の金属量分布

WINERED 波長帯 (z', Y, J) の吸収線

- 低温 (< 4000 K) で最も分子吸収が少ない波長帯.
- FeH 分子: 低温で卓越
- FeI 原子: 広い EP で存在



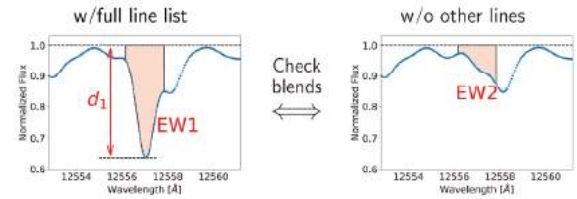
(Meléndez et al. 1999, ApJS, 124, 527)



$T_{\text{eff}} = 3500 \text{ K}$, $\log g = 0.5 \text{ dex}$
(Coelho et al. 2005, A&A, 443, 735)

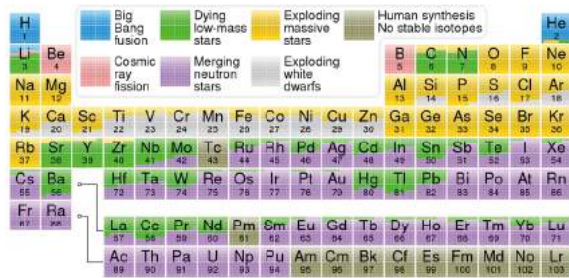
元素組成解析に用いる原子吸収線の選定

Using typical RSG atmospheric parameters,

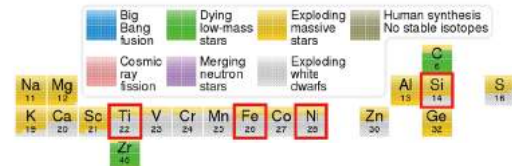


Main Criteria: $\begin{cases} d_1 > 0.01 & \text{Moderately deep} \\ \beta_1 = \text{EW}_2/\text{EW}_1 < 0.7 & \text{Less blended} \end{cases}$

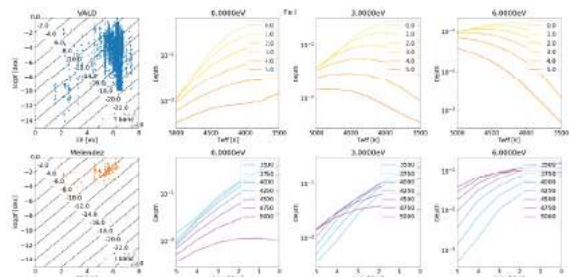
生き残った吸収線



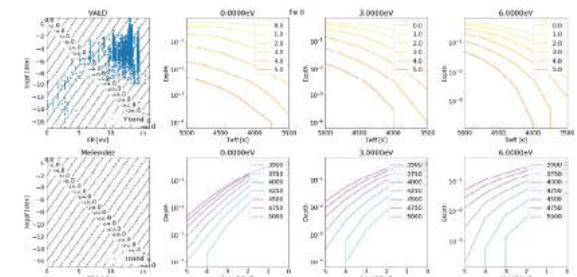
生き残った吸収線



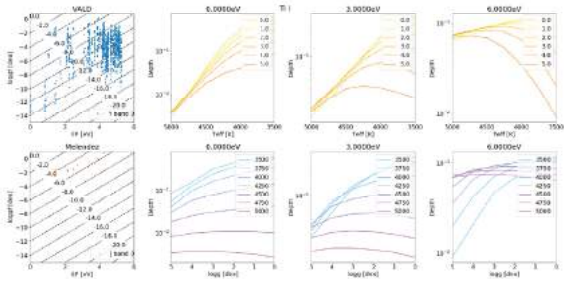
FeI の吸収線



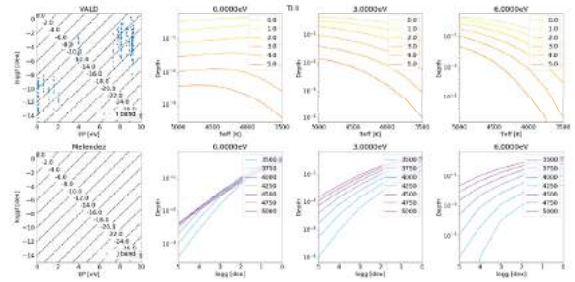
FeII の吸収線



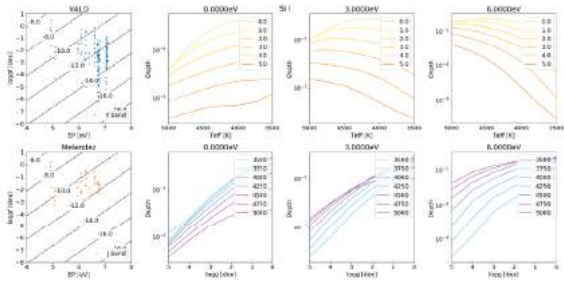
TiII の吸収線



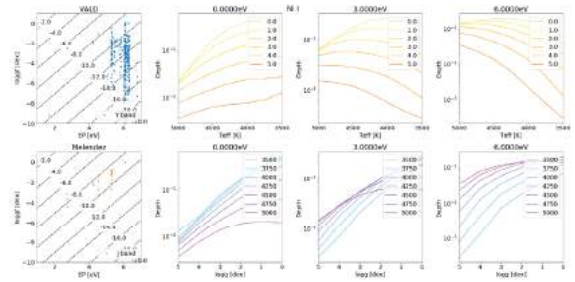
TiII の吸収線



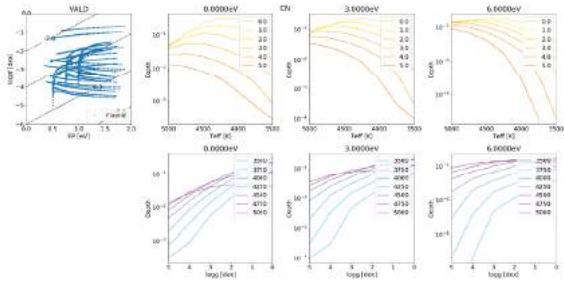
SiII の吸収線



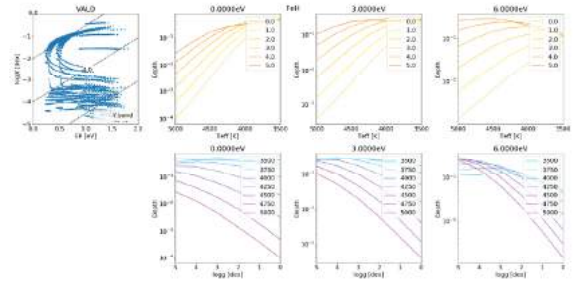
NiII の吸収線



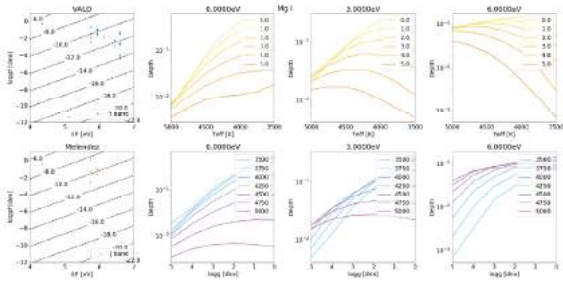
CN の吸収線



FeH の吸収線

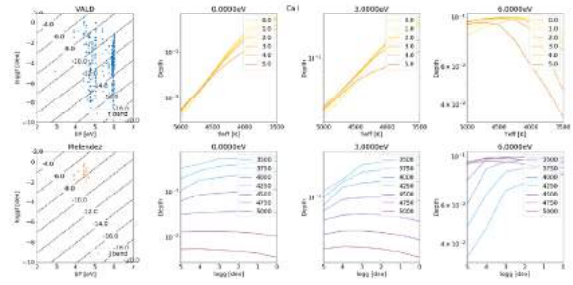


MgI の吸収線



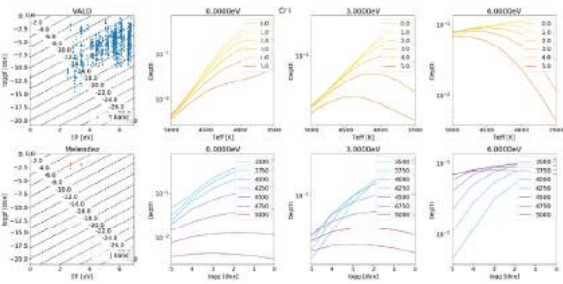
山口大輔 (東大理学系天文修士1年) | 徳河系内星の化学組成分布 | 2018-11-20, WINERED2018-2 | 15 / 34

CaI の吸収線



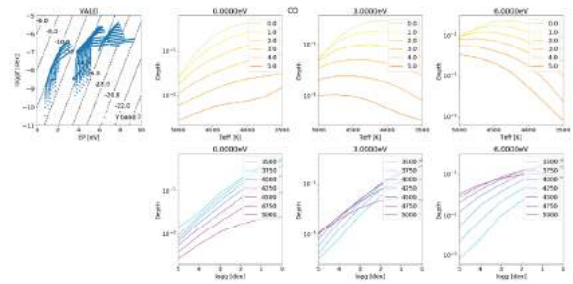
山口大輔 (東大理学系天文修士1年) | 徳河系内星の化学組成分布 | 2018-11-20, WINERED2018-2 | 16 / 34

CrI の吸収線



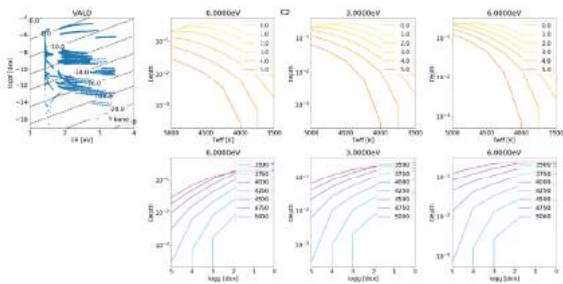
山口大輔 (東大理学系天文修士1年) | 徳河系内星の化学組成分布 | 2018-11-20, WINERED2018-2 | 17 / 34

CO の吸収線



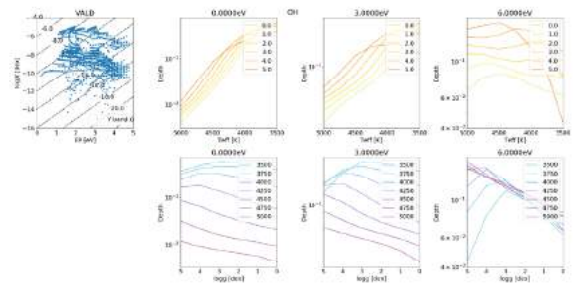
山口大輔 (東大理学系天文修士1年) | 徳河系内星の化学組成分布 | 2018-11-20, WINERED2018-2 | 18 / 34

C2 の吸収線



山口大輔 (東大理学系天文修士1年) | 徳河系内星の化学組成分布 | 2018-11-20, WINERED2018-2 | 19 / 34

OH の吸収線



山口大輔 (東大理学系天文修士1年) | 徳河系内星の化学組成分布 | 2018-11-20, WINERED2018-2 | 20 / 34

1 RSG の吸収線の概観

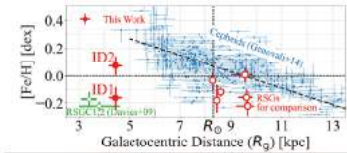
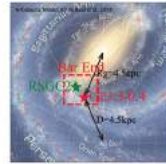
2 既に分かっていること・新たな疑問

3 Near Bar End の金属量分布

4 Near Bar End 以外の金属量分布

これまでの結果 (昨日のお話) のおさらい

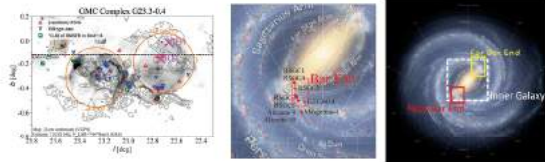
- 先行研究により, RSGC1, 2, 3@near bar end は低金属量だと示唆されている (Davies+09; Origlia+13, 16).
- WINERED@KAO の観測により, G23.3-0.4 に付随する 2 つの RSG の金属量が低いと分かった (Taniguchi+ in prep.).
- また, ID1 と ID2 は金属量も運動も異なることが分かった.



	[Fe/H]	銀河回転	他の天体の運動との比較
ID39	-0.16 ^{+0.09} _{-0.08}	乗っている	HMSFR の運動と似ている
ID42	+0.08 ^{+0.07} _{-0.06}	乗っていない	青い星の運動と似ている

新たに浮かんでくる疑問達

- Near bar end の低金属量の起源は?
 - G23.3-0.4 領域内の RSG の金属量分布
 - Near bar end 領域中の RSGC の金属量分布
- Near bar end 以外の領域はどうか?
 - Far bar end の金属量
 - Bar end 以外の inner Galaxy の金属量分布



Near Bar End の金属量分布

1 RSG の吸収線の概観

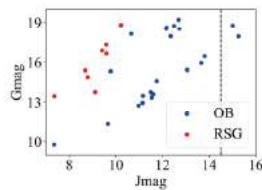
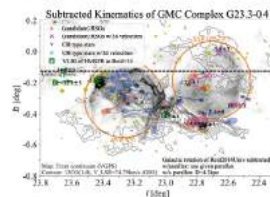
2 既に分かっていること・新たな疑問

3 Near Bar End の金属量分布

4 Near Bar End 以外の金属量分布

G23.3-0.4 領域の大質量星の金属量分布

- 主に Messineo et al. (2014) で多くの OB 型星と RSG が見つかった。
- RSG はとても明るいので, WINERED/Magellan だと簡単に観測可能 (Magellan でやる必要が実はない)。
- 青い星に関してもできれば組成や運動を知りたい。



Near Bar End で見つかった RSGC

- Figer 関連の人々 (最近には主に Negueruela) により, near bar end 付近の RSGC が多く見つかった。
- 位置 (と運動) から三つのグループに分けられる:
 - RSGC1, RSGC2, RSGC4
 - RSGC3, RSGC5, Alicante 9, Alicante 10
 - Masgomas-1
- ここで書いた距離は (Masgomas-1 以外) は kinematic distance である点に注意。

Name	#RSGs	D [kpc]	Age [Myr]	Mass [$10^4 M_{\odot}$]	A_{K_s}
RSGC1	14	6.60 ± 0.89	12 ± 2	3 ± 1	2.60 ± 0.07
RSGC2=Stephenson 2	26	$5.83^{+1.91}_{-0.78}$	17 ± 3	4 ± 1	1.44 ± 0.22
RSGC3=Alex2009	8 (+7)	6 ± 1	16-20	2-4	~ 1.5
RSGC4=Alicante 8	9 (+4)	6.6	16-20	> 1	1.9
RSGC5=Alicante 7	5 (+4)	6		1-3	1
Alicante 9	3 (+2)				
Alicante 10	8 (+5)	6		1-2	
Masgomas-1	4	$3.53^{+1.55}_{-1.40}$	8-10	1.94 ± 0.28	2.00 ± 0.04

RSGC の過去の金属量と Gaia の距離

- RSGC1-3 に関しては過去に金属量が調べられている。

Name	[Fe/H]	Ref.
RSGC1	-0.17 ± 0.05	Davies+09
RSGC2	-0.22 ± 0.03	Davies+09
RSGC2	-0.37 ± 0.07	Origlia+13
RSGC3	-0.28 ± 0.02	Origlia+16

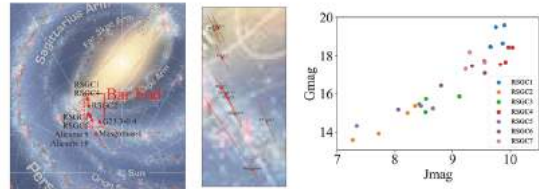
- しかし、Gaia DR2 の parallax を調べると、RSGC1 は太陽近傍にあるように見える。

Name	Parallax [mas]	Distance [kpc]	Kin. Distance [kpc]
RSGC1	1.370 ± 0.216	0.73 ± 0.12	6.60 ± 0.89
RSGC2	-0.096 ± 0.077	> 3	$5.83^{+1.91}_{-0.78}$
RSGC3	0.300 ± 0.072	3.33 ± 0.80	6 ± 1

谷口大輔 (東大理学部天文修士1年) 銀河系円盤の金属量分布 2018-11-20, WINERED2018-2 27 / 34

Near Bar End 領域の RSGC の金属量分布

- RSGC1 が低金属量なのは不思議なので、これを調べ直したい。
- この領域内の金属量分布を調べることで、この領域の低金属の起源を示唆したい。
- 明るい天体なので相変わらず観測は簡単。



谷口大輔 (東大理学部天文修士1年) 銀河系円盤の金属量分布 2018-11-20, WINERED2018-2 28 / 34

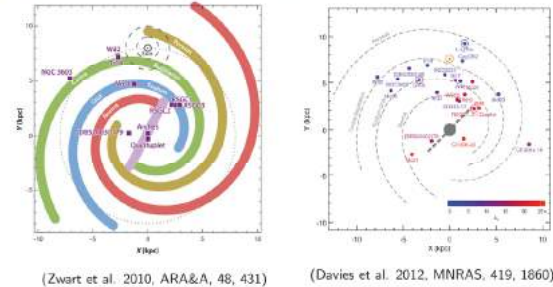
Near Bar End 領域の金属量分布

- RSG の吸収線の概観
- 既に分かっていること・新たな疑問
- Near Bar End の金属量分布
- Near Bar End 以外の金属量分布

谷口大輔 (東大理学部天文修士1年) 銀河系円盤の金属量分布 2018-11-20, WINERED2018-2 29 / 34

銀河系円盤の大質量星団の分布

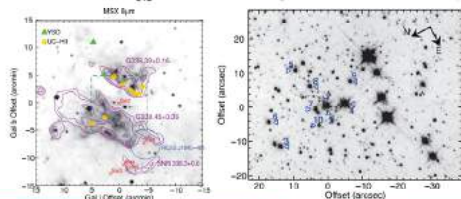
- RSG を含むような大質量星団がいくつか見つかった。
- Solar circle と near bar end に集中している。



谷口大輔 (東大理学部天文修士1年) 銀河系円盤の金属量分布 2018-11-20, WINERED2018-2 30 / 34

Far Bar End の星団 1—Mercer 81

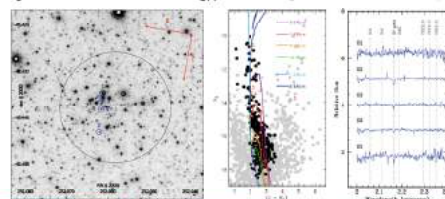
- Mercer et al. (2005) のカタログ (GIMPSE) にある星団候補。
- Davies et al. (2012) が 9 天体の星団に付随した青い星の候補を見つけて、うち二つの星を HK バンドで低分散分光をしている。
- 一番明るい天体で $J = 14.62$ mag (LBV or YHG)。
- 他の天体は $H > 13$ mag, $K > 10$ mag. IGRINS なら見える?
- 11 ± 2 kpc, $3.7^{+0.4}_{-0.5}$ Myr, $> 10^4 M_{\odot}$, $A_V = 45 \pm 15$ mag.



谷口大輔 (東大理学部天文修士1年) 銀河系円盤の金属量分布 2018-11-20, WINERED2018-2 31 / 34

Far Bar End の星団 2—VVV CL086

- Borissova et al. (2011) のカタログ (VVV) にある星団候補。
- Ramirez Alegria et al. (2014) が K バンドで低分散分光し、2 天体を星団に付随していると同定した。
- ID03: $J = 15.10$, $H = 13.78$, $K = 13.19$, O9-B0V.
- ID04: $J = 15.59$, $H = 14.22$, $K = 13.54$, O9V.
- 11^{+5}_{-6} kpc, 1-5 Myr, $2.8^{+1.6}_{-1.4} \times 10^3 M_{\odot}$, $A_K = 1.43$ mag.



谷口大輔 (東大理学部天文修士1年) 銀河系円盤の金属量分布 2018-11-20, WINERED2018-2 32 / 34

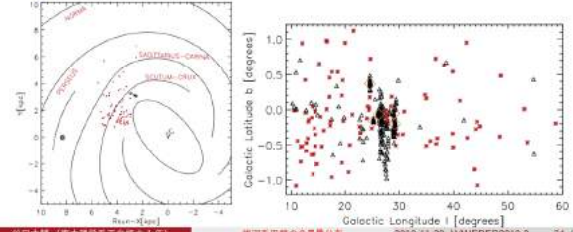
Far Bar End の星団 3—VdBH 222

- van den Bergh & Hagen (1975) が見つけた星団.
- Marco et al. (2014) が *I* バンド (!) で低分散分光し, 星団に付随した 9 天体の RSG と 2 天体の YSG を同定した.
- どの天体も $J < 9$ mag.
- 6/10 kpc, 12–16 Myr, $> 2 \times 10^4 M_{\odot}$, $A_V = 7.5$ mag.
- Clark et al. (2015) が YSG の一方を Cepheid と同定し, near kinematic distance の 6 kpc を支持した.
→ Far bar end にはなくて, 逆に bar end の影響を受けていない領域を調べられるターゲット?

山口大輔 (東大理学部天文学上専攻) 星団系門脈の金属量分布 2018-11-20, WINERED2018-2 33 / 34

その他の銀河面の RSG

- Messinco et al. (2016, 2017) が RSG のサンプルを銀河面で数多く見つけている (Gaia だと parallax が分からない).
- 基本的には $J < 10$ mag, たまに $J \sim 11$ mag くらいのもあるくらいなので, やはり観測は簡単.
- Cepheid 以外の若い星のトレーサーとして使える?



山口大輔 (東大理学部天文学上専攻) 星団系門脈の金属量分布 2018-11-20, WINERED2018-2 34 / 34

Trans-iron 元素と *r* 過程元素の化学進化研究

辻本拓司 (国立天文台)

✓ light trans-iron 元素 (Zn, Ga, Ge)

中性子星合体が major site の一つかも

r-fraction: 97% 88% 82%

✓ *r* 過程元素 (Eu, Dy, Gd)

中性子星合体が起源 (と考えていいでしょう)

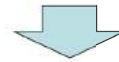
@LIGO



これらの元素の銀河面、特に outer disk でのアバundance分布を調べてみませんか?

11月20日 at WINERED 研究会2018

中性子星合体は
稀な現象
one per ~1000 重力崩壊型超新星

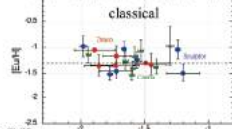


矮小銀河の星の化学組成にその証拠をつかむことができる

I. faint (small-mass) dwarf galaxies

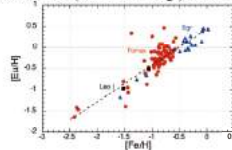
by Tsujimoto & Shigeyama (2014)

$M \sim$ a few $10^5 - 10^6 M_{\odot}$



No increase in *r*-process abundance strongly suggests a NS merger is the *r*-process origin.

II. massive ($M > 10^7 M_{\odot}$) dwarf galaxies

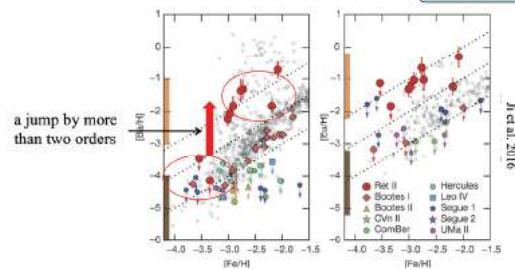


An increasing Eu/H trend is reasonable since NS mergers happened ~100 times in total in the Fornax galaxy ($2 \times 10^7 M_{\odot}$).

ultra faint dwarf galaxy Reticulum II

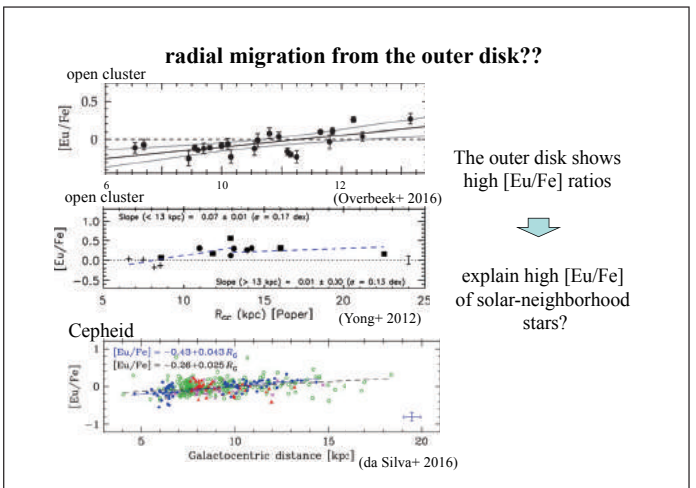
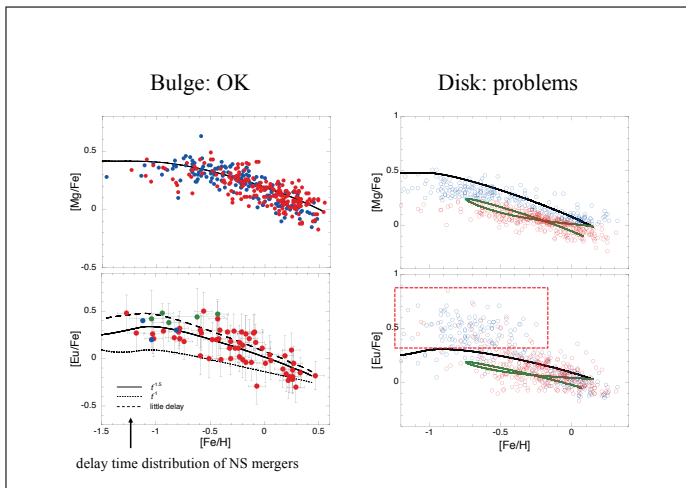
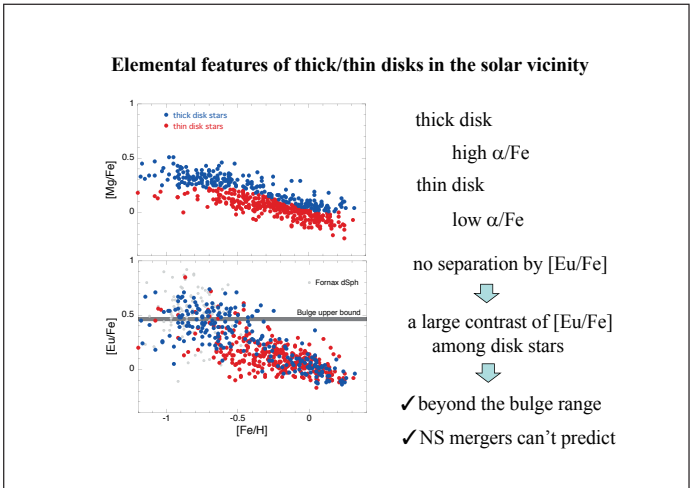
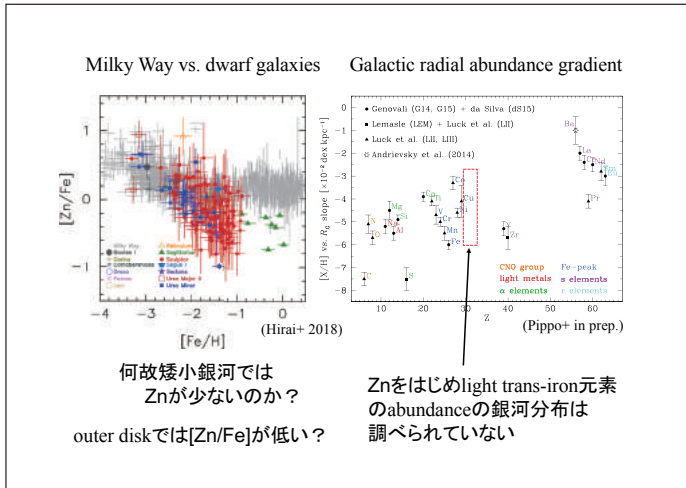
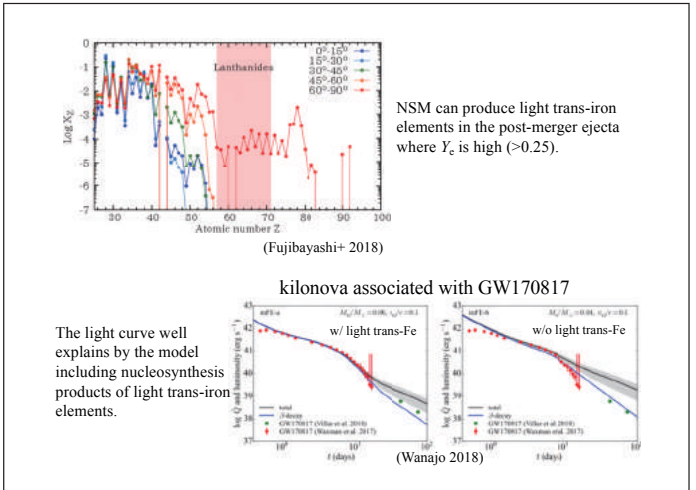
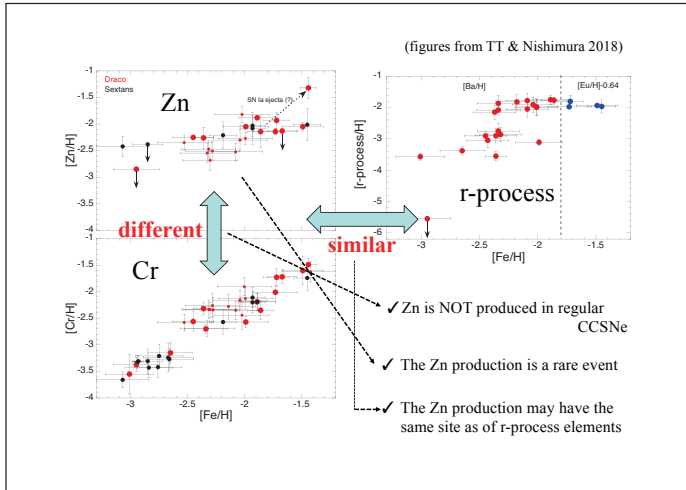
“*r*-process galaxy”

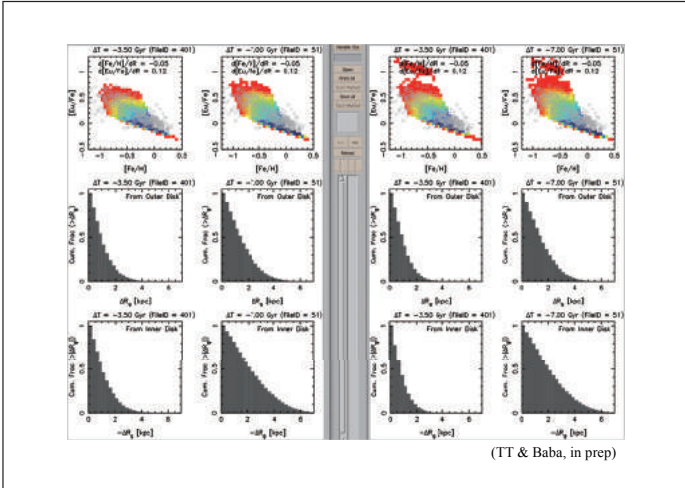
stellar mass of $\sim 2400 M_{\odot}$



identify a rare event and a high *r*-process yield

↳ no counterparts in other UFDs ↳ a big abundance jump





Zn (light trans-iron 元素)

- ✓ Cepheidsを使ってradial Zn gradientを知る
- ✓ anti-center方向の巨星の元素組成を測る (下のr過程元素を参照)

r過程元素 (Eu, Dy, Gd)

距離のことは忘れてanti-center方向の巨星のr過程元素組成を測る

→ outer diskでの[r-process/Fe] vs. [Fe/H]を知る

非常に高い[r-process/Fe]星があるか? 矮小銀河との共通性は? (太陽近傍にないような)

(実は、Carina dSphなどのDyもすぐ測りたい)

様々なパラメータ空間における
YSOの観測提案

安井千香子 (国立天文台)

これまでのYSO研究

★ターゲット: Taurus星生成領域の中質量星

これまでのYSOデータは、主に京産大の初期データを使用

- ✓北天
- ✓明るい天体=ごく近傍の中質量星

中質量星は円盤の進化段階が分かりやすい

先行研究でも中質量星 (HAeBe) (e.g., Cauley+2014)
or Taurus (D=150pc) 星生成領域中の小質量星のみ (e.g., Edwards+2006)

これまでのYSO研究

★ターゲット: Taurus星生成領域の中質量星

これまでのYSOデータは、主に京産大の初期データを使用

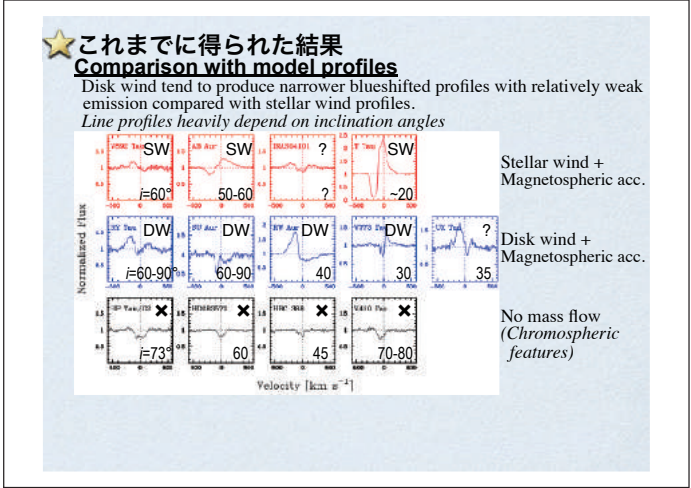
- ✓北天 → 南天
- ✓明るい天体=ごく近傍の中質量星

中質量星は円盤の進化段階が分かりやすい

先行研究でも中質量星 (HAeBe) (e.g., Cauley+2014)
or Taurus (D=150pc) 星生成領域中の小質量星のみ (e.g., Edwards+2006)

→ もっと遠くの天体が狙えるのでは?

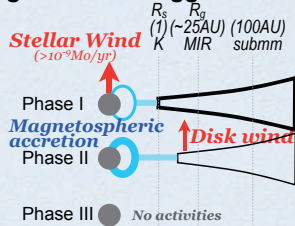
→ これまで同様に中質量星はもちろん、小質量星も狙えるはず



Dominant processes in each phase (for IM-stars (1.5-3M_⊙))

- Phase I: Stellar wind + magnetospheric accretion
- Phase II: Disk wind + magnetospheric accretion
- Phase III: No activity

A clear progression is suggested



これまでの研究の問題点

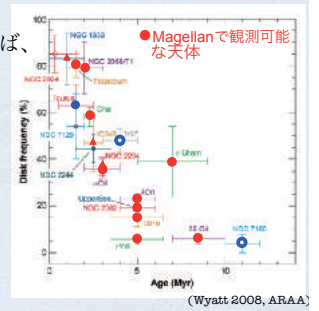
- ターゲット数が少ない (Phase I: N=4, Phase II: N=5, Phase III: N=4)
- 一様な環境のみの観測

★**着目するパラメータ①: (引き続き)円盤進化**

これまでの研究の問題点 i): ターゲット数が少なかった (Phase I: N=4, Phase II: N=5, Phase III: N=4)

- ✓ターゲット: 太陽近傍の星生成領域全て
- <1Myrから10Myrに渡る幅広い年齢範囲

- ✓感度: J=15mag (S/N=50)
- 近傍(D=500pc)天体であれば、~0.1Mo



Phase I Phase II
4→22 5→44

Cluster	Membership ref ^a	Age (Myr)	SpT ^b	SpT ref ^c	JHK IMDI ^d (%)	MIR Ref ^e	MIR IMDI ^f (%)
NGC 1333	S076, A97, W04	1 ± 1	B2.5-K5	Win10, Co10, SB	17 ± 17 (1/6)	Gu09	100 ± 50 (4/4)
Trapezium	H97	1 ± 1	B2.5-K5	H97	9 ± 3 (8/89)	-	-
ρ Oph	W08	1 ± 1	B2.5-K5	W08	0 ± 5 (0/20)	W08	80 ± 20 (4/5)
Taurus	Fu06, Fu11	1.5 ± 1.5	B3-K5	Fu06, Fu11	31 ± 10 (9/29)	Fu06, Lu06	72 ± 16 (21/29)
Cha I	Lu04	2 ± 1	B3-K5	Lu04	29 ± 13 (5/17)	Lu08	60 ± 35 (3/5)
NGC 2068/71	Fl08	2 ± 1.5	B3-K5	Fl08	15 ± 11 (2/13)	Fl08	69 ± 23 (9/13)
IC 348	Lu03	2.5 ± 0.5	B3-K5	Lu03	0 ± 3 (0/34)	Lu06	21 ± 8 (7/34)
σ Ori	He07a	3 ± 1	B3-K4	Ca10, Re09, SB	0 ± 4 (0/23)	He07a	17 ± 9 (4/23)
NGC 2264	Re02	3 ± 1	B3-K4	Re02	0 ± 2 (0/55)	-	-
ρ Aps	S005	4 ± 1	B3-K4	S005, SB	3 ± 2 (3/69)	S005, S006	22 ± 10 (5/23)
Ori OB1bc	He05	4 ± 3	B3-K4†	He05	4 ± 2 (4/94)	-	-
Upper Sco	Ca06	5 ± 1	B3-K4	Ca06	0 ± 1 (0/94)	Ca06	2 ± 2 (2/94) ^h
NGC 2362	Du07	5 ± 1	B3-K4	Du07	0 ± 5 (0/19)	Du07	0 ± 5 (0/19)
γ Vel	He08	5 ± 1.5	B3-K4†	He08, SB	0 ± 6 (0/17)	He08	0 ± 6 (0/17)
λ Ori	He09	5 ± 1	B3-K4†	He09	8 ± 8 (1/13)	He09	4 ± 4 (1/27)
Per OB2	He05	6 ± 2	B3-K3†	He05	0 ± 3 (0/31)	-	-
η Cham	Me05	7 ± 1	B3-K2	Me05	0 ± 33 (0/3)	Me05	-
Ori OB1a	He05	8.5 ± 1.5	B2-K1†	He05	2 ± 1 (2/98)	-	-
NGC 2140	S006	11 ± 1	B2-G7	S006	0 ± 1 (0/82)	S006	3 ± 3 (3/78)

- ✓大部分のPhase I, II天体が観測可能
- ✓幅広い年齢範囲の星生成領域が観測可能
- ✓幅広い質量範囲の観測が可能に

(Yasui+2014)

★**着目するパラメータ②: 金属量**

これまでの研究の問題点 ii): 一様な環境のみの観測

- ✓ターゲット: 異なる金属量領域

やや短い波長であることより、extinctionの小さい銀河系の外縁部が有利か

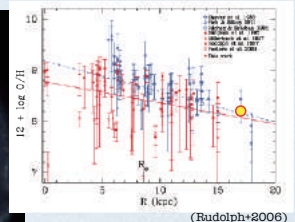
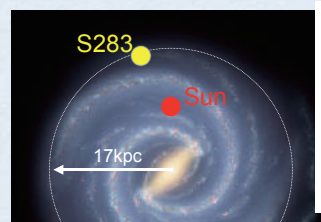
- ✓感度: J=15mag (S/N=50) (J=15.5mag (S/N=30))
- D=10kpcで、~3.5Moまで

✓よいターゲットは？

- J band magnitudesが分かっている
- 星密度が、あまりdenseすぎない
- 金属量が十分に低いことが確認されている
- Abundance analysisは玉石混合だが、信頼できそうな幾つかの方法で確認できる天体
- 比較的多くの天体が観測可能
- 中質量星が存在するためには、N*~100以上の星生成cluster
- MIRデータからYSOであることが確認できる天体
- 星密度が低い領域 or Spitzerのデータが存在
- そもそも、南天でabundanceの分かっている領域が少ない
- 候補(S283, S288, WB870)の中で、現状ではS283のみの条件を全て満たす

✓Sh 2-283

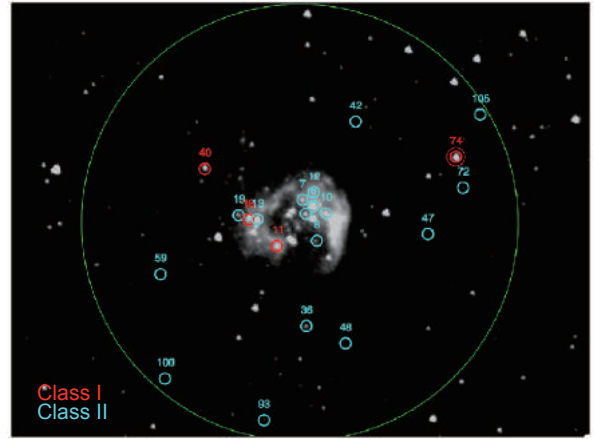
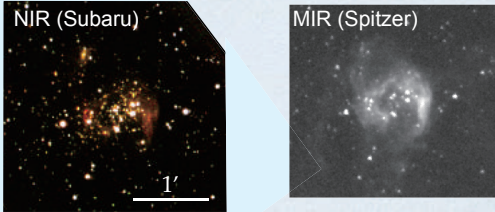
- 基本情報
- Rg=17kpc (D=10kpc), RA=6:38:29, Dec=+00:42:18
- 金属量 [O/H]
- 8.25 (可視分光; Vilchez&Esteban1996),
- 8.20 (可視分光; FERNANDEZ-MARTIN+2017)
- NTT 2017dでも abundance analysis用のデータを取得



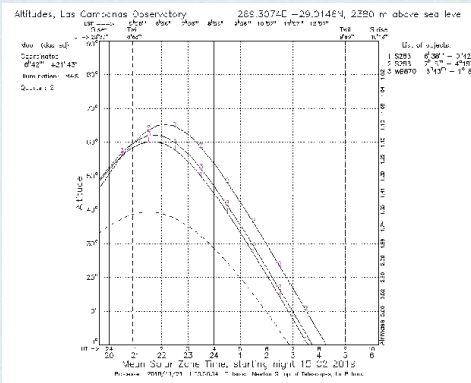
(Rudolph+2006)

✓Sh 2-283

- NIR (Subaru)とMIR (Spitzer)データをクイックに解析
- Class I天体が見つかった (N=4) →非常に若い
- 2天体はWINERED@Magellanでもぎりぎり観測可能? (J=15.7 x2)
- WINERED@Magellanでも観測可能なYSO候補天体も同定 (J<15magの天体がN~15)



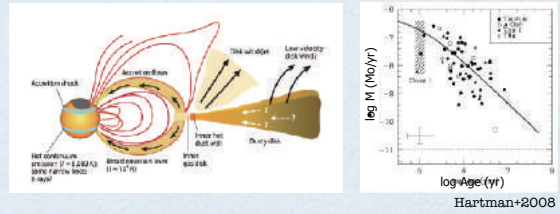
2月中旬のtargetのvisibility



✓やりたいこと: mass accretionの研究

そもそもmass accretionについては、太陽近傍でも全く分かっていない

- よく分からないことを α (~0.1--0.01)に押し付けている
- α model: $\text{Macc} \sim \alpha T \Sigma$
- 乱流の計算は非常に難しい
- 非常に小さなスケールの観測は難しい



Heating		Input Parameters	
EUV, FUV, X-rays		M_* , L_* , T_*	
Dust collisions		FUV, X-ray, EUV luminosity	
PAH heating		FUV, X-ray spectrum	
Exothermic reactions			
Cosmic rays			
Cooling		Many parameters!	
Dust collisions		Gas phase abundances of species and PAHs	
Line emission by ions, atoms, molecules		Gas/dust mass ratio	
Chemistry		Dust size distribution, a_{dust} , ρ_{dust} , $n(a)$	
84 species including H, He, C, O, Ne, Mg, Fe, Si, Al, S		Dust composition (mixture)	
600 reactions including photoreactions (UV, X-ray) and three-body reactions (H_2 formation)		Gas and dust spatial distribution - may be different	
Neglect		Disk mass - Surface density distribution - Inner and Outer disk radii	
Freezing of ices on grains			
Accretion heating			

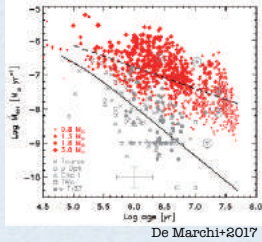
異なる金属量下では?

