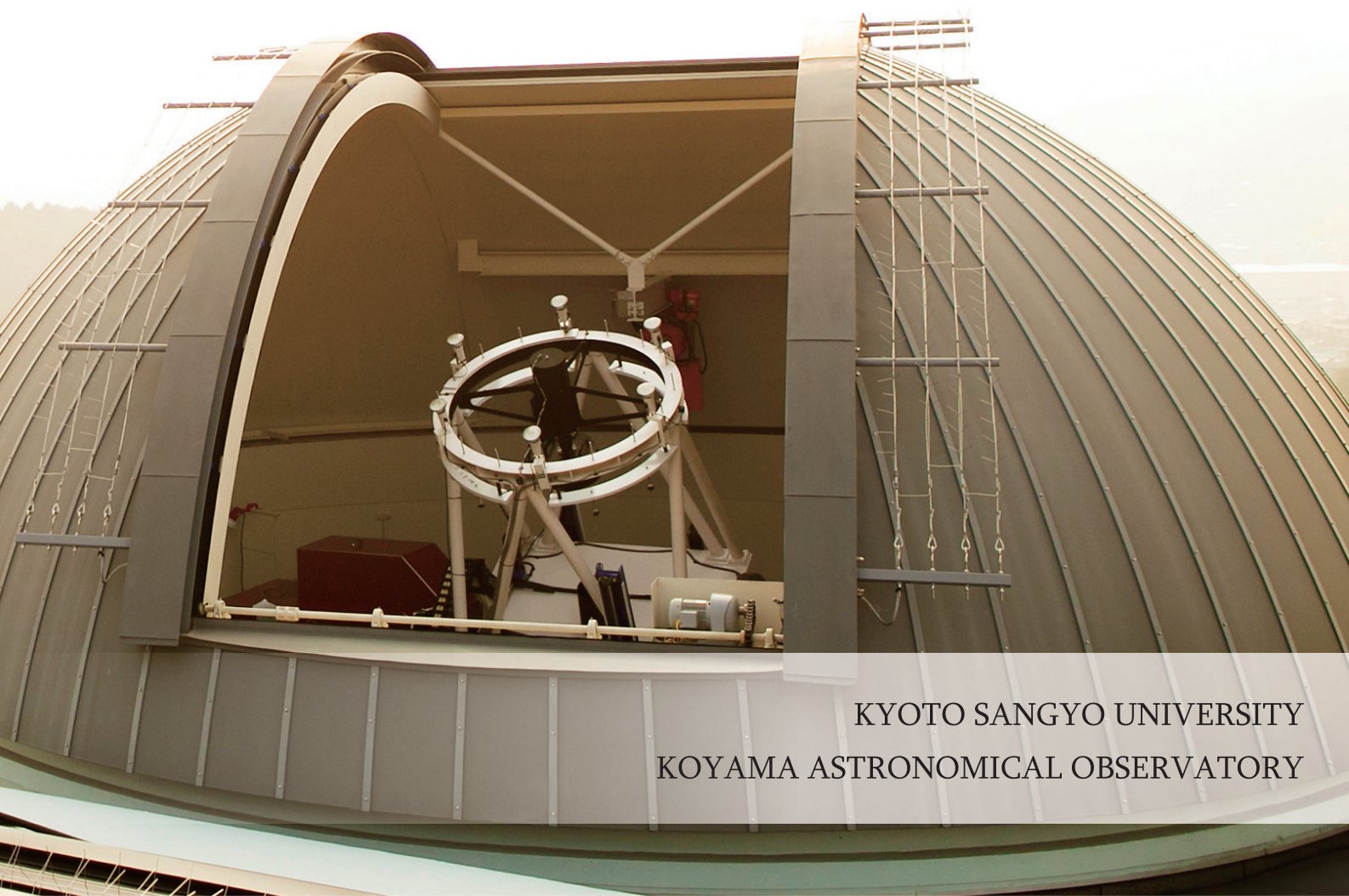


annual report 2013

2013 年度 神山天文台 研究成果報告書



KYOTO SANGYO UNIVERSITY
KOYAMA ASTRONOMICAL OBSERVATORY

目次

巻頭言	1
研究成果報告	
・ 小型屈折光学系補償光学装置 CRAO の開発	3
・ インフレーション理論モデルにおける場の不安定性	17
・ The metallicities of Arcturus and μ Leonis from z-, y, and J-bands spectra with the high resolution spectrograph, WINERED	26
・ 可視光・2色同時撮像装置 ADLER による銀河バルジマイクロレンズ現象の観測 ..	35
・ Detection of Diatomic Molecules in the Dust Forming Nova V2676 Oph	43
・ Spectroscopic Monitoring Observations of Nova V1724 Aql in 2012	51
・ Line Evolution of the Nova V5587 Sgr from Early to Nebular Phase	59
研究成果・関連論文リスト	67
神山天文台の普及教育活動	
・ はじめに	69
・ 大学としての教育活動	69
・ 学内公開	70
・ 近隣学校等への天文体験学習講座	70
・ 他機関との連携事業	71
・ 一般の方への普及教育活動	71
施設見学と天体観望会	
天文学入門講座	
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	73

巻頭言

平成 25 年度 (2013 年) は、神山天文台が設置されて 4 年目、文部科学省の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」プロジェクト[平成 20 年度 (2008 年) ~平成 24 年度 (2012 年)]が終了した翌年度にあたります。神山天文台の設置後 3 年を経て、研究機関として独り立ちできているかが問われた年度でもありました。研究というのは、実際に様々な観測や開発といった研究活動をしている時期から 1 年ほどたった頃に、ようやく研究発表や論文として成果が世に出てくることがままあります。そういう意味では、平成 25 年度 (2013 年) は、その直前年度までの成果の収穫期だったとも言えます。この観点で、実際に神山天文台から創出された学術成果を眺めてみますと、口径 1.3m と世界を相手にするには決して大きくない望遠鏡で、かつ極めて気象条件の悪い (晴れない、シーイングサイズが悪い) 観測サイトで、神山天文台の専任スタッフや理学部兼務の研究員の方々、学生および客員研究員のみなさんが、大変な苦勞をされていることが読み取れます。また、その為にこそ、みなさんが様々なアイデアを駆使して研究を進めていることも伺えます。

神山天文台は、観測サイトとして決して理想の地でもなければ、理想の大型望遠鏡を有しているわけでもありません。そのような状況で、平成 24 年度 (2012 年) までの「研究教育用天文台の設置」プロジェクトでは、時間変動天体の観測として様々なターゲットを研究対象にしてきました。しかし、当地の条件から目覚ましい成果を期待できない研究プログラムについては、平成 25 年度 (2013 年) から天文台主導のプロジェクトではなく、各研究員らの個人研究の範囲で科学研究費補助金等の外部資金を獲得しつつ進めるという形に移行しつつあります。厳しい予算状況の中、成果の期待できる研究テーマに観測時間を集中するという形です。この選択が実りあるものであったかどうかは、おそらく 3 年もたてば目に見えるようになると思います。その時にこそ、このような判断をした現天文台長の責任が問われることになるでしょう。楽しみでもあり、恐ろしくもあります。今後も、様々なアイデアを出し、いかにして世界を相手に一流の成果を出してゆくかが、ますます問われることと思います。

神山天文台長
河北秀世

2014 年 10 月 18 日

研究成果報告

タイトル：小型屈折光学系補償光学装置 CRAO の開発

担当：藤代尚文（京都産業大学神山天文台・専門員）、北尾栄司（京都産業大学大学院理学研究科・博士後期課程 1 年）、清水智（京都産業大学理学部物理科学科・2013 年度卒業）、池田優二（京都産業大学神山天文台・客員研究員／フォトコーディング）、大屋真（国立天文台）

関連出版：

Fujishiro, N., et al., “CRAO: a compact and refractive adaptive-optics”, SPIE, 2014

関連学会発表等：

Fujishiro, N., et al., “CRAO: a compact and refractive adaptive-optics”, SPIE, 2014

小型屈折光学系補償光学装置 CRAO の開発

藤代尚文（京都産業大学神山天文台・専門員）、

北尾栄司（京都産業大学大学院理学研究科・博士後期課程1年）、

清水智（京都産業大学理学部・2013年度卒業）、

池田優二（京都産業大学神山天文台・客員研究員／フォトコーディング）、

大屋真（国立天文台）

1 イントロダクション

1.1 補償光学とは

天体から発せられた光は、宇宙空間を直進伝播して地球まで到達する。しかし、天体光が地球大気中を伝播する際には、大気揺らぎ（=大気の温度差によって発生する屈折率の微小変化）の影響によって波面が乱されてしまう。その乱れた波面をもつ光を望遠鏡で集光・結像させたのち、CCDなどの検出器で長時間露光撮影すると、得られた星像はピンぼけしたように広がっている。この結果、検出器の1ピクセルあたりの光量が減少し、すなわち限界等級の低下に繋がる。また、星像が広がることで空間分解能が悪くなる問題も引き起こされる。大気の影響は宇宙空間で観測する以外逃れられない長年の悩みであったが、近年の技術進歩により波面の乱れを補正して空間分解能を改善させる光学技術が確立されている。その技術を補償光学(=Adaptive Optics, AO)という。

図1は、AOを用いていない場合とAOを用いた場合の点像分布関数(=Point Spread Function, PSF)の比較である。AOを用いることで、広がっていた光が一点に集まりピーク強度が強まっていることがわかる。

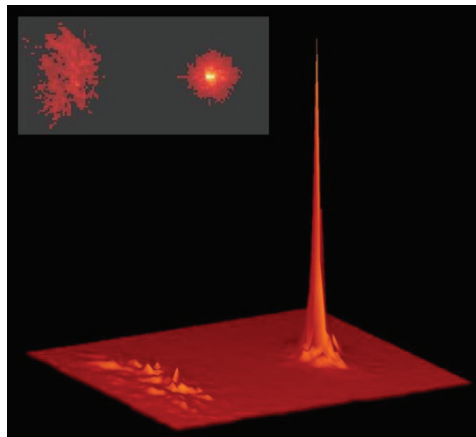


図1 左:AO補正前のPSF、右:AO補正後のPSF

(Credit: James R. Graham (UCB) with IRCAL on the Lick Observatory 3m.)

図2に示すように、AOは波面センサ(=WaveFront Sensor, WFS)、制御コンピュータ(=Control Computer, CC)、可変形鏡(=Deformable Mirror, DM)の三要素で構成され

ている。望遠鏡から入ってきた光の波面の乱れは、WFSで測定される。CCは測定情報を受け取り、それをもとにDMに与えるべき変形量を計算し、制御信号をDMに送る。送られた信号に従ってDMが変形し、波面が補正される。この一連の動作を、大気の流動速度よりも高速で行うことで、より良いPSFを得ることができる。

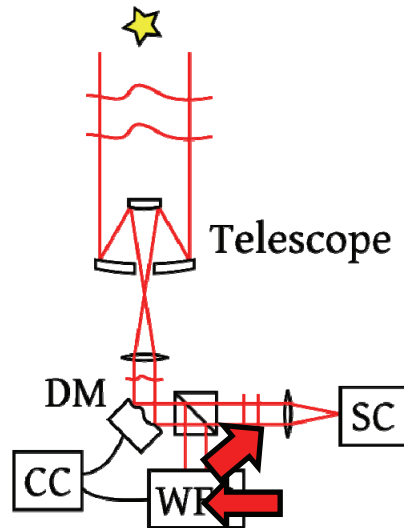


図 2 一般的な AO の構成

図 3 に示すように、AO の動作方式は、開ループ(Open Loop)と閉ループ(Closed Loop)に大別される。その違いは、WFS の DM に対する設置個所によって決まる。開ループでは WFS を DM に対して光学系の上流に設置し、閉ループでは下流に設置される。それぞれの WFS において、開ループでは大気による乱れた波面の形状を直接測定するのに対し、閉ループでは、補正後の波面残差を測定する事になる。従って、開ループよりも閉ループの方が制御は容易である。なぜなら、開ループでは、波面の絶対形状を測定して、その量を正確に DM に伝えなければ正しい補正ができないからである。即ち WFS の測定誤差と DM の補正誤差は収束する事無く常に残存し続ける事になる。一方の閉ループでは、DM による波面補正を行った後の相対誤差を補正するため、AO の動作速度が大気の流動速度に比べて十分速い場合は、その補正誤差を次第にゼロに近づいて行くことが可能である。このような理由で現在駆動中の多くの AO は閉ループ方式で設計されている。

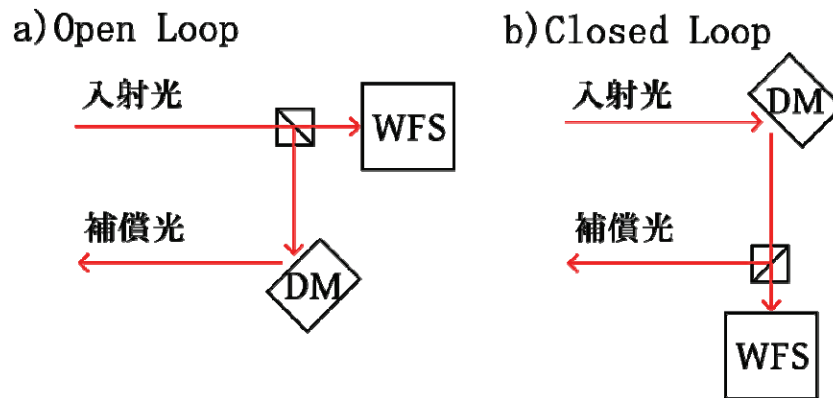


図 3 Open Loop と Closed Loop

1.2 小型屈折光学系補償光学装置 CRAO とは

我々は、ダブルパス屈折光学系を採用した小型屈折光学系補償光学装置を開発し、太陽系外地球型惑星のサンプル数の飛躍的な増加を目指している。

太陽系外にある地球型惑星の探査は、21 世紀の天文学の最大のテーマの 1 つである。現在、ケプラー宇宙望遠鏡のトランジット法によるサーベイと、地上の口径 10 メートル級大望遠鏡の高分散分光器を用いたドップラーシフト法による追認観測によって探査が進められており、生命居住可能領域にある系外惑星のサンプルが 10 個程度得られている。2020 年代になると、口径 30 メートル級巨大望遠鏡による直接撮像と、宇宙望遠鏡による惑星大気分析が可能となり、これらのサンプルの中から地球型惑星が存在する直接的証拠が得られると期待されている。ただし、生命居住可能領域にあっても、金星と火星のように生命の存在に適さない惑星も存在するので、地球型惑星の発見可能性を高めるために、引き続きサンプル数を増やす必要がある。2017 年に打ち上げられる TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) は、ケプラー宇宙望遠鏡よりも約 400 倍広い視野を探査し、生命居住可能領域にある系外惑星の候補を多数発見すると見込まれている。しかし、我が国においては、追認観測に使用可能な大望遠鏡はすばる望遠鏡 1 台のみであり、そのフォローアップを十分に行うことができない。一方、口径 1～2 メートルの中小望遠鏡は国内に 19 台あり、これらの望遠鏡には観測時間が潤沢にある。これら中小望遠鏡に AO を導入すれば、限界等級が向上して追認観測の実施が可能となり、サンプル数は飛躍的に増加する。しかし、既存の AO は大型かつ高価であるため、中小望遠鏡への AO の導入は困難となっている。

そこで我々は、中小望遠鏡にも導入可能な、ダブルパス屈折光学系を採用した小型かつ低コストの AO (図 4 参照) を提案し、その開発を進めている。本 AO で採用しているダブルパス屈折光学系は、リトロ型分光器やマイクロソグラフィで使用されているものを応用したものである。ダブルパス屈折光学系には、以下の特長がある：(1) コリメータとカメラそれぞれに独立な光学素子を用意する必要がない、(2) 瞳位置をコントロールでき、可変形鏡から屈折光学素子までの距離を近づけることができる、(3) 可変形鏡への入射角を

小さくでき、瞳像サイズを小さくできる (=可変形鏡のサイズが小さくて済む)。これらの特長を生かすことにより、従来の反射光学系で構成されている AO と比較すると、大幅なサイズの小型化が実現できる。同時に、光学素子数が削減されているため、低コスト化も達成できる。その一方で、従来の反射型 AO の開発においては経験し得なかった、レンズ材の色収差・温度収差、およびレンズ面で発生するゴーストに十分に留意し、それらの影響を最小限に抑える必要がある。そこで本研究では、(1)ダブルパス屈折光学系を使用した可視光線用 AO の原理検証モデル CRAO(Compact Refractive AO)を製作し、(2)実験室試験、(3)京都産業大学神山天文台の 1.3m 望遠鏡を用いたオンスカイ試験によって、本アイデアであるダブルパス屈折光学系を利用した小型 AO の実証を行う。

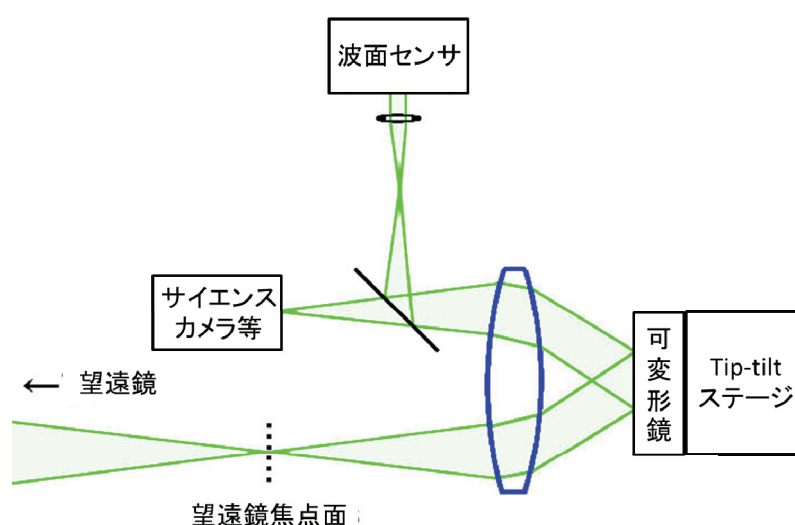


図 4 ダブルパス屈折光学系 AO の概念図

なお、中小望遠鏡においてドップラーシフト法による系外惑星観測を実現させることに焦点を合わせた小型 AO は、我々独自のアイデアであり、他に開発されている事例はない。また、本 AO の実現によって、中小望遠鏡の限界等級が向上される効果の恩恵を受けるのは、上述した太陽系外地球型惑星の探査にとどまらない。世界中に多数ある中小望遠鏡を第一線の科学的観測に活用できるようになるので、天文学の幅広い分野において、研究のバリエーションが広がるのが期待される。

2 開発結果

2.1 システム設計

表 1 は、CRAO の基本仕様である。AO システムの構成としては、シンプルな閉ループ式 AO システムを採用し、DM の設置位置が主鏡に対して共役な単一共役系とする。波面補正に関しては、シーイング 2".5 (神山天文台サイトの典型値) を 0".6 (ハワイ・マウナケア山頂の典型値) へ改善できる能力を目指す。波長帯は、安価な市販品のデバイスを有効

活用するため、可視光域（400-700nm）とする。神山天文台の 1.3m 望遠鏡と組み合わせた際の限界等級は、十分な観測天体数が得られる V=6 等級とする。設置面積は、すばる望遠鏡の補償光学装置 AO188（Minowa et al. 2010）の約 1/25 である 180mm×180mm とする。

表 1 CRAO の基本仕様

Wavelength coverage	400-700nm
Field of view	30"
Limiting magnitude	V=6mag
Compensation capability	RMS Wavefront error: 1350nm → 450nm (Seeing: 2".5 → 0".6)
Installation Area	180mm(L)×180mm(W)

表 2 理論計算条件

Atmosphere	Fried length r_0 : 4.4cm Outer scale l_0 : 30m
Deformable mirror	32 actuators
Wavefront sensor	Subapertures: 9×9 - 32×32 Readout noise: 15e-
Control bandwidth	100 - 350Hz
Control gain	0.5
System throughput	50%

次に、上記の基本仕様を満たすために必要な AO システムのパラメータを、AO シミュレータ MAOS（Wang et al. 2012）を使用した理論計算で調査した。表 2 は、理論計算で仮定した主要なパラメータであり、WFS のサブ開口数、および制御系処理速度（Control bandwidth）が本検討で決定すべきパラメータである。図 5（左）は、AO システムの処理速度に対する残存 RMS 波面誤差を示す。サブ開口数が 9x9~15x15 の範囲では、150Hz 以上に処理速度を設定すれば、残存 RMS 波面誤差が仕様の 450nm 未満を達成すると見込まれる。図 5（右）は、処理速度が 200Hz の場合の、サブ開口数に対する V バンド限界等級である。サブ開口数が 15x15 以下であれば、限界等級は仕様の V=6 等を達成する見込みである。以上の結果をもとに、制御系処理速度を 200Hz、サブ開口数を 12x12 に決定した。図 6 は、決定したパラメータで AO を構築した際の、AO ループ中の残存 RMS 波面誤差の変化である。200Hz 動作の 10 ステップ後に定常状態となり、平均で 283nm の RMS 波面誤差を達成すると見込まれる。

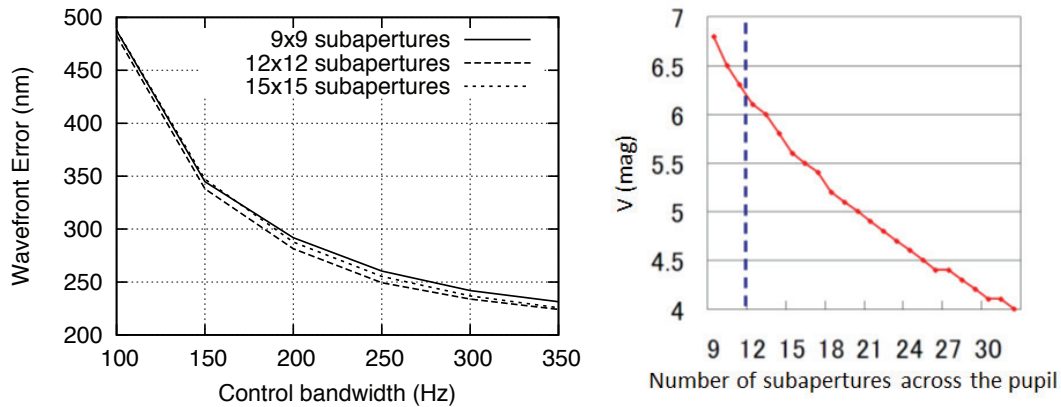


図 5 左：処理速度 vs. 残存 RMS 波面誤差。右：処理速度が 200Hz の場合の、
V バンド限界等級 vs. サブ開口数

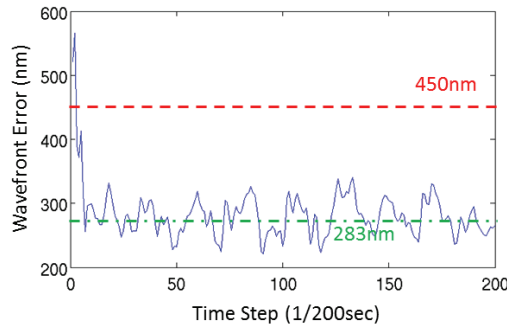


図 6 AO ループ中の残存 RMS 波面誤差の変化

表 3 は、上述の理論検討結果をもとに決定した CRAO の詳細仕様である。光学系には、コリメータとカメラの一台二役を担う、焦点距離 100mm のダブルパスレンズを使用する。DM としては、48 素子メムレン式 DM である ADAPTICA 社の Saturn を採用した。Saturn は鏡面の押し引き (push-pull) 操作が可能であり、バイアス電圧を印加した初期形状を平坦な形状にすることができる特長がある。ただし、Saturn のストロークだけでは、大気揺らぎの Tip-Tilt (TT) 成分、および望遠鏡の追尾誤差を補償するには不十分と見込まれるので、2 軸 piezo 式 TT ステージである Piezosystem Jena 社の PSH4-SG を追加で導入した。Saturn は TT ステージ上に搭載され、ダブルパスレンズが形成する瞳像上に鏡面があるように配置される。WFS に関しては、200Hz の制御処理速度を達成するために、200fps 以上のフレームレートが必要である。このフレームレートを有する市販品の WFS は存在するが、フレーム間において十分な露光時間 (200fps の場合 4ms 以上) が得られるものを確認できなかった。そこで我々は、Allied Vision Technologies 社の高速 CCD カメラ GE680、および Thorlabs 社のマイクロレンズアレイ MLA150-5C を用いて、独自のシャック-ハルトマン式 WFS を構築した。制御コンピュータは、WFS に使用する CCD カメラと DM の

