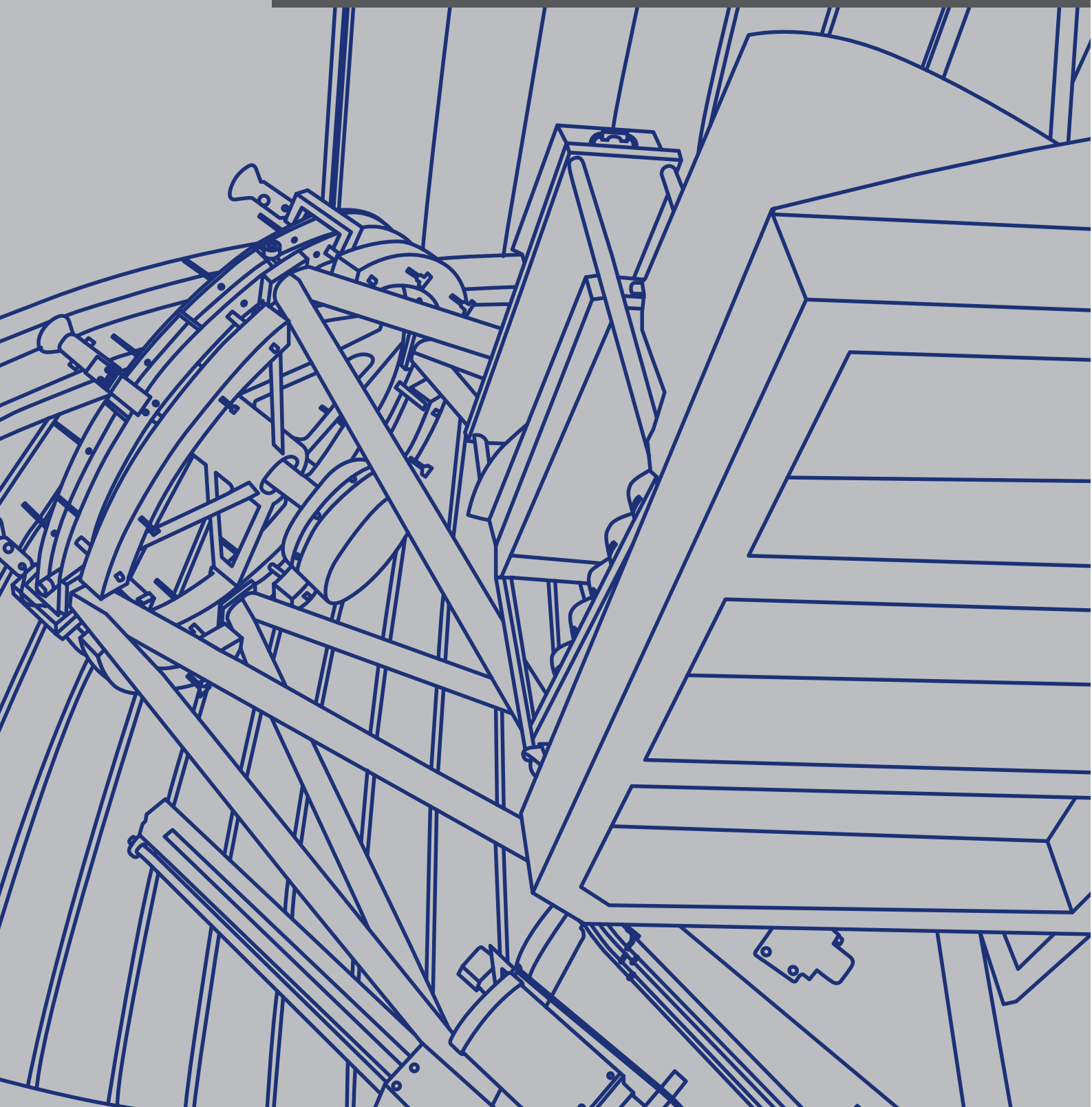


# 2016年度 神山天文台 研究成果報告書

Annual report 2016

KYOTO SANGYO UNIVERSITY  
KOYAMA ASTRONOMICAL OBSERVATORY



# 目次

巻頭言 .....	1
研究成果報告	
・分子・ダスト生成が観測された古典新星 V2676 Oph について.....	3
・早期減光期の古典新星 V2659 Cyg における吸収線の時間変化と起源.....	29
・超巨大質量ブラックホールと銀河との関係.....	51
研究成果・関連論文リスト .....	58
神山天文台の普及教育活動	
・はじめに .....	66
・大学としての教育活動 .....	66
・学内公開 .....	67
・近隣学校等への天文体験学習講座 .....	67
・他機関との連携事業 .....	68
・一般の方への普及教育活動 .....	68
施設見学と天体観望会	
天文学講座	
神山天文台マスコットキャラクター「ほしみ〜るちゃん®」	
・公開事業を通じた学生の育成 .....	71
・神山天文台サポートチーム .....	72



## 巻頭言

平成 28 年度 (2016 年度) は、神山天文台が設置されて 7 年目にあたります。その間、文部科学省の私立大学戦略的研究基盤形成支援事業には 2 度にわたって採択されており、1 度目は平成 20 年度～平成 24 年度 (2008 年度～2012 年度) 「研究教育用天文台の設置」、2 度目が平成 26 年度～平成 30 年度 (2014 年度～2018 年度) 「赤外線高分散分光天文学研究拠点 Infrared Spectroscopy Laboratory の形成」となっております。この間、神山天文台では「赤外線波長」と「高分散分光天文学」というキーワードに集中し、天体観測装置の国内開発拠点として、目覚ましい成果を挙げてきました。近赤外線高分散分光器 WINERED を筆頭として、世界最高レベルの機器開発に取り組んでいます。そして、これら独自開発機器を使って世界中の他の研究機関が追随できないような様々な観測研究を推進しており、平成 28 年度には神山天文台の口径 1.3m 荒木望遠鏡から、ついに海外拠点への拡大に成功しております。現在、WINERED はヨーロッパ南天文台 ESO の管理する La Silla 天文台 (チリ共和国) に置かれた口径 3.6m NTT 望遠鏡に移設されており、日本よりはるかに高い晴天率と低い湿度が相まって、日本国内では実現できなかったような、極めて高精度かつ高感度な赤外線高分散分光観測を実現するに至りました。

このような成果は、神山天文台のスタッフのみならず、客員研究員等として研究プロジェクトに参加していただいている学外の研究機関・企業の研究者のみなさん、そして、本学学生のみなさんが、大変な苦勞をされた結果です。多種多様で優秀な人材が、学内外を問わず神山天文台を中心に集い、このような目覚ましい成果を挙げているのです。まさに、本学の「むすびわざ」の精神の具現化にほかなりません。学祖・荒木俊馬博士の建学の精神を具現化するシンボルとしてスタートした神山天文台は、設置後、数年を経て、十分にその力を発揮しつつあると言えるでしょう。

神山天文台長  
河北 秀世  
2018 年 2 月 3 日

# 研究成果報告

2016 年度研究成果報告書

タイトル：分子・ダスト生成が観測された古典新星 V2676 Oph について

担当：河北秀世、新井 彰

関連出版：

H. Kawakita, A. Arai, M. Fujii 2016, “The evolution of photospheric temperature in nova V2676 Oph toward the formation of C<sub>2</sub> and CN during its near-maximum phase”, Publ. Astron. Soc. Japan, 68, 87.

関連学会発表等：

(特に無し)

## 研究成果報告書

# 分子・ダスト生成が観測された古典新星 V2676 Oph について

河北秀世、新井 彰（神山天文台）

### 概要

古典新星 V2676 Oph は  $C_2$ 、CN、CO といった二原子分子が同一の新星において観測された新星として極めて希有な例である。特に新星極大付近において、CN 分子と同時に世界で初めてとなる  $C_2$  分子が検出されており、新星放出物が炭素リッチ ( $C/O > 1$ ) となっていることが強く示唆されている。また、初期減光期の後に（発見後 90 日後付近）でダストが急激に生成されはじめ、可視光光度が急激に暗くなっている。ダストそのものについては後になって中間赤外線波長域における分光観測によって直接的な証拠が得られ、炭素質ダストとシリケート系ダストが共存していることが明らかになった。本論文では、V2676 Oph についてこれまでに報告された観測結果をまとめ、その物理的描像を明らかにする。特に、放出物の幾何学的情報を星雲期の輝線スペクトルにおけるラインプロファイルから議論する。また、 $C_2$  および CN 分子バンド吸収線から得られた炭素ならびに窒素の同位体比を、熱核暴走反応 (TNR) 理論によるモデル予想と比較する。V2676 Oph に関わる白色矮星の質量については、可視光度曲線や可視光スペクトルの変化からは  $0.6M_{\odot}$  程度と考えられるが、TNR 理論に基づけば約  $1.0M_{\odot}$  以上となり、2つの結果が矛盾している状況にある。

### 1 イントロダクション

古典新星（以下、単に新星）は、主星である白色矮星と伴星である主系列星（あるいは進化後期の恒星）からなる近接連星系において、伴星からの質量降着によって白色矮星表面に降り積もったガスが熱核暴走反応 (TNR) をきっかけとして急激に大量のエネルギーを放出し、新星風と呼ばれる質量放出現象が生じることによって急増光およびゆるやかな減光を生じる。TNR によって膨張したガス球表面は初期には数万 K 以上の温度であるが、膨張にともない次第に表面温度が下がり、輻射のピーク波長が可視光領域にシフトするため、可視光・光度が急激に明るくなる。可視光で最大光度となる極大期において、膨張する光球面のサイズは最大となり、同時に有効表面温度が最低となるが、その温度は典型的に  $8000K$  程度と考えられる (Evans et al. 2005)。その後、膨張するガス球が希薄になるにつれて光球面半径が小さくなり、また、同時に有効表面温度が上昇する。最終的には惑星状星雲と類似した環境となり、新星放出物は中心にある高温の白色矮星からの輻射によって高い電離度まで電離され、様々な輝線を生じる（星雲期）。

このように古典新星とは基本的に高温現象であり、比較的低温度環境でないと存在できない分子が存在することは大変な驚きである。これまでに  $C_2$ 、CN、CO といった二原子分子が新星に

において検出されているが、これらの分子は新星の極大期における光球面温度（約 8000K）でさえ比較的容易に解離してしまう。しかし、これらの二原子分子は 2500 - 5000 K 程度の励起温度の輝線あるいは吸収線バンドとして観測されており、明らかにこうした二原子分子が比較的低温な環境に存在していることが分かる (Evans & Rawlings 2008; Nagashima et al. 2014; Banerjee et al. 2016)。また、新星の約 20% は可視光の光度曲線において爆発から数十日後にダスト生成が原因と考えられる急激な減光を示す (Strope et al. 2010)。ダスト生成は新星放出物の温度が 1000 - 1500 K まで低下し（かつ、ガス密度が十分高く保たれている）ことを意味しているが、一方で爆発から数十日後には新星中心からの輻射温度が非常に高くなっており、またガス密度自体が周辺部では非常に薄くなっていることから、ダスト生成がどのようにして生じるのかについては十分に理解されていない。各種分子は原子状ガスからダストが生じる過程の中間生成物として、新星におけるダスト生成機構を明らかにするためにも、分子生成環境の解明は非常に重要である。また、分子バンドの観測からは、比較的容易に元素の同位体比が得られる。原子状のガスでは同位体効果による波長シフトは非常に小さく観測による区別は極めて困難であるが、分子の場合には同位体効果によって比較的大きな波長シフトが生じ、新星爆発によって生じる輝線幅を考慮しても十分に区別可能となる。各種元素における同位体比は TNR 理論の観測的検証という観点から非常に重要であり、また、太陽系における隕石中のプレソーラー粒子の起源解明にも直結している (例えば、José & Hernanz 2007)。

古典新星 V2676 Oph は、単一の新星として初めて C<sub>2</sub>、CN、CO が極大期から初期減光期において検出され、また星雲期以降には PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) あるいは HAC (Hydrogenated Amorphous Carbon) による輝線が観測されている。発見から約 90 日後には大規模なダスト生成が可視光および赤外線光度曲線からも確認されていることから、初期において高温プラズマであったガスが中性化し、分子生成を経て、最終的にダストが生成されたものと考えられる。このようなダスト生成に至る一連の現象が、詳細に観測された新星は非常に珍しい。ダスト生成は一般的に「CO 新星」(炭素および酸素に富んだ大気を持つ白色矮星における新星爆発) において見られる事が多く、「ONe 新星」(酸素およびネオンに富んだ大気を持つ白色矮星における新星爆発) では極めて希有である (Gehrz 2008)。また一酸化炭素(CO)分子が検出された新星では必ずダスト生成が観測されているが、逆にダスト生成が観測されたからと言って必ずしも CO 分子が検出されているわけではない (Banerjee et al. 2016 など)。これは分子の存在期間に比べて、観測が十分に密に行われていなかったことが原因として考えられるが、十分に密な観測が行われた V1280 Sco などではダスト生成が確認されているにも関わらず、CO 分子は未検出のままである (Banerjee & Ashok 2012)。

本研究では、V2676 Oph の発見後からの光度曲線およびスペクトルの時間変化を総括し、その物理変化について考察を行う。特に、極大期における分子生成および V2676 Oph に関連する白色矮星について集中して議論を行う。



## 2 新星 V2676 Oph の概要

新星 V2676 Oph は、世界時 2012 年 3 月 25.8 日 ( $t = 0$  day) に、日本のアマチュア天文家である西村氏によって発見された (Nishimura 2012)。発見後、直ちに可視光低分散分光観測が神山天文台・荒木望遠鏡に取り付けた LOSA/F2 分光器を用いて実施され、Williams (1992) の分類で言う「Fe II タイプ」の新星であることが判明している (Arai & Isogai 2012)。新星スペクトルには  $H\alpha$ 、 $H\beta$ 、Fe II および O I の細い輝線が見られ、それら輝線は P Cyg プロファイルを示していた。Rudy et al. (2012a) は、2012 年 3 月 28 日および 30 日 (世界時) に、波長  $0.8\sim 2.4\mu\text{m}$  までの近赤外線分光観測を行い、中性水素原子に加えて C I、N I、O I、Ca II など低励起なエネルギーレベルからの輝線を得ている。多くの輝線は、やはり P Cyg プロファイルを示しており、彼らの観測結果は、V2676 Oph が Fe II タイプの新星であるという事実を裏付けるものであった。しかし、同日においては波長  $2.3\mu\text{m}$  付近に見られる CO 分子の第一倍音振動バンド輝線は検出されていない。一方、UV および X 線、更には電波領域での観測も挑戦されたが、U バンドでの光度が得られているものの、X 線や電波領域での検出は不成功に終わっている (Nelson et al. 2012a, 2012b)。

図 1 および図 2 に、可視光および近赤外線での測光観測から得られた光度曲線を示した。データは SMARTS による観測モニタリングの結果である (Walter et al. 2012)。既に Nagashima et al. (2014) や Raj et al. (2017) などでも指摘されているように、爆発後 90 日程度で、可視光の光度曲線に深い減光が生じている。この減光がダストによるものと考えられるが、この仮説を支持する観測結果として、可視光での減光が開始すると同時に近赤外線 (とくに K バンド) において増光が見られている。この赤外線での増光は、生成されたダストからの熱輻射によるものと考えられる。初期減光期について、爆発後 10 日目から 80 日目までの減光率を各測光バンド (B、V、R、I、J、H、K バンド) において求めた結果が、表 1 である。およそ  $0.01\text{ mag/day}$  程度の減光率を示している。特に V バンドの減光率は  $0.013\pm 0.004\text{ mag/day}$  であり、新星のスピードクラス分類においては”slow”あるいは”very slow”に分類される (Warner 2008)。このように V2676 Oph は「遅い新星」の一種であることが分かる。遅い新星はダスト生成を示すことが多いが、V2676 Oph もその例にもれず、爆発後 90 日後付近からダスト生成が原因と考えられる可視光線での急激な減光と近赤外線での増光が始まっている。

このような V2676 Oph における①「遅い新星」かつ②「ダスト生成新星」であるという 2 つの特徴は、典型的なダスト生成新星である 1934 年の DQ Her (Martin 1989) と類似点が多い。DQ Her も非常にゆっくりとした可視光減光率を示し、やはり爆発後 100 日目程度で急激なダスト生成によると見られる可視光の急な減光が観測されている。しかも、DQ Her は初めて CN 分子による吸収が観測された新星でもあり、その検出時期も極大期直後と V2676 Oph と酷似している。新星風理論 (Hachisu & Kato 2015) によれば、可視光度曲線の減光率が小さなものほど、より軽い白色矮星表面での新星爆発であると考えられる。白色矮星の質量は光度曲線を決定する本質的な物理パラメータであり、そのことから、同程度の可視光・減光率を示す DQ Her と V2676 Oph は、

似た質量の白色矮星を有する近接連星系で生じた新星爆発である可能性が高い。DQ Her については原因となった連星系のパラメータが既に観測から得られており、主星となる白色矮星の質量は  $(0.60 \pm 0.07) M_{\odot}$  と推定されている (Horne et al. 1993)。すなわち、V2676 Oph の白色矮星は約  $0.6 M_{\odot}$  と考えられる。このように比較的軽い質量の白色矮星は、炭素・酸素が豊富な (CO リッチな) 白色矮星である可能性が高い。一般的に、CO リッチ白色矮星の質量は、酸素・ネオンが豊富な (ONe リッチな) 白色矮星に比べて小さく、それらの境界はおおよそ  $1.1 M_{\odot}$  と考えられている (Gil-Pons et al. 2003) ので、おそらく V2676 Oph は CO リッチ白色矮星表面で起こった新星爆発である可能性が高い。V2676 Oph に関して、その他の連星系パラメータ (主星・伴星の質量、伴星のスペクトル型、軌道周期や傾斜角など) については、残念ながら、まったく知られていない。こうした V2676 Oph の原因となった白色矮星の素性についても、以下の章では議論する。

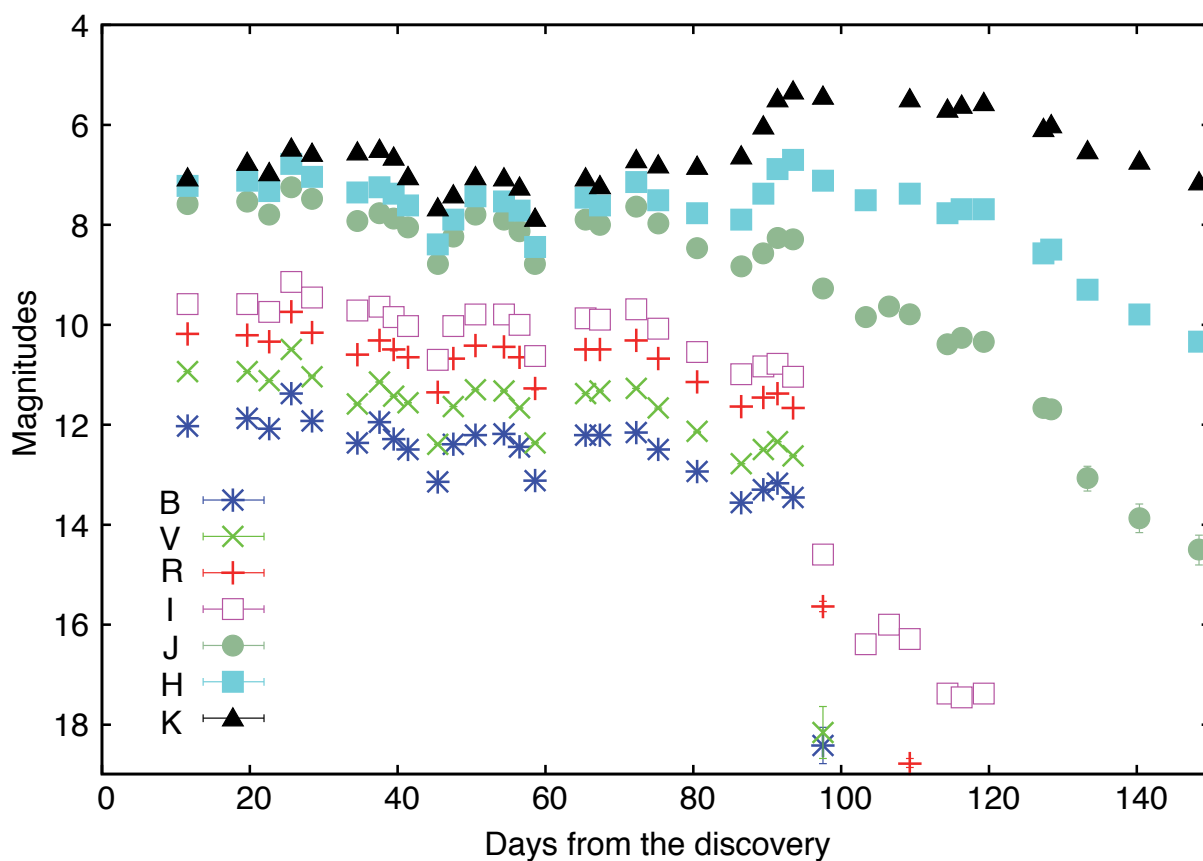


図 1 : 新星 V2676 Oph の多波長光度曲線 (B、V、R、I、J、H、K バンド)、ただし、発見から 150 日目まで。測光データは SMARTS サーベイの結果 (Walter et al. 2012)。

<http://www.astro.sunysb.edu/fwalter/SMARTS/NovaAtlas/atlas.html>

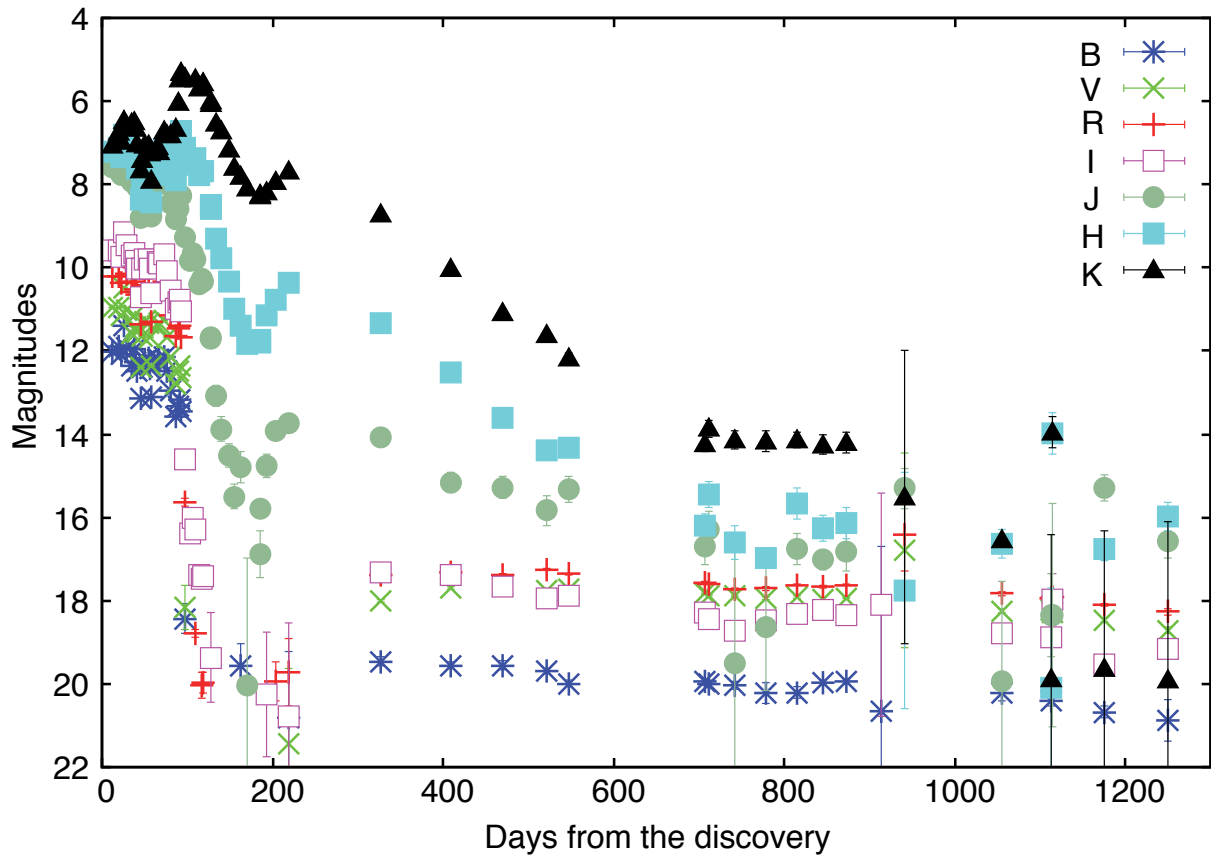


図 2 : 新星 V2676 Oph の多波長光度曲線 (B、V、R、I、J、H、K バンド)、ただし、発見から 1300 日目まで。測光データは SMARTS サーベイの結果。

表 1: 初期減光期における V2676 Oph の可視光および近赤外測光バンドの減光率

測光バンド	減光率 [mag/day]
B	$0.013 \pm 0.004$
V	$0.013 \pm 0.004$
R	$0.010 \pm 0.004$
I	$0.010 \pm 0.004$
J	$0.009 \pm 0.004$
H	$0.010 \pm 0.004$
K	$0.006 \pm 0.004$

V2676 Oph までの距離については、Raj et al. (2017) で議論されている。彼らは、まず、新星の極大期における V バンド絶対等級  $M_{V, \max}$  を  $-6.5$  から  $-6.8$  mag と推定した。この値は、V2676 Oph の光度曲線から得られた  $t_2 = 60 - 80$  days ( $t_2$  は可視光で極大から 2 等減光するまでの日数) および MMRD 関係 (Downess & Duerbeck 2000) から得られる。そして、V2676 Oph における可視

光・星間減光  $A_V = 2.9 \pm 0.1$  mag ならびに見かけの V バンド極大等級  $m_V = 10.6$  mag から得られる「星間減光補正後の見かけの V バンド極大等級」と、先の極大絶対等級とを比較することで、新星までの距離を  $d = 6.9 - 7.9$  kpc (天の川銀河の中心近く) と推定した。彼らの得た結果については、仮定している MMRD 関係や、可視光・星間減光の推定における不確定性がある。特に星間減光については、彼らの可視分光観測による結果から得たバルマー逓減率を使い、典型的な星間ガス輝線のモデル (Osterbrock & Ferland 2006) に基づいて、電子密度  $\sim 10^6$  個/cm<sup>3</sup> および電子温度  $\sim 5000$  K を仮定して求めた値である。Nagashima et al. (2015) においても同様な方法で可視光・星間減光を  $A_V = 2.35 \pm 0.11$  と推定している。しかし、このバルマー逓減率法については、仮定するガス雲の物理状態に左右されるなど、その信頼性に疑問をなげかける研究者も多い。一方で、Kawakita et al. (2016) では、V2676 Oph の極大期における可視光低分散スペクトルにほとんど輝線が見られないことを利用して、超巨星の合成スペクトルとの比較から色超過を求め、そこから可視光・星間減光を  $A_V = 2.65 \pm 0.15$  と推定している。

また、Raj et al. (2017) では、放出された電離ガス中の水素の総質量を、

$$(0.27 - 3.3) \times 10^{-4} d^2 M_{\odot}$$

と推定した (ここで  $d$  は新星までの距離 [kpc])。ここでは、彼らの求めた  $d = 6.9 - 7.9$  kpc を仮定する。また、水素以外の元素については、典型的な新星におけるヘリウムと水素の質量比 ( $\sim 0.4$ ) および重元素と水素の質量比 ( $\sim 0.3$ ) を仮定すると (Gehrz et al. 1998)、V2676 Oph の 2012 年の爆発における放出物の総質量として、 $(0.2 - 4) \times 10^{-4} M_{\odot}$  を得る。Gehrz (2008) によれば、典型的な CO リッチ新星では  $(1 - 10) \times 10^{-5} M_{\odot}$ 、また、典型的な ONe リッチ新星では  $(1 - 4) \times 10^{-4} M_{\odot}$  とされているので、この結果からは、V2676 Oph が CO に富んだ白色矮星で起こった新星かどうかについては明確な答えが出ない。

### 3 新星 V2676 Oph の極大期付近における分子生成

極大期付近における V2676 Oph の可視光低分散分光観測結果が複数の観測者によって報告されている (Nagashima et al. 2014; Kawakita et al. 2015; Raj et al. 2017)。発見直後における観測では、 $H\alpha$  輝線が細い輝線幅かつ P Cyg プロファイルを伴って観測されている。P Cyg プロファイルの輝線と吸収線ピークの波長ズレから推定される新星エンベロープの膨張速度は、発見後  $t = 2$  days から  $t = 13$  days までの間に、約 750 km/s から約 400 km/s まで次第に遅くなっている (Raj et al. 2017 では、 $t = 10$  days において Na I の P Cyg プロファイルから約 600 km/s と報告されている)。この期間、輝線強度は次第に弱くなり、 $t = 12$  days では、ほとんど輝線が観測されていない (V バンド等級の極大は  $t = 10$  days 頃)。Rudy et al. (2012a)によれば、この期間、近赤外線波長域においても輝線強度は弱くなっていたことが報告されている。そして、 $t = 12$  days 以降、再び輝線強度が強くなっている。

このように、可視光極大前に光学的に薄い恒星風 (新星風ではない) が次第に弱くなるという現象については、Hachisu & Kato (2014)でも理論的な側面から議論されている。Hachisu & Kato (2014)では、非常に遅い新星において、初期の火の玉期では「光学的に薄いウィンド」(音速遷移点が光学的に薄い領域にある、太陽風に類似の質量放出)が吹き、極大にむけて次第にそれが止み、その後、極大付近からはいわゆる新星風 (光学的に厚い領域に音速遷移点が存在する)が吹くというモデルが提唱されている。これは、新星の内部構造が (新星風の吹かない) 静的な構造から、新星風が吹くような内部構造に遷移することによる。なお、爆発初期に静的な構造が実現されるのは、白色矮星質量が  $0.5 - 0.7 M_{\odot}$  (Hachisu & Kato 2014; Kato & Hachisu 2009) の場合である。この事からも、V2676 Oph の新星爆発の中心にある白色矮星は、比較的軽い (CO リッチな) 白色矮星である可能性が示唆される (第 2 章の議論を参照)。

