

*annual report 2014*

2014 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 (その2) .....	3
・ インフレーション宇宙モデル ～自然なモデルの構築～ .....	18
・ 新星における元素合成と太陽系起源物質 .....	28
研究成果・関連論文リスト .....	41
神山天文台の普及教育活動	
1. はじめに .....	47
2. 大学としての教育活動 .....	47
3. 学内公開 .....	48
4. 近隣学校等への天文体験学習講座 .....	49
5. 他機関との連携事業 .....	49
6. 一般の方への普及教育活動 .....	49
施設見学と天体観望会	
天文学講座	
神山天文台マスコットキャラクター「ほしみ～るちゃん®」	
7. 公開事業を通じた学生の育成 .....	52



## 巻頭言

京都産業大学神山天文台は2010年度に設置され、2014年度は設置後5年目にあたります。2014年度には、赤外線波長域における高分散分光学の国内拠点（赤外線高分散ラボ LIH : Laboratory of Infrared High-resolution spectroscopy）を形成するという5年間の研究プロジェクトが文部科学省・私立大学戦略的研究基盤形成支援事業に採択され（神山天文台としては2008－2012年度につづいて2度目の採択）、神山天文台における研究・教育活動に対する外部からの高い評価を裏付ける形となりました。この大型研究プロジェクトに加え、神山天文台では将来にむけた挑戦的な萌芽研究や非常に基本的な技術開発など、様々な研究課題を実施しています。

本報告書は、戦略的研究基盤形成支援事業に採択された研究プロジェクト以外の、挑戦的な萌芽研究および基礎技術開発に関する研究テーマを主として取り上げて紹介していません（戦略的研究基盤形成支援事業に採択された研究プロジェクトの成果報告書は、別途、プロジェクト終了後に取りまとめる予定です）。また、神山天文台における各種の広報普及活動についても、本報告書で取りまとめました。

神山天文台における研究活動については、上述の「赤外線高分散ラボ」をはじめ外部資金を複数の研究テーマで獲得しており、2015年度からはポストドクが総勢7名になって神山天文台における様々な観測・開発研究を展開する予定です。また、教育の面でも、学部から大学院に至るまで様々な学生が神山天文台における研究プロジェクトに参加して研究を行っており、学部・大学院の授業での利用も行われています。2014年度には神山天文台での研究活動をもとにして、3名の方が博士号の学位を取得されました。これは学位取得にふさわしいレベルの研究が神山天文台で実施されているという事を示しており、研究・教育の面で神山天文台は順調に成果を上げつつあると言えるでしょう。

一方、近年の私立大学を取り巻く厳しい環境の中で、大学附帯施設の予算を潤沢に確保することは非常に難しくなっています。現在の環境にけっして甘んじることなく、研究成果に対する費用対効果の最大化という意味からも、より多くの研究成果を上げることが必要です。ポストドク1人あたりの年間出版論文数は最低でも2篇というラインをめざしていますが、現時点ではそのラインに到達していません。天文台長である私のように学部教員を兼ねるスタッフについても（授業や様々な業務を勘案したとしても）、年間1篇を最低限のノルマとして研究に真摯に取り組む必要があるでしょう。そうした自戒の念を込めて、2014年度の成果を取りまとめました。社会貢献や広報普及活動についても、マンネリズムに陥ることなく、常に新たな視点から独自の取組みに挑戦することが必要です。

今後とも、神山天文台の研究・教育・普及活動へのご理解、ご支援をよろしくお願いいたします。

神山天文台長  
河北秀世



# 研究成果報告

## 2014 年度研究成果報告書

タイトル：小型屈折光学系補償光学装置 CRAO の開発（その 2）

担当：藤代尚文、北尾栄二（博士 3 年）、清水智（西村製作所、神山天文台客員研究員）、池田優二（フォトコーディング、神山天文台客員研究員）、大屋真（国立天文台）

関連出版：

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 (その 2) 研究成果報告書

藤代尚文、北尾栄二 (博士 3 年)、清水智 (西村製作所、神山天文台客員研究員)、  
池田優二 (フォトコーディング、神山天文台客員研究員)

### 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 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。

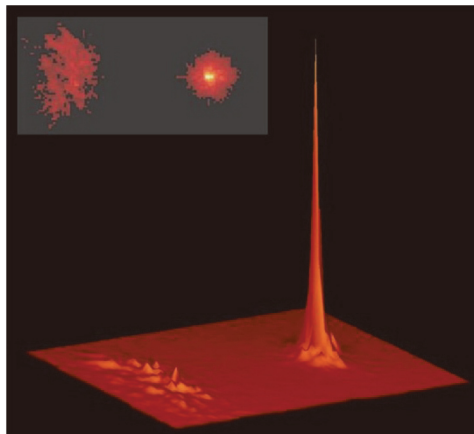


図 1 左:AO 補正前の PSF、右:AO 補正後の PSF

(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、より高解像度の星像を得ることができる。

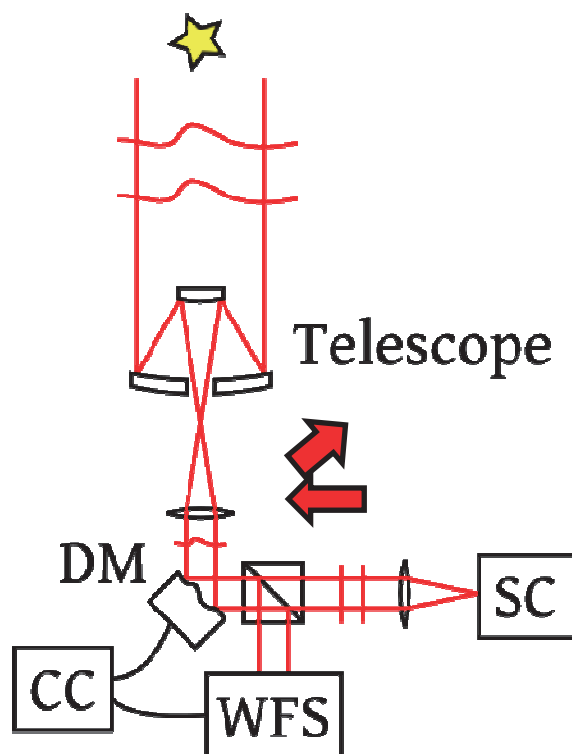


図 2 一般的な AO の構成

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。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。

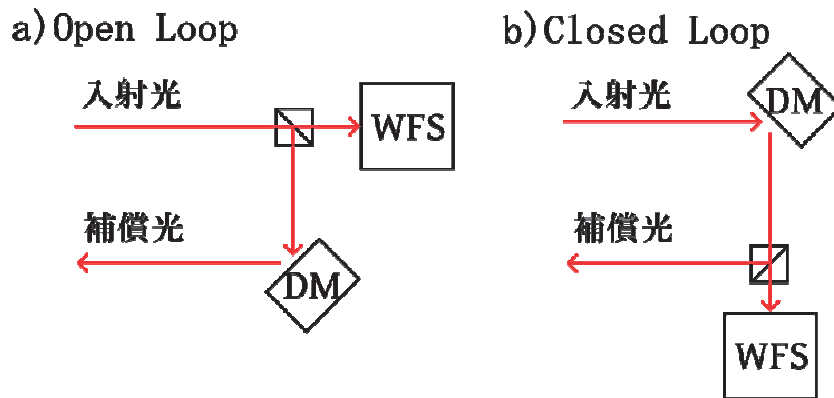


図 3 Open Loop と Closed Loop

### 1.2 小型屈折光学系補償光学装置 CRAO とは

我々は、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 を提案している。本 AO の概念図を図 4 に示す。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 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 Adaptive Optics)を制作し、(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 の実証を行っている。

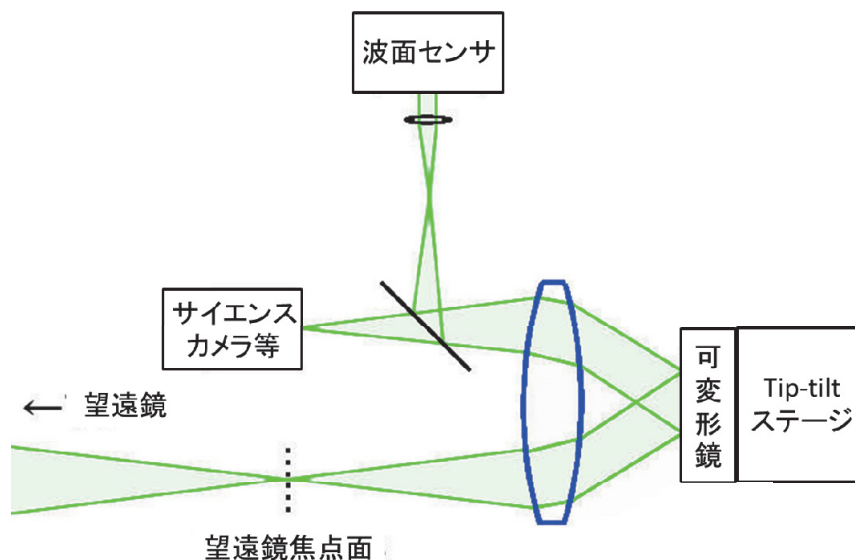


図 4 ダブルパス屈折光学系を採用した AO の概念図

CRAO の開発においては、事前に選定していたシャックハルトマン式 WFS とメンブレン式 DM (Adaptica 社 Saturn) を利用した、200Hz 動作の閉ループ単一共役系 AO モデルでは、コロモゴロフ乱流理論にもとづく理論計算から、シーイングサイズを 2.5" (神山天文台サイトの典型値) から 0.6" (ハワイ・マウナケア山頂の典型値) へ改善できることが示されていた。これをもとに CRAO の仕様を表 1 の通り決定し、実機の制作を行った。

表 1 CRAO の基本仕様

波長範囲:	400-700nm
視野:	φ 30"
限界等級:	V=6mag
補償能力:	RMS波面誤差 1350nm→450nm (シーイング 2".5→0".6)
設置面積:	180mm×180mm

本開発の中核要素であるダブルパス屈折光学系については、400-700nm の波長帯域と 0-30°C の温度範囲において、2 回通過時の視野 30 秒角内の波面収差が 30nm 未満となり、かつ像面において 2 回反射ゴースト像が焦点を結ばないように設計したアクロマティックトリプレットレンズを制作した。また、本レンズを使用した光学系に合わせてオプトメカニクスを制作した。前年度までに完成した、メンブレン式 DM を使用した CRAO の外観を図 5 に示す。

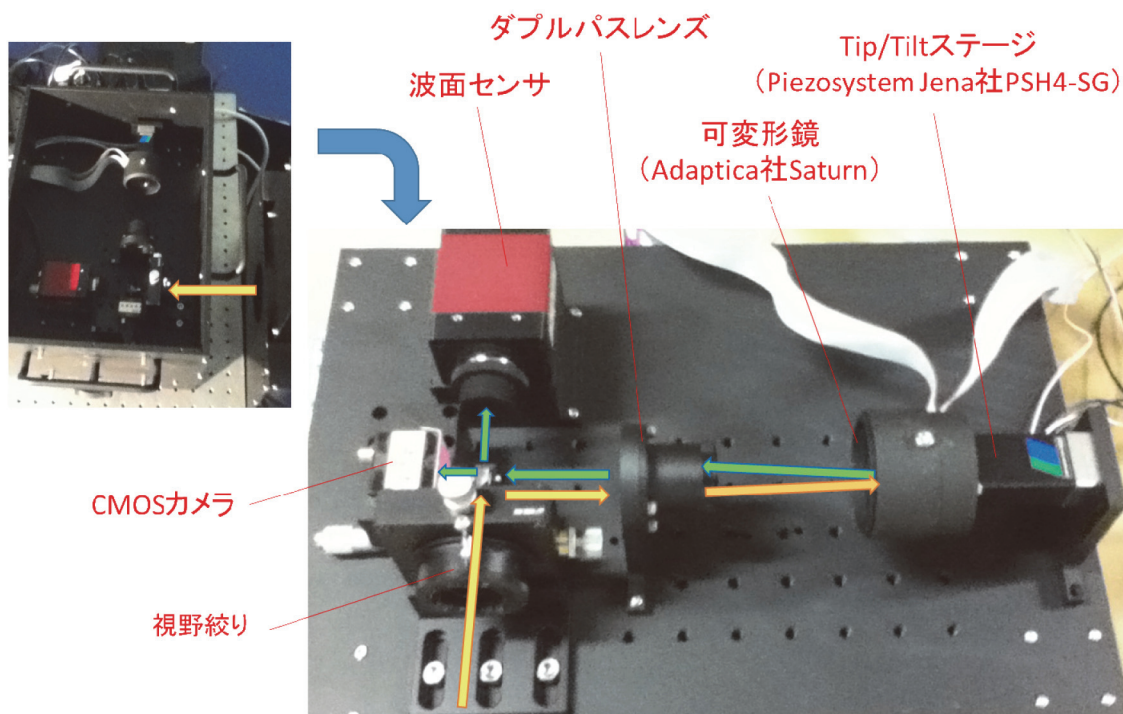


図 5 CRAO の外観 (可変形鏡にメンブレン式 DM である Saturn を使用)



前年度までの開発では、波面収差の低次成分のみを補償する Tip/Tilt ステージ(TT)のみによる補正を行ったオンスカイ試験において、シーイング、すなわち PSF の FWHM (Full Width Half Maximum) を 2".6 から 2".0 へ改善させることができた。今年度の開発は、TT に加えて、メムレン式 DM による波面収差高次成分の補償機能を追加し、その PSF 補正能力をオンスカイ試験で確認するところから開始した。

## 2 開発結果

### 2.1 メムレン式 DM を用いた CRAO の性能評価

メムレン式 DM を使用した CRAO のオンスカイ試験を、荒木望遠鏡を使用して、2014 年 8 月から 9 月にかけて実施した。オンスカイ試験の実施内容を表 2 に示す。AO の運用においては、AO ループの gain がフリーパラメータとなっているが、それらは実験的に決定する必要がある。そこで最初の 2 日間の試験において、TT と DM の gain を変えながら試験を実施し、9 月 7 日の試験においてはその結果をもとにした最適値を使用して試験を行った。各試験においては、積分時間 1 秒で得られた PSF に対して FWHM を測定し、AO の ON/OFF による FWHM の改善を評価した。得られた PSF の例を図 6 に示す。

表 2 メムレン式 DM を用いたオンスカイ試験の観測条件

観測日	天体	V等級(mag)	フィルター	天頂角(deg)	TT gain	DM gain
2014/8/28	$\alpha$ Lyr	0.03	不使用	50	0.2-0.5	0.1-0.9
2014/9/2	$\alpha$ Cyg	1.25	不使用	35	0.3-0.5	0.1-0.9
2014/9/7	$\alpha$ Cyg	1.25	B	40	0.4	0.5
			V	40		
			I	40		
			Wide-band (400-700nm)	50		

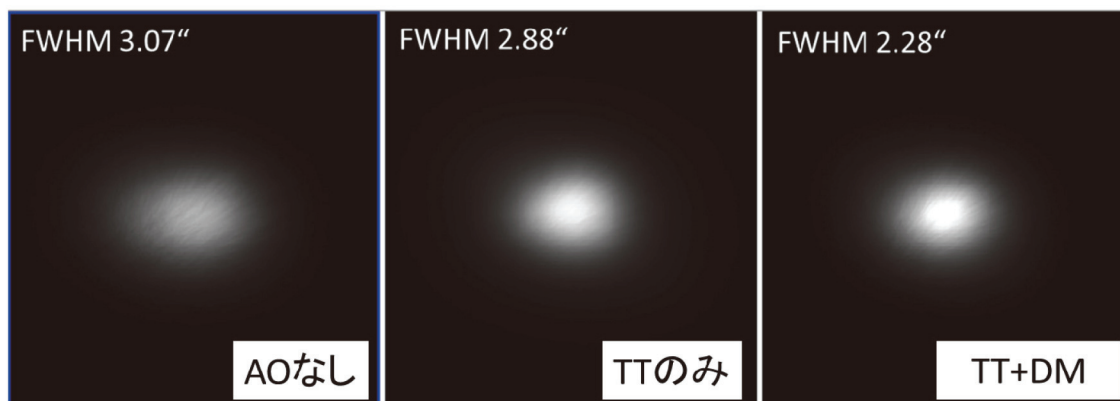


図 6 PSF の例 (8 月 28 日測定)

補償前後における PSF の FWHM を図 7 に示す。グラフの対角線より下側の領域にある結果が、AO によって実際に PSF を改善することができた結果である。自然大気、ドームシーイングの状態、および装置の設定・状態により観測日ごとに改善効果が異なり、9 月 2 日の結果が最もよい改善を示していた。

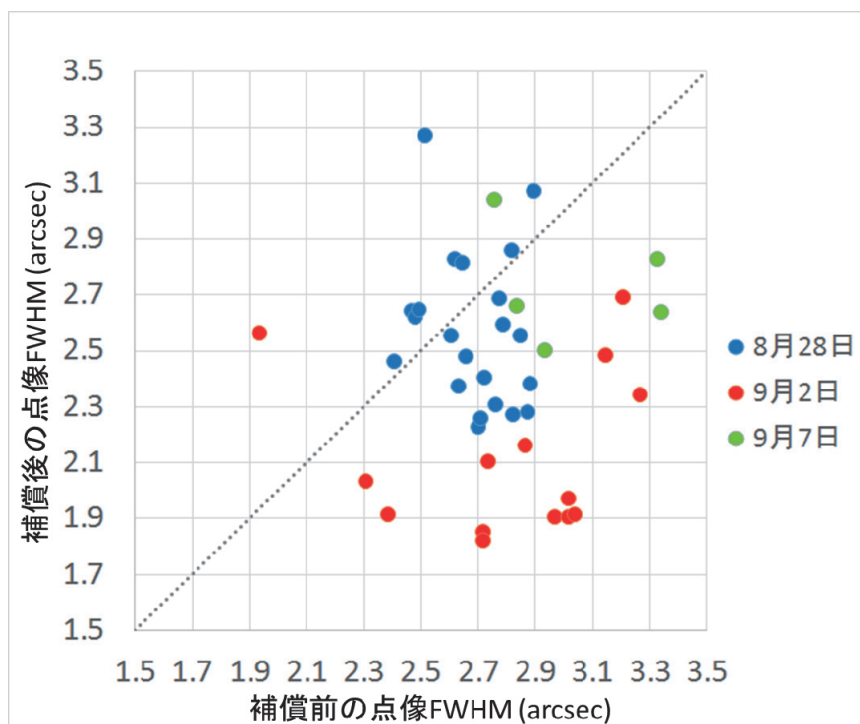


図 7 点像 FWHM の補償前後の比較 (観測日による違い)。青、赤、緑の点はそれぞれ 8 月 28 日、9 月 2 日、9 月 7 日の測定点であることを示す