低金属量環境下での場合

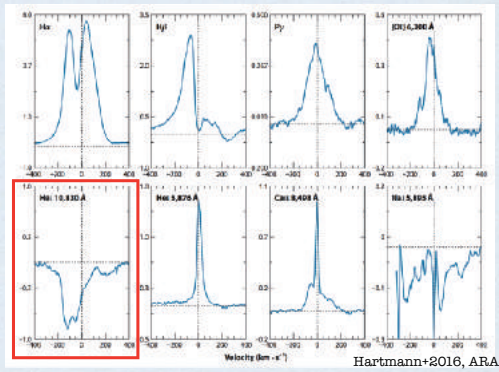
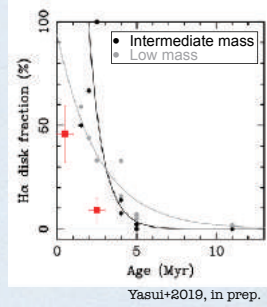
- ✓opacityが減少することで電離度が高くなり、mass accretion rateが高くなる可能性
- ✓イオン数が減少することで電離度が下がり、mass accretion rateが低くなる可能性

✓dustが減少することでradiation pressureが弱くなり、mass accretionが非効率となって寿命が増加する

- ◆ LMC 測光(HST)
- 将来的にはJWSTで分光



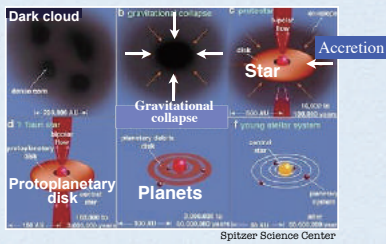
- ◆ Outer Galaxy 分光(Gemini/GMOS)



異なる金属量下において
mass accretion, inner windsのgeometryの解明へ

Protoplanetary disk

- ★ Important role for star/planet formation
- Rotating accretion disks due to initial angular momentum of molecular clouds
- ✓ Stars form in the process of mass accretion
- ✓ Planets form in the process of disk dispersal



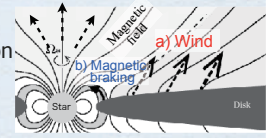
“The angular momentum problem”

How angular momentum of disks is removed?

- ✓ If stars accrete most of their mass from disks, they should be rotating quite rapidly
- However, CTTSs (stars w/disks) rotate more slowly than WTTSs (stars w/o disks) (e.g., Stauffer+1986)
- ✓ At least 99.9% of initial angular momentum must be removed
- Any theoretical models cannot explain completely

Proposed processes for angular momentum transport by gas flow

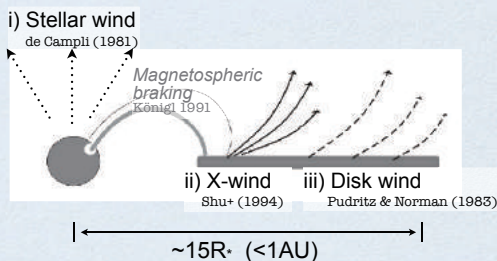
- a) Outflowing gas (wind)
- b) Magnetospheric accretion



Wind origin?

Where and how energetic winds originate in accretion disk systems

The star-disk interaction region is very important



Method: spectroscopy

- ✓ Conventional methods: Optical spectroscopy

e.g. H α , NaD, CaII, MgII (Mundt 1984)

- Redshifted absorption
- Blueshifted absorption

Sensitive to magnetospheric accretion

Sensitive to inner winds (Calvet+1997)

However, superimposed on broad emission features

→ Little information on the nature or location of the wind-launching region

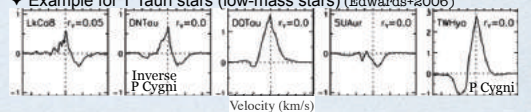
- ✓ HeI λ 10830

Very high exciting temperature: $T > 15,000\text{K}$ (21eV)

Blueshifted/redshifted absorption

Sensitive to both winds/magnetospheric accretion

Example for T Tauri stars (low-mass stars) (Edwards+2006)



Detected various types of line profiles with high probability but, no clearly correlated parameters with line profiles

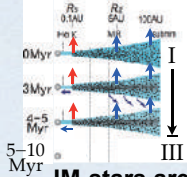
Evolution of protoplanetary disks

✓ Entire disk (gas+dust / from inner to outer) disperse almost simultaneously ($\Delta t \sim 0.5 \text{ Myr}$) in 5–10 Myr (Williams & Cieza 2011, ARAA)
 However, primarily for low-mass stars

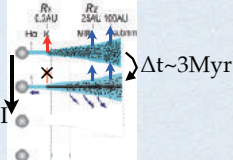
For intermediate-mass (IM) stars,
Innermost disks disperse much earlier

($\Delta t \sim 3 \text{ Myr}$ @ $r \sim 0.3 \text{ AU}$; Yasui+2014, MNRAS)

◆ Low-mass



◆ Intermediate-mass



IM-stars are suitable targets for identifying evolutionary stages

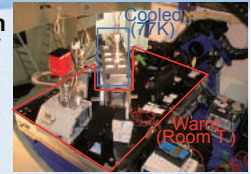
Observation

WINERED NIR high-resolution spectroscopy

- ✓ High spectral resolution: $R=30,000$
- ✓ Very high throughput ($\geq 40\%$)
- ✓ Period: Feb 2013–Oct 2014
- ✓ Wavelength: NIR Y, J-bands ($0.9\text{--}1.35 \mu\text{m}$)

Target selection

- ✓ IM-stars in Taurus star-forming region
- ✓ Different evolutionary phases of dust disk
- ✓ $J < 9 \text{ mag}$
- Selected 13 targets (K3 or earlier)



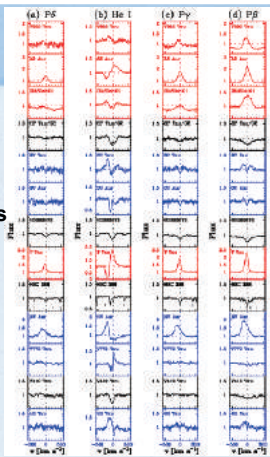
Results

Obtained spectra

- ✓ He I $\lambda 10830$
- ✓ Hydrogen Paschen lines
- Pa β features are most prominent

Remove photospheric features

- v_{broad} , RV, veiling estimations

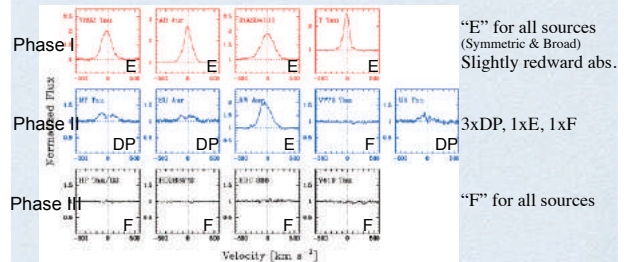


★ Pβ ($\lambda 12822$)

Sensitive to only magnetospheric accretion (MA)

Detection rate

- Phase I: 100%, Phase II: 80%, Phase III 0%
- Detected for stars w/disks (Phase I & II), while not detected for stars w/o disks (Phase III)

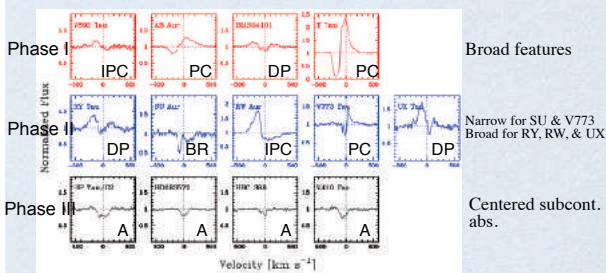


★ He I ($\lambda 10830$)

Sensitive to magnetospheric accretion & inner winds

Detection rate

- Phase I: 100%, Phase II: 100%, Phase III 0%
- Detected for stars w/disks (Phase I & II), while not detected for stars w/o disks (Phase III)



Discussion

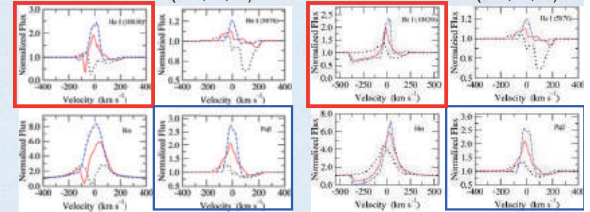
★ Interpretation of line profile morphologies

Comparison with model profiles

Disk wind tend to produce narrower blueshifted profiles with relatively weak emission compared with stellar wind profiles (Kurosawa+2011, Kwan+2007).

Line profiles heavily depend on inclination angles

- ◆ MA + Disk wind ($\tau=20, 50, 80$)
- ◆ MA + Stellar wind ($\tau=20, 50, 80$)



Kurosawa+2011

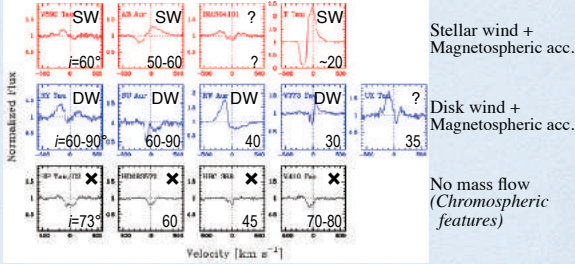
Discussion

★ Interpretation of line profile morphologies

Comparison with model profiles

Disk wind tend to produce narrower blueshifted profiles with relatively weak emission compared with stellar wind profiles.

Line profiles heavily depend on inclination angles

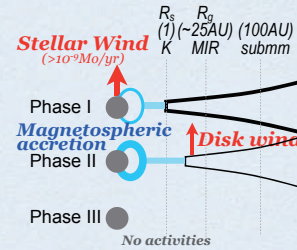


★ Dominant processes in each phase

(for IM-stars (1.5–3M_⊙))

- Phase I: Stellar wind + magnetospheric accretion
- Phase II: Disk wind + magnetospheric accretion
- Phase III: No activity

A clear progression is suggested



★ Comparison with previous studies

Studies for H AeBes (Intermediate-mass stars in Phase I)

Reference: Cauley&Johns-Krull (2014)

Mass range of H Ae stars is roughly comparable to our targets.

✓ H Ae stars show evidence for stellar wind, whereas they show no evidence of disk wind

Consistent with the results for Phase I, but inconsistent with Phase II.

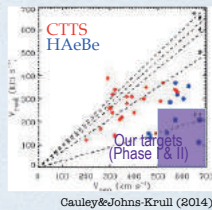
✓ Small magnetospheres are confirmed from maximum redshifted abs. velocities

The same trends are seen for our targets

(both Phase I and II).

✓ The smaller magnetospheres as a result of smaller magnetic fields was indicated to be the reason for the lack of their disk wind signatures.

The signature is seen in Phase II sources despite that smaller magnetospheres are suggested generally for IM stars.

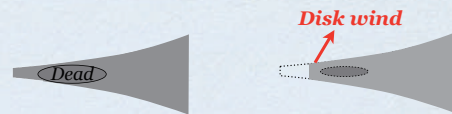


Cauley&Johns-Krull (2014)

★ Implication to theories

The signature of disk wind is seen in Phase II, whereas it is not seen in Phase I.

- ◆ Phase I: High dust surface density → Low ionization
- ◆ Phase II: Low dust surface density (due to dust growth/settling) → High ionization



Suggested that opacity in protoplanetary disks plays an important role on deciding dominant mass flow processes

Summary

★ Observation with high-resolution NIR spectrograph "WINERED"

- ✓ Obtained spectra for 13 intermediate-mass stars in different evolutionary phases of protoplanetary disks
- ✓ High S/N was achieved with R=30,000, 1m-class telescope, and short exposure time S/N>100 for J=6mag with 20min exposure

★ Star-disk interaction in intermediate-mass stars

- ✓ Detected HeI only in stars having disks
- ✓ Showing differences in HeI line profiles with disk evolution
 - Phase I: Stellar wind
 - Phase II: Magnetospheric accretion + disk wind
 - Phase III: No activities

The first clear suggestion of progression

Suggested that *opacity in protoplanetary disks* play an important role on mass flow processes.

★ Comparison with previous studies

Studies for CTTS (Edwards+2006, Kwan+2007, Fischer+2008)

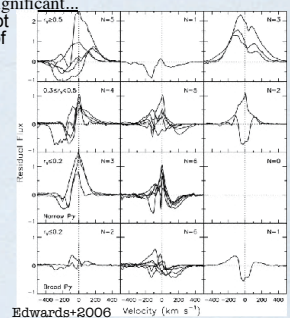
Another indicator of disk evolutionary phase: veiling (mass accretion rate)

Similar tendency is suggested

Broad PCyg-like profiles for high veilings, while narrow emissions coupled with blue-/redshifted absorption for low veilings

However, the tendency is not very significant...

The mass accretion rate, cannot be necessarily clear indicator of disk evolution?



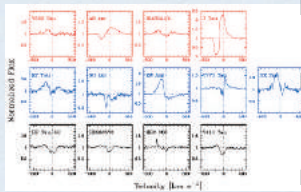
Edwards+2006

★ Progression of dominant processes

???

Detection rate

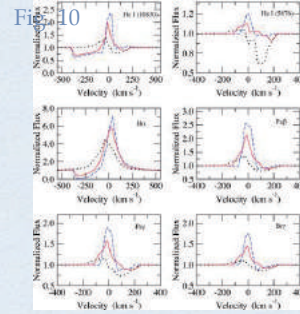
AAA



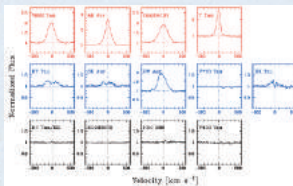
- I. Stellar wind
Broad features
- II. Magnetospheric accretion
+ disk wind
Narrow features
- III. No activity
Centered abs.
(chromospheric activities)

Progression of star-disk interactions is suggested

Kurosawa+2011,



Supportive diagnostics from Pβ



- I. Weak or no magnetospheric accretion
Slight redshifted abs. features
- II. Magnetospheric accretion
Clear redshifted abs. features
- III. No activity

Consistent with results from HeI

Future Prospects

★ Statistical discussion

Already obtained spectra of stars in star-forming regions in different evolutionary stages:

- Taurus (1.5Myr)
- Tr 37 (4Myr)
- NGC 7160 (11Myr)

★ Quantitative discussion about inflowing/outflowing gas

Derivation of mass loss rate and geometry of wind/mass accretion from line profiles (e.g., Kwan+2007, Fischer+2008)

Magellanic Clouds with Magellan: Complex Molecules in Low Metallicity Environment

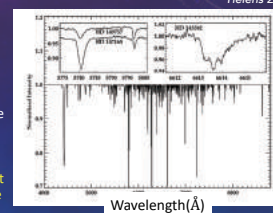
Satoshi Hamano
Kyoto Sangyo University

WINERED workshop 2018

2018/11/20 1

Diffuse interstellar bands (DIBs)

- ◆ Absorption features from interstellar medium detected in the spectra of background stars
- ◆ Over 500 DIBs are detected from near UV to near infrared, mainly in optical.
Hobbs et al. 08, 09
- ◆ Although the carriers of most DIBs are not identified yet, they are now considered to be gas-phase carbonaceous molecules.
Sarre et al. 08
- ◆ The identification of DIB carriers is important for the understanding of chemistry in diffuse interstellar medium.



Tielens 2014

WINERED workshop 2018

2018/11/20 2

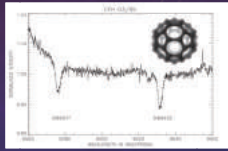

DIBs in NIR

Advantages of NIR

- ◆ C_{60}^+ DIBs in short NIR *Campbell et al. 115*
 - Two main bands at $\lambda=9577, 9632\text{\AA}$
 - Only DIBs whose carrier are identified.
- ◆ DIBs in dense regions *Zasowski et al. 115, Adamson et al. 114*

Difficulty of NIR DIB studies

- ◆ In NIR, DIBs have not been studied enough.
- ◆ The strong telluric absorption lines in NIR prevent us from detecting weak DIBs.
 - High-resolution spectroscopy and sophisticated correction method are needed.





WINERED workshop 2018 2018/11/20 3

NIR DIB survey with WINERED

Advantages of WINERED for DIB study

- ◆ **High sensitivity**
→ Weak DIBs can be detected.
- ◆ **Covering 0.9-1.35 μm range**
→ All C_{60}^+ bands, the strongest NIR DIB ($\lambda 13175$), many DIBs, and C_2 and CN bands can be detected simultaneously.
- ◆ **High resolution ($R=28,000$ or $68,000$)**
→ Accurate telluric absorption correction. Band profile of DIBs. (Takenaka's talk)



WINERED workshop 2018 2018/11/20 4

DIB study with WINERED

Toward the DIB carrier identification

- ◆ **Search for DIBs** → Hamano et al. 2015, 2018 in prep.
 - Comparison with laboratory spectrum of candidate molecules.
- ◆ **DIB behavior in ISM** → Hamano et al. 2016
 - Correlations among DIBs.
 - Dependence on ISM properties.
 - Relations with interstellar features (UIR band, dust emission, C_{60}^+ DIBs ...).
- ◆ **Molecular properties of DIB carriers** → Takenaka's talk
 - DIB profile fitting.
 - Rotational excitation of DIB carriers.

Other interstellar features → Hamano et al. 2018, submitted

- ◆ C2 and CN A-X bands
 - Physical parameters of clouds (T_{kin} , n_{H} , T_{CN}), isotope ratios

WINERED workshop 2018 2018/11/20 5

DIB study with WINERED

Toward the DIB carrier identification

- ◆ **Search for DIBs** → Hamano et al. 2015, 2018 in prep. → Galactic
- ◆ **DIB behavior in ISM** → Hamano et al. 2016
 - Correlations among DIBs. → Galactic & Extragalactic!!
 - Dependence on ISM properties.
 - Relations with interstellar features (UIR band, dust emission, C_{60}^+ DIBs ...).
- ◆ **Molecular properties of DIB carriers** → Takenaka's talk → Galactic
 - DIB profile fitting.
 - Rotational excitation of DIB carriers.

Other interstellar features → Hamano et al. 2018, submitted → Galactic & Extragalactic!!

- ◆ C2 and CN A-X bands
 - Physical parameters of clouds (T_{kin} , n_{H} , T_{CN}), isotope ratios

WINERED workshop 2018 2018/11/20 6

Extragalactic DIBs

メリット


- ◆ 銀河系内では得られないパラメータスペース
 - 金属量 / R_V / UV / 化学組成 ...
- ◆ 銀河スケールでの分布が得られる
 - 系内では前景のガスのコンタミによって遠方のDIB強度を測定することは困難

天体の条件

- ◆ 銀河系内のガスと分離できるような速度を持っている
- ◆ 天体を分解でき、高精度なスペクトルが得られる程度に明るい

WINERED workshop 2018 2018/11/20 7

Magellanic clouds (MCs)



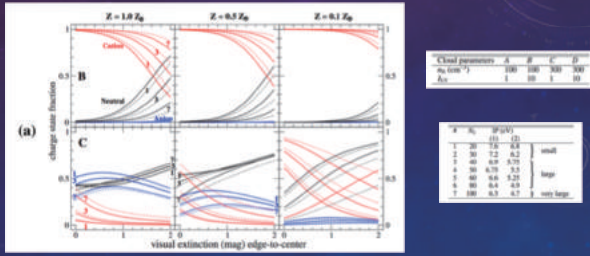
- ◆ LMC, SMC
- ◆ 近傍にあり、様々な点で銀河系の星間物質と異なる環境にある。
- ◆ 低金属量
 - LMC: -0.3 dex
 - SMC: -0.6 ~ -0.7 dex
- ◆ 低い dust-to-gas ratio, 強い ambient radiation field

WINERED workshop 2018 2018/11/20 8

Ionization of PAHs in MCs

- ◆ 低金属量下ではcationの割合が大きくなる。
→ DIBがPAH cationの吸収であれば、その強度はLMC~MW、SMC~0.4 MWと予測

Cox et al. 2006

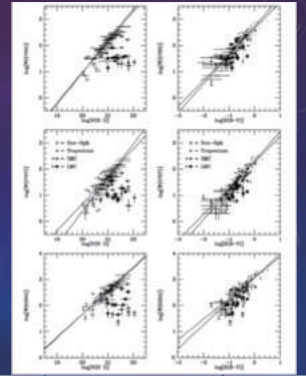


WINERED workshop 2018

2018/11/20 9

DIBs in MCs

- ◆ 可視光域の強いDIBはMCsで検出例がある。
- ◆ Welty et al. 06
 - LMC: MWより7-9倍弱い
 - SMC: MWより20倍弱い
 → 金属量の違い以上に弱い

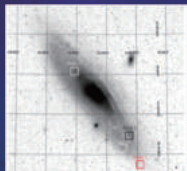


WINERED workshop 2018

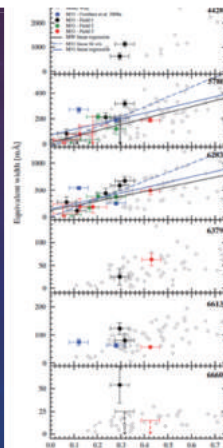
DIBs in M31

Cordiner et al. 11

- ◆ M31におけるDIBの観測例
 - Galacticよりも高めのEW
 - 金属量はsolar程度と考えられる
 - UVが弱いにも関わらずDIBが強い (MWでの観測結果とは逆のセンス)
 - Locally UVが強い環境である可能性



WINERED workshop 2018



NIR DIBs in MCs

- ◆ マゼラン望遠鏡を用いたMCsの観測で低金属量環境下のNIR DIBを初めて調べる。
- ◆ ただ、これまでの可視光DIBでの研究を見ていると、結局具体的なことはよくわからない。
- ◆ 面白い結果が期待できそうなテーマは以下
 - PAHのモデルで予測されているような、MCsで金属量から期待されるよりも相対的に強いDIBが見つからないか。
 - DIB familyの高い相関係数が、MCsの極端に異なる環境下でも続くのか
 - MCsにおけるフラウン

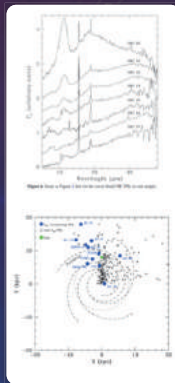


WINERED workshop 2018

2018/11/20 12

Fullerenes in MCs

- ◆ C-rich PNeにおけるフラウン線線の検出率
 - MW: 5%
 - LMC: 20%
 - SMC: 44%
 → 金属量が下がるにつれてフラウン線の検出率上昇
Garcia-Hernandez et al. 12
- ◆ 銀河系内の観測でも銀河系外縁部のPNeでフラウン線線の検出率が高い。
Otsuka et al. 13
- ◆ 低金属量下ではフラウン線が形成しやすい?
- ◆ 星間物質中のC₆₀のアバダンスは?



WINERED workshop 2018

2018/11/20 13

LMC targets

Object	RA	Dec	V	J	E(B-V)	Sp Type	reference	comment
LH 10-306	04:56:42.5	-66:25:18	13.68	13.574	0.29/0.26	O2 III*	W06	
H3270754	04:47:04.4	-67:06:53	11.26	11.019	0.24/0.22	B+ Ia	W06/CO6/H02	
H3209605	04:50:19.0	-67:39:38	11.34	11.578	0.16/0.13	O9.7 Ib	W06/CO6	
IR 237	05:36:14.7	-67:39:19	13.93	13.950	0.18/0.12	O2 V(IP)	W06	
H3209050	05:07:20.6	-68:32:10	11.54	11.736	0.15/0.09	B0 Ia	W06	
H3209445	05:22:59.0	-68:01:47	11.46	10.536	0.57/0.51	O7pe/WH0	W06	
H3209096	05:37:48.6	-68:55:08	11.35	11.233	0.27/0.21	O9.7 Ia	W06/CO6/H02	
H3217980	05:34:18.4	-69:45:10	13.35	13.291	0.15/0.09	WC4	W06	
SN 1987A	05:35:26.7	-69:16:14	-	-	0.16/0.10	(B3 III)	W06	
IR 253	05:37:35.5	-69:01:10	13.82	13.772	0.19/0.13	O2 V(IP)	W06	
Merrick 42	05:38:42.1	-69:05:55	10.96	11.913	0.42/0.38	O3F/WNG-A	W06	
H3208282	05:38:54.0	-69:02:00	11.15	10.675	0.14/0.08	WHe*	W06	
H32170145	05:48:49.8	-70:03:58	12.24	12.267	0.20/0.14	O6.5 Ia*	W06	
H3208029	05:36:55.02	-69:11:37.3	11.59	11.285	0.27/0.20	B1 Ia	CO6/H02	Edge of 30 Dor
H3208268	05:38:42.57	-69:06:03.2	9.50	0.40/0.29	O3 F	CO6/H02	Centre of 30 Dor	
H32170196	05:51:20.85	-70:17:08.7	11.59	11.646	0.10/0.07	B1.5 Ia	CO6	Standard

WINERED workshop 2018

2018/11/20 14

SMC targets

Object	RA	Dec	V	J	E(B-V)	SpType	reference	comment
AV18	00 47 12.0	-73 06 31	12.45	12.369	0.18/0.14	B2 Ia	W06/C07	
AV26	00 47 50.1	-73 08 21	12.51	12.840	0.12/0.08	O7 III	W06	
AV78	00 50 38.4	-73 28 19	11.05	11.070	0.11/0.07	B1.5 Ia+	W06	
AV80	00 50 43.8	-72 47 41	13.33	13.699	0.16/0.12	O4-fnd? sp	W06	
AV456	01 10 55.6	-72 42 58	12.87	12.798	0.38/0.34	O9.7 Ib	W06/H02/C07	
AV476	01 13 42.4	-73 17 29	13.54	13.701	0.22/0.18	O6.5 V	W06	
AV479	01 14 50.0	-73 20 17	12.45	12.797	0.15/0.11	O9 Ib	W06	
AV214	00 58 54.76	-72 13 17.2	13.416	13.38	0.23/0.16	B2e	C07	
AV296	01 06 09.81	-71 56 00.8	13.889	13.690	0.35/0.29	O9.7 Ia	C07	
AV65	00 50 06.0834	-73 07 45.223	11.00	10.600	0.15/0.08	B9Ia-B9Ia	C07	
Sk 181	01 41 42.07307	-73 50 38.1726	11.84	11.904	0.14/0.06	B1.5 Ia	C07	
AV242	01 00 06.863	-72 13 57.51	11.5	12.288	0.06/0.02	B1 Ia	C07	

WINERED workshop 2018

2018/11/20 15

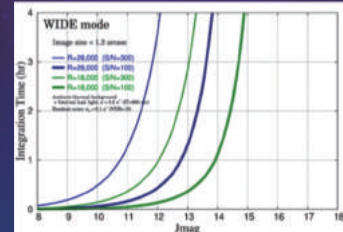
Exposure time

◆ NTTのケース

- J=11 mag, R=28000 → S/N=300 (1.5 hrs)
- J=13 mag, R=18000 → S/N=300 (3 hrs)

◆ 0.96 μmでの見積もりをしておきたい。

◆ (NTTで取得したデータの解析は間に合わなかった...)



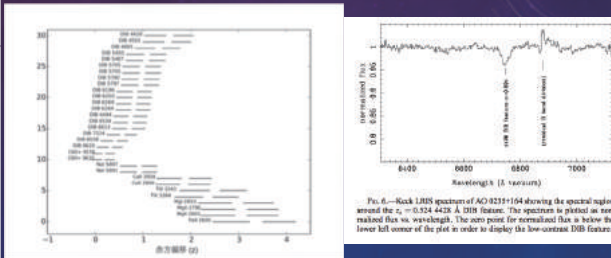
WINERED workshop 2018

2018/11/20 16

DIB in QSOALS

◆ クェーサー吸収線系のDIB観測

- λ4428: 最も強いDIB, WINERED波長域は大雑把に1<z<2に対応
- C₆₀ DIB: 个と比べると弱いので検出自体難しいが、z<0.4までカバー



WINERED workshop 2018

2018/11/20 17

QSO Targets

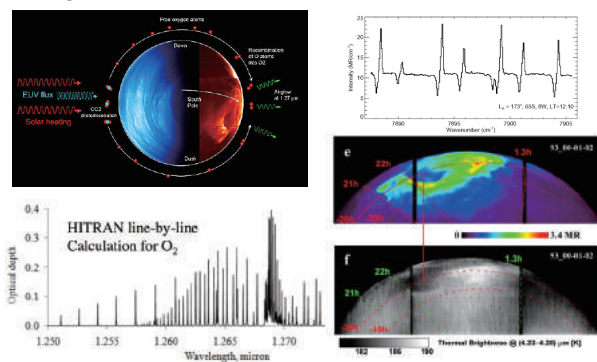
天体名	ra(deg)	dec(deg)	J等級	EW(Call H)	z _{em}	z _{abs}
01241246-0100497	21.051937	-1.013808	15.230	0.233	2.827	1.2942
01241246-0100497	21.051937	-1.013808	15.230	0.243	2.827	1.1321
14431417-0247221	220.809058	-2.789465	15.872	0.524	0.677	0.6503
21075766-0620105	316.990281	-6.336265	15.778	0.747	1.899	0.2321
22160888-0057085	334.037015	-0.952387	15.819	0.378	2.4	1.3428
23311264-1007580	352.802702	-10.132789	15.793	0.338	1.322	0.3584

天体名	z _{em}	z _{abs}	logN(H)	Jmag
QSO J0153+0052	1.162	1.0599	20.43	14.3347
QSO 1127-145	1.187	0.313	21.71	15.276 (simbad) C60+

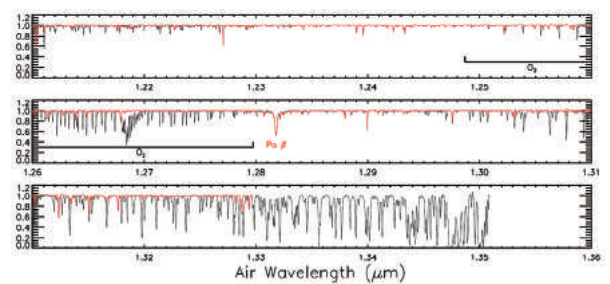
WINERED workshop 2018

2018/11/20 18

O₃ and O₂ in Solar System Objects

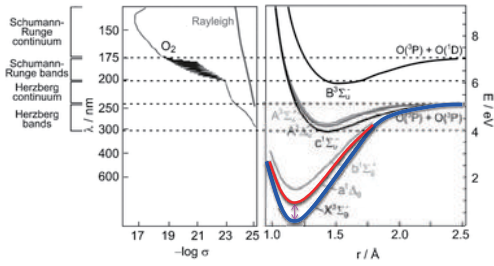


Telluric O₂ absorption at 1.27 μm in WINERED spectra



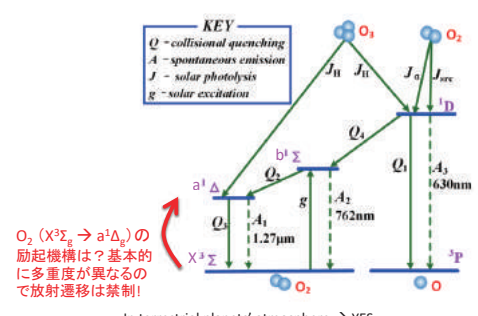
Sameshima et al. (2018a)

Energy structure of O₂



O₂: a¹Δ_g ↔ X³Σ_g ⇒ 1.27μmバンド

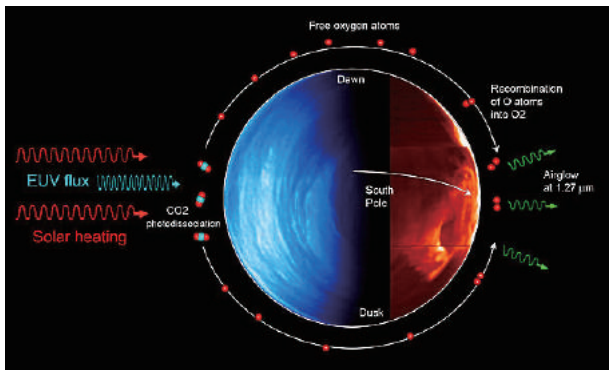
O₂ Emission at 1.27μm?



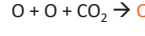
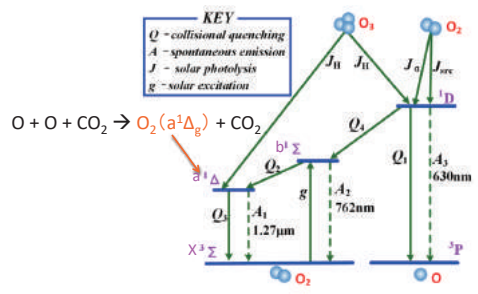
O₂ (X³Σ_g → a¹Δ_g) の励起機構は？基本的に多重度が異なるので放射遷移は禁制！

In terrestrial planets' atmosphere → YES (e.g., dayglow in Mars, nightglow in Venus, Earth, Mars, ...)

Nightglow in Venus

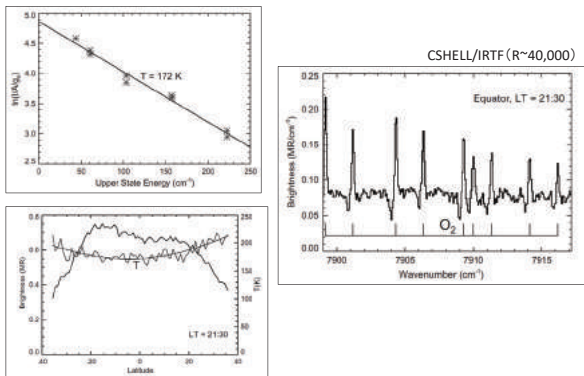


O₂ Nightglow at 1.27μm in Venus

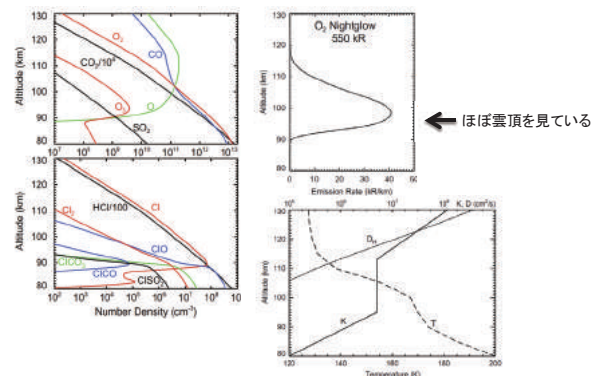


In terrestrial planets' atmosphere → YES (e.g., dayglow in Mars, nightglow in Venus, Earth, Mars, ...)