制御プログラムが Microsoft Windows 用に提供されているため、オペレーティングシステムに Windows 7 を使用したパーソナルコンピュータを採用した。CRAO の焦点面には、PSF の評価用に、60fps で撮影可能な高速 CMOS カメラを配置する。

表 3 CRAO の詳細仕様

Location of the system	f/10 Nasmyth focus
Collimator & Camera	f=100mm double-pass lens
Deformable mirror	Membrane mirror with 48 electrodes: ADAPTICA Saturn
Tip-Tilt stage	XY piezoelectric actuators: PIEZOSYSTEM JENA PSH4-SG
Wavefront sensor	Shack-Hartmann sensor with 12×12 subapertures Microlens array: THORLABS MLA150-5C CCD sensor: ALLIED VISION TECHNOLOGIES GE680
Control computer	CPU: Intel Core i5 (2.8GHz, 4 cores) RAM: 4GB OS: Windows 7 (32bit)
Control bandwidth	200Hz
Science instrument	CMOS camera: POINT GREY FL3-U3-32S2M-CS

2.2 光学系

図 7 は、CRAO の光学レイアウトである。光学系中央にある焦点距離 100mm のダブルパスレンズは、リトロー型分光器や半導体露光装置で使用されているものを参考に、我々が設計したものである。ダブルパスレンズは、F ナンバー f/10 の荒木望遠鏡からの収束光をコリメートし、DM の位置において $\phi 10\text{mm}$ の瞳像を形成させたのち、DM からの反射光を f/10 の収束光に変換する役目を担う。図 8 は、光学ソフトウェアで計算した、ダブルパスレンズの RMS 波面誤差の波長・温度依存性である。色収差と温度収差はともに良好に補正されており、想定している波長・温度範囲内において残存 RMS 波面誤差は 30nm 未満である。光路は焦点面の手前に配置したハーフミラーによって 2 分割され、WFS と CMOS カメラ用に 2 つの焦点面が形成される。WFS 側の焦点では、その後段に市販品の焦点距離 18mm のアクロマティックレンズを配置し、DM における瞳像と共役な $\phi 1.8\text{mm}$ の瞳像(マイクロレンズアレイでサブ開口 12 個に相当)を形成する。

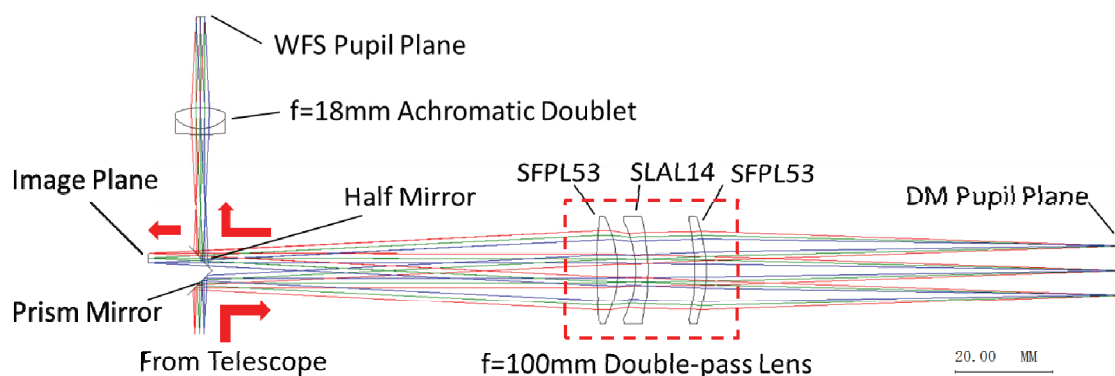


図 7 光学系レイアウト

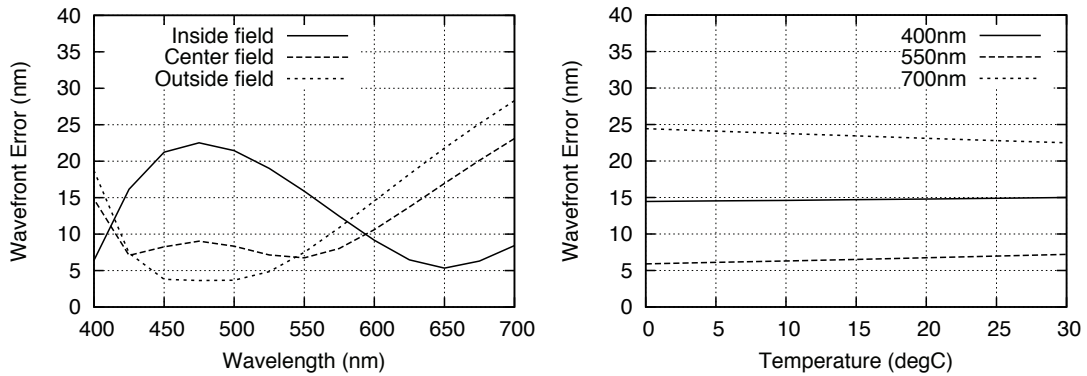


図 8 光学系の波面誤差. 左：波長依存性. 右：温度依存性.

2.3 機構系

図 9 に、CRAO の機構系を示す。光学素子と光学デバイスだけに限れば、その設置面積は表 1 に示した仕様(180mm×180mm)を満たすが、実験中の取り扱いを容易にするための機構（取っ手など）を設けるために、設置面積 480mm×370mm の筐体を開設計した。光学ソフトウェアを用いた公差解析によると各光学要素の偏心公差は緩いため、調整機構はサイエンスカメラの焦点合わせのみとした。ダブルパスレンズの物体面には、XYZ ステージにて位置調整が可能なφ15 ミクロンのピンホールを配置している。実験室において、f/10 で収束するレーザー光をピンホールへ入射させながら、WFS にて設計通りの像が得られるようにピンホールの位置を調整しておく。これにより、荒木望遠鏡と接続したオンスカイ試験を実施する際は、望遠鏡の焦点位置がピンホールに一致するように筐体の位置を調整すればよく、CRAO 内部の光学調整は不要である。なお、筐体の位置を調整後、ピンホールは視野絞りに置き換えることができる。望遠鏡からの光が通過する筐体の穴には光学フィルタの装填が可能で、大きな色収差の発生が見込まれる波長 400nm よりも短波長の光をカットするローパスフィルタを挿入する予定である。

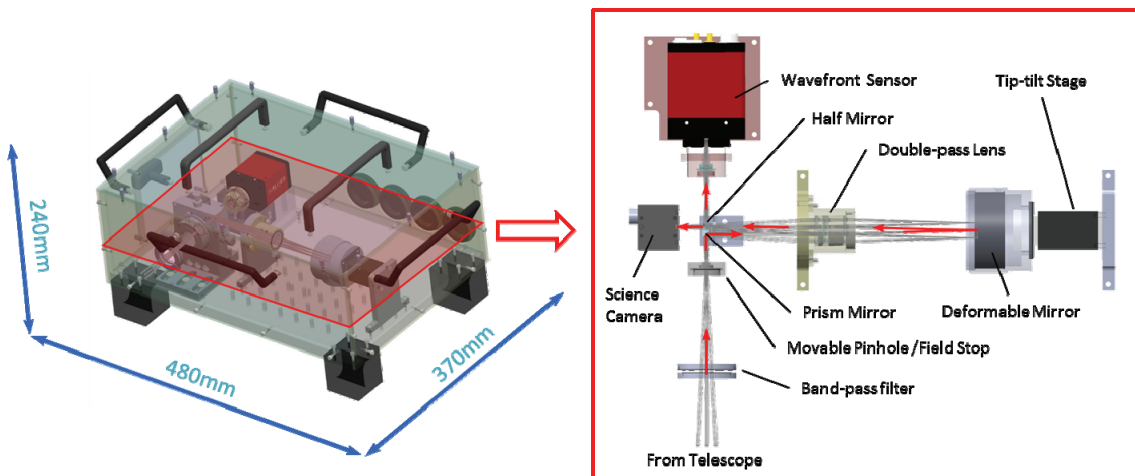


図 9 機構系レイアウト

2.4 制御系

2.4.1 波面センサ

CRAO で使用しているシャックハルトマン式 WFS は、上述したように市販のレンズ、CCD カメラ、マイクロレンズアレイを使用して制作した。これら各要素間のアライメントおよび間隔調整は、Zygo 社のレーザー干渉計を使用して行った。図 10 は、荒木望遠鏡に WFS を直接接続して取得した、ふたご座ポルックスを観測して得られたスポット像である。十分な光子数を得るために、サブ開口の大きさをフリード長よりも大きく設定しているので、各スポットの PSF は収差のために乱れているが、TT 成分、コマ収差、非点収差などの低次の波面収差の波面再生には大きな影響がないと考えられる。WFS で得られたデータからの波面再生は、フリンジゼルニケ多項式を基底関数としたモーダル法によって行う。

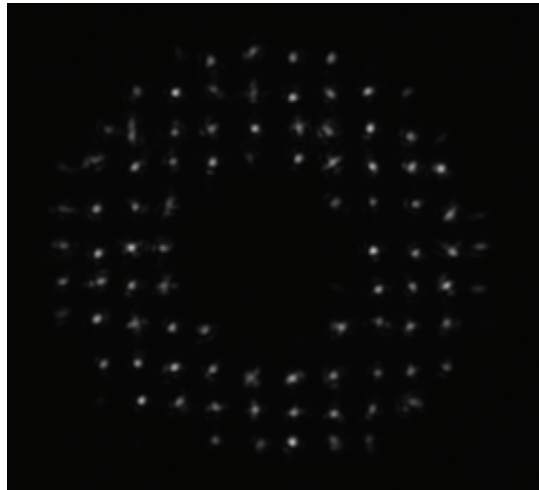


図 10 波面センサの画像例（ふたご座ポルックス）

2.4.2 Tip-tilt ステージと可変形鏡

図 11 は、CRAO で使用した TT ステージと DM の写真である。TT ステージは、XY の 2 軸ともに $\pm 1.6\text{mrad}$ のストロークをもつ piezo 駆動式のものである。図 12 は、ニコン社のオートコリメータを使用して測定した、TT ステージの制御電圧に対するチルト量である。本測定では、応力ゲージの信号を用いた TT ステージに内蔵されている閉ループ制御を使用したところ、良好な線形性を確認できた。なお、TT ステージのチルト量は、WFS の全サブ開口から求めた波面の傾きの平均値から決定する。

TT 成分よりも高次の波面誤差の補償は DM で行い、Alda 1993 で提案された実験的な手法によって影響行列を構築した。まず、48 個の電極に対してそれぞれ独立に 7 通りの電圧を印加し、鏡面の変形を Zygo 社の干渉計で測定した。次に、得られた干渉縞をフリンジゼルニケ多項式でフィッティングし、ベストフィットしたフリンジゼルニケ多項式の係数を

求めた。図 13 に、測定された干渉縞、ベストフィットしたゼルニケ多項式、および制御電圧の自乗に対してプロットしたフリンジゼルニケ多項式の係数の一例を示す。フリンジゼルニケ多項式の係数は、制御電圧の自乗に対し良好な線形性をもつことを確認した。本測定によって得られた線形関係をもとに、制御電圧からフリンジゼルニケ多項式の係数を計算する DM の影響行列を作成した。

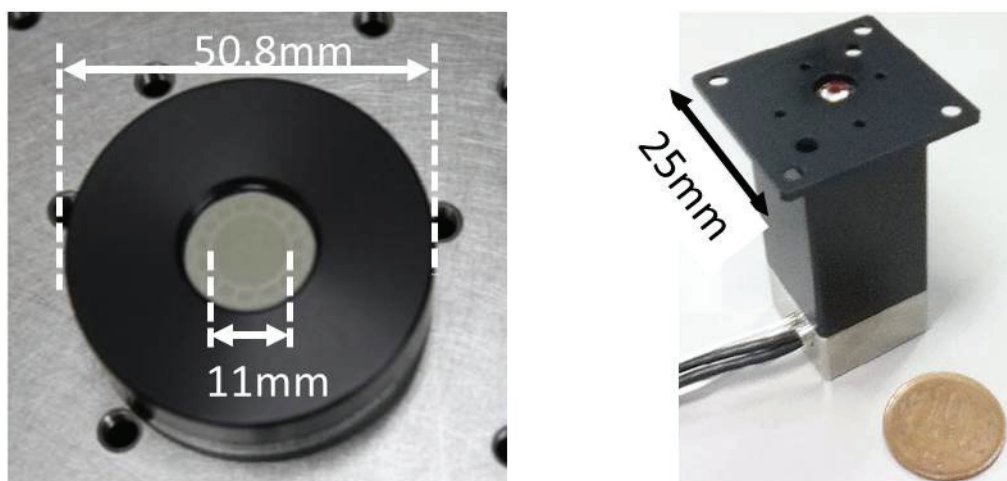


図 11 DM (左) と TT ステージ (右)

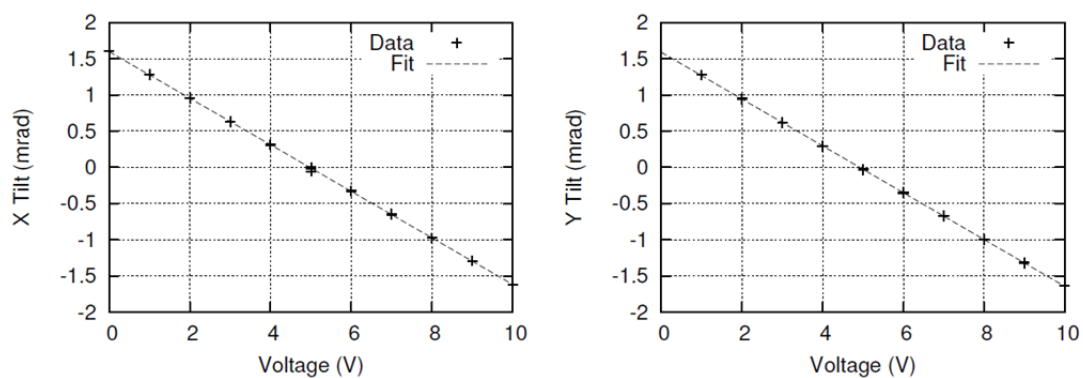


図 12 Tip-Tilt ステージの制御電圧に対するチルト量

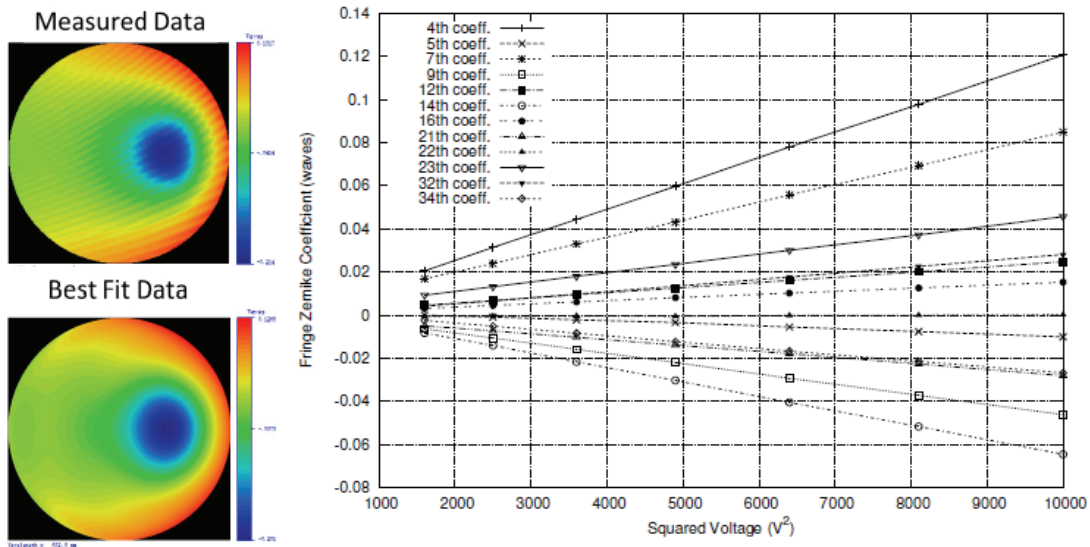


図 13 DM の 1 つの電極に電圧を掛けた際の変形例。左上: 干渉計で測定した DM の変形。左下: ベストフィットしたフリンジゼルニケ多項式。右: ゼルニケ係数 vs. 電圧の自乗

2.4.3 ループ制御

DM に印加する制御電圧は、WFS の波面の測定データをもとに次式で計算できる。

$$\Delta V = (\mathbf{A} \cdot \mathbf{B})^+ \cdot \mathbf{g},$$

ここに、 \mathbf{g} は WFS で測定した各サブ開口における波面の傾斜をあらわすベクトル、 ΔV は DM の各電極に印加する制御電圧の自乗の変化量をあらわすベクトル、 \mathbf{A} はフリンジゼルニケ多項式の係数から波面の傾斜を計算する行列、 \mathbf{B} は制御電圧の自乗からフリンジゼルニケ多項式を計算する行列である。+ は擬似逆行列であることを示す。AO ループ中の $n+1$ 回目のステップにおいて DM の各電極に印加する制御電圧の自乗をあらわすベクトル V_{n+1} は、 n 回目のステップのベクトル V_n と上で求めた ΔV をもとに、次式で決定する。

$$V_{n+1} = V_n + \alpha \cdot \Delta V,$$

ここに、 α はゲインで 0~1 の範囲の値をとり、実験によって最適な値を決定する。

図 14 は、DM に変形を与えたのちに上述の式を用いた AO ループによって補正を試みた、DM 収束実験の結果の一例である。現段階では主要な収差を補正することは可能だが、大きな残収差が確認されている。これは、壊れている電極の影響、あるいは擬似逆行列を求める際における特異値分解の閾値の設定が不十分であることが原因と考えられ、改善が必要である。

なお、TT ステージについては、大気揺らぎによるものと等価な波面誤差を擬似的に発生させる位相版を用いた室内実験によって、適切に制御できることを確認している。

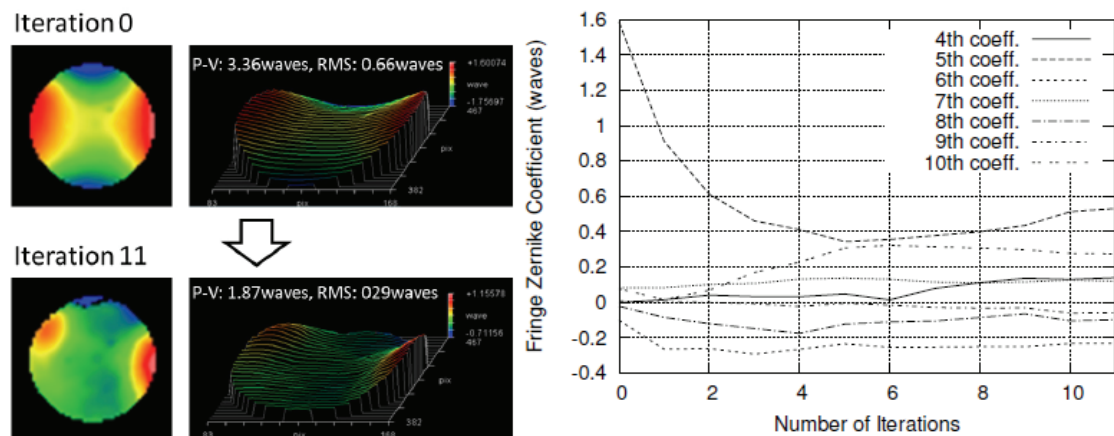


図 14 DM 収束実験の結果の一例

2.5 ファーストライト観測

2014年5月24日に、図15(左)に示すようにCRAOを荒木望遠鏡のナスミス焦点の1つに設置し、ファーストライト観測を実施した。本観測においては、前節で述べたようにDMの制御については改善が必要であるため、DMをできるかぎり平坦な形状に固定した状態でTTステージのみを用いた補正のみ行った。図15(右)はうしかい座のアークトゥルスを観測した例であるが、TT補正によってシーイングを $2''.6$ から $2''.0$ に改善させることができた。本観測は、CRAOに光学フィルタを挿入しない(CCDの感度のみで波長域が決まる)条件で行ったものである。それにもかかわらず良好なTT補正ができたことから、本観測の結果は、CRAOのダブルパスレンズで発生する色収差は少なくともTT補正に影響していないことを示唆している。またゴースト像については、サイエンスカメラとWFSのいずれにおいても確認されなかった。

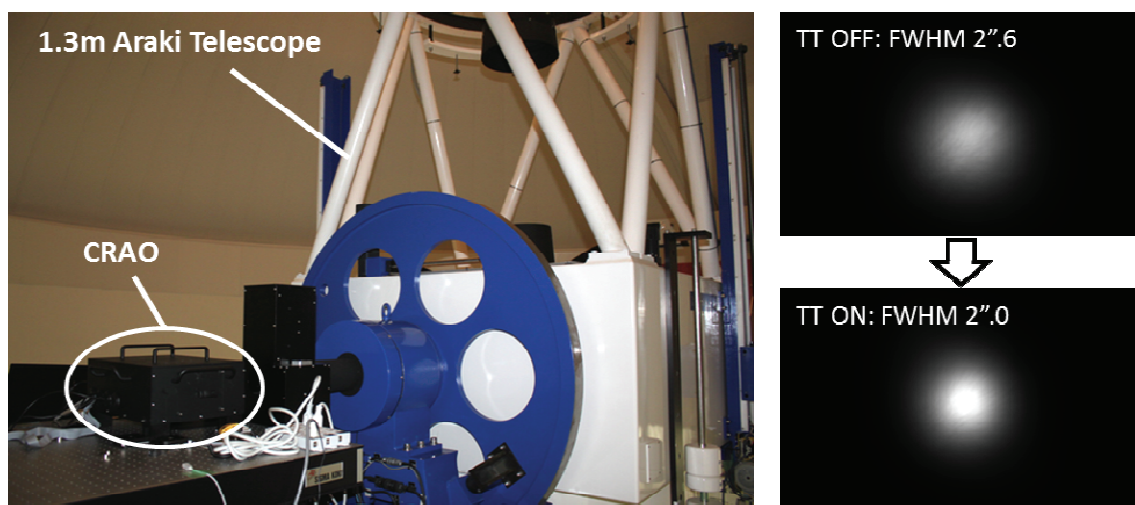


図 15 ファーストライト観測。左：実験セットアップ。右：観測結果の例（うしかい座アークトゥルス）

3 まとめと今後の予定

我々は、ダブルパスレンズを用いた小型かつ安価な AO の実証機である CRAO を設計・製作し、室内実験と荒木望遠鏡を用いたオンスカイ試験を実施した。TT 補正のみを実施したオンスカイ試験においては、得られた星像のシーイングによるボケを 2".6 から 2".0 に改善させることに成功した。また本試験においては、屈折光学系に特有の問題である色収差とゴースト像の影響はみられなかった。今後、残存波面誤差を低減させるための DM の制御を改良したのち、TT ステージと DM を両方用いたオンスカイ試験を 2014 年夏に実施し、CRAO の開発を完了させることを目標としている。

参考文献

Minowa, Y., et al., "Performance of Subaru adaptive optics system AO188", Proc. SPIE 7736, 77363N1-7 (2010)

Wang, L., Ellerbroek, B., "Computer simulations and real-time control of ELT AO systems using graphical processing units", Proc. SPIE 8447, 844723 (2012)

Chinellato, S., et al., "Push-pull deformable mirror: characterization and closed loop operations", Proc. SPIE 8253, 825305 (2012)

Lane, R.G., Tallon, M., "Wave-front reconstruction using a shack-hartmann sensor", Appl. Opt. 31, 6902-6908 (1992)

Alda, J., Boreman, G.D., "Zernike-based matrix model of deformable mirrors: optimization of aperture size", Appl. Opt. 32, 2431-2438 (1993)

タイトル： インフレーション理論モデルにおける場の不安定性

担当： 中道晶香（京都産業大学神山天文台・研究員）

関連出版：

A. Nakamichi & M. Morikawa, “Fate of inflation and the natural reduction of vacuum energy”, to appear in proceedings of *International Conference on New Frontiers in Physics*, European Physical Journal Web of Conferences, vol. 71 (2014).