輝線がほとんど観測されなくなった  $t = 12$  days の翌日には、 $C_2$  分子の Swan バンドおよび CN 分子の Red-system バンドの吸収が観測されている ( $t = 13$  days および 14 days)。特に、新星における  $C_2$  分子の検出は観測史上初のことであり、CN 分子の検出についても確実なものとしては DQ Her 以来 2 例目であった (Wilson & Merrill 1935)。DQ Her 以外では、GK Per (Wyse 1940) や V445 Pup (Iijima & Nakanishi 2008) において CN の可能性がある吸収線が観測されている。DQ Her では、極大直後に約 1 週間に渡って CN 分子の Violet-system および Red-system のバンド吸収が検出されているが (Sanford 1935; Stoy & Wyse 1935; Barbier & Chalonge 1940; Antipova 1969; Sneden & Lambert 1975)、V2676 Oph においても  $t = 13$  および 14 days における検出の後、 $t = 19$  days までは可視光分光観測の報告が無く、最長で約 1 週間は  $C_2$  分子および CN 分子が新星エンベロープ中に存在していた可能性がある。図 3 に、 $C_2$  分子および CN 分子が検出された  $t = 14$  days における可視光低分散スペクトルを、典型的な炭素星である TX Psc のスペクトルと共に示した。輝線が見られないこと以外は、ほとんど炭素星のスペクトルと同一と言ってよい。図 4 には、 $C_2$  分子の Swan バンド吸収線モデルとの比較を示した。 $C_2$  分子の励起温度は  $t = 13$  days で約 5000K、 $t = 14$  days で約 4500K であった。これらの励起温度は、典型的な新星の極大

期における光球面温度（約 8000K, Evans et al. 2005）よりも低く、 $C_2$  分子および CN 分子が十分に生成され存在できる温度となっている（これらの分子は約 5000K 以下でないと安定に存在しない）。また、強い  $C_2$  Swan バンドの存在は、C/O 比が 1 よりも大きく、炭素過剰な大気になっていることを示唆している（Pontefract & Rawlings 2004）。

一体、何が V2676 Oph で起こったのであろうか。通常の新星よりも低い温度環境が、どのようにして達成され、新星エンベロープのどの部分で分子が生成されたのだろうか。Kawakita et al. (2016) は、V2676 Oph で観測された色指数 ( $V - I$ ) に基づき、新星光球面の有効温度の変化について調べた。星間減光の影響を補正した後に得られた色指数と、静水圧平衡を仮定した超巨星の恒星大気モデルの結果とを比較し、光球面の有効温度を推定している。通常、新星大気は膨張大気であって静水圧平衡状態にはない。しかし、V2676 Oph は非常に遅い進化をする新星であって、特に極大付近においては、ほとんど光度変化がない。例えば、変更周期が数日と短くとも光度変化が小さいセファイド型変光星においては、通常、こうした静水圧平衡大気モデルとの比較から表面有効温度や組成の分析が行われている。V2676 Oph における光度変化（およびそのタイムスケール）はセファイド型変光星と同程度であり、こうした分析が十分に有効であると考えられる。

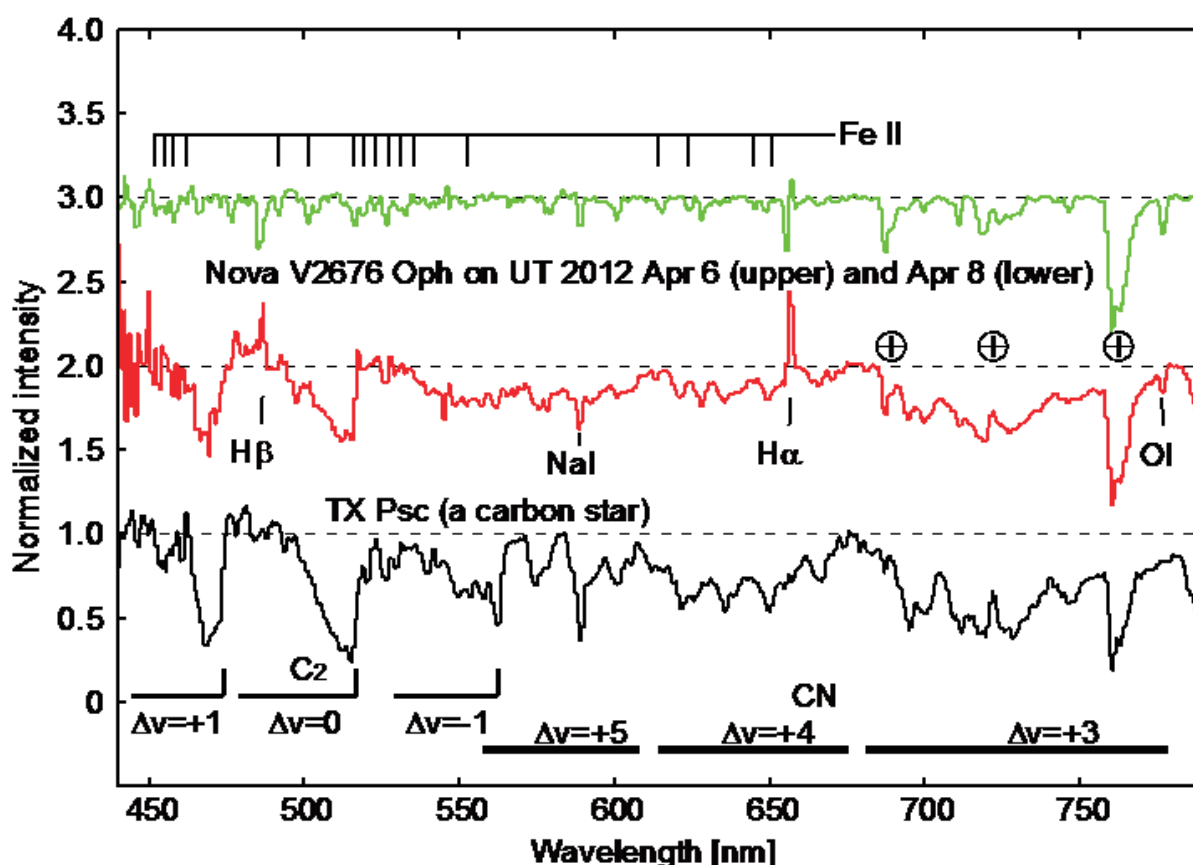


図 3 :  $C_2$  分子および CN 分子が検出された  $t = 14$  days における V2676 Oph の可視光低分散スペクトル、および典型的な炭素星である TX Psc のスペクトル（V2676 Oph の極大付近でのスペクトルも参考に示している）。

図5には、Kawakita et al. (2016)で得られた結果を示した。V2676 Ophの光球面有効温度は、極大期前の段階で既に約7000Kとなっている。極大期前 ( $t = 3 - 8$  days)にはVバンド等級はほぼ一定で約12等である。その後、 $t = 10$  days頃の極大期において増光し、10.5等級に達する。この期間、光球面温度の変化はほとんど無く、Vバンド等級だけが増光している。これは、表面温度がほとんど変化しないままに、光球面半径だけが増加したことを意味している。これは実質的な光度の増加に相当し、そのエネルギー源としてはKato & Hachisu (2009)が示唆する新星エンベロープの構造変化(「新星風を伴わない静的な内部構造」から「新星風を伴う動的な内部構造」への変化)が考えられる。この時期、輝線は非常に弱く、またH $\alpha$ 輝線から求めたエンベロープの膨張速度は約450 km/s程度であった事から、遅い膨張速度を持つ希薄な外層大気が存在していたと考えられる。これは、極大前に「新星風を伴わない静的な内部構造」の新星エンベロープで生じる、いわゆる太陽風的な質量損失の結果と考えることができる(あるいは、爆発初期に存在した恒星風が既に止まっており、残滓が外層に残っていたということも考えられる)。

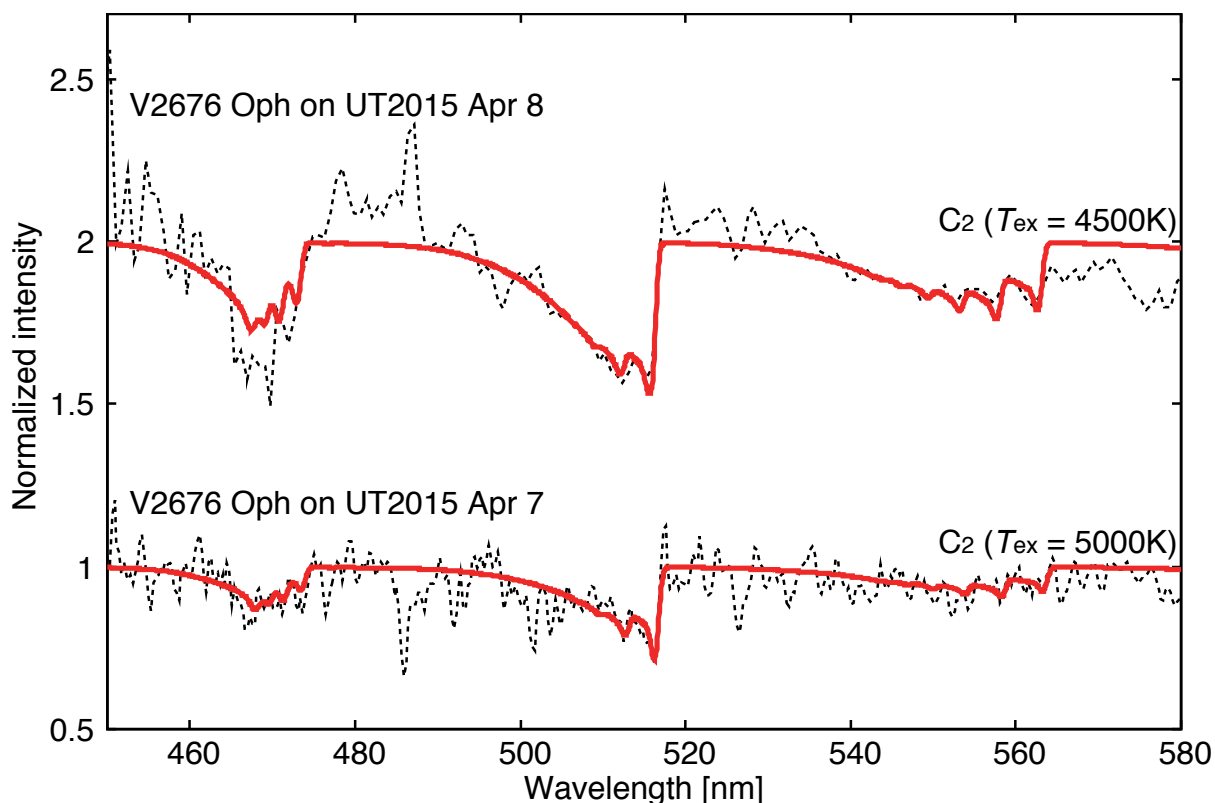


図4 : V2676 Ophで観測されたC<sub>2</sub>分子のSwanバンド吸収プロファイルと、モデル計算結果との比較 ( $t = 13 - 14$  days)。C<sub>2</sub>分子の励起温度は、5000Kから4500K程度になっている。

V2676 Ophの光球面温度は、可視光極大以降、C<sub>2</sub>分子およびCN分子が検出された $t = 14$  daysにむけて減少傾向にある。この時期の温度変化率は、CO分子からの放射によるガス冷却の効果(Evans et al. 1996)が原因であるとして矛盾しない。CO分子はC<sub>2</sub>分子およびCN分子に比べて大きな解離エネルギーを持っているため、C<sub>2</sub>分子およびCN分子が生成されるよりも先に、よ

り温度の高い時期でも CO 分子が新星エンベロープ中で生成されうる（表 2 を参照）。また、可視光スペクトル中に中性炭素原子による吸収が強く観測されることから、新星エンベロープ中では中性炭素原子の電離に伴う連続吸収によって約 1100 Å より短い波長の放射が強く吸収されており、CO や C<sub>2</sub>、CN といった分子を解離することができる高エネルギー放射が弱められていると考えられる（同表 2 を参照）。実際、CO 分子が Rudy et al. (2012b) によって、t = 37 および 38 days に検出されているが、残念ながら可視光極大期の観測報告は無い。

理論的な側面からは、Hauschildt et al. (1994) が新星大気中での CN 分子や CO 分子の存在について研究を行っている。彼らは特に DQ Her における CN 分子検出に注目をし、新星エンベロープ中における non-LTE 効果が重要であると結論している。新星大気は大変拡散しており、また、大きな温度勾配を持つ事が特徴である。彼らの大気モデルでは、有効温度が 6500K の場合においても電子温度は新星エンベロープ中で 1100K から 50000K まで変化する。そのため、高電離イオンの特徴と分子による輝線や吸収線が混在することになる。実際、彼らのモデル計算では、CN 分子の可視光バンド吸収線と CO 分子の近赤外線バンド輝線が同時に再現されている（ただし、太陽組成に比べて、C、N、O の組成比が豊富である場合において、である）。CN 分子の吸収線形成領域においては電子温度が約 4000K であり、これまでに新星において観測されている各種分子の励起温度と矛盾しない。

表 2：中性原子の電離ポテンシャルと関連する連続吸収端波長、および関連する二原子分子の解離エネルギーと相当する波長

原子	電離ポテンシャル[eV]	連続吸収端波長[Å]
H I	13.6	912
He I	24.6	504
C I	11.3	1101
N I	14.5	853
O I	13.6	910
分子	解離エネルギー[eV]	等価波長 [Å]
CO	11.1	1118
C <sub>2</sub>	8.6	1436
CN	7.7	1600
H <sub>2</sub>	4.5	2769

では、結局、これらの分子は新星エンベロープのどのあたりに存在しているのだろうか。C<sub>2</sub> 分子および CN 分子が吸収線として検出されていることは、（炭素星との類似からも）これらの分子



が主に光球面付近に存在している可能性を示唆している。一方、CO 分子は新星において常にバンド輝線として観測されており、主に光球面外側に広がった領域から CO 分子輝線が放射されている可能性が高い。過去に極大期から初期減光期に観測された新星 CO 分子の励起温度は、およそ 2500 - 4500 K の範囲であった（典型的な新星の光球面温度よりも低い）。この事も、CO 分子が光球面付近ではなく、もっとひろがった領域に存在しているという仮説を支持している。もしも CO 分子の励起について衝突励起が支配的であるなら、CO 分子による放射冷却によって新星エンベロープのガスが冷却された結果と考えられる。あるいは CO 分子が主に新星光球面からの輻射によって励起されている（つまり non-LTE である）とすれば、比較的エンベロープ外側に存在する CO 分子については、輻射場の希釈効果によって励起温度が低めになっている可能性もある。以上、これらの分子の生成・消滅については、Pontefract & Rawlings (2004)にあるような新星エンベロープ中の化学反応ネットワークを考慮したモデル計算に基づいた議論が望まれる。

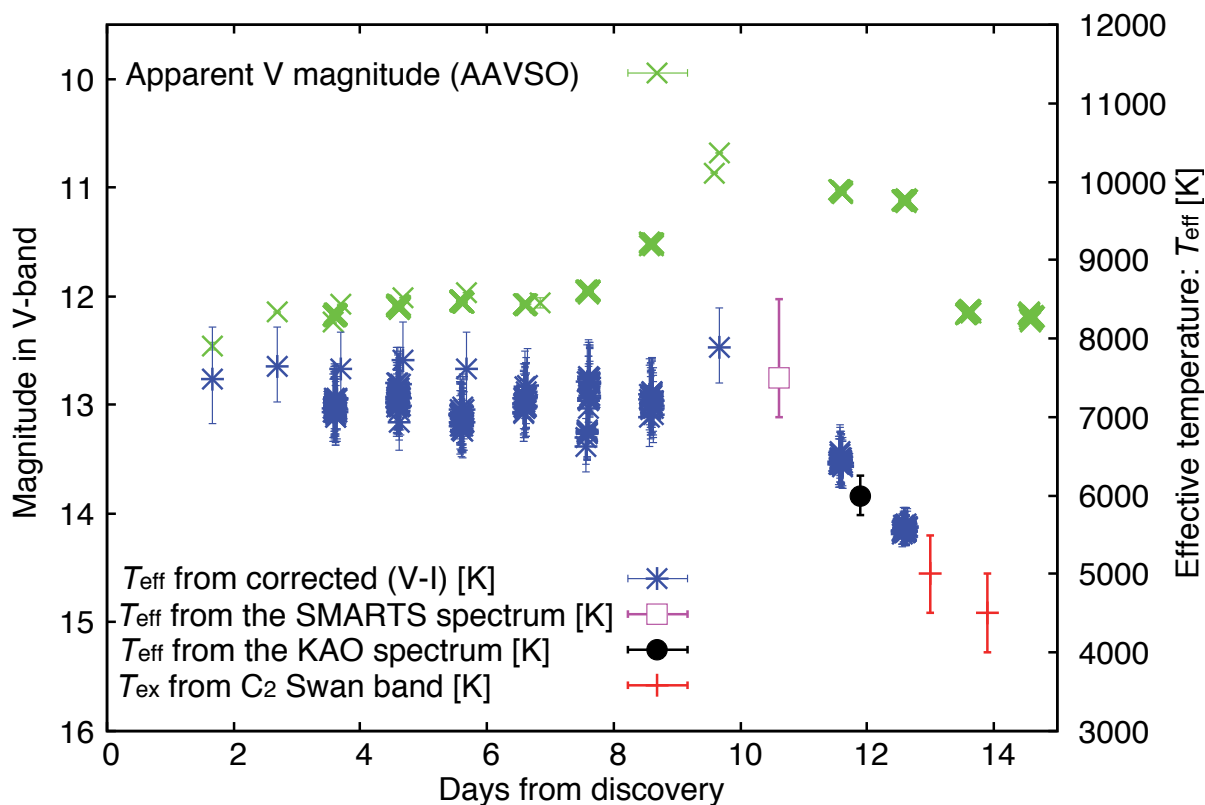


図 5 : V2676 Oph の光球面有効温度の変化（発見後から可視光極大付近まで）。

#### 4 初期減光期の V2676 Oph における変化

図 1 に示すように、V2676 Oph は初期減光期の発見から  $t = 70$  days 頃までは、V バンドの光度曲線において 11.5 等付近ではほぼ一定の明るさを保ちつつ、約 0.7 等級の変動を示している (Raj et al. 2017)。その後、 $t = 90$  days にかけて緩やかな減光を示している。このような再増光イベントは、輝線が P Cyg プロファイルを伴っている時期と重なっているように見える。Fe II タイプの新星において、爆発初期に見られる輝線が P Cyg プロファイルを伴うことが多いが、初期減光期に見られることは珍しい。一般に、極大期以降の初期減光期では、新星の光球半径は減少していると考えられる（この時期には、白色矮星表面での準安定的な水素燃焼によって、新星はほぼ一定の光度を保っているため、光球面半径の減少は有効温度の増加を意味している。極大期において 8000K 程度であるから、それよりも高い有効温度を示すことになる。）。しかし、P Cyg プロファイルが初期減光期に再び見られるという事実は、強い質量放出が再び生じていることを示唆している。これに伴ってエンベロープのガス密度は上昇し、新星の光球面半径が一時的に増加する。そのため、表面有効温度が低下し（黒体放射ピークが長波長側にシフトするため）、可視光線波長域での光度上昇を生じていると考えられる (Tanaka et al. 2011)。

この初期減光期における V2676 Oph の新星エンベロープの膨張速度は、次第に速くなっているように見える。Kawakita et al. (2015) は、低分散分光スペクトルに見られる H $\alpha$  輝線が、 $t = 20$  days までと比べて、 $t = 32$  days 以降には輝線幅が増加したことを報告している。また、Raj et al. (2017) の報告では、Na I の P Cyg プロファイルの吸収線位置は  $t = 22$  days および 26 days において、それぞれ  $-600$  km/s および  $-660$  km/s であった。その後、 $t = 34$  days では、Fe II の P Cyg プロファイルの吸収線位置が  $-950$  km/s まで速くなっており、バルマー輝線の P Cyg プロファイルから最終的には  $-1000$  km/s および  $-1100$  km/s ( $t = 67$  days および  $t = 91$  days) まで加速していると考えられる。図 6 に、V2676 Oph における新星エンベロープの膨張速度の時間変化を示した。膨張速度は極大前には減速傾向であり、極大後に再加速している。このような膨張速度の変化は、DQ Her においても見られている (Adams 1935; Martin 1989)。そういった意味でも、V2676 Oph は、DQ Her に非常に似ていると言える（第 2 章の議論を参照）。また、このような吸収線位置の加速は、まれに高分散スペクトルにおいても観測されることがある (Williams & Mason 2010; Arai et al. 2018)。

この時期、V2676 Oph における分子生成に関連しては、 $t = 37$  および 38 days に CO 分子の強い振動遷移バンド輝線が検出されている (Rudy et al. 2012b)。CO 分子の基本振動、倍音振動、第二倍音振動のバンドが輝線として観測されており、基本振動バンドは倍音振動よりも弱いことから、基本振動バンドは光学的に厚い状況になっていると考えられる。最も強い基本振動バンド ( $2.3 \mu\text{m}$  付近) は、同波長域の連続光レベルに比べて約 7 倍も大きなピークを持っており、これまでに観測された CO 分子の倍音振動バンドとして最も強いもののひとつである。このような強い CO 分子のバンド輝線が存在することは、新星エンベロープの放射冷却が比較的強かったことを意味している。おそらくこのような新星エンベロープ中のガスに対する放射冷却が、ダスト生

成と関連していると考えられる。また、この倍音振動輝線バンドはKバンドに含まれており、初期減光期におけるKバンド光度曲線の減光率 ( $t = 10 \text{ days} - 80 \text{ days}$ ) が他のバンドと比べて比較的緩やかになっている事とも関連があると考えられる (表1を参照)。

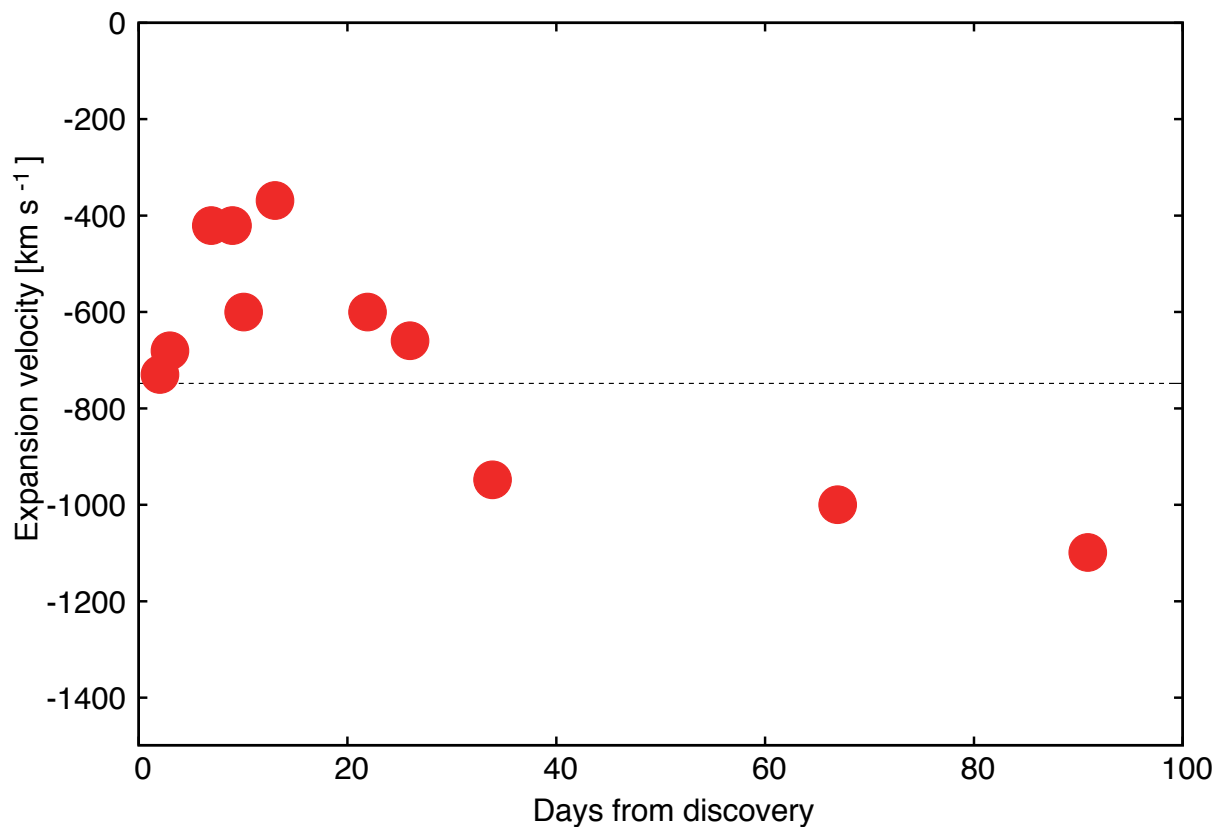


図6：新星エンベロープの膨張速度の変化。極大前には急激に膨張速度が小さくなるが、極大後には再び加速し、 $t = 34 \text{ days}$ 以降にはほぼ一定 (約  $1000 \text{ km/s}$ ) になっていることが分かる。点線は星雲期の輝線プロファイルから求められた最大膨張速度 (第6章参照)。

## 5 V2676 Ophにおけるダスト生成

Raj et al. (2017)が指摘するように、V2676 Ophの近赤外線波長域の光度 (Hバンド、Kバンド等級) が、発見から約90日後に突然、上昇している (図1参照)。それと同時に、可視光バンドにおける等級が、急激に暗くなっている。これらの特徴は、新星エンベロープにおけるダスト生成を示唆していると考えられる (ダストからの熱輻射による近赤外線バンドでの増光と、ダストによる散乱・吸収による可視光バンドでの減光)。色指数(J-K)は、Kバンド等級が最も明るくなった  $t = 93$  daysにおいて、およそ  $-3.1$  であった。これは、黒体輻射スペクトルを仮定すると、1500 — 2000 Kに相当する (Raj et al. 2017)。ここで得られた温度は、 $t = 93$  days頃にダストが凝結したという仮説を支持する。Varricatt et al. (2013)もまた、近赤外線バンドにおける光度変化を報告しており ( $t = 164$  — 380 days)、やはり、ダストの存在を支持している。

V2676 Ophにおけるダストの存在に関する直接的な証拠は、中間赤外線波長域での分光観測によって得られている。Kawakita et al. (2017)が  $t = 452$  days および 782 days に Subaru 望遠鏡と COMICS で行った中間赤外線分光観測の結果において、非晶質炭素質粒子によると思われる熱輻射の連続光成分とシリケート粒子による  $10 \mu\text{m}$  輝線を検出している (図7)。従来、気相からの粒子生成において、 $C/O > 1$  となるガスでは炭素系の粒子のみが、 $C/O < 1$  となるガスではシリケートなどの粒子のみが生成されたと考えられてきた。これは、平衡凝縮を仮定すると、前者の場合には全ての酸素原子がCO分子として取り込まれ、余った炭素原子が粒子を作る (後者では逆に全ての炭素原子がCO分子として取り込まれ、余った酸素原子が粒子を作る) と考えられてきたからである。しかし、V2676 Ophにおける、炭素原子を主体とする粒子と酸素原子を含む粒子との共存は、こうした粒子生成過程が平衡凝縮によるものではないということを意味している (Gehrz 2008)。

また、未同定赤外線輝線 (UIR) のひとつである  $11.4 \mu\text{m}$  輝線が、V2676 Ophにおいて検出されている (Kawakita et al. 2017)。このUIR輝線は、しばしばダスト生成新星において検出されている (例: V705 Cas, Evans et al. 1997)。このUIR輝線は、気相中のPAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon: 多環芳香族炭化水素) 分子か、あるいはHAC (Hydrogenated Amorphous Carbon: 水素化したアモルファス炭素) 粒子によるものと考えられている。しかし、気相中のPAH分子は新星からの高エネルギーな輻射によって簡単に破壊されてしまうと考えられ、 $11.4 \mu\text{m}$  のUIR輝線は、おそらくHAC粒子によるものではないかと考えられている (Evans & Rawlings 1994)。

一方、中間赤外線波長域の分光観測からは、V2676 Ophの白色矮星がCOリッチである可能性を支持する結果も得られている。O/Neリッチな新星では、減光期の後期から星雲期にかけて波長  $12.8 \mu\text{m}$  の[Ne II]輝線が強く検出される。しかし、V2676 Ophにおいて同輝線は有意には検出されず、このことはV2676 OphがO/Neリッチ新星ではなく、COリッチ新星であることを示唆している。この事と合わせて、V2676 Ophの白色矮星については、6章でも議論する。

