

次世代超大型望遠鏡の時代を読む

家 正則

近年の観測天文学は、次々に驚きの発見をもたらしてきた。すばる望遠鏡は、その広視野機能を活かした初期宇宙の研究などで、世界をリードする成果をあげている。すばる望遠鏡で勢いをつけた日本の光赤外天文学コミュニティは、次世代への戦略も早くから練ってきた。すばる望遠鏡の第2世代装置計画と次世代超大型望遠鏡計画の概要を紹介し、10年後の観測天文学を展望してみよう。

すばるの性能

本特集で紹介された数々の成果を可能にしたのは、(1)すばる望遠鏡のシャープな画質、(2)その観測装置の多様性、とくにユニークな主焦点カメラ(Suprime-Cam)の実現、そして(3)研究者と技術者の創意工夫、努力である¹⁾。〈図1〉は、すばる望遠鏡で見える星像のサイズ分布を示す。最頻値が0.55秒角(1秒角=5マイクロラジアン)となっている。国内の望遠鏡では最頻値はこの2~3倍程度であり、海外の最先端の望遠鏡と比べても、すばる望遠鏡の画質はその切れ味が評判である。これは、主鏡をいつも理想の状態に保つ能動光学方式の開発、ドーム内の温度管理、高い通気性の確保などの工夫で実現したものである。

すばる望遠鏡は、2009年の時点で6台の観測装置を運用している。〈図2〉はその守備範囲を示す。重さ2トンもの観測装置や望遠鏡先端の副鏡を交換するため、半自動ロボットシステムを開発し、目的に応じたさまざまな観測を可能にしている。「装置交換は避ける」方針に徹した海外の天文台からは、観測時間のロスがほとんどないことに驚きと賞賛の声が届く。

これらの装置のなかでも、主焦点カメラは、ケック望遠鏡、ジェミニ望遠鏡、欧州南天天文台(ESO)のVLTなど、ほかの8m級望遠鏡のどれにもないユニークな観測装置である。望遠鏡の先端の主焦点[†]に重い装置を装備するには、望遠鏡構造を丈夫にする必要があり、軽量化して複数の望遠鏡を建設した米欧は主焦点を採用しなかったからである。主焦点カメラは広い天域を一度に観測できるので、暗くかすかで数

も少ない遠い銀河を対象とする観測的宇宙論の分野では、すばる望遠鏡が一人勝ちの状態となっている。

宇宙の夜明けを見る

放送大学での筆者のテレビ授業では、「いくつかの方法で求めた宇宙年齢は、互いに若干の矛盾があるものの、約 150 ± 50 億年と推定されている」という解説を2003年ごろまでしていた。この状況を一変させたのが、宇宙背景放射の分布を精密に測定した観測衛星WMAPの成果であった。WMAPの測定結果を再現するには、宇宙の構成は物質密度が約4%、未知の暗黒物質密度が約23%、膨張を加速する“暗黒エネルギー密度”が約73%であり、宇宙年齢は約137億年、膨張は加速中でないといけないという。

宇宙全体の枠組みに関する大きな描像がわかってきたが、そのなかで実際に銀河がいつごろ、どのように生まれ成長してきたのかは、まだ誰も見ていない。だが、物理的考察から、以下のようなシナリオが考えられている。WMAPが見た時代は、火の玉宇宙が冷えて中性化した時代である。中性化した宇宙は、光を発するものがない“暗黒時代”となる。だが、暗黒物質の密度ゆらぎが次第に大きくなり、その重力で物質が集まり、約3億年後には“原始銀河”のなかで多くの星がいつせいに生まれ始める。光の復活である。ベビーブームで生まれる大質量星は温度が高く、強い紫外線を放つため、周辺の銀河間空間の中性水素が電離される。一度中性化した宇宙は、こうして再び熱せられ、“再電離”するようになる。

“宇宙の夜明け”ともいえるこの現

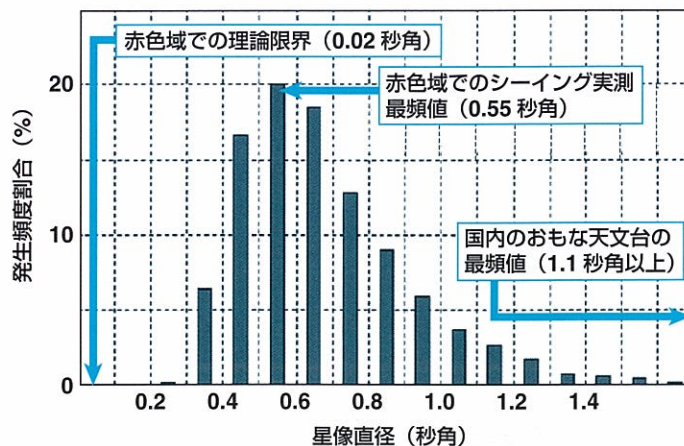
[†] 「今月のキーワード」(p.42)参照。

象がいつどのように起こったのかを解明することが、最近の大きな研究テーマとなっている。すばる望遠鏡の活躍の場はここにある。最遠方銀河の探索と宇宙の再電離過程の解明については、昨年の本誌11月号でくわしく解説させていただいた²⁾。そのエッセンスを簡単に振り返ることにする。

■ 原始銀河探し

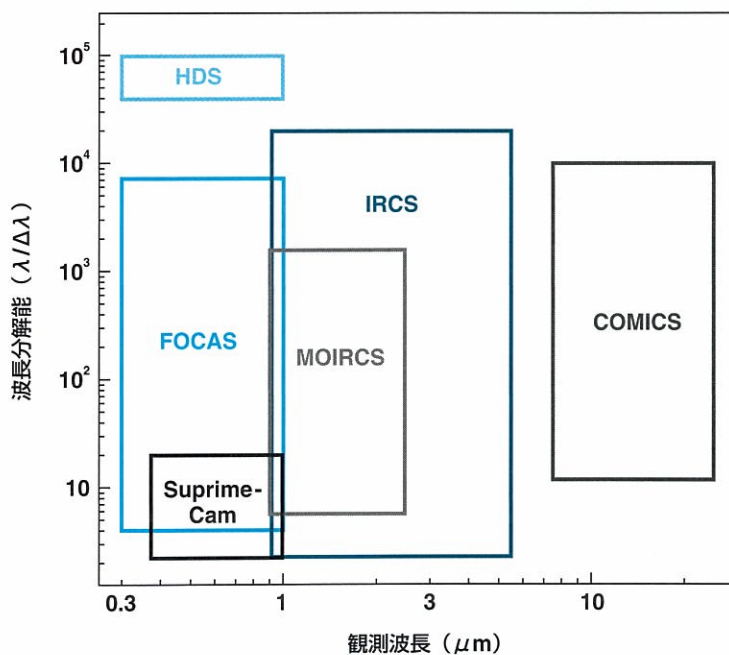
「遠い銀河ほど昔の姿」を見ていることになるので、“宇宙の夜明け”を調べるには、遠い原始銀河を調べる必要がある。原始銀河の星間ガスは、若い星からの紫外線で電離され、水素原子のライマン α 輝線という特徴的な光を放つ。遠い銀河の放つライマン α 輝線は、赤方偏移して近赤外線となる。近赤外線域では地球の高層大気中のOH分子基が光るため、夜空は意外に明るく、遠くの宇宙を見るのは容易でない。だが、OH分子基の隙間の波長域を選べば夜空は暗い。そこで私たちは、このような隙間の波長域の光だけを透す特殊フィルターをつくり、その窓から暗い夜空に浮かぶはるか彼方の原始銀河を探す作戦を立てた。