関連学会発表等：

A. Nakamichi, M. Morikawa, “Fate of inflation and the natural reduction of vacuum energy”, “International Conference on New Frontiers in Physics 2013, Crete, Greece”
2013年9月

中道 晶香（京産大・神山天文台）、森川 雅博（お茶大・理）、「スカラー場の崩壊とインフレーション」日本天文学会 2013年秋季年会@東北大学 2013年9月

中道 晶香（京産大・神山天文台）、森川 雅博（お茶大・理）、「負のポテンシャルと宇宙項微調整問題」日本物理学会 2012年秋季大会@京都産業大学 2012年9月

インフレーション理論モデルにおける場の不安定性

中道 晶香（京都産業大学神山天文台・研究員）

1. 研究の動機

地平線問題などの解決策として、指数関数的膨張が宇宙初期に起きたことを想定するインフレーションモデルが有力だと考えられている。インフレーション膨張を表す理論モデルとして、現在では多様なバージョンのモデルが提案されているが、下記の問題点が未解決のまま残されている：

- (1) どのようにしてインフレーション膨張が始まるのか。
- (2) どのようにしてインフレーション膨張を終えるのか。
- (3) 宇宙項の値をインフレーション理論モデルから計算すると、観測値より 120 桁も大き過ぎる。

そこで、(T. Fukuyama, et. al. 2008) によって提案されたモデルを初期宇宙へ適用すると、ボソン・ガスがボーズ・アインシュタイン凝縮してインフラトン場を生成すると考えられるため、インフレーション膨張が自然に開始され、上記問題点 (1) が解決する。また、このモデルのポテンシャルに負の領域が存在すれば (G. Felder, et. al. 2002)、宇宙膨張は止まるがインフラトン場は運動し続ける時期が現れる。この時期は宇宙膨張が止まる (stagnant) ことから *stagflation* と名づけられ (T. Fukuyama, et. al. 2009)、上記問題点 (2) が解決している。インフレーションを終えた後は、*stagflation* 期の場の不安定性が原因となって、ボーズ・アインシュタイン凝縮したような場を局所的な構造へ崩壊させ、その局所的なものの一部が原始ブラックホールになるであろうと考えられる。

我々は、現在の宇宙の観測結果と結び付けるため、*stagflation* 期の場の不安定性を精査することにした。

2. インフレーション膨張の開始

インフレーション膨張が開始される宇宙のごく初期には、ボソン・ガスとその凝縮体が存在していると仮定する。ボソン・ガスのエネルギー密度を ρ_{gas} 、その凝縮体 ϕ のエネルギー密度を ρ_ϕ 、宇宙のスケール因子を $a(t)$ と書くと、運動方程式は以下ようになる。

$$\begin{aligned} H^2 &\equiv \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3c^2} (\rho_{gas} + \rho_\phi), \\ \dot{\rho}_{gas} &= -4H\rho_{gas} - \Gamma\rho_{gas} + \gamma\dot{\phi}^2, \\ \dot{\rho}_\phi &= -6H(\rho_\phi - V) + \Gamma\rho_{gas} - \gamma\dot{\phi}^2 \end{aligned}$$

ポテンシャル項 V の表記と、凝縮体のエネルギー密度は V を用いると、下記のように書ける。

$$\begin{aligned} V &= \frac{m^2}{2}\phi^2 + \frac{\lambda}{4}\phi^4 + V_0, \\ \rho_\phi &= \frac{\dot{\phi}^2}{2} + V, \end{aligned}$$

ここでポテンシャル項の係数 λ をマイナス符号にとり、 $V_0 \gg m^2 > 0$ とする。すると、ポテンシ

ルは負になる領域を持つことになり、**stagflation** を起こす。

パラメータ Γ はボソン・ガスが凝縮する速度、 γ は凝縮後の粒子生成率を表す。

宇宙初期の或る時期に十分多くのボソン・ガスが存在していたと仮定すると、やがて凝縮し、局所的なスカラー場を生成することが運動方程式から自然に導かれ、この現象がインフレーション膨張の開始を表している。Slow-rolling 条件を満たす解は、近似的に

$$\phi_{\text{inf}}(t) \propto \left(\frac{3H}{2\kappa}\right)^{1/2} (t_0 - t)^{-1/2},$$

と表され、宇宙のインフレーション膨張の初期の様子を記述する。

3. インフレーション膨張の終了 --- stagflation ---

インフレーション膨張は長くは続かず、凝縮場 ϕ はポテンシャルが負になる領域へ入ってくる。すると、各変数は stagflation 期に特徴的な値を示すようになる。

$$\rho_\phi = 0, \quad \dot{\rho}_\phi = 0, \quad H = 0,$$

数値計算では、図 1 のように、この値に漸近していく様子が見られる。

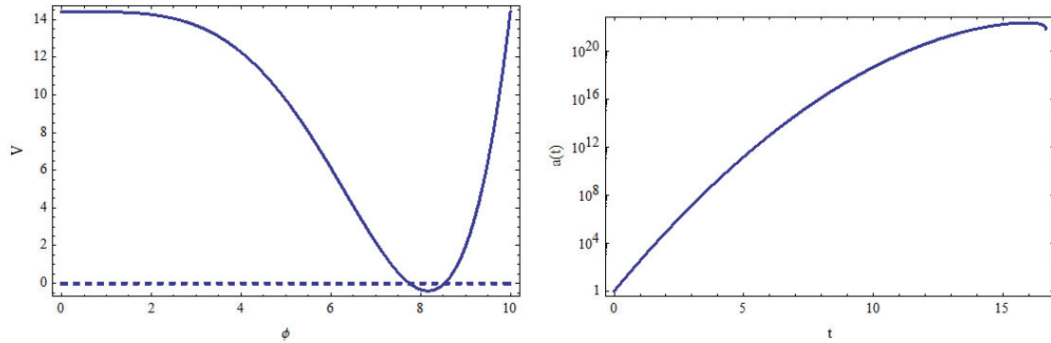


図 1 左：ポテンシャルの最小値はゼロではなく、僅かだが負になる領域が現れる。

右：インフレーション膨張がやがて終わると、スケール因子の増大が止まり、**stagflation** となる。

一方、stagflation 期には、局所的な凝縮場 ϕ の成長は止まる。しかし、 ϕ の運動項はゼロにならないことが stagflation の特徴である。なぜなら、運動方程式から

$$\dot{H} = -\frac{4\pi G}{c^2} \dot{\phi}^2$$

が成り立つから、 ϕ の時間微分は常に有限の値となる。

4. Stagflation の普遍性

負の領域を持つポテンシャルとして様々な可能性があるが、我々は下記のように 4 通りの理論モデルを

試した結果、全てのモデルにおいて **stagflation** が見られた。以下に4通りのモデルの計算結果を順に紹介する。

(1) Chaotic Inflation モデル

ポテンシャルの形は $V = \phi^2 - V_0$ である。(図2)

凝縮体 ϕ の時間発展を図3a、スケール因子の対数の時間発展を図3b、ボソン・ガスのエネルギー密度、凝縮体 ϕ のエネルギー密度、ハッブル・パラメーター、それぞれの時間発展を図3cに描いた。

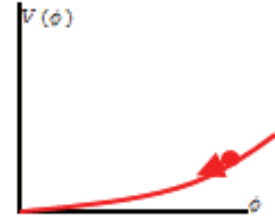


図2

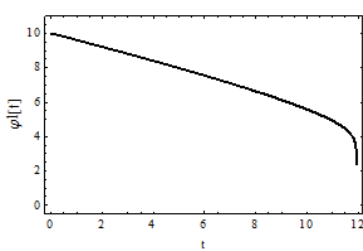


図3a 凝縮体 ϕ の時間発展

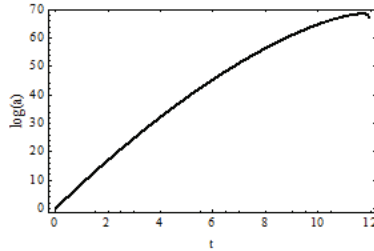


図3b スケール因子の時間発展

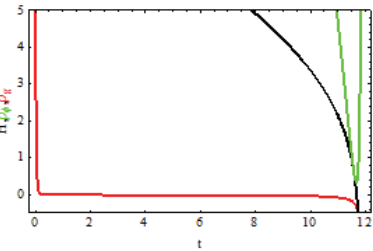


図3c ボソン・ガスのエネルギー密度、凝縮体 ϕ のエネルギー密度、ハッブル・パラメーター、それぞれの時間発展

図3cを見ると、ハッブル・パラメーターが0を切る、つまり宇宙膨張が止まるところで、ボソン・ガスのエネルギー密度が無くなり、凝縮体のエネルギー密度も最小となっている。確かに **stagflation** の特徴が現れていることがわかる。

(2) ϕ^4 ポテンシャルモデル

ポテンシャルの形は $V = \phi^4 + V_0$ である。

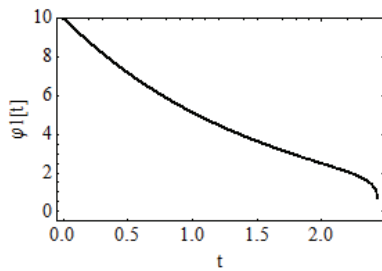


図4a

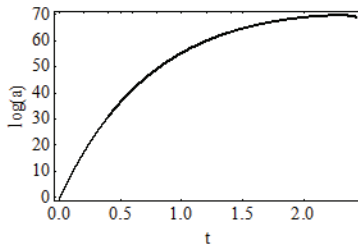


図4b

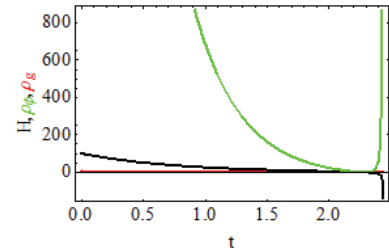


図4c

Chaotic ポテンシャルの場合と同様に、図 4 a,b,c を見ると、ポテンシャルが負の領域を持つと、宇宙膨張が止まるところで **stagflation** が起き、凝縮体 ϕ はゼロにはなっていないことがわかる。

(3) 線形ポテンシャル

ポテンシャルの形は $V = \phi + V_0$ である。

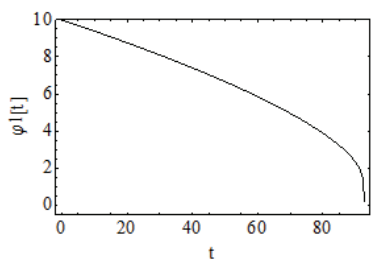


図 5 a

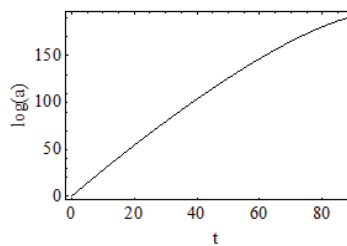


図 5 b

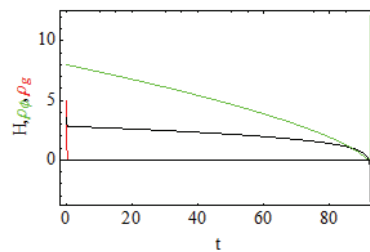


図 5 c

他のポテンシャルの場合と同様に、図 5 a,b,c を見ると、ポテンシャルが負の領域を持つと、宇宙膨張が止まるところでやはり **stagflation** が起き、凝縮体 ϕ はゼロにはなっていないことがわかる。

(4) New Inflation ポテンシャル

ポテンシャルの形は $V = \alpha \phi^6 - \beta \phi^4 + V_0$ である。 (図 6)

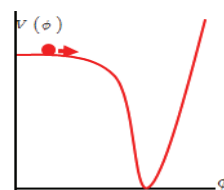


図 6

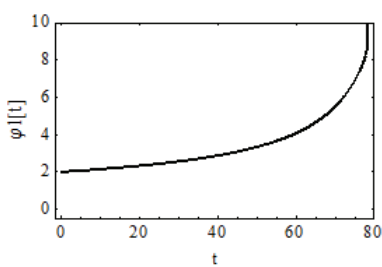


図 7 a

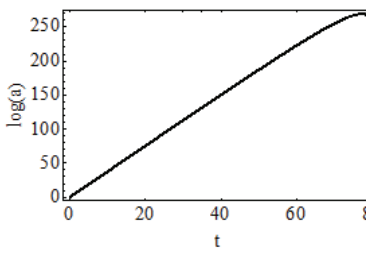


図 7 b

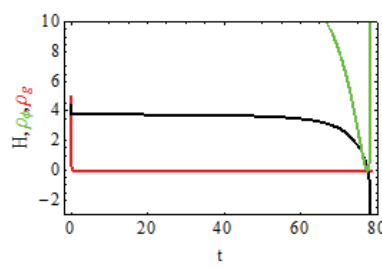


図 7 c

これまでのポテンシャルと同様に、図 7 a,b,c を見ると、ポテンシャルが負の領域を持つと、宇宙膨張が止まるところで今回も **stagflation** が起き、凝縮体 ϕ はゼロにならないうえ、成長し続けている。

以上より、**stagflation** は、負の領域を持つポテンシャルにおいて、かなり普遍的な現象だと言える。

5. 不安定性が生成する非一様性

空間的に一様な理論モデルでは Stagflation のとき、運動方程式を解くと凝縮体は、

$$\phi_{imp}(t) \propto \text{const.} - \frac{\sqrt{2}}{3\kappa} \log(t_* - t).$$

となって t_* にて発散し、宇宙が潰れる解が得られる。(Fukuyama, et. al. 2009)

$$a = \text{const.} (t_* - t)^{1/3}$$

この宇宙の不安定性は、空間的な一様性を仮定したために得られたものだと考えられる。そこで我々は、空間的な一様性の仮定をはずせば、宇宙が潰れずに済む可能性を検討するため、空間的に非一様な解を探すことにした。凝縮体 ϕ 、重力ポテンシャル Φ 、ボソン・ガス密度にそれぞれ空間依存性を持たせた場として次のように仮定する。

$$\begin{aligned}\phi(t, \vec{r}) &= \phi_0(t) + \phi_1 \exp(\Omega t + i\vec{k}\vec{r}), \\ \Phi(t, \vec{r}) &= \Phi_0(t) + \Phi_1 \exp(\Omega t + i\vec{k}\vec{r}), \\ \rho_{gas}(t, \vec{r}) &= \rho_{gas0}(t) + \rho_1 \exp(\Omega t + i\vec{k}\vec{r}),\end{aligned}$$

ここで計量は、重力ポテンシャルを用いて

$$ds^2 = (1 + 2\Phi) dt^2 - a^2 (1 - 2\Phi) d\mathbf{x}^2$$

これらの場の非一様性が成長できるのか、不安定性解析を実施して調べる。各場の最低次は一様とする。もし、崩壊を表す Ω パラメータが正の 1 次解が存在すれば、それが不安定な解を表している。

運動方程式を摂動展開すると、1 次までのオーダーで以下ようになる。ただし、場の右下の添字は摂動の次数を表す。

凝縮体 ϕ の運動方程式の実数部分は

$$\left\{ \Omega^2 + 3H\Omega + \frac{k^2}{a^2} + m^2 + 3\lambda |\phi_0|^2 \right\} \phi_{1st}^{\text{Re}} + 2\phi_0 (m^2 + \lambda |\phi_0|^2) \Phi_{1st} = 0$$

凝縮体 ϕ の運動方程式の虚数部分は

$$\left\{ \Omega^2 + 3H\Omega + \frac{k^2}{a^2} + m^2 + \lambda |\phi_0|^2 \right\} \phi_{1st}^{\text{Im}} = 0$$

アインシュタイン方程式と重力のポアソン方程式は

$$-4\pi G a^2 \left\{ 2\dot{\phi}_0 \Omega + 2m^2 \phi_0 + 2\lambda |\phi_0|^3 \right\} \phi_{1st}^{\text{Re}} + \left\{ \Omega^2 + \frac{k^2}{a^2} + 3H\Omega \right\} \Phi_{1st} = 0$$

ガス密度に対する運動方程式は

$$2\gamma \dot{\phi}_0 \Omega \phi_{1st}^{\text{Re}} + \{ \Omega + 4H \} \rho_{gas1st} = 0$$

となる。

これら4種類の方程式が **non-trivial** な解を持つ条件は、それぞれの方程式の場の係数部分から成る行列式が0となる条件である。

$$0 = (4H + \Omega) \left(\frac{k^2}{a^2} + 3H\Omega - \kappa\phi^2 + m^2 + \Omega^2 \right) \times \\ \left(16\pi a^2 G\phi (m^2 - \kappa\phi^2) (-\kappa\phi^3 + m^2\phi + \Omega\dot{\phi}) + \left(\frac{k^2}{a^2} + \Omega(3H + \Omega) \right) \left(\frac{k^2}{a^2} + 3H\Omega - 3\kappa\phi^2 + m^2 + \Omega^2 \right) \right)$$

この条件を、崩壊を表す Ω パラメータについて解き、不安定性の成長を表す $\Omega > 0$ の解の存在を調べたところ、確かに不安定解が存在することを明らかにした。(図8)

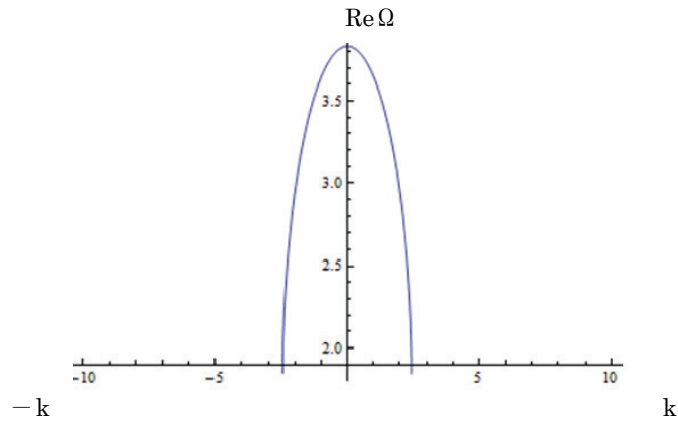


図8

崩壊速度が光速を超えないという条件から、不安定性のタイムスケール $1/\Omega$ と光速との積より小さな空間スケールのみ、実際に崩壊できる: $\Omega < k/a$. この条件を満たし実際に崩壊する空間スケールを

$$\Omega(k_*) = k_*/a.$$

とおいて解くと、最も単純な場の相互作用による不安定性は、

$$k_* = \frac{\sqrt{m_e^2 - 2m^2}}{\sqrt{6}} \approx \sqrt{\frac{\kappa}{2}} \phi,$$

で表される。ここで $m_e^2 \equiv -m^2 + 3\kappa\phi^2$ は有効質量のマイナスである。

一方、通常重力不安定性は、Jeans長の逆数のスケールで生成される。

より一般的には、これら2種類の不安定性のトリガーの複雑な混合として $k_* = 4\sqrt{2}\pi Gm\phi^2$.

$$k_* = \frac{1}{2} \sqrt{\sqrt{-\frac{64\pi Gm^4 (m_e^2 + m^2)}{3\kappa} - 2m^2 (m_e^2 + m^2) - 64\pi Gk^2\phi^6 + 128\pi Gkm^2\phi^4 + 9k^2\phi^4 + m^4 + m_e^2}}}$$

となる。

単純な場の相互作用による不安定性と通常重力不安定性の場合は、スカラー場 ϕ が発展すると、崩壊の空間スケールはホライズン・スケールの十分内側に収まるという結果を得るが、より一般的な場合には、

さらに詳細な解析が必要である。

また、**stagflation** の際にスカラー場 ϕ が発展し続けるため、背景場 $\phi_0(t), \Phi_0(t), \rho_{gas0}(t)$ は静的でない。そこで、**stagflation** 近傍で背景場を解いた結果

$$\phi_0(t) = \frac{1}{-c_1 - \sqrt{\kappa t}}$$

を不安定性解析に用いるべきだが、解析的な結果を得ることが難しいため、数値シミュレーションを実行した。一般的なパラメーターの領域において不安定性が生じていることを下記のグラフに示す。(図9)

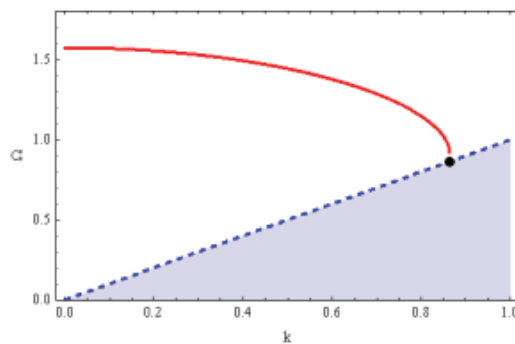


図9：不安定性の強さを表すパラメータ Ω を k の関数として数値的に解いた結果が曲線。背景場は **stagflation** 点近傍で近似的に解いた。点線より下部は、崩壊が光速を超えるため許されない領域。

我々は線形近似の範囲で不安定性解析を行ったが、非線形な不安定性を導入することが今後の課題である。

6. まとめと議論

インフレーション膨張が自然に始まり、自然に終わる理論モデルを提案し、ボソン場の相互作用を仮定すれば、インフラトン場が発展し続けても宇宙膨張が止まる **stagflation phase** が普遍的に起こることを示した。

Stagflation 期における一様なスカラー場の不安定性を解析した。この不安定性が、場が崩壊して局所的な構造を作るためのトリガーとなり、このうち或る割合でボソン場がブラックホールを形成する可能性がある。空間的に一様な宇宙を仮定すると、宇宙は一点へ潰れる運命から逃れられないが、このような非一様性が宇宙を崩壊から救うという結果を得た。

インフラトン場の急激な発展による局所的な粒子生成は、宇宙を再加熱する。しかし、真空のエネルギーの詳細な時間発展は線形解析の範囲を超えるため、我々は非一様な計算を近い将来実行することを計画している。

参考文献

T. Fukuyama, T. Tatekawa and M. Morikawa, JCAP06 033 (2008).

T. Fukuyama & M. Morikawa, Phys. Rev. D80, 063520 (2009).

A. Nakamichi & M. Morikawa, “Fate of inflation and the natural reduction of vacuum energy”, to appear in proceedings of *International Conference on New Frontiers in Physics*, European Physical Journal Web of Conferences, vol. 71 (2014).