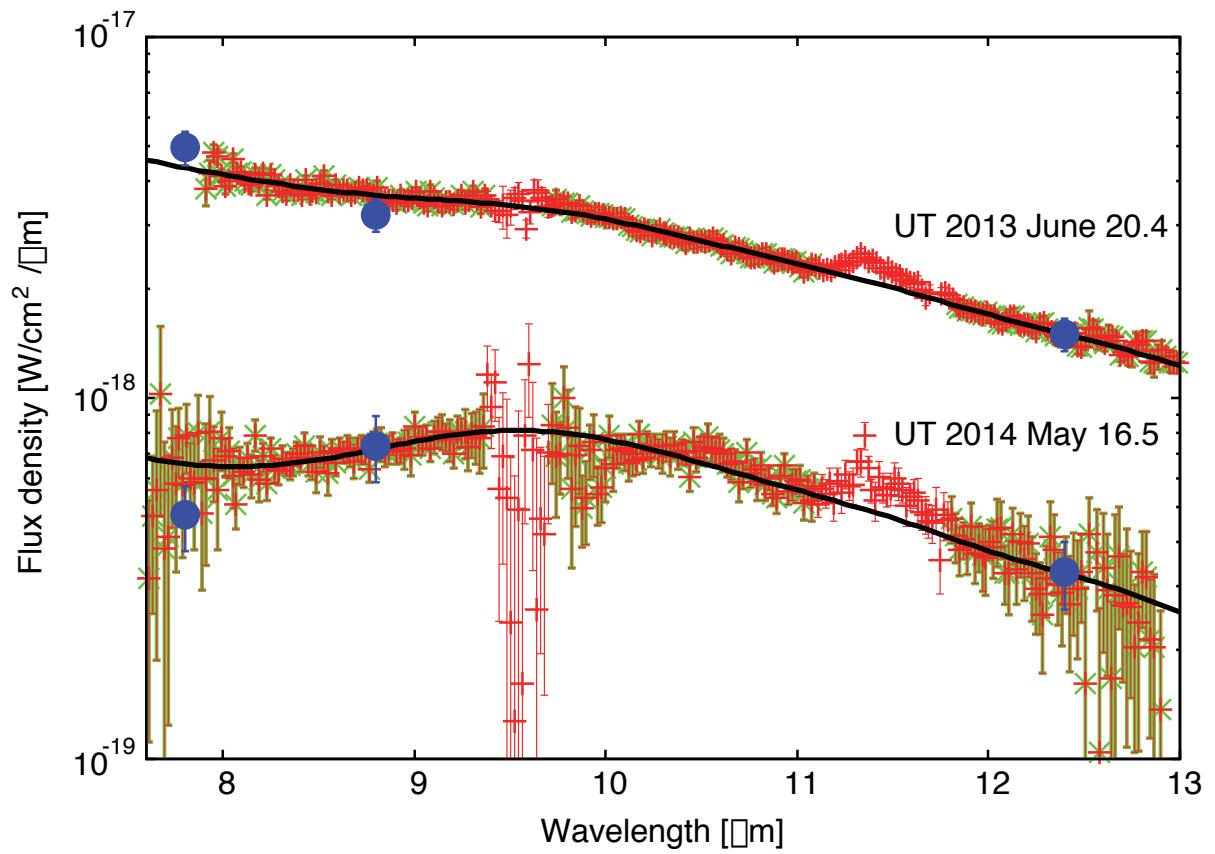


図 7 : V2676 Oph の中間赤外線スペクトル。黒の実線はモデル・スペクトルであり、分光データ (赤:全データ、緑:地球のオゾンの吸収および UIR 輝線領域を除いたデータ)と測光データ(青)を同時に重ねてある。

## 6 星雲期における V2676 Oph の輝線プロフィールと放出物の幾何学的形状

新星の星雲期においては、爆発放出物が光学的に薄くなり、惑星状星雲に似た状況を呈している。中心部にある白色矮星表面の水素原子核燃焼が終了すれば、基本的に白色矮星からの輻射によって周辺の希薄な電離ガスが輝線を発する。この時、輝線のプロファイルには電離ガス雲の幾何学的形状の情報が反映されており、新星爆発の非対称性を探る上で非常に重要である（例えば、Gill & O'Brien 1999 など）。Raj et al. (2017)は、 $t = 1138$  days での星雲期の可視光中分散分光スペクトルについて報告している。観測されたスペクトルの波長分解能は約 100 km/s であり、輝線の速度場構造がある程度分解できている。

図 8 には、[N II] 輝線から求めた速度場構造を示した。[N II] 輝線（波長 6548 Å および 6583 Å）は、 $H\alpha$  輝線（波長 6562.8 Å）と波長的に重なっているため、波長 6548 Å および 6583 Å の輝線について、それぞれ青側および赤側の輝線プロフィールを合成する形で速度場構造を抽出した。-400 km/s — 0 km/s 付近については、2つの輝線の強度比を約 3 とすることでほぼ一致している（これらの輝線は同一上位エネルギー状態からの輝線であり、光学的に薄い状態では遷移確率に比例した強度比となる： $\sim 3$ ）。この [N II] 輝線は観測されたスペクトルにおいて最も強度が強い輝線のひとつであり、きわめて S/N 比が高い。そのため、そこから得られ速度場構造は、非常に信頼性の高いものとなっている。そこで、得られた [N II] の輝線プロフィールを 3 成分のガウス関数でフィットした。その結果は、図 8 にも示したとおり、中心波長 (FWHM) が、それぞれ、+213 km/s (302 km/s)、-21 km/s (149 km/s)、-185 km/s (367 km/s) となった。

[N II] 輝線に見られたダブルピークの輝線形状は、星雲期において [O I] および [S III] といった他の禁制線にも見られている。図 9 に、それらの輝線のラインプロフィールを比較したものを示した。各輝線は、それぞれのピークの値で正規化している（[O I] および [S III] のそれぞれにおいて、2本の輝線比は、各遷移の Einstein の A 係数から予想される輝線強度比と矛盾していない）。[N II]、[O I] および [S III] については、基本的に速度構造は一致をしている。これらの輝線は、FWZI (Full Width at Zero Intensity) から得られる新星エンベロープの膨張速度は、約  $\pm 750$  km/s であり、また、視線方向に約  $\pm 200$  km/s 程度のピーク速度を持つ成分と、約 0 km/s の速度成分から構成されている。[S III] については、9069 Å および 9531 Å の成分があるが、これらは共に同じ上位状態からの遷移である。であるにも関わらず、これらの輝線のプロファイルが異なるのは、おそらく当該波長域に存在する強い地球大気吸収線の影響であろうと考えられる（さもないと、青方偏移した成分における光学的厚みの効果など、別の理由が考えられる）。

ダスト生成する新星については、近年、ショックによる放射冷却が重要な役割を果たしているという仮説が提案された (Derdzinski et al. 2017)。まず、新星爆発において連星系の軌道面（赤道面）に集中した遅い速度の放出物が最初に放出され、その後、新星風として比較的等方的な速い速度での質量放出があり、最初の放出物に衝突することでショックが生じ、赤道面円盤内でガスの密度増加と放射冷却による温度低下が起こると提案されている。この高密度・低温度な環境がダスト生成に寄与するという仮説である（もちろん、ダスト生成の前段階として分子の生

成が生じるはずである)。もしも視線方向が赤道面に近ければ、それは視線方向にダストが大量に生じることになり、可視光において急激な減光を生じると考えられる。実際、急激なダスト生成による減光が可視光度曲線に顕著に見られた DQ Her においては、静穏期の観測から連星系の軌道要素が得られており、連星系の軌道面と視線方向はほぼ一致している：軌道傾斜角 =  $86^{\circ} .5 \pm 1^{\circ} .6$  (Horne et al. 1993)。また、広がった新星爆発放出物の [N II] 波長の画像には、リング状の分布を真横から見たものに近い構造が認められる。V2676 Oph も、同様な例であると考えられる(残念ながら、V2676 Oph においては連星系の軌道要素は得られていない)。実際、V2676 Oph の星雲期の輝線プロファイルはダブルピークであり、こうしたリング状の物質分布を横から見ていて考えて矛盾しない。図 8 にあるように最大で  $\pm 750$  km/s の速度成分が存在しており、これは爆発初期に見られた新星エンベロープの膨張速度に匹敵している(図 6)。また、[N II] 輝線の赤方偏移成分が青方偏移成分に比べて弱くなっているが、上述の幾何学的形状に基づけば、これは新星エンベロープ中のダストによって、遠い側にある(赤方偏移した)成分が減光されているとして説明できる。

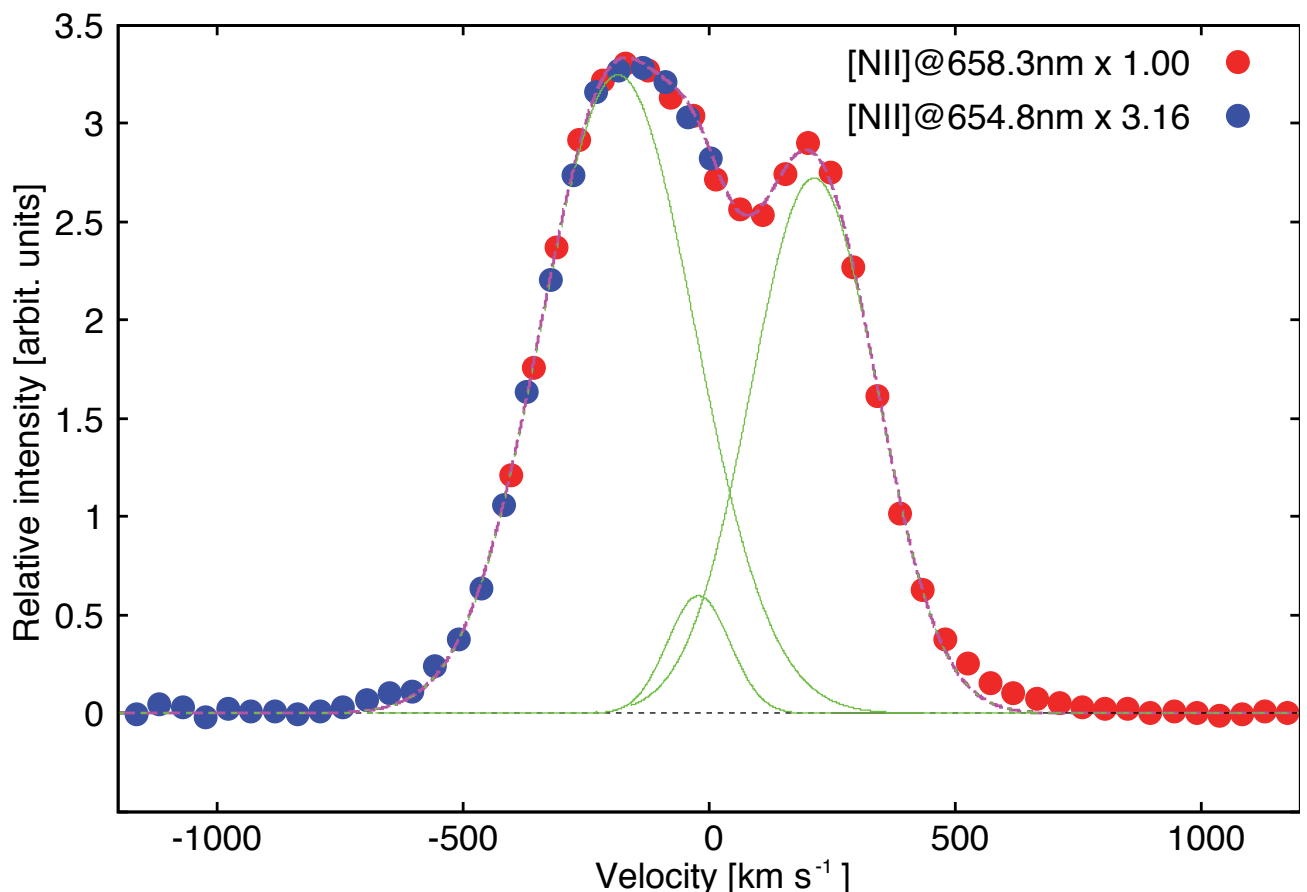


図 8 : V2676 Oph の星雲期における [N II] 輝線プロファイル。H $\alpha$  輝線のコンタミを避けるため、2つの輝線のプロファイルを使って合成している。輝線の FWZI はおよそ  $\pm 750$  km/s であり、ダブルピークとなっている。元データは Raj et al. (2017) のもの。緑の実線は3つのガウス関数の線形和としてフィッティングした結果である。中心が  $\pm \sim 200$  km/s および  $\sim 0$  km/s の成分から成っている事が分かる。

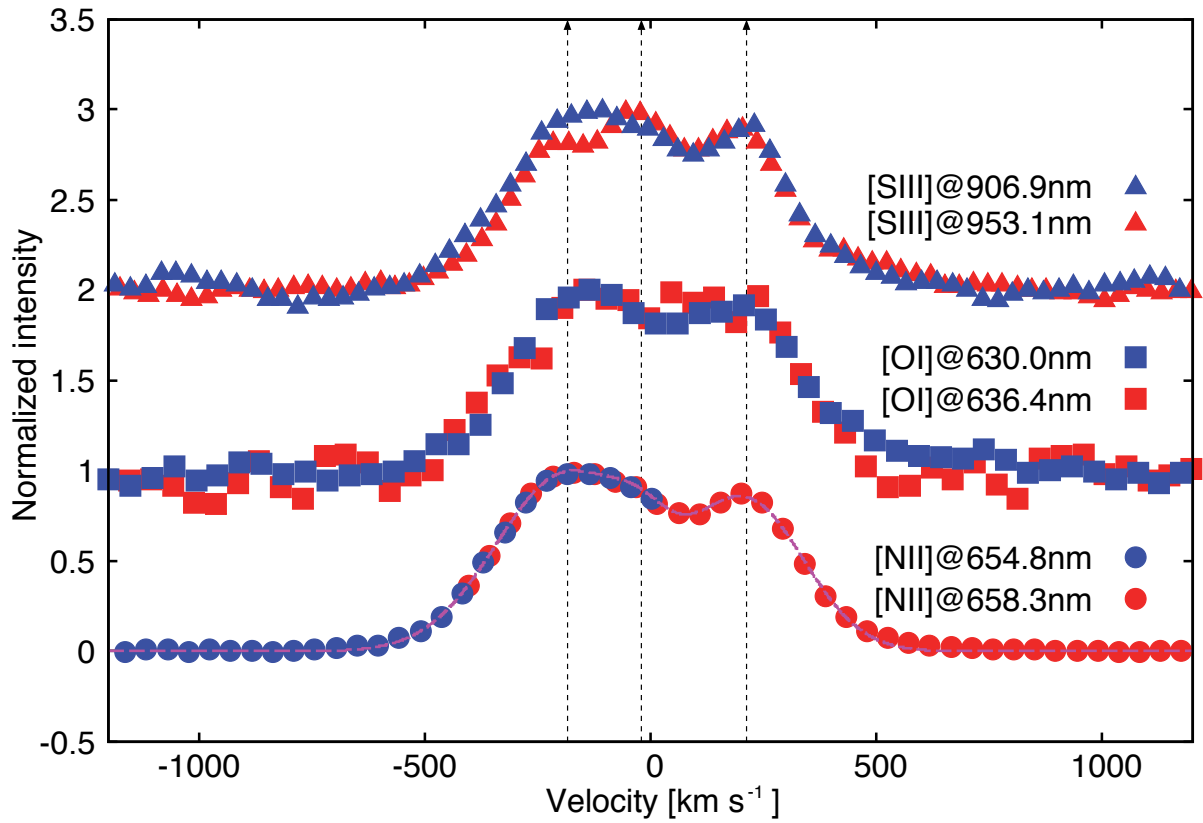


図 9 : 星雲期における V2676 Oph の [N II]、[O I]、[S III] 輝線のプロファイルの比較 (図 8 同様、オリジナルのデータは Raj et al. 2017)。輝線のピーク輝度で正規化しており、赤方偏移成分の速度を [N II] 輝線に揃えてある。[O I]、[S III] 輝線については、それぞれ、+1.0、+2.0 だけずらして表示している。縦の破線は、[N II] におけるガウス関数フィットの結果得られた成分の中心速度である。



## 7 議論 : V2676 Oph における元素合成

V2676 Oph における  $C_2$  および CN の検出は、Pontefract & Rawlings (2004) の新星アウトフロー中での分子形成シミュレーションの結果や、炭素星における  $C_2$  バンド吸収の存在から考えて、この新星の外層大気が炭素リッチ ( $C/O > 1$ ) であることを意味している (Nagashima et al. 2014)。一方で、過去の他の新星において放出物の元素組成比が推定された結果が Gehrz et al. (1998) によってまとめられているが、ほとんどの新星において  $C/O < 1$  である。また、José & Hernanz (1998) や Denissenkov et al. (2014) の理論計算では、ONe リッチな比較的重い白色矮星 ( $1.35 M_{\odot}$ ) において  $C/O > 1$  となる結果が得られているが、ほとんどの場合には  $C/O < 1$  である。以上の事から、V2676 Oph は、そもそも伴星から  $C/O > 1$  のガスを供給されたか (つまり、太陽組成ではなく炭素星のような進化の進んだ伴星を伴っていた)、あるいは比較的重い ONe リッチな白色矮星で行ったと考えられる。しかし、中間赤外線観測からは  $[Ne II]@12.8 \mu m$  が検出されておらず CO リッチな白色矮星と考えられ (第 5 章)、可視光度曲線やスペクトルの時間変化からも、比較的小さい質量の白色矮星であると言わざるをえない (第 2 章、第 3 章)。

しかし、José et al. (2016) によれば、過去の TNR の理論的研究において、CO リッチな白色矮星表面での新星爆発について白色矮星表面の元素組成は  $C/O \sim 1$  を仮定していることが多い。既に Starrfield (2008) が指摘しているように、白色矮星の外層は  $C/O \sim 1$  から大きく外れている可能性がある (Althaus et al. 2002; Gil-Pons et al. 2003; Denissenkov et al. 2014)。また、CO リッチな白色矮星が形成される過程を理論的に追った最近の結果からは、白色矮星の外層を除いて、 $C/O > 1$  となる結果が得られている (José et al. 2016)。そのため、こうした結果に基づいて、最終的な新星放出物も  $C/O > 1$  となる結果がシミュレーションで得られるようになってきた (José et al. 2016)。この計算が正しいとすれば、V2676 Oph の中心となった白色矮星は比較的軽い CO リッチな白色矮星であるとしても矛盾は無いかもしれない。今後の研究の進展が待たれる。

一方で、TNR の理論的研究において、同位体組成比の再現も重要な課題である。Kawakita et al. (2015) によって、初めて新星爆発放出物の窒素同位体比が決定され、同時に決定されている炭素の同位体比と合わせて、太陽系の隕石中の「プレソーラー粒子」の起源が解明されるなど、あらたな展開が始まっている。V2676 Oph における  $C_2$  および CN の観測から得られた炭素および窒素の同位体比は、それぞれ  $^{12}C/^{13}C \sim 4$  および  $^{14}N/^{15}N \sim 2$  である。炭素同位体比については、これまでに何例か CO バンド輝線から求められた例があり (表 3 にまとめた)、V2676 Oph で得られた値と近いものが多い ( $^{12}C/^{13}C \sim 1 - 10$ )。隕石中にごく少量だけ存在する「プレソーラー粒子」は、その同位体組成比が太陽系の平均値から大きく外れているという特徴を示し、太陽系形成以前の各種天体において形成されたダストの残滓であると考えられる (Nittler 2008)。同位体比の特徴から、AGB 星や炭素星、超新星爆発などの起源が考えられている。一方、一部のプレソーラー粒子については、低  $^{12}C/^{13}C$  比および低  $^{14}N/^{15}N$  比という特徴を示すものが見つかっており、元素合成に関する理論的な視点から、TNR で合成された元素が新星爆発で放出され

ストとして凝集した物ではないかと考えられてきた (José & Hernanz 2007)。V2676 Oph での窒素同位体比 (および炭素同位体比) 決定により、この仮説が初めて観測的に支持されたことになる。我々の太陽系は、一部、新星爆発で放出された物質からできていたのである。V2676 Oph においては、Rudy et al. (2012b)によって初期減光期に CO 分子の強い振動バンド輝線が検出されている (4章参照)。彼らの観測によって得られたスペクトルの S/N 比は十分高く、炭素同位体の決定が可能であると考えられる (例えば、Rudy et al. 2003 によって同様の観測から、V2274 Cyg の炭素同位体比が決定されている : 表 3)。CO 分子の輝線から得られる炭素同位体比を Kawakita et al. (2015)の結果と比較することで、より正確な同位体比の推定が可能となるだろう。

表 3 : 新星の  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  比および  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$  比のまとめ

Nova	$^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$	$^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$	Remarks
DQ Her	$\geq 1.5$	$\geq 2$	CN: Sneden & Lambert (1975)
NQ Vul	$> 3$		CO: Ferland et al. (1979)
V842 Cen	$2.9 \pm 0.4$		CO: Wichmann et al. (1990, 1991)
V705 Cas	$\geq 5$		CO: Evans et al. (1996)
V2274 Cyg	$1.2 \pm 0.3$		CO: Rudy et al. (2003)
V2615 Oph	$> 2$		CO: Das et al. (2009)
V496 Sct	$\geq 1.5$		CO: Raj et al. (2014)
	$\sim 1.3$		CO: Rudy et al. (2009, 2012c)
V2676 Oph	$\sim 4$	$\sim 2$	$\text{C}_2$ , CN: Kawakita et al. (2015)
V5668 Sgr	$\sim 1.5$		CO: Banerjee et al. (2016)

ここで TNR 理論により予想される元素合成の結果と、炭素および窒素の同位体比の観測結果を比較してみたい (José & Hernanz 2007; Denissenkov et al. 2014)。例えば、José & Hernanz (2007)の結果と比較すると、V2676 Oph で観測された窒素同位体比  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$  は、比較的重い白色矮星 ( $1.0 - 1.25 M_{\odot}$ 程度) で説明される。この場合、CO リッチでも ONe リッチでもよい。一方で、炭素同位体比  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  については、理論的に予想される値では小さすぎる傾向にある。しかし、Denissenkov et al. (2014)の結果では、CO リッチな白色矮星で質量が  $1.15 M_{\odot}$ の場合の結果が比較的、観測と良い一致を示している。このようにモデルによって多少の違いがあるが、基本的には「比較的重い質量の白色矮星でないと V2676 Oph の結果は説明できない」(より多くの  $^{15}\text{N}$  が生成されるためには、より高い温度で、より長い時間 TNR が持続することが必要である)。しかし、これも既に C/O 比に関する議論にもあるように、V2676 Oph の白色矮星は、可視光度曲線の減光率や可視光スペクトルの時間変化、中間赤外線スペクトル中に [Ne II]が見られなかった事などから、比較的軽い ( $\sim 0.6 M_{\odot}$ ) CO リッチな白色矮星であると考えられる。こうした理論

と観測の矛盾が、今後の TNR モデルの改善に役立つと考えられる。

以上のように、V2676 Oph の白色矮星の素性については十分に理解が進んでいない。表 4 にまとめたように、複数の観測的特徴から「0.5 — 0.7  $M_{\odot}$  の CO リッチな白色矮星」が V2676 Oph の中心にあると考えられるが、この仮定では観測された炭素および窒素の同位体比を従来の TNR モデルでは説明ができない。こうした観測と理論の不一致は、新星爆発に関する十分な理解が進んでいない事を示唆している。今後、V2676 Oph の静穏期がやってくる。その際、中心にある連星系の分光学的なモニタリングができれば（あるいは測光学的なモニタリングができれば）、連星系のパラメータである主星および伴星の質量、軌道傾斜角などが明らかになるだろう。新星爆発に関する理論の改訂が必要となるかもしれない。

表 4：観測から推定される V2676 Oph の白色矮星の特徴（タイプおよび質量）

観測的特徴	CO リッチ 白色矮星	ONe リッチ 白色矮星	白色矮星の 質量 [ $M_{\odot}$ ]	出典、参考文献など
(1) 初期減光期の小さな減光率： $0.013 \pm 0.004 \text{ mag day}^{-1}$ (in V-band) → 「遅い新星」クラス	Ok	NG?	約 0.6	Hachisu & Kato (2014); Horne et al. (1993); Gil-Pons et al. (2003)
(2) 極大前から極大期における膨張速度の減少および極大期以降の膨張速度の増加	Ok	NG?	0.5 — 0.7	Hachisu & Kato (2014); Kato & Hachisu (2009); Gil-Pons et al. (2003)
(3) 全放出物の質量： $0.2 - 4 \times 10^4 M_{\odot}$	Ok	Ok	—	Raj et al. (2017); Gehrz (2008)
(4) [Ne II] 輝線 ( $12.8 \mu\text{m}$ )、未検出	Ok	NG	—	Kawakita et al (2017)
(5) 炭素リッチな放出物: $C/O > 1$	Ok	Ok	—	Nagashima et al. (2014); Pontefract & Rawlings (2004); José et al. (2016)
(6) 炭素および窒素の低い同位体比： $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} \sim 4$ , $^{14}\text{N}/^{15}\text{N} \sim 2$	Ok	Ok	1.0 — 1.25	Kawakita et al. (2015); José & Hernanz (2007); Denissenkov et al. (2014)

## 8 まとめ

ダスト生成が起こった古典新星 V2676 Oph は、その極大期から初期減光期において C<sub>2</sub>、CN、CO の3種類の二原子分子が検出され、しかも、ダスト生成後には HAC 粒子（あるいは PAH 分子）の存在が確認されたという意味で、大変、ユニークな存在である。V2676 Oph のように、新星爆発初期の分子生成からダスト形成にいたる過程が詳細に観測された例は、ほとんど無い。新星の光球面に C<sub>2</sub>が存在することから C/O > 1 となることが予想されるが、生成されたダストは炭素質なものばかりではなく、シリケート粒子も存在しており、非平衡なダスト凝縮過程であることが予想される。また、窒素同位体比が初めて観測から決定され、炭素および窒素の同位体比が、太陽系のプレソーラー粒子の一部と似ていることが分かった。新星爆発の理論的な側面からは、①C<sub>2</sub>が顕著に生成されるような C/O > 1 な放出物、②観測された窒素同位体比 <sup>14</sup>N/<sup>15</sup>N および炭素同位体比 <sup>12</sup>C/<sup>13</sup>C、を説明するために比較的質量の大きな (1.0 – 1.25 M<sub>⊙</sub>程度) 白色矮星が必要となる。一方で、V2676 Oph の可視光度曲線や可視光スペクトルの変化、中間赤外線観測の結果からは比較的質量の軽い (~0.6 M<sub>⊙</sub>) CO リッチな白色矮星であると推定され、両者の間に矛盾がある。星雲期における輝線プロファイルからは、V2676 Oph の放出物の幾何学的形状が、視線方向に赤道面を持つリング状の放出物（放出速度は~750 km/s）が主な成分であり、弱いながら視線方向と直交した方向への双極的なフローも存在する可能性が示唆される。

## 参考文献

- Adams, W. S., Christie, W. H., Joy, A. H., Sanford, R. F., & Wilson, O. C., *PASP*, 47, 205
- Antipova, L. I. 1969, *SvA*, 13, 288
- Arai, A., & Isogai, M. 2012, *CBET*, 3072, 2
- Arai, A., Kawakita, H., Shinnaka, Y., & Tajitsu, A. 2016, *ApJ*, 830, 30
- Arai, A., et al. 2018, (this volume)
- Althaus, L. G., Serenelli, A. M., Córscico, A. H., & Benvenuto, O. G. 2002, *MNRAS*, 330, 685
- Barbier, Daniel, & Chalonge, Daniel 1940, *Annales d'Astrophysique*, 3, 26
- Banerjee, D. P. K., & Ashok, N. M. 2012, *Bulletin of the Astron. Soc. of India*, 40, 243
- Banerjee, D. P. K., Srivastava, Mudit K., Ashok, N. M., & Venkataraman, V. 2016, *MNRAS*, 455, L109–L113
- Das, R. K., Banerjee, D. P. K., & Ashok, N. M. 2009, *MNRAS*, 398, 375
- Denissenkov, P. A., Truran, J. W., Pignatari, M., et al. 2014, *MNRAS*, 442, 2058
- Derdzinski, A. M., Metzger, B. D., & Lazzati, D. 2017, *MNRAS*, 469, 1314
- Downes, R. A., & Duerbeck, H. W. 2000, *AJ*, 120, 2007
- Evans, A., & Rawlings, J. M. C. 1994, *MNRAS*, 269, 427
- Evans, A., Geballe, T. R., Rawlings, J. M. C., & Scott, A. D. 1996, *MNRAS*, 282, 1049
- Evans, A., Geballe, T. R., Rawlings, J. M. C., Eyres, S. P. S., & Davies, J. K. 1997, *MNRAS*, 292, 192
- Evans, A., Tyne, V. H., Smith, O., Geballe, T. R., Rawlings, J. M. C., & Eyres, S. P. S. 2005, *MNRAS*, 360, 1483
- Evans, A., & Rawlings, J. M. C. 2008, in *Classical Novae*, ed. M. F. Bode & A. Evans (2nd ed., Cambridge Astrophysics Series No. 43; Cambridge: Cambridge Univ. Press), 308
- Ferland, G. J., Lambert, D. L., Netzer, H., Hall, D. N. B., & Ridgway, S. T. 1979, *ApJ*, 227, 489
- Gehrz, R. D., Truran, J. W., Williams, R. E., & Starrfield, S. 1998, *PASP*, 110, 3
- Gehrz, R. D. 2008, in *Classical Novae*, ed. M. F. Bode & A. Evans (2nd ed.; Cambridge: Cambridge Univ. Press), 167
- Gill, C. D., & O'Brien, T. J. 1999, *MNRAS*, 307, 677
- Gil-Pons, P., García-Berro, E., José, J., Hernanz, M., & Truran, J. W. 2003, *A&A*, 407, 1021
- Hachisu, I., & Kato, M. 2014, *ApJ*, 785, 97
- Hachisu, I., & Kato, M. 2015, *ApJ*, 798, 76
- Hauschildt, P. H., Starrfield, S., & Allard, F. 1994, in *ASP Conf. Ser. 64, Cool Stars*,