次に、9 月 2 日の補償前後における PSF の FWHM について、gain に対する依存性を図 8 に示す。PSF の改善能力については、TT gain、DM gain のいずれに対しても明確な依存性を確認できなかった。そこで、今回設定した範囲の中央値付近を gain の最適値として採用し、TT gain、DM gain の最適値をそれぞれ 0.4、0.5 とした。

9 月 7 日の観測では、TT gain、DM gain を最適値に固定し、バンドパスフィルターを用いて PSF の改善能力の波長依存性を調査した。波長に対する FWHM 改善率 (=補償前の FWHM ÷ 補償後の FWHM) を図 9 に示す。理論的には、波長が長くなるほど波長に対する相対的な波面収差は低下する。B バンドにおける平均改善率 1.1 を基準とすると、AO シミュレータプログラム MAOS によるシミュレーションでは、I バンドにおいては改善率 4 程度が期待される。しかし、実際の I バンドにおける改善率は 1.4 以下となり、理論予測を大幅に下回った。また、3 日間の観測における最良の結果でも、シーイングの改善は 3".0 → 1".9 (FWHM 改善率 1.6) 程度であり、現状では、本装置の目標性能である 2".5 → 0".6 のシーイング改善能力を達成することが困難であるという結論が得られた。

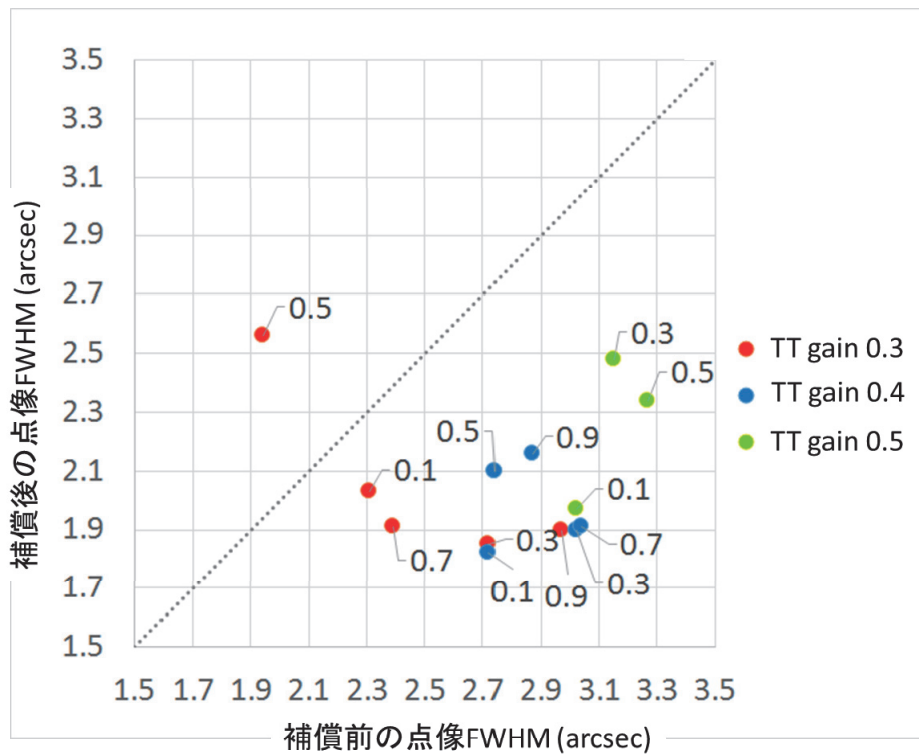


図 8 補償能力の gain による違い (9月2日のみ)。赤、青、緑の点はそれぞれ、TT gain が 0.3, 0.4, 0.5 であることを示す。各測定点に添えた数値は DM gain を示す

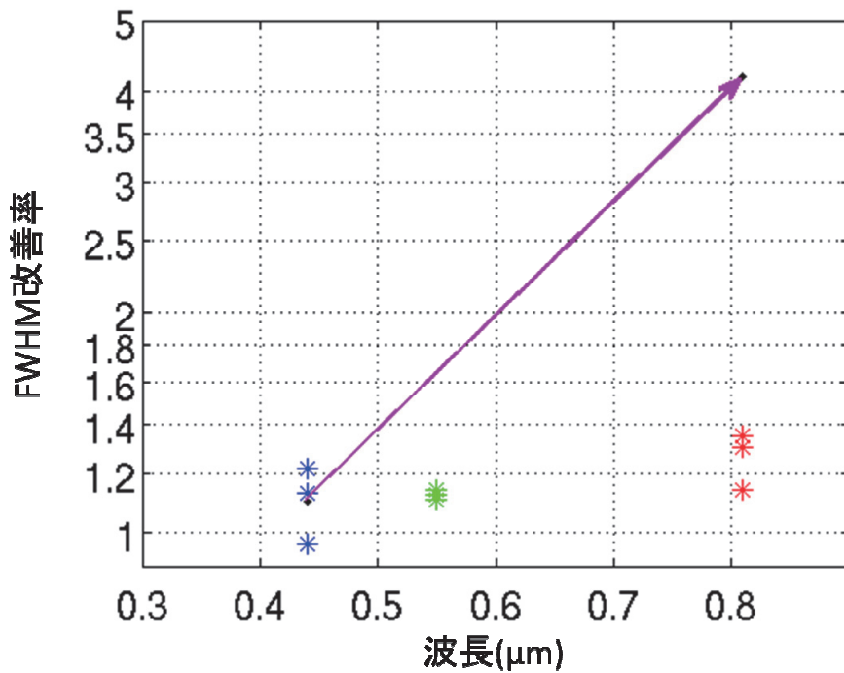


図 9 FWHM 改善率の波長依存性





較すると大きなストロークを有することを確認した。

その一方、この piezo 式 DM の仕様では、0~200V の印加電圧範囲の中央電圧 100V を印加した際に鏡面の平坦性がもっとも高くなるとされているが、実際に全素子に 100V を印加した際の形状は P-V 6.1waves(=3.9 $\mu$ m)の凹面となっており、平坦性が悪いことがわかった。干渉計によるこの測定結果を図 12 に示す。鏡面をほぼ平坦にするためには、多くの素子に 150V の電圧を印加する必要がある。このことは、凹側と凸側のストロークに異方性があることを意味し、AO の補償能力を制限することがわかった。

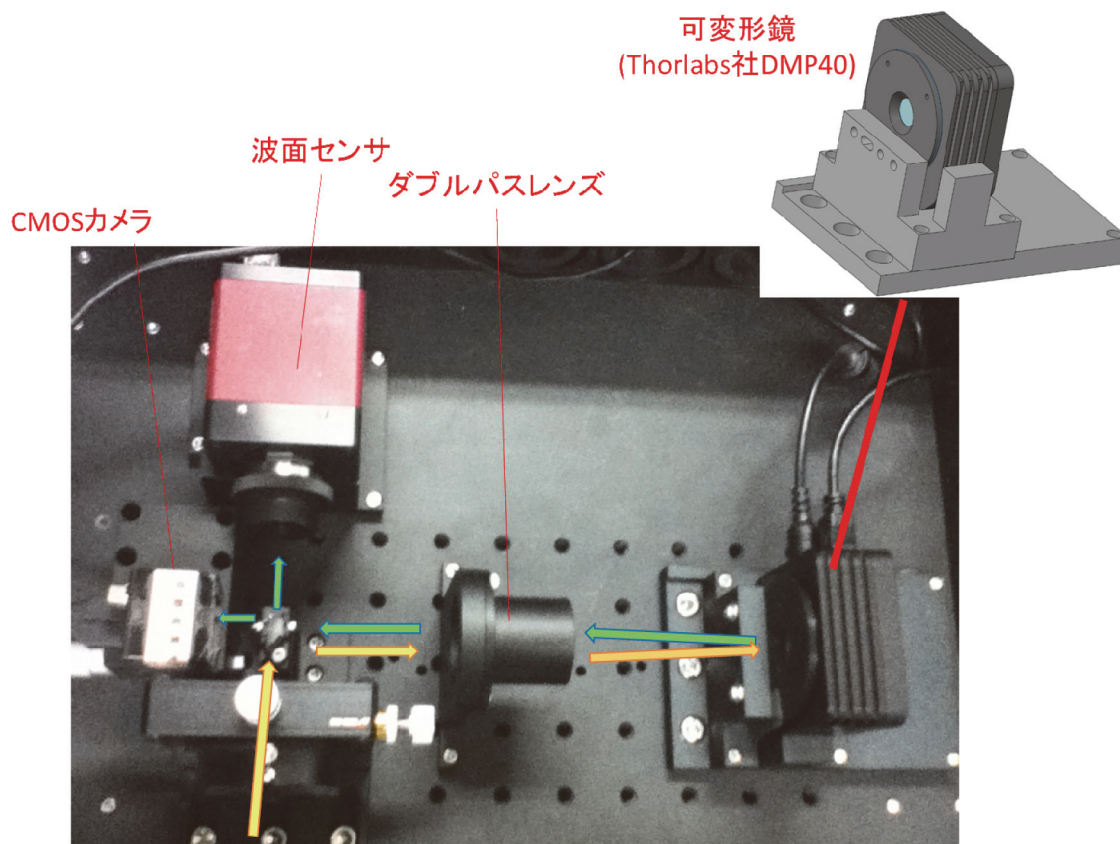


図 11 ピエゾ式 DM に換装した CRAO の外観

表 3 ピエゾ式 DM のストローク

ゼルニケ係数	メンブレン式DM (Saturn)	ピエゾ式DM(DMP40)	
	測定値( $\mu\text{m}$ )	測定値( $\mu\text{m}$ )	カタログ値( $\mu\text{m}$ )
Z3 Defocus	$\pm 0.4$	$\pm 3$ 以上	$\pm 6.5$
Z4,5 Astigmatism	+0.3, -0.2	$\pm 3$ 以上	$\pm 6.0$
Z6,7 Coma	+0.0, -0.1	+0.3, -1.9	$\pm 1.0$
Z8 Spherical	-	+0.6, -0.5	-
Z9,10 Trefoil	$\pm 0.1$	+1.3, -1.6	$\pm 1.9$
Z11,12 2nd Astig.	$\pm 0.1$	+1.0, -0.9	$\pm 1.3$
Z13,14 2nd Coma	-	+0.4, -0.3	-
Z15 2nd Spherical	-	+0.0, -0.1	-
Z16,17 Tetrafoil	-	+1.0, -1.0	$\pm 1.4$
Z24 3rd Spherical	-	+0.0, -0.1	$\pm 0.45$

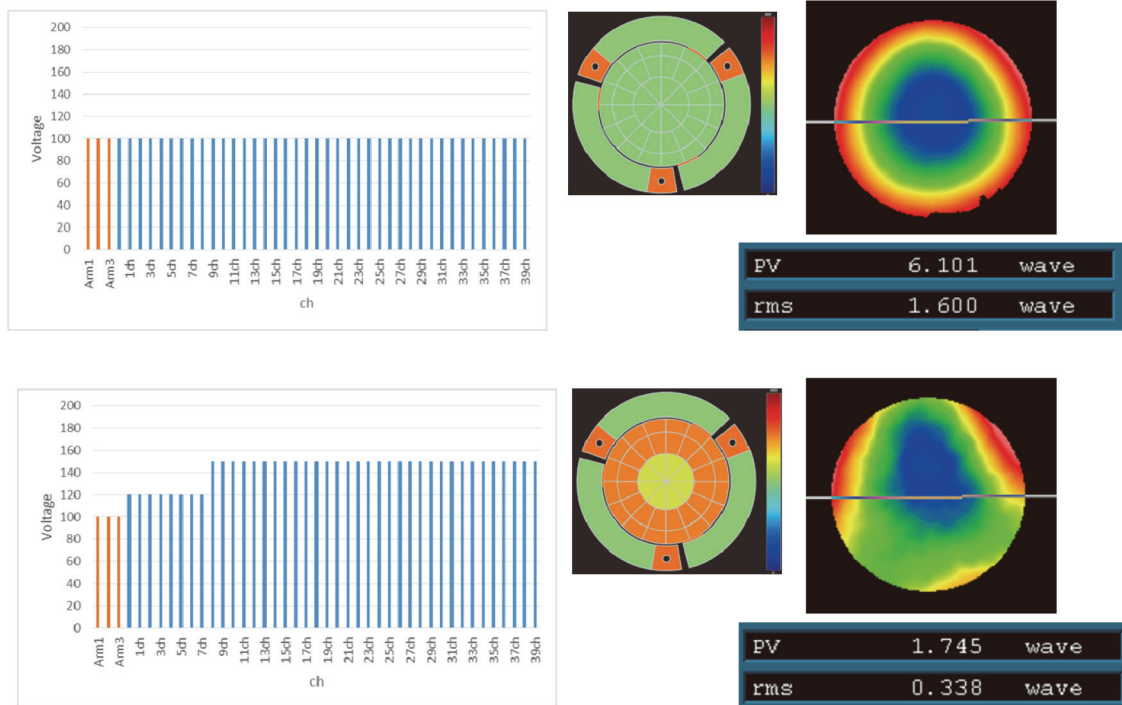


図 12 ピエゾ式 DM の初期形状。上段は全電極（チャンネル）に 100V を印加した場合、下段は印加電圧を調整した場合。左図はチャンネルごとの印加電圧。中図は電極の印加電圧マップ。右図は干渉計による形状の測定データ

### 2.3 ピエゾ式 DM を用いた CRAO の性能評価

ピエゾ式 DM に換装した CRAO を用いて、2015 年 4 月に荒木望遠鏡を用いたオンスカイ試験を実施した。本観測の条件を表 4 に示す。メンブレン式 DM を用いた CRAO のオン



スカイ試験と同様に、補償前後における PSF の FWHM を比較した結果を図 13 に示す。メンブレン式 DM からストロークが大幅に改善したピエゾ式 DM に換装したにもかかわらず、AO 装置全体としての補償性能の改善を確認することができなかった。

表 4 ピエゾ式 DM を用いたオンスカイ試験の観測条件

観測日	天体	V等級(mag)	フィルター	天頂角(deg)	TT gain	DM gain
2015/4/25	$\alpha$ Boo	-0.04	不使用	70	0.2-0.9	0.3-0.9

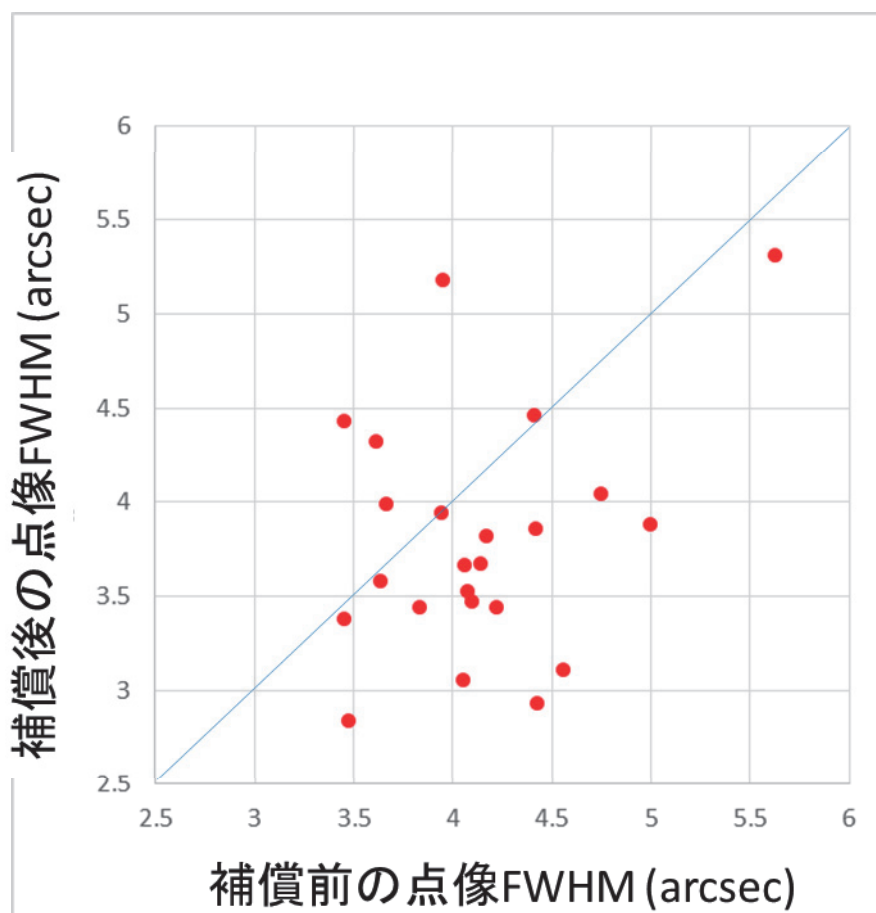


図 13 ピエゾ式 DM を用いた場合の、補償前後の点像 FWHM の比較

そこで、補償能力が改善しなかった原因を詳細に調査するために、大気揺らぎを模した位相板を使用した実験系を構築し、実験室において装置の改良を進めた。構築した実験系の外観を図 14 に示す。本実験系は、CRAO の入射ポートの手前に、荒木望遠鏡と同一の F/10 ビームを生成する白色 LED を用いた光源ユニットを設置し、位相板回転機構をこれらの間に挿入できるようにしたものである。位相板はステッピングモータ制御で任意の速度で回転させることができ、大気揺らぎによる高次収差の発生とその時間変動を疑似的に作

り出すことができる。また、位相板が光軸に対して若干傾いているため、位相板を通過した光束は屈曲して像位置の移動が生じるので、低次（TT）成分の影響を調べることも可能である。

上述の実験系を用いて光学系のアライメント調整、およびソフトウェアのデバッグと改良を進め、DM 以外に起因する問題を解決したのち、実験室系で得ることができた最良の PSF 改善結果を表 5 に示す。風速 10m/s に相当の条件において、シーイング 3".2→1".6 の改善を得ることができた。しかしながら、当初の目標であるシーイング 2".5→0".6 の改善を達成することはできなかった。

