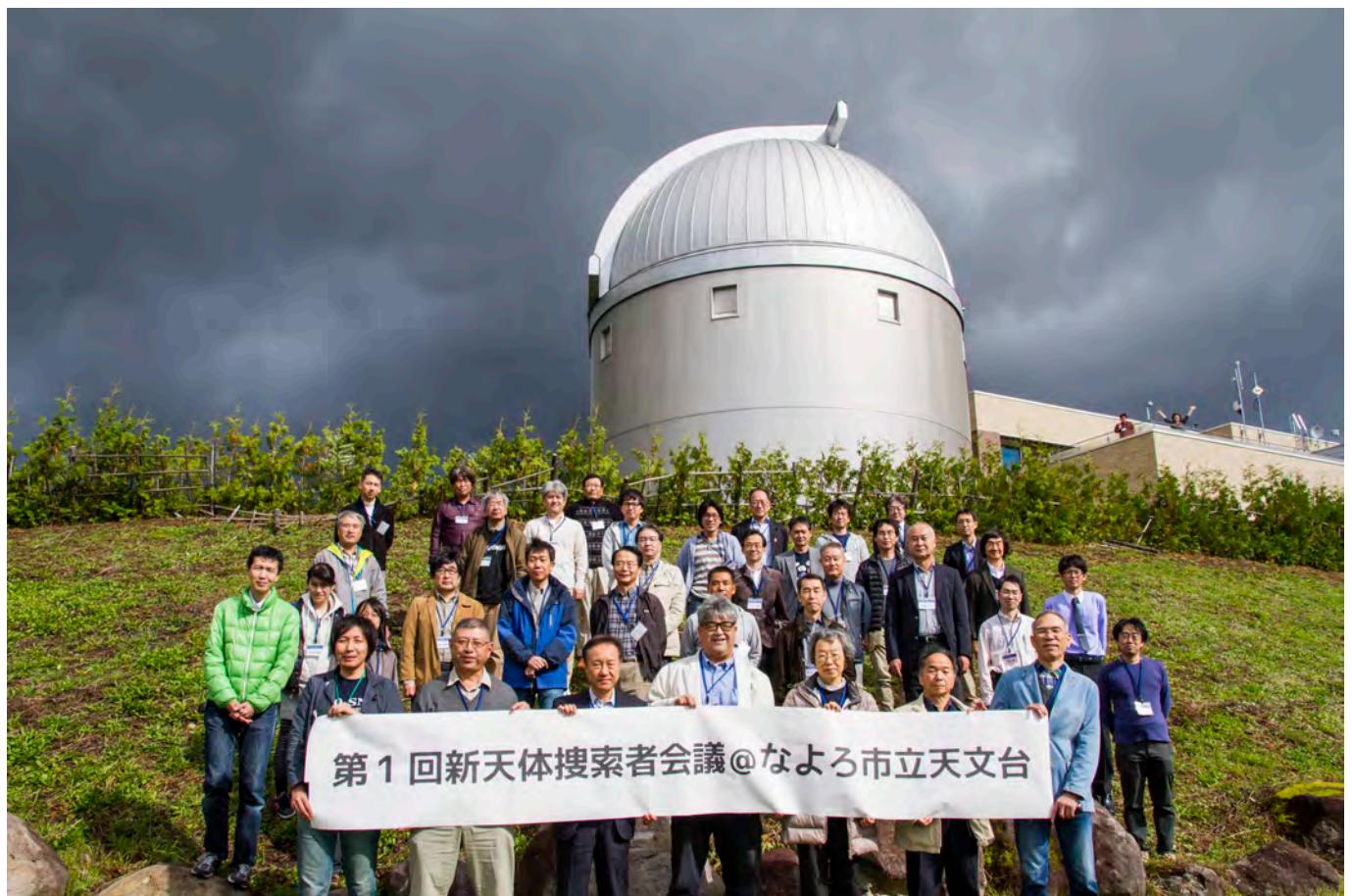


# Stella Nova 2015

第1回新天体搜索者会議集録



2015年10月2日～4日

於 なよろ市立天文台



# はじめに

第1回新天体搜索者会議集録を皆さんにお届けすることができることを嬉しく思います。

この会議は「新天体」に興味を持つ天文愛好家と研究者とが交流を持つことで、天文学の新たな発見に繋げ、新天体搜索活動の学術的価値および文化的価値をより一層高めることを目的に発足しました。その発端となったのは2004年の「第1回超新星搜索者の集い」でした。串田麗樹さん、広瀬洋治さん、佐野康男さん、板垣公一さんら超新星発見者有志を発起人として「第1回超新星搜索者の集い」が神奈川県立青少年センターで開催され、搜索者間の有意義な情報交換が図られました。2008年には「第2回超新星搜索者の集い」が西はりま天文台シンポジウム「新天体からのサイエンス」の一セッションとして企画され、それには研究者も数多く参加し、搜索者と研究者との交流の場が生まれました。シンポジウムの参加者からは、より大きな交流が図られるように「超新星」から「新天体」へと会の発展を希望する声が多数あり、また最近の新天体サイエンスの深化に新天体搜索者の活躍が多大に寄与していることから、このたび「第1回新天体搜索者会議」を開催する運びとなりました。今後も、天体搜索者の搜索意欲をさらに掻き立てられるように、そして新天体の発見や学術研究の成果が数多く生み出されるように、新天体の楽しさ・醍醐味を共有できる場として新天体搜索者会議を発展させていきたい所存です。

第1回目となる新天体搜索者会議を2015年10月2日から4日まで、なよろ市立天文台（北海道名寄市）で開催しました。国内外から全体で53名（内、海外から3名）の参加者があり、天文愛好家・公開天文台職員などの参加者は35名（内、新天体発見者は9名）、研究者は18名と、新天体の搜索活動紹介から学術研究成果まで幅広い内容のセッションを展開できました。特に、今回の会議の特徴として、精力的な搜索活動で有名な板垣公一さんが2014年12月に超新星発見100個を達成されたことを記念し、特別公開講演会の一つとして、佐野康男さん（なよろ市立天文台長）とのトークショーを企画しました。また、板垣さんが発見した天体で、その学術成果が英科学誌ネイチャーにも発表されている超新星2005cz、超新星2006jc、そして古典新星V339 Delのレビューを、それぞれ実際に論文に携わった研究者直々に講演してもらいました。これらの企画は大変好評だったようで、「板垣さんの体験談に感銘し、大いに刺激を受けた」という声も頂戴しています。次回の企画にもご期待いただけたら幸いです。

振り返ってみると、会議初日は暴風で中止の心配もありましたが、ほとんどの皆さんが無事にご参加いただき盛会となったことを改めてお礼申し上げます。また、開催準備等にご協力していただいた皆さんにこの場を借りてお礼申し上げます。名寄の美味しい特産物が活発な議論のカンフル剤になったことは言うまでもありません。今後に繋がる会であることを確信しております。

新天体搜索者会議実行委員会委員長

九州大学 山岡 均

# 参加者名簿

青木 昌勝	
穴吹 勝彦	東亜天文学会
阿部 靖彦	
綾仁 一哉	井原市美星天文台
荒明 慎久	札幌市青少年科学館
新井 彰	京都産業大学
石井 崇裕	東亜天文学会/鶴川市に天文台をつくろう会
板垣 公一	東亜天文学会
市村 義美	いわき天体観測所
井山 幸大	
上田 清二	東亜天文学会
小笠原 清治	東亜天文学会
表 正彦	東亜天文学会
笠井 潔	VSOLJ
風間 聖司	インターネットTV きたすばる★どっこむ
加藤 万里子	慶應義塾大学
加藤 裕子	なよろ市立天文台
川端 弘治	広島大学
川端 美穂	広島大学
清田 誠一郎	VSOLJ
酒井 栄	東亜天文学会・星の広場水沢星のサークル
櫻井 幸夫	東亜天文学会
佐野 康男	なよろ市立天文台
柴田 健一	
関口 和寛	国立天文台
関口 朋彦	北海道教育大学
相馬 充	国立天文台
田実 晃人	国立天文台ハワイ観測所
田中 千秋	東亜天文学会・関東天文協会
萬 望実	名寄市立大学
徳岡 修二	
内藤 博之	なよろ市立天文台
中岡 竜也	広島大学
中西 靖男	一番星天文台
中原 邦久	東亜天文学会・札幌天文同好会
永吉 竜馬	なよろ市立天文台
西村 健市	(登録のみ)
野村 敏郎	灘高等学校・東亜天文学会
波田野 聰美	Asterisk・国立天文台
広瀬 洋治	東亜天文学会
藤田 康英	久万高原天体観測館
前原 裕之	国立天文台
南 敏文	日本天文学会
宮地 竹史	国立天文台石垣島天文台
村上 茂樹	東亜天文学会
村上 恒彦	東亜天文学会
諸隈 智貴	東京大学
山岡 均	九州大学
山崎 一	
山田 義弘	東亜天文学会・なよろ市立天文台
山中 雅之	甲南大学
吉川 真	宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所
渡辺 文健	なよろ市立天文台
渡辺 誠	北海道大学

(50音順、敬称略)

# 目次

## ◆紹介セッション

「ようこそ！なよろ市立天文台へ」	佐野康男	1
「南の島の天文台 石垣島天文台の紹介」	宮地竹史	5
「神津牧場天文台の概要と運営 —私立天文台の現状と課題—」	田中千秋	9
「明月記を見てわかったこと」	藤田康英	13

## ◆搜索セッション

「国立天文台における新天体関連の情報発信と発見報告対応」	相馬 充	17
「彗星の眼視発見はまだ可能 一星は心で見るー」	村上茂樹	21
「TAO Survey: 新星搜索を目指して」	清田誠一郎	25
「天体自動撮影支援システム「ELM assist」のご紹介」	中西靖男	29

## ◆フォローアップセッション

「超新星のフォローアップ観測の現状 一主にIa型超新星についてー」	山中雅之	33
「日本人天文家が発見した超新星の かなた望遠鏡における型同定と長期モニター観測」	中岡竜也	39
「日本の天文家が発見に貢献した超新星のフォローアップ観測」	川端美穂	43

## ◆連携セッション

「光・赤外大学間連携による時間変動天体観測の取り組み」	関口和寛	47
「木曾超新星探査(KISS)におけるアマチュア天文家との連携」	諸隈智貴	51
「北大1.6mピリカ望遠鏡による突発天体・時間変動天体観測」	渡辺 誠	57
「アジア太平洋地域小惑星観測ネットワークについて」	吉川 真	63

## ◆公開セッション：特別公開講演会

「天体の名前はどうやってつけられるの？」	山岡 均	67
「超新星発見100個の軌跡」	板垣公一・佐野康男	71
「南の島で美（ちゅ）ら星さがし」	宮地竹史	81

## ◆特別セッション

「「酸素＜カルシウム」な新種のIb型超新星SN 2005cz」	川端弘治	85
「超新星2006jc: LBVは超新星になるのか」	山岡 均	91
「古典新星での爆発的リチウム合成の発見 (Nova Delphini 2013) 」	田実晃人	95

## ◆サイエンスセッション

「彗星と小惑星の狭間」	関口朋彦	101
「多様な変光星の突発現象」	前原裕之	107
「新星シェルの構造解析に向けて ~新星研究の醍醐味~」	内藤博之	111
「窒素・酸素の同位体から探る新星元合成：新星は太陽系の原料供給源か？」	新井 彰	115
「新星とIa型超新星の観測をお願いします！」	加藤万里子	119

## ◆クロージングセッション

全体討議		123
------	--	-----

## ◆お知らせ

超新星登録ページ (Transient Name Server : TNS) の案内	山岡 均	129
--	------	-----



# 「ようこそ！なよろ市立天文台へ」

なよろ市立天文台

台長 佐野 康男



名寄市は北海道北部に位置する美しい自然に囲まれた人口約3万の中核都市です。

なよろ市立天文台の建設に至るには、天文台の歴史的に重要な人物がいました。その人物こそ明治44年東京銀座生まれの木原秀雄氏で、木原氏による天文教育活動が発端となり名寄市の天文歴史が始まりました。

昭和48年に木原秀雄氏によって建設された私設天文台は、当時としては北海道内でトップクラスの充実した設備を備えた天文台でした。木原氏は、この施設で太陽黒点の相対数観測を行い、17年間で4601日、年平均271日、年間最高観測日数はなんと306日を樹立、10年間以上に渡り東亜天文学会の太陽黒点標準観測者として活躍しました。平成4年、高齢にともない私費で建設した天文台を名寄市へ寄贈され、それを受けた名寄市は「名寄市立木原天文台」を新設し公開天文台として運営しました。



1948年、観測に成功した金環日食



木原秀雄氏

名寄市立木原天文台として始まった天文台時代は「小さな天文台」と言われていましたが、国内屈指の星空環境を生かして、超新星（SN 1997ef）は後に観測史上初の極超新星とわかる）の発見やインターネットによる情報の発信、数多くの観望会を通じ、名寄市民のみならず全国に注目される存在となりました。

そんな中、地元市民、各団体から「名寄の素晴らしい星空環境を活かし、天文台を中心とした特色あるまちづくりを進めては！」との声が上がり、市内日進地区で既に整備が進んでいた「北海道立サンピラーパーク」内に新天文台建設誘致を進めるための署名や募金活動が行われました。



名寄市立木原天文台で撮影した  
金星の紫外線画像

名寄市、望遠鏡観測機器は北大と、国内では珍しい国立大学と地方自治体が連携した事業展開が実現しました。

なよろ市立天文台は、鉄筋コンクリート2階建て総工費約8億400万円を費やし、道立公園サンピラーパーク内「星見の丘」に建設され、平成22年4月16日にオープンとなりました。

名寄市周辺は大きな都市が少なくしかも離れていることから星空が美しいので、当

それらが発端となり、平成18年3月、旧風連町と旧名寄市の合併により誕生した新名寄市の「総合計画」に新天文台建設設計画が組み込まれました。

さらに平成17年12月には、かねてから金星観測などで研究協力関係を構築してきた北海道大学大学院理学研究科（当時）と名寄市が相互協力協定を締結、理学研究科が理学研究院へと再編され宇宙理学専攻が誕生、国内屈指の星空と観測に適した気象条件や自然災害の希釈な場所であることから、本物の星空を活かした大学生の教育に力を入れることで合意、建物は



なよろ市立天文台全景

然ながら肉眼で見る天の川は見事な姿であり、望遠鏡で見る星雲・星団は淡いながら色が付いて見えるものもあります。

しかし、それだけでは特別驚くものではないと私は思っています。この豊かな自然条件を別な視点で利用し効果を高めることはできないものかと考えたのが「星と音楽」の融合



レクチャールーム

で、「生で見て、生で聴く」ことを体験してもらうことでした。1階部分のレクチャールームは約100名収容することができ、研究会や学習、音楽ライブやレコーディング等を行うことができる音響・照明設備を設置。プラムタリウムは50人収容とし、当時国内では最新のデジタルプラネタリウムを導入。その他、故木原秀雄氏の功績や国内外の貴重な隕石の展示コーナーも

設置しました。2階部分は、観測拠点となるゾーンを集約し、観測室（ドーム）、操作室、研究室を配置し、屋上にスライディングルーフ観測室を設置しました。



## プラネタリウム

スライディングルーフ観測室には、オリジナル製の50cm望遠鏡、40cm新天体発見観測専用望遠鏡、他にも撮影専用望遠鏡と一般向けの望遠鏡の合計4台の望遠鏡を配置し、晴天時には屋根をスライドして、観望会や天体観測を行っています。

スライディングルーフの隣は屋上ウッドデッキ（テラス）となっていて、昼間は名寄市周辺の美しい景色を、夜は自然のプラネタリウムとなり天の川や流れ星を見ていただけます。また、屋上には太陽専用の望遠鏡も設置し、リアルタイムの太陽像を1階の展示コーナーで上映しています。



屋上の 50cm 望遠鏡

なよろ市立天文台は、既にオープンしていた道立公園の中に設置されたことから、天文台に来られる方の交通手段が確立していましたありますが、公園敷地内に天文台が建てられたことで、四季を通して道立公園の楽しみが増え、お互いの良いところが相乗効果となって魅力が増し、多くの方々に利用されています。



北海道大学の 1.6m ピリカ望遠鏡

市民が一体となって建設されたこの天文台ですが、平成23年度には北海道大学の口径1.6m（愛称：ピリカ望遠鏡）経緯台式望遠鏡が設置され、一般の方々への公開はもちろん、研究観測にも利用され、社会教育施設として建設された当初の目的よりもさらに幅広い可能性が高まっています。

2014年2月26日、国立天文台石垣島天文台と交流協定を結び、2015年7月23日には台北市立天文科学教育館との相互交流を結びました。今後も、さらに幅広い活動を目指していく予定です。



目の前に普通にあるもの…意外と気がつかない宝はたくさんある、名寄の星空は「宇宙の窓」が開いている場所、そんな宝の窓をもっともっと広げて行き、垣根を越えた存在にして行きたいと思っています。そして「あれ？また来てしまった！」と思われるような天文台にしていきたい…。これが私の変わらぬ思いです。

第1回新天体搜索者会議 20151002 なよろ市立天文台  
南の島の天文台  
石垣島天文台紹介

国立天文台 石垣島天文台  
宮地 竹史

## 1. はじめに

石垣島天文台は、2006年3月に完成した国立天文台の観測研究施設ですが、建設は国立天文台と石垣市が共同でおこない、完成後の運営は、石垣市教育委員会、沖縄県立青少年の家、NPO法人八重山星の会が連携し、その後琉球大学も参加して、現在6者で運営協議会を構成し、運営がされているユニークな天文台施設となっています。

石垣島天文台は、国立天文台創設の際には計画されてなかった施設で、2002年に石垣島に口径20mの電波望遠鏡を備えるVERA(ベラ)石垣島観測局を建設したのを契機に始まった「南の島の星まつり」が、全国に大きな反響を呼ぶ中で、地元の強い要望もあって、2004年に建設計画が発表されました。

建設計画の発表では、大きな二つの目的が示されました。一つは、惑星、彗星、小惑星など太陽系天体や突発天体の観測的研究で、二つは天文学の広報普及、地域振興です。これらの目的にそって、石垣島天文台の紹介をさせていただきます。

## 2. 石垣島天文台とむりかぶし望遠鏡

石垣島は、東京から約2000kmの日本最西南端に位置する八重山諸島の島で、西方には竹富島、小浜島が浮かぶ、石西礁湖と呼ばれるサンゴ礁の海が西表島まで広がっています。天文台は、市内からほど近い前勢岳(標高197m)山頂にあり、望遠鏡位置は、北緯24度08分21秒、東経124度22分01秒、標高201m(世界測地系)です。



図-2 石垣島天文台から、竹富島を望む



図-1 石垣島天文台と夜空を南北に流れる夏の天の川

北緯24度で北回帰線のすぐ北側に位置しており、夏至の南中時の太陽の高度は90度に近く、自分の影が靴の上に落ちます。それだけ惑星も高い位置に見られるという訳です。また、偏西風(ジェット気流)の影響が少ないため、上空の大気が安定で、プラネタリウムのように星々が瞬かず、夜空に張り付いているかのように見えています。

石垣島天文台のむりかぶし望遠鏡のミラー（ロシア製）の有効口径は 105cm で、九州沖縄では最大の反射式望遠鏡です。望遠鏡の愛称は公募され「むりかぶし」（プレアデス星団、「すばる」で、沖縄の星名。「群か星」）と名づけられました。



図-3, 4 むりかぶし望遠鏡

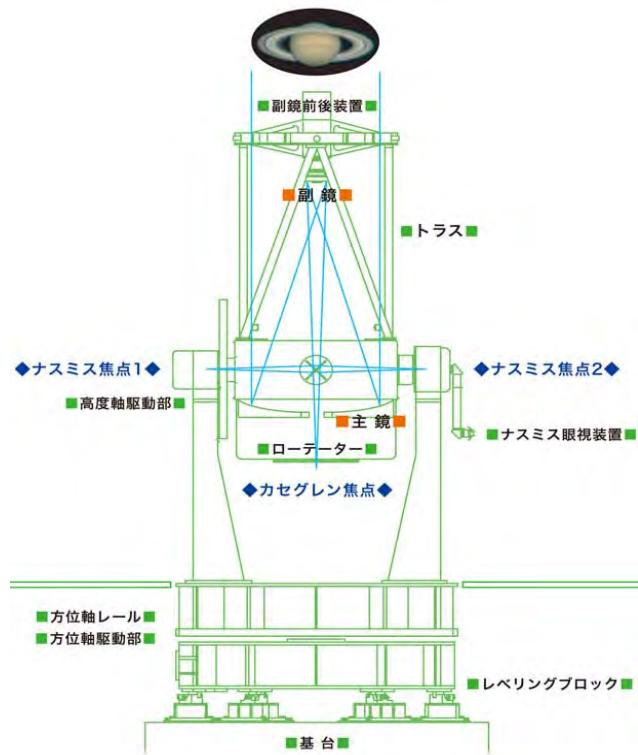
黄色に塗られているのは、琉球王朝では、高貴なお客さんは、黄色の衣装でお迎えすることになっていたそうで、むりかぶし望遠鏡も、お星さまとお客様を黄色の衣装でお迎えすることにしています。

石垣島は、先に述べたように北緯 24 度に位置し、偏西風の影響が少ないことから、シーリング(FWHM)は予想よりも良く、夏場はだいたい 1.5"程度で、冬場は 2.5"程度となっています。夏場の中でも、特に良いときは、1"程度になることがあります。

この大気の安定度の良さ、口径 105cm の集光力、夏場は晴天率も相乗して、高品質、高解像度の画像が得られています。

撮像装置は、東京工業大学の河合誠之さん、岡山天体物理観測所の柳澤顕史さんらによって、ガンマ線バーストの即時観測用に開発された MITSuME (3 色同時撮像カメラ : Multi-color Imaging Telescopes for Surveys and Monstrous Explosions) が、共同研究で導入されています。現在は石垣島天文台に移管されガンマ線バーストだけでなく、突発天体や、公開用画像の撮影にも活用されています。

また、ナスマス焦点の眼視装置をデジタ



### むりかぶし望遠鏡の仕様

- 主鏡有効直径: 105cm  
リッチャー・クレチアン光学系
- 合成口径比: F12
- 焦点位置:  
カセグレン焦点(研究用)  
ナスマス焦点 1(研究用)  
ナスマス焦点 2(観望用)
- 架台: 経緯台方式
- 観測時駆動範囲:  
高度角: 15–88 度角  
方位角: 真南 ± 270 度角
- ドーム直径: 8m  
望遠鏡に自動追隨
- 製作: 西村製作所

### MITSuME(3色同時撮像カメラ)の仕様

- ★冷却 CCD カメラ: Apogee 社 Alta U6
- ★画素数: 1024 × 1024
- ★フィルター: g', Rc, Ic
- ★視野: 12.3 × 12.3 arcmin<sup>2</sup>
- ★画素スケール: 0.72 arcsec/pix
- ★検出限界: g' = 20.0, Rc = 19.2, Ic = 19.2  
(S/N=10, Exp.=30min.)…参考値

ル一眼レフカメラに置き換えて、惑星などを撮影することもあります。

### 3. 観測的研究成果

石垣島天文台での観測的研究は、専門研究職員の花山秀和さんが精力的におこなっており、共同研究、共同観測なども実施しています。

ガンマ線バースト（G R B）の観測的研究は、MITSuMEプロジェクト（代表者：東工大・河合誠之さん）との共同研究ですが、これまでに多数の石垣島天文台が関わる報告がされています。

国際的な共同研究グループによる2012年のGRB 120326A、2013年のGRB 130427Aなどの研究は査読共著論文として発表され、特にGRB 130427Aは、米科学誌 Science に重要性の高い研究として発表されました。

また、MITSuMEプロジェクトの共同研究グループの成果としてブラックホール連星 MAXI J1910-057 等に関する研究発表も高い評価を得ています。

石垣島天文台の地理的条件（南の天体の高度が高い、夜明けが遅い）が、功を奏しているともいえます。

2011 年度から始まった国立天文台と国立 7 大学による光・赤外大学間連携事業にも参加し、突発天体(KISS14z, KISS14k)などの観測をおこなっています。観測成果については、共同研究グループから狭輝線セイファート 1 型銀河 1H 0323+342、毒グモパルサー2FGL J2339.6-0532、超新星 SN2012Z などに関する研究発表がされています。

太陽系天体の観測的研究でも、彗星や小惑星にかかる観測も数多くの成果を上げています。2011 年 12 月 11 日に突然増光した小惑星(596) Scheila では、連続観測、共同研究により、天文観測史上はじめて、小惑星の衝突日や衝突方向など、増光の原因を究明しました。

彗星では、2010年に発見された池谷・村上彗星(P/2010 V1)のアウトバーストに関する観測・理論研究の成果をまとめ、またC/2011 L4 (PANSTARRS)など、多くの彗星の継続的観測をおこなっています。

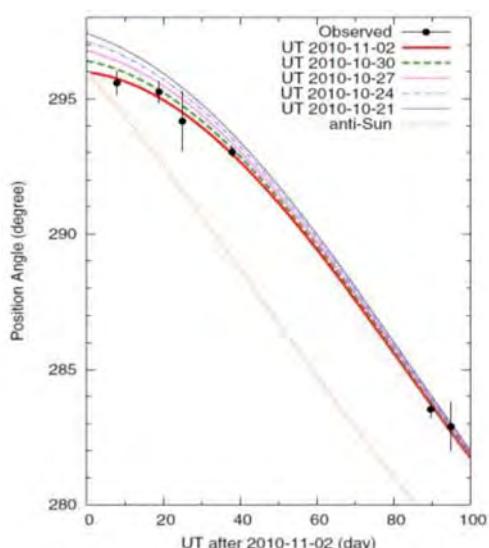


図-6 池谷・村上彗星(P/2010 V1)  
の尾の角度の時間変化  
Ishiguro et al. (2014)

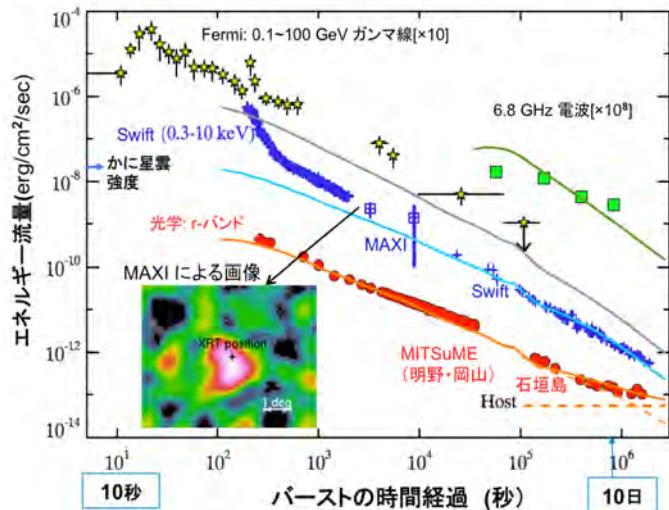


図-5 赤い点の可視光の光度曲線に、石垣島天文台での MITSuME による観測が含まれている。

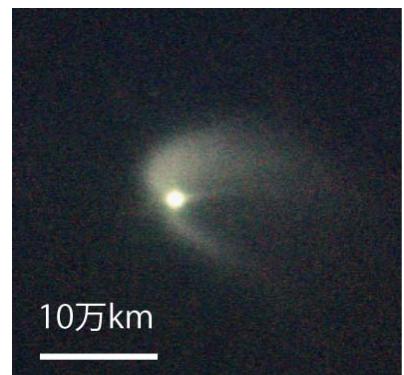


図-7 小惑星(596)Scheila

#### 4. 石垣島での天文学の広報普及、地域振興

石垣島天文台では、2006年4月から、土日祝日の夜にむりかぶし望遠鏡を使った、一般向けの天体観望会を無料で開催しています。沖縄では、口径105cmという大型望遠鏡による観望会は初めてとあって、この年は8月末までに7000人を超える来訪があつて、各地の公開天文台からも注目されました。その後も増え続け、2012年度には年間来訪者が9000人となり、2013年7月には、沖縄県への一括交付金による石垣市の「星空学びの部屋」が併設され、国立天文台が開発した4D2U(4次元デジタル宇宙)映像が昼間も鑑賞できるようになり、来訪者は13,000人と一気に3割増加しました。



図-8(上)ドームの直径は8m。1クラスの生徒が入れる大きさにしています。

図-9(左) 今年の南の島の星まつり会場。オープニングのライトダウンで、9000人の参加者の頭上に天の川が流れる。

この他、子供会や老人会、学校関係の観望会や講演などに協力し、夏には高校生による研究活動「美ら星研究体験隊」を2泊3日で開催し、発見した小惑星にはすでに「やいま(八重山)」「あやぱに(かんむり鷲の羽)」が命名されています。琉球大学との連携事業では、大学での講義、石垣島でのVERA観測局の電波望遠鏡とむりかぶし望遠鏡を使った観測実習を実施しています。

星空を観光資源にと地元振興にも協力し、商工会と星にかかわる特産品作りを行い、2014年には石垣市観光交流協会と連携協定を結び、星空ガイドの育成など星空を観光資源としての活用、天文学の広報普及を相互に協力しておこなうことになりました。

#### 5. 最後に

沖縄は、これまで熱くて湿度が高く、台風が多く、天体観測には向いてないと思われてきました。しかし、石垣島天文台を作つてみると、夏の晴天率は高く、大気は安定で、日本の最西南端の地の利も生かせば、天文学の観測的研究ができる場所であることがわかりました。

石垣島、八重山諸島は、今「星の島」として全国に知られ、天文学に親しみ、学べる場所となりました。天体の観測、研究に、観光に、ぜひ一度お越しください。心より歓迎いたします。



ケンタウルスA [NGC 5128 / 活発な電波銀河]

むりかぶし望遠鏡で撮影。国内で大口径で撮影できるのは石垣島だけ。

# 神津牧場天文台の概要と運営

## —私立天文台の現状と課題—

関東天文協会（神津牧場天文台副台長）

東亜天文学会会員 田中千秋

### 1. はじめに

神津牧場天文台は関東天文協会が運営する私立の天文台です（以下、神津牧場天文台を「天文台」、関東天文協会を「協会」と記述します。）。この私立の天文台の概要と運営について発表いたします。



神津牧場天文台76cm反射赤道儀

### 2. 神津牧場天文台の概要

#### (1) 天文台の位置

天文台の位置は「群馬県甘楽郡下仁田町南野牧」にある公益財団法人神津牧場の敷地の一角にあり、標高 1,130 メートルの高地にあります。天文台付近からは遠く浅間山を望み、また妙義山を見下ろす環境にあります。

#### (2) 神津牧場との関係

神津牧場の所有する広大な敷地の一部を協会が借用して天文台を建設し、運営を行っています。天文台の活動は、協会として独自に行っているもので、神津牧場とは原則、経営も運営も別物といえますが、毎年、神津牧場のイベントに協力させていただいている。

### 3. 天文台施設

#### (1) 施設建物等

天文台には 4 棟の観測棟と 3 棟の付属建物等があります。以下、各観測棟等の概要をお知らせします。

#### ① メイン観測棟

メイン観測機材である口径 76 センチ反射式赤道儀が据え付けられた 5.5 メートル角の観測棟です。屋根は電動式スライディングルーフ構造となっており、外観は牧場の畜舎を想像させる意匠で、天文台らしからぬ外観ともいえますが、全天を仰ぎ見ることができる利点が大きいといえます。

#### ② 第2観測棟

25 センチ及び 20 センチ反射赤道儀を備えた両開きスライディングルーフ式観測室で、メイン観測棟に続いて会員が天体写真撮影などに使用する使用頻度の高い観測室です。

#### ③ 第3観測棟

15 センチ双眼鏡を格納した 2 メートル角の観測室で、屋根を手動で滑り下ろして使用します。

#### ④ 第4観測棟

2 メートル角の開閉屋根を備えた観測室で、太陽観測や天体写真撮影ができます。

#### ⑤ 研究棟

会議、談話、休憩等のための 20畳敷きの広さを持つ建物です。

#### ⑥ 宿泊棟

6畳の宿泊棟があり、仮眠する場合はこの宿泊棟及び研究棟を使います。

#### ⑦ 倉庫

メンテナンスする道具を収納します。

#### ⑧ 観測広場

幅 2 メートル、長さ 12 メートルのコンクリート床を 2 か所つくり、会員や来客者が持参した天体望遠鏡を設置できるようにしています。AC 電源も使用できます。

#### (2) 観測機材

##### ① 76センチ反射赤道儀

メイン観測室に設置されている天文台のシンボルです。口径 76 センチ、F 5 のニ

ュートン式反射望遠鏡で、接眼部はリレーレンズ方式を採用して、比較的低い位置からでも観測、観望ができます。



76 センチで撮影したオリオン大星雲

#### ② 25 センチダルカーカム反射望遠鏡

第2観測棟には2基の赤道儀が備え付けられ、メインの76センチ反射赤道儀とともに観望会などでは観望用として用いられます。そのうちのひとつが25センチダルカーカム反射望遠鏡です。焦点距離が長いので高倍率に適し、月、惑星をはじめ星雲、星団の観望及び撮影に使用します。

#### ③ 20 センチ F5 反射望遠鏡

星雲、星団の観望用に用いるほか、鏡筒をはずし赤道儀にシステムプレートを取り付け、星野写真撮影にも使用します。

いろんな光学系を載せることができるために、天体写真撮影に用いる頻度が高い赤道儀です。

#### ④ 15 センチ双眼鏡

第3観測室に設置された15センチ双眼鏡はその集光力を活かして、星雲、星団の観望に利用しています。光害の少ない天文台での星雲、星団観望は人気が高く、イベントのない日に訪れた会員は、時には独占使用により星見を満喫することもできます。

#### ⑤ フリー赤道儀

第4観測室の赤道儀には最初からシステムプレートが取り付けられており、その上に鏡筒をつければ天体観望や観測に、カメラを取り付ければ星野写真が撮影できるようになっています。

### 4. 天文台の運営

#### (1) 17年の歴史

天文台では観測施設や機材を維持、運営しながら観測、観望等の活動を進めています。

ですが、協会会員は高齢化の傾向にあり、「天文台はあと何年保つか?」といった議論に及ぶこともあります。総会では天文台の適正な運営、維持ができているかどうかを確認しながら今後の協会の方向性を確認し、翌年度の事業を決め、無理のない活動、運営を行っています。

協会として、NPO法人化はめざしていませんが、法人化できるだけの規約の制定や会計処理それに事業活動などを開台の1998年当初から継続してまいりました。

協会設立当初から76センチ反射赤道儀をメインとした天文台を建設し、運営することが目的でしたから、一般の天文同好会とは異なり、高額の入会金を支払うことが入会の条件となる組織となっている特徴もあります。当初、20名足らずの会員でスタートし、現時点では正会員39名で運営しています。

協会設立当初の会員の活動は、天文台適地の調査から始まりましたが、幸い光害の少ない適地として、神津牧場のご厚意により牧場所有の敷地借用ができ、天文台を建設することができました。



星空体験教室に参加した子供たち

#### (2) 運営

協会及び天文台の運営は協会の規約及び天文台の運営規約等に基づき進められており、毎年11月に総会を行い、当年度の総括及び翌年度の活動計画を定め、活動しています。

会計予算は年40万円程度で、建物や機材の維持管理並びに活動に要する費用に充てています。収入は原則会員の年会費に頼っており、支出予算はおおよそ収入額に見合った金額となっています。

会の役員は総会で選出し、会長（天文台長）、企画、機材、営繕、会計等の各役員を定め、役員を中心にイベント等の活動や天文台の運営を進めています。

### （3）年間の活動

年間の活動内容及び予算は総会で決めて進めているところですが、天文台の使用は、会員は自身の観測や使用目的に応じて、いつでも使用できます。

一般の方々に対しては、一般観望会等の天文台公開日を設けており、76センチ反射式赤道儀をはじめ、各種望遠鏡による天体観望を楽しんでいただいている。

1年間の活動は、2015年度では表のとおりです。

表 2015年度イベント内容

日程	イベント名
4月18日(土)13h～	天体写真展準備
4月18日(土)18h～	メシエマラソン
4月19日(日)～翌年	天体写真展
5月16日(土)18h～	一般観望会
5月17日(日)9h～	神津牧場花まつり観望会
6月27日(土)14h～	オーナーズミーティング
7月18日(土)13h～	作業日
9月26日(土)13h～	作業日
10月17日(土)18h～	天体写真撮影会
11月6日(金)～8日(日)	天体観望会ツアー
11月21日(土)13h～	13h総会,18h一般観望会



懇親会の様子

この中で、作業日は草刈りや建物のメンテナンス作業など及び懇親会を行います。ただし、ノンアルコールで！

### （4）会を支える運営会議、役員

会の運営や行事の詳細等について決定し、進めていくために役員による運営会議を適宜開催しています。



運営会議の様子（平成26年1月）

運営会議では年次総会で決められた年間行事の詳細や観測機材のメンテナンス等について話し合われます。

### （5）予算の骨格をなす年会費の徴収

どこの会でも頭を悩ますのが会費の徴収だと思います。協会ではこの会費が唯一の収入源として天文台の維持、管理及び運営を行っているわけですから、会費なくしては成り立ちません。

年1万2千円の会費徴収には、滞納者も出てまいりますが、督促も行いながらなんとか徴収率アップを図っているところです。

### （6）広報

会につきものは「会報」ですが、協会では「天文台通信」という名称で年6回発行し、会員への伝達事項やお知らせなどに用いています。また、活動報告や会員投稿なども掲載しています。

対外的には年間活動内容のポスターを作成し関係者へ配布します。地元の小中学校への掲示は教育委員会にお願いしています。

また、会員専用の電子掲示板をもうけ、ネット環境による掲示とさらに会員有志でメーリングリストによる連絡通信も行っているところです。加えて、古くなったホームページを廃止し、2014年12月からは協会専用の新たな公式ホームページを開設しています。

## 5. これからの天文台

### （1）高齢化する会員

会員の平均年齢が毎年1歳ずつ上昇する現状は、協会の活動、天文台の維持、運

常に大きな障害となってくることは明白であり、ひとつは、いつかやってくる天文台閉鎖に向けた天文台敷地の現状復旧のための予算づくりがあげられます。すでに、毎年、積み立てを開始しており、準備に備えています。しかし、気持ちの本音には簡単に天文台をつぶしてしまうわけにはいかない。会の若返りをめざしたいという気持ちがあります。

つまり、若い会員の新入会をめざし、会の若返りを具体化しようというものです。

入会金 40 万円の協会にはなかなか新規会員は誕生しません。そこで今、議論していることは入会金の値下げや仮入会（準会員制度）などの措置です。

こうした対応により天文台を若返させていきたいと思っています。



冬の天文台



草刈り風景

## (2) 機材の使い方の変遷

76 センチ反射赤道儀は、1984 年のハレー彗星接近前に製造されたもので、すでに 30 年が経過していますが、そのオールド赤道儀をそのまま使っているわけではなく、鏡面の再メッキ、モータードライブシステムの全交換、リレーレンズ方式による接眼位置の改善といったことに加え、天体写真撮影にも対応する赤道儀に調整してきており、会員対象の撮影会などで講習を重ねて会員の技術の向上も進めているところです。

これから登場するであろう幾多の撮影機材の発達などに対応できるように機材の更新、技術の向上を目指していきたいと考えているところです。

## 6. おわりに

私立の天文台の運営の一端を紹介しました。施設の悩み、機材の悩み、資金の悩みさらに人の悩みと課題山積ながらもいつも夢や希望も持ち続けて運営を継続していきたいと思います。ご支援、ご鞭撻のほどをよろしくお願ひします。

田中千秋  
chiaki407@gmail.com

# 「明月記を見てわかったこと」

久万高原天体観測館 藤田康英

## 《概要》

2014年秋に京都大学総合博物館で「明月記と最新宇宙像」の特別展が開催された。今回の目玉は原本展示を行い、さらには天の川銀河内超新星の3つの記録の部分の公開だった。超新星に興味を持つ者として実見したく京都へ向かった。明月記はどのような古文書であったかを紹介する。

## 《明月記とは》

明月記は藤原定家（ふじわらのていか 1162–1241）が書いた日記で、定家が19歳から80歳まで書き記した。失われた部分も多いが19歳から74歳まで書いた内容が現在確認できる。全58巻と補写本1巻、表紙類1巻（冷泉家時雨亭文庫所蔵）あり、平成12年に国宝に指定された。その中には天文現象が100件以上記述されている。日記の目的は公的行事の記録を子孫に伝えるために書かれたとされる。

## 《公開イベントについて》

2014年9月3日から10月19日に京都大学総合博物館で「明月記と最新宇宙像」が開催された。原本展示は9月17日から28日の2週間展示された。明月記に記載されている「客星出現例」、特に3つの天の川銀河内超新星の記録の公開が興味深いものだったので、原本展示の初日に愛媛から京都へかけつけた。博物館前や会場入口には大きな

「かに星雲」のパネルが設置されていた。（写真1参照）



写真1. 会場前のパネル

## 《客星出現例について》

「客星」とは現在の「新天体」で彗星、新星、超新星などである。当時はこれらの現象は不吉なことの前兆、天からの政治への警告と受け止められていた。したがって天体観測は重要な業務で、発見した場合は内裏へ報告しなければならなかった。

1230年に定家が客星（彗星）を見て安倍泰俊（あべのやすとし）に調べさせた。定家の目的は「客星の出現により過去にどのような厄災があったか」を調べようとした。安倍泰俊は過去の記録を調べ定家に返書を送り、その返書を定家が明月記に貼りつけた。それが「客星出現例」であり8件の客星のうち3件が天の川銀河内超新星の記録である。3件の天の川銀河内超新星が記録されているものは世界でも唯一明月記だけである。

## 《明月記を見て》

公開された明月記の客星出現例を見て不思議に思うことは、字の大きさが3種類ありそれぞれのフォントが違うことである。（写真2参照）

展示解説によれば左右両端の小さな字は定家の字である。詳しく見ると上下に横線があるこ

とに気が付いた。これは具注暦（陰陽寮が作成し頒布していた暦）という当時のフォーマットであると教えていただいた（町立久万美術館より）。しかし正確には具注暦そのものでないため、具注暦ベースの日記と考えているがさらに調べたい。

定家の字の上下には横線が入っているが、貼りつけた返書の部分は上下の横線が消えている。定家以外の字は陰陽寮の事務職が書いたとされる。

著作権保護のため、Web版集録での写真表示はできません。

写真 2. 原本展示された明月記

出典：「明月記と最新宇宙像」京都大学総合博物館. 平成 26 年度特別展図録. pp. 31-33  
(公益財団法人 冷泉家時雨亭文庫より掲載許諾済)

### 《定家は天の川銀河内超新星を見たか？》

答えは No である。定家はいろいろな天文現象を見たが、3 つの超新星は 1006 年、1054 年、1181 年の記録である。定家は 1180 年から明月記を書いている。したがって 1006 年、1054 年は過去の記録である。1181 年の超新星は定家が見たという記録は残念ながら無い。

### 《天体観測をしていた陰陽師・安倍家》

実際に天体観測をしていたのは陰陽師（おんみょうじ）である。京の都の陰陽寮には 4 人の博士がおり、陰陽博士、天文博士、暦博士、漏刻博士の下で陰陽師たちがそれぞれの役割を果たしていた。

天文博士の安倍晴明（あべのせいめい）（921-1005）の役目は天文現象を克明に記録し、日月食・彗星・流星など変わったことがあれば直ちに内裏へ奏上することであった。「天変」に敏感な朝廷にとって重要な仕事であり、安倍晴明から子々孫々まで任された安倍家の公務であった。

### 《客星出現例の超新星について》

客星出現例 8 件のうち 3 件が天の川銀河内超新星の記録である。3 件の超新星の部分を書き出すと以下の文となる。

- (1) 一條院 寛弘三年四月二日 癸酉 夜以降 騎官中 有大客星 如螢惑 光明動耀  
連夜正見南方 或云 騎陣將軍星 變本體 増光歟
- (2) 後冷泉院 天喜二年四月中旬以後 丑時 客星出觜參度見東方孛天閼星 大如歲星
- (3) 高倉院 治承五年六月廿五日庚午 戊時 客星見北方 近王良星 守伝舍星

それぞれを訳すと以下のようになる。

- (1) 1006 年 5 月 1 日、夜中に大客星が連日南に見える。火星のようだ。明るく光り輝く。ある人が言うには騎陣將軍星本体が明るくなったのか。(騎陣將軍星はおおかみ座  $\kappa$  星)
- (2) 1054 年 5 月下旬以後、深夜に客星が現れた。オリオン座の頭や三つ星と同じ赤径で、おうし座  $\zeta$  星のそばにある。明るさは木星のようだ。
- (3) 1181 年 8 月 7 日、夜に客星が北に見える。王良星に近く、伝倉星を守る。(王良星がカシオペヤ座  $\beta$  星、伝倉星がカシオペヤ座  $\varepsilon$  星だが、3C58 が伝倉星に近く、「宗史天文志」では伝倉星を犯(大接近)すとあり、カシオペヤ座  $\varepsilon$  星説が有力である)

不思議なことに 1054 年の記録は観測日と六十干支が書いていない。そのまま解釈すれば新暦 5 月下旬頃に客星を見たことになる。実際にはおうし座は太陽方向にあり見えない。4 月下旬ではなく 5 月下旬(新暦の 6 月下旬)とすればおうし座が早朝に見える。5 月を「4 月に書き間違えた」とされる。現在は書き間違えた説が支持されている。

日に関しては中国の「宗志天文史」の記録に「至和元年五月巳丑(つちのとのうし)」と六十干支があり、新暦 7 月 4 日である。陰陽師が月を間違え六十干支を書かなかつたことは不思議である。

また「一代要記」(編者不明)にほぼ同じ文章が記録され同様に四月となっている。これは共に間違えた原典を写したのではないかと推測しているが定かではない。

### 《射場保昭の功績》

明月記の記録を誰が世界に知らせたのか。Popular Astronomy 誌に記事を投稿した日本のアマチュア天文家がいた。神戸の射場保昭(いばやすあき)により”Ancient Records of Novae(Strange Stars)”と題して 1934 年に明月記の客星出現例が紹介された。ちょうどヨーロッパでは「かに星雲」の正体がわからず、「膨張しているが、遡ると約 1000 年前に何が起こったのだろう?」と考えられていた。

射場保昭の報告に着目したのが米国の Nicholas Ulrich Mayall とオランダの Jan Hendrik Oort であった。この客星はかに星雲で爆発した超新星であろうと考えた。1942 年に”Data Bearing on the Identification of Further Crab Nebula with Aspects”と題する論文を Publication of the Astronomical Society of the Pacific に連名で発表した。

射場保昭の人物像は最近まで不明であったが、二男の満家氏がご健在であることが 2013 年にわかり、資料により徐々に解明されている。射場保昭が明月記の客星を知った経緯は竹本修三先生の「明月記をめぐる射場保昭と神田茂・井本進との交わり」(天文月報 2015 年 07 月号)の投稿記事に詳しくまとめられているので参照していただきたい。

### 《かに星雲が教えてくれたこと》

かに星雲は電波からガンマ線までのあらゆる電磁波を発し、そのメカニズムは典型的な非熱的放射である。中心には超新星爆発で形成されたパルサーを含む。この星雲の研究は重量級星の最期だけでなく宇宙全般にわたる高エネルギー現象解明のガイドとなった。明月記の客星出現例の記録は 20 世紀になって非常に重要な役割を果たした。このことが今回の特別展の展示目的と考えている。

## 《まとめ》

今回の企画展で明月記の原本を実見したが、800年前のものとは思われないきれいな状態に驚いた。さらに明月記を守るため館内温度は低く設定され、納めた陳列ケースはクリーンルームで使われる HEPA フィルターらしきものが上部に設置されていた。

今後は当時の星の名前を知り、客星出現例を読み解いてみたい。また 1054 年の記録の日付の書き間違いについての議論の経緯や、ヨーロッパに記録が無いという疑問を調べてみたい。2016 年 1 月 23 日から 3 月 27 日まで明石市立天文科学館で始まる「射場保昭展」で明月記（レプリカ）の展示が開催される。疑問を再確認するチャンスが訪れるため展示会を見学したいと考えている。

ところで 2015 年 7 月 4 日に「かに星雲」は 961 歳になった。あと 39 年で 1000 歳を迎える。今の大学生の皆さんのがほぼ 60 歳近くで主軸となるだろう。ミレニアムイベントを開催するために、自身の目で明月記を確かめて欲しいと願っている。

## 《謝辞》

本稿をまとめるにあたり、貴重な資料の展示やご助言、ご指導をいただきました公益財団法人・冷泉家時雨亭文庫様、京都大学総合博物館様、NPO 法人あいんしゅたいん附置基礎科学研究所・竹本修三京都大学名誉教授、京都情報大学院大学・作花一志教授、(株)オプトワークスアキヤマ・秋山晋一氏、神奈川県立歴史博物館・神野佑太学芸員（元町立久万美術館）、JAPOS 会員の明石市立天文科学館・井上毅学芸員、かわさき宙と緑の科学館・佐藤幹哉氏、伊丹市立こども文化科学館・古屋昌美氏の皆様に深く感謝いたします。

## 《参考文献》

- ・京都大学[編]. 明月記と最新宇宙像. 株式会社アクティブ KEI 2014. 129p. ISBN978-4-905525-03-5.
- ・「明月記をめぐる射場保昭と神田茂・井本進との交わり」竹本修三 天文月報 2015 年 07 月 p429-437
- ・「藤原定家の客星」臼井正 天文教育 2004 年 11 月号 p11-16
- ・「国立国会図書館デジタルアーカイブ」<http://dl.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/991255/129>
- ・「天変の解読者たち」作花一志 恒星社厚生閣 2013 年
- ・「和暦華曆」<http://www.wagoyomi.info/koyomi.cgi>
- ・「銀月の部屋」臼井正 <http://homepage3.nifty.com/silver-moon/index.htm>
- ・「日本の天文学の始まり」嘉数次人 天文教育 2007 年 5 月号 p30-36  
[http://tenkyo.net/kaiho/pdf/2007\\_05/2007-05-04.pdf](http://tenkyo.net/kaiho/pdf/2007_05/2007-05-04.pdf)
- ・「星の古記録」斎藤国治 岩波新書 1982 年

# 国立天文台における新天体関連の情報発信と発見報告対応

相馬 充（国立天文台）

概要：国立天文台ではウェブサイト等を通じて新天体関連の情報を一般の方に向けて発信するとともに、アマチュア天文家や一般の方々からの新天体発見の報告を受け付けている。それらの現状を報告する。

## 1. 新天体関連の情報発信

新天体関連情報は国立天文台内のウェブサイト

<http://www.nao.ac.jp/new-info/>

から発信している。ここには新天体発見の際の国立天文台への通報に関する情報へのリンクがあり、さらに、国立天文台に寄せられた新天体の画像が掲載されており、日本人が発見した超新星一覧、日本人が発見した天の川銀河外の新星一覧、日本人が発見した彗星一覧等へもリンクされている。他に、周期彗星の軌道表、惑星や準惑星の衛星一覧、流星群の和名一覧、星座名の一覧などにもリンクされており、便利に使えるでしょう（図1）。

国立天文台からは、社会的関心を呼ぶ天文現象や突発的な天文現象、天文学に関する最新の研究成果の紹介、国立天文台に関係する各種のイベント情報などを国立天文台メールニュースとしてメールで発行している。発行は不定期である。日本人による新天体の発見についても、このメールニュースでお知らせしている。このメールニュースは

<http://www.nao.ac.jp/mailnews/>

からメールアドレスを登録することで受け取ることができる。

## 2. 新天体発見報告への対応

国立天文台ではアマチュア天文家や一般の方々から新天体発見の報告を受け付けている。対応しているのは国立天文台天文情報センター暦計算室で、現在は新天体担当の4人が交代で行っている。受け付けは留守番電話とFAXで行い、留守番電話への通報は担当者の携帯電話に連動している。その通報の仕方については、1.に述べたサイトからリンクされている

<http://www.nao.ac.jp/new-info/report.html>

を参照ください。

## 新天体関連情報



国立天文台 天文情報センター 曆計算室

〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1

電話:0422-34-3691(留守番電話)/FAX:0422-34-3810

最終更新日: 2015年11月21日 / Since: Nov. 1, 1996

アマチュア天文家や一般の方々から寄せられる彗星・新星・超新星など、いわゆる“新天体”的発見報告やそれらの確認依頼などに応えるサービス業務を行っています。

※ 流星、火球(特に明るい流星)についてのお問い合わせは、天文に関する質問電話(0422-34-3688: 平日9時から18時まで)におかけください。

### 新天体発見・通報に関する情報

- 新天体通報の方法と通報内容
- 新天体をチェックするための情報(2009年12月8日更新)
- IAU/CBET/MPECの読み方(2012年10月22日更新)
- 新天体の仮符号・名称についての解説
  - 新天体の仮符号:彗星(2009年2月4日更新)

### 新天体の画像

- 彗星: COMET C/2014 E2 (Jacques) (2014年4月 石垣島天文台)
- 超新星: SUPERNOVA 2014J in M 82 (2014年2月 石垣島天文台)
- 超新星: SUPERNOVA 2013fa in NGC 6956 (2013年9月 石垣島天文台)
- 超新星: SUPERNOVA 2013am in M 85 (2013年4月 石垣島天文台)
- 超新星: SUPERNOVA 2011ir in UGC 6771 (2011年11月)
- 超新星: SUPERNOVA 2011fe in M 101 (2011年8月 石垣島天文台)
- 超新星: SUPERNOVA 2011dh in M 51 (2011年6月 石垣島天文台)
- 彗星: COMET P/2010 V1 (IKEYA-MURAKAMI) (2010年11月 石垣島天文台)
- 新星: NOVA Sgr(いて)2008 No.3 (2008年8月)
- 新星: NOVA Sco(さそり)2008 (2008年9月)
- 新星: NOVA Oph(へびつかい)2004 (2004年4月)
- 新星: NOVA Sgr(いて)2004 (2004年3月)
- 超新星: SUPERNOVA 1999em in NGC 1637 (1999年11月)

### 彗星の情報

- 板垣彗星 C/2009 E1 (Itagaki) の情報(2009年3月18日更新)
- ホームズ彗星 (17P/Holmes) の大増光(2008年1月8日更新)

### アーカイブ(統計データ)

- 周期彗星の軌道表(2015年10月8日更新)
- 惑星・準惑星一覧(2013年7月3日更新)
- 惑星の衛星数・衛星一覧(2015年3月7日更新)
- 準惑星の衛星数・衛星一覧(2013年7月8日更新)
- 流星群の和名について(2015年9月20日更新)
  - 流星群の和名一覧(IAU番号順)
  - 流星群の和名一覧(極大の日付順)
  - 流星群の和名一覧(略符順)
- 星座名・星座略符一覧
  - 星座名の50音順一覧
  - 星座略符のアルファベット順一覧
- 日本人が発見した超新星一覧(2015年11月21日更新)
- 日本人が発見した天の川銀河外の新星一覧(2015年10月7日更新)
- 日本人が発見した彗星一覧(2014年10月21日更新)

図 1. 国立天文台新天体関連情報のウェブサイト

天体種別 \ 年度	2010	2011	2012	2013	2014	計
新星・超新星	8	11	10	7	12	48
彗星（彗星状）	9	7	2	8	10	36
惑星・小惑星	2	2		1		5
恒星					1	1
火球・流星	5			2		7
移動天体	2					2
発行物体		2	6	2	8	18
天文現象の質問			3		1	4
合計	26	22	21	20	32	121
CBATへの通報	0 [2]	2	2	1	1 [1]	6 [3]
[] 内は国立天文台に通報されたが、他経由で先に CBAT に通報されたものの数						

表 1. 2010 年度～2014 年度に国立天文台に通報された新天体等の数

表 1 に最近の 5 年間に国立天文台の新天体情報を受け付けている留守番電話と FAX に報告のあった件数を示す。年間 20～30 の報告があるうち、実際の新天体としてアメリカにある国際天文学連合電報中央局 CBAT に通報したのは年に 1～2 件である。つまり、国立天文台に新天体として報告のあるものの大部分は誤報ということになる。

新天体発見者として知られるあるベテラン観測者からも間違った報告が届く。その最近の例を示す。実際には何であったのかも記しておく。

2012 年 11 月 16 日：火星

2014 年 2 月 20 日：ノイズ

2014 年 4 月 4 日：変光星（画像が送付されるが、どの天体が該当天体かの印がなく、報告赤緯が  $2^{\circ}$  も異なっていて、しかも画像も反転していたため、同定に苦労する）

2014 年 11 月 4 日：C/2014 Q2 (Lovejoy)

2015 年 8 月 8 日：土星の衛星 VIII. Iapetus

いずれにしても、新天体の誤報の多くは、既知の小惑星と明るい星のゴースト像である。天体画像の撮影の際には、視野を大きく移動させたり傾けたりして再度撮影し、ゴーストが写った場合に、ゴーストだとすぐに判断できるようにしてほしい。

### 3. まとめ

国立天文台における新天体情報の発信と一般からの報告への対応について、現状を報告した。



開会の挨拶をする山岡均さん



捜索セッションを終えて：清田誠一郎さん（左）と藤田康英さん（右）

## 彗星の眼視発見はまだ可能 —星は心で見る—

A visual discovery of comets is still possible: See stars by heart

村上茂樹 (東亜天文学会)

Shigeki Murakami



この講演の動画は、YouTube にアップロードされています。

日本語 <https://youtu.be/gjQUqDXojoQ>

Video of my presentation has been uploaded on the YouTube.