〈図3〉左の挿入図中に見える赤いしみのような天体が、私たちが発見したもっとも遠い銀河IOK-1だ^{3), 4)}。この銀河は15時間に及ぶ露出で撮影した画像に写った41 533個の天体のなかから、ついに候補として見つけたものである。スペクトル観測で、ライマン α 輝線が赤方偏移6.964の位置に確認でき、IOK-1は128.8億年昔、ビッグバン後約8億年の時代の最遠銀河だと認定された。〈表1〉は、今春の時点で確認された最遠銀河のベストテンである。日本のグループの発見が独占していることに注目してほしい。これ



〈図1〉すばる望遠鏡の星像サイズ統計

国内の天文台より、星が圧倒的にシャープに見える。だが、それでも理論限界(回折限界)に比べると、大気の影響で1桁以上ぼけた像となっている。地上望遠鏡のこの宿命を打ち破る補償光学技術については、後半で述べる。

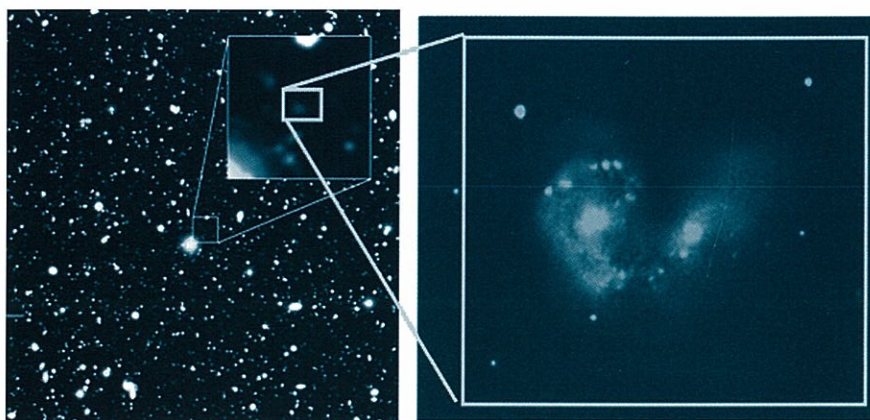


〈図2〉すばる望遠鏡の6台の観測装置の守備範囲

主焦点カメラ(Suprime-Cam)、微光天体分光撮像装置(FOCAS)、高分散分光装置(HDS)の3つの可視光観測装置、近赤外分光撮像装置(IRCS)、近赤外多天体分光撮像装置(MOIRCS)と中間赤外分光撮像装置(COMICS)を使い分け、ほぼあらゆる観測ができる。

〈表1〉2009年2月10日時点での、最遠銀河ベストテン
すべて、すばる望遠鏡による発見となっている。

順位	銀河名	座標	赤方偏移	億年#	論文	出版日
1	IOK - 1	J132359.8+272456	6.964	128.8	家 正則 ほか	2006 年 9 月
2	SDF ID1004	J132522.3+273520	6.597	128.2	谷口義明 ほか	2005 年 2 月
3	SDF ID1018	J132520.4+273459	6.596	128.2	柏川伸成 ほか	2006 年 4 月
4	SXDF Himiko	in SXDS field	6.595	128.2	大内正己 ほか	2008 年 7 月
5	SDF ID1030	J132357.1+272448	6.589	128.2	柏川伸成 ほか	2006 年 4 月
6	SDF ID91163	J132343.4+272954.5	6.587	128.2	柏川伸成 ほか	2009 年 2 月
7	SDF ID91988	J132342.2+272644.5	6.587	128.2	柏川伸成 ほか	2009 年 2 月
8	SDF ID71101	J132450.7+272159.7	6.587	128.2	柏川伸成 ほか	2009 年 2 月
9	SDF ID1007	J132432.5+271647	6.580	128.2	谷口義明 ほか	2005 年 2 月
10	SDF ID1008	J132518.8+273043	6.578	128.2	谷口義明 ほか	2005 年 2 月



〈図3〉もっとも遠い銀河

カラー画像は巻頭ページを参照。(左)すばる望遠鏡で発見した、約129億光年彼方の最遠銀河 IOK-1。空間解像度は0.9秒角。(右)後述の次世代超大型望遠鏡TMTに補償光学装置を装備して、IOK-1を観測したときの想像図。空間解像度は約60倍の0.015秒角に改善され、その構造が見えてくるだろう。(アンテナ銀河(NGC4038/4039)の画像から作成。)

は、すばる望遠鏡だけが視野の広い主焦点カメラを装備したことと、研究グループが一致協力して徹底的な観測を遂行したことによる成果である。

■ 宇宙の夜明け

〈表1〉で気づくことは、第1位が赤方偏移7.0で、第2位以下はすべてほぼ赤方偏移6.6になっていることであろう。これは、すばるで探したのが赤方偏移6.6の時代と赤方偏移7.0の時代だけで、赤方偏移6.7から6.9の銀河を探していないからである。だが、赤方偏移6.6では多数見つかったのに、赤方偏移7.0では1個しか見つからなかったことが、じつは重要な意味をもっている。私たちは、すばるの観測が、ついに宇宙の“夜明け前”(再電離

が完了していない時期)に踏み込んだためではないかと考えている⁵⁾。電離していない中性水素が残っていると、ライマン α 輝線が吸収散乱されて、原始銀河が急速に見えにくくなるからである。