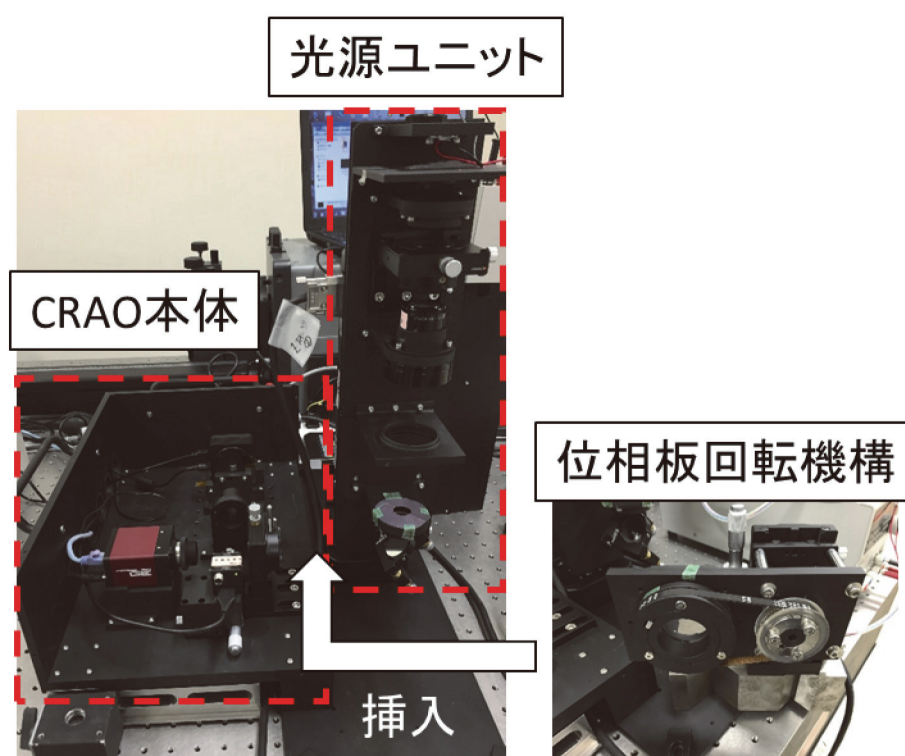


図 14 位相板を使用した室内実験系

表 5 位相版を使用した室内実験系の補償性能。風速は 10m/s 相当である

	FWHM (arcsec)	波面誤差(nm)
補正前のPSF	3.2	1818
補正後のPSF	1.6	1037

目標とする補償性能が得られなかった原因としては、ピエゾ式 DM の初期形状に問題があると推測している。前節において、仕様ではニュートラルポジションになる 100V を全電極に印加した際、平坦性のよい鏡面が得られなかったことを述べた。その後、この特性は時間とともに変化することがわかった。図 15 に、干渉計による初期形状の測定結果を示す。

2014年10月の時点では、全電極に160Vを印加した際に最も平坦性が高かったが、2015年5月に同じ電圧を印加した際にはP-V 2.7waves(=1.7 $\mu$ m)の凹面になってしまっており、鏡面を平坦にするためには更に高い電圧を印加しなければならなくなっていた。初期形状の鏡面を平坦にするために更に電圧を上げてしまうと、ストロークが更に低下して補償性能が低下する恐れがある。そこで、表5に示した補償性能が得られた実験においては、光源を光軸方向に移動させてデフォーカス成分を作り出し、凹面の初期形状をもつDMに入射させると波面誤差がキャンセルされ、フラットな波面が得られるように調整している。それにもかかわらず目標とする補償性能が得られなかったのは、光源の移動量は4mm以上と大きいと、焦点距離100mmのダブルパスレンズがDM上に形成するビーム直径が設計の $\phi$ 10mmから0.4mm以上変化し、かつ瞳像位置からずれてしまいビーム中心とDMの中心が一致しないことに起因し、フラットな波面が入射していることを仮定したAOループのアルゴリズムが有効に働かなくなったためと考えられる。以上より、CRAOの補償性能をさらに改善させるためには、以下の2通りの対処が必要と推定している：

- (1)本来のニュートラルポジションにおいてより平坦性の高い鏡面をもつDMに換装する
- (2)初期形状が凹面でも機能するAOループアルゴリズムを開発する

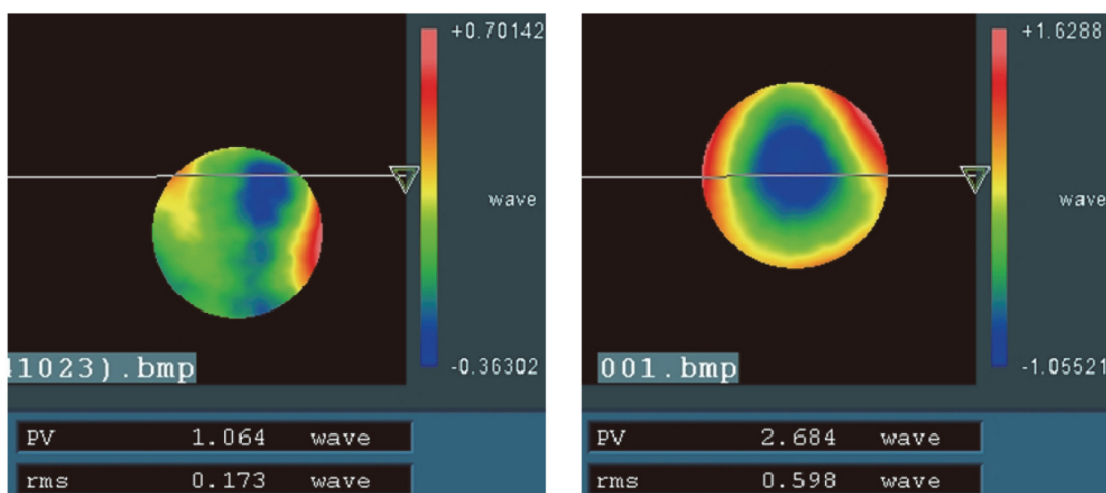


図15 初期形状の時間変化。左図：2014年10月、右図：2015年5月。いずれも全電極に160Vを付加

### 3 まとめ

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によって開発を進めてきた。2014年のオンスカイ試験の結果、最初に使用したメンブレン式DMのストロークが小さいために十分な補償性能が得られないことが分かり、よりストロークの大きいピエゾ式DMへの

換装を行った。しかし、ピエゾ式 DM に換装した CRAO を荒木望遠鏡に取り付けてオンスクイ試験をしたのにも関わらず、当初の目標性能（シーイング 2".5→0".6）を達成することはできなかった。実験室試験において光学系やソフトウェアの改良を進め、大気位相板を用いた風速 10m/s 相当の条件の実験において 3.2" から 1.6" へシーイングを改善できるところまでを確認したが、目標性能には依然として達成することができなかった。その原因は、ピエゾ式 DM の初期形状の平坦性が悪いことに起因していると推測され、本問題を解決すべく開発を続けている。

なお、上述のように DM に起因すると考えられる問題のために、当初目標としていた補償性能を達することはできていないが、昨年度から今年度までの実験を通してダブルパス屈折光学系自体には問題が認められていない。したがって、本研究によって、ダブルパス屈折光学系を利用した小型 AO のアイデア自体は実証されたと考えられる。

#### 参考文献

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

Polo, A., et al. "An innovative and efficient method to control the shape of push-pull membrane deformable mirror", OPTICS EXPRESS, 27923 (2012)

Verdejo, M.B., "Characterization of a Push-Pull Membrane Mirror for an Astronomical Adaptive-Optics System", Universitat Politècnica de Catalunya, Master thesis, (2012)

## 研究成果報告書

タイトル： インフレーション宇宙モデル ～自然なモデルの構築～

担当： 中道晶香

関連出版：

関連学会発表等：

森川雅博, 中道晶香, “インフレーションの凝縮相転移モデル – 散逸的動力学と宇宙の加速 –”, 日本物理学会 第 70 回年次大会 (早稲田大学) 2015 年 3 月 22 日



# 研究成果報告書

## 中道晶香

### 1 イントロダクション

#### 1.1 研究の目的

宇宙誕生直後に、急激に宇宙が膨張するインフレーションが起きたと考えられています。この過程のエッセンスは宇宙の加速膨張であり、現在も『ダーク・エネルギー』と呼ばれるエネルギーによって加速膨張していることが観測からわかっています。

また、ダーク・エネルギーと同様に素性が不明な『ダーク・マター』が現在の宇宙に存在していることも、観測からわかっています。

通常のインフレーション宇宙モデルでは、現実と合わせるためにパラメーターを120桁も微調整したり、ポテンシャルの恣意的な選択が必要となりますが、そのような微調整や選択をせず、できるだけ自然に、新しい物理を持ちださず、ダーク・エネルギーとダーク・マターを統一的に組み立てる理論モデルを作ることが本研究の目的です。

#### 1.2 ボーズ・アインシュタイン凝縮 (BEC) の動力学

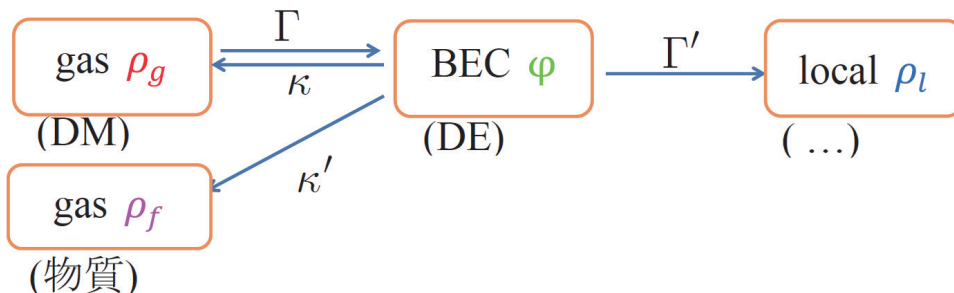
ボゾン場  $\Phi$  が、凝縮体  $\varphi$  と その上の励起  $\hat{\phi}$  からなるとします。

$$\hat{\Phi} = \varphi + \hat{\phi}$$

ここで  $\varphi$  は 古典的な秩序変数場を表し、ダーク・エネルギー (DE) に相当します。

$\hat{\phi}$  は 励起した部分を表し、ダーク・マター (DM) に相当します。

もし、凝縮体だけしか無ければ、凝縮体の役割は通常のインフレーションモデルにおけるインフラトン場とほとんど同じですが、実際の物理過程として、ここでは凝縮過程の他に、解離過程、崩壊、粒子生成も考えます。



このように考えれば、ボソン・ガスがボーズ・アインシュタイン凝縮を起こしてインフレーション場を生成しますので、インフレーション膨張が自然に始まります。また、ボーズ・アインシュタイン凝縮した場合は、やがて局所的な構造へ崩壊します。

これらの過程は、一般化された有効作用  $\tilde{\Gamma}[\tilde{\varphi}]$  の方法と、そこから導かれるランジュバン方程式にて記述されるはずで

$$(\partial_x \partial^x + m^2)\varphi(x) = -V' + \int_{-\infty}^t dt' \int dx' A(x-x')\varphi(x') + \xi(x)$$

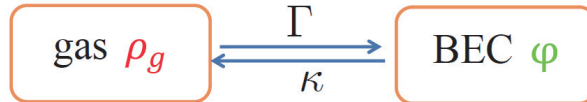
$$\frac{\partial}{\partial t}\rho(k;t) \approx \Gamma^{in} \left(1 - \frac{\rho(k;t)}{\rho^{eq}(k;t)}\right) \approx \Gamma^{in}$$

$$\text{ここで} \quad \Gamma^{in} \approx |\lambda|^2 m^{-3} \rho_{gas}^2$$

## 2 ボーズ・アインシュタイン凝縮のダイナミクス

### 2.1 基本方程式

インフレーション膨張が始まる宇宙初期には、ボソン・ガスとその凝縮体が存在していると仮定し、凝縮と解離の両方の過程を考えます。



宇宙のスケール因子を  $a(t)$  とし、ボソン・ガスのエネルギー密度を  $\rho_g$  その凝縮体  $\phi$  のエネルギー密度を  $\rho_\phi$  と書くと、運動方程式は以下のようになります。

$$H^2 = \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3c^2}(\rho_g + \rho_\phi)$$

$$\dot{\rho}_g = -4H\rho_g - \Gamma\rho_g^2 + \kappa|\dot{\phi}|^2$$

$$\dot{\rho}_\phi = -6H(\rho_\phi - V - V_0) + \Gamma\rho_g^2 - \kappa|\dot{\phi}|^2$$

また、過程の後半で粒子生成された物質のガス密度  $\rho_f$  と 凝縮体が崩壊してできた局所的な構造の密度  $\rho_l$  の基本方程式は

$$\begin{aligned}\dot{\rho}_f &= -4H\rho_f + \kappa'|\dot{\phi}|^2 \\ \dot{\rho}_l &= -3H\rho_l + \Gamma'\rho_\phi\end{aligned}$$

となります。

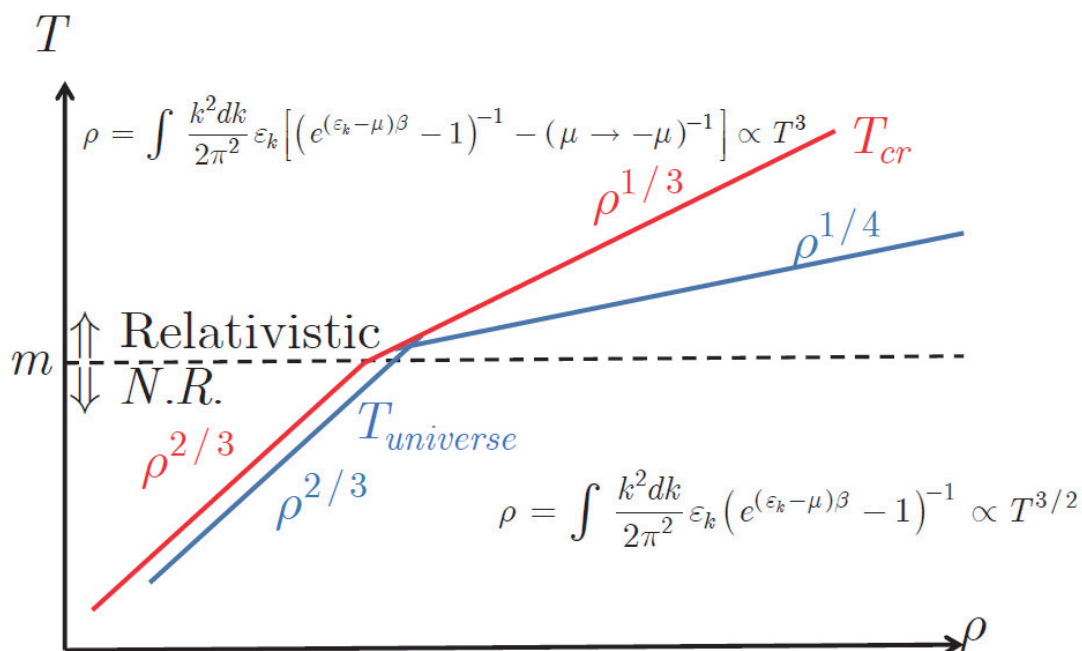
## 2.2 ボーズ・アインシュタイン凝縮の条件

臨界温度  $T_{cr}$  よりボソン・ガス（：ここではダーク・マター）の温度  $T_{DM}$  が低ければ、ダーク・マターがボーズ・アインシュタイン凝縮してダーク・エネルギーになる反応が起きると考えます。この条件は

$$T_{DM} < T_{cr}$$

と表されます。

宇宙の温度と臨界温度が、密度を変化させるとどのように変化するかを表したグラフが下図です。



高温では相対論的ですが、低温では非相対論的になっています。

## 2.2 2種類のインフレーション解

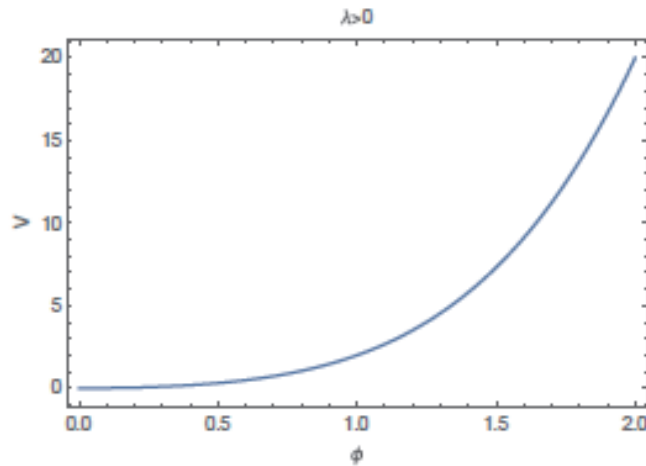
運動方程式を満たす解は、大きく分けると2種類に分類できます。そのうち大半の解ではインフレーション膨張を起こすことがわかりました。

ポテンシャル  $V$  が下記の場合を考えてみます。

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

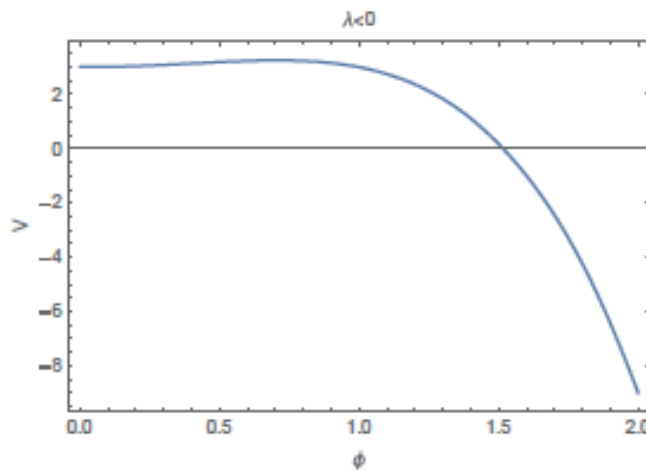
すると、1つめの解として、 $\lambda > 0$  の場合にポテンシャルがすぐに大きくなる解が得られます。なお、解1では  $V_0$  は不要です。

解1  $\lambda > 0$  の場合 Fast roll up (RU)



2つめの解として、 $\lambda < 0$  の場合にポテンシャルがゆっくりと現象する解が得られます。

解2  $\lambda < 0$  の場合 Slow roll down (RD)



以下、それぞれの解の性質を詳しく調べていきます。

### 3 Fast roll up (RU) model

前章での解 1 Fast roll up (RU) モデルの漸近解を発見しました。

$$\left\{ \begin{array}{l} \phi \rightarrow \phi_* = \sqrt{2 \left( c - \frac{\Gamma}{\lambda} \rho_{g0} e^{-\lambda t} \right)}, \\ H \rightarrow H_* = \phi_* / \sqrt{2}, \\ \rho \rightarrow \rho_{g*} = \rho_{g0} e^{-\lambda t} \end{array} \right.$$