English <https://youtu.be/h9wJfksPYyE>

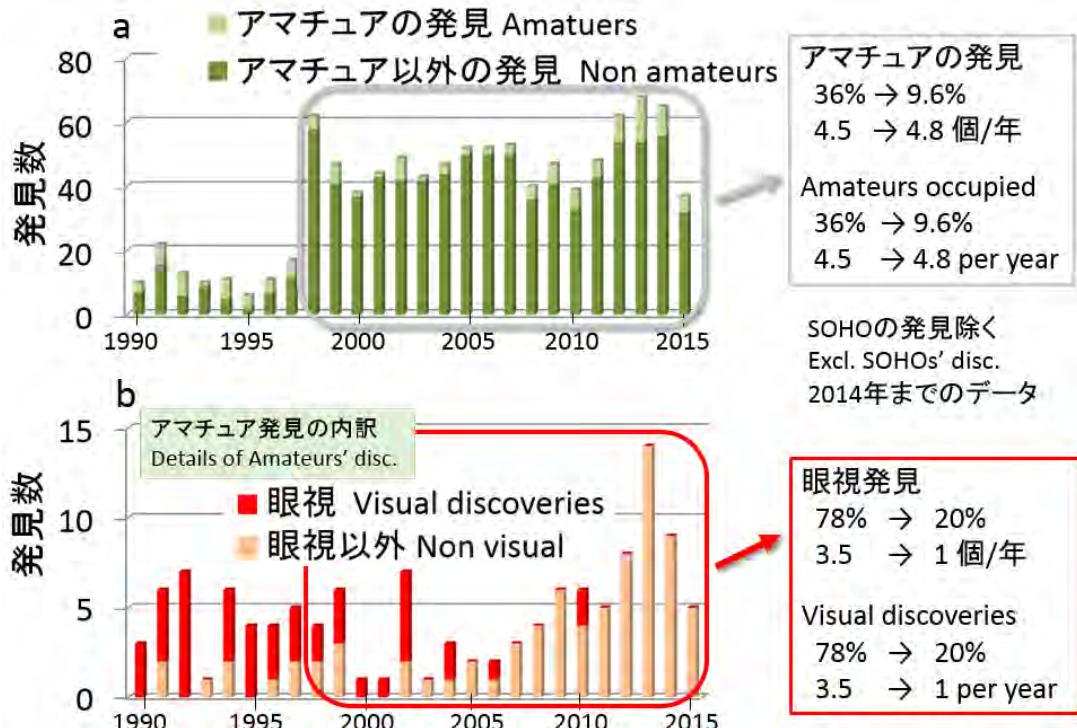
### はじめに

20世紀末から活発化した自動サーベイにより、アマチュアの彗星発見、なかでも眼視発見は困難になったと言われて久しい。しかし、この数年間、アマチュアによる彗星発見数は増加傾向を示しており、この意味において困難になったとの認識は正しくない。その一方で彗星の眼視発見は確実に減少しているが、ここ数年を見ても眼視発見が可能であったはずの彗星が眼視以外の方法で発見されていた例はいくつもある。本稿では、彗星の眼視発見がまだ可能であることを具体例を示しながら解説する。

### 彗星発見の動向

1990年代の終わりごろまで、眼視による彗星発見は彗星発見全体の大きな部分を占めてきた。1990年から1997年までの8年間に地上から発見された合計100個の彗星のうち、36個(36%、年平均4.5個)がアマチュアによる発見であり、この36個のうち28個(78%、年平均3.5個)が眼視による発見であった(図1a,b)。1998年以降、LINEARなどの自動サーベイが活発化すると彗星発見数が急増した。1998年から2014年の17年間に地上から発見された彗星は856個で、このうちアマチュアの発見数は82個(眼視発見17個を含む)であった。すなわち、アマチュアの発見は全体の9.6%に激減し、アマチュアの彗星発見に占める眼視発見数も大きく減少した(20%、年平均1個)。

ところが、アマチュアによる彗星発見数は、1990年から1997年には年平均4.5個だったが、1998年から2014年には4.8個へと増加している。これはここ数年、アマチュア自身が自動サーベイのプロジェクトを立ち上げ、暗い彗星の発見が増加したことが主因である(図1b)。具体的には、米国のTenagra(16インチ、32インチ)、スペインのLa Sagra(45cm)などで、19等程度までの彗星を発見している。これとは別の流れとして、アマチュア個人が20cm程度の望遠鏡とCCDまたはデジタルカメラを組み合わせて15等程度までの彗星を見つける方法によっても、いくつかの彗星が発見されている。例え



ば、C/2013 E2 岩本（13 等、10cm）、C/2014 R1 Borisov（16 等、30cm）、C/2014 Q2 Lovejoy（15 等、20cm）などである。

近年、アマチュアが CCD やデジタルカメラを用いて、これまで以上に多くの彗星を発見するようになったのとは対照的に、眼視発見は 2005 年から 2015 年 9 月現在までの間にわずか 3 個しかない（図 1b）。もう眼視発見は過去のもととなったのであろうか。

### 眼視発見が可能であった彗星

図 2 に 1990 年から 2015 年 9 月までに眼視発見された彗星数と、眼視発見の可能性があったのに眼視以外の方法で発見された彗星の数をそれぞれ示す。著者は 46cm の望遠鏡で彗星を探しているので 12 等台までの彗星は眼視発見可能と仮定して、北半球においても南半球においても薄明開始又は終了時の高度が低い場合や、発見日の月明が強い場合は発見不可とした。12 等は暗すぎるとの批判もあるであろうが、後述のように図 2 にはもつと明るい彗星も含まれている。図 2 では 2015 年だけで 4 個の彗星が眼視発見可能であったが、これらのうちの 2 個は南半球でのみ眼視発見可能な彗星であった。しかし、北半球でもいくつかの彗星は眼視発見可能であって、南半球だけが有利なわけではない。表 1 に著者が住んでいる新潟県において、近年、眼視発見の可能性があった比較的明るい 4 個の

彗星についてまとめた。

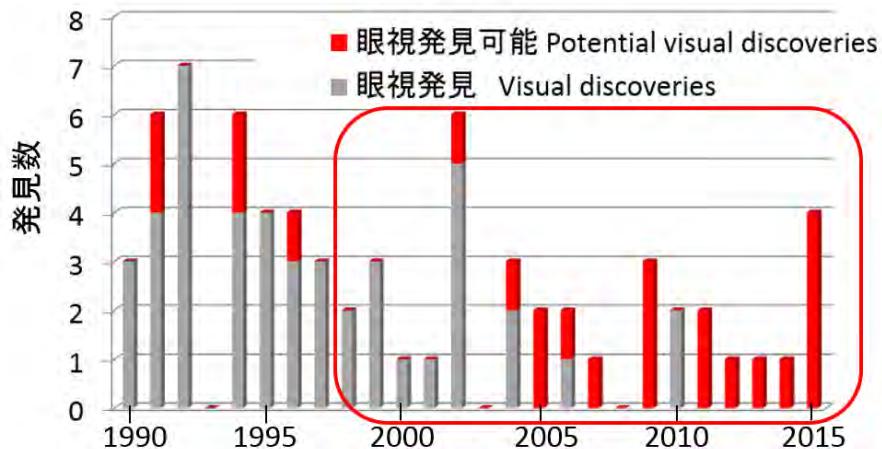


図2 a : 1990年～2015年9月までに眼視発見された彗星数と、眼視発見可能であったと考えられる彗星数<sup>1)</sup>、<sup>2)</sup>。

表1 眼視発見可能であった彗星の例

彗星	眼視光度(等)	新潟における高度(°) 薄明開始又は終了時	月明
C/2015 F3 SWAN	11	10	なし
C/2015 P3 SWAN	11	17	なし
C/2009 E1 板垣	9~10	27	なし
C/2005 P3 SWAN	9.5	13	なし

#### 眼視彗星搜索者の動向

過去には C/1983 J1 菅野・三枝・藤川、C/1987 B1 西川・高見澤・多胡（三ツ間重男氏も独立発見、9~9.5等）、C/1988 P1 Machholz（高見澤氏ら、合計5名の日本人が独立発見、9等）、1995年の122P de Vico 再発見（中村祐二氏ら、合計4名の日本人が独立発見、6~7.5等）など、多数の日本人が同じ彗星を発見することは頻繁に起きていた<sup>3)</sup>。しかし、8.5~9等で発見された P/2010 V1 池谷・村上ではそのようなことは起きず、表1のように9等前後と明るい彗星であっても眼視発見されなかった彗星もある。

このような事実から、発見動向が1990年代以前と異なる主因は眼視搜索者の減少であると考えるしかない。そもそも日本にはどれほどのコメットハンターがいるのだろうか？この問い合わせに対する正確な答えは誰にも分からない。なぜなら、彗星を発見するまではコメットハンターは無名だからである。1977年に私が初めて参加した彗星会議（第7回、於：神戸）の席上、東京天文台（現国立天文台）の富田弘一郎氏は「海外で良く尋ねられるが、100人くらいだろうと答えている」と話しておられた。そのときの彗星会議の参加者は約150人で、そのうちの約30名が彗星搜索分科会に参集したが、その中には発見者

も数名含まれていた。(これ以外に、計算、測定などの分科会が開催された)。近年、彗星会議の参加者は 50 名ほどで、発見者や検索者の参加は極めて少ない。

少なくとも 1 個以上の彗星を眼視発見した国内外のコメットハンターが近年眼視検索を続けているか否かについて、著者が知る限りの情報を表 2 にまとめた。現在も眼視検索を継続しているハンターは半減し、CCD やデジタルカメラに転向した人や、新星・超新星の検索に転向した人が目立つ。また、2003 年以降、2015 年 9 月現在までに眼視発見された 5 個の彗星はいずれもそれ以前に彗星を眼視発見した人による発見で (Bradfield, Machholz, 宇都宮、池谷の各氏、そして私)、新たな眼視発見者は現れていない。

このような状況から類推すると、眼視彗星検索者の数は 1990 年代以前の数分の一に減少し、継続している人の多くは過去に彗星を発見した人であると考えられる。

表2 眼視発見者の検索継続状況

眼視発見者	眼視検索継続	CCD/デジカメで 彗星検索継続	新星・超新星 の検索に転向	転向理由
A	○			
B	○			
C	○			
D	○			
E	○			
F	○			
G	○			
H	△			
I	×	○		
J	×	○		
K	×	○	○	光害
L	×	×	○	光害 ?
M	×	×	○○	
N	△	-	○○	
O	×	-	○	光害
P	×	×	×	
Q	-	-	×	
R	×	×	×	
S	-	-	×	

○:現在行っている、×:行っていない、△:少し行っている、-:不明

### 星は心で見る

眼視による彗星発見はまだ可能である(図 2、表 1)。それでも関わらず、多くの人が自動サーバイの脅威におののいて眼視検索を諦めている。自動サーバイで発見されてプロジェクトの名前が付いた彗星よりも人の名前が付いた彗星のほうが魅力的で、さらに人の名前が付いた彗星のなかでも CCD やデジタルカメラで発見された彗星よりも眼視発見された彗星のほうが一層魅力的で心に残ると感じるのは、著者だけではないはずである。

### 出典

- 1) [http://pdssbn.astro.umd.edu/comet\\_data/comet.catalog](http://pdssbn.astro.umd.edu/comet_data/comet.catalog) (2015 年 11 月 23 日閲覧)
- 2) <http://www.comethunter.de/index.html> (2015 年 11 月 23 日閲覧)
- 3) <http://www.nao.ac.jp/new-info/comet.html> (2015 年 11 月 23 日閲覧)

# TAO Survey: 新星搜索を目指して

清田誠一郎

新星搜索と新星のフォローアップを目的の 1 つとして、CCD カメラ+カメラ・レンズのシステムでのサーベイを行っています。また、新星搜索の参考データとして、近年の新星発見に関する統計データの簡単な紹介します。

## 新星発見の統計

図 1 は、年ごとの新星の発見数の推移です。近年、検索者の努力で発見数が増加の傾向にあります。

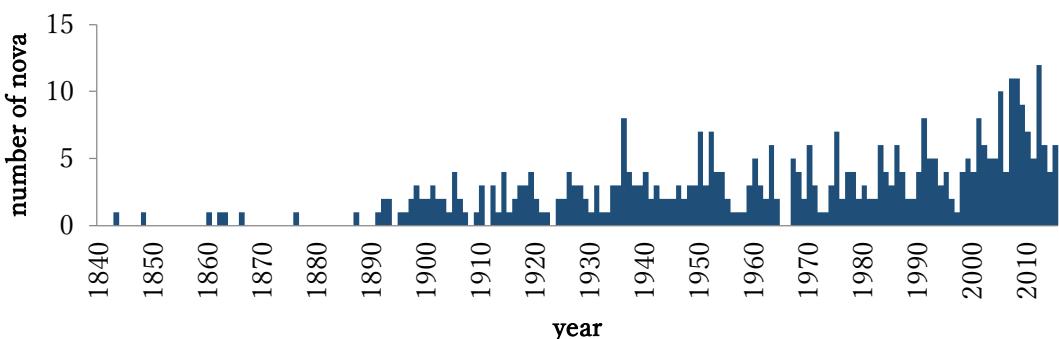


図 1 年ごとの新星の発見数（2015 年 9 月末現在）



図 2 新星の発見月（2000 年以降）

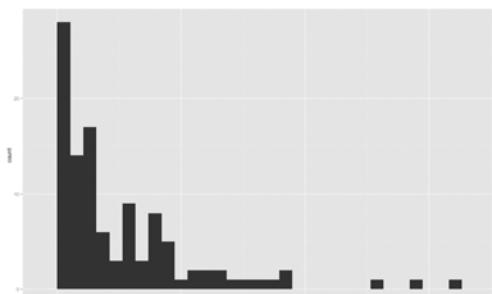


図 3 新星の発見間隔（2000 年以降）

新星搜索がさかんに行われる様になったと思われる 2000 年以降のデータを使って、月ごとの発見数をグラフにしたのが図 2 です。6 月ごろに谷があります。この時期、銀河中心方向が観測しやすい時期にも関わらず、減るのは、天候の影響と思われます。ただし、検索者会議後に確認したところ、日本以外の発見についても、夏に減る傾向がありました。日本以外の発見者は、南半球の方が多く、この時期は冬ですが、それと関係があるのでしょうか？逆に、この時期について対策をすれば、もっと、発見数が増える可能性はあります。発見と発見の間の日数のヒストグラムが、図 3 です。中間値は、30 日で、年間の発見数が

最大 10 個程度だというのと符合します。(統計的に意味があるか判りませんが、) 最頻値は 2 日でした。立て続けに新星が発見されるという経験を時々しますが、それと、感覚的に符合して面白いデータでした。「新星は、1 ついたらもう 1 ついると思え?」銀河系内の検出可能な新星数の推定は、まだ、方法によって大きくばらついています。密な搜索によって、更に、発見数を増やせる余地があるのかないのか興味が持たれます。

### TAO Survey

カメラ・レンズ + CCD カメラの組み合わせで新星搜索の真似事を始めたのが 2006 年ころです。新星の観測では、増光初期のデータがどうしても不足気味で、監視の目が多いほうが良いと思って始めました。2011 年位から、(当時) 京都大学の前原裕之さんの開発されたソフト(前原 2014 参照)を頂いて、撮影画像から測光データを得られるようになり、本格的な運用を始めました。当初、茨城県つくば市在住でしたので、Tsukuba



図 2 現行システム

Astronomical Observatory Survey と称して、TAO Survey と名づけました。その後、実家の千葉県鎌ヶ谷市に移り、TAO Kamagaya と称しています。#TAO という略称の天文施設やプロジェクトは多いので、紛らわしくてすみません。

表 1 撮影機材の主な変遷

期間	レンズ	CCD	写野(度)	ピクセルスケール ("/pixel)
2010.10-	Nikon 50mm F1.4	SBIG ST-8300M	20.5x16.3	22
2010.11-	Nikon 50mm F1.4	SBIG ST-10XME	17x11.5	28
2012.05-	Samyang 85mm F1.4	SBIG ST-10XME	10x6.5	17
2014.05-	Canon 70-200mm F4 Moravian G4-9000		13.5x13.5	16
2015.01-	Samyang 85mm F1.4	SBIG ST-10XME	10x6.5	17
2015.03-	Nikon 85mm F1.4	SBIG ST-10XME	10x6.5	17

機材の変遷は、表 1 のような感じです。主に CCD 全体の写野の広さとピクセルサイズによる解像度との兼ね合いを考えて、変更を行ってきました。写野の広さのみを考え

て、焦点距離の短いレンズを使うと、天の川の写野では、背景の明るさに星が埋もれて極限等級が浅くなってしまいます。フィルターは、光害地での撮影であること、天の川での星間吸収の影響を多少でも避けたいことから、一貫して、Johnson-Cousins の系の Ic フィルターを使っていいます。大体 700–900nmあたりの波長になります。撮影枚数は天候に左右されやすいので、撮影効率を上げるために、写野を広げようと、大きなチップサイズの CCD(KAF09000, chip size 36.9mm 角、pixel size  $12 \mu\text{m}$  角)を用いた Moravian G4-9000 カメラを導入したのですが、このサイズになると、レンズの歪曲収差の影響を受けやすくなり、測定で問題が生じたので、元の構成に戻しました。

現行の機材(図 4)は、表 1 の最終行の様な構成です。庭のスライディングルーフに入れて、寝室から LAN で繋いで使ってています。

### ソフトウェア

使用しているソフトウェアは、表 2 のようになっています。ACP Observatory Control というのは、MaxImDL と連携して赤道儀の制御や撮像を自動で行うソフトです。このソフトを使って、主に、天の川を中心に、事前に決めてある写野を順番に撮影しています。露出時間 60 秒、1 写野 3 枚ずつ撮っています。

SExtractor というのが画像から星像を自動検出して、検出された星の明るさを全部は測ってくれるソフトです。事前に、Pinpoint と scamp というソフトで画像の赤緯赤経と歪曲のパラメータ(WCS)を決めて画像に記録しておくことで、SExtractor は、検出された星の赤緯赤経と等級を出力してくれます。これを MySQL のデータベースとして保存します。Tycho-2 カタログを元に等級の画像毎に原点を決めています。前原さんの作成された python のスクリプトで一連の解析を半自動で行っています。

表 2 使用ソフトウェア

	software1	software2
撮影	ACP Observatory Control	MaxImDL
解析		scamp 歪曲パラメータの決定
	python script, bash	SExtractor 天体の検出、測光
		MySQL データベース管理

Software1 で制御、その中で呼びだされた software2 で実際の作業というイメージです。

## 新星搜索の成果

これまでのところ、新星の発見はできていません。その代わり、新星の発見前後の画像の取得には何例か成功しています。図 5 は、V339 Del(いるか座新星 2013)の例です。板垣さんの発見の少し前の画像です。

新天体の検出方法は、大きく分けて、画像間の直接比較をするものと、一旦、画像から天体を検出してからカタログと比較する方法と 2 つがあります。TAO survey は、後者の方法を試みています。課題も多く残っていて、検索に関して進捗は遅いのが現状です。この方法だと、変光星をはじめとする多くの星の測光データが溜まるのが利点です。

なお、測定されたデータは、以下の URL で公開しています。変光星名や 002402+3834.6 の様な形式の位置情報で検索できますので、ご活用ください。

<http://meineko.dyndns.org/>

## 今後の予定

撮影のさらなる自動化に向けて、ACP Scheduler を導入しました。撮影画像の測定の自動化を進めたいと思っています。さて、新星は、発見できるでしょうか？

前原裕之 (2014) 小型望遠鏡を用いた突発天体の自動広視野サーベイ(宇宙科学情報解析論文誌 第三号)

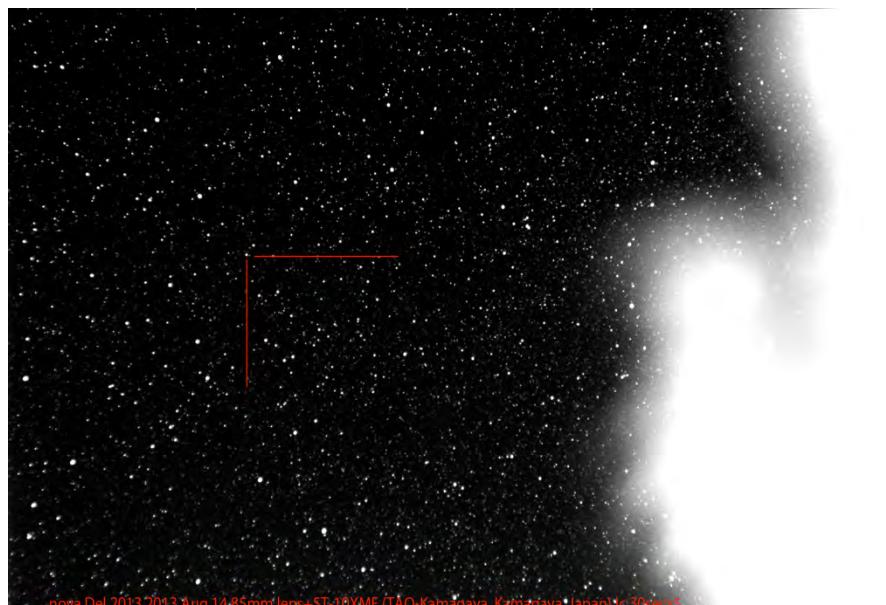


図 3 V339 del の発見前画像

# 天体自動撮影支援システム「ELM assist」のご紹介

中西靖男（一番星天文台・株式会社スカイグローブ）

## はじめに

新天体を検索するためのひとつのツールとして、天体写真の連続的な撮影の支援を行なう汎用ソフトウェアをご紹介します。

天体写真を連続的に撮影するためには、望遠鏡とカメラ双方を適切かつ正確にコントロールする必要があります。勿論、そういう目的のソフトウェアは幾つか存在していますし、現実に新天体を検索されている方々は効率よく撮影を行うための様々なソフトウェアを巧みに操り、成果を上げていらっしゃいます。

ELM assist は、撮影計画（堅苦しいのでシナリオと呼ぶことにします）の立案・編集から望遠鏡制御、撮影、撮影データの記録までを総合的に支援することを目的としたソフトウェアです。

## ELM assist の特長

### 数多くのカメラに対応

ELM assist では、個々のカメラを直接制御するのではなく、カメラメーカーの提供（付属）するソフトウェアなどを間接的に操作することで数多くの種類の冷却 CCD カメラやデジタルカメラに対応することを実現しています。

Bitran BJ-50/BN-80 シリーズ、Canon EOS シリーズ、SONY αシリーズ、SBIG ST シリーズ、MaxIm DL 対応カメラなどに対応しています。

### 撮影シナリオ（計画書）作成機能

ELM assist 撮影シナリオには、天体名称、座標、コメント、露光時間、フィルター、ダーク、ビニングなどの情報が書かれています。勿論、これらの情報を手入力するわけではなく効率良く作成するための以下の機能が用意されています。

### 対角領域を指定する方法

天空の2点をステラナビゲータまたは TheSky で指定することで、指定された  $(\alpha_1, \delta_1)$   $(\alpha_2, \delta_2)$  の範囲を NGC カタログと UGC カタログから以下の条件検索で該当する天体を自動抽出します。

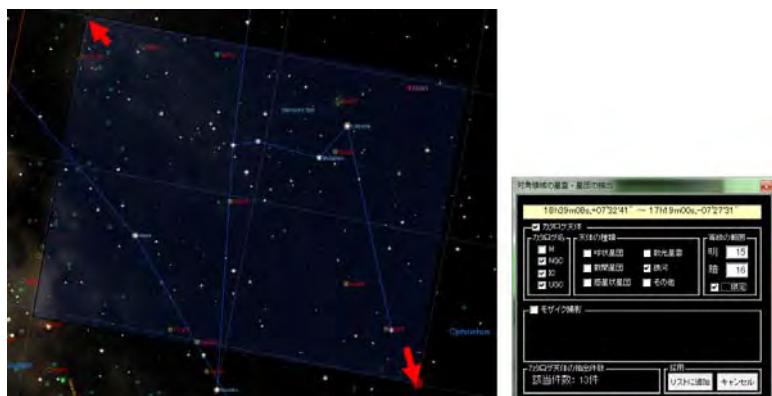


図 1 対角領域の指定と抽出

TheSkyX を使用して対角領域を指定した例

\* 画面の矢印と対角領域を示した青い長方形は説明のために書き加えています。

カタログ種類、天体の種類を複数選択し、等級の範囲の条件で天体を一気に抽出しています。

この抽出された天体は、撮影シナリオに加わります。



図 2 対角領域から抽出された天体

対角領域から抽出された天体が撮影シナリオに

追加された様子。

天体毎に、露光時間やフィルターなどが自由に設定できますが、ひとつの天体だけ設定して、以降の天体は同条件として一気に設定も可能です。

その他、同じ対角領域を、天体ではなく、受光素子の大きさと焦点距離、重なり%を指定してモザイク領域に分割してシナリオに追加することも可能です。

\*対角領域で抽出される天体は、ステラナビゲータやTheSkyXに内蔵されたカタログではなく、ELM assistに内蔵されたカタログを使用しています。

#### ステラナビゲータやTheSkyXに表示された天体を個別に抽出する方法

天体を1つずつクリックしてシナリオに追加することができます。

さらに IAU のページ (On-line CBETs など) に表示された座標を含む文字列をコピーすることで座標などを自動解析してシナリオに追加したり、座標や天体名を手入力することも可能です。

作成されたシナリオは、直接実行するだけでなく、ファイルに保存して後日再利用したり、再編集したり出来ます。

#### **シナリオ自動撮影**

作成されたシナリオを基に、ボタン一つで、自動導入と露光を効率よく繰り返します。

ひとつの天体を撮影する毎に撮影した画像と同時に「Aladin Sky Atlas」を使用してネット上から同一座標の DSS 画像を表示することも可能です。

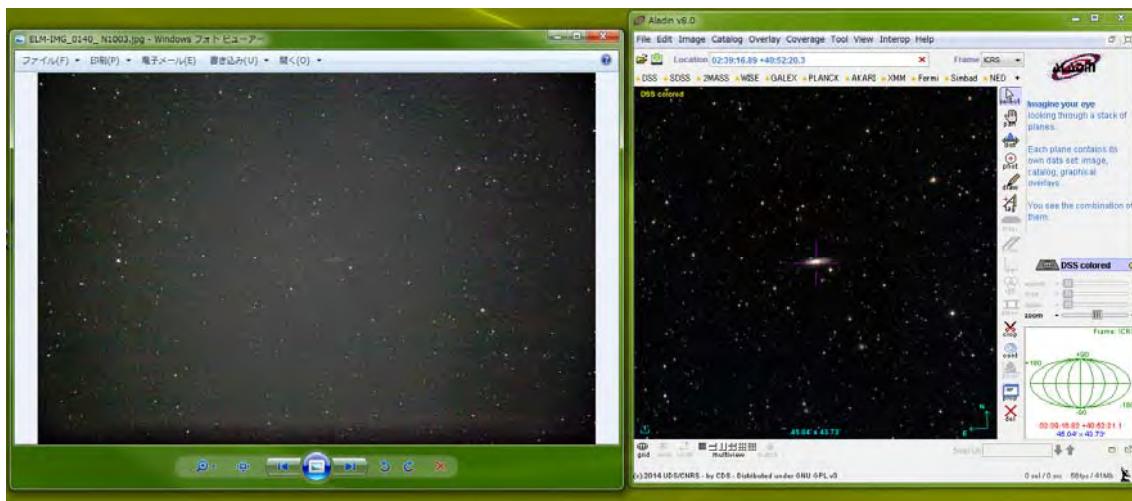


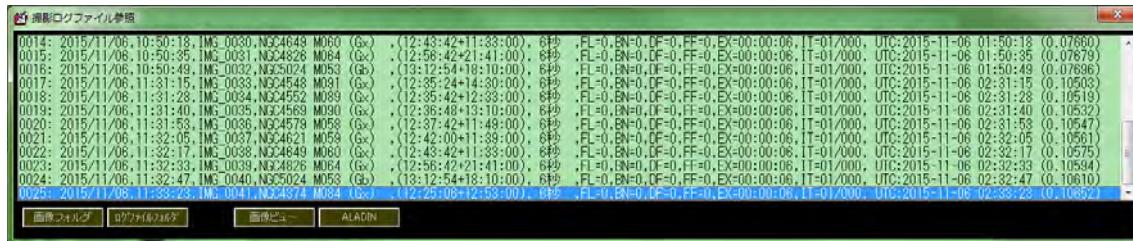
図 3 撮影した画像と DSS 画像

## データ記録

撮影者にとって大きな負担となるデータ記録を完全自動化しました。

記録されるデータ項目は、撮影開始日時(JST)、画像ファイル名、天体名、画像中心座標、露光時間、フィルター、ビニング、ダーク、フラット、インターバル、撮影開始日時(UTC)、UTC 日です。

これらのデータは、ログファイルとして CSV 型式で自動的に保存されます。



## 便利機能

撮影開始時刻を指定することで、ビデオのタイマー予約のように自動的に撮影を開始します。冷却 CCD の場合、指定した温度以下になったら撮影を開始する設定もできます。

カメラの種類に関係なくシャッターの開閉を擬音で発声しますので、単調な繰り返しの中でタイミングを耳でも確認することができます。

## ELM assist が対応する赤道儀

ELM assist では、高橋製作所 Temma シリーズ、E-ZEUS/E-ZEUS II、Meade LX200/LX200GPS および互換機、中央光学製の中・大型赤道儀に対応しています。また観測ドームと連動しての連続撮影も可能です。

## 最後に

ELM assist は仙台市の小石川正弘氏の監修により「アナログ世代でもストレスを感じることなく使いこなせるシステム」を目指して開発しました。

既に所有している機器類を出来る限り活用して、新天体捜索をこれから始める人にとって、気軽に、楽しみながら、そして家計にやさしいシステムとなることを願っています。

お問い合わせ先 テレスコープセンター アイベル

〒514-0801 三重県津市船頭町 3412

TEL: 059-228-4119 Mail: eyebell@diamond.broba.cc

システム内容についてのお問い合わせ先 株式会社スカイグローブ

Mail: info@skygrove.co.jp



ホテルで開催された緊急ナイトセッション



観測実践（雨プロ）にて発見者の皆さんから一言：左から板垣公一さん、広瀬洋治さん、藤田康英さん、野村敏郎さん、佐野康男さん、市村義美さん、上田清二さん、村上茂樹さん

# 超新星のフォローアップ観測の現状 -主に Ia 型超新星について-

甲南大学 山中雅之

## 1. はじめに

超新星爆発とは、宇宙における最大規模の爆発の一つです。例えば、太陽程度の質量の星が膨張速度 10000km/s 程度の平均速度で膨張したとしますと、 $0.5 \times 10^{51}$  erg (1erg =  $10^{-7}$  J) 程度の運動エネルギーと見積もられます。 $10^{51}$  erg というのは、平均的な超新星爆発のエネルギーの典型値です。

超新星は非常に明るく輝きますが、現代天文学で光学観測対象となっている超新星はほぼ全て系外銀河に出現するものです。最近では、1年に 1500 天体程度も発見されていますが、我々の銀河(=our Galaxy)では 400 年程発見されていません。ニュートリノの検出で有名な SN 1987A は見かけの等級で 2 等にも到達しましたが、ごく近傍の大マゼラン雲にて発見されました。

ところで、新たな超新星は年間 1500 個程度発見されると述べましたが、特によく研究される、詳細な調査が可能な超新星は一声 30-100 メガペースク (Mpc, 10 の 6 乗 pc) 以内の超新星に限られます。この基準となると、最大でも年間 50 天体程度と極端に減ってしまいます。このような非常に近傍での発見は、プロとアマチュアが非常にせめぎあっています。非常に遠方の、暗い超新星は大口径が必要ですが、近傍の明るい超新星はどちらかと言えば、視野が大きく、より広い領域を掃天できる小口径望遠鏡が威力を発揮します。

私たち天文学者が最もよく用いる観測手法が明るさや色の変化を追う“測光”観測と、光を虹に分け、内部の元素を調査できる“分光”観測となります。明るさの変化のことを一般に、光度曲線あるいは光度変化と呼びます。超新星爆発の光度変化は非常に特徴的です。最も明るくなり極大光度は(あるタイプを除き)超新星内部で作られるニッケル 56 の質量に依存します<sup>i</sup>。すなわち、極大での絶対等級(見かけの等級と母銀河の距離から推定する必要があります。)からニッケル 56 の質量を求めることができます。

また、超新星が減光していくタイムスケールはニッケル 56 の半減期と噴出物質の総質量とエネルギーの比で決まります。これで3つのパラメータ(ニッケル 56 質量、総噴出物質質量、運動エネルギー)を決定することができます。

分光観測によって得られるスペクトルはより多くの情報を持っています。超新星の場合、現在進行形で膨張していますので、日々の分光観測は、それぞれの層のスナップショット

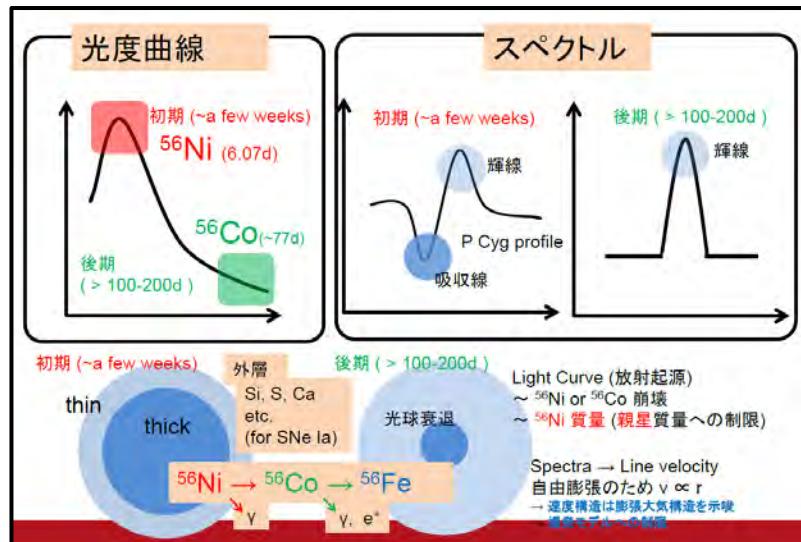


図 1 超新星の光度曲線とスペクトルの模式図。極大光度はニッケル 56 の質量に依存する。一方で、スペクトルに見られる吸収線は光学的に薄い層による吸収を反映する。

を撮ることに対応します。スペクトルは非常に幅の広がった吸収線によって複雑な構造を示します(タイプごとのスペクトルは、図2を参照してください。)。吸収線によって、超新星に含まれる元素を特定してやることが可能となります。吸収線の幅の広さや吸収最小波長のズレは、超新星の膨張速度に依存します。実は、光度変化で得ていた総噴出物質質量と運動エネルギーの比をこの速度で解くこともできます(ただし、元素によっては非常に速い領域に飛び出しているものもあるので注意が必要となります)。

スペクトルは更なる情報を与えてくれます。超新星スペクトルはその輪郭が非常に多様性に富んでおり、さらにあるもの同士は非常に似た形を示します。天文学者の間で、超新星の分光観測が活発に行われるようになったのは、1990年代以降ですので、今も新たな分類の構築が進んでいるエキサイティングな分野です。基本的には特定の元素の有無によって、分類が行われます。水素が見られるものをII型、見られないものはI型となります。I型の中で、ヘリウムが見られるものはIb型、見られないものをIc型、特にケイ素(Si)の強い吸収線が見られるものをIa型と分類します。II型、Ib/c型はほぼ全てのものが渦巻銀河に腕付近に出現することが知られており、反対にIa型は楕円銀河・渦巻銀河・不規則銀河などあらゆるタイプの銀河に出現することが知られています。この事と観測事実を合わせてII型、Ib/c型超新星は大質量星由来の重力崩壊型超新星であるのに対して、Ia型超新星は連星系を成す白色矮星由来の熱核暴走反応であることがわかっています。

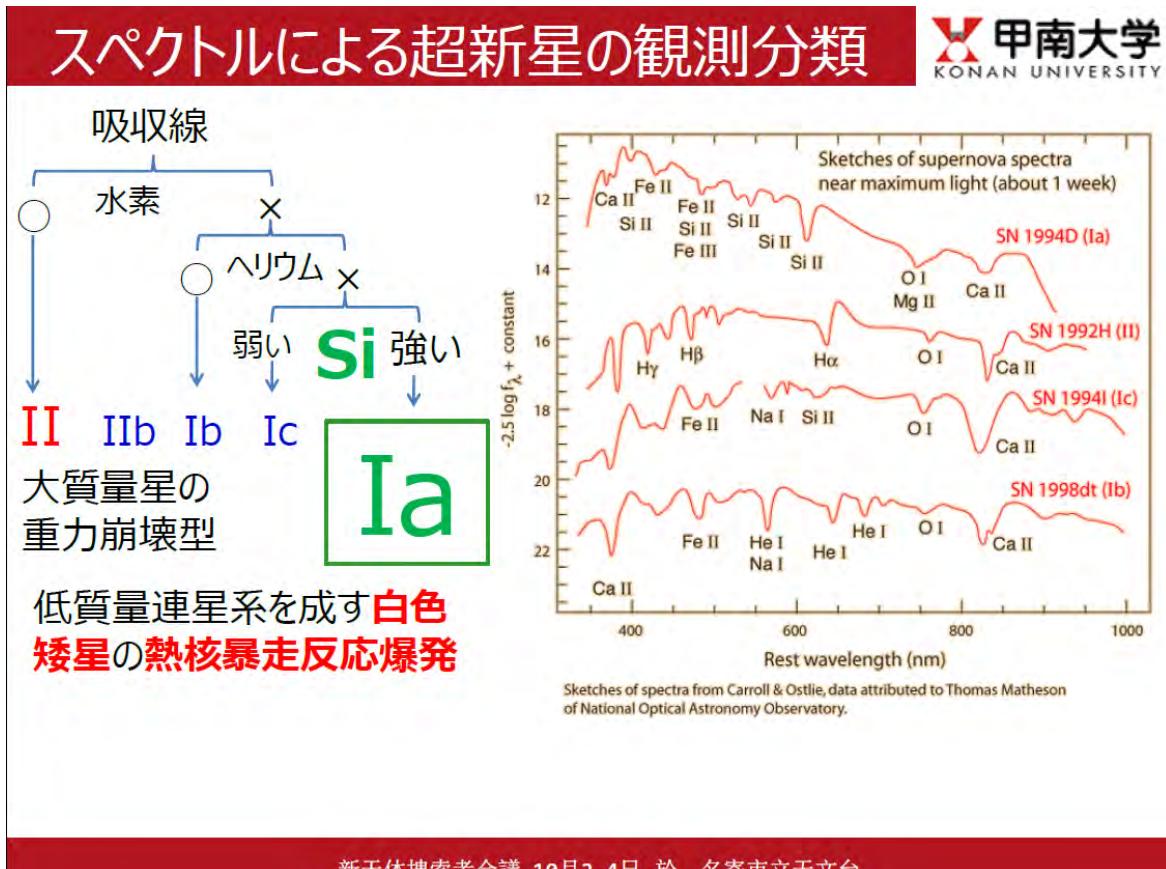


図2 超新星スペクトルによる分類図。

Ia型は、全く異なる天体であっても極めて似ていることもあります。爆発前天体(=親星)の形態が反映されているものと考えられます。Ia型超新星の親星は、連星系を成す白色矮星がチャンドラセカール限界質量(～1.4太陽質量)付近に到達したときに引き起こされる熱核暴走反応が起源であると共通見解が得られています。また、同じような質量で爆発に至る

という性質と関連して、極大絶対等級が非常に似ていることが知られています。さらに、極大絶対等級は超新星の減光する速さと非常に強い相関関係を持つことが知られており、光度曲線から絶対等級を推定することが可能となっております。我々は、超新星の見かけの等級も知っていますので、その差分から未知の母銀河までの距離を決定することができます。このような性質を用いて、今では赤方偏移 2 近くまでの遠方銀河の距離が推定されています。同時に分光観測からは母銀河の後退速度を得ることができます。このような仕事の結果、宇宙膨張は加速していることが発見され、Perlmutter, Riess, Schmidt らは、2011 年ノーベル物理学賞を受賞しました。

ところが一方で、Ia 型超新星の起源は 30 年決着がついておりません。親星が白色矮星起源であることは共通見解が得られつつありますが、伴星が典型的な恒星あるいは赤色巨星（いわゆる単縮退シナリオ<sup>ii)</sup>）なのか白色矮星であるのか（いわゆる双縮退シナリオ）30 年決着がついていません。もし、前者であれば、伴星からの物質降着による白色矮星近くからの円盤風、あるいは伴星表面由来（赤色巨星である場合に）の星風によって星周環境の密度が高くなっていることが期待されます。また、超新星物質が伴星に衝突した際に非常に短時間のうちに明るく輝くことが期待されますが（Kasen 2010），今のところ典型的な Ia 型超新星のそのような兆候は捉えられておりません。

## 2. かなた望遠鏡による Ia 型超新星 SN 2012ht の超早期観測

SN 2012ht は古典新星探索で活発な活動をされている西山・樋島両氏によって、NGC 3447 に 12 月 18 日に 17.2 等で発見されました。その後、驚くべき変化を示し、翌 19 日には 16.2 等に到達、1 日で 1 等もの増光を示す超新星は非常に稀です。さらに驚くべきことに発見日の 2 日前である 16 日には板垣氏によって SN 2012ht の位置に 18.6 等もの限界等級が与えられておりました。これは爆発直後に急増光を示している超新星に違いありません。我々はこの報を当時兵庫県立大の新井氏を経由して受け、すかさず広島大 1.5m かなる望遠鏡を使って 12 月 20 日より観測を開始いたしました。また高い重要性から大阪教育大 51cm 反射望遠鏡、兵庫県立大西はりま天文台 2.0m なゆた望遠鏡も用いて共同観測体制を構築しました。

我々は、爆発初期にフォーカスして SN 2012ht の解析を行いました。かなた望遠鏡・51cm 反射望遠鏡で得られた測光データだけでなく、西山・樋島両氏からも撮像データを譲り受け、統一的な測光解析 (Point Spread Function photometry) を実施しました。

増光曲線は、実にシンプルな二次関数で説明できることがわかりました。近年の爆発モデルにおいては、超新星噴出物質と伴星の相互作用によって増光することが期待されていますが、我々の爆発 2 日以内のデータでは、それは捉えられませんでした。この事から、親星の半径は太陽の 2.7 倍より小さいことを明らかにしました。これは、Ia 型超新星の親星として期待される白色矮星サイズ（およそ太陽の 0.01 倍）と矛盾がありません。実は、この 40 年で最も近傍に出現した SN 2011fe (M101 の超新星) においても同じような解析が行われているのですが（Nugent et al. 2011），やはり伴星との衝突で予言される増光は捉えられていません。将来的には、より近傍のより爆発直後からの観測が必要となると考えられます。

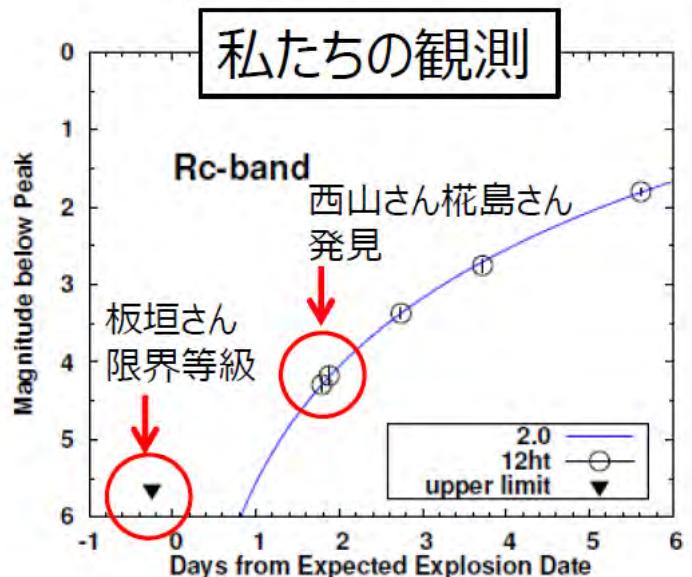


図 3 SN 2012ht の R バンド増光曲線。西山・樋島両氏の発見時の情報とかなたデータを合わせて爆発日を推定することができた。板垣氏による限界等級とも矛盾がない。（Yamanaka et al. 2014 より一部編集して引用）