赤方偏移7以上の原始銀河を探すため、世界中の天文台で赤外線カメラを用いた探査を実行中である。だが、赤外線カメラは一般に視野が狭く、赤外線で見えた夜空は明るいので観測が難しく、まだ誰も成功していない。

この分野の観測を先に進めるには、次世代の宇宙望遠鏡や、次世代超大型望遠鏡が完成し、より高度な補償光学技術の実現を待つ必要があるだろう。

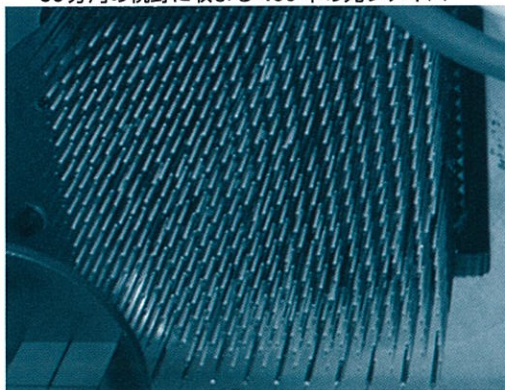
すばる望遠鏡、今後の10年

天体観測装置の科学的寿命は、ほぼ10年といわれている。第1期装置のうち、何台かはすでに引退した。第2期装置として開発したのは、近赤外多天体分光撮像装置(MOIRCS)、多天体ファイバー分光装置(FMOS)、それに次章で述べるレーザーガイド星188素子補償光学装置(LGSAO188)である。多天体ファイバー分光器は、すばる望遠鏡の主焦点に搭載するユニークな装置で、京都大学と英国およびオーストラリアのチームが国際協力で製作した。主焦点の広い視野に写る多数の天体から最大400個を選んで同時に分光し、そのスペクトルを測定することができる。〈図4〉は、目的の400個の天体に、400本の光ファイバーの先端の位置を合わせる装置である。その姿がオーストラリアの卵生は乳類を思わせることから、ハリモグラ(エキドナ)のあだ名がついている。

最終章で述べる次世代超大型望遠鏡が動き出す2010年代後半以降のサイエンスを考え、すばる望遠鏡はその特徴である主焦点の観測機能をさらに充実させる方針を固めている。第3期装置として開発が始まっているのが、現在の主焦点カメラの10倍の視野をもつ超広視野カメラ(HSC)である〈図5〉。HSCが完成すれば、8m級望遠鏡で超広視野と高感度を兼ね備えた世界でも唯一のカメラとなる。これを駆

エキドナ

30分角の視野に収まる400本の光ファイバー



15cm



使していくつかの探査観測を行えば、次世代超大型望遠鏡で観測するのにふさわしい天体をいち早く探することができる。FMOSをさらに大型化し可視域で使えるようにする、超広視野多天体分光装置(HFMOS)の構想もある。これらが実現すると、大量の銀河の赤方偏移を測定できるようになり、すばるの観測性能はその質と量で、ほかの望遠鏡を大きく引き離すことになるはずだ。

レーザーガイド補償光学

補償光学の原理

次世代の観測を大きく変えるのは、おそらくレーザーガイド星補償光学系であろう。すばる望遠鏡では2002年には、最初の補償光学系を完成させた。この装置は、地球の大気のゆらぎで天体像がにじむのを直してしまうハイテク装置である。その原理は半世紀前に提案された⁶⁾が、具体的装置として実現するには電子技術やさまざまな技術の成熟が必要で、1980年代後半から天体観測への応用に向けて本格的な開発が進んだものである。

〈図6〉は、科学研究費特別推進研究を戴いて開発した第2世代の188素子補償光学装置による、初観測時の画像である。すばる望遠鏡初期の“裸眼”での画像(右)と“高性能眼鏡”をかけ

たすばる望遠鏡の画像(左)を比べていただければ、画質のシャープさが大幅に改善されていることを納得していただだけよう。実際、近赤外線では星像サイズが10分の1になるが、このことは星像の中心強度が約100倍になることを意味している。このため、これまで光が薄まってまったく見えなかった暗い星も浮かび上がって見えてくる。

補償光学系の原理を〈図7〉に示す。直径8mの主鏡で集めるガイド星からの光の波面を、主鏡上の188か所に相当する場所で、毎秒約2000回の速さで測り、各点で光波面がゆらぐ状態を測定する。その情報を使って、観測装置の直前に置いた薄い鏡面(可変形鏡)の形を、188か所に貼り付けた電極の電圧を調節しながら、そのゆらぎがちょうど打ち消されるように高速駆動する。すると、乱れた波面が見事に直り、補正された平面波として観測装置に送り込まれるという寸法だ。くわしい説明をするには誌面が足りないのが残念だが、光ビームの伝わり方をリアルタイムで制御してしまうという、ハイテク装置なのである。第1世代の補償光学系については、本誌にくわしい解説記事がある⁷⁾。

だが、補償光学装置を動かすには、大気のゆらぎを測るための、十分に明

〈図4〉多天体ファイバー分光装置の新技術

(左)400本の光ファイバーの先端を、観測したい天体の位置に合わせる装置。オーストラリアの天文台が製作したもので、エキドナ(右図：和名はハリモグラ)の異名をもつ。

るい参照ガイド星が必要である。それも、観測天体のすぐそばに明るい星がなければならない。残念ながら、私たちが見たい遠くの銀河のそばには、そんな都合のよい明るい星はないのがふつうである。129億年彼方の銀河をす

ばる望遠鏡に“ハイテク眼鏡”をつけて見るには、その銀河のすぐそばに十分な明るさのガイド星がどうしても必要である。それならば、これを人工的につくってしまおうというのが、とんでもない“レーザーガイド星生成シス