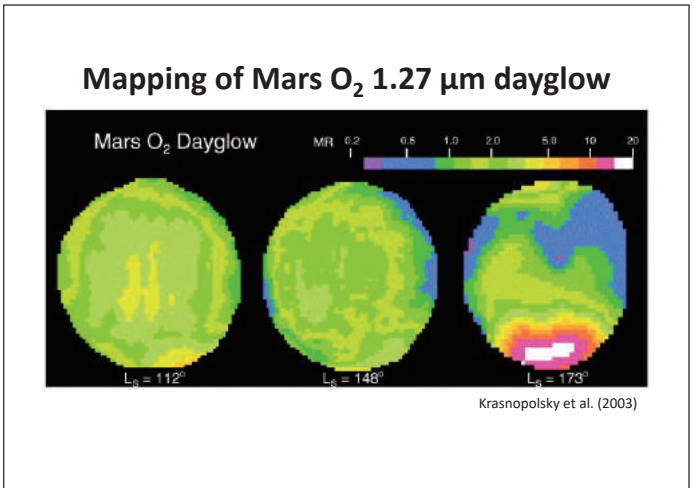
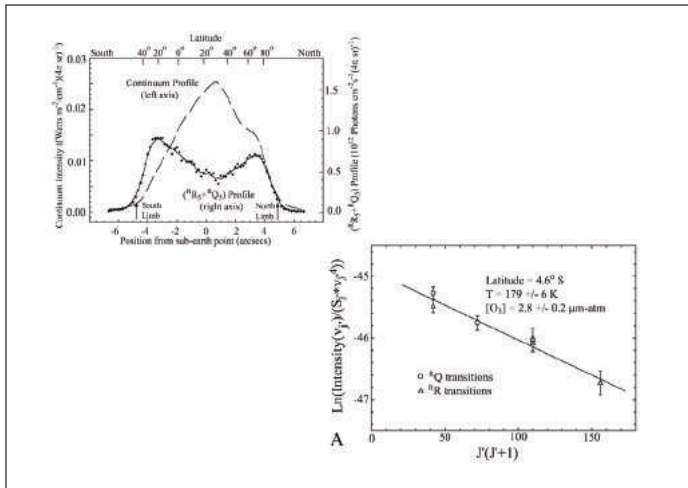
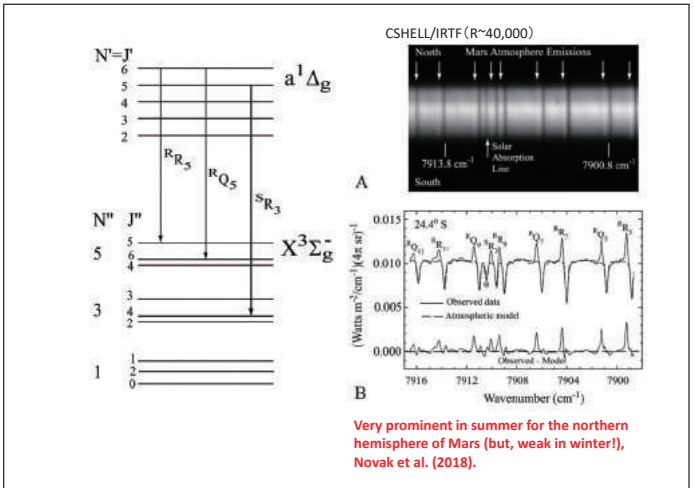
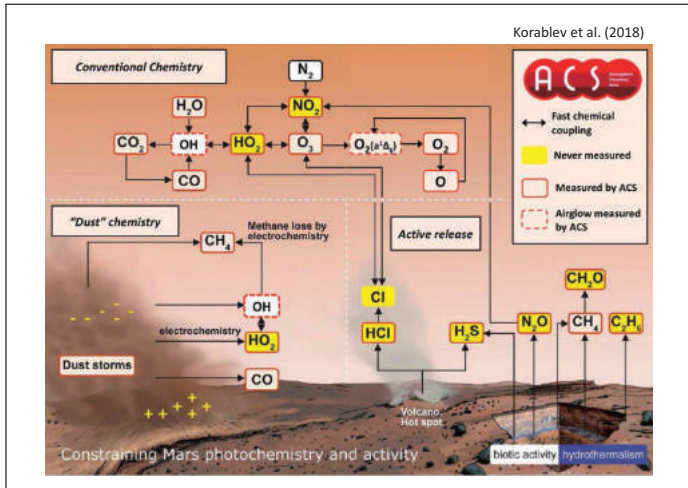
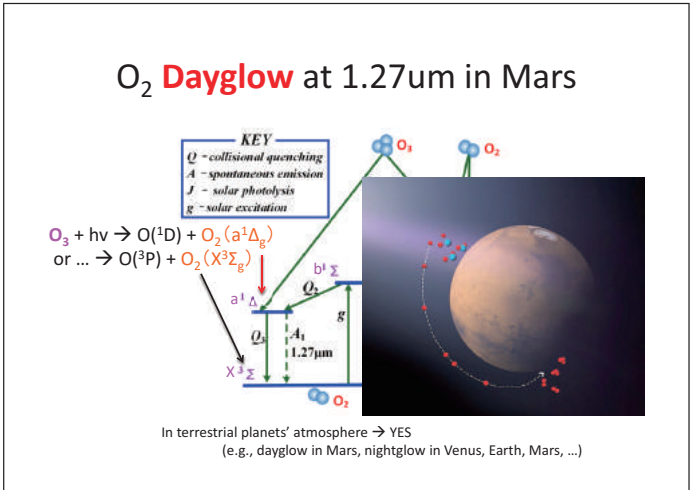
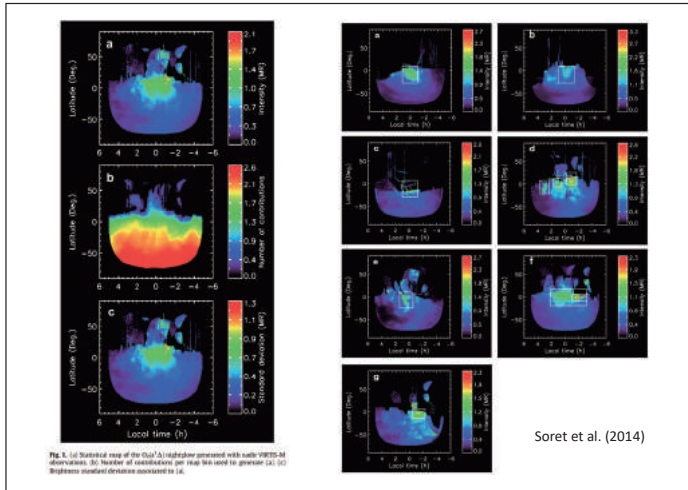
Temperature of Venus's upper atmosphere



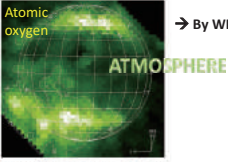
Venus's Atmosphere: T vs. alt.



← ほぼ雲頂を見ている

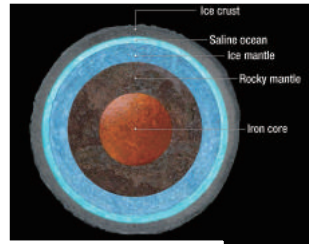
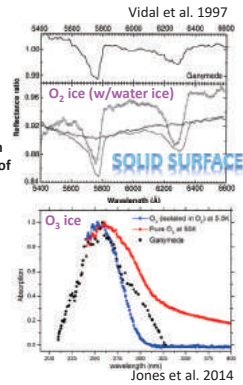


O₃ and O₂ in Icy Satellites

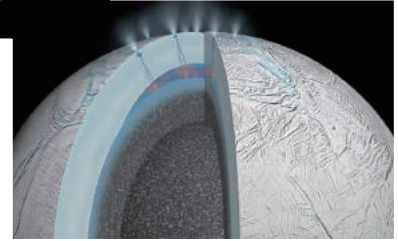


No detection of O₂ emission at 1.27 μm in icy satellites (of Jupiter, Saturn, ...), so far.

→ By WINERED w/6.5m?



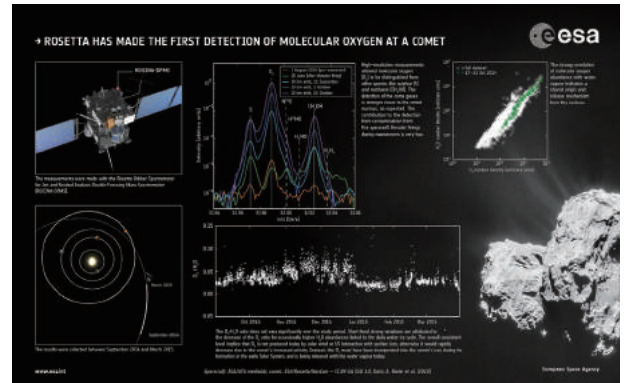
Underground ocean in icy satellite?



Comets



Discovery of O₂ in Comets!



Highly volatile and reactive!

O₂ in comets 1P/Halley & 67P/C-G

67P/C-G O₂/H₂O = 3.80 ± 0.85% (High or Low? (2015), Rosetta/ROSINA)
 O₂/H₂O ~ 25%? : Keeney et al. (2018), absorption in UV
 1P/Halley O₂/H₂O = 3.7 ± 1.7%: Rubin et al. (2015), Giotto/NMS

Rosetta/ROSINAのデータからは、O₂のガス生成率 Q(O₂) は...

✓ Q(H₂O)と相関がある
 ※ H₂O氷の中にトラップされている可能性が高い

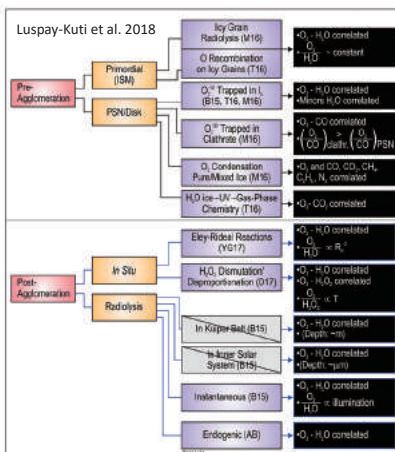
✓ Q(CO)やQ(N₂)とは相関が低い
 ※ O₂の昇華温度はCOやN₂に近いにも関わらず

✓ O₃はRosetta/ROSINAでは検出されていない! No O₃ in comets?

彗星のO₂の起源ははっきりしていない...(Taquet et al. 2016, Mousis et al. 2016, ...)

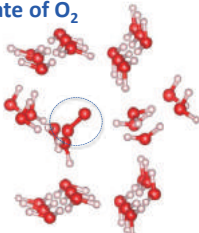
- 1) O₂ formation and survival in molecular clouds
- 2) O₂ formation and survival during protoplanetary disk formation
- 3) O₂ formation and survival within protoplanetary disks

H₂O水中でUVIによる光化学で作られた可能性?

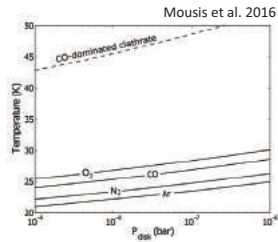


So many ideas since the discovery of O₂ in comet 67P in 2015!!
 We need more observations!!

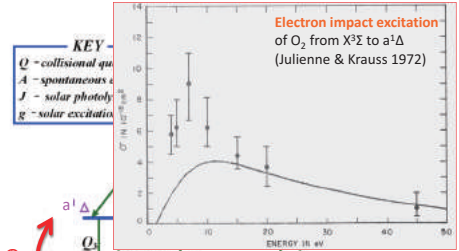
Cathrate of O₂



O₂ is produced by radiolysis of water ice through the chemical reaction;
 $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ (Mouis et al. 2016a).



O₂ Emission at 1.27μm in comets?

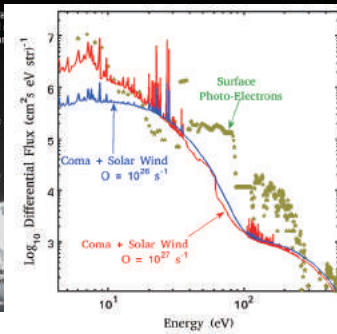
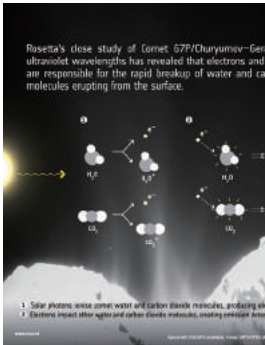


KEY:
 Q - collisional quenching
 A - spontaneous
 J - solar photolysis
 g - solar excitation

O₂ ($X^3\Sigma_g^- \rightarrow a^1\Delta_g$) の励起機構は？基本的に多重度が異なるので放射遷移は禁制!

Three populations of cometary electrons in very inner coma;
 cold ($T \approx 2$ eV), warm ($T \approx 10$ eV), and hot ($T \approx 20$ eV)

Electron impact is important in very inner coma!



O₂ ($X^3\Sigma_g^- \rightarrow a^1\Delta_g$) 遷移は、warm and hot electron (10–20 eV) に対して、大きな励起断面積を有する： $\sigma \approx 10^{-17} \text{ cm}^2$

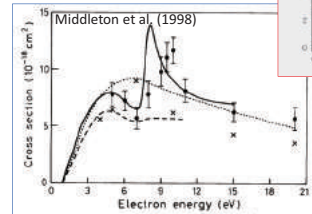


FIG. 2. Integral cross sections for the $a^1\Delta_g$ state. The present data (●) are compared with the earlier measurements of Trajmar, Cartwright, and Williams [8] (x), and the R-matrix calculations of Noble and Burke (---) [10] and (—) [12], and the ERT [11] (---).

O₂ @ 1.27μm 輝線は、コマ内部の warm & hot な電子のプロープになりうる？
 彗星核近傍の極内部コマからの O₂ 輝線の観測が必要 → $\approx 2-3''$ 以内 (< 100km)

Summary

O₂ ($X^3\Sigma_g^- \rightarrow a^1\Delta_g$) at 1.27μm 輝線の起源

- 【酸素原子】 $\text{O} + \text{M} \rightarrow \text{O}_2 (a^1\Delta_g) + \text{M}$ Nightglow in Venus, Mars, ...
- 【オゾン】 $\text{O}_3 + h\nu \rightarrow \text{O}_2 (a^1\Delta_g) + \text{O}(^3\text{P})$ Dayglow in Mars, & icy satellites?
- 【酸素分子】 $\text{O}_2 (X^3\Sigma_g^-) + e^- \rightarrow \text{O}_2 (a^1\Delta_g) + e^-$ Maybe in comet? & icy satellites?

	Science	Monitoring?	ToO?	Remarks for Magellan/Cray
Venus	大気化学+化学 w/ GCM	○		口径6.5mのメリット少ない(面光源)
Mars	大気化学+化学 w/ GCM	○		口径6.5mのメリット少ない(面光源)
Icy satellites	plume from subsurface ocean?	△		観測頻度が問題？ 空間分解能不足？
Comets	星間 or 原始惑星系円盤 化学？		○	Feasibility studyが更に必要。 (衝突・無放射遷移の影響は？)

新星のラインリストと今後の研究

京都産業大学 神山天文台
 新井 彰

WINERED研究会@東京大学・本部

これまでに取得したデータ

- 合計8天体 (うちLMCの新星 1天体)
- これまでは明るさとphaseでセレクション

object name	links	run No.	Phases of nova
V0559 Cyg (Nova Cyg 2014)	nova/V0559Cyg	3014	Nebular phase
V5669 Sgr (Nova Sgr 2015 No.3 = PMV J17355050-2034240)	nova/V5669Sgr	2015	Early decline
Nova Oph 2016 (Nova Oph 2016 = PMV J18033275-2816054)	nova/V18033275	2016	Early decline
Nova Sct 2017 (ASASSN-17ha)	nova/NovaSct2017	NTT18a	Early decline
Nova LMC 2017 No.2 (ASASSN-17pf)	nova/NovaLMC2017No.2	NTT18a	Decline / Nebular
Nova Sco 2017	nova/NovaSco2017	NTT18a	Dust forming phase
Nova Cir 2017	nova/NovaCir2017	NTT18a	Early decline
Nova Mus 2017	nova/NovaMus2017	NTT18a	Dust forming phase

WINERED研究会@東京大学・本部

2

WINEREDで目指す新星のサイエンス

- WINERED波長域・分解能そのものに新規性のあるテーマ
 - ラインリストの作成
- WINERED波長・分解能に優位性
 - 星間赤化を受けた天体の観測が容易
 - 爆発後期まで(減光しても)観測しやすい
 - ダスト形成時でもスペクトル変化を追いやすい
 - 分子バンドも多く含む(C2, CN, PAH, フラレーン)
- 減光期の吸収線進化(可視光高分散からの発展)
 - Nebular phaseのスペクトルからCNOの組成解析
 - 吸収線やHe I 10830 Å, [N II] 10400 ÅのプロファイルからNebular phaseの構造の統計的調査
 - ダスト生成新彗での分子(フラレーン含む)の検出も期待
 - DIBの検出(〜kpcの範囲のDIB調査?)
- 新星の組成・イジェクタ構造・ダスト生成 → 銀河系の化学進化への奇与
- LMC(SMC)の新星とMW新星の分光学的比較

WINERED研究会@東京大学・本部

3

Novae



- 熱核暴走反応(INR)
- pp-chain → CNO (対流で各生成物を上層に巻き上げ放出)
 - $M_{\text{ejecta}} \sim 10^{-4} - 10^{-6} M_{\odot}$ ($\sim 1 M_{\text{planet}}$)
- Classical Novae: 初めて爆発したもの (recurrence $> 10^3$ yrs)
 Recurrent Novae: 繰り返しnovaを起こしたもの (recurrence $\sim 1 - 100$ yrs)
 → WD massが増加 → Ia型超新星 (single degenerate)
- Novae ≠ Supernovae
 系は残る 母天体は残らない

WINERED研究会@東京大学・本部

4

Novae



- 熱核暴走反応(INR)
- pp-chain → CNO (対流でWD表面+核生成物を巻き上げ放出)
 - $M_{\text{ejecta}} \sim 10^{-4} - 10^{-6} M_{\odot}$ ($\sim 1 M_{\text{planet}}$)
- Classical Novae: 初めて爆発したもの (recurrence $> 10^3$ yrs)
 Recurrent Novae: 繰り返しnovaを起こしたもの (recurrence $\sim 1 - 100$ yrs)
 → WD massが増加 → Ia型超新星 (single degenerate)
- Novae ≠ Supernovae
 系は残る 母天体は残らない

WINERED研究会@東京大学・本部

TABLE 8
SELECTED ABUNDANCES OF RECURRENT NOVAE FROM INFRARED MEASUREMENTS OF FORBIDDEN EMISSION LINES AND THERMAL EMISSION FROM DUST

Nova	X	F	$\frac{X}{\text{Si}}$	Reference
QU V10184 #2	Ne	H	21.2	1
QU V10184 #2	Al	Si	70	2
QU V10184 #2	Mg	Si	4.7	2
QU V10184 #2	Ni	Si	20.4	3
V1874 Cyg 1992	Si	H	2.4	4
V1874 Cyg 1992	Si	H	2.19	5
V1874 Cyg 1992	Si	Si	0.15	6
V1874 Cyg 1992	Al	Si	0.5	6
V1874 Cyg 1992	Ni	Si	25	6
V1874 Cyg 1992	C	H	0.12	7
V1874 Cyg 1992	N	H	0.50	7
V1874 Cyg 1992	O	H	0.28	7
V1874 Cyg 1992	Mg	H	0.50	7
V1874 Cyg 1992	Mg	H	0.8	7
V1874 Cyg 1992	Al	H	0.8	7
V1874 Cyg 1992	Si	H	0.8	7
V1874 Cyg 1992	S	H	0.5	7
V1874 Cyg 1992	Ar	H	0.5	7
V1874 Cyg 1992	Fe	H	0.4	7
V1874 Cyg 1992	Ni	O	0.4	8
V108 Cas 1995	Silicates	H	0.15	9
V108 Cas 1995	C	H	0.45	10
Nova Aql 1995	C	H	20.6	11

Getzlav (1998)

Novae

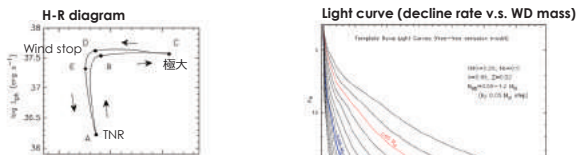


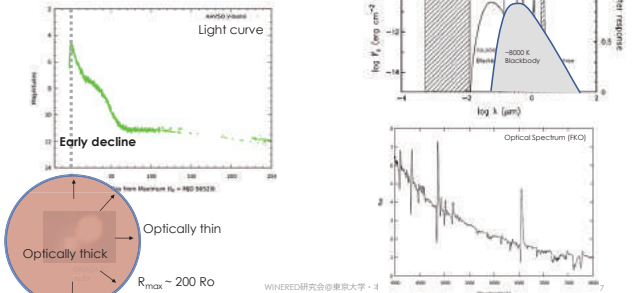
Figure 1. Schematic H-R diagram of one cycle of shell flashes. Thermonuclear runaway starts on an accreting WD at point A. The star brightens up and its envelope begins to expand. After the star reaches the maximum expansion at point C the star moves leftward along with the decreasing envelope mass and the surface temperature increases with time. The nuclear burning extinguishes at point D and the star goes back to the original stage. When the optically thick wind ceases, it begins at point B and ends at point E.

Kato and Hachisu 2009

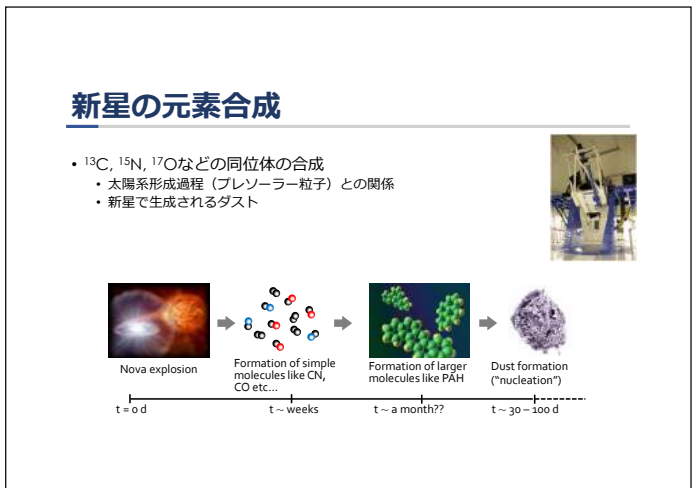
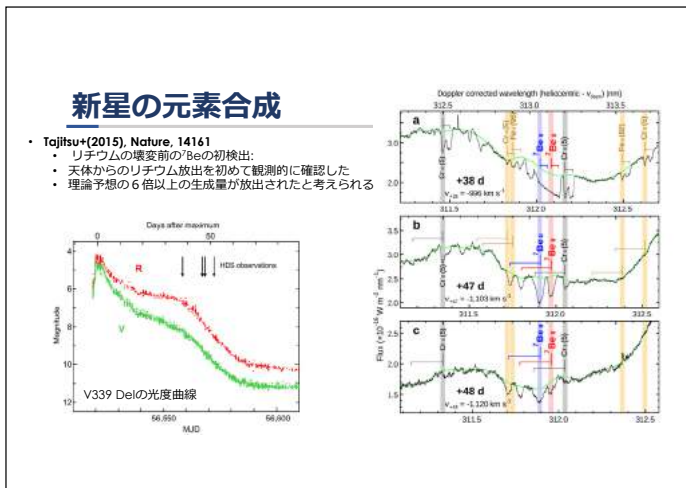
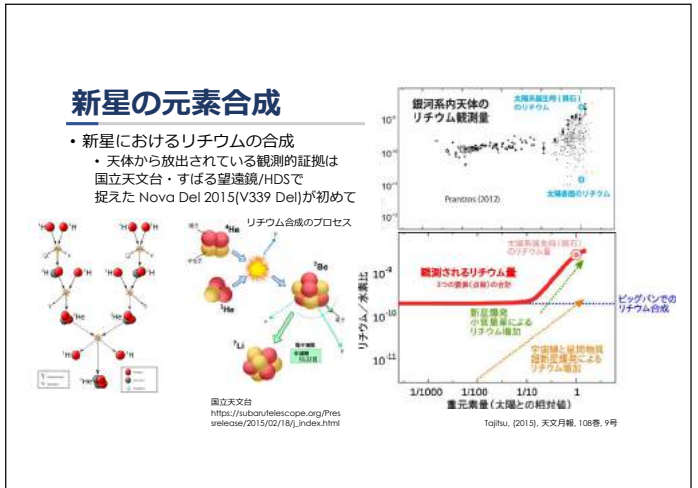
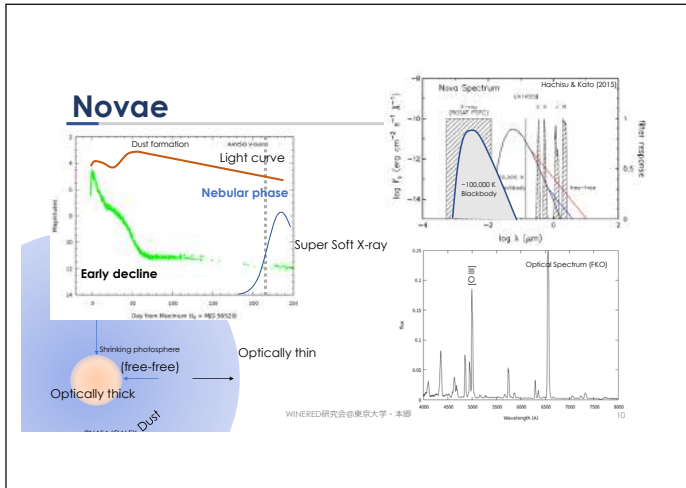
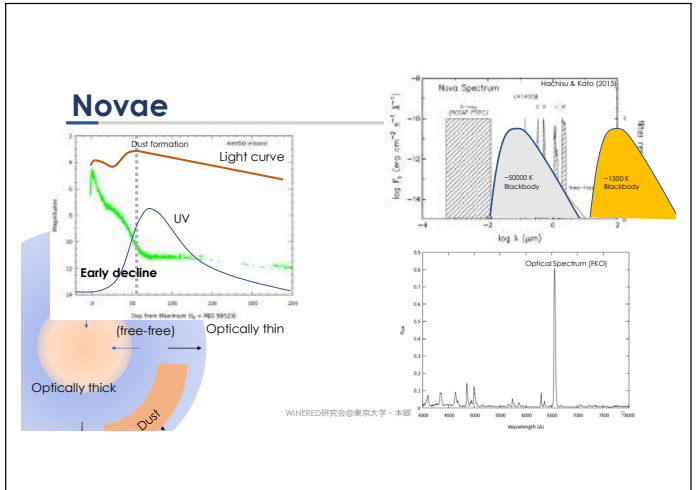
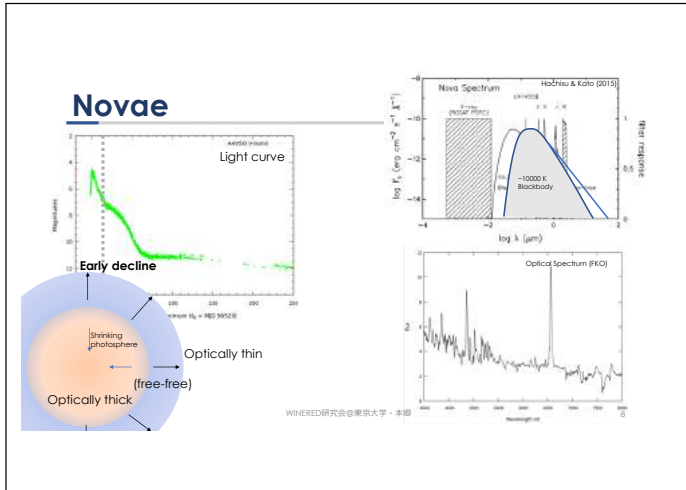
WINERED研究会@東京大学・本部

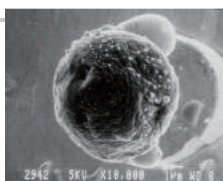
6

Novae



WINERED研究会@東京大学・本部





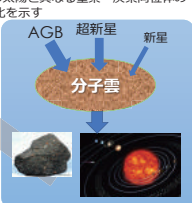
2942 5KV X10,000 1µm W0 0

Secondary electron image of the graphite nova candidate grain KFC1a-551 after SIMS analysis, image courtesy of S. Amari.

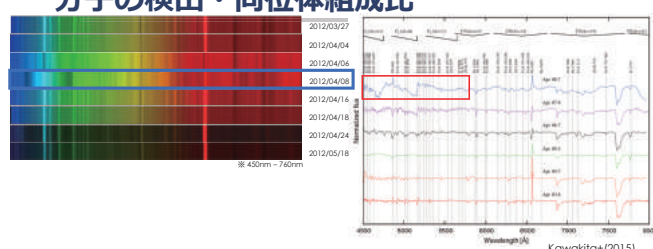
Clayton & Hoyle 1976; Amari et al. 2001; José et al. 2004; José & Hernandez 2007

- 太陽系形成以前に存在した粒子
隕石中に発見される
→ 太陽系形成前の分子雲の情報
- 起源となる天体の核融合生成物の特徴
→ 現在の太陽と異なる窒素・炭素同位体の組成比を示す

AGB 超新星 新星
分子雲



分子の検出・同位体組成比

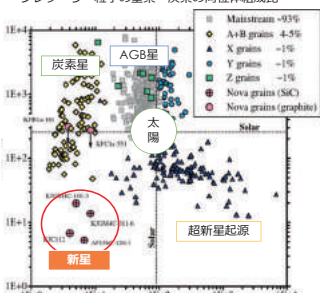


2012/03/27
2012/04/04
2012/04/06
2012/04/08
2012/04/16
2012/04/18
2012/04/24
2012/05/18

4000 6000 8000 Wavelength[µm]

Kawakita+(2015)

プレソーラー粒子の窒素・炭素の同位体組成比

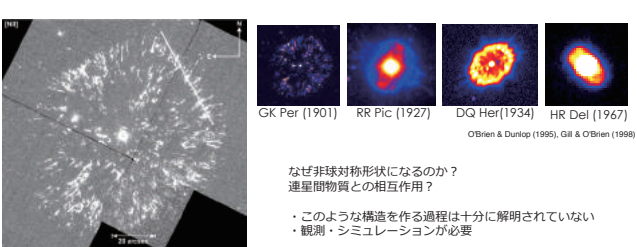


12C/13C ~ 4
14N/15N ~ 2

プレソーラー粒子の一部は
新星起源であることを示唆

José et al. (2004), José & Hernandez (2007)

爆発後のイジェクタ



GK Per (1901) RR Pic (1927) DQ Her (1934) HR Del (1967)

O'Brien & Dunlop (1995), Gill & O'Brien (1998)

なぜ非球対称形状になるのか？
連星間物質との相互作用？

- このような構造を作る過程は十分に解明されていない
- 観測・シミュレーションが必要

Shara+(2012)

これまでに取得したデータ

- 合計8天体 (うちLMCの新星 1天体)
- 明るさとphaseでセレクション

object name	links	run No.	
V2659 Cyg (Nova Cyg 2014)	nova/V2659Cyg	2014	Nebular phase
V5609 Sgr (Nova Sgr 2015 No.3 = FMV J17355050-2034240)	nova/V5609Sgr	2015	Early decline
Nova Oph 2016 (Nova Oph 2016 = FMV J18033275-2856054)	nova/V3361Oph	2016	Early decline
Nova Sct 2017 (ASASSN-17ha)	nova/NovaSct2017	NTT18a	Early decline
Nova LMC 2017 No.2 (ASASSN-17pf)	nova/NovaLMC2017No.2	NTT18a	Decline / Early Nebular
Nova Sca 2017	nova/NovaSca2017	NTT18a	Dust forming phase/Nebular
Nova Cir 2017	nova/NovaCir2017	NTT18a	Early decline
Nova Mus 2017	nova/NovaMus2017	NTT18a	Dust forming phase/Nebular

- Nebular phaseのラインリスト

WINERED研究会@東京大学・本部

NIR line list

- Bernseege+(2012)
 - Mt. Abu observatory
 - R ~ 1,000
- Evans+(2017) for V339 Del
 - Mt. Abu, IRTF
 - R = 1000 ~ 2000

その他、各天体ごとの論文からサーチする必要あり

Wavelength	Species	Energy (eV)	Other contributing sources & remarks
1.0519	He I	19.411 - 20.901	
1.0599	He I	13.989 - 14.222	unidentified by 47
1.1128	He I	10.989 - 12.088	
1.1310	C I	8.201 - 9.832	C I 1.1373
1.1361	Na I	2.102 - 3.192	C I 1.1425
1.1604	Na I	2.102 - 3.192	strong lines at 1.1675, 1.1676, 1.1696; strongest lines at 1.1724, 1.1753, 1.1759
1.1608-1.1674	C I	0.640 - 0.830*	
1.1748-1.1800	C I	0.640 - 0.700*	
1.3025	Mg I	4.348 - 5.194	strong lines at 1.1860, 1.1916
1.3119-1.3196	C I	0.640 - 0.690*	
1.3949	He I		unidentified
1.3781, 2.0955	N I	12.01 - 13.04, 12.97 - 13.10	strongest was C I 1.2080
1.246	He I		unidentified
1.2181	N I	11.843 - 12.362	strongest was N I 1.2336
1.2541, 1.2264	C I	0.76 - 0.72, 0.71 - 0.72	
1.2529	N I	11.846 - 13.002	
1.2362	N I	11.966 - 12.598	
1.2461, 1.2469	N I	12.09 - 12.96, 12.01 - 13.00	strongest was O I 1.2444
1.2562, 1.2560	C I	0.840 - 0.835	strongest was O I 1.2570
1.2651, 1.2614	C I	0.801 - 0.835	
1.3039	He I	12.949 - 13.055	unidentified
1.3119	He I	10.989 - 11.838	
1.3050	C I	0.632 - 0.838	
1.3161	He I	10.989 - 11.838	strongest was He I 1.5021, 1.5018
1.5192	He II	12.541 - 13.562	
1.5761	He II	12.541 - 13.562	
1.5842	He II	12.541 - 13.562	
1.5839	He II	12.541 - 13.562	
1.5857	He II	12.541 - 13.562	
1.5701	He II	12.541 - 13.562	

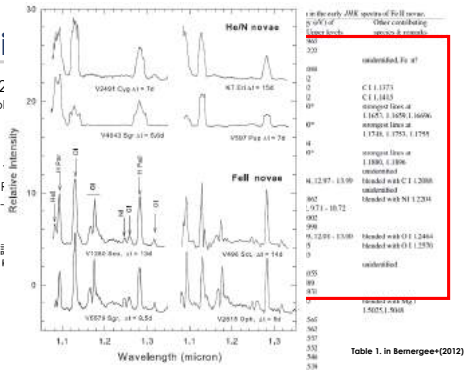
Table 1. in Bernseege+(2012)

NIR line li

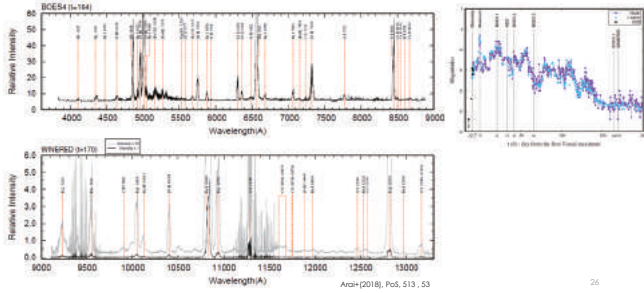
- Bernsee+ (2012)
 - Mt. Abu, II
 - R = 1,000

- Evans+ (2017)
 - Mt. Abu, II
 - R = 1000

その他、各天体ごとの
からサ-する必要あ!

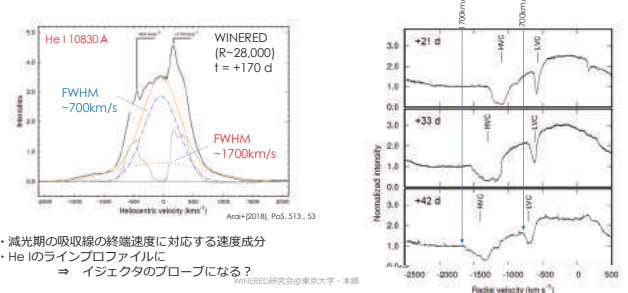


Nova Cyg 2014



26

He I 10830A - イジェクタの構造理解に使える?



- 減光期の吸収線の終端速度に対応する速度成分
- He Iのラインプロファイルに
⇒ イジェクタのプロブになる?

WINERED研究会@東京大学・本部

今後

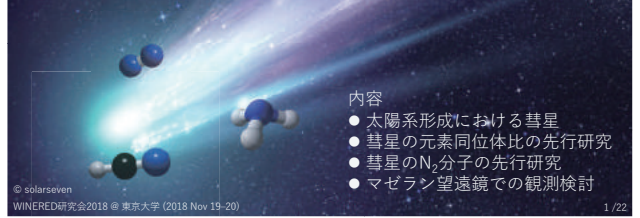
- Line list の作成
 - Line profileを比較した同定
 - 8天体の比較
- Nebular phaseの観測
 - V2659 Cyg (Nova Cyg 2014)
 - Optical 偏光解析: Tarasova et al. (2016)
 - CLOUDY (1D, 3D) でWINEREDスペクトルを再現を試みる
 - WINEREDの感度・分散によりこれまでの研究で未検出だった強度の弱い輝線の検出も見込める
 - マゼランでは Nebular phase (maximum + 5 mag ~< 17 mag)を重点的
- Early declineのデータの解析
 - 吸収線リストの出版 (速度成分の調査、重元素 Sr, Ti, Cr etc.の有無)
 - 吸収線プロファイルと弱い重元素吸収線の調査にはWINERED (WIDE / HIRES)が特に有効

WINERED研究会@東京大学・本部

28

マゼラン望遠鏡での計画 彗星のN₂分子観測

新中 善晴
京都産業大学 神山天文台 研究員



- 内容
- 太陽系形成における彗星
 - 彗星の元素同位体比の先行研究
 - 彗星のN₂分子の先行研究
 - マゼラン望遠鏡での観測検討

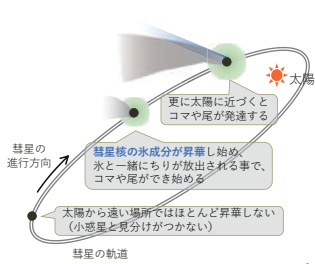
© splarseven
WINERED研究会2018 @ 東京大学 (2018 Nov 19-20)

1/22

彗星

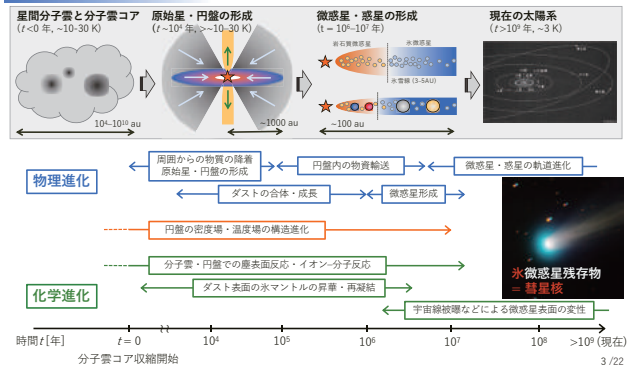
彗星：氷として揮発性分子を含む太陽系小天体

- 太陽を原点とした楕円運動する
- 太陽に近づくことでコマや尾を形成する

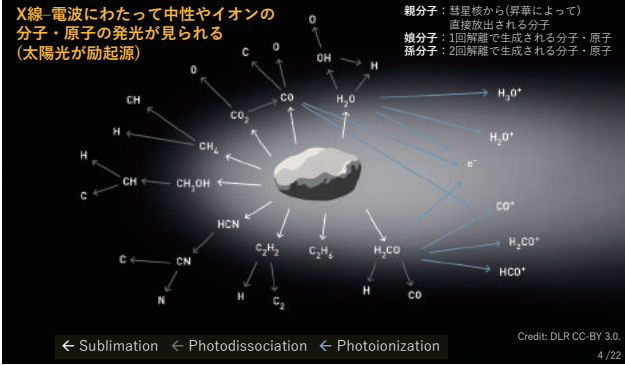


2/22

太陽系進化と彗星



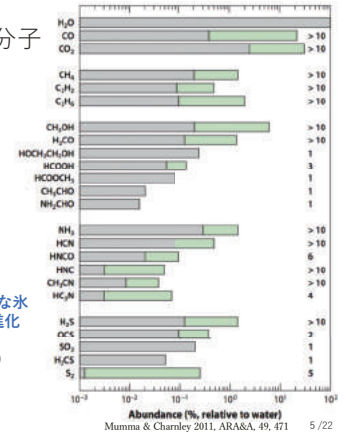
彗星コマ中の分子・原子



彗星を構成する揮発性分子

- 難揮発性固体微粒子/揮発性分子(氷) = 0.6 - 1.8 for 67P/C-G on 2015 Mar 12 at $r_1 = 2.12$ au by Rosetta/OSIRIS (Knollenberg et al. 2016, A&A, 596, A89)
- 典型的には、 H_2O, CO, CO_2 で>~90% (Mumma & Charnley 2011)
- 彗星ごとに大きな多様性が見られる → 円盤中での形成領域の違いを反映?

