

観測天文学を支える 高感度・高精度化技術*

High Sensitivity, High Precision Technologies in Observational Astronomy

家 正則**
Masanori IYE

Key words

adaptive optics, aspheric mirror, early universe, extra solar planets, large telescopes, laser guide star, solid state detectors, space telescopes

この20年間の観測天文学の進歩には目を見張るものがある。その進歩を支えているのは、望遠鏡の大型化とハイテク技術を駆使した観測装置や検出器の高感度・高精度化である。本稿では、観測天文学の最前線の一端と観測の高感度・高精度化への精密工学技術の寄与例をご紹介しよう。

1. 天文学の最前線

1.1 最遠銀河探査の世界競争

筆者のグループはすばる望遠鏡を駆使して、人類がその距離を測定した最も遠い銀河の発見を2006年9月に発表した。図1のシミのような天体が距離128.8億光年のかなたにある原始銀河である。発見者の頭文字を連ねてIOK-1と名づけた。その距離は測定した赤方偏移の値6.964から計算したものである。宇宙は137億年前のビッグバンで始まった。この銀河からの光は地球に届くまでに128.8億年かかっているから、われわれが見ているのはビッグバンから、まだ8億年ほどしか経っていない時代の姿ということになる。

137億年前にビッグバンで始まった宇宙は急速に膨張し、ビッグバンから38万年後には、高温のプラズマが冷えて陽子と電子が結合し、宇宙は中性水素原子で満たされるようになった。最新宇宙論では、その後、約2~3億年して最初の世代の星が生まれ始めるまで、宇宙は「暗黒時代」となる。次々に生まれる若い星からの紫外線で、宇宙は再び暖められたと考えられている。すばる望遠鏡を駆使した日本のグループの研究から、宇宙が今日のように再び電離したのはちょうどビッグバンから8億年のころだった可能性が見えてきた。

私たちはこれを「宇宙の夜明け」と呼んでいる¹⁾。このシナリオを確かめるには、より多くの銀河をより昔の時代に見つける必要がある。筆者たちも自己世界記録を更新すべく、4年間探査観測を続けており、実際すばるにより発見された銀河がベスト20位までを独占する状況が続いている²⁾。すばるがダントツ状況だった、そんな中2010年11月に欧州のグループがIOK-1より少し遠い銀河を2例発見した。ちょっぴり残念だが、スリリングな競争は続いている。現在、世界記録奪還に向けて、さらなる挑戦を続けている。

1.2 太陽系外惑星探査の進展

1995年にペガス座51番星を観測していたメイヤーたちは、その速度が周期的に変動していることから、この星の周りを公転する惑星規模の見えない天体があることを示した。それ以来同様の探索や別の手法での観測が進み、惑星候補天体をもつことが確認された恒星は、今では500個を超えた。

2010年には、国立天文台の田村氏のグループが後述す

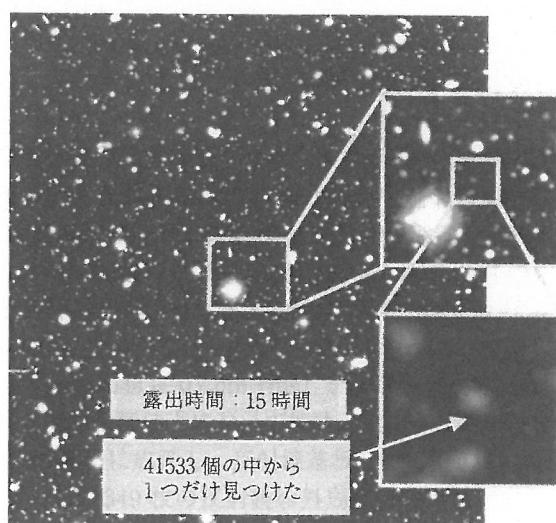


図1 すばる広視野カメラに世界で一枚しかない特殊狭帯域フィルターを装着して撮影した4万個余りの銀河の中から探し求めた最遠銀河IOK-1(パネル中央の天体)を発見した。

*原稿受付 平成23年1月16日

**国立天文台(東京都三鷹市大沢2-21-1)

家 正則

1977年東京大学理学系大学院博士課程修了。東京大学東京天文台助教授、国立天文台助教授を経て1992年より国立天文台教授。理学博士。専門は銀河物理学、観測天文学。