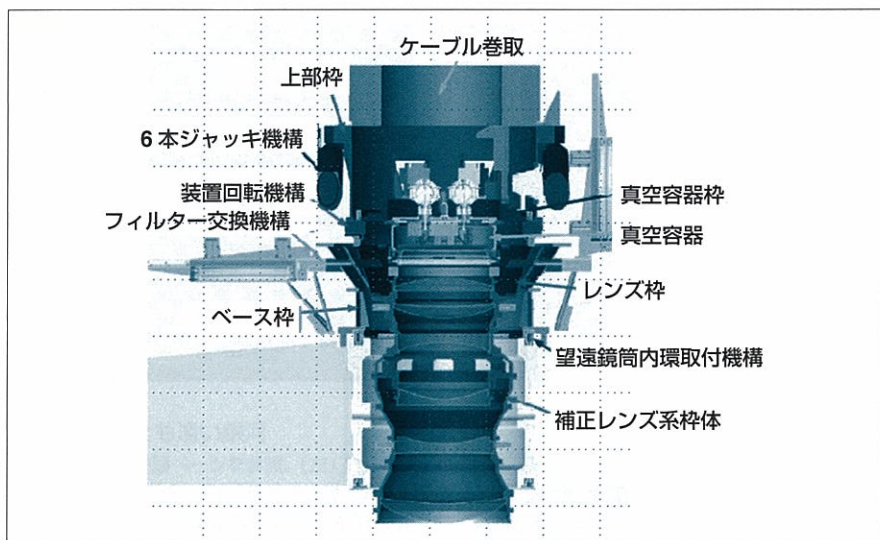
テム”である。このアイデアは1985年に発表され⁸⁾、1987年に開発が始まった⁹⁾。このあたりの事情については、1992年に本誌で解説記事を紹介したので参照されたい¹⁰⁾。

具体的には、高度90 kmの地球上層大気に存在する厚さ10 km弱のナトリウム層を利用する。この層に向けて、ナトリウムD2線(波長589 nm)に波長を調節したレーザービームを照射すると、この層のナトリウム原子が励起されて光る。高速道路の照明でおなじみの、オレンジ色のナトリウムランプの光である。レーザーの出力を上げると、参照ガイド星として利用できる明るさの“人工星”を上空につくることができるわけだ¹¹⁾。

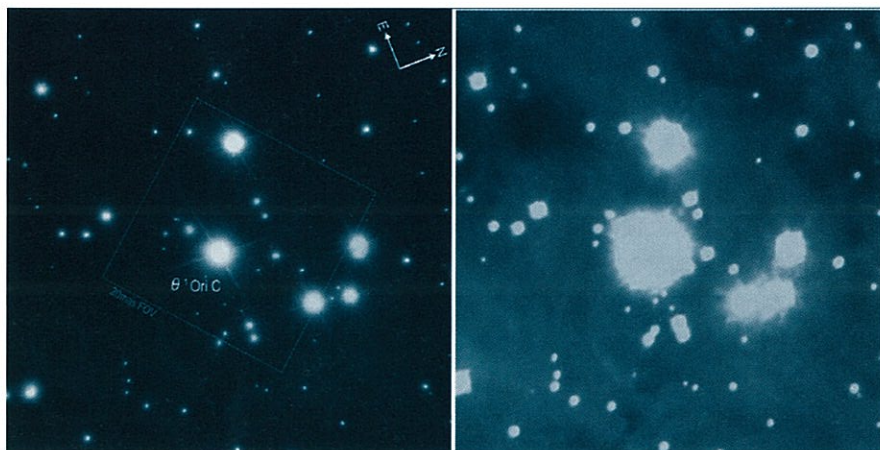
レーザーガイド星生成装置を組み込んだ補償光学系は、大型望遠鏡が本来もつ解像力をその理論限界にまで高めた観測を実現する。今年6月の上旬には、ハワイ島のマウナケア山頂にある、すばる望遠鏡、ケック望遠鏡、ジェミニ望遠鏡が、同時にレーザーガイド星補償光学系を使った観測を行うという夜があった<図8>。なんだか、『スター・ウォーズ』の世界を思わせるが、レーザービームがほかの望遠鏡の観測の妨げにならないように、また夜間上空を通る航空機のパイロットの妨げにならないように、レーザービームの照射を安全に制御し、天文学者は協調している。レーザーガイド星補償光学系の利用が日常化すると、すばる望遠鏡の近赤外線での観測能力は、格段に向上する。

