

自然科学研究機構

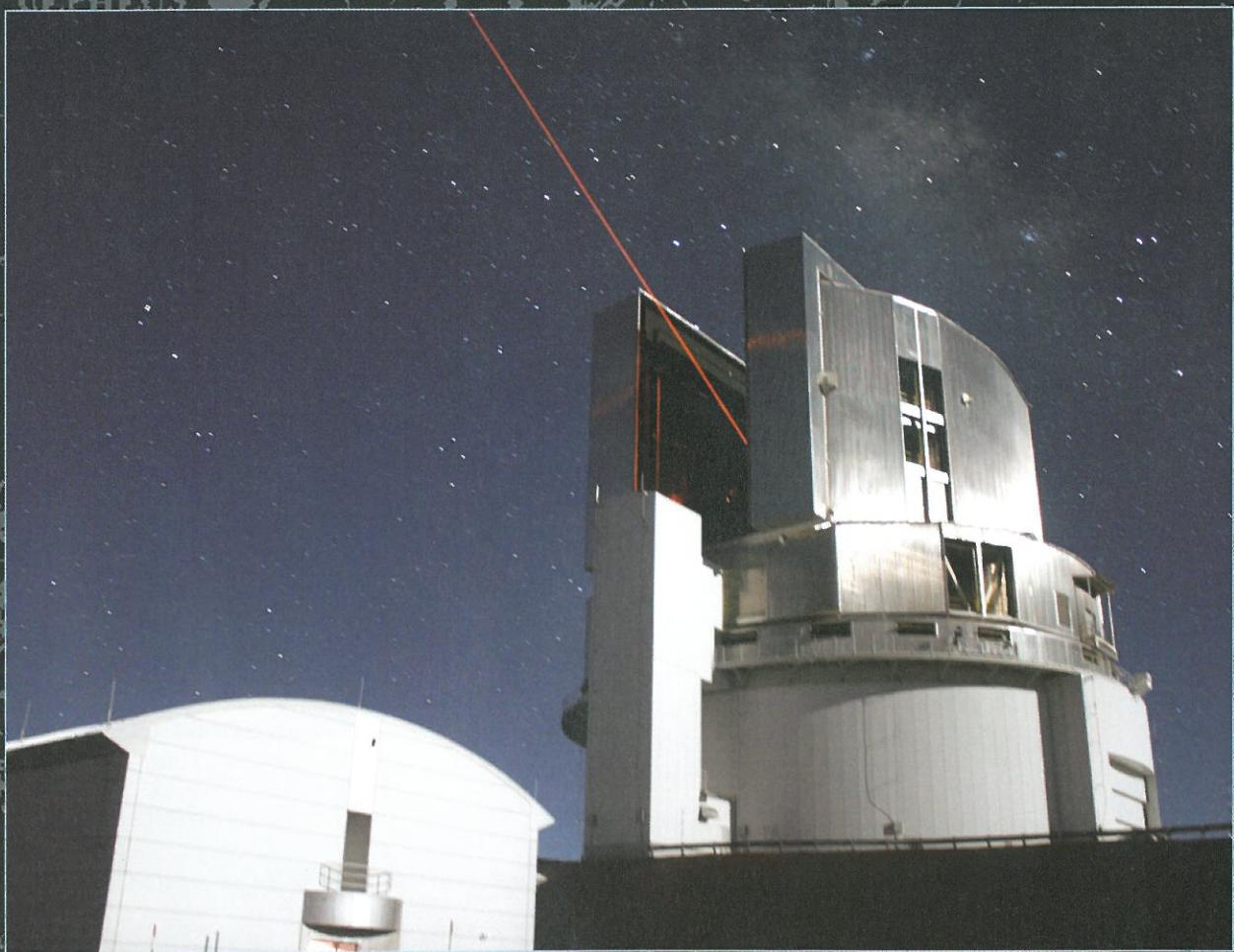


# 国立天文台ニュース

National Astronomical Observatory of Japan

2011年12月1日 No.221

## すばる望遠鏡のレーシック手術？！ ～レーザーガイド星補償光学による観測が本格始動～



- 家正則さんが紫綬褒章を受章
- 「すばる望遠鏡次世代AOワークショップ」報告
- 「第31回 天文学に関する技術シンポジウム」報告
- 平成23年「三鷹・星と宇宙の日」報告
- 研究会「天文分野における被災地/避難先での活動～今後に向けて」報告
- 平成23年度永年勤続者表彰式
- 「平成23年度普通救命講習(再講習)会」報告
- 「三鷹地区防災訓練」報告