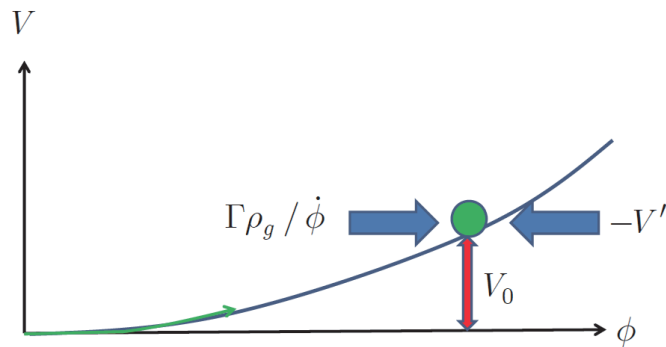
なお、この漸近解に含まれるexponentialの冪の $\lambda$ の定義は

$$\lambda \equiv 4H + \Gamma$$

です。

この漸近解では、ダーク・エネルギー場とハッブル・パラメーターの値が速く固定していきます。ガスが減少し、インフレーション膨張が進行します。なお、漸近的なハッブル・パラメータの値は不定です。

これは $-V'$ と $\Gamma\rho_g$ が釣り合って決まる安定な状態。



これは安定な状態ですが、もし、このままの状態が続くと、インフレーション膨張は終わりません。しかし、臨界温度は密度の1/3乗に比例しますが、ダーク・マターの温度は密度の1/4乗に比例するため、ガス温度が下がってくると、必然的に凝縮が解けていくことになります。やがてダーク・マターの温度が臨界温度とほぼ等しくなった時、つまり温度が

$$T \approx 10 (\hbar c)^3 m$$

で非相対論的になった時に、インフレーション膨張が終わります。

その後、凝縮体  $\varphi$  は崩壊し、粒子生成によって宇宙の再加熱が起きます。

このように、宇宙の時間発展のシナリオが自然に実現します。



宇宙の膨張率を計算すると、

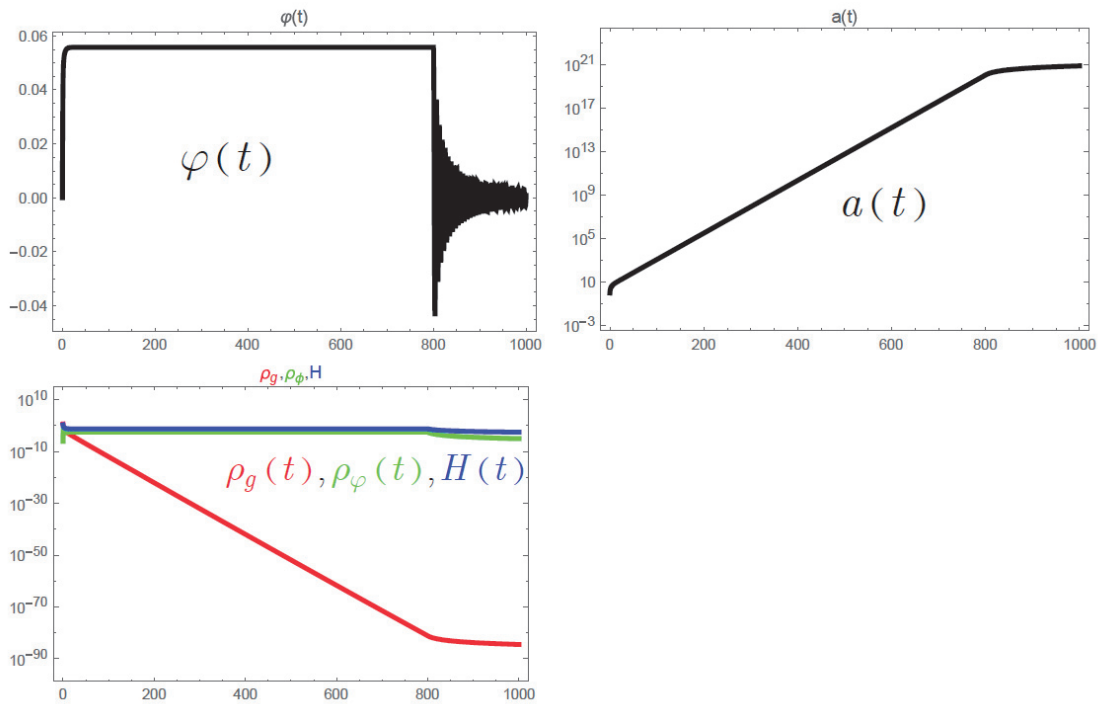
$$\begin{aligned} \ln(a_f / a_i) &= \ln(T_i / T_{cr}) \approx \ln(10^{15} \text{ GeV} / m) \\ &\approx 55 \ln(eV / m) \\ &\approx 61 \ln(0.004eV / m) \end{aligned}$$

となるため、十分なインフレーション膨張のためには、現在の加速膨張のスケール（：ダーク・エネルギーの質量スケール）

$$m \approx \left( (\hbar / c)^3 H_0^2 / (2G) \right)^{1/4} \approx 0.004eV$$

が必要であることがわかりました。

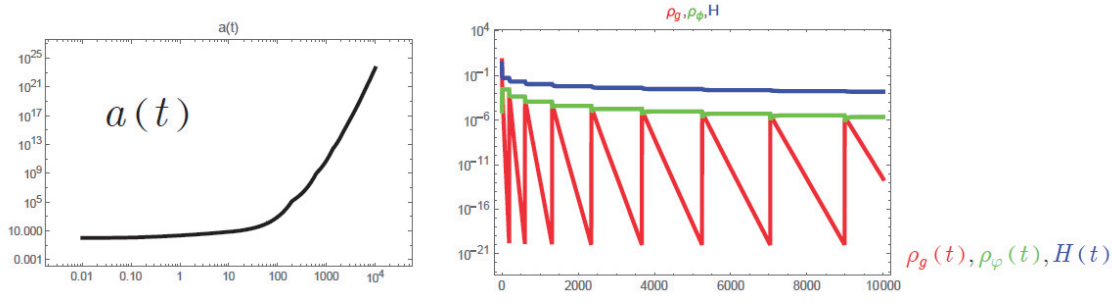
運動方程式を数値的に解いた結果の典型的な例は以下の通りです。



次に、励起した部分（ダーク・マター）の時間変化の絶対値の2乗に比例する項を入れ、運動方程式を数値的に解き直すと、最終的に次ページのグラフのように、

$$a = t^\alpha, (\alpha = 7 \sim 10)$$

のインフレーション膨張になります。温度は最終的に非相対論的  $T < m$  になるため、常に  $T_{cr} < T_{DM}$  の状態となり、凝縮が固定することを意味します。この状態は、恒久的な加速膨張を表しています。



この数値計算の結果は、加速膨張の質量スケールが  $m \approx 0.01\text{eV}$  の場合は、観測結果と合いそうです。しかし、宇宙膨張の途中で相転移の回数が多いという結果になりました。

ここで求めた  $\lambda > 0$  の場合の凝縮Fast roll up (RU)モデルを、通常のカオスのインフレーションモデルと比較してまとめておきます。

◆  $\lambda > 0$ の凝縮 RU モデル vs カオティックモデル

	凝縮 RU	Chaotic model
inflation 始まり	$\varphi : 0 \rightarrow \varphi_*$ どこから始めても OK	大きな場 $\varphi$ が必要
終了	$T \approx T_{cr} \approx m$ (温度が N.R.)	そのうち $V \rightarrow 0$
再加熱	粒子生成による	振動
potential V	任意	ほとんど平坦
obs.	$n = 1$ ? 揺らぎ発散? (要考察)	$n = 0.96, r \approx 0.1$
DM	DE に追随(同程度存在)	——
現在の加速	必然. ほとんど $\Lambda$ . 但し $m \sim eV$	——
将来	ずっと加速のまま	——

我々の凝縮RUモデルでは、ポテンシャルの選択や微調整は不要ですので、自然なモデルになっていますし、どのようなポテンシャルの場合もインフレーション膨張を起こしますので、インフレーションは普遍的な物理現象であると言えます。

また、インフレーション膨張とダーク・エネルギー、ダーク・マターを統一的に扱うことができます。

#### 4 Slow roll down (RD) model

$\lambda < 0$  の場合の Slow roll down model については、昨年度の研究成果報告書に記載しています。これを通常のインフレーション・モデルと比較してまとめておきます。

◆ ( $\lambda < 0$  の凝縮 RD モデル vs standard モデル) …以前の結果

	凝縮 RD	Standard model
initiation	$\varphi : 0 \rightarrow$ by BEC	small $\varphi$ rolls down
termination	Stagflation	When $V \rightarrow 0$
reheating	Particle production	Oscillation
V	Any but allow $V < 0$ No potential tuning	Flat Need potential tuning
obs.	$n = 0.95, r \approx 0.01$	$n = 0.95, r \approx 0.2$
DM	DE に追随(同程度存在)	——
現在の加速	必然. ほとんど $\Lambda$ . 但し $m \sim eV$	——
将来	ずっと加速のまま	——

こちらの凝縮RDモデルも、前章の凝縮RUモデルの長所が当てはまります。ただし、ポテンシャルが負となる領域を持つことが、このモデルでは必要になります。

#### 5 まとめと今後の課題

我々は、2種類の理論モデルにおいて、インフレーション膨張とダーク・エネルギー、ダーク・マターを統一的に扱うことに成功しました。ここでダーク・エネルギーは、インフレーションと同じメカニズム、同じ場ですが、ダーク・マターはダーク・エネルギーに追随して発生します。

ポテンシャルの選択や微調整が不要なモデルを作ることができました。特に凝縮 RU モデルでは、どのようなポテンシャルでもインフレーション膨張を起こします。

今後の課題として、密度揺らぎのスペクトルや揺らぎの大きさについても観測と合わせるため、さらなる考察が必要です。

参考文献

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).

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

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

## 2014 年度研究成果報告書

タイトル：新星における元素合成と太陽系起源物質

担当：河北秀世、新井 彰

関連出版：

H. Kawakita, M. Fujii, M. Nagashima, T. Kajikawa, N. Kubo, and A. Arai (2015), “Formation of C<sub>2</sub> and CN in nova V2676 Oph around its visual brightness maximum”, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 67 (2), 17 (1–8).

M. Nagashima, A. Arai, T. Kajikawa, H. Kawakita, E. Kitao, T. Arasaki, G. Taguchi, and Y. Ikeda (2015), “Detection of Diatomic Molecules in the Dust Forming Nova V2676 Oph”, *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, 2, 212.

T. Kajikawa, A. Arai, M. Nagashima, H. Kawakita, M. Yamanaka, K. Kawabata, and S. Kiyota (2015), “Line Evolution of the Nova V5587 Sgr from Early to Nebula Phase”, *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, 2, 242.

T. Kajikawa, M. Nagashima, H. Kawakita, A. Arai, Y. Ikeda, M. Isogai, M. Fujii, and K. Ayani (2015), “Spectroscopic Monitoring Observations of Nova V1724 Aql in 2012”, *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, 2, 238.

A. Arai, M. Isogai, M. Yamanaka, H. Akitaya, and M. Uemura (2015), “Optical Low Resolution Spectroscopic Observations of T Pyx during the Early Phase of 2011 Outburst”, *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, 2, 257.

関連学会発表等：

無し。



# 新星における元素合成と太陽系起源物質 研究成果報告書

河北秀世、新井 彰

## 1 イントロダクション

### 1.1 古典新星とは

古典新星（以下、新星）は、激変星と呼ばれる変光星のグループのひとつである。激変星は、白色矮星と主系列星（あるいは進化後期の赤色巨星）との近接連星系であり、主星である白色矮星に伴星から質量降着があり、断続的な水素燃焼や降着円盤での光度変化を伴うタイプの変光星である。古典新星は、白色矮星表面に伴星から降り積もった水素リッチなガスが定常的な核燃焼をせず、一定の条件下で暴走的に核反応が進行して一時的に非常に大きな光度（エディントン光度を超える）が実現される現象である（蜂巢・加藤 2009）。

白色矮星は CO あるいは ONe 白色矮星であり、表面にほとんど水素が存在しない。ここに伴星からラグランジュ点を通じて水素リッチな（ほぼ太陽組成の）ガスが流入して降着する。白色矮星表面にふりつもった薄い水素リッチなガスは、その底面付近（白色矮星との境界付近であり、また、白色矮星ガスとの混合も進行している）の温度が十分に高くなった段階で、核燃焼が起こる。白色矮星表面での核燃焼は、最初  $p-p$  連鎖反応に始まり、その発生熱によって更に CNO サイクルに移行する。この核燃焼は暴走的であり、通常の恒星内部で生じる cold-CNO サイクルに留まらず、温度が更に上昇して hot-CNO サイクルと呼ばれる核燃焼サイクルに達する。最終的に、短時間（10 分間程度）ではあるが  $10^8\text{K}$  程度の高温が実現され、質量数が 40 程度以下の元素合成が可能となる（José et al. 2006）。

このような暴走は、白色矮星表面に降り積もった水素が豊富なガスの幾何学的構造に原因がある。白色矮星半径に対して降着したガスの厚みが薄いため幾何学的には平行平板状の構造となり、核燃焼によるガスの温度上昇に対してガスが膨張しても圧力がほとんど変化せず、温度が低下しない。降着ガスが温度上昇によって十分に膨張し、系が球対称な幾何学的構造をとるようになると、いわゆる「負の比熱」効果によって系は安定化する。すなわち、降着ガス層底部の温度上昇がガスの膨張につながり、最終的に底部の温度が下がることによって、熱核暴走反応は停止し、安定な核燃焼段階（白色矮星表面での殻燃焼: shell-burning）へと移行する。膨張したガスは（新星風の発生に伴い）、最終的に宇宙空間へと流出し、上記の暴走的な核燃焼で生じた様々な元素が、星間空間へ供給される。古典新星は発生頻度と 1 回あたりの放出量から推定される年間総放出量は、超新星などに比べると小さいものの、その元素合成パターンが特異なため、銀河系内の化学進化に与える影響は無視できないと考えられている。我々の銀河系における新星発生率は  $30 \pm 10$  / 年と考えられており、1 回の新星爆発で放出される質量を  $10^{-4} \sim 10^{-5}$  太陽質量とすると、銀河系の年齢（ $\sim 10^{10}$  年）の間に約  $10^6 \sim 10^7$  太陽質量の質量が新星爆発によって星間空間に供給

されたことになる (José *et al.* 2006)。これは、現在の銀河系円盤ガス (およびダスト) の総質量の $\sim 1/3000$ に相当し、AGB 星や超新星爆発による質量放出にくらべて大きな値とは言えない。しかし、新星爆発における特殊な元素合成パターンは、特に  $^{15}\text{N}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{13}\text{C}$  などの同位体ならびに  $^7\text{Li}$  などの供給においては重要な役割を果たしている。

## 1.2 太陽系の起源と新星における元素合成

太陽系は約 46 億年前に分子雲と呼ばれる希薄なガス塊から誕生したと考えられる。通常、このガス雲は太陽質量の何十倍にも達する質量を持っており、単一の分子雲から多数の恒星が誕生する。こうした分子雲は、銀河系内の星間ガスが集まって形成されるが、そもそも銀河系内では多数の恒星によって常に星間ガスの汚染が進行している。例えば AGB 星や炭素星の内部において合成された元素が質量放出に伴って星間空間へと放出される。また、超新星、新星などの爆発時にも元素合成が進行し、爆発とともに星間空間へと放出される。これらの様々な天体における元素合成パターンには、それぞれの天体に特有のものがある (もちろん、同種の天体でも温度やガス密度などによって元素合成パターンには多様性がある)。こうした特徴を手掛かりにして、太陽系の起源となったガス雲に物質を供給した天体の種別を調べることができる。もちろん、太陽系誕生時にはガスは混合してしまっており、どのような天体からどれくらいの物質が供給されたかを判断することは難しい。手掛かりとなるのは、「プレソーラー粒子」と呼ばれる、隕石中に微量ではあるが見つかる極微の粒子である。これらの粒子は、太陽の (つまり太陽系全体を代表するガスの) 示す元素同位体比とは異なる元素同位体比を示すことが特徴である。例えば、太陽系を代表するガスの炭素原子の同位体比は  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}=89$  であるが、これらのプレソーラー粒子は、こうした代表値とは異なる炭素同位体比を示すことが特徴である (たとえば、10 程度の値を示す粒子が見つかることがある)。こうした粒子を、各種天体ごとの元素同位体比パターンで分類することで、太陽系の起源となった天体の寄与を評価できる。

従来、プレソーラー粒子の起源として、前述の AGB 星・炭素星・超新星が大部分を占めることが分かっていた (Nittler 2008)。これらに対して、新星は星間空間に放出する物質の総量では少ないが、その元素合成過程の特殊さから、 $^{15}\text{N}$  などの特定の同位体については新星でなければほとんど合成されないなど、新星爆発の寄与が銀河系化学進化などの観点からも重要である。こうした意味で、新星爆発によって合成される元素の同位体比を観測的に決定することがきわめて重要である。しかし、近年まで、Denissenkov *et al.* (2014) や José *et al.* (2006) によるモデル計算で窒素の同位体比 ( $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ ) が他の天体に比べて非常に高いことが示される一方、観測的には何も結果が得られていなかった。唯一の例外が、1934 年に出現した新星 DQ Her における CN 分子バンドを手掛かりとした Sneden & Lambert (1975) による結果で、 $^{14}\text{N}/^{15}\text{N} \geq \sim 2$  というものであった。このような状況において、Nagashima *et al.* (2014) は、神山天文台における観測から、遅い新星 V2676 Oph の可視光極大期において  $\text{C}_2$  および CN 分子の吸収バンドを検出することに成功した。 $\text{C}_2$  分子

の新星における検出は世界初であり、CN分子についても DQ Her に次いで二例目となった。

## 2 新星における分子生成と輻射環境

新星において初めて分子が検出されたのは、DQ Her における CN 分子の発見であった (Wilson & Merrill 1935, Sanford 1935, Stoy & Wyse 1935)。その後、CN 分子の検出は 2012 年の V2676 Oph における CN 分子の発見まで報告がなかったが、CO 分子については、NQ Vul における発見以降、10 個程度の新星において検出報告がある (Banerjee et al. 2014 など)。一方、先に述べたように C<sub>2</sub> 分子の検出は、Nagashima et al. (2014) および Kawakita et al. (2015) による V2676 Oph が唯一の例となっている。注意すべき特徴として、CN および C<sub>2</sub> 分子は吸収線として新星の極大直後にのみ観測されるが、CO 分子は輝線として極大付近から比較的長期間にわたって観測されるという事実である。これは分子の存在領域についても重要な示唆を与えている。こうした単純な二原子分子が存在できる条件とはどのようなものであろうか。また、それらの存在領域は、どこであろうか？ なお、最も豊富と考えられる H<sub>2</sub> については、新星の星雲期において検出報告があるのみであり、極大期付近での報告は無い。