次世代超大型望遠鏡TMT計画

すばる望遠鏡は1984年に本格的な検討を始め、1991年から建設が始まり、



〈図5〉すばる望遠鏡主焦点カメラの10倍の視野をもつ、次世代超広視野カメラHSC 2012年に観測開始の予定である。世界最大の高感度広視野カメラとなる。

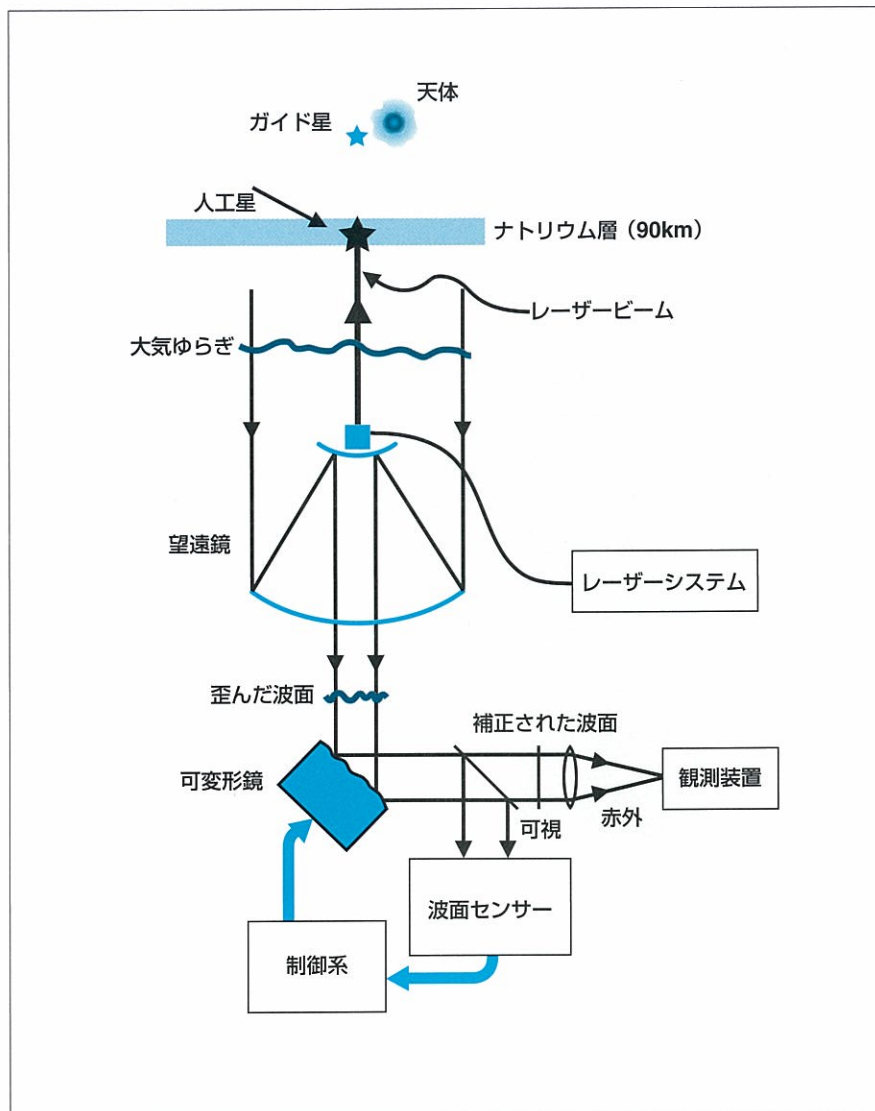


〈図6〉制御素子数188の第2世代の補償光学系による像改善の実例

カラー画像は巻頭ページを参照。オリオン大星雲のなかのトラペジウム領域。右の写真はすばる望遠鏡のファーストライト時(1999年)に、補償光学なしで撮影したもの。左の写真は補償光学系の初観測(2006年)で撮影したもので、解像度が10倍に向上した。

ファーストライトが1999年、運用開始が2000年であった。つまり、検討開始から実現まで17年の歳月を要したことになる。すばる望遠鏡の第1期観測装置7台がすべてほぼ立ち上がった2002年ごろから、すばるの次の望遠鏡として直径30 mの望遠鏡(JELT)構想の検討を始めた。JELTの分割主鏡は、六角形でなく同心円のリングをバームクーヘンのように扇型にスライスした形とし、ガラスより丈夫な特殊セラミック素材でつくることによってコストダウンを図った。また、望遠鏡の光学系に3枚の非球面を採用して、大きく平坦な焦点面の端までくっきりと写るようにするなど、独自のアイデアを盛り込んだ設計にした。そのころ、欧州では直径100 mのOWL望遠鏡構想、米国やカナダでもいくつかの20~30 m級望遠鏡構想の検討が進められていた。だが、どれも建設予算が1000億円を超える規模になるため、国際協力の模索が始まった。日本はすばる望遠鏡のあるマウナケア山頂での早期実現をめざし、米国のTMTグループとの共同事業とする可能性を探ることを2007年1月に決意した。

TMT<図9>は、カリフォルニア工科大学、カリフォルニア大学、カナダ天文学大学連合が構想推進中の30 m望遠鏡計画である。国立天文台はまだ予算の裏づけはないものの、2008年11月に覚書を交わして、構想実現の検討に参画を始めた。2009年7月21日にロサンゼルス郊外で開催されたTMT評議会に筆者も参加したが、ここで建設地をマウナケア山頂地区にすることが決定された。日本にとっては、広視野探査機能とレーザーガイド補償光学機能の開発で、すばる望遠鏡



のパワーアップを図っているところでもあり、すぐとりに国際協力でもあり、すばる望遠鏡による広視野探査観測が進み、レーザーガイド補償光学系も断層写真法を組み込むなどの高度化が進んでいるはずだ。赤方偏移7以上の原始銀河やガンマ線バースト天体が多数見つかり、宇宙の夜明けの終了時期は特定できているであろう。

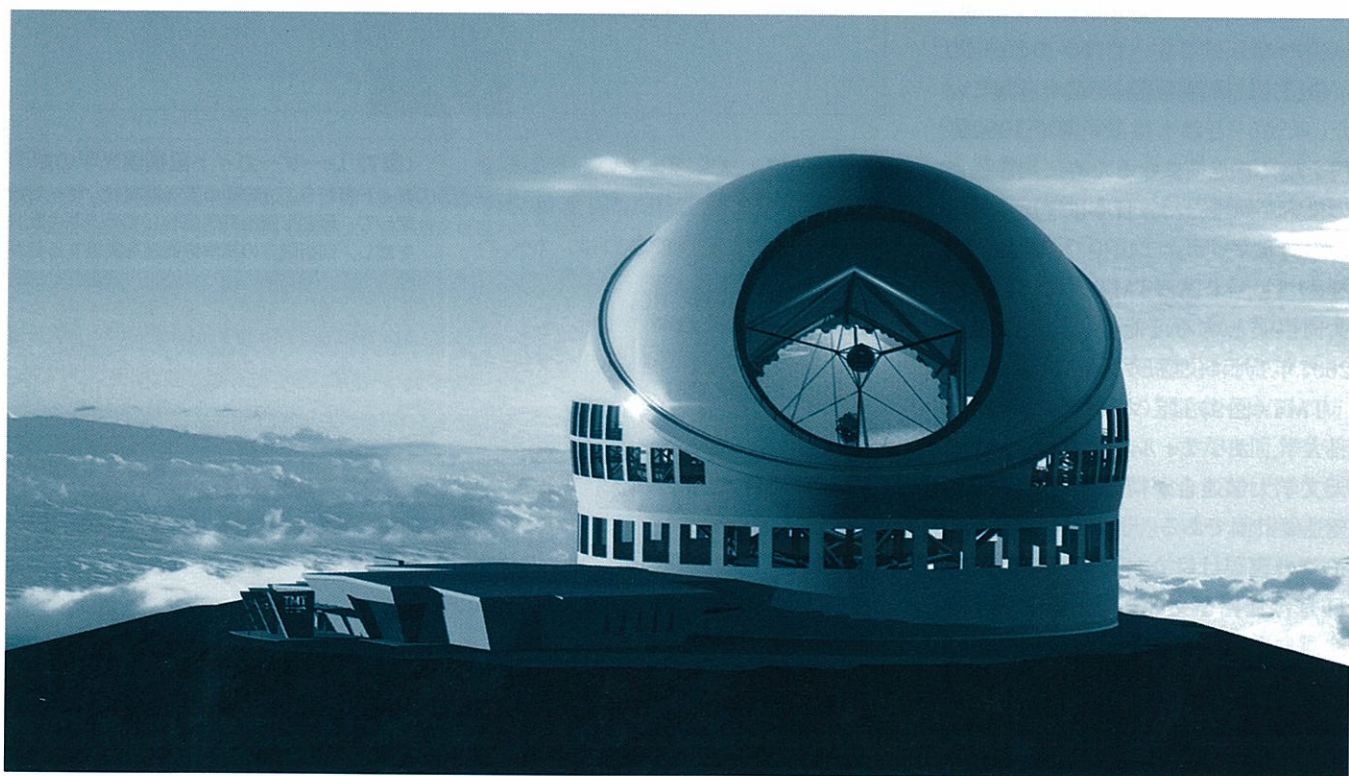
TMTでの観測が始まるころまでには、すばる望遠鏡による広視野探査観測が進み、レーザーガイド補償光学系も断層写真法を組み込むなどの高度化が進んでいるはずだ。赤方偏移7以上の原始銀河やガンマ線バースト天体が多数見つかり、宇宙の夜明けの終了時期は特定できているであろう。