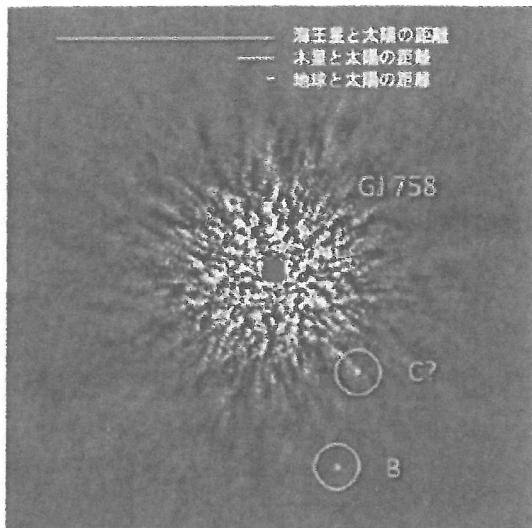


図2 太陽とよく似た星 GJ758 の周辺に見つかった惑星候補天体 B



図3 完成時の最終検査風景

る補償光学系を用いて、太陽系外惑星候補の撮影について成功した。図2は、中心星GJ758の像を補償光学系で回折限界像の大きさにまで小さくし、特殊な人工日食を起こして、周辺の微かな惑星候補天体を撮影したものである。この発見はニューヨークタイムズ誌が選んだ2010年の科学成果10傑の一つに選ばれた。この惑星候補天体は木星の10倍ほどの質量をもつ天体だが、今後地球に似た規模の惑星が遠からず見つかることと期待されている。

1.3 暗黒エネルギーの発見

1998年には遠方の超新星の観測から宇宙膨張が減速ではなく、加速している可能性があることが指摘された。半信半疑だったが、2003年には宇宙背景放射異方性観測衛星WMAPの観測からもこのことが確認された。さらに宇宙の構成要素は通常の物質はわずかに4%しかなく、質量をもつが見えない暗黒物質が約23%、残りの73%は宇宙空間を拡げる未知のエネルギーであるということが発見された。この未知のエネルギーは暗黒エネルギーと名づけられた。その正体の解明には、20世紀の一般相対性理論と量子力学の発見に匹敵する、物理学の大革命を待たねばな

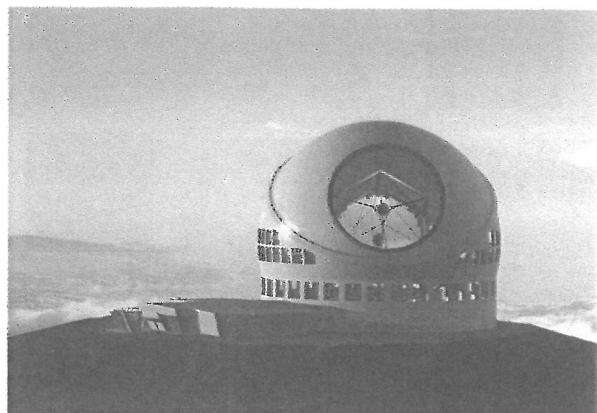


図4 次世代超大型望遠鏡 TMT の完成予想図

らないだろうといわれており、物理学者と天文学者は21世紀最大の難問をつきつけられることになる³⁾。

2. 望遠鏡の大型化

これらの大きな発見をもたらせたのは、天文学観測技術の驚異的な発展にほかならない。第一には望遠鏡の飽くなき大型化である。

2.1 すばる望遠鏡

日本の近代天文学は1960年に岡山県に東京大学東京天文台が建設した直径1.88mの望遠鏡から始まった。完成当時世界7位だったこの望遠鏡は1980年代後半には世界40位程度となり、筆者たちの世代の研究者は国内の観測では世界に対抗できる研究ができなかった。

すばる望遠鏡は1991年から9年がかりで国立天文台がハワイ島の高度4200のマウナケア山頂に建設した。初めて外国の地に国有研究施設を建設するため、未経験なことが山積したが、世界一の望遠鏡を世界一の場所に建設したいという思いが実を結んだ。

すばる望遠鏡の直径8.2m、厚さ20cmの超低膨張ガラス製の主鏡は、ガラスの製作に3年、研磨に4年を要した。従来の望遠鏡と大きく異なり、コンピュータ制御での鏡面が常に正しい曲面になるように能動的に制御する方式とした。ドームの構造などにも新しい工夫を施したおかげで、すばる望遠鏡の結像性能は世界でも最高のものとなった。このおかげで日本の天文学は世界の先端に踊り立てることができたといえる⁴⁾⁵⁾。

2.2 次世代超大型望遠鏡 TMT

すばる望遠鏡規模の大型望遠鏡は、2000年代には世界中で合計10台を超えた。この10年間にすばる望遠鏡などでさまざまな成果が得られたが、世界中の天文学者はすでに、その観測能力の限界に直面しており、次世代のより大きな望遠鏡を建設する構想を練っている。図4はマウナケア山頂域に2020年ごろの完成を目指して、日・米・加・中・印の国際共同計画として構想されている直径30mの望遠鏡計画TMTの完成予想図である。この望遠鏡では直径1.5mの六角形の非球面セグメント鏡を492枚敷