さて、上記の二原子分子は、もっとも最初に原子状ガスから形成されると考えられる (Pontefract & Rawling 2004)。上記のうち CO, CN, C<sub>2</sub> の順に検出の頻度が低いが、これは、分子の結合エネルギーが関係すると考えられる。全ての分子の解離エネルギーは 2000 Å 以下であり、それゆえに新星爆発における疑似光球面からの放射スペクトルが UV 領域でどれくらいのエネルギーを放射しているかによって、これらの分子の存在寿命が決定される (つまり、これらの分子は、新星の疑似光球面からの UV 放射によって、光解離反応や光電離反応によって失われる)。最も光解離反応のためのエネルギーが大きい (最も短い波長の UV 放射が必要な) 分子は CO である。このことから、CO がもっとも新星の疑似光球面からのハードな放射に対してロバストであり、最も多くの新星で観測されていることとも整合的である。一方で、CN, C<sub>2</sub> 分子は光解離に必要な最低エネルギーが CO に比べて低く、比較的に用意に UV 放射によって破壊されてしまう。この考えに基づけば、CN 分子よりも C<sub>2</sub> 分子の方が、より UV 放射に強く、新星放出ガス中に存在しやすいことになるが、実際には C<sub>2</sub> 分子の形成過程の困難さから、通常は CN 分子のほうが多く存在することが化学反応ネットワークを用いた理論的な見積もりからも示されている (Pontefract & Rawlings 2004)。

ここで、CO 分子の解離エネルギーが、ちょうど中性炭素原子による連続吸収端の波長 (1101 Å) に極めて近いという事実は注目に値する。すなわち、新星放出ガス中に中性炭素原子 (C I) が存在すれば、その連続吸収によって CO 分子を解離させるような放射が極端に吸収され、CO 分子の崩壊速度が低くなる。すなわち、CO 分子生成の必要条件のひとつが整うと言える (Pontefract & Rawlings 2004)。

表 1 : 新星で検出されている二原子分子および関連分子の解離エネルギー

分子	光解離エネルギー (相当波長)
CO	1118 Å
C <sub>2</sub>	1436 Å
CN	1600 Å
H <sub>2</sub>	2769 Å

これを一般的に言えば、新星エンベロープ中での UV 放射強度が十分に弱くなることが必要、ということである。紫外線領域の放射が弱くなる理由には、このほかにも H<sub>2</sub> 分子が生成されることによって連続吸収端以下の波長で放射が減衰する (表 1 参照) や、疑似光球面からのスペクトルに見られる「Fe カーテン (Iron curtain)」と呼ばれる (主に Fe II の吸収線による) 疑似的連続吸収が重要な役割を果たすと考えられる (Hauschildt et al. 1994)。前者の水素分子の存在は新星爆発初期において未確認であるが、後者は新星爆発の極大期から初期減光期において 1100~3000 Å 付近の吸収となって分子生成を促進する環境の実現に寄与する。このような変化を、新星爆発初期の (極大期までの) 疑似光球面の温度低下にともなう物理状況の変化という視点からまとめると、疑似光球面スペクトルの変化は以下ようになる (疑似光球面温度を  $T_{ph}$  とする)。この段階では、疑似光球面は次第に膨張しており、それに伴って光球面温度が減少している。

$T_{ph} \sim 35000$  K

UV 領域では  $\lambda < 500$  Å が強く吸収される

※ He I の連続吸収端

$T_{ph} \sim 30000$  K

UV 領域では  $\lambda < 910$  Å が強く吸収される

※ H I の連続吸収端など

$T_{ph} \sim 25000$  K

UV 領域では  $\lambda < 910$  Å が強く吸収される

まだ “Iron curtain” は見られない (Fe の電離度がまだ高い : Fe IV 以上)

$T_{ph} \sim 20000$  K

“Iron curtain” が見え始める (Fe の電離度が十分に下がったことを意味する)

UV は  $\lambda < \sim 3000$  Å が弱くなる

UV は  $\lambda < 910$  Å が強く吸収される

周囲の炭素は、まだ電離状態にある (C II) ため中性炭素原子の連続吸収は無し。

$T_{ph} \sim 15000$  K

“Iron curtain” が見える

UVは  $\lambda < \sim 3000 \text{ \AA}$  が吸収される

UVは  $\lambda < 1100 \text{ \AA}$  が強く吸収される (C の電離度が下がり、C I が存在)

※ C I の連続吸収端。

$T_{\text{ph}} \sim 10000 \text{ K}$  (→ 極大光度に達する頃には  $\sim 8000 \text{ K}$ )

上記が更に顕著になる

これより、少なくとも光球面温度が  $\sim 15000 \text{ K}$  以下にならなければ分子生成がトリガーされないことがうかがえる。その意味では、分子生成は極大前から既に始まっていると考えられるべきかもしれない。通常の新星では極大期までの変化は時間スケールが短いため、非常にダイナミックな変化が起こっていると予想される (分子反応プロセスも非平衡過程であって、関連する反応の時定数によっては、定常状態を仮定することは困難かもしれない)。そして、極大期以降に再び疑似光球面が収縮して光球面温度が上昇すると、分子の破壊が進むことになる。

これまでに可視光で分子が検出された **DQ Her** や **V2676 Oph** のような変化の遅い新星では、こうした分子の生成が十分に起きるだけの時間的余裕があると考えられるべきかもしれない。また、観測されている輝線の中や **P Cyg** プロファイルから推定されるガス膨張速度が遅いことも重要である。それは、新星エンベロープのガス密度を高くする方向に働き、分子生成反応を促進する。こうした条件が重なることが、新星爆発初期の分子生成をトリガーしている可能性が高い。なお、赤外線では **CO** が検出されている新星については、時間スケールについて更に検討の必要があると思われる。

### 3. 新星における分子生成とガスエンベロープの温度

前章で議論したような疑似光球面からの輻射によるUV環境の変化と同時に、新星爆発によって放出されたガスの温度変化そのものについても考慮する必要がある。新星エンベロープ・ガスの温度が低くなるには、ガスに体する加熱と冷却のバランスがポイントであるが、ガスの主な加熱源は疑似光球面からの輻射であり、その光球面温度は (極大からの減光等級  $\Delta m_V$  として)、経験的に

$$T_{\text{ph}} = 8000 \times 10^{\Delta m_V / 7.5} \text{ [K]}$$

と考えられている (Evans et al. 2005)。すなわち、極大期では  $8000 \text{ K}$  程度の放射スペクトルを示す (通常、極大期では **F** 型超巨星相当のスペクトルが観測される)。爆発の初期では、超音速で膨張するエンベロープのガスは、ほぼ断熱的な変化を示す (Shore 2012)。その後も基本的には輻射によってエネルギーを失うが、新星エンベロープのエネルギー損失は、黒体輻射や連続-連続放射などによる連続的な輻射 (Hachisu & Kato 2015)、またより後期には水素原子などの再結合線 ( $\text{H}\alpha$  などのバルマー系列輝線など) による緯線が寄与すると考えられる。

更に、一定の条件下で **CO** 分子が形成され始めると、**CO** 分子の振動バンドからの放射が



冷却に効くようになる。実際、新星における CO 分子は輝線バンドで検出されており、このことから CO 分子が赤外線を放射することで新星エンベロープ・ガスが冷却している可能性を示唆している (CO 分子と他の原子状ガスとの衝突が十分であれば、ガス全体の冷却に寄与している)。また、こうしたガスの冷却が、さらなる分子生成、また更にガスの凝集に結びつき、新星におけるダスト生成へと繋がると考えられている (Evans et al. 2005)。CO 分子は結合エネルギー的にも CN 分子や C<sub>2</sub> 分子に先だって生成されると考えられ、CN 分子や C<sub>2</sub> 分子の生成トリガーとして重要な役割を果たしているかもしれない。しかし、CO 分子が検出された新星で必ず CN 分子や C<sub>2</sub> 分子が観測されるわけではないので、その他の条件が更に必要となっていると予想される。

Pontefract & Rawlings (2004)では、疑似光球面の輻射温度を仮定し (上述の式において、ピーク温度を約 15000K としており、よりハードな輻射環境を想定している)、次第に膨張するガス球における分子化学進化を追っている。なお、エンベロープ・ガスの温度については経験的な依存性 (白色矮星からの距離のべき乗に比例する) を想定しており、輻射によって温度平衡が実現されている場合に相当する。ただし、化学進化の結果についてはガス温度の変化にあまり依存していないようだと言者らは述べている。

#### 4. V2676 Oph における分子吸収バンド

本章では、V2676 Oph における分子生成について注目して議論を行う。Nagashima et al. (2014) および Kawakita et al. (2015)では、V2676 Oph の極大光度前後における低分散分光スペクトルに C<sub>2</sub> および CN 分子の吸収バンドを検出している (図 1)。

図 2 には、分子形成直前のスペクトルについて、恒星のモデル大気スペクトルとの比較を示している。この時期には新星の光度はほぼ極大に近く、通常は F 型超巨星に似たスペクトルを示す。そこで、モデル大気は超巨星のものを採用して表面有効温度の異なるスペクトルを重ねている。特に Fe II の吸収プロファイルを比較から、表面有効温度が 6000K 程度であることが分かる (6000±250K)。また、フィットしたモデル大気の [Fe/H] は +0.5 であった。通常、新星爆発の熱核暴走反応では質量数 40 以上の元素は合成されないとされているので、この結果は Fe が新たに合成されたのではなく、熱核暴走反応による水素燃焼の結果、水素が欠乏したためと考えられる。また、それよりも更に過剰な炭素の吸収が見られている。より長波長側では酸素や窒素の吸収線にも同様な傾向があるため、CNO の過剰が顕著である。このような傾向は他の新星でも見られることであり、白色矮星表面に降り積もった太陽組成のガスが、白色矮星内までしみこみ (diffusion)、C および O に過剰な状態で熱核暴走反応が進行したことを物語っている。あるいは、そもそも伴星が炭素リッチな進化後期段階の恒星 (炭素星) であったという可能性も否定できない。検出可能なレベルでの C<sub>2</sub> 分子生成は、そもそも新星爆発エンベロープが、酸素に比べて炭素過剰になっている可能性を示唆しているからである (一方、熱核暴走反応の計算からは、通常は酸素が炭素に比べて多いという結果が得られており、他の新星についての観測からも支持さ

れる)。そういう意味では、V2676 Oph は、非常に特殊な新星であったと言える。

以上をまとめると、図2のスペクトルに見られる炭素は中性炭素の吸収線であることや、他の元素についても低励起状態からの吸収線であることから、疑似光球面は比較的溫度が低く低電離度の状態にあったと推測できる（しかも、炭素が酸素に比べてリッチだった可能性が高い）。こうした炭素や酸素、窒素の過剰と、ガスの低溫度・低励起状態は（紫外線輻射が弱い事と合わせて）、C<sub>2</sub>, CN, CO などの分子生成にとって重要な条件になっていると予想される。

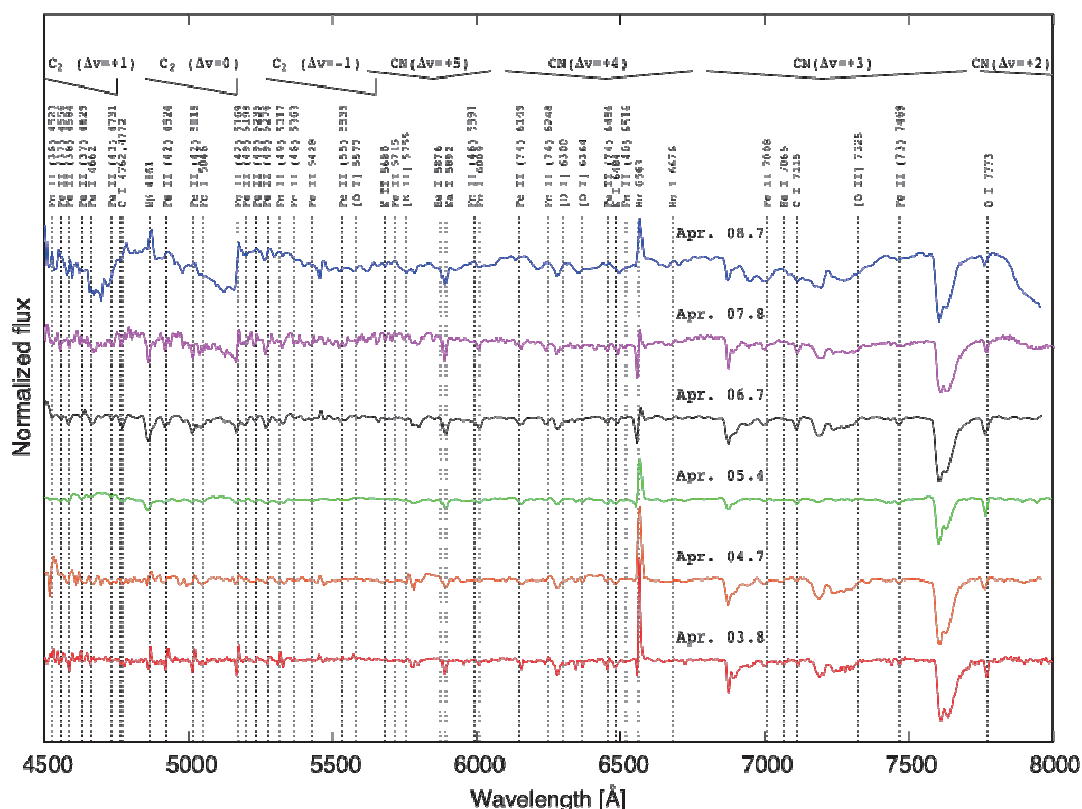


図1：V2676 Oph における分子生成直前の可視光スペクトル（規格化済）の時間変化（Kawakita et al. 2015 の図を改訂）。

一方、この新星が遅い光度変化を示すタイプの新星であることから、その内部構造など物理状態の変化についても、他の通常の新星よりも遅いものと考えられる。また、既に Kawakita et al. (2015) が指摘しているように、H $\alpha$  輝線の P Cyg プロファイル（輝線ピーク波長と吸収線ピーク波長の差）や輝線幅から推定される外層ガスの膨張速度が遅いことも重要かもしれない。それは、新星から放出されるガスの密度を高くする方向に働くからである。

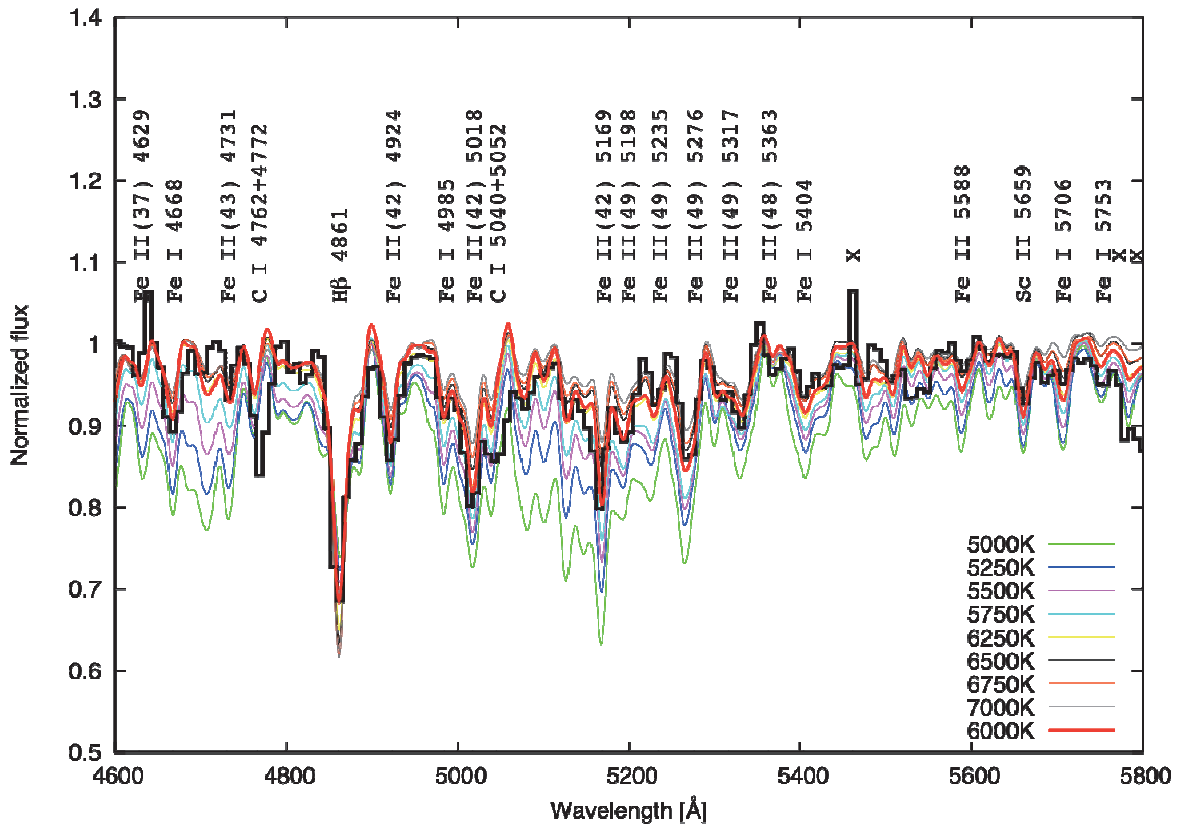


図2 : V2676 Oph における分子生成直前の可視光スペクトル (規格化済) と超巨星のモデル大気スペクトルの比較 (Kawakita et al. 2016)。モデル大気は  $[\text{Fe}/\text{H}] = +0.5$  で、太陽組成よりも水素量が少ない (X は背景光差引による影響)。