12  
2011

- 表紙
- 国立天文台カレンダー

## 03 研究トピックス

**すばる望遠鏡のレーシック手術？！**  
 ～レーザーガイド星補償光学による観測が本格始動～  
 ——早野 裕（ハワイ観測所）、家 正則（TMT推進室／ハワイ観測所）



**表紙画像**  
 すばる望遠鏡からレーザービームが照射されている様子。レーザー光を利用して高さ90kmの大気中で光る人工的なガイド星を作ります（撮影：国立天文台ハワイ観測所 Daniel Birchall）。

## 07 受賞 家正則さんが紫綬褒章を受章

## 06 おしらせ

- 「すばる望遠鏡次世代AOワークショップ」報告
- 平成23年度永年勤続者表彰式
- 平成24年『理科年表』が刊行されました
- 平成23年「三鷹・星と宇宙の日」報告
- 研究会「天文分野における被災地/避難先での活動～今後に向けて」報告
- 「第31回 天文学に関する技術シンポジウム」報告
- 「平成23年度普通救命講習（再講習）会」報告
- 「三鷹地区防災訓練」報告
- 2012年度 国立天文台共同開発研究等の公募のおしらせ
- 「2012国立天文台カレンダー」発行のおしらせ

**背景星図**（千葉市立郷土博物館）  
 滾巻銀河 M81 画像（すばる望遠鏡）

## 13 連載 Bienvenido a ALMA ! 18回

生命の起源に迫るALMA ——大石雅寿（天文データセンター）

## 14 連載 絵本のほんだな7冊目

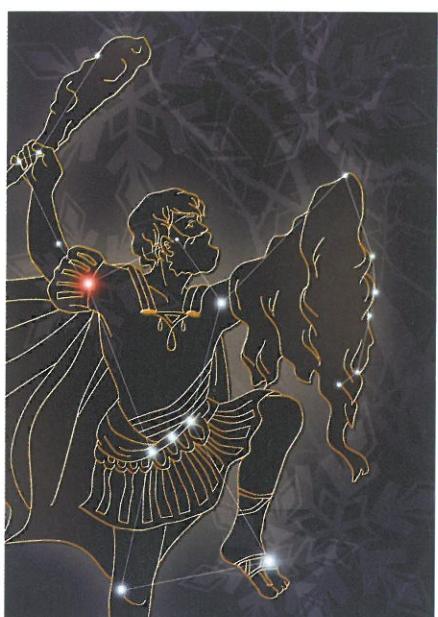
『てんのくぎをうちにいったはりっこ』——中山弘敬

## 15 人事異動

- 編集後記
- 次号予告

## 16 シリーズ 分光宇宙アルバム21

宇宙最大の爆発で探る初期宇宙 ——青木賢太郎（ハワイ観測所）



凍てつく星空にオリオン燐然と。 イラスト／石川直美

## 国立天文台カレンダー

### 2011年11月

- 4日（金）運営会議
- 5日（土）岡山天体物理観測所「特別観望会2011秋」
- 5日（土）～7日（月）第24回理論懇シンポジウム
- 6日（日）～8日（火）第7回最新の天文学の普及をめざすワークショップ
- 10日（木）普通救命講習
- 11日（金）研究交流委員会
- 16日（水）総合研究大学院大学物理科学研究科専攻長会議
- 18日（金）天文情報専門委員会
- 19日（土）スターアイランド2011（小笠原局特別公開）／アストロノミー・パブ（三鷹ネットワーク大学）
- 20日（日）第2回「宇宙（天文）を学べる大学合同進学説明会」
- 21日（月）平成23年度永年勤続者表彰式
- 22日（火）太陽天体プラズマ専門委員会