G. Felder, A. Frolov, L. Kofman, A. Linde, Phys. Rev. D66, 023507 (2002).

タイトル: The metallicities of Arcturus and μ Leonis from z-, Y-, and J-bands spectra with the high resolution spectrograph, WINERED

担当: 近藤荘平 (京都産業大学神山天文台・専門員)、池田優二 (京都産業大学神山天文台・客員研究員/フォトコーディング)、川西崇史 (京都産業大学大学院理学研究科・博士前期課程・2013年度修了)、中岡哲弥 (京都産業大学大学院理学研究科・博士前期課程1年)、大坪翔悟 (京都産業大学理学部物理科学科・2013年度卒業)、木下将臣 (京都産業大学理学部物理科学科・2013年度卒業)、中西賢之 (京都産業大学理学部物理科学科・2010年度卒業)、河北秀世 (京都産業大学神山天文台・天文台長)

関連学会発表等:

近藤荘平他 ” WINERED: 神山天文台 1.3m 望遠鏡での初期観測成果”, ”日本天文学会 2013 年秋季年会” 2013 年 9 月

The metallicities of Arcturus and μ Leonis from z-, Y-, and J-bands spectra with the high resolution spectrograph, WINERED

SOHEI KONDO, YUJI IKEDA, KEI FUKUE, NORIYUKI MATSUNAGA, NAOTO KOBAYASHI, TAKUJI TSUJIMOTO, CHIKAKO YASUI, SATOSHI HAMANO, RYO YAMAMOTO, NATSUKO IZUMI, HIROYUKI MITO, KENSHI NAKANISHI, TAKAFUMI KAWANISHI, TETSUYA NAKAOKA, SHOGO OTSUBO, MASAOMI KINOSHITA, and HIDEYO KAWAKITA

アブストラクト

我々は、荒木 1.3m 望遠鏡に搭載している新しく開発された近赤外線高分散分光器「WINERED」で、詳しく研究されている K 型巨星 Arcturus と μ Leo の分解能 $R=28,300$ のスペクトルを得た。WINERED は近赤外の短波長域である z-, Y-, J-bands ($0.91-1.35 \mu\text{m}$) の広いスペクトルを同時に取得でき、星の組成の研究に有利である。我々はそのスペクトルから 120 本のブレンドしていない FeI のラインを同定した。Smith et al. (2013) が決定した有効温度と表面重力の値を仮定し、個々のラインそれぞれから Fe の組成を合成スペクトルフィットで導出した。組成を精度良く見積もるためには、モデル大気のパラメータの 1 つである微小乱流速度を精度良く定める必要があるのだが、個々のライン強度 X (Gratton et al. 2006) に対して、推定した Fe の組成に傾向が出ないように微小乱流速度を定めた。その結果、Arcturus で $\log \epsilon(\text{Fe})=6.96 \pm 0.02 \pm 0.07^{\text{sys}}$ 、 μ Leo で $7.69 \pm 0.02 \pm 0.09^{\text{sys}}$ と定まった。これは過去の他の波長から求めた値と矛盾しない結果であり、近赤外の短波長域の高分散分光でも可視光と同程度の高い精度で組成が導出できると言え、このことから、今後、可視光で暗い晩期型/冷たい星の化学組成の研究を近赤外の短波長域で進めることに大きな利点があると言える。

1. イントロダクション

赤外線波長での高分散分光は、晩期型星やダストによる星間赤化を受けた星の化学組成解析研究に強力なツールである。例えば、赤外線高分散分光によって、星間赤化が大きき銀河系の内縁部の星 (Davie et al. 2009a, b) やバルジの星 (Ryde et al. 2009, 2010) の組成の推定が行われている。測定する元素によっては赤外線観測が必要で、F の組成は K-band に存在する HF 分子のみから測定されている (e. g., Jorissen et al. 1992)。また、C や S は赤外波長に強いラインが存在するため、低金属量の星 ($[\text{Fe}/\text{H}] < -3$) の組成測定に非常に有利である (e. g., Takeda & Hidai 2011, 2012, 2013)。

星の組成を精密に測定するには、恒星大気のパラメータの 1 つである微小乱流速度 ξ (km/s) を正確に決定する必要があり、しかもこのパラメータは分光データからしか決定できない。赤外

線でのみ明るく、可視光で観測できない天体は、当然赤外線の高分散スペクトルに基づいて微小乱流速度を決定しなければならない。しかし、赤外線波長での組成推定の際には、可視光で確立されている個々のラインの等価幅や強度に基づいた微小乱流速度の解析方法をそのまま応じた例は少ない。その中で、Smith et al. (2013)は、可視光で用いられている方法の1つをH-bandの高分散分光スペクトルに適用した。まず、ある微小乱流速度を仮定し、個々FeIのラインからFeの組成を推定した。次に、個々のラインのFe組成のばらつきが最小になるような微小乱流速度を決定し、それと同時にFe組成を求めた。しかしながら、使ったFeIのラインの数が8-9本と通常の可視光で使われている本数(30-100本)に比べると少なく、精度が上がらない可能性が存在する。

赤外線の高分散分光データのみから精度良く組成を決定する方法を確立するために、我々は近赤外でz-, Y-, J-bandsで明るくかつ良く研究されているsub-solar metallicityのK型巨星のArcturusとmetal richなK型巨星の μ Leonis (以下 μ Leo)を観測した。スペクトルはWINEREDで装置試験観測期間に観測した。WINEREDは分解能 $R=28,300$ で $0.91-1.35\ \mu\text{m}$ を一回の露出で観測でき、これは他の近赤外での高分散分光器に対する利点であり、その御蔭で多くのラインを一度に取得できる。

本論文では、2章に観測とデータ解析方法を記述する。3章に得られたスペクトルからFe組成の導出方法を記述する。4章に我々が導出した値について検証を行う。最後の5章で本論文をまとめる。

2. 観測とデータ解析

我々は、Arcturus(α Boo; HD 124897)と μ Leo (HD 85503)を神山天文台の荒木1.3m望遠鏡に設置されているWINEREDで観測した。WINEREDは、クロスディスパーザーを備えたエシエル分光器で、反射型エシエルグレーティングをメイン分光素子とし、クロスディスパーザーとしてVPHを用いている。WINEREDは $1.7\ \mu\text{m}$ cut-offの 2048×2048 素子を持ったHAWAII-2RG検出器を搭載し、そのpixel scaleは $0.8\ \text{arcsec/pixel}$ である。ノーマルエシエルモードでは、z-, Y-, J-bandsを一回の露出で取得できる。 $1.6\ \text{arcsec}$ スリットで波長分解能 $R=28,300$ を達成する。Arcturus、 μ Leoそれぞれの積分時間は20 sec、240 secであり、S/Nは200を超えている。バックグラウンド、ダーク、バイアスを引くために、それぞれの天体でsky frameを取得した。合わせて、大気標準星としてA1VのHIP76267を観測した。

データ解析はpyrafベースのWINEREDパイプラインで行われた。解析方法を以下に簡単に説明する。生データからsky frameを引くことで、バックグラウンド、ダークとバイアス除去を行い、その後、散乱光除去を行なう。フラットとして、ハロゲンランプの照射スペクトルを取得し、天体画像と同じくオフ画像の引き算、散乱光除去を行う。それら処理後の天体フレームをフラットフレーム画像を割ることで、フラットフィールドイングを行なう。WINEREDではechellrogram上で、スリットの空間方向は検出器のピクセル方向と平行でない。そのため、次のような方法を用いた。初めに、apallを用い20本のオーダーのトレースと同時にstripオプションを使い、

オーダー毎の2次元での画像での切り出しをおこなう。次に、取得していたTh-Ar lamp スペクトルについて同様な切り出し後、ecidentify、ecreidentify と独自プログラムを組み合わせることで、20 の全てのオーダーで波長較正を行い、それと同時に空間方向のピクセルが2次元画像上で波長方向と垂直になるようにtransformを行った。Th-Ar のライン波長はKerber et al. (2007)を用いた。そのtransformと較正結果を天体スペクトルに適用することで、空間方向と波長方向が垂直となった2次元スペクトルを得た。そして、スリット方向に足し合わせることで一次元スペクトルを取得した。得られた一次元スペクトルは、コンティニュームレベルを15次のspline3関数でフィットすることで規格化した。

同様な処理で大気吸収標準星の1次元スペクトルを得、標準星固有のPa β , γ , δ などの中性水素と金属ラインの除去を行った。その後、telluricコマンドを用い、sub-pixelのシフトを加え、天体スペクトルを標準星スペクトルで割り算をすることで、天体スペクトルから大気吸収線の除去をオーダー毎に行った。さらに、各オーダー毎で適切なパラメータでコンティニュームフィットを再度行なった。最後に、z-, Y-, J-bandsのスペクトルで隣り合うオーダーで足し合わせることで1次元スペクトルを得た。最終的に得られたスペクトルは図1に掲載している。

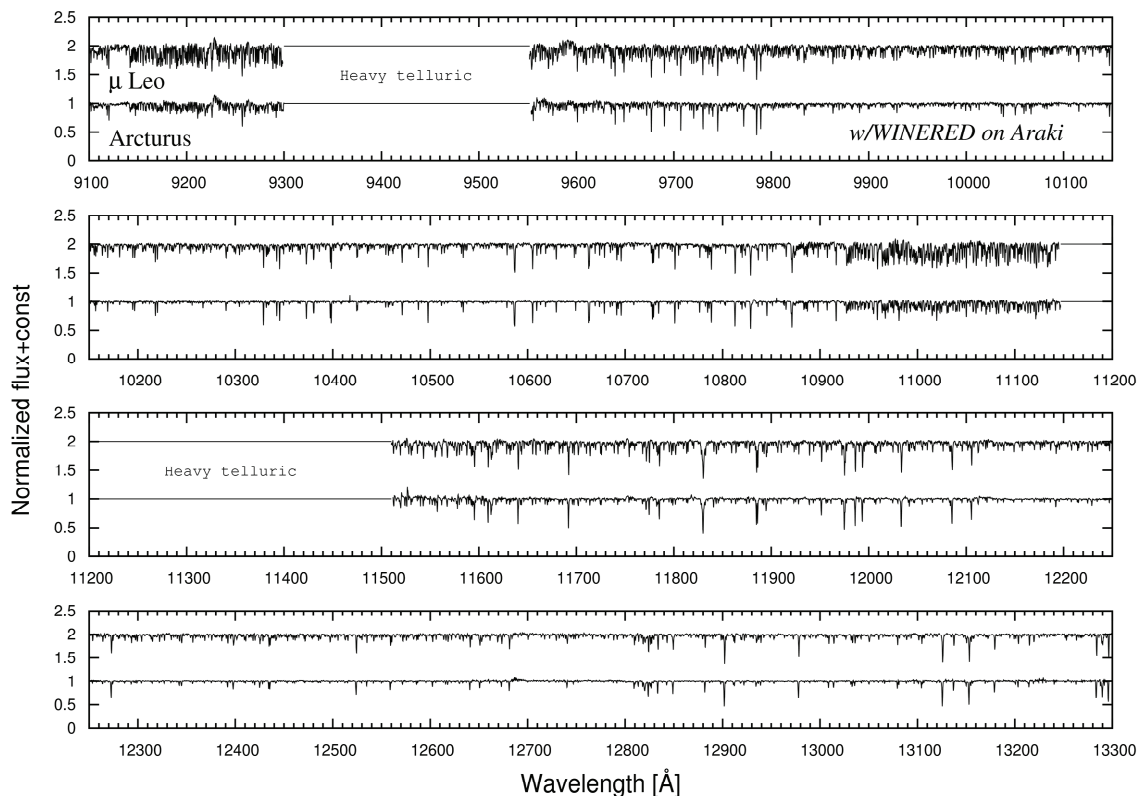


図1. WINEREDで取得したArcturusと μ Leoのスペクトル。横軸が波長で縦軸が規格化したスペクトルである。z-bandとY-band、Y-bandとJ-bandの間は大気吸収が深く、補正がかからないため、表示させていない。

3. 組成解析

3.1. モデル大気とモデルスペクトルの作成

金属量の推定はスペクトル合成フィットによって行なう。モデル大気の実成には kurucz の ATLAS9 を採用した。モデル大気パラメータは Smith et al. (2013) の値を用い、Arcturus で (T_{eff} , $\log g$)=(4275, 1.70)、 μ Leo で (4550, 2.10) とした。彼らの T_{eff} と $\log g$ は測光から求められた値であり、Arcturus について PASTEL database (Soubiran et al. 2010) でまとめられている 32 本の論文の有効温度 (平均: 4315、標準偏差: 61、範囲: $4200 < T_{\text{eff}} < 4500$) と表面重力 (平均: 1.68、標準偏差: 0.28、範囲: $0.9 < \log g < 2.19$)、 μ Leo について 19 本の論文の有効温度 (平均: 4511、標準偏差: 92、範囲: $4308 < T_{\text{eff}} < 4710$) と表面重力 (平均: 2.42、標準偏差: 0.26、範囲: $1.95 < \log g < 2.82$) であって、彼らの値は過去の多くの結果と矛盾しない値と言える。global metallicity ($[M/H]$) については、Smith et al. (2013) を参考に初期値として Arcturus、 μ Leo で $[M/H]=-0.5$ 、 $[M/H]=0.3$ としたが、導出した Fe 組成 ($[Fe/H]$) と一致するように決めた。太陽組成は Anders & Grevesse (1989) を用いている。モデルスペクトルの作成にあたっては、ラインリストの選択が重要になるのだが、原子ラインリストは VALD2 (Kupka et al. 1999)、分子のうち WINERED 波長範囲にラインが存在する CN, OH, CO については kurucz の database (Kurucz 1993) から引用した。ATLAS9 によって最終的に生成されたモデルスペクトルは、組成測定に特化して開発された SPTOOL (developed by Takeda Y.) を用い、Fe の組成の測定を行った。

3.2. ライン選択

VALD のデータベースには、z-, Y-, J-bands で有効な波長域に 6043 本の Fe I のラインが存在する。それらの中から、観測によって得られたスペクトルと比較しながら、ほとんどブレンドを受けていない 120 本の Fe I ラインを同定し、Fe の組成 ($\log \epsilon (\text{Fe})$) の導出に用いることにした。本来なら Fe II ラインも用いることは、Fe の組成解析において重要であるが、観測スペクトルの中には、十分な強度でラインは存在しなかったため、本論文の解析においては用いていない。

3.3. ミクロ乱流の推定

1-D モデル大気パラメータの1つであるミクロ乱流速度 ξ (km/s) は、分光データを用いて組成の決定と同時に決めるしかない。 ξ を固定して、すべてのラインに対して $\log \epsilon (\text{Fe})$ を導出し、それらがライン強度 X に対して矛盾ないように (同じ $\log \epsilon (\text{Fe})$ になるような) ξ を選ぶ。そこで、Gratton et al. (2006) で定義されたライン強度 $X = \log gf - E.P. \times \Theta_{\text{exe}}$ を用いる。ここで、 $\log gf$ は振動強度、E.P. は eV 単位の励起エネルギー、 $\Theta_{\text{exe}} = 5040 / (0.86 T_{\text{eff}})$ である。 ξ の値として初めに、 $\xi = 0.6, 0.8, 0.9, 1.1, 1.2, 1.4, 1.6$ km/s を選んだ。これらの値は過去の文献値で求められている範囲、($1 < \xi < 2$ km/s) を参考に、実際に出力結果を見ながら決めた。それぞれのラインの $\log \epsilon (\text{Fe})$ は SPTOOL の機能である MPFIT (Takeda 1995) を用い、観測スペクトルを合成スペクトルで最小自乗 fitting を行うことによって導出した。ただし、下記の条件を満たしていないラインは不十分なフィットとして ξ と Fe の組成の推定には含めな

った。

a) ラインの広がり幅 (FWHM) が分光器の機械幅 (11 km/s) よりも小さいライン

b) $\log \epsilon$ (Fe), FWHM, 波長シフト量のいずれかが平均値よりも 2.5σ 離れたライン

フィット結果が不十分となる原因としては以下のようなことが考えられる。

- 1) 近接ラインとのブレンド
- 2) 不十分な telluric 補正や continuum fit
- 3) 不正確なラインパラメータ

実際に Arcturus または μ Leo で使えたラインは、初めに選んだラインのうち 90 本であった。それぞれの ξ のときに X と $\log \epsilon$ (Fe) の回帰直線を求める。図 2 と 3 に Arcturus、 μ Leo で ξ についての回帰直線の傾きをプロットしている。この図から Fe の組成が X に依存しないような最適な ξ はそれぞれ $\xi = 1.1 \pm 0.1$ 、 1.0 ± 0.1 km/s であることが分かった。

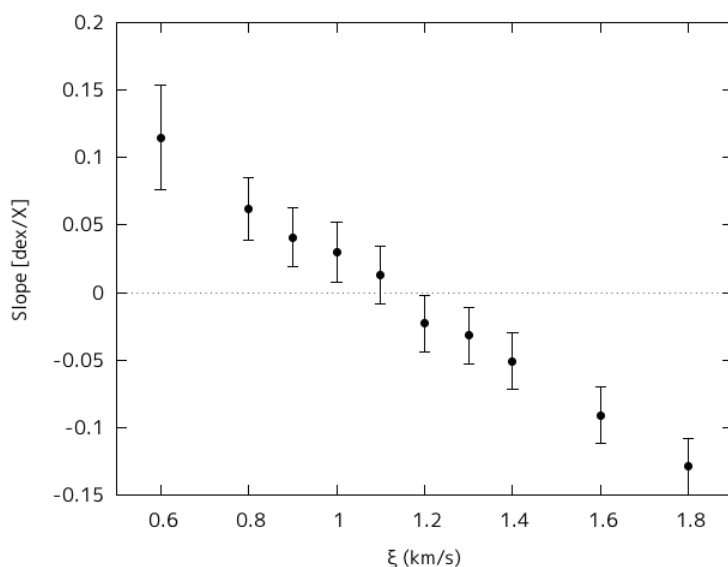


図 2. Arcturus で、仮定した微小乱流速度での X - $\log \epsilon$ (Fe) の回帰直線の傾きの関係。横軸が微小乱流速度、縦軸が X と $\log \epsilon$ (Fe) の回帰直線の傾きを表している。

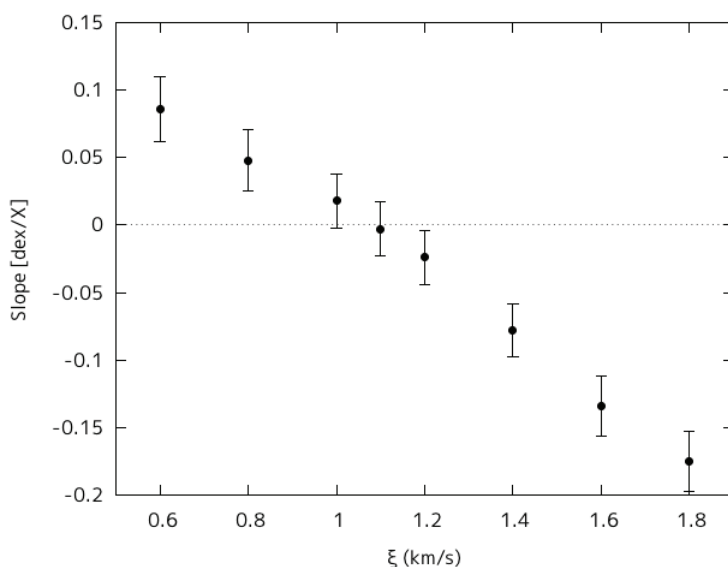


図 3. μ Leo で、仮定した微小乱流速度と X - $\log \epsilon$ (Fe) での回帰直線の傾きの関係。表記は図 2 と同じ。

3.4. Fe abundance

結論として、Arcturus、 μ Leo でそれぞれ $\xi=1.1\pm0.1$ 、 $1.0\pm0.1\text{km/s}$ とした時、 $\log \epsilon(\text{Fe})_{\text{Arcturus}}=6.96\pm0.02$ と $\log \epsilon(\text{Fe})_{\mu\text{Leo}}=7.69\pm0.02$ である。

4 SYSTEMATIC ERRORS

4.1. Probable errors from model parameters

用いた恒星大気、モデルのパラメータには不定性があるが、それらの Fe の組成へのエラーバジェットを評価する。 T_{eff} と $\log g$ の典型的な不定性は、Pastel catalog に掲載されている過去の結果のばらつきから Arcturus では $\Delta T_{\text{eff}}=60\text{K}$ 、 $\Delta(\log g)=0.3$ 、 μ Leo では $\Delta T_{\text{eff}}=90\text{K}$ 、 $\Delta(\log g)=0.3$ であり、そのときのそれぞれのエラー σ_T 、 σ_g を評価する。得られたマイクロ乱流の不定性は $\Delta \xi=0.1\text{km/s}$ であり、そのエラー σ_ξ も評価する。最後にそれらが独立であるとしたときの合成誤差 ($\sigma_{\text{total}}^2 = \sigma_T^2 + \sigma_g^2 + \sigma_\xi^2$) を求める。

4.1.1. σ_T

モデル大気で用いた T_{eff} から Arcturus、 μ Leo でそれぞれ $\pm 60\text{K}$ 、 $\pm 90\text{K}$ 変化させたとき、Arcturus では $\sigma_T=\pm 0.00$ dex、 μ Leo では $\sigma_T=+0.02, +0.01$ dex であった。これらの値は統計エラー (± 0.02 dex) の範囲内なので、温度の決定精度が Fe の組成に与える影響は十分小さい。変化量が小さいのは、評価しているラインが Fe I で中性であるため、電離ラインに比べ有効温度の変化をそれほど受けにくいからだと考えられる。

4.1.2. σ_g

モデル大気で用いた $\log g$ から ± 0.3 dex ほど変化させたとき Arcturus では $\sigma_g=\pm 0.04$ dex、 μ Leo では $\sigma_g=+0.06, -0.03$ dex であった。

4.1.3. σ_ξ

前節の結果より、Arcturus、 μ Leo で ξ の不定性は共に $\pm 0.1\text{km/s}$ である。決定したマイクロ乱流の値から $\pm 0.1\text{km/s}$ 変化させたとき、Arcturus では $\sigma_\xi=-0.06, +0.04$ dex、 μ Leo では $\sigma_\xi=-0.03, +0.07$ dex である。

4.1.4. Total error from model parameters

Arcturus、 μ Leo で各パラメータの不定性が独立であると仮定し、足し合わせると Arcturus で $\sigma_{\text{total}}=0.07$ dex、 μ Leo で $\sigma_{\text{total}}=0.09$ dex であった。Fe の組成測定に最も効くのは、 ξ の不定性である。ただし、ここでは各パラメータ間に従属性がなく、Fe の組成に対して独立に影響するという仮定を行ったが、実際には $\sigma_{\text{cov}}\neq 0$ のため、エラーはもう少し大きいと考えられる。例えば、有効温度が高い値が採用されると大きいマイクロ乱流の値が選ばれ、その結果、Fe の組成は小さくなる (Gratton et al. 2006)。

4.2. Comparison to other results

Arcturus、 μ Leo は過去には、多くの組成解析がなされており、それらの Fe の組成と今回の結果を比較する。ただし、定量的な比較ができるように、用いた T_{eff} と $\log g$ が明らかな文献との比較を行う。図 4 に Pastel catalog に収められた論文と Smith et al. (2013)、Jofrè et al. (2013) の値と我々の値を示す。図 4 から分かるように、我々の Arcturus、 μ Leo の結果は過去の結果と誤差の範囲で一致していると言える。結論として WINERED で得られた z-, Y-, J-bands のスペクトルから正しい組成が導出できたと言える。近赤外の短波長域の高分散分光でも可視光と同程度の高い精度で組成が導出でき、このことから、今後、可視光で暗い晩期

型/冷たい星の化学組成の研究を近赤外の短波長域で進めることに大きな利点があると言える。

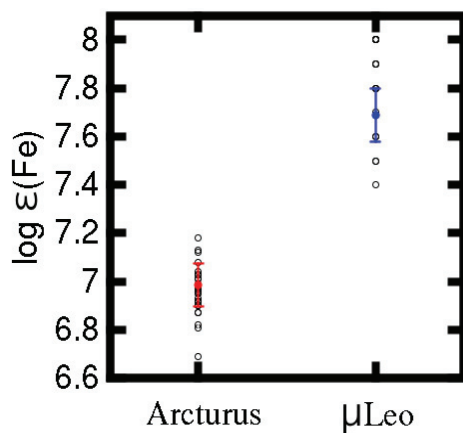


図 4. Arcturus と μ Leo の Fe 組成の文献値との比較。赤色、青色の点が我々の導出した Arcturus と μ Leo の値を示している。誤差は統計誤差と系統誤差の両方を含んでいる。白い丸は文献値である。

5. Summary

- ・よく研究され、化学組成や恒星大気パラメータが良く分かっている Arcturus と μ Leo を荒木 1.3m 望遠鏡に設置された WINERED で分解能 $R=28,300$ の高分散分光観測し、 $0.9-1.35 \mu\text{m}$ のスペクトルを得た。
- ・1D-LTE モデルスペクトルと観測スペクトルの比較から、高精度な金属量推定に十分な本数である 120 本のブレンドをほとんどうけていない FeI のラインを同定した。
- ・合成スペクトルのフィットで各 FeI ラインから Fe の組成を推定し、Gratton et al. (2006) で用いられているライン強度”X”を用いた手法でマイクロ乱流をうまく決めることができ、その結果、Arcturus で $\log \epsilon(\text{Fe})=6.96 \pm 0.02$ 、 μ Leo で $\log \epsilon(\text{Fe})=7.69 \pm 0.02$ と決定された。
- ・得られた金属量は過去の結果と矛盾しない値であり、その統計誤差 (0.02 dex)、系統誤差 (Arcturus で 0.07 dex、 μ Leo で 0.09 dex) はともに可視光と同程度を達成できたと言える。近赤外の短波長域の高分散分光でも可視光と同程度の高い精度で組成が導出できると言え、このことから、今後、可視光で暗い晩期型/冷たい星の化学組成の研究を近赤外の短波長域で進めることに大きな利点があると言える。