- Stellar Systems, and the Sun, Eighth Cambridge Workshop, ed. J.-P. Caillault (San Francisco, CA: ASP), 705
- Horne, K., Welsh, W. F., Wade, R. A. 1993, *ApJ*, 410, 357
- Iijima, T., & Nakanishi, H. 2008, *A&A*, 482, 865
- José, J., & Hernanz, M. 1998, *ApJ*, 494, 680
- José, J., & Hernanz, M. 2007, *M&PS*, 42, 1135
- José, J., Halabi, G. M., El Eid, Mounib F. 2016, *A&A*, 593, 54
- Kato, M., & Hachisu, I. 2009, *ApJ*, 699, 1293
- Kawakita, H., Fujii, M., Nagashima, M., et al. 2015, *PASJ*, 67, 17
- Kawakita, H., Arai, A., & Fujii, M. 2016, *PASJ*, 68, 87
- Kawakita, H., Ootsubo, T., Arai, A., Shinnaka, Y., & Nagashima, M. 2017, *AJ*, 153, 74
- Martin, P. G. 1989, in *Classical Novae*, ed. M. F. Bode & A. Evans (New York: Wiley), 93
- Nagashima, M., Arai, A., Kajikawa, T., Kawakita, H., Kitao, E., Arasaki, T., Taguchi, G., & Ikeda, Y. 2014, *ApJ*, 780, L26
- Nagashima, M., Arai, A., Kajikawa, T., Kawakita, H., Kitao, E., Arasaki, T., Taguchi, G., & Ikeda, Y. 2015, *Acta Polytechnica CTU Proc.*, 2, 212
- Nelson, T., Mukai, K., Sokoloski, J., Chomiuk, L., Rupen, M., Mioduszewski, A. 2012a, *ATel*, 4055
- Nelson, T., Mukai, K., Sokoloski, J., Chomiuk, L., Rupen, M., Mioduszewski, A. 2012b, *ATel*, 4087
- Nishimura, H. 2012, *CBET*, 3072, 1
- Nittler, L. R. 2008, in *Proceedings of the 10th Symposium on Nuclei in the Cosmos (NIC X)*, 13, <http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=53>
- Osterbrock, D. E., & Ferland, G. J. 2006, *Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei* (2nd ed.; Sausalito, CA: Univ. Science Books)
- Pontefract, M., & Rawlings, J. M. C. 2004, *MNRAS*, 347, 1294
- Raj, A., Ashok, N. M., Banerjee, D. P. K., Munari, U., Valisa, P., & Dallaporta, S. 2014, *Stella Novae: Past and Future Decades*. ASP Conference Series, Vol. 490, Proceedings of a conference held 4–8 February, 2013 at the Pavilion Clock Tower, Cape Town, South Africa. Edited by P. A. Woudt and V. A. R. M. Ribeiro, 2014, p.267
- Raj, A., Das, R. K., & Walter, F. M. 2017, *ApJ*, 835, 274
- Rudy, R. J., Dimpfl, W. L., Lynch, D. K., et al. 2003, *ApJ*, 596, 1229
- Rudy, R. J., Prater, T. R., Puetter, R. C., Perry, R. B., & Baker, K. 2009, *IAUC*, 9099
- Rudy, R. J., Laag, E. A., Crawford, K. B., Russell, R. W., Puetter, R. C., & Perry, R. B. 2012a, *CBET*, 3287, 1

- Rudy, R. J., Russell, R. W., Sitko, M. L., Lisse, C. M., Rayner, J., Golisch, W., & Chen, C. 2012b, CBET, 3103, 1
- Rudy, R. J., Russell, R. W., Dimpfl, W. L., Prater, T. R., Bernstein, L., Puetter, R. C., Perry, R. B., Sitko, M. L., Bjorkman, K. S., & Wisniewski, J. P. 2012c, Bulletin of American Astronomical Society, AAS Meeting, 219, 436.18
- Sanford, R. F. 1935, PASP, 47, 209
- Snedden, C., & Lambert, D. 1975, MNRAS, 170, 533
- Starrfield, S. 2008, in Classical Novae, ed. M. F. Bode & A. Evans (2nd ed.; Cambridge: Cambridge Univ. Press), 77
- Stoy, R. H., & Wyse, A. B. 1935, PASP, 47, 50
- Strope, Richard J., Schaefer, Bradley E., & Henden, Arne A. 2010, ApJ, 140, 34
- Tanaka, J., Nogami, D., Fujii, M., Ayani, K., Kato, T., Maehara, H., Kiyota, S., Nakajima, K. 2011, PASJ, 63, 911
- Varricatt, W. P., Carroll, T., Ehle, J., Wold, T., et al. 2013, ATel, 5090
- Walter, F. M., Battisti, A., Towers, S. E., Bond, H. E., & Stringfellow, G. S. 2012, PASP, 124, 1057
- Warner, B. 2008, in Classical Novae, ed. M. F. Bode & A. Evans (2nd ed.; Cambridge: Cambridge Univ. Press), 16
- Wichmann, R., Krautter, J., Kawara, K., & Williams, R. E. 1990, AGAb, 5, 17
- Wichmann, R., Krautter, J., Kawara, K., Williams, R. E. 1991, The Infrared Spectral Region of Stars, Proceedings of the International Colloquium held in Montpellier, France, 16-19 October 1990. Edited by Carlos Jaschek and Y. Andrillat. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 353
- Williams, R. E. 1992, AJ, 104, 725
- Williams, R., & Mason, E. 2010, Ap&SS, 327, 207
- Wilson, O. C., & Merrill, P. W. 1935, PASP, 47, 53
- Wyse, A. B. 1940, Publications of Lick Observatory, 14, 93

## 2016 年度研究成果報告書

タイトル: 早期減光期の古典新星 V2659 Cyg における吸収線の時間変化と起源

担当: 新井 彰、河北秀世

共同研究者: Ashish Raj (Indian Institute of Astrophysics, India)

関連出版:

Akira Arai, Hideyo Kawakita, Yoshiharu Shinnaka, Akito Tajitsu, 2016, *Astrophysical Journal*, 830, 30, “Origins of Absorption Systems of Classical Nova V2659 Cyg (Nova Cyg 2014)”

関連学会発表等:

「古典新星 V2659 Cyg (=Nova Cyg 2014) にみられた吸収線の起源」、日本天文学会  
2016 年春季年会



## 早期減光期の古典新星 V2659 Cyg における吸収線の時間変化と起源

新井 彰、河北秀世 (神山天文台)

Ashish Raj (Indian Institute of Astrophysics, India)

### 概要

古典新星（以下、単に新星）では、早期減光期において2つの速度成分を持つ吸収線系が観測されることが多い。新星爆発放出物がどのような空間分布をしており、また新星で検出されるこれらの様々な吸収線が、新星爆発放出物のどこで形成されているのかについては、現在でも議論が続いている。しかし、この観測事実を説明できる妥当な物理モデルは、いまだ提案されていない。本稿では、これまでの新星吸収線系に対する理解を新星爆発放出物の物理的描像という視点で整理し、これらに基づいて、我々が観測した V2659 Cyg の早期減光期から星雲期における高分散分光スペクトルの解釈を試みた。特に、早期減光期の V2659 Cyg に観測された吸収線の起源や、吸収線の時間変化の原因について議論する。観測された吸収線の高速成分のプロファイル変化は、多数のブロッブ状の放出物の存在と、時間と共に移動する電離領域の存在によって、定性的に説明できる。一方、低速成分については、新星風が起源となる可能性が示唆される。星雲期において観測された輝線も、やはり高速および低速成分の2成分からなっており、基本的には早期減光期に見られた速度構造に近い。低速成分が double-horned (2角の) ピーク形状を示したことから、低速成分にはリング状に分布した放出物 (エッジオンに近い) が含まれている可能性が高いと言える。

## 1 イントロダクション

### 1.1 新星のスペクトルに見られる吸収線

古典新星は、白色矮星と主系列星からなる近接連星系において、白色矮星表層に降着した水素ガスが暴走的熱核反応を起こすことによって生じる爆発現象である。白色矮星表面に溜まった水素ガスが約  $10^8$  K に達すると暴走的熱核反応(Thermo-Nuclear Runaway: TNR)が生じ、白色矮星表層のガスを宇宙空間に吹き飛ばす。新星爆発は TNR 発生後 1 日程度で劇的な増光をしたのち、ゆっくりと減光する。爆発後に急激に膨張したガス球によって、外層ガスの内部でガスを加速する機構が働き新星風とよばれる激しいガス流が生じる。新星風によって密度の高いガス放出が継続的に生じ、減光中は光球面が形成され free-free 連続放射が新星の主な放射成分となる。この光球面からの連続光放射が背景光となり、それより外側にあるガスによって吸収線が形成される。また、より外層の密度の薄いガスからは輝線が放出され、それらの輝線は、しばしば (前述の吸収線と共に) P Cyg プロファイルを示す。時間の経過につれて白色矮星表層からのガス流のフラック

スが減少することにより、密度の濃い領域は白色矮星の側へ移動し、それに伴い光球面半径が縮小するために有効表面温度が上昇する。白色矮星表面に溜まっていたガスを使いきった頃には、本来の白色矮星からの高温放射に放出ガスが曝されることにより輝線を形成し、惑星状星雲に似た状況となる。この段階（星雲期）では、新星からの放射は輝線が主な成分となる。

これまでの研究により、多くの新星では、早期減光期において、可視光線波長域やUV波長域でのスペクトルに、特徴的な2種類の速度を持つ吸収線系が見られることが知られている。新星の減光期間中に検出される元素吸収線の変化を調べることにより、新星爆発放出物の、視線方向の物理構造を理解することができると期待される。1950年代に McLaughlin が近代的な高分散分光観測の結果を元に、新星のスペクトルには時間の経過とともに複数種類の吸収線が検出されることをまとめた (McLaughlin 1950a, 1950b, 1965)。McLaughlin は、各種の吸収線系を時系列に従って、“pre-maximum”、“principal”、“diffuse enhanced”、“Orion”と名付け、それぞれの吸収線系の特徴から、新星爆発で広がる複数のガス層 (multiple gas shell) の構造とその時間変化を議論した。“pre-maximum”系は主として新星極大以前に見られる吸収線系であり、各種吸収線系の中で最も速度が遅い。“principal”系は特に爆発の極大後に“pre-maximum”系と交代するように現れ、主として早期減光期に見られる吸収線系であり、吸収線のプロファイルはガウシアンに近い単純な形である。一方で、“diffuse enhanced”系および“Orion”系と呼ばれる吸収線系は、“principal”系よりも時間が経過してから出現する吸収線系であり、速度も速く幅が広いことに加え、吸収線プロファイルが歪で複雑な形状をしているという特徴を持つ。この議論は当時としては画期的なものであり、新星の物理描像の構築に大きく貢献した。それ以降新星の吸収線の分類は McLaughlin の分類に従って報告されるようになったが、それ以上詳しい放出物質層の物理構造に関する描像はあまり深く追求されてこなかった。そこには、こうした研究に高分散分光観測が必要となる（非常に明るい新星でないと難しい）ことに加え、吸収線に時間変動があるため時間的に密に観測することが必要となり、高分散分光モニター観測が必要であったことが、組織的かつ体系的な研究を進める上で障壁となっていたと考えられる。この障壁は、近年になって解消されつつある。中・大口径望遠鏡のマシントimeを豊富に利用することが可能になるにつれて、新星の高分散分光観測のモニターを行えるようになってきた。その結果、詳細なラインプロファイルの変化に着目することが可能になり、より詳細かつ普遍的な爆発機構についての仮説が提唱されるようになってきた。

## 1.2 Transient Heavy Element Absorption (THEA)系の観測的特徴

本研究では、早期減光期の新星に見られる吸収線を、速度の分布に応じて大きく2つに分けて考察する。以下では吸収線の低速成分を LVC (Low-Velocity Component)、高速成分を HVC (High-Velocity Component)と呼ぶことにする。ここで言う LVC は、Williams et al. (2008)および Williams (2013)で報告および議論されている過渡的な重元素吸収線(Transient Heavy Element Absorption:

THEA)系のことであり、その観測的な特徴は次の通りである。

#### [THEA の特徴]

- ・ 新星の吸収線の中では比較的低速な吸収成分であり、McLaughlin の分類では、“principal”系と分類されている吸収線系である。
- ・ 新星極大後に現れ、早期減光期に時間と共に消失していく吸収線系である（2~8 週間程度しか顕著に検出されない）。
- ・ 吸収線は、視線速度  $v = -500 \text{ km/s} \text{ --- } -1000 \text{ km/s}$  の位置に出現し、高速成分 LVC のおよそ半分程度の視線速度を持つ。
- ・ 主に Fe II, Ti II, Na I, Cr II, Zr II, Sr II, V II, Y II, Ca II といった低電離の重元素について、低い励起ポテンシャルのエネルギー準位 ( $< 4 \text{ eV}$ ) からの吸収線として検出されている。これらは主に準安定準位からの吸収線であり、それが許容線の吸収線に比べて卓越するのは、膨張するガス球に対する入射光の希釈効果が効くようになってきた結果と理解される（e.g., Weaver 1944; Kogure & Leung 2007）。その他、He I, Fe II, O I など、新星で特に強い輝線も同じ速度の吸収線を伴っている場合がある。
- ・ 新星の約 80%において検出され、その原因となる放出物の空間構造は比較的等方的と推定されている。
- ・ 吸収線の形状は、比較的スムーズな輪郭を持っている。吸収線の幅は狭く、しかも吸収線強度が弱いこともあり、低分散分光観測では（波長分解能が足りず）明確に検出することは難しい。

なお、McLaughlin (1965)では、Nova Gem 1912においてこれらの重元素が principal系で特に強く見られ、(THEA といった名称は特に付けられていなかったが) 時間経過にともなって消失していくことが記されている。

一方、HVC は、LVC の速度のおおよそ 2 倍の速度域に存在する吸収線系であり、LVC のように重元素は強く検出されない(Williams et al. 2008; Williams & Mason 2010; Williams 2013; Arai et al. 2016)。また、検出される視線速度範囲は LVC よりも速く ( $1000 \text{ km/s} \text{ --- } 1500 \text{ km/s}$ )、こちらも時間と共に徐々に吸収強度が弱くなっていくが、LVC よりも長期間にわたって検出されることが多い。また、非常に複雑な吸収線プロファイルを示す事が多いといった特徴がある。こうした観測的特徴のうち、重元素の吸収線があまり強く検出されないという特徴は、(LVC において準安定準位からの吸収線が放射場の希釈効果によって強く観測されるのであれば) HVC 起源となるガスにおいて希釈効果があまり効いていない（つまり光源に近い）ことを意味しているのかもしれない。

### 1.3 吸収線の起源とガス放出過程の物理モデル

これら吸収線の起源については、多くの先行研究があり、新星のガス放出機構および爆発放出物の空間分布について様々な物理的描像が提案されてきた。ここではそれらを紹介するため、新星爆発放出物の物理的描像を理解する上でカギとなる観測事実を、各モデルがどの程度、説明できているかに着目してまとめた（表 1）。表 1 では、Li et al. (2017) のモデルが優勢に思えるが、輝線形状や、ガンマ線放射、ダスト形成に関しては、Mason et al. (2018) でも定性的には言及している。Williams (2013) では THEA の観測的特徴を軸にして、新星のスペクトル分類（Fe II タイプと He/N タイプ）や新星爆発における物質の放出過程を検討している（ガンマ線放射は議論していないが、硬 X 線について言及されている）。しかしながら、Williams のモデルでは LVC として観測される THEA の起源となるガスは「新星爆発以前の伴星からの放出物である」とした仮説であり、LVC における  ${}^7\text{Be}$ （半減期  $\tau \sim 53$  日）の検出を説明できない。一方で、Williams (2013) で提案された伴星由来のガスを基軸にした描像は、Li et al. (2017) で提案されている外層ガスの構造と初期のフローの起源が異なるが、構造そのものや爆発直後の状況は類似性が高い。そこで我々は新星の外層の物理モデルは、1.4 節および 1.5 節で紹介する 2 つのモデル（**多重放出モデル**および**一回放出モデル**）に集約されていると考え、今後の議論を展開する。

表 1. 代表的な新星放出物のモデルにおける、観測事実との整合性。論文中で議論されていない観測事実には印をつけていない。丸印は論文中で説明可能であることが論じられている項目を示す。二重丸は、より定量的な側面でも妥当性が述べられている項目を示す。×印は、当該モデルでは説明できないことを示す。

物理的モデル	ガンマ線放射	ダスト生成	THEA	輝線形状	${}^7\text{Be}$ の存在
Williams (2013)			◎	○	×
Li et al. (2017)	◎	◎	○	○	○
Mason et al. (2018)	○	○	○	◎	○

### 1.4 多重放出モデル (Multiple ejection model)

これまでの多くの先行研究では、低分散から高分散分光観測のデータを元に、2 段階あるいは複数回の放出過程が生じている可能性を示唆されてきた。その根拠となるものは、当然ながら複数の速度成分が、それぞれ異なった出現時期、盛衰の時間スケール、吸収線形状を持つと考えられてきたためである。

Li et al. (2017) のモデルは、新星爆発が少なくとも 2 度の質量放出を起こすという Chomiuk et al. (2014) の仮説に基づき、①新星爆発初期に観測されるガンマ線、②新星の約 20% が起こす顕著なダスト生成 (Derdzinski et al. 2017)、③THEA といった新星初期に比較的短時間の時間スケール

で生じる現象、を定性的に説明可能であるという点で着目すべき物理的描像である。このモデルでは、まず新星爆発のごく初期に近接連星系の第二ラグランジュ (L2) 点から高密度のガス流が連星の軌道面内にスパイラル構造を成して放出されるとしている。そして新星爆発からしばらくして極大付近になると、光球面内部では主に電離した Fe (Fe II および Fe III) の吸収による加速が生じ新星風が吹き始める。その新星風によって放出されたガスが初期に放出された高密度の放出物に衝突することにより圧縮が生じ、ガンマ線やダスト生成のきっかけをつくる。また、初期のガス流の公転面における速度は~1000 km/s であり、この速度は THEA と定性的に一致する。Williams (2013)では過去に伴星から放出されたスパイラルフローが LVC の起源であり、伴星起源のガスと新星風が衝突することにより、LVC は消失するという描像を提案していた。Li et al. (2017)のモデルは、Williams (2013)によるモデルと初期放出物の起源が異なるが、先に放出された放出物に後から新星風放出物が衝突するという描像では非常に類似している。

また、近年の観測的な進展として、核融合反応の生成物である  ${}^7\text{Be}$  が吸収線として検出されている (Tajitsu et al. 2016; Molaro et al. 2016)。 ${}^7\text{Be}$  は水素核融合の際に生じる元素であり、半減期 53 日で  ${}^7\text{Li}$  へと壊変する。そのため、 ${}^7\text{Be}$  が検出される速度系のガスは、ほぼ間違いなく直近の新星爆発後の放出物であると考えられる。Tajitsu et al. (2015)、Tajitsu et al. (2016)、Molaro et al. (2016)は、新星の初期~爆発後 100 日ごろのデータに関し、顕著な複数成分の吸収線 (即ち LVC および HVC に属する吸収線系) を示していない V339 Del についても  ${}^7\text{Be}$  が存在することを示したのみならず、明確に LVC と HVC の両方の特徴を示した V5886 Sgr, V2944 Oph についても、その両方の速度成分に  ${}^7\text{Be}$  を含むことを発見した。この発見により、少なくとも LVC および HVC の起源は、直近の新星爆発における放出ガスであることが分かる。そのため、THEA は (Williams 2013 のモデルのように) 伴星起源のアウトフローを起源として説明することは困難であり、新星爆発後に放出されたガスのみによって説明する必要が生じた。Li et al. (2017)のモデルは、この要求を満たしている (表 1)。

### 1.5 一回放出モデル (Single ejection model)

上述の Li et al. (2017)モデルと違い、Mason et al. (2018)では、塊状のガス雲を含む放出物(大きなムラのあるガス層)が弾道的に (ballistic ejecta として) 吹き飛ばされるという前提に基づいたモデルを提案している。一度放出されたガスは ballistic law を示す Hubble flow ( $v \propto r$ )となる (速度勾配は距離に比例する)。このとき、白色矮星からの放射を背景光として、放出されたガス塊 (ブロップ) は吸収を作る。したがって、複数の吸収線が様々な速度で検出されることになる。新星の極大から時間が経過すると、白色矮星からの放射がより高温度なスペクトルとなり (即ち、より短波長側に卓越した放射スペクトルとなり)、それにつれてガス内の高電離領域は新星放出物の、より外側に向かって広がってゆく。つまり、放出物ガス雲中での相対位置関係や速度場が大きく変わらないとしても、観測されたスペクトルに検出される吸収線は、動径方向のガスを徐々

に外側にトレースするように移り変わっていくはずである。また、放出物のガス中で再結合が進むとともに、次第に外側のガスの中性化が進行する。このように、特定の電離度のガスの領域は、たとえ時間的に変化しない速度場を持つ新星外層であっても、次第に移り変わってゆくことになり、見かけ上、当該電離領域の示す速度成分が次第に変化するように見えたと予想される。新星の外層に起源を持つ吸収線に関するこのモデルは、Shore (2012)で T Pyx の吸収線の時間変化を説明するモデルとして具体的に提案された。Mason et al. (2018)では、Shore (2012)の仮説を数天体の観測データを用いて裏付ける試みがされている。その中では LVC および HVC という吸収線の分類は特にしておらず、新星爆発に複数の放出過程を必要としないという立場をとっている。なお、Mason et al. (2018)のモデルでは、新星放出物は TNR による爆発での弾道的な放出物であって、新星風そのものが不要とする立場を取っているが、その点については問題があると考えている。即ち、現時点で新星極大後の可視光度曲線を定量的に説明可能なモデルは、唯一、新星風を基礎とするモデルであるという点である。そのため筆者らは、新星風は存在しており、その前提の元で新星爆発時の放出物の物理的描像を構築すべきであると考えている。

## 1.6 本研究の目的

上述のように、現時点では新星爆発中の放出外層の物理モデルは、**多重放出モデル**および一回放出モデルのいずれかとして分類可能であろう。いずれのモデルにも自然に説明できる観測事実がある一方、全てを簡潔に説明できるのかどうかは、今後の定量的な評価による検証が不可欠である。新星爆発そのものが過渡的であり、同じ天体の爆発は極端に回帰周期が短い回帰新星以外には観測することができない。ただし、回帰新星の吸収線については、ほとんどが単独の吸収成分を示す天体ばかりで、LVC および HVC の2つの速度システムが明確に検出されたことがない。一方で、古典新星にはどちらも現れる。

このような状況を鑑みると、回帰新星のように白色矮星質量が比較的大きな白色矮星で生じると考えられる新星は、Mason et al. (2018)に代表されるような単一放出モデルで説明ができ、一方で、白色矮星の質量が小さく、より多くのガスを貯めこんでから爆発に至る古典新星は、Li et al. (2017)で説明できるように思える。しかし、大筋で正しいと思えるこれらの2つの代表的な仮説が、個々の新星で成立するのかどうかを検証することが必要である。

新星爆発の周期は、本質的に連星系のパラメータに依存する。すなわち、主星である白色矮星の質量および伴星からの質量移動率である（例えば、回帰新星である T Pyx では白色矮星質量は Uthas et al. 2010 により約  $0.7M_{\odot}$  と推定されており、かならずしも大きな白色矮星質量とは限らないことに注意）。そのため、回帰新星において吸収線系が一つしか見られないという事実は、その起源が何か連星系の物理に関連した事象である事を強く示唆している。基本的にはタイムスケールの違いであると理解するならば、回帰新星において LVC および HVC が見られない理由も、時間的に極めて短時間に膨張する新星光球面では L2 点からの質量放出が十分に起きないままに新星

風が吹くためであるという解釈も可能である。とするならば、slow novae と fast novae での LVC 吸収線系の存在期間の長さなどを観測的に調べ、減光率との相関を調べるのが重要かもしれない。

我々は 2014 年に爆発し 2 種類の吸収線系が検出された V2659 Cyg について、我々の得た高分散分光データに基づき、高波長分解能スペクトルにおける吸収線の形状等を調査することで既存の新星放出物モデルを評価した(Arai et al. 2016)。その結果、新星放出物は全て新星爆発を起源とする放出物からなると考えた方が観測結果を自然に説明できるという結論を得た(Arai et al. 2016)。この結果は、Li et al. (2017)や Mason et al. (2018)と矛盾はしないものであった。本稿では、Arai et al. (2016)の議論を更に発展させ、我々の得た他の観測結果を元に吸収線の時間変化を調査することによって、これまでに言及されていない LVC 系吸収線の分裂や、HVC 系吸収線の形状変化について報告し、これら吸収線系に属するガスの起源について議論する。

## 2 古典新星 V2659 Cyg

本稿での観測対象は、2014 年 3 月に発見された古典新星 V2659 Cyg (はくちょう座新星 2014)である。この新星は、九州の Miyaki Observatory で柁島および西山によって発見された。その後、多くの低分散分光観測が行われ、新星としては典型的な Fe II 型新星であり、また、初期の膨張速度は 420 – 860 km/s であることが観測から得られている。図 1 は、V2659 Cyg の可視光度曲線である。スムーズに減光を示す代表的な新星の光度曲線と比較すると、光度変化は非常に複雑である。Strope et al. (2010) の分類では、jitter タイプに相当する。図中には、次節で述べる我々の高分散分光観測を行った日付を示している (各観測装置の名前を付している)。

## 3 観測

我々は、すばる望遠鏡の HDS (Noguchi et al. 2002) および、韓国 BOAO での高分散分光器 BOES (Kim et al. 2007) により、早期減光期において図 2 に示すような時系列の観測データを取得した。星雲期のデータは、BOES および神山天文台・荒木望遠鏡と WINERED (Ikeda et al. 2016) を用いて取得している。ここで議論する観測データに関する情報を表 2 にまとめた。BOES の観測データは、共同研究者である Ashish Raj 氏のグループによって取得されたものである。

表 2. 高分散分光観測ログ

観測日(UT)	t [日] ※	積分時間 [秒]	波長分解能	観測装置
2014/05/01	21	1200	27,000	BOES
2014/05/13	33	1200	27,000	BOES

観測日(UT)	t [日] ※	積分時間 [秒]	波長分解能	観測装置
2014/05/01	21	1200	27,000	BOES
2014/05/22	42	600	72,000	HDS
2014/06/15	66	1200	27,000	BOES
2014/09/21	164	1200	27,000	BOES
2014/09/27	170	4,400	28,000	WINERED

※極大を t=0 とする。

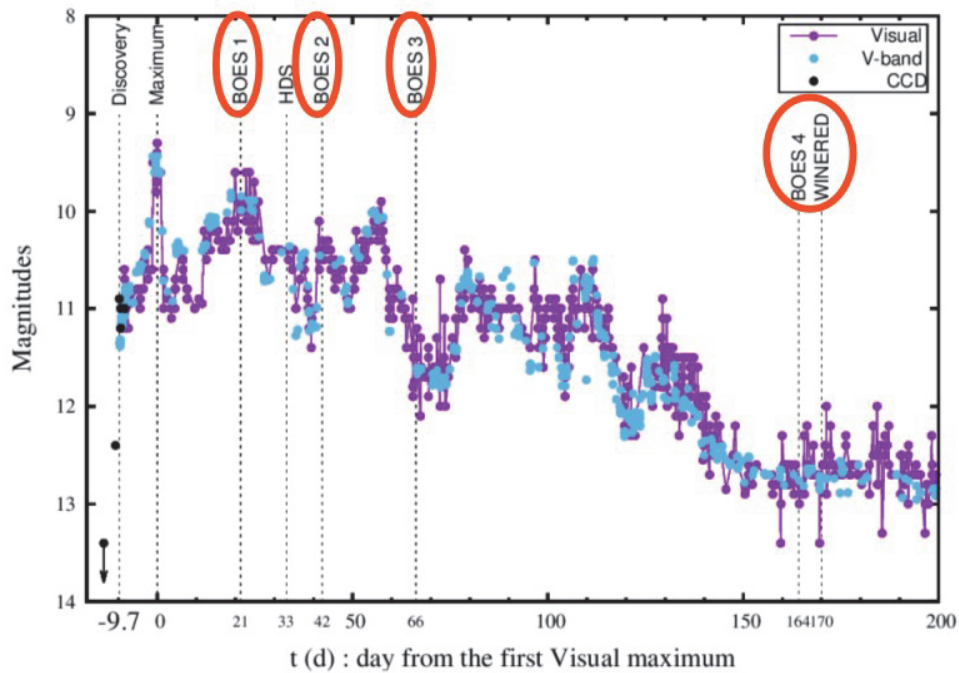


図 1 : V2659 Cyg の可視光度曲線。図中に HDS、BOES、WINERED とあるのが、本報告で述べる高分散分光観測の実施日。

## 4 結果と議論

### 4.1 スペクトル線の同定

新星は爆発によって膨張する大気を持つため、観測される輝線幅や吸収線は光のドップラー効果によって実験室波長からずれた成分を含む。新星に見られる複数の速度成分を持つ吸収線は、光球面を背景光として我々の観測視線にあるガスによって形成されているため、一般的な恒星の吸収線とは異なり大きく青方偏移している。まずはじめに、吸収線の形状や速度を把握するため、最も波長分解能の高いすばる望遠鏡/HDS のデータに(t=33 d)基づいて、ライン同定を行った。この同定リストは Arai et al. (2016)で出版済みである。Arai et al. (2016)では、He I (バルマー線)、Fe IIをはじめとして、Ti II, Cr II などの重金属の吸収線も検出した。また、特に強い H I と Fe II の輝線には低速成分(LVC)と高速成分(HVC)の吸収線が  $v=-620$  km/s と  $v=-1300$  km/s に付随してい



ることを確認した。本稿では Arai et al. (2016)で報告した  $t=33d$  のデータに加え、韓国 BOAO/BOES で観測された減光期  $t=21d$ ,  $t=42d$ ,  $t=66d$  と、星雲期  $t=169d$ ,  $170d$  のデータについても 3.5 節で報告する。図 2 に V2659 Cyg の全スペクトルと輝線の同定結果を示す。また、図 3 には、Fe II 5018 Å 輝線周辺のスペクトルの時間変化を示した。