### 3. 光赤外線大学間連携による特異な Ia 型超新星 SN 2012Z の可視近赤色観測

Ia 型超新星はその絶対等級と減光速度に強い相関関係があることはすでに述べましたが、近年そのような関係に従わない、非常に暗い特異な Ia 型超新星が発見されるようになりました。中でも、典型的な Ia 型超新星の 100 倍暗いものも発見されており、従来の白色矮星起源の熱核暴走反応では再現できない可能性も示唆されています。光度曲線においては、典型的な Ia 型に見られるような近赤外線の第二極大が見られず、非常にのっぺりとした変化を示す天体が数例ほど知られています。しかしながら、近赤外線でよく観測された天体数は依然として少なく、さらなる観測が求められています。

SN 2012Z は、アメリカ・カリフォルニア大バーカレー校の超新星探索グループ (=Lick Observatory Supernovae Search) によって、発見された超新星で非常に早期の特異な Ia 型超新星であることが報告されました。我々は、この報を受け、非常に重要な天体であると考え光赤外線大学間連携を通じた可視近赤線徹底観測を呼びかけました。

得られた光度曲線はやはり近赤外線波長で第二極大を示さず、絶対等級も -17 等程度と非常に暗いことがわかりました。また、増光時間も典型的な Ia 型超新星が 17-20 日程度であるのに対して、12 日程度と非常に短時間のうちに極大光度に到達したことも明らかになりました。

SN 2012Z の近赤外線光度曲線を過去によく観測されている SN 2005hk ( $M_v \sim -17$  等), SN 2008ha ( $M_v \sim -14$  等), さらに典型的な Ia 型超新星 SN 2001el と比較しました。その結果、SN 2012Z は、SN 2005hk と非常によく似ていることを明らかにしました。さらに注目すべきは絶対等級が非常に暗い SN 2008ha も精度が悪いながらも同じように第二極大を示していません。一方で、典型的な Ia 型超新星 SN 2001el は B バンド極大後の 30 日に第二極大を示しています。

これは、爆発モデルの違いによるものであると指摘されています。典型的な Ia 型超新星は明るく ( $M_v \sim -19$  等)、膨張速度が速い ( $>10000\text{km/s}$ ) のに対して、特異な Ia 型超新星は暗く、膨張速度も遅いことがわかっています。典型的な Ia 型超新星では、明るさの起源となるニッケル 56 の質量をより多く生成する必要があるので、より爆発エネルギーの高い

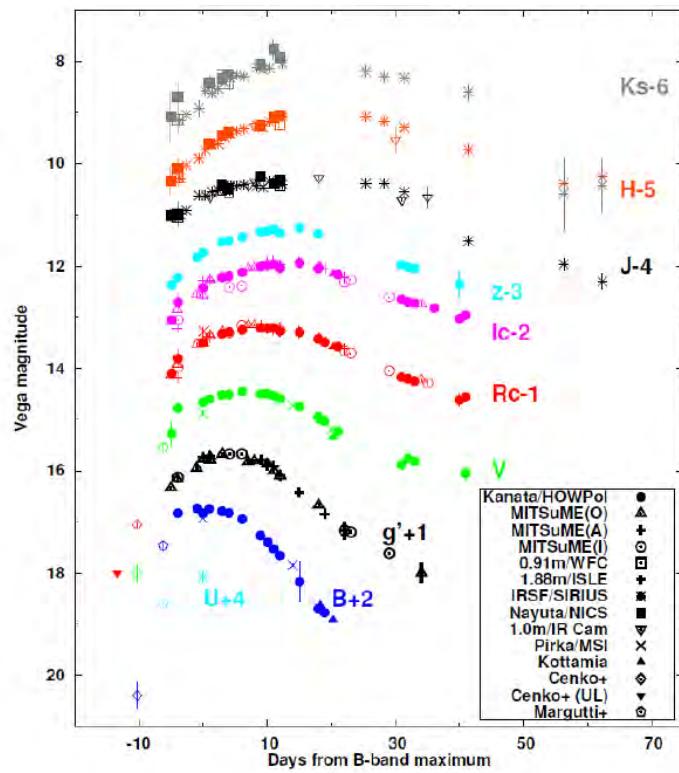


図 4 光赤外線大学間連携を通じて取得した特異な Ia 型超新星 SN 2012Z の光度曲線の可視近赤外線ライトカーブ(図中下方の”U”(紫外域)から上方の”Ks”(近赤外線)まで広い波長での観測に成功した。(Yamanaka et al. 2015 より引用)

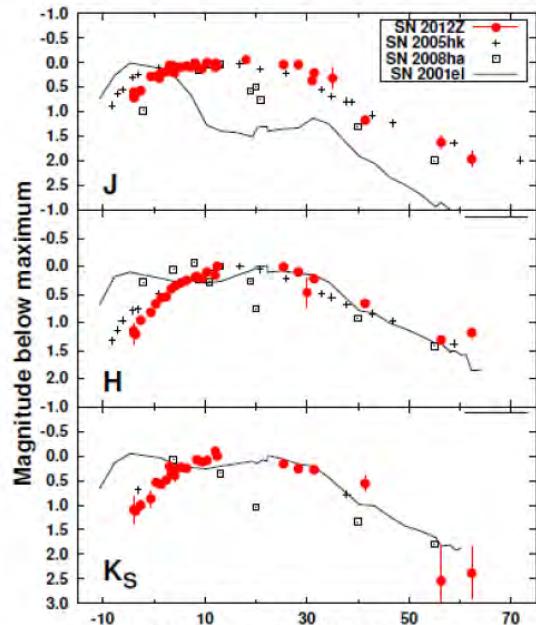


図 5 SN 2012Z の近赤外線光度曲線を特異な Ia 型超新星 SN 2005hk, SN 2008ha, さらに典型的な Ia 型超新星 SN 2001el と比較した。(Yamanaka et al. 2015 より引用)

爆発モデルが必要となります。最も有力なモデルは遅延爆轟波モデルと呼ばれるものです。このモデルでは超新星膨張大気内部の構造が層状になることが期待され、膨張の効果と組み合わさせて第二極大を示すことが指摘されています。一方で、特異な Ia 型超新星はよりエネルギーの弱い爆燃波モデルで再現されることが指摘されています。爆燃波モデルでは噴出物質に強い混合が起こり、近赤外線の光度曲線を”均して”しまうと考えられます。また、我々が明らかにした非常に短い増光時間もこの強い混合と一致するセンスです。より強い制限を与えるためには、より高精度でより密度の高い増光曲線とモデルとの比較が重要になりますので、やはり早期発見が重要であることを強調しておきます。

#### 4. 光赤外線大学間連携によるスーパーチャンドラセカール超新星 SN 2012dn の可視赤外線観測

2006 年にチャンドラセカール限界質量では説明できないような非常に明るい Ia 型超新星が発見されたことが Nature にて報告されました (Howell et al. 2006)。その後、我々のグループでも 2009 年に、SN 2009dc という際立った明るさを持つ Ia 型超新星の観測を行いました (Yamanaka et al. 2009, Tanaka et al. 2010)。SN 2009dc は、非常に明るい極大光度、非常に緩やかな減光、強い炭素の吸収線、遅い膨張速度という特異な特徴を示し、どれも重い親星起源であることに一致するセンスです。理論的な解釈も進められていて、太陽の 2.4-3.0 倍というとてつもない質量を持つ可能性も指摘されています (Hachinger et al. 2012, Kamiya et al. 2013)。

スーパーチャンドラセカール超新星の発見以降、Ia 型超新星の親星を巡る議論も非常に加熱してきました。すなわち、単独の白色矮星では説明ができず白色矮星同士の合体であろうという論調です (Hicken et al. 2007, Scalzo et al. 2010)。この議論は現在も非常に活発に行われていますが、例えば単独の白色矮星起源であっても非常に高速回転をすれば重い白色矮星を再現できることが指摘されています (Pfannes et al. 2010)。また、白色矮星同士の合体ではむしろ暗い Ia 型超新星をよく再現することが指摘されています (Pakmor et al. 2010)。いずれにせよ、スーパーチャンドラセカール超新星の正体は全くの不明と言って良い状況です。

このような状況の中、SN 2012dn というスーパーチャンドラセカール候補天体が発見されました。SN 2012dn がこれまで 4 例のスーパーチャンドラセカール超新星に対して最も際立った特徴が、最も近い母銀河に出現したという点です。これはより長期間、より広い波長で、より精度の高い観測が可能であることが期待されます。筆者を含むグループは極めて重要な天体であると判断して、光赤外線大学間連携を通じた可視近赤外線の徹底観測を実施いたしました。

現在、SN 2012dn は目下解析中のステータスですので、かいづまんで結果を列挙させていただきます。SN 2012dn は B バンド極大 10 日前～極大 30 日後まで近赤外線光度曲線及び色進化がスーパーチャンドラのプロトタイプ天体である SN 2009dc に非常によく似ていることがわかりました。また、極大 30 日以降に近赤外線で強い赤外線超過を示したことわかりました。この赤外線放射はおそらく超新星近辺のダストによるものであることをいくつかの手法で確かめています。Ia 型超新星の周辺環境にダストが分布していることを明らかにした研究はほとんどなく、非常にインパクトの強い研究成果となることが期待されます。

#### 5. まとめと今後

我々は、かなた望遠鏡や光赤外線大学間連携を通じて近傍銀河に出現する超新星爆発の追観測を実施してきました。SN 2012ht では、西山・樋島両氏の非常に早期における発見によって、増光曲線に制限を与え親星半径に強い制限を与えることができました。また、特異な Ia 型超新星 SN 2012Z を可視近赤外線波長域で徹底観測し、近赤外線において第二極大を示さず、強い混合で説明されるであろうことを明らかにしました。爆発前の天体へ強い制限を与えるために今後はより早期からの密な観測が期待されます。スーパーチャンドラセカール超新星 SN 2012dn もまた光赤外線大学間連携を通じて非常に密な観測を実施しました。近赤外線データの解析からスーパーチャンドラセカール超新星のプロトタイプである SN 2009dc に良く似ていることを明らかにし、また極大 30 日以降に強い赤外超過成分を捉

えることに成功しました。この超過成分は、爆発前に親星が噴出したダストシェル起源である可能性を示唆し、親星の正体に強い制限を与えるものと期待されます。

## 6. 参考文献

- Kasen 2010, 708, 1025K  
Yamanaka et al. 2014, ApJL, 782, L35  
Nugent et al. 2011, Nature, 480, 344  
Yamanaka et al. 2015, ApJ, 806, 191  
Howell et al. 2006, Nature, 443, 308  
Yamanaka et al. 2009, ApJL, 707, L118  
Tanaka et al. 2010, ApJ, 714, 1209  
Hachinger et al. 2012, MNRAS, 427, 2057  
Kamiya et al. 2012, ApJ, 756, 191  
Hicken et al. 2007, ApJL, 669, L17  
Scalzo et al. 2010, ApJ, 713, 1073  
Pfannes et al. 2010, A&A, 509, A75  
Pakmor et al. 2010, Nature, 463, 61

---

i ニッケル 56 は放射性崩壊元素です。逆ベータ崩壊を起こして、ガンマ線を放出し、これが超新星物質内部で散乱(逆コンプトン)を起こして、熱源となります。結果的に超新星光球面付近では 10,000K 程度の放射温度となります。

ii 白色矮星が通常の恒星とは異なり、量子力学的な効果によって電子の縮退圧で支えられていることに名前が由来します。

# 日本人天文家が発見した超新星の かなた望遠鏡における型同定と長期モニター観測

中岡 竜也<sup>1</sup>, 川端 弘治<sup>1</sup>, 高木 勝俊<sup>1</sup>, 川端 美穂<sup>1</sup>, 山中 雅之<sup>2</sup>  
伊藤 亮介<sup>1</sup>, 宇井 崇紘<sup>1</sup>, 神田 優花<sup>1</sup>, 高田 紘司<sup>1</sup>, 森谷 友由希<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 広島大学, <sup>2</sup> 甲南大学, <sup>3</sup> 東京大学

E-mail(TN): nakaoka@hep01.hepl.hiroshima-u.ac.jp

## アブストラクト

広島大学所有かなた望遠鏡は、国内で超新星のモニター観測を行っている望遠鏡の1つである。超新星の観測は、多くの場合、まず超新星候補として報告があった天体に対し型同定を行い、その後は必要に応じて追観測を行う。我々は2014年9月2日に板垣公一氏が発見したIIP型超新星SN 2014cxについて、広島大学所有かなた望遠鏡を用いてモニター観測を行い、現在も継続している。この超新星はSwiftの紫外可視望遠鏡でも発見から0.4日後に観測が開始されているが、これはIIP型では最も早い観測開始時期となり、そのお蔭でより初期の超新星光球の温度や半径といった物理パラメータを直接推定することができた。また、ここ1年で日本人アマチュア天文家が発見した超新星の型判定をかなた望遠鏡で行い、そのうち5例についてCBETに報告を行った。

## 1 イントロ

重力崩壊型超新星爆発とは、初期質量が太陽の約10倍以上の星が、星の一生の最期に中心核が重力崩壊を引き起こし爆発することである。しかしその爆発の詳細については、観測技術が発達した現代においても分かっていない。超新星からの極大光度前後の放射の大部分は可視光域で発せられるため、超新星であることの同定、及び型判定は可視光で行われている。一方でX線や赤外線での観測例は限られていたが、近年は観測装置の性能向上により、観測可能な超新星が増えてきた。爆発直後の超新星は1万度以上の高温となっており、その放射ピークは紫外線域となることから、早期観測では紫外線域の観測が重要である。また星周物質が多い超新星はX線で明るく輝くことが多い等、これらの波長での観測が、超新星爆発の解明へつながる可能性がある。

広島大学所有かなた望遠鏡は、国内で超新星の型同定、モニター観測を行っている望遠鏡の1つである。かなた望遠鏡は大学所有で占有的に使用できる望遠鏡のため、突発天体を観測するにあたって有利に働く。超新星の観測では、まず超新星候補天体の情報をTOCP、及び国内アマチュア天文家から入手し、かなた望遠鏡で型同定を行う。型同定の結果はCBETに報告を行い、また天体の重要度に応じて追観測を行う。かなた望遠鏡はここ1年で日本人アマチュア天文家が発見した型同定を行い、そのうち未報告で有意な5例についてCBETに報告を行った。本稿ではこれらの結果について述べる。また重要度の高い要因として、爆発後間もない、希少な種族、天体が近傍である等が挙げられる。本研究ではこれらの要因のうち、爆発後間もなく発見され、比較的近傍で発生したIIP型超新星SN 2014cxの観測について述べる。IIP型の“P”とは“Plateau”的であり、爆発後数十日間は光度がほぼ一定となり殆ど変化しない期間を持つことが特徴的な型である。

## 2 型同定

本章では、2014年9月から2015年9月までに、広島大学かなた望遠鏡で型同定結果を報告した5天体について述べる。表1は、これら5天体の基本情報をまとめたものである。その全てにおいて超新星符号が付与されている。かなた望遠鏡は世界的には小口径望遠鏡に属するため、超新星が十分に明るくないと型同定を行うことができない。その目安は16.5~17.0等以上の明るさで、比較的近傍の超新星のみとなる。望遠鏡高度は10度まで向けることができるため、極端に太陽に近い場所に超新星が発生しない限り問題なく、場所に関する制約は少ない。以上の条件を満たせば、かなた望遠鏡で他に優先すべき観測がない限り、型同定の観測を開始することができる。

表 1: かなた望遠鏡で型同定を行った超新星

超新星	星座	母銀河	発見者	発見日	発見等級 [mag]	距離 [Mpc]
SN 2014dg	きりん座	UGC 2855	板垣 公一	2014/09/11.7	15.4	20
SN 2015A	こじし座	NGC 2955	板垣 公一	2015/01/9.6	16.6	100
SN 2015E	くじら座	Anonymous	KISS project	2015/01/13.4	17.0	170
SN 2015I	ふたご座	NGC 2357	野口 敏秀	2015/05/2.5	15.7	30
SN 2015K	ペガスス座	NGC 7712	板垣 公一	2015/04/25.7	16.3	45

型判定には、観測天体のスペクトルと似ているスペクトルを有する超新星を判断材料の 1 つとしている。このような判定を行っているサービスの 1 つに GELATO がある。GELATO は、天体のスペクトルと赤方偏移を入力することで、似ているスペクトルを有する超新星の判定を自動で行う。このサービスを使用することで、観測天体の型と、爆発後おおよそ何日なのか、おおまかに判断することができる。

## 2.1 SN 2014dg (PSN J03481978+7007545)

この超新星は、2014 年 9 月 11.7 日、きりん座の UGC 2855 に板垣公一氏が発見した。その日のうちに TOCP 及び本人からの連絡により情報を受け取ったが、2014 年秋季天文学会直前によりかなた望遠鏡で観測を行うことができず、型同定を行ったのは 3 日後の 14.6 日である。この時点で超新星は 14 等台となっており、分光は難なく行え、極大前の Ia 型超新星と判定し CBET へ報告を行った。母銀河の距離が 20 Mpc と近く、爆発後数日で発見されたため、かなた望遠鏡で追観測を行った。追観測の結果、この超新星は典型的な Ia 型であり、密に観測できた Ia のサンプルとなった。

## 2.2 SN 2015A (PSN J09411555+3553174)

この超新星は、2015 年 1 月 9.6 日、こじし座の NGC 2955 に板垣公一氏が発見した。前節と同様に TOCP 及び本人からの連絡により情報を受け取り、翌日に分光観測を行った。極大前の Ia と判定し CBET へ報告を行ったが、母銀河まで 100 Mpc と遠いため、かなた望遠鏡で追観測は行わなかった。

## 2.3 SN 2015E (KISS15a)

2015 年 1 月 13.4 日、KISS プロジェクトにより発見された超新星である。KISS プロジェクトとは、東京大学木曾観測所の 105cm シュミット望遠鏡の超広視野カメラ Kiso Wide Field Camera (KWFC) を用いた大規模プロジェクト KIso Supernova Survey(KISS) のことで、爆発直後の超新星を発見することが主な目的である。超新星候補を発見するとプロジェクトメンバーにメールでアラートが届くため、発見から型同定まで短時間で行うことができる。本超新星も同様にアラートが出されたため、発見から分光観測まで 2 時間という非常に短い時間で型同定を行うことに成功している。発見等級は 17.0 等と、かなた望遠鏡で分光するには暗い部類だったが、Ia 型超新星と判明した。これらの結果は発見、型同定を合わせて CBET へ報告された。分光観測により超新星までの距離は 170 Mpc と推定された。明るい超新星ではないため、かなた望遠鏡で追観測は行わなかった。

## 2.4 SN 2015I (PSN J07174570+2320406)

2015 年 5 月 2.5 日、ふたご座の NGC 2357 に野口敏秀氏が発見した超新星である。発見日の 2 日後に TOCP より情報を取得し、5 月 4.5 日にかなた望遠鏡で分光観測を行った。極大前の Ia と判定し CBET へ報告を行った。母銀河の距離は 30 Mpc と比較的近く極大前の超新星だが、太陽のすぐ東側にあり長期間観測できないため、かなた望遠鏡では追観測を行わなかった。

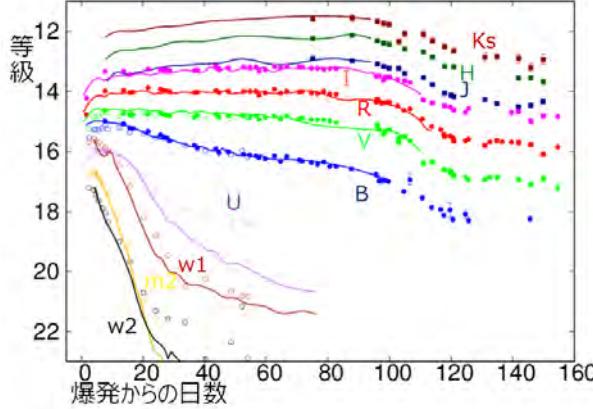


図 1: SN 2014cx のライトカーブ。実線は SN 2012aw のものである。

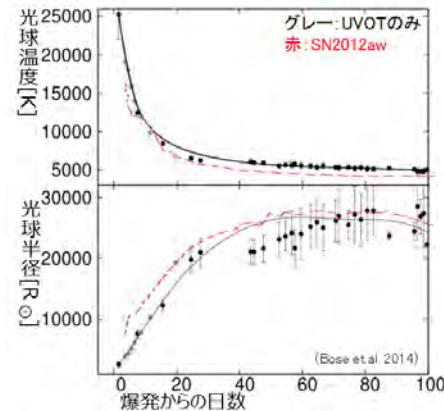


図 2: SN 2014cx の光球半径、温度変化

## 2.5 SN 2015K (PSN J23355226+2336521)

この超新星は 2015 年 4 月 25.7 日に、ペガスス座の NGC 7712 に板垣公一氏が発見した。夜明け前の東の空だったため、明るくなつてから TOCP 及び本人からの連絡により情報を取得した。翌日かなた望遠鏡で分光観測を行い、爆発後 1 か月程度経過した Ic 型超新星と判定し CBET へ報告を行つた。爆発後 1 か月経過するまで発見されなかつたのは、この天体が東の空の太陽近くで、他の大規模超新星サーベイチームが観測を行つていなかつたためと思われる。Ic 型超新星は超新星全体から見て割合が低く希少な種族と言えるが、爆発後 1 か月経過しているため、かなた望遠鏡では追観測を行わなかつた。

## 3 長期モニター観測 SN 2014cx

### 3.1 観測天体、観測機器

§1 にあつたように、重要な天体であると判断された超新星は、より詳細な素性を探るために、継続して観測を行う。超新星の観測には、主に天体の明るさを計る撮像観測と、型同定にも用いた分光観測が一般的に行われる。SN 2014cx は、2014 年 9 月 2.5 日に、くじら座の NGC 337 に板垣公一氏が発見した超新星で、その後の観測により IIP 型超新星であることが判明した。また同年 8 月 30 日には超新星サーベイグループ ASASSN により爆発前の観測が行われており、爆発後間もない超新星であることが分かつた。これらの報告を受けて、広島大学かなた望遠鏡で 9 月 6 日よりモニター観測を開始した。超新星が発生した位置が良かったため、180 日以上継続して近赤外-可視測光分光観測を行うことができた。これほど長期間連続して観測できた IIP 型超新星は他に十数例しかなく、貴重な観測データを持つ天体であると言える。また、この超新星は NASA が打ち上げた衛星 Swift でも観測され、衛星搭載の検出器 UVOT での紫外線-可視光観測も行われている。更に発見から観測開始まで 0.4 日で行われており、IIP 型超新星として最も早い観測開始時間となつた。

### 3.2 測光観測

図 1 は、SN 2014cx の測光観測の結果得られたライトカーブである。実線で示されているものは、同じく IIP 型で近傍で発生した典型的な超新星 SN 2012aw のものである。各バンドの線を比較した結果、増光期から減光期に至るまで非常によく一致していることが分かり、SN 2014cx も典型的な IIP 型超新星であることが窺える。

上記の近赤外-紫外線の観測結果から、超新星の光球半径・光球温度の時間変化を求めた。図 2 はこれらの結果であり、点線で書かれているものは SN 2012aw (Bose et al. 2014) である。最も観測が速い爆発 2.0 日後における SN 2014cx の光球半径と光球温度は、それぞれ  $2600 R_{\odot}$  と  $25000 K$  である。光球半径・光球温度の時間変化は典型的な IIP 型超新星 SN 2012aw とよく似ておらず、ライトカーブの結果と同じく、SN 2014cx も典型的な IIP 型超新星であることが伺える。しかし SN 2012aw では得ることのできなかつた、爆発 2.0 日後の光球半径・光球温度を求めることができ、典型的 IIP 型超新星の爆発直後の光球の物理状態を初めて詳細に知ることができたと言える。

表 2: SN 2014cx の親星パラメータ

超新星	爆発エネルギー [ $\times 10^{51}$ erg]	水素外層の質量 [M <sub>⊙</sub> ]	親星の半径 [R <sub>⊙</sub> ]
SN 2014cx	1.0	6.0	450
SN 2012aw	0.9	14.0	337

### 3.3 親星のパラメータ

IIP 型超新星のライトカーブからは、爆発前の超新星（親星）の情報を得ることができる。次式は親星のパラメータである爆発エネルギー  $E$ 、水素外層の質量  $M$ 、親星の半径  $R$  を得るものであり、それぞれ観測量であるプロトの長さ  $t$ 、V バンドの絶対等級  $V$ 、超新星の膨張速度  $u$  から求めることができる (Popov 1993)。

$$\log E = 4.0 \log t + 0.4V + 5.0 \log u - 4.311$$

$$\log M = 4.0 \log t + 0.4V + 3.0 \log u - 2.089$$

$$\log R = -2.0 \log t - 0.8V - 4.0 \log u - 4.278$$

表 2 は、SN 2014cx のライトカーブから得た情報により親星のパラメータを算出したものであり、SN 2012aw (Bose et al. 2014) と比較を行っている。両者は爆発エネルギーと親星の半径には大きな違いはないが、水素外層の質量に 2 倍以上の差があることが分かる。水素外層の質量に差があることは測光観測、分光観測の結果からも推測することができ、この結果は概ね正しいと考えられる。水素外層が少ない理由は現在解析中であるが、すばる望遠鏡で得られた後期スペクトルの解析から、放出物質のより内側の情報を得られる可能性があり、SN 2014cx の水素外層が少なくなった原因も含めて、今後考察を進めたい。

## 4 まとめと今後

かなた望遠鏡では、日本人アマチュア天文家を含む数多くの超新星候補の分光観測を行い、型同定を行った。2015 年 9 月以降も型同定は継続しており、本文で紹介したもの以外で CBET へ報告したものは 5 件以上ある。かなた望遠鏡では、今後も継続して型同定を行う予定である。

また、かなた望遠鏡では超新星のモニター観測も行っている。SN 2014cx もその 1 つであり、爆発後 2.0 日で Swift 衛星によって観測が開始された IIP 型超新星である。SN 2014cx のモニター観測を行った結果、典型的な IIP 型超新星 SN 2012aw と近いふるまいである超新星ということが分かり、SN 2014cx も典型的な IIP 型超新星であると言えるが、両者の水素外層の質量には大きな差がある。すばる望遠鏡で得られた後期スペクトルの解析から、放出物質のより内側の情報を得られる可能性があり、SN 2014cx の水素外層が少なくなった原因も含めて、今後考察を進めたい。

## References

- Bose et al., 2014, proceedings of IAUS 2014, 296, 334
- Filippenko, 1997, A&A, 35, 309
- Hendry et al., 2005, MNRAS, 359, 906
- Inserra et al., 2012, MNRAS, 422, 1122
- Leonard et al., 2002, PASP, 114, 1291
- Leonard et al., 2002, AJ, 124, 2490
- Li et al., 2011, MNRAS, 412, 1473
- Popov, 1993, AJ, 414, 712
- Sahu et al., 2006, MNRAS, 372, 1315

## 日本の天文家が発見に貢献した超新星のフォローアップ観測

川端美穂、川端弘治、高木勝俊、中岡竜也(広島大学)、山中雅之(甲南大学)、  
前田啓一(京都大学)、松本桂、福島大樹(大阪教育大学) 他

### 概要

広島大学 1.5m かなた望遠鏡では、超新星サーベイやアマチュア天文家によって発見された超新星の型同定及びフォローアップ観測を行っている。今回は、その中で日本の天文家の貢献が大きい超新星について紹介する。IIb 型超新星 SN 2013df は通常の極大を迎える前に、IIb 型超新星のプロトタイプである SN 1993J で見られたショッククーリングと考えられる急速な減光 (V バンドで 1 日に約 0.2 等の減光) がアマチュア天文家によって捕えられている。このような超新星はまだ 2、3 例しか見つかっていないが、このショックブレイクアウト後の急減光の観測から親星の半径や星周物質の密度分布等の情報を得られる可能性が指摘されており、注目度は高い。また、SN 2014dt も発見は遅めだったものの、近傍銀河に現れた特異な Ia 型超新星であるため重要天体として観測を行った。

### 1 導入

超新星の現象論的な分類は爆発初期のスペクトルによって行われる。極大光度時に、水素の吸収線が見られないものが I 型超新星、水素の吸収線が見えるものが II 型超新星である。I 型超新星でも一階電離したケイ素 (SiII) の強い吸収線が見えるものを Ia 型、ケイ素の吸収線が弱く、中性ヘリウムの吸収線が見られるものを Ib 型、ケイ素もヘリウムも見られないものを Ic 型超新星と呼んでいる。初期には水素の吸収線が見られるために II 型超新星と分類されるが、次第に水素の吸収線が弱くなるもしくは見えなくなり、Ib 型超新星に類似したヘリウムの吸収線が見られる IIb 型超新星がある。II 型および、Ib/Ic 型超新星とは太陽のおよそ 8 倍以上の質量を持つ恒星が星の進化の終末に見せる姿で、重力崩壊により爆発が引き起こされる。一方で、Ia 型超新星は近接連星系を成す白色矮星が太陽の約 1.38 倍であるチャンドラセカール限界質量に到達する際、核反応が暴走し、やがて星自体が爆発すると考えられている。広島大学 1.5m かなた望遠鏡では、超新星サーベイやアマチュア天文家によって発見された超新星の型同定及び、フォローアップ観測を行っている。今回、日本の天文家の貢献が大きい超新星 2 天体について紹介する。

### 2 観測方法

広島大学 1.5m かなた望遠鏡に取り付けられている一露出型可視広視野偏光撮像装置 (Hiroshima One-shot Wide-field Polarimeter、通称 HOWPol) で可視撮像 (*BVRI*) と分光 (4500~9200Å、分解能  $R \sim 400$ ) 及び広島大可視近赤外同時カメラ (Hiroshima Optical and Near-infrared Camera、通称 HONIR) で近赤外撮像 (*JHKs*) を行った。また大阪教育大学 51cm 反射望遠鏡に取り付けられている Andor 社の冷却 CCD カメラでも可視撮像 (*BVRI*) を行った。また、すばる望遠鏡の微光天体分光撮像装置 (Faint Object Camera And Spectrograph、通称 FOCAS) で分光観測を行った。

### 3 IIb 型超新星: SN 2013df

#### 3.1 IIb 型超新星のショックブレイクアウトと親星

初期の IIb 型超新星のスペクトルで次第に水素の吸収線が弱くなることから、IIb 型超新星の外層はいくらか剥ぎ取られていることが考えられている。しかし、外層は親星の質量や形態及び進化過程に関係し、外層を剥ぎ取るメカニズムは不明瞭な点も多

い。今回、IIb型超新星の親星を探る手がかりとして、ショックブレイカウトの後に見られる急減光(ショッククーリング)に注目した。ショックブレイカウトとは超新星爆発によって星内部で発生した衝撃波が、星表面を通過する時に急激にX線や紫外線で明るく輝く現象である。ショックブレイカウトの後に、星全体が膨張し始め、温度が低下していく。温度が低下していくと、可視光でも明るく輝くようになる。これをショッククーリングと言い、この時期の明るさや温度は理論的には親星の半径、星周物質の密度構造に依存していると指摘されている(Rabinak & Waxman 2011)。

### 3.2 発見とフォローアップ観測

SN 2013dfは2013年6月7.8日に近傍銀河NGC4414(16.6Mpc)でイタリアの超新星サーベイグループ(Ionian Supernovae Search Project)によって14.4等で発見された。6月10.8日にはS. B. CenkoらによってケックII望遠鏡で分光観測が行われ、IIb型超新星のプロトタイプであるSN 1993Jに似たスペクトルを示し、爆発後まもないIIb型超新星と同定された(Ciabattari et al. 2013)。初期に非常に早いタイムスケールで増減光(1日あたり0.2等程度)というショッククーリングの兆候であると考え、6月11日よりフォローアップ観測を開始した。ショッククーリング期の観測を紹介する先行論文もあるが、データ点は少なく、今回は新たに初期のデータを板垣氏、清田氏、坪井氏より提供してもらい、再解析を行った。爆発日は2013年6月6.5日と推定されており(Morales-Garoffolo et al. 2014)、今回はこの爆発日とともに議論を行う。

### 3.3 SN 2013dfの光度曲線、温度変化

図1にSN 2013dfの光度曲線を示す。塗りつぶしの丸印はかなた望遠鏡、白抜きの丸印は大阪教育大学51cm望遠鏡で、四角印は板垣氏及び清田氏によって得られたデータである。逆三角印は坪井氏によって得られた爆発前の未検出のデータである。SN 2013dfはショックブレイカウトによる極大をむかえた後、Vバンドで0.22等/日で急減光を示した。第2極大(通常

超新星で見られる極大)は6月26.6日で $14.34 \pm 0.03$ 等であった。極大後は緩やかに減光した。

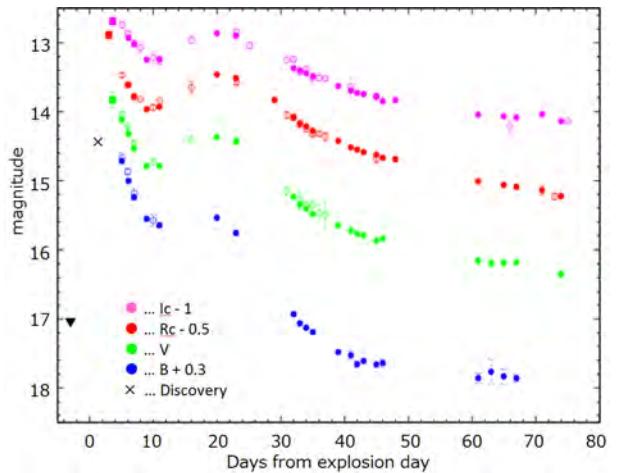


図1: SN 2013dfの光度曲線

SN 2013dfの温度をBVRIの全バンド及び測光精度が良いと考えられるRIバンド、VIバンドで推定した。図2にSN 2013dfの温度変化を示す。SN 1993Jでは初期に急激に温度が下がっているが、SN 2013dfは緩やかに温度が下がっている。この温度変化とNakar & Piro (2014)での理論の温度変化と比較する。親星が赤色巨星やウォルフライエ星のような密度構造を持っていた時の温度は $t^{-0.6}$ で変化し、図2の赤線で表される。また、コンパクトなコアの周りに低密度で広がったエンベロープを持つ(密度変化が連続的でない)星のモデルの温度は $t^{-0.5}$ で変化し、図2の緑線で表される。どちらのモデルにおいても、初期の急な温度変化を再現することはできなかった。このことから、これらのモデルのような密度構造ではなく、エンベロープに極端な密度構造を持っている可能性がある。

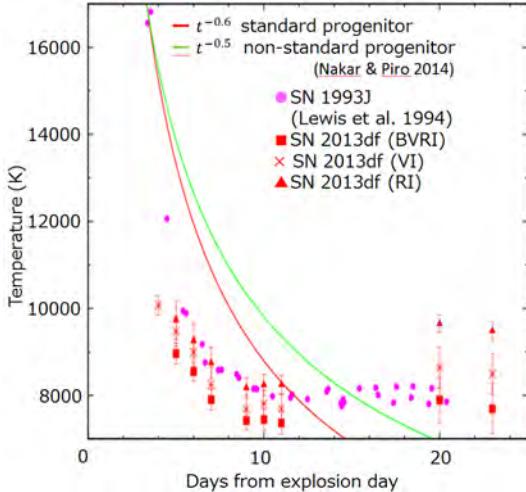


図 2: SN 2013df の温度変化

## 4 特異な Ia 型超新星: SN 2014dt

### 4.1 Iax 型超新星

Ia 型超新星は導入で述べたように、白色矮星は特定の限界質量を持つことから、似通った極大光度で輝くことが期待されるが、実際にはわずかに光度のばらつきが認められる。数多くの Ia 型超新星が観測され、Phillips (1993) は極大光度と減光速度に相関関係 (Width-Luminosity Relation) があることを見出し、光度のばらつきの補正方法を提案した。この相関関係より、Ia 型超新星は銀河の宇宙論的な距離指標となっている。しかし近年になり、減光速度は典型的な Ia 型超新星と違いがないのにも拘らず、極大光度は 1 等以上暗い Ia 型超新星が複数見つかってきた。この特異な Ia 型超新星は Iax 型超新星と呼ばれ (Foley et al. 2013)、異常な暗さの他に、放出物質の速度が遅い、初期には高温のスペクトルを示す、近赤外の光度曲線で見られる第 2 ピークが見られないなど典型的な Ia 型超新星とは異なる特徴を示す。Iax 型超新星は暗くて研究歴が浅く、可視近赤外線域における初期からの長期に渡る密な観測例は希少である。そのため、Iax 型超新星の爆発モデルは依然未解決であり、精力的に研究が進められている。

### 4.2 発見とフォローアップ観測

SN 2014dt は 2014 年 10 月 29.8 日に近傍銀河 M61(12.3Mpc) で板垣公一氏によって 13.6 等で発見された。10 月 31 日には Asiago Supernova classification program によって分光観測が行われ、極大頃の Iax 型超新星と同定された (Ochner et al. 2014)。最も近傍に現れた Iax 型超新星で、長期に渡って観測ができるということから、11 月 3 日よりフォローアップ観測を開始した。

### 4.3 SN 2014dt の光度曲線とスペクトル

SN 2014dt の光度曲線を図 3 に示す。また、発見等級および TOCP に観測報告が挙げられていた等級も載せている。フィルターなしとして報告されていたものは R バンドとして図示している。観測機器の違い、及び比較星等級の違いによって TOCP に報告があった等級でもばらつきがでている。比較のために Iax 型超新星 SN 2005hk の光度曲線 (Sahu et al. 2008, Phillips et al. 2007) も合わせて載せる。極大以降の観測となつたが、約 290 日後までの長期にわたる多バンドの連続測光観測例としては初めてである。過去に良く研究されている Iax 型超新星 SN 2005hk の光度曲線をもとに SN 2014dt の極大日を推定した。その結果、B バンドの極大は 10 月 20 日頃と推定される。以降、B バンドの極大日を 0 日とする。初期の光度変化は SN 2005hk と似ているものの、60 日頃から SN 2014dt の減光が緩やかになっている。

図 4 に SN 2014dt のスペクトル進化を示す。SN 2014dt の 124 日及び 241 日のスペクトルはすばる望遠鏡+FOCAS を用いて取得された。比較のため、青線で SN 2005hk のスペクトルも載せる。SN 2005hk のスペクトルデータは SUSPECT<sup>1</sup> 及び WISEREP<sup>2</sup> から引用した。極大から時間が経過しており、鉄やカルシウムの吸収線が卓越したスペクトルになっている。SN 2005hk と似たスペクトルであるが、SN 2014dt の方が吸収線は細く、青方偏移量も小さく速度が遅い。これは SN 2014dt の方が爆発エネルギーが小さいということが示唆される。

<sup>1</sup><http://suspect.nhn.ou.edu/suspect/>

<sup>2</sup><http://www.weizmann.ac.il/astrophysics/wiserep/>

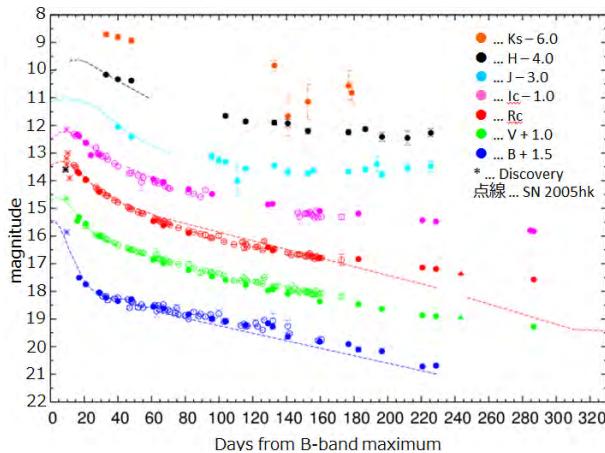


図 3: SN 2014dt の光度曲線

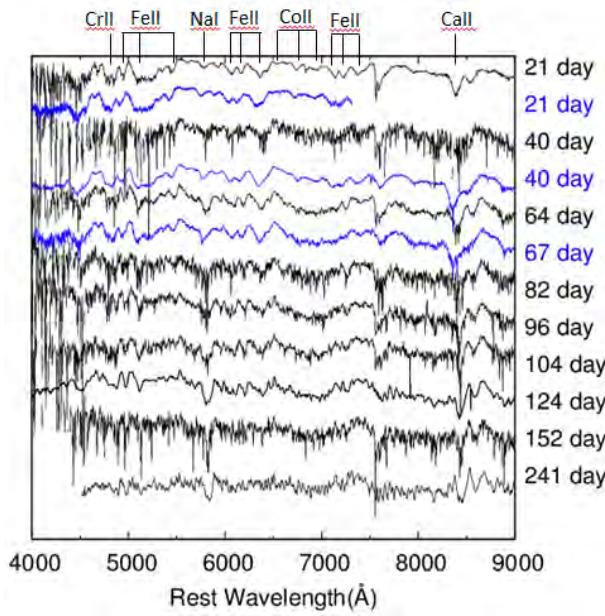


図 4: SN 2014dt のスペクトル進化。黒が SN 2014dt のスペクトルで、比較のため SN 2005hk のスペクトルを青色の線で示している。

## 5 まとめ

超新星爆発後まもない時期の観測から、親星の半径などの重要な情報を得られる可能性が指摘されて

いる。SN 2013df ではショッククーリングによる急な減光や温度変化が捉えられた。ショッククーリングは親星の半径に依存すると考えられており、爆発後、数日経ったデータでも重要となる。また、極大を向かえるまでにかかる時間も爆発モデルを制限することが可能であるため、爆発日を精度よく推定するためにも、未検出のデータも貴重になる。

## 参考文献

- [1] Rabinak, I., & Waxman, E., 2011, ApJ, 728, 63
- [2] Ciabattari, F., Mazzoni, E., Donati, S., et al. 2013, Central Bureau Electronic Telegrams, 3557, 1
- [3] Morales-Garoffolo, A., Elias-Rosa, N., Benetti, S., et al. 2014, MNRAS, 445, 1647
- [4] Nakar, E., & Piro, A., 2014, 788, 193
- [5] Phillips, M. M., 1993, ApJ, 413, 105
- [6] Foley, R. J., Challis, P. J., Chornock, R., et al, 2013, ApJ, 767, 57
- [7] Ochner, P., Tomasella, L., Benetti, S., et al, 2014, Central Bureau Electronic Telegrams, 4011, 2
- [8] Sahu, D. K., Tanaka, M., Anupama, G. C., et al, 2008, ApJ, 680, 580
- [9] Phillips, M. M., Li, W., Frieman, J. A., 2007, PASP, 119, 360

# 光・赤外線大学間連携による時間変動天体観測の取り組み

関口和寛：国立天文台光赤外線研究部  
〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1

## 概要：

国立天文台と日本の9大学が国内外に持つ中小の望遠鏡を使って、衛星や地上のサーベイ観測から発見される突発天体や変光天体などを対象にした可視光・近赤外線での多地点・多機能な即時フォローアップ観測や連続観測を共同して行う事業が平成23年から実施されています。大望遠鏡では実施困難な時間領域に焦点を当てた研究(Time Domain Astronomy)を共同して行うことにより、新しい研究分野を創出するとともに、大学の研究力強化に資する取組みについて紹介します。

## 光・赤外線大学間連携

今までに日本各地の大学が連携して天文学の観測研究を行う取り組みとしては、大学VLBI連携観測事業（平成17年度～平成22年度）としてJapanese VLBI Network (JVN) が構築された例があります。この電波望遠鏡によるVLBI観測事業は、みんなで連携しなければ観測にならないため、比較的協力が得やすいという利点がありました。それに比べて光・赤外線天文学の分野では、各大学がそれぞれ独自に教育および研究用に中小望遠鏡を建設し運用して来た歴史があり、望遠鏡の制御や観測データ取得のためのシステムなどもそれぞれ違うものが使われていました。

このように、それぞれの大学が独自性を生かした観測研究で競い合うのは良いのですが、特に学生の研究課題として観測を必要とする時などは、日本のように天候条件に恵まれない所ではなかなか必要な観測データが得られないという問題がありました。さらに、自分の大学の望遠鏡には無い機能や観測装置での観測が必要な時もありました。そんな時には、国立天文台などの共同利用機関の望遠鏡を使った観測に応募するか、他大学との協力が必要でした。

これらの経験から、国立天文台や大学のもつ光・赤外線分野の観測設備を統合し、多モード・多波長にわたる相補的観測研究を行う体制の整備が求められていました。そこで、北海道大学、埼玉大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、京都大学、兵庫県立大学、広島大学、鹿児島大学の9大学と大学共同利用機関である自然科学研究機構・国立天文台が連携することにより、日本の大学が国内外に持つ中小口径の望遠鏡を結びつけて、突発天体等の即時および連続観測により、

その物理現象を解明することを目的とした「大学間連携による光・赤外線天文学研究教育拠点のネットワーク構築」(以下「光・赤外線大学間連携」と略す)事業が平成23年度から6年間の予定で実施されることになりました。

## Time Domain Astronomy

近年観測天文学は、大口径望遠鏡建設と高感度な検出器の開発が進み、より暗く、より広く、と観測が進められて来ました。そして観測する領域の広さや深さ、それと観測波長帯域の違いはあっても、特定の時点での天体の状態を観測するスナップショット観測が主流でした。特に大型望遠鏡では、個々の研究に使える観測時間は比較的短いので、同じ天体の時間変化を観測する機会はごく限られてしまいます。

これに対して近年、衛星および地上からの大規模サーベイ観測データを利用することにより、今まで非常に困難であった突発天体や変光天体の発見と、その情報伝達のためのシステムが飛躍的に整備されて来ました。また、観測頻度が増えることにより、これまで十分に観測できなかったような短い時間スケールで変動する天体を詳細に観測することが可能になりました。2022年に観測開始を予定しているLSST (Large Synoptic Survey Telescope : 大型シノプティック・サーベイ望遠鏡)が観測を始めると、今までの静的な宇宙像から時間により変化する動的な天体现象の研究へと大きな転換が起こることが予想されています。

このように時間軸に焦点を当てた観測により、ガンマ線バーストの起源天体の解明や、超新星、X線新星、

新星、矮新星、地球近傍の小惑星等の突発または移動天体の詳細な研究が可能となりつつあります。しかし突発天体の発生時期・発生場所はまったく予測不可能なため、貴重な早期観測データ取得のためには全地球的な地上観測網を敷き、サーベイ情報を用いてすばやく地上からの可視光・近赤外線でのフォローアップ観測を実施することが必要です。光・赤外線大学間連携事業では、突発天体のフォローアップ観測および変光天体の連続モニター観測等、天文学では比較的未開拓な次元である「時間軸」に焦点を当て、光・赤外線での多地点・多機能な観測ネットワークにより、それぞれの大学が持つ中小望遠鏡の特徴的な機能を使った相補的で斬新な研究を行うことにより大学での教育と研究を促進し、広い視野と知識を備えた研究者を育成することを目指しています。

## 望遠鏡と観測装置

図1に光・赤外線大学間連携の国内観測網を示します。平成27年10月現在、上記10の大学・機関と、ぐんま天文台の協力を加えた国内9か所の天文台や観測所が持つ口径0.5mから2.0mの望遠鏡が参加しています。(これらの他に実際の観測には、京都産業大学1.3mあらき望遠鏡、美里スペースガードセンター1.0m望遠鏡、等の協力を得ることができます。)

これらの望遠鏡は、北海道の名寄から石垣島まで日本全国に広く分布しています。そこで、気象条件の違いや、日の入りや夜明けの時間が名寄と石垣島では2時間近く違うことなどから、観測時間帯や時期に大きなメリットがあります。



図1 光・赤外線大学間連携の国内観測網。

さらに名古屋大学が南アフリカに持つ口径1.4mのIRSF望遠鏡と東京大学がチリに持つ口径1.0mのmini TAO望遠鏡が参加しているため、日本の昼間でも天の赤道帯および南半球の天体を観測することができます。これらにより天の赤道帯領域の天体に対してはほぼ24時間連続の観測も可能となります。また将来的には、東大TAO(口径6.5m)望遠鏡と京大新技術望遠鏡(口径3.8m)が加わる予定です。



図2 光・赤外線大学間連携の海外を含めた観測網。

これらの望遠鏡には、可視および赤外線での撮像・測光観測装置、低分散から高分散までの分光観測装置、さらに高時間分解能を備えた撮像・分光装置まで、多様な用途と性能を備えた観測装置が準備されています。また、新しい観測装置も開発されています。光・赤外線大学間連携に参加する望遠鏡と観測装置の最新情報は光・赤外線大学間連携事業のOISTER Webページに公開されています。[\(http://oister.oao.nao.ac.jp/\)](http://oister.oao.nao.ac.jp/)

## 観測環境整備

この事業では、各大学が独自に構築、整備して来た観測システムを連携して観測研究が実施できるようするため、共同して主にガンマ線バースト天体を対象とした即時アラートシステムを構築しました。そして、各天文台で共通した全天モニターや観測装置ステータス取得システムを導入し、さらにデータ解析を行い易いように共通データ解析パイプライン(CARP)を開発しました。これらにより、各望遠鏡の観測条件の確認やデータの迅速な処理がほぼリアルタイムで可能となり、観測にフィードバックできるようになりました。また、観測データのクオリティコントロールも容易となりま

した。

## 研究成果

光・赤外線大学間連携事業の共同研究分野は；

1. ガンマ線バースト天体、
2. 超新星、
3. 活動銀河核、
4. 激変星（新星、矮新星など）、
5. 太陽系内天体、
6. 等

があります。

平成27年7月までに連携プロジェクトとして41天体が観測され（表1）。これらから5編の査読論文が出版され、連携ネットワークから派生した協力関係や関連研究から28編の査読論文が出版されています。

表1 光・赤外線大学間連携事業により観測された天体数。

年度	観測天体数
2011	12 (0)
2012	6 (0)
2013	7 (2)
2014	11 (5)
2015*	5 (2)