リファレンス

- Anders, E., & Grevesse, N. 1989, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53, 197
- Davies, B., Origlia, L., Kudritzki, R.-P., et al. 2009a, *ApJ*, 696, 2014
- Davies, B., Origlia, L., Kudritzki, R.-P., et al. 2009b, *ApJ*, 694, 46
- Gratton, R., Bragaglia, A., Carretta, E., & Tosi, M. 2006, *ApJ*, 642, 462
- Kerber, F., Nave, G., Sansonetti, C. J., Bristow, P., & Rosa, M. R. 2007, *The Future of Photometric, Spectrophotometric and Polarimetric Standardization*, 364, 461
- Kupka, F., Piskunov, N., Ryabchikova, T. A., Stempels, H. C., & Weiss, W. W. 1999, *A&AS*, 138, 119
- Kurucz, R. L. 1993, *Kurucz CD-ROM*, Cambridge, MA: Smithsonian Astrophysical Observatory, -c1993, December 4, 1993,
- Jofrè, P., Heiter, U., Soubiran, C., et al. 2014, *A&A*, 564, A133
- Ryde, N., Gustafsson, B., Edvardsson, B., et al. 2010, *A&A*, 509, A20
- Smith, V. V., Cunha, K., Shetrone, M. D., et al. 2013, *ApJ*, 765, 16
- Soubiran, C., Le Campion, J.-F., Cayrel de Strobel, G., & Caillo, A. 2010, *A&A*, 515, A111
- Takeda, Y. 1995, *PASJ*, 47, 287
- Takeda, Y., & Takada-Hidai, M. 2013, *PASJ*, 65, 65
- Takeda, Y., & Takada-Hidai, M. 2012, *PASJ*, 64, 42
- Takeda, Y., & Takada-Hidai, M. 2011, *PASJ*, 63, 537

タイトル：可視光・2色同時撮像装置 ADLER による銀河バルジマイクロレンズ現象の観測

担当：米原厚憲（京都産業大学理学部・准教授）、山井直人（京都産業大学大学院理学研究科・博士前期課程・2013年度修了）、斎藤まどか、田中道祐（京都産業大学大学院理学研究科・博士前期課程1年）

関連出版：

無し

関連学会発表等：

Yonehara, A., et al., “Microlensing Observation at Koyama Astronomical Observatory”, “18th International Conference on Gravitational Microlensing”, 2014年1月

可視光・2色同時撮像装置 ADLER による 銀河バルジマイクロレンズ現象の観測

米原厚憲（京都産業大学理学部・准教授）、
山井直人（京都産業大学大学院理学研究科・博士前期課程・2013年度修了）、
齋藤まどか、田中道祐（京都産業大学大学院理学研究科・博士前期課程1年）

1. イントロダクション

銀河系内において、恒星の手前を別の恒星が横切ることによって、一次的に重力レンズ現象が起きることがある。実際には、像の歪みなどを直接検出することはできないが、像の拡大にともなう奥にある方の恒星からの光が増光され、一次的に明るくなる現象として観測される。これがマイクロレンズ現象である。この現象は、100万個の恒星を観測した時に、1個程度の確率で起きていると考えられており、確率が非常に低いため、銀河バルジ方向の膨大な量の恒星を観測することで、検出数をあげることができる。現在この現象の観測は主に、レンズ天体となる恒星に付随する系外惑星の探査を目的として行われている。

系外惑星探査の手法はいくつかあり、マイクロレンズ現象による方法での系外惑星の検出数は全体の1パーセント程度と非常に少ない。ただし、他の手法と比べて圧倒的に広いサーベイボリュームを持つこと、低質量の系外惑星や軌道半径の大きな系外惑星の検出効率が比較的高いことなどから、他の手法と相補的な検出方法であると言える。

しかし、恒星によるマイクロレンズ現象が1カ月程度のタイムスケールの現象であるのに対して、付随する系外惑星による増光の異常（アノマリー）は1日程度のタイムスケールと短く、サーベイ観測グループのみでの検出は容易ではない。そこで実際には、サーベイ観測グループからのアノマリーの兆候を参考にし、世界各地に散らばっている天文台で国際ネットワークを形成し、それらの天文台でフォローアップ観測と組み合わせて、効率的かつ信頼性の高い系外惑星の探査を行っている。

そこで我々は、同経度領域にフォローアップ観測を行うグループがないことに着目、サーベイ観測グループと共同して、銀河バルジマイクロレンズ現象のフォローアップ観測を、京都産業大学神山天文台の荒木望遠鏡、ならびに、二色同時撮像装置 ADLER を用いておこなった。

2 観測研究結果

実際の観測は、神山天文台から銀河バルジが観測可能な時期で、かつ、荒木望遠鏡の主焦点に ADLER が設置されていた2013年5月から7月までの約3ヵ月間にわたり、合

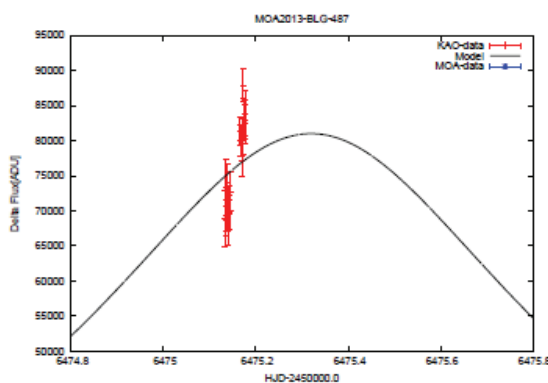
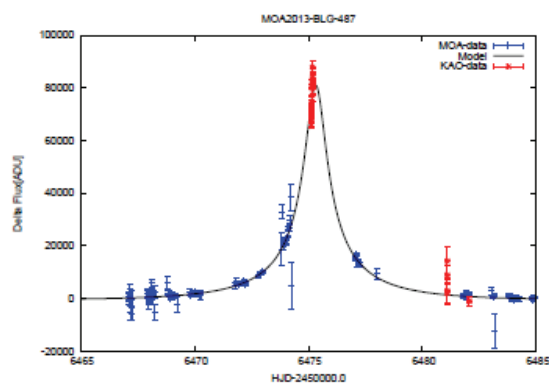
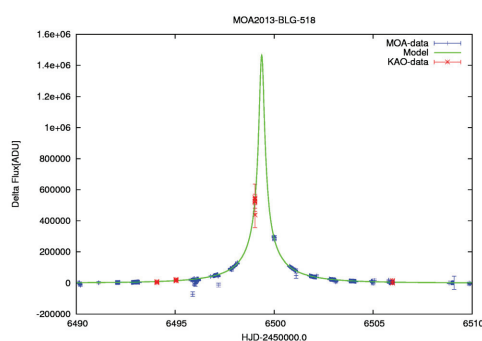
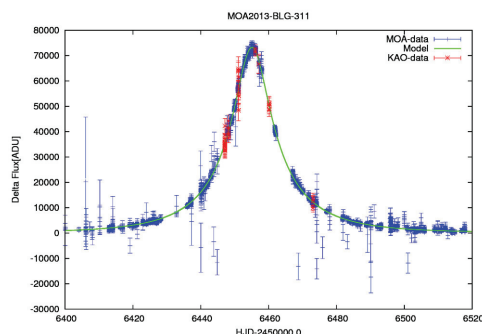
計33夜の間、以下の条件を満たすイベントの観測を行った。

- ターゲットの高度が20度以上
- サーベイグループ報告の明るさがVバンドで15等級以上

そのようなイベントの中で、最大増光率が高く、系外惑星に高い感度をもつものや、起源は不明だが既にアノマリーが報告されているものについて、観測を行った。また、サーベイグループの観測結果とのキャリブレーションのため、増光が過ぎても、ある程度の期間はフォローアップを続けて観測を行った。

その結果、実際には銀河バルジのマイクロレンズ現象30イベントの観測を行った。得られた観測データに対して、**Differential Image Analysis**法と呼ばれる、天体が込み合った領域で明るさの変化を検出できる特殊な解析方法を用いて、各イベントの光度変動を調べた。その結果、30イベント中10イベントについては、明らかな光度変動を検出することに成功した。更に、光度変動を検出したイベントに対して、サーベイ観測グループのデータやベストフィットモデルとの比較を行った。その結果を右に2つ(MOA-2013-BLG-311とMOA-2013-BLG-518)示しておく。赤い点が我々の観測結果、青い点がサーベイ観測グループのMOAグループのデータ、緑の曲線が観測を一番よく再現するモデルの光度曲線である。これらの結果から分かる通り、単に光度変動を検出しただけでなく、観測された振る舞いも一致していることから、同様の解析結果が得られることが確認できた。また、既に特徴が決まっているアノマリーを示すイベントについても、同様の比較を行った結果、やはりサーベイ観測グループの解析結果やモデルの光度曲線とよく一致することが確認できた。

多くのイベントが、サーベイ観測グループの解析結果やモデルの光度曲線と良い一致を示していたのに対して、MOA-2013-BLG-487というイベントの解析結果について、対応するサーベイ観測グループのデータが無い期間において、モデルの光度曲線から有意なズレを示す解析結果があることが判明した。



これはすなわち、我々の観測によってアノマリー候補を発見したことを意味する。

3 まとめ

このアノマリー候補が実際にアノマリーであると仮定して、系外惑星の質量領域を含むような連星のレンズモデルで観測結果の再現を試みた結果、系外惑星の質量領域のレンズモデルを用いて、このようなアノマリーをうまく再現できることが判明した。このようなモデルフィットの計算は、増光パターンの計算が重く、掃かなければいけないパラメターの範囲も広いため、短時間で行うことはできないが、原理的には可能である。また、レンズモデルのパラメターサーチと、ベストフィットモデルのパラメターの信頼領域の評価から、系外惑星候補の質量を推定することも可能である。

しかしながら、アノマリー候補を観測できているのが我々のグループだけであること、またサーベイ観測グループのこれまでの解析の経験から、解析の過程や考慮していない観測的な効果（例えば、地球大気の吸収による明るさや色の補正など）を考慮すると、アノマリーのように見える変化を生みだしてしまうことが既に分かっている。今回発見したアノマリー候補については、二色同時撮像のデータがあることなどを利用して、本物のアノマリーであるかどうか、現在吟味している段階である。

参考資料

発表資料 (Yonehara, A., et al., “Microlensing Observation at Koyama Astronomical Observatory”, “18th International Conference on Gravitational Microlensing”, 2014年1月)

Microlensing Observation at Kohyama Astronomical Observatory

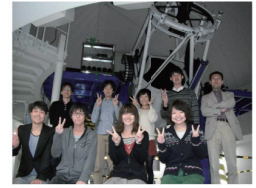
Atsunori Yonehara
(Kyoto Sangyo University)

Members:

H.Kawakita, N.Fujishiro, T.Yoshikawa,
M. Isogai*, N.Yamai, H.Tohyama*,
M. Tanaka, M. Saitoh, K. Inayama,
S. Nakagawa*, K. Tanaka*, K. Hayashi*
with MOA group's support

summary

mainly, undergraduate and
master course students are
doing follow-up observation
and data analysis



our follow-up data are uploaded :

<http://www.cc.kyoto-su.ac.jp/~kao/adler/moa/>

contact address (any request, comment) :

yonehara@cc.kyoto-su.ac.jp (me)

agenda

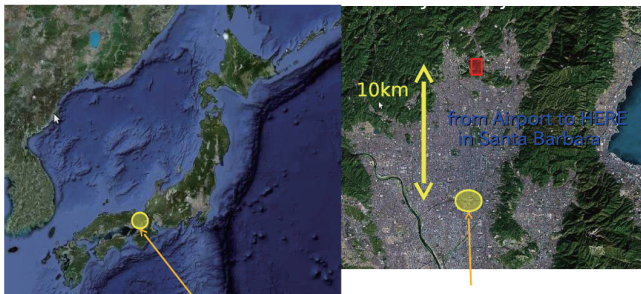
- Kohyama Astronomical Observatory
- Conditions
- Microlensing Observations

Kohyama Astronomical Observatory



Location

lat. 35:04:13 N , long. 135:45:30 E



Kyoto City, ancient capital

Train Station, Kyoto

inside our University Campus

Telescope & Imager

ARAKI telescope (1.3m)

3 focuses (several inst.)

Ritchy-Chrt'ien optics

Alt-Azimuth mount

Pointing acc. ~ 3"

Guiding acc. ~ 0.5"/ 5 [min]



ADLER (2 color imager)

2k x 2k CCD with 12' F.O.V.

water chilled (~ -90[C])

380~900 [nm] coverage

(dichroic mirror, ~670[nm])



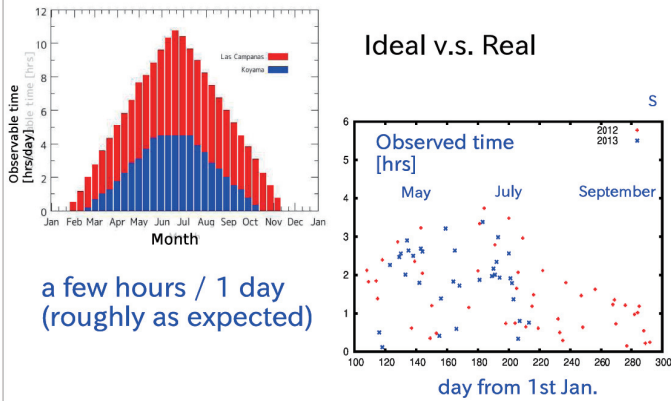
Observations

- Telescope works fine
- My students doing well
- BUT, Several Instruments exist
 - ADLER is equipped ~ half year
 - Arrangement is required for observation
- Our targets (for Imager ADLER)
 - Follow-up of galactic microlensing events
 - Lensed quasars' monitoring (→ in future talk?)

Conditions

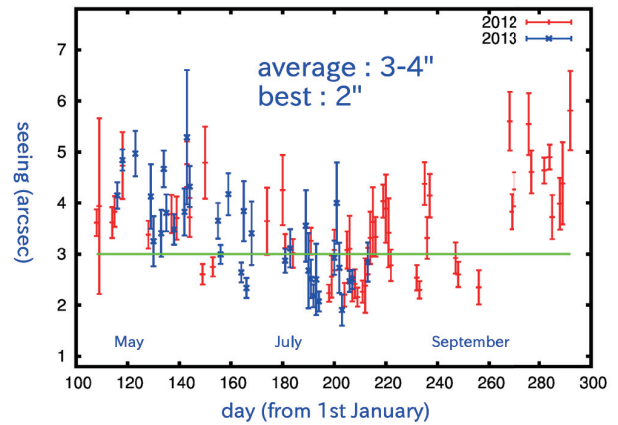


Observable time



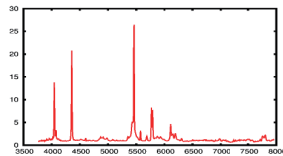
Ideal v.s. Real

Seeing toward Galactic center

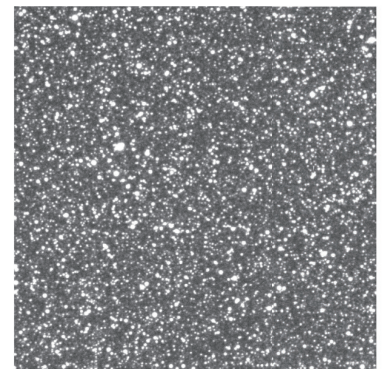


Other informations

- Sky (z' -band)
 - 18.26 [mag./arcsec²] at airmass=1.24
 - 17.89 [mag./arcsec²] at airmass=3.01
- Limiting magnitude, 0.1[mag.] accuracy (z' -band, seeing=3.6 [arcsec], airmass=1.24)
 - 17.5 [mag.] for 60[sec] exposure
 - 18.2 [mag.] for 180[sec] exposure
- Fine Weather ~ 50%
- Wind : not so strong



Microlensing Observations



Season 2011 (test season)

- Period : from March to October
- Observation:
 - problems in CCD camera
 - planned : 65 [d]
 - executed : 35 [d] (~ 55 %)
- Strategy: **Just do it**
- Follow-up events:
 - observed : 30 [event]
 - (flux variation is detected partly)

strategy

- (wo)man power and telescope time is limited
- event with $I < 16$ [mag] ($I < 15$ [mag] at peak)
- elevation is high enough at our observatory
- possible high-magnification (>10) events or events with anomaly
- several observations around the peaks/anomalies are possible
- 90 [sec] exposure
- r' - and z' - filter
- flux change measurement, DIA

Season 2012

- Period : from April to October
- Observation:
 - planned : 138 [d]
 - executed : 54 [d] (~ 40%)
 - normally, ~ 50% (rainy seasons < 30%)
- Follow-up events:
 - observed : 62 [event]
 - we have just checked flux changes
→ 30 [events] detected

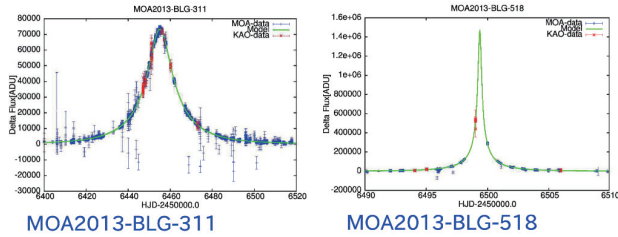
Season 2013

- Period : from May to July
- Observation:
 - planned : 77 [d]
 - executed : 33 [d] (~ 40%)
- Follow-up observation:
 - focus more (took more data) on single event
 - observed : 30 [event] (follow-up less events)
 - flux change detected : >10 [event]
 - we have succeeded to follow-up anomalies
 - some findings??? (at least, possibility)

Comparison with MOA data (1)

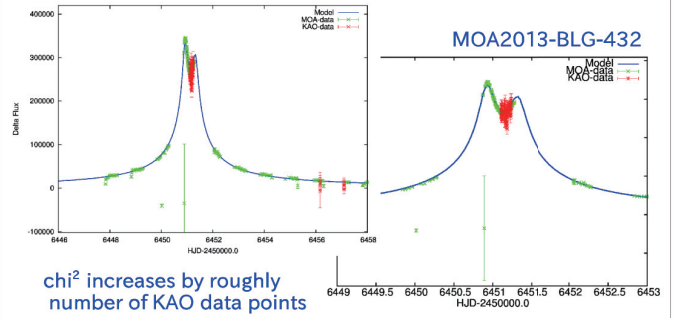
Light curve fitting by applying single lens parameter, $A(t)$, presented by MOA

- $F_{MOA}(t) = F_{0,MOA} \times A(t) + F_{r,MOA}$ → follows MOA's data
- $F_{KAO}(t) = F_{0,KAO} \times A(t) + F_{r,KAO}$



Comparison with MOA data (2)

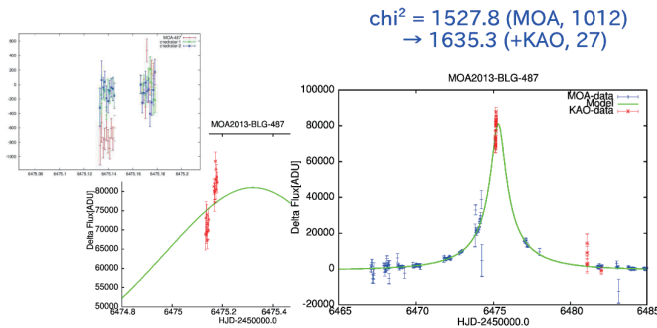
We can detect not only simple single events, but also events with anomaly



MOA-2013-BLG-487, anomaly? (1)

Systematic deviation from single lens model?

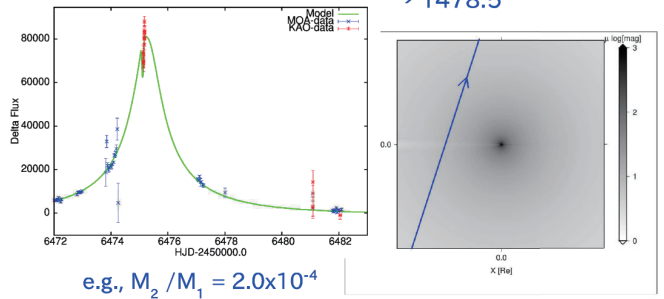
- poor coverage, but maybe no other data



MOA-2013-BLG-487, anomaly? (2)

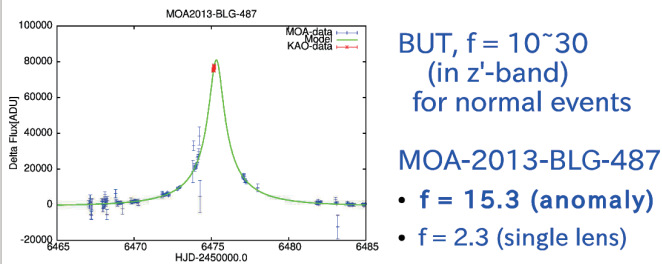
- Binary lens model (with small mass ratio) nicely reproduces the deviation

$\chi^2 = 1635.3$ (total, 1039)
→ 1478.5



MOA-2013-BLG-487, anomaly? (3)

- Single lens model seems OK ($\chi^2 = 1499.1$), IF we remove data points at the tail
- Conversion factor $f = F_{0,MOA} / F_{0,KAO}$ (~20% error)



Our follow-up observations will (also) start again soon

タイトル : Detection of Diatomic Molecules in the Dust Forming Nova V2676 Oph

担当 : 長島雅佳 (京都産業大学大学院理学研究科・博士前期課程・2013 年度修了)、梶川智代 (京都産業大学大学院理学研究科・博士前期課程・2013 年度修了)、新井彰 (京都産業大学神山天文台・研究員/兵庫県立大学・西はりま天文台・研究員)、河北秀世 (京都産業大学神山天文台・天文台長)、北尾栄司 (京都産業大学大学院理学研究科・博士後期課程 1 年)、新崎貴之 (京都産業大学大学院理学研究科・博士後期課程 2 年)、田口岳 (京都産業大学理学部物理科学科・2008 年度卒業)、池田優二 (京都産業大学神山天文台・客員研究員/フォトコーディング)

関連出版 :

M. Nagashima, et al. (2014), *Astrophysical Journal Letters*, 780, L26.

関連学会発表等 :

M. Nagashima, et al., “Detection of Diatomic Molecules in the Dust Forming Nova V2676 Oph” (oral), in *The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects II*, Palermo (Italy) 9 – 14 September 2013.

Detection of Diatomic Molecules in the Dust Forming Nova V2676 Oph

M. Nagashima¹, A. Arai^{1,2}, T. Kajikawa¹, H. Kawakita¹, E. Kitao¹, T. Arasaki¹, G. Taguchi¹, and Y. Ikeda¹

¹*Kyoto Sangyo University, Koyama Astronomical Observatory*

²*University of Hyogo, Nishi-Harima Astronomical Observatory*

Abstract

Novae are generally considered to be hot astronomical objects and show effective temperatures up to 10,000 K or higher at their visual maximum. However, it is theoretically predicted that the outer envelope of the nova outflow can become cool enough to form molecules that would be dissociated at high temperatures. We detected strong absorption bands of C₂ and CN radicals in the optical spectrum of Nova V2676 Oph, a very slow nova with dust formation. This is the first report of the detection of C₂ and the second one of CN in novae during outburst. Although such simple molecules are predicted to form in the envelope of the outflow based on previous studies, there are few reports of their detection. In the case of V2676 Oph, the presence of the molecular envelope is considered to be very transient, lasting several days only.