ここで生じる疑問の一つは、上述のように V2676 Oph で見られた  $\text{C}_2$  および CN 分子が、疑似光球面付近で形成されたのか、あるいはもっと外層の (おそらく温度がより低いと予想される) 領域で形成されたのかという点である。  $\text{C}_2$  および CN 分子が基本的に吸収線で観測されている以上、その存在領域は光球面付近にあると考えるべきであろう。今回得られている低分散スペクトルが、典型的な炭素星 (恒星表面に炭素が過剰な低温度星) の示すスペクトルに酷似していることも重要な点である。 Kawakita et al. (2015) では、最も  $\text{C}_2$  および CN 分子の吸収線が強く観測された 4 月 8 日には、  $\text{C}_2$  の Swan バンドの形状から推定される回転・振動励起温度は約 4500K としており、炭素星スペクトルとの類似性とも整合的である。この温度が、他の新星で観測される CO 分子輝線バンドの励起温度と同程度であることは興味深い (Banerjee et al. 2016)。一方、通常、CO 分子が輝線バンドとして観測されることは、おそらく CO 分子存在領域が、光球面よりも大きく広がっている可能性を示唆している (あるいは、輻射の影響によって、CO 分子存在領域の温度が、光球面温度よりも高くなっているという可能性も否定できない)。残念ながら、V2676 Oph における CO 分子輝線の確認は極大後、約 1 か月が経過しており、  $\text{C}_2$  および CN 分子の形成とのか

かわりは明確になっていない。CO 分子の生成に伴う CO<sup>+</sup>イオンの検出など、可視光領域における観測手段を模索することが望ましい。

最後に、別の視点から CO 分子の存在を検討してみよう。4月6日頃から4月8日にかけての温度変化は 6000K から 4500K までであり、700K/day 程度である。Evans et al. (2005) は、CO 分子が形成されると、その振動バンド輝線がエネルギーを放出することでガスを冷却する効果があると指摘している。こうした冷却率が CO 分子形成の指標になるかもしれない。CO 分子による冷却に関する指数的減少の時間スケールは、Evans et al. (2005)によれば（条件にもよるが）0.2～5 日程度である。上述の観測結果からは約 4 日程度となっており、C<sub>2</sub>および CN 分子の形成に先だって CO 分子が生成されていた可能性がある。

最後に図3に、V2676 Oph における分子生成期の Vバンド等級の変化と色指数（V-I）の変化をまとめて図示した。この時期にはほとんどスペクトルに（H $\alpha$ 以外に）強い輝線は見られておらず、広帯域測光のデータは黒体輻射温度の指標と考えるとよい。可視極大に向かって、光球面温度はほとんど変化していないことが、新星の色指数から分かる。可視極大後には急激に色指数が赤くなり、温度が低下しており、これが分子生成につながったと考えられる。

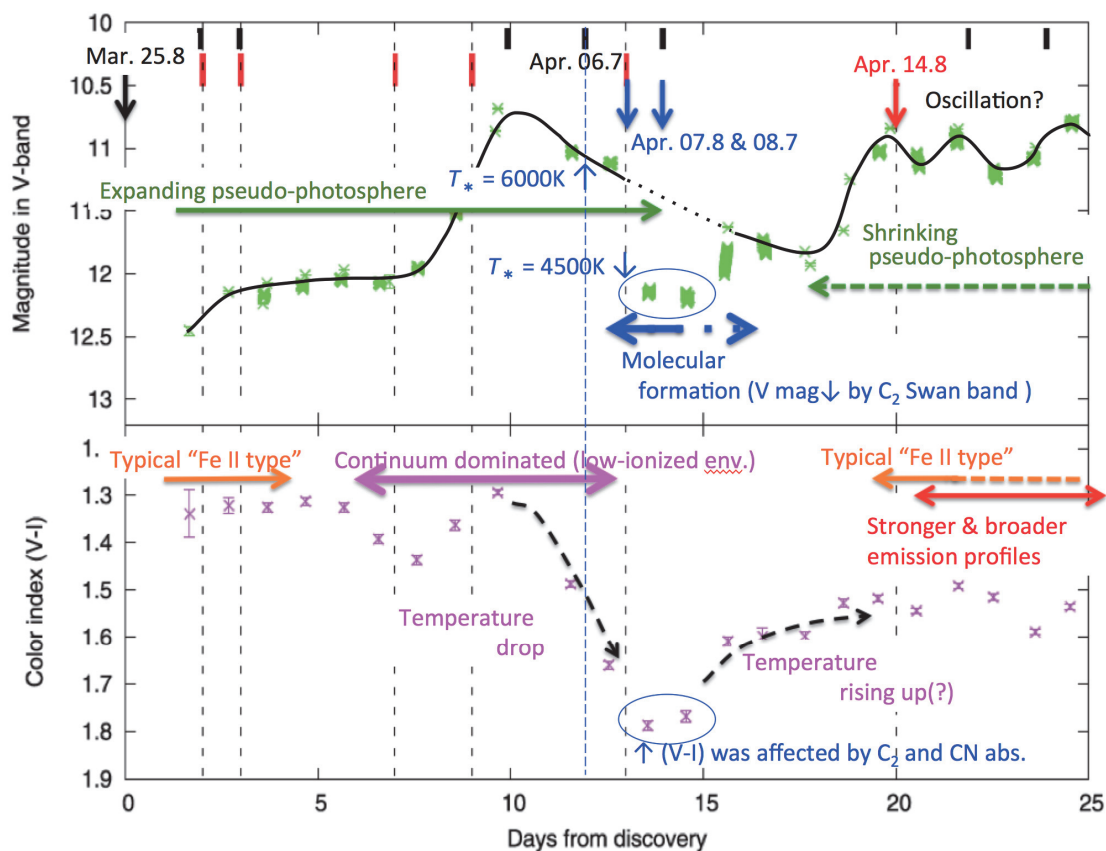


図3：V2676 Oph における Vバンド光度と色指数（V-I）の変化

この温度低下の原因については、先ほど述べた CO 分子の生成に伴う放射冷却が有望であるが、一方で、光球面の膨張による温度低下という可能性もある。発見後 7 日目までは、光度曲線にも色指数にもほとんど変化がなく、光球面半径および温度がほぼ一定であったと推測される。しかし、8 日後から 10 日後の極大にむかって、光度曲線における増光と光球面温度低下が生じており、なんらかの原因で光球面が膨張したとも考えられる。そのエネルギーを供給した一つの可能性は、質量放出をほとんど伴わない静的な内部構造が、新星風を伴う内部構造へと動的に変化したことによる内部エンタルピーの変化である (Kato & Hachisu 2009)。この時期の系は球対称であり、白色矮星表面での核燃焼は安定的であると考えられる。新星の外層ガス中 (白色矮星表面よりも外側) におけるエネルギー生成は、その外層ガスの膨張を促し、表面温度の低下を招く。しかし、すぐに新星風が吹く内部構造が達成されたのではない。発見 18 日後付近になって H $\alpha$  輝線が強くなり、また、輝線幅が急激に増加しているため、その頃になって新星風が顕著になったと考えられる。また、その直後に振動的な光度変化を示していることも、こうした内部構造の急激な変化と何らかの関係があるのかもしれない。

## 5. 新星における元素合成とプレソーラー粒子

新星放出物の元素同位体比決定は決して容易ではないが、分子の輝線や吸収線を利用することが可能である。その観点から、新星爆発直後、可視光極大光度付近での分子形成は重要なイベントである。その他、短寿命核種の崩壊に伴う高エネルギー粒子の放出なども手掛かりとなるため、現在も検出の試みが続いている。太陽系形成の材料物質の残滓であるプレソーラー粒子は、太陽系の平均元素同位体比から外れたものという特徴を持つが、その多くは複数のグループに分類され、進化の進んだ星からの質量放出や、超新星爆発などを起源とすることが明らかになりつつある。その中で、特に炭素および窒素の同位体比が  $^{13}\text{C}$  および  $^{15}\text{N}$  について豊富な粒子が見つかっており、新星の熱核暴走反応の理論的予測から、新星において生成されたダスト粒子ではないかと考えられてきた。その観測的な裏付けは、Kawakita et al. (2015) において初めてなされたが、炭素の同位体比については、近赤外線波長域の CO 分子輝線バンドの観測からもいくつかの新星について、観測的に明らかにされている (Banerjee et al. 2016、他)。表 2 に、これまでに決定された炭素および窒素の同位体比等についてまとめた。これまでに太陽系の隕石において発見されているプレソーラー粒子の炭素および窒素同位体比は、上記の表にある値とほぼ同程度である ( $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} \sim 5$  および  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N} \sim 10$ )。これらの観測事実は、プレソーラー粒子の起源が古典新星であることを強く示唆している。

しかし最近、Kaminski et al. (2015) によって、CK Vul という天体において、上記のプレソーラー粒子の組成に近い炭素・窒素同位体比が得られたとの報告があった。この天体は、1670 年に急激な増光をした天体であり、古典新星とも考えられてきたが、Kaminski et al.



(2015)らによる各種分子の観測から、酸素の同位体比が新星爆発のモデル計算とは合わず、恒星合体による爆発現象ではないかとも言われている。このことから、先に示した炭素・窒素の同位体に富むプレソーラー粒子の起源については、更に研究が必要であると考えられる。分子生成を起こす新星での、同位体比決定のための詳細な観測（特に、継続的な高分散分光観測）が重要である。

表2：新星における分子と元素同位体比

新星	分子種	分子バンドの特徴	新星	$^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$	出展
CO	1118 Å	1 <sup>st</sup> -overtone	V842 Cen	$2.9 \pm 0.4$	Wichmann et al. (1990,1991)
"	"	"	V705 Cas	$\geq 5$	Evans et al. (1996)
"	"	"	V2274 Cyg	$1.2 \pm 0.3$	Rudy et al. (2003)
"	"	"	V2615 Oph	$> 2$	Das et al. (2009)
"	"	"	V496 Sct	$\geq 1.5$	Raj et al. (2010)
"	"	"	"	$\sim 1.3$	Rudy et al. (2009, 2012)
"	"	"	V5668 Sgr	$\sim 1.5$	Banerjee et al. (2016)
C <sub>2</sub>	1436 Å	Swan-band	V2676 Oph	$\sim 4$	Kawakita et al. (2015)
CN	1600 Å	violet system	DQ Her	$\geq 1.5$	Snedden & Lambert (1975) *1
"	"	red system	V2676 Oph	( $\sim 4$ )	Kawakita et al. (2015) *2

\*1)  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N} \geq 2$

\*2)  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N} \sim 2$  ( $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  は C<sub>2</sub> の値を仮定)

## 6. まとめ

本稿では、古典新星における分子外層の形成と、その観測から得られる元素同位体比の重要性を指摘し、また、どのような条件が分子形成を促すかという点について議論を行った。まとめとして、①低温度かつ低UV環境の出現、②炭素・窒素・酸素に豊富な外層、③遅い膨張速度などの条件が、新星イジェクタにおける分子形成に必要ではないかと考えられる。特に、C<sub>2</sub>およびCN分子の形成が可視光で検出されたV2676 Ophについて、詳しく議論をした。同新星ではC<sub>2</sub>およびCN分子の形成に先立ち、CO分子が生成され、その放射冷却によって新星イジェクタが更に冷却された（そのことがC<sub>2</sub>およびCN分子の形成を促進した）可能性がある。観測された新星イジェクタの温度変化は、この可能性を支持している。また、観測から得られた炭素および窒素の同位体比から、新星放出物が太陽系形成に一定の寄与をしたと考えられるが、今後、更に多くの分子生成新星サンプルにおいて高分散分光観測による詳細な物理変化の追跡が重要である。



参考文献

1. 蜂巢・加藤 (2009), 「シリーズ現代の天文学 7 恒星」(野本・定金・佐藤編), 6.3 節「新星」, 日本評論社
2. José et al. (2006), *Nuclear Physics A*, 777, 550.
3. Nittler (2008), in Proceedings of “The 10th Symposium on Nuclei in the Cosmos (NIC X)”, 13, <http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=53>
4. Denissenkov et al. (2014), *MNRAS*, 442, 2058.
5. Sneden & Lambert (1975), *MNRAS*, 170, 533.
6. Nagashima et al. (2014), *ApJ*, 780, L26.
7. Kawakita et al. (2015), *Pub. Astron. Soc. Japan*, 67, 17.
8. Wilson & Merrill (1935), *PASP*, 47, 53.
9. Sanford (1935), *PASJ*, 47, 209.
10. Stoy & Wyse (1935), *PASP*, 47, 50.
11. Banerjee et al. (2016), *MNRAS*, 455, L109.
12. Pontefract & Rawlings (2004), 347, 1294.
13. Hauschildt, Starrfield & Allard (1994), in *ASP Conf. Ser.*, 64, *Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun*, Eighth Cambridge Workshop, ed. J.-P. Caillault (San Francisco: ASP), 705
14. Evans et al. (2005), *MNRAS*, 360, 1483.
15. Shore (2012), *Bull Astr. Soc. India*, 40, 185.
16. Hachisu & Kato (2015), *ApJ*, 798, 76.
17. Kawakita et al. (2016), in Proceedings of “The Physics of Evolved Stars: A Conference Dedicated to the Memory of Olivier Chesneau” (ed. Lagarde, Millour, & Lanz), 147.

## 研究成果・関連論文リスト

神山天文台における研究活動にもとづく博士号学位取得者、学術論文雑誌掲載論文（査読有り／無し）および学会・研究会等での発表については、以下のとおりである。2014年度は学位取得者が3名あり、また、神山天文台の活動に基づく研究成果が多数、出版され始めた。神山天文台における研究活動が、順調に軌道に乗り始めたことを示している。

#### 博士号学位取得者

1. 新中善晴

学位論文タイトル：「Study of the origin of the cometary volatiles」

（京都産業大学大学院理学研究科）

2. 新崎貴之

学位論文タイトル：「An observational approach to stars embedded in the circumstellar matter with a new high resolution spectro-polarimeter」

（京都産業大学大学院理学研究科）

3. 濱野哲史

学位論文タイトル：「A Study of Near-infrared Diffuse Interstellar Bands」

（東京大学大学院理学研究科）

#### 学術論文雑誌掲載論文（査読有り）

1. H. Kawakita, M. Fujii, M. Nagashima, T. Kajikawa, N. Kubo, and A. Arai 2015, “Formation of C<sub>2</sub> and CN in nova V2676 Oph around its visual brightness maximum”, Publ. Astron. Soc. Japan, 67 (2), 17 (1-8).
2. M. Nagashima, A. Arai, T. Kajikawa, H. Kawakita, E. Kitao, T. Arasaki, G. Taguchi, and Y. Ikeda (2015), “Detection of Diatomic Molecules in the Dust Forming Nova V2676 Oph”, Acta Polytechnica CTU Proceedings, 2, 212.
3. T. Kajikawa, A. Arai, M. Nagashima, H. Kawakita, M. Yamanaka, K. Kawabata, and S. Kiyota (2015), “Line Evolution of the Nova V5587 Sgr from Early to Nebula Phase”, Acta Polytechnica CTU Proceedings, 2, 242.
4. T. Kajikawa, M. Nagashima, H. Kawakita, A. Arai, Y. Ikeda, M. Isogai, M. Fujii, and K. Ayani (2015), “Spectroscopic Monitoring Observations of Nova V1724 Aql in 2012”, Acta Polytechnica CTU Proceedings, 2, 238.
5. A. Arai, M. Isogai, M. Yamanaka, H. Akitaya, and M. Uemura (2015), “Optical Low Resolution Spectroscopic Observations of T Pyx during the Early Phase of 2011 Outburst”, Acta Polytechnica CTU Proceedings, 2, 257.

6. A. Tajitu, K. Sadakane, H. Naito, A. Arai, and W. Aoki (2015), “Explosive lithium production in the classical nova V339 Del (Nova Delphini 2013)”, *Nature*, 518, 381.
7. H. Kawakita, et al. (2014), “Extremely Organic-rich Coma of Comet C/2010 G2 (HILL) during its Outburst in 2012”, *Astrophysical Journal*, 788, 110.
8. 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.
9. Hamano, S., Kobayashi, N., Kondo, S., et al. (2015) “Near-infrared Diffuse Interstellar Bands in  $0.91\text{--}1.32\ \mu\text{m}$ ” *The Astrophysical Journal*, 800, article id. 137, 17 pp. (ADS) DOI:10.1088/0004-637X/800/2/137
10. Isogai, Mizuki; Arai, Akira; Yonehara, Atsunori; Kawakita, Hideyo; Uemura, Makoto; Nogami, Daisaku (2015) “Optical dual-band photometry and spectroscopy of the WZ Sge-type dwarf nova EZ Lyn during the 2010 superoutburst” *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Volume 67, Issue 1, id.717 pp
11. F. Fujishiro, et al., “CRAO: a compact and refractive adaptive-optics”, SPIE, 2014.
12. 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).
13. 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.
14. Matsunaga, N., Fukue, K., Yamamoto, R., et al. (2015) “Kinematics of Classical Cepheids in the Nuclear Stellar Disk” *The Astrophysical Journal*, 799, article id. 46, 9 pp. (ADS) DOI:10.1088/0004-637X/799/1/46

#### 学会・研究会等発表

1. N. Fujishiro, et al., “CRAO: a compact and refractive adaptive-optics”, SPIE, 2014.
2. 近藤莊平、「近赤外線波長域での Arcturus 金属ラインリストの作成」日本天文学会(2015年3月)。
3. 新井彰、「遅い古典新星 V2676 Oph における分子外層の生成」日本天文学会 (2015年3月)。
4. 福江慧、「近赤外波長域におけるライン強度比を用いた銀河系中心セフィイドの有効温度の決定」日本天文学会 (2015年3月)。

5. 福江慧、「近赤外線高分散分光に基づく星団中の赤色超巨星の化学組成解析」日本天文学会 (2015年3月) .
6. 泉奈都子、「銀河系最外縁領域における分子雲の物理的特徴」日本天文学会 (2015年3月) .
7. 松永典之、「銀河系中心領域に発見したセファイド変光星の運動」日本天文学会 (2015年3月) .
8. 北尾栄司、「小型屈折光学系補償光学装置 (CRAO) - モノモルフ DM の性能評価と室内補償実験」日本天文学会 (2015年3月) .
9. 濱野哲史、「近赤外線高分散分光器 WINERED による DIB サーベイ : DIB の新検出とその性質」日本天文学会 (2015年3月) .
10. 安井千香子、「銀河系内縁部の星生成領域 Quartet における HAeBe 星候補 : 長い円盤寿命の可能性」日本天文学会 (2014年9月) .
11. 小林尚人、「WINERED による高分散天文学」日本天文学会 (2014年9月) .
12. 近藤荘平、「近赤外高分散分光器 WINERED : 「非冷却光学系」の実現」日本天文学会 (2014年9月) .
13. 北尾栄司、「小型屈折光学系補償光学装置 (CRAO) -1.3m 荒木望遠鏡におけるファーストライト」日本天文学会 (2014年9月) .
14. 清水智、「小型屈折光学系補償光学装置 (CRAO) -両面電極メンブレン型 SATURN DM を用いたループ制御システムの開発」日本天文学会 (2014年9月) .
15. Yamamoto, et al., “SUBARU/IRCS Near-Infrared Spectroscopy of the Young Cluster GLIMPSE9 in the inner Galaxy”, RASPUTIN (2014.10.13-17 @ESO Garching).
16. Matsunaga, et al., “Infrared access to hidden stellar populations in the Galactic bulge and disk”, RASPUTIN (2014.10.13-17 @ESO Garching).
17. Fukue, et al., “FIRST APPLICATION OF LINE-DEPTH RATIOS TO DETERMINE STELLAR EFFECTIVE TEMPERATURES WITH H-BAND SPECTRA”, RASPUTIN (2014.10.13-17 @ESO Garching).
18. Ikeda, et al., “ZnSe immersion grating in the short NIR region”, SPIE 2014 Astronomical Telescopes + Instrumentation (2014.06.22-27 @Canada).
19. Kaji, et al., “The precise measurement of the attenuation coefficients of various IR optical materials applicable to immersion grating”, SPIE 2014 Astronomical Telescopes + Instrumentation (2014.06.22-27 @Canada).
20. Arasaki, et al., “The upgrade of a high dispersion spectro-polarimeter, VESPOLA: new circular polarimetry mode and extremely high resolution mode”, SPIE 2014 Astronomical Telescopes + Instrumentation (2014.06.22-27 @Canada).
21. Kondo, et al., “The metallicities of Arcturus and mu Leo from z-, Y-, and J-bands spectra with the high resolution spectrograph, WINERED”, CoolStars18