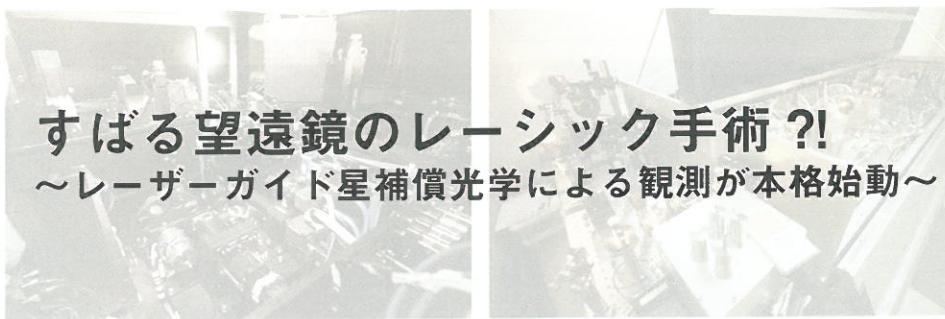
### 2011年12月

- 12日（月）～14日（水）プロジェクトウィーク
- 15日（木）2011年度後期第3回「職員みんなの天文レクチャー」／天文・宇宙・航空広報連絡会（日本宇宙フォーラム）
- 17日（土）アストロノミー・パブ（三鷹ネットワーク大学）
- 19日（月）科学記者のための天文レクチャー
- 19日（月）～24日（土）すばる観測研究体験企画（ハワイ観測所）
- 21日（水）総合研究大学院大学物理科学研究科専攻長会議

- 23日（金）～25日（日）第13回特異点研究会

### 2012年1月

- 20日（金）運営会議
- 21日（土）アストロノミー・パブ（三鷹ネットワーク大学）
- 23日（月）先端技術専門委員会



## すばる望遠鏡のレーシック手術？! ～レーザーガイド星補償光学による観測が本格始動～

### すばる版レーシック？

近年、角膜の形状をレーザー手術で整えて、乱視や近視を矯正する「レーシック手術（角膜屈折矯正手術）」が普及し始めている。目の手術と聞くと想像するだけで恐怖感があるが、筆者らの周辺でも施術を受けて、視力が回復したという人がいる。早野は視力で困ることがまったくなかったので、このような話とは無縁であったが、最近20cmより近いところを見るのがつらくなってきた。しかし、家が日本眼光学学会の重鎮から聞いたところでは、残念ながら老眼の治療には万能ではないらしい。

じつは、すばる望遠鏡には、様々な「視力矯正」技術が使われている。261本のアクチュエータで8mの主鏡を最適な形を維持するよう絶えず制御し、機械的なたわみ、歪みによる影響を最小限にとどめようとする「能動光学」、大気によるゆらぎによって揺らめいたり瞬いたりする星をとめる「補償光学」などである。能動光学は数秒間に1回、補償光学では1秒間に100回以上、絶えず何度も「視力矯正」を行っている。施術の回数に限界があるレーシックよりもはるかに複雑なことをしているのである。

1990年代中頃、国立天文台は通信総合研究所（現通信情報研究機構）と協力して、すばる望遠鏡の「補償光学」装置の開発を始めた。まず、36個のアクチュエータを持つ第一世代の補償光学装置を2000年に完成させ、すばる望遠鏡の「視力」を大幅に改善できることを実証した。この装置は2008年まで現役で活躍しつづけた。続いて、2002年から188個のアクチュエータを持つ第二世代の補償光学装置（参考文献1）の製作が開始され、2006年に試験観測が始まった。さらにレーザーガイド星生成装置と統合され、「レーザーガイド星補償光学装置」として、2011年から本格的な運用が開始された（図1）。

約10名のチームメンバー（p5参照）がこのレーザーガイド補償光学装置の研究開発、製作に専念し、運用開始まで約10年の歳月を

要したことになる。8mクラス望遠鏡のためのレーザーガイド星補償光学装置の開発に取り組んでいるのは世界でも数グループしかない。互いにライバルでありながら、開発で得られた教訓や問題解決策を共有することもある。一方、それぞれ独自なアイデアを盛り込んだ開発を行っているため、前例の無い事態に遭遇することもある。問題の分析、その解決に多くの研究者・技術者の知恵と不屈の努力が注がれた。以下、その成果を報告する。

### 10倍の解像力

先にも述べたが、レーザーガイド星補償光学装置により、これまで補償光学装置で観測できなかつた天体、特に遠方の銀河やクエーサーの大多数を、従来の10倍の解像力で観測できるようになった。

そもそも、地上からの天体観測では、大気のゆらぎのため、望遠鏡が本来もつ解像力を十二分には活かせていない。大気のゆらぎが少ないハワイ島マウナケア山頂でも、実際の解像力は本来の解像力に対して10倍も劣化してしまう★。そこで、劣化の原因である大気のゆらぎを補正し、望遠鏡本来の解像力を実現するための地上観測技術が「補償光学」である。すばる望遠鏡では、建設当初のころから補償光学技術の研究開発を進め、望遠鏡の解像力を高める努力を続けてきた。188素子補償光学装置は、2008年10月から共同利用装置として世界中の天文学者に利用され始めた。しかし、この188素子補償光学系を使うには、観測したい天体

早野 裕  
(ハワイ観測所)



家 正則  
(TMT 推進室／  
ハワイ観測所)