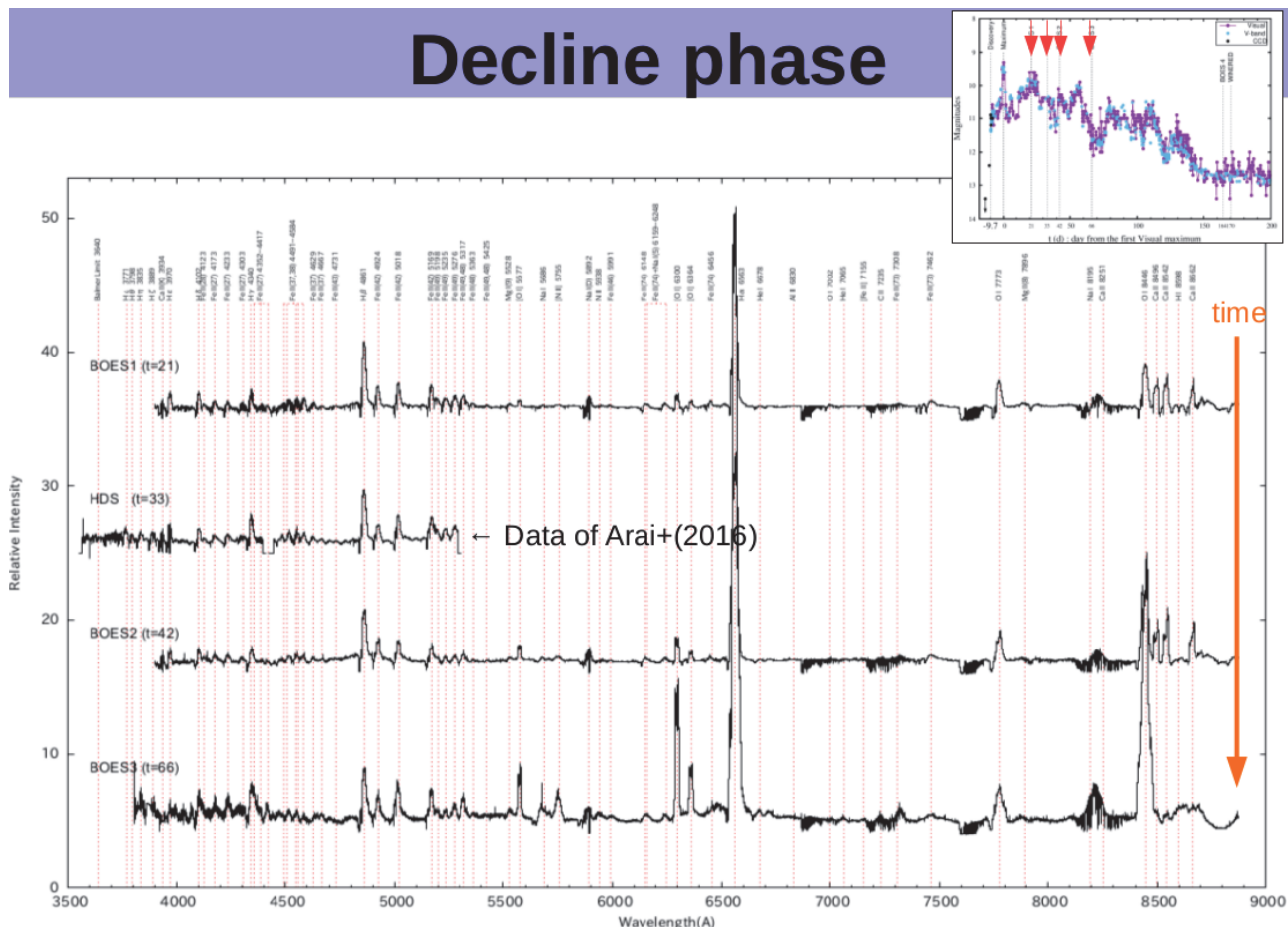


図 2：早期減光期における可視光高分散分光スペクトル（HDS および BOES による）。

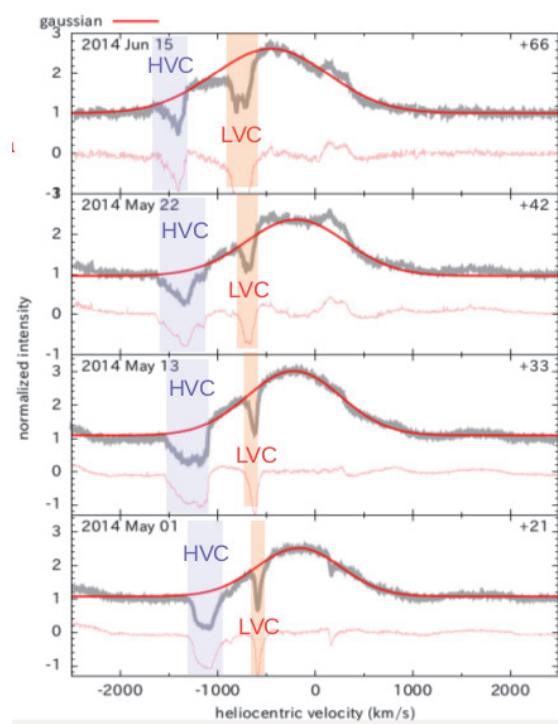


図 3 : 各観測日における低速成分 (LVC) と高速成分 (HVC) の吸収線プロファイルの変化 (Fe II 5018 Å 輝線)。

#### 4.2 LVC および HVC の観測的特徴

図 4 には、Fe II 5018 Å と Na I D 線 5899 Å の LVC および HVC の吸収線プロファイルを示した。この図では、LVC と HVC の吸収線の深さやプロファイルに着目するために輝線成分も連続光と同様に背景光として fitting したものである。

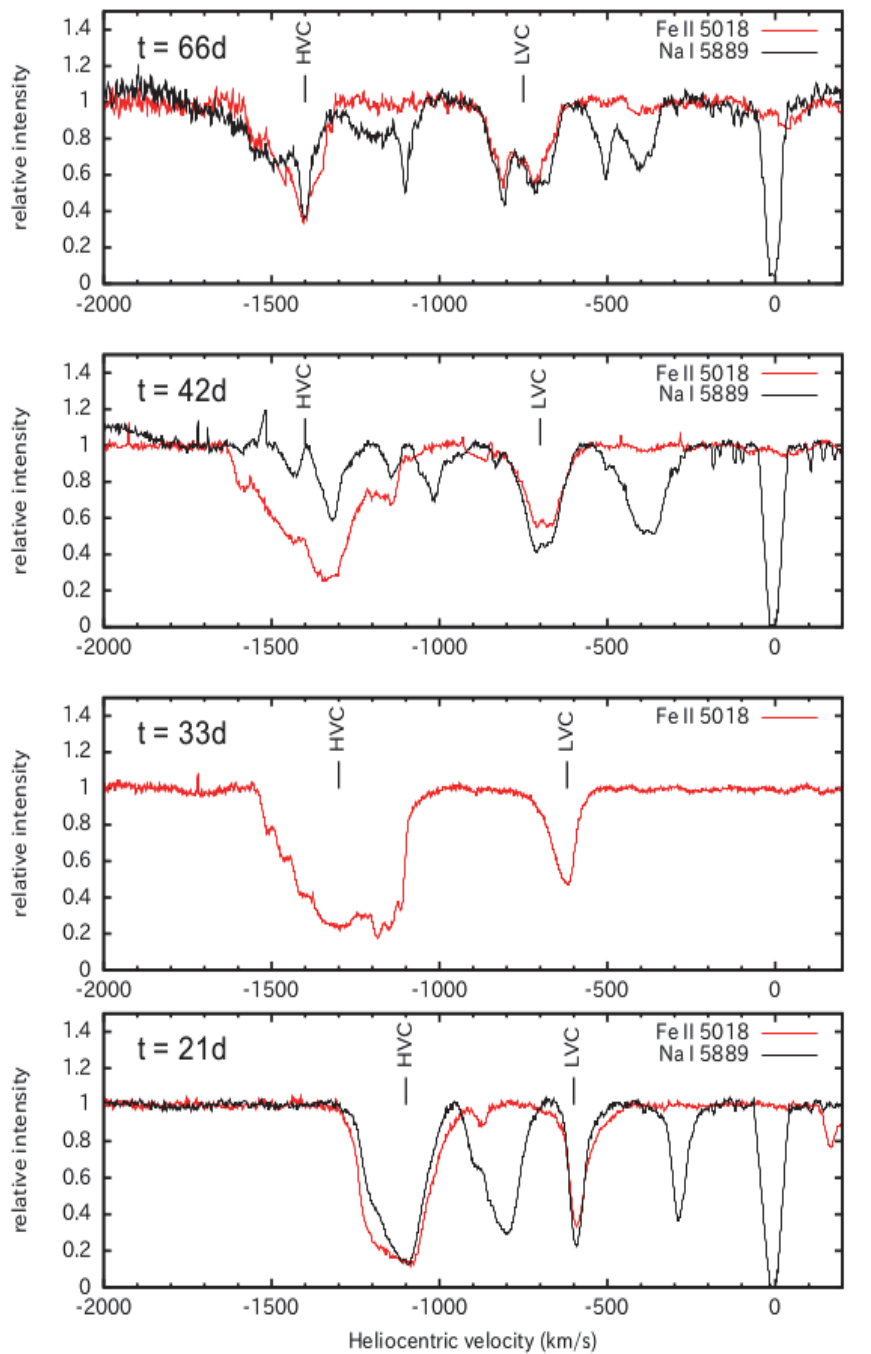


図4 : Fe II 5018 Å と Na I D線 5899 Å の LVC および HVC の吸収線プロファイル変化

この図から明らかなように、どちらの線においても LVC も HVC が伴っており、さらに深さや形状も両方の吸収線系でほぼ一致している。Na I D線 5899 Å の下位状態の励起エネルギーは 0.0 eV であり、Fe II 5018 Å の下位状態の励起エネルギーは 10.3 eV である。下位状態のエネルギーがこれほど大きく異なる吸収線が同程度の強度で検出されるということは、LVC も HVC も吸収成分は視線方向に光学的に濃いガスによって形成され、吸収線強度が飽和しているということを示唆している。また、飽和した上で当該波長域において光度がゼロに成らないということは、吸収体が視線方向に占める割合 (filling-factor) が 1 ではないことを意味している。つまり、新星爆発放出物中に光学的に濃い (高密度の) ガス塊が多数存在しており、その隙間から光球面の光が漏れ出て

いるという描像として、理解が可能である。このことは、Arai et al. (2016)でも既に議論したように、Fe IIの吸収線系において大きく gf値が異なる吸収線の底が飽和しているという事実からも強く示唆される(図5)。しかし、これらの観測事実からだけでは、LVCおよびHVCという2つの吸収線系が存在する理由について、はっきりしない。

ここまでで、「新星爆発放出物中に光学的に濃い(高密度の)ガス塊が多数存在しており、それらは大きく分けて2つの速度系(LVCとHVC)から構成されている」ことが観測的に明らかになった。以下の節では、それらの各速度系を形成する放出物が、どのタイミングでどのようにして放出されたガス塊であるかについて、次の3つの起源を考慮して議論する。

- ① 新星爆発時のごく初期に、連星系軌道面にそって円盤状に放出された放出物。連星系のL2点を通じて短時間だけ放出された、スパイラル(の一部、a few revolutions?)状のガス流であり、多重あるいは1重のリング状に近い空間構造を持つと考えられる。【Li et al. (2017)の円盤面成分でダスト等の生成領域となる高密度な領域】→視線方向によっては、吸収線として検出されることは無い。
- ② 爆発後に新星光球面が十分に膨張した後に、「新星風(nova wind)」として等方的に吹くガス流。Li et al. (2017)において上述①と衝突することでダスト生成やガンマ線放射の原因となるガス流であり、上述①よりは高速と考えられている。上述①との衝突によって連星軌道面部分は流れが阻害されるため、広い開口角を有する双極流的な流れになると予想される。
- ③ 新星爆発時に、白色矮星表面から等方的に放出された、弾道的な多数のガス塊(ballistic flow)で、比較的高速な放出速度を持つことが理論的に予測される(Prialnik1986)。超音速の放出物であるため、速度場構造は放出後にガス塊同士の衝突などで変化することなく、ほぼ固定された速度場であるが、放出物中の電離領域が時間的に変化するために見かけ上の吸収線系変化を生じる。Mason et al. (2018)などで扱われている、ballisticな放出物に相当する。

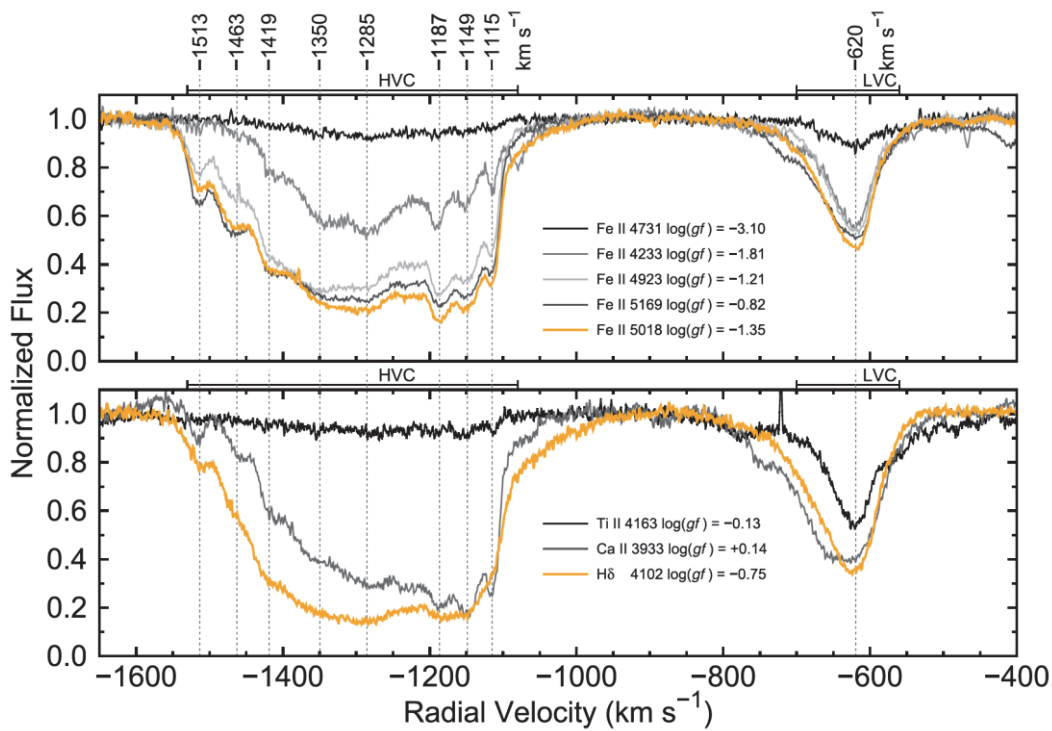


図 5 :  $t=33d$ における各種吸収線系のプロファイルと  $gf$  値。

#### 4.3 HVC の時間変化と起源

すでに見たように、LVCはガウシアン形状を示していたが、HVCは明確な階段上のプロファイルを示している。このような階段状の吸収線プロファイルは、完全に連続的な密度構造の外層大気中では形成されないはずである。そこで我々は、HVCはブロップ状のガス雲による吸収成分であると仮定し、HVCの時間変化を説明する定性的なモデルで説明を試みた。新星の吸収線プロファイルの進化について、Shore (2012)や Mason et al. (2018)は、moving ionization front モデルで説明が可能であると提案した。彼らは 2011 年に爆発した T Pyx に見られた吸収線プロファイルの時間変化をこのモデルを使って説明しており、定性的には観測事実を説明可能であることを示した。Shore (2012)では滑らかな形状をした T Pyx の吸収線で説明しているが、本研究では、Shore (2012)の現象論的なモデルをブロップ状の雲に適用することにした。

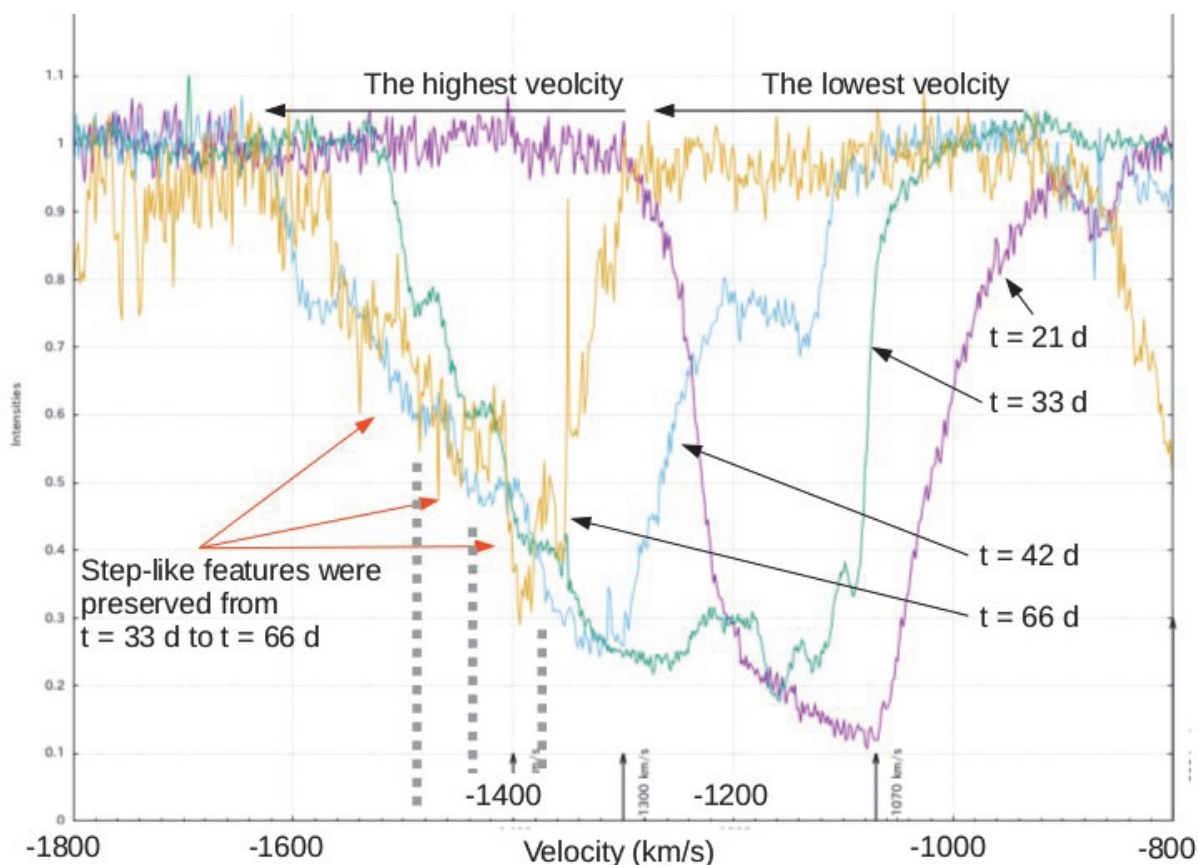


図 6 : 高速吸収成分 (HVC) の時間変化。

本研究で得られている HVC のプロファイルの時間変化を、図 6 に示す。t=21d の時点では、明確な階段上のプロファイルは認められないが、t=33, 42, 66 d では明確な階段上の吸収線プロファイルが検出されている。また、HVC の低速側の端および高速側の端の速度変化を図 7 に示す。速度の増加分は、高速側も低速側も同程度であることがわかる。新星の核燃焼中は光度がほぼ一定であることから、時間とともに外層のガスの量が減少するとともに擬似光球の表面温度は上昇し、白色矮星からの放射はよりハードになっていく。一方で、新星爆発時の速度と半径の関係は  $v \propto r$  と仮定すると、時間変化にともなうガス塊同士の相対的な位置関係は変化しない。この様子を図式化したものが図 8 である。

図 8 は、横軸に白色矮星中心からの距離( $r$ )を放出物先端の位置で規格化したもの ( $r / v_{\max} \times t$ )、縦軸に時間 (下向き) としたときの定性的な Fe III, Fe II, Fe I の存在領域を示している。我々が観測で吸収線として検出できるガス雲は、我々と天体の視線上に存在しているものに限られる。新星の光球面は、極大以降は縮小するため、ブロップ状のガス塊が新星爆発初期のみに放出されるとすれば、時間と共に視線と重なるガス雲のフィリングファクターは減少すると考えられる。また上述の通り、時間と共に (図の上から下に行くにつれて) 光球面の温度( $T_{\text{ph}}$ )が上昇し、外層ガスは光球面から放射される高エネルギーの UV や軟 X 線の照射を受ける。そのため、Fe II よりもさらに高励起な Fe III 以上の高励起のガス領域が中心から外側に向かって広がっていくと考えられ

る。このような状況で Fe II の吸収線形状を模式的に表したものが図 8 の下パネルである。図中の 1—5 の番号は、ガス雲の番号である。図 8 の放射場およびガス雲分布の状況での吸収線プロファイルは、Fe II を含むガス雲のみが検出できるため、番号 1—4 の吸収線が捉えられるはずである。時間と共に光球面温度が上昇すると、Fe III の存在領域がより外側に広がるため、ガス雲 1 や 2 は  $F^{2+}$  以上に励起されて Fe II のプロファイルは消失する。このように、今回の我々の観測結果のうち、HVC の吸収成分の速度がより高速化していく状況はこの定性的なモデルで説明することができる。

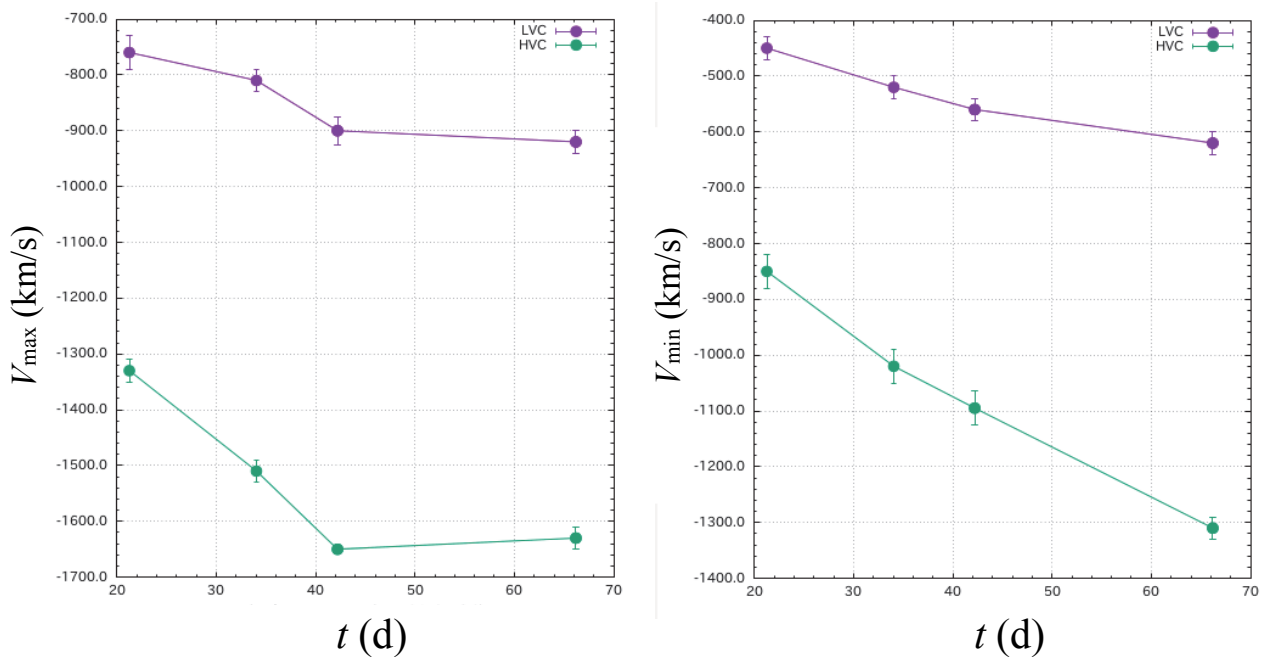


図 7 : HVC の低速端および高速端の速度変化

このモデルを定量的に評価するためには、新星の外層構造の温度・密度・膨張速度、そして中心の白色矮星からの放射スペクトルの時間変化を考慮にいたしたシミュレーションを行う必要がある。Mason et al. (2018)は、V1309 Cen の UV 域の分光観測によって捉えられた C と N の高励起輝線の消失を元に、新星の輻射場と爆発放出物の構造を推定し、その構造に基づいて吸収線をシミュレートして複雑な速度構造を持つ吸収線が形成されうることを示した。そして、爆発放出物の filling factor が大きいほど、低い速度の吸収線が形成されることを見出している（ただし、Mason et al. 2018 では、LVC と HVC について特に起源を分けて考えてはいない、また時間変化はシミュレーションしていない）。

今回の我々の観測結果では、HVC の吸収線強度の重心は初期において低速側にあり、時間が経つと共に高速側に移動していく様子を捉えている。これは、Mason et al. (2018)で報告されているシミュレーション結果と比較すると、filling factor の減少で定性的には説明ができると考えている。つまり、時間とともに爆発放出物が広がることによって視線方向のブロッブ状ガス塊の量が減少し、

filling factor が減少する様子を捉えたのだと解釈することができる。

以上の議論より、HVC の起源として考えられるのは、前節の最後に紹介した起源のうち「③新星爆発時に白色矮星表面から弾道的に放出された多数のガス塊 (ballistic flow)」となる。

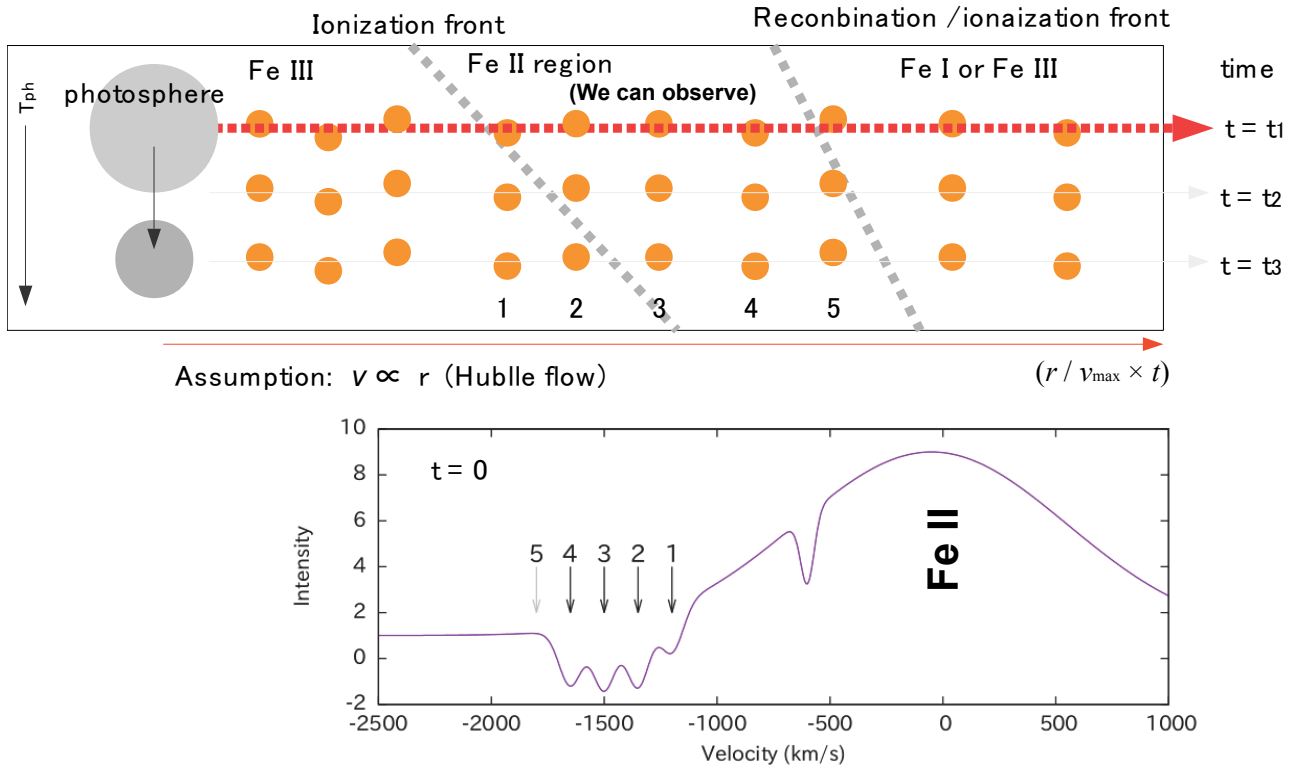


図 8 : ブロップ状の爆発放出物中を移動する電離面の仮定による、HVC の吸収線形状の変化

#### 4.4 LVC の時間変化

HVC の時間変化については前節で述べた 2 つのモデルによって、その変化のおおよその原因は説明できることが示された。一方で、我々は LVC の吸収線は少し異なる様子を示していると考えている。図 9 は、本研究で得られた LVC の吸収線の時間変化を示す。LVC と HVC の共通点は、時間と共に速度が増加するという点である。違いはプロファイルと速度域にある。LVC のプロファイルの形状は HVC と比較するとスムーズなガウシアン形状に近く、その速度分散 (ガウシアン成分の FWHM) はほぼ一定である。このことから、HVC とは全く同じ状況ではないものと考えている。Arai et al. (2016) では、 $t=33d$  の LVC の吸収線プロファイルがガウシアン形状に近いことから、新星風 (optically thick wind) によって LVC が形成されている可能性を指摘した。4.2 節の最後に述べたように、①「新星の連星系軌道面にそった円盤状の放出物」あるいは②「新星風による等方的なガス流」が候補と考えられるが、THEA という吸収線系が新星全体の 80% 程度で観測される現象であることから、その起源となる物質は比較的、等法的に (全立体角の 80% 程度をカバーするように) 新星を取り囲んでいると考えられる (Williams & Mason 2010)。その観点から



は、②が起源となっている可能性が高い。

初めてこの吸収線系を詳細に議論した Williams et al. (2008)、Williams (2013)では、LVCの吸収成分は新星爆発前に伴星から放出されたガスという仮定を置いていたが、その後の観測的理解の進展をとりいれた Li et al. (2017)では、新星爆発後に連星系のL2点を通してTNR生成物が吹き出すことで、2重の放出物構造ができあがると提案している。既に述べたようにLVCおよびHVCの系において半減期53日の ${}^7\text{Be}$ が検出されていることから、Li et al. (2017)のモデルの方が、より現実的であると考えられる。一方、Mason et al. (2018)では、LVCとHVCを区別せずに、新星爆発時に放出されたガス塊（ガス層）を見通しているという比較的単純な描像でよい、と結論している。現時点では、Mason et al. (2018)の解釈である、速度が異なるだけ（LVCもHVCもない）という描像ですべてガス層・ガス雲で考えるのが最も容易ではあるが、我々の観測結果はWilliamsらが示したLVCおよびHVCの2系統の速度成分が確かに存在することを示している。そもそも、LVCとHVCが両方見られるのは初期に限られるようで、さまざまな膨張速度の新星に対し、同様程度のケイデンスで高分散分光観測が行われているとは言いがたい。今後、様々な膨張速度の新星に対する観測データの精査がLVCおよびHVCの起源を理解する上で必要である。