- (2014. 06. 09-13 @Flagstaff Arizona).
22. 松永 典之、「銀河系中心領域古典的セフィイドの運動」第 20 回 天体スペクトル研究会 (2015. 03. 07-08)
  23. 小林 尚人、「WINERED による近赤外高分散分光」第 20 回 天体スペクトル研究会 (2015. 03. 07-08)
  24. 近藤 荘平、「赤外線高分散分光器『WINERED』による晩期型星の研究」第 20 回 天体スペクトル研究会 (2015. 03. 07-08)
  25. 水本 岬希、「近赤外高分散分光器『WINERED』による LBV 星の分光観測」第 20 回 天体スペクトル研究会 (2015. 03. 07-08)
  26. 濱野 哲史、「近赤外高分散分光器 WINERED による DIB サーベイ」第 20 回 天体スペクトル研究会 (2015. 03. 07-08)
  27. 山本 遼、「近赤外線高分散分光に基づく星団中の赤色超巨星の化学組成解析」第 20 回 天体スペクトル研究会 (2015. 03. 07-08)
  28. 池田 優二、「高感度赤外線高分散分光器 WINERED の紹介」大質量星の進化・活動現象と星の回転 (2015. 01. 06-07)
  29. 猿楽 祐樹、「高効率 CdZnTe イメージングレーティングの開発 ～スペース中間赤外線高分散分光観測の実現に向けて～」第 15 回 宇宙科学シンポジウム (2015. 01. 06-07)

## Webリリース

### 本学

- ・河北秀世 台長 日本地球惑星科学連合より西田賞を受賞 2015/03/31
- ・「太陽系の材料は新星爆発で作られた」研究成果が日本天文学会欧文報告誌に掲載 2015/02/23
- ・神山天文台の研究者らのチームが宇宙における爆発的リチウム生成の初観測に成功 2015/02/19
- ・星間空間に存在する大きな有機分子の吸収線を多数発見 2015/02/16

### 外部

- ・星間空間に存在する大きな有機分子の吸収線を多数発見プレスリリース 2015/02/16  
発表者 濱野 哲史 (東京大学大学院理学系研究科附属天文学教育研究センター・博士課程 3 年/日本学術振興会特別研究員) 小林 尚人 (東京大学大学院理学系研究科附属天文学教育研究センター・准教授) 河北 秀世 (京都産業大学 神山天文台・台長) <http://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/3359/>

#### 新聞記事掲載

- ・「新星爆発でリチウム」 2015. 2. 19 京都新聞（夕刊） 8 面
- ・「銀河に炭素分子多数」 2015. 2. 17 京都新聞（朝刊） 28 面カラー
- ・「京産大グループ、天体観測で実証」 2015. 2. 28 京都新聞（朝刊） 11 面



## 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、一般市民の方々や教育現場・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 26 (2014) 年度の活動について、以下のとおり記す。

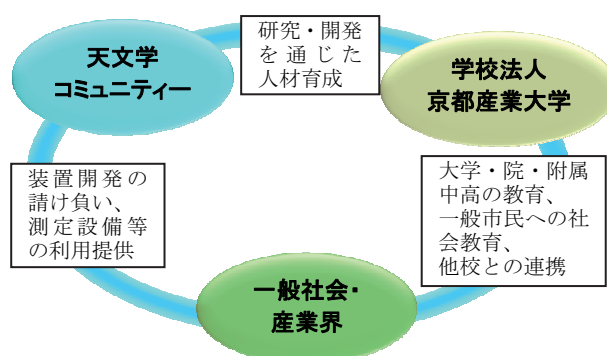


図 1 神山天文台の役割

### 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。平成 26 年度には、本学理学研究科・博士後期課程在籍者 2 名が、神山天文台における研究・開発活動を元にして博士（理学）の学位を取得した。神山天文台における教育支援活動が、学位取得に繋がるだけのクオリティを有していると分かる。

平成 26 年度からは神山天文台としては 2 回目となる私立大学戦略的研究基盤形成支援事業に研究プロジェクト「赤外線高分散分光天文学研究拠点 Infrared Spectroscopy Laboratory の形成」が採択されるなど、取り組んでいる研究は当該分野では常に最先端である。当該補助金により複数の神山天文台研究員を雇用する予定となっており、研究所の活性化が期待される。また上記研究プロジェクトとは別に「特徴ある独自開発装置による天体分光学の新展開」と題する研究計画の下、学生や院生とともに神山天文台研究員が各種の研究を推し進めている。このように神山天文台における研究の多くは学生および神山天文台研究員が主体であり、教育と研究の相乗効果を狙うことも目的の一つである。研究成果の多くはマスメディア等に取り上げられるなど、学生たちの活躍が神山天文台のアクティビティー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90～120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、神山天文台研究員と学生補助員が協力して無料の一般公開を行っている。夜間に口径1.3mの荒木望遠鏡(図2・図3参照)での天体観望会、悪天候時は3D映像を用いたライブ解説を行っている。昼間はシニア、夜間は小学生のファミリー

一が多く、好天時には 100 名程度の方々が天体観望会に訪れる。

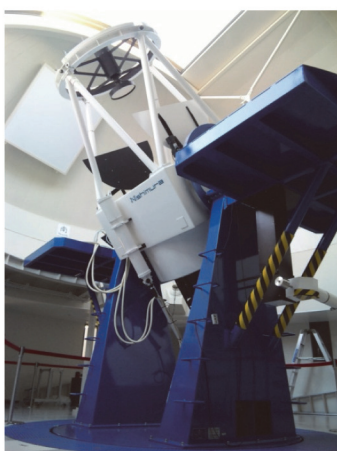


図 2 荒木望遠鏡



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 26（2014）年度までの 5 年間で、22,000 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。

また平日～土曜日の昼間には神山天文台を広く開放し、荒木望遠鏡や神山天文台が誇る各種研究機器等を自由に見学いただけるようになっている。平成 26 年度にはその他にも著名な星景写真家の協力により、館内にて星景写真展(図 4 参照)を開催し、来場者から多数の好評を得ている。



図 4 星景写真展の様子



## (2) 天文学講座

天文学講座は、普段の天体観望会よりも天文学の深い話題に触れていただけるような内容（天文学全般の入門に、太陽観察や光の実験、装置開発の現場見学を交えた内容のもの）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4回程度実施している（図5参照）。天体観望会とリンクさせ、昼間の講座で解説した種類の天体を夜間の観望会でも観察することができる。

和歌山、奈良、兵庫、大阪からも常連の方々が約20名～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講座についても今後の需要が見込まれ、地域の理科教育の一端を担う神山天文台の役割は大きい。また、天文学講座のうち、季節ごとに年2回程度の特別講座を実施している。ここでは、学内外の研究者を講師とした天文学における最前線についての講演会などを開催している。地域の方々と研究者との交流の場を目指し、講座終了後に「アストロノミー・カフェ」を開設（図6参照）し、お茶を飲みながら気軽に講師に質問できる場を提供するなど、地域の方々に親しまれる天文台として、本学のイメージアップにも繋げてきた。



図5 天文学講座の様子



図6 アストロノミー・カフェの様子

## (3) 神山天文台マスコットキャラクター「ほしみ〜るちゃん®」

子供から大人までより多くの方々に神山天文台に親しんでいただくために、マスコットキャラクター「ほしみ〜るちゃん®」が平成25年に誕生した。（図7参照）

これは、観望会における解説補助等を務める学生が考案した原案を本学理学部卒業の職員が学生時代に当天文台の観測・測定装置開発で培った技術で3D化したもので、学生及び教職員から名前を公募のうえ決定、商標登録したものである。

神山天文台における各種ポスターや案内チラシへの掲載や、天体観望会で実施しているスタンプラリーの景品等のほか、社会貢献活動において広く活用されている。



図7 ほしみ〜るちゃん®

## 7. 公開事業を通じた学生の育成

土曜日の一般公開や天文体験学習講座等の実施にあたっては、神山天文台スタッフに加えて、学生補助員（以下、補助員という）として学生の協力を得ている。

補助員は、天体観望会における小型望遠鏡の操作、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、「コミュニケーション講座」（年15回）を実施している。この講座では、小型望遠鏡の扱い方や天文学の基礎的な知識だけでなく、天体観望会での来場者への科学的なトピックの話し方といった高いコミュニケーション能力を身に付けた補助員を養成することを目的としている。講座修了者には、「神山天文台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約 50 名（2015 年 3 月現在）の学生が参加し、神山天文台研究員の指導の下、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	宇宙の蜃気楼	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 ～金赤外線高分散分光器の開発～	近藤 荘平 神山天文台特定研究員
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

平成26年度 天文学講座開催一覧

回数	開催日	時間	タイトル	講師
1	5月17日	15:00～16:30	素粒子の質量、宇宙の質量	杉山 弘晃 益川塾博士研究員
2	7月5日 (特別講座)	17:00～18:00	七夕伝説の星座と天の川	中道 晶香 神山天文台主任研究員
3	8月2日	16:00～18:00	星空の彼方の大宇宙	大西 浩次 長野工業高等専門学校教授／天文学者／星景写真家)
4	10月18日	14:30～16:00	目に見えない光で観る惑星のすがた	佐川 英夫 理学部准教授
5	12月20日 (特別講座)	15:00～16:30	はやぶさ2が目指すもの はやぶさ2の開発の裏側―衝突の瞬間を捉えろ	河北 秀世 理学部教授／神山天文台長 池田 優二 フォトコーディング代表／神山天文台客員研究員
6	3月28日	15:00～16:30	神山天文台 バックヤードツアー	中道 晶香 神山天文台主任研究員 中西 賢之 神山天文台囃託職員

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	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度
一般公開(施設見学, 天体観望会, 3D映像上映会)	2060	1762	1719	1384	1161
天文台講座	120	188			
天文学講座		260	303	347	148
特別講演会	77	33	36	64	92
ひらめき☆ときめきサイエンス(日本学術振興会との共催)	77	30			
学校・教育機関等利用(小・中・高校等)	484	393	407	204	204
オープンキャンパス	960	787	592	510	963
サタデージャンボリー	547	466	213	316	273
京都産業大学DAY	116	156	224	179	217
学内観望会(本学学生、教職員向け3D上映会, 天体観望会)	190	417	115	188	122
神山祭	232	557	284	534	509
その他(入学式, 卒業式等特別公開他)	185	65	162	137	89
合計	5048	5114	4055	3863	3778

# 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 東 府 県	小 学 生 以 下	中 高 生	大 学 生	一 般 60 未 満	一 般 60 以 上	計
4月3日		晴れ	○	66	6	26	5	10	1	42	47	3	103
4月10日		曇り	×	32	4	3	0	1	0	1	17	20	39
4月17日		晴れ	○	91	16	10	0	21	6	11	61	18	117
4月24日		晴れ	○	69	3	21	3	11	0	32	39	14	96
4月 小計			3	258	29	60	8	43	7	86	164	55	355
5月1日		晴れ時々曇り	○	52	4	22	5	19	1	16	44	3	83
5月8日		晴れ後曇り	○	50	1	7	0	3	2	28	23	2	58
5月15日		晴れ後曇り	○	15	2	22	1	5	1	13	20	1	40
5月22日		曇り	×	5	1	4	5	0	0	1	13	1	15
5月29日		晴れ	○	65	2	13	1	15	1	16	38	11	81
5月 小計			4	187	10	68	12	42	5	74	138	18	277
6月5日		晴れ	○	70	2	24	6	12	2	21	51	16	102
6月12日		晴れ後曇り	○	50	6	13	2	21	2	4	37	7	71
6月19日		曇り	×	6	2	11	1	0	0	3	15	2	20
6月26日	天文台講座	雨	×	9	0	3	0	0	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		晴れのち曇り	○	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	近畿地区	その他府県	小学生以下	中学生	大学生	一般60未満	一般60以上	計	
4月2日		曇り	○	12	0	11	2	3	0	3	16	3	25	
4月9日		曇り	○	9	4	15	4	5	1	1	24	1	32	
4月16日		曇り時々晴れ	○	13	2	1	2	0	1	1	12	4	18	
4月23日		曇り	○	3	0	0	0	0	0	1	0	2	3	
4月24日		曇り	○	6	0	3	2	1	0	0	9	1	11	
4月 小計				5	43	6	30	10	9	2	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	近畿地区	その他府県	小学生以下	中学生	大学生	一般60未満	一般60以上	計	
4月7日	曇り時々晴れ	○	10	0	2	2	2	0	5	6	1	14	
4月14日	曇り時々晴れ	○	5	1	10	0	5	0	1	8	2	16	
4月21日	曇り	×	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4月28日	晴れ	○	33	5	43	1	20	0	3	49	10	82	
4月計			3	48	6	55	3	27	0	9	63	112	
5月12日	晴れ	○	12	5	3	4	4	1	1	17	1	24	
5月19日	天文学入門講座	晴れのち曇り	○	31	1	5	4	6	2	3	14	16	41
5月26日	曇り	○	17	5	5	1	5	2	3	12	6	28	
5月計			3	60	11	13	9	15	5	7	43	23	93
6月2日	曇り	×	12	3	3	2	4	0	3	10	3	20	
6月9日	天文学入門講座特別編第1回	曇り時々雨のち晴れ	○	28	2	8	0	4	0	6	13	15	38
6月16日	オープンキャンパス	雨	×	1	0	0	1	1	0	0	1	0	2
6月23日	天文学入門講座	曇り	×	29	1	6	0	2	0	11	15	8	36
6月30日	雨	×	3	2	5	0	1	0	3	5	1	10	
6月計			1	73	8	22	3	12	0	23	44	27	106
7月7日	七夕講演会	曇りのち晴れ	○	27	4	9	6	11	2	3	24	6	46
7月14日	曇りのち雨	×	4	0	5	0	0	0	4	5	0	9	
7月21日	曇り時々雨	×	6	0	12	0	8	1	0	9	0	18	
7月28日	天文学入門講座	晴れ時々曇り	○	33	2	17	3	16	2	2	30	5	55
7月計			2	70	6	43	9	35	5	9	68	11	128
8月4日	オープンキャンパス	晴れ時々曇り	○	24	4	10	1	4	1	9	19	6	39
8月25日	天文学入門講座	晴れ	○	59	0	32	2	20	0	4	62	7	93
8月計			2	83	4	42	3	24	1	13	81	13	132
9月8日	天文学入門講座(池田先生)※中止	曇り時々雨	○	7	0	8	0	0	0	12	3	15	
9月15日	曇り時々晴れ	○	44	7	31	6	14	1	7	52	14	88	
9月29日	天文学入門講座特別編第2回	曇り	×	11	4	9	0	0	1	2	9	12	24
9月計			2	62	11	48	6	14	2	9	73	29	127
10月6日	曇りのち雨	×	33	3	14	14	2	8	16	38	0	64	
10月13日	サタデージャンボリー	曇り時々晴れ	○	15	0	3	0	3	1	3	8	3	18
10月20日	天文学入門講座	晴れ	○	42	3	10	8	11	2	2	37	11	63
10月27日	曇り	○	21	0	13	2	6	3	3	9	15	36	
10月計			3	111	6	40	24	22	14	24	92	29	181
11月10日	天文学入門講座	曇り時々晴れ	○	31	4	12	1	4	1	2	26	15	48
11月24日	曇りのち晴れ	○	17	2	2	0	5	0	4	11	1	21	
11月計			2	48	6	14	1	9	1	6	37	16	69
12月1日	雨	×	1	0	1	1	0	0	1	2	0	3	
12月8日	天文学入門講座特別編第3回	曇りのち晴れ	○	14	7	19	0	4	0	5	9	22	40
12月15日	曇りのち雨	×	11	0	5	2	6	2	0	8	2	18	
12月22日	天文学入門講座(Xmas特別企画)	曇り時々雨	×	18	2	7	0	5	4	2	8	8	27
12月計			1	44	9	32	3	15	6	8	27	32	88
1月12日	天文学入門講座	晴れ	○	15	9	19	2	9	3	3	22	8	45
1月計			1	15	9	19	2	9	3	3	22	8	45
2月2日	曇りのち晴れ	○	10	2	2	2	2	1	4	9	0	16	
2月9日	曇りのち晴れ	○	9	1	15	3	8	1	1	18	0	28	
2月16日	天文学入門講座	晴れ時々雪	○	11	5	20	1	2	7	3	18	7	37
2月23日	晴れ時々曇り	○	9	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	近畿 地区	その他 府県	小学生 以下	中学生	大学生	一般 60未満	一般 60以上	計	
4月6日	雨-嵐	×	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	
4月13日	晴れ	○	9	0	2	1	3	0	1	8	0	12	
4月20日	天文学入門講座	×	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	
<b>4月計</b>			<b>2</b>	<b>68</b>	<b>8</b>	<b>21</b>	<b>5</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>19</b>	<b>54</b>	<b>13</b>	<b>102</b>
5月11日	雨のち曇り	×	3	0	1	0	1	0	0	3	0	4	
5月18日	天文学入門講座	○	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	
<b>5月計</b>			<b>2</b>	<b>39</b>	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>13</b>	<b>28</b>	<b>7</b>	<b>56</b>
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	○	44	2	12	2	4	0	16	33	8	61	
<b>6月計</b>			<b>1</b>	<b>44</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>16</b>	<b>33</b>	<b>8</b>	<b>61</b>
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	○	49	5	7	7	14	4	7	34	9	68	
<b>7月計</b>			<b>2</b>	<b>81</b>	<b>6</b>	<b>21</b>	<b>8</b>	<b>30</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>65</b>	<b>10</b>	<b>116</b>
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	
<b>8月計</b>			<b>1</b>	<b>66</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>30</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>43</b>	<b>6</b>	<b>86</b>
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	○	41	7	20	2	3	0	9	47	11	70	
<b>9月計</b>			<b>2</b>	<b>84</b>	<b>7</b>	<b>33</b>	<b>7</b>	<b>19</b>	<b>2</b>	<b>14</b>	<b>83</b>	<b>13</b>	<b>131</b>
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	×	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	
<b>10月計</b>			<b>2</b>	<b>66</b>	<b>3</b>	<b>29</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>57</b>	<b>16</b>	<b>104</b>
11月9日	天文学入門講座	○	35	3	16	2	8	2	5	34	8	57	
11月30日	アイソシ彗星講演会	○	64	4	13	3	19	2	7	48	8	84	
<b>11月計</b>			<b>2</b>	<b>99</b>	<b>7</b>	<b>29</b>	<b>5</b>	<b>27</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>82</b>	<b>16</b>	<b>141</b>
12月7日	天文学入門講座特別編	×	17	0	16	0	1	2	4	19	7	33	
12月14日	曇り時々晴れ	○	7	3	2	1	1	0	0	20	2	23	
12月21日	天文学入門講座(Xmas特別企画)	×	20	0	12	7	4	0	6	22	8	40	
<b>12月計</b>			<b>1</b>	<b>44</b>	<b>3</b>	<b>30</b>	<b>18</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>61</b>	<b>17</b>	<b>96</b>
<b>1月計</b>			<b>-</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
<b>2月計</b>			<b>-</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
3月22日	曇れ	○	10	20	6	2	8	4	2	16	8	38	
3月29日	天文学入門講座特別編	×	22	3	11	6	2	2	12	19	7	42	
<b>3月計</b>			<b>1</b>	<b>32</b>	<b>23</b>	<b>17</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>14</b>	<b>35</b>	<b>15</b>	<b>80</b>
			<b>16</b>	<b>623</b>	<b>61</b>	<b>220</b>	<b>66</b>	<b>159</b>	<b>27</b>	<b>125</b>	<b>541</b>	<b>121</b>	<b>973</b>