（）内はOISTERによるガンマ線バーストの観測数。

この事業の主たる研究課題はガンマ線バースト天体ですが、即時アラートシステムと観測実施体制の整備により、2013年以來9件（2015年7月現在）の観測に成功しています（表1）。また超新星や激変星の観測も、突発天体の即時フォローアップ観測に対応した光・赤

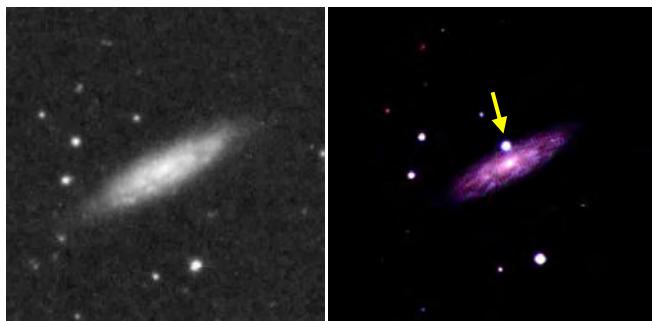


図3 Ia型超新星 SN 2011by と母銀河 NGC 3972。左は、Skyviewによる爆発前の写真。右は、東京大学木曾観測所シュミットカメラによる、3色合成カラー写真。矢印で示されているのが超新星 SN 2011by。

外線大学間連携観測に適した研究対象です。超新星は、宇宙の尺度を測る指標としての役割や、宇宙進化への寄与などからも天文学では重要な研究対象です。この事業では、多くの望遠鏡を使ってより広い波長領域でより時間密度の高い観測が可能となりました。

図3は、東京大学木曾観測所シュミットカメラによるIa型超新星 SN 2011by と母銀河 NGC 3972 の3色合成カラーイメージ（右）と Skyview による超新星爆発前の母銀河（左）です。発見のアラートがインターネットを通じて各望遠鏡に伝えられ、国立天文台岡山天体物理観測所が観測状況をとりまとめます。研究の責任者は、その時点で何處でどのような観測が可能なのか、重複はないか、等を考慮して各望遠鏡に観測の指示を行います。

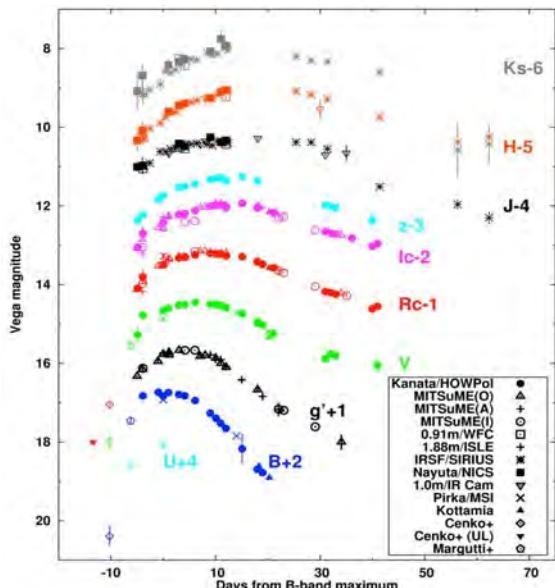


図4 光・赤外線大学間連携によるSN2013Zの多色測光観測。

図4に光・赤外線大学間連携により観測されたSN2013Zの可視から近赤外線までの測光観測データの例を示します。多波長での密なフォローアップ観測が可能となったことがよく分かります。これらの観測により、個々の大学の望遠鏡だけでは不可能だった多角的な見地からの研究が出来るようになりました。

図5には国立天文台岡山天体物理観測所の近赤外線撮像・分光装置(ISLE)によるSN2011byの近赤外線画像とスペクトルを示します。日本の空は、可視光でのバックグラウンドが明るいのですが、近赤外線ではありません問題なく観測できます。

さらに光・赤外線大学間連携では、激変星の増光を捕えての観測や、極短期でも比較的明るい天体について、多波長、多機能（高速測光や分光）での連続観測を行っています。また、機動性を生かして彗星の観測や小惑星観測にも取り組んでいます。今までに光・赤外線大学間連携事業に参加した研究者や学生の数は130人を超えます。

## 今後の取り組み

「大学間連携による光・赤外線天文学研究教育拠点のネットワーク構築」事業は、平成28年度の末で当初予定した6年間が終了の予定です。平成27年日本天文学会秋季年会では、大学VLBI連携との合同企画セッションを開催し、これまでの成果をとりまとめました。また日本天文学界欧文報告誌(PASJ)特集号の出版を平成28年に予定しています。平成27年11月11日-12日には、国立天文台三鷹キャンパスにおいて第6回光・赤外線大学間連携ワークショップを開催し、次

なる大学間連携の方針とあるべき姿について検討を始めています。

現在の光・赤外線大学間連携事業は、主に望遠鏡と観測設備を持った大学と機関による連携事業です。そして、これらの望遠鏡が連携しての突発天体早期フォローアップ観測が可能なネットワーク体制が完成しつつあります。今後は、これまでに蓄積した経験やノウハウを継続し、より多くの大学や研究機関の参加を求めて天文学の研究と教育の裾野が広がるような将来像を模索したいと考えています。

## 謝辞

光・赤外線大学間連携事業は、連携参加大学・機関の研究者、学生、関係者のみなさんの協力と文部科学省からの特別経費（全国共同利用・共同実施分）によって運営されています。この場をお借りして関係者のみなさんに謝意を表します。

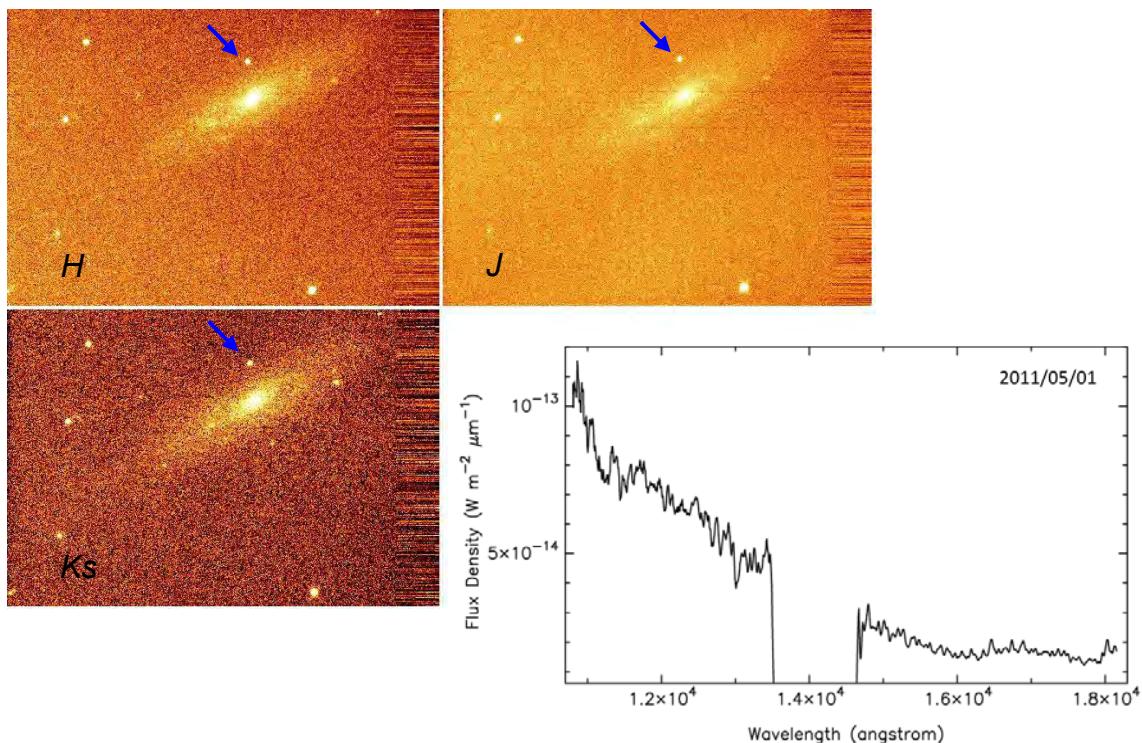


図5 国立天文台岡山天体物理観測所近赤外線撮像・分光装置(ISLE)によるSN2011byの近赤外線画像とスペクトル(右下)。

# 木曾超新星探査(KISS)における

## アマチュア天文家との連携

諸隈智貴(東京大学)

概要: 東京大学 1.05m 木曾シュミット望遠鏡を用いて行ってきた高頻度超新星探査 Kiso Supernova Survey (KISS) では、超新星爆発の瞬間であるショックブレイクアウトの可視光での初検出を目指して観測を続けてきた。取得した観測データに対して、過去の参照画像との引き算を行うことで超新星候補を効率よく検出するが、この引き算の過程で、その不完全性や宇宙線などの影響で、”偽の変動天体”が検出される。その数は本物の変動天体の数を大きく上回る。現象の時間スケールがわずか数時間の超新星ショックブレイクアウトを検出し、その直後に追観測を開始するためには、即時データ解析の後に、大量の候補天体から本物の超新星候補天体を効率よく選び出す必要がある。そこで我々はアマチュア天文家との協力で目視による候補天体の最終チェックを行い、即時追観測を実現した。本講演では、KISS の科学的目的、アマチュア天文家との協力体制の仕組みとともに、今後の木曾シュミット望遠鏡での超新星探査の取り組みについて紹介する。

### 1. 超新星ショックブレイクアウト

星の最期の大爆発である超新星爆発において、星の中心付近で発生した衝撃波が星表面に現れる際、あたかも星の光球面温度が急激

に上昇したかのように見える。これがショックブレイクアウト(衝撃波脱出)である。爆発前の星に比べて、ショックブレイクアウトは、同じサイズながらも数十万度という高温になるため、明るく青く輝く(図1右下)。このショックブレイクアウトの光度曲線を取得することができれば、それまでハッブル宇宙望遠鏡の爆発前の高空間解像度データに依存していた爆発前の星の詳細を明らかにすることができる。

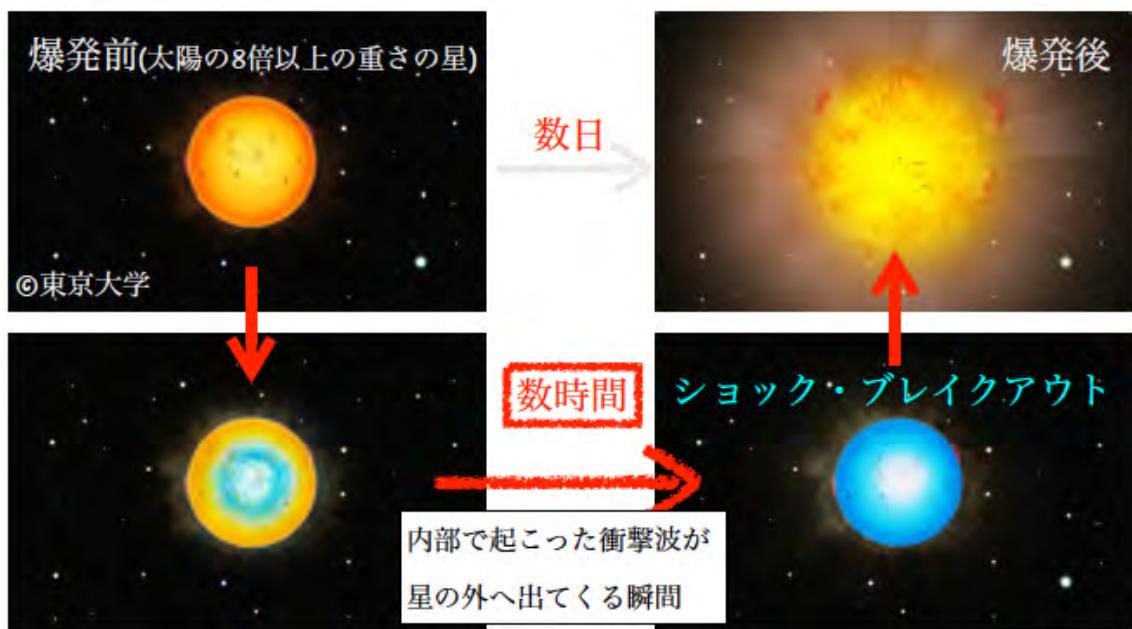


図1：超新星ショックブレイクアウトの想像図。

## 2. 木曾シュミット望遠鏡広視野カメラ Kiso Wide Field Camera (KWFC)

長野県に東京大学が保有する木曾シュミット望遠鏡は、世界で4番目の大きさ(1.05m)の補正板を持つシュミット型望遠鏡であり、その広視野撮像能力が最大の特長である。我々は、2012年4月に8枚のCCDを搭載した広視野 CCD カメラ Kiso Wide Field Camera (KWFC) を完成させた。2.2度角四方(4.6平方度)の視野を持ち、3分間の積

分で 20-21 等級の感度を実現するカメラであり、超新星のような稀な現象を探査するのに最適である。

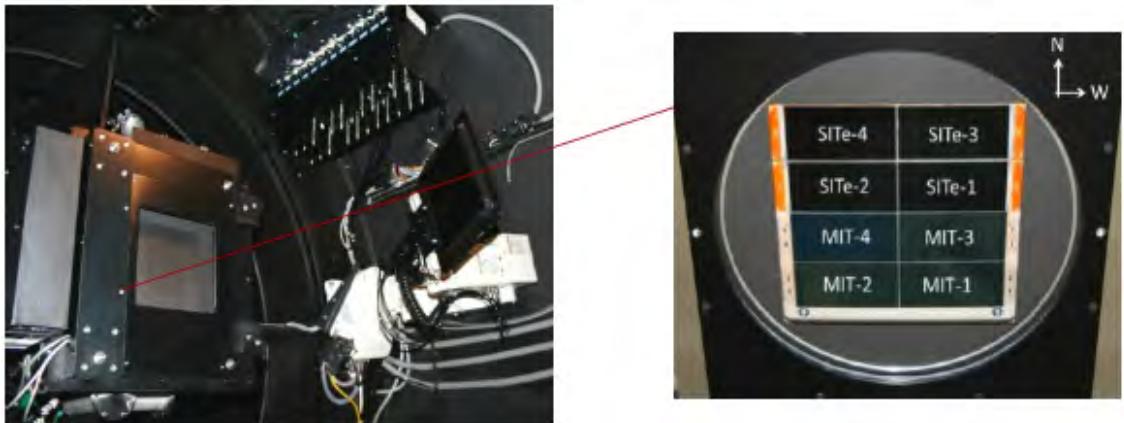


図 2: KWFC。SITe、MIT 製それぞれ 4 枚ずつ計 8 枚の CCD で構成。

### 3. 木曾超新星探査 Kiso Supernova Survey (KISS)

上記 KWFC を用いて、我々は、2012 年 4 月に、高頻度超新星探査 Kiso Supernova Survey (KISS) を開始した。第 1 章で述べた超新星ショックブレイクアウトを検出するため、通常の超新星探査とは異なる、1 時間間隔という高頻度での観測を行った。

およそ 5 分に一度生成される取得観測データに対して、過去の参考画像との引き算を行うことで超新星候補を効率よく検出するが、この引き算の過程で”偽の変動天体”が検出される。引き算の不完全性や宇宙線などの影響が原因で、その数は本物の変動天体の数のおよそ 1000 倍と大きく上回る。現象の時間スケールがわずか数時間の超新星ショックブレイクアウトを検出し、その後に追観測を開始するためには、即時データ解析の後に、大量の候補天体から本物の超新星候補天体を効率よく選び出す必要がある(図 3)。そこで我々はアマチュア天文家との協力で目視による候補天体の最終チェック

(図 4)を行い、即時追観測を実現した。

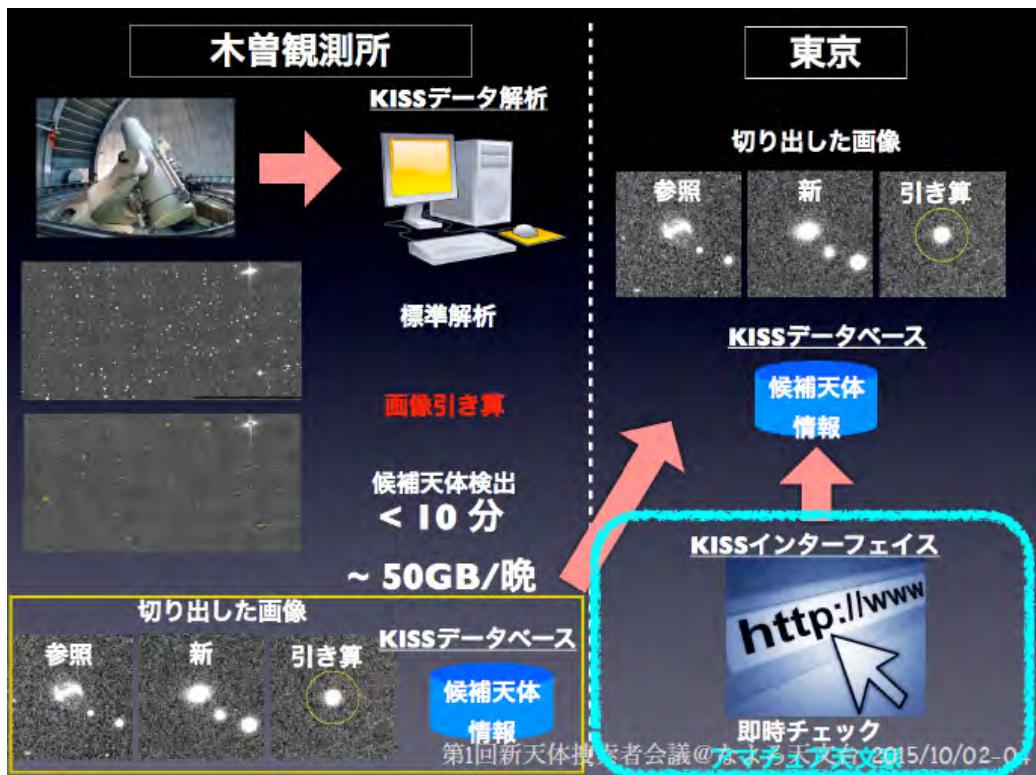


図 3: 観測データ取得から天体チェックまでの流れ。

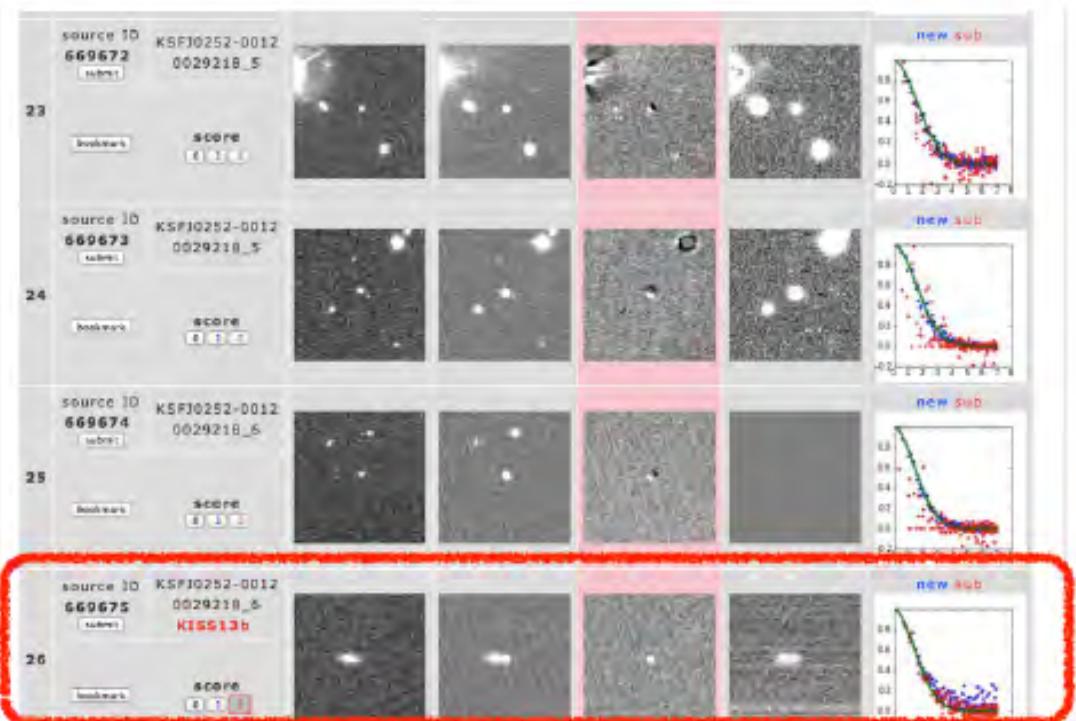


図 4: 天体チェックページの例。

探査観測開始以後、2015年9月の観測中断までの期間において、100天体余りの超新星候補天体を発見し、うち26天体については独自に分光観測による同定を行うことに成功した。このうち17天体に対してアマチュア天文家によるチェックがなされており、国際天文学会連合やAstronomer's Telegramなどの報告に共著者として参加していただいた。このアマチュア天文家との協力の取り組みを含め、これまでに複数のメディアに取り上げられ、木曽観測所を舞台としたNHKドラマ「木曽オリオン」(2014年1月放送)の製作へつながった。

#### 4. 木曽観測所の今後の計画

KWFCの次世代広視野カメラとして、木曽観測所では、Tomo-e Gozen(巴御前)の開発を行っている。Tomo-e Gozenは、従来のCCDによる広視野カメラではなく、CMOSセンサを用いた新しいタイプの広視野カメラであり、これまでに探査観測が難しかった秒スケールもしくはそれ以下の短時間変動現象を探るためのカメラとして期待が大きい。視野も現在のKWFC(4.6平方度)を大きく上回る20平方度となり、超新星をはじめとする様々な動的宇宙の観測に適したカメラとなる。2017年度(予定)の完成後、Tomo-e Gozenを用いたさらに大規模な超新星探査を計画しており、アマチュア天文家の方々との連携・協力を模索していきたいと考えている。



ランチタイムに始まった「スパノバ」によるサプライズ生演奏



板垣公一さんと佐野康男さんによる公開トークショー『超新星発見 100 個の軌跡』

# 北大1.6 m ピリカ望遠鏡による突発天体・時間変動天体観測

渡辺誠（北海道大学）

## 概要

北海道大学では、光・赤外線天文学大学間連携事業における共同観測研究や他の研究機関との共同研究として、1.6 m ピリカ望遠鏡を用いたガンマ線バースト、活動銀河核、系内ジェット天体、X 線連星、超新星、新星、彗星、小惑星など様々な突発天体・時間変動天体の観測を行っている。ここでは、北大ピリカ望遠鏡とその搭載観測装置を紹介し、突発天体・時間変動天体の観測例を示す。

## 1 北大1.6 m ピリカ望遠鏡

北海道大学1.6 m ピリカ望遠鏡は、北大が北海道名寄市の北海道大学大学院理学研究院附属天文台（図1；なよろ市立天文台と併設）に設置した光学赤外線望遠鏡である。天文台は道立サンピラーパーク内に設置され、北大の札幌キャンパスからは、車で約3時間（220km）、列車では2-3時間の位置にある。天文台の設置は北大と名寄市の連携事業として行われ、望遠鏡ドームを含む建物の建設は名寄市が担当した。サイトのナチュラルシエイジングはRバンドにて1.3-2.3秒角（中央値では1.8秒角）である。冬季は天候は良くないが、6月の梅雨がないのがこのサイトのメリットである。



図1：北大大学院理学研究院附属天文台。左側手前がピリカ望遠鏡が設置されているドーム。



図2：ピリカ望遠鏡。

この望遠鏡は北大大学院理学院宇宙物理学専攻の惑星宇宙グループが中心となって運用しており、惑星気象学研究のための太陽系内惑星のモニター観測を主要な目的の一つとしている。そのため、ピリカ望遠鏡とその搭載観測装置は太陽系内惑星の観測的研究のために特化され、望遠鏡は高度5°まで指向可能のように製作された。望遠鏡はカセグレン焦点のほかに、2つのナスミス焦点も持ち、大型の観測装置も搭載可能である。なお、ピリカ(pirka)はアイヌ語で美しいという意味である。

ピリカ望遠鏡は研究教育利用を目的とした大学望遠鏡であるが、市民へも一般公開され、市立天文台の開館日（週6日）の日没前までは常時見学

可能とし、毎週金土日曜日の夜（日没～21:30 夏季/20:00 冬季）には一般観望会も行われる。これらの見学の案内や観望会は名寄市職員が担当している。一般観望会以外の夜間の時間は、北大の研究観測時間として、北大の研究者および他大学・他研究機関の共同研究者からの観測提案・観測時間希望を基に、3ヶ月ごとに観測スケジュールが立てられる。

ピリカ望遠鏡は2010年12月にファーストライトを迎え、その後調整を経て、2011年4月から本格運用を開始した。本格運用開始当初から、国内7大学（現在は9大学）と国立天文台からなる「大学間連携による光・赤外線天文学研究教育拠点ネットワーク構築」事業<sup>1</sup>に参加し、連携内における最北の望遠鏡として、ガンマ線バーストや超新星、X線連星、活動的銀河核などの突発天体・時間変動天体のフォローアップ観測やモニター観測も行っている。また、2014年秋には、天文台に光インターネット回線が開通し、札幌キャンパスからの遠隔操作によるリモート観測も可能となった。

## 2 搭載観測装置と観測例

### 2.1 可視光マルチスペクトル撮像観測装置（MSI）

ピリカ望遠鏡の主要観測装置のうち、最もよく利用されている装置は、可視光マルチスペクトル

撮像観測装置（Multi-spectral Imager; MSI; 図3）である[1]。MSIは、2種類の液晶波長可変フィルター（Liquid Crystal Tunable Filter; LCTF）と512×512ピクセルの電子増倍型CCD（EMCCD）カメラを備え、LCTFとEMCCDカメラとを組み合わせることで、金星や木星などの太陽系惑星の波長400 nmから1100 nmに渡るマルチスペクトル画像（複数の異なる波長の狭帯域バンド画像セット）を素早く取得することを意図した世界的にもユニークな観測装置である。MSIのLCTFは、液晶を用いたLyotフィルターの一種であり、液晶を電気的に制御することで、透過波長バンドを機械的な可動部なしで素早く変えることができる。2つのLCFTの波長域は、それぞれ400から720 nmと650から1100 nmで、バンド幅はいずれも約10 nmである。また、EMCCDカメラは最大約32 Hzの高いフレームレート（フルフレームの場合）においても読み出しノイズを抑制して高感度で画像を取得可能で、シフト・アンド・アッド法やラッキーイメージング技術を用いて地球大気のゆらぎの影響を減らし、空間分解能の向上を図ることができる。観測装置の視野は3.3×3.3分角、ピクセルスケールは0.39秒角である。フィルターホイールも備えており、UBVR<sub>C</sub>I<sub>C</sub>バンド広帯域フィルターや中心波長360 nmから390 nmの干渉膜狭帯域フィルターを用いた観測も可能である。2014年4月には、Wollaston偏光プリズムも導入して、直線偏光観測も可能となった。

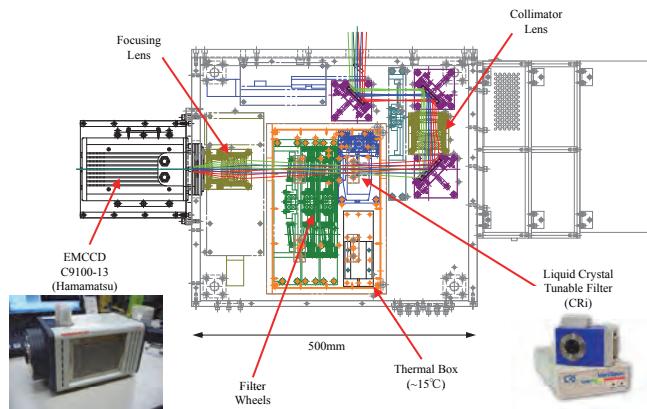


図3: 可視光マルチスペクトル撮像観測装置 MSI の外観（左）と光学機械系レイアウト（右）[1]。

<sup>1</sup><http://oister.oao.nao.ac.jp/>

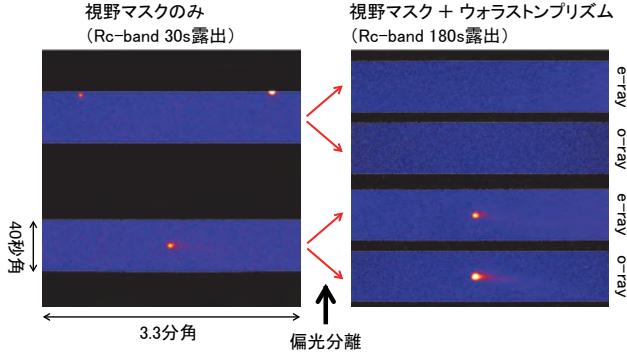


図 4: MSI ブロードバンド偏光撮像観測の取得画像例（ターゲットは 209P/LINEAR 彗星）。

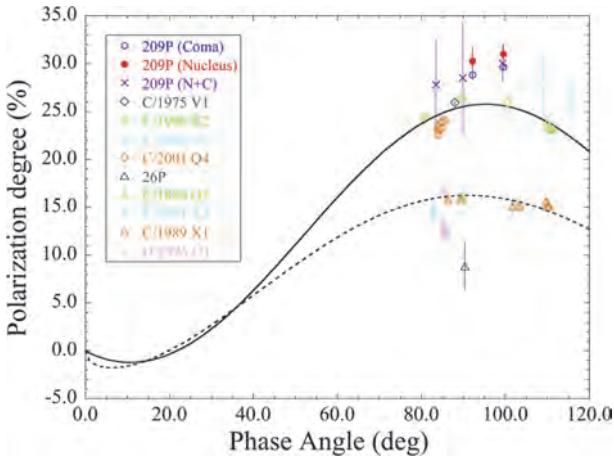


図 5: MSI で測定された 209P/LINEAR 彗星の偏光度の位相角依存性 [2]。

偏光観測の際には、Wollaston 偏光プリズムとともに、常光線 (o-ray) と異常光線 (e-ray) の像の重なりを避けるための短冊状の視野マスクを使用する。そして、観測装置の手前に半波長板を挿入し、半波長板を 4 方位 (0, 45, 22.5, 67.5 度) に回転させながら取得した 4 つの画像からストーク

スの  $I$ ,  $Q$ ,  $U$  パラメータを計算する。図 4 に MSI による 209P/LINEAR 彗星のブロードバンド偏光撮像観測における取得画像の例、図 5 に MSI で測定された 209P/LINEAR 彗星の偏光度の位相角依存性 [2] を示す。

## 2.2 可視光撮像分光観測装置 (NaCS)

可視光撮像分光観測装置 (Nayoro Optical Camera and Spectrograph; NaCS; 図 6) は、北大と神戸大・東京大とで共同で開発した撮像モードと分光モードを切り替え可能な観測装置である [3]。光学系や機械系はハワイ大学 2.2m 望遠鏡 (UH88) の広視野グリズム分光観測装置 WFGS2 [4] と同様な設計とし、検出器には浜松ホトニクスの 2048 × 1104 ピクセル完全空乏型裏面照射 CCD を採用した。設計波長域は 0.38–0.97  $\mu\text{m}$ 、装置の視野は 8.4 × 4.5 分角、ピクセルスケールは 0.25 秒角である。フィルターホイールを 1 枚備えており（設計上は 2 枚搭載の予定だが、現時点では 1 枚のみ製作されている）、SDSS  $g'$ ,  $r'$ ,  $i'$ ,  $z'$  バンドと Johnson  $B$ ,  $V$  バンドの広帯域フィルターのうち 5 枚を一度に搭載可能である。撮像モードから分光モードへの切り替えは、観測装置内の望遠鏡焦点面へのスリットの挿入と、コリメータレンズユニットとカメラレンズユニットの間へ波長分散素子としてグリズムを挿入することによって行う。波長分解能 ( $\lambda/\Delta\lambda$ ) は 656 nm にて約 300 (2 秒角幅スリット使用時) で、スリット幅は 2, 3, 4 秒角から選択可能である。NaCS はピリカ望遠鏡のナスマス A 焦点のインスルメントローテータ上に搭載され、2011 年 11 月にファーストライトを迎えた。

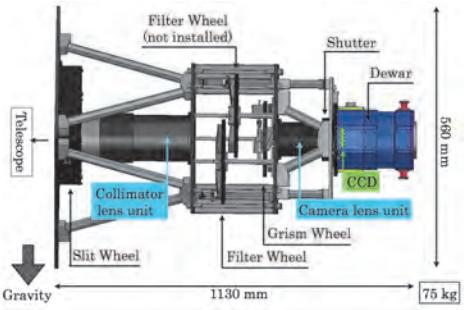
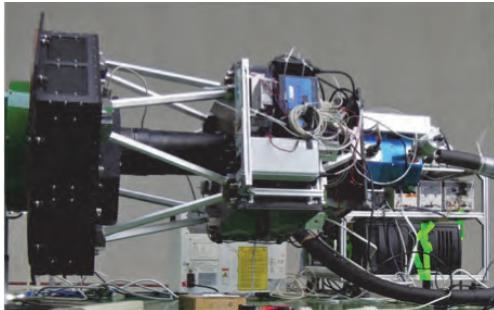


図 6: 可視光撮像分光観測装置 NaCS の外観（左）と光学機械系レイアウト（右）[3]。

図 7 は、NaCS によるダブルピークの水素バルマー輝線を持つ活動銀河核 Arp 102B の分光観測データの例である [5]。このダブルピーク輝線は、中心のブラックホールの周りで相対論的な回転運動をしている降着円盤が起源である [6]。撮像観測によって直接空間分解できない遠方銀河の中心核周りの構造を探るために、銀河中心の強度的に時間変動する紫外線光源が、その周りの降着円盤のガスを内側から外側にかけて順に励起させていく現象をダブルピーク輝線スペクトルプロファイルの変化として捕える試みとして、NaCS によって行ったダブルピーク輝線の分光モニター観測の例を図 8 に示す [5]。

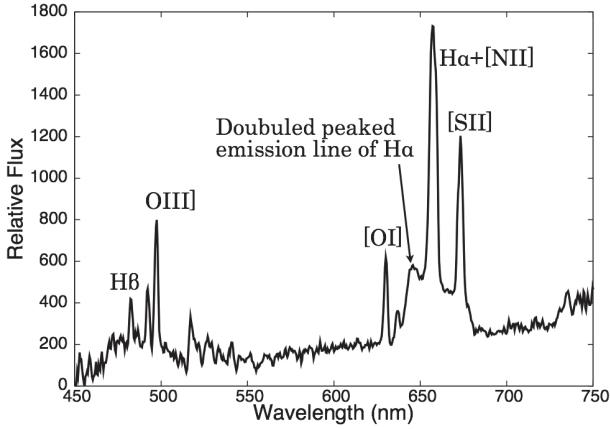


図 7: NaCS による活動銀河核 Arp 102B の分光観測例 [5]。

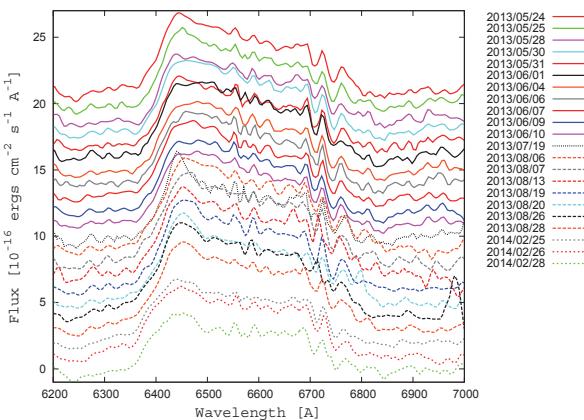


図 8: NaCS による活動銀河核 Arp 102B のダブルピーク水素バルマー輝線プロファイルの分光モニター観測例 [5]。狭輝線成分を取り除き、ダブルピーク水素バルマー輝線成分のみを時間順に並べたもの。

### 3 ピリカ望遠鏡による突発天体観測・時間変動天体観測

ピリカ望遠鏡では、光・赤外線天文学大学間連携や他機関との共同研究において、これまで以下に挙げる様々な突発天体・時間変動天体の観測を行ってきている。

#### 光・赤外線天文学大学間連携 (OISTER)

- ガンマ線バースト
- 彗星 209P/LINEAR (PI: 石黒 & 黒田)
- 超新星 SN2011by, SN2011dh, SN2011fe, SN2012Z, SN2012dn (PI: 山中), SN2012aw (PI: 川端), KISS14z (PI: 諸隈)
- 新星 Nova Del (PI: 関口)
- 系内ジェット天体 V404 Cyg (PI: 田中)
- 活動銀河核 CTA 102 (PI: 伊藤), KISS14k (PI: 諸隈), NGC 3516 (PI: 峰崎)

#### 共同研究

- 小惑星 2009 SQ104 (PI: 石黒 & 関口), 1999JD6 (PI: 石黒)
- 新星 V1280 Sco (PI: 新井)
- 活動銀河核 NGC 3516, NGC 4593, Mrk 509 (PI: 峰崎 & 野田)

大学間連携においては、発生から数時間で消えてしまうガンマ線バースト (GRB) の検出を狙った即時観測を促すアラートシステムが構築されている。Swift 衛星によってバーストが検出 (トリガー) されると、所定の観測開始条件を満たすものに対して、国立天文台岡山天体物理観測所経由で連携機関へアラートが配信される。連携機関ではこれを Skype や電子メールで受け取り、即時 GRB の観測を実行する。図 9 に北大に配信された GRB アラートの通知メールの例を示す。大学間連携における GRB の観測開始条件は、トリガーから 120 分以内、高度 25 度以上で、30 分以上観測可能であることとしている。この条件ではアラート受信の頻度は月に 1 件程度である。

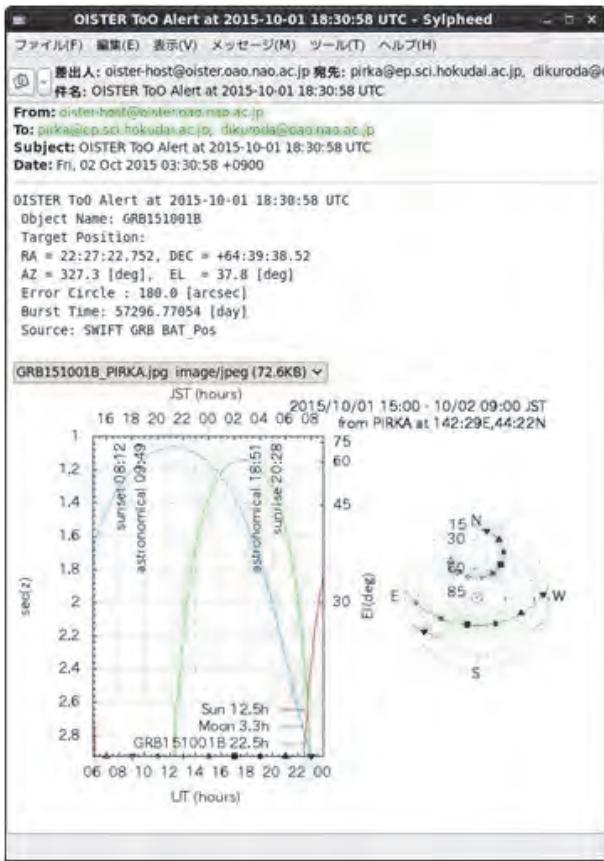


図 9: GRB アラート通知メールの例。

GRB 以外の突発天体・時間変動天体の観測は、あらかじめ提出された観測提案書に基づいて行われる。観測提案書に示された観測開始条件を満たす天体の発見や現象の発生が起こると、観測提案の代表研究者によって、各観測所の役割分担や具体的な観測指示とともに、連携ネットワーク宛に観測のトリガーが発動される。

ここでは紙面の都合により大学間連携における突発天体・時間変動天体の観測結果の具体例は示さないが、これまでの具体的な観測成果については、北大大学院理学研究院附属天文台の Web サイト<sup>2</sup> や大学間連携事業の Web サイト<sup>3</sup> を参照されたい。

## 参考文献

- [1] “MSI: a visible multispectral imager for 1.6-m telescope of Hokkaido University”, Watanabe, M., Takahashi, Y., Sato, M., Watanabe, S., Fukuhara, T., Hamamoto, K., Ozaki, A. 2012, *Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE)*, **8446**, 84462O
- [2] “Optical and Near-Infrared Polarimetry for a Highly Dormant Comet 209P/LINEAR” Kuroda, D., et al. 2015, *Astrophysical Journal*, **814**, 159
- [3] “Development of Nayoro optical camera and spectrograph for 1.6-m Pirka telescope of Hokkaido University”, Nakao, H., Watanabe, M., Sorai, K., Yamada, M., Itoh, Y., Sako, S., Miyata, T. 2014, *Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE)*, **9147**, 91473P
- [4] “Development of the Wide Field Grism Spectrograph 2”, Uehara, M., et al. 2004, *Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE)*, **5942**, 661
- [5] “Development of the Nayoro Optical Camera and Spectrograph (NaCS) and Spectral Monitoring of the Double-peaked Emission Line of Active Galactic Nuclei (可視撮像分光装置 NaCS の開発と活動銀河核のダブルピーク輝線の分光モニター観測)”, 中尾 光 2015, 北海道大学 博士論文
- [6] “Structure of line-emitting accretion disks in active galactic nuclei - ARP 102B”, Chen, K. & Halpern, J. 1989, *Astrophysical Journal*, **344**, 115

<sup>2</sup><http://sana.ep.sci.hokudai.ac.jp/nayoro/>

<sup>3</sup><http://www.oister.nao.ac.jp/>



集合写真（会議2日目：2015年10月3日）

# アジア太平洋小惑星観測ネットワークについて

Asia-Pacific Asteroid Observation Network (APAON)

吉川 真

Makoto YOSHIKAWA

宇宙航空研究開発機構

JAXA

## 概要

天体の地球衝突問題を扱うスペースガードは、近年、国連でも議論されるなど国際的な活動となってきた。スペースガードにおいてまず重要なことは、地球に衝突する可能性がある天体を発見することである。そのための観測は、主に米国やヨーロッパで行われており、アジア地域での貢献が少ない。そこで、アジア地域での小惑星観測を促進するために、我々はAsia-Pacific Asteroid Observation Network (APAON)というものを設立し、活動を始めている。ここでは、APAONの現状について紹介する。

## 1 はじめに

最近、小惑星の発見が非常に多い。2015年11月の時点で、約70万個の小惑星の軌道が分かっている。小惑星の発見が多い理由は、地球に接近する天体（NEO：Near Earth Object）を探すプロジェクトがいくつか動いているためである。2015年11月の時点で、小惑星では約13000個のNEOが発見されている。NEOは地球に衝突する可能性がある天体である。天体が地球に衝突すると大きな被害を生じうるということは、2013年2月にロシア・チェリャビンスクに衝突した隕石を見ても明らかである。天体の地球衝突問題を扱うのがスペースガードであるが、国連のCOPUOSでも10年以上議論が続けられ、2014年からは、IAWN (International Asteroid Warning Network) と SMPAG (Space Missions Planning Advisory Group) という2つのグループが作られて活動が開始された。

このようにスペースガードとしてNEOが注目されているわけであるが、NEOの資源利用や、有人ミッションのターゲットとしてもNEOが注目されるようになった。もちろん、太陽系の起源や進化を探る科学（サイエンス）として重要であることは言うまでもない。

このような状況にあって、特に小惑星の観測に注目してみると、米国やヨーロッパでは盛んに観測が行われているが、それに比較するとアジア太平洋地域での観測のアクティビティーが低い。図1に主



図1 世界の主な望遠鏡の分布

(IAUマイナープラネットセンターのTimothy Spahr氏のデータにより改変)

な望遠鏡の分布を示す。もちろん、図1に表示されてない望遠鏡も多いが、アジア地域での観測が米国やヨーロッパに比べて手薄になっていることは確かであろう。さらに、米国→ハワイ→アジア→ヨーロッパと夜の時間帯が移ることを考えると、たとえば米国やハワイで発見された天体をアジア地域でフォローアップするなど、アジア地域での観測が重要になる場合もありうる。そこで、「アジア太平洋小惑星観測ネットワーク（APAON : Asia-Pacific Asteroid Observation Network）」というものを構築し、太平洋地域も含むアジア地域での小惑星観測を活性化できないかと考えた。ここでは、このAPAONについてその設立と概要を紹介する。

## 2 これまでの経緯

2013年12月にベトナム・ハノイで行われたアジア・太平洋地域宇宙機関会議（APRSAF : Asia-Pacific Regional Space Agency Forum）において、我々はアジア太平洋地域で小惑星観測をより活発に行おうという呼びかけを行った。そのときには、「Asteroid Observation Network in Asia-Pacific Region」というタイトルでの発表であった。小惑星観測の重要性を述べ、アジア地域での観測ネットワークを構築したいという提案を行ったわけである。APRSAFという会合は、アジア太平洋地域における宇宙利用の促進を目的として1993年に設立されたもので、30を超える国や地域から参加がある。2014年までに21回の会合を開いている。これまででは、人工衛星やロケット等を使った宇宙利用関連の話題が中心であったが、地上望遠鏡による小惑星観測というテーマで呼びかけたわけである。

2014年の夏から、具体的にアジア・太平洋地域の天文台や関心のありそうな研究者に呼びかけを行った。その結果、10の国・地域から関心が示された。その最初の会合が、2014年11月6日に第7回スペースガード研究会の中で行われた。そして、2014年12月に東京で行われたAPRSAFにおいて、APAON（Asia-Pacific Asteroid Observation Network）という名称で活動を開始したことを報告した。

2015年には、地球に接近した小惑星2004 BL86についてキャンペーン観測を1月26日に行ってみた。その結果、日本などでは天気が悪くて観測できなかったが、マレーシア、韓国、タイでは観測に成功した。このように、広い地域に分散して観測をすることは、天気のリスクを回避する上でも有効である。

## 3 APAONの概要

APAONの目的は、スペースガードのためにNEOの観測を行うことであるが、目的は限定しないし、活動における制約や義務もあまり設定しない方針で進めることにしている。つまり、小惑星観測に関心がある人が互いに協力したり、情報を交換し合ったりして観測をより活発に進めようとするものである。

まずは、既存の望遠鏡を活用し、小惑星の観測を連携して行うことを考えている。たとえば、地球上に接近している小惑星など特定の天体を定めて、APAONメンバーで共同観測を行うことが挙げられる。観測施設が地域的に広く分散しているので、天候によって観測が行えないというリスクの回避となる。取得するデータとしては、天体の位置情報、測光観測による明るさの変化（ライトカーブ）、分光観測によるスペクトルの取得などが挙げられる。さらには、このような観測を、教育やアウトリーチにも活用することも活動の一つとしてよい。このようなことを通して、小惑星観測を活性化し、

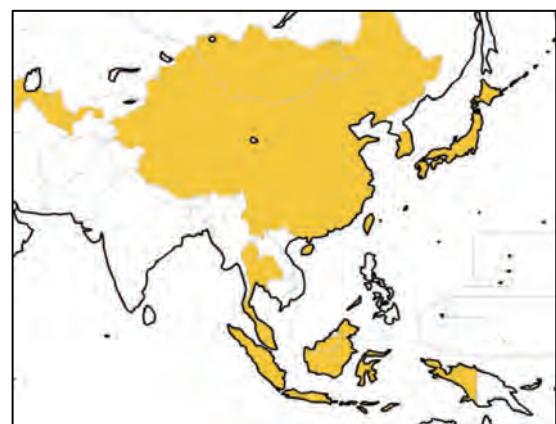


図2 APAON 参加者の国の分布  
参加機関がある国の領域が色で染められている。

NEOの本格的観測に繋げていこうというアイデイアである。

現在（2015年11月）におけるAPAONのメンバーは、表1と図2のようになっている。10の国・地域から約20の機関に所属する人がメンバーとなっている。現時点では、個人としての研究者で関心を持った人がメンバーになっているものであり、国や組織間で協定などは結んでいない。メンバーについては、今後も呼びかけを続け、さらに参加者を増やしていきたい。たとえば、アマチュアの観測者もメンバーに加えることで、より多くの人にAPAONに参加してもらう方針である。

#### 4 今後の活動方針

APAONとしての基本的な枠組みができてきたので、今後は、具体的な観測活動を進めていきたい。その手始めが、上述した2004 BL86の観測キャンペーンであった。日本などは天気が悪くて観測はできなかつたわけであるが、マレーシア、韓国、タイでは観測が成功した。このように地域分散することで、天候によって観測できないリスクが回避できる可能性が高まることが

実証された。今後も、このような観測機会があれば、共同観測を行ってアジア太平洋地域での小惑星観測を進めていきたい。

また、組織的なこととしては、Joint Statementの原案まで作成されているので、これを完成させることで、参加メンバーの間で共通認識を持つようとする。そして、さらにメンバーを拡充していきたいと考えている。将来的には、NEOのフォローアップだけでなく、発見活動もできるような体制を構築していきたい。

※APAONの活動は、国立天文台の渡部潤一氏および日本スペースガード協会の皆さんと協力して進めています。ご関心のある方は、是非、活動に加わってください。

#### 追加事項：

会議では、2015年12月3日の「はやぶさ2」地球スイングバイのときに、地上望遠鏡によって「はやぶさ2」を観測する可能性についても報告を行った。日本時間で日没後から19時くらいにかけて、「はやぶさ2」が可視となる。ただし、その明るさ（光度）の予測は難しく、かなり暗い可能性があるし、天球上の移動速度は速い。したがって、観測は難しかもしれないが、興味がある人は是非、観測を試みて欲しいとの報告をした。

表1 APAON 参加者の所属機関

国・地域	機関
China	- Yunnan Observatories - Purple Mountain Observatory
Indonesia	- Bandung Institute of Technology - National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN)
Japan	- Japan Spaceguard Association (JSGA) - National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ) - Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) - Misato Observatory - National Museum of Nature and Science
Korea	- Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI)
Macao	- Macau University of Science and Technology (MUST) - National Central University (NCU)
Malaysia	- National Space Agency of Malaysia (ANGKASA)
Mongolia	- Mongolian Academy of Science - ISON-Khureltogoot Observatory
Taiwan	- National Central University
Thailand	- National Astronomical Research Institute of Thailand (NARIT) - Learning center for Earth Science and Astronomy (LESA) - Chulalongkorn University
Uzbekistan	- Ulugh Beg Astronomical Institute (UBAI)



祝賀会でスピーチをする関口和寛さん



超新星発見 100 個の記念品贈呈式：山田義弘さん（左）から板垣公一さん（右）へ

公開講演

# 天体の名前はどうやってつけられるの？

山岡 均（九州大学）

## Abstract

天体にはさまざまな種類があり、そのそれで名前のつけ方が違います。ここでは、特に新しく発見される天体の名前のつけ方に重点を置いて、天体の名前についていろいろな話題を提供します。