次世代超大型望遠鏡計画としてはTMTのほかに、直径24 m相当の大マゼラン望遠鏡計画GMTと、直径42 m相当の欧州次世代超大型望遠鏡計画

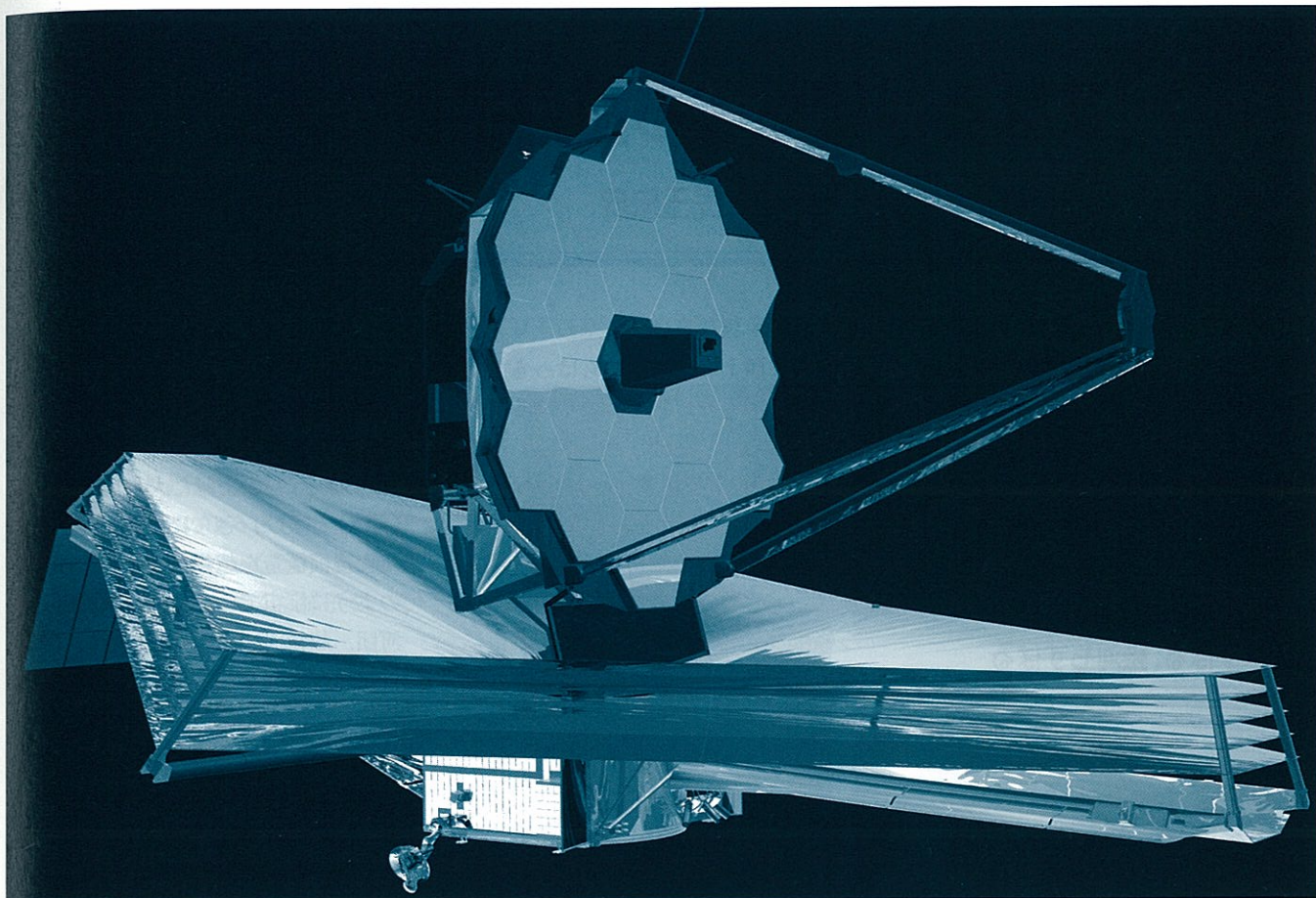
〈図7〉レーザーガイド星補償光学の原理
ガイド星からの光のゆらぎを波面センサーで測定して、可変形鏡を高速駆動して光波面の乱れを直し、回折限界の高解像観測を実現するのが補償光学系である。レーザーガイド星生成システムは、観測したい方向に明るいガイド星がないときでも、上空90 kmのナトリウム層をレーザーで照射して、ナトリウム原子を発光させ、“人工星”をつくって、補償光学系をいつでも使えるようにする。



〈図8〉すばる望遠鏡(左), ケック望遠鏡(中), ジェミニ望遠鏡(右)の3つの望遠鏡からのレーザービームが同時に交錯する山頂風景
月明かりがある時間帯の撮影のため、あたかも昼間の写真のように見える。レーザービームの交錯は、映画『スター・ウォーズ』の一場面を思わせる(カラー写真は巻頭ページを参照。国立天文台提供、ハワイ観測所 布施哲治氏撮影)。



〈図9〉マウナケア山頂のTMT完成予想図
(Courtesy TMT Observatory Corporation. Image rendering by Todd Mason.)



〈図10〉 2014年に打ち上げが予定されている6.5 m宇宙望遠鏡JWST

(Credit: NASA, ESA, S. Beckwith (STScI) and the HUDF Team.)