1. Introduction

Dust formation in the outflow of a nova had been proposed by McLaughlin (1935) to explain the rapid drop in the visible light-curve of DQ Her in 1934. Dust formation in FH Ser had also been confirmed by infrared observations by Geisel et al. (1970). DQ Her was the first nova in which molecular absorption bands of CN in optical wavelength had been identified. The formation of molecules as the precursor to dust grains in novae is considered important for understanding how dust grains form in the outflow of novae. In the case of DQ Her in 1934, strong CN absorption bands of both violet and red systems had been detected merely 2 days after the visual maximum, and these absorption bands were identified for only 1 week approximately (Wilson & Merrill, 1935; Sanford, 1935; Stoy & Wyse 1935; Antipoca 1969; Sneden & Lambert, 1975). Since the formation of small molecules such as CN is considered an intermediate process in the formation of dust grains from the hot atomic gas in the outflow of a nova, molecular formation in the early phase of DQ Her might be associated with dust formation in its later phase.

Although CN is the first molecule observed in a nova during outburst (in the case of DQ Her), there are no further reports of CN in other novae. On the other hand, carbon monoxide (CO) emission in the early phase of novae has been observed by both photometric and spectroscopic observations. In particular, the first overtone band of CO ($\Delta v = 2$) has been routinely detected in near-infrared spectra of several novae, as reviewed by Evans & Rawlings (2008). Based on previous observations, the correlation between detection of CO and dust formation is noticeable. However,

hydrogen (H_2) or other molecules have not detected in novae during the early phase of their outburst.

Here we report the detection of C_2 and CN in optical spectra of the classical nova V2676 Oph during the early phase of its outburst. This nova could be classified as a slow nova, and it showed a rapid drop in its visible light curves about 90 days after its discovery. This is the first report of the detection of C_2 in novae during outburst and the second for CN . Furthermore, CO emission in the near-infrared had been detected in this nova (Rudy et al., 2012).

2. Observations

Nova V2676 Oph (PNV J17260708-2551454) was discovered at UT 2012 Mar 25.789 ($t = 0$ day) by H. Nishimura (reported in the Central Bureau Electronic Telegram (CBET) 3072). After the discovery of the nova, we performed spectroscopic observations with the low-dispersion spectrograph LOSA/F2 (Shinnaka et al., 2013) mounted on the 1.3-m Araki telescope at Koyama Astronomical Observatory on UT 2012 Mar 27. On the first night, we detected narrow Balmer emission lines (both $H\alpha$ and $H\beta$ and narrow Fe II emission lines on a highly reddened continuum that seemed to be due to interstellar extinction. The color excess $E(B - V)$ was estimated by using the Balmer decrement and the color of the nova ($B - V$); it was determined as 0.71 ± 0.02 and 0.72 ± 0.06 , respectively. Based on the P Cygni profile of the $H\alpha$ emission, the expansion velocity was estimated to be ~ 800 km/s. We concluded that the object was a Fe II-type classical nova in the early phase (Arai & Isogai, 2012). After the first observation of V2676 Oph, we continued to observe it routinely to assess its spectroscopic evolution (Nagashima et al., 2014).

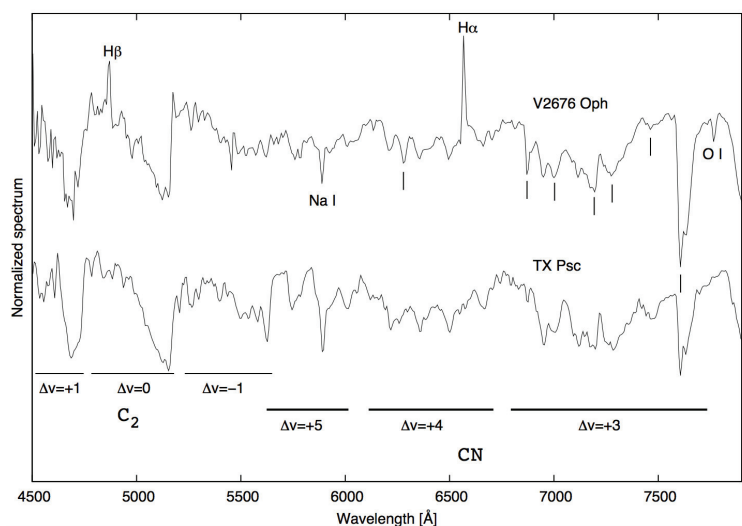


Figure 1: Comparison of the spectrum of V2676 Oph obtained on Apr 8 with that of a typical carbon star, TX Psc. Tick marks indicate telluric absorption lines.

After the first spectroscopic observations on UT 2012 Mar 27, the emission lines in the optical

spectra became fainter relative to the continuum (on UT 2012 Mar 28, Apr 4 and 6), while the optical brightness was increasing slowly (the optical brightness changed slowly from 12 to 11 magnitudes in the V-band, see the American Association of Variable Star Observers (AAVSO) database, [http://http://www.aavso.org/lcg/](http://www.aavso.org/lcg/)). No emission lines could be observed (except H α emission with a P Cygni profile), but many absorption lines of Fe II and neutral atoms such as Na I (5890Å) and O I (7773Å) were detected clearly in the spectra taken on Apr 6 ($t = 12$ days). Those absorption lines are indicative of lower ionization and the lower temperature conditions in the outflow of the nova.

Prominent C₂ (Swan) and CN (red system) absorption bands were detected on UT 2012 Apr 8 ($t = 14$ days), as shown in Figure 1. The obtained spectrum is similar to that of a carbon star. We also plotted the spectrum of TX Psc (a well-known carbon star of spectral type N0;C6,2, with $T_{\text{eff}} = 3030$ K; Lambert et al., 1986) for comparison. We also identified weak emission lines of H α , H β , and Fe II. Based on the substructure of the C₂ Swan band ($\Delta v = -1$) absorption, we could derive the isotopic ratio of carbon. Figure 2 shows the spectrum of the nova, the modeled spectra of ¹²C¹²C, ¹²C¹³C, and ¹³C¹³C (with an excitation temperature of 4500K). The Doppler shift of the nova spectrum has been corrected by using the relative velocity of the nova to the observer, estimated as 341 ± 87 km/s (this is derived from the velocities for H α and H β emission peaks). The wavelengths of sub-peaks in this band cannot be explained by ¹²C¹²C only. Clearly ¹²C¹³C and ¹³C¹³C contribute to form the absorption.

The next observations were performed on UT 2012 Apr 16 ($t = 22$ days). In these observations, the C₂ and CN absorption bands had already disappeared and strong Balmer emission lines and Fe II lines were again prominent. At that time, the spectra were typical of Fe II-type classical novae. The other difference from the previous observations was the expansion velocity derived from H α , which had increased in comparison to that before molecular formation. This higher velocity is typical of the Fe II-type novae (Williams 1992). Thereafter, the spectra of this nova were not unusual for an Fe II-type nova, although we continued spectroscopic monitoring observations until UT 2012 May 26. The optical light curves showed a very slow decline after the visual maximum and a rapid drop (by about six magnitudes in the V-band) at around 90 days after the discovery (this nova can be classified as a "slow" nova). The drop in the light curves may be caused by dust formation in the outflow of the nova.

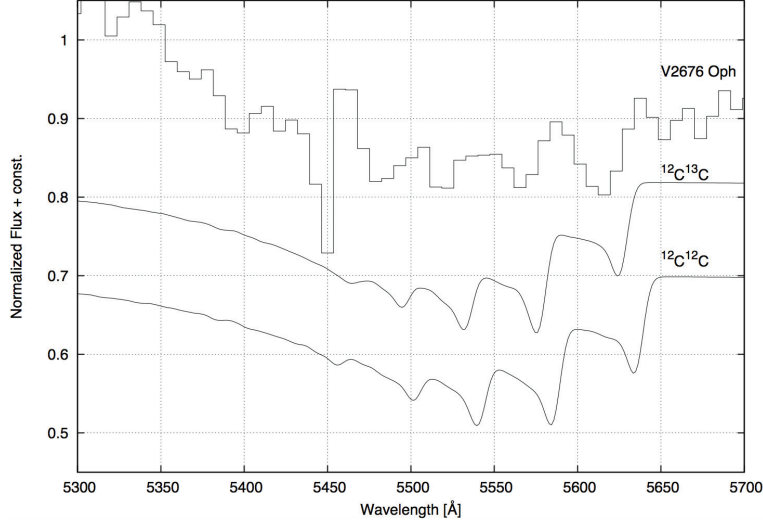


Figure 2: Comparison between observed and modeled spectra of the C_2 ($\Delta v = -1$) absorption band. The observed spectrum is shown by dashed line (the region influenced by the Hg emission from the city-light, at ~ 5460 Å, has been removed). The modeled spectra for $^{13}C^{13}C$, $^{12}C^{13}C$ and $^{12}C^{12}C$ are shown by the thin solid lines and the sum of those lines is shown by the thick solid line. For the modeled spectra, we assumed the rotational and vibrational temperatures of 4500 K and the isotopic ratio of $^{12}C/^{13}C = 4$.

3. Results & Discussion

The equivalent widths of $H\alpha$ (and also of $H\beta$) measured in our spectra were almost constant before and after the appearance of molecular absorption bands. However, optical light curves showed a small drop of ~ 1 magnitude before and after molecular formation. Figure 3 shows the optical and near infrared light curves taken from the database of the AAVSO and Small and Moderate Aperture Research Telescope System (SMARTS), the color indices of ($V - I$) and the equivalent width of $H\alpha$ and $H\beta$. For example, the C_2 absorption could markedly affect B- and V-band magnitudes, while CN red absorption could also affect R- and I-bands. This implies that extinction of the molecules in the outflow affected both continuum and emission lines from the nova. The molecular formation zone could be in the outer region of the outflow compared with regions emitting the continuum and/or emission lines in the nova.

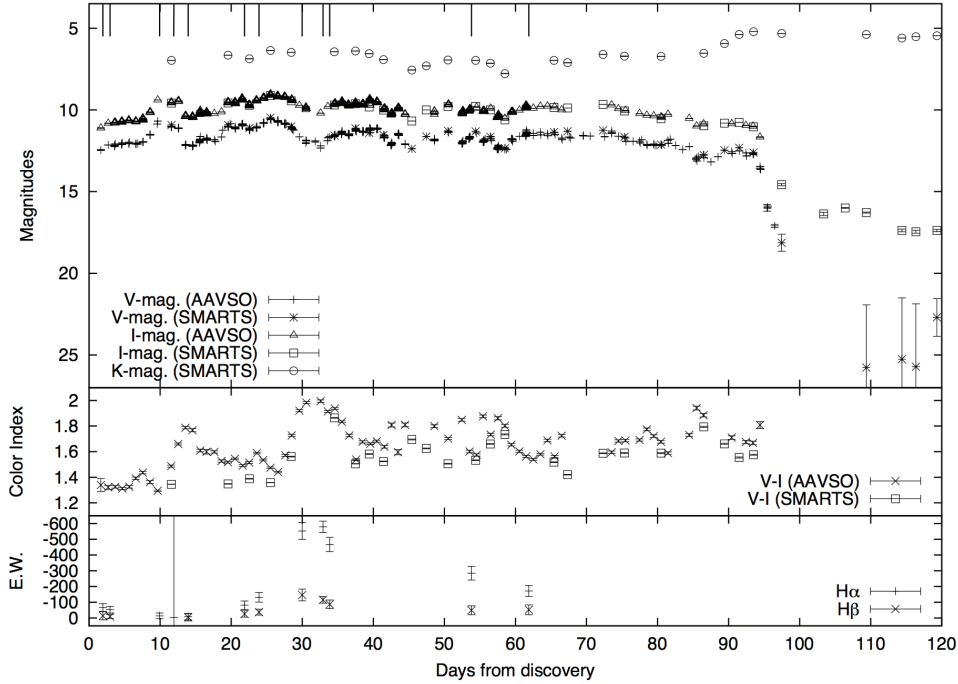


Figure 3: Multi band light curve of V2676 Oph (data from AAVSO and SMARTS), color indices ($V - I$) based on the AAVSO and SMARTS database, and equivalent widths of $H\alpha$ and $H\beta$ measured in our spectra. Upper tick marks indicate days on which spectroscopic observations were performed.

Furthermore, molecular formation in V2676 Oph is considered very rapid (within 2 days or less) and the existence of the molecular envelope was transient (it was present at most 9 days) at around the brightness maximum in optical. Why was the appearance of both C_2 and CN absorption bands so transient that they could be detected on Apr 8 only? We considered that the outer region of the outflow became cool enough to form molecules, since the hard ultraviolet (UV) radiation from the pseudo-photosphere of the nova in the early phase was blanketed by an “ iron curtain ”, and the iron ions could have absorbed UV radiation strongly (Shore, 2008). This picture is consistent with the spectrum taken on Apr 6, which was dominated by a continuum with absorption lines indicative of lower ionization conditions. The measurements of the color indices ($V - I$) obtained from the AAVSO and SMARTS database also showed a redder continuum for later periods after the discovery until the molecular bands appeared. This fact also supports the later lower color temperatures until molecular formation. However, as the envelope expanded and ejected materials thinned out (i.e., became more optically thin), hard UV radiation again increased in intensity. At this time, molecules would be destroyed through photo-dissociation reactions caused by UV radiation. In support of this, the later spectra showed many emission lines from ionized species, such as Fe II. However, the molecular absorption bands may have disappeared due to some opacity effects.

Similar behavior in terms of CN formation was observed in DQ Her in 1934. The

appearance of CN absorption bands immediately following the optical brightness maximum was transient, persisting for approximately 1 week only (Snedden & Lambert, 1975). The possible dust formation about 100 days after discovery was also similar to V2676 Oph. Theoretical studies of chemistry in the outflow of novae suggest that formation of even more complex molecules is possible (Pontefract & Rawlings, 2004; Evans & Rawlings, 2008). It has been demonstrated that a model atmosphere could reproduce both strong CN absorption bands in optical and the CO emission band in the near-infrared, as observed in some novae (Hauschildt et al., 1994). Although simple molecules might be destroyed by UV radiation, more complex molecules such as polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) (if they formed during the transient cool phase of the outer envelope), could survive and might act as nuclei for dust formation. Indeed, PAH emission was detected in this nova. We performed mid-infrared spectroscopic observation using a Cooled Mid-Infrared Camera and Spectrometer (COMICS) mounted on the SUBARU telescope on UT 2013 June 20 ($t = 452$ days). The spectrum showed PAH emission at $11.4 \mu\text{m}$ (and a hint of the emission line at $7.7 \mu\text{m}$) on the smooth continuum that could be explained by amorphous carbon grains.

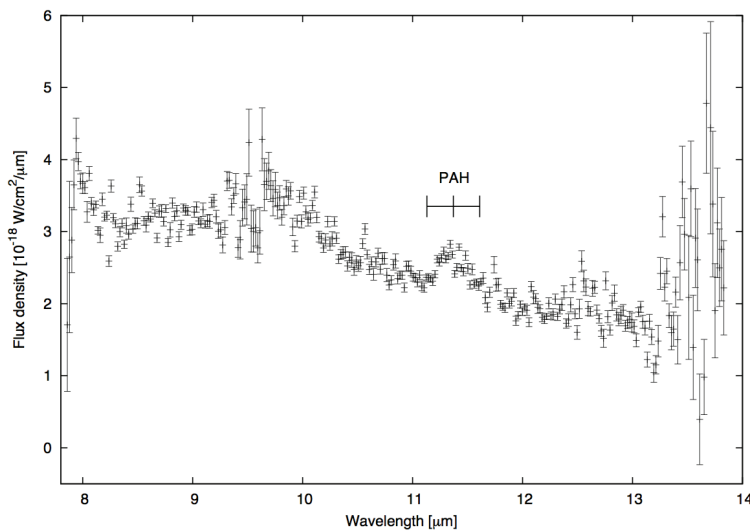


Figure 4: The mid-infrared spectrum of V2676 Oph.

References

- [1] McLaughlin, D.B. 1935, Publ. AAS, 8, 145.
- [2] Geisel, S.L., Kleinmann, D.E., Low, F.J. 1970, Astrophysical Journal, 161, L101.
- [3] Wilson, O.C. & Merrill, P.W., 1935, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 47, 53.
- [4] Sanford, R.F. 1935, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 47, 209.
- [5] Stoy, R.H. & Wyse, A.B. 1935, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 47, 50.
- [6] Antipova, L.I. 1969, Soviet Astronomy - A.J., 13, 288.

- [7] Sneden, C. & Lambert, D. 1975, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 170, 533.
- [8] Evans, A. & Rawlings, J.M.C. 2008, in *Classical Novae?*, 2nd Edition. Edited by M.F. Bode and A. Evans (Cambridge Astrophysics Series, No. 43, Cambridge: Cambridge University Press, 2008), p.308.
- [9] Rudy, R. J., et al. 2012, Electronic Telegram No. 3103, Central Bureau for Astronomical Telegrams, International Astronomical Union (ed., Green, D.).
- [10] Nishimura, H. 2012, Electronic Telegram No. 3072, Central Bureau for Astronomical Telegrams, International Astronomical Union (ed., Green, D.).
- [11] Shinnaka, Y., Kawakita, H., Kobayashi, H., Naka, C., Arai, A., Arasaki, T., Kitao, E., Taguchi, G., Ikeda, Y. 2013, *Icarus*, 222, 734.
- [12] Nagashima, M., et al. 2014, *Astrophysical Journal Letter*, 780, 26
- [13] Arai, A. & Isogai, M. 2012, Electronic Telegram No. 3072, Central Bureau for Astronomical Telegrams, International Astronomical Union (ed., Green, D.).
- [14] Lambert, D.L., Gustafsson, B., Eriksson, K., Hinkle, K.H. 1986, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 62, 373.
- [15] Williams, R.E. 1992, *The Astronomical Journal*, 104, 725.
- [16] Shore, S.N. 2008, in *Classical Novae?*, 2nd Edition. Edited by M.F. Bode and A. Evans (Cambridge Astrophysics Series, No. 43, Cambridge: Cambridge University Press, 2008), p.194.
- [17] Pontefract, M. & Rawlings, J.M.C. 2004, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 347, 1294.
- [18] Hauschildt, P.H., Starrfield, S., Allard, F. 1994, in *Cool Stars; Stellar Systems; and the Sun; Eighth Cambridge Workshop?*. *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, Vol. 64; Proceedings of the 8th Cambridge Workshop (held in Athens, Georgia; October 11-14; 1993; San Francisco: Astronomical Society of the Pacific (ASP); 1994; edited by Jean-Pierre Caillault), p.705.

タイトル：Spectroscopic Monitoring Observations of Nova V1724 Aql in 2012

担当：梶川智代（京都産業大学大学院理学研究科・博士前期課程・2013年度修了）、長島雅佳（京都産業大学大学院理学研究科・博士前期課程・2013年度修了）、河北秀世（京都産業大学神山天文台・天文台長）、新井彰（京都産業大学神山天文台・研究員／兵庫県立大学・西はりま天文台・研究員）、磯貝瑞希（京都産業大学神山天文台・研究員／国立天文台・研究員）、池田優二（京都産業大学神山天文台・客員研究員／フォトコーディング）

関連出版：

無し

関連学会発表等：

H. Kawakita, et al., “Spectroscopic Monitoring Observations of Nova V1724 Aql in 2012” (oral), in *The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects II*, Palermo (Italy) 9 – 14 September 2013.

Spectroscopic Monitoring Observations of Nova V1724 Aql in 2012

T. Kajikawa¹, M. Nagashima¹, H. Kawakita¹, A. Arai^{1,2},
Y. Ikeda^{1,3}, M. Isogai^{1,4}, M. Fujii⁵, K. Ayani⁶

¹*Kyoto Sangyo University / Koyama Astronomical Observatory*

²*University of Hyogo / Nishi-Harima Astronomical Observatory*

³*Photocoding*

⁴*National Astronomical Observatory of Japan*

⁵*Fujii-Kurosaki Observatory*

⁶*Bisei Astronomical Observatory*

Abstract

Spectroscopic and photometric monitoring observations of nova Aql 2012 (V1724 Aql) were conducted at Koyama Astronomical Observatory, Fujii-Kurosaki Observatory and Bisei Astronomical Observatory. The nova was initially considered as an outbursting pre-main-sequence young stellar object. Our monitoring observations have revealed the nova to be a Fe II type classical nova. The temporal evolution of spectra and light curves of the nova were similar to those of a slow nova (e.g., V1280 Sco and V5558 Sgr). We observed no evidence of molecule formation in V1724 Aql in contrast with V2676 Oph in which dust formation occurred after the molecular formation in the nova outflow.

1. Introduction

Nova Aql 2012 (later named as V1724 Aql) was discovered on 2012 October 20.4 UT (Nishiyama & Kabashima 2012). The brightness of the nova during the discovery was reported as 12.6 mag. Just after the discovery, we conducted our spectroscopic monitoring observations at the Koyama Astronomical Observatory (KAO), Fujii-Kurosaki Observatory (FKO) and Bisei Astronomical Observatory (BAO) in Japan.

The first optical spectrum taken on October 21.4 UT was reported by Fujii (2012) at FKO. The object showed a sharp H α emission (probably with a P Cygni profile) on a very red continuum. This object was considered a classical nova affected by a severe interstellar extinction (strong absorption of the Na D line was observed). Munari (2012) also reported that the spectrum of this object on October 21.8 UT showed a weak and sharp H β emission on a very red continuum, with strong Na I and Ba II absorption lines. This spectrum was basically consistent with that reported by

Fujii (2012). However, it was considered that the spectrum is more similar to that of an outbursting pre-main-sequence young stellar object than that of a nova before maximum brightness. On 2012 October 23.5 UT, Ayani (2012) also reported the optical spectrum of this object taken at BAO, with Fe II emission and O I emission with a P Cygni profile. This object was finally identified as a Fe II type classical nova according to the classification by Williams (1992).

Here we report the spectroscopic and photometric observations of V1724 Aql performed in a collaboration among three observatories (KAO, FKO and BAO) in Japan.

2. Spectroscopic and Photometric Observations

The observations conducted in our collaboration were follows. Spectroscopic observations were performed at three sites:

1. A 0.4-m telescope with a low-dispersion spectrograph ($\lambda = 4500 - 9000 \text{ \AA}$ with $R \sim 500$) at Fujii-Kurosaki Observatory,
2. A 1.01-m telescope with a low- and moderate-dispersion spectrograph ($\lambda = 3600 - 9000 \text{ \AA}$ with $R \sim 1500$ for a low-resolution mode) at Bisei Astronomical Observatory, and
3. A 1.3-m Araki telescope with a low-dispersion spectrograph LOSA/F2 ($\lambda = 3800 - 8000 \text{ \AA}$ with $R \sim 600$; Shinnaka et al. 2013) at Koyama Astronomical Observatory.

In addition to the spectroscopic observations, photometric observations were performed at KAO by the imaging camera ADLER (Araki Dual-band imager; Nakagawa et al. 2013) with intermediate and broad-band filters (y -, i' -, and z' -band filters).

Figure 1 shows the spectral evolution of V1724 Aql. Figure 2 shows the light curves (with the multi-band light curves taken from AAVSO database). We also show the close-up views for $H\alpha$ and O I emission lines to make clear the evolution of their line shapes. Clearly, the line widths increased for later epochs in the case of $H\alpha$ while the temporal change in the P Cygni profile of O I emission indicated faster expansion velocities at later dates.