### 1. 恒星や銀河の名前

星の名前で最初に思いつくのはなんでしょう？ ベガやアルタイルなど1等星をはじめとする明るい星には、カタカナの名前があります。これらはアラビア語やギリシャ語、ラテン語などに由来するもので、広く世界中で使われています。織姫星、彦星という名前もよく聞きます。これらはベガやアルタイルの日本語の名前（和名）です。このような「言葉の名前」を固有名といいます。

固有名以外に、「こと座 $\alpha$ 」「はくちょう座61」などの名称もよく聞きます。これらはバイエル名、フラムスティード名と呼ばれ、ひとつの星座のなかで肉眼で見える恒星に、原則的に明るいほうから（バイエル名）もしくは西から東に（フラムスティード名）符号をふっていったものです。明るさを変える変光星（原則天の川銀河内のもののみ）も、同様に星座を使った符号を使います。

肉眼では見えない暗い恒星や、銀河などの天体は、カタログ（星表）での番号を使って呼びます。恒星のカタログではヘンリー・ドレーパー星表（HD）やスミソニアン天文台（SAO）星表がよく使われます。星雲・星団や銀河などでは、ぼうっと広がった天体を集めたメシエカタログやNGC、ICなどが有名です。超新星も発見順に符号をふります。

ごく少数ですが、たいへん特異な天体はニックネームで呼ばれることがあります。櫻井幸夫さんが発見した、太陽くらいの質量の恒星が最期に外層を吐き出した「櫻井天体」、多胡昭彦さんが検出した、恒星の手前を暗い天体が横切って重力レンズ現象で増光した「多胡事象」などです。ただしこれらはあくまでもニックネームで、必ずしも全世界で使われるわけではありません。

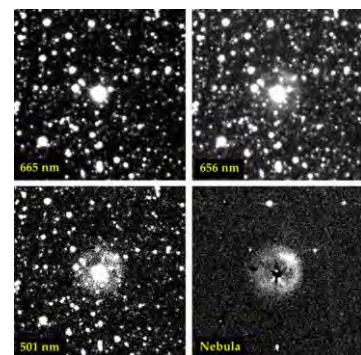


図1 櫻井天体（©ESO）

## 2. 太陽系の中の天体の名前

### 2.1 惑星や衛星

太古から知られていた5惑星（水星・金星・火星・木星・土星）には、西洋ではローマ神話の神の名が、東洋では五行説に対応した名が使われています。近世になって発見された天王星は、発見時には国王や発見者にちなんだ名前で呼ばれたこともありますが、結局はローマ神話の神の名ウラヌスに落ち着きました。海王星も同様です。漢字名はこれらの名前を意訳したもののです。

惑星の衛星もやはりギリシャ・ローマ神話の神の名前がつけられています。戦争の神である火星の衛星には、恐怖の神フォボスと恐慌の神ダイモスの名がふられており、関連性がありますね。ただし、天王星の衛星だけは、発見者ハーシェルが居住していたイギリスの作家シェークスピアやポーポーの作品の登場人物の名前が与えられています。

### 2.2 彗星

古代から「尾を引く星」として凶兆と恐れられていた「彗星」が、惑星と同様に太陽を周回している天体であることを明らかにしたのは、18世紀のイギリスの天文学者ハレーでした。最初に周期性が見いだされた彗星には、ハレーの名が冠せられました。次に周期性がわかったエンケ彗星も同様です。

その後、彗星は発見者の名前で呼ばれるようになりました。池谷薰さんが発見したら池谷彗星、ヘールさんとボップさんが発見するとヘール・ボップ彗星といったぐあいです。誰が発見者かを認定するのは国際天文学連合IAUの仕事です。この慣習は現在も続けられていますが、ひとりで多数の彗星を発見する搜索者が増え、このような名前だけでは天体の区別が困難になりました。

そこで現在では、発見年月（上旬・下旬）と発見順序で決まる符号が、彗星を区別する主要な名前として使われています。たとえば、2016年の2月下旬に2番目に見つかった彗星には、C/2016 D2という符号がふられます。軌道が求められて、周期が200年程度よりも短いことがわかると、C/の代わりにP/が使われます。さらに、太陽への接近が2回以上観測されると、確定番号がつけられます。ハレー彗星は1P、ヨーロッパ宇宙機関ESAの探査機ロゼッタが到着したチュリュモフ・ゲラシメンコ彗星は67Pといったぐあいです。



図2 天王星と衛星（ステラナビゲータ10を用いて作成）

### 2.3 小惑星

小惑星は、彗星と同様に太陽を周回しているけれど、彗星のように広がらず点状にしか見えない天体です。火星と木星の間に多く存在していますが、地球に近づくもの、海王星よりも遠くにあるものも次々に見つかっています。これまでに知られている小惑星は70万個を超え、なおも増え続けています。

小惑星は軌道確定順に番号がつけられますが、それと同時に発見者に命名提案権が付与されます。商標等はダメなどの制限はありますが、基本的に発見者が好きな名前を提案することができます。提案された名前は、国際天文学連合IAUの委員会で審議・承認ののち公表されます。これは世界中で使われる正式名称となります。

## 3. 太陽系外惑星の名前

1995年に最初の例が発見されて以降、太陽以外の恒星のまわりを公転する惑星が続々と発見されています。それより早く、パルサーのまわりに見つかった特異な例もあります。このような系外惑星は、公転で起きる主星の運動を検出する「ドップラー法」、惑星が恒星の前を横切ることで恒星が減光して見えるのを検出する「トランジット法」など、さまざまな方法で見つけられており、特に後者の専用観測機ケプラーは、数千個もの系外惑星を発見しました。

2014年、国際天文学連合IAUは、これらの系外惑星に名前をつけるキャンペーンを開始しました。名前を提案できるのは、高校の天文部や社会人天文サークル、科学館の友の会などの「クラブ」で、提案された名前は一般市民の投票で選ばれことになりました。2015年6月にかけて名前の提案があり、これらを基に市民投票が同年8月12日（世界時）から10月末まで実施され、その結果は同年12月15日に公開されました。19星系に命名され、うち4つは日本のクラブによる提案でした。この取り組みに関する情報は、以下のサイトに掲載しております。

惑星系に名前を！ <http://exoplanet.jp/>

天体の名前はさまざまです。その付け方や由来に親しむと、星空の見え方がまた違ったものになるのではないか。どうか。



図3 ケプラー観測機  
(©NASA)



図4 市民投票開始セレモニー  
(撮影：藤原智子)

板垣公一さん、超新星発見 100 個達成、おめでとうございます！



## 「超新星発見 100 個の軌跡」 板垣公一 × 佐野康男

佐野：ご紹介いたします。今年、発見した超新星がなんと 100 個を超えるました、板垣公一さんです。山形県からお越しいただきました。今日はこのトークショーで私、佐野と申しますけれども、二人で漫才師になりながらやっていきたいと思います。よろしくお願いいいたします。

板垣：どうもでございます。

佐野：ちょうどここに、私のなんですが、メダルを持ってきました。発見するところいうメダルが頂けるということで、大変ありがとうございます。板垣さんは星を発見しようと思ったきっかけはどんなことからだったのでしょうか。

板垣：今から半世紀前に、静岡県の池谷さんが二十歳（はたち）前の 19 歳の年なんですね。少年が新しい星、彗星を発見したという新聞記事が出て。たしか 1963 年。あの池谷・関の大彗星の 2 年前の話です。その 1963 年 1 月に発見された星の新聞、ニュースを見ましてね。タイトルは今でもはっきりと覚えているのですよ。「少年が彗星を発見」というかっこいい見出しだして。それを見た時、自分は何をしていたかと言いますと、小さな小さな望遠鏡を手作りで作りまして、それで月を見たり惑星を見たりして楽しんでいたわけです。時には少し遠くの家の覗きなんかもやっておったのですよ（笑）。その当時、山形の中心部に近いところに住んでおりまして、ちょっと離れたところに映画館なんかがありまして、その辺の様子を見たり、ちょっと遠くの家の玄関辺りを見たり。天体望遠鏡というのは逆さに見えるからドキドキするねと言ったりして見ておりました。そんなことをやっていた時、その池谷さんが新しい彗星を発見したというニュースに接して、これは俺も覗きなんかやっている場合ではないぞと、池谷さんの真似をして彗星を追っかけてみようと、探してみようと思ったのが、当時自分は高校 1 年くらいだったのかな。そんな半世紀も前の出来事でござります。

佐野：東北大学の表彰式の時だったでしょうか。長谷田（勝美）さんと串田（嘉男・麗樹）さん、広瀬（洋治）さん、あと僕と板垣さんとで、山形に行ったことがなかったので、ちょっと観測所も見たいなと思って行ったんですけども。あの超新星や色々な星を発見している観測機材というのは、板垣さんが作られたものもあるのでしょうか。

板垣：そうですね、現在主力で使っているのは山形の 60 センチ反射望遠鏡。これは大阪の清水さんという方から譲り受けたものです。それを主体に 50 センチの望遠鏡とか色々欲張っていっぱい持ってるんですよ。なんでこんなに欲張っていっぱい持っているかというと、山形は晴れないんですよ。本当に晴れません。冬季、どうでしょう、12 月から 3 月ぐらいまではほとんど全く駄目です。春になれば少しばかり晴れ間が出るわけなんだけれども、それでもとてもとても全国平均並みにはいかない。晴れない場所なわけなんですよ。そういう晴れない場所でいかにして見つけようと、欲張っていっぱい望遠鏡を用意してやっているわけ

ですよ。今では 50 センチ望遠鏡、21 センチの彗星などを探す反射望遠鏡などを含めていっぱい持っています。

**佐野**：僕も発見はしているんですが、どうしても聞いてみたいこと 1 つがあるのは、板垣さんって寝ているんでしょうか？

**板垣**：よくそんなこと聞かれるんですが、寝ていますよ、たっぷりと。ただ、逆の言い方をすれば、山形が晴れている時は、すべて見ていると言えるんですよ。ところが晴れている時はどちらと申し上げているのに、例えば新聞なんかに書かれる時はね、雨が降っている以外はすべて見ているような表現になってしまふもんだからね。それじゃあいつ寝るのになるんだけれどね、山形はとにかく晴れないんです。晴れないから、晴れた時くらいは朝までやっているよと。だから 1 週間にどうでしょうね、まあ 1.5 日くらいあるのかないのか。晴れるというのがね。だから晴れた時くらいは。これは趣味だからね。頑張ってという言葉はあまり好きではないんですが、楽しんでやっています。

**佐野**：僕も自分で機材を作つてやってみて何が一番いいのかなというと、楽しいということですね。僕は最初のころ、眼視で、目でやっていたのですが、ここ名寄は-20°Cとか、-30°Cにもなるので、目で見ているとアイピース、覗くところに目がひつついで取れなくなるんですね。本当なんです。なんで取れないのかなと思ったら、アイピースがくつついでくることがあったり。手袋が寒くて全く効かないなと思って、「あれっ？ 気持ち良くなつたな」としたら凍傷になついた、なんてことがありました。やっぱり楽しい。どうしてこんなのをずっと見続けているのかなんという部分は、やっぱり自分が楽しいことをやつていてるから続けられるのだと。板垣さんの場合には、（超新星発見）100 個の前人未到の発見のコツみたいなものは何かあるのでしょうか。

**板垣**：コツなんかあつたらこんなところで今、話なんかしていないよ。前にね、西はりま天文台（第 2 回超新星搜索者の集い）の時も、お願いされたタイトルは「超新星を見つける秘訣」だったかな。秘訣なんてあるわけないですよね。あつたら本当にね、そんなの誰にも教えないってことになるんでしょうけどね。コツなんて、ただ言えば、より深く、よりたくさん見ること。その一言でしょうね。銀河をよりいっぱい見る、より深く見るということでね。単純なことだから、とにかく晴れるような場所でたくさん見れば、そのうち運も向いてきますよ。発見できるということでしょうね。

**佐野**：板垣さんにたくさん聞きたい人もいると思うのですが、代表して。聞きたいことがいっぱいあるのですが、例えば、超新星を見つける銀河というのはある程度絞られているのでしょうか。

**板垣**：はい。最初に始めた頃の銀河とほとんど同じものだけを見ております。というのは、昨日ないところに今日現れるというような爆発天体なもんだからね、超新星にしても、新星にしても。だから欲張って、（搜索する銀河のリストの）数をいっぱい見る（増やす）必要はないなと思っているわけ。それよりも比較的近い銀河を、自分の決めた銀河を毎日でも見ているというような感じにしてい

るわけ。あと先ほどの話（諸隈さんの講演 pp.51-56 参照）の中でね、ショックブレイクアウトなんていう楽しい話がありますよね。自分は昨日なかったのに、今日はあるというものを探してみたいなというので、今やっているんだけれども。今のところまだ 1 つもありません。一昨日なかったけれども、今あるというのは 1 つだけありました。ところがすごいでしょ。1 時間前ですよ。1 時間前になかったのに今ある、なんていうのを見つけたらこれは楽しそうですよね。

**佐野**：やり始めの頃の昨日やって今日またやった時のわくわく感みたいな。昨日ないから今日もないとは限らない。でも、もしあったらどうしようみたいな。そういう思いというのですか、それがやっぱり楽しみの 1 つなんですね。

**板垣**：全くですね。（諸隈）先生どうでしょうね。ショックブレイクアウト現象なんて、言い始めたのはここ 1、2 年ですよね。前からあるんですか、この言葉は。いや、その言葉を聞いてね、これは面白いなと。俺もやりたいなと本当に思ったわけ。そしてね、衝動的に 50 センチ望遠鏡を青木（昌勝）さんにお願いしたんですよ。とにかくいっぱい見つけないと駄目だなと思ってね。

**佐野**：SN 2006jc でしたでしょうか。やまねこ座で発見した UGC の銀河に、確かあの時板垣さんが 1 回発見して公表されたんですけども、超新星として認められなかった。ですから、その何年か後に、実際またそこに同じものを発見したという物語をぜひ聞きたいと思うのですが、その苦労話を。

**板垣**：この話は本当にね、5 分、10 分で言える話ではないよね。最低 1 時間くらいは欲しいんだけど。これは 2004 年の秋の話でございます。いつものように搜索していたら、明け方近く東の空に見かけ上ちっぽけな銀河の近くに、かすかに見つけたわけですよ。これは超新星かなと、ちょっと暗いなという感じだったんだけどね。さて、それでね。そこで普通なら発見報告をすぐするわけなんだけれど、どうしたわけか。DSS ってありますよね。それをよく深く調べてみたわけ。自分が今撮った画像と普通は赤 (R) で撮った画像を見比べるんだけど。赤で撮った画像には影も形もない、自分の過去画像にももちろんないということで、そういうものだったんだけど、たまたま青のフィルターで撮ったものの画像を見たら、そうしたら見かけ上ほとんど同じ場所に似たり寄ったりなものが、明るさのバランス的に同じものが青のフィルターで撮った画像にある。なんだこれはと。変なこともあるもんだなど。それで発見報告ができなかつたわけ。さてこれはどうしようかなと。面白くないなど。というので、そこにいらっしゃいます山岡先生に相談したんですよ。先生、これどう思うと。今までの自分の過去画像には、深い画像は持っていないのだけれども、どう見てもないんだよと。ところが DSS の赤にはないけれども、青の画像にはあると。どうする先生、これ、と相談しました。山岡先生は色々とお調べしてくださいました。結果としては、発見報告を一応しましょうという話に。山岡先生が調べてくださいまして、今の TOCP に載つけたと。ところが東の空で明け方近いというので、なかなかどこの天文台も観測してくれなかつたわけ。

**佐野**：すみません。

**板垣**：さてそこでね。普通なら自分もそれで終わっちゃうのかなと、今でも思うんだ

けれども。あの時はどうしたわけか、山形はそれなりに晴れた時もあったもんだから、まず今までにないくらいに徹底的に 1 週間くらい追っかけておったんですよ。これ以上もう写らないくらいまで撮ったんです。そうしたら、1 週間、10 日で暗くなつて見えなくなつてしまつた。それで一応お蔵入りとなつてしまつたわけです。さて、そこからがまた問題でね。それから約 2 年が経ちました。2 年が経つて、これまた 9 月だったのかな。もしかしたら 10 月かもしれない、ごめんなさい。9 月 20 日頃だったかな。非常に暗い星まで写つた深い画像が撮れたんです。2 年後 2006 年の 9 月に影も形もない。非常に暗い星まで写つている画像だと。よーし、これ面白くないかなと。2 年前にあったということを報告してみようかなと思ってね。2 年前の 2004 年の時の観測をもう 1 回みつちりと明るさなんかを測定し直して、発見報告じやないですよね、今ないという報告をしてみようかなと思ってね、中野さんにお願いしたの。中野さんよと。2 年前にここに間違いなくあったんだけど、今はないんだと。これちょっと悪いけど Dan (Daniel) Green に報告してくれと。電話で言って、メールで送つて、中野さんにお願いしたわけ。「なに～！」と言われたね。2 年前にあったけども、今ないということを俺が報告するのかと。そんなの俺は嫌だよという感じだつたよ。だいぶ時間を取つたんですよ。中野さんよと。それじゃあ、気が向いたらしてくれと言うと「わかった」と彼は安心したんだけど。(報告) するのは嫌ですよね、2 年前にあって今ないなんて。馬鹿野郎と言われて終わりですよね、普通は。そんなことをお願いしようと思ったのも、不思議な話なんだけど、まあそんなところでお願いしたと。これが 2006 年の秋の 9 月 20 日だったと思つたな。さて、それから約 20 日が経つた 10 月 10 日だったかな。また同じように明け方近く銀河 UGC 4904 を入れたら、ビックリ仰天。もう今までその銀河を何度も何度も 2 年間見てきました。その銀河が入つてきたときには、もう 1 回撮り直しましてね。本当に自分の望遠鏡ではこれ以上写らないくらいまでの深い画像を撮つていたつもりなんだけど、その 2 年間の中では全く影も形もないというところに、なんととんでもなく明るいやつがパカッと光つてあつたわけよ。それちょうど 2 年後ですよね、2004 年から見ましてね。それをまた中野さんにお願いしたわけ。中野さん出たぞと。「どこに？」と。こないだお願いしたでしょうよ、あの 4904。「報告。あ、ごめんしてなかつた」なんて言ってたね、あの時ね。そこに出たんだぞ、中野さん。同じ場所だよ、どう見てもと。不思議なことがあるもんだな。これを中野さんが 2 年前の観測と含めて、今見つけたというやつを、明るい 13.何等星だったかな、それを 1 つのリストとして報告してくれたわけ。受け取つた方、誰が受け取るんですかね、山岡先生。Dan Green 先生ですか。まあ、超新星の研究者じやないからあまりピンと来なかつたかもしれないけど、これ超新星の研究者だったらビックリするでしょうね。2 年前にだんだん暗くなつて見えなくなるデータがあると。そして 2 年経つて今ここにすごく明るいやつが光つていると。位置もほとんど同じだったなんて。自分はただ探している者なんだけど、逆の立場だったら、研究者って全くないわけだけどもね、すごいビックリしたんじゃないかなと思っております。

**佐野**：僕はたまたまこの天文台を建てる関係もあって、名古屋大学の佐藤修二先生のところに行ったときに、板垣さんのこの SN 2006jc の発見で、もし板垣さんに会うようなことがあつたら、ぜひお礼を言ってください、と言われまして、前回名寄に来た時に言ったかなと思うんですけど、やはりアマチュアの発見というものがいかに大切なものか、非常に喜んでいたということがあつたんです。板垣さんが超新星を発見している中で、今言った超新星以外の中で、ものすごく印象に残っているような発見はありますでしょうか。エピソードとか。

**板垣**：ありますね。去年の M82 (SN 2014J) ですね。自慢話じゃないよな。もう全く逆の恥ずかしい、というか大失敗の、今考えてもなんであんな大失敗したのかなと振り返っております。ちょうど M82、明るかったですよね、発見されたとき。ところが、明るい部分に隠れていたもんだから、コントラストをもう少し下げてやるとばっちりと見えたはずなのに、あの時は確か TOCP にパツと載ったもんだからね。え～！と思ってね、すぐ自分の画像を調べましたね。そしたらなんとね、もう何日も前からパチパチパチと観測しているわけなんですよ。それはもうガッカリというか、近い銀河でそういう天体を狙っていたはずなのに見事に見逃したというので、本当に残念な星でございます。

**佐野**：結構僕なんかも実は認められたもの以外でたくさん発見しているんですが、やっぱり悔しいというのは僕もすごくあるんですね。これはやつたなと思って、報告しようかなと思ったら、もうその後に TOCP に出ちゃったというのは結構あるんですけども。やっぱりそういうメシエ天体、いわゆる一般の方たちが望遠鏡で覗けるような大きな銀河というのは、やはり板垣さんとしても集中的に狙ったりしているのでしょうか。

**板垣**：そうだよね。今一番楽しみにしているのはアンドロメダ。M31 にスーパーノヴァが出ないかなと。これをまず一番力を入れて現在はやっております。アンドロメダが見える時期は、1 時間おきにというわけにはいかないが、一晩に最低 2 回ぐらい、できたら 3 回くらい撮っております。あと 10 年、20 年くらいの間に本物のスーパーノヴァを見てみたいなど、発見してみたいなというのが、まず夢なわけ。

**佐野**：今、板垣さんが M31 を狙っているということは、すごくいい話を聞きましたね。やめた方がいいですね、我々は。板垣さんの望遠鏡が向いているところに向けても、きっとここに来ていらっしゃる方たち、敵わないかなと思って。どこを狙っているのかなと、きっと聞いてみたいと思うのですが。こんなことを聞いてしまうと怒られるかもしれませんけど、板垣さんが超新星を発見する何か流儀、というかどこを狙ってどういう風にするみたいなことを自分で決めてらっしゃるのでしょうか。

**板垣**：これは全くない。とにかく昨日見たやつも今日もちろん見るし。とにかく明るい銀河イコール近い銀河だよね、近い銀河に現れた超新星を見つけてみたいなと思っているわけ。

**佐野**：あと、やはりこの間もそうですが、新星ですね。矮新星も同時にやってらっしゃるんですが、超新星を発見するための望遠鏡というのはある程度焦点距離が

長いものですけれども、新星や矮新星になると焦点距離が短くて、広い範囲をやるんですが、それは超新星をやりながら新星も同時にやっているんでしょうか。

**板垣**：まず一応そのつもりなんだけど、山形はとにかく雲が出るんだよね。その積雲が夜でも、出たり引っ込んだりするような場所なもんだから、同時進行で全てやりたいのだけれども、なかなか全てはうまくいってない。ただどうでしょう、天気が良ければ、21センチの反射望遠鏡イプシロンで彗星を探しながら、超新星を探しながら、さらに最近では180mmのカメラレンズにCCDを付けて新星を探しながら、欲張ってやっているつもりなわけ。

**佐野**：すごいですね。その超新星用のシステムや新星用のシステムを一か所の観測所の中に設置して、こっちは新星、こっちは超新星、こっちは彗星というように分けて、普通僕を考えると頭が混乱しそうなのですが、どんな風に振り分けて検索をやられているのでしょうか。

**板垣**：まず山形の場合ね。でっかな望遠鏡は60センチと50センチ、2台あるのだけれども、これらは超新星用。あと21センチ2台を動かしていて、これは彗星用としてね。この辺の仕組みは全て、今ここにいらっしゃる青木さんに全ておんぶにだっこしております。だから自動導入・撮影を含めて青木さんにお願いしているわけ。ところが最近、その青木さんがまだまだ凄い全自动検索のそういうのを作り上げたというんですよ。先ほどちらっと見せてもらったら、これはすごいなと。これはもう独り占めされると思ってね。

**佐野**：今日は青木さんも来てらっしゃいますし、昨日もそうですけれども、ここの会場にいる中には同じように新天体を発見している方たちが、この名寄にたくさん集まって来ているんですけども、やっぱり発見するためのいろいろな準備だとかということがあるんですが、板垣さんはやはり誰かそういう発見をするための方法を導いていただいたり、レクチャーをいただいたら、とかはあったのでしょうか。

**板垣**：超新星に限ってはそんなに難しいことは何もないわけだから、この自分で撮った過去画像と今撮った画像を見比べてやっているわけなんだけども。新星のような場合ね。星表と見比べながら、これは増光はしてるんだけども変光星なのかな、何なのかな、これはいくらやっても難しくてわからなくて、ときたま山岡先生なんかにも色々お尋ねして、この星どうなのなんて色々教えてもらいながらやっているなんだけれども。これまたすぐ星表の見方を忘れてしまって色々苦労しております。

**佐野**：私も超新星をやりながら、実は新星の検索もってやってみたんですけど、やっぱり超新星の場合だと銀河の傍という、銀河を見ながら新しい超新星があるかどうかというのを見比べながらできるんですけども。新星というのは本当に広い範囲の中で、同じように昨日なくて今日あるみたいな風に発見する。変光星はもちろんありますけれども、小惑星も含めて新星を発見する時には、そういう準備というんですか、そういうような星表を含めて、やはり見比べる何か特別なものはありますか。

**板垣**：北海道の金田さんから色々教えてもらって、現在やっております。

**佐野**：なるほどですね。金田さんは僕ちらっとお世話になりながら、素晴らしいシステムを作り上げているという部分で、大変参考になっています。あと、超新星を初期に発見した人たちっていうのが眼視でやっていた串田麗樹さんとかですね、あの当時、今も串田さんはお元気で、旦那さんの方は地震の方で活躍されていますが、当時の超新星を発見していた方との交流はあったのでしょうか。

**板垣**：それは第1回目の「超新星探索者の集い」で色々教えてもらいながら、やってきているわけなんだけどね。ただ超新星に限っては、ある・ないだけの問題だから、全く難しいことはないですよね。

**佐野**：あれは2004年でしたでしょうか。今日来ていらっしゃいます広瀬（洋治）さんのところ、神奈川で呼びかけて。夏だったんですね、すごく暑い日で。行ってみたら僕は北海道なんで、こんなに暑いところがあるのかなというくらい暑かったんですけども。話の内容も非常に熱かったかなと思うんですけど、あの時に来ていた方で発見した方もいるんですよね。今回もそうですが、新しい星を発見しようというきっかけが今回の新天体探索者会議、そこに参加していて結構意欲が出てきたりとか、実際に発見している方、これから発見しようという方のお話、そして今回の場合は研究者も来ているということで、これからこういうような会を続けていきたいとは思っているんですけども。板垣さんはどうでしょう。これから希望とか、こんな風に広めていきたいとかいうような、超新星をとか。

**板垣**：自分では毎日探すのを楽しんでやっているだけなものだから、学問的に色々な本なんかは少しは読んでいるけど、さあみんなでこうやりましょうというのはちょっと自分はあまり。自分で探すのを楽しんでというだけだな。

**佐野**：やっぱりここにいらっしゃる方、そして今回はネットでもですね、全国の色々な方たちにも聞いてもらっているんですけど、ちょうど時間がいいところにきましたので、残りの5分を質問タイムにしたいと思います。板垣さんに聞いてみたいという方がいましたら、どんどん質問を板垣さんに投げかけてください。

**内藤**：超新星を見つけるときは1つにかける時間は2秒だと以前お聞きしたのですが、新星の時は大体どれくらいかけて探されているのですか。

**板垣**：新星の場合は、これは目で見るというよりも、検出されたものを星表と比べるので、どうでしょう。何秒じゃなくて引き算ソフトの中でいっぱい出てくるもんだから、それを目で拾いながら、星表と見比べるというのでやっているわけ。

**内藤**：そのソフトを利用するだけで、目での比較というのはしていないのでしょうか。

**板垣**：目でももちろん見るわけだけども、候補天体がいっぱい出るわけですよ。それをまず目で見て星表で調べて、これがどうなのかなと、そういうのを見ているんです。

**内藤**：星表を見ては、超新星の2秒をちらっと見て、また戻って星表を見て。

**板垣**：超新星の場合は2秒っていってもね、本当に見てる時間ですね。

**内藤**：M31の時は1枚何秒くらいでチェックされていますか。

**板垣**：M31も引き算ソフトで。金田さんの。

**佐野**：では、他に。板垣さんに、この機会ですから、滅多にお会いできない方なので聞きたいためいらっしゃいますでしょうか。

**上田**：私も新星を始めているんですが、板垣さんがやらないときにやろうかと。天域はどういう形で、今晚やるというのは最初から決めているんですか。

**板垣**：とにかく今は毎日行くようにしております。

**上田**：始めるのはどこから始めるのですか。

**板垣**：始める場所？西の空でしょうよ。今回の新星（V5669 Sgr）なんかもね、夕方早めに行かなれば、今回の1週間前の新星は見つからなかつたと。夕方比較的早い時間に行ったから、沈む寸前の南西の空で引っかかってきたというものです、午後8時、9時頃にのこのこと出てって行つたら、これは完全に沈んでしまつた後だったということで、やっぱり西の空の太陽の沈んだ直後のそういうところが良いです。もちろん銀河（天の川）との関係があるけどね。ちょうど、いて座が間もなく山形では沈もうとしていた場所だつたわけですよ。あと30分遅かつたら、絶対にダメだつたです。

**上田**：私のところはちょっと緯度が高くてですね、銀河（天の川）というのは無理ではないんですが、気象条件もありまして。銀河（天の川）以外で、結構見つかっている場所はあるんですか。

**板垣**：やっぱり銀河（天の川）でしょ。新星でしょ？先生方がいっぱいいらっしゃるからあれだけれども、やっぱり一番出るのは一番密度の濃い、いて座。いて座は北海道は全くダメということではなくて、南中のときは結構高いですよ。

**上田**：実はその後にもですね、曇っていたのですが試しに撮つてみたらちゃんといましたよ。ですから、写す気になれば、写る。

**板垣**：東から昇ってきた時も、高緯度は弱いし。西に沈もうとしている時も極端に低くなるからね。だけれども、南中に近ければ結構高さが北海道でもあるはずですよ。

**上田**：あと、太平洋側にも観測所があると聞いているんですが。

**板垣**：栃木県の方にね。欲張つてやつているわけですよ。その栃木県に持つていく前は、宮城県の海岸ぶち近くに何年間か置いていたのですが、ところが思ったより晴れなかつたもんだから、しょうがないなというので、栃木県の方に持つて行ったわけ。移動したんです、これは。

**上田**：ありがとうございました。やはり板垣さんが写せないという時に写します。

**板垣**：いやいや、とにかくこの新星だって昨日なかつたのに今見えているんだから。これはやっぱり運がいいんだね、悪運が。

**上田**：はい、どうもありがとうございました。

**佐野**：ありがとうございます。他にありますでしょうか。私個人的なのですが、板垣さんは100個の超新星を発見して、たくさん表彰されていると思うんですね。そしてここにメダルを持ってきたのですが、メダルってですね、もうすごい数だと思うんですが、どんな風に管理されているのでしょうか。

**板垣**：まず、いっぱいもらったのは積んであるけどね。これどうしてらしいのかな。いっぱいいたまりましたよ。最初のころは1天体に対して1つ日本天文学会がく

れたわけ。最近はけちってね、(超新星は) 3 個に 1 つなんですよ。

**佐野**：3 個に 1 個ですか。

**板垣**：だからね、1 年間に 9 個見つけると 3 つ、10 個見つけるとさらに 1 増えて、4 つなんてこんな変な話なんですよね。あと今度は種目別なるのかな。新星の場合は、別に 1 個になるのかな。

**佐野**：ひょっとすると昨日も今日も（講演で）出ていましたけど、Ia 型、II 型、IIb 型ごとにメダルがなってくるかも。

**板垣**：いや、そういうのではなくて（笑）。おかげさまでいっぱいいたまりました。

**佐野**：本当に聞きたいことがたくさんあると思いますが、あつという間に時間が過ぎてしまいまして、この後はですね、また宴会の時でも秘話を聞かせていただきたいと思います。今日は板垣公一さん「超新星発見 100 個の軌跡」ということでスペシャルトークをさせていただきました。どうもありがとうございました。

# 新しい星を見つけよう!

全国から名寄に新天体の専門家が大集結!!



## なよろ市立天文台 特別公開講演会

10/3

土

会場：なよろ市立天文台

参加費無料・申し込み不要 \*この日は観望会・プラネタリウムの通常業務は行いません。

《開場》13:30 《開演》14:00から（途中入場も可能です。）

14:00-14:40（第1部）

### 天体の名前はどうやってつけられるの？

天体の名前はどのようにつけられるのでしょうか。新天体の命名はもちろん、太陽系外惑星系の名前についてのトピックスもまじえて、天体の命名についてお話しします。

山岡 均（九州大学大学院理学研究院）



山岡 均

<講師プロフィール>  
専門は天体物理学。特に、重たい恒星の最期の大爆発である超新星について研究をしている。アマチュア天文家の新天体搜索活動を支援するほか、現在は、国際天文学連合アウトリーチ日本窓口としても活躍し、太陽系外惑星系命名支援WG代表として天文学の発展と普及に務める。

14:40-15:20（第2部）

### 超新星発見100個の軌跡

超新星搜索の極意をお伝えする超新星発見者2人によるトークショーです。

板垣公一（東亜天文学会理事）

×

佐野康男（なよろ市立天文台長）



佐野康男

板垣公一

<講師プロフィール>  
板垣公一：世界を代表する新天体搜索家。昨年に超新星発見100個を達成。  
佐野康男：観測史上初となる極超新星1997efを発見。スパノバのドラム担当。

佐野康男

15:20-16:00（第3部）

### ちゆ 南の島で美ら星さがし

日本最西南端の石垣島に作られた国立天文台の電波望遠鏡と光学望遠鏡「むりかぶし」の紹介と、この望遠鏡を使った美ら星さがしのお話です。

宮地竹史（国立天文台石垣島天文台所長）



宮地竹史

<講師プロフィール>  
専門は電波天文学。野辺山宇宙電波観測所やスペースVLBI衛星「はるか」、天の川銀河系の立体地図を作るVERAプロジェクトに携わる。石垣島天文台では、地域の天文ファンや石垣市と連携して地域振興にも関わり、ユニークな天文台運営を推進し、なよろ市立天文台との交流事業も積極的に進める。

主催：きたすばる星と音楽の集い実行委員会／なよろ天文サークル「天斗夢視」＊新天体搜索者会議実行委員会主催「第1回新天体搜索者会議」の講演を一般公開  
お問い合わせ：なよろ市立天文台 電話\*01654-2-3956 / E-mail\*novastella2015@nayoro-star.jp / HP\*<http://www.nayoro-star.jp/novastella2015/>

特別公開講演会のポスター

## 南の島で美ら星さがし

国立天文台 石垣島天文台  
所長 宮地 竹史

### 1. はじめに

日本最西南端に位置する石垣島では、南十字星、ケンタウルス座の $\alpha$ 星 $\beta$ 星、エリダヌス座のアケルナルなど本州では見ることのできない5個の一等星を含め21個の一等星をすべて見ることができ、天の川を日本で一番長く見ることができます。

梅雨明けも早く、6月には、南十字星の東側に、空に飛びあがったかのようなさそり座の雄姿も見られます。

石垣島には、2002年に国立天文台の天の川の立体地図作りを目指すVERA(ベラ)プロジェクトにより、口径20mの電波望遠鏡を備えるVERA石垣島観測局が完成しました。これを契機に、街の明かりを消して天の川をみようというイベント「南の島の星まつり」が始まりました。VERA観測局の施設見学や、星にかかるイベントなどで地元の高校生との連携も生まれました。

国立天文台では、VERAの観測で必要となる電波星探しの研究として「美ら星研究体験隊」(略称「美ら研」)を2005年から地元の高校生と始め、新しい電波星が発見されるなどの成果があがっています。2007年からは、前年に完成した石垣島天文台のむりかぶし望遠鏡も使い、新しい小惑星の発見に挑戦しています。

### 2. 口径20mの電波望遠鏡を使って

VERAプロジェクトが始まった頃、国立天文台の本部(東京都三鷹市)では、「君天」と呼ばれる「君も天文学者になる三日間」という全国の高校生を対象にした体験学習が開催されていて大変好評でした。

しかし、石垣島から参加するのは大変なことで、そこで考え出したのが、石垣島に設



図-1 南の島、石垣島の6月の星空。大気の揺らぎも少なく澄みきった夜には、こんな星空が広がる。国内で街の上に南十字星やケンタウルス座の $\alpha$ 星、 $\beta$ 星(八重山の星名「ぱいがぶし」:南の星)が見られるのはここだけ。スピカからアルクトゥルスを天頂に見て、北斗七星へと伸びる春の大曲線も楽しめる。



置された電波望遠鏡を使った研究体験です。

「『研究』であるからには、必ず成果が出るとは限りません」と、体験学習のようなカリキュラムではなく、電波望遠鏡の使い方、観測方法を覚えてもらって、研究者と一緒にになって2泊3日で、新しい電波星を探そうというものです。さすがに、電波天文学の講義は、高校生にとっては難しかったようで、先生に「私は、辞めます」と言ってくる生徒も何人か出ましたが、励まして観測を始めました。

300トンもある大型の電波望遠鏡をパソコンで操作し、目標天体に向か、観測データの解析が始まると、いつの間にか高校生たちは真剣なまなざしで、ディスプレイのデータを眺めたり、声を上げたり、なにやら計算を始めたりしています。先生も「辞めると言っていた子が！」と驚き、「数学の公式を調べている！」「英語の辞書を引いている！」と、ふだんの学校の授業とは違った高校生の態度にびっくりしていました。

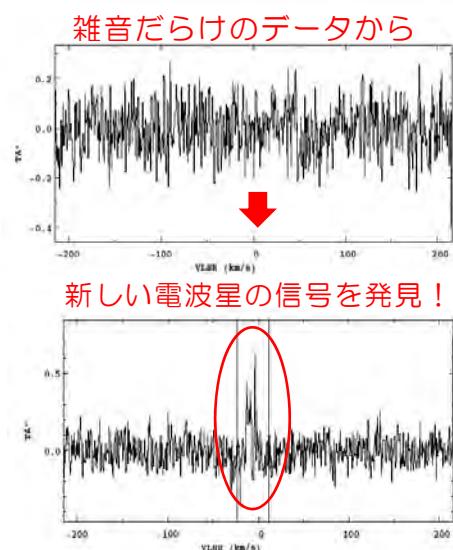


図-3 新天体からの電波(横軸周波数、縦軸強度)を雑音の中から発見!

「美ら研」第一回にして、新しい電波星の発見があり、この成果は日本天文学会のジュニアセッションで発表され、大変注目される結果となりました。

今までの10回の「美ら研」で5回ほど、新しい電波星の発見があり、いくつかは電波強度も十分あり、VERAの観測でも使われることになります。成果の出ないこともありますが、「10年前に見つかっていたと知ったときは、悔しかったが、みんなで新星を探すことができて良かった」「研究の現場を初めて知る貴重な体験だった」

「星の魅力やVERAのすごさを体感できた」などの感想が毎回寄せられています。文字通り、共同研究者として高校生が参加して、銀河系の立体地図作りが行われているのです。天文学や理科の先生を目指して進学する生徒も増えてきています。まさに新しい星たちです。

電波星というのは、生まれたばかりの星や、死にゆく星の周りのガスの中の水蒸気 ( $H_2O$ ) や一酸化珪素 ( $SiO$ ) が、中心星の影響でメーザー現象を起こして強力な電波を発信している天体です。回転運動や、地球からの距離によって観測される周波数がずれていることもあります、また近くにも同じ状態の星がすでに存在していることもあります。

このため、自分たちが新しく見つけたと思える星の電波の周波数を精密に計算し、過去にこの星の近くに電波星が見つけられていないかを英語の論文を調べて確認する必要があるのです。

高校の先生方も私たちも、こんな効果があるとは思ってもなく、これも「美ら研」での新しい発見でした。



図-4  
日本天文学会での発表。参加賞をもって、記念撮影。



### 3. むりかぶし望遠鏡を使って

2004 年に石垣島天文台の構想は発表されましたが、その後石垣市の負担する予定の予算が議会で否決される事態が起きました。そこで立ち上がった高校生たちの建設推進の署名活動が実を結び、2006 年によくやく石垣島天文台が完成しました。

「美ら研」では、さっそく 2007 年から高校生たちによる「むりかぶし」望遠鏡による光学望遠鏡での研究も取り入れましたが、この年は天候に恵まれず、VERA も含め空振りという結果になりました。

翌年の 2008 年からは、対象を県内の高校生にも広め、沖縄本島の開邦高校の生徒たちの参加がありました。なんと電波星と小惑星を発見するという快挙といえる成果をあげました。石垣島天文台にとっても初めての新天体発見で、むりかぶし望遠鏡を使って、この小惑星（仮符号：2008 QA3）の追跡・確認観測をおこなう中で、また新しい小惑星（仮符号：2008 QL16）を発見することができました。

この二つの小惑星は幸運にも、小惑星（2008 QL16）が最短コースで 2012 年に、小惑星（2008 QA3）が 2013 年に、命名権を得ることができました。

星の名前は、いずれも公募でおこない小惑星（2008 QL16）には八重山諸島の島言葉「やいま（八重山）」が、小惑星（2008 QA3）には、島の天然記念物で絶滅危惧種のかんむり鷺の幼鳥の美しい羽の呼び名「あやはに（綾羽）」が命名されました。

「あやはに」は、沖縄でめでたい席の座開きで、歌い踊られる古謡の一つです。また、発見した高校生のお名前「彩音」にも因んで選ばれました。

高校生たちの力によって作られた天文台で、高校生が新しい星の発見をするということが続いていることは、この天文台の建設や運営に携わっているものとしては、大変うれしいことで、高校生の今後の益々の活躍に期待しているところです。



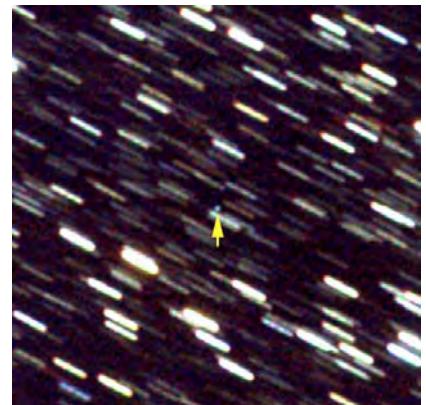
図-6  
高校生たちの発見した小惑星。

小惑星「やいま」  
(八重山諸島)  
小惑星番号 333639

小惑星「あやはに」  
(かんむり鷺の羽：綾羽)  
小惑星番号 373024



図-5 今年の小惑星搜索風景。  
夜遅くまで、観測と解析を続け、新しいと思われる2天体を発見したが、追観測が悪天候でおこなえず、見失ってしまった。



#### 4. むりかぶし望遠鏡によるその他の発見

石垣島天文台建設の目的の一つは、太陽系天体の観測で、彗星や小惑星、惑星などの様々な現象をいち早く観測し、長時間の観測で、天体现象の成因や、天体の物理的な状態も明らかにしています。「石垣島天文台紹介」にも載せた小惑星(596) Scheila の増光現象の解明などは、その典型的な観測です。



図-7

シュヴァスマン・ヴァハマン第3彗星(B核)のバースト現象

「むりかぶし」望遠鏡が完成した2006年の観測

5月2~4日の観測で、C核の次に明るいB核が、突然崩壊(バースト)するようすを撮影することに成功した。

4日には、核の分裂もおさまり、分裂した核の破片も崩れてしまい、拡散消滅しつつあるようすを捉える。

図-8  
ファン・ネス彗星(213P)、  
子供が3つに！

2011年7月29日に石垣島天文台のむりかぶし望遠鏡を使った観測で、ファン・ネス彗星(213P、周期6.3年)に、子供の彗星がいることが見つかりましたが、8月7日の観測では、さらに二つの子供がいることがわかりました。



彗星の核の分裂は、石垣島天文台の完成後すぐの5月に観測されました。国立天文台では、ハワイ観測所のすばる望遠鏡と石垣島天文台のむりかぶし望遠鏡が捉えました。おおきなすばると小さなすばるの連携プレーです。

2011年のファン・ネス彗星(213P)の分裂した核の発見は、むりかぶし望遠鏡の単独発見でした。観測中の研究員の花山さんが、突然「子供がいます！」と声を上げて教えてくれたのをまだ憶えています。

#### 5. 最後に

石垣島天文台では引き続き、GRB、超新星、彗星や小惑星の増光現象など、天体の突発現象を、地の利と105cmの口径(集光力)を生かした観測で、解明を進めています。

新天体の発見は心をワクワクさせ、またその美しい姿には魅せられます。故郷の大先輩、関勉さんのように「未知の星を求めて」の気持ちをもって、この仕事を続けたいと思います。

図-9 石垣島でよく見られるグリーンフラッシュ。沈みきらなくても見える



2015年7月3日 19:29(JST)  
石垣島天文台(前勢岳山頂、標高197m)

# 「酸素＜カルシウム」な新種の Ib 型超新星 SN 2005cz

川端 弘治（広島大学）

## 共同研究者

前田啓一、野本憲一、田中雅臣（東京大学）、Stefan Taubenberger (MPA), Jinsong Deng (NAOC)、Elena Pian (INAF/Trieste)、服部堯（国立天文台）、板垣公一（板垣天文台）

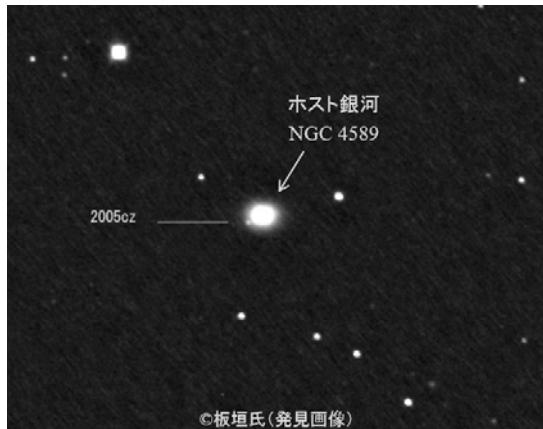


図1 板垣氏が発見したIb型超新星2005czとそのホ  
スト銀河 NGC 4589



図2 SN 2005cz の研究成果の記者発表の様子。  
左端から板垣氏、野本氏、前田氏、筆者。

## 1. 序文 ~ 板垣さん、超新星発見 100 個突破、おめでとうございます ~

山形が誇る世界屈指の超新星搜索家である板垣公一さんが、若き頃に 24 歳の誕生日を迎えたその日、私は同じ東北は岩手県の太平洋岸にある小さな港町で生まれました。同じ東北といつても山形と北三陸では隔たりがあり、やや無理がありそうですが、同じ誕生日である辺りに何かの因果が感じられなくもありません。厳しくも豊かな東北の自然に囲まれ、夜には満天の星空が包んでくれる環境で育ったおかげか、私は小学校に入ったころには天文や宇宙に強い興味を抱くようになりました。しかし、それは長くは続かず、小学生の高学年以降は趣味がうつろい、大学への進学も工学部か理学部かであれこれ迷うなど、長い間、興味が宇宙から遠ざかっていました。後に板垣さんから、板垣さん自身もこの時期は趣味の新天体搜索でなかなか成果が出ず、方向性を迷っていたと伺いました。やはり誕生日が同じでバイオリズムが似ていたからでしょうか。

やがて、私は仙台で大学生活を送り、板垣さんの齢の半分にまで追いつく頃になって、

V705 Cas (カシオペヤ座新星 1993) の可視偏光観測に基づく研究を、修士論文に何とかまとめ上げました。仙台の隣にある山形には、折に触れ、スキーだ温泉だと足を運んでいましたが、板垣さんも豆の板垣も存じ上げないまま、新天体の研究と関わり始めましたことになります。

その後もしばらくは超新星との縁は薄いまま時が過ぎましたが、板垣さんが搜索対象天体を超新星に絞られたことが功を奏し、超新星発見の報が出始めていたという 2002 年、私の方は、すばる望遠鏡でたまたま観測を行うことができた特異な Ic 型超新星 2002ap (発見者は廣瀬洋治さん) の偏光スペクトルに関する論文を書き、超新星の研究へ本格的に足を踏み入れていました。改めて振り返りますと、会ったことのない二人がこのようにシンクロした歩みをしてきたことはやや驚きで、やはり板垣さんと私の間には目に見えぬリズムの相関があったに違いありません。

その後、(満を持して) 幸いにも板垣さんと知り合いとなることができ、広島大学 1.5m かなた望遠鏡が出来てからは、板垣さんが発見した超新星候補に対し、共同研究を進める大学院生の力を借りて広島で分光同定するようになりました。SN 2005cz では共同で論文を 2010 年に著して (図 1)、その記者発表でも同列に並んで頂きました (図 2)。この間、板垣さんが常人とは思えぬ速さで超新星発見を重ねていきましたので、天から与えられた同じバイオリズムに従い、私もそれに歩調を合わせてますます伸びていくことができるはずでした。

しかし、私の方は思うように伸びることができず、同じバイオリズム説は怪しいものとなりました。それが決定的となったのは、板垣さんの超新星発見 100 個目の節目となる SN 2014ef です。板垣さんから超新星候補として発見の報を受け、かなた望遠鏡で教え子である大学院生の高木勝俊君が分光同定を試みたものの、暗くて充分な観測を行うことができず、同定は米国のグループに先を越されてしまいました。節目となる超新星で私たち広島のグループが貢献できなかったのは悔しかったのですが、やはり、単に誕生日が同じというだけで、天から与えられた繋がりなどあったはずもなく、純粋に板垣さん自身がすごかったということが判って、すっきりしました。

以上、無理やりな拙い文章で失礼致しました。これくらいで締めて、本論に移ることに致します。

## 2. 観測と結果

2005 年 7 月 17 日に板垣さんが楕円銀河 NGC 4589 に付随した超新星を発見し、SN 2005cz という符号が付けられました。楕円銀河に付随した超新星は、ごくわずかな例外を除き、Ia 型 (核爆発型) ばかりなので、この発見の報に接した関係者の多くは Ia 型だろうと想像したと思います。しかし、その約 10 日後に Keck I 10m 望遠鏡に取り付けられた LRIS という観測装置で分光同定が行われて、水素欠乏・ヘリウム過多の Ib 型、つまり重力崩壊型であることが判りました (Kawabata, Maeda, Nomoto et al. 2010, Nature, 465,