E-ELTの構想がある。これらの望遠鏡もTMTに続いて完成するだろう。

2014年に打ち上げが予定されている6.5 m宇宙望遠鏡JWST〈図10〉は、太陽や地球からの熱放射の届かない位置から宇宙を見る予定である。背景光が強すぎて地上からの観測が困難な、中間赤外線での観測に大活躍するであろう。JWSTやTMTを活用して赤方偏移20の時代の銀河を観測し、宇宙の夜明けの始まりの時代を解明できるかもしれない。

TMTはその絶大な集光力を生かした分光観測と高度な補償光学を生かした高解像度観測で、JWSTと相補的な成果をあげることになるだろう。これは現在する望遠鏡とハッブル宇宙望遠鏡が協調して成果をあげている状況の自然な延長である。

最初に生まれた星々には重元素がほとんどなかったはずであり、これらの

星を種族IIIの星とよんでいるが、実際にそのような星が確認できるかもしれない。また、宇宙の夜明けは原始銀河の生まれた周辺から方々で始まり、宇宙全体に広がったと考えられるが、その様子を直接目撃することもできるかもしれない。

太陽系外惑星の探査についても、ドップラー法での探査に加えて、直接撮像での探査に大きな進展があるはずである。恒星面を惑星が通過するときの観測から、惑星の大きさ、光度、重力、元素組成などの測定も進む可能性がある。補償光学の高度化で、惑星になる前の原始惑星系円盤の構造の観測なども期待できる。この分野などではチリに建設中のアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計(ALMA)の超高解像度観測との連携も楽しみである。

TMTが解き明かす宇宙の姿をぜひ、早く見たいものである。

参考文献

- 1) 林 正彦：日経サイエンス 2009年2月号 24-31 ページ。
- 2) 家 正則：「宇宙の夜明けに迫る——最果ての銀河探査」パリティ 2008年11月号 4-14 ページ。
- 3) M. Iye *et al.*: *Nature* **443**, 186(2006).
- 4) 最遠銀河発見についての記者発表は、http://subarutelescope.org/Pressrelease/2006/09/13/j_index.html
- 5) N. Kashikawa *et al.*: *Astrophys. J.* **648**, 7 (2006).
- 6) H. W. Babcock: *Publ. Astron. Soc. Pacific* **65**, 229(1953).
- 7) 高見英樹, パリティ 2002年5月号 22 ページ。
- 8) R. Foy and A. Labeyrie, *Astron. Astrophys.* **152**, L29(1985).
- 9) L. A. Thompson and C. S. Gardner: *Nature* **329**, 229(1987).
- 10) グラハム・コリンズ：「星を見るために星をつくる」(家 正則訳) パリティ 1992年7月号 52 ページ。
- 11) レーザーガイド補償光学試験成功についての記者発表は、http://subarutelescope.org/Pressrelease/2006/11/20/j_index.html

物理科学雑誌

parity

第24巻第10号
2009年10月1日発行
毎月1回1日発行
1986年3月7日第三種郵便物認可
ISSN 0911-4815

PHYSICS TODAY 提携

パーティ

2009
10

すばるが描く宇宙の古地図 | 次世代超大型望遠鏡 | 超新星と宇宙の初代星

銀河宇宙の時空を俯瞰する | 太陽系外惑星と惑星誕生のなぞ

有機発光素子で大スクリーン | 非生物系で探る生物同期現象 | 新連載: 物理で深まる鉄道趣味

特集: すばる望遠鏡の10年

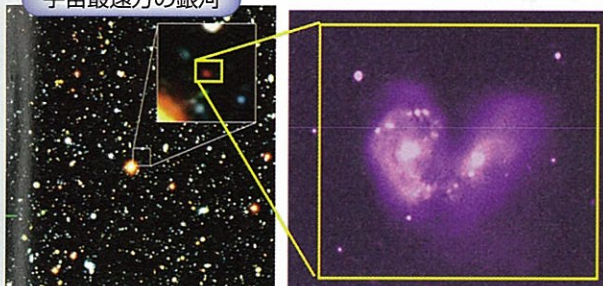


MARUZEN

物理の雑誌

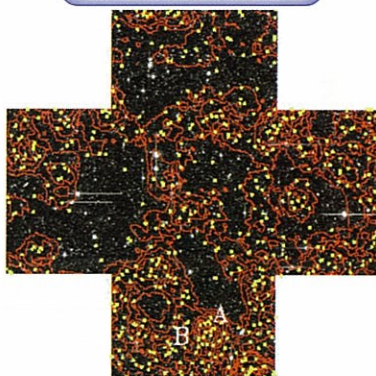
すばる望遠鏡が拓いた、 2000年代の天体物理学

宇宙最遠方の銀河

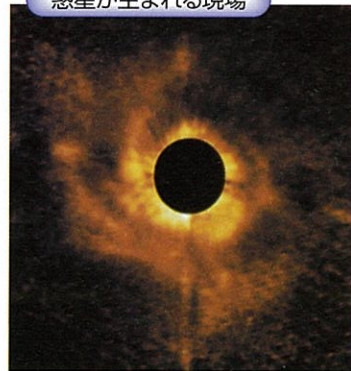


世界に類を見ない高感度・広領域探査能力をもつすばる望遠鏡があげてきた成果は、どれもめざましい。来るべき大望遠鏡時代に先駆けて、10年目からのすばる望遠鏡が見つめていくものとは。くわしくは4ページからの特集記事、「すばる望遠鏡の10年」を参照。

最古の銀河宇宙の地図



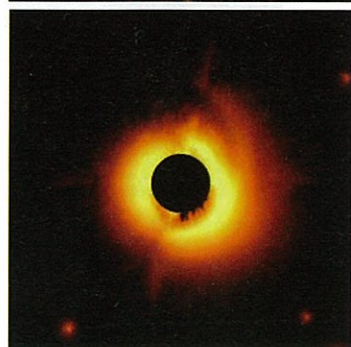
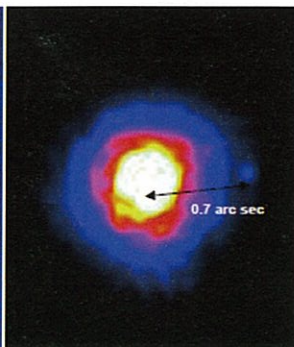
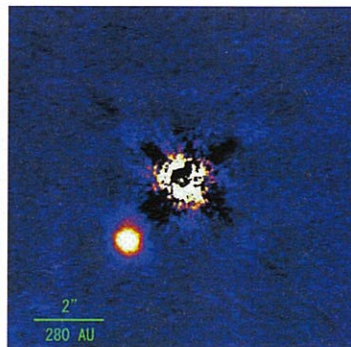
惑星が生まれる現場



補償光学系で暗い星も見える



コロナグラフで見る系外惑星



特集： すばる望遠鏡の10年

巻頭言にかえて

林 正彦，関井 隆

関井 今年は世界天文年にあたります。ガリレオの天体観測から400年という節目の年なわけですが、すばる望遠鏡もファーストライトから10年という区切りの年になりました。