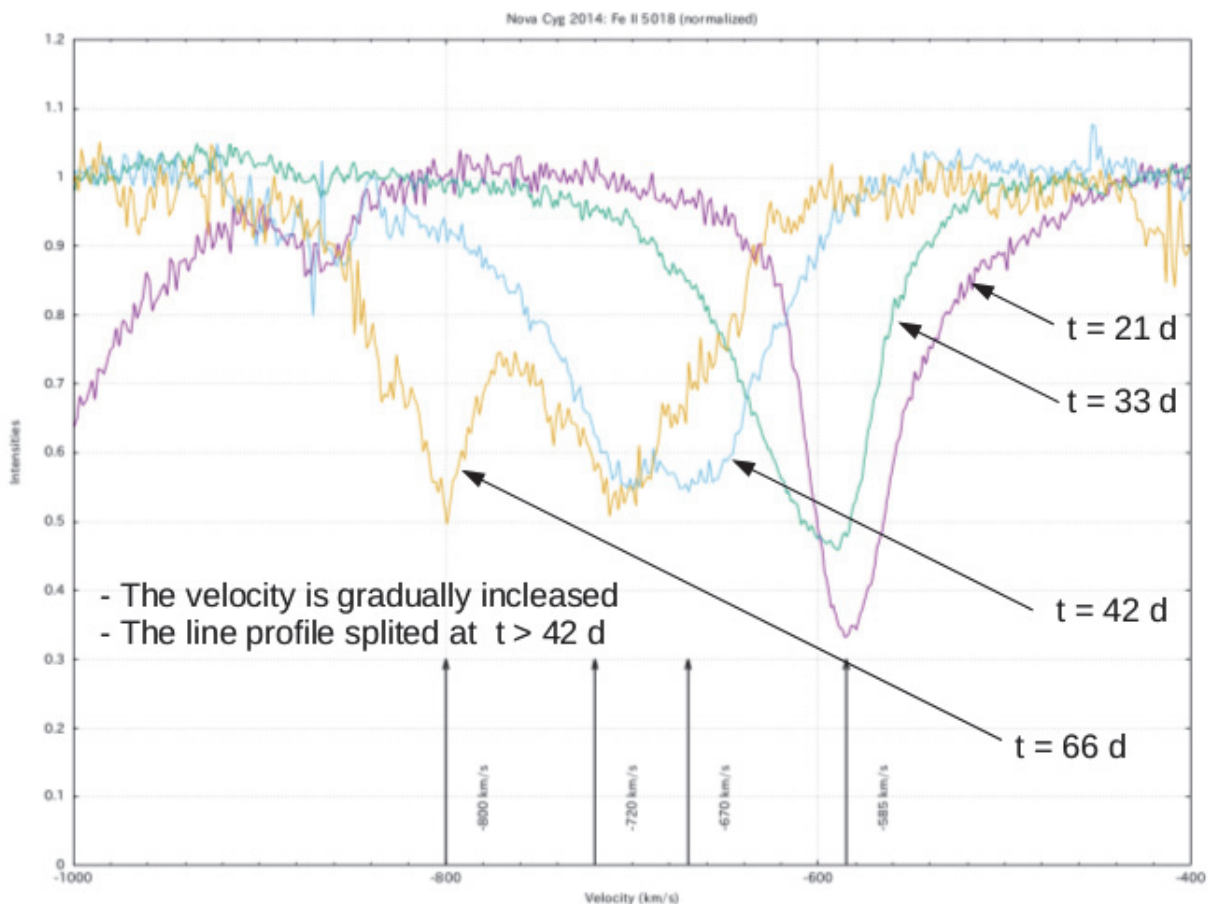


図9：LVCのプロファイルの時間変化

#### 4.5 星雲期の輝線プロファイル形状と爆発放出物の構造

星雲期の可視光線および近赤外線高分散スペクトルに見られる主な輝線を、図10～12に示す。可視光領域に見られる禁制線[O I]および[O III]、ならびに He I 10830 Å には、-600 km/s — +400 km/s にかけて複数のピークが見られる。これらのピークは3つの線で一致した速度に検出されている。また、許容線である He I 10830 Å の輝線形状 (図12) には、幅広い輝線と幅の狭い輝線の成分が明らかに共存し、幅の狭い輝線成分に複数の速度ピークが付随していることがわかる。低速度成分の FWHM は約 900 km/s であり、これは t=66d における LVC の高速端における早さとよく一致する。また、幅広い成分の FWHM はおよそ 1700 km/s であり、こちらも HVC の高速端における早さ(約 1600 km/s)とほぼ一致する。このことは、Mason et al. (2018)の主張とは異なり、起源の異なる2つの放出物成分が存在していることを強く示唆している。

低速度成分の輝線プロファイルについては、Mason et al. (2018)のシミュレーション結果を参考にして考察することができる。Mason et al. (2018)では、連星軌道面の極方向に偏った分布をもつ外層をひとつだけ仮定し、それが視線方向に存在する場合の輝線プロファイルを様々な条件(開口角)について計算している。彼らの結果を参考にして V2659 Cyg の低速度成分の爆発物空間分布を推測すると、完全な球対象ではなく一部を低速度の放出外層が覆った構造(biconical structure)をしている可能性がある。また、低速度成分に見られる複雑な速度構造は、ブロッブ状の放出物(あるいは複数のリング状の構造)の存在を示唆しているのかもしれない。

一方で、高速度成分については、早期減光期において吸収として見られていたブロッブ状のガス塊が作る複雑な速度場構造は見られず、非常にスムーズな輝線形状となっている。星間物質との衝突などを通じて速度構造が変化している可能性がある。いずれにせよ、V2659 Cyg の HVC および LVC の起源となった外層構造は、星雲期になっても存在し続けていることを観測結果は示唆していると考えられる。

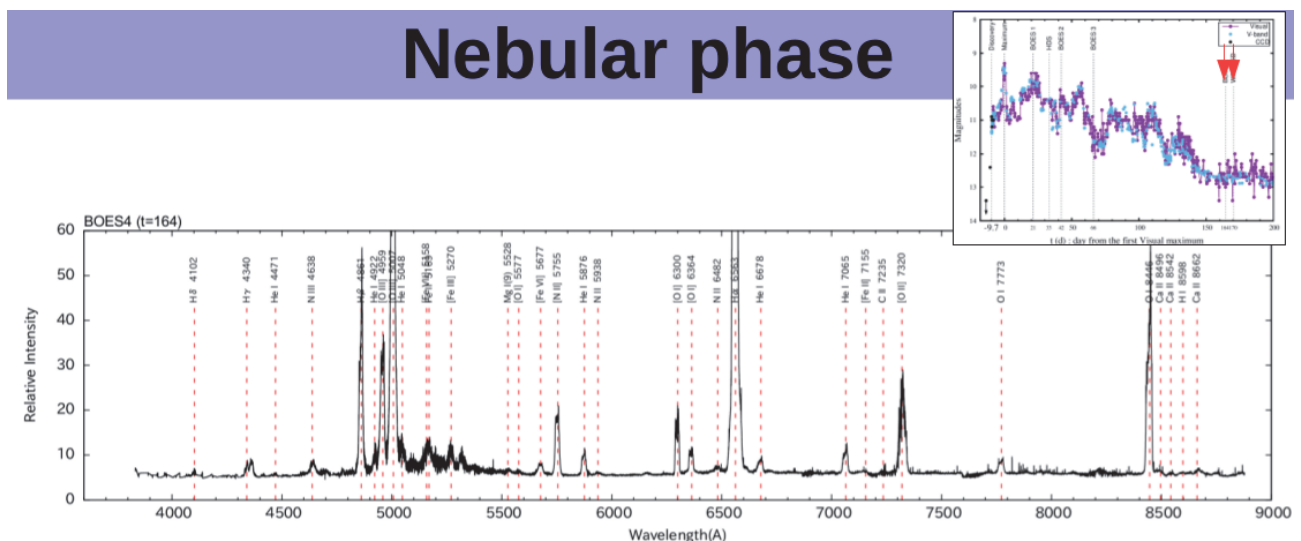


図 1 0 : 星雲期の可視光高分散スペクトル

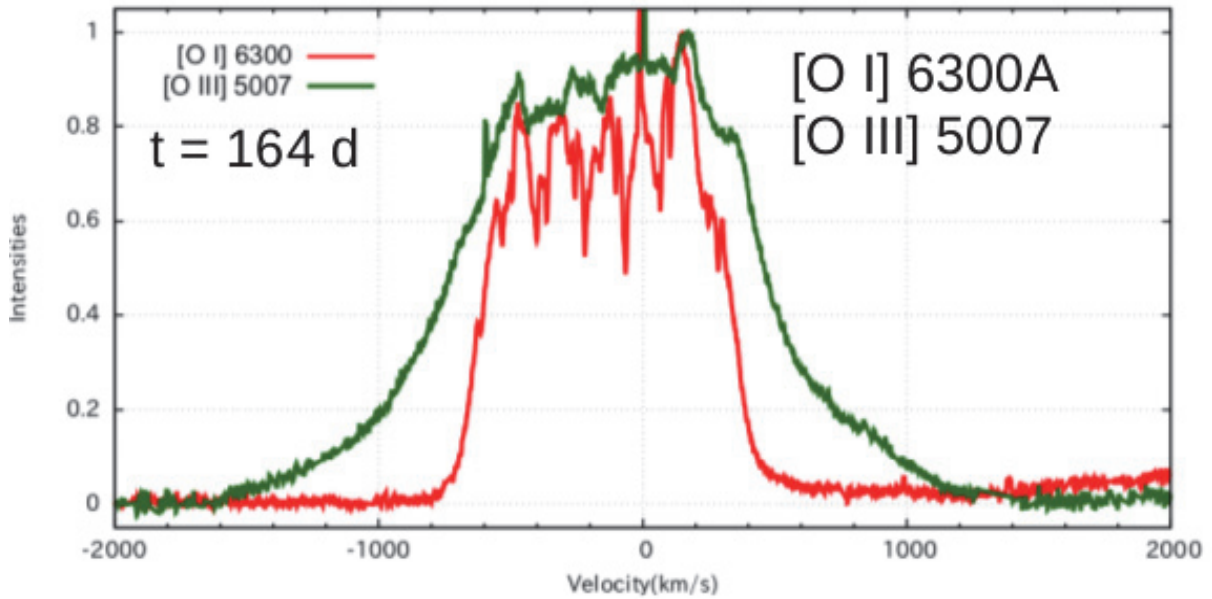


図 1 1 : 禁制線の輝線プロファイルの比較。複雑な速度場構造が見られる。

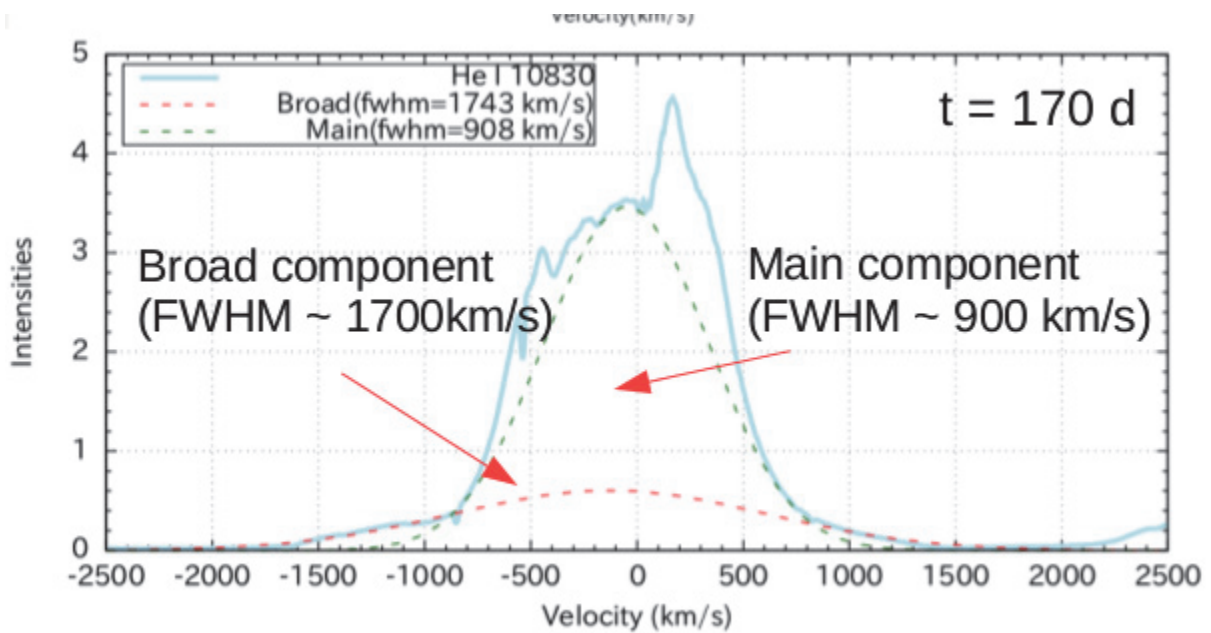


図 1 2 : 近赤外線スペクトルに見られる He I 輝線のプロファイル

## 5 まとめ

本研究では、早期減光期の新星スペクトル中に見られる 2 系統の吸収線系（本原稿では LVC および HVC と表記した）について、その観測的特徴および起源を、我々が観測した古典新星 V2659 Cyg（はくちょう座新星 2014）の高分散分光データと、過去の観測事実との比較および新星爆発放

出物の物理モデルに基づいて議論した。我々のデータからは、明らかにふたつの吸収線システムが検出されており、Mason et al. (2018)に代表されるような単純な新星爆発物モデル（「1回放出モデル」）だけでは説明が困難であると思われる。Mason et al. (2018)が主張するような「新星風不要論」は、光度曲線の再現（および関連する白色矮星質量の推定や、MMRD等の合理的説明を含めて）、決して現実的ではない。近年の早期減光期中の<sup>7</sup>Be吸収線の検出などを考慮すれば、Li et al. (2017)に代表される「多重放出モデル」（新星爆発後に核融合生成物の放出が複数回数生じている）が観測事実を最もよく説明できているだろう。

LVCの起源となるガスは、やはり新星爆発後の放出物である。特に、新星風による比較的等方的なガス流が起源となっている可能性が高い。ただし、その吸収線速度の見かけの変化については、原因が十分に明らかになったとは言いがたい。対応するガス雲の三次元空間における加速として説明できるかもしれない。また、LVCに対応する放出物成分の空間構造は、早期減光期においては顕著な特徴に乏しいが、少なくとも星雲期においてはブロッブ状の塊からなっている可能性がある。

一方で、HVCに見られる見かけ上の速度場の変化は、実際にガス塊が加速されるといった現象ではなく、Mason et al. (2018)の主張するように弾道的に広がる無数のガス塊における電離面（および再結合面）の時間的な移動が原因ではないかと考えられる。

## 参考文献

- Arai, A., Kawakita, H., Shinnaka, Y. & Tajitsu, A. 2016, *ApJ*, 830, 30  
Chomiuk, L., Linford, J. D., Yang, J., 2014, *Natur*, 514, 339  
Derdzinski, A.M., Metzger, B.D., Lazzati, D., 2017, *MNRAS*, 469, 1314  
Ikeda, Y., Kobayashi, N., Kondo, S., et al., 2016, *SPIE*, 9908, 5  
Kim, K., Han, I., Valyavin, G. G., et al., 2007, *PASP*, 119, 1052  
Kogure, T., & Leung, K.-C. (ed.) 2007, *The Astrophysics of Emission-Line Stars* (Vol. 342; Berlin: Springer)  
Li, K., Metzger, B., Chomiuk, L., et al. 2017, *NatAs*, 1, 697  
Molaro, P., Izzo, L., Mason, E., Bonifacio, P., Della Valle, M., 2016, *MNRAS*, 463, 117  
Mason, E., Shore, S. N., D. G. Aquino, I., Izzo, L., Page, K., Schwarz, G. J., 2018, *ApJ*, 853, 27  
McLaughlin, D. B., 1950a, *PA*, 58, 50  
McLaughlin, D. B., 1950b, *PASP*, 62, 185  
McLaughlin, D. B., 1965, *POMic*, 9, 113  
Noguchi, K., Aoki, W., Kawanomoto, S., et al., 2002, *PASJ*, 54, 855  
Priainik, D., 1986, *ApJ*, 310, 222

Shore, S. N. 2012, *Bulletin of the Astronomical Society of India*, Vol. 40, p. 185

Strope, R. J., Schaefer, B. E., Henden, A. A., 2010, *AJ*, 140, 34

Tajitsu, A., Sadakane, K., Naito, H., Arai, A., Kawakita, H., Aoki, W., 2015, *Natur*, 518, 381

Tajitsu, A., Sadakane, K., Naito, H., Arai, A., Kawakita, H., Aoki, W., 2016, *ApJ*, 818, 191

Uthas, H., Knigge, C., Steeghs, D., 2010, *MNRAS*, 409, 237

Weaver, H. F. 1944, *ApJ*, 99, 280

Williams, R., Mason, E., Della Valle, M., Ederoclite, A., 2008, *ApJ*, 685, 451

Williams, R. & Mason, E., 2010, *Ap&SS*, 327, 207

Williams, R. 2013, *AJ*, 146, 55

2016 年度研究成果報告書

タイトル： 超巨大質量ブラックホールと銀河との関係

担当： 中道 晶香

関連出版：  
(特に無し)

関連学会発表等：

2016年9月14日－9月16日 日本天文学会秋季年会 愛媛大学 城北キャンパス  
「原初超巨大ブラックホールと銀河の活動性」  
中道 晶香、森川 雅博

2017年3月17日 日本物理学会 第72回年次大会 大阪大学 豊中キャンパス  
「ブラックホールから銀河へ」  
森川 雅博、中道 晶香

# 超巨大質量ブラックホールと銀河との関係

中道 晶香 (神山天文台)

## 概要

超巨大質量ブラックホール (SMBH) は、銀河の中心に位置し、その銀河の質量、速度分散などを決めている。そこで我々は、SMBH が先に生成され、SMBH からのジェットが星生成を制御してさまざまな銀河を形成するシナリオを考え、検証を進めてきた。

本論文では、我々の提案「SMBH による銀河形成論」と、通常の階層的合体成長論との違いを明確にする。さらに、SMBH のダウンサイジングの観測結果と比較する。

我々のモデルでは大きな非線形成によって、大きな SMBH の方が星生成活動が爆発的であり、銀河形成が速く完結するという帰結を得る。観測されている様々な天体要素のダウンサイジングの詳細から、理論モデルを検証する。

また、SMBH はジェットを介してその周辺に爆発的に星形成する塊を作り、その一部が落下して銀河本体や古典バルジを形成する。したがって、ジェットの根本には SMBH を持つ天体、先端には SMBH 無しの天体が形成され易い。この位置関係を観測から検証する。

## § 1 イントロダクション

多くの銀河は、その中心に、質量が  $10^{8-9} M_{\odot}$  の超巨大質量ブラックホール (SMBH) を持つ。SMBH と銀河は共進化したと考えられてきたが、 $z = 7$  のような宇宙初期に既に観測される (De Rosa et al. 2014) SMBH を形成するには、時間が足りないのではという謎が残されている。

また、重い (明るい) 銀河ほど早い時期に形成されて早い時期に星形成を停止していき、軽い (暗い) 銀河は現在でも星形成が継続しているダウンサイジング現象が観測されているが、なぜそうなるかは未解決の大問題である (Cowie et al. 1996)。楕円銀河は、渦巻銀河の合体成長によって形成されたとするシナリオが提唱されているが、そのシナリオからは、ダウンサイジング現象の観測結果を説明できない。

そもそも、渦巻銀河のバルジはどのように形成されたかさえ、わかっていない。

また、衛星銀河が同一平面上に存在しているのは、何故だろうか。有力な説は無い。

宇宙初期に目を向けると、高赤方偏移では、銀河の中に大きなクランプが複数存在するクランピー銀河が多いが、クランピー銀河はどのように形成されたのだろうか。銀河の合体成長との関連はどのようなものだろうか。

このように SMBH をめぐる謎は多く、閉塞感があるため、新しいモデルを提案して考察する。

## § 2 我々の提案の概要

イントロダクションで紹介したように、通常の LCDM 宇宙モデルを用いた標準理論では、銀河のダウンサイジングの観測結果と合わない。しかも、合体成長から SMBH を形成しようとする、重いブラックホールを作る時間が足りない。

そこで、ダークエネルギーやダークマターがボソン場であれば、量子凝縮状態になることが可能という立場 (Fukuyama & Morikawa 2006, 2009) を採用し、新たな理論モデルを提案する。

- (1)  $z = 10$  頃までにダークマターに関するボーズ場の量子凝縮により、SMBH が生成されたと仮定する。
- (2) SMBH からのジェットまたはアウトフローが、落下してくるガスを圧縮し、星形成を促進するという立場を採用する。  
なお参考までに、ジェットまたはアウトフローは、星形成を促進する立場と抑制する立場があり、議論がなされているが、どちらが正しいのか現状では決着がついていない。
- (3) ジェットと周囲のガスとの非線形な相互作用により、楕円銀河、レンズ状銀河、渦巻銀河などのいろいろな銀河を生成する。(以下の章で実際のシミュレーションの結果を紹介する。)
- (4) 多様な形態の観測結果を説明できる可能性がある。

## § 3 理論モデル

基本となる物理を議論するためのミニマル・モデルをここに提案する。

方位  $i$  にあるガスの残量  $g$  がジェット  $J$  に照射され、確率  $\mu$  で星を生成する。

$$\dot{g}_i(t) = -\mu c_{conv} |\vec{J}(t)| g_i(t) - \dot{g}_i(t),$$

ここで  $c_{conv}$  はジェットの集中因子。

星は降着率  $\lambda$  で中心へ降り積もり、ブラックホールへトルクを与え、ジェットの向きを変える。

$$\dot{\vec{J}}(t) = -\lambda [\vec{J}(t) \times \sum_i \vec{f}_{fallen}] - \kappa \vec{J},$$

ここで  $\vec{f}_{fallen}$  は星になって落下したガスのうち、銀河中心の領域に入ったもの。

$\kappa$  はジェットのへたり具合を表す摩擦係数。

さらに新たなガスが星形成し、中心へ落下し、ジェットの向きを変えるように、正のフィードバックがかかるモデルである。

このモデルにおいて、ガスが消費されていくタイムスケールは  $t_g = (\mu c_{conv} J)^{-1/2}$

ジェットが方向を変えるタイムスケールは  $t_J = (\lambda \left| \sum_i \vec{f}_{fallen} \right|)^{-1}$  となる。



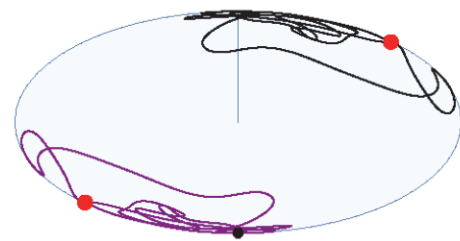
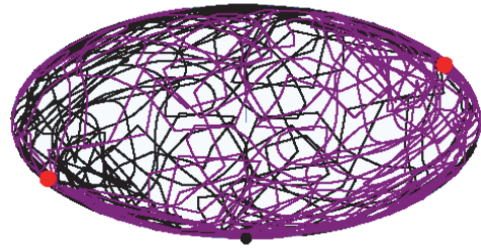
#### § 4 形成される銀河の形

理論モデルを用いてシミュレーションを行った結果、星形成率が大きく、降着率も大きい場合は、全方向の全てのガスが星形成して落下し、大きなバルジを作るため、円盤も腕も形成されず、楕円銀河が形成されるという結果を得た。

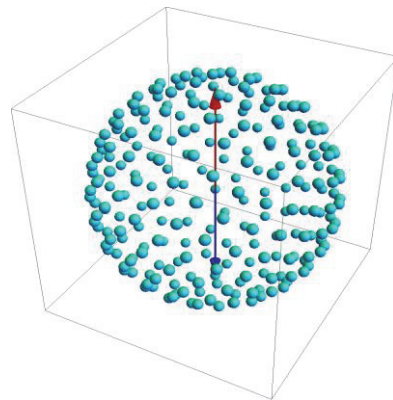
ジェット軌跡を描かせたものが右上図である。ジェットは全方向を動き回っている。

一方、星形成率が小さく、降着率も小さい場合は、極方向付近のガスだけが星形成して落下するため、小さなバルジが作られる。赤道方向の冷たいガスは残り、薄い円盤を形成するため、渦巻銀河が形成されるという結果を得た。ジェット軌跡は、右下図のように、あまり動き回らない。

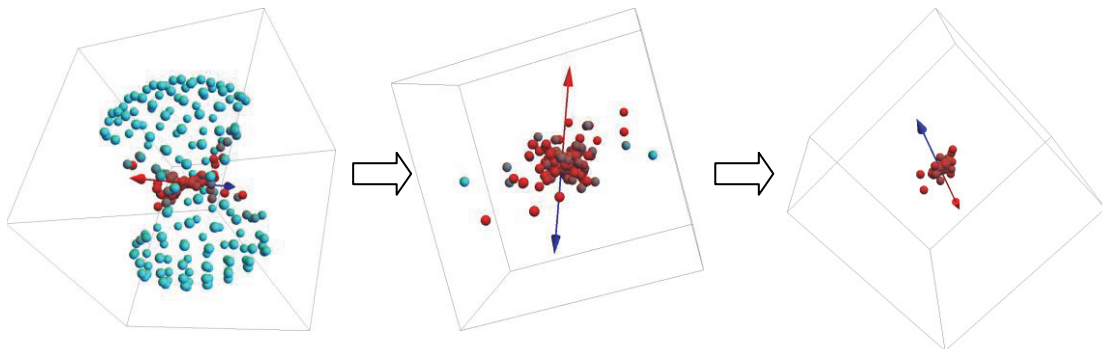
初期状態としてガス粒子が球状に分布している状態から、時間の経過と共にガス粒子が星を形成して落下していくシミュレーションの結果を図示したものが、下図である。



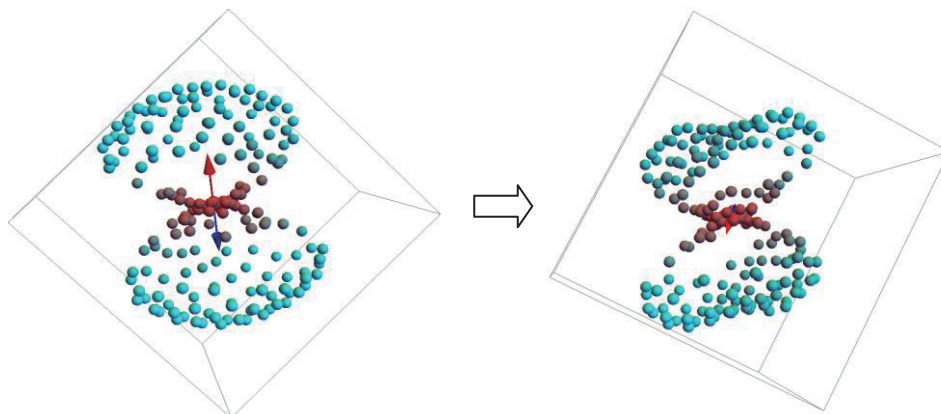
初期状態



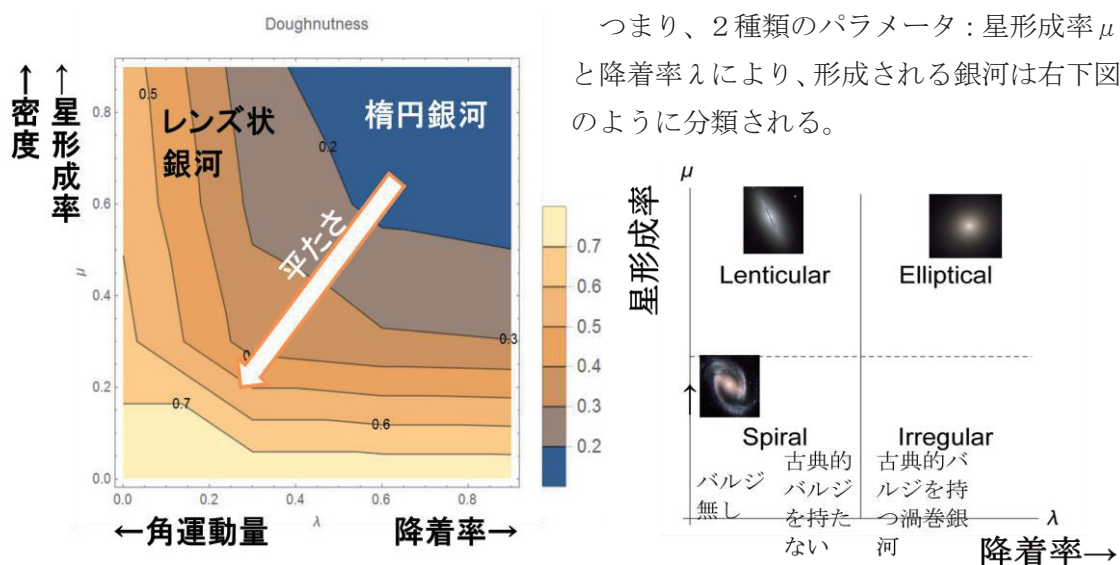
ジェットが強いと、ジェットの向きが煩雑に変わり、全方向のガスが消費されて星を形成し、楕円銀河になっていく。



ジェットが弱いと、ジェットの向きがあまり変わらず、上と下の極方向のガスのみが消費されるため、ガスが残されているのは赤道面となり、形成された星が落下してガスと共に平面的な形状の渦巻銀河になっていく。