326, 図 3)。古い種族の星で構成される橿円銀河には、寿命の短い大質量星は存在できず、太陽の 8-10 倍よりも重い恒星の終末期に引き起こされる重力崩壊型超新星も通常は現れません。まずこの点が SN 2005cz の耳目を集める点となりました。なお、重力崩壊型超新星には、水素の特徴を示す II 型と、水素の特徴を示さない Ib 型、Ic 型がありますが（さらに初期には II 型の特徴を示すものの後期は Ib 型に移行する IIb 型という細分もありますが）、II 型は親星の外側に水素層をまとった状態で爆発したもので、それに対し Ib/c 型は親星の水素外層が（内部からの強い輻射圧か、または近接連星系中の質量交換によって）はぎとられてから爆発したものであると考えられており、Ib/c 型（および IIb 型）を外層が剥ぎ取られた重力崩壊型超新星（stripped-envelope core-collapse supernovae）と呼ぶことがあります。このような超新星では、水素の分厚い外層による混濁を受けずに、内側の、より爆発中心に近い領域をピュアに観測できる利点があります。

図 4 の光度曲線をご覧ください。赤丸で示したのが、板垣天文台 60cm 鏡、Calar Alto 2.2m 鏡、そして国立天文台ハワイ観測所 8.2m すばる望遠鏡で得られた SN 2005cz の等級の日変化で、他の同類の超新星と比べて光度が 4 分の 1 程度しかないことが判ります。また、減光のペースも速く、すぐに暗くなったことも判ります。これは、超新星の放射のエネルギー源である放射性崩壊元素ニッケル 56 の生成量が少なかったこと、そして放出物質量が少なくて光球が早目に透明になったことをあらわしています。

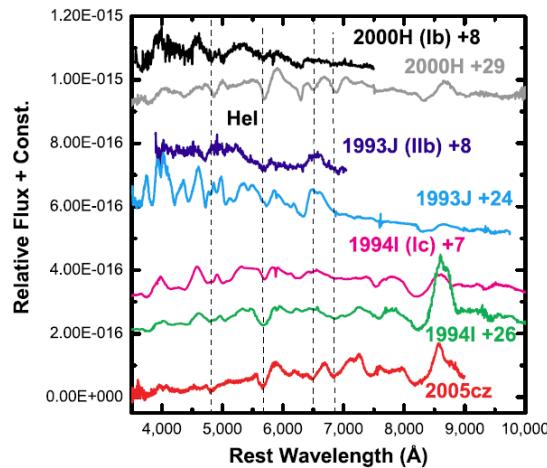


図 3 SN 2005cz の初期スペクトル（最下段、赤色）。

Keck I 10m 鏡/LRIS にて 2005 年 7 月 28 日に取得されたものを、同類・同エポックの他の超新星と比較したもの。縦の波線は He I によるいくつかのスペクトル線の波長を示しており、Ib 型の SN 2005cz がそれらの特徴を有していることが判る。

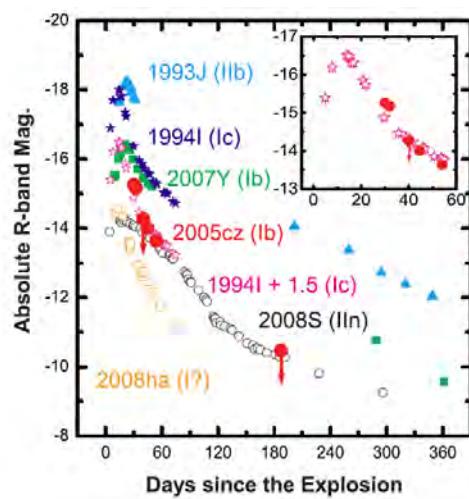


図 4 SN 2005cz の光度曲線（赤丸）を比較のため同類の超新星の光度曲線と併せてプロットしたもの。この超新星が暗く、且つ減光速度も速かったことが判る。爆発日はスペクトルの特徴と爆発前の観測から、発見 1 カ月前と推定。

そして、この奇妙な超新星に対して、2005 年の暮れに、私たちはすばる望遠鏡に取り

付けられた FOCAS を用いてスペクトル観測を行いました。通常の超新星は一般に半年もたつと、放出物質は拡散して薄くなり、光学的に厚い光球は持たず、代わりに光学的に薄いガス起源の輝線スペクトルを示すようになります。つまり、中心の爆発起源に近い領域まで見通せるようになるため、初期の表層の観測ではわからなかつた情報が得られるようになります。ただし、この時期には非常に暗くなるため、観測は容易ではなく、8-10m クラスの望遠鏡が稼働した 2000 年代以降によく本格化した研究になります。その結果得られたスペクトルを図 5 に示します。この図から、SN 2005cz は後期スペクトルにおいて、[O I] の輝線が著しく弱く、代わりに [Ca II] の輝線が強いままという、通常の外層を失った重力崩壊型超新星では見られない特徴を持つことが判りました。連続光成分はほぼゼロで、いわゆる星雲期に充分入っており、吸収を含む複雑な輻射輸送過程は効いていないと考えられることからも、この「酸素 < カルシウム」の傾向が間違いないものとして捉えることができます。

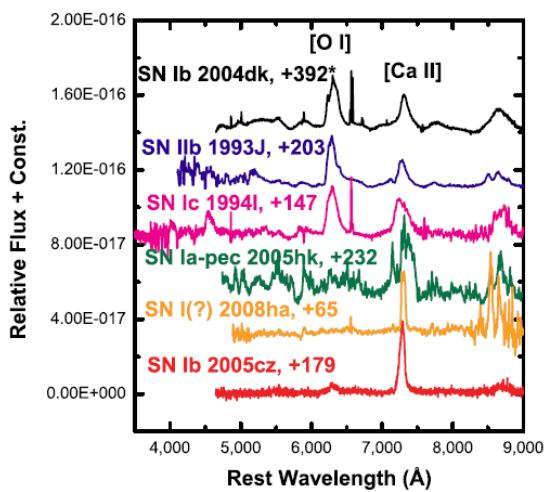


図 5 SN 2005cz の後期スペクトル（最下段、赤色）。2005 年 12 月 27 日にすばる望遠鏡/FOCAS で得たものを、他の同類・同エポックの超新星と比較したもの。SN 2005cz は [O I] 6300, 6363 がかなり弱い一方で、[Ca II] 7291, 7323 は著しいことが判る。つまり、「酸素 < カルシウム」である。これは通常の（水素外層が剥ぎ取られた親星で爆発した）重力崩壊型超新星（Iib, Ib/c 型）では見られないものである。

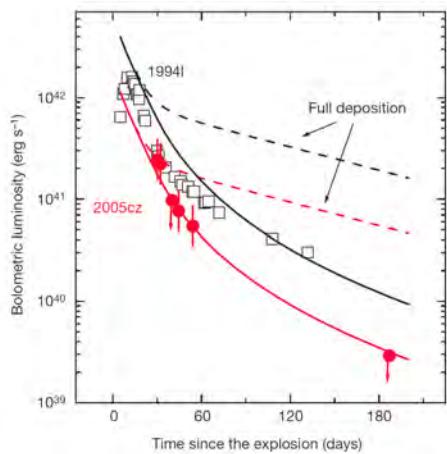


図 6 SN 2005cz の疑似的な総輻射光度曲線（赤丸）と、その解析的モデル曲線。赤線はニッケル 56 の総量が 0.02 太陽質量、 $M_{ej}^2/E_{51} = 1$  ( $M_{ej}$  は太陽質量単位の放出物質量、 $E_{51}$  は  $10^{51}$  erg 単位の運動エネルギー) である。中・後期の光度は、この曲線を下回っていることから、 $M_{ej}^2/E_{51} \leq 1$  と推定される。また、初期スペクトルのヘリウム吸収線の青方偏移から得られる爆発速度は、SN 1993J や SN 1994I とほぼ同じで、 $M_{ej}/E_{51} \approx 1$  であることから、結局  $M_{ej} \leq 1$ 、 $E_{51} \leq 1$  と推定される。

### 3. 考察

ここに、SN 2005cz の特異な点を今一度まとめておきます。

- 重力崩壊型（Ib 型）であるが、橢円銀河に現れた
- 光度が小さく、減光速度も速い
- 後期スペクトルで酸素の輝線がカルシウムの輝線に比べて著しく弱かった

これらの一見顕著な特徴について、私たちは以下のようにして説明できると考えています。

まず、酸素の輝線が弱いことについては、親星の質量が重力崩壊型超新星の中でも軽いほう（12-15 太陽質量以下）であったためと考えています。重力崩壊型超新星中に存在する酸素の大部分は、親星の酸素層（炭素+酸素コア）に存在したものであり、その酸素の量は親星の初期質量に依存すると考えられる一方で、カルシウムの多くは今回の爆発による元素合成で生成されたものであり、その総量は極端に重い親星でない限り、親星の質量にさほど依らないと考えられます。つまり、「カルシウム／酸素」比は親星の質量の指標となり得ます（Fransson & Chevalier 1989, ApJ, 343, 323; Maeda et al. 2007, ApJ, 658, L5）。例えば、親星が太陽質量の 13 倍の超新星における酸素とカルシウムの総量はそれぞれ、0.2 太陽質量、0.005 太陽質量であるのに対し、18 太陽質量の親星における超新星では、0.8 太陽質量、0.005 太陽質量と推定されます（Nomoto, Tominaga, Umeda et al. 2006）。過去によく研究された重力崩壊型超新星で、親星の質量が最も軽いものは 12-15 太陽質量程度で、それらの後期スペクトルでは「酸素>カルシウム」でした（IIb 型 SN 1993J, Ic 型 SN 1994I; Shigeyama et al. 1994, ApJ, 420, 341; Nomoto et al. 1994, Nature, 371, 227; 図 5）ので、SN 2005cz の親星の質量は 12-15 太陽質量よりも小さかったと推定されます。

次に、光度が小さく、減光速度が遅かったことについては、図 6 とそのキャプションに説明を掲げています。すなわち、超新星の光度の源となるニッケル 56 の放射性崩壊に伴い放出されるエネルギーのうち、陽電子によるものはすべて吸収し、ガンマ線によるものは放出物質（総質量は太陽質量を単位として  $M_{ej}$  と表す）のコンプトン散乱による吸収ぶんを取り入れるとして計算した光度曲線モデルにおいて、ニッケル 56 の総量を 0.02 太陽質量、 $M_{ej}^2/E_{51} = 1$  としたモデルと比べると、初期に観測された光度はそれなりに再現されるものの、後期の光度は下回っていることから、結局、ニッケル 56 の総量は 0.02 太陽質量程度かそれ以下、放出物質の総量は 1 太陽質量かそれ以下、爆発エネルギーも  $10^{51}\text{erg}$  程度かそれ以下と、典型的な（水素外層がはぎ取られた）重力崩壊型超新星に比べ、ニッケル 56 の生成量が少なく、放出物質量が少なく、爆発エネルギーも小さいということが推察されます。

恒星進化理論に基づいて考えると、10-12 倍の太陽質量を持つ親星において進化が進み、赤色（超）巨星となった段階で近接連星系内の質量輸送によって水素外層が剥ぎ取られるとした場合、やがて、総質量が 2.5 太陽質量のヘリウム星（ヘリウム外層を持つ）で、

内部に約 1.5 太陽質量の炭素+酸素コアを持つ星に進化すると考えられます。このような星が重力崩壊を起こすと、Ib 型超新星として観測され、爆発後には中心に 1.5 太陽質量ほどの中性子星が作られて、残りの 1 太陽質量程度を放出物質として飛び散らせると考えられます。つまり、このような近接連星系中の軽めの親星による重力崩壊型超新星であると考えれば、上記の特異な点の 3 つのうち 2 つは自然に説明できることになります。

もう一つの特異な点である、橢円銀河に現れたことについては、このホスト銀河 NGC 4589 が最近星生成を行った、特異な橢円銀河であるということで解決されそうです。つまり、NGC 4589 純粋な E2 (橢円) 型と分類される (Hakobyan et al. 2008, A&A, 488, 523) 一方で、中心核に Low Ionization Nuclear Emission Region が存在し、豊富な星間ダストが存在することが判っており (Tran et al. 2001, AJ, 121, 2923; Kaneda et al. 2008, PASJ, 60, S467)、衝突銀河である可能性が高まっています。さらに、恒星種族合成分析により、銀河を構成する恒星の 90% は 100 億歳以上の古い種族の恒星であるものの、残り 10% は 1000 万年 - 1 億年の若い種族の恒星であるという報告もなされており (Zhang et al. 2008, A&A, 487, 177)、後者の年齢は 10 太陽質量の恒星の寿命と一致しています。つまり、SN 2005cz のような重力崩壊型超新星が NGC 4589 に存在することは特に不思議ではない、ということになります。

#### 4. まとめ

板垣さんが発見した SN 2005cz は、Ib 型超新星としては特異な性質を示しましたが、よくよく調べてみると、近接連星中の比較的軽い (10-12 太陽質量の) 親星における重力崩壊型超新星として自然に解釈できそうです。これは、爆発後の観測で求められた重力崩壊型超新星の親星の質量としては、これまで最も軽いものであり、このような質量範囲においても恒星の進化理論が大筋として正しいことが確認された貴重な例となつたのではないかと思います。約 10 太陽質量の超新星の爆発理論は発展途上とされ、観測的にも通常は分厚い水素外層に阻まれて (多くは II 型超新星として観測されると考えられる) 爆発中心に近い領域の観測を行うことは容易ではありませんが、「軽い星ほど多く存在する」ことから、このような軽めの重力崩壊型超新星が銀河の化学進化に重要な役割を果たしてきた可能性は高く、この超新星の発見によって重要な知見が得られるユニークな機会が得られました。

SN 2005cz は板垣さんが発見した 15 番目の超新星だったそうです。序文に記したように、区切りの 100 個目の超新星では貢献ができませんでしたが、勢いは止まる様子を見せませんので、SN 2005cz のせめて 10 倍、つまり 150 番目あたりで、なんとか広島のグループで大きく貢献して報いたいと、日々雑用に追われながらも夢見ているこの頃です。

招待講演

## 超新星 2006jc: LBV は超新星になるのか

山岡 均 (九州大学)

### Abstract

超新星のスペクトルについて概説し、そのなかで IIn 型と呼ばれるタイプの超新星の爆発前の姿について注目する。超新星 2006jc は、この IIn 型に類似しているが、水素ではなくヘリウムが輝線で見えるという Ibn 型とも言うべき特異なスペクトルを示した。超新星爆発の 2 年前の増光を含めた種々の観測的特徴は、これまで超新星爆発を起こす時期ではないと考えられていた、激しく外層を失いつつある状態で爆発したと考えると説明がつく。このような超新星は近年多数発見されるようになってきた。

### 1. 超新星のスペクトルと IIn 型超新星

超新星の極大期は、数千 km/s で膨張する高温のプラズマが、時間につれて薄くなり冷えていく過程を観測することになる。高温プラズマのある深さの場所が光球面となり、黒体放射で光る。それよりも浅い領域は光球面よりも低温であるから、光球面の光を吸収する。したがって、典型的な超新星のスペクトル

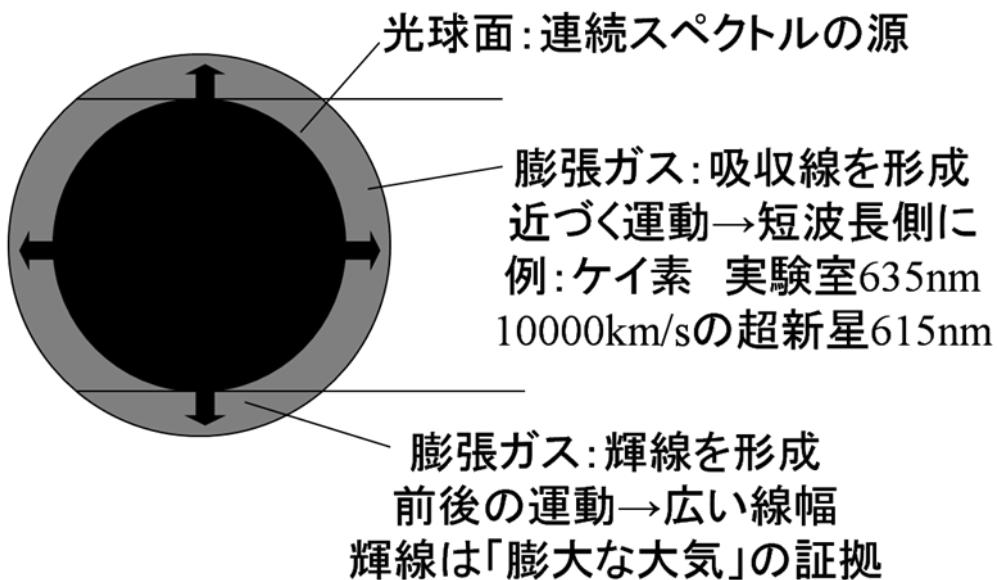
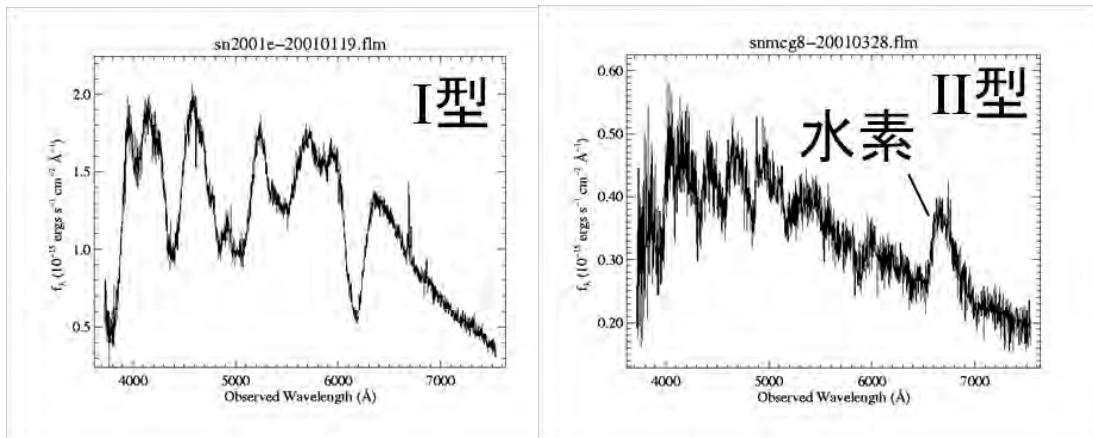


図 1 超新星の線輪郭が形成されるメカニズム (山岡、2008)

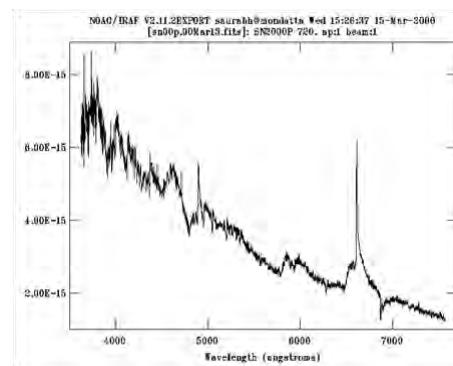


**図2** 典型的な「I型」「II型」超新星の極大期のスペクトル。なお、この稿での超新星のスペクトルは、注記のないものはすべて CfA Supernova Archive <http://www.cfa.harvard.edu/supernova/RecentSN.html> より引用。(山岡、2008)

ルは、吸収線が支配するものとなる(図1)。図2左側のI型超新星は、その典型例である。

いっぽう、光球面より外の質量・半径が膨大である場合、その膨大な外層からの輝線が高温光球からの青い連續光に乗ったようなスペクトルを示す。数太陽質量以上の水素外層を持つ大質量星が爆発すると、その極大期には図2右側のように幅広い水素輝線、特にH $\alpha$ 輝線が顕著に見られることになる。線輪郭は左右非対称で、短波長側が切り立っているが、これが光球手前の外層部による吸収に対応する。波長580nm付近のヘリウムでも輝線が見られるが、それ以外の元素では吸収線が支配的になる。なお、極大を数か月以上過ぎて、超新星放出物が光学的に薄くなると、どのタイプの超新星も連續光はほとんど見られず輝線が支配的な「nebular phase」に移行するが、その時期の超新星はたいへん暗く、今回の稿の対象とはしない。

II型超新星の中には、輝線の幅がたいへん狭い(速度にして1000km/s程度)ものがある(図3)。線幅が狭い(narrow)ところからIIn型と称されるこの超新星は、爆発前に水素外層を大量に放出し、その星周物質が超新星本体に照らされて光っているものと解釈されている。狭い輝線の根元に、通常のII型超新星と同じくらいの線幅の裾野を引くものも観測されている。図3は裾野の典型例である。



**図3** IIn型超新星のスペクトル

## 2. IIn 型超新星と LBV

典型的な IIn 型超新星の極大光度は、通常の II 型超新星と同じくらいの  $M=-17$  等程度である。ところが、この IIn 型超新星と酷似したスペクトルを示しながらも、極大でも  $M=-12 \sim -15$  等ほどと暗い爆発天体が存在する。

2000 年 5 月 3 日、近傍銀河 NGC 3432 ( $m-M \sim 30.4$ : NED) に 17.4 等の新天体が報告された (Papenkova and Li, 2000)。スペクトルからこの天体は NGC 3432 内にあることが示されたが (Wagner, 2000)、過去にもこの位置に増光天体が観測されていたことが報告された (Yamaoka, 2000)。IIn 型超新星として 2000ch という超新星符号は付されたが (Filippenko, 2000)、その後も 2008 年、2013 年、2014 年と増光が相次ぎ、「星全体の大爆発」である超新星とは別種のものであることが判明している (図 4)。このような天体は高輝度青色変光星 (Luminous Blue Variable: LBV) もしくは Supernova Imposer と呼ばれ、近年では超新星としては扱われなくなっている。

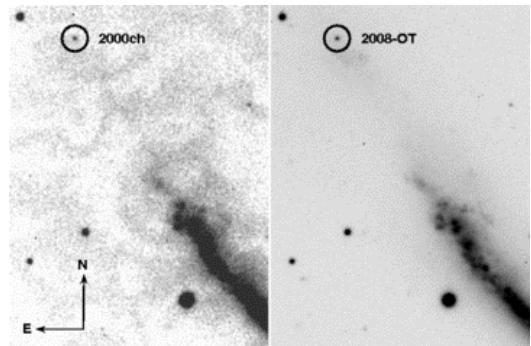


図 4 2000 年に出現した天体（左）が 2008 年（右）にも現れた (Pastorello et al., 2010)

## 3. 超新星 2006jc と 2 年前の増光

LBV は恒星進化の段階としては中途で、最終段階である超新星爆発を起こすまでは間があると考えられてきた (例えば Maeder and Maynet, 2000)。しかし、超新星爆発の直前に LBV のような増光を示した例が検出された。それが板垣公一氏が発見した超新星 2006jc である。

この天体は、2006 年 10 月に超新星爆発を起こして 13.8 等で検出される 2 年前の 2004 年に 17.9 等への小増光を示した (図 5 左)。いずれも板垣氏によって検出されたものである (Itagaki and Yamaoka, 2006)。過去の DSS 画像等を調査し、この天体が小増光を繰り返してきたことが判明している。

超新星爆発後のスペクトルは、細いヘリウム輝線が特徴的で、II n 型に倣つて Ibn 型とも呼ぶべきものであった (図 5 右)。光度曲線などの情報から、誕生時に 80 太陽質量ほどの超大質量星だったものが、水素外層のみならずヘリウム外層を間欠的に失い (このときに小増光を起こす)、最終的に超新星爆発に至ったものと考えられる (Pastorello et al., 2007)。

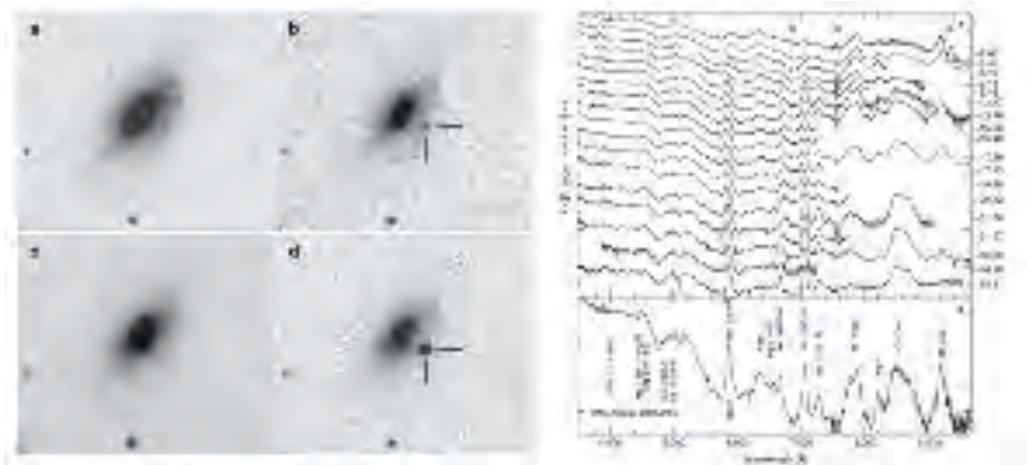


図5 (左) 超新星 2006jc の小増光(b)と超新星爆発時(d)の画像。(右) 細いヘリウム輝線が目立つ特異なスペクトル (Pastorello et al., 2007)。

#### 4. 超新星爆発を起こす LBV

超新星 2006jc で注目を集めたためか、近年 LBV として増光を繰り返したのち、超新星爆発を起こす天体が散見されるようになった。超新星 2009ip は、最初に発見された段階では LBV であったが、その 3 年後の 2012 年 9 月に真の超新星爆発を起こした(図6)。このようない例は多いのかもしれません、恒星進化理論に一石を投げるものと言えよう。

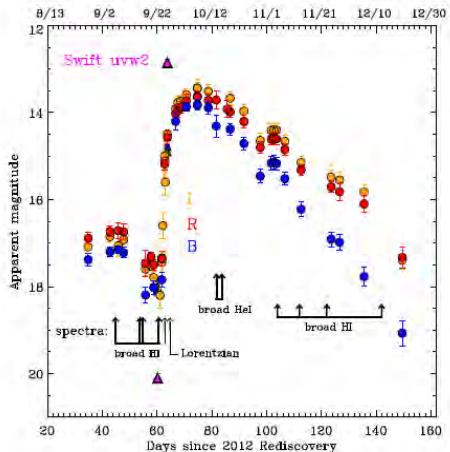


図6 2009 年には LBV だった天体が大増光した (Mauerhan et al., 2013)

#### 参考文献

- Filippenko, 2000, IAUC 7421
- Itagaki and Yamaoka, 2006, CBET 666
- Maeder and Meynet, 2000, ARA&A, 38, 143
- Mauerhan et al., 2013, MNRAS, 430, 1801
- Papenkova and Li, 2000, IAUC 7415
- Pastorello et al., 2007, Nature, 447, 829
- Pastorello et al., 2010, MNRAS, 408, 181
- Wagner, 2000, IAUC 7417
- Yamaoka, 2000, IAUC 7419
- 山岡均、西はりまシンポ 2008 「新天体からのサイエンス」 集録

# 古典新星での爆発的リチウム合成の発見 (Nova Delphini 2013)

田実 晃人 (国立天文台ハワイ観測所)

tajitsu@naoj.org

## リチウムの半分以上が出所不明?

水素・ヘリウムに次いで三番目に軽い元素であるリチウムはパソコンなどのバッテリーによく使われるため、現代生活において非常に身近な元素である。しかし、我々が日常的に利用しているこの元素が宇宙のどこで作られたのかということについては、まだわかっていないことのほうが多い。今まで多くの天文学者がこの問題に取り組み得られた知識を総合すると、我々の太陽系が作られた段階(すなわち現在の地球に含まれている物質)で約10%程度のリチウムはビックバンの際に作られたと考えられている。さらに20%程度は宇宙空間を非常に高速で飛び回る原子核(銀河宇宙線)と星間物質中の原子核が衝突し、炭素や酸素などの重い原子核が壊れることでできたものと推測されている。そして残りの70%余りは超新星などを含む「星」を起源とする天体で作られるべきと考えられているわけだが、その証拠を観測によって捕まえた例はこれまでなかった。

日頃よく使うリチウムバッテリーを手にした時に想像してみてほしい—その一割はビックバン由来で、半分以上は「出所不明」のリチウムなのだ。今回、筆者らはその不明だった出所の証拠を初めて観測でつかむことに成功した<sup>1)</sup>。リチウムは新星爆発で多量に作られていたのである。

## リチウムは宇宙の元素合成解明の鍵

リチウムはビックバンで作られたと前述したが、ビックバンで作られた元素は水素・ヘリウムとこのリチウムまでだと考えられている。そのような元素

に乏しい宇宙の初期段階から、現在の私たちを構成する炭素や酸素、あるいは鉄などの重元素がいつどのようにつくられてきたのか解明することは、天文学の最も中心的な命題のひとつである。

一般的な重元素は星の内部や超新星爆発で合成され、宇宙空間に放出され、それがまた新たに生まれてくる星の材料になっていくと考えられている。リチウムはそうした一般的な重元素とは異なり、前述のようにビックバン時の元素合成や銀河宇宙線による原子核の破碎といった生成ルートも持つと考えられている。ビッグバンで合成されたリチウムの量は宇宙マイクロ波背景放射の観測結果と理論からかなり信頼できる値が求められている。銀河宇宙線の衝突によるリチウム生成量も地球近傍の宇宙線の観測から予測されている。そして、それだけでは足りない現在の太陽系内のリチウム量を説明するため、恒星の内部や恒星を起源とする諸現象でも作られるリチウムがあるはずだと考えられている。

ただし、原子番号が少し上の炭素や酸素などと比較して、自然界におけるリチウムの存在量は極めて小さいものである(酸素の約100万分の1)。これはリチウムが比較的低温(約250万度)で壊れてしまう(水素と反応し、ふたつのヘリウムになる)からだと考えられている。この温度は恒星内部で主なエネルギー供給源となる水素を燃焼している環境の温度よりもずっと低いため、通常の恒星内部ではリチウムが生成されたとしても瞬時に破壊されてしまうことになる。ちなみに現在の太陽表面のリチウム量は、太陽系形成時を反映するとされる隕石のそれと比較して160分の1に減少している。これは対流によつて内部に運ばれたリチウムが高温で破壊されるから

と考えられる。したがって、リチウムを生成し、それを星間空間へ供給している天体としては、質量放出を伴う赤色巨星などの進化の最終段階にある星や、超新星爆発、そして新星爆発などがその候補と考えられてきた。

このようにリチウムの他の元素と比較して生成は様々な天体や現象に関わっているため、「リチウムがわかれば宇宙の元素合成がわかる」といっても過言ではなく、多くの研究者がこの元素の研究に取り組んでいる。図1では銀河系における様々な星のリチウム組成を調査した結果を示した。図のなかで、重元素(鉄)量の低い星は宇宙の比較的初期に生まれた星で、こういう星のリチウムはほぼ一定量であり、主にビッグバン時に生成されたものと考えられる。一方、重元素量の多い星はビッグバンから何十億年もたってから誕生してきた星と考えられ、特に重元素量が太陽の10分の1以上となる天体ではリチウムがかなり急速に増加していることがわかる。このような増加を作り出すのは、寿命の短い重い星を起源とする超新星や、その超新星を起源とするとされる銀河宇宙線と星間物質の相互作用によるリチウム生成だけでは説明ができない。銀河系全体のリチウム量は、より長い寿命を持つ質量の小さな星や新星爆発でのリチウム生成から大きな影響(太陽系形成の時点で少なくとも50%)を受けているはずだと考えられているのである<sup>2-4)</sup>。

しかし、このような星や星を起源とする天体においてリチウムが生成される証拠を観測で直接確認できた例は、これまでなかった。太陽の数倍程度の質量を持つ星が進化した段階で表面に多量のリチウムを含むものが見つかっており、これらの星もリチウムの有力な起源である可能性はある<sup>5)</sup>。しかし、前述のようにリチウムは高温で壊れてしまう元素であるため、こうした星では内部でリチウム生成が止まると、対流によって短時間で表面からリチウムが消えてしまう可能性がある。このため、このような星から実際にどの程度のリチウムが星間空間に放出されるのかはよくわかっていない。一方、新星爆発のような現象ではリチウムのもととなるベリリウムの

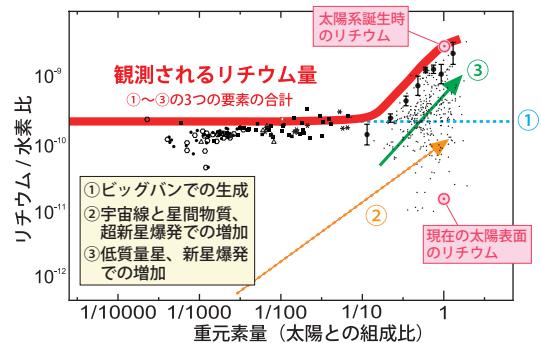


図1: 銀河系内の天体でのリチウムの観測量とそれに基づいて考えられているリチウム生成源の模式図。各時点で星間空間に存在するリチウムの量、すなわちリチウムの進化曲線は、恒星内部でリチウムが破壊される効果を除外し、観測されるリチウム量の上限をなぞったものとなる(赤太線)。リチウムの生成源としては、推測されている三つの要素のうち一番時間が経過してから立ち上がる低質量星・新星爆発などによるもの(緑矢印)の寄与が大きいだろうことがわかる。

同位体、<sup>7</sup>Beが爆発で急激に生成され、それが爆風で吹き飛ばされることによって、安定したりチウムの生成がされるのではないかという推測がされていた<sup>6)</sup>。ただし、新星でのリチウム生成の検出例も今までなかったため、どのような低質量星がリチウムを生成しているのかということは、研究者にとって大きな疑問であり続けてきたのである。

## リチウムの「もと」を新星で発見

2013年8月14日、板垣公一氏が天の川の縁にある小さな星座いるか座に突如現れた明るい新星を発見した。Nova Delphini 2013 (=V339 Del)と名付けられたこの天体は、発見の約二日後に最大光度約4.3等の明るさにまで達し、肉眼で確認できる明るい新星となった。発見の報告を受けた時、筆者の勤めるすばる望遠鏡は3~4年に一度行われる主鏡の蒸着作業中であった。観測のチャンスが回ってきたのは爆発から38日経った2013年9月下旬で、それから計四回(爆発後38、47、48、52日)にわたり、高分散分光器(HDS)を用いて爆発によって放出された物質

の成分を詳細に調査した。結果的にこの時間のずれが幸運をもたらすことになった。図 2 に光度曲線とともに筆者らの HDS 観測のタイミングを示したが、観測はダスト形成による可視域での急速な減光<sup>7)</sup>が起きる直前とその最中に行われたことになる。

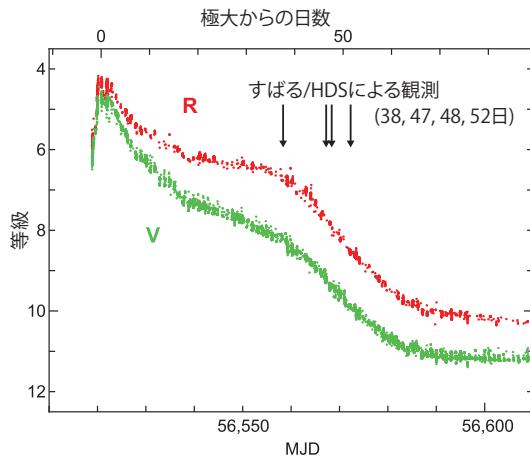


図 2: Nova Delphini 2013 の光度曲線 [アメリカ変光星観測者協会 (AAVSO) より]。HDS 観測のタイミングを矢印で示した。

観測されたスペクトル中には、新星の特徴である中性の水素やヘリウム、鉄の一価イオンなどの希薄なガスから生じる太い輝線とともに、秒速約 1000 キロメートルの速度で短波長側にシフトした水素や鉄など多くの元素の吸収線群が確認された。図 3 に一例として、鉄の一価イオンの同一マルチプレット (42 番) の輝線とその短波長側に見られる高速度吸収線を示す。この高速度吸収線は紫外域 ( $< 360$  ナノメートル) で特に多く同定され、爆発後 38 日のスペクトルではその数およそ 200、そのほとんどは鉄、チタン、クロム、マンガンなどの鉄族の一価イオンの遷移によるものであった。また、HDS での四回にわたる観測の期間内で吸収線の速度構造に変化が見られ、吸収線強度は弱くなっていくのが観測された。このような新星爆発後のスペクトルにおける高速度吸収線は、ナトリウム D 線 (波長 589 ナノメートル) や鉄族の一価イオンなどの観測報告があるが<sup>8)</sup>、爆発

後の特定の期間 (前者は数日～数週間、後者は 2～8 週間程度) のみで見られる現象であり、その報告例は少なく、また発生メカニズムも解明されていない。

こうした高速度吸収線をひとつひとつ同定していくなかで、ひときわ強いものが紫外線の領域 (波長 313 ナノメートル付近) に発見された。この吸収線は四番目に軽い元素ベリリウムの同位体、<sup>7</sup>Be の一価イオンの二本の共鳴線と波長が一致していた。爆発後 47 日のスペクトルについて、この吸収線を水素 ( $H\eta$ ) およびカルシウム ( $Ca II K$ ) の吸収線と同じ速度スケールで比較したものを見ると図 4 に示す。自然界に存在するベリリウムの唯一の安定同位体は<sup>9</sup>Be であり、波長 313 ナノメートルのこの共鳴線では<sup>7</sup>Be との波長差は 0.0161 ナノメートルとなる<sup>9)</sup>。拡大図 (d) で明らかのように、HDS の高い波長分解能 (本観測は  $\lambda/\Delta\lambda \sim 60,000$ ) によって、吸収には<sup>9</sup>Be による成分はなく、純粋に<sup>7</sup>Be によるものだとわかった。さらに<sup>7</sup>Be 以外の同定の可能性も詳細に検討し、これらは<sup>7</sup>Be の吸収線二本であると断定した。また、<sup>7</sup>Be が秒速 1000 キロメートルの爆風に吹き飛ばされている状態にあることもわかった。

## 新星爆発でのリチウム合成

新星 (他の種類の激変星と区別するため古典新星とも呼ばれる) とは、軽い恒星が死を迎えたあとに残る天体である白色矮星 (主星) と、主系列もしくはより進化した伴星が非常に近い軌道で周回している、いわゆる近接連星で起きる現象と考えられている。まず、伴星の外側にあるガスが降着円盤を経て白色矮星の表面に薄く積もっていき、そのガス層が厚くなるにつれて温度と密度が上昇し、ある臨界点を超えると急激な核融合反応を発生させるのである。この薄皮のようなガス層での核反応は一気に暴走し、爆発現象を引き起こす。これによって星は一時的に元の明るさの約 10 万倍程度まで増光する。新星爆発での主たる核融合は水素を燃焼させる一連の核反応であるが、それと同時に図 5 のような二段階の核反応によってリチウムが作られると考えられてきた

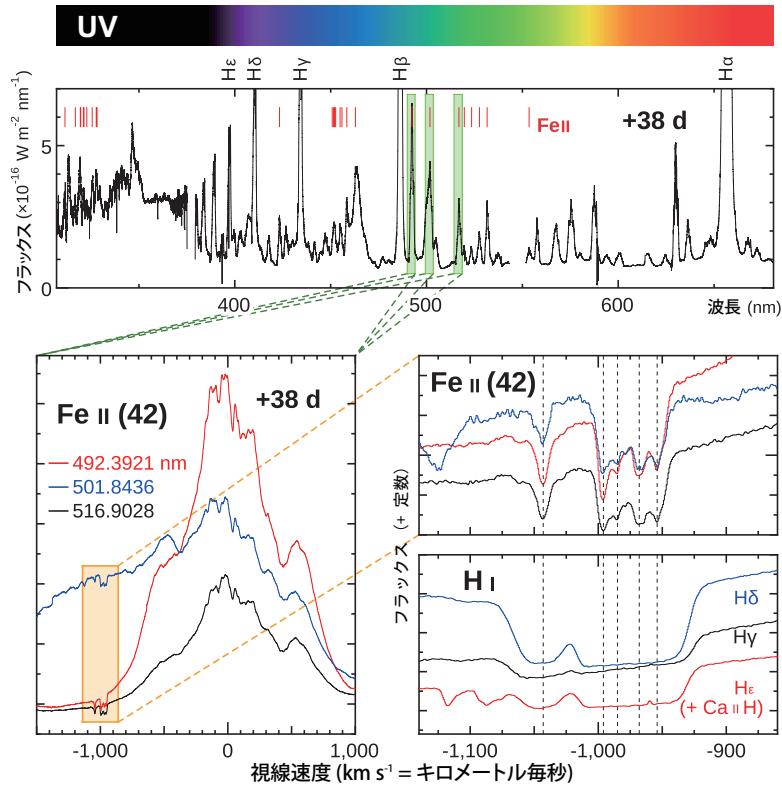


図 3: Nova Delphini 2013 の紫外～可視光スペクトル (爆発後 38 日). 鉄の一価イオンの同一マルチプレットの遷移を視線速度で表示すると、輝線の半値幅は新星としては典型的なものである (秒速約 1000 キロ). すべての輝線の短波長側 (視線速度秒速約 -1000 キロ) に共通して吸収線群があることがわかる. 右下の拡大図では速度成分を縦の破線で示した. 水素などについても同じ速度成分が確認された.

<sup>6)</sup>. まず、伴星から流入してきたガス中のヘリウム同位体、<sup>3</sup>He と、豊富にある <sup>4</sup>He が白色矮星表面にて高温状態で反応し、<sup>7</sup>Be を生成する. そして、その <sup>7</sup>Be が 53 日という非常に短い半減期で電子捕獲反応によって <sup>7</sup>Li に変わるのである. 今回観測された <sup>7</sup>Be は、その短い寿命を考えれば、新星爆発時に上記の第一段階の反応で生成されたものと考えて間違いない. つまり、爆発後 50 日以内の新星における <sup>7</sup>Be の発見は、リチウムの「もと」になる <sup>7</sup>Be が新星爆発で生成される現場をとらえたということになる. しかも、見つかった <sup>7</sup>Be は秒速 1000 キロメートルという高速度で連星系の外側に向かって吹き飛ばされている状態であるため、ここから作られるリ

チウムは高温環境で破壊されることなく星間空間に飛散し、次の世代の星を作る材料となる.

宇宙のリチウム進化に新星爆発がどれだけ寄与しているかを考慮する上で、この新星によってどれだけのリチウムが生成されたのかは非常に興味深い問題である. いくつかの仮定が必要となるが、この <sup>7</sup>Be II の吸収線と同じ第 2 族元素の共鳴線である Ca II K 線の吸収線強度を比較することにより、<sup>7</sup>Be の量、すなわち星間空間に放出されるリチウムの量を概算することができる. その結果、放出物質中にはカルシウムに匹敵する量の <sup>7</sup>Be が含まれていることが判明した. これは宇宙全体では微量元素といえるリチウムとしては破格の量 (太陽系組成=隕石ではリチウム

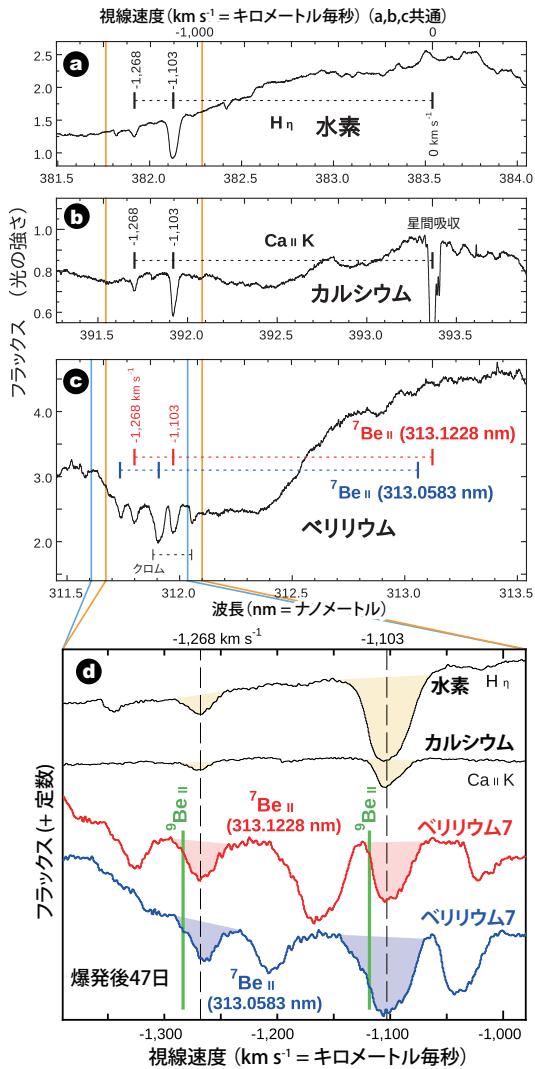


図 4: 紫外域での HDS スペクトル (爆発後 47 日). 水素 ( $H_{\eta}$ )、カルシウム ( $\text{Ca} \text{II K}$ )、および  $^{7}\text{Be}$  (二重線) の吸収線を同じ速度域で表示している. c については  $^{7}\text{Be}$  の二重線のうちの一つ (赤) の速度で表示している. 各吸収線に共通の速度成分 (秒速秒速  $-1268$ 、 $-1103$  キロメートル) がある. 拡大比較 (d) によって、発見されたベリリウムの吸収線は自然界に存在する  $^{9}\text{Be}$  (緑の縦線の位置に吸収線が現れるはず) ではなく、速度の一一致の様子から放射性同位体の  $^{7}\text{Be}$  であることがはっきりとわかる.

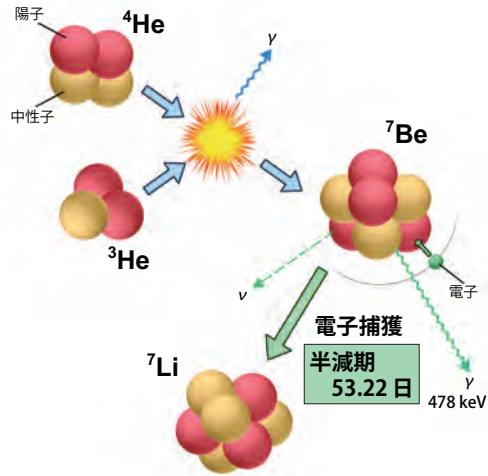


図 5: 新星爆発時のリチウム生成反応. 図の左上、青矢印が白色矮星表面に降り積もったガス層で爆発時に起きる核反応である. この反応でできた  $^{7}\text{Be}$  は爆風で吹き飛ばされ、より温度の低い環境で電子捕獲によって  $^{7}\text{Li}$  に変化する (緑矢印).

はカルシウムの 1000 分の 1 程度) であり、従来の新星爆発での元素合成理論の予測値<sup>10)</sup>と比べて 6~10 倍とかなり高いものであった.

## 今後の展望—この現象は普遍的か？

重元素が増えてきた現在の銀河系でもリチウムの量が急速に増大しているなど、宇宙(銀河系)のリチウムには寿命の長い低質量星起源の成分があることは以前から推測されていた. 新星爆発はそのような低質量星(特に  $^{7}\text{Be}$  の材料となる  $^{3}\text{He}$  を多く含む伴星)が進化してできる天体であるため、有力な候補の一つとして挙げられていたが、観測的な証拠は今まで見つけられないままであった. 図 6 中に示したように、 $^{7}\text{Be}$  の電子捕獲反応は 478 keV のガンマ線放射を伴うため、衛星などからの観測によってそれを検出しようという試みはされてきたが、感度などの問題があり、未だ検出には至っていない<sup>11)</sup>. そして、今回の紫外域での  $^{7}\text{Be}$  吸収線の直接検出につい

ても、(1) 大気吸収のため地上からの紫外線観測としては限界に近く、使用できる望遠鏡および観測装置が非常に限られる、(2) $^{7}\text{Be}$ の吸収線を確認できる期間が非常に限られている (Nova Delphini 2013 では爆発後約 40~50 日の間のみ)、(3) ここまで観測条件のよい、明るい新星は限られている、等の問題がありこれまで観測例がなかった。今回はこれらすべての条件を満たす観測を実施できたため、初めて $^{7}\text{Be}$ の検出に至ったと考えられる。

高速度吸収線を作り出しているガスの幾何的なモデルやその時間変化など、細かな疑問はまだ残っているが、今回の観測によって宇宙空間にリチウムを供給する経路の一つが初めてはっきりと示された。そしてそれにより、宇宙のリチウム進化が今まで天文学者が推測していたモデルに沿って説明付けられるであろうことがわかった。この結果は、ビックバンから現在までに至る宇宙の物質進化モデル全体の基盤を強化することにつながるものともいえる。

さらに、 $^{7}\text{Be}$ 吸収線の強度をカルシウムのそれと比較することにより、新星でのリチウムの生成量が従来の理論予測よりも多いようであるということもわかった。今回観測した Nova Delphini 2013 は、古典新星のなかでも比較的ありふれた性質を示すものといってよい。今回と同様なりチウムの生成が他の新星でも起きるもののかどうかが次の大きな興味となる。そのような動機のもと、筆者らは同じすばる望遠鏡 HDS を用いて 2015 年 3 月に出現した Nova Sagitarii 2015 No.2 と Nova Ophiuchi 2015 を観測した。すると、それぞれ爆発後 69 日・80 日の紫外線スペクトルにやはり非常に強い $^{7}\text{Be}$ 吸収線が検出されたのである<sup>12</sup>。これらふたつの新星でも、リチウム生成量は Nova Delphini 2013 と同程度であることが見積もられた。すなわち、今回観測された $^{7}\text{Be}$ を介して多量のリチウムが作られるという現象は新星爆発で普遍的に起きていることが明らかになったのである。

こうした古典新星は超新星よりも増光の度合いは小さいが、ずっと発生頻度が高い。銀河系内では年間約数十個発生しているものと考えられており、そ

のうち十個程度が年間を通して発見されている。それらの発見には日本のアマチュア天文家が多大な貢献をなしている (前述の Nova Ophiuchi 2015 も茨城県の櫻井幸夫氏による発見である)。そうして発見された新星爆発を今後さらにすばる望遠鏡などで観測していくことにより、今まで大きな謎であった宇宙のリチウム進化の姿を明らかにできるものと期待される。新星の発見はビックバン以降脈々と続いてきた宇宙の元素合成の歴史を確かなものにすることにつながっているのである。

## 参考文献

- [1] Tajitsu A., Sadakane K., Naito H., Arai A., Aoki W., 2015, Nature 518, 381
- [2] Romano D. et al., 1999, A&A 352, 117
- [3] Romano D. et al., 2001, A&A 374, 646
- [4] Prantzos N., 2012, A&A 542 A67
- [5] Melo C. H. F. et al., 2005, A&A 439, 227
- [6] Cameron A. G. W., Fowler W. A., 1971, ApJ 164, 111
- [7] Shenavrin V. I., Taranova O. G., Tatarnikov A. M., 2013, Astronomers' Telegram 5431, 1
- [8] Williams R. et al., 2008, ApJ 685, 451
- [9] Yan Z.-C., Nörterhäuser W., Drake G. W. F., 2008, Phys. Rev. Lett. 100, 243002
- [10] José J., Hernanz M., 1998, ApJ 494, 680
- [11] Hernanz M., 2008, in *Classical Novae* (eds. Bode M., Evans A.) 2nd edition, Cambridge Astrophysics Series No. 43, p252
- [12] Tajitsu A. et al., 2016, ApJ *in press*.