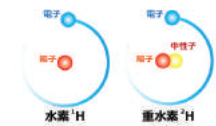
彗星核内部に保持されている始原的な水の性質の解明が太陽系の起源/物質進化を理解する上で重要 (ex. 組成、各種元素の同位体比など)



元素同位体比

元素同位体

同一元素で中性子数が異なる各種例：水素 (DとH), 炭素 (^{12}C と ^{13}C), 窒素 (^{14}N と ^{15}N)など

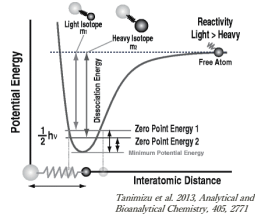


濃集

同じ分子において重たい元素を含む分子が太陽元素組成比より豊富なこと例： H_2O 分子のD濃集 (HDO/H_2O 比)

質量効果

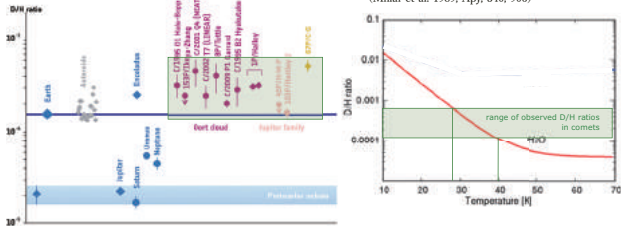
より重たい原子を含む結合はより低いゼロ点振動エネルギーを持つ
 → 低温環境で化学反応速度に違い例： $H_3^+ + HD \rightarrow H_2D^+ + H_2 + 200$ K
 → 化学進化を理解する手がかり



太陽系天体の水素同位体比 (D/H比)

太陽系天体のD/H比 (Altwegg et al. 2015, Science, 347, 1261952)

H_2O の形成温度とD/H比の関係 (気相反応による分子形成を仮定) (Millar et al. 1989, ApJ, 340, 906)



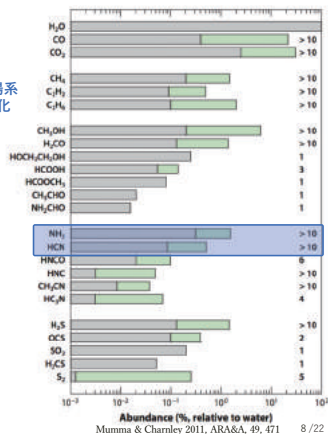
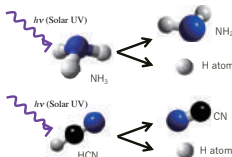
- 彗星の場合、 H_2O のD/H比は数倍のばらつきを持つ ($D/H \sim 1.4 \times 10^{-4} - 6.0 \times 10^{-4}$)
- 彗星に含まれる H_2O 分子のD/H比が示す形成温度は30-40 K
 # 特定の温度領域で気相反応のみで作られた場合
 # 異なる温度領域 (分子雲、円盤) で形成した H_2O が混合している可能性が指摘されている

彗星の窒素同位体比

● 近年、彗星分子の窒素同位体比が、太陽系の元となった分子雲/原始太陽系円盤の化学進化という観点から注目されている

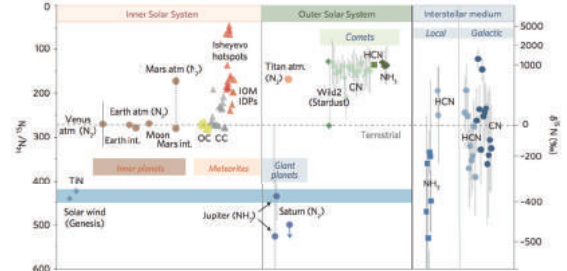
● 彗星では NH_3, HCN が豊富
 → 氷中では ^{15}N 濃集が進まない

● いずれも彗星コマ中ですぐに壊れる
 → 光解離生成物から推定された
 # NH_3 の場合、太陽光による光解離率は同位体間で~7%異なる (Suto & Lee 1983, JCP, 78, 4515; Liang et al. 2007, ApJL, 657, L117)



太陽系天体の窒素同位体比

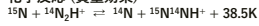
Füri & Maty 2015, Nat. Geosci., 8, 515



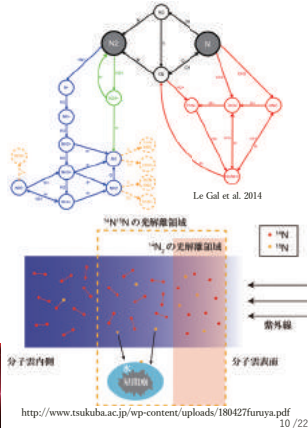
- 太陽系には複数の ^{15}N の "reservoir" が存在する可能性
 # 太陽 (~440), 地球 (~270), 彗星 (~150)
- 彗星分子は、太陽と比べて ^{15}N が~3倍濃集 + 彗星ごとの多様性が小さい
 → 濃集メカニズムを明らかにしたい (いつの情報も反映しているのか?)

15N濃集メカニズム

● 化学反応 (質量効果)



e.g., Terzieva & Herbst 2000, MNRAS, 317, 563
 Rodgers & Charnley 2008, ApJ, 689, 1488
 Winstrom et al. 2012, ApJ Lett., 757, L11
 Hiby-Blant et al. 2013, Icarus, 223, 582
 Le Gal et al. 2014, A&A, 562, A93
 Roueff et al. 2015, A&A, 576, A99
 Winstrom & Chamley 2018, MNRAS, 474, 3720

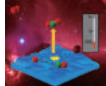


● N₂分子の同位体選択的光解離 (自己遮蔽効果)

e.g., Lyons et al. 2009, M&PSA, 72, 5437
 Crotsas et al. 2011, ApJ Lett., 728, L32
 Heays et al. 2014, A&A, 562, A61
 Visser et al. 2018, A&A, 615, A75
 Furuya & Aikawa 2018, ApJ, 857, 105

● Combination of both? 氷表面の吸/脱着効果?

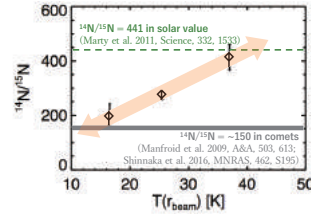
http://shochou-kaigi.org/center/
 北海道大学低温科学研究所/



http://www.tsukuba.ac.jp/wp-content/uploads/180427furuya.pdf
 10/22

理論計算による分子雲中での¹⁵N濃集メカニズム

Class 0 YSOsのHCNの観測 (Wampfler et al. 2014, A&A, 572, A24)

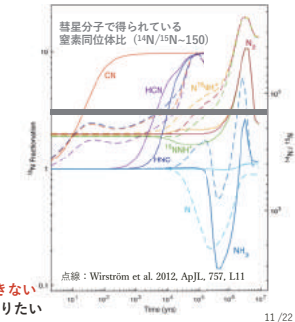


● ¹⁴N/¹⁵N比とエンベロープ外側の温度に傾向 (統計的には不十分)

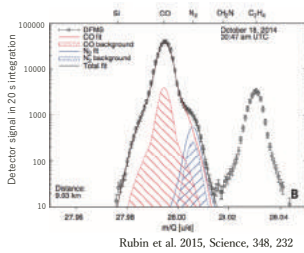
● 彗星の値は ~ 10 K環境での分子生成を示唆 (永久双極子モーメントがゼロとなり、振動・回転遷移が起きない)

● 理論計算では両方の分子の観測結果を説明できない → 反応の起点であるN₂分子の窒素同位体が知りたい

分子雲環境での¹⁵N濃集シミュレーション (Winstrom & Chamley 2018, MNRAS, 474, 3720)



彗星のN₂分子 (ロゼッタ探査機による初検出)

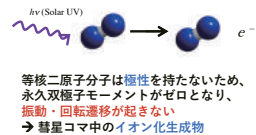


67Pチュリュモフ・ゲラシメンコ彗星

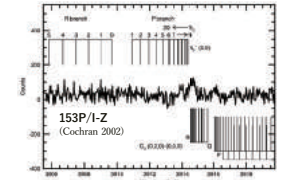
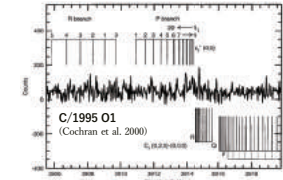
- 2015年にロゼッタ探査機に搭載された mass spectrometer によって初検出 (Rubin et al. 2015, Science, 348, 232)
- N₂/CO ratio = 0.0057 ± 0.0007
 → proto-star (N/C = 0.29 ± 0.10)や PSN (N₂/CO = 0.145 ± 0.048) に比べて 15-78倍欠乏
- 解釈:
 - 円盤中の高温領域 (>30 K) で形成?
 # N₂分子は<24Kで氷に捕獲されやすくなる (N₂分子の昇華温度~24 K)
 → 彗星の力学的特徴によらずばらつきを持つ
 - 彗星核が太陽に近づくたびにN₂分子が選択的に昇華した?
 → 周期彗星はN₂/CO比が小さい傾向 + dynamically new彗星はばらつきを持つ

12/22

彗星のN₂分子 (地上観測)



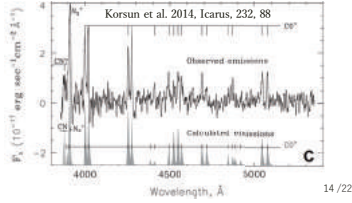
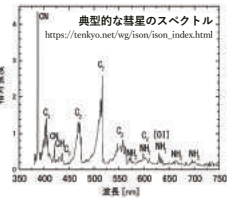
- 明るい彗星においてN₂⁺検出の試み
 - 122P/de Vico → m_v ~6 mag (r_H = 0.7 au)
 - C/1995 O1 → m_v ~0 mag (r_H = 0.9 au)
 - 153P/Ikeya-Zhang → m_v ~4 mag (r_H = 0.9 au)
 by 高分散分光器 (R~60000) + 2.7m Tel. at McDonald Obs. (Cochran et al. 2000, Icarus, 146, S83, 2002; Cochran 2002, ApJ Lett., 576, L165)
- いずれもN₂⁺を検出できず。。。
 → 非常に小さい存在量比 (上限値) N₂/CO < 0.0006



13/22

彗星のN₂分子 (地上観測2)

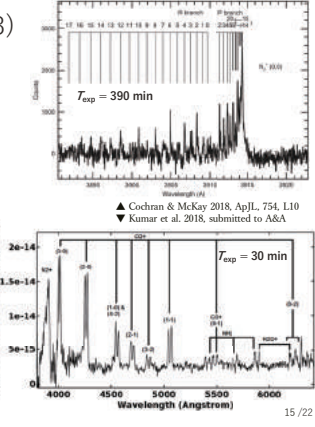
- C/2002 VQ94 (Korsun et al. 2006, A&A, 459, 977; Korsun et al. 2014, Icarus, 232, 88)
- 太陽から遠い場所で彗星活動が見られた (8.9 au from the Sun, m_v ~17.9 mag)
 → distant active cometsのモニタリングプログラムで取得したスペクトルにN₂が見られた
- 観測条件: 2008 Mar 13 (r_H = 8.36 au), 2009 Mar 30-31 (r_H = 9.86 au)
 by the low-resolution spec. on the 6-m Big Telescope Alt-azimuth (BTA) (R~800)
- 特異なスペクトル (N₂⁺とCO⁺が強い一方で、C₂, C₃, CNが見られない)
- N₂/CO = 0.06
 # 注意: 地球大気中のN₂⁺と混合している可能性がある (→ 高分散分光観測が必要)



14/22

彗星のN₂分子 (地上観測3)

- C/2016 R2 (Pan-STARRS)
- Dynamically old comet
- 初の高分散スペクトル (Cochran & McKay 2018, ApJL, 854, L10) by the Tull 2DCoude spec. on the Harlan J. Smith 2.7m tel. at McDonald Obs. (R = 60,000) on UT 2017 Dec 8-10 (r_H = 3.1 au)
 - N₂/CO = 0.06
- 低分散スペクトルも取得 (Kumar et al. 2018, submitted to A&A) by LISA spec. (R~1000) on the 1.2 m-tel. at Mount Abu, India on UT 2018 Jan 25 (r_H = 2.9 au)
- この彗星も特異なスペクトル - 太陽に近い時期は不明
- 彗星ごとのN₂/CO比のばらつきは彗星核形成環境の違いを反映? or TNOの衝突破片?



15/22

彗星N₂ (or N₂⁺) 観測のまとめ

彗星	r _H	N ₂ /CO	口径/装置	R	等級	積分時間	S/N	参照
67P/C-G	3.1 au	~0.006	質量分光器	—	~21	20 s	~10	Ru15
C/2002 VQ94	8.4, 9.9 au	0.06*	6 m/低分散分光器	800	17.9	60 min	~5	Ko14
C/2016 R2	3.1 au	0.06	2.7 m/高分散分光器	60000	12.5	390 min	~20	CM18
C/2016 R2	2.9 au	—	1.2 m/低分散分光器	1000	~13	30 min	~5	Ku18
122P/de Vico	0.7 au	<0.0003	2.7 m/高分散分光器	200000	-6	65 min	—	Co00
Hale-Bopp	0.9 au	<0.0001	2.7 m/高分散分光器	—	-0	47 min	—	—
153P/I-Z	0.9 au	<0.0006	2.7 m/高分散分光器	60000	-4	65 min	—	Co02

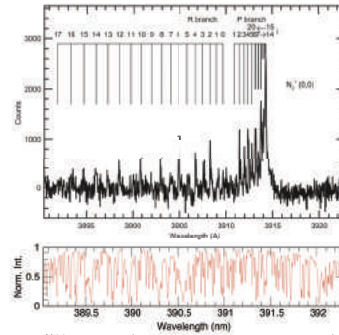
* 低分散分光器のため、地球大気との混合の可能性あり
 Ru: Rubin et al. 2015, Science, 348, 232; Ko14: Korsun et al. 2014, Icarus, 232, 88; CM18: Cochran & McKay 2018, ApJ Lett., 854, L10; Kumar et al. 2018, submitted to A&A; Co00: Cochran et al. 2000, Icarus, 146, 383; Co02: Cochran 2002, ApJ Lett., 576, L165

Open questions

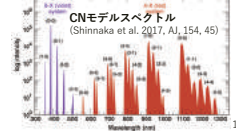
- 彗星のN₂/CO比は何を意味する？
 → 彗星ごとのN₂/CO比の多様性の有無は？
 # 地上観測では非常に大きな日心距離のみで検出されている (→ 原因不明。。。)
- ¹⁵N濃集はどのメカニズムが卓越している？
 → 反応の起点であるN₂の¹⁴N/¹⁵N比は？(¹⁵N⁺検出は未報告)
 → 彗星ごとの多様性は見られる？

16/22

N₂⁺ B-X (0-0) bandでの窒素同位体比測定の問題点

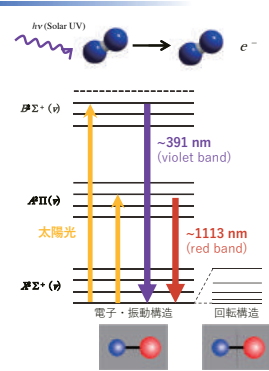


- 太陽スペクトルの激しい吸収
 → 強度の弱い同位体は埋もれがち
- 大気分散・減光の影響を受けやすい
 → 地球に接近することで明るくなる
 彗星は、地平高度が低い観測が多い
- 彗星コマ中のダストによる減光
- 地球大気中のN₂⁺及び
 彗星のCO⁺イオンとの混合
- N₂⁺イオンは~1113.4 nmに強い
 発光バンド (A-X Δv=0) を持つ
 (Ferguson & Rao 1992, J. Mol. Spec., 153, 599)



17/22

彗星コマ中のN₂⁺イオンの発光過程



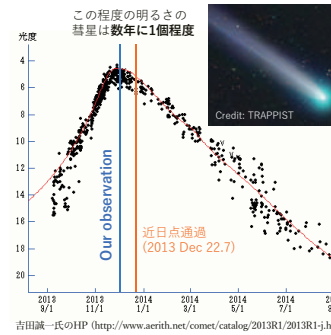
(開発中の) N₂⁺発光モデル計算の概略

- 太陽光による蛍光励起・放射をモデル化
 - 観測時の太陽と彗星の距離と相対速度を考慮
- N₂⁺イオンの電子 (X, A, B)、振動 (v = 0-8)、
 回転状態 (N = 0-56)、微細構造に伴う
 紫外-電波の遷移を考慮
 - 実験室データ (Ferguson & Rao 1992, J. Mol. Spec.,
 153, 599; Dick et al. J. Mol. Spec., 6, 95)
 + ab initio計算
 - 各遷移の遷移確率は実験室データを利用
- 基底準位について2つの場合をモデル化
 - 蛍光平衡モデル (蛍光平衡状態を仮定)
 - 1回蛍光平衡モデル
 (彗星接近時では分子間衝突によって、基底状態は
 ボルツマン分布が実現されていると仮定)
- 同位体として2種類 (¹⁴N₂⁺, ¹⁴N¹⁵N⁺) を考慮
 - 遷移確率は¹⁴N₂⁺と等しいと仮定
 - 同位体シフトを考慮 (式: Δv = v Δμ/2μ)
 v: 振動数 (Δv: 振動数のシフト)
 μ: 換算質量 (Δμ: 同位体の質量差)

18/22

彗星観測 by WINERED w1.3m 荒木望遠鏡

C/2013 R1 (Lovejoy) 彗星の光度曲線

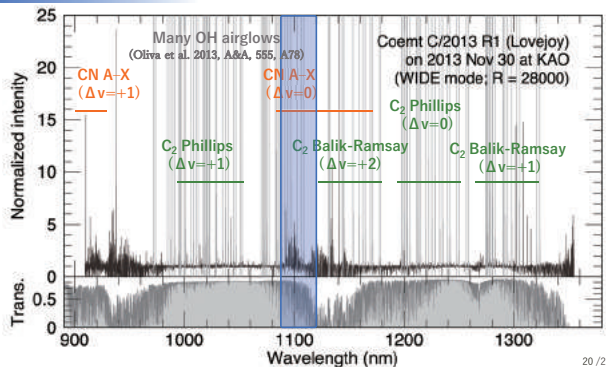


項目	値
観測日	2013 Nov 30
観測所	神山天文台
天体	C/2013 R1 (Lovejoy)
積分時間	6000 s (on source)
観測モード	WIDE (R ~28000)
スリット	1.5" x 47"
日心距離 (r _H)	0.91 au
地心距離 (Δ)	0.49 au
太陽との相対速度	-14.5 km s ⁻¹
地球との相対速度	+25.8 km s ⁻¹
データ処理	バイブライন v3.2

吉田誠一氏のHP (<http://www.aerith.net/comet/catalog/2013R1/2013R1-j.html>)

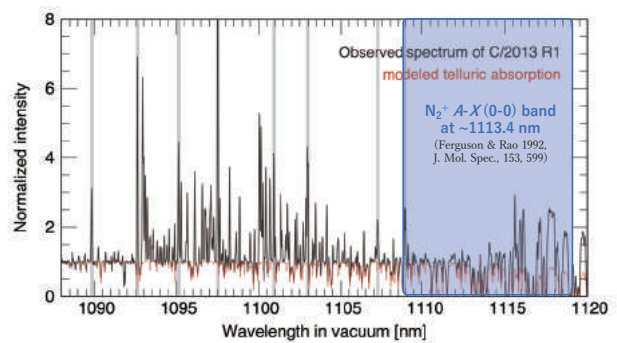
19/22

WINERED波長域のC/2013 R1彗星のスペクトル



20/22

WINEREDで取得したCN red system (Δv = 0)



21/22

マゼラン望遠鏡での彗星 N_2^+ の観測

マゼラン望遠鏡への設置

- 1.3m荒木望遠鏡 at KAO の場合と比べてS/Nが~4.6倍良くなる
 - マゼラン望遠鏡: 6.5 m, 荒木望遠鏡: 1.3 m (= $\sqrt{(6.5/1.3)^2}$)
- オートガイダーの利用 (2013年11月KSU観測は手動で彗星を導入した)

WINERED HIRES modesの利用

- スペクトルのS/Nの向上 (S/Nが~1.2倍良くなる)
 - 波長分解能: ピクセルあたりのカウントが~2.5倍 (= 70,000/28,000)
 - Throughput: カウントが~1/1.25倍 (= 40%/50% in Y-band)
- 波長分解能が高いほど他のラインとの混入を避けられる
 → 同位体の検出には非常に有効
 (可視光では、従来R~70,000-80,000のスペクトルから測定されてきた)

観測テーマと戦略

- テーマ1: 彗星の N_2 の存在量比は何を意味する? (→ N_2^+ / CO^+ 存在量比の推定)
 テーマ2: 卓越する ^{15}N 濃集メカニズムは? (→ N_2^+ の窒素同位体比の測定)
- 戦略: ToO観測 (低分散分光観測で N_2^+ が検出された直後に大型望遠鏡で精密観測)
 → $^{14}N/^{15}N = 150$ の場合、 $^{14}N/^{15}N$ の検出(S/N~5)には、S/N (N_2^+) >~750 が必要
 → $^{14}N/^{15}N = 220$ の場合、 $^{14}N/^{15}N$ の検出(S/N~5)には、S/N (N_2^+) >~1100 が必要

22 / 22

スペクトルライブラリーの構築と z ~ 3 ケーサーの観測

2018-11-20

鮫島 寛明 (京都産業大学)

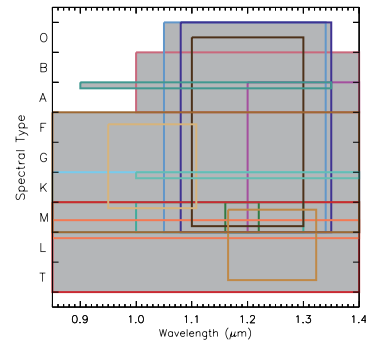
WINERED 研究会 2018 (@東京大学)

1

スペクトルライブラリーの構築

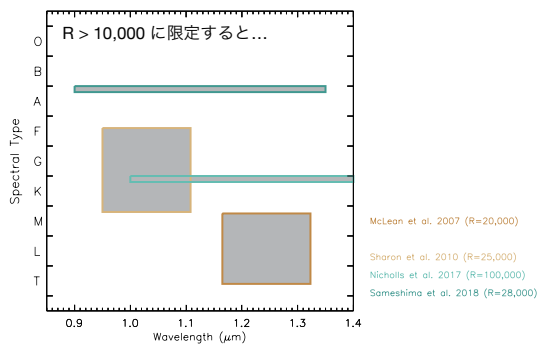
2

スペクトルライブラリーの先行研究



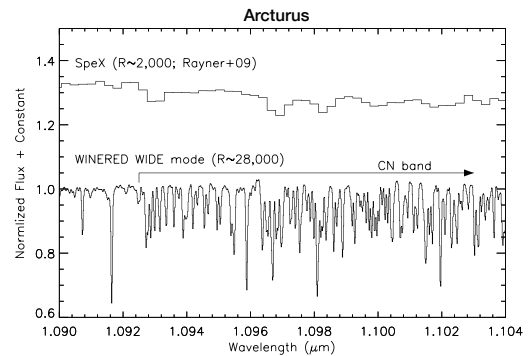
3

スペクトルライブラリーの先行研究



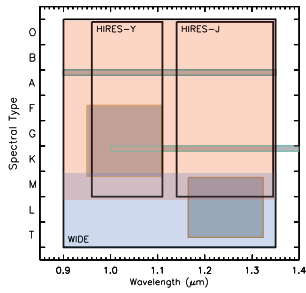
4

高分散の重要性



5

ターゲット



2つのグループを想定

- 1 O-M 型の標準的な恒星の WIDE, HIRES 観測
- 2 低温度天体 (M, L, T) の WIDE 観測

6

O-M 型の標準的な恒星の WIDE, HIRES 観測

MK standard stars

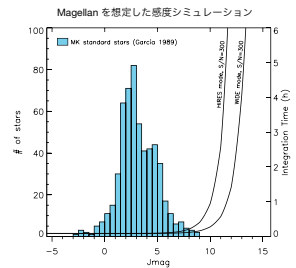
- スペクトル型分類の元になっている標準的な恒星群。
- Wallace et al. (2000) もターゲットに採用。
- パラメータがおおよそ分かっているため、化学組成の導出まで踏み込める。

観測

- ほぼ全ての天体について、HIRES でも5分積分で S/N > 300 を達成。
- 集中すれば、数晩で100天体以上の観測が可能。標準星の解析も少なくて済む。

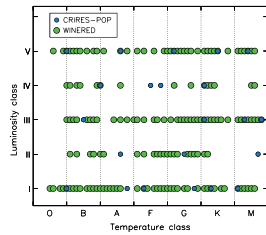
期待される成果

- 過去最大級の整備された近赤外線高分散恒星スペクトルライブラリー。
- 振動子強度の観測的校正。



7

競合する研究との比較



CRIRES-POP (Lebzelter+12)

- VLT を使い、B-M 型星の 0.97-5.3 μm のスペクトルを R = 100,000 で取得し、ライブラリーとして公開する計画。
- 波長域、波長分解能ともに WINERED スペクトルを圧倒。

差別化の余地

- CRIRES-POP の進捗は遅そうなので、急げば先に成果を出せる。
- サンプル数が 30 天体弱とそれほど多くない。スペクトル型のサンプリングで優位性。
- 振動子強度の観測的校正。

8

低温度天体の WIDE 観測

褐色矮星

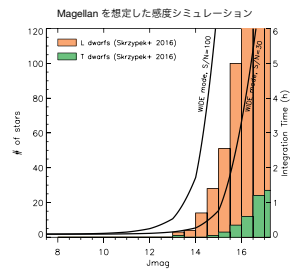
- 恒星と惑星の中間的な天体。天文学、惑星科学の両方から注目を集めている。
- 大気中に分子が豊富に存在していると考えられるが、詳細は不明。

観測

- HIRES は厳しそう。基本 WIDE で観測。
- L 型星の明るいものであれば1時間積分で S/N > 100。
- T 型星は1時間積分で S/N ~ 30。

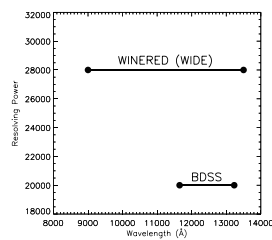
期待される成果

- 褐色矮星の大気構造への制限。
- 低温度天体のスペクトルテンプレート作成 (系外惑星のドップラー法探索への応用)



9

競合する研究との比較



BDSS (McLean+07)

- Keck II/NIRSPEC を使い、M2.5 から T6 までの16天体についてJバンド (1.165-1.323 μm) スペクトルを R ~ 20,000 で取得。
- 以降、観測は行われていない模様。

差別化の余地

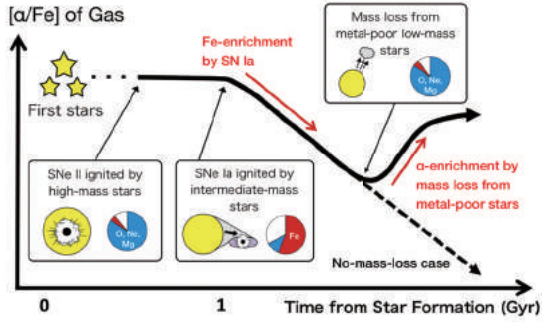
- 波長域、波長分解能ともに WINERED が上回っている。S/N も Magellan であれば同程度が達成可能と思われる。
- L, T dwarf は新しいものがどんどん見つかったので、BDSS では観測されていない面白いターゲットが現れる可能性がある。

10

z ~ 3 クェーサーの観測

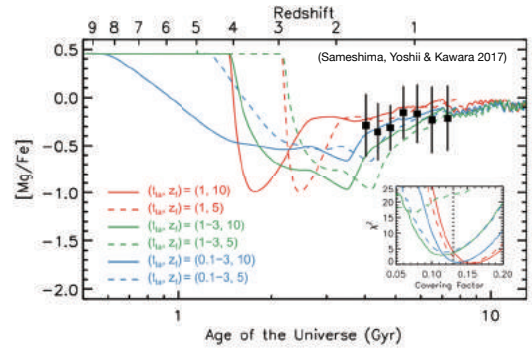
11

初期宇宙における星形成と宇宙論的化学進化



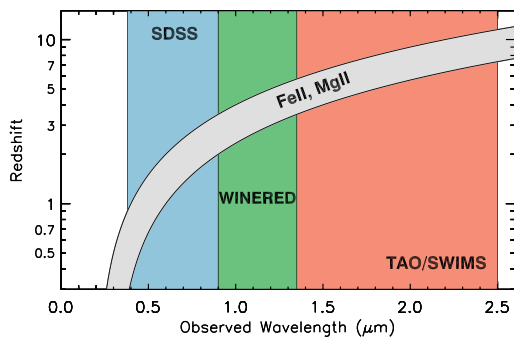
12

キューサーを用いた観測的検証



13

輝線の観測波長と赤方偏移



14

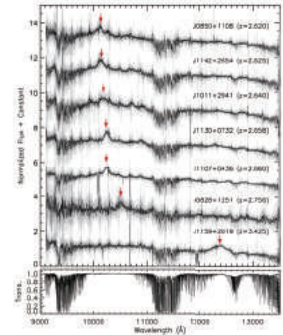
NTT/WINERED の z ~ 3 キューサー観測

観測の概要

- z ~ 3 で最も明るいグループのキューサーを7天体観測。
- 積分時間は 1-3 hrs/object.

解析状況

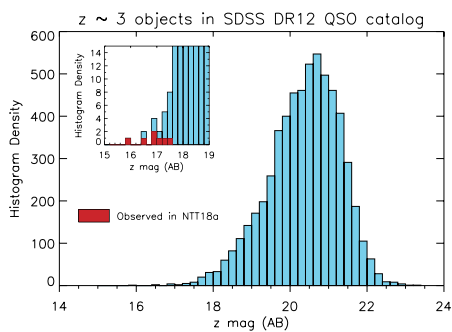
- 輝線強度測定には問題ないレベルでフラックス補正に成功。
- サイエンス目標を達成できる手応えを確認。



15

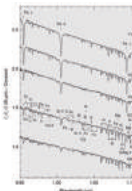
限界等級向上に伴うターゲット増加

Magellan 移設により限界等級が 0.5 mag 以上深くなればターゲットが劇的に増える!



16

まとめ



スペクトライブラリーの構築

- 0-M 型の標準的な恒星の WIDE, HIRES 観測
 - MK standard stars を 100 天体以上観測
 - 過去最大級の整理された恒星スペクトライブラリー
 - 振動子強度の観測的較正を目指す
- 低温度天体の WIDE 観測
 - 褐色矮星大気に含まれる分子を明らかにする
 - 系外惑星のドップラー法探索への応用

z ~ 3 キューサーの観測

高赤方偏移の調査をするには近赤外線分光観測が必要
NTT 観測で解析方法を確立
Magellan では限界等級向上でサンプル数の劇的な増加が期待

17

C/2012 S1 (ISON) 彗星における $^{14}\text{NH}_2/^{15}\text{NH}_2$ 比の決定

新中善晴¹、河北秀世¹、小林仁美¹、長島雅佳¹、Boice D. C.²

1. 京都産業大学、2. Scientific Studies and Consulting

彗星は、太陽系外縁部にある氷微惑星の残存物を核とする太陽系の始原天体である。太陽に近づくと揮発性の氷成分が昇華し、彗星の特徴であるコマや尾を形成する。彗星核は、形成から現在までのほとんどの時間を、オールト雲やカイパーベルトといった太陽系外縁部の低温環境下で過ごしてきたため、彗星核内部で化学的な変質は起こっていないと考えられている。また、彗星核のサイズは数 km から数 10 km 程度と小さいため、惑星のような内部溶融・分化も起こらなかったと考えられる。そのため、彗星核内部には 46 億年前の太陽系誕生初期の情報を保持していると言えるだろう。

彗星の有する太陽系の始原的特徴の一つが分子の元素同位体比である。低温環境下の化学反応では、同じ種類の元素でも重い同位体が分子に含まれやすい「同位体濃集」が見られることがある。例えば、宇宙に最も豊富な元素である H (水素) 原子の同位体 D (重水素) 原子は水分子に含まれやすく、彗星における $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$ の比率は太陽系全体の D/H 比率から予想される値よりも D 原子が濃集することが知られている (Bockelée-Morvan et al. 2015 など)。得られた D/H 比から、彗星核に最も豊富に含まれる水分子は $\sim 20\text{-}50\text{ K}$ の環境で形成したと推定されている。一方、彗星分子の窒素同位体比は、彗星核の昇華により検出される HCN や CN (HCN の光解離生成物) の観測から、20 以上の彗星について調べられてきた。これらの窒素同位体比 ($^{14}\text{N}/^{15}\text{N} \sim 150$; Manfroid et al. 2009, Bockelée-Morvan et al. 2008) は、太陽における値 (441) に比べておよそ 1/3 である (約 3 倍 ^{15}N が濃集している) ことが観測的に明らかになっていたが、その濃集メカニズムは未解明である。観測的には、異なる分子でも特に、彗星氷中で窒素を含む分子として最も豊富なアンモニア (NH_3) の窒素同位体比を明らかにすることが、この謎を解く鍵であると考えられていた。

天文学においては、 NH_3 分子を赤外線 (振動遷移) や電波 (回転、反転遷移) で観測することが多い。しかし彗星の場合は、輝線強度が弱く、 NH_3 の窒素同位体である $^{15}\text{NH}_3$ の直接測定は、既存の観測設備では極めて困難であると考えられていた。そこで我々のグループでは、 NH_2 というラジカル分子に着目した。彗星コマ中では、太陽紫外線によって NH_3 分子の大部分が NH_2 に光解離する (分岐比 $\sim 95\%$)。しかも、 NH_2 は可視光線波長域に強い電子遷移のバンドを持つため、 NH_2 の窒素同位体比を観測的に決定し、その値から NH_3 の窒素同位体比を推定することが可能である。

我々の研究チームは、2013 年 11 月 14 日にすばる望遠鏡に搭載された高分散分光器 (HDS) で取得した C/2012 S1 (ISON) 彗星の非常に高い S/N 比のスペクトルから、単独の彗星としては初めて、 NH_2 の同位体である $^{15}\text{NH}_2$ の検出に成功した (図 1)。同時に観測された $^{14}\text{NH}_2$ の輝線と合わせて決定した窒素同位体比 ($^{14}\text{NH}_2/^{15}\text{NH}_2 = 139 \pm 38$) は、ヨーロッパの研究チームにより得られている 12 個の比較的明るい彗星の合成スペクトルから得られた値 (127

± 32; Rousselot et al. 2014) と誤差内で一致することが確認できた。アンモニア分子の窒素同位体比という観点からは、C/2012 S1 (ISON) 彗星は平均的な彗星と言える。また、この値は、過去に観測された彗星の CN や HCN における窒素同位体比 (~150) と同程度であった。種類の異なる分子における窒素同位体比は、その反応経路などによって異なるため、一般には同じ値になる必要はないが、NH₃ および HCN のいずれの分子においても ¹⁵N が濃集していることは、これらの分子がいずれも極めて低温度の環境下で形成されたことを示唆している。

References

- Bockelée-Morvan, D., et al., 2008, *Astrophys. J. Lett.*, 679, L49
 Bockelée-Morvan, D., et al., 2015, *Space Sci. Rev.*, 197, 47
 Manfroid, J., et al., 2009, *Astron. Astrophys.*, 503, 613
 Rousselot, P., et al., 2014, *Astrophys. J. Lett.*, 780, L17
 Shinnaka, Y., et al., 2016, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 462, S195

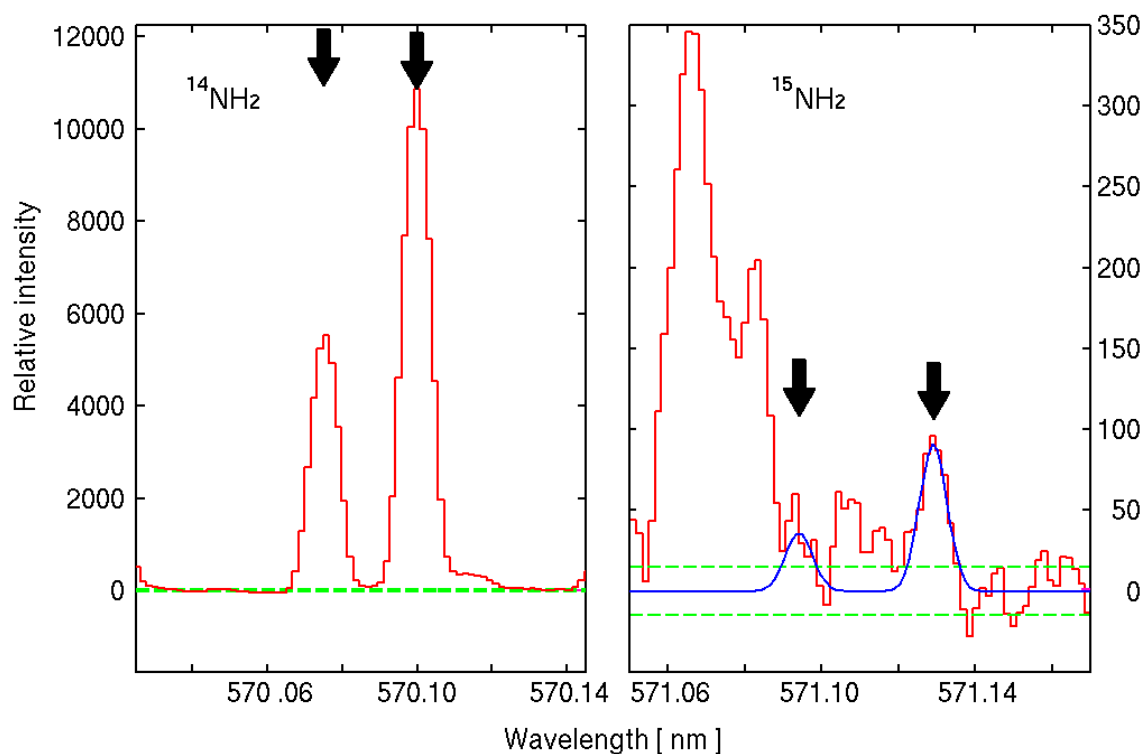


図 1. C/2012 S1 (ISON) 彗星で検出した 5 本の ¹⁵NH₂ 輝線の中で強度の強い 2 本の輝線 (右図の 2 つの黒矢印) と ¹⁵NH₂ 輝線と同じ遷移の ¹⁴NH₂ 輝線 (左図の 2 つの黒矢印)。

彗星コマ中の NH_2 の窒素同位体比サーベイ：彗星アンモニアの ^{15}N 濃集

新中善晴^{1,2}、河北秀世³、JEHIN Emmanuel²、DECOCK Alice²、HUTSEMÉJERS Damien²、
MANFROID Jean²、新井彰³

1. 国立天文台、2. リエージュ大学、3. 京都産業大学

彗星は約 4.6 億年前に原始太陽系円盤中で形成した氷微惑星の残存物である。一般に、彗星中に含まれる揮発性成分である氷成分は太陽系の起源や進化を理解する鍵の一つであると考えられている。低温度環境下の化学反応では、同じ種類の元素でも重たい同位体が分子に含まれやすくなる（同位体濃集）が見られることがある。そのため、これらの分子の元素同位体比は、分子形成の際の物理化学環境を理解するのに有用である。