平成26年度(2014) 一般公開来場者数

イベント	天候状況	※観望会開催	京都市	京都府	近畿地区	その他府県	小学生以下	中学生	大学生	一般60未満	一般60以上	※その他	計		
4月7日	天体観望会・3D上映会	雨	×	4	0	1	0	0	2	3	0	0	5		
4月12日	天体観望会	晴れ	○	7	0	2	3	1	2	2	0	7	12		
4月19日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	5	0	0	0	2	0	3	0	0	5		
4月26日	天体観望会	晴れ	○	26	0	8	7	10	6	20	2	3	41		
<b>4月計</b>				<b>42</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>63</b>		
5月10日	天体観望会	晴れ	○	23	4	0	0	9	3	14	0	1	27		
5月17日	施設見学・天文学講座・天体観望会	晴れ	○	30	4	22	3	2	17	27	8	3	59		
5月24日	天体観望会	晴れ	○	16	1	5	0	4	1	14	3	0	22		
5月31日	京都産業大学DAY・天体観望会	晴れ	○	27	0	6	7	7	5	17	2	6	40		
<b>5月計</b>				<b>96</b>	<b>9</b>	<b>33</b>	<b>10</b>	<b>22</b>	<b>7</b>	<b>72</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>148</b>		
6月7日	天体観望会・3D上映会	曇り	△	10	0	0	0	1	1	3	4	1	10		
<b>6月計</b>				<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>10</b>		
7月5日	七夕講演会・3D上映会	曇り	×	21	3	15	1	5	10	17	5	2	40		
7月19日	天体観望会・3D上映会	曇り	×	8	0	0	1	0	4	5	0	0	9		
7月26日	天体観望会	晴れ	○	26	7	18	0	12	3	37	2	0	51		
<b>7月計</b>				<b>55</b>	<b>10</b>	<b>33</b>	<b>2</b>	<b>17</b>	<b>2</b>	<b>59</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>100</b>		
8月2日	天文学講座・3D上映会	曇り	×	34	7	25	2	2	13	35	7	6	68		
8月7日	天体観望会	曇り	○	14	4	4	19	6	5	8	1	4	41		
8月23日	3D上映会	曇りのち雨	×	21	4	10	1	6	4	17	3	0	36		
<b>8月計</b>				<b>69</b>	<b>15</b>	<b>39</b>	<b>22</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>60</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>125</b>		
9月6日	3D上映会	雨	×	3	0	1	0	0	0	4	0	0	4		
9月13日	天体観望会	曇り	○	48	4	19	15	12	12	33	5	19	86		
9月20日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	17	0	1	1	1	5	12	0	0	19		
9月27日	天体観望会	晴れ	○	38	4	7	1	11	5	24	3	6	50		
<b>9月計</b>				<b>106</b>	<b>8</b>	<b>28</b>	<b>17</b>	<b>24</b>	<b>7</b>	<b>73</b>	<b>8</b>	<b>25</b>	<b>159</b>		
10月4日	天体観望会・3D上映会	曇りのち晴れ	○	13	1	4	0	1	4	12	1	0	18		
10月8日	皆既月食観望会	晴れ	○	225	12	41	8	41	3	119	12	15	286		
10月11日	天体観望会	曇りのち晴れ	○	11	0	12	9	1	11	12	1	7	32		
10月18日	天体観望会・3D上映会	晴れ	○	22	0	9	3	7	4	19	4	0	34		
10月25日	サタデージャンボリー・天体観望会	晴れ時々曇り	○	13	7	1	4	3	1	15	1	0	25		
<b>10月計</b>				<b>284</b>	<b>20</b>	<b>67</b>	<b>24</b>	<b>53</b>	<b>5</b>	<b>143</b>	<b>19</b>	<b>22</b>	<b>399</b>		
11月8日	天体観望会・3D上映会	曇り	△	3	3	3	4	1	4	6	1	0	13		
11月29日	天体観望会・3D上映会	晴れ時々曇り	○	17	5	5	2	7	2	12	0	8	29		
<b>11月計</b>				<b>20</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>18</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>42</b>		
12月6日	天体観望会・3D上映会	晴れ時々曇り	○	12	0	5	0	4	1	9	0	2	17		
12月13日	天体観望会	晴れ	○	21	2	9	2	10	2	19	0	1	34		
12月20日	クリスマス特別講演会・3D上映会	雨のち曇り	×	24	2	13	18	3	33	19	1	1	57		
<b>12月計</b>				<b>57</b>	<b>4</b>	<b>27</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>3</b>	<b>47</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>108</b>		
<b>1月計</b>				<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
<b>2月計</b>				<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
3月21日	卒業式特別開館・天体観望会	晴れ時々曇り	○	3	0	1	0	0	1	1	0	1	4		
3月28日	天体観望会・天文学講座	晴れ	○	9	10	7	1	0	5	14	3	1	27		
<b>3月計</b>				<b>2</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>31</b>		
<b>計</b>				<b>2</b>	<b>751</b>	<b>84</b>	<b>254</b>	<b>112</b>	<b>169</b>	<b>43</b>	<b>282</b>	<b>532</b>	<b>69</b>	<b>94</b>	<b>1185</b>

神山天文台 新聞等記事掲載一覧

年度	No	日付	新聞名	朝刊・夕刊等	面	記事名
2009年度	1	2009.12.22	MSN産経ニュース			京産大の天文台が完成 口径1.3メートル、国内私立大最大
	2	2009.12.23	中日新聞	朝刊	19	口径1.3メートル光学望遠鏡を設置 京産大に天文台完成 来春運用へ
	3	2009.12.23	京都新聞	朝刊	1	私大最大 星空への瞳
	4	2009.12.23	毎日新聞	朝刊	27	雑記帳
	5	2009.12.23	読売新聞	朝刊	28	京産大の天文台 完成
	6	2009.12.24	朝日新聞	朝刊	25	京産大に天文台完成 望遠鏡口径国内6番目
	7	2009.12.27	産経新聞	朝刊	18	宇宙を望むような大きな挑戦を
	8	2010.3.10	産経新聞	朝刊	23	京都から銀河を観測
	9	2010.3.14	京都新聞	朝刊	30	巨大望遠鏡に興味津々
	10	2010.3.27	読売新聞	朝刊	22	星をたずねて
2010年度	11	2010.4.4	読売新聞	朝刊	31	京都産業大学神山天文台の一般公開
	12	2010.4.4	京都新聞	朝刊	26	京の星空「宝石みたい」京産大「神山天文台」を公開
	13	2010.4.26	読売新聞	朝刊	25	京産大に大型望遠鏡
	14	2010.5.7	京都新聞	朝刊	6	神山天文台の開設 モノづくり教育と知の還元
	15	2010.5.25	毎日新聞	朝刊	20	京都産業大学の真価
	16	2010.6.1	ガクソン		13	京都産業大学に大型天体望遠鏡を設置した天文台が完成!
	17	2010.6.1	THE JUNIOR TIMES			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	宇宙規模の視点を人間を見つめる天文台
	19	2010.6.15	京都新聞	朝刊	25	七夕に最新宇宙知ろう
	20	2012.6.19	リビング京都(中央・東南・西南)		6	天文台&プラネタリウムで「星空の旅」へ出かけよう
2010年度	21	2010.6.28	毎日新聞	朝刊	29	支局長さんからの手紙 はやぶさ君
	22	2010.7.2	産経新聞	朝刊	15	全国同時七夕講演会
	23	2010.7.28	京都新聞	朝刊	24	京産大神山天文台高校生向けに講座(No.27の下に貼付分)
	24	2010.8.2	産経新聞	朝刊	18	3Dで望遠鏡で・・・宇宙の旅
	25	2010.8.25	毎日新聞	朝刊	12	京都産業大学第2回天文台講座「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			西山さんと椋鳥さん、わし座に新彗を発見
	28	2010	京のみどり 56号		P2,4	歴史と文化を未来につなぐ 賀茂川周迎のみどりを歩く
	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
2011年度	31	2010.12.22	産経新聞	朝刊	21	小学生ら対象に天文のイベント
	32	2010	なび①修学旅行フリータイムガイドブック京都奈良		102,112	一足お先にキャンパスライフ
	33	2011.1.1	進研ゼミ高1講座 高1MyVision 2011.1月号		44	いざキャンパスジャーニーへ!
	34	2011.2.26	リビング京都中央		7	子どもも大人も星空の世界へ
	35	2011.4.24	読売新聞	朝刊	23	やわらか頭で広がる答え
	36	2011.5.1	週刊ダイヤモンド 2011.5.14号		P22,23	ダイヤモンド21c 京都産業大学
	37	2011.5.22	京都新聞	朝刊	3	京都 まなびの系譜 宇宙を見つめて 新設の天文台 膨らむ夢
	38	2011.6.2	京都新聞	朝刊	21	最新の天体研究語る
	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	京都産業大学神山天文台講座	
2011年度	41	2011.6.10	京都新聞	朝刊	28	京産大生ら学内天文台超新星確認
	42	2011.7.2	京都新聞	朝刊	25	天文や七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「七夕の星と天の川～中国から伝わった星図屏風～」を開催ー京都産業大学
	44	2011.7.31	読売新聞	朝刊	5	星の便り～時空を超えて～
	45	2011.8.9	京都新聞	朝刊	22	未来の科学者 育ってます
	46	2011.8.30	読売新聞	朝刊	20	京都産業大学 神山天文台 一般公開のご案内
	47	2011.9.1	朝日新聞	朝刊	24	星の美しさにワットリ
	48	2011.10.5	京都新聞	朝刊	23	神山天文台の研究活動紹介
	49	2011.10.8	産経新聞	朝刊	23	産学連携で観測機器の開発
	50	2011.12.1	日経グローバル No.185 2011.12.5号		22,23	地域内の連携・競争がバネに
51	2011.12.1	日経グローバル No.185 2011.12.5号		30	一押しプロジェクト	
52	2011.12.3	産経新聞、朝日新聞、京都新聞	朝刊	28,37,31	自分たちがつくった観測装置が宇宙の進化を解き明かす	

年度	N 〇	日付	新聞名	朝刊・夕刊等	面	記事名
2011年度	53	2011.12.9	京都新聞	朝刊	25	重力レンズ現象解説あす天文学講演会
	54	2011.12.10	京都新聞	朝刊	25	京都産業大学神山天文台講座「宇宙の嵐気楼」
	55	2011.12.11	京都新聞	朝刊	25	宇宙の嵐気楼広がる夢
	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	宇宙の観測力発信へ連携
	60	2012.2.1	京都新聞	夕刊	1	空を仰いでごらん
	61	2012.3.21	毎日新聞	朝刊	20	先進望遠鏡で宇宙を解析
	62	2012.7.23	swissinfo.ch web版			最遠の超新星の跡発見
2012年度	63	2012.7.23	中日新聞web版			119億光年先に最遠超新星跡
	64	2012.7.24	京都新聞	朝刊	26	119億光年先に最遠超新星跡
	65	2012.8.29	京都新聞	朝刊	1	ハートレイ 彗星カス分析に成功
	66	2012.8.30	マイナビニュース			京産大・神山天文台、NASAの「EPOMI 彗星探査計画」の地上支援の成果を発表
	67	2012.9.21	京都新聞	朝刊	23	天文学入門 京産大で講座
	68	2012.9.23	読売新聞	朝刊	26	嵐山で中秋の名月法輪寺などで催し
	69	2012.9.30	京都新聞	朝刊	26	京の文化施設学生無料
	70	2012.10.2	毎日新聞	朝刊	15	最新の超新星跡を発見
	71	2012.11.5	京都新聞	夕刊	3	私立 嵐大の反射式望遠鏡
	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	京都修学旅行パスポート			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る方観察
	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	TKK10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一作製
	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7ル・タイムカ`イトブック「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 彗星の成分分析
	88	2013.11.24	日本経済新聞	朝刊	19	初期の太陽系、彗星に痕跡
	89	2013.11.27	京都新聞	朝刊	23	アイソソン 彗星 催し多数
	90	2013.12.1	産経新聞	朝刊	22	アイソソン 彗星 まだ見られる？
	91	2013.12.5	京都新聞	朝刊	21	天文学入門講座特別編 「天体を細かく見るための観測技術」
	92	2013.12.8	読売新聞		34	彗星の動向 見通す難しさ
2014年度	93	2013.12.15	大学ジャーナル vo.108			京都の街中から世界に挑む 神山天文台
	94	2014.2.21	京都新聞	朝刊	21	アイソソン 彗星にアノミア 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 彗星 南極圏の観測 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 彗星のアノミ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 彗星から単独彗星では初となる「15NH2」を検出
	99	2014.2.28	読売新聞	朝刊	32	工作や実験 子供と交流 学生らアドバイス
	100	2014.3.27	読売新聞	朝刊	34	新星現象 専門家解説
	101	2014.3.9	京都新聞		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
103	2014.5.2	京都新聞	夕刊	7	彗星の力	
104	2014.5.14	毎日新聞	朝刊	25	京都産業大学神山天文台 天文学講座	
105	2014.6.27	学研教育出版 進学情報サイト「ガクセイ」			京都産業大「天文学講座 星空の彼方の大宇宙」を開催	
106	2014.7.4	産経新聞	朝刊	28	3000光年の彼方 地球に似た惑星	
107	2014.7.4	京都新聞	Web版		地球に質量が似た惑星発見 3000光年離れた「連星」で	

年度	N o	日付	新聞名	朝刊・夕刊等	面	記事名
2014年度	108	2014.7.4	北海道新聞	Web版		地球に質量が似た惑星発見 3000光年離れた「連星」で
	109	2014.7.4	佐賀新聞	Web版		地球に質量が似た惑星発見 3000光年離れた「連星」で
	110	2014.7.9	天文ガイド	8月号		天体観望会・第2回天文学講座案内
	111	2014.7.10	文藝春秋	8月号		星に願いを
	112	2014.7.22	読売新聞		34	宇宙兄弟展 30日、いよいよ開幕
	113	2014.7	京都・洛北フリーペーパー あべきた			天体観望会・第2回天文学講座案内
	114	2014.8.7	読売新聞		35	天文台で星空眺めよう
	115	2014.8.7	日経REVIEW			京阪神の天体観測イベント
	116	2014.8.14	読売新聞	朝刊	27	「宇宙兄弟」小山さん 高校生と天文台訪問
	117	2014.8.16	読売新聞	朝刊	28	宇宙兄弟展 体験教室・講座も
	118	2014.8.24	京都新聞	朝刊	22	夏の天三角形に思いはせ
	119	2014.8.24	読売新聞	朝刊	29	京産大學生が星の世界案内
	120	2014.8.25	読売新聞	朝刊	19	太陽系外の微粒子7個
	121	2014.9.27	読売新聞		30	京産大×宇宙兄弟展 失敗恐れず、チャレンジしよう!
	122	2014.10.9	京都新聞	朝刊	24	赤い月 京にも
	123	2014.10.19	日本経済新聞	朝刊	19	彗星へ着陸機を放て
	124	2014.10.23	毎日新聞	朝刊	14	彗星に着陸 新発見期待
	125	2014.11.13	毎日新聞		11	探査機 彗星に初上陸
	126	2014.11.19	読売新聞	朝刊	37	彗星の気体から有機物
	127	2015.1.10	京都新聞	Web版		冬の星空の魅力、見直そう
	128	2015.2.14	リビング京都		2	夜空からのメッセージはふたご星から
	129	2015.2.17	京都新聞	朝刊	28	龍河に酸素分子多数 京産大などが初観測 恒星の光から観測
	130	2015.2.19	京都新聞	夕刊	8	新星爆発でリチウム 京産大などが初観測 元素増えた過程解明へ
	131	2015.2.28	京都新聞	朝刊	11	太陽系微量物質の一部、新星爆発に由来 京産大グループ、天体観測で実証
	132	2014	student days			京産大 神山天文台
	133	2014	なるほど地図帳 日本2015			京産大 神山天文台
	134	2014	きょうと修学旅行ナビ			京産大 神山天文台
	135	2014	旅なび修学旅行 京都&奈良			京産大 神山天文台
	136	2014	京都修学旅行パスポート			京産大 神山天文台





平成 26 年度神山天文台  
研究成果報告書

平成 28 年 3 月

発行 京都産業大学

神山天文台

〒603-8555 京都市北区上賀茂本山

印刷 株式会社 北斗プリント社



むすんで、うみだす。

京都産業大学