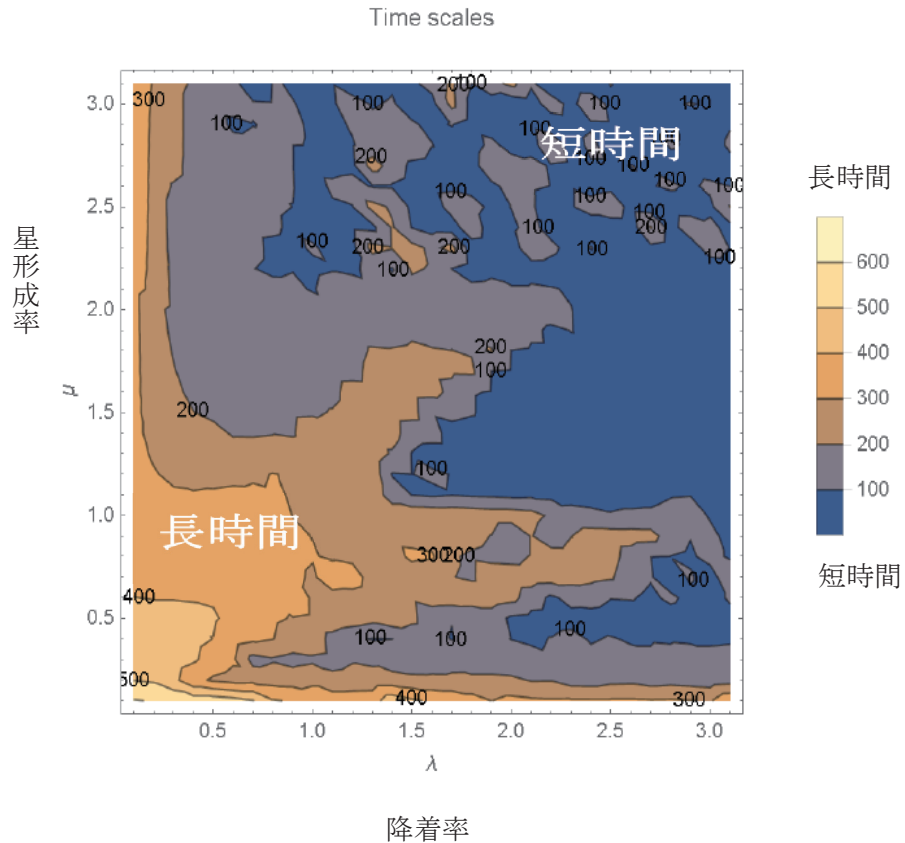
したがって、シミュレーションの結果から、銀河の形を決めているパラメーターは、星形成率 $\mu$ と降着率 $\lambda$ であることがわかった（左下図）。



この結果から、

- ① SMBH が重く、星形成率 $\mu$ も降着率 $\lambda$ も大きい場合は、SMBH は楕円銀河を形成する。
  - ② SMBH が軽く、星形成率 $\mu$ も降着率 $\lambda$ も小さい場合は、SMBH は渦巻銀河を形成する。
  - ③ 星形成率は大きい、降着率は小さい場合は、レンズ状銀河を形成する。
- ということがわかった。

また、ガスが消費され尽くすまでのタイムスケールを計算すると、下図の結果が得られた。



この結果は、

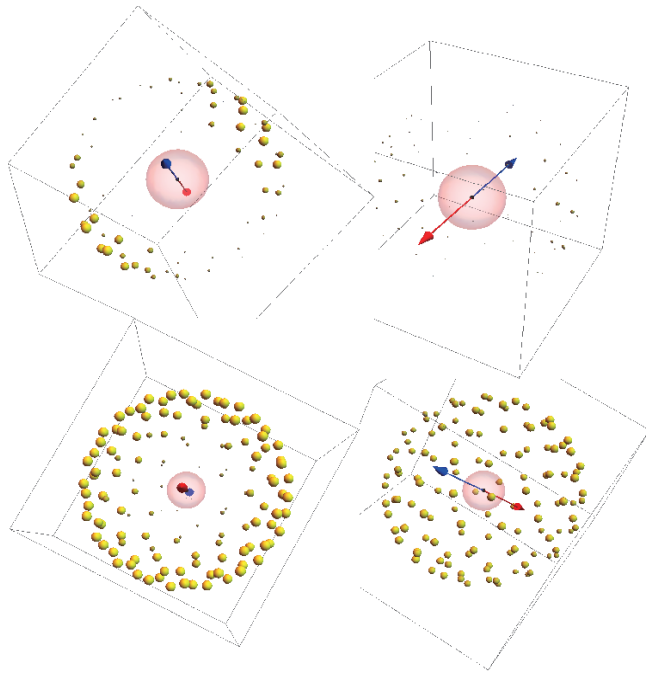
- ① SMBH が重く、ジェットが大きく、ガスが高密度で星形成率  $\mu$  が大きく、降着率  $\lambda$  も大きい場合は、ガスが消費されて楕円銀河が形成されるまでの時間が短い。
  - ② SMBH が軽い場合は、ガスが消費されて渦巻銀河が形成されるまでの時間が長い。
- ということを示している。

したがって、重い銀河の方が先に形成される可能性があり、銀河に対するダウンサイジング現象を再現していると言えるだろう。

さらに、アウトフローを考慮したり、ジェットの幅を絞ったり広げたりしても、シミュレーションの結果、星形成率と降着率に依存してさまざまな銀河が形成される様子は同じであり、普遍的な様相を呈していることがわかった。

また、合体成長によって大きな銀河を形成していく標準理論では、バルジが無い&バルジが暗い渦巻銀河の存在を説明できないが、本理論モデルでは、星形成率と降着率の両方も小さくすればするほど、バルジ質量が小さくなるため、合体の無い、銀河団の外縁部の環境であれば、バルジの無い&暗い渦巻銀河も形成されるという結果を得た。

下図は、形成されたさまざまな銀河と共に、バルジの大きさを色付きの球で図示したシミュレーション結果である。



初期のガス粒子がほぼ消費され  
 尽くし、バルジだけから成る銀河が  
 形成されたものが楕円銀河である。  
 (左上図)

一方、ガス粒子が残り、中心に小  
 さなバルジが形成されているもの  
 が渦巻銀河である。パラメータを変  
 えることにより、バルジの大きさが  
 変わる。(左下図)

なお、星形成率と降着率の両方とも特に小さい場合、ジェットが平面上を何度も回るパラメーターもあった。この結果は、或る軸の周りにジェットが回転し、渦巻銀河の遠方に衛星銀河を平面上に形成する可能性を示している。

したがって、衛星銀河の位置を、我々の理論モデルで予言できる可能性がある。

## § 5 結論

超巨大質量ブラックホールが先に生成されたことを仮定するシナリオを用いて新たな銀河形成モデルを提案し、ガスとジェットの相互作用により、多様な銀河を形成し得る可能性を示した。

## 参考文献

Cowie, L. L., et al., 1996, AJ 112, 839.

De Rosa, et al., 2014, ApJ, 790, 145.

Fukuyama, T., and Morikawa, M., 2006, Prog. Theor. Phys. 115, 1047.

Fukuyama, T., and Morikawa, M., 2009, Phys. Rev. D80, 063520.

## 研究成果・関連論文リスト

## 研究成果（一覽）

神山天文台における研究活動にもとづく博士号学位取得者、学術論文雑誌掲載論文（査読有り／無し）および学会・研究会等での発表については、以下のとおりである。2016年度は、神山天文台と東京大学大学院の共同研究に関連する大学院生が学位を取得している（1名：本学理学部卒業生）。また、神山天文台の活動に基づく研究成果が前年度同様に数多く出版されており、神山天文台における研究活動は順調にすすんでいる。平成28年度（2016年度）の神山天文台における研究活動は、①神山天文台・共同研究プロジェクト「特徴ある独自装置による天体分光学の新展開」と、②文部科学省私立大学研究基盤形成支援事業採択課題「赤外線高分散分光天文学研究拠点 Infrared Spectroscopy Laboratory の形成」に、大別される。後者については、別途、最終年度となる平成30年度（2018年度）の翌年に研究成果を取りまとめる予定となっているため、以下では①の研究プロジェクトを中心に成果を列挙した。近年、神山天文台の成果について国際会議で招待講演の引き合いも増えつつあり、国際的な評価が高まっていることをうかがわせる。特に前述の②の研究成果については、プロジェクトがスタートした平成26年度より次第に増加傾向にあり、神山天文台全体としての研究アクティビティは順調に増加している。

### 博士号学位取得者

#### 1. 福江慧

学位論文タイトル：「Abundance Determinations of Classical Cepheids in the Galactic Center with Near-infrared High-resolution Spectroscopy」

（東京大学大学院理学研究科）

### 学術論文雑誌掲載論文

1. 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
2. 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
3. 論文名：Nitrogen isotopic ratios of  $\text{NH}_2$  in comets: Implication for

- <sup>15</sup>N-fractionation in cometary ammonia、著者名 : Shinnaka, Y. ; Kawakita, H. ; and 5 authors、掲載誌名 : Monthly Notices of the Royal Astronomical Society、査読の有無 : 有、巻 : Volume 462, Issue Suppl 1、最初と最後の頁 : S195-S209、発表年 : 2016
4. 論文名 : Ortho-to-para abundance ratios of NH<sub>2</sub> in 26 comets: implications for the real meaning of OPRs、著者名 : Shinnaka, Yoshiharu; Kawakita, Hideyo; Jehin, Emmanuël; Decock, Alice; Hutsemékers, Damien; Manfroid, Jea、掲載誌名 : Monthly Notices of the Royal Astronomical Society、査読の有無 : 有、巻 : Volume 462, Issue Suppl 1、最初と最後の頁 : S124-S131、発表年 : 2016
  5. 論文名 : Emerging trends and a comet taxonomy based on the volatile chemistry measured in thirty comets with high-resolution infrared spectroscopy between 1997 and 2013、著者名 : Dello Russo, Neil; Kawakita, Hideyo; Vervack, Ronald J. ; Weaver, Harold A.、掲載誌名 : Icarus、査読の有無 : 有、巻 : Volume 278、最初と最後の頁 : 301-332、発表年 : 2016
  6. 論文名 : Nitrogen Isotopic Ratio of Cometary Ammonia from High-resolution Optical Spectroscopic Observations of C/2014 Q2 (Lovejoy) 、著者名 : Shinnaka, Yoshiharu; Kawakita, Hideyo 、掲載誌名 : The Astronomical Journal 、査読の有無 : 有、巻 : Volume 152, Issue 5、最初と最後の頁 : article id. 145, 9、発表年 : 2016
  7. 論文名 : The evolution of photospheric temperature in nova V2676 Oph toward the formation of C<sub>2</sub> and CN during its near-maximum phase、著者名 : Kawakita, Hideyo; Arai, Akira; Fujii, Mitsugu、掲載誌名 : Publications of the Astronomical Society of Japan、査読の有無 : 有、巻 : Volume 68, Issue 5、最初と最後の頁 : article id. 87、発表年 : 2016
  8. 論文名 : Origins of Absorption Systems of Classical Nova V2659 Cyg (Nova Cyg 2014)、著者名 : Arai, A. ; Kawakita, H. ; Shinnaka, Y. ; Tajitsu, A. 、掲載誌名 : The Astrophysical Journal、査読の有無 : 有、巻 : Volume 830, Issue 1、最初と最後の頁 : article id. 30、発表年 : 2016
  9. 論文名 : Development of a prototype of the Tomo-e Gozen wide-field CMOS camera、著者名 : Sako, Shigeyuki; Osawa, Ryou; Takahashi, Hidenori; Kikuchi, Yuki; Doi, Mamoru; Kobayashi, Naoto; Aoki, Tsutomu; Arimatsu, Ko; Ichiki, Makoto; Ikeda, Shiro; Ita, Yoshifusa; Kasuga, Toshihiro; Kawakita, Hideyo; Kokubo, Mitsuru; Maehara, Hiroyuki; Matsunaga, Noriyuki; Mito, Hiroyuki; Mitsuda, Kazuma; Miyata, Takashi; Mori, Kiyoshi; Mori, Yuki; Morii, Mikio; Morokuma, Tomoki; Motohara, Kentaro; Nakada, Yoshikazu; Osawa, Kentaro; Okumura, Shin-ichiro; Onozato, Hiroki; Sarugaku, Yuki; Sato, Mikiya; Shigeyama, Toshikazu; Soyano, Takao; Tanaka, Masaomi; Taniguchi, Yuki; Tanikawa, Ataru; Tarusawa, Ken'ichi; Tominaga, Nozomu;

Totani, Tomonori; Urakawa, Seitaro; Usui, Fumihiko; Watanabe, Junichi; Yamaguchi, Jumpei; Yoshikawa, Makoto 、掲載誌名 : Proceedings of the SPIE、査読の有無 : 有、巻 : Volume 9913、最初と最後の頁 : id. 991339 、発表年 : 2016

10. 論文名 : Division F Commission 15: Physical Study of Comets and Minor Planets、著者名 : Bockelée-Morvan, Dominique; Gil-Hutton, Ricardo; Hestroffer, Daniel; Belskaya, Irina N.; Davidsson, Björn J. R.; Dotto, Elisabetta; Fitzsimmons, Alan; Hestroffer, Daniel; Kawakita, Hideyo; Mothe-Diniz, Thais; Licandro, Javier; Wooden, Diane H.; Yano, Hajime 、掲載誌名 : Transactions of the IAU、査読の有無 : 無、巻 : Volume 29A、最初と最後の頁 : pp. 316-339、発表年 : 2016

#### 学会・研究会等発表

1. 学会名 : 日本天文学会 2017 年春季、発表者 : 新中善晴、池田優二、新崎貴之、河北秀世、発表標題名 : 高分散偏光スペクトルから読み解く  $\beta$  Lyr の双極アウトフローの起源、開催地 : 九州大学、発表年月 : 2017 年 3 月
2. 学会名 : 日本天文学会 2017 年春季、発表者 : 新中善晴、Nicolas Fougere、河北秀世、亀田真吾、Michael R. Combi、池澤祥太、関あや菜、桑原正樹、佐藤充基、田口 真、吉川一郎、発表標題名 : 超小型深宇宙探査機 PROCYON に搭載された LAICA 望遠鏡による 67P/Churyumov-Gerasimenko 彗星の水分子の生成率、開催地 : 九州大学、発表年月 : 2017 年 3 月
3. 学会名 : 1ST BINA WORKSHOP、発表者 : Hamano, S.、発表標題名 : A survey of near-infrared diffuse interstellar bands、開催地 : Nainital、発表年月 : 2016 年 11 月
4. 学会名 : 1ST BINA WORKSHOP、発表者 : Kobayashi, N.、発表標題名 : WINERED: NIR High-resolution Spectrograph with High Sensitivity、開催地 : Nainital、発表年月 : 2016 年 11 月
5. 学会名 : 第 6 回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ、発表者 : Shogo Otsubo, Yuji Ikeda, Naoto Kobayashi, Sohei Kondo, Satoshi Hamano, Hiroaki Sameshima, Kei Fukue, Ayaka Watase, Tomohiro Yoshikawa, Kenshi Nakanishi, Keiichi Takenaka, Taichi Taichi, Kyoko Sakamoto, Chikako Yasui, Noriyuki Matsunaga and Hideyo Kawakita、発表標題名 : WINERED における高効率モザイク型ハイブレード回折格子を用いた高分散モードの開発、開催地 : 国立天文台、発表年月 : 2016 年 11 月
6. 学会名 : 第 6 回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ、発表者 : Shogo Otsubo, Yuji Ikeda, Naoto Kobayashi, Sohei Kondo, Satoshi Hamano, Hiroaki Sameshima, Kei Fukue, Ayaka Watase, Tomohiro Yoshikawa, Kenshi Nakanishi, Keiichi Takenaka, Taichi Taichi, Kyoko Sakamoto, Chikako Yasui, Noriyuki Matsunaga and Hideyo Kawakita、発表標題名 : WINERED における高効率モザイク型ハイブレード回折格子を用いた高分散モードの開発、開催地 : 国立天文台、発表年月 : 2016 年 11 月



7. 学会名：第 6 回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ、発表者：渡瀬彩華, 池田優二, 近藤荘平, 大坪翔悟, 小林尚人, 福江慧, 吉川智裕, 中村香月, 坂本匡子, 村井太一, 新井彰, 濱野哲史, 鮫島寛明, 竹中慶一, Giuseppe Bonod, 松永典之, 河北秀世、発表標題名：近赤外線高分散分光器 WINERED: NTT への移設と装置ステータス、開催地:国立天文台、発表年月：2016 年 11 月
8. 学会名：DPS meeting #48、発表者：Sagawa, Hideo; Hamano, Satoshi; Kawakita, Hideyo; Ikeda, Yuji; Otsubo, Shogo; Lee, Yeon Joo、発表標題名：High dispersion spectroscopy of Venus at 1.0  $\mu\text{m}$  using WINERED at Koyama Astronomical Observatory、開催地：Pasadena, CA、発表年月：2016 年 10 月
9. 学会名：ISM 2016、発表者：Hamano, S.、発表標題名：A survey of near-infrared diffuse interstellar bands、開催地：Sapporo、発表年月：2016 年 10 月
10. 学会名：DPS meeting #48、発表者：Bonev, Boncho P.; Villanueva, Geronimo Luis; Mumma, Michael J.; DiSanti, Michael A.; Paganini, Lucas; Boehnhardt, Hermann; Lippi, Manuela; Gibb, Erika L.; Bockelee-Morvan, Dominique; de Val-Borro, Miguel; Kawakita, Hideyo; Altwegg, Kathrin、発表標題名：Beyond 3 AU from the Sun: "Hypervolatiles" in Distant Comets、開催地：Pasadena, CA、発表年月：2016 年 10 月
11. 学会名：DPS meeting #48、発表者：Dello Russo, Neil; Kawakita, Hideyo; Vervack, Ronald J., Jr.; Weaver, Harold A.、発表標題名：Emerging Trends on the Volatile Chemistry in Comets as Measured with High-Resolution Infrared Spectroscopy、開催地：Pasadena, CA、発表年月：2016 年 10 月
12. 学会名：DPS meeting #48、発表者：Sarugaku, Yuki; Ikeda, Yuji; Kobayashi, Naoto; Kaji, Sayumi; Sukegawa, Takashi; Sugiyama, Shigeru; Nakagawa, Takao; Arasaki, Takayuki; Kondo, Sohei; Nakanishi, Kenshi; Yasui, Chikako; Kawakita, Hideyo、発表標題名：Immersion Gratings for Infrared High-resolution Spectroscopy、開催地：Pasadena, CA、発表年月：2016 年 10 月
13. 学会名：DPS meeting #48、発表者：Shinnaka, Yoshiharu; Kawakita, Hideyo、発表標題名：Spectroscopic observations of  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$  ratios in both  $\text{NH}_2$  and CN in comet C/2013 US10 (Catalina)、開催地：Pasadena, CA、発表年月：2016 年 10 月
14. 学会名：DPS meeting #48、発表者：Kawakita, Hideyo; Shinnaka, Yoshiharu; Jehin, Emmanuel; Decock, Alice; Hutsemekers, Damien; Manfroid, Jean、発表標題名：Survey for Ortho-to-Para Abundance Ratios (OPRs) of  $\text{NH}_2$  in Comets: Revisit to the Meaning of OPRs of Cometary Volatiles、開催地：Pasadena, CA、発表年月：2016 年 10 月
15. 学会名：日本天文学会 2016 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, 水本岬希, 安井千香子, 泉奈都子、発表標題名: 近赤外線高分散分光器 WINERED による微弱な DIB の探査、開催地: 愛媛大学、発表年月: 2016 年 9 月
16. 学会名: 日本天文学会 2016 年秋季、発表者: 泉奈都子, 安井千香子, 小林尚人, 濱野哲史, 齋藤正雄、発表標題名: 銀河系外縁部における星生成効率、開催地: 愛媛大学、発表年月: 2016 年 9 月
  17. 学会名: 日本天文学会 2016 年秋季、発表者: 安井千香子, 泉奈都子, 齋藤正雄, 小林尚人、発表標題名: 銀河系外縁部における低金属量星生成領域 II. Sh 2-208 の近赤外線撮像、開催地: 愛媛大学、発表年月: 2016 年 9 月
  18. 学会名: 日本天文学会 2016 年秋季、発表者: 中道晶香, 森川雅博、発表標題名: 原初超巨大ブラックホールと銀河の活動性、開催地: 愛媛大学、発表年月: 2016 年 9 月
  19. 学会名: 日本天文学会 2016 年秋季、発表者: 山口仁志, 大屋真, 池田優二, 馬目威男, 堀内雅彦, 柳橋健太郎, 向井伸二、発表標題名: 冷却補償光学系用「アサーマル型モノモルフ DM」の試作品の評価、開催地: 愛媛大学、発表年月: 2016 年 9 月
  20. 学会名: SPIE 2016 Astronomical Telescopes + Instrumentation、発表者: Yuki Sarugaku, Yuji Ikeda, Sayumi Kaji, Naoto Kobayashi, Takashi Sukegawa, Takayuki Arasaki, Sohei Kondo, Kenshi Nakanishi, Chikako Yasui, and Hideyo Kawakita、発表標題名: Cryogenic performances of high-efficiency germanium immersion grating、開催地: Edinburgh、発表年月: 2016 年 6 月
  21. 学会名: SPIE 2019 Astronomical Telescopes + Instrumentation、発表者: Shogo Otsubo, Yuji Ikeda, Naoto Kobayashi, Takashi Sukegawa, Sohei Kondo, Satoshi Hamano, Hiroaki Sameshima, Kei Fukue, Tomohiro Yoshikawa, Kenshi Nakanishi, Ayaka Watase, Keiichi Takenaka, Akira Asano, Chikako Yasui, Noriyuki Matsunaga, and Hideyo Kawakita、発表標題名: First high-efficiency and high-resolution NIR spectroscopy with high-blazed Echelle grating: WINERED HIRES-mode w/R80,000 commissioned、開催地: Edinburgh、発表年月: 2016 年 6 月
  22. 学会名: SPIE 2017 Astronomical Telescopes + Instrumentation、発表者: Yuji Ikeda, Naoto Kobayashi, Sohei Kondo, Shogo Otsubo, Satoshi Hamano, Hiroaki Sameshima, Tomohiro Yoshikawa, Kei Fukue, Kenshi Nakanishi, Takafumi Kawanishi, Tetsuya Nakaoka, Masaomi Kinoshita, Ayaka Kitano, Akira Asano, Keiichi Takenaka, Ayaka Watase, Hiroyuki Mito, Chikako Yasui, Atsushi Minami, Natsuko Izumi, Ryo Yamamoto, Misaki Mizumoto, Takayuki Arasaki, Akira Arai, Noriyuki Matsunaga, i, and Hideyo Kawakita、発表標題名: High-sensitivity, wide coverage, and high-resolution NIR non-cryogenic spectrograph: WINERED、開催地: Edinburgh、発表年月: 2016 年 6 月
  23. 学会名: SPIE 2020 Astronomical Telescopes + Instrumentation、発表者: Sayumi Kaji, Yuki Sarugaku, Yuji Ikeda, Kenshi Nakanishi, Naoto Kobayashi, Sohei Kondo, Takayuki Arasaki, and Hideyo Kawakita、発表標題名: The development of a cryogenic

FTIR system for measuring very small attenuation coefficients of infrared material、開催地：Edinburgh、発表年月：2016年6月

24. 学会名：SPIE 2018 Astronomical Telescopes + Instrumentation、発表者：Takayuki. Arasaki, Naoto. Kobayahsi, Yuji. Ikeda, Sohei. Kondo, Yuki. Sarugaku, Sayumi. Kaji, and Hideyo. Kawakita、発表標題名：VINROUGE: a very compact 2-5um high-resolution spectrograph with germanium immersion grating、開催地：Edinburgh、発表年月：2016年6月
25. 学会名：16TMT Science Forum 2016、発表者：Kobayashi, N.、発表標題名：NIR High-resolution spectrographs for the TMT、開催地：Kyoto、発表年月：2016年5月

## 神山天文台の普及教育活動

## 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、一般市民の方々と教育現場・産業界の方々と様々な交流を通じて、京都産業大学と一般社会、産業界を繋ぐ新たな天文台コミュニティ（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、引き続き京都産業大学における「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 28 (2016) 年度の活動について、以下のとおり記す。

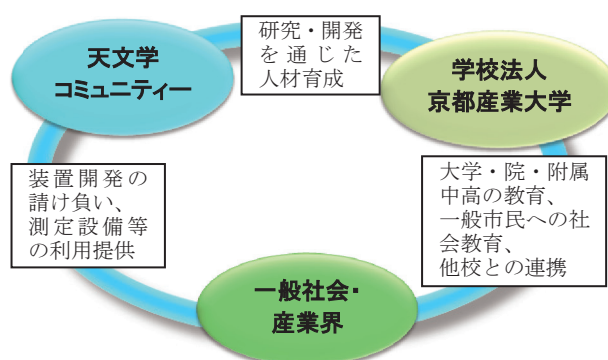


図 1 神山天文台の役割

### 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 20～24 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。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と分かる。

平成 26 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する予定となっており、研究所の活性化が期待される。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、学生や院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、教職員を対象とした天体観望会や宇宙の 3D 映像の上映会など、学内者向けの公開を行っている。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体験学習講座

神山天文台では、小・中・高の児童、生徒等（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きた。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いものの、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にも、自らが宇宙や天体について探究的に学ぶことのできる天文体験学習講座を実施してきた。

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。

天文体験学習講座は年間では10～20校ほどの参加ではあるが、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、受講生は小学生、中学生を中心に普通の学校の授業では、体験できないようなことも学ぶことができ、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のものとなった。

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4500名の方々の参加があり、神山天文台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

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。夜間に口径1.3mの荒木望遠鏡(図2・図3参照)での天体観望会、悪天候時は3D映像を用いたライブ解説を行っている。昼間はシニア、夜間は小学生のファミリーが多く、好天時には100名を超える方々が天体観望会に訪れる。

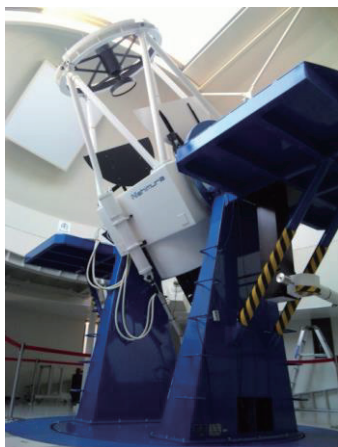


図2 荒木望遠鏡



図3 接眼部

観望会では、その日に見た天体のスタンプを押す天体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28（2016）年度までの7年間で、31,000名を超える方々にご来場いただき、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）。来館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きた。

また平日～土曜日の昼間には神山天文台を広く開放し、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・27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。

和歌山、奈良、兵庫、大阪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時間に及ぶことがあり、受講生の熱心さが伺える。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などを開催している。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きた。



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当天文台の観測・測定装置開発で培った技術で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や、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。



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体験学習講座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、体験学習講座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。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る。

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、早口で威圧的に喋り過ぎる学生もいるが、経験を重ねていくうちに、喋り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・提案す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、学生ボランティアチーム（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 29（2017）年 3 月現在で約 70 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もらっている。

### ・天体観望会（学内向け）

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、Mitaka を用いた 3D 映像上映会などを体験してもらっている（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 28（2016）年度は「太陽系ってナンダ??～地球はグルグルまわっている!～」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）

本学学園祭でも、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28（2016）年度は「星を探して君の瞳に Milky Way」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供向けの天文教室の実施や、天文同好会との合同イベントなど、日々自主的に神山天文台で活動が続けている。

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5参照）。

神山天文台 各種イベント等来場者数

資料 1

公開区分	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度
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
天文台講座	120	188					
天文学講座		260	303	347	148	114	56
特別講演会	77	33	36	64	92	79	64
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
オープンキャンパス	960	787	592	510	963	1,614	1,362
サタデージャンボリー	547	466	213	316	273	389	500
京都産業大学DAY	116	156	224	179	217	292	244
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
神山祭	232	557	284	534	509	613	495
その他(入学式, 卒業式等特別公開他)	185	65	162	137	89	150	95
合計	5,048	5,114	3,716	3,452	3,802	4,942	5,030

# 神山天文台 平成22年度～平成28年度 一般公開来場者数 統計

## 平成22年度 一般公開来場者数

イベント	天候状況	※観望会 開催	京都市	京都府	近 地 区	畿 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	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	2	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	0	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	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	2	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	3	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年度 一般公開来場者数

	イベント	天候状況	※観望会 開催	京都市	京都府	近 畿 地 区	畿 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	2	61	
5月21日	天文学入門講座	曇り	○	26	2	2	3	5	0	3	25	0	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	3	24	
6月11日	天文学入門講座	曇り	○	59	2	0	0	18	0	0	43	0	61	
6月18日	天文台講座	雨天	×	57	34	4	1	1	4	1	85	5	96	
6月25日	天文学入門講座	曇り	○	42	5	16	0	8	1	17	32	5	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	1	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	3	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	6	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	3	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	2	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	4	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	4	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	14	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	6	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	10	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	6	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	16	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	10	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	8	37	
12月24日	Xmasスペシャル講演会	曇り	○	32	2	10	6	8	2	8	18	14	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	1	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	35	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年度 一般公開来場者数

イベント	天候状況	※親望会 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	13	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	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	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			730	134	428	87	225	57	158	711	229	1,380