従来、彗星に含まれる分子の窒素同位体比 ($^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ 比) は、HCN あるいは彗星コマ中で HCN が光解離することで生成される CN ラジカルの観測から、20 以上の彗星について決定された (Bockelée-Morvan et al. 2008, Biver et al. 2016, Manfroid et al. 2009)。得られた $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ 比は、太陽の元素組成比から推定された窒素同位体比に比べて約 3 倍 ^{15}N が濃集していることが明らかになっている。しかし、彗星コマ中で観測される CN ラジカルは HCN だけでなく他の分子からも形成されることから、CN ラジカルの窒素同位体比の解釈は複雑であり、 ^{15}N 濃集のメカニズムについて理解出来ているとは言い難い状況である。それに対して NH_3 分子の場合、彗星核中の氷から直接放出されているため、観測結果をより明快に解釈できると考えられる。本研究では彗星に含まれるアンモニア分子の $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ 比は、彗星コマ中の NH_3 分子の太陽紫外線による光解離生成物である NH_2 ラジカルから推定する。 NH_2 は彗星コマ中の NH_3 分子の太陽紫外線による光解離生成物であることから、 NH_3 分子は NH_2 ラジカルの窒素同位体比と等しいと仮定することでアンモニア分子の $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ 比を推定する。 NH_2 ラジカルの窒素同位体である $^{15}\text{NH}_2$ は発光強度が非常に弱いことと、各輝線を分離するため、高 S/N 比の高分散スペクトルが必要となる。このようなスペクトルは、現在世界最大級の望遠鏡であるすばる望遠鏡に搭載されている高分散分光器 (HDS; the High Resolution Spectrograph) や VLT 望遠鏡に搭載されている紫外線可視光エッセル分光器 (UVES; the Ultraviolet and Visible Echelle Spectrograph) で取得した。

上記のスペクトルを用いて、我々は 20 の彗星について NH_3 の窒素同位体比を決定した。その結果、 NH_3 についても、HCN と同様に太陽の元素組成比に比べて 3 倍程度 ^{15}N が濃集していることに加え、力学的起源に関わらず彗星間の多様性が小さいことが明らかとなった (図 1)。我々のサンプルには、複数の力学的起源の彗星が含まれており、これらの間に相関がない可能性が高いことを示した。しかし、現在の理論的な分子雲から原始太陽系円盤中で化学反応ネットワークを考慮したシミュレーションでは彗星で見られる高 ^{15}N 濃集を説明することができないことから、彗星に含まれるアンモニア分子の形成環境は未だ議論中である。観測的には、各彗星の窒素同位体比の測定誤差をより小さくすることが考えられるが、そのためには、Swings 効果を考慮した $^{15}\text{NH}_2$ の発光モデルの開発や TMT や E-ELT といっ

た次世代の超大型望遠鏡によるより高 S/N 比のスペクトルが必要になる。

本研究は JSPS 科研費 (15J10864) の助成を受けたものである。

References

Bockelée-Morvan, D., et al., 2008, *Astrophys. J. Lett.*, 679, L49

Biver, N., et al., 2016, *Astron. Astrophys.*, 589, A78

Manfroid, J., et al. 2009, *Astron. Astrophys.*, 503, 613

Shinnaka, Y., et al., 2016, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 462, S195

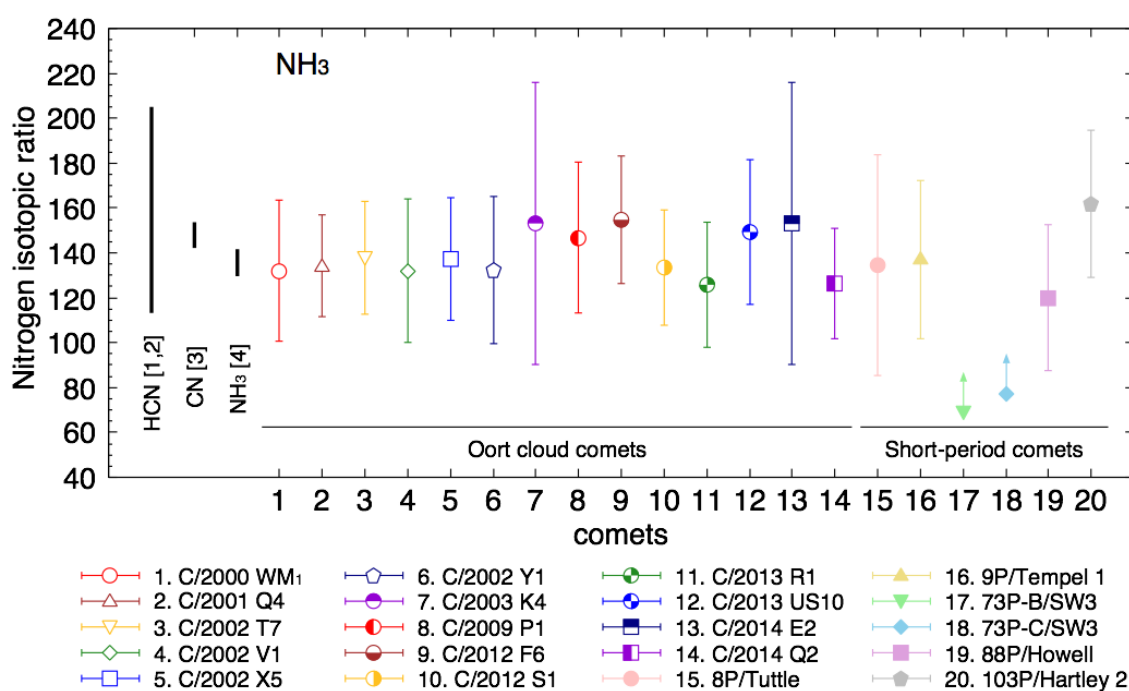


図 1. 彗星の $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ 比のまとめ。左の 3 つの黒いバーはそれぞれ、HCN の範囲、CN と NH_3 の加重平均を表す ([1] Bockelée-Morvan et al. 2008, [2] Biver et al. 2016, [3], Manfroid et al. 2009, [4] Shinnaka et al. 2016)。右のカラーのプロットは我々が求めた各彗星の NH_3 分子の窒素同位体比を示しており、2つの力学的起源（オールト雲起源の長周期彗星、木星族短周期彗星）ごとに、それぞれ複数の彗星について測定できている。

C/2014 Q2 (Lovejoy) 彗星の可視光高分散分光観測による 彗星アンモニアの窒素同位体比

新中善晴^{1,2}、河北秀世³

1. 国立天文台、2. リエージュ大学、3. 京都産業大学

彗星核に含まれる揮発性物質である氷は、我々の太陽系や惑星系の起源や進化の理解の
手がかりになると考えられている。特に、彗星分子の元素同位体比は、分子雲から原始太
陽系円盤における分子形成や化学反応過程といった物理化学環境の理解に役立つ物理量で
ある。同一元素の同位体は、化学的性質は同等だが質量数が異なるため、化学反応の速度
や放射や吸収線の波長などに微小な差が現れる。特に、質量の違いによる零点エネルギー
の違いから、低温度環境下の化学反応では、全体の元素同位体比に比べて重い同位体が分
子に含まれやすい「同位体濃集」が見られることがある(例えば、水分子への重水素濃集)。

我々は 2015 年 1 月 11 日(日心距離 = 1.321 au) に、すばる望遠鏡に搭載された高分散
分光器 HDS (High Resolution Spectrograph) を用いて、近日点通過前の C/2014 Q2 (Lovejoy)
彗星の可視光高分散分光観測を実施した (Shinnaka et al. 2016)。得られた同彗星のスペ
クトルから次の 3 つの物理量を導出した: (1) NH_2 の窒素同位体比 ($^{14}\text{N}/^{15}\text{N} = 126 \pm 25$)、
(2) NH_2 と H_2O^+ イオンの原子核スピン異性体比 ($\text{OPR}_{\text{NH}_2} = 1.19 \pm 0.04$ 、 $\text{OPR}_{\text{H}_2\text{O}^+} = 2.77 \pm$
 0.24)、(3) 酸素禁制線の強度比 ($\text{Green/Red-doublet intensity ratio} = 0.107 \pm 0.007$)
(Shinnaka et al. 2016)。

もし、彗星核に含まれるアンモニア分子の ^{15}N 濃集がイオン-分子反応で起こったと仮定
すると、C/2014 Q2 彗星で観測された NH_2 の窒素同位体比を再現するには、 NH_3 分子は約 10 K
以下の低温度環境下で形成された必要がある。しかしこの温度は、同彗星の NH_2 と H_2O^+ イオ
ンの原子核スピン異性体比から推定される原子核スピン温度 (~ 30 K) と矛盾する。彗星氷
は窒素原子を含む分子の存在量が 1%程度のため、彗星コマ中や彗星核中での ^{15}N 濃集は困難
であると考えられる。そのため、分子形成時の温度として彗星分子の原子核スピン温度を
用いる解釈が正しくない可能性がある。イオン-分子反応以外でのアンモニア分子の ^{15}N 濃
集メカニズムとして、例えば、 NH_3 分子の元となる窒素分子 (N_2) において、 $^{14}\text{N}^{14}\text{N}$ と $^{14}\text{N}^{15}\text{N}$
の星間 UV 光に対する自己遮蔽効果の違いに起因する選択的な光乖離や、チリ表面反応によ
り氷として ^{15}N 濃集した N 原子が原始太陽系円盤などで再び昇華することで ^{15}N 濃集したガ
スが作られた、などが候補として考えられる。彗星に含まれる窒素原子を含む分子の窒素
同位体比の物理的意味の理解には、測定誤差をより小さくする必要がある。そのためには、
 $^{15}\text{NH}_2$ の発光モデルの開発や、観測的には、現時点で世界最大級の口径を持つすばる望遠鏡
や VLT 望遠鏡を用いても彗星の観測条件によっては検出できないこともあるため、TMT や
E-ELT と言った次世代の超大型望遠鏡での観測が望まれる。

本研究は JSPS 科研費 (15J10864) の助成を受けたものである。

References

Shinnaka, Y., et al., 2016, *Astron. J.*, 152, 145

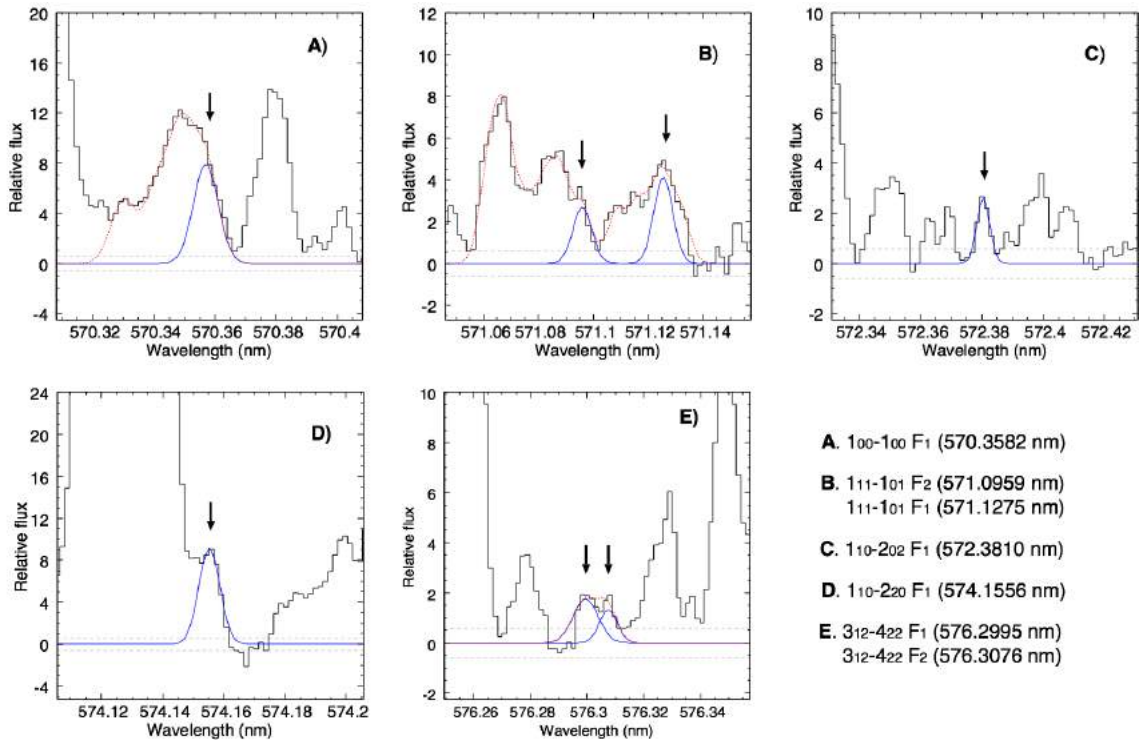


図 1. C/2014 Q2 彗星で検出できた 7 本の $^{15}\text{NH}_2$ 輝線 (青の線と黒の矢印)。赤の点線は複数のガウシアン関数による ad hoc フィッティングの結果。灰色のは線は連続光レベルの $\pm 1\sigma$ 誤差を示す。

近赤外線高分散分光器 WINERED による C/2013 R1 (Lovejoy) 彗星の CN Red-system バンド輝線の測定

新中善晴^{1,2}、河北秀世³、JEHIN Emmanuel²、DECOCK Alice²、HUTSEMÉJERS Damien²、
MANFROID Jean²

1. 国立天文台、2. リエージュ大学、3. 京都産業大学

彗星分子の原子核スピン異性体の存在量比はこれまで、例えばアンモニア分子や水分子のような等価な陽子を持つ分子から決定されており、彗星の保持する始原的性質という観点から議論されてきた。アンモニア分子の場合、そのオルト/パラ存在量比 (OPR; ortho-to-para abundance ratio) は、アンモニア分子から直接 OPR を決定することが困難ということもあり、彗星コマ中での光解離生成物である NH₂ の OPR から推定されてきた (Kawakita et al. 2000, Shinnaka et al. 2011)。しかし、近年の宇宙環境を模した実験的研究により、水分子の OPR が分子形成時の環境を反映しない可能性が指摘されている (Hama et al. 2011 など)。

我々のグループは、Very Large Telescope (VLT) に搭載された UVES 分光器 (the Ultraviolet, Visual Echelle Spectrograph) とすばる望遠鏡に搭載された HDS (High Dispersion Spectrograph) で取得されてきた彗星の可視光高分散スペクトルを用いて、合計 26 の彗星について NH₂ の可視光高分散スペクトルからアンモニア分子の OPR を推定した (Shinnaka et al. 2016)。その結果、彗星に含まれるアンモニア分子の OPR の加重平均は 1.12 ± 0.01 であり、彗星の力学的起源による明らかな違いが見られないことが分かった (図 1)。さらに、得られたアンモニア分子の OPR を、彗星分子から観測的に得られている他の物理量 (水分子の OPRs、NH₃ 分子の ¹⁴N/¹⁵N 比、水分子の D/H 比など) と比較した結果、アンモニア分子と水分子の OPRs に相関がある可能性が確認できた (図 2)。この結果は、彗星アンモニアの OPR は、分子雲や原始太陽系円盤中での分子形成環境ではなく、彗星コマ中の物理化学環境を反映している可能性が高いことを示唆している。

本研究は JSPS 科研費 (15J10864) の助成を受けたものである。

References

- Hama, T., et al., 2016, *Science*, 351, 65
Kawakita, H., et al., 2001, *Science*, 294, 1089
Shinnaka, T., et al., 2016, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 462, S124
Wirstruöm, E., et al. 2012, *Astrophys. J. Lett.*, 757, L11

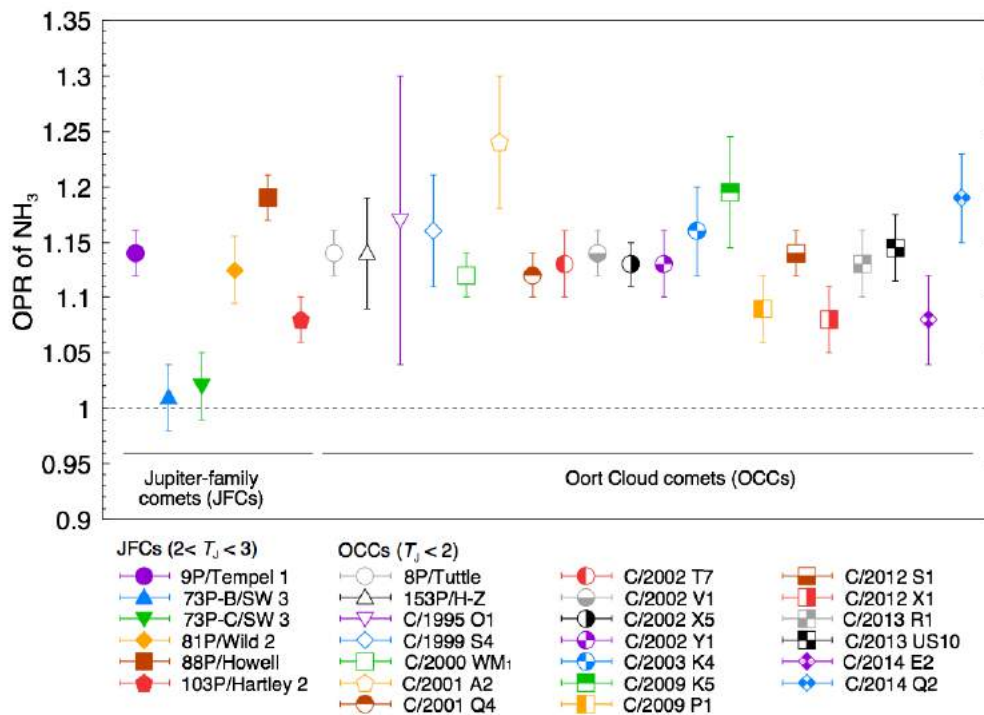


図 1. 26 の彗星について NH_2 の可視光高分散スペクトルから推定したアンモニア分子の OPR。横の点線はアンモニア分子の原子核スピン統計重率比 (1.0) を示す。

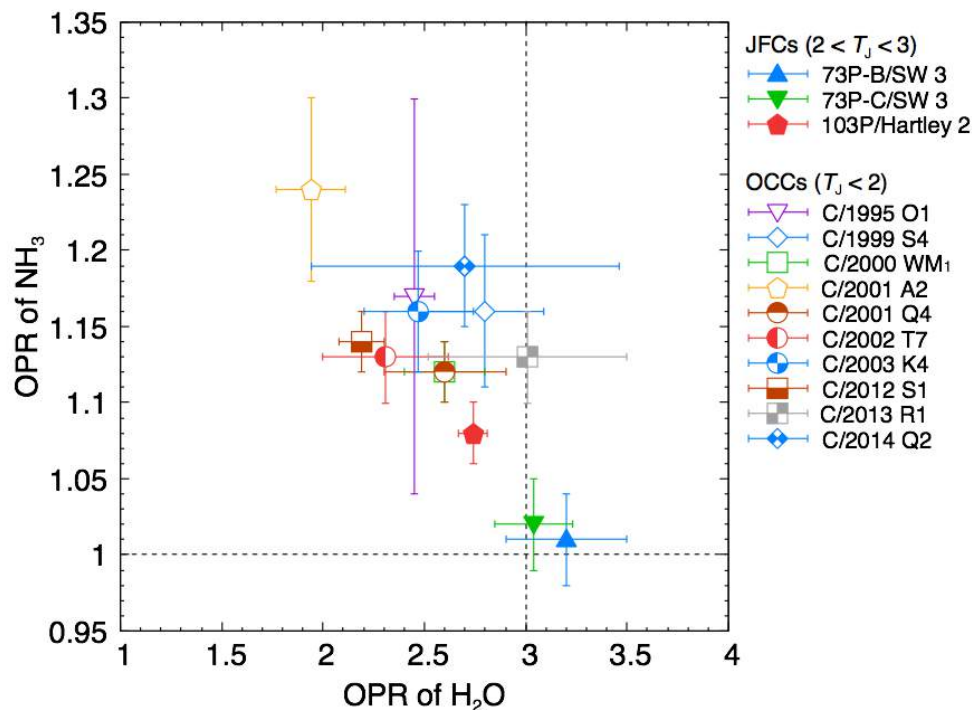


図 1. アンモニア分子と水分子の両方の OPR が決定されている彗星のプロット。横の点線はアンモニア分子の原子核スピン統計重率比 (1.0)、縦の点線は水分子の原子核スピン統計重率比 (3.0) を示す。

近赤外線高分散分光器 WINERED による C/2013 R1 (Lovejoy) 彗星の CN Red-system バンド輝線の測定

新中善晴^{1,2}、河北秀世²、近藤壮平²、池田優二^{2,3}、小林尚人^{2,4}、濱野哲史²、
鮫島寛明²、福江慧²、松永典之^{2,4}、安井千香子^{1,2}、泉奈都子^{1,2}、大坪翔悟²、竹中慶一²、
渡瀬彩華²、川西崇史²、中西賢之²、中岡哲弥²

1. 国立天文台、2. 京都産業大学、3. フォトコーディング、4. 東京大学、5. ISAS/JAXA

彗星は水分子を主成分とする揮発性成分の氷と様々な鉱物からなるダストの両方を含む太陽系小天体であり、原始太陽系円盤内での形成以後はほとんど太陽か熱の影響を受けていない始原天体である (Crovisier et al. 1998)。そのため、彗星は「太陽系の化石」とも呼ばれており、太陽系の過去の情報を得る観測的手法として、彗星の軌道分布、化学組成、内部構造などの性質が用いられている。近年、窒素原子の同位体の存在量比 ($^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ 比) が分子雲や原始惑星系円盤における化学進化という観点から注目されている。CN 分子は、窒素同位体比だけでなく炭素原子 (C) の同位体 ($^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比) も同時に測定できる点や、可視光域に強い発光バンドを持つ点などから、彗星の CN 分子に関しては、従来 \sim 388 nm 付近に見られる *B-X* バンドが多く観測されてきた (Manfroid et al. 2009)。しかし、同バンドは紫外線波長に近いため、大気吸収の減光の影響を受けやすいことから、太陽に接近することで明るくなる彗星においては、観測条件が悪くなることが多い。また、彗星コマ中の彗星ダストによる減光の影響もあり、S/N 比の良いスペクトルを得るのに不利となる。

本論文では、これらの減光の影響が少ない近赤外線域に見られる CN 分子の *A-X* バンドを用いて彗星の窒素同位体比を決定する方法の確立を目指した (Shinnaka et al. 2017)。まず、太陽励起による CN 分子の *A-X* バンド輝線の発光モデルを構築した。このモデルでは、励起過程として、純粋な蛍光平衡状態に加え、分子間衝突などによる熱的な励起の影響を考慮した。このモデルを、2013 年 11 月に京都産業大学神山天文台の 1.3 m 荒木望遠鏡に設置されていた近赤外線高分散分光器 WINERED で取得した C/2013 R1 (Lovejoy) 彗星の高分散分光スペクトルに適用した結果、純蛍光平衡状態の CN 分子と分子間衝突によりボルツマン分布状態に励起した CN 分子を 0.94(+0.02/-0.03) : 0.06(+0.03/-0.02) の比率で組み合わせることで観測スペクトルを最もよく再現することがわかった (図 1)。このことは、彗星核から 800-1600 km 付近までは分子間の衝突が卓越している可能性が高いことを示唆する結果である。また、窒素および炭素同位体比の導出については、S/N が足りず質量の重たい同位体 (つまり、 ^{15}N と ^{13}C) の検出には至らなかったが、得られた上限値は先行研究で得られている値 ($^{14}\text{N}/^{15}\text{N}\sim 150$; Shinnaka et al. 2016, 2017、 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}\sim 90$; Manfroid et al. 2009) と矛盾しないことが確認された。

本研究は JSPS 科研費 (16684001, 20340042, 21840052, 26287028, S0801061, S1411028, 13J10504, 15J10864, 16K17669, 16H07323) 及び印日科学協力プログラムの助成を受けたものである。

References

- Crovisier, J., 1998, Faraday Discuss., 109, 437
Manfroid, J., et al., 2009, Astron. Astrophys., 503, 613
Shinnaka, Y., et al., 2017, Astron. J., 154, 45
Shinnaka, T., et al., 2016, Mon. Not. R. Astron. Soc., 462, S195

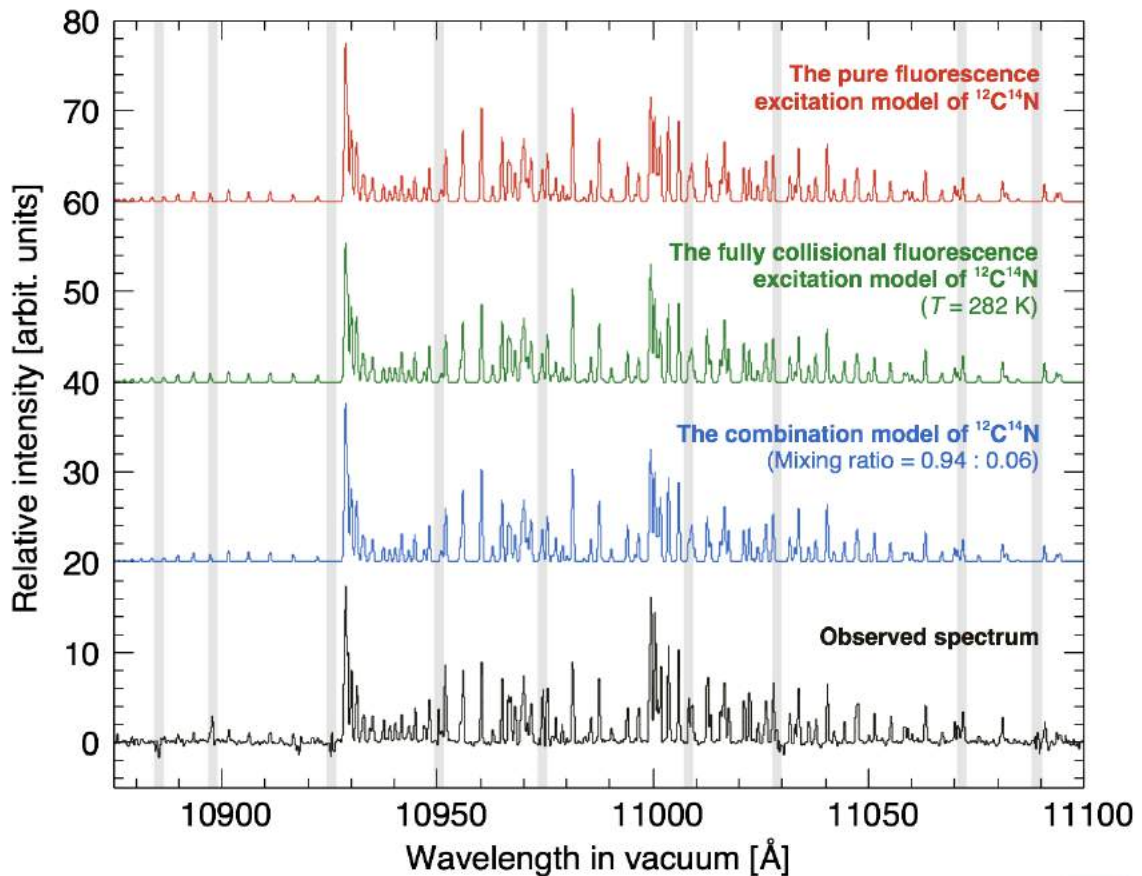


図1. WINERED で取得した C/2013 R1 (Lovejoy) 彗星の近赤外線高い分散スペクトル (一番下の黒線) と、我々が開発した CN 分子の発光モデルを重ねている。上から順に、純蛍光平衡を仮定したモデルスペクトル(赤)、ボルツマン分布を仮定したベストフィットのモデルスペクトル (緑)、蛍光平衡とボルツマン分布を組み合わせたベストフィットのモデルを示す。灰色の領域は地球大気の OH 輝線を示す。

近赤外線高分散分光器 WINERED による C/2013 R1 (Lovejoy) 彗星の CN Red-system バンド輝線の測定

新中善晴^{1,2}、FOUGERE Nicolas³、河北秀世⁴、亀田真吾⁵、COMBI, Michael R.³、
池澤祥太⁵、関あや菜⁵、桑原正輝⁶、佐藤允基⁵、田口真⁵、吉川一郎⁶

1. 国立天文台、2. リエージュ大学、3. ミシガン大学、4. 京都産業大学、5. 立教大学、
6. 東京大学

彗星は原始太陽系円盤中で形成された氷微惑星の残存物であり、その核内部に揮発性分子の氷を保持している。彗星が太陽から約 2.5 au 以内に近づくと、彗星に最も豊富に含まれる水分子が活発に昇華し、その生成率（単位時間当たりの放出量）は彗星活動の指標として用いられる。例えば、力学的起源の異なる 32 個の彗星における揮発性分子の生成率の日心距離依存性から、彗星活動が経年変化する可能性が指摘されている (A' Hearn et al. 1995)。

67P/Churyumov-Gerasimenko (以後 67P) 彗星は力学的に古い木星族短周期彗星の一つであり、約 6.5 年の軌道周期を持つ。この彗星は、欧州宇宙機関 ESA が実施した彗星探査計画であるロゼッタ計画のターゲット天体であり、ロゼッタ計画では、2015 年の回帰において近日点を含む約 2 年にわたり探査機によって彗星核近傍から水分子を含む様々な種類の観測が実施された。しかし、ロゼッタ探査機によるその場観測は、彗星の極近傍（水分子のコマの中）から行われたため、得られる水分子ガス生成率は推定に用いるモデルに大きく依存することが指摘されていた (Fougere et al. 2016, Hansen et al. 2016)。

我々のグループは、PROCYON 探査機に搭載された LAICA 望遠鏡を用いて、67P 彗星の近日点通過後の約 1 ヶ月後の 2015 年 9 月に 67P/Churyumov-Gerasimenko 彗星の水素原子コマ全体の撮像観測を複数回実施した。PROCYON 探査機は、東京大学などが開発した深宇宙探査機としては現時点で世界最小のサイズ（重さ約 65 kg）の探査機である。LAICA 望遠鏡は、立教大学を中心に開発された Ly α 輝線を観測できる高感度小空間分解能な望遠鏡である。得られた 67P 彗星の水素原子コマ全体の輝度分布から太陽活動度に伴う光解離率や蛍光効率、観測時の太陽光方向に依存した彗星核表面の局所温度やガス流を考慮した 2 次元軸対称モデル (Crismani et al. 2015) を用いて、水分子の生成率の絶対値を決定した (図 1)。67P 彗星は最も活動度が大きくなる近日点付近の地球からの観測条件が悪くほとんど観測が行われなかったこともあり、我々の決定した水分子の生成率の絶対値により 67P 彗星のコマ・核モデルが検証された。このことで、ロゼッタ探査機で決定された成分比などを元に 2015 年回帰全体における彗星の活動の正確な推定が可能となった。また、過去の回帰の観測との比較から、67P 彗星の活動度は 1982 年から明らかな変化が見られず、67P/Churyumov-Gerasimenko 彗星はその核内部に十分な氷を保持していることが明らかとなった (Hansen et al. 2016)。また、今回の成果は超小型深宇宙探査機による世界初の理学成果であり、大型の探査計画による精密な観測を低コストの計画がサポートするという

超小型探査機の想定するサイエンスケースの一つの形が実現されており、今後の超小型探査機による探査計画のモデルケースの一つになると期待される。

本研究は、NASA Planetary Atmospheres (NNX14AG84G) および JSPS 科研費 (15J10864) の助成を受けたものである。

References

A' Hearn, M. F., et al., 1995, *Icarus*, 118, 223

Crismani, M. M. J., et al., 2015, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 8803

Fougere, N., et al. 2016, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 462, S156

Hansen, K. C., et al., 2017, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 462, S491

Shinnaka, Y., et al., 2017, *Astron. J.*, 153, 76

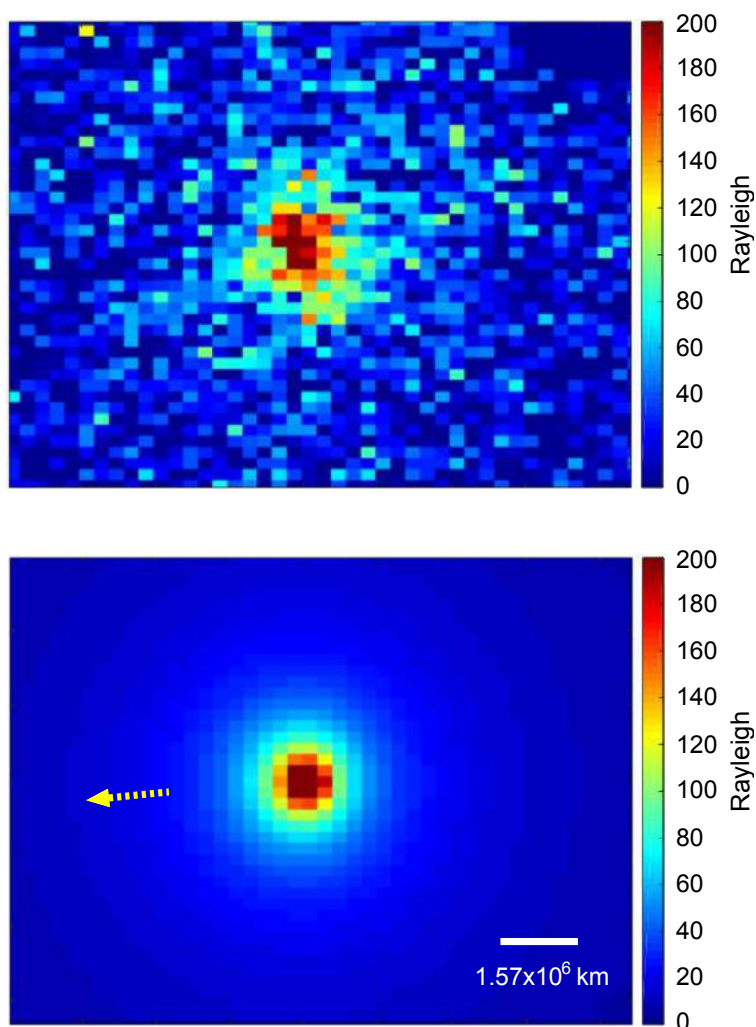


図 1. 2015 年 9 月 13 日に PROCYON 探査機に搭載された LAICA 望遠鏡で観測した 67P/Churyumov-Gerasimenko 彗星の水素原子の発光分布(上)と 2 次元軸対称モデルによる水素ガスコマの再現画像(下)。黄色の矢印は太陽方向を示します。

17P/Holmes 彗星の中間赤外線観測による鉱物組成比

新中善晴^{1,2}、大坪貴文³、河北秀世^{1,4}、山口充⁴、本田充彦⁵、渡部潤一²

1. 京都産業大学神山天文台、2. 国立天文台、3. ISAS/JAXA、4. 京都産業大学理学部、
5. 久留米大学

彗星核にはケイ酸塩から成るシリケート鉱物が含まれており、このシリケートは結晶質成分とアモルファス（非晶質）成分が共存していることが知られている。宇宙空間では、アモルファス成分は宇宙空間にも広く存在しているのに対し、結晶質はほとんど存在しない。そのため、彗星に含まれる結晶質シリケートは、アモルファス成分のシリケート・ダストが 700 K 以上の高温環境（具体的には原始の太陽近傍が考えられる）で加熱されることで結晶質に変性し、この結晶質尻毛糸が太陽から離れた彗星形成領域（5–30 au）まで運ばれることで最終的に彗星に取り込まれたと考えられている。物質は太陽から遠くに離れるほど輸送されにくくなるため、結晶質成分が少ないほど、太陽から遠い所で誕生した彗星であると予想される。

17P/Holmes 彗星は、周期約 7 年の木星属短周期彗星の一つである。この彗星は、2007 年 10 月 23 日に太陽から約 2.4 au の場所で巨大な爆発的な増光を起こした。このような 14 等級以上の増光が見られた彗星は極めて稀であり、この彗星の爆発的な増光の原因について現在も研究者の間で議論が続いている。我々のグループは、同彗星の爆発直後にすばる望遠鏡の COMICS で取得された中間赤外線のアーカイブデータに、我々のグループで開発した 5 つの鉱物を考慮したダスト微粒子の熱輻射モデル (Ootsubo et al. 2007) を適用することで、ホームズ彗星から放出されたダストの鉱物の質量比を測定した (Shinnaka et al. 2018)。その結果、17P/Holmes 彗星は、他の彗星に比べてアモルファス成分のシリケート・ダストが多く、結晶質成分が少ないことが明らかになった。この結果は、17P/Holmes 彗星が、他の彗星に比べて太陽からより遠く、冷たい場所で誕生したことを示唆しており、そのような誕生場所では、低い温度で昇華する一酸化炭素等の氷や、低い温度で結晶質に変化し爆発的な昇華のエネルギー源になりうるアモルファス水氷が豊富に存在すると考えられる。

本研究は JSPS 科研費 (15J10864, 17K05381) の助成を受けたものである。

References

- Ootsubo, T., et al., 2007, *Planet & Space Sci.*, 55, 1044
Shinnaka, Y., et al., 2018, *Astron. J.*, 156, 242

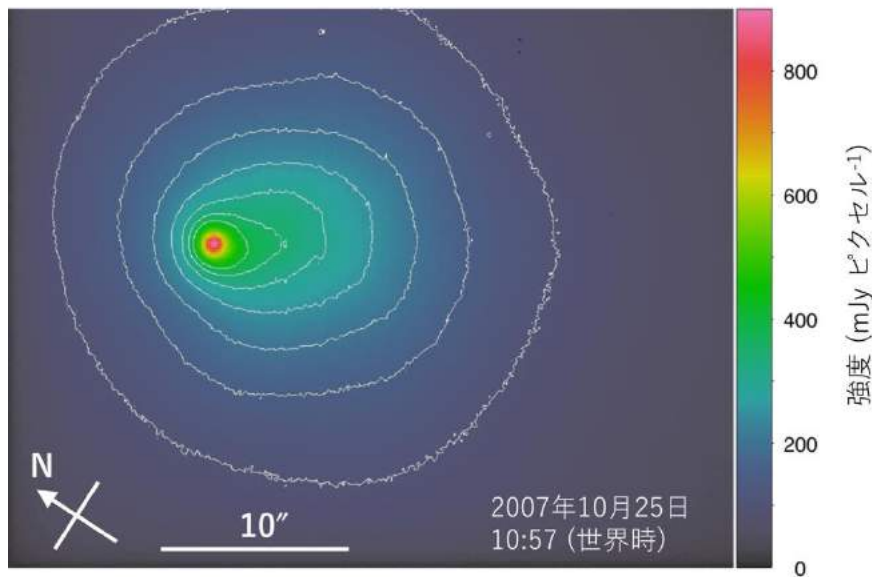


図1. 2007年10月25日（爆発後2.1日後）にすばる望遠鏡で取得した17P/Holmes 彗星の中間赤外線画像。

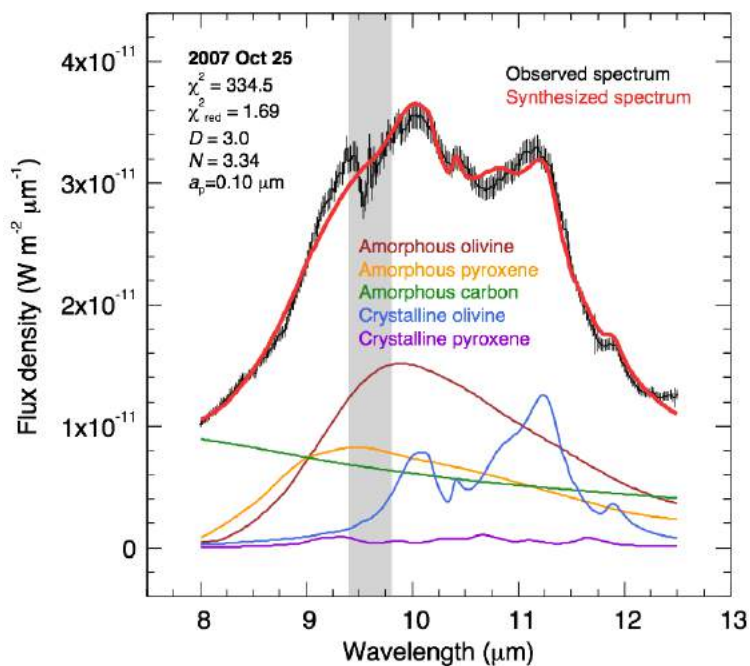


図2. すばる望遠鏡で取得した17P/Holmes 彗星の中間赤外線スペクトル (Shinnaka et al. 2018 を改変)。黒い線は誤差付きの観測スペクトル、色付きの線は鉱物の熱輻射モデルで再現したベストフィットスペクトル(赤色)と各鉱物のスペクトルを意味する。観測を最も再現する場合のフィッティング結果 (χ^2 と reduced- χ^2) とダストの性質 (D : 鉱物のフラクタル次元、 N : ハナーサイズ分布のべき数、 a_p : 鉱物のピークサイズ) を示している。灰色の領域は地球大気のおゾンによる吸収が激しい領域を示す。