### news scope <解説>

#### ▶解像力

波長2マイクロメートルの赤外線では、すばる望遠鏡の本来の解像力は0.06秒角である。これは、富士山頂においてゴルフボールの数を東京から数えられる解像力に相当する。しかし、大気のゆらぎで劣化すると、0.4から0.6秒角程度と約10倍悪くなってしまう。

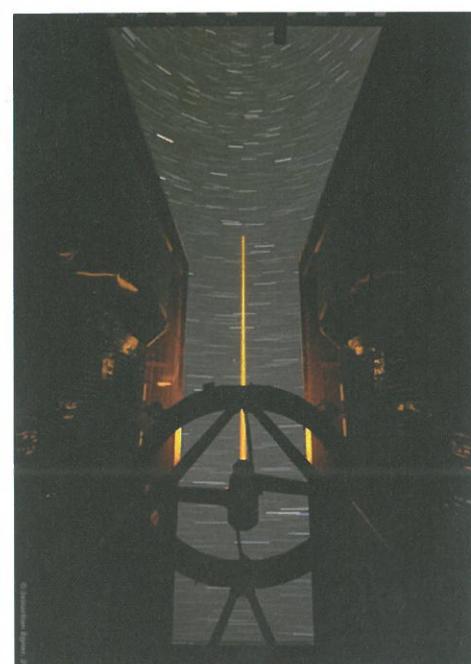


図1 夜空に放たれるレーザー。すばる望遠鏡の副鏡の反対側に取り付けられた送信望遠鏡からレーザービームが照射され、高さ90kmの大気中で光る人工的なガイド星を作る（撮影：国立天文台ハワイ観測所 Sebastian Egner.）。



図2 188素子補償光学装置の内部。手前は大気ゆらぎの影響を測定するための波面センサー。

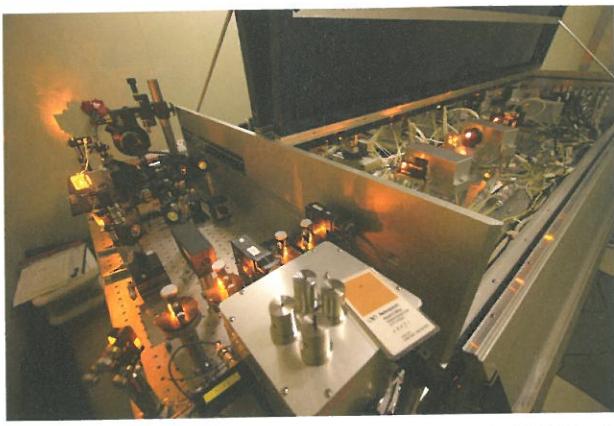


図3 レーザーガイド星を生成するためのレーザーシステム。恒温クリーンルームの中に安置されており、高出力レーザーを伝送できる特殊な光ファイバーでレーザー送信望遠鏡まで光を導いている。



図4 すばる望遠鏡観測制御室での観測風景。

のすぐそばに明るいガイド星★が必要なため、望遠鏡本来の解像力を得られるのは観測可能な天域の約1パーセントすぎなかった。

研究開発チームは、2006年に作り上げた188素子補償光学装置(図2)とレーザーガイド星生成システム(図3)を統合したレーザーガイド星補償光学装置(概念図はp6参照)の開発を進め、明るいガイド星が不在の天域にレーザーガイド星を作り、その天域でも188素子補償光学系を使って望遠鏡本来の解像力を観測ができることを目指してきた。2010年秋から装置の性能確認を開始し、2011年2月の試験観測(図4)で、予期した性能がほぼ達成できていることを確認した。

## いよいよ本格観測開始

さっそく研究開発チームは、このレーザーガイド星補償光学装置を用いて、りょうけん座にあるSDSS J1334+3315という天体を観測した。これはスローン・デジタル・スカイ・サーベイで発見された二重に見えるクエーサーで、地球から約109億光年の距離にある遠宇宙の天体だ。二重に見えるクエーサーの色がまったく同じことから、109億光年よりもずっと手前にある銀河の重力場によって、もともと一つのクエーサーが重力レンズ効果を受けて二つに見えている現象と考

えられていた。レーザーガイド星補償光学装置で観測してみると、二重に見えたクエーサーは約0.8秒角離れた二つの点像として明瞭に分解できた。さらに、重力レンズ効果を起こしていると考えられる銀河が二つの像の間にはっきりと浮かび上がってきた(図5)。重力レンズモデルの計算から、この銀河は地球から約54億光年の位置にあると推定できる。今回の観測で得られた重力レンズモデルによれば、もしこのクエーサーの明るさが変化すると、二つの像の明るさの変化に約10日間の遅れが観測されるはずである。今後、その検証観測が楽しみである。この研