平成25年度 一般公開来場者数

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	11	19	12	42
4月27日		晴れ時々曇り	○	30	3	10	4	11	2	26	1	47
<b>4月計</b>			<b>2</b>	<b>68</b>	<b>8</b>	<b>21</b>	<b>5</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>54</b>	<b>13</b>	<b>102</b>
5月11日		雨のち曇り	×	3	0	1	0	1	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	7	36
5月25日		曇り時々晴れ	○	13	0	3	0	5	1	0	10	16
<b>5月計</b>			<b>2</b>	<b>39</b>	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>13</b>	<b>28</b>	<b>56</b>
6月1日		曇り	×	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	61
<b>6月計</b>			<b>1</b>	<b>44</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>16</b>	<b>33</b>	<b>61</b>
7月20日		晴れ	○	32	1	14	1	16	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	68
<b>7月計</b>			<b>2</b>	<b>81</b>	<b>6</b>	<b>21</b>	<b>8</b>	<b>30</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>65</b>	<b>116</b>
8月3日		晴れ時々曇り	○	52	0	15	5	23	2	5	36	72
8月24日		曇り時々雨	×	14	0	0	0	7	0	0	7	14
<b>8月計</b>			<b>1</b>	<b>66</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>30</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>43</b>	<b>86</b>
9月7日		雨	×	7	0	0	3	4	0	0	6	10
9月14日		曇り	×	4	0	2	0	0	1	2	3	6
9月21日		晴れ	○	32	0	11	2	12	1	3	27	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	70
<b>9月計</b>			<b>2</b>	<b>84</b>	<b>7</b>	<b>33</b>	<b>7</b>	<b>19</b>	<b>2</b>	<b>14</b>	<b>83</b>	<b>131</b>
10月5日		曇り	×	6	0	5	2	0	0	4	7	13
10月12日		晴れのち曇り	○	40	2	7	3	10	0	10	28	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	32
10月26日		雨のち晴れ	○	4	0	3	0	1	2	0	4	7
<b>10月計</b>			<b>2</b>	<b>66</b>	<b>3</b>	<b>29</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>57</b>	<b>104</b>
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	57
11月30日	アイソソ彗星講演会	晴れ	○	64	4	13	3	19	2	7	48	84
<b>11月計</b>			<b>2</b>	<b>99</b>	<b>7</b>	<b>29</b>	<b>5</b>	<b>27</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>82</b>	<b>141</b>
12月7日	天文学入門講座特別編	雨	×	17	0	16	0	1	2	4	19	33
12月14日		曇り時々晴れ	○	7	3	2	11	1	0	0	20	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	40
<b>12月計</b>			<b>1</b>	<b>44</b>	<b>3</b>	<b>30</b>	<b>18</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>61</b>	<b>96</b>
<b>1月計</b>			-	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>2月計</b>			-	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
3月22日		曇れ	○	10	20	6	2	8	4	2	16	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	42
<b>3月計</b>			<b>1</b>	<b>32</b>	<b>23</b>	<b>17</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>14</b>	<b>35</b>	<b>80</b>
<b>計</b>			<b>16</b>	<b>623</b>	<b>61</b>	<b>220</b>	<b>66</b>	<b>159</b>	<b>27</b>	<b>125</b>	<b>541</b>	<b>973</b>

平成26年度 一般公開来場者数

	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	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	晴れ	○	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
1月計			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2月計			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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
			22	751	84	254	112	169	43	282	532	69	94	1185

平成27年度 一般公開来場者数

	イベント	天候状況	※観望会開催	京都市	京都府	近畿地区	畿内府県	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	計
4月4日	皆既月食解説講座・皆既月食観望会	曇り	△	4	0	4	3	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	0	2	0	0	2
4月18日	天体観望会	晴れのち曇り	○	7	2	7	0	0	5	0	5	5	1	0	16
4月25日	天体観望会	晴れ	○	13	0	0	0	0	3	1	4	4	1	0	13
4月計			3	26	2	11	3	3	10	2	11	16	3	1	43
5月2日	天体観望会	晴れ	○	16	4	20	8	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	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	12	2	1	11	21	13	8	56
5月23日	3D上映会	曇り	×	2	0	3	0	0	0	1	2	2	0	0	5
5月30日	3D上映会	曇り	×	12	0	0	2	2	2	1	7	4	0	0	14
5月計			3	78	7	38	29	17	6	27	69	17	16	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	0	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	5	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	13	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	曇りときどき晴れ	△	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	11	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	13	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	1	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	23	194	
1月計			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2月計			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
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	0	98	
			21	742	68	267	88	237	53	164	510	119	83	1166	

平成28年度 一般公開来場者数

	イベント	天候状況	※観望会 開催	京都市	京都府	近 地 区	畿 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	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
<b>4月計</b>				<b>1</b>	<b>101</b>	<b>11</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>31</b>	<b>10</b>	<b>31</b>	<b>54</b>	<b>32</b>	<b>8</b>	<b>166</b>
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
<b>5月計</b>				<b>4</b>	<b>95</b>	<b>9</b>	<b>25</b>	<b>13</b>	<b>32</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>36</b>	<b>54</b>	<b>16</b>	<b>142</b>
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
<b>6月計</b>				<b>0</b>	<b>49</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>27</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>61</b>
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
<b>7月計</b>				<b>2</b>	<b>143</b>	<b>21</b>	<b>51</b>	<b>28</b>	<b>70</b>	<b>16</b>	<b>22</b>	<b>112</b>	<b>7</b>	<b>16</b>	<b>243</b>
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	曇りととき晴れ	○	48	6	17	16	29	3	7	41	2	5		87
<b>8月計</b>				<b>2</b>	<b>92</b>	<b>12</b>	<b>25</b>	<b>52</b>	<b>55</b>	<b>6</b>	<b>40</b>	<b>65</b>	<b>4</b>	<b>11</b>	<b>181</b>
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	曇りととき晴れ	△	12	5	8	7	6	1	1	16	8	0		32
<b>9月計</b>				<b>1</b>	<b>114</b>	<b>21</b>	<b>26</b>	<b>16</b>	<b>47</b>	<b>6</b>	<b>14</b>	<b>86</b>	<b>19</b>	<b>5</b>	<b>177</b>
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
<b>10月計</b>				<b>2</b>	<b>126</b>	<b>11</b>	<b>48</b>	<b>17</b>	<b>51</b>	<b>5</b>	<b>31</b>	<b>88</b>	<b>20</b>	<b>7</b>	<b>202</b>
11月12日	天体観望会	晴れ	○	67	11	20	0	28	1	11	42	11	5		98
<b>11月計</b>				<b>1</b>	<b>67</b>	<b>11</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>28</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>42</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>98</b>
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
<b>12月計</b>				<b>4</b>	<b>159</b>	<b>11</b>	<b>48</b>	<b>16</b>	<b>56</b>	<b>9</b>	<b>33</b>	<b>112</b>	<b>20</b>	<b>4</b>	<b>234</b>
<b>1月計</b>				<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>2月計</b>				<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
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
<b>3月計</b>				<b>1</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>21</b>	<b>3</b>	<b>20</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>32</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>80</b>
				<b>18</b>	<b>974</b>	<b>139</b>	<b>307</b>	<b>164</b>	<b>402</b>	<b>58</b>	<b>216</b>	<b>641</b>	<b>184</b>	<b>83</b>	<b>1584</b>

## 平成22年度 天文台講座開催一覧

資料3

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年度 天文台講座開催一覧

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	宇宙の雲気楼	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 京都大学白眉プロジェクト 特定准教授

平成23年度 天文学入門講座開催一覧

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年度 天文学入門講座開催一覧

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 莊平 神山天文台特定研究員
8	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
8	11月10日	15:00～16:30	恒星	中道 晶香 神山天文台専門員
8	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
8	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
8	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
8	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
8	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
8	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年度 天文学入門講座開催一覧

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 天文科学研究員

平成26年度 天文学講座開催一覧

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―衝突の瞬間を捉えろ	河北 秀世 理学部教授／神山天文台長 池田 優二 フォトコーディング代表／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 神山天文台囃託職員

平成27年度 天文学講座開催一覧

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年度 天文学講座開催一覧

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・同支社大学教授／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 翔悟 理学研究科 修士課程

## 神山天文台 新聞等記事掲載一覧

年度	No.	日付	新聞名	朝刊・夕刊等	面	記事名
2009年度	1	2009.12.22	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、国内私立大最大
	2	2009.12.23	中日新聞	朝刊	19	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	京都新聞	朝刊	1	私大最大 星空への瞳
	4	2009.12.23	毎日新聞	朝刊	27	雑記帳
	5	2009.12.23	読売新聞	朝刊	28	京産大の天文台 完成
	6	2009.12.24	朝日新聞	朝刊	25	京産大に天文台完成 望遠鏡口径国内6番目
	7	2009.12.27	産経新聞	朝刊	18	宇宙を望むようにな大きな挑戦を
	8	2010.3.10	産経新聞	朝刊	23	京都から銀河を観測
	9	2010.3.14	京都新聞	朝刊	30	巨大望遠鏡に興味津々
	10	2010.3.27	読売新聞	朝刊	22	星をたずねて
2010年度	11	2010.4.4	読売新聞	朝刊	31	京都産業大学神山天文台の一般公開
	12	2010.4.4	京都新聞	朝刊	26	京の星空「宝石みたい」京産大「神山天文台」を公開
	13	2010.4.26	読売新聞	朝刊	25	京産大に大型望遠鏡
	14	2010.5.7	京都新聞	朝刊	6	神山天文台の開設 モノづくり教育と知の還元
	15	2010.5.25	毎日新聞	朝刊	20	京都産業大学の真価
	16	2010.6.1	ガクシン		13	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！
	17	2010.6.1	THE JUNIOR TIMES		13	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
	18	2010.6.12	週刊ダイヤモンド		28	宇宙規模の視点で人間を見つめる天文台
	19	2010.6.15	京都新聞	朝刊	25	七夕に最新宇宙知ろう
	20	2012.6.19	リビング京都(中央・東南・西南)		6	天文台＆プラネタリウムで「星空の旅」へ出かけよう
2010年度	21	2010.6.28	毎日新聞	朝刊	29	支局長さんからの手紙 はやぶさ君
	22	2010.7.2	産経新聞	朝刊	15	全国同時七夕講演会
	23	2010.7.28	京都新聞	朝刊	24	京産大神山天文台高校生向けに講座(No.27の下に貼付分)
	24	2010.8.2	産経新聞	朝刊	18	3Dで望遠鏡で・・・宇宙の旅
	25	2010.8.25	毎日新聞	朝刊	12	京都産業大学第2回天文台講座「慧星(ほうきぼし)と私たちの地球」
	26	2010.9.1	大学新聞71号		13	中学生、高校生と宇宙を探る
	27	2010.9.13	Astro Arts 天文ニュース			西山さんと桃島さん、わし座に新星を発見
	28	2010	京のみどり 56号		P2.4	歴史と文化を未来につなぐ 賀茂川周辺のみどりを歩く
	29	2010	京産ニュース Kプレス 10月号 vol.139		P3	京都産業大学 神山天文台
	30	2010.12.9	京都新聞	朝刊	21	京産大天文講座 小学生以上募る
2011年度	31	2010.12.22	産経新聞	朝刊	21	小学生ら対象に天文のイベント
	32	2010	なび①修学旅行フリータイムガイドブック京都奈良		102,112	一足お先にキャンパスライフ
	33	2011.1.1	進研ゼミ 高1講座 高1MyVision 2011.1月号		44	いざキャンパスジャーニーへ！
	34	2011.2.26	リビング京都中央		7	子どもも大人も星空の世界へ
	35	2011.4.24	読売新聞	朝刊	23	やわらか頭で広がる答え
	36	2011.5.1	週刊ダイヤモンド 2011.5.14号		P22,23	ダイヤモンド21c 京都産業大学
	37	2011.5.22	京都新聞	朝刊	3	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
	38	2011.6.2	京都新聞	朝刊	21	最新天体研究語る
	39	2011.6.7	朝日新聞	夕刊	5	京都産業大学神山天文台 開設1周年記念講演会
	40	2011.6.6	毎日新聞	朝刊		京都産業大学神山天文台講座
2011年度	41	2011.6.10	京都新聞	朝刊	28	京産大生ら学内天文台超新星確認
	42	2011.7.2	京都新聞	朝刊	25	天文や七ツターマー全国同時講演会
	43	2011.7.2	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〜」を開催ー京都産業大学
	44	2011.7.31	読売新聞	朝刊	5	星の便り〜時空を超えて〜
	45	2011.8.9	京都新聞	朝刊	22	未来の科学者 育つてます
	46	2011.8.30	読売新聞	朝刊	20	京都産業大学 神山天文台 一般公開のご案内
	47	2011.9.1	朝日新聞	朝刊	24	星の美しさにワットリ
	48	2011.10.5	京都新聞	朝刊	23	神山天文台の研究活動紹介
	49	2011.10.8	産経新聞	朝刊	23	産学連携で観測機器の開発
	50	2011.12.1	日経グローバル No.185 2011.12.5号		22,23	地域内の連携・競争がバネに
51	2011.12.1	日経グローバル No.185 2011.12.5号		30	一押しプロジェクト	
52	2011.12.3	産経新聞、朝日新聞、京都新聞	朝刊	28,37,31	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	



年度	No.	日付	新聞名	朝刊・夕刊等	面	記事名
2011年度	53	2011.12.9	京都新聞	朝刊	25	重力レンズ現象解説あす天文学講演会
	54	2011.12.10	京都新聞	朝刊	25	京都産業大学神山天文台講座「宇宙の蟹気楼」
	55	2011.12.11	京都新聞	朝刊	25	宇宙の蟹気楼広がる夢
	56	2011.12.17	産経新聞	朝刊	23	高性能の天体観測装置開発
	57	2011.12.21	京都新聞	夕刊	8	世界一の観測 星の謎解く
	58	2011.12.23	京都新聞	朝刊	20	ベッセルの星 天文台長が講演
	59	2012.1.11	京都新聞	朝刊	19	宇宙の魅力発信へ連携
	60	2012.2.1	京都新聞	夕刊	1	星空を仰いでごらん
	61	2012.3.21	毎日新聞	朝刊	20	先進望遠鏡で宇宙を解析
	62	2012.7.23	swissinfo.ch Web版			最遠の超新星の跡発見
2012年度	63	2012.7.23	中日新聞Web版			119億光年先に最遠超新星跡
	64	2012.7.24	京都新聞	朝刊	26	119億光年先に最遠超新星跡
	65	2012.8.29	京都新聞	朝刊	1	ハートレイ彗星ガス分析に成功
	66	2012.8.30	マイナビニュース			京産大・神山天文台、NASAの「EP0X1彗星探査計画」の地上支援の成果を発表
	67	2012.9.21	京都新聞	朝刊	23	天文学入門 京産大で講座
	68	2012.9.23	読売新聞	朝刊	26	嵐山で中秋の名月法輪寺などで催し
	69	2012.9.30	京都新聞	朝刊	26	京の文化施設学生無料
	70	2012.10.2	毎日新聞	朝刊	15	最新の超新星跡を発見
	71	2012.11.5	京都新聞	夕刊	3	私立最大の反射式望遠鏡
	72	2013.2.28	日本経済新聞	夕刊	10	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
2013年度	73	2013.4.10	京都修学旅行バスポート			京都産業大学 神山天文台
	74	2013.4	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
	75	2013.4.11	日本経済新聞	朝刊		近畿特集 天文学入門講座の紹介
	76	2013.4.18	京都新聞	朝刊	21	天文学入門講座の紹介
	77	2013.5.29	京都新聞	朝刊	23	「見えない光」で探る銀河研究を学ぼう 8日京産大で
	78	2013.7.26	京都新聞	朝刊	27	京産大神山天文台 入門講座と観望会
	79	2013.7.26	読売新聞	朝刊	28	虹の秘密 解き明かせ 京都産業大、あす講座
	80	2013.7.28	読売新聞	朝刊	23	特殊フィルムで虹の見え方観察
	81	2013	なるほど地図帳 日本2014			京都産業大学 神山天文台
	82	2013	マナビズム Go to 大学 キャンパス調査隊			神山天文台
2013年度	83	2013.10.15	10K10月15日号			天文台からはるか宇宙の旅へ 京都産業大学 神山天文台
	84	2013.10.23	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
	85	2013.11.2	京都新聞	夕刊	9	「大学ツアー」人気上昇
	86	2013.11.8	修学旅行「14th」イブ「旅なび京都・奈良」			京都産業大学 神山天文台
	87	2013.11.23	京都新聞	朝刊	27	アイソン彗星の成分分析
	88	2013.11.24	日本経済新聞	朝刊	19	初期の太陽系、彗星に痕跡
	89	2013.11.27	京都新聞	朝刊	23	アイソン彗星 確し多数
	90	2013.12.1	産経新聞	朝刊	22	アイソン彗星 まだ見られる？
	91	2013.12.5	京都新聞	朝刊	21	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」
	92	2013.12.8	読売新聞	朝刊	34	彗星の動向 見通す難しさ
2014年度	93	2013.12.15	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
	94	2014.2.21	京都新聞	朝刊	21	アイソン彗星にアンモニア 京産大など分析
	95	2014.2.24	京都新聞	朝刊	24	子ども「科学者」研究発表
	96	2014.2.21	赤旗新聞		14	アイソン彗星崩壊前の観測 太陽系の謎解くヒントに
	97	2014.2.20	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
	98	2014.2.24	マイナビニュース			ずばる望遠鏡、アイソン彗星から単独彗星では初となる「15NH2」を検出
	99	2014.2.28	読売新聞	朝刊	32	工作や実験 子供と交流 学生らアドバイス
	100	2014.3.27	読売新聞	朝刊	34	新彗星現象 専門家が解説
	101	2014.3.9	京都新聞	朝刊	16	ソフィアがやってきた 天の川に探る 宇宙の神秘
	102	2013	student days			京都産業大学 神山天文台
2014年度	103	2014.5.2	京都新聞	夕刊	7	言葉の力
	104	2014.5.14	毎日新聞	朝刊	25	京都産業大学神山天文台 天文学講座
	105	2014.6.27	学研教育出版 進学情報サイト「ガクセイ」			京都産業大「天文学講座 星空の彼方の大宇宙」を開催
	106	2014.7.4	産経新聞	朝刊	28	3000光年の彼方 地球に似た惑星
	107	2014.7.4	京都新聞	Web版		地球に質量が似た惑星発見 3000光年離れた「連星」で

年度	No.	日付	新聞名	朝刊・夕刊等	面	記事名
2014年度	108	2014.7.4	北海道新聞	Web版版		地球に質量が似た惑星発見 3000光年離れた「連星」で
	109	2014.7.4	佐賀新聞	Web版版		地球に質量が似た惑星発見 3000光年離れた「連星」で
	110	2014.7.9	天文ガイド	8月号		天体観望会・第2回天文学講座案内
	111	2014.7.10	文藝春秋	8月号		星に願いを
	112	2014.7.22	読売新聞		34	宇宙兄弟展 30日、いよいよ開幕
	113	2014.7.7	京都・洛北フリーペーパー あべきた		35	天体観望会・第2回天文学講座案内
	114	2014.8.7	読売新聞			天文台で星空眺めよう
	115	2014.8.7	日経REVIEWE			京阪神の天体観測イベント
	116	2014.8.14	読売新聞	朝刊	27	「宇宙兄弟」小山さん 高校生と天文台訪問
	117	2014.8.16	読売新聞	朝刊	28	宇宙兄弟展 体験教室・講座も
	118	2014.8.24	京都新聞	朝刊	22	夏の大自然に思いほせ
	119	2014.8.24	読売新聞	朝刊	29	京産大生が星の世界案内
	120	2014.8.25	読売新聞	朝刊	19	太陽系外の微粒子7個
	121	2014.9.27	読売新聞	朝刊	30	京産大宇宙×宇宙兄弟展 失敗恐れず、チャレンジしよう！
	122	2014.10.9	京都新聞	朝刊	24	赤い月 京にも
	123	2014.10.19	日本経済新聞	朝刊	19	彗星へ着陸機を放て
124	2014.10.23	毎日新聞	朝刊	14	彗星に着陸 新発見期待	
125	2014.11.13	毎日新聞	朝刊	11	探査機 彗星に初上陸	
126	2014.11.19	読売新聞	朝刊	37	彗星の気体から有機物	
127	2015.1.10	京都新聞	Web版版		冬の星空の魅力、児童学ぶ	
128	2015.2.14	リビング京都	朝刊	2	夜空からのメッセージはふたご星から	
129	2015.2.17	京都新聞	朝刊	28	銀河に炭素分子多数 京産大などがグループ 恒星の光から観測	
130	2015.2.19	京都新聞	夕刊	8	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	
131	2015.2.28	京都新聞	朝刊	11	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	
132	2014	student days			京産大宇宙 神山天文台	
133	2014	なるほど地図帳 日本2015			京産大宇宙 神山天文台	
134	2014	きょうと修学旅行ナビ			京産大宇宙 神山天文台	
135	2014	旅なび修学旅行 京都&奈良			京産大宇宙 神山天文台	
136	2014	京都修学旅行パスポート			京産大宇宙 神山天文台	
137	2015.4.1	産経新聞	朝刊	24	京産大・河北教授に西田賞	
138	2015.4.23	岐阜新聞	夕刊		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	
139	2015.4.23	山陽新聞			宇宙に巨大有機分子	
140	2015.4.23	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	
141	2015.4.23	四国新聞			宇宙に巨大有機分子？赤外線分析で新装置	
142	2015.4.23	大分合同新聞	夕刊		宇宙に巨大有機分子か 新装置で赤外線領域分析	
143	2015.4.23	中国新聞	夕刊	8	宇宙に巨大有機分子か	
144	2015	JSコーポレーション 日本の学校			天体観望会、七夕講演会	
145	2015.8	KRP-Week			藤代専門員講演「京都産業大学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	
146	2015.6.23	熊本日日新聞	朝刊	15	京産大宇宙50周年 宇宙テーマに講演	
147	2015.7.9	京都新聞	朝刊	21	赤外線の見極め 段違い 京産大 キヤノンなど光学部品開発	
148	2015.7.9	日刊工業新聞		23	赤外線光学素子を開発 京産大	
149	2015.7.14	日刊工業新聞		27	「光の束」期待	
150	2015.5.14	日経新聞	夕刊	9	西田賞受賞記念講演「太陽系の起源を求めて」	
151	2015.6.4	中日新聞		5	天文学のきら星 京産大 科学誌掲載私立1位	
152	2015	エルマガジン社 エコトリップ京都			京産大宇宙 神山天文台	
153	2015.8.24	読売新聞			飛び出す宇宙 腫キヲリ(神山天文台)・FAM岩倉図書館(ラオ)	
154	2015	なるほど地図帳 日本2016			京産大宇宙 神山天文台	
155	2016	きょうと修学旅行ナビ			天文学習の紹介	
156	2016	JSコーポレーション 日本の学校	Web版		天体観望会、七夕観望会	
157	2016	関西の大学を楽しむ本			京産大宇宙 神山天文台	
158	2016.6.8	京都新聞	夕刊	2 (カラー)	「科学スコープ@キャンパス」暗黒星雲「物作り」で迫る	
159	2016.6.17	朝日新聞デジタル	Web版		京産大神山天文台 高精度分光器で内部観測成功	
160	2016.6.17	京都新聞	Web版		京産大神山天文台 世界初！「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功	
161	2016.6.17	ZDNet Japan	Web版		京産大神山天文台 世界初！「ぼやけた星間線」の原因となる分子の観測に成功	

年度	No.	日付	新聞名	朝刊・夕刊等	面	記事名
2016年度	162	2016.6.17	共同通信 PR Wire	Web版		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
	163	2016.6.17	ONET Japan	Web版		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
	164	2016.6.17	奈良新聞	Web版		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
	165	2016.6.17	沖繩タイムス	Web版		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
	166	2016.6.17	OPTRONICS ONLINE	Web版		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
	167	2016.6.17	zakzak by タリフジ	Web版		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
	168	2016.6.30	北区じかん vo.3 2016夏号			神山天文台 天体観望会紹介
	169	2016.7.1	関塾タイムス 8月号			星を観に行こう! わくわく天体観望のすすめ
	170	2016.7.3	京都新聞	朝刊	6 (カラー)	京都産業大学神山天文台 「最前線 京滋ピシネス 西村製作所」 (京都産業大学神山天文台 荒木望遠鏡 掲載)
	171	2016.7.12	NHK あさいち	TV		神山天文台 天体観望会紹介 (テレビ放送)
	172	2016.8.5	twitter (ニッセン)	Twitter		ニッセンのtwitter (@nissenn) にて神山天文台の紹介
	173	2016.9.24	京都新聞	朝刊	9 (カラー)	神山天文台 新星での分子生成メカニズムを解明
	174	2016.10.4	関西テレビ ワンダー	TV		神山天文台の紹介 (テレビ放送)
	175	2016.11.19	リビング京都中央		16	澄んだ空気の紹介 (テレビ放送)
	176	2017.1.24	福井新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台
	177	2017.1.24	山形新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台
	178	2017.1.24	岩手日報	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台
	179	2017.1.24	徳島新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台
	180	2017.1.24	中日新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台
	181	2017.1.24	大阪日日新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台
	182	2017.1.24	沖繩タイムス	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台
	183	2017.1.24	琉球新報	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台
	184	2017.1.24	山陰中央新報	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台
	185	2017.1.24	長崎新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台
	186	2017.1.24	宮崎日日新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台
	187	2017.1.24	神戸新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台
	188	2017.1.24	福島民報	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台
189	2017.1.24	佐賀新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台	
190	2017.1.24	韓国新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台	
191	2017.1.24	岐阜新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台	
192	2017.1.24	宇一リ一東北	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台	
193	2017.1.24	高知新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台	
194	2017.1.24	河北新報	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台	
195	2017.1.24	千葉日報	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台	
196	2017.1.24	東京新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台	
197	2017.1.24	北海道新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台	
198	2017.1.24	南日本新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台	
199	2017.1.24	日本海新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台	
200	2017.1.24	福島民友新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台	
201	2017.1.24	上毛新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台	
202	2017.1.24	山陽新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台	
203	2017.1.24	愛媛新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台	
204	2017.1.24	京都新聞	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台	
205	2017.1.24	共同通信	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台	
206	2017.1.24	産経フオト	Web版		最小探査機が慧星観測に成功 世界初、国立天文台	
207	2017.2.2	毎日新聞	朝刊	28 (カラー)	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	

## 神山天文台サポートチーム 学会等発表のあゆみ

### 平成 23 (2011) 年度

1. 2011 年 11 月 27 日 (日) 天文教育普及研究会 近畿支部会  
 京都産業大学 神山天文台 サギタリウスホール  
 メインテーマ：大学での天文教育のニューウエーブ  
 台長挨拶 河北 秀世 (京都産業大学 神山天文台)  
 「神山天文台における普及教育活動」 中道 晶香 (京都産業大学 神山天文台)  
 「神山天文台ボランティアチーム半年間の歩み」  
神山天文台ボランティアチーム 鈴木 杏那、松崎 玖美 (京都産業大学)  
 「神山天文台学生補助員の紹介 ～補助員としての自分～」  
小山 直輝 (京都産業大学)

### 平成 24 (2012) 年度

1. 2012 年 8 月 5 日 (日) - 7 日 (火) 第 26 回天文教育研究会・年会  
 和歌山大学  
 メインテーマ：天文教育の温故知新  
 「誤解だらけの天文学史～古代インドの宇宙観を例に」 廣瀬 匠 (京都大学)  
 ※廣瀬氏は本学の大学院修士課程修了、それまで 2 年間に補助員として観望会  
 等で活躍していたため、参考として記載  
 「京都産業大学 神山天文台ボランティアチーム 試行錯誤の 1 年目を終えて 2 年目へ」  
神山天文台ボランティアチーム 近本 衛
2. 2012 年 11 月 18 日 天文教育普及研究会 近畿支部会  
 琵琶湖博物館 セミナー室  
 メインテーマ：科学館や博物館等と学校教育の連携  
 「京都産業大学神山天文台の『天文を伝える』実践教育」  
 中道 晶香 (京都産業大学 神山天文台)  
 「神山天文台ボランティアチームのあゆみ」  
神山天文台ボランティアチーム 近本 衛、鈴木 杏奈

### 平成 25 (2013) 年度

1. 2013 年 8 月 18 日 (日) ～ 20 日 (火) 第 27 回天文教育研究会  
 山口県教育会館 5 階  
 メインテーマ：学校での天文教育を考える ～連携の時代を迎えて～  
 「大学の天文台で「天文学を伝える」学生を育成する」  
 吉川 智裕 (京都産業大学 神山天文台)
2. 2013 年 12 月 1 日 (日) 天文教育普及研究会 近畿支部会

京都大学 理学研究科セミナーハウス

メインテーマ：SNSとモバイルツールを天文普及に使いこなそう

「冒頭のご挨拶」 近畿支部長 中道 晶香（京都産業大学 神山天文台）

「140文字の天文コミュニケーション（基調講演（招待講演）」

廣瀬 匠（京都大学・星のソムリエ京都）

「学生ボランティアによる神山祭向け天文台公開イベント」

竹中 慶一（京都産業大学 神山天文台ボランティアチーム）

「インターネットを使った天文教育～アストロ・アカデミアの事例～」

小林 仁美（LLP 京都虹光房） ※小林氏は本学補助員 OG のため参考として記載

#### **平成 26 (2014) 年度**

1. 2014年8月10日（日）—12日（火）第28回天文教育研究会

東京学芸大学

メインテーマ：天文教育普及活動の次の一步を探る

「学生ボランティアによる学内観望会」

塩谷 葵（京都産業大学 神山天文台ボランティアチーム）

パネルディスカッション パネラー学生代表に選出

竹中 慶一（京都産業大学 神山天文台ボランティアチーム）

#### **平成 27 (2015) 年度**

1. 2015年8月19日（水）—21日（金）第29回天文教育研究会

北海道大学 百年記念会館

メインテーマ：地域と育む新しい天文コミュニティの形 ～学び・文化・人～

「市民・大学生・大学の3者にメリットをもたらす社会貢献とは」

中道 晶香（京都産業大学 神山天文台）

#### **平成 28 (2016) 年度**

1. 2016年8月21日（日）—8月23日（火）第30回天文教育研究会

東北大学 理学部 青葉サイエンスホール

メインテーマ：天文教育で日本を元気にする～宇宙と親しみ、人とつながる～

「神山天文台サポートチーム ～5年間の活動とこれからの展望～」

坂部 健太（京都産業大学 神山天文台サポートチーム）

2. 2016年11月20日（日）天文教育普及研究会 近畿支部会

京都教育大学 藤森キャンパス

メインテーマ：ものづくりと天文教育

「遊んで学べる天文グッズ ～製作と使用例～」

小坂 美紀、塩谷 葵、京都産業大学 神山天文台サポートチーム

2016 年度神山天文台  
研究成果報告書

平成 30 年 3 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