# 彗星と小惑星の狭間

関口 朋彦（北海道教育大学 旭川校）

## Bordarline between Comets and Asteroids

Tomohiko Sekiguchi (Hokkaido University of Education, Asahikawa Campus)

### 概要

彗星とは拡散状に観測される小天体のことで、点光源で観測された小天体は小惑星と登録される。彗星が小惑星帯にあろうが、小惑星が彗星軌道を取っていようが関係ない。これらの境はまったく曖昧なものであり、両者を区別することは科学的には本質ではなくなるとしている。大型望遠鏡によって小惑星から淡い彗星コマや尾が検出されたり、長楕円軌道（彗星軌道）を取る点光源小天体（小惑星）が検出されるようになって来た。そして探査機ミッションによって小天体の直接撮像がなされるようになり、小天体を氷天体・岩石天体とはつきりと区別できないことがより一層明らかになってきた。

### 1. はじめに

#### 1-1, 彗星は遠方から来た氷小天体か。小惑星は小惑星帯の岩石小天体なのか。

「彗星とは、太陽系の外縁部領域であるカイパーベルト（海王星以遠領域）やオールト雲からやって来る氷（揮発性物質）からなる小天体のことで、小惑星とは主として火星と木星の間のメインベルト（小惑星）にあるものや一部には地球に近付く軌道をとる岩石質（ケイ酸塩鉱物）の小天体である。」一般的な天文学の啓蒙書の記述はこうなっているはずだ。決して間違った記述ではないのだが、実際のところ彗星と小惑星の「定義」自体は違っている。彗星とは「太陽の周りを公転する小天体で、地上観測によって彗星活動が認められたもの」であり、小惑星は「彗星活動が認められない小天体」がその定義である。簡単には「ボヤッ」と拡散状小天体が彗星となる。現実的な観点では Smithsonian Observatory の Minor Planet Center (MPC) が観測家の報告に対して彗星活動であることを確認して、MPC リストに「彗星と登録されたもの」が彗星だ。

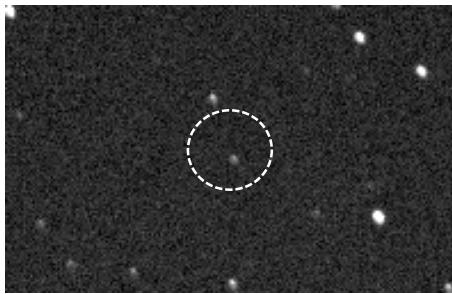
結局のところ、彗星か小惑星かは「何からできているか（氷か岩石か）や、どこにあるか（どういう軌道を取るか）」はまったく関係ないのである。つまりは小惑星帯から出ることなくほぼ円軌道で公転している「彗星」であっても、オールト雲から落ちてきた長楕円軌道の「小惑星」でもなんでもいいのだ。地上からの観測によって「彗星活動が認められるか否か」が決め手だ。（ちなみに彗星活動の報告は研究者・アマチュアを問わず文書によるものが基本である）

#### 1-2, 彗星活動とは

「彗星活動とは小天体表面から揮発性成分が昇華し、彗星コマを形成すること」ここでは引用しないが、おそらく専門書でもこのような記述がなされているであろう。これも間違ってはいない。ただし、現実には揮発性成分の昇華が原因であろうと、（未解決であるが）小天体同士の衝突現象によって塵物質が撒き散らされて拡散光源としてあるいは面光源として観測された場合であろうと、彗星と登録されるのだ。つまり彗星活動とは小天体が「ボヤッと見えた（彗星コマが見えた）、あるいは付随する尾が確認されたら」それが「彗星活動」であり、彗星登録される決め手なのだ。

### 2. 観測によって区別される彗星と小惑星

## 2-1, 点光源に観測される小惑星の例

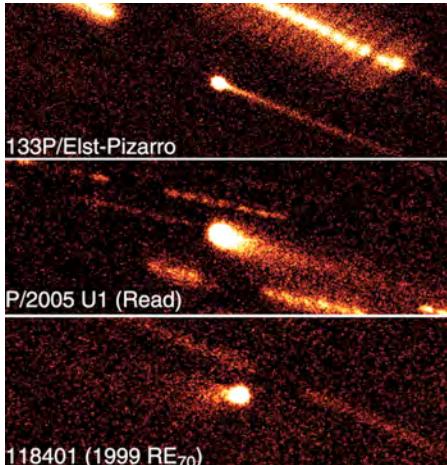


**図 1 点光源小天体（小惑星）の例 8660 Sano**

丸で囲った点光源が小惑星。小惑星はコマや尾を持たない「点光源」として観測される。

火星と木星のメインベルトの一般的な小惑星（軌道長半径:  $a = 3.26$  au, 離心率:  $e = 0.049$ , 軌道傾斜角:  $i = 6.63^\circ$  ） ©なよろ市立天文台

## 2-2, 小惑星にある彗星の例（メインベルト彗星）

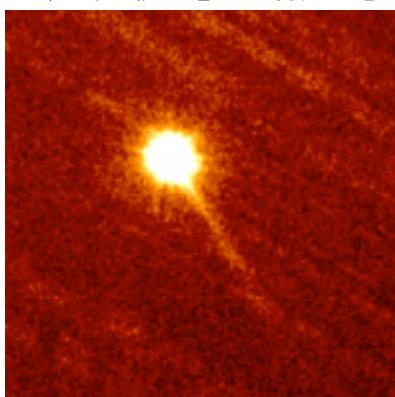


**図 2 小惑星帯をほぼ円軌道で公転する彗星の例**

火星と木星の間はメインベルトまたは小惑星帯と呼ばれる小惑星の公転領域である。近代の深撮像装置によって、小惑星と登録されていた天体からコマや尾が検出され、新たに彗星として登録される例が出てきた（メインベルト彗星）。

See, Hsieh & Jewitt (2006)

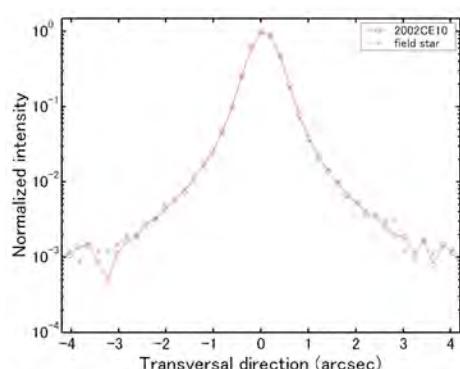
## 2-3, 彗星軌道を取る特異小惑星から彗星の尾が検出された例



**図 3-a すばる望遠鏡によって撮像された例**

特異小惑星 2002CE10 として発見され、後にすばる望遠鏡の主焦点カメラを用いて、撮像された結果「尾」が検出され、新たに彗星（C/2002 CE10, LINEAR）として登録された。

（軌道長半径:  $a = 9.82$  au, 離心率:  $e = 0.79$ , 軌道傾斜角:  $i = 145.5^\circ$ , 公転周期:  $P = 30.75$  年）



**図 3-b 不活動彗星核 C/2002 CE10 (LINEAR) と視野内の構成との PSF 比較**

図 3-a で示された彗星に対して彗星活動の証拠としてコマの検出を試みた例。視野内の恒星（点光源）と PSF（Point Spread Function）は完全に一致し、尾はあってもコマが確認されなかった。

See, Takato, Sekiguchi, Watanebe (2003)

### 3. オールト雲彗星（ハレー型）軌道を取る小惑星のリスト（抜粋）

小惑星	軌道傾斜角 (度)	離心率	公転周期 (年)	参考
(20461) Dioretsa	160.405	0.900	116	最初の逆行小惑星
(65407) 2002 RP <sub>120</sub>	119.254	0.955	405	木星で観測するもライトカーブなし
2005 VX <sub>3</sub>	112.503	0.997	42007	離心率がほぼ1(放物線軌道)に近い
2010 BK <sub>118</sub>	143.897	0.987	10135	軌道長半径大( $a=447\text{au}$ )
2010 EQ <sub>169</sub>	91.607	0.102	2.94	傾斜角は直角だが長半径・離心率小
2013 BL <sub>76</sub>	98.585	0.993	43305	軌道長半径大( $a=1223\text{au}$ )
2013 LA <sub>2</sub>	175.189	0.594	20.59	傾斜角大( $175^\circ = -5^\circ$ )

表 1 現在進行中の小天体探査ミッション

軌道傾斜角が $90^\circ$ を超える逆行軌道小惑星の例。いわゆる「彗星軌道」を取っているが、彗星活動は確認されていない。オールト雲を起源とする可能性が指摘される。

### 4. 近年の小天体探査ミッションと近将来の小天体探査計画一覧

#### 現在進行中の小天体探査ミッション

ミッション名	目的天体	到着年/観測開始年	主機関
Rosetta	67P/Churyumov-Gerasimenko(彗星)	2014年	ESA
Dawn	Ceres(小惑星1)	2015年	NASA
New Horizons	Pluto(外縁天体)	2015年	NASA
Cassini	土星と衛星系(Titan, Enceladus等)	2004---2017年	ESA/NASA
Hayabusa 2	Ryugu(小惑星1999JU3)	2018年	JAXA(日本)
OSIRIS REx	Bennu(小惑星1999RQ36)	2019年	NASA
New Horizons	2014MU69(外縁天体)	2019年	NASA

表 2 現在進行中の小天体探査ミッション

ミッション	目的天体	到着年/観測開始年	主機関
JUICE	木星衛星	2027年?	ESA
火星衛星探査	Phobos/Deimos	2020年代?	JAXA(日本)
ソーラーセイル	木星トロヤ群	2030年代?	JAXA(日本)

表 3 将来的な小天体探査ミッション

### 5. 探査機によって直接撮像された小惑星

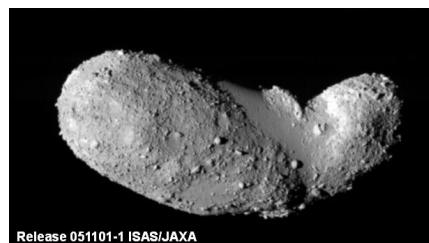


図4 はやぶさ探査機による小惑星Itokawaの撮像例

みかけの形状の観点では長細い彗星核(例えば19P/Borrellyや103P/Hartleyなど)とよく似ている。一方幾何学アルベドはずつと高い

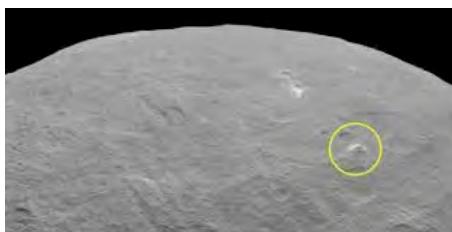


図5 探査機 Dawn による小惑星 Ceres の観測例

クレーターのような外部天体の衝突痕跡が見られない隆起地形。富士山ほどの大きさであり、内部地質活動が示唆される。©NASA

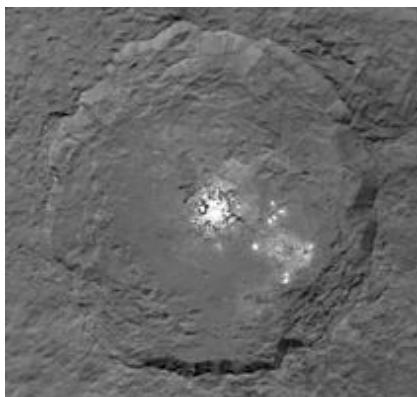


図6 探査機 Dawn による小惑星 Ceres の観測例 2

太陽光の当たりづらいクレーター内部に白色固体物質が表面に露出している。小惑星表面に H<sub>2</sub>O 氷が存在する可能性も示唆される。©NASA

## 6. 探査機 New Horizons によって明らかになった冥王星(外縁天体)の姿

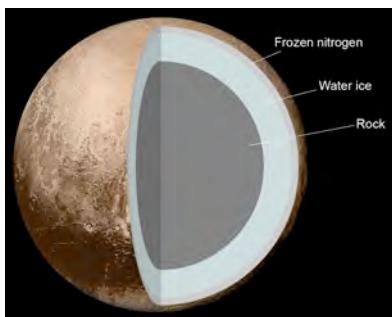


図7 探査機 New Horizons による冥王星の観測例と内部想像図

大量の H<sub>2</sub>O 氷の存在が示唆され、太陽に近づけば間違いなく大彗星となる。©NASA

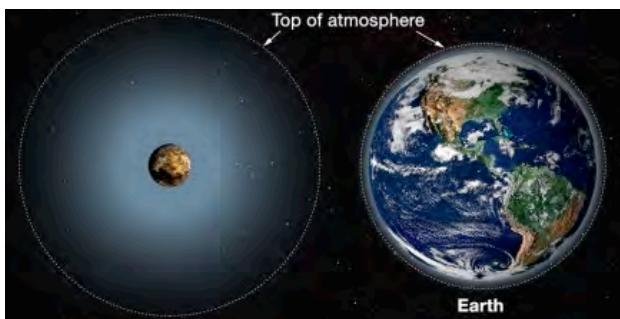


図8 探査機 New Horizons による冥王星大気の観測結果の模式図

重力が小さいため、直接比較することはできないが、地球サイズまで昇華ガスが拡がっていることが観測された。©NASA

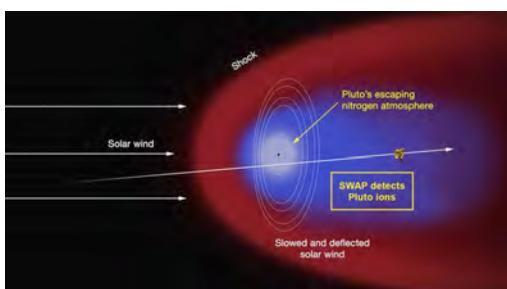


図9 探査機 New Horizons による冥王星観測から示唆される太陽風反応の模式図

太陽風に影響される彗星磁気圏と似かよった磁気構造が示唆されている。©NASA

## 7. 探査機 Cassini によって明らかになった土星の衛星 Enceladus

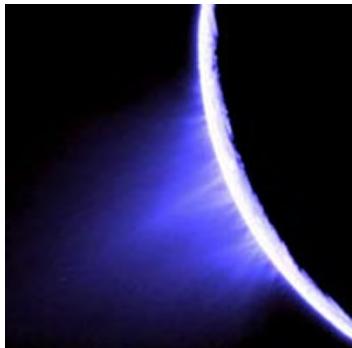


図 10 探査機 Cassini による土星の衛星 Enceladus のガス噴出の観測例

大量の H<sub>2</sub>O ガスが認められた。「H<sub>2</sub>O のガスを噴出する」という観点では彗星活動をしている小天体と言える。 ©NASA/ESA

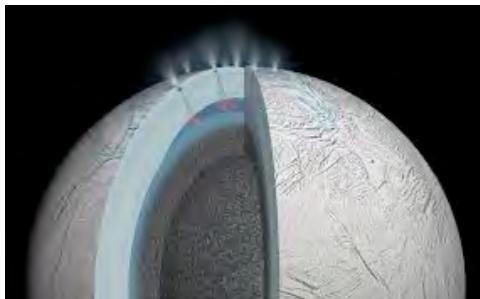


図 11 土星の衛星 Enceladus の内部構造想像図

固体 H<sub>2</sub>O からなる表面からは H<sub>2</sub>O ガスを噴出し、氷層の地下には液体 H<sub>2</sub>O の層の存在が予想される。固相、液相、気相の水が存在するという観点では彗星よりも地球にも近いとも言える。 ©NASA/ESA

### 参考文献

- “A Population of Comets in the Main Asteroid Belt”, Hsieh, Jewitt, 2006, *Science*, Vol. 312, Issue 5773, pp. 561–563
- “C/2002 CE10 (LINEAR)” Takato, Sekiguchi & Watanabe, *IAUC* 8193, 2003

## 8. 探査機によって明らかになった彗星核の姿



図 12a 1P/Halley – Giotto (1986) ©ESA



図 12b 19P/Borrelly-Deep Space 1 (2001) ©NASA



図 12c 81P/Wild2-Stardust (2004) ©NASA

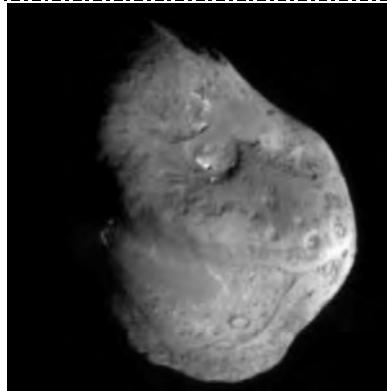


図 12d 9P/Tempel 1-Deep Impact (2005) ©NASA



図 12e 103P/Hartley 2-EPOXI (2010) ©NASA

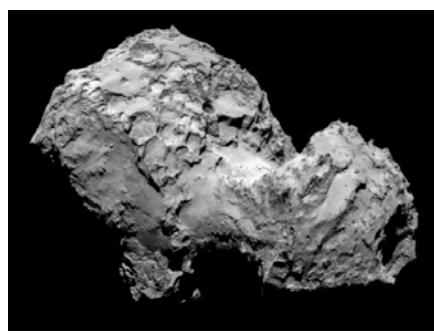


図 12f 67P/Churyumov=Gerasimenko-ROSETTA (2014) ©ESA

図 12 探査機によって直接撮像された彗星核

図 12 彗星探査機によって直接撮像された彗星核

19P/Borrelly や 103P/Hartley は、一見では小惑星 Itokawa と区別が困難であろう。

# 多様な変光星の突発現象

前原裕之（国立天文台）

## 1 はじめに

新天体の検出者にとって変光星は「邪魔者」となることが多い。急に明るくなる現象を示す変光星はたくさんあり、このような現象はしばしば新天体と誤認されてしまうからである。しかししながら、このような突発的な変光現象の中には、非常にまれでほとんど観測例のない現象もあり、恒星の進化の様々な段階で起こる現象を解明するために重要な手がかりを与えるものもある。ここでは様々な突発天体とそれがどのような天体现象なのかを最近の事例を取り上げて紹介する。

## 2 様々な突発天体と恒星物理現象

表1に新天体と誤認されやすい突発的な増光を示す現象のリストを示す。突発天体にはその増光メカニズムによって特徴的な増光・減光の時間があり、短いものでは数分で見えなくなってしまうものもある。

表1. 様々な突発的な増光を示す変光星の種類

天体（現象）の種類	増光にかかる時間	特徴など
フレア星	数秒～数分	増光を起こす天体はM型矮星（赤い色をしている）で、波長の短い（青い）バンドほど増光幅が大きい。
矮新星	数日	白色矮星とM-K型主系列星の連星。増光する前は青く暗い天体で、増光後も青い色をしている。
共生星	数日～数ヶ月	白色矮星と赤色巨星の連星。増光前は赤い色をした天体。
前主系列星	数日～数ヶ月	主系列星になる前の若い天体で見られる増光。HII領域のような星形成領域に近い場所に出現することが多い。

### 2.1 フレア星

フレア星は主に若く自転速度の速いM型矮星で、太陽と同様に黒点付近に蓄えられた磁場のエネルギーが磁気リコネクションによって熱や運動エネルギーなどに変換されることで明るくなる[1]。M型矮星は元々の明るさが小さい（太陽の1/100以下）ことからフレアによって可視光で大きな振幅の増光を示す。増光が始まってから極大になるまでにかかる時間は通常数分以内で、

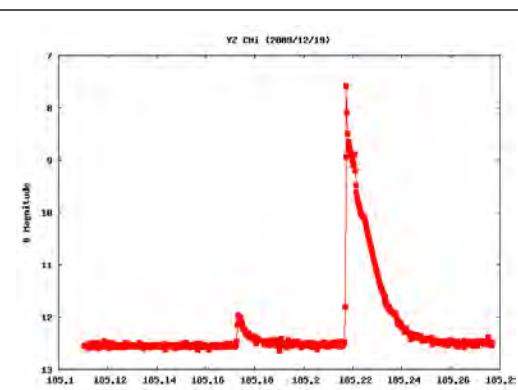
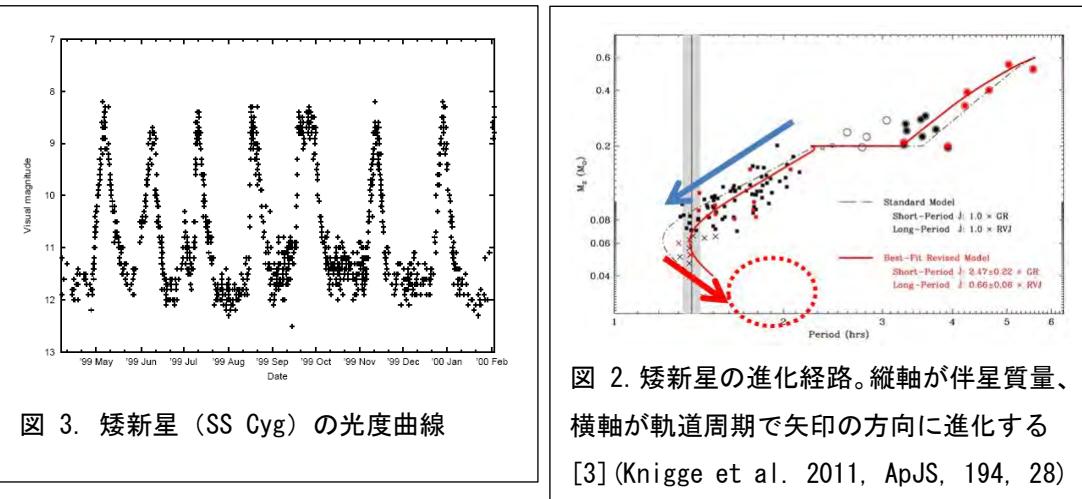


図1. フレア星(YZ CMi)の光度曲線

数十分～数時間かけて元の明るさに戻る（図1のYZ CMiのフレアの例では増光開始から極大までおよそ30秒）。増光している時間が短いため、増光検出の数時間後に確認観測をした際にはすでに暗くなっている場合がある。このような天体は比較的近傍にあるためみかけの固有運動の大きい天体のカタログに載っていたり、活発な磁気活動を示すことからX線天体のカタログに載っていることがある。

## 2.2 激変星（矮新星・共生星など）

激変星は白色矮星のようなコンパクト天体の主星と主系列星や赤色巨星の伴星からなる近接連星系で、主系列星ないし赤色巨星からコンパクト天体に物質の移動がある天体の総称である。このような天体のうち、主系列星の伴星を持ち白色矮星の周辺に降着円盤が形成されている天体では、数日から数千日の間隔で3-8等程度の可視光の増光がみられ、このような増光を繰り返す天体を「矮新星」と呼ぶ（図2のような光度変化を示す）[2]。矮新星では古典新星と違い、降着円盤での質量降着率が急激に増加することで明るくなると考えられている。



矮新星などの激変星では、進化が進むにつれて軌道周期が短くなってゆく。しかし、伴星の質量が減少し縮退して褐色矮星となると、逆に軌道周期が伸びる方向に進化すると考えられている（図3）。激変星において伴星が縮退して軌道周期が伸びる方向に進化するまでには理論的には数十億年程度と考えられているため、軌道周期が長く非常に低質量の伴星を持つ激変星（period bouncerと呼ばれる）は多数存在すると予想される。しかしながら、そのような天体はこれまでほとんど見つかってこなかった。その理由の1つとして、period bouncerのような天体では、伴星から主星への質量移動率が極めて小さくなり、矮新星としてのアウトバースなどの活動性をほとんど示さず発見されにくいためであると考えられる。近年の突発天体のサーベイから、実際にperiod bouncerが見つかってきており、アマチュアによる発見例（2013年に西村さんが発見したPNV J18422792+4837425など；図4）も出てきている。

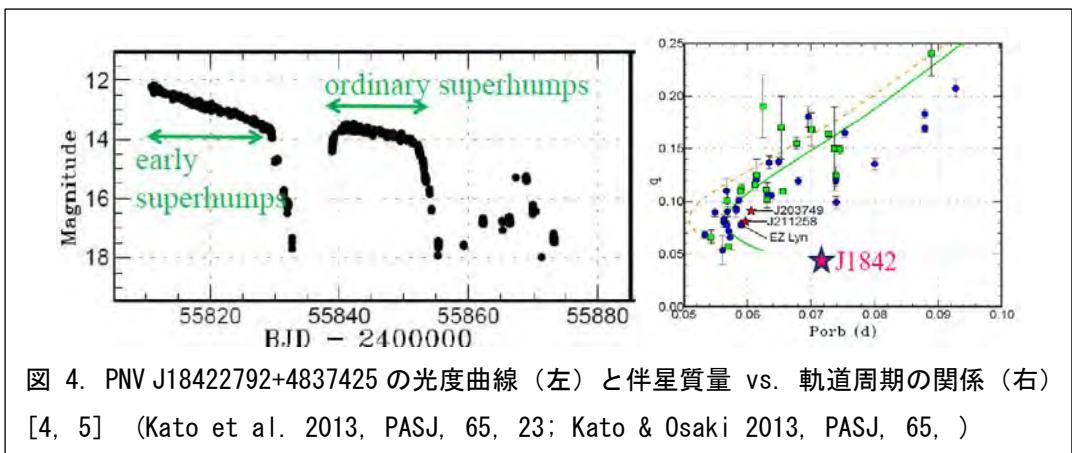


図 4. PNV J18422792+4837425 の光度曲線（左）と伴星質量 vs. 軌道周期の関係（右）  
[4, 5] (Kato et al. 2013, PASJ, 65, 23; Kato & Osaki 2013, PASJ, 65, )

### 2.3 前主系列星 (FU Ori-type 天体)

このような天体では、主系列星になる前（星の中心部で核融合反応が始まる前）の天体の周りに降着円盤が形成されており、降着円盤を通じて中心部の星にガスが降り積もっていくが、質量降着率が急激に増大することによって突発的な増光を示すと考えられている（通常は 1 年あたり太陽質量の  $10^{-7}$  程度だが、増光時には  $10^{-4}$  程度まで増加する[6]）。この種の天体は天の川近くの HII 領域など星形成領域に多く、アマチュアの新星サーベイによってもこれまでいくつかの発見例 (V1143 Ori=菅野天体) があるほか、星雲の中やすぐ近くにあることから、鑑賞写真を撮る目的の画像から発見された例もある (M78 中に出現した V1647 Ori="McNeil's Nebula")。近年では、2010 年に板垣公一氏がペリカン星雲中に発見した V2492 Cyg (図 5) や、2014 年に小嶋正氏が発見した V960 Mon (図 6) などがある。

### 2.4 その他の現象 : V4334 Sgr (櫻井天体)

V4334 Sgr は 1996 年に櫻井幸夫氏が「新星」として発見した天体であるが、その後の分光観測からこの天体のスペクトルが通常の新星と全く異なり、水素のバルマー輝線が見られず、F 型星のようなスペクトルに多数の炭素の吸収線を示すこと、周囲に惑星状星雲 PN G010.4+04.4 が見られる (図 7) ことなどが分かり、新星ではなく太陽程度の質量の星が進化の過程で起こす「ファイナル ヘリウム シェル フラッシュ」



図 5. V2492 Cyg 左:NGC7000 付近、右上:V2492 Cyg 付近の拡大図 (DSS) 右下:V2492 Cyg 付近 (木曾シユミット望遠鏡による画像)



図 6. V960 Mon の発見画像 (小嶋正氏撮影)

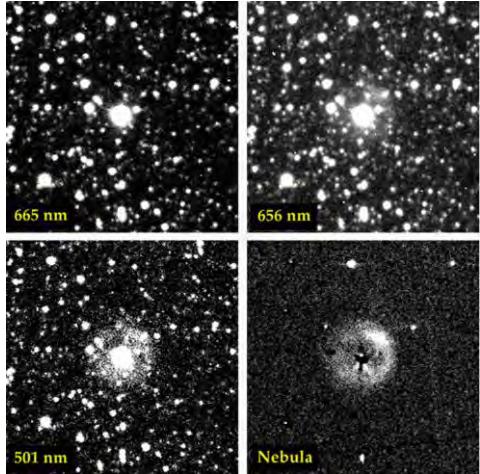


図 7. V4334 Sgr 周辺の惑星状星雲  
(<http://www.eso.org/public/news/eso9619/>)

と呼ばれる、非常にまれな現象であることが分かった[7]。これまでに銀河系内で同様の現象として発見された例は V605 Aql (1919年のわし座新星) しかない。また FG Sge も同様の天体であると考えられている。このような天体は太陽程度の質量の星が白色矮星へ進化する過程を研究する上で極めて重要な天体である。

### 3 まとめ

変光星の突発現象は特に恒星の一生の各段階でどのような現象が起こるのかを観測的に研究する上で非常に重要である。いわゆる「新天体」

の発見には該当しないが、天体物理学上は新天体の発見と同等以上の学術的価値を持つものも多い。このような突発現象を学術的な発見へ導くためには変光星の特異な挙動の情報を、検索者と研究者が共有することが極めて重要となる。TOCP にも “TCP = some other type of variable (or unknown)” というカテゴリーがあるので、新星・超新星にとらわれず、特異な挙動を示す天体を発見した場合にはすぐに報告することが望ましい。また、変光星の観測者・研究者が参加するメーリングリストとして VSNET[8]や VSOLJ ML があるので、新天体検索で変な天体を見つけた場合にはこちらにも情報提供をお願いしたい。

- VSNET の Web ページ : <http://ooruri.kusastro.kyoto-u.ac.jp/mailman/listinfo/>
- VSOLJ ML の Web ページ : <http://www.cetus-net.org/ml/>

### 参考文献

- [1] Shibata, K. & Magara, T. 2011, Living Reviews in Solar Physics, 8, 6
- [2] Warner, B. 1995, Cambridge Astrophysics Series, 28
- [3] Knigge, C., Baraffe, I., & Patterson, J. 2011, ApJ Supplement, 194, 28
- [4] Kato, T. et al. 2013, PASJ, 65, 23
- [5] Kato, T. & Osaki, Y. 2013, PASJ, 65, 115
- [6] Hartmann, L. & Kenyon, S. J. 1996, Ann. Rev. of Astron. and Astrophys., 34, 207
- [7] Duerbeck, H. W., & Benetti, S. 1996, ApJ Letters, 468, L111
- [8] Kato, T. et al. 2004, PASJ, 56, S1

# 新星シェルの構造解析に向けて～新星研究の醍醐味～

内藤博之（なよろ市立天文台）

## 共同研究者

田実晃人（国立天文台ハワイ観測所）、新井彰（京都産業大学）、  
定金晃三（大阪教育大学）、Valeiro A. R. M. Ribeiro（Radboud University）

## 概要

新星は天文学において最も長い観測史をもつ天体のひとつですが、それが近接連星系を構成する白色矮星表面上での爆発現象であることが判明したのは1950年代に入ってからのこと。未解明の問題がまだまだ残っています。2007年2月に中村祐二さん・櫻井幸夫さんによって発見されたV1280 Scoの研究紹介を交えて、新星研究の醍醐味について紹介します。

## 1 新天体搜索へのいざない

天文学は「新天体」の発見から発展してきたといつても過言ではありません。古代ギリシャの天文家、かのヒッパルコスが人類最初の天体カタログを作り始めたのも、自分が見つけた「新しい星」を見逃さないようにするためだったとも言われています。現代ではそれら「新しい星」は新星や超新星などと天体の種類が判明していますが、発見後、分光観測によって種別が同定されるまでの間は、古代の天文家たちも体験したであろうドキドキ感が味わえます。自分が発見した天体が極めて稀な天体现象だったり（例えば、櫻井天体や多胡事象）、天文学に新しい知見をもたらしたり（例えば、板垣公一さん発見の超新星2005cz<sup>1)</sup> や超新星2006jc<sup>2)</sup>、いるか座新星V339 Del<sup>3)</sup>）するケースもあり、それが新天体搜索の何よりの醍醐味だと著者は考えています。新天体搜索にはそんな大発見の可能性が秘められています。特に、天の川銀河に出現する新星の多くは日本人搜索者の手によって発見されていて、新星を研究している者としては日本人冥利に尽きます。今後、搜索者と研究者が新天体の話題で盛り上がる交流の場が増えていくことが楽しみです。新天体、探してみませんか？

<sup>1)</sup> 参照：川端弘治さんによる本集録 pp.85-90

<sup>2)</sup> 参照：山岡均さんによる本集録 pp.91-94

<sup>3)</sup> 参照：田実晃人さんによる本集録 pp.95-100

## 2 新星研究の醍醐味

新星は天文学において最も長い観測史をもつ天体のひとつですが、1950年代に入ってようやく、それが近接連星系を構成する白色矮星表面上での爆発現象であることが分かつてきました。そして、観測技術や情報ネットワークの向上はもちろんのこと、新天体搜索者と研究者の密な連携によって良質な観測データが増え、加藤万里子さん＆蜂巣泉さんによる「新星風理論」[1]と呼ばれる理論モデルも発展し、観測と理論が統計的・定量的に比較できるようになってきて、新星研究がいつそう面白い時代となりました。新星爆発機構が徐々に解明されつつありますが、新星の極めて豊富な多様性は、新星爆発のメカニズムや連星系の進化、銀河の化学進化を解明する上で重要な鍵を握っています。次節から、新星研究の醍醐味である3つのテーマをピックアップして紹介します。

- 銀河系の化学進化への寄与<sup>4) 5)</sup>
- 新星とIa型超新星の関係<sup>6)</sup>
- 新星シェルのいろいろな形

<sup>4)</sup> 田実晃人さんによる本集録 pp.95-100 もご参考ください

<sup>5)</sup> 新井彰さんによる本集録 pp.115-118 もご参考ください

<sup>6)</sup> 加藤万里子さんによる本集録 pp.119-122 もご参考ください

## 2.1 銀河系の化学進化への寄与 —新星は天然の元素合成実験室—

約138億年前の宇宙誕生時に、ビッグバン元素合成によって水素とヘリウム（あと、わずかなりチウム）が生成されました。私たちの身の回りにある炭素や酸素などの重たい元素は宇宙初期には存在せず、恒星の中心部で起こる核融合反応によって作られ、その大部分は恒星が寿命を迎える際に惑星状星雲や超新星爆発などとなって宇宙空間に放出されてきたものです。宇宙誕生から現在まで、それぞれの元素が時間とともにどのように変化してきたのかを研究する分野が「宇宙の化学進化」と呼ばれる分野で、金属量を基に天体の世代（宇宙が誕生してからの時間）を類推し、さまざまな世代の銀河や恒星の元素組成を調べ、時系列に並べることで宇宙の化学進化の研究がなされています。ひとつの恒星が各元素をどれほど生成し、どれほど放出するのか、直接調べることができたら理想です。しかし、恒星の中で合成されたであろう元素を直接観測するには、恒星が進化して内部が露わになるのを待たなければなりませんし、そもそも、観測された元素が前世代で既に作られていたものか、その天体が作ったものなのかを区別することは基本的には不可能です。そこで新星観測の出番です。

新星は白色矮星と恒星（伴星）がペアになっている近接連星系で起こります（図1）。伴星から白色矮星にガスが降り注ぎ、ある臨界量に達すると白色矮星表面上で水素ガスが燃焼して爆発し、急激な増光として観測されます。恒星内部の核融合反応と違い、核反応が白色矮星の表面で起こるため、合成された（宇宙空間に放出された）元素を直接観測することができるのであります。まさに新星は元素合成の実験室。観測された元素が短い間に崩壊する放射性同位体だったとしたら、それは紛れもなく新星爆発によって生成された元素だと考えられます。その最たる例が、V339 Delに検出されたベリリウム7です[2]。ベリリウム7は約53日の半減期で電子捕獲崩壊し、リチウム7に変化します。銀河系内にリチウムを供給している天体（新星）が初めて直接的に突き止められたのです。また、新星爆発では、炭素や酸素など白色矮星に由来する成分が多量に放出されることも知られています。新星爆発でそれぞれの元素がどのくらい生成・放出されるのか。そして新星が天の川銀河でどのく



図1：回帰新星 RS Oph の想像図 (David A. Hardy & PPARC)。RS Oph の場合、赤色巨星である伴星から白色矮星へガスが降り注ぎ、新星爆発が起きる。

らいの頻度で出現するのか。それら難しい問題に取り組み、精確な物理量の導出を目指すことによって、銀河系の化学進化の研究が大きく進展すると期待されます。

## 2.2 新星と Ia 型超新星の関係 —新星の探し方行く末—

白色矮星と伴星からなる近接連星系は、さまざまな爆発現象を引き起します。新天体の代表格である矮新星<sup>7)</sup>、新星（古典新星、回帰新星）、Ia型超新星はそのようなペアの連星系が起源だと考えられています。古典新星と回帰新星は同じメカニズムで起こる爆発ですが、観測された回数が異なります。古典新星は爆発が確認されたのが1回きり。一方、回帰新星は何度も（2回以上）新星として観測されたものを言い、反復新星と呼ばれることもあります。Ia型超新星はと言うと、ガスが降り積もって白色矮星の質量が増し、チャンドラセカール質量（ $1.4 M_{\odot} : M_{\odot}$  は太陽質量を表す）付近まで達すると、白色矮星中心で炭素の核反応が暴走し、全体がこっぱみじんに爆発します。

<sup>7)</sup> 伴星からガスが流れ出すと、白色矮星のまわりに降着円盤が形成されますが、その降着円盤が熱的不安定となり、アウトバーストを起こして増光するのが矮新星です。

ここで注目したいのは、新星と Ia 型超新星の関係です。古典新星（または回帰新星）になるか、Ia 型超新星になるかは、白色矮星に降り積もるガスの降着率や白色矮星の質量に関係しています [3]。新星と Ia 型超新星を分ける降着率の境界は  $10^{-7} M_{\odot}/\text{yr}$  (1000 万年で太陽 1 個分が増える割合に相当) くらいです (新星は降着率が低く、Ia 型超新星は高い)。複数回観測される新星（つまり回帰新星）は、ガスの降着率が比較的高く、その上白色矮星自体も比較的重いために、臨界量に達しやすく、よって爆発の頻度も高くなる傾向があるのです。さらに、回帰新星は Ia 型超新星の候補天体として注目されています。ふつうの新星は（白色矮星成分の炭素や酸素が多量に観測されるものは）爆発の度に白色矮星は質量を失って軽くなっていくと考えられていますが、回帰新星はその放出物質に白色矮星成分が顕著に観測されていないことから、爆発の度に白色矮星が重くなっている可能性が示唆されています。もし回帰新星爆発を起こしてもなお、白色矮星が質量を獲得していたとしたら、いずれは Ia 型超新星となって爆発するでしょう。この進化経路は有力な Ia 型超新星モデルとして大注目なのです。天の川銀河には RS Oph や U Sco など注視すべき回帰新星はありますが、アンドロメダ銀河にはなんと 1 年周期で爆発する回帰新星：M31N 2008-12a も見つかっています。本当に超新星になるのか、これら回帰新星からは目が離せません。

### 2.3 新星シェルのいろいろな形 —爆発機構の鍵を握るシェルの多様性—

新星の中には爆発後十分な時間が経過して広がり、新星残骸として観測されるものがあります。その形状は惑星状星雲のように、球対称のものもあれば、双極流的なものまで多様性に富んでいます（図 2）。惑星状星雲は（重力崩壊型超新星として爆発しない）数  $M_{\odot}$  程度の恒星がその寿命を迎えて大量に質量放出をしている姿ですが、その形状は単独星として進化したものか、連星系として進化したものか、が重要なファクターとなっているようです。一方、新星残骸の場合、連星系が起源であることは明白ですので、新星シェルの形状は別の要因で作られていると考えられます。人類が観測可能な時間尺度で進化する新星は、惑星状星雲や超新星残骸など質量放出に関連する諸

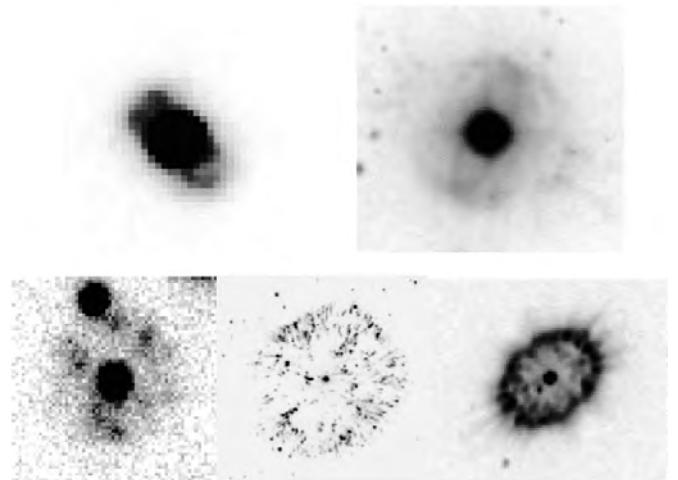


図 2: いろいろな形の新星残骸 [4]。左上から時計回りに HR Del ([O III])、RR Pic (H $\alpha$ /[N II])、DQ Her (H $\alpha$ )、GK Per ([N II])、V1500 Cyg (H $\alpha$ )。カッコ内は観測バンド。

天体の物理の検証の場として重要な役割を担っていますし、新星シェルの多様性は爆発モデルに直結するヒントを含んでいるはずです。次章では、V1280 Sco の研究成果を交えて、新星シェル構造研究の新しいアプローチについて紹介します。

## 3 肉眼新星 V1280 Sco

### 3.1 V1280 Sco は極めて遅い新星

V1280 Sco は 2007 年 2 月 4 日（世界時）に中村祐二さん・櫻井幸夫さんによって発見された古典新星（肉眼新星になりました）です。私たちは 6 年間という長期に渡る測光観測を実施し、(a) V1280 Sco が極めて長い時間をかけて減光すること、(b) 光度曲線に 1500 日以上に及ぶ停滞期間があることを明らかにしました（図 3）。さらに長期に渡る分光観測から(c) 酸素の 2 階電離輝線 [O III]  $\lambda\lambda 4959, 5007$  の出現時期で定義される星雲期への移行におよそ 50 ヶ月という時間を要したこと（今まで最も長かった記録は新星 V723 Cas の約 18 ヶ月）、(d) 極大後 1500 日以上に渡って星風が吹き続けていること、(e) 過去の新星観測では数日から数週間で消失する Na I D 線や Ca II HK 線の低励起ガス雲を起源とする吸収線が、

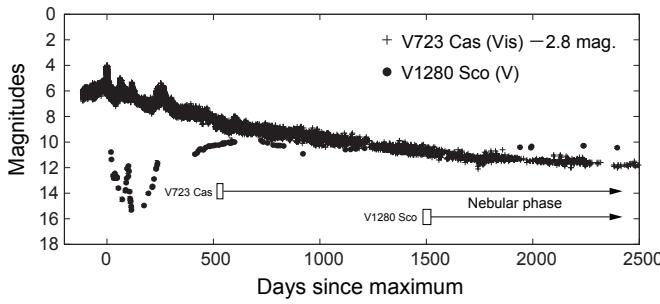


図 3: 遅い新星 V1280 Sco と V723 Cas における光度曲線と星雲期の比較。V1280 Sco は V723 Cas に比べて、ゆっくりとした減光を示し、星雲期に入るのも遅かった [5]。

V1280 Scoにおいては数年以上（少なくとも 2012 年まで）観測されることを明らかにしました。これらの観測結果により、V1280 Sco が極めて進化の遅い新星であることを突き止めたのです [6]。白色矮星の質量と新星の進化速度、極大の明るさには相関があることが知られており、V1280 Sco が極めて軽い ( $0.6M_{\odot}$  以下の) 白色矮星で起こった新星爆発であると結論づけました。肉眼で見えるまで明るくなった理由は、 $10^{-3} - 10^{-4} M_{\odot}$  という大量の降着ガスが溜まった末に、爆発を起こしたからだと考えています。

### 3.2 新星シェルの構造解析に向けて

私たちはさらに、すばる望遠鏡高分散分光器 (HDS) の観測から V1280 Sco に重要な発見をしました。それは  $-650 \text{ km/s}$  から  $-900 \text{ km/s}$  までの速度で青色遷移する複数の吸収線群の検出です (2.1 節で述べたベリリウム 7 も、そのような高速吸収成分から見つかったものです)。Na I や Ca II に加えて、準安定ヘリウム原子 (He I\*  $\lambda 3188, \lambda 3889$ ) 起源の吸収線を発見し、それらの出現・消滅を調べることで、新星シェルにおける視線方向の電離状態を時間的・空間的にトレースすることができるようになりました。さらに干渉計を用いた観測によって投影面の超高解像度画像を得ることで、新星シェル構造を 3 次元的に解析することが可能となります (図 4)。He I\* の吸収線を利用した解析は過去の新星研究ではなく、新しいアプローチです。今後、新星シェル構造の研究を

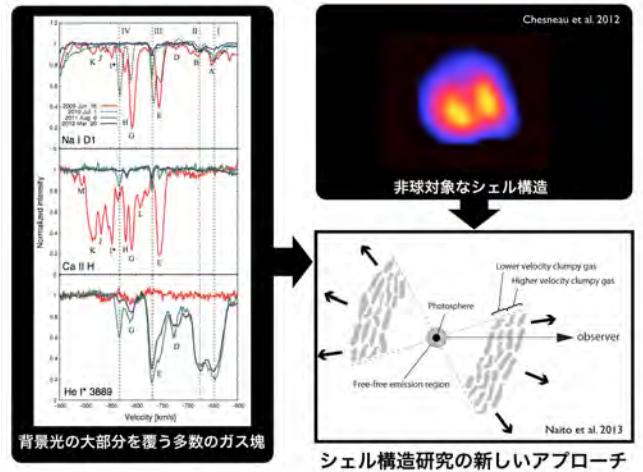


図 4: V1280 Sco の新星シェル (右下)。高空間分解能観測 (右上) [7] と高分散スペクトル (左) [8] を組み合わせることで、3 次元的に新星シェル構造を解析できる。

通じて、新星爆発機構の解明に迫っていきたいと考えています。

### 参考文献

- [1] Hachisu, I. & Kato, M. 2001, *ApJ*, **558**, 323
- [2] Tajitsu, A., Sadakane, K., Naito, H., et. al 2015, *Nature*, **518**, 381
- [3] Hachisu, I. & Kato, M. 2006, *ApJS*, **167**, 59
- [4] Bode, M. F. 2002, Proceedings of the Conference "Classical Nova Explosions", 497
- [5] Naito, H., Proceedings of the Conference "The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects - II ", 217
- [6] Naito, H., Mizoguchi, S., Arai, A., et. al 2012, *A&A*, **543**, A86
- [7] Chesneau, O., Lagadec, E., Otulakowska-Hypka, M., et al. 2012, *A&A*, **545**, A63
- [8] Naito, H., Tajitsu, A., Arai, A., & Sadakane, K. 2013, *PASJ*, **65**, 37

# 窒素・酸素の同位体から探る新星の元素合成: 新星は太陽系の原料供給源か?

新井彰・河北秀代(京都産業大学)・藤井貢(藤井黒崎天文台)

## 1. 研究背景・目的

### 1.1 新星は太陽系の原料になったのだろうか?

新星が爆発したときに放出されるガスやダスト粒子は、超新星やAGB星、炭素星の放出物と同様に星間物質となって銀河系内に供給されている。最近では<sup>7</sup>Li(リチウム)が新星から大量に放出されていることが分かり(Tajitsu et al. 2015, Nature, 518, 381; Izzo et al. 2015, ApJ, 808, 14)、ビッグバン以降どのように<sup>7</sup>Liが宇宙に供給されてきたのかを解き明かすヒントになると期待されている。さらに、新星では爆発時の熱核暴走反応によって1億度以上とい

う高温条件下が実現することによりhot-CNOサイクルによる核融合反応が生じ、他の天体では作られにくい<sup>15</sup>N, <sup>13</sup>C, <sup>17</sup>Oなどの同位体(原子核に含まれる中性子の個数が異なる)が生成されると考えられている(Jose and Hernanz, 1998, ApJ, 494, 680; Denissenkov et al. 2014, MNRAS, 442, 2058)。

新星は放出ガスの総質量という点では超新星やAGB星と比較して数百~数千分の1ほどしかないマイナーな存在ではあるが、これら一部の同位体元素は新星で起こる高温の核融合反応によって効率よく生成されるため、他の天体ではあまり作られにくく、特に<sup>15</sup>Nは新星が主たる供給源であると考えられている。

様々な天体现象の結果、放出される物質は分子雲に取り込まれ次の世代の太陽系の材料になったであろう。では太陽系を形成した分子雲はどんな天体の放出ガスを取り込んで形成されたのか?新星は太陽系の原料となったのか?という疑問が湧く。これらの問い合わせる鍵となるのが、次に紹介するプレソーラー粒子と分子吸収線の観測である。

### 1.2 プレソーラー粒子に刻まれた起源天体の痕跡

プレソーラー粒子とは、太陽系が形成される以前から存在した個体粒子のことであり、太陽系の素になった物質である。隕石中に発見されるプレソーラー粒子は、他の個体粒子とは大きく異なった同位体組成比を示す。図2は、プレソーラー粒子の窒素・炭素の同位体組成比の分布を示したものである。前節で述べたように新星の放出物は<sup>13</sup>C, <sup>15</sup>Nが多く含まれると考えられる。そのため、図2の同位体比分布図の左下に分布するプレソーラー粒子は、新星をルーツとする可能性が高い(Jose et al. 2004, ApJ, 612, 414)。この<sup>12</sup>C/<sup>13</sup>Cおよび<sup>14</sup>N/<sup>15</sup>Nの同位体組成比を新星の観測から決定することができれば、プレソーラー粒子の分布と観測を直接比較することができ、