### news scope <用語>

#### ガイド星

明るい星の光をモニターすることで大気がどのように「ゆらいで」いるかを測定することができる。その「ゆらぎ」の測定に使う星を「ガイド星」と呼ぶ。観測したい天体のそばに十分に明るい星があるときは、その星を「自然ガイド星」として使えるが、そのような星が近くに無いときは人工的なレーザーガイド星を上層大気中につくって、「レーザーガイド星」として利用する。

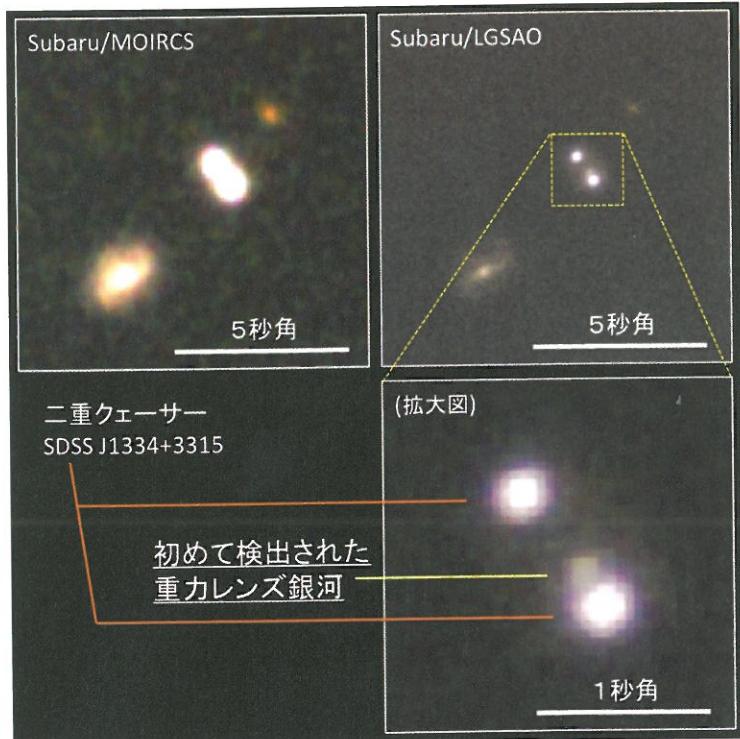


図5 地球から約109億光年の距離にある二重クエーサー天体SDSS J1334+3315の従来の画像(左)と、すばる望遠鏡・レーザーガイド星補償光学装置を用いて撮影した高解像度画像(右)。いずれも視野は10秒角。下は拡大したもの(視野は2秒角)。二重クエーサーがはっきりと分離され、さらにその間に重力レンズ効果を引き起こしている銀河が初めて直接検出された。

究成果は学術論文として2011年7月発行の“Astrophysical Journal”誌に掲載された（参考文献2）。

さらに研究開発チームは、他の重力レンズケーサーの観測も進めている。図6は重力レンズケーサーB1422+231の画像で、左側が補償光学装置を使わないとき、右側が使ったときのものである。補償光学を使用して観測すると、重力レンズ効果で複数にみえているケーサー像がはっきりと分離する。この2枚の画像を比較しても、補償光学の効果が大きいことがわかる。分離された複数の像は、元は同一の光源ではあるものの異なる経路で光が届いているため、ケーサーと地球の間の物質の情報が複数同時に得られるという利点がある。分光データの解析を進めたところ、2つの像では異なる速度をもつ吸収線があることがわかりつつある。

もちろん、より近い領域でも、その鋭眼は發揮される。図7はレーザーガイド星補償光学装置で観測した銀河系中心領域の画像例である。視力のアップが一目瞭然であろう。

## 繁盛でうれしい悲鳴

2011年5月から、レーザーガイド星補償光学装置を用いた本格的な観測が開始された。さらに、2011年7月からこの装置を使った共同利用観測がスタートし、世界中の天文学者が利用できるようになった。

数えてみると、今年の7月から5か月で補償光学装置の出番は54夜ほど、そのうちレーザーガイド星を利用したのは24.5夜もあった。開発チームはその対応に追われ多忙を極めている。運用の効率をもっとあげて、さらに多くの研究者に使っていただき、10倍の分解能という別世界を体感して欲しいと思っている。