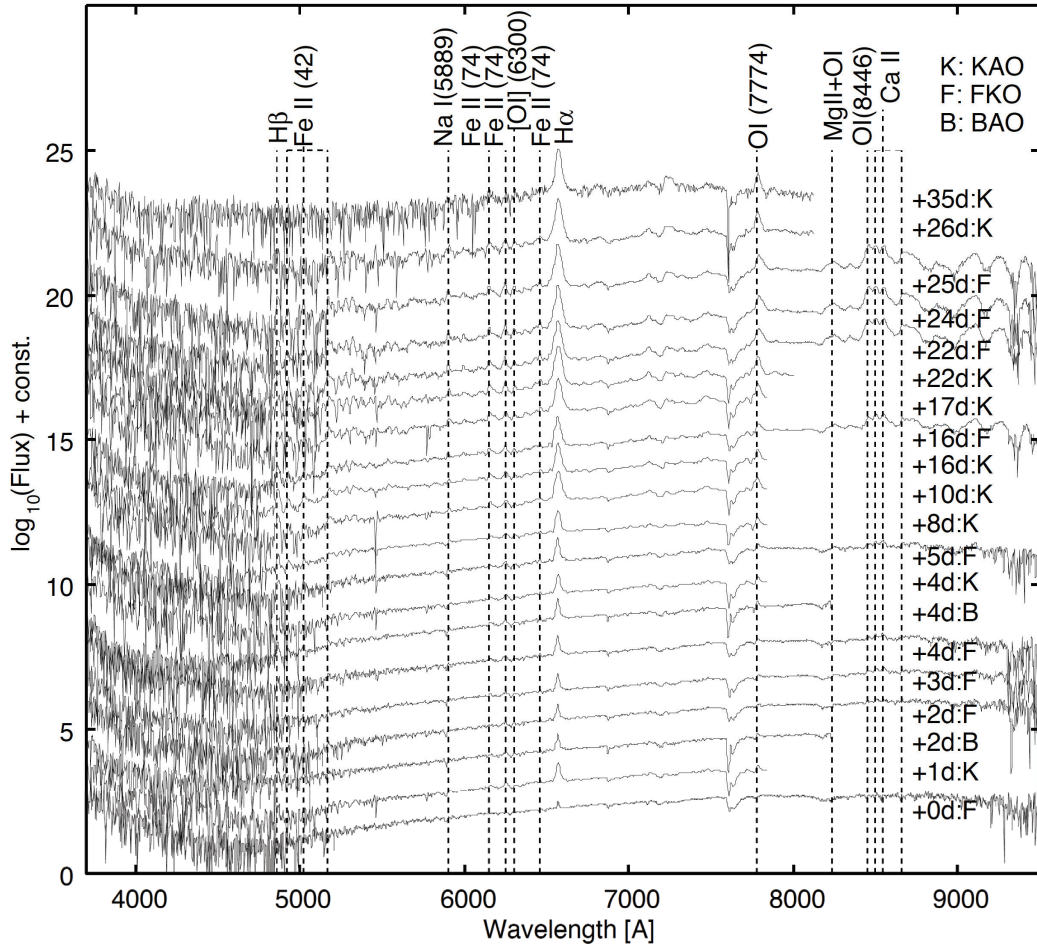


Figure 1: Low-dispersion spectra of V1724 Aql obtained at three sites from 2012 Oct 21 to Nov 25 UT. All spectra are shifted by different offsets for readability. Emission lines were on the highly red continuum. The line width of H α emission became broader and stronger compared with the nearby continuum, and the Ca II triplet emission lines became stronger later. Note that the bluish continuum might overlap with the spectra of the nova in the shorter wavelength region ($\lambda < 4500 \text{ \AA}$), probably due to a foreground (or background) star.

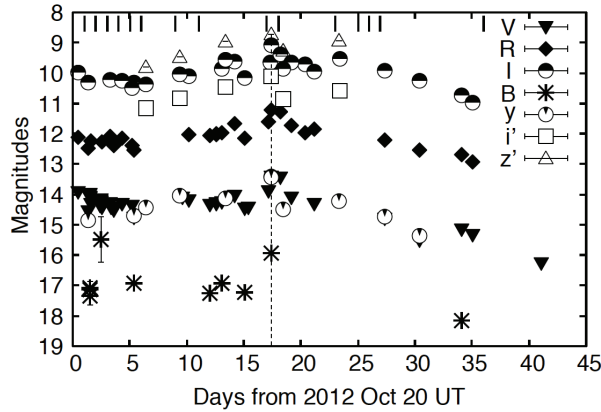


Figure 2: Optical light curves of V1724 Aql obtained at KAO with the multi-band light curves of the nova

taken from AAVSO database. The vertical tick-marks at the top of panel indicate the dates of our spectroscopic observations.

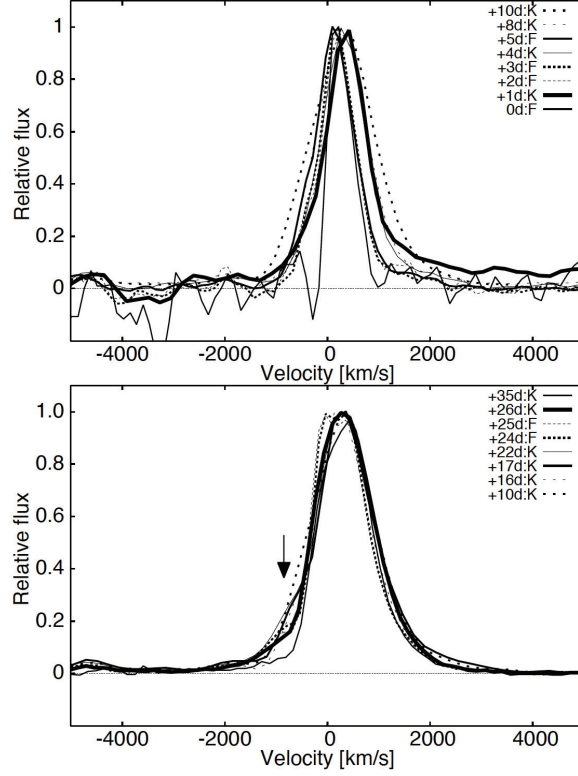


Figure 3: Temporal change of H α emission line before and after the brightness maximum at $t=17$ d after the outburst (upper and lower panels, respectively). The line widths became broader at later dates. The black arrow in the lower panel shows the change in blue-shift component that could have been caused by the change in the velocity structure of the ejected materials.

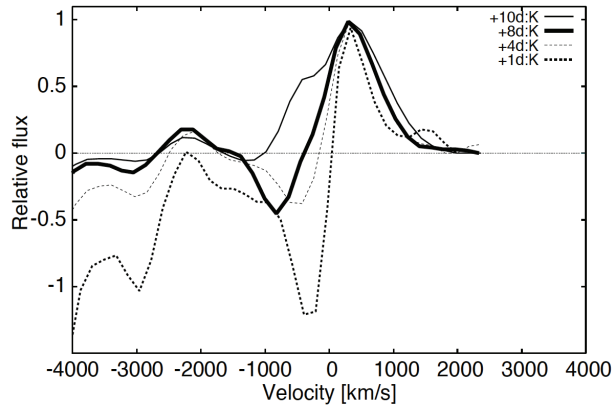


Figure 4: Temporal change of the P Cygni profile for O I (7774 Å at rest) emission line before the brightness maximum. The measured ejection velocities based on the P Cygni profiles were 630 km/s (at $t=2$ d), 640 and 750 km/s (at $t=5$ d), and 1150 km/s (at $t=9$ d).

3. Discussion and Conclusion

From the viewpoint of the spectral evolution, the spectra of V1724 Aql slowly changed during the period of our observations. Emission lines ($H\alpha$, $H\beta$, Fe II, Na I, O I and Ca II) were on the reddened continuum. We estimated $E(B - V)$ based on the measurements of Balmer decrement by the method described in Helton et al. (2010), $E(B - V) \sim 3.1$, which indicated severe interstellar extinction for the nova. This value is slightly higher than that reported by Rudy et al. (2012) but both values indicate severe interstellar reddening. Note that the spectra of the nova showed enhancement in a shorter wave-length region ($\lambda < 4500\text{\AA}$) that appeared similar to a bluish continuum component but was noisier. The nova may be overlapped with another foreground (or background) stellar object that had a high temperatures. Although one may consider that we should estimate $E(B - V)$ based on the $(B - V)$ of the nova around the optical brightness maximum, we had to be careful of the contamination with the B-band brightness of the nova.

The line width of $H\alpha$ emission had clearly increased and became stronger compared with the nearby continuum, and O I and Ca II triplet emission lines grew at later dates. The ejection velocity was ~ 400 km/s based on the P Cygni profile of $H\alpha$ at $t=1$ d after the outburst (Figure 3). It then increased; 630 km/s ($t=2$ d), 640 and 750 km/s ($t=5$ d), and 1150 km/s ($t=9$ d) based on the P Cygni profiles of O I as shown in Figure 4. Finally, the ejection velocity reached ~ 2000 km/s based on the FWZI of $H\alpha$ (Figure 3) after the brightness maximum at $t=17$ d. The ejection velocities were slower during the earlier phase, and faster during later phase. Such temporal changes in ejection velocity in V1724 Aql was similar to those of slow novae, e.g., V1280 Sco (Naito et al. 2012) and V5558 Sgr (Tanaka et al. 2011). V1724 Aql was similar to a slow nova from the viewpoint of spectral evolution.

Based on the light curves shown in Figure 2, nova V1724 Aql showed very slow evolution in brightness after the outburst until its brightness maximum in the V -band ($t=17$ d, $V = 13.6 \pm 0.2$ mag). The visual brightness was almost unchanged (but oscillating with small amplitude) until the brightness maximum since the outburst (14.4 ± 0.4 mag in V -band). The evolution in brightness was slow for V1724 Aql in earlier phase. However, after the brightness maximum ($t=17$ d), its brightness in V -band become fainter with a decline rate of $+0.14$ mag/day (t_2 was 14.3 days). Although this decline rate was indicative of a fast nova rather than a slow nova (Payne-Gaposchkin 1957), the light curves after the brightness maximum might be affected by dust formation as suggested by the molecular formation observed by Rudy et al. (2012).

Rudy et al. (2012) reported the detection of CO molecular emission in the near-infrared spectra taken on 2012 Oct 27 and 28 UT (before the brightness maximum), indicating that molecule formation was ongoing, with dust formation likely to follow. Nova V1724 Aql was probably a slow nova that showed CO emission during the pre-maximum halt (at least, before the maximum). However, there were no hints for C2 and CN absorption bands in optical spectra of the nova (c.f.

V2676 Oph, Nagashima et al. 2014). Those molecular absorption bands were expected to appear during several days (as in the cases of V2676 Oph and DQ Her). Our spectroscopic observations were performed frequently enough to detect them if a considerable amount of molecules formed in the outflow of the nova. We propose the hypothesis that the ejecta of V1724 Aql was oxygen-rich and the atomic carbon might not be over-abundant with respect to the atomic oxygen ($C < O$) in the ejecta. As demonstrated by the model calculations (Pontefract & Rawlings 2004), formation of C2 (and also CN) is more difficult than CO in an oxygen-rich atmosphere. V1724 Aql might have oxygen-rich ejecta. The spectroscopic observations of V1724 Aql in the nebular phase (if reported in the future) will be helpful to test this hypothesis.

References

- [1] Ayani, K. 2012, Electronic Telegram No. 3273, Central Bureau for Astronomical Telegrams, International Astronomical Union (ed., Green, D.).
- [2] Fujii, M. 2012, Electronic Telegram No. 3273, Central Bureau for Astronomical Telegrams, International Astronomical Union (ed., Green, D.).
- [3] Helton, L.A., Woodward, C.E., Walter, F.M., Vanlandingham, K., Schwarz, G.J., Evans, A., Ness, J.-U., Geballe, T.R., Gehrz, R.D., Greenhouse, M., Krautter, J., Liller, W., Lynch, D.K., Rudy, R.J., Shore, S.N., Starrfield, S., & Truran, J. 2010, *AJ*, 140, 1347.
- [4] Munari, U. 2012, Electronic Telegram No. 3273, Central Bureau for Astronomical Telegrams, International Astronomical Union (ed., Green, D.).
- [5] Nagashima, M., Arai, A., Kajikawa, T., Kawakita, H., Ktao, E., Arasaki, T., Taguchi, G., & Ikeda, Y. 2014, *ApJL*, 780, L26.
- [6] Naito, H., Mizoguchi, S., Arai, A., Tajitsu, A., Narusawa, S., Yamanaka, M., Fujii, M., Iijima, T., Kinugasa, K., Kurita, M., Nagayama, T., Yamaoka, H., & Sadakane, K. 2012, *A&A*, 543, 86.
- [7] Nakagawa, S., Noguchi, R., Iino, E., Ogura, K., Matsumoto, K., Arai, A., Isogai, M., & Uemura, M. 2013, *Publ. of Astron. Soc. Japan*, 65, 7.
- [8] Nishiyama & Kabashima 2012, Electronic Telegram No. 3273, Central Bureau for Astronomical Telegrams, International Astronomical Union (ed., Green, D.).
- [9] Payne-Gaposchkin, C. 1957, *The Galactic Novae*. Amsterdam:North-Holland.
- [10] Pontefract, M., & Rawlings, J.M.C. 2004, *MNRAS*, 347, 1294.
- [11] Rudy, R.J., Laag, E.A., Crawford, K.B., Russell, R.W., Puetter, R.C., & Perry, R.B. 2012, Electronic Telegram No. 3287, Central Bureau for Astronomical Telegrams, International Astronomical Union (ed., Green, D.).
- [12] Shinnaka, Y., Kawakita, H., Kobayashi, H., Naka, C., Arai, A., Arasaki, T., Kitao, E., Taguchi, G., & Ikeda, Y. 2013, *Icarus*, 222, 734.

- [13] Tanaka, J., Nogami, D., Fujii, M., Ayani, K., Kato, T., Maehara, H., Kiyota, S., & Nakajima, K.
2011, Publ. of Astron. Soc. of Japan, 63, 911.
- [14] Williams, R. E. 1992, AJ, 104, 725.

タイトル： Line Evolution of the Nova V5587 Sgr from Early to Nebular Phase

担当：梶川智代（京都産業大学大学院理学研究科・博士前期課程・2013年度修了）、新井彰（京都産業大学神山天文台・研究員／兵庫県立大学・西はりま天文台・研究員）、長島雅佳（京都産業大学大学院理学研究科・博士前期課程・2013年度修了）、河北秀世（京都産業大学神山天文台・天文台長）、

関連出版：

無し

関連学会発表等：

T. Kajikawa, et al., “Line Evolution of the Nova V5587 Sgr from Early to Nebular Phase” (oral), in *The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects II*, Palermo (Italy) 9 – 14 September 2013.

Line Evolution of the Nova V5587 Sgr from Early to Nebular Phase

T. Kajikawa¹, A. Arai^{1,2}, M. Nagashima¹, H. Kawakita¹,
M. Yamanaka^{3,4,5}, K. Kawabata³, S. Kiyota⁶

¹*Kyoto Sangyo University, Koyama Astronomical Observatory*

²*University of Hyogo, Nishi-Harima Astronomical Observatory*

³*Hiroshima University*

⁴*Kyoto University*

⁵*Konan University*

⁶*VSOLJ*

Abstract

The spectral evolution of the nova V5587 Sgr has been monitored at Koyama Astronomical Observatory and Higashi-Hiroshima Observatory, Japan, from the early to nebular phase. The nova rebrightened several times. The spectra during the early phase showed emission lines of H α , H β , O I, He I, He II, N II, Fe II. Nova V5587 Sgr is classified into the Fe II type. The helium abundance of the nova is estimated as $N(\text{He})/N(\text{H}) = 0.134 \pm 0.09$. The light curve, the spectral evolution, and the helium abundance in V5587 Sgr are similar to those of the nova PW Vul.

1. Introduction

Photometric observations of novae are usually performed by many observers worldwide. The light curves of the novae have been revealed in detail, and they can be classified into several classes (Strope et al. 2010). In contrast, spectroscopic observations of novae are not performed as frequently as photometric observations because (i) the number of available spectrographs (and observers) are limited; (ii) some fraction of novae are too faint to observe by spectrographs in their later phase (or even at the maximum for some novae). As novae show a variety of spectral evolutions, spectroscopic monitoring can provide new insights into the physics and chemistry of novae. For example, recently Nagashima et al. (2014) detected molecular absorption bands of C₂ and CN in nova V2676 Oph (this is the first detection of C₂ in novae and the second for CN). This detection was performed as a part of long-term spectroscopic observations of this nova.

The light curves of novae in some classes (Strope et al. 2010) can be successfully reproduced by models (Hachisu & Kato (2014) and references therein). However, the light curves in the “Jitter” and “Oscillation” classes (Strope et al. 2010) could not be reproduced well by the models. In this paper, we focus on the “Jitter” class and introduce our recent spectroscopic observations of V5587 Sgr classified in this class.

We discuss the nature of this nova as it is likely that there are different types of oscillations (i.e., different physical conditions) of novae in the “Jitter” class. Different types of novae might be mixed together in this class. Even though there are high quality photometric and spectroscopic observations for some Jitter class novae, the mechanism for their rebrightening is still unclear (Tanaka et al. 2011).

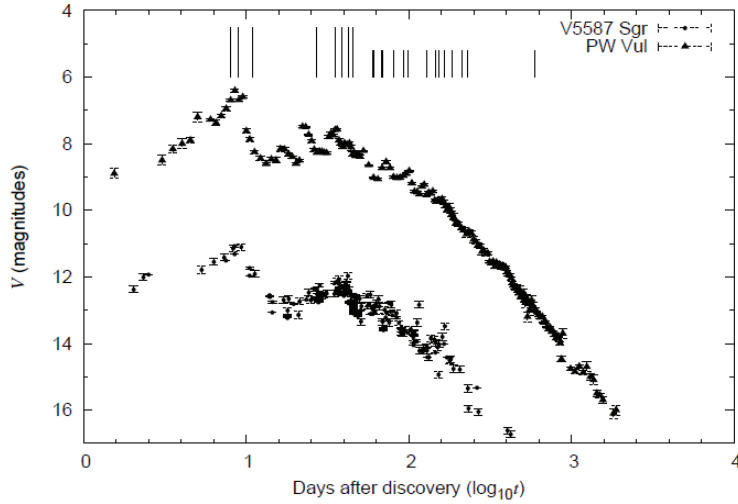


Figure 1: V band magnitudes of V5587 Sgr and PW Vul. The light curve of V5587 Sgr is from Higashi-Hiroshima Observatory, VSNET, and AAVSO observations. The light curve of PW Vul is referred to the online data of Strope et al. (2010). The vertical tick marks at the top of panel show the dates of spectroscopic observations. The longer tick marks indicate that the spectra on those dates are also shown in Figure 3.

By frequent spectroscopic observations, we can observe phenomena useful to reveal the physics of the nova. In order to investigate the mechanism for the rebrightening in the “Jitter” class novae, we have conducted spectroscopic observations of V5587 Sgr in 2011 - 2012. The nova V5587 Sgr (= Nova Sgr 2011 No.1) was discovered on UT 2011 January 25.86 by Nishimura (Nakano et al. 2011). The first low-resolution spectrum was obtained on UT 2011 January 28 at Koyama Astronomical Observatory. The spectrum shows prominent emission lines of $H\alpha$, $H\beta$ and $O\ I$. These features suggest that this object is a classical nova (Arai 2011; Imamura 2011).

2. Observations

Our photometric and spectroscopic observations were performed at two sites. One site is Koyama Astronomical Observatory (Kyoto Sangyo University, Kyoto, Japan). We used the 1.3m Araki telescope with the LOSA/F2 spectrograph (Arai et al., in prep.) for

low-resolution spectroscopy. The wavelength coverage is 400 - 800 nm and the spectral resolving power is $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 580$ at 600 nm. The other site is Higashi-Hiroshima Observatory (Hiroshima University, Hiroshima, Japan). We used the 1.5m Kanata telescope with TRISPEC (Triple Range Imager and SPECTrograph with polarimeter, shutdown in 2012) for photometry and with HOWPol (Hiroshima Oneshot Wide-field Polarimeter) for spectroscopy. Its wavelength coverage is 400 - 1000 nm, and spectral resolving power is $R \sim 400$ at 600 nm.

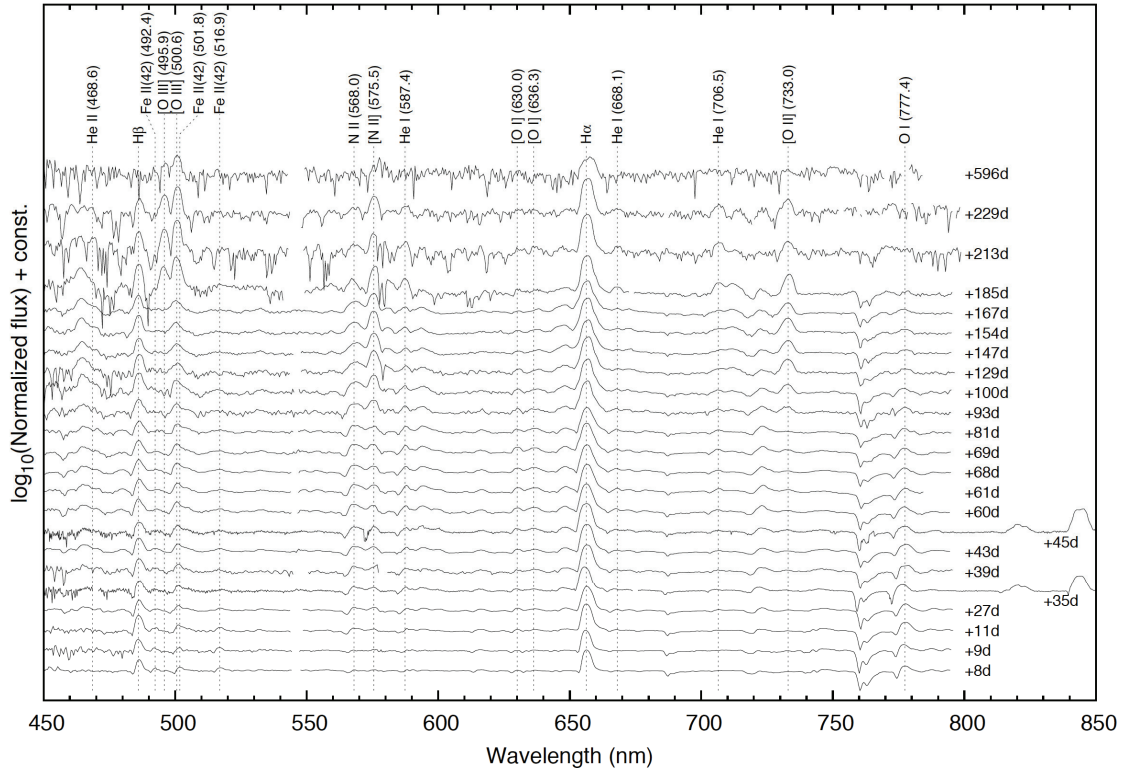


Figure 2: The normalized spectra of V5587 Sgr observed from +8d (= UT 2011 February 2) to +596d (= UT 2012 September 12) after the discovery. These spectra were obtained at Koyama Astronomical Observatory except for the data on +35d and +45d (= UT 2001 March 3 and 12) taken at Higashi-Hiroshima Observatory.

3. Results

Figure 1 shows the light curves of V5587 Sgr. Since V5587 Sgr showed an erratic variation in the light curve, we consider that the nova is classified in the “Jitter” class. Particularly, V5587 Sgr seems to be a member of the sub-class prototyped by PW Vul as shown in Strope et al. (2010). Based on the light curves, we determined the date of the visual maximum as 9 days after discovery and also determined $t_2 = 12$ days and $t_3 = 108$ days. From $(B - V)$ at maximum magnitude and at t_2 , we estimate the color

excess by interstellar extinction; $E(B - V) = 0.85 - 1.26$.

The light curve of V5587 Sgr is quite similar to that of the “Jitter” class nova PW Vul as shown in Figure 1 (Schwarz et al. 1997, and references therein). PW Vul was discovered on 1984 July 27 (= JD 2445917) by Wakuda (Kosai 1984). This nova reached its maximum light of 6.3 magnitude in the V band on 1984 August 4th. We compare V5587 Sgr with PW Vul from various viewpoints in the next section.

Figure 2 shows the growth of $H\alpha$, $H\beta$, He I, He II, N II, [N II], O I, [O I], [O II], and Fe II emission lines of V5587 Sgr. Novae that exhibit rebrightening in the early phase often show the regrowth of a P-Cygni profile (Tanaka et al. 2011, Csak et al. 2005) as in V4745 Sgr. However, we couldn't find such behavior in V5587 Sgr based on our low-resolution spectra of V5587 Sgr (Figure 3).