ふたご座流星群の母天体、小惑星 Phaethon の偏光撮像観測

新中善晴^{1,2}、春日敏測^{1,2}、古莊玲子^{2,3}、D. C. Boice⁴、寺居剛⁵、野田寛大²、
竝木則行²、渡部潤一²

1. 京都産業大学、2. 国立天文台、3. 都留文化大学、4. Scientific Studies and Consulting、5. すばる望遠鏡

小惑星 (3200) Phaethon は、アポロ型の軌道を持つ近地球小惑星の 1 つであり、毎年 12 月に見られるふたご座流星群の原因となる流星体 (直径数 mm から数 cm サイズのダスト) の放出源と考えられている。Phaethon は近日点付近で物質放出が見られる活動的小惑星ではあるが、現在の放出量ではふたご座流星群の流星の量を説明できない。どのようにして小惑星 Phaethon から流星体が放出されたのかなど謎も多く、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 等が進めている将来の宇宙機探査計画 DESTINY⁺ (2022 年 打ち上げ予定) のフライバイ探査の候補天体にもなっている。

2017 年 12 月は Phaethon が地球に 0.07 au まで接近することから、明るくなるのに加え、小惑星を様々な角度から観測できる観測好機であった。そこで我々のグループは Phaethon が地球に最接近する 2017 年 12 月に国立天文台三鷹キャンパスの 50 センチ公開望遠鏡で Phaethon の偏光撮像観測を実施した (Shinnaka et al. 2018)。天候にも恵まれ、非常に広い太陽位相角 α (太陽-小惑星-地球のなす角。今回は $\alpha = 19.1$ 度 - 114.3 度の範囲で観測を行えた) にわたって非常に高精度な直線偏光度の取得に成功した。得られた偏光度から、Phaethon は他の同程度の幾何アルベドを持つ小惑星に比べて 4 倍以上大きな最大偏光度を示すことを明らかにした (図 1)。Phaethon で得られた高い直線偏光度は、小惑星 Phaethon の表面が比較的大きなダスト粒子で覆われている、あるいは他の小惑星に比べて特異な反射特性を持つ可能性を示唆する結果である。また、我々の観測により偏光度の反転角 (偏光度がプラスからマイナスに変化する位相角) および反転角での偏光度の傾き h [%/度] が初めて導出された。小惑星における幾何アルベドと反転角での偏光度の傾き h との経験的な関係式より求めた Phaethon の幾何アルベド (0.14 ± 0.04) は、先行研究で異なる手法から得られている幾何アルベド (0.122 ± 0.008 ; Hanus et al. 2016) と矛盾しない値であった。さらに、すでに報告されている Phaethon の偏光撮像観測 (Devogele et al. 2018, Ito et al. 2018) との比較から、2017 年 12 月と 2017 年 9-10 月とで位相角偏光度曲線が異なる振る舞いを示すことを明らかにした (図 1)。このことは、Phaethon の自転軸の極付近に、他の大部分の表面領域と散乱特性が異なる物質が存在することを示唆しており、Destiny⁺探査機により、Phaethon 表面の様子が明らかになると期待される。

本研究は JSPS 科研費 (15J10864, 17H06459) 及び National Science Foundation Planetary Astronomy Program (USA) (0908529) の助成を受けたものである。

References

- Devogele, M., et al., 2018 Mon. Not. R. Astron. Soc., 479, 3498
 Hanus, J., et al., 2016, Astron. Astrophys., 592, A34
 Ishiguro, M., et al., 2017, Astron. J., 154, 150
 Ito, T., et al., 2018, Nat. Comm., 9, 2486
 Lupishko, D., 2014, Asteroid Polarimetric Database V8.0
 Shinnaka, Y., et al., 2018, Astrophys. J. Lett., 864, L33

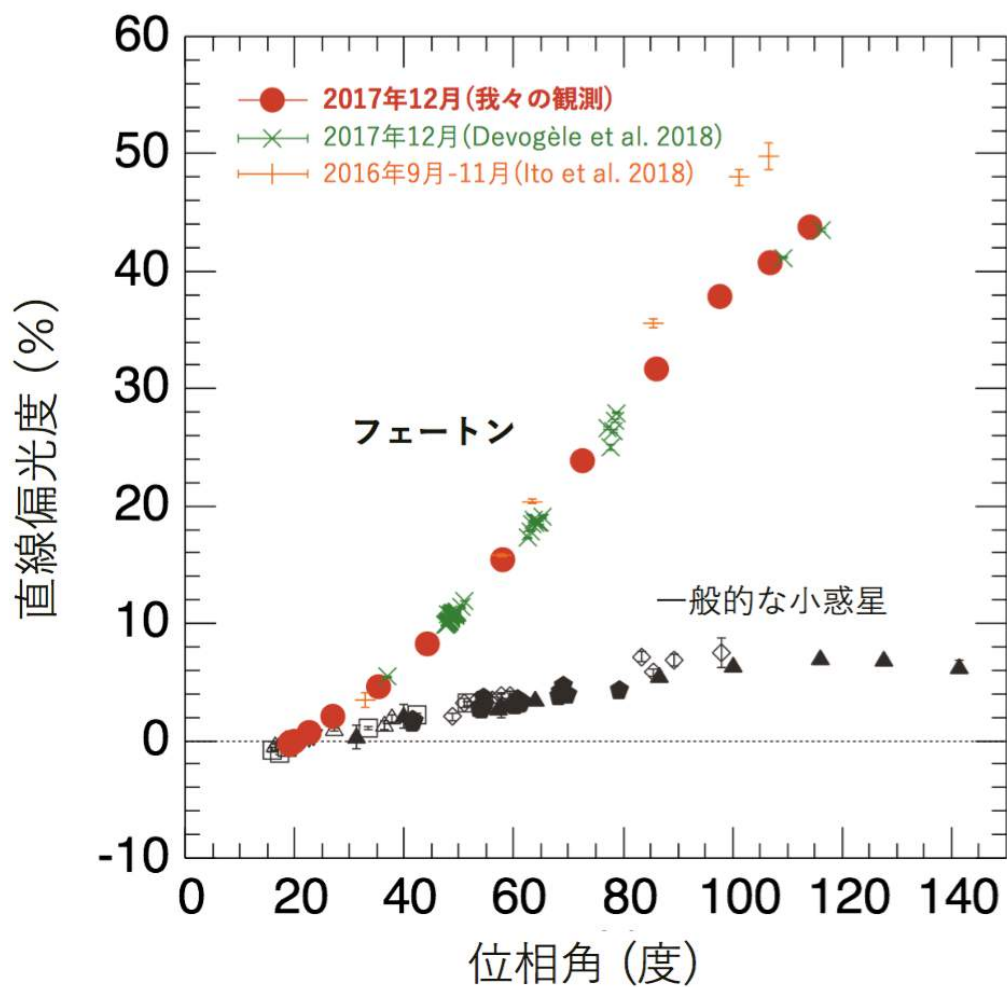


図1. 小惑星フェートンのRバンドの偏光度。赤丸（我々の観測）と緑の×記号（Devogele et al. 2018）は2017年12月の観測結果、オレンジの+記号（Ito et al. 2018）は2016年9-10月の観測結果を示す。黒の記号はPhaethonと同程度の幾何アルベドを持つ小惑星の偏光度（Lupshko 2014, Ishiguro et al. 2017）を示しており、Phaethonはこれらの小惑星に比べて大きい偏光度を持つことがわかる。

神山天文台の普及教育活動

1. はじめに

神山天文台は、京都産業大学の創設者である荒木俊馬博士が宇宙物理学者であったことから創立 50 周年を目指した大学のグランドデザインの一環として、平成 22(2010)年度に設立した研究教育組織である。

本天文台では、これまでに望遠鏡をはじめ各種観測装置を整備し、研究教育施設として、その役割を明確化するとともに、公開事業や産学協働など社会貢献をも視野に入れて組織運営を行ってきた。その特色の一つとして、社会に開かれた天文台として独自の公開事業を展開し、装置開発のための設備を開放するなど、一般市民の方々や教育現場・産業界の方々と様々な交流を通じて、本学と一般社会・産業界を繋ぐ新たな天文学コミュニティ（人材育成、社会教育、産学協働の推進）を生み出すことを目的として、神山天文台を活用した普及教育活動を行ってきた。（図 1）

また、平成 20（2008）年度～平成 24（2012）年度まで文科省・私立大学戦略的研究基盤形成支援事業に採択された「研究教育用天文台の設置および天文学教育研究拠点の形成」の観点からも、神山天文台が行う普及教育活動が社会に向けた「知の情報発信」に繋がるように、その基盤を整備してきた。こうした活動は、同事業の最終評価においても高く評価されており、平成 25（2013）年度についても、引き続き本学における「知の情報発信」の一翼を担い、大学と社会との窓口としての役割を果たすべく、上記のような、社会と関連できる活動を継続した。

ここでは、平成 22（2010）年度から本天文台で行ってきた普及教育活動を交えながら、平成 30（2018）年度の活動について、以下のとおり記す。

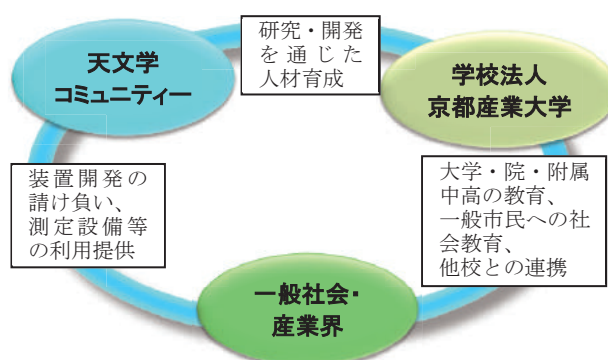


図 1 神山天文台の役割

2. 大学としての教育活動

神山天文台は、天文学における研究教育を行う組織として、特色ある教育を実践するために、理学部・理学研究科との連携を図ってきた。これまで、神山天文台の施設・

設備（望遠鏡・観測装置、各種実験・計測機器）を活用し、神山天文台を利用する学生への教育支援を行ってきた。ここでは、神山天文台研究員などが実施する研究会・勉強会・講習会等への学生の参加、さらに、天文台で実施する研究・観測装置の開発プロジェクトを通じた実践的な教育・研究指導を行い、神山天文台としての教育支援の活性化を目指してきた。また、平成 20（2008）年度～平成 24（2012）年度には私立大学戦略的研究基盤形成支援事業の研究プロジェクト「研究教育用天文台の設置および天文学教育研究拠点の形成」の達成のために、様々な教育支援を行ってきた。荒木望遠鏡（大型望遠鏡）を用いた「新星の早期分光確認観測」や「新星における炭素分子の世界初検出」などの学術成果は学生が主体となって成功している。平成 26（2014）年度には、本学理学研究科・博士後期課程在籍者 2 名が、神山天文台における研究・開発活動を元にして博士（理学）の学位を取得した。このことから、神山天文台における教育支援活動が、学位取得に繋がるだけのクオリティを有していることが分かる。

平成 26（2014）年度からは神山天文台としては 2 回目となる私立大学戦略的研究基盤形成支援事業に研究プロジェクト「赤外線高分散分光天文学研究拠点 Infrared Spectroscopy Laboratory の形成」が採択されるなど、取り組んでいる研究は当該分野では常に最先端である。当該補助金により複数の神山天文台研究員を雇用し、研究所の活性化を目指してきた。また上記研究プロジェクトとは別に「特徴ある独自開発装置による天体分光学の新展開」と題する研究計画の下、学生とともに神山天文台研究員が各種の研究を推し進めている。このように神山天文台における研究の多くは学生および神山天文台研究員が主体であり、教育と研究の相乗効果を狙うことも目的の一つである。研究成果の多くはマスメディア等に取り上げられるなど、学生たちの活躍が神山天文台のアクティビティを支える要因となっている。

3. 学内公開

本学においては、学生・教職員などの学内者を対象とした天体観望会や宇宙の 3D 映像の上映会を行っている。望遠鏡で宇宙の姿を実際に見ることは、宇宙における地球、そして人類の存在する意味を考えるよい機会となり、本学の創設者である荒木俊馬博士の「建学の精神」の理念を、より多くの学生たちに認識してもらいたいという願いも含んでいる。

4. 近隣学校等への天文学習

神山天文台では、小・中・高校生等（附属幼稚園・中高等学校を含む）が宇宙というものに対して、興味・関心を育み、様々な天文に関する事象を科学的に探求する機

会を提供することを目的に講座を実施している。特に高校においては、地学を開講していない学校もあり、天文や宇宙のことを体系的に学習する機会は少なくなっているものの、昨今の宇宙・天文ブームを反映し、これまでも金環日食、金星の太陽面通過等についてもイベントを実施している。その中で、このような天文現象に関心を示す生徒たちの数が、以前にも増して多くなっていることを実感している。そのような生徒たちも、自らが天文や宇宙について探究的に学ぶことができるのが天文学習である。

昼間は3D映像を取り入れた講義と施設見学、夜間は3D映像にて30分の星空解説、その後60～90分の天体観望と合わせて90～120分間のプログラムを提供している。

天文学習では年間で10～20校ほどの参加があり、近隣の学校への出前授業等も実施するなど、地域の教育機関との連携強化も視野に入れ、また、京都という土地柄を活かして修学旅行生の受入れも積極的に行うなど、開かれた天文台を目指している。

5. 他機関との連携事業

平成22(2010)年度、平成23(2011)年度と2年連続で、日本学術振興会のひらめき☆ときめきサイエンス、サイエンス・パートナーシップ・プロジェクトに採択され、補助金を受けてスペクトル観測体験学習講座を実施した。受講生は近畿地区のみならず、遠方からの参加もあり、小・中学生を中心に普段の学校の授業では、体験できないようなことを学ぶことができ、子どもたちにとっては大学の先生に教わるという機会も持つことができる非常に興味深い内容となった。

また、平成23(2011)年度には、京都市青少年科学センターと連携し、「未来のサイエンティスト養成講座」(平成23年8月実施)、プラネタリウム共同番組「星の虹から宇宙を探る」の共同制作(投影期間：平成24年1月～3月実施)などを行った結果、約4,500名の参加があり、神山天文台の研究活動をアピールすることができた。

平成24(2012)年度からは、東京大学大学院理学系研究科と研究協力に関する協定を締結し、近赤外線高分散分光器の世界最高性能を実現するための研究開発に取り組んでいる。

また、平成27(2015)年度からは、インドネシアのバンドン工科大学と協定を結び、新星爆発の観測研究に取り組んでいる。平成29(2017)年1月には、研究成果が学術論文雑誌に掲載された。

6. 一般の方への普及教育活動

(1) 施設見学と天体観望会

毎週土曜日には、神山天文台研究員と学生補助員が協力して無料の一般公開を行っている。夜間の好天候時には、口径1.3mの荒木望遠鏡(図2・図3参照)での天体

観望会、悪天候時には 3D 映像を用いたライブ解説を行っている。来場者はファミリー層が多く、好天候時には 100 名を超える方々が天体観望会に訪れる。

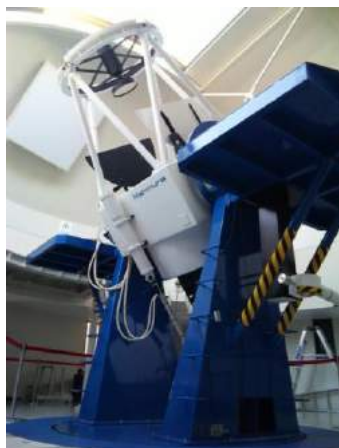


図2 荒木望遠鏡



図3 接眼部

天体観望会では、その日に見た天体のスタンプが押せる「神山天文台スタンプラリー」なども実施し、地域に親しまれる天文台として好評を得ている。平成 22 (2010) 年度から一般公開を実施し、平成 30 (2018) 年度までの 9 年間で、41,000 名を超える方々に来場いただき、地域に根ざした天文台として、認知されるようになってきた(資料 1・2 参照)。来場者アンケートの結果では、大学という場所柄を反映して、天文学の基礎知識や神山天文台で行われている研究について聞きたいという声が多く、天体観望会においてもスタッフの専門分野の話題やサイエンスの紹介、観測装置を開発した学生の話なども取り入れ、神山天文台の研究活動等も紹介するなどして、参加者が興味を持つ話題やニーズなども取り上げながら、満足度の高い公開事業を行っている。

また平日～土曜日の昼間には神山天文台を開放し、荒木望遠鏡や神山天文台が誇る各種研究機器等を自由に見学いただけるようになっている。平成 26 (2014)・27 (2015) 年度にはその他にも著名な星景写真家の協力により、館内にて星景写真展(図 4 参照)を開催し、来場者から多数の好評を得ている。



図4 星景写真展の様子

(2) 天文学講座

天文学講座は、普段の天体観望会よりも天文学の深い話題に触れていただけるような内容（天文学全般の入門に、太陽観察や光の実験、装置開発の現場見学を交えた内容のもの）を、土曜日の午後の時間帯で年間4回程度実施している（図5・資料3参照）。天体観望会とリンクさせ、昼間の講座で解説した種類の天体を夜間の観望会でも観察することができる。

京都府以外の近畿圏からも常連の方々が約20名～40名参加され、講座終了後には、質問などが途絶えることなく、長いときには1時間に及ぶこともあり、受講生の熱心が伺える。中には生物や化学、物理が専門の高校教員の方々も、「学校で天文分野を教える必要に迫られたので勉強したい。」ということで受講され、地学を専門としない高校教員のための天文学講座についても今後の需要が見込まれ、地域の理科教育の一端を担う神山天文台の役割は大きい。また、天文学講座のうち、季節ごとに年2回程度の特別講座を実施している。ここでは、学内外の研究者を講師とした天文学における最前線についての講演会を開催している。地域の方々と研究者との交流の場を目指し、講座終了後に「アストロノミー・カフェ」を開設（図6参照）し、お茶を飲みながら気軽に講師に質問できる場を提供するなど、地域の方々に親しまれる天文台として、本学のイメージアップにも繋げている。



図5 天文学講座の様子



図6 アストロノミー・カフェの様子

(3) 神山天文台マスコットキャラクター「ほしみ〜るちゃん®」

子供から大人までより多くの方々に神山天文台に親しんでいただくために、マスコットキャラクター「ほしみ〜るちゃん®」が平成25(2013)年に誕生した(図7参照)。これは、観望会における解説補助等を務める学生が考案した原案を本学理学部卒業の職員が、学生時代に神山天文台での観測・測定装置開発で培った技術を駆使し、3D

化したもので、学生及び教職員から名前を公募のうえ決定、商標登録したものである。

神山天文台における各種ポスターや案内チラシへの掲載、天体観望会で実施しているスタンプラリーの景品等のほか、社会貢献活動において広く活用されている。

また、平成 29 (2017) 年度には、LINE スタンプを作成し、身近な広報ツールとしての役割を担っている。



図7 ほしみ〜るちゃん®

7. 公開事業を通じた学生の育成

土曜日の一般公開や天文学習等の実施にあたっては、神山天文台スタッフに加えて、学生補助員（以下、補助員という）として学生の協力を得ている。

補助員は、天体観望会における天体解説、天文学習における説明補助等が主な任務となっている。

また、神山天文台では、天文に興味を持ち、今後、補助員になりたい学生を対象に、「天文学コミュニケーション講座」（年 15 回）を実施している（平成 29 (2017) 年度終了）。この講座では、小型望遠鏡の扱い方や天文学の基礎的な知識だけでなく、天体観望会での来場者への科学的なトピックの話し方といった高いコミュニケーション能力を身に付けた補助員を養成することを目的としている。講座修了者には、「神山天文台天文学コミュニケーション講座修了証」を授与している。この修了証が授与されれば、次年度の補助員として登録することができ。

実際に補助員に登録して、勤務を始めても、最初は、相手の目を見て話せない学生や自分の持っている精一杯の知識で説明し終わると沈黙してしまう学生、早口で威圧的に話し過ぎる学生もいるが、経験を重ねていくうちに、話し方や接客マナーが驚くほど向上し、一緒に観望会を運営していくという責任感が育ち、自分で考えて行動・提案できるように成長していく学生も少なくなく、中には、公開天文台に就職した卒業生も輩出している。

このように、神山天文台の観望会等の場で活躍できることは、学生のキャリア形成

にも貴重な経験となると考えられる。こうした学生を対象に、平成 23 (2011) 年度から神山天文台で活動を行う基盤として、学生プロジェクトチーム (平成 27 (2015) 年度に神山天文台サポートチームに改称) を立ち上げている。

8. 神山天文台サポートチーム

神山天文台サポートチームは平成 23 (2011) 年度に神山天文台ボランティアチームとして、神山天文台をより活性化することを目指し、有志の学生によって結成された学生プロジェクトチームである。文系理系を問わず、神山天文台や天文学に興味があれば参加をすることができ、平成 31 (2019) 年 3 月現在で約 90 名の学生が在籍し活動をしている。

チームの学生たちは、神山天文台研究員や教員の指導のもと、自分たちで下記のようなイベントを企画し、広く地域の方々に神山天文台の魅力発信に努めている。

・天体観望会

土曜日に行っている天体観望会開催時に、神山天文台前に小型望遠鏡を設置し、来場者の方に時節に応じた様々な天体を解説付きで楽しんでいただいている。

・学内天体観望会

上記とは異なり、大学関係者 (教職員・学生) を対象として年に数回実施している。

荒木望遠鏡・小型望遠鏡による天体観望や、シミュレーションソフト「Mitaka」を用いた 3D 映像上映会などを体験していただいている (図 8 参照)。



図 8 学内観望会の様子

・サタデージャンボリー

サタデージャンボリーとは、大学が実施している地域の子供たち向けの大規模イベントである。当イベントにおいて神山天文台を会場に、平成 30 (2018) 年度は「星と友達になろう！」と題し、荒木望遠鏡の紹介や 3D 映像上映会、惑星の並び替えクイズなどを通して、宇宙・天文、ひいては神山天文台への興味の涵養につなげている (図 9 参照)。



図9 サタデージャンボリーの様子

・ 神山祭（学園祭）

来場する地域・一般の方を対象とし、神山天文台を会場に、平成30（2018）年度は「瞳におさまる無限の宙」と題し、荒木望遠鏡の紹介や太陽望遠鏡による太陽観望会、光の実験などを実施した。

・ その他

上記以外にも、地域の図書館での子ども向けの天体天文教室の実施や、天文同好会などの学内団体との合同イベントなど、日々自主的に神山天文台での活動を続けている。

このように、補助員やサポートチームの一員としての活動による経験を通し、学生たちのコミュニケーション能力や科学に関する知識をより高めることで、本学における人材育成の一端を担っている（資料6参照）。

資料1 各種イベント 来場者数一覧

公開区分	平成22年度 (2010)	平成23年度 (2011)	平成24年度 (2012)	平成25年度 (2013)	平成26年度 (2014)	平成27年度 (2015)	平成28年度 (2016)	平成29年度 (2017)	平成30年度 (2018)
一般公開(施設見学, 天体観望会, 3D映像上映会)	2,060	1,762	1,380	973	1,185	1,166	1,584	1,430	1,821
天文台講座	120	188							
天文学講座(旧天文学入門講座)		260	303	347	148	114	56	81	145
特別講演会	77	33	36	64	92	79	64	66	
ひらめき☆ときめきサイエンス(日本学術振興会との共催)	77	30							
学校・教育機関等利用(小・中・高校等)	484	393	407	204	204	406	499	667	706
オープンキャンパス	960	787	592	510	963	1,614	1,362	1,239	1,105
サタデージャンボリー	547	466	213	316	273	389	500	466	250
京都産業大学DAY(H28から教育懇談会)	116	156	224	179	217	292	244	295	185
学内観望会(本学学生、教職員向け3D上映会, 天体観望会)	190	417	115	188	122	119	131	74	42
神山祭	232	557	284	534	509	613	495	870	827
その他(入学式, 卒業式等特別公開他)	185	65	162	137	89	150	95	166	105
合計	5,048	5,114	3,716	3,452	3,802	4,942	5,030	5,354	5,186

資料2 平成22(2010)年度～平成30(2018)年度 一般公開来場者数一覧

(注)表記されていない月日は、一般公開やイベントを実施していない。

平成22(2010)年度

イベント	天候状況	※観望 天候別	京都市	京都府	近 畿 区	その 他 府 県	小学生 以下	中高生	大学生	一 般 60未満	一 般 60以上	計	
4月3日	晴れ	○	66	6	26	5	10	1	42	47	3	103	
4月10日	曇り	×	32	4	3	0	1	0	1	17	20	39	
4月17日	晴れ	○	91	16	10	0	21	6	11	61	18	117	
4月24日	晴れ	○	69	3	21	3	11	0	32	39	14	96	
4月 小計			3	258	29	60	8	43	7	86	164	55	355
5月1日	晴れ時々曇り	○	52	4	22	5	19	1	16	44	3	83	
5月8日	晴れ後曇り	○	50	1	7	0	3	2	28	23	2	58	
5月15日	晴れ後曇り	○	15	2	22	1	5	1	13	20	1	40	
5月22日	曇り	×	5	1	4	5	0	0	1	13	1	15	
5月29日	晴れ	○	65	2	13	1	15	1	16	38	11	81	
5月 小計			4	187	10	68	12	42	5	74	138	18	277
6月5日	晴れ	○	70	2	24	6	12	2	21	51	16	102	
6月12日	晴れ後曇り	○	50	6	13	2	21	2	4	37	7	71	
6月19日	曇り	×	6	2	11	1	0	0	3	15	2	20	
6月26日	天文台講座	雨	×	9	0	3	0	0	1	9	2	12	
6月 小計			2	135	10	51	9	33	4	29	112	27	205
7月3日	雨	×	1	4	4	0	0	0	0	8	1	9	
7月10日	晴のち曇り	○	28	13	7	4	11	0	6	25	10	52	
7月17日	曇り時々晴れ	×	13	1	13	6	5	0	6	20	2	33	
7月24日	晴れ時々曇り	×	27	4	3	2	11	3	2	14	6	36	
7月31日	晴れ時々曇り	△	33	5	15	10	6	20	3	31	3	63	
7月 小計			1	102	27	42	22	33	23	17	98	22	193
8月7日	晴れのち曇り	○	126	1	19	8	24	5	1	87	37	154	
8月21日	曇り	○	48	1	4	12	14	6	2	38	5	65	
8月 小計			2	174	2	23	20	38	11	3	125	42	219
9月4日	曇り後晴れ	○	22	9	10	1	11	0	2	28	1	42	
9月11日	天文台講座	晴れ時々曇り	○	21	7	13	1	7	1	16	16	42	
9月18日	晴れ時々曇り	○	15	7	6	11	4	2	3	26	4	39	
9月25日	曇り	○	36	0	30	3	10	1	28	24	6	69	
9月 小計			4	94	23	59	16	32	4	49	94	13	192
10月2日	サタデージャンボリー	曇り	○	48	1	5	1	7	1	30	17	55	
10月9日	雨後曇り	×	3	0	1	0	0	0	0	4	0	4	
10月16日	曇り時々晴れ	×	13	5	5	4	6	3	0	15	3	27	
10月23日	曇り後晴れ	○	42	0	13	1	12	6	5	25	8	56	
10月30日	曇り時々小雨	×	3	0	2	2	1	0	0	3	3	7	
10月 小計			2	109	6	26	8	26	10	35	64	14	149
11月6日	晴れ時々曇り	○	19	3	2	0	2	0	2	16	4	24	
11月13日	晴れ時々曇り	○	25	14	15	5	2	6	4	40	7	59	
11月27日	晴れ時々曇り	○	21	0	2	0	1	0	12	6	4	23	
11月 小計			3	65	17	19	5	5	6	18	62	15	106
12月4日	晴れ時々曇り	○	23	0	11	0	8	0	2	21	3	34	
12月11日	天文台講座	曇り	△	0	0	2	0	0	0	2	0	2	
12月18日	曇り	×	3	0	5	3	0	0	2	8	1	11	
12月25日	Xmasスペシャル講演会	曇り後晴れ	○	2	1	6	5	3	0	9	0	14	
12月 小計			2	28	1	24	8	11	0	6	40	4	61
1月8日	晴れ時々曇り	○	22	0	6	4	5	1	4	20	2	32	
1月22日	晴れ後曇り、小雨	×	12	0	1	0	3	1	3	6	0	13	
1月 小計			1	34	0	7	4	8	2	7	26	2	45
2月5日	曇りのち晴れ	○	52	5	14	1	23	2	11	35	1	72	
2月12日	曇り一時雪	×	7	2	3	5	1	0	2	13	1	17	
2月19日	晴れのち曇り	○	15	0	5	7	4	0	6	13	4	27	
2月26日	晴れ	○	29	0	13	15	8	0	12	29	8	57	
2月 小計			3	103	7	35	28	36	2	31	90	14	173
3月5日	天文台講座	曇り	○	12	3	4	1	6	0	10	1	20	
3月12日	曇り	○	8	1	5	3	0	0	8	8	1	17	
3月19日	曇り	○	7	2	8	13	1	0	6	22	1	30	
3月26日	雪後曇り時々晴れ	○	10	1	2	5	3	0	6	9	0	18	
3月 小計			4	37	7	19	22	10	0	23	49	3	85
合 計			31	1,326	139	433	162	317	74	378	1,062	229	2,060

平成23(2011)年度

イベント	天候状況	※観望会開催	京都市	京都府	近畿地区	その他府県	小学生以下	中学生	大学生	一般60未満	一般60以上	計	
4月2日	曇り	○	12	0	11	2	3	0	3	16	3	25	
4月9日	曇り	○	9	4	15	4	5	1	1	24	1	32	
4月16日	曇り時々晴れ	○	13	2	1	2	0	1	1	12	4	18	
4月23日	曇り	○	3	0	0	0	0	0	1	0	2	3	
4月24日	曇り	○	6	0	3	2	1	0	0	9	1	11	
4月 小計		5	43	6	30	10	9	2	6	61	11	89	
5月7日	曇り時々晴れ	○	15	5	5	0	7	1	5	12	0	25	
5月14日	天文学入門講座	晴れ時々曇り	○	49	9	2	1	8	0	8	23	61	
5月21日	天文学入門講座	曇り	○	26	2	2	3	5	0	3	25	33	
5月28日	雨天	○	5	0	8	1	0	0	5	7	2	14	
5月 小計		4	95	16	17	5	20	1	21	67	4	133	
6月4日	サタデージャンボリー	晴れ時々曇り	○	20	3	1	0	6	0	6	9	24	
6月11日	天文学入門講座	曇り	○	59	2	0	0	18	0	0	43	61	
6月18日	天文台講座	雨天	×	57	34	4	1	1	4	1	85	96	
6月25日	天文学入門講座	曇り	○	42	5	16	0	8	1	17	32	63	
6月 小計		3	178	44	21	1	33	5	24	169	13	244	
7月2日	天文学入門講座	曇り	×	22	1	27	2	1	3	1	46	52	
7月9日	天文学入門講座	晴れのち曇り	○	53	4	13	3	7	0	3	60	73	
7月16日	天文学入門講座	曇り時々晴れ	○	58	10	11	5	21	0	3	54	84	
7月23日	曇り時々晴れ	○	25	0	8	0	7	1	3	22	0	33	
7月30日	曇り	○	9	1	4	6	5	1	0	11	3	20	
7月 小計		4	167	16	63	16	41	5	10	193	13	262	
8月6日	オープンキャンパス	曇り時々晴れ	○	40	6	12	6	15	6	2	38	64	
8月20日	オープンキャンパス	曇り後雨	×	12	4	1	2	5	0	0	12	19	
8月 小計		1	52	10	13	8	20	6	2	50	5	83	
9月3日	台風12号中止	×	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9月10日	天文台講座	曇り	○	51	9	8	2	16	0	5	45	70	
9月17日	雨天	×	1	3	5	2	1	0	1	9	0	11	
9月24日	晴れ時々曇り	○	55	9	28	1	16	2	14	52	9	93	
9月 小計		2	107	21	41	5	33	2	20	106	13	174	
10月1日	サタデージャンボリー	曇り時々晴れ	○	14	0	13	0	3	0	4	16	27	
10月8日	天文学入門講座	曇り時々晴れ	○	54	3	17	6	6	1	23	36	80	
10月15日	雨天	×	24	3	3	0	0	2	1	24	3	30	
10月22日	天文学入門講座	雨天	×	12	1	6	0	0	0	1	12	19	
10月29日	天文学入門講座	晴れ後曇り	○	33	4	13	0	5	1	9	25	50	
10月 小計		3	137	11	52	6	14	4	38	113	37	206	
11月12日	天文学入門講座	晴れ後曇り	○	68	12	7	2	30	0	7	46	89	
11月26日	天文学入門講座	晴れ時々曇り	○	57	8	19	6	12	2	3	57	90	
11月 小計		2	125	20	26	8	42	2	10	103	22	179	
12月3日	天文学入門講座	曇り	○	8	1	8	0	0	2	0	12	3	17
12月10日	天文台講座	曇り	○	43	3	12	2	5	5	2	38	60	
12月17日	天文学入門講座	晴れ時々曇り	○	22	1	11	3	1	0	3	25	37	
12月24日	Xmasスペシャル講演会	曇り	○	32	2	10	6	8	2	8	18	50	
12月 小計		4	105	7	41	11	14	9	13	93	35	164	
1月7日	曇り時々曇	×	2	5	6	6	2	3	0	10	4	19	
1月21日	雨天	×	2	0	0	0	0	0	0	2	0	2	
1月 小計		0	4	5	6	6	2	3	0	12	4	21	
2月4日	晴れ後曇り	○	15	1	11	1	8	0	1	17	2	28	
2月18日	雪	○	20	0	3	0	8	1	0	12	2	23	
2月25日	科博連フェス	雨天	×	16	1	6	0	8	0	4	10	23	
2月 小計		2	51	2	20	1	24	1	5	39	5	74	
3月3日	天文台講座	晴れ時々曇り	○	23	5	37	1	2	2	3	24	66	
3月10日	曇り	×	1	0	7	0	2	0	0	5	1	8	
3月17日	小雨後曇り	×	6	1	4	9	0	0	8	11	1	20	
3月24日	雨後曇り	×	18	0	1	0	0	0	1	18	0	19	
3月31日	雨後晴れ時々曇り	○	16	0	3	1	6	3	2	8	1	20	
3月 小計		2	64	6	52	11	10	5	14	66	38	133	
合計		32	1,128	164	382	88	262	45	163	1,072	200	1,762	

平成24(2012)年度

イベント	天候状況	※観望会開催	京都市	京都府	近畿地区	その他府県	小学生以下	中学生	大学生	一般60未満	一般60以上	計	
4月7日	曇り時々晴れ	○	10	0	2	2	2	0	5	6	1	14	
4月14日	曇り時々晴れ	○	5	1	10	0	5	0	1	8	2	16	
4月21日	曇り	×	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4月28日	晴れ	○	33	5	43	1	20	0	3	49	10	82	
4月計			3	48	6	55	3	27	0	9	63	112	
5月12日	晴れ	○	12	5	3	4	4	1	1	17	1	24	
5月19日	天文学入門講座	晴れのち曇り	○	31	1	5	4	6	2	3	14	16	41
5月26日	曇り	○	17	5	5	1	5	2	3	12	6	28	
5月計			3	60	11	13	9	15	5	7	43	23	93
6月2日	曇り	×	12	3	3	2	4	0	3	10	3	20	
6月9日	天文学入門講座特別編第1回	曇り時々雨のち晴れ	○	28	2	8	0	4	0	6	13	15	38
6月16日	オープンキャンパス	雨	×	1	0	0	1	1	0	0	1	0	2
6月23日	天文学入門講座	曇り	×	29	1	6	0	2	0	11	15	8	36
6月30日	雨	×	3	2	5	0	1	0	3	5	1	10	
6月計			1	73	8	22	3	12	0	23	44	27	106
7月7日	七夕講演会	曇りのち晴れ	○	27	4	9	6	11	2	3	24	6	46
7月14日	曇りのち雨	×	4	0	5	0	0	0	4	5	0	9	
7月21日	曇り時々雨	×	6	0	12	0	8	1	0	9	0	18	
7月28日	天文学入門講座	晴れ時々曇り	○	33	2	17	3	16	2	2	30	5	55
7月計			2	70	6	43	9	35	5	9	68	11	128
8月4日	オープンキャンパス	晴れ時々曇り	○	24	4	10	1	4	1	9	19	6	39
8月25日	天文学入門講座	晴れ	○	59	0	32	2	20	0	4	62	7	93
8月計			2	83	4	42	3	24	1	13	81	13	132
9月8日	天文学入門講座(池田先生)※中止	曇り時々雨	○	7	0	8	0	0	0	12	3	15	
9月15日	曇り時々晴れ	○	44	7	31	6	14	1	7	52	14	88	
9月29日	天文学入門講座特別編第2回	曇り	×	11	4	9	0	1	2	9	12	24	
9月計			2	62	11	48	6	14	2	9	73	29	127
10月6日	曇りのち雨	×	33	3	14	14	2	8	16	38	0	64	
10月13日	サタデージャンボリー	曇り時々晴れ	○	15	0	3	0	3	1	3	8	3	18
10月20日	天文学入門講座	晴れ	○	42	3	10	8	11	2	2	37	11	63
10月27日	曇り	○	21	0	13	2	6	3	3	9	15	36	
10月計			3	111	6	40	24	22	14	24	92	29	181
11月10日	天文学入門講座	曇り時々晴れ	○	31	4	12	1	4	1	2	26	15	48
11月24日	曇りのち晴れ	○	17	2	2	0	5	0	4	11	1	21	
11月計			2	48	6	14	1	9	1	6	37	16	69
12月1日	雨	×	1	0	1	1	0	0	1	2	0	3	
12月8日	天文学入門講座特別編第3回	曇りのち晴れ	○	14	7	19	0	4	0	5	9	22	40
12月15日	曇りのち雨	×	11	0	5	2	6	2	0	8	2	18	
12月22日	天文学入門講座(Xmas特別企画)	曇り時々雨	×	18	2	7	0	5	4	2	8	8	27
12月計			1	44	9	32	3	15	6	8	27	32	88
1月12日	天文学入門講座	晴れ	○	15	9	19	2	9	3	3	22	8	45
1月計			1	15	9	19	2	9	3	3	22	8	45
2月2日	曇りのち晴れ	○	10	2	2	2	2	1	4	9	0	16	
2月9日	曇りのち晴れ	○	9	1	15	3	8	1	1	18	0	28	
2月16日	天文学入門講座	晴れ時々雪	○	11	5	20	1	2	7	3	18	7	37
2月23日	晴れ時々曇り	○	9	41	8	0	9	4	5	40	0	58	
2月計			4	39	49	45	6	21	13	13	85	7	139
3月2日	天文学入門講座特別編第4回-研究成果報告会	雪	×	18	1	21	2	4	3	7	20	8	42
3月9日	天文学入門講座	晴れ	○	17	2	12	7	5	1	3	21	8	38
3月16日	晴れ	○	14	1	2	1	4	0	5	10	0	19	
3月23日	卒業式特別開館	曇り時々晴れ	○	21	5	11	8	8	2	10	21	4	45
3月30日	曇り時々晴れ	○	7	0	9	0	1	1	9	4	1	16	
3月計			4	77	9	55	18	22	7	34	76	21	160
合計			27	730	134	428	87	225	57	158	711	229	1,380