ところで、レーザーを使う観測では、さまざま外部への配慮も欠かせない。少なくとも1週間前までには、マウナケアの他の観測所にレーザー照射予定を通知しなければならない。観測中はレーザーが他のマウナケアにある望遠鏡の見ている方向に重なってはいけない。それぞれの望遠鏡のポインティング情報を集め、交錯時間帯をあらかじめ計算しておき、重なったときはレーザーのシャッターが閉じるシステムを稼働させ、レーザー光が他の望遠鏡の観測に影響を与えないよう未然に防いでいる。また、飛行機や人工衛星と交錯しないように注意を払うことも重要だ。人工衛星については、4日前までにレーザーを照射する天体の座標をLaser Clearing House

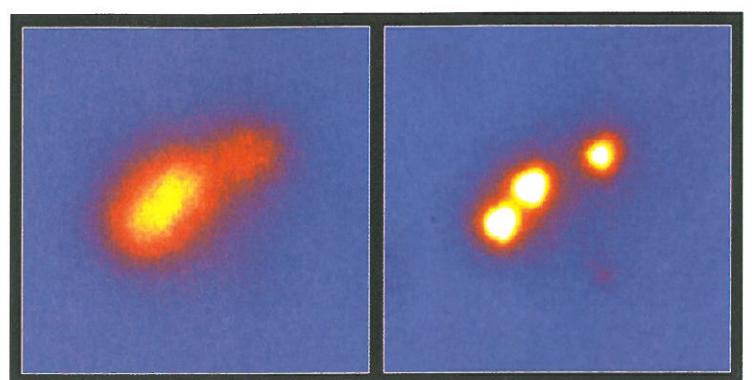


図6 重力レンズケーサーB1422+231の補償光学装置非使用時（左）と使用時（右）の画像。いずれも視野は3.6秒角。

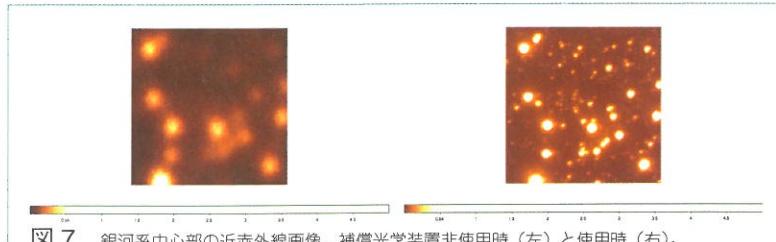


図7 銀河系中心部の近赤外線画像。補償光学装置非使用時（左）と使用時（右）。

という米軍の部署へ送り、観測当日までにレーザーが照射できる時間帯が伝えられる。これもまた、自動的にシャッターが閉じるシステムを稼働している。飛行機については念のためドームの東西に見張りを立ててレーザー照射を行うようにしている。夜間零下になる山頂の屋外での見張り番は、とくに風の強い夜には大変厳しい仕事となる。初期のころは、アルバイトの学生、派遣されたスタッフに混じってチームメンバーも交代で外に立ち、航空機監視人の運用

方法を試行錯誤した（図8）。そんな地味な苦労が、最新の観測システムの運用を支えていることも知って戴けると幸いである。



図8 航空機監視人一同。ハワイ観測所の大学院生、ハワイ大学の学生、派遣スタッフなどの混成チーム。1晩の観測に5名を割り当てるが、ハワイ大学の学生が急用で欠席し総勢4名となった。残念ながら、この夜は雪のため活躍の機会はなかった。通常、望遠鏡ドームの東西に1人ずつ配置され、1時間ごとに交代する。レーザー照射直前に観測制御室から監視人に航空機の有無を無線で確認する。

## 参考文献

1. Hayano, et al.: 2010, Commissioning status of Subaru laser guide star adaptive optics system, *SPIE 7736*.
2. Rusu, et al.: 2011, SDSS J133401.39+331534.3: A New Subarcsecond Gravitationally Lensed Quasar, *ApJ, 738*, 30.