林 そうですね。すばるの構想が始まったのが1980年代の中ごろ。関井くんや私が大学院生のころは、どんな望遠鏡にするべきか、どこに望遠鏡を置くべきか、みんなでいろいろと議論していましたね。

関井 そうでした。世界最大級の望遠鏡をもてる、ということであれもやりたいこれもやりたい、という意見があったり、いや何か1つ得意技をもつべきだ、という意見があったり。

林 そうそう。結局、方向性を極端に絞ることはしませんでしたね。

関井 せっかくですから、ガリレオの望遠鏡と比べてみましょうか。ガリレオの望遠鏡は口径がどれくらいだったか、ご存じですか？

林 ガリレオは何本かつくってるんですよ。よく引き合いに出されるのは口径が51 mmのヤツ。

関井 そうすると、すばるは8.2 mとして口径が160倍ですから分解能も160倍、集光力は2万6千倍というわけですか。

林 そんな違いもそれは大きいですが、ある意味ではもっと大きいのは、ガリレオの望遠鏡は眼視用だったということ。すばるにかぎらず、現代の望遠鏡は集めた光を目で見るのではなく、いろいろな観測装置でデータを取ります。どんな観測装置を使うか、ここが勝負になります。

関井 なるほど。観測装置といえば、すばるは主焦点カメラが有名ですね。

林 広視野を活かした主焦点カメラは、すばるのもっとも強力な武器です(大内氏(p.6)、児玉氏(p.24)の記事参照)。ほかにも、近赤外線で大視野の観測ができるMOIRCSもある(児玉氏の記事参照)。星の分光観測では、HDSが威力を発揮しますし(青木氏の記事(p.32)参照)。

関井 こうした観測装置群も、世界最先端といえるのでしょ

うか？

林 ほかの同クラスの望遠鏡を圧倒的に引き離しているのは、やはり主焦点カメラでしょうね。ほかの望遠鏡でもこういう装置が欲しいのですが、そのためには望遠鏡をつくり直すくらいの大改造が必要になるので、どこもできないのです。まさにすばるの独壇場です。LSST（大型サーベイ望遠鏡）ができるまでは、すばるの優位はゆるがないと思いますよ。

関井 今回の特集の田村さんの記事（p.37）に出てくるコロナグラフなんかも、非常に特徴のある観測装置の1つですね。

林 コロナグラフも、8 m級望遠鏡の専用装置としてはすばるが初めてでしたけど、最近ほかの望遠鏡でもより高性能な専用装置が開発されつつあるので、すばるもうかかしてはいられません。

関井 過去10年を振り返ってみて、すばるの最大の成果をあえて1つあげるとしたら、何をあげられますか？

林 う～ん、1つといわれると（笑）。やはり家さんの宇宙最遠方の銀河ですかね。世界記録はわかりやすいですし。

関井 世界記録はたしかにわかりやすいです（笑）。ほかにも世界記録はあるんでしたよね。

林 青木さんの、宇宙でもっとも重元素の少ない星の検出も世界記録ですし、わかりやすい傑出した成果ですね。河合（誠之）さんの宇宙最遠方のガンマ線バーストの記録は、残念ながら抜かれてしまいました。すばるはあまり機動性が高くないので、突発天体の観測には不利な面があります。

関井 世界記録でなくても、天体物理学として重要な成果をあげるとしたら。

林 大規模構造が宇宙初期にも検出できたこと、ダークマターのつくる構造のなかで銀河形成が進んだ証拠が得られたこと、小さな円盤銀河が合体して楕円銀河が形成された証拠を見つけたこと、さまざまな形の原始惑星系円盤があるとわかったこと、微惑星の存在証拠が太陽系外で初めて見つかったこと、小惑星の大きさの分布から月のクレーターの起源がわかったこと、なんかは重要ですね。

関井 はい。そうかがうと、天文学のここ10年間の流れで、多くの人を惹きつけてきた分野のそれぞれで、すばるが重要な成果をあげてきたことがよくわかります。非常に成功したプロジェクトだといえると思うのですが、あえてうかがいますと、もしすばるをやり直すチャンスが与えられたとしたら、どこを変えますか？

林 すばるは理想をすべて詰め込んだ望遠鏡ですから、こ

れ以上のものはないでしょう。あえていうならば、カセグレン焦点を光を折り曲げる形にして、もっと多くの装置を同架できるようにしておけば、突発天体などにもフレキシブルに対応できる望遠鏡になっていたでしょうが。

関井 そうやって機動性を増す手段もあるわけですか。そういったことが将来の大望遠鏡計画に生かせるといいですね。家さんの記事（p.16）にありますけど、30 m望遠鏡（TMT）計画もまたひと山越えて、いよいよ本格的に動き出す感じですよ。

林 日本の可視光赤外線波長での観測天文学は、すばるによって世界の最先端に躍り出たわけですが、ここで気を抜いてしまえばすぐに置いて行かれます。研究者の数だけでいっても、天文学先進国の欧米にはそれぞれ日本の10倍以上いるわけですから。これまですばるで培ってきた日本の観測天文学のレベルを維持し、世界をリードしていくには、早いレベルから次世代の大型望遠鏡計画に主要メンバーとして参画し、行動していくことが必要不可欠です。幸いTMTはハワイに来ることが決まりましたから、ハワイで実績がある日本にとっては願ってもないチャンスがやってきたわけですよ。すばるのときと同じように、多くの日本人に応援してもらえるとうれしいです。

関井 学問として成果の出せる望遠鏡なら、みんな応援するのはないでしょうか。さて、次の大望遠鏡はしばらくおくとしまして、すばるは今後何をしていくんでしょう。

林 圧倒的に優位な主焦点を生かした観測ですね。主焦点の近赤外線ファイバー分光器は、もうすぐ使えるようになります。数年後には、いまつくっている超広視野カメラが動き始めます。これで大規模サーベイをやって、暗黒エネルギーとか、遠方宇宙を研究します。超広視野の可視光分光器もつくれたら、天の川銀河系の形成史のようなものもわかるかもしれませんね。すばるは、駆動性能や光学性能でも同クラスの望遠鏡に比べて優れていますから、超高次の波面補償光学装置を使って、より軽い系外惑星を検出するのにも大きな役割を果たすと思いますよ。

（背景写真 撮影：Pablo McCloud）