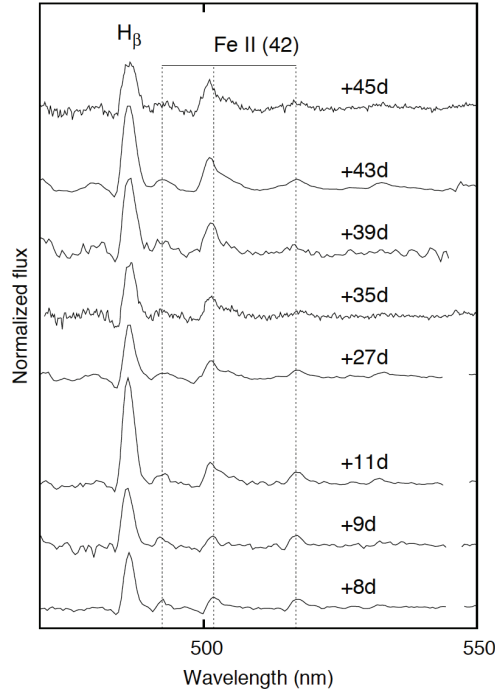


Figure 3: The spectra of V5587 Sgr in its early phase. The nova never showed any regrowth of a P-Cygni profile in our low-resolution spectra.

It is considered that the nova entered the nebular phase between +167d and +185d because the [OIII] forbidden emission lines dominated the $H\beta$ emission at that time (Figure 2). We estimate the helium abundance of the ejecta based on our nebosity spectra on June 28 (+154d), July 11 (+167d), August 26 (+213d) and September 11 (+229d) because emission lines of both He I and He II were recognized in the spectra on those dates. We assume the same electron density as that in the nebular phase ($n_e =$

$10^6 - 10^8 \text{ cm}^3$) and derived the helium abundance according to Iijima & Esenoglu (2003) and Iijima (2006) as follows; $M(\text{He})/M(\text{H}) = 0.134 \pm 0.09$ (for $n_e = 10^6 \text{ cm}^{-3}$) and $M(\text{He})/M(\text{H}) = 0.139 \pm 0.09$ (for $n_e = 10^8 \text{ cm}^{-3}$).

4. Discussion & Conclusion

The decline rates, amplitudes, and intervals of rebrightening observed in V5587 Sgr are similar to those of PW Vul. This fact suggests that the WD mass and physical parameters related to the explosion of V5587 Sgr would be similar to those of PW Vul. Comparison between the spectra of V5587 Sgr and PW Vul also leads us to the same conclusion, namely, they are similar to each other, e.g., the latephase spectra of V5587 Sgr (shown in Figure 4 that is compared with Figure 2 in Rosino and Iijima 1987). Figure 5 shows the relationship between helium abundance and t_3 in 20 various novae. Helium abundance of V5587 Sgr seems to be similar to that of PW Vul. This figure indicates that helium abundance is not correlated with t_3 .

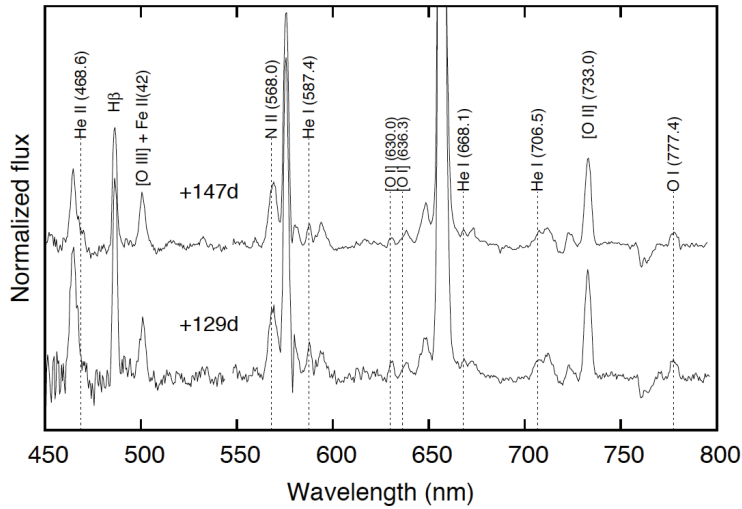


Figure 4: The spectra of V5587 Sgr in late phase (+129 days and +147 days after its maximum).

In summary, we have performed photometric and low-resolution spectroscopic observations of V5587 Sgr from the early to nebular phase. The photometry showed erratic variations of the light curve. The spectra during the early phase showed emission lines of $\text{H}\alpha$, $\text{H}\beta$, and Fe II (i.e., Fe II type) and no prominent regrowth of a P-Cygni profile was observed during the rebrightening phase in V5587 Sgr. The nova entered the nebular phase between 167d and 185d. We estimated that the helium abundance of V5587 Sgr was $M(\text{He})/M(\text{H}) = 0.134 \pm 0.09$. The nova was very similar to

PW Vul considering decline rates, spectral features, and helium abundance. We obtained a new sample of the “Jitter” class novae.

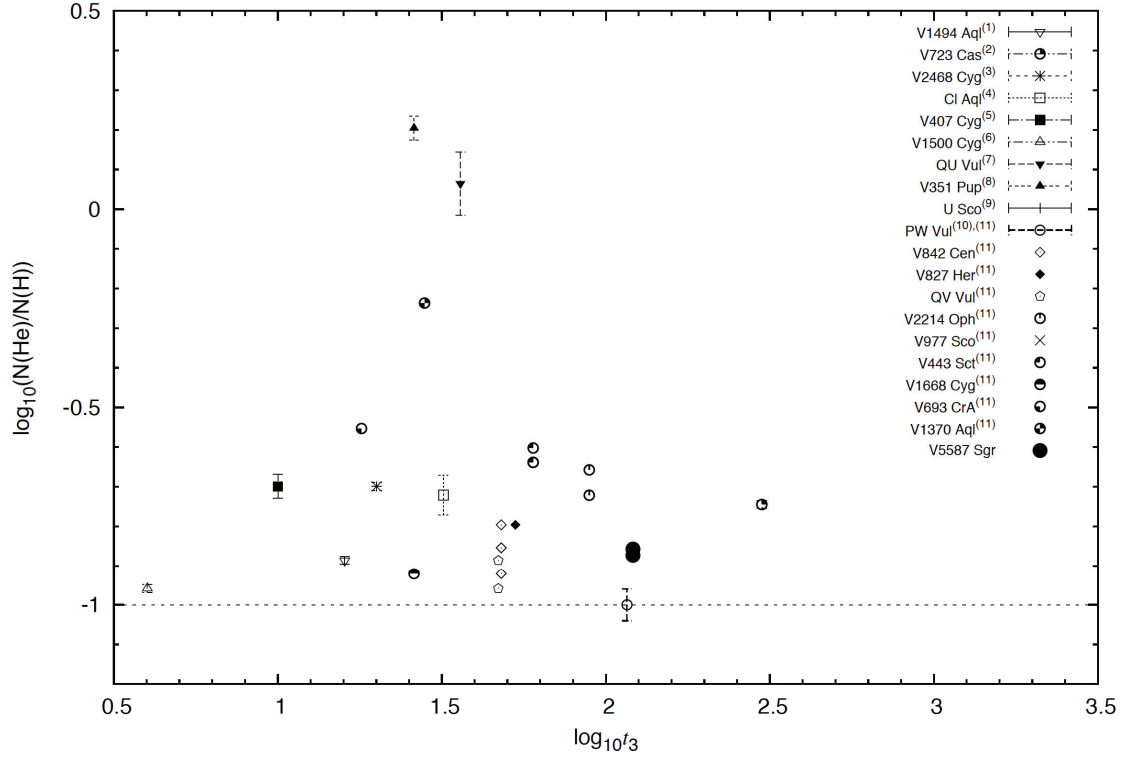


Figure 5: The helium abundances of 20 novae. References: (1) Iijima & Esenoglu (2003); (2) Iijima (2006); (3) Iijima & Naito (2011); (4) Iijima (2012a); (5) Iijima (2012b); (6) Ferland (1978); (7) Schwarz (2002); (8) Saizar (1996); (9) Iijima (2002); (10) Schwarz et al. (1997); (11) Andreä et al. (1994).

References

- [1] Andreä, J., Drechsel, H., Starrfield, S.: 1994, *A&A* 291, 869.
- [2] Arai, A.: 2011, *IAUC* 9196, 2.
- [3] Chochol, D., et al.: 2012, *MmSAI* 83, 767.
- [4] Ferland, G.J.: 1978, *ApJ* 219, 589.
- [5] Hachisu, I, Kato, M.: 2014, *ApJ*, 785, 97.
- [6] Iijima, T.: 2002, *A&A* 387,1013.
- [7] Iijima, T., Esenoglu, H.H.: 2003, *A&A* 404, 997.
- [8] Iijima, T.: 2006, *A&A* 451, 563.
- [9] Iijima, T., Naito, H.: 2011, *A&A* 526A, 73.
- [10] Iijima, T.: 2012a, *MmSAI* 83, 835.
- [11] Iijima, T.: 2012b, *A&A* 544A, 26.

- [12] Imamura, K.: 2011, IAUC 9196, 2.
- [13] Nagashima, M., Arai, A., Kajikawa, T., Kawakita, H., Ktao, E., Arasaki, T., Taguchi, G., & Ikeda, Y. 2014, ApJL, 780, L26.
- [14] Nakano, S., Nishimura, H., Kiyota, S., Yusa, T.: 2011, IAUC 9196, 1.
- [15] Rosino, L., Iijima, T.: 1987, Ap&SS 130, 157.
- [16] Saizar, P., et al.: 1991, ApJ 367,310.
- [17] Saizar, P., et al.: 1996, MNRAS 279, 280.
- [18] Schwarz, G.J., et al.: 1997, MNRAS 290, 75.
- [19] Schwarz, G.J.: 2002, ApJ 577, 940.
- [20] Strobe, R.J., Schaefer, B.E., Henden, A.A.: 2010, AJ 140, 34.
- [21] Tanaka, J., et al.: 2011, PASJ 63, 159.
- [22] Tanaka, J., et al.: 2011, PASJ 63, 911.

研究成果・関連論文リスト

論文リスト

- [1] F. Fujishiro, et al., “CRAO: a compact and refractive adaptive-optics”, SPIE, 2014.
- [2] A. Nakamichi & M. Morikawa, “Fate of inflation and the natural reduction of vacuum energy”, to appear in proceedings of *International Conference on New Frontiers in Physics*, European Physical Journal Web of Conferences, vol. 71 (2014).
- [3] M. Nagashima, et al. (2014), “The Transient Molecular Envelope in the Outflow of the Nova V2676 Oph during its early phase”, *Astrophysical Journal Letters*, 780, L26.
- [4] H. Kawakita, et al. (2014), “Extremely Organic-rich Coma of Comet C/2010 G2 (HILL) during its Outburst in 2012”, *Astrophysical Journal*, 788, 110.
- [5] Y. Shinnaka, et al. (2014), “ $^{14}\text{NH}_2/^{15}\text{NH}_2$ Ratio in Comet C/2012 S1 (ISON) Observed during its Outburst in 2013 November”, *Astrophysical Journal Letters*, 782, 16.

関連学会発表等

- [1] N. Fujishiro, et al., “CRAO: a compact and refractive adaptive-optics”, SPIE, 2014.
- [2] A. Nakamichi, M. Morikawa, “Fate of inflation and the natural reduction of vacuum energy”, “International Conference on New Frontiers in Physics 2013, Crete, Greece”
2013年9月
- [3] 中道 晶香 (京産大・神山天文台)、森川 雅博 (お茶大・理)、「スカラ場場の崩壊とインフレーション」日本天文学会 2013年秋季年会@東北大学 2013年9月
- [4] 中道 晶香 (京産大・神山天文台)、森川 雅博 (お茶大・理)、「負のポテンシャルと宇宙項微調整問題」日本物理学会 2012年秋季大会@京都産業大学 2012年9月
- [5] 近藤 荘平他 ” WINERED: 神山天文台 1.3m 望遠鏡での初期観測成果”, ”日本天文学会 2013年秋季年会” 2013年9月.
- [6] A. Yonehara, et al., “Microlensing Observation at Kohyama Astronomical Observatory”, “18th International Conference on Gravitational Microlensing”, 2014年1月.
- [7] M. Nagashima, et al., “Detection of Diatomic Molecules in the Dust Forming Nova V2676 Oph” (oral), in *The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects II*, Palermo (Italy) 9 – 14 September 2013.
- [8] H. Kawakita, et al., “Spectroscopic Monitoring Observations of Nova V1724 Aql in 2012” (oral), in *The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects II*, Palermo (Italy) 9 – 14 September 2013.
- [9] T. Kajikawa, et al., “Line Evolution of the Nova V5587 Sgr from Early to Nebular Phase” (oral), in *The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects II*, Palermo (Italy) 9 – 14 September 2013.

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来た。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 25 (2013) 年度の活動について、以下のとおり記す。

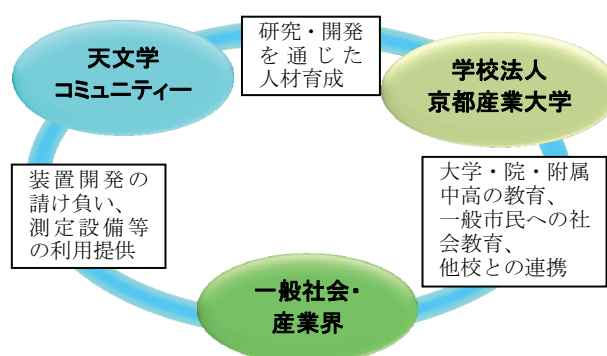


図 1 神山天文台の役割

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、神山天文台研究員や専門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。その成果の多くはマスメディア等に取り上げられており、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、全学部対象の共通教育科目として長らく「宇宙観 A / B」が開講され、文系・理系を問わず、天文に興味を持つ多くの学生が履修している（注：「宇宙観 A / B」は平成 25（2013）年度を最後に廃講）。ここでは授業中に話題となる様々な天体の姿を神山天文台の荒木望遠鏡（大型望遠鏡）により、自らの目で確認することにより、学習効果をあげることを狙っている。また、学生、教職員を対象とした天体観望会や 3D 映像の上映会「宇宙への旅」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っているものの、昨今の宇宙・天文ブームを反映し、これまでも金環日食、金星の太陽面通過等についてイベントを実施している。その中で、こうした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 分～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 数校の参加ではあるが、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、中学生を中心に普段の学校の授業では、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。

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、神山天文台専門員と学生の補助員が協力して無料の一般公開を行っている。昼間は施設見学、夜間は口径 1.3m の荒木望遠鏡(図 2・図 3 参照)での天体観望会、悪天候時は 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 名程度の方々が天体観望会に訪れる。

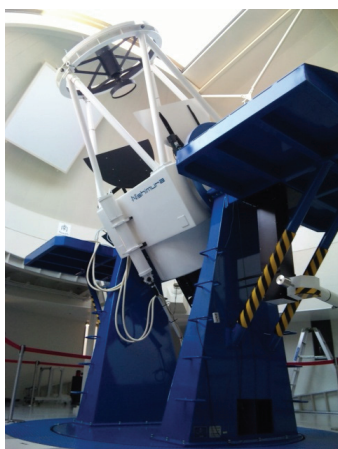


図 2 荒木望遠鏡



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 25（2013）年度までの 4 年間で、18,000 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。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。

（2）天文学入門講座

天文学入門講座は、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）で実施し、高校生以上を対象として、土曜日の午後の時間帯で年間 10 回～15 回程度実施している。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～30 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入門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、天文学入門講座のうち、季節ごとに年 4 回は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 4 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 4 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年に誕生した。(図5参照)

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。

今後、当天文台の発行物への掲載等、社会貢献活動で広く活用していく予定である。



図5 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、神山天文台補助員（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小型望遠鏡の操作、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。補助員は学生アルバイトという位置付けではあるが、一定の専門知識を要するため、面接等により選抜を行っている。面接では、実際に星空解説などを行ってもらうなどして、天体に関する基礎知識などを確認し、一定の基準に達している場合は、補助員として登録することができる。

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、「補助員養成講座」（年3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、「神山天文台観望会天体解説補助員資格証」を授与している。この資格証が授与されれば、次年度の補助員として優先的に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も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を立ち上げている。このボランティアチームには 36 名 (2014 年 3 月現在) の学生が参加し、神山天文台専門員の指導の下、自分たちで企画した天体観望会 (年 2 回程度) や、地域の子供たちを中心に大学を開放し様々なイベントを開催するサタデージャンボリー、学園祭である神山祭などの行事を通じて、社会教育活動を実践している。このように補助員やボランティアとしての経験が、学生のコミュニケーション能力を高め、積極的に行動できる人材への成長に結びつくものと確信する。

平成22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	近赤外線での“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	宇宙の蟹気楼	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28日	15:00～16:30	虹のひみつ	中道 晶香 神山天文台専門員
5	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
* 6	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
7	9月29日 (特別編)	15:00～16:30	天文観測装置の最先端 ～近赤外線高分散分光器の開発～	近藤 荘平 神山天文台特定研究員
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
9	11月10日	15:00～16:30	恒星	中道 晶香 神山天文台専門員
10	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
11	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
12	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
13	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
14	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
15	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6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
5	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
6	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
7	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
8	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
9	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
10	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

神山天文台 各種イベント等来場者数

公開区分	平成22年度 来場者	平成23年度 来場者	平成24年度 来場者	平成25年度 来場者
一般公開(施設見学、天体観望会、3D映像上映会)	2060	1762	1719	1384
天文台講座(神山天文台主催)	120	188	/	/
天文学入門講座(神山天文台主催)	/	260	303	347
七夕講演会(日本天文学会、日本天文教育普及研究会との共催)	77	33	36	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	/	/
天文体験学習講座(近隣小・中・高対象)	484	393	407	204
オープンキャンパス(神山天文台イベント)	960	787	592	510
サタデージャンボリー(地域貢献イベント)	547	466	213	316
京都産業大学DAY(神山天文台イベント)	116	156	224	179
学内公開(本学学生、教職員向け天体観望会)	190	417	115	188
学園祭参画イベント(神山天文台見学ツアー)	232	557	284	534
その他(卒業式等特別公開他)	185	65	162	137
計	5048	5114	4055	3863

神山天文台 平成22年度～平成25年度 一般公開来場者数 統計

平成22年度(2010年) 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(2011年) 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	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(2012年) 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	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7日		曇り時々晴れ	○	10	0	2	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	2	16
4月21日		曇り	×	0	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(X'mas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	4	8	0	9	4	5	40	0	58	
2月計				4	39	49	45	6	21	13	13	85	7	139
3月2日	天文学入門講座特別編第4回・研究成果報告会	雪	×	18	1	21	2	4	3	7	20	8	42	
3月9日	天文学入門講座	晴れ	○	17	2	12	7	5	1	3	21	8	38	
3月16日		晴れ	○	14	1	2	1	4	0	5	10	0	19	
3月23日	卒業式特別開館	曇り時々晴れ	○	21	5	11	8	8	2	10	21	4	45	
3月30日		曇り時々晴れ	○	7	0	9	0	1	1	9	4	1	16	
3月計				4	77	9	55	18	22	7	34	76	21	160
合計				27	730	134	428	87	225	57	158	711	229	1,380

平成25年度(2013) 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 圏 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	0	11	19	12	42
4月27日		晴れ時々曇り	○	30	3	10	4	11	2	7	26	1	47
4月 計			2	68	8	21	5	14	2	19	54	13	102
5月11日		雨のち曇り	×	3	0	1	0	1	0	0	3	0	4
5月18日	天文学入門講座	晴れのち曇り	○	23	2	9	2	1	0	13	15	7	36
5月25日		曇り時々晴れ	○	13	0	3	0	5	1	0	10	0	16
5月 計			2	39	2	13	2	7	1	13	28	7	56
6月1日		曇り	×	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6月8日	天文学入門講座特別編	曇り時々晴れ	○	44	2	12	2	4	0	16	33	8	61
6月 計			1	44	2	12	2	4	0	16	33	8	61
7月20日		晴れ	○	32	1	14	1	16	0	0	31	1	48
7月27日	天文学入門講座	曇り時々晴れ	○	49	5	7	7	14	4	7	34	9	68
7月 計			2	81	6	21	8	30	4	7	65	10	116
8月3日		晴れ時々曇り	○	52	0	15	5	23	2	5	36	6	72
8月24日		曇り時々雨	×	14	0	0	0	7	0	0	7	0	14
8月 計			1	66	0	15	5	30	2	5	43	6	86
9月7日		雨	×	7	0	0	3	4	0	0	6	0	10
9月14日		曇り	×	4	0	2	0	0	1	2	3	0	6
9月21日		晴れ	○	32	0	11	2	12	1	3	27	2	45
9月28日	天文学入門講座特別編	晴れ	○	41	7	20	2	3	0	9	47	11	70
9月 計			2	84	7	33	7	19	2	14	83	13	131
10月5日		曇り	×	6	0	5	2	0	0	4	7	2	13
10月12日		晴れのち曇り	○	40	2	7	3	10	0	10	28	4	52
10月19日	天文学入門講座	曇り時々雨	×	16	1	14	1	1	2	1	18	10	32
10月26日		雨のち晴れ	○	4	0	3	0	1	2	0	4	0	7
10月 計			2	66	3	29	6	12	4	15	57	16	104
11月9日	天文学入門講座	曇りのち晴れ	○	35	3	16	2	8	2	5	34	8	57
11月30日	アイソシ彗星講演会	晴れ	○	64	4	13	3	19	2	7	48	8	84
11月 計			2	99	7	29	5	27	4	12	82	16	141
12月7日	天文学入門講座特別編	雨	×	17	0	16	0	1	2	4	19	7	33
12月14日		曇り時々晴れ	○	7	3	2	11	1	0	0	20	2	23
12月21日	天文学入門講座(Xmas特別企画)	曇りのち雨	×	20	0	12	7	4	0	6	22	8	40
12月 計			1	44	3	30	18	6	2	10	61	17	96
1月 計			-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2月 計			-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3月22日		曇れ	○	10	20	6	2	8	4	2	16	8	38
3月29日	天文学入門講座特別編	曇り	×	22	3	11	6	2	2	12	19	7	42
3月 計			1	32	23	17	8	10	6	14	35	15	80
			16	623	61	220	66	159	27	125	541	121	973

神山天文台 新聞等記事掲載一覧

年度	N.º	日付	新聞名	朝刊or夕刊	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	
	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	カクシ	朝刊	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!	
	2010年度	17	2010.6.1	THE JUNIOR TIMES			星の集まりの謎を解き明かす 京都産業大学神山天文台専門員
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)	朝刊	6	天文台＆プラネタリウムで「星空の旅」へ出かけよう	
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「彗星(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			西山さんと稲島さん、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	京阪ニュース 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	
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	
2011年度		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ジャーニーへ!
	34	2011.2.26	リビング京都中央		7	子ど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	最新の天体研究語る	
	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	5	京都産業大学神山天文台講座	
	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	天文や七夕テーマ全国同時講演会	
	43	2011.7.2	大学プレスセンター			2011年全国同時七夕講演会「セタの星と天の川〜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	星の美しさにウットリ	
	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・競争がハネに		
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or夕刊	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「宇宙の蜃気楼」
	55	2011.12.11	京都新聞	朝刊	25	宇宙の蜃気楼広がる夢
	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	ベツレヘムの星 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			119億光年先の超新星の跡発見
	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	ハートレイ慧星ガス分析に成功
	66	2012.8.30	マイナビニュース			京産大・神山天文台、NASAの「EPOMI慧星探査計画」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			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	京都新聞	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	TOKK10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製作製
	85	2013.11.2	京都新聞	夕刊	9	「大学ツアー」人気上昇
	86	2013.11.8	修学旅行リポートinカイトフック「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	アイソソン慧星の成分分析
	88	2013.11.24	日本経済新聞	朝刊	19	初期の太陽系、慧星に痕跡
	89	2013.11.27	京都新聞	朝刊	23	アイソソン慧星 催し多数
	90	2013.12.1	産経新聞	朝刊	22	アイソソン慧星 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	慧星の動向 見通す難しさ
2013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	アイソソン慧星にアンモニア 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	アイソソン慧星崩壊前の観測 太陽系の謎解くヒントに
	97	2014.2.20	Astro Arts 天文ニュース			アイソソン慧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			すばる望遠鏡、アイソソン慧星から単独慧星では初となる「15MHz」を検出
	99	2014.2.28	読売新聞	朝刊	32	工作や実験 子供と交流 学生らアドハイス
	100	2014.3.27	読売新聞	朝刊	34	新星現象 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

平成 25 年度神山天文台
研究成果報告書

平成 26 年 12 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

 Keep Innovating.
京都産業大学