※レーザー生成システムは、和田智之（ユニットリーダー）、斎藤徳人（理化学研究所）を中心としたグループとの共同開発である。

# 「すばる望遠鏡次世代AOワークショップ」報告

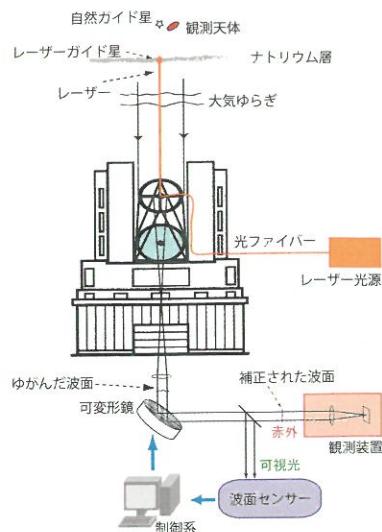
岩田 生（ハワイ観測所）

すばる望遠鏡のレーザーガイド星補償光学（Adaptive Optics; AO）システム（★01）は、2010年11月の再始動後順調に稼働し、科学的成果を産み出しつつあります（p3～5の研究トピックス参照）。補償光学系は地球大気のゆらぎをリアルタイムで補正して望遠鏡の性能を極限まで引き出す技術で、すばる望遠鏡のもつ力をさらに高めるものであり、また検討が進んでいる次世代超大型望遠鏡（TMT）計画では必須の技術となっています。

2011年9月8日～9日に「すばる望遠鏡次世代AOワークショップ」が開催されました。これは、現在活躍している補償光学システムの次の世代のすばる望遠鏡用補償光学システムについて、天文学コミュニティで議論するためのワークショップとして企画されたもので、会場である大阪大学中之島センターにはTV会議での参加を含めて70名以上の研究者らが集まりました。

## ★01：すばるの補償光学システム

補償光学システムは、星の像を使って大気のゆらぎを測定する「波面センサー」と、形状の変化する鏡でゆらぎによる像の劣化をリアルタイムで補正する「可変形鏡」からなります。現在のすばる望遠鏡の補償光学システムは星の光を188個に分割し、それぞれを光ダイオードで測定する波面センサーと188箇所で制御する可変形鏡を持つことから「188素子補償光学系」と呼ばれます。このシステムは、大気のゆらぎによって制限されていたすばる望遠鏡の解像度を約10倍向上し、光学的な限界にまで高めることができます。すばる望遠鏡の近赤外線での解像力は、軌道上にあり大気の影響を受けずシャープな画像を得ることのできるハッブル宇宙望遠鏡のそれをも上回ります。さらに、ナトリウム光レーザーを望遠鏡から打ち上げ、地球大気上層のナトリウム層を発光させて人工的な星を生成する「レーザーガイド星」も備えています。これによって、大気ゆらぎを測定できる明るい星が近くにない天体でも補償光学を用いた観測を行うことが可能です（図1）。



これまでの補償光学システムの開発の歴史とそれを用いた成果が紹介された後、次世代の補償光学システムの技術的な検討結果が報告されました。従来の補償光学システムは、望遠鏡の視野の中の特定の天体に対して大気ゆらぎ補正を行うものでしたが、新たな補償光学システムとして、広い視野全体にわたって大気ゆらぎを改善する地上層補償光学系（★02）などの新しい手法について、コンピュータシミュレーションに基づく予想性能が示されました。また、これらの新しい補償光学システムを用いた新たな観測装置についても紹介され、その性能の可能性や技術的課題が議論されました。

さらに、この次世代補償光学システムを実現すること可能になる科学観測について、銀河系内の恒星、星形成領域から宇宙論的遠方銀河の観測まで、様々な可能性が提起されました。すばる望遠鏡では、広い視野を活かした観測で多くの優れた科学的成果が生まれてきましたが、

これまでの広視野観測では補償光学システムを用いることができませんでした。例えば、遠方の銀河の観測に補償光学を利用することで、感度が向上し、よりかかる銀河まで観測できるだけでなく、補償光学なしでは一つの塊としてしか見えない銀河の内部構造が分解でき、銀河の中でのガスの運動状態、どこで星が生まれているか、それぞれの場所での星の年齢などを調べることによって、銀河がいかにして出来てきたかに迫ることができます。次世代補償光学システムで広い視野または多数の天体について、望遠鏡の性能を大幅に向上させた観測を行うことで、新たな宇宙の姿が見えてくることが期待されます。

今回のワークショップを受けて、科学観測の要求に適した次世代補償光学システムの検討をさらに進め、今後のユーザーズミーティングなどの機会に報告し、議論を深めて、実現に向けたステップを進めていくことが確認されました。