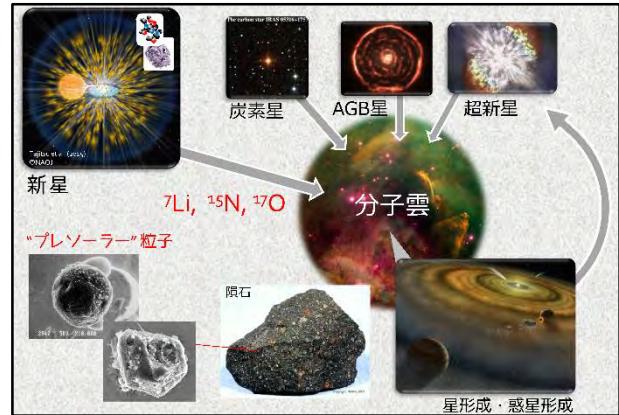


図1: 新星と銀河系の物質循環

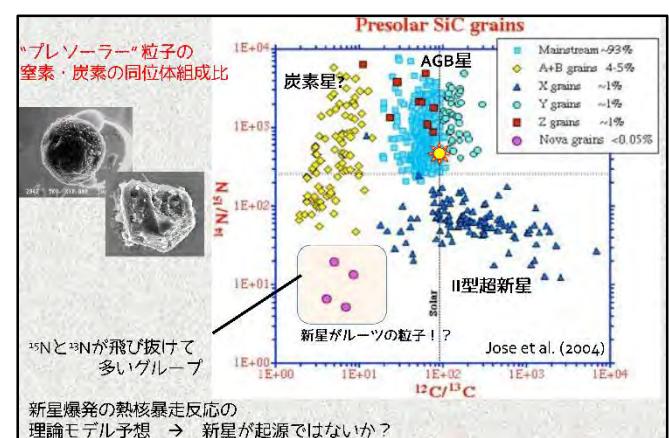


図2: プレソーラー粒子の窒素・炭素の同位体組成比  
<sup>14</sup>N/<sup>15</sup>N, <sup>12</sup>C/<sup>13</sup>Cがともに小さい領域(グラフの左下の紫の点)にあるのが、新星を起源とすると推定されているプレソーラー粒子。中央付近の太陽マーク(\*)は、太陽の同位体組成比を示す。

新星が本当に太陽系の素となったのかどうかを確認できるだろう。さらには、新星の熱核暴走反応時の元素合成を予想する理論モデルを検証できるようになると期待される。

### 1.3 分子観測から探る同位体組成比

ここまで述べてきたように窒素や炭素の同位体組成比が新星の分光観測から直接決定できれば様々なことが分かりそうである。しかし、新星のスペクトルから窒素や炭素の同位体組成比を調べることは容易ではない。残念ながら  $^{14}\text{N}$  と  $^{15}\text{N}$  から放出される原子スペクトル線の間の波長の違い（同位体シフト）は極めて小さく、高分散分光でも窒素や炭素の原子の同位体スペクトルを見分けることが難しい。そこで分子のスペクトルを利用することになる。分子は原子と同じ電子のエネルギー準位の他に、振動・回転によるエネルギー準位を持つ。

分子の振動スペクトルは分子を構成する同位体の組み合わせに応じて大きく波長がシフトする。可視・近赤外線では  $\text{C}_2$ ,  $\text{CN}$  分子の振動遷移による放射を観測することができる。図 3 は  $\text{C}_2$  ( $\Delta v = -1$  遷移) のモデル吸収スペクトルである。このような同位体シフトの大きい分子スペクトルなら低分散分光器（分解能数百）でも調べることができる。

### 1.4 新星における分子の検出例

ここで、これまでの新星における  $\text{CO}$ ,  $\text{CN}$  分子の検出例を簡単にまとめておく。 $\text{CO}$  分子は比較的高頻度で検出されてきた。これまでの検出例は面白いことに全てダストを生成した新星ばかりであり、新星のダスト形成と  $\text{CO}$  分子生成には深い関係があると考えられている。近年は、近赤外線分光の精力的なモニター観測を実施しておいるインドのマウントアブ赤外線天文台のグループが  $\text{CO}$  分子輝線の観測を行い、複数の新星の  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  を推定している (e.g. Banerjee and Ashok 2012, BASI, 40, 243 など)。一方、 $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$  を求めるうえで非常に重要な  $\text{CN}$  分子は、1934 年の古典新星  $\text{DQ Her}$  の極大光度直後に検出された 1 例のみであった (Antipova et al. 1969, Soviet Astronomy, 13, 288)。1975 にそのデータを用いての窒素・炭素の同位体組成比の上限値が報告されている (Sneden and Lambert 1975, MNRAS, 170, 533)。しかしそれ以降  $\text{CN}$  分子の検出例はなく、新星の窒素同位体比の観測的研究に進展はなかった。そのような状況の中、私たちの研究グループは 2012 年に見つかったへびつかい座新星を観測し、新星では 78 年ぶりに  $\text{CN}$  を検出し、同時に新星初となる  $\text{C}_2$  分子の吸収線を検出した (Nagashima et al. 2014, ApJL, 780, 26; Nagashima et al. 2015, AcPPP, 2, 212)。

### 1.5 V2676 Oph の初期の分光観測と、 $\text{CN}$ , $\text{C}_2$ の検出

$\text{V2676 Oph}$  (へびつかい座新星 2012) は、2012 年 3 月 25.8 日 (UT) に西村栄男氏によってへびつかい座に発見された新星である (CBET 3072)。この新星の光度変化を図 4 に示す。 $\text{V2676 Oph}$  は 12.1 等で発見されたのち、約 1 等の振幅を伴う光度変化を見せた。そして発見から 95 日目に可視光で急激な減光を起こした。この

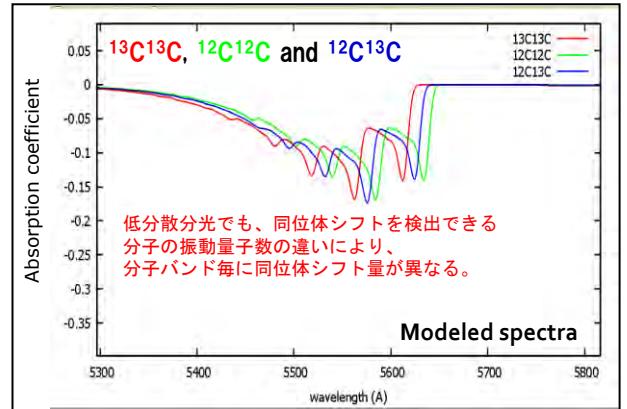


図 3:  $\text{C}_2$  分子の同位体シフト（モデルスペクトル）

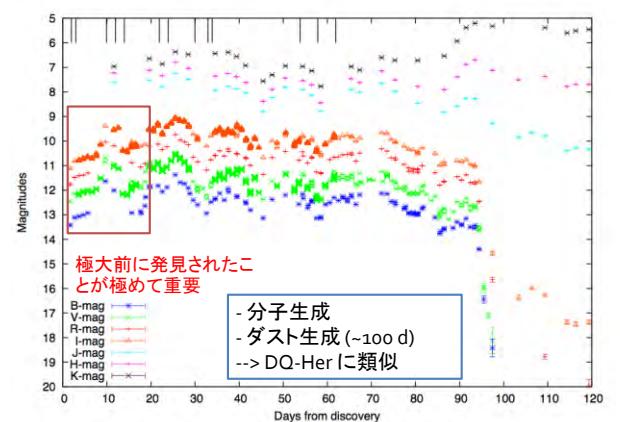


図 4: V2676 Oph の光度曲線と特徴

横軸は発見からの日数で縦軸は実視等級を示し、上部の縦棒は分光観測を実施した日を示す。95 日以降の可視バンドの減光はダスト生成による吸収による。

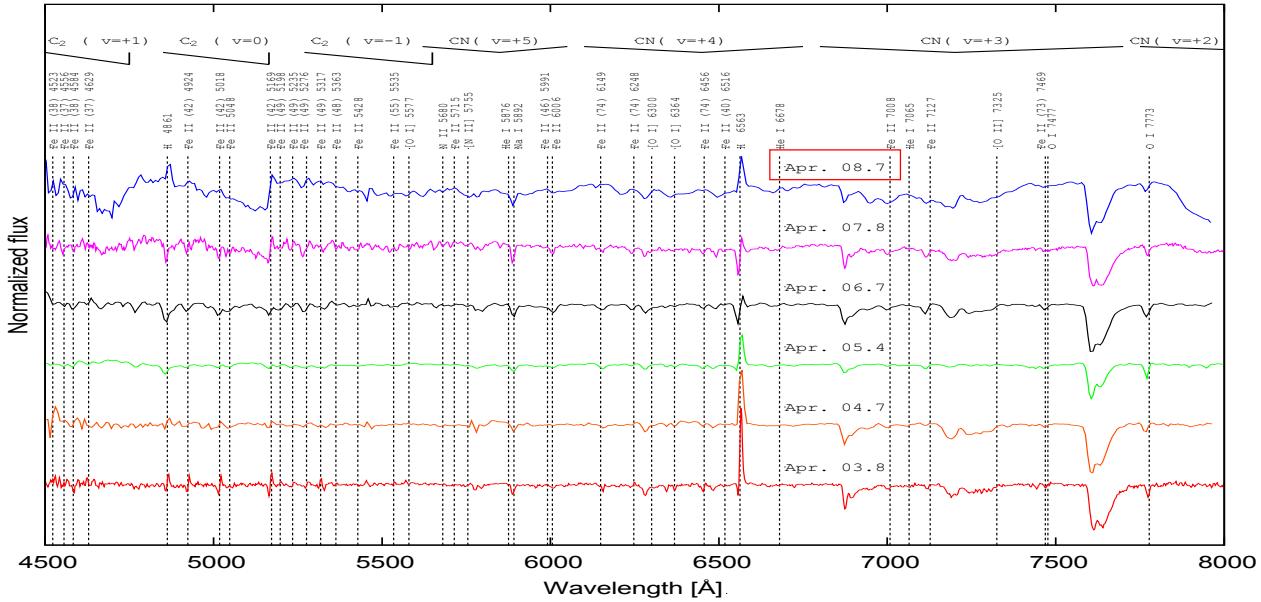


図 5: V2676 Oph の初期の可視低分散スペクトル。図には京都産業大学と藤井黒崎天文台で得られたものである。図の上から 2 つのスペクトルに  $C_2$  と CN の分子吸収が検出されている。一番上の 4 月 8.7 日のスペクトルには、強い吸収バンドが検出されている。

可視減光に伴い近赤外線( $J, H, K$  バンド)の光度が増加したことから、V2676 Oph の放出物でダストが形成されたと考えられている。ダストを生成する新星は極大光度周辺ではゆっくりとした光度変化を示すこと多く、そのほとんどは軽い CO 白色矮星で生じた新星爆発であろうと考えられている。V2676 Oph の光度変化やダスト形成を起こした特徴は CN 分子が発見された DQ Her (1934) と非常によく似ている。我々は京都産業大学と藤井黒崎天文台で発見直後からこの天体の追跡分校観測を実施した。

## 2. 結果と議論

### 2.1 スペクトルの時間変化と $C_2$ と CN の検出

V2676 Oph の極大光度周辺のスペクトルの変化を図 5 に示す。そのスペクトルの時間変化は非常に興味深いものであった。発見直後は強いバルマー線と Fe II 線が P-Cyg プロファイルを示す典型的な新星のスペクトルであったが、徐々に輝線強度が弱くなり、4 月 5.4 日(UT)ごろから吸収線が強くなった。そして 4 月 7.8 日(UT)には 5000Å—5200Å のあたりに  $C_2$  が、4 月 8.7 日(UT)には  $C_2$  と CN が同時に検出された(図 6)。4 月 8.7 日(UT)の分子の出方は炭素星 TX Psc と比較するとその様子がわかりやすい。新星で CN が検出されたのは DQ Her 以来実に 78 年ぶりのことであり、 $C_2$  においては史上初の検出であった(Nagashima et al. 2014, 2015)。また、これらの分子バンドの波長のズレ(ドップラーシフト)は他の吸収線のものと一致していることから、新星の放出外層中で分子が形成されたことを示していた。こうして得られた 4 月 8.7 日の CN,  $C_2$  分子のバンド吸収スペクトルから、CN ( $^{12}\text{C}^{14}\text{N}$ ,  $^{12}\text{C}^{15}\text{N}$ ,  $^{13}\text{C}^{14}\text{N}$ ) と  $C_2$  ( $^{13}\text{C}^{13}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}^{12}\text{C}$ ,  $^{12}\text{C}^{12}\text{C}$ ) 分子の同位体シフトを利用して各同位体の存在比率が

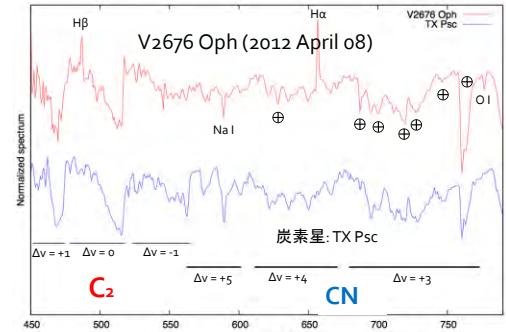


図 6: V2676 Oph の分子検出時のスペクトルと炭素星 TX Psc のスペクトル

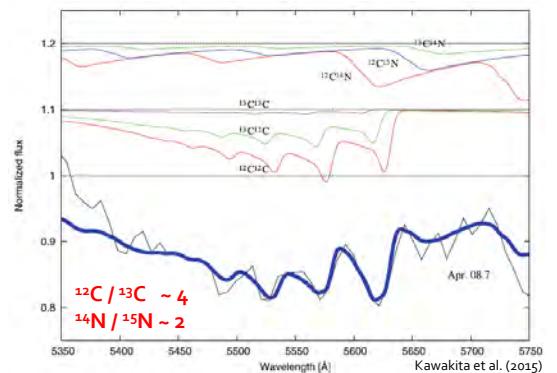


図 7:  $C_2$ , CN 分子バンドのモデルフィッティング

推定でき、私たちは  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} \sim 4$ ,  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N} \sim 2$  という結果を得た(Kawakita et al. 2015, PASJ, 67, 17)。図 7 は観測データとモデルスペクトルを重ねた様子である。この分子検出の約 1 週間後のスペクトルにはこれらの吸収線は消えており輝線ばかりのスペクトルに変化していた。

## 2.2 プレソーラー粒子・元素合成モデルとの比較

V2676 Oph の CN, C<sub>2</sub> 分子スペクトルから得られた窒素・炭素同位体比の値をプレソーラー粒子や、新星の元素合成の理論モデルのものと比較する。図 8 は窒素・炭素の同位体組成比のマップである。今回の私たちの推定値は青い円で示している。プレソーラー粒子の同位体比は、赤い点円に位置する。我々の V2676 Oph の同位体比は少し離れているが、プレソーラー粒子の値に近いことがわかる。これは新星が太陽系の原料であることを観測的に初めて確認した結果であり、すぐに論文として報告された (Kawakita et al. 2015)。

次に熱核暴走反応のモデル (Denisenkov et al. 2014) の計算結果と比較した。私たちの推定値は CO 白色矮星 (白色矮星の質量は  $1.15\text{M}_\odot$ ) の高温な熱核暴走反応によって生成される窒素・炭素の同位体組成比とほぼ一致する。しかしこれには重大な矛盾がある。理論モデルは V2676 Oph の白色矮星質量はかなり重たい ( $1.15\text{M}_\odot$ ) ことを示しているが、V2676 Oph の白色矮星はもっと軽いと考えらえる。上述のとおり V2676 Oph はゆっくりとした光度変化を見せ DQ Her とよく似ていた。DQ Her の白色矮星質量は連星運動の観測から手堅い方法で推定されており  $0.6\text{M}_\odot$  と求められている (Horne, Welsh & Wade 1993, ApJ, 410, 357)。この DQ Her の白色矮星質量は「白色矮星質量が小さいほどゆっくりした光度変化を示す」という新星の光度変化の基本的な理論と矛盾しない。観測的特徴が DQ Her とそっくりの V2676 Oph の白色矮星は、それと同じくらい軽いものと考えるのが妥当である。この矛盾を解決するためにも観測サンプルを増やし、新星の元素合成理論のモデルと比較・議論を進めていく必要がある。

さらに、最近 Kaminski 氏らが電波観測によって過去の新星 CK Vul (1670) の残骸の窒素・炭素同位体比を求めた (Kaminski et al. 2015, Nature, 520, 16)。CK Vul の同位体比は図 8 のオレンジの円で示しており、こちらもプレソーラー粒子の値に近いと言える。彼らは CK Vul の酸素の同位体比が新星の元素合成モデルの値と大きく異なることから、CK Vul は古典新星ではなく 2 星の合体による増光 (恒星マージャー) なのかもしれないと指摘している。もし彼らの指摘が正しいならば新星と恒星マージャーの両方がプレソーラー粒子の起源候補となり、太陽系の素となった分子雲はより多様な天体を起源としたことを意味する。

## 2.3 さらなる新星の分子検出に向けて

V2676 Oph の分子検出以来、私たちは主に京都産業大学、藤井黒崎天文台、西はりま天文台、すばる望遠鏡、バンドン工科大学（インドネシア）を結ぶネットワークを作り、光度変化やスペクトルの特徴が似ている新星を追跡観測してきた。しかし今のところまだ V2676 Oph 以外の新星で CN, C<sub>2</sub> 分子は検出できていない。いまだ謎の多い新星の分子生成は、検出自体が難しいが、私たちに太陽系の起源天体や、新星の核融合についての大きな知見をもたらしてくれるに違いない。DQ Her, V2676 Oph の分子検出の経験から得られる確かなことは、極大後の約 2 週間の集中的な測光・分光モニター観測が CN や C<sub>2</sub> といった分子を検出するためには極めて重要である、ということである。今後も新星の発見、そして発見直後から迅速な追跡観測（測光・分光）をされているアマチュアの皆様にご協力を仰ぎ、さらなる分子の検出を目指したい。

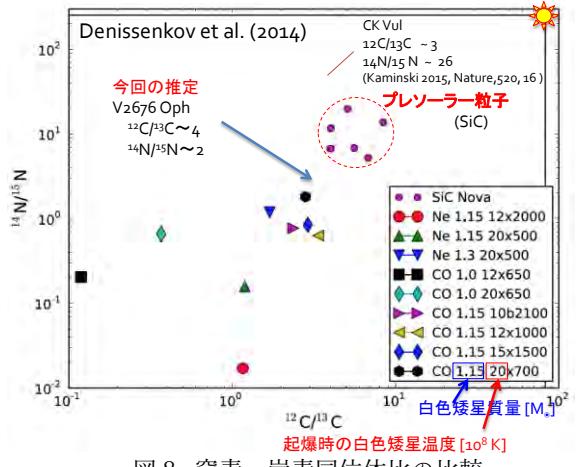


図 8: 窒素・炭素同位体比の比較

# 新星と Ia 型超新星の観測をお願いします！

加藤万里子（慶應大学）

## 1. いろいろな新星

新星は近接連星系のなかの白色矮星が急に明るく光りかがやく現象である。伴星から白色矮星の表面に水素ガスが降りそそぎ、積もったガスの量がある臨界値を越えると、水素の殻燃焼が不安定になり、急に激しい核燃焼が始まる。水素ガスは大きくふくれて急に明るくなる。

可視光がピークに達する前後から、はげしい質量放出が起こり、ガスは連星系の外へ出していく。ガスの密度が下がるために、内側がすけてみえるようになり、光球面はしだいに内側に移っていく。そのため光球温度が高くなり、可視光のピークの後は紫外線で明るくなり、最後は超軟 X 線で明るくなる。新星爆発が終るころには水素外層の大部分が失なわれる。水素の殻燃焼が終ると、星は暗くなり、新星爆発は終る。そして連星系は爆発前の状態（質量降着する白色矮星と伴星）に戻る。

多くの場合、伴星は主系列星で、ロッシュ・ロープを満たしているために表面のガスが少しづつ流れだし、白色矮星の上にふりつもる。最近は伴星が赤色巨星である新星がいくつも見つかってきた。赤色巨星のばあいには、ガスがどのように白色矮星にふりそそぐのか（平らな円盤をつくるのか）よくわかっていない。

新星の減光の早さは、白色矮星の重さと飛びちるガスの元素組成で決まる。（Kato & Hachisu 1994）。白色矮星が重いとガスが少しどもっただけで水素の不安定殻燃焼がおこるので、ガスは早くふきとばされ、fast nova となる。軽い白色矮星では、光度変化がゆっくりして、膨張速度も遅い slow nova となる。だいたい moderately fast nova が  $1.0 M_{\odot}$  くらいに対応し、それより早い新星は重く、遅いものは軽い。

図 1 にはいろいろな新星の光度曲線示した。速い順に左から並べてある。水平線はいろいろな球状星団の明るさで、新星のピークは球状星団の明るさに匹敵することがわかる。一般に速い新星ほど明るい。光度曲線解析で理論と観測データを合わせて白色矮星の質量を決めると、V1500 Cyg は  $1.2 M_{\odot}$ 、V1668 Cyg は  $0.98 M_{\odot}$ 、V723 Cas と V5558 Sgr は 0.5 から  $0.55 M_{\odot}$  程度、M31N 10-10f は非常に重くて  $1.37 M_{\odot}$  程度である（ここで  $M_{\odot}$  は太陽質量）。

新星の早さをきめる第二の要因はガスの元素組成である。slow nova や回帰新星などは、飛び散るガスの組成が太陽組成に近いが、普通の古典新星では、ガスの中に炭素や酸素、ネオンが含まれている。これは爆発の時に白色矮星の表面が少しけずれて混ざったものと考えられる。つまり新星爆発を繰り返すたびに、白色矮星はしだいに軽くなる。回帰新星（U Sco など）では飛び散るガスの組成に CONe の増加がないので、白色矮星がしだいに重くなっていると考えられている。（U Sco, T CrB, V394 CrA などは質量が  $1.38 M_{\odot}$  とチャンドラセカール質量ぎりぎりに重い）。

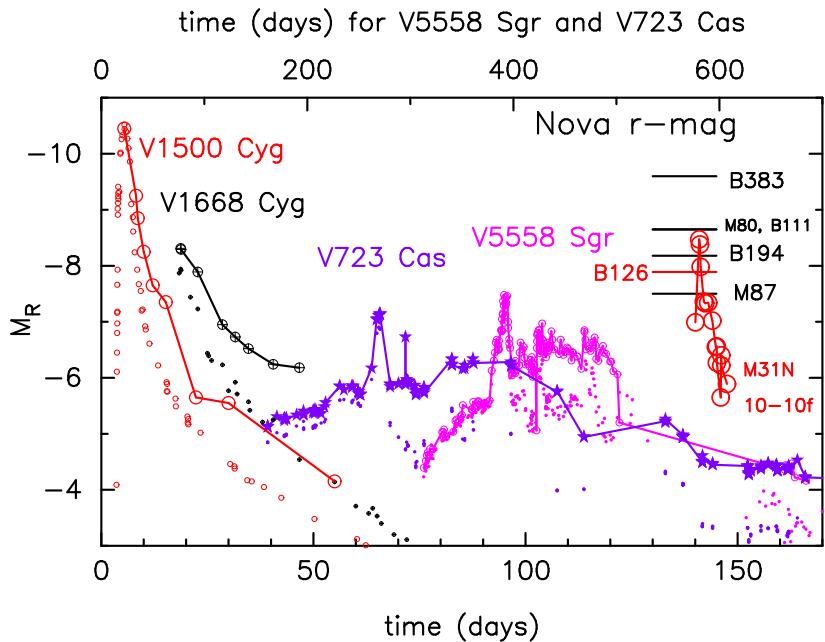


図 1: いろいろな古典新星の光度曲線。左から、非常に速い新星 V1500 Cyg (superbright nova)、速い新星 V1668 Cyg、遅い新星 V723 Cas と V5558 Sgr。実線で結ばれたデータは  $R$  等級で、下側にある同じ色の点は  $V$  等級。右側の赤い○印は M31 の球状星団 (Bol 126) に出た新星 (M31N 10-10f) の  $R$  等級の光度曲線 (Henze et al. 2013, 549, 120)。水平線は球状星団の明るさで、新星のピークの明るさは球状星団の明るさとほぼ同じであることがわかる。(図の出典 : Kato, Hachisu, & Henze, 2013, ApJ, 779:19)

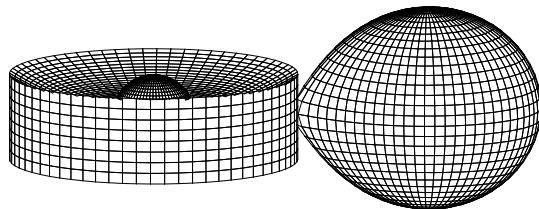


図 2: 回帰新星 U Sco の想像図。連星周期が 1.23 日の近接連星系。右の伴星は、主系列星からわずかに進化し、半径が膨れてロッショロープを満たしているため、形がゆがんでいる。左は白色矮星で、降着円盤に埋もれて見えない。新星爆発が起こると、白色矮星の表面のガスが大きくふくれて飛び散り、連星系全体を覆い隠してしまう。その後ガスが透けてくるので、伴星や降着円盤が見えてくる。(図の出典は Hachisu et al. ApJ, 2000, 528:L97)。

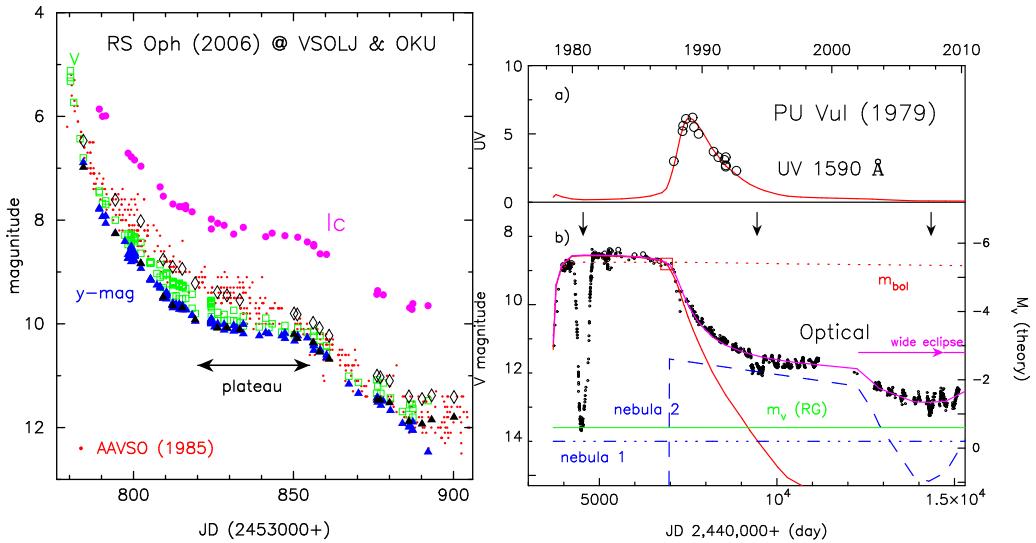


図 3: (左) 回帰新星 RS Oph の光度曲線。V バンドが緑の□、y バンドが青い▲。なかほどの平らな部分 (plateau) は回帰新星によくみられるもので、降着円盤が照らされて光っているために明るいと解釈される。(図の出典 : Hachisu et al. (2006) ApJL, 651, L141, 共著者には清田さんや大阪教育大の学生さんたちも含む) (右) 遅い新星 PU Vul (本田・桑野天体)。下側の黒点が可視光データで、食が 3 回観測されている(下向きの矢印)が、最初の食がもっとも深く、2 度目と 3 度目の食は浅い。1990 年ごろに紫外線のピークがあり、新星であることが確立した(上の図)。(図の出典 : Kato et al. 2012, ApJ, 750:5)

図 3 (左) には、回帰新星 RS Oph のいろいろな波長の光度曲線を示した。アマチュア天文家はじめ全国の天文台の協力で、きれいな y 等級のデータが得られている。RS Oph は伴星が赤色巨星で白色矮星と離れているため、白色矮星のまわりにある円盤が大きい。新星爆発の後期で、白色矮星の光球面の温度が高くなり可視光で暗くなってしまっても、円盤の照り返しがあるので可視光でまだ明るく光る。それが水平の矢印の部分(プラトー)である。プラトーの終りは水素の核燃焼が終る時期に対応しているので、このようにくっきりとプラトーの終りが検出することができると、理論との比較をする上で大変貴重なデータとなる。

図 3 (右) はおそい新星 PU Vul で、1979 年に本田さんと桑野さんにより発見されて以来、8 年もの間、平らなピークが続いた(食の期間をのぞく)。初期の光度曲線があまりにも変わっていたため、この間、食かどうかも含め、新星かどうかの議論が長く続いた。1990 年に減光がはじまり、その時 IUE 衛星で紫外線が観測され、ようやくこの天体が新星であることが確かめられた。この天体も伴星が赤色巨星で、2 度目の食あたりから、伴星の脈動による変光があらわれている。(この図ではわからないが、最初の食の部分を拡大するとその期間にも伴星の脈動が見える。詳しくは Kato et al. 2012)。残念なことに y 等級のデータがないため、加藤の光度曲線(下の図の赤線)とはあわせることができなかったが、可視光と紫外線の詳しい観測データがあったので、白色矮星の質量やガスの飛び散り方の他に、

連星系には高温ガスがあること(図の nebula)なども推測できた。

## 2. 新星理論の応用—Ia型超新星と回帰新星

現在学界を二分して論争になっている Ia 型超新星の起源には、SD 説と DD 説がある。SD 説は連星系の片方の星が白色矮星で、伴星から質量を降着し、しだいに重くなってチャンドラセカール質量限界に達し、爆発するという説。DD 説では 2 つの白色矮星からなる連星系でしだいに軌道が小さくなり、白色矮星が合体して爆発するというものである。このうち SD 説は新星風理論と密接な関係がある。新星風は新星のような不安定核爆発の時だけに起こるのではなく、ある条件を満たせば質量降着率の大きな白色矮星で起こり得る。Hachisu et al (1999 a,b) は、白色矮星が降着円盤から質量を降着し、同時に極方向から wind が出るプロセスを連星系の進化理論に組み込み、新しい連星系の進化のストーリーを作った。これが SD 説で、連星系がどのようにして Ia 型超新星に至るかを説明する理論である。

この理論で連星系の初期質量や軌道周期を仮定し、いろいろな連星系の進化を追っていくと、あるものは白色矮星がすくすく重くなつて超新星になるが、他の連星系では、途中までは白色矮星が重くなるが、あるところから新星爆発を繰り返して逆に白色矮星の質量が減ってしまうものもある。回帰新星は、白色矮星が非常に重くなつた段階で起こる現象で、超新星爆発を直前の連星系であると考えられる(直前といつても天文学のことなので 1 万年以上)。こういう連星系が爆発すると、Ia 型超新星のごく初期に、爆発物質が伴星とぶつかった衝撃による小さな増光がみられる可能性がある。そういうものが多数観測されれば、SD 説を支持する証拠となる。

## 3. おわりに

新星や超新星の研究はアマチュア天文家の貢献で大きく進展してきた。特に日本のアマチュア天文家の活躍は世界でも評価が高い。新星の密なデータは光度曲線解析で白色矮星の質量を決める重要な手がかりになり、研究を定量的にすすめる上で大変重要である。アマチュア天文家のみなさんの今後の観測をいっそう期待しています。

## クロージングセッション

内藤：今からクロージングセッションに移ります。20分間、11時35分までということで。検索者の方と研究者の方が一堂に会していますので、そこでできる話ができたらと思います。この会議を振り返りながらいきたいと思いますが、1日目は紹介セッションということで、4名の方に講演いただきました。そういえば1日目は本当に天気が悪くて、皆さん色々な手を駆使して駆けつけていただいて、2日目以降のセッションが正常にできました。皆さんありがとうございました。1日目はちょっと順番が入れ替わっていますけれど、紹介セッションがあり、検索セッションがありました。僕の個人的な提案が多いのですが、ひとつ気になっているのが、国立天文台の対応、ということで検索される方も特に気になると思いますが、(1) 新天体を発見したらどこに報告するのがいいのか、ということを議論したいと思っています。次に2日目、フォローアップセッションですね。なんか広島大関係者ばかりという感じがしますけれども、フォローアップは広島大学が中心となってやっていただいている。連携セッションということで関口先生の招待講演を皮切りに、諸隈さん、渡辺さん、吉川さんに連携セッションで講演していただきました。公開セッションとしては一般の方にもわかりやすいお話をいただきました。ここで気になるのが(山岡さんの)「天体の名前はどうやってつけられるの?」。最近、超新星の符号がつかないことが個人的にも気になっていますし、今回の会議で、皆さんも同じような考えを持っていることを感じました。板垣さんが発見した100個の超新星Tシャツのデザインに、まだP(possible: 超新星候補天体)のものがあります。これをどうにかしたい。Possibleが無くなったデザインに変えたいと思っていますので、後で符号問題と勝手に名付けましたが、それを少しお話というか、(2) この符号問題に対して私たちにできることは何かを議論したいと思います。次のセッションでは、板垣セッションという名前を付けましたが、今回のNature論文の発表は、日本人検索者(今回は板垣さんの発見した天体だけでしたが)の発見が結びついたということで、今回は"特別"セッションということでしたけども、特別ではなくそれが当たり前になるように、色々な成果をたくさん出していきたいなということで、検索者と研究者がさらに手を取りあって、特別じゃないセッションにしていきたいと考えています。あとサイエンスセッションということで、加藤万里子さんに本会議のトリを務めていただきました。(3) 理論家の立場から面白い天体现象を紹介していただいて、加藤万里子さんをスキップさせるような(理論の正しさが検証できるような)天体を見つけていただきたいと思っています。ということでこの3つの議題を5分間ずつくらいで、まず新天体はどこに報告した

らしいのか、時間がないので、率直に山岡さんからコメントをいただきましょうか。

**山岡**：どこにってのが、自分で英語が書ける人は ATel に書けってのが多分今の研究者の風潮なんだと思っています。でもそれを私はアマチュアに押し付けるつもりはありません。ですから TOCP が書ける人は TOCP に書いて欲しい、書けない人は書ける人を仲間というか知り合いに作って欲しい、それが一番メジャーなやり方だと考えています。この間まで国立天文台は TOCP に書けなかつたなど様々な問題があったのですが、今はそれもできますので是非 TOCP を活用していくいただければなという風に考えています。とりあえず私の立ち位置はそうです。

**内藤**：TOCP というはですね、新天体を発見したら報告する Web サイトです。因みに TOCP に投稿できる方はどれくらいいらっしゃいますか（挙手をお願いします）。まずはこの方たちにコンタクトして、代理で書いてもらうということでしょうか。

**山岡**：そうですね。発見についてはそれと同時に CBAT にメールを送れということで代理の人でもいいけれど、自分で送っても構いません。

**内藤**：で、気になっているのが、国立天文台の相馬さんにどういう対応になっているか尋ねたところ、結局担当が発見報告を受けて、この TOCP に代理で投稿したり、あとは観測できる石垣島天文台に追観測を依頼したりというような対応をしているということを聞きました。結局はやっぱり TOCP になるのでしょうか。

**山岡**：それ以外に別途それはない。

**内藤**：ない。どこに出しても（どこに報告しても）同じだと。どこに出しても、次の話に関連しますけど、符号が付くかどうかの信頼度は同じなんですかね。

**山岡**：少なくともここに出さない限り出ないと思います。

**内藤**：絶対に出ない？

**山岡**：はい。ここに出さない限り出ません。

**内藤**：分かりました。

**村上（茂）**：コメットの場合はちょっと違うのですか？

**山岡**：はい。コメットの場合は違います。Nova（新星）と Supernova（超新星）の話で、太陽系外の話ばかりしていました。申し訳ないです。太陽系内の未来は明るいです。なぜかというとあそこは地球にぶつかるものというのを探している関係でお金が付くからです。で、符号問題ですがお金がないことが大きな問題点です。

**内藤**：天体の命名は色々ありますけど、天体の名前によっては出すべきとが違うということですね。

**山岡**：種類によってはですね。

**内藤**：種類によっては、新天体報告は TOCP へ。本当に何も分からん人は、例えば国立天文台でしょうか。

**山岡**：国立天文台は（通報を）受けたもので、そのうち CBAT に報告したものは 1

割ぐらいだったというのは一昨日のお話でありました。要するにちょっと初心者が多いでですね、そこに通報する人は、ちょっと初心者が多くて間違っている場合が多いですね。そうじやない「俺はもうかなり自信を持ってできる」という人は、もうちょっと違う道を知っている訳です。まあ、ここに来られている方は大体大丈夫なんじゃないかと。特に一昨日ゴーストっていうのはこう見えるのかの例も見ていただいたと思います。

**内藤**：とにかく TOCP から始まるということですね。今手を挙げた方へのコンタクトなどで TOCP に投げるルートをどうにか確立してもらい、私たちもそういった宣伝や周知も必要となってくるのではないかと思います。では次は符号問題と勝手に付けましたけれども、僕の認識だと超新星が発見されて分光観測されないと符号が付かない（逆に分光観測されれば、符号が付く）という認識でした。ですが、広島大学が分光観測されて CBAT に流したのにも関わらず、符号が付かないケースがあるという話だったんですけど、その辺の事情をどなたかご存知でしょうか。

**山岡**：それは最初の日から（広島大学の）山中君に突っ込まれた頃からちびちびとお話ししていますが、要するに IAU という組織はボランティアで成り立っています。基本何かをちゃんと組織的に対応するということには全然なっていないと考えてください。今は Dan Green の窮状また様々な窮状をどう助けるか、それが助けられれば続くのですが、今非常に厳しいということです。はい、この中で IAU サーキュラをサブスクリプションしている方どれくらいいらっしゃいますか。お金払った人はどれくらいますか。こんなもんですよね。払ってないけどくる人もいます。それは事務に手が回っていないからなんですが、皆さんのサブスクリプションで IAU サーキュラは成り立っています。でもこういう状態です。次は IAU サーキュラを出すための CBAT を支援するコミッショナ 6 というのがありましたが、研究者の中でコミッショナ 6 の会合に出たことがある人はどれくらいますか。いないと思います、僕だけだと思います。そこら辺に様々な問題があるのだと思っています。いいですか、解決するためどうするか？まずサブスクリプションで届くようになるといいなというところですが、もうちょっと根本的な解決をしたいのだったら、CBAT の機能を俺がやるという人がいればいい。ボランティアですから。

**内藤**：それは誰でもできますか？資格とか。

**山岡**：Dan Green が譲るかどうかで決まると思います。とても言い出せなかつたんですけどね。言わなきやいけない時期に来ているのかもしれないなと思っています。

**内藤**：ちょっと話が逸れるかもしれません、昔は超新星を見つけて昔の写真乾板から見つかったら符号が付いていた時とかありましたよね。

**山岡**：分光観測をしないと付けないようにしたのは、ただ暗いものがあるので変光だけ

で分かったというのを、どんどん付けていると溢れるからなので溢れない命名システムを付けて全部符号を付けちゃうというのは手です。その一つが TOCP の PSN の符号システムです。

内藤：あくまで P (possible : 候補) じゃないですか？

山岡：PSN っていうのが付いていますが、それをその後ずっと使っても構いません。

仮符号ですが。小惑星や彗星、彗星は仮符号とは言いませんが、小惑星の仮符号がこの時の観測というのはその仮符号で呼ばれるのと同じように呼んでいいだけのことです。それは研究者としては。それはよくはわかりません。その作業をする人がいるかどうかだけの問題ですから。研究者に圧力をかけるとか、研究者が SN なんとかがないと論文が受け付けてもらえないとかいう風に。みんなが、レフェリーがそう言うように仕向けるそういう議論もしたのですが。この間の IAU の総会では、その場に集まった人たちは危機意識のある人たちなので、そういうところに来ない人にそこまで浸透するわけがないですよね。大体面倒くさいことは避ける人たちが多いので、なんか統一して俺たちの得になるのか、ならないというならほったらかしになります。

内藤：ところで、P (possible : 候補) のままでも天体発見賞はとれますか？

山岡：それは IAU の話ではなくて、搜索者というよりも日本天文学会天体発見賞選考委員会がどう考えているかで決まるので、委員長の野上君や今の委員の方々が、今委員はこの中では川端君だけ、内藤君もなったんだっけ、まだ選考に入ったことがないからあれなんだろうけど、委員の中で議論する話であって。

内藤：東亜天文学会の天体発見賞の方は、P (possible : 候補) でも OK でという方針で、賞金もとりあえずはもらえると。

山岡：東亜天文学会の会員になっていないと。

内藤：会員になって見つけると超新星はおいくらですか（笑）？P でも？

山田：P でも出します。ただし、NPO 法人になってから非会員には賞状だけ、会員にはクリスタルトロフィーも贈呈されますが、賞金は残念ながら廃止になりました。

内藤：分かりました。また戻りますけど、符号が付くのもあるし、付かないのもあって、それは Dan さんの気分次第になっちゃっているんですか？

山岡：うん。体力次第というか。。。あとは圧力とか。

内藤：板垣さんが先日見つけた新星はすぐに符号が付いて。

山岡：新星は様々なところから圧力がありまして、今は早いと思います。今回特に目立つ天体で遅かったら「君の信用問題に関わるんだよ」と延々と言った人がいるわけです。

内藤：符号問題。少なくとも符号が付かなくても天体発見賞が出る見込みがあると思いますので、モチベーションを下げずにどうにか取り組んでいただけたらと思っています。

**山田**：今回この新天体発見ニュース、天界からの抜粋です。これをずっと見ますとほとんど後半にかけては符号が付いていませんね。見られると一目瞭然です。以上です。

**内藤**：はい。では次ですね、面白い天体现象はということですね。これも僕の興味が大きいところですが、ショックブレイクアウトですとか、すごく軽い超新星とかですね。まだ見つけようと思って見つけてないって本当にあるのか、ないのか？予測してこういったのが見つかるよ、というのが、もしあれば、その他にもなんかあれば、ここで披露していただきたいのですが、何かありますか。

**関口（朋）**：コメットのアウトバースト。

**内藤**：コメットのアウトバースト？太陽の近くになったときにやっぱり起こりますか？

**関口（朋）**：距離依存性がありますが、遠くでも起きます。

**内藤**：遠くでも起こるということで、急にパッと明るく見える。

**関口（朋）**：ぼそぼそとふくものもある。

**内藤**：搜索の方が見つけるチャンスがあるということですね、タイミングによっては。

**村上（茂）**：アウトバーストとまでいかなくても、眼視で毎日見えてると明らかに昨日より明るくなっていることがあるんですね。また次の日また元に戻る。だからそれはもう彗星の光度観測なんてものすごくばらつきがあるのでその誤差に隠れるのかもしれないけど、同じ機材でずっと見ていると KISS でしたっけ、木曾のあれみたいに彗星も結構激しく変化しているんですよ。だけど、そういう研究はほとんどないと思います。

**内藤**：ということで、もしこんなのが面白いのがあるよというのがあったら、こういった場で紹介していただくと皆さんの活動意欲が湧くのではないかと思っています。最後に、今回第 1 回ということで板垣さんの超新星発見 100 個記念ということもあり、張り切り過ぎて、ちょっと頑張りました。ここまで頑張ると次引き受けようと思われるところも中々出にくいかと思いますが、第 2 回は自分のところで引き受けたいとか、助成金の関係で今回は実行委員会形式で行いましたので、実行委員に入って貢献したいという方があれば、よろしくお願いします。また実行委員でメール上でも議論したいと思いますが、第 2 回是非やりたいと思いますので、皆さんとまたお会いできたらと思っています。時間が迫ってきましたので、最後の最後のクロージングということで全体討議はここで終了させていただきます。またいろんな機会にお話できればと思っています。今回の会議、実行委員会はこのような SOC の方々と LOC で構成させていただきました。主催が新天体搜索者会議実行委員会で、共催として国立天文台、ここのなよろ市立天文台、後援には東亜天文学会、名寄市、名寄市教育委員会に協力していただきました。助成は北海道を支援する伊藤組 100 年記念基金というところと、きたすばる星と音楽の実行委員会、国立天文台、東亜天文学会、名寄のサークル「天斗夢視」

から助成いただいている。そして豆の板垣もお菓子を提供いただいているので、ここで紹介させていただきます。もちろん、こここのスタッフ。いろんなサプライズが出てきたと思います。名寄のトマト、ジャガイモあと音楽ライブなど色々なサプライズ企画していただきました。皆さんに拍手を送りたいと思います。後ろで中継を全部担当いただきましたのが、きたすばるどっこむの風間さんです。どうもありがとうございました。で、皆さん薄々お気付きかと思いますが、封筒の中に名寄市のふるさと納税のチラシが入っています。トマトとか、美味しかったと思います。名寄のふるさと納税は、応援できる事業を選びます。天文台の事業も選択できるということで、うまく予算が増えれば、このような会議を開催していくかも知れません。ご協力をよろしくお願ひいたします。今回の会議にご参加いただき、ありがとうございました。

## 超新星登録ページ (Transient Name Server : TNS) の案内

超新星の登録ページ (Transient Name Server : TNS) が新設されたので、案内いたします。

<http://wiserep-tns.weizmann.ac.il/>

このページに超新星の発見を報告すると、AT 2016iu のような符号がすぐ付けられ、スペクトル観測で超新星であることが判明すると SN 2016iu のように呼ばれることになるとのことです。登録され公開された天体については、左上の「SEARCH」ボタンをクリックすると、リストが見られ、それぞれの報告はリストをクリックすることで見られます。

発見やスペクトル観測の報告には、登録が必要です。ページ右上の login をクリックし、Create new account を選ぶと、

希望するユーザ名

メールアドレス

肩書（男性 Mr.、女性 Ms.、学位があれば Dr.）

下の名前

名字

所属（空欄でもかまいません）

コメント（空欄でもかまいません）

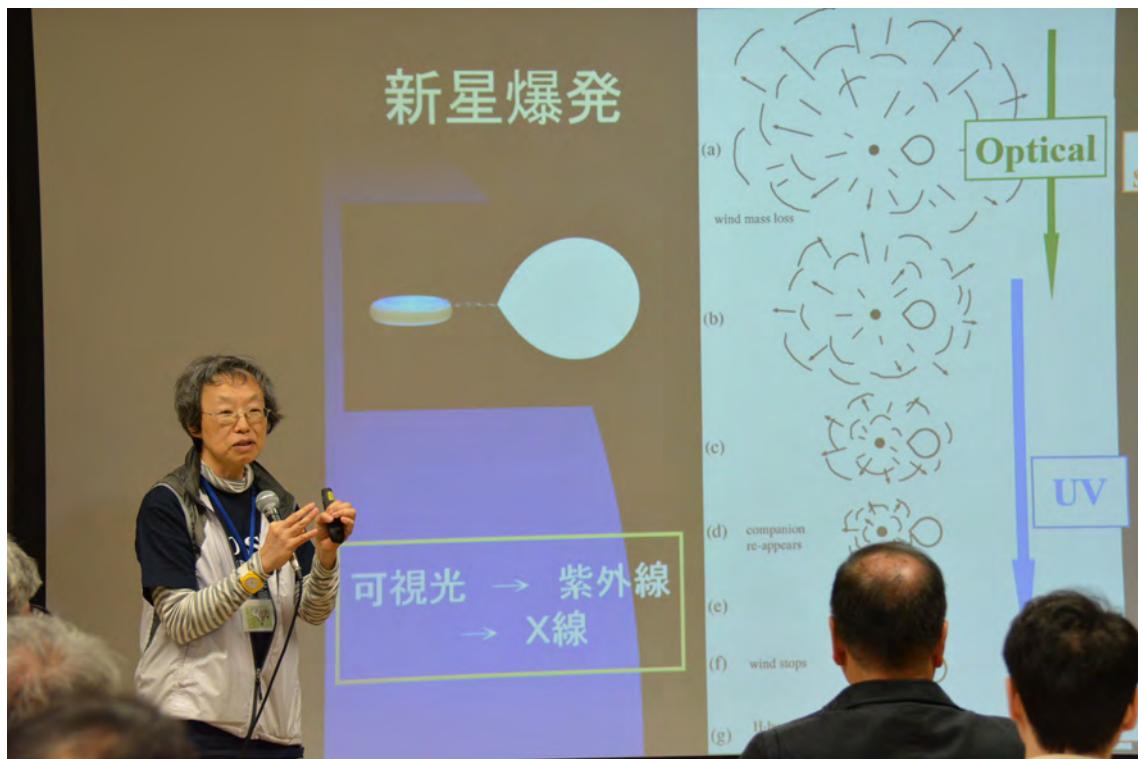
を書く欄があり、下の Create new account をクリックして登録ください。ほどなく承認され、パスワード設定のための URL がメールで送られてきます。パスワード設定後は、最初に書いたページの login をクリックし、login を選んでログインします。

このページではグループの設定ができますが、日本の皆さんはグループは設定しないことをお勧めします。発見は AT report Form を使います。RA, Dec で赤経赤緯を、それぞれの Error で位置の誤差（やや大き目に報告してください）を書きます。Source group はそのまま、報告者、発見者は必須です。あとは観測報告ですが、実地に試してみてわからないことはお気軽に尋ねください。

すでに報告されている天体の場合、その天体名が表示されるようですが、これは 2015 年中に試してみます。システムは改良中で、今後も変更があることをご承知おきください。

また、代替報告も受け付けます。わからない場合はとりあえず山岡に情報を投げてください。さらに、このページは超新星（だとご自身がお考えになった天体）のみにお使いください。新星や矮新星などは、従来の TOCP をお使いになることを現時点ではお勧めします。

九州大学大学院理学研究院物理学部門 山岡 均  
〒819-0395 福岡市西区元岡 744  
yamaoka\_@\_phys.kyushu-u.ac.jp  
アドレスは@を半角にし、前後の\_を消してください



会議のラストは加藤万里子さんによる講演



朱鞠内湖の紅葉を背景に（エクスカーションにて）：左から川端弘治さん、田実晃人さん、櫻井幸夫さん、宮地竹史さん、関口和寛さん、笠井潔さん

助成団体：

本会議開催にあたっては、以下の団体からご助成／ご支援をいただきました（50音順）。

- ・伊藤組 100 年記念基金
- ・きたすばる星と音楽の集い実行委員会
- ・国立天文台研究交流委員会（研究集会助成）
- ・特定非営利活動法人 東亜天文学会
- ・なよろ天文サークル「天斗夢視」

表紙の写真：

なよろ市立天文台を背景に集合写真（会議 3 日目：2015 年 10 月 4 日）

---

## 第 1 回新天体搜索者会議実行委員会

### Science Organization Committee

新井 彰（京都産業大学）  
川端弘治（広島大学）  
関口和寛（国立天文台）  
関口朋彦（北海道教育大学）  
前原裕之（国立天文台）  
諸隈智貴（東京大学）  
山岡 均（九州大学／実行委員長）  
山中雅之（甲南大学）  
渡辺 誠（北海道大学）

### Local Organization Committee

佐野康男（なよろ市立天文台）  
内藤博之（なよろ市立天文台／事務局長）  
山田義弘（東亜天文学会）

---

2016 年 3 月 21 日発行

編集兼発行人 新天体搜索者会議実行委員会事務局

〒096-0066 北海道名寄市字日進 157-1 なよろ市立天文台内