平成25(2013)年度

	イベント	天候状況	※観望 会開催	京都市	京都府	近 畿 地 区	其 他 府 県	小 学 生 以 下	中 高 生	大 学 生	一 般 60未 満	一 般 60以 上	計
4月6日		雨・嵐	×	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1
4月13日		晴れ	○	9	0	2	1	3	0	1	8	0	12
4月20日	天文学入門講座	曇りのち雨	×	29	5	8	0	0	0	11	19	12	42
4月27日		晴れ時々曇り	○	30	3	10	4	11	2	7	26	1	47
4月 計			2	68	8	21	5	14	2	19	54	13	102
5月11日		雨のち曇り	×	3	0	1	0	1	0	0	3	0	4
5月18日	天文学入門講座	晴れのち曇り	○	23	2	9	2	1	0	13	15	7	36
5月25日		曇り時々晴れ	○	13	0	3	0	5	1	0	10	0	16
5月 計			2	39	2	13	2	7	1	13	28	7	56
6月1日		曇り	×	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6月8日	天文学入門講座特別編	曇り時々晴れ	○	44	2	12	2	4	0	16	33	8	61
6月 計			1	44	2	12	2	4	0	16	33	8	61
7月20日		晴れ	○	32	1	14	1	16	0	0	31	1	48
7月27日	天文学入門講座	曇り時々晴れ	○	49	5	7	7	14	4	7	34	9	68
7月 計			2	81	6	21	8	30	4	7	65	10	116
8月3日		晴れ時々曇り	○	52	0	15	5	23	2	5	36	6	72
8月24日		曇り時々雨	×	14	0	0	0	7	0	0	7	0	14
8月 計			1	66	0	15	5	30	2	5	43	6	86
9月7日		雨	×	7	0	0	3	4	0	0	6	0	10
9月14日		曇り	×	4	0	2	0	0	1	2	3	0	6
9月21日		晴れ	○	32	0	11	2	12	1	3	27	2	45
9月28日	天文学入門講座特別編	晴れ	○	41	7	20	2	3	0	9	47	11	70
9月 計			2	84	7	33	7	19	2	14	83	13	131
10月5日		曇り	×	6	0	5	2	0	0	4	7	2	13
10月12日		晴れのち曇り	○	40	2	7	3	10	0	10	28	4	52
10月19日	天文学入門講座	曇り時々雨	×	16	1	14	1	1	2	1	18	10	32
10月26日		雨のち晴れ	○	4	0	3	0	1	2	0	4	0	7
10月 計			2	66	3	29	6	12	4	15	57	16	104
11月9日	天文学入門講座	曇りのち晴れ	○	35	3	16	2	8	2	5	34	8	57
11月30日	アイソン彗星講演会	晴れ	○	64	4	13	3	19	2	7	48	8	84
11月 計			2	99	7	29	5	27	4	12	82	16	141
12月7日	天文学入門講座特別編	雨	×	17	0	16	0	1	2	4	19	7	33
12月14日		曇り時々晴れ	○	7	3	2	11	1	0	0	20	2	23
12月21日	天文学入門講座(X'mas特別企画)	曇りのち雨	×	20	0	12	7	4	0	6	22	8	40
12月 計			1	44	3	30	18	6	2	10	61	17	96
3月22日		腫れ	○	10	20	6	2	8	4	2	16	8	38
3月29日	天文学入門講座特別編	曇り	×	22	3	11	6	2	2	12	19	7	42
3月 計			1	32	23	17	8	10	6	14	35	15	80
合計			16	623	61	220	86	159	27	125	541	121	973

平成26(2014)年度

	イベント	天候状況	※観望会開催	京都市	京都府	近畿地区	その他府県	小学生以下	中学生	大学生	一般60未満	一般60以上	その他(未記入)	計
4月7日	天体観望会・3D上映会	雨	×	4	0	1	0	0	0	2	3	0	0	5
4月12日	天体観望会	晴れ	○	7	0	2	3	1	0	2	2	0	7	12
4月19日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	5	0	0	0	2	0	0	3	0	0	5
4月26日	天体観望会	晴れ	○	26	0	8	7	10	0	6	20	2	3	41
4月計			3	42	0	11	10	13	0	10	28	2	10	63
5月10日	天体観望会	晴れ	○	23	4	0	0	9	0	3	14	0	1	27
5月17日	施設見学・天文学講座・天体観望会	晴れ	○	30	4	22	3	2	2	17	27	8	3	59
5月24日	天体観望会	晴れ	○	16	1	5	0	4	0	1	14	3	0	22
5月31日	京都産業大学DAY・天体観望会	晴れ	○	27	0	6	7	7	5	3	17	2	6	40
5月計			4	96	9	33	10	22	7	24	72	13	10	148
6月7日	天体観望会・3D上映会	曇り	△	10	0	0	0	1	0	1	3	4	1	10
6月計			0	10	0	0	0	1	0	1	3	4	1	10
7月5日	七夕講演会・3D上映会	曇り	×	21	3	15	1	5	1	10	17	5	2	40
7月19日	天体観望会・3D上映会	曇り	×	8	0	0	1	0	0	4	5	0	0	9
7月26日	天体観望会	晴れ	○	26	7	18	0	12	1	3	37	2	0	51
7月計			1	55	10	33	2	17	2	17	59	7	2	100
8月2日	天文学講座・3D上映会	曇り	×	34	7	25	2	2	5	13	35	7	6	68
8月7日	天体観望会	曇れ	○	14	4	4	19	6	1	5	8	1	4	41
8月23日	3D上映会	曇りのち雨	×	21	4	10	1	6	4	2	17	3	0	36
8月計			1	69	15	39	22	14	10	20	60	11	10	125
9月6日	3D上映会	雨	×	3	0	1	0	0	0	0	4	0	0	4
9月13日	天体観望会	曇れ	○	48	4	19	15	12	5	12	33	5	19	86
9月20日	天体観望会・3D上映会	曇りのち曇れ	○	17	0	1	1	1	1	5	12	0	0	19
9月27日	天体観望会	晴れ	○	38	4	7	1	11	1	5	24	3	6	50
9月計			3	106	8	28	17	24	7	22	73	8	25	159
10月4日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	13	1	4	0	1	0	4	12	1	0	18
10月8日	皆既月食観望会	晴れ	○	225	12	41	8	41	3	119	99	12	15	286
10月11日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	11	0	12	9	1	0	11	12	1	7	32
10月18日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	22	0	9	3	7	1	4	19	4	0	34
10月25日	サタデージャンボリー・天体観望会	晴れ時々曇り	○	13	7	1	4	3	1	5	15	1	0	25
10月計			5	284	20	67	24	53	5	143	157	19	22	399
11月8日	天体観望会・3D上映会	曇り	△	3	3	3	4	1	1	4	6	1	0	13
11月29日	天体観望会・3D上映会	晴れ時々曇り	○	17	5	5	2	7	2	0	12	0	8	29
11月計			1	20	8	8	6	8	3	4	18	1	8	42
12月6日	天体観望会・3D上映会	晴れ時々曇り	○	12	0	5	0	4	1	1	9	0	2	17
12月13日	天体観望会	晴れ	○	21	2	9	2	10	2	2	19	0	1	34
12月20日	クリスマス特別講演会・3D上映会	雨のち曇り	×	24	2	13	18	3	0	33	19	1	1	57
12月計			2	57	4	27	20	17	3	36	47	1	4	108
3月21日	卒業式特別開館・天体観望会	晴れ時々曇り	○	3	0	1	0	0	1	1	1	0	1	4
3月28日	天体観望会・天文学講座	晴れ	○	9	10	7	1	0	5	4	14	3	1	27
3月計			2	12	10	8	1	0	6	5	15	3	2	31
合計			22	751	84	254	112	169	43	282	532	69	94	1,185

平成27(2015)年度

イベント	天候状況	※観望会開催	京都市	京都府	近畿地区	その他府県	小学生以下	中学生	大学生	一般60未満	一般60以上	その他(未記入)	計
4月4日 官既月食解説講座・官既月食観望会	曇り	△	4	0	4	3	2	1	2	5	1	1	12
4月11日 天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
4月18日 天体観望会	晴れのち曇り	○	7	2	7	0	5	0	5	5	1	0	16
4月25日 天体観望会	晴れ	○	13	0	0	0	3	1	4	4	1	0	13
4月計			3	26	2	11	3	10	2	11	16	3	43
5月2日 天体観望会	晴れ	○	16	4	20	8	9	2	2	30	2	3	48
5月9日 天体観望会	曇りのち晴れ	○	16	2	4	7	4	1	5	12	2	5	29
5月16日 天文学講座・天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	32	1	11	12	2	1	11	21	13	8	56
5月23日 3D上映会	曇り	×	2	0	3	0	0	1	2	2	0	0	5
5月30日 3D上映会	曇り	×	12	0	0	2	2	1	7	4	0	0	14
5月計			3	78	7	38	29	17	6	27	69	17	152
6月6日 天体観望会	晴れ	○	31	0	13	1	7	5	8	22	1	2	45
6月13日 3D上映会	曇り	×	10	0	9	4	3	2	4	12	2	0	23
6月計			1	10	0	9	4	3	2	4	12	2	23
7月4日 七夕講演会・3D上映会	雨	×	34	2	17	1	1	0	9	26	18	0	54
7月18日 天体観望会・3D上映会	晴れ	○	21	3	4	0	12	2	1	10	1	2	28
7月25日 天体観望会	晴れ	○	53	0	19	3	21	6	2	34	9	3	75
7月計			2	108	5	40	4	34	8	12	70	28	157
8月1日 天体観望会	晴れ	○	39	2	6	3	11	2	2	19	5	11	50
8月22日 天体観望会	晴れ	○	37	3	13	7	17	2	5	30	4	2	60
8月計			2	76	5	19	10	28	4	7	49	9	110
9月5日 3D上映会	曇り	×	21	0	13	1	14	0	3	13	1	4	35
9月12日 天体観望会・3D上映会	曇りととき晴れ	△	29	7	7	0	11	3	5	22	1	1	43
9月19日 天体観望会	曇り時々晴れ	○	29	0	11	2	17	0	4	17	1	3	42
9月26日 3D上映会	曇り	×	6	2	9	2	0	2	3	8	3	3	19
9月計			1	85	9	40	5	42	5	15	60	6	139
10月3日 天体観望会	晴れ	○	33	7	6	1	5	1	11	26	1	3	47
10月10日 3D上映会	曇り	×	12	0	0	9	3	0	5	7	4	2	21
10月17日 天体観望会	晴れ	○	35	3	2	0	9	3	8	15	3	2	40
10月24日 天文学講座・天体観望会・3D上映会	晴れ	○	51	0	7	3	9	0	22	14	10	6	61
10月計			3	131	10	15	13	26	4	46	62	18	169
11月7日 3D上映会	雨	×	18	0	9	2	8	0	7	11	2	1	29
11月28日 天体観望会	晴れ	○	31	4	16	1	10	1	4	30	7	0	52
11月計			1	49	4	25	3	18	1	11	41	9	81
12月5日 天体観望会	曇りのち晴れ	○	43	2	10	2	10	0	6	22	4	15	57
12月12日 天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	30	0	17	3	9	8	3	25	1	4	50
12月19日 クリスマス特別講演会・天体観望会	曇りのち晴れ	○	24	5	11	5	7	6	10	18	2	2	45
12月26日 天体観望会	晴れ	○	34	0	7	1	10	2	5	19	4	2	42
12月計			4	131	7	45	11	36	16	24	84	11	194
3月19日 3D上映会	曇り時々晴れ	×	5	0	2	0	1	2	0	4	0	0	7
3月26日 天文学講座・天体観望会	曇りのち晴れ	○	43	19	23	6	22	3	7	43	16	0	91
3月計			1	48	19	25	6	23	5	7	47	16	98
合計			21	742	68	267	88	237	53	164	510	119	1,166

平成28(2016)年度

	イベント	天候状況	※観望 会開催	京都市	京都府	近畿 地区	その他 府県	小学生 以下	中学生	大学生	一般 60未満	一般 60以上	その他 (未記入)	計
4月2日	入学式特別開館・3D上映会	曇り	×	6	1	24	8	3	2	4	25	2	3	39
4月9日	天体観望会・3D上映会	曇り	△	16	5	7	2	3	3	12	11	1	0	30
4月16日	3D上映会	曇り	×	6	0	0	4	0	0	8	2	0	0	10
4月23日	3D上映会	曇りのち雨	×	6	0	2	0	3	0	0	5	0	0	8
4月30日	天体観望会	晴れ	○	67	5	3	4	22	5	7	11	29	5	79
4月計			1	101	11	36	18	31	10	31	54	32	8	166
5月7日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	18	2	13	1	7	1	0	3	16	7	34
5月14日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	38	4	2	6	14	0	1	10	20	5	50
5月21日	天体観望会	晴れ	○	37	1	2	1	9	0	0	12	16	4	41
5月28日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	2	2	8	5	2	1	1	11	2	0	17
5月計			4	95	9	25	13	32	2	2	36	54	16	142
6月4日	3D上映会	曇りのち雨	×	10	1	0	0	3	0	5	2	1	0	11
6月11日	3D上映会	曇り	×	39	3	7	1	9	0	22	12	7	0	50
6月計			0	49	4	7	1	12	0	27	14	8	0	61
7月9日	七夕講演会・3D上映会	雨のち曇り	×	20	0	7	1	6	0	5	16	1	0	28
7月16日	天体観望会・3D上映会	曇り	△	11	3	4	0	4	2	3	9	0	0	18
7月23日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	60	10	31	4	34	3	6	56	2	4	105
7月30日	天体観望会	晴れ	○	52	8	9	23	26	11	8	31	4	12	92
7月計			2	143	21	51	28	70	16	22	112	7	16	243
8月6日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	44	6	8	36	26	3	33	24	2	6	94
8月20日	天体観望会	曇りときどき晴れ	○	48	6	17	16	29	3	7	41	2	5	87
8月計			2	92	12	25	52	55	6	40	65	4	11	181
9月3日	天体観望会・3D上映会	曇り	△	5	5	5	2	3	0	3	9	2	0	17
9月10日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	91	7	12	6	36	2	8	56	9	5	116
9月17日	3D上映会	曇り	×	6	4	1	1	2	3	2	5	0	0	12
9月24日	天体観望会・3D上映会	曇りときどき晴れ	△	12	5	8	7	6	1	1	16	8	0	32
9月計			1	114	21	26	16	47	6	14	86	19	5	177
10月1日	3D上映会	曇り	×	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
10月8日	3D上映会	曇り	×	33	0	17	8	8	1	15	22	8	4	58
10月15日	天体観望会	晴れ	○	61	6	16	7	32	1	7	42	5	3	90
10月22日	3D上映会	曇り	×	9	0	1	1	0	1	4	6	0	0	11
10月29日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	23	5	13	1	11	2	4	18	7	0	42
10月計			2	126	11	48	17	51	5	31	88	20	7	202
11月12日	天体観望会	晴れ	○	67	11	20	0	28	1	11	42	11	5	98
11月計			1	67	11	20	0	28	1	11	42	11	5	98
12月3日	天体観望会	晴れ	○	51	7	8	8	25	1	2	42	4	0	74
12月10日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	30	0	5	4	11	0	6	20	2	0	39
12月17日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	27	0	12	0	8	1	6	19	4	1	39
12月24日	クリスマス特別講演会・天体観望会	曇りのち晴れ	○	51	4	23	4	12	7	19	31	10	3	82
12月計			4	159	11	48	16	56	9	33	112	20	4	234
3月25日	天文学講座・天体観望会	晴れ時々曇り	○	28	28	21	3	20	3	5	32	9	11	80
3月計			1	28	28	21	3	20	3	5	32	9	11	80
合計			18	974	139	307	164	402	58	216	641	184	83	1,584

平成29(2017)年度 ※平成29(2017)年度より中高生を[中学生][高校生]に分類

イベント	天候状況	※観望会開催	京都市	京都府	近畿地区	その他府県	小学生以下	中学生*	高校生*	大学生	一般60未満	一般60以上	その他(未記入)	計	
4月1日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	26	0	11	2	9	0	1	16	12	1	0	39
4月8日	天体観望会・3D上映会	雨	×	2	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	3
4月15日	天体観望会・3D上映会	曇り時々晴れ	△	1	3	0	0	2	0	0	1	1	0	0	4
4月22日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	50	2	6	2	15	4	2	16	23	0	0	60
4月計			2	79	5	18	4	26	4	3	36	36	1	0	106
5月6日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	24	0	0	0	13	0	0	0	11	0	0	24
5月13日	天体観望会・3D上映会	曇り	△	2	3	0	0	2	0	0	0	3	0	0	5
5月20日	天体観望会・2D上映会	晴れ	○	75	4	12	3	30	1	0	5	45	13	0	94
5月27日	天文学講座・天体観望会・3D上映会	晴れ	○	45	3	20	1	14	4	0	13	31	7	0	69
5月計			3	146	10	32	4	59	5	0	18	90	20	0	192
6月3日	天体観望会・3D上映会	晴れのち曇り	○	39	2	4	0	15	0	0	4	24	2	0	45
6月計			1	39	2	4	0	15	0	0	4	24	2	0	45
7月8日	七夕講演会・天体観望会・3D上映会	曇り	△	61	10	20	5	25	0	3	12	35	7	14	96
7月15日	天体観望会・3D上映会	曇り	○	42	21	18	0	33	0	2	1	40	2	3	81
7月22日	天体観望会・2D上映会	曇り時々雨	×	27	6	15	0	17	0	2	6	21	2	0	48
7月29日	天体観望会・3D上映会	曇り時々晴れ	○	42	6	10	3	24	2	3	4	28	0	0	61
7月計			2	172	43	63	8	99	2	10	23	124	11	17	286
8月5日	天体観望会・2D上映会	曇り	○	17	4	1	5	13	0	2	0	11	1	0	27
8月19日	天体観望会・2D上映会	曇り時々晴れ	○	86	14	33	3	44	6	3	3	58	8	14	136
8月計			2	103	18	34	8	57	6	5	3	69	9	14	163
9月2日	天体観望会・2D上映会	晴れ時々曇り	○	70	9	27	0	50	1	1	4	50	0	0	106
9月9日	天体観望会・2D上映会	曇り時々雨	×	51	3	6	0	22	1	0	2	32	3	0	60
9月16日	天体観望会・2D上映会	雨	×	3	0	1	0	0	0	0	3	1	0	0	4
9月30日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	57	12	27	4	25	1	0	2	58	4	10	100
9月計			2	181	24	61	4	97	3	1	11	141	7	10	270
10月7日	天体観望会・3D上映会	雨のち晴れ	○	21	0	2	2	10	0	0	1	12	2	0	25
10月14日	天体観望会(小型望遠鏡のみ)・3D上映会	曇り	○	4	0	2	0	2	0	0	0	2	2	0	6
10月21日	天体観望会・3D上映会	雨	×	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
10月28日	天体観望会・3D上映会	雨	×	3	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	3
10月計			2	29	0	4	2	13	0	0	1	16	5	0	35
11月11日	天体観望会・3D上映会	曇り時々雨	×	8	1	8	4	10	0	0	1	9	0	1	21
11月18日	天体観望会・3D上映会	曇り時々雨	×	1	0	2	0	0	0	0	3	0	0	0	3
11月25日	天体観望会・3D上映会	晴れ時々曇り	○	65	4	10	6	23	8	0	11	35	8	0	85
11月計			1	74	5	20	10	10	0	0	1	9	0	1	109
12月2日	天文学講座・天体観望会・3D上映会	晴れ時々曇り	○	64	8	13	7	20	2	0	15	44	8	3	92
12月9日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	39	0	5	1	14	3	0	6	19	3	0	45
12月16日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	18	0	1	0	5	1	0	4	9	0	0	19
12月計			3	121	8	19	8	39	6	0	25	72	11	3	156
3月24日	天文学講座・天体観望会・3D上映会	晴れのち曇り	○	40	25	19	1	15	3	0	11	42	14	0	85
3月31日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	6	3	11	3	10	0	0	2	9	2	0	23
3月計			2	46	28	30	4	25	3	0	13	51	16	0	108
合計			20	990	143	285	52	440	29	19	135	632	82	45	1,470

平成30(2018)年度

イベント	天候状況	※観望会開催	京都市	京都府	近畿地区	その他府県	小学生以下	中学生	高校生	大学生	一般60未満	一般60以上	その他(未記入)	計
4月7日 天体観望会・3D上映会	雨のち曇り	×	0	3	2	0	1	1	0	0	3	0	0	5
4月14日 天体観望会・3D上映会	雨のち曇り	×	2	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	3
4月21日 天体観望会・3D上映会	晴れ	○	58	1	15	1	23	0	0	17	29	6	0	75
4月28日 天体観望会・3D上映会	晴れ	○	37	1	6	1	10	0	0	14	16	3	2	45
4月 計		2	97	5	24	2	35	1	0	32	49	9	2	128
5月12日 天体観望会・3D上映会	曇り	○	52	1	12	2	22	5	1	2	29	8	0	67
5月19日 天文学講座・天体観望会・3D上映会	曇り時々雨	×	36	1	9	1	2	0	0	7	17	21	0	47
5月26日 天体観望会・3D上映会	晴れ	○	48	3	15	0	24	1	1	3	32	1	4	66
5月 計		2	136	5	36	3	48	6	2	12	78	30	4	180
6月2日 天体観望会・3D上映会	晴れ	○	95	4	4	0	39	1	0	3	50	10	0	103
6月 計		1	95	4	4	0	39	1	0	3	50	10	0	103
7月14日 天体観望会・3D上映会	晴れ	○	86	17	19	4	44	2	9	12	55	4	0	126
7月21日 天文学講座・天体観望会・3D上映会	晴れ	○	100	0	21	0	28	4	4	19	52	14	0	121
7月 計		2	186	17	40	4	72	6	13	31	107	18	0	247
8月4日 天体観望会・3D上映会・講演会	晴れ	○	192	21	34	6	93	8	3	11	108	16	14	253
8月18日 天体観望会・3D上映会・講演会	晴れ	○	184	16	30	9	79	10	3	6	123	15	3	239
8月 計		2	376	37	64	15	172	18	6	17	231	31	17	492
9月9日 天体観望会・3D上映会	曇り時々雨	×	2	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2
9月15日 天体観望会・3D上映会	曇り時々雨	×	5	0	3	2	1	0	0	2	3	4	0	10
9月22日 天体観望会・3D上映会	曇り時々晴れ	○	49	8	12	4	24	0	0	9	36	4	0	73
9月29日 天体観望会・3D上映会	雨	×	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9月 計		1	56	8	15	6	26	0	0	11	40	8	0	85
10月13日 天体観望会・3D上映会	曇り	○	28	0	4	0	11	1	0	3	17	0	0	32
10月20日 天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	42	6	19	3	19	1	9	4	29	8	0	70
10月27日 天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	21	0	31	2	17	7	1	4	18	5	2	54
10月 計		3	91	6	54	5	47	9	10	11	64	13	2	156
11月10日 天体観望会・3D上映会	晴れ	○	130	12	4	3	83	0	0	6	49	11	0	149
11月17日 天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	21	7	19	2	25	0	0	0	31	3	0	59
11月24日 天体観望会・3D上映会	晴れ	○	38	10	13	1	22	1	0	4	31	4	0	62
11月 計		3	130	12	4	3	83	0	0	6	49	11	0	270
12月1日 天体観望会・3D上映会	曇り時々晴れ	○	16	7	7	2	10	1	0	3	17	1	0	32
12月8日 天体観望会・3D上映会	晴れ時々曇り	○	20	12	8	2	7	0	3	4	20	8	0	42
12月15日 天体観望会・3D上映会	晴れ時々曇り	○	34	4	8	1	13	1	0	13	18	1	0	46
12月22日 天文学講座・天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	43	6	21	9	5	1	7	13	37	16	0	79
12月 計		4	113	29	44	14	35	3	10	33	92	26	0	199
3月23日 天文学講座・天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	30	37	19	2	17	0	6	9	43	13	0	88
3月30日 天体観望会・3D上映会	雨	×	3	0	0	3	0	1	0	1	4	0	0	6
3月 計		1	33	37	19	5	17	1	6	10	47	13	0	94
合計		21	1313	160	304	57	574	45	47	166	807	169	25	1954

資料3 天文台講座・天文学入門講座・天文学講座 開催一覧

平成22(2010)年度 天文台講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	6月26日	15:00～16:00	宇宙の秩序と階層構造	中道 晶香 神山天文台専門員
2	9月11日	15:00～16:30	彗星(ほうき星)と私たちの地球	河北 秀世 神山天文台長
3	12月11日	16:00～17:30	銀河の中は、爆発だらけ	新井 彰 神山天文台特定研究員
4	3月5日	16:00～17:30	近赤外線“目”で宇宙を見る	吉川 智裕 神山天文台専門員

平成23(2011)年度 天文台講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	6月18日	15:00～16:30	神山天文台開設1周年記念講演会 第1部 宇宙生命に挑む～天文学からのアプローチ～ 第2部 彗星(ほうき星)とは？研究の最前線	渡部 潤一 国立天文台教授 河北 秀世 神山天文台長
2	9月10日	15:00～16:30	ここまで見えてきた宇宙と地球の歴史	三好 蕃 理学部教授(神山天文台研究員)
3	12月10日	15:00～16:30	宇宙の蛋気楼	米原 厚憲 理学部准教授(神山天文台研究員)
4	3月3日	15:00～16:30	私たちが住む銀河	長尾 透 京大宇宙白眉プロジェクト 特定准教授

平成23(2011)年度 天文学入門講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	5月14日	15:00～16:30	太陽、太陽望遠鏡を用いたプロミネンスと黒点観察	中道 晶香 神山天文台専門員
2	5月21日	15:00～16:30	太陽における核融合反応	中道 晶香 神山天文台専門員
3	6月11日	15:00～16:30	スペクトルの観察	中道 晶香 神山天文台専門員
4	6月25日	15:00～16:30	スペクトル続編	中道 晶香 神山天文台専門員
5	7月2日	15:00～16:30	ドップラー効果	中道 晶香 神山天文台専門員
6	7月9日	15:00～16:30	天体観測技術の発展と銀河の観測	中道 晶香 神山天文台専門員
7	7月16日	15:00～16:30	望遠鏡の仕組み	中道 晶香 神山天文台専門員
8	10月8日	15:00～16:30	天体の運行と月の話	中道 晶香 神山天文台専門員
9	10月15日	15:00～16:30	天王星と海王星	中道 晶香 神山天文台専門員
10	10月22日	15:00～16:30	木星と太陽系概観	中道 晶香 神山天文台専門員
11	10月29日	15:00～16:30	恒星の誕生、太陽系の形成	中道 晶香 神山天文台専門員
12	11月12日	15:00～16:30	恒星の構造と進化	中道 晶香 神山天文台専門員
13	11月26日	15:00～16:30	赤色巨星以降の進化	中道 晶香 神山天文台専門員
14	12月3日	15:00～16:30	中性子星とブラックホール、銀河	中道 晶香 神山天文台専門員
15	12月17日	15:00～16:30	宇宙論	中道 晶香 神山天文台専門員

平成24(2012)年度 天文学入門講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	5月19日	15:00～16:30	太陽と金環日食	中道 晶香 神山天文台専門員
2	6月9日 (特別編)	15:00～16:30	天文学の世界史 ～四大文明からメソポタミアまで～	廣瀬 匠 京都大学大学院文学研究科 博士後期課程大学院生
3	6月23日	15:00～16:30	空の周期	中道 晶香 神山天文台専門員
4	7月7日	18:00～18:45	織姫星と彦星	河北 秀世 理学部教授/神山天文台長
5	7月28日	15:00～16:30	虹のひみつ	中道 晶香 神山天文台専門員
6	8月25日	15:00～16:30	光と望遠鏡	中道 晶香 神山天文台専門員
*7	9月10日	15:00～16:30	宇宙の観測	池田 優二 理学部准教授/神山天文台研究員
8	9月29日 (特別編)	15:00～16:30	天文観測装置の最先端 ～金赤外線高分散分光器の開発～	近藤 荘平 神山天文台特定研究員
9	10月20日	15:00～16:30	星間物質と星形成	中道 晶香 神山天文台専門員
10	11月10日	15:00～16:30	恒星	中道 晶香 神山天文台専門員
11	12月8日 (特別編)	15:00～16:30	神山天文台の観測研究 ～系外惑星と近接連星系の研究～	磯貝 瑞希 神山天文台特定研究員
12	12月22日	15:00～16:30	クリスマスの星	河北 秀世 理学部教授/神山天文台長
13	1月12日	15:00～16:30	太陽系と惑星	中道 晶香 神山天文台専門員
14	2月16日	15:00～16:30	銀河と銀河団	中道 晶香 神山天文台専門員
15	3月2日 (特別編)	15:00～16:30	太陽系外惑星とコロナグラフ	塩谷 圭吾 宇宙航空研究開発機構(JAXA) 助教
16	3月9日	15:00～16:30	宇宙の始まりと進化	中道 晶香 神山天文台専門員

*第7回は、講師の都合により、中止とした。

平成25(2013)年度 天文学入門講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	4月20日	15:00~16:30	太陽	中道 晶香 神山天文台主任研究員
2	5月18日	15:00~16:30	空の周期、望遠鏡	中道 晶香 神山天文台主任研究員
3	6月8日 (特別編)	15:00~16:30	見えない光で銀河をさぐる	高妻 真次郎 中京大学国際教養学部准教授
4	7月6日 (特別編)	18:00~18:45	七夕の星と銀河たち	吉川 智裕 神山天文台博士研究員
5	7月27日	15:00~16:30	虹のひみつ	中道 晶香 神山天文台主任研究員
6	9月28日 (特別編)	15:00~16:30	金星探査機「あかつき」が解き明かす 大気スーパーローテーションの謎	高木 征弘 理学部准教授
7	10月19日	14:30~16:00	恒星の一生	中道 晶香 神山天文台主任研究員
8	11月9日	14:30~16:00	太陽系と惑星	中道 晶香 神山天文台主任研究員
9	12月7日 (特別編)	14:30~16:00	天体を細かく見るための観測技術	藤代 尚文 神山天文台専門員
10	12月21日	14:30~16:00	宇宙の過去・現在・未来	中道 晶香 神山天文台主任研究員
11	3月29日 (特別編)	15:00~16:30	荒木望遠鏡で探る新星の世界	新井 彰 兵庫県立西はりま天文台 天文学研究員

平成26(2014)年度 天文学講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	5月17日	15:00~16:30	素粒子の質量、宇宙の質量	杉山 弘晃 益川塾博士研究員
2	7月5日 (特別講座)	17:00~18:00	七夕伝説の星座と天の川	中道 晶香 神山天文台主任研究員
3	8月2日	16:00~18:00	星空の彼方の大宇宙	大西 浩次 長野工業高等専門学校教授/天文学者/星景写真家
4	10月18日	14:30~16:00	目に見えない光で観る惑星のすがた	佐川 英夫 理学部准教授
5	12月20日 (特別講座)	15:00~16:30	はやぶさ2が目指すもの 「はやぶさ2の開発の裏側—衝突の瞬間を捉える」	河北 秀世 理学部教授/神山天文台長 池田 優二 フォトコーディネーター/神山天文台客員研究員
6	3月28日	15:00~16:30	神山天文台 バックヤードツアー	中道 晶香 神山天文台主任研究員 中西 賢之 神山天文台嘱託職員

平成27(2015)年度 天文学講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	4月4日	17:30~18:00	皆既月食解説講座	中道 晶香 神山天文台主任研究員
2	5月16日	15:00~16:30	地球惑星科学振興西田賞 受賞記念講演 「太陽系の起源を求めて」	河北 秀世 理学部教授/神山天文台長
3	7月5日 (特別講座)	17:00~18:00	世界の星座と七夕の星座	中道 晶香 神山天文台主任研究員
4	10月24日	14:30~16:00	小型屈折補償光学装置(CRAO)の開発	藤代 尚文 神山天文台専門員
5	12月19日 (特別講座)	14:30~16:00	星空の多くの地球たちへ	大西 浩次 長野工業高等専門学校教授/天文学者/星景写真家
6	3月26日	15:00~16:30	星が光るのはなぜ?	加藤 賢一 岡山理科大学教授/元大阪市立科学館館長

平成28(2016)年度 天文学講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	6月11日	15:00~16:30	重力波の直接検出とは?	中道 晶香 神山天文台主任研究員
2	7月9日 (特別講座)	17:00~18:00	七夕の星々と天の川	河北 秀世 理学部教授/神山天文台長
3	10月8日	14:30~16:00	太陽フレアと恒星スーパーフレア	野上 大作 京都大学大学院理学研究科准教授
4	12月24日 (特別講座)	14:30~16:00	古墳天井に星が輝く—キトラ天文図	宮島 一彦 前・同志社大学教授/中之島科学研究所研究員
5	3月25日	15:00~16:30	南天の星空を目指して	福江 慧 神山天文台研究員 大坪 翔梧 理学研究科 修士課程

平成29(2017)年度 天文学講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	5月27日	15:00~16:30	探査機が見た太陽系天体たち	小林 仁美 Estrista 代表
2	7月8日	17:00~17:45	天の川と超巨大質量ブラックホール	中道 晶香 神山天文台主任研究員
3	12月2日	14:30~16:00	宇宙の果ての銀河地図	市川 隆 東北大学名誉教授
4	3月24日	15:00~16:30	惑星間ダスト~塵もつもれば〇〇となる!?~	猿楽 祐樹 神山天文台主任研究員

平成30(2018)年度 天文学講座

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	5月19日	15:00~16:30	彗星と海、そして生命	河北 秀世 本学理学部長・教授/神山天文台長
2	7月21日	15:00~16:30	火星移住とその先にあるもの	中串 孝志 和歌山大学観光学部准教授/国際観光学研究センター研究員
3	12月22日	14:30~16:00	宇宙の謎 なぜ私たちはここにいるのか?	谷口 義明 放送大学教授
4	3月23日	15:00~16:30	望遠鏡で拡大しても見えない星の姿を見るには?	新中 善晴 神山天文台研究員

資料4 平成21(2009)年度～平成30(2018)年度 新聞等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	広報媒体 (新聞、テレビ等)	広報媒体名 (〇〇新聞等)	記事名
平成21年度 (2009)	1	2009/12/22	新聞	MSN産経ニュース	京産大の天文台が完成 口径1.3メートル、国内私立最大
	2	2009/12/23	新聞	中日新聞	口径1.3メートル光学望遠鏡を設置 京産大に天文台完成 来春運用へ
	3	2009/12/23	新聞	京都新聞	私大最大 星空への瞳
	4	2009/12/23	新聞	毎日新聞	雑記帳
	5	2009/12/23	新聞	読売新聞	京産大の天文台 完成
	6	2009/12/24	新聞	朝日新聞	京産大に天文台完成 望遠鏡口径国内6番目
	7	2009/12/27	新聞	産経新聞	宇宙を望むような大きな挑戦を
	8	2010/3/10	新聞	産経新聞	京都から銀河を観測
	9	2010/3/14	新聞	京都新聞	巨大望遠鏡に興味津々
	10	2010/3/27	新聞	読売新聞	星をたずねて
平成22年度 (2010)	1	2010/4/4	新聞	読売新聞	京都産業大学神山天文台の一般公開
	2	2010/4/4	新聞	京都新聞	京の星空「宝石みたい」京産大「神山天文台」を公開
	3	2010/4/26	新聞	読売新聞	京産大に大型望遠鏡
	4	2010/5/7	新聞	京都新聞	神山天文台の開設 モノづくり教育と知の還元
	5	2010/5/25	新聞	毎日新聞	京都産業大学の真価
	6	2010/6/1	情報誌	ガクセン	京都産業大学に大型天体望遠鏡を設置した天文台が完成!
	7	2010/6/1	新聞	THE JUNIOR TIMES	星の集まりの謎を解き明かす 京都産業大学神山天文台専門員
	8	2010/6/12	雑誌	週刊ダイヤモンド	宇宙視標の視点で人間を見つめる天文台
	9	2010/6/15	新聞	京都新聞	七夕に最新宇宙知ろう
	10	2010/6/19	情報誌	リビング京都(中央・東南・西南)	天文台&プラネタリウムで`星空の旅`へ出かけよう
	11	2010/6/2	新聞	毎日新聞	支局長さんからの手紙 はやぶさ君
	12	2010/7/2	新聞	産経新聞	全国同時七夕講演会
	13	2010/7/28	新聞	京都新聞	京産大神山天文台高校生向けに講座(No.27の下に貼付分)
	14	2010/8/2	新聞	産経新聞	3Dで望遠鏡で...`宇宙の旅`
15	2010/8/25	新聞	毎日新聞	京都産業大学第2回天文台講座「彗星(ほうきほし)と私たちの地球」	
16	2010/9/1	新聞	大学新聞71号	中学生、高校生と宇宙を探る	
17	2010/9/13	Webサイト	Astro Arts 天文ニュース	西山さんと椎島さん、わし座に新星を発見	
18	2010	情報誌	京のみどり 56号	歴史と文化を未来につなぐ 賀茂川周辺のみどりを歩く	
19	2010	情報誌	京阪ニュース Kプレス 10月号 vol.139	京都産業大学 神山天文台	
20	2010/12/9	新聞	京都新聞	京産大天文講座 小学生以上募る	
21	2010/12/22	新聞	産経新聞	小学生ら対象に天文のイベント	
22	2010	雑誌	なび①修学旅行フリータイムガイドブック京都奈良	一足お先にキャンパスライフ	
23	2011/1/1	その他	進研ゼミ高1講座 高1MyVision 2011.1月号	いざキャンパスジャーニーへ!	
24	2011/2/26	情報誌	リビング京都中央	子どもも大人も星空の世界へ	

資料4 平成21(2009)年度～平成30(2018)年度 新聞等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	広報媒体 (新聞、テレビ等)	広報媒体名 (〇〇新聞等)	記事名
平成23年度 (2011)	1	2011/4/24	新聞	読売新聞	やわらか頭で広がる答え
	2	2011/5/1	雑誌	週刊ダイヤモンド 2011.5.14号	ダイヤモンド21c 京都産業大学
	3	2011/5/22	新聞	京都新聞	京都 まなびの系譜 宇宙を見つめて 新設の天文台 膨らむ夢
	4	2011/6/2	新聞	京都新聞	最新の天体研究語る
	5	2011/6/6	新聞	毎日新聞	京都産業大学神山天文台講座
	6	2011/6/7	新聞	朝日新聞	京都産業大学神山天文台 開設1周年記念講演会
	7	2011/6/10	新聞	京都新聞	京産大生ら学内天文台超新星確認
	8	2011/7/2	新聞	京都新聞	天文や七テラマ全国同時講演会
	9	2011/7/2	Webサイト	大学プレスセンター	2011年全国同時七夕講演会「七夕の星と天の川～中国から伝わった星図屏風～」を開催—京都産業大学
	10	2011/7/31	新聞	読売新聞	星の便り～時空を超えて～
	11	2011/8/9	新聞	京都新聞	未来の科学者 育ってます
	12	2011/8/30	新聞	読売新聞	京都産業大学 神山天文台 一般公開のご案内
	13	2011/9/1	新聞	朝日新聞	星の美しさにウットリ
	14	2011/10/5	新聞	京都新聞	神山天文台の研究活動紹介
	15	2011/10/8	新聞	産経新聞	産学連携で観測機器の開発
	16	2011/12/1	情報誌	日経グローバル No.185 2011.12.5号	地域内の連携・競争がハネに
	17	2011/12/1	情報誌	日経グローバル No.185 2011.12.5号	一押しプロジェクト
	18	2011/12/3	新聞	産経新聞、朝日新聞、京都新聞	自分たちがつくった観測装置が宇宙の進化を解き明かす
	19	2011/12/9	新聞	京都新聞	重力レンズ現象解説あす天文学講演会
	20	2011/12/10	新聞	京都新聞	京都産業大学神山天文台講座「宇宙の蟹気楼」
	21	2011/12/11	新聞	京都新聞	宇宙の蟹気楼広がる夢
	22	2011/12/17	新聞	産経新聞	高性能の天体観測装置開発
	23	2011/12/21	新聞	京都新聞	世界一の観測 星の謎解く
	24	2011/12/23	新聞	京都新聞	ベツレヘムの星 天文台長が講演
	25	2012/1/11	新聞	京都新聞	宇宙の魅力発信へ連携
	26	2012/2/1	新聞	京都新聞	星空を仰いでごらん
	27	2012/3/21	新聞	毎日新聞	先進望遠鏡で宇宙を解析
平成24年度 (2012)	1	2012/7/23	Web版新聞	swissinfo.ch web版	最遠の超新星の跡発見
	2	2012/7/23	Web版新聞	中日新聞web版	119億光年先に最遠超新星跡
	3	2012/7/24	新聞	京都新聞	119億光年先に最遠超新星跡
	4	2012/8/29	新聞	京都新聞	ハートレイ慧星ガス分析に成功
	5	2012/8/30	Webサイト	マイナビニュース	京産大・神山天文台、NASAの「EPOXI慧星探査計画」の地上支援の成果を発表
	6	2012/9/21	新聞	京都新聞	天文学入門 京産大で講座
	7	2012/9/23	新聞	読売新聞	嵐山で中秋の名月法輪寺などで催し
	8	2012/9/30	新聞	京都新聞	京の文化施設学生無料
	9	2012/10/2	新聞	毎日新聞	最新の超新星跡を発見
	10	2012/11/5	新聞	京都新聞	私立最大の反射式望遠鏡
	11	2013/2/28	新聞	日本経済新聞	市民も楽しめる大学のミュージアム「巨大望遠鏡で宇宙を実感」京都産業大学神山天文台