## ★02：地上層補償光学系

地球上から見た天体の像は、プールの底から見た景色のようにゆらぎを受けていますが、地球大気にはいくつかの層があり、それぞれが異なる振舞いでゆらいでいます（図2）。地上層補償光学系と呼ばれるシステムは、これらのうち特に地表から300m程度までの層のゆらぎについて、空間的情報を含めて把握し、広い視野にわたってリアルタイムで補正するものです。複数の層のうち一部しか補正を行わないので、完全な補正はできませんが、従来の補償光学系では実現が難しかった、月の直径の1/2から1/3程度の広い範囲にわたる像質改善が可能です。これまでの調査から、すばる望遠鏡の設置されたマウナケアでは、地上層が大気ゆらぎの特に大きな部分を占めていることが分かっています。したがって、マウナケアはこの地上層補償光学系にたいへん適した場所であるといえます。これまでにすばる望遠鏡や東北大学の研究者が行ったシミュレーションでも、地上層補償光学系によって、解像力が2～3倍高まることが推定されました。これは、暗い天体まで見える感度としては、望遠鏡の直径が約2倍大きくなることに相当します。

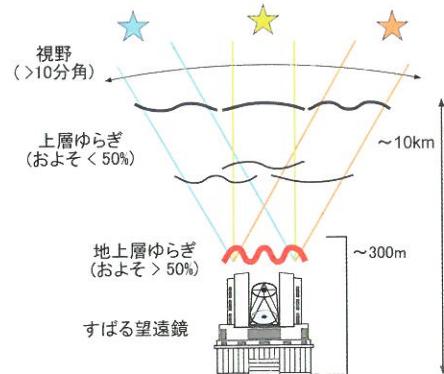


図2 地上層補償光学系の模式図。

## 家 正則教授が紫綬褒章を受章



伝達式で褒章を胸にした家教授。

国立天文台TMTプロジェクト室長（ハワイ観測所および光赤外研究部併任）の家 正則教授が、平成23年度秋の紫綬褒

章を受章されました。

家教授は、すばる望遠鏡を用いた最遠方宇宙の観測に取り組み、2006年には当時で最も遠い銀河IOK-1を発見するなど、世界的な研究成果を挙げられました。また現在は、国際協力で進められている次世代超大型望遠鏡TMT（30メートル望遠鏡）計画の日本代表を務めています。さらに、すばる望遠鏡に搭載されたレーザーガイド補償光学（AO）系の研究開発チームの代表として「宇宙史の暗黒時代」の解明に向けた研究を精力的に行ってています。また、教育者としても多くの優秀な人材を世に送り出しています。家さんの長年の研究業績と、天文学への多大なる貢献が評価され、今回の受章に至りました。

11月15日に行われた伝達式に出席し褒章を胸にした家教授は、「はからずも紫綬褒章を頂くことになり、大変恐縮し

ております。11月15日に褒章と章記を頂いたあと、女優の大竹しのぶさん、なでしこジャパンの佐々木監督ほかの皆さんと、皇居の春秋の間に参内し、入院中の天皇陛下のご名代として、秋篠宮さまからお言葉を頂きました」と、その喜びを語っています。



家教授が受章された紫綬褒章と章記。章記には「日本國天皇は 家正則 に多年學術の分野においてよく努め斯界の發展に寄与したことについて紫綬褒章を授与する」と記されています。

### 紫綬褒章（しじゅほうしょう）

学術、芸術上の発明、改良、創作に関する事績の著しい者に授与される褒章。平成23年度秋の受賞者は25名でした。（内閣府webより）

## 平成23年度永年勤続者表彰式



左から櫻井副台長、鵜澤さん、観山台長、野口さん、花岡さん（倉上さんと古畑さんは欠席）。

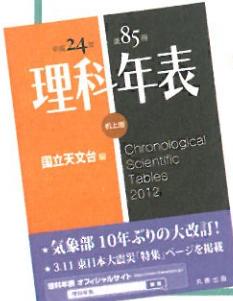
2011 11 21

NO.02  
ぶしらせ

平成23年度の永年勤続者表彰式が2011年11月21日に所属長をはじめ職員が参列する中、行われました。観山台長の式辞の後、各人に表彰状授与並びに記念品が贈呈され、引き続き玄関前での記念撮影が行われました。永く天文台を支えてこられ、表彰された方は、次の5名です。

野口 卓（先端技術センター）  
鵜澤佳徳（先端技術センター）  
花岡庸一郎（太陽観測所）  
倉上富夫（ハワイ観測所）  
古畑知行（ハワイ観測所）

## 『平成24年 理科年表（国立天文台編）』が刊行されました



今回はさまざまな改訂や特集の追加が行われています。とくに東日本大震災を踏まえた特集記事は必読です。

暦部では金環日食・金星日面経過を特集、天文部では国際単位系を全面的に導入、気象部では平年値を大改訂、物理／化学部では原子量関連を大改訂、さらに40ページ以上にわたる東日本大震災の特集と、充実した内容でお届けしています。（暦計算室：片山真人）

NO.03  
ぶしらせ