資料4 平成21(2009)年度～平成30(2018)年度 新聞等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	広報媒体 (新聞、テレビ等)	広報媒体名 (〇〇新聞等)	記事名
平成25年度 (2013)	1	2013/4/10	その他	京都修学旅行バスレポート	京都産業大学 神山天文台
	2	2013/4	Webサイト	JS日本の学校 体験イベントin大学	夏休み工作教室/天文学入門講座
	3	2013/4/11	新聞	日本経済新聞	近畿特集 天文学入門講座の紹介
	4	2013/4/18	新聞	京都新聞	天文学入門講座の紹介
	5	2013/5/29	新聞	京都新聞	「見えない光」で探る銀河研究を学ぼう 8日京産大で
	6	2013/7/26	新聞	京都新聞	京産大神山天文台 入門講座と観望会
	7	2013/7/26	新聞	読売新聞	虹の秘密 解き明かせ 京都産業大、あす講座
	8	2013/7/28	新聞	京都新聞	特殊フィルムで虹の見え方観察
	9	2013	雑誌	なるほど地図帳 日本2014	京都産業大学 神山天文台
	10	2013	情報誌	マナビズム Go to 大学 キャンパス調査隊	神山天文台
	11	2013/10/15	情報誌	TOKK 10月15日号	天文台からばらばら宇宙の旅へ 京都産業大学 神山天文台
	12	2013/10/23	新聞	日刊工業新聞	京都産業大学 神山天文台 マスコットキャラクター作製
	13	2013/11/2	新聞	京都新聞	「大学ツアー」人気上昇
	14	2013/11/8	雑誌	修学旅行アワータイムが「イッパツ」旅なび京都・奈良	京都産業大学 神山天文台
	15	2013/11/23	新聞	京都新聞	アイソン彗星の成分分析
	16	2013/11/24	新聞	日本経済新聞	初期の太陽系、彗星に痕跡
	17	2013/11/27	新聞	京都新聞	アイソン彗星 催し多数
	18	2013/12/1	新聞	産経新聞	アイソン彗星 まだ見られる?
	19	2013/12/5	新聞	京都新聞	天文学入門講座特別編「天体を細かく見るための観測技術」
	20	2013/12/8	新聞	読売新聞	彗星の動向 見通す難しさ
	21	2013/12/15	雑誌	大学ジャーナル vo.108	京都の街中から世界に挑む 神山天文台
	22	2014/2/20	Webサイト	Astro Arts 天文ニュース	アイソン彗星のアンモニアから太陽系誕生の記憶をたどる
	23	2014/2/21	新聞	京都新聞	アイソン彗星にアンモニア 京産大など分析
	24	2014/2/21	新聞	赤旗新聞	アイソン彗星 崩壊前の観測 太陽系の謎解クイントに
	25	2014/2/24	新聞	京都新聞	子ども「科学者」研究発表
	26	2014/2/24	Webサイト	マイナビニュース	すばる望遠鏡、アイソン彗星から単独彗星では初となる「15NH2」を検出
	27	2014/2/28	新聞	読売新聞	工作や実験 子供と交流 学生らアドバイス
	28	2014/3/27	新聞	読売新聞	新星現象 専門家が解説
	29	2014/3/9	新聞	京都新聞	ソフィアがやってきた 天の川に探る 宇宙の神秘
	30	2013	その他	student days	京都産業大学 神山天文台
	1	2014/5/2	新聞	京都新聞	言葉の力
	2	2014/5/14	新聞	毎日新聞	京都産業大学神山天文台 天文学講座
	3	2014/6/27	Webサイト	学研教育出版 進学情報サイト「ガクセイト」	京都産業大「天文学講座 星空の彼方の大宇宙」を開催
	4	2014/7/4	新聞	産経新聞	3000光年の彼方 地球に似た惑星
	5	2014/7/4	Web版新聞	京都新聞	地球に質量が似た惑星発見 3000光年離れた「連星」で
	6	2014/7/4	Web版新聞	北海道新聞	地球に質量が似た惑星発見 3000光年離れた「連星」で
	7	2014/7/4	Web版新聞	佐賀新聞	地球に質量が似た惑星発見 3000光年離れた「連星」で
	8	2014/7/9	雑誌	天文ガイド	天体観望会・第2回天文学講座案内

資料4 平成21(2009)年度～平成30(2018)年度 新聞等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	広報媒体 (新聞、テレビ等)	広報媒体名 (〇〇新聞等)	記事名	
平成26年度 (2014)	9	2014/7/10	雑誌	文藝春秋	星に願いを	
	10	2014/7/22	新聞	読売新聞	宇宙兄弟展 30日、いよいよ開幕	
	11	2014/7	情報誌	京都・洛北フリーペーパー あべきた	天体観望会・第2回天文学講座案内	
	12	2014/8/7	新聞	読売新聞	天文台で星空眺めよう	
	13	2014/8/7	情報誌	日経REVIEWE	京阪神の天体観測イベント	
	14	2014/8/14	新聞	読売新聞	「宇宙兄弟」小山さん 高校生と天文台訪問	
	15	2014/8/16	新聞	読売新聞	宇宙兄弟展 体験教室・講座も	
	16	2014/8/24	新聞	京都新聞	夏の大三角形に思いはせ	
	17	2014/8/24	新聞	読売新聞	京産大生が星の世界案内	
	18	2014/8/25	新聞	読売新聞	太陽系外の微粒子7個	
	19	2014/9/27	新聞	読売新聞	京産大 x 宇宙兄弟展 失敗恐れず、チャレンジしよう!	
	20	2014.10.9	新聞	京都新聞	赤い月 京にも	
	21	2014/10/19	新聞	日本経済新聞	彗星へ着陸機を放て	
	22	2014/10/23	新聞	毎日新聞	彗星に着陸 新発見期待	
	23	2014/11/13	新聞	毎日新聞	探査機 彗星に初上陸	
	24	2014/11/19	新聞	読売新聞	彗星の気体から有機物	
	25	2015/1/10	Web版新聞	京都新聞	冬の星空の魅力、児童学ぶ	
	26	2015/2/14	情報誌	リビング京都	夜空からのメッセージはふたご星から	
	27	2015/2/17	新聞	京都新聞	銀河に炭素分子多数 京産大などグループ 恒星の光から観測	
	28	2015/2/19	新聞	京都新聞	新星爆発でリチウム、京産大などが初観測 元素増えた過程解明へ	
	29	2015/2/28	新聞	京都新聞	太陽系微量物質の一部、新星爆発に由来 京産大グループ、天体観測で実証	
	30	2014	その他	student days	京産大 x 宇宙兄弟展 神山天文台	
	31	2014	雑誌	なるほど地図帳 日本2015	京産大 x 宇宙兄弟展 神山天文台	
	32	2014	雑誌	きょうと修学旅行ナビ	京産大 x 宇宙兄弟展 神山天文台	
	33	2014	雑誌	旅なび修学旅行 京都&奈良	京産大 x 宇宙兄弟展 神山天文台	
	34	2014	その他	京都修学旅行バスポート	京産大 x 宇宙兄弟展 神山天文台	
	平成27年度 (2015)	1	2015/4/1	新聞	産経新聞	京産大・河北教授に西田賞
		2	2015/4/23	新聞	岐阜新聞	宇宙に巨大有機分子か、東大・京産大チーム 新装置で赤外線分析
		3	2015/4/23	新聞	山陽新聞	宇宙に巨大有機分子
		4	2015/4/23	新聞	山形新聞	宇宙に巨大有機分子か、東大、京産大 新装置で「吸収線」15本発見
		5	2015/4/23	新聞	四国新聞	宇宙に巨大有機分子? 赤外線分析で新装置
		6	2015/4/23	新聞	大分合同新聞	宇宙に巨大有機分子か、新装置で赤外線領域分析
		7	2015/4/23	新聞	中国新聞	宇宙に巨大有機分子か
		8	2015	Webサイト	JSコーポレーション 日本の学校	天体観望会、七夕講演会
9		2015/8	広報誌	KRP-Week	藤代専門員講演「京産大 x 神山天文台における装置開発と人材育成: 補償光学装置の開発事例」	
10		2015/6/23	新聞	熊本日日新聞	京産大 x 宇宙兄弟展 宇宙テーマに講演	
11		2015/7/9	新聞	京都新聞	赤外線の見極め 段階、京産大 キヤノンなど光学部品開発	
12		2015/7/9	新聞	日刊工業新聞	赤外線光学素子を開発 京産大など	

資料4 平成21(2009)年度～平成30(2018)年度 新聞等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	広報媒体 (新聞、テレビ等)	広報媒体名 (〇〇新聞等)	記事名
	13	2015/7/14	新聞	日刊工業新聞	"光の束"期待
	14	2015/7/14	新聞	日経新聞	西田賞受賞記念講演「太陽系の起源を求めて」
	15	2015/6/4	新聞	中日新聞	天文学のきら星 京産大 科学誌掲載私立1位
	16	2015	雑誌	エルマガジン社 エコトリップ京都	京都産業大学 神山天文台
	17	2015/8/24	新聞	読売新聞	飛び出す宇宙 瞳キラリ(神山天文台ホーリー・ム岩倉図書館コラボ)
	18	2015	雑誌	なるほど地図帳 日本2016	京都産業大学 神山天文台
	1	2016	Webサイト	きょうと修学旅行ナビ	天文学習の紹介
	2	2016	Webサイト	USコーポレーション 日本の学校	天体観望会、七夕観望会
	3	2016	雑誌	関西の大学を楽しむ本	京都産業大学 神山天文台
	4	2016/6/8	新聞	京都新聞	「科学スコープ@キャンパス」暗黒星雲「物作り」で迫る 京産大神山天文台 高精度分光器で内部観測成功
	5	2016/6/17	Web版新聞	朝日新聞デジタル	京都産業大学神山天文台 世界初！「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	6	2016/6/17	Web版新聞	京都新聞	京都産業大学神山天文台 世界初！「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	7	2016/6/17	Web版新聞	ZDNet Japan	京都産業大学神山天文台 世界初！「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	8	2016/6/17	Web版新聞	共同通信 PR Wire	京都産業大学神山天文台 世界初！「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	9	2016/6/17	Web版新聞	CNET Japan	京都産業大学神山天文台 世界初！「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	10	2016/6/17	Web版新聞	奈良新聞	京都産業大学神山天文台 世界初！「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	11	2016/6/17	Web版新聞	沖縄タイムス	京都産業大学神山天文台 世界初！「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	12	2016/6/17	Web版新聞	OPTRONICS ONLINE	京都産業大学神山天文台 世界初！「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	13	2016/6/17	Web版新聞	zakzak by タ刊フジ	京都産業大学神山天文台 世界初！「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	14	2016/6/30	情報誌	北区じかん vo.3 2016夏号	京都産業大学神山天文台 世界初！「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功
	15	2016/7/1	情報誌	関東タイムス 8月号	神山天文台 天体観望会紹介
	16	2016/7/3	新聞	京都新聞	星を観に行こう！一わくわく天体観望のすずめー
	17	2016/7/12	TV	NHK あさいち	「最新線 京滋ビジネス 西村製作所」(京都産業大学神山天文台 荒木望遠鏡 掲載)
	18	2016/8/5	Twitter	twitter(ニッセン)	神山天文台 天体観望会紹介(テレビ放送)
	19	2016/9/24	新聞	京都新聞	ニッセンのtwitter(@nissen)にて神山天文台の紹介
	20	2016/10/4	TV	関西テレビ ワンダー	京産大グループ 新星での分子生成メカニズムを解明
	21	2016/11/19	情報誌	リビンク京都中央	神山天文台の紹介(テレビ放送)
	22	2017/1/24	Web版新聞	福井新聞	澄んだ空気の中で楽しむ冬の星座(天体観望会の紹介)
	23	2017/1/24	Web版新聞	山形新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台
	24	2017/1/24	Web版新聞	岩手日報	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台
	25	2017/1/24	Web版新聞	徳島新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台
	26	2017/1/24	Web版新聞	中日新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台
	27	2017/1/24	Web版新聞	大阪日日新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台
	28	2017/1/24	Web版新聞	沖縄タイムズ	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台
	29	2017/1/24	Web版新聞	琉球新報	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台
	30	2017/1/24	Web版新聞	山陰中央新報	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台
	31	2017/1/24	Web版新聞	長崎新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台
	32	2017/1/24	Web版新聞	宮崎日日新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台

平成28年度
(2016)

資料4 平成21(2009)年度～平成30(2018)年度 新聞等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	広報媒体 (新聞、テレビ等)	広報媒体名 (〇〇新聞等)	記事名	
平成29年度 (2017)	33	2017/1/24	Web版新聞	神戸新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	34	2017/1/24	Web版新聞	福島民報	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	35	2017/1/24	Web版新聞	佐賀新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	36	2017/1/24	Web版新聞	静岡新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	37	2017/1/24	Web版新聞	岐阜新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	38	2017/1/24	Web版新聞	デーリー東北	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	39	2017/1/24	Web版新聞	高知新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	40	2017/1/24	Web版新聞	河北新報	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	41	2017/1/24	Web版新聞	千葉日報	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	42	2017/1/24	Web版新聞	東京新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	43	2017/1/24	Web版新聞	北海道新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	44	2017/1/24	Web版新聞	南日本新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	45	2017/1/24	Web版新聞	日本海新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	46	2017/1/24	Web版新聞	福島民友新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	47	2017/1/24	Web版新聞	上毛新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	48	2017/1/24	Web版新聞	山陽新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	49	2017/1/24	Web版新聞	愛媛新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	50	2017/1/24	Web版新聞	京都新聞	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	51	2017/1/24	Web版新聞	共同通信	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	52	2017/1/24	Web版新聞	産経フォト	最小探査機が彗星観測に成功 世界初、国立天文台	
	53	2017/2/2	新聞	毎日新聞	赤外線をつかめ銀河の謎 京産大が世界最高精度分析装置を開発、南米チリで観測 天体観望会	
	平成29年度 (2017)	1	2017	Webサイト	JSコーポレーション 日本の学校	天体観望会
		2	2017	雑誌	なるほど地図帳 日本2017	京都産業大学 神山天文台
		3	2017/5/5	新聞	読売新聞	『サイエンスBOX』研究を続ける情熱が、新たな発見を生む 河北 秀世 京都産業大学神山天文台長
		4	2017/5/25	新聞	京都新聞	天文学講座「探査機が見た太陽系天体たち」
		5	2017/6/6	新聞	朝日新聞	『まなびバ！ 大学編』 京都産業大学 新シンボルは天文台
		6	2017/6/20	新聞	京都新聞	『いのちとの伴走 PS細胞誕生10年 第5部 膨らむ夢の殻で③』京都産業大学神山天文台研究員 新井彰
7		2017/9/16	新聞	日本経済新聞	『キャンパス新景』京都産業大 巨大な望遠鏡 ロマンを追う	
8		2017/10/12	新聞	京都新聞	神山天文台マスコットキャラクター「ほしみ〜るちゃん」無料通信アプリLINEスタンプ	
9		2018/3/20	雑誌	大学時報 2018年3月号	たいがくのたから 京都産業大学 神山天文台	
平成30年度 (2018)	1	2018/4/4	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天体観望会	
	2	2018/4/11	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天体観望会	
	3	2018/5/2	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天体観望会	
	4	2018/5/9	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天体観望会	
	5	2018/5/16	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天文学講座「彗星と海、そして生命」	
	6	2018/5/30	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天体観望会	
	7	2018	Webサイト	JSコーポレーション 日本の学校	体験イベントin大学「夏の夜空のビッグフェス〜七夕の宙に思いを馳せて〜」	
	8	2018	Webサイト	JSコーポレーション 日本の学校	体験イベントin大学「夏の夜空のビッグフェス〜七夕の宙に思いを馳せて〜」	

資料4 平成21(2009)年度～平成30(2018)年度 新聞等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	広報媒体 (新聞、テレビ等)	広報媒体名 (〇〇新聞等)	記事名
平成30年度 (2018)	9	2018/7/4	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天体観望会
	10	2018/7/13	雑誌	サギタリウス	キャッチアップ・ワールド「火星大接近」理学部 河北秀世 教授
	11	2018/7/13	雑誌	サギタリウス	おすすめイベントPICK UP『天体観望会』
	12	2018/7/18	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天文学講座「火星移住とその先にあるもの」
	13	2018/7/23	雑誌	京阪神エルマガジン社 月刊『SAVY』9月号	『朝・夜イベントカレンダー』天体観望会 京都産業大学内 神山天文台
	14	2018/8/1	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天体観望会
	15	2018/9/5	雑誌	京阪神エルマガジン社『ひとりで歩く京都本』	京都産業大学 神山天文台『夜が待ち遠しくなる天文台で天体観測』
	16	2018/9/13	新聞	日刊工業新聞	ガス放出に伴う衝撃波観測 東大・京都産大
	17	2018/9/14	Web版新聞	朝日新聞DIGITAL	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	18	2018/9/14	Web版新聞	毎日新聞(デジタル毎日)	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	19	2018/9/14	Web版新聞	AFP通信(AFPBB News)	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	20	2018/9/14	Web版新聞	北海道新聞	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	21	2018/9/14	Web版新聞	中日新聞	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	22	2018/9/14	Web版新聞	河北新聞	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	23	2018/9/14	Web版新聞	新潟日報モア	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	24	2018/9/14	Web版新聞	紀伊長報	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	25	2018/9/14	Web版新聞	OLICON NEWS	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	26	2018/9/14	Web版新聞	Infoseek News	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	27	2018/9/14	Web版新聞	Biglobe ニュース	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	28	2018/9/14	Web版新聞	excite ニュース	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	29	2018/9/14	Web版新聞	@nifty	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	30	2018/9/14	Web版新聞	eltha (OLICON NEWS)	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	31	2018/9/14	Web版新聞	Cnet japan	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	32	2018/9/14	Web版新聞	ZDnet japan	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	33	2018/9/14	Web版新聞	INTERNET.COM	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	34	2018/9/14	Web版新聞	とれまがニュース	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	35	2018/9/14	Web版新聞	財經新聞	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	36	2018/9/14	Web版新聞	mapion ニュース	京都産業大学 神山天文台の最新 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーエートの惑星表面を解明
	37	2018/9/21	雑誌	スタディサプリ『大学の約束』	天文台と観測分析技術で、太陽系や生命誕生の謎に挑戦する 京都産業大学
	38	2018/10/23	新聞	日本経済新聞	『キャンパス新景』京都産業大学 国内私立最大規模の望遠鏡
	39	2018/10/31	新聞	京都新聞	『情報ワイド 大学講座ガイド』京都産業大学 天体観望会
	40	2018/11/5	新聞	日刊工業新聞	ホームズ彗星の起源解明 京都産業大学
	41	2018/11/22	Web版新聞	朝日新聞DIGITAL	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	42	2018/11/22	Web版新聞	毎日新聞(デジタル毎日)	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	43	2018/11/22	Web版新聞	Sankei Biz	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	44	2018/11/22	Web版新聞	AFP通信(AFPBB News)	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	45	2018/11/22	Web版新聞	北海道新聞	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	46	2018/11/22	Web版新聞	中日新聞	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学

資料4 平成21(2009)年度～平成30(2018)年度 新聞等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	広報媒体 (新聞、テレビ等)	広報媒体名 (〇〇新聞等)	記事名
	47	2018/11/22	Web版新聞	河北新報	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	48	2018/11/22	Web版新聞	新潟日報	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	49	2018/11/22	Web版新聞	紀伊民報	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	50	2018/11/22	Web版新聞	OLICON NEWS	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	51	2018/11/22	Web版新聞	Infoseek News	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	52	2018/11/22	Web版新聞	Biglobe ニュース	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	53	2018/11/22	Web版新聞	excite ニュース	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	54	2018/11/22	Web版新聞	@nifty	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	55	2018/11/22	Web版新聞	eltha (OLICON NEWS)	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	56	2018/11/22	Web版新聞	Cnet japan	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	57	2018/11/22	Web版新聞	ZDnet japan	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	58	2018/11/22	Web版新聞	INTERNET COM	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	59	2018/11/22	Web版新聞	とれまがニュース	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	60	2018/11/22	Web版新聞	財經新聞	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	61	2018/11/22	web版新聞	mapion ニュース	多くの謎に満ちている彗星を解き明かす！ホームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 - 京都産業大学
	62	2018/12/5	新聞	京都新聞	『情報ワイド』大学講座ガイド『京都産業大学 天文学講座
	63	2018/12/6	新聞	朝日新聞	京都産業大学 天体観望会
	64	2018/12/11	web版新聞	YOMIURI ONLINE	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	65	2018/12/11	web版新聞	朝日新聞DIGITAL	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	66	2018/12/11	web版新聞	毎日新聞(デジタル毎日)	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	67	2018/12/11	web版新聞	Sankei Biz	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	68	2018/12/11	web版新聞	AFP通信 (AFPBB News)	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	69	2018/12/11	web版新聞	北海道新聞	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	70	2018/12/11	web版新聞	中日新聞	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	71	2018/12/11	web版新聞	河北新報	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	72	2018/12/11	web版新聞	新潟日報モア	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	73	2018/12/11	web版新聞	紀伊民報	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	74	2018/12/11	web版新聞	OLICON NEWS	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	75	2018/12/11	web版新聞	Infoseek News	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	76	2018/12/11	web版新聞	Biglobe ニュース	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	77	2018/12/11	web版新聞	excite ニュース	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	78	2018/12/11	web版新聞	@nifty	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	79	2018/12/11	web版新聞	eltha (OLICON NEWS)	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	80	2018/12/11	web版新聞	Cnet japan	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	81	2018/12/11	web版新聞	ZDnet japan	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	82	2018/12/11	web版新聞	INTERNET COM	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	83	2018/12/11	web版新聞	とれまがニュース	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	84	2018/12/11	web版新聞	財經新聞	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開

資料4 平成21(2009)年度～平成30(2018)年度 新聞等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	広報媒体 (新聞、テレビ等)	広報媒体名 (〇〇新聞等)	記事名
	85	2018/12/11	web版新聞	mapion ニュース	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散ラポ(LIH)が近赤外線波長域の詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	86	2018	情報誌	サギタリウス12月号(学内冊子)	神山天文台 サポートチーム
	87	2019/1/29	Web版新聞	NHK NEWS WEB	低予算で大発見！太陽系の“最果て”に小天体 日本の研究者
	88	2019/1/30	Web版新聞	YOMIURI ONLINE	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	89	2019/1/30	Web版新聞	朝日新聞DIGITAL	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	90	2019/1/30	Web版新聞	毎日新聞(デジタル毎日)	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	91	2019/1/30	Web版新聞	AFP通信(AFPBB News)	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	92	2019/1/30	Web版新聞	北海道新聞	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	93	2019/1/30	Web版新聞	中日新聞	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	94	2019/1/30	Web版新聞	河北新報	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	95	2019/1/30	Web版新聞	新潟日報モア	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	96	2019/1/30	Web版新聞	紀伊長報	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	97	2019/1/30	Web版新聞	OLICON NEWS	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	98	2019/1/30	Web版新聞	Infoseek News	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	99	2019/1/30	Web版新聞	Biglobe ニュース	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	100	2019/1/30	Web版新聞	excite ニュース	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	101	2019/1/30	Web版新聞	@nifty	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	102	2019/1/30	Web版新聞	eltha (OLICON NEWS)	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	103	2019/1/30	Web版新聞	Cnet Japan	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	104	2019/1/30	Web版新聞	ZDnet Japan	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	105	2019/1/30	Web版新聞	INTERNET COM	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	106	2019/1/30	Web版新聞	とれまがニュース	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	107	2019/1/30	Web版新聞	財経新聞	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	108	2019/1/30	Web版新聞	mapion ニュース	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見 --京都産業大学
	109	2019/2/26	Web版新聞	YOMIURI ONLINE	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	110	2019/2/26	Web版新聞	朝日新聞DIGITAL	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	111	2019/2/26	Web版新聞	毎日新聞(デジタル毎日)	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	112	2019/2/26	Web版新聞	Sankei Biz	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	113	2019/2/26	Web版新聞	AFP通信(AFPBB News)	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	114	2019/2/26	Web版新聞	北海道新聞	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	115	2019/2/26	Web版新聞	中日新聞	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	116	2019/2/26	Web版新聞	河北新報	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	117	2019/2/26	Web版新聞	新潟日報モア	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	118	2019/2/26	Web版新聞	紀伊長報	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	119	2019/2/26	Web版新聞	沖繩タイムス	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	120	2019/2/26	Web版新聞	OLICON NEWS	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	121	2019/2/26	Web版新聞	Infoseek News	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	122	2019/2/26	Web版新聞	Biglobe ニュース	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学

平成30年度
(2018)

資料4 平成21(2009)年度～平成30(2018)年度 新聞等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	広報媒体 (新聞、テレビ等)	広報媒体名 (〇〇新聞等)	記事名
平成30年度 (2018)	123	2019/2/26	Web版新聞	exciteニュース	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	124	2019/2/26	Web版新聞	@nifty	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	125	2019/2/26	Web版新聞	eltha (OLICON NEWS)	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	126	2019/2/26	Web版新聞	Cnet Japan	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	127	2019/2/26	Web版新聞	ZDnet Japan	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	128	2019/2/26	Web版新聞	INTERNET COM	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	129	2019/2/26	Web版新聞	とれまがニュース	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	130	2019/2/26	Web版新聞	財經新聞	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	131	2019/2/26	Web版新聞	mapion ニュース	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	132	2019年3月	その他	京都修学旅行バスポート(改訂版)	京都産業大学神山天文台

資料5 平成25(2013)年度～平成29(2017)年度 Webサイト等掲載記事一覧

(注)同一年月日・同一タイトルの掲載記事は、ニュース・プレスリリースを行ったため複数記載している

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	Webページ名	タイトル
平成25年度 (2013)	1	2013/9/20	本学Webサイト	本学学生が荒木望遠鏡により、世界初、新星における炭素分子を発見
	2	2013/11/22	本学Webサイト	京都産業大学大学院 理学研究科 新中善晴さん(博士後期課程3年次)らが太陽に近づくアインシュタイン彗星の観測に成功
	3	2014/2/5	本学Webサイト	神山天文台 大型赤外線分光器WINEREDによる高精度な天体分析を開始
	4	2014/2/20	本学Webサイト	理学研究科 新中 善晴さん(博士課程3年次)らが単独彗星としては世界初のI5NH2の検出に成功
平成26年度 (2014)	1	2015/2/16	本学Webサイト	星間空間に存在する大きな有機分子の吸収線を多数発見
	2	2015/2/19	本学Webサイト	「神聖爆発は宇宙のリチウム合成工場だった」神山天文台の研究員らのチームが宇宙における爆発的リチウム生成の初観測に成功
	3	2015/2/23	本学Webサイト	「太陽系の材料は新星爆発で作られた」研究成果が日本天文学会欧文報告誌に掲載
	4	2015/3/31	本学Webサイト	河北秀世 台長 日本地球惑星科学連合より西田賞を受賞
平成27年度 (2015)	1	2015/7/9	本学Webサイト	次世代赤外線天文学のための超高度イメージング回折格子の開発に成功
	2	2015/10/13	本学Webサイト	宇宙から彗星の撮影に成功！(神山天文台、JAXA/立教大/東大等と連携)
	3	2015/10/19	本学Webサイト	理学研究科 大学院生の西岡翼さんと東京大学の共同研究グループが、系外惑星候補を持つ「タウリ星系の新たな力学モデルを構築
平成28年度 (2016)	1	2016/5/23	本学Webサイト	天文学講座第1回「重力波の直接検出とは？」
	2	2016/5/25	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台 世界初！「ぼやけた星間線」の観測に成功
	3	2016/5/25	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台 世界初！「ぼやけた星間線」の観測に成功
	4	2016/6/3	本学Webサイト	「関西の大学を楽しむ」掲載 神山天文台のイベントや公開講座の様子が掲載
	5	2016/6/6	本学Webサイト	綾都市天文館で公開天文講座「神山天文台が迫る宇宙の不思議」開催
	6	2016/6/9	本学Webサイト	京都新聞掲載 @キャンパスコーナーで神山天文台 河北 秀世 台長が研究を紹介
	7	2016/6/14	本学Webサイト	全国同時七夕講演会2016「七夕の星々と天の川」
	8	2016/6/20	本学Webサイト	夏の夜空のビッグフェス!!～遊ぼう、星空のキャンパス～ 開催(7/8)
	9	2016/6/27	本学Webサイト	京都産業大学 神山天文台サポーターチーム・天文同好会 共同主催 星空観望会「夏の夜空のビッグフェス!!～遊ぼう、星空のキャンパス～」開催
	10	2016/6/30	本学Webサイト	フリーペーパー「北区じかん」掲載「北区自慢」コーナーに神山天文台 天体観望会紹介
	11	2016/7/6	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台「新星爆発の内部構造」の謎を明らかに！
	12	2016/7/7	本学Webサイト	新星爆発によって生じる「火の玉」の内部構造の謎を明らかに！～ペーパルに覆われた新星爆発の内側を探る～
	13	2016/7/8	本学Webサイト	「夏の夜空のビッグフェス!!～遊ぼう、星空のキャンパス～」を開催
	14	2016/7/23	本学Webサイト	京都府綾都市天文館で「天文講座」を開催
	15	2016/9/2	本学Webサイト	古典新星の「火の玉」における分子生成の謎を解明：一酸化炭素による急激な冷却
	16	2016/9/2	本学Webサイト	天文台 世界初！古典新星の「火の玉」における分子生成の謎を解明
	17	2016/9/7	本学Webサイト	天文学講座第2回「太陽フレアと恒星スーパーフレア」
	18	2016/9/18	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台・東京大学大学院 赤外線光学材料の高精度な透過率測定に成功 次世代宇宙望遠鏡による赤外線天文学の実現にむけて前進
	19	2016/9/21	本学Webサイト	大学院理学系研究科生を含む研究チームが赤外線光学材料の高精度な透過率測定に成功
	20	2016/9/26	本学Webサイト	京都新聞掲載 新星で分子が生成されるメカニズムを神山天文台 河北 秀世 台長のグループが解明
	21	2016/10/3	本学Webサイト	関西テレビ「ワンダー」で神山天文台が紹介されます
	22	2016/10/8	本学Webサイト	天文学講座第2回「太陽フレアと恒星スーパーフレア」開催

資料5 平成25(2013)年度～平成29(2017)年度 Webサイト等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	Webページ名	タイトル
	23	2016/11/21	本学Webサイト	『リビング京都』掲載 冬の星座特集で神山天文台が紹介
	24	2016/12/2	本学Webサイト	クリスマス特別講演会「古墳天井に星が輝く-キトラ天文図」
	25	2016/12/14	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台 クリスマス特別講演会「古墳天井に星が輝く-キトラ天文図」のご案内
	26	2016/12/24	本学Webサイト	神山天文台 クリスマス特別講演会を開催
	27	2017/1/16	本学Webサイト	新星爆発は煤(すす)だけ？
	28	2017/1/18	本学Webサイト	WINEREDが南天へ！-ヨーロッパ南天天文台と神山天文台の間で研究協力に関する覚書-
	29	2017/1/24	本学Webサイト	超小型探査機が彗星の水のなぞを解明
	30	2017/2/6	本学Webサイト	神山天文台サポーターチームに京都はぐくみ憲章「実践継続推進者部門(10周年特別部門)」で感謝状が贈呈
	31	2017/2/21	本学Webサイト	理学部×神山天文台 特別企画 天文を学んで働くには？
	32	2017/3/17	本学Webサイト	天文学講座第3回「南天の星空を目指して～WINERED in Chile～」開催
	33	2017/3/21	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台 天文学講座 第3回「南天の星空を目指して～WINERED in Chile～」開催
	34	2017/3/25	本学Webサイト	神山天文台 天文学講座第3回を開催
	35	2017/2/11	大学プレスセンター	京都産業大学神山天文台「ワインレット」が南天へ！ヨーロッパ南天天文台ESOの La Silla天文台と研究協力に関する覚書
	1	2017/4/6	本学Webサイト	インドネシア・国立バンボン工科大学と神山天文台の国際協力で新星爆発に関する研究成果
	2	2017/4/6	本学Webサイト	インドネシア・国立バンボン工科大学と神山天文台の国際協力で新星爆発に関する研究成果
	3	2017/4/17	本学Webサイト	京都産業大学卒業生の名前が星の名に！(11457) Hitomikobayashi/(11809) Shinnaka 国際天文学連合より発表
	4	2017/4/17	本学Webサイト	本学卒業生の名前が小惑星に！
	5	2017/5/10	本学Webサイト	天文学講座第1回「探査機が見た太陽系天体たち」開催
	6	2017/5/22	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台 天文学講座 平成29年度第1回「探査機が見た太陽系天体たち」開催
	7	2017/6/13	本学Webサイト	全国同時七夕講演会2017「天の川と超巨大質量ブラックホール」
	8	2017/7/3	本学Webサイト	学外・国外からもさまざまな人材が集う神山天文台-京都産業大学生が中心となって、新たな価値を生み出していく
	9	2017/7/3	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台 全国同時七夕講演会2017「天の川と超巨大質量ブラックホール」を開催
	10	2017/7/5	本学Webサイト	GSC×神サポ～Miracle of Milky way～開催(7月5日)
	11	2017/7/8	本学Webサイト	神山天文台 全国同時七夕講演会2017「天の川と超巨大質量ブラックホール」を開催
	12	2017/9/1	本学Webサイト	神山天文台マスコットキャラクター「ほしみ～るちゃん」のLINEスタンプができました！
	13	2017/11/7	本学Webサイト	天文学講座第2回「宇宙の果ての銀河地図」開催
	14	2017/11/24	本学Webサイト	京都産業大学 神山天文台 天文学講座平成29年度第2回「宇宙の果ての銀河地図」開催
	15	2017/12/2	本学Webサイト	神山天文台 天文学講座第2回を開催
	16	2018/2/22	本学Webサイト	第8回天体天文宇宙教室の開催(岩倉冬イベント)
	17	2018/2/22	本学Webサイト	天文学講座第3回「惑星間ダスト～塵もつもれば○○となる!?～」開催
	18	2018/3/11	本学Webサイト	「さびアストロパークキャリア実習」実施報告(理学部生および神山天文台サポーターチームの学生研修に参加)
	19	2018/3/19	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台主催 天文学講座 第3回「惑星間ダスト～塵もつもれば○○となる!?～」開催
	1	2018/4/23	本学Webサイト	爆発を繰り返す天体「回帰新星」に迫る！
	2	2018/4/24	本学Webサイト	天文学講座 第1回「彗星と海、そして生命」開催

平成29年度
(2017)

資料5 平成25(2013)年度～平成29(2017)年度 Webサイト等掲載記事一覧

年度(西暦)	No. (年度毎)	日付	Webページ名	タイトル
平成30年度 (2018)	3	2018/5/4	本学Webサイト	堺市教育文化センター「ソフィア・堺」で星空解説を行いました
	4	2018/5/8	本学Webサイト	バンド工科大学 x 神山天文台 小型分光器論文を出版
	5	2018/5/10	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台主催 天文学講座 第1回「彗星と海、そして生命」開催
	6	2018/5/19	本学Webサイト	神山天文台 平成30年度第1回天文学講座を開催
	7	2018/5/25	本学Webサイト	神山天文台研究員らのチームが「近赤外線波長域における地球大気吸収線の精密補正」を可能に
	8	2018/6/6	大学プレスセンター	近赤外線波長域における地球大気吸収線の精密補正を可能に 京都産業大学
	9	2018/6/26	本学Webサイト	第2回 天文学講座 / 全国同時七夕講演会「火星移住とその先にあるもの」開催
	10	2018/7/3	大学プレスセンター	学外・国外からもさまざまな人材が集う神山天文台-京都産業大学学生が中心となって、新たな価値を生み出していく
	11	2018/7/5	本学Webサイト	京都産業大学 神山天文台サポーターチーム・天文同好会 共同主催「夏の夜空のビッグフェス！～七夕の宙に思いを馳せて～」開催
	12	2018/7/13	本学Webサイト	京都産業大学神山天文台 天文学講座 全国同時七夕講演会 第2回「火星移住とその先にあるもの」開催
	13	2018/7/21	本学Webサイト	神山天文台 平成30年度第2回天文学講座を開催
	14	2018/9/3	本学Webサイト	神山天文台の newly 善晴研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーンの惑星表面を解明
	15	2018/9/3	本学Webサイト	ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーンの素顔に迫る！
	16	2018/9/12	本学Webサイト	死にゆく大質量星が星のごく近くに作る衝撃波を発見
	17	2018/9/14	大学プレスセンター	京都産業大学 神山天文台の newly 善晴 研究員らが、ふたご座流星群の母天体・小惑星フェーン-の惑星表面を解明
	18	2018/9/27	大学プレスセンター	死にゆく大質量星が星のごく近くに作る衝撃波を発見 -- 京都産業大学
	19	2018/10/9	本学Webサイト	神山天文台が明らかにする 新星爆発の姿
	20	2018/11/1	本学Webサイト	爆発的な増光をしたホーームズ彗星は太陽から遠く冷たい場所で誕生した
	21	2018/11/8	本学Webサイト	第3回天文学講座「宇宙の謎 なぜ私たちはここにいるのか？」開催
	22	2018/11/9	Re: 宇宙 5500光年も離れた「死にゆく星」からのサイン そのカギは「赤外線高分散分光」。世界最先端の天文観測装置が、星の終焉を受け止める。	
	23	2018/11/22	大学プレスセンター	多くの謎に満ちている 彗星を解き明かす！ホーームズ彗星の起源と増光現象のメカニズムを初めて解明 -- 京都産業大学
	24	2018/11/27	本学Webサイト	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散分光ラボ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	25	2018/12/10	Re: スペクトル 星の「七色」から組成物質を突き止める 追究を阻む「吸収線」が解き明かされた 近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログが、世界で初めて公開された	
	26	2018/12/11	大学プレスセンター	京都産業大学 神山天文台・近赤外線高分散分光ラボ(LIH)が近赤外線波長域での詳細なA型星ライン・カタログを世界で初めて公開
	27	2018/12/22	本学Webサイト	神山天文台 平成30年度第3回天文学講座を開催
	28	2019/1/10	Re: 彗星 彗星は、太陽系の過去の情報を内に秘めた化石? 爆発的な増光をしたホーームズ彗星は太陽から遠く冷たい場所で誕生した	
	29	2019/1/29	本学Webサイト	小型望遠鏡で捉えた太陽系最果てにある小天体の影
	30	2019/1/29	本学Webサイト	史上初、太陽系の果てに極めて小さな始原天体を発見-宮古島の小さな望遠鏡が太陽系誕生の歴史と彗星の起源を明らかに-
	31	2019/2/15	本学Webサイト	神山天文台、古典新星V339 Del爆発の見えない姿を世界で初めて暴く！
	32	2019/2/26	大学プレスセンター	世界初、古典新星V339 Delの爆発初期の爆発放出物の空間分布を明らかに -- 京都産業大学
	33	2019/2/27	本学Webサイト	第4回天文学講座「望遠鏡で拡大しても見えない星の姿を見るには？」開催
	34	2019/3/23	本学Webサイト	神山天文台 平成30年度第4回天文学講座を開催

平成 26 年度～平成 30 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 研究成果報告書

「赤外線高分散分光天文学研究拠点 Infrared Spectroscopy Laboratory の形成」

令和元年 5 月

発行 京都産業大学
神山天文台
〒603-8555 京都市北区上賀茂本山
印刷 株式会社北斗プリント社



むすんで、うみだす。

京都産業大学
KYOTO SANGYO UNIVERSITY