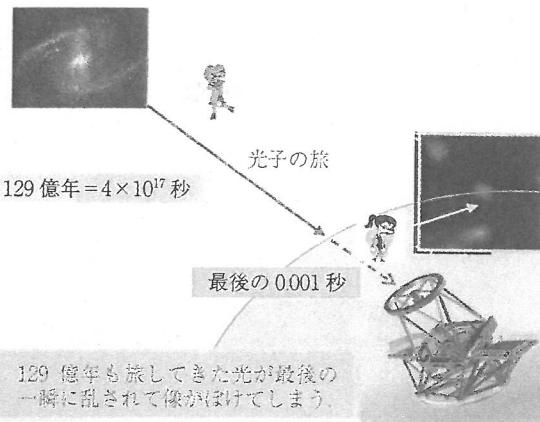


図5 129億年の旅も最後の一瞬で台無しに

き詰めて、全体がまるで一枚の連続した30m鏡のように機能するように実時間制御する。建設総予算は1000億円を少し超えると見積もっているが、日本はすばる望遠鏡建設などで培った高度技術を生かして、全体の約1/4を分担製作する構想を練っているところである。ゼロ膨張ガラス材、高精度非球面研磨、望遠鏡精密駆動などの分野で日本が世界をリードする技術がある。

この望遠鏡が完成すると、現在すばる望遠鏡で見える限界が28等星なのにに対し、33等星まで見えると期待されている。ちなみに月面が日陰になる新月の日に暗い月面にゲンジホタルを一匹置いて、光らせると地球から見たときの明るさがおよそ33等星となる。

TMTはその光を捕らえることができるほどの高感度となる。

3. 補償光学技術

面積ですばる望遠鏡より13倍大きいTMTの威力は、大気のゆらぎを直してしまうハイテク技術「補償光学」の高度化により、異次元のレベルに到達する。

129億光年かなたからの光子は、地球まで129億年かけて宇宙を旅してきた。その光子が最後の0.001秒間に地球の大気を通過する間に、大気のゆらぎのため乱されて、画像がぼけてしまう。はるばる旅してきた光子（さん）にとってはこんなに悲しいことはない。このゆらぎを取り除いて、もとの美しい姿を見せるようにするハイテク技術を補償光学と呼ぶ。

筆者たちの開発した補償光学系は、大気ゆらぎの効果を打ち消してすばる望遠鏡の空間解像力を、その理論限界である回折限界にまで高めることに成功した。その原理を図6に示す。

波面センサーは大気ゆらぎによる光波面の主鏡上での誤差分布をkHzのサンプリングレートで測定する。その信号を得て可変形状鏡を、光波面誤差を打ち消すように高速駆動すると、大気のゆらぎを打ち消すことができるという寸法である。

大気のゆらぎを波面センサーで測定するにはおよそ12

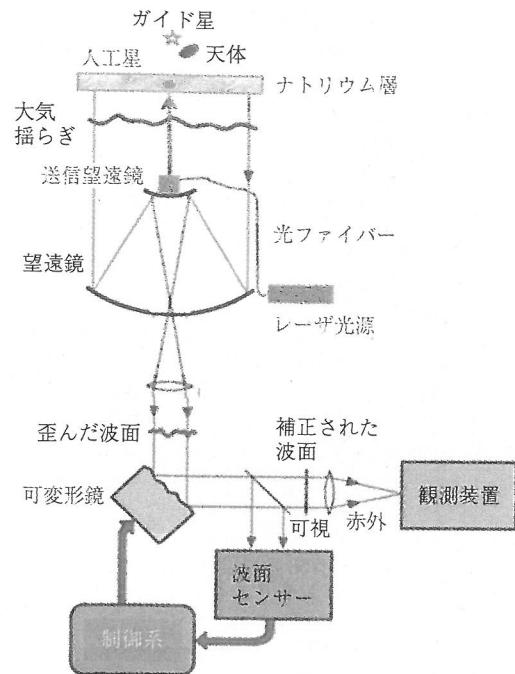


図6 補償光学システムの原理

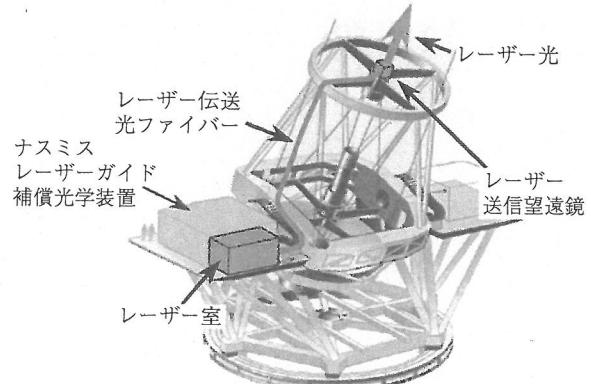


図7 すばる望遠鏡レーザーガイド補償光学系の構成

等星より明るいガイド星が必要だが、観測したい天体のすぐそばに適切なガイド星がない場合には、すばる望遠鏡からレーザービームを放って、上空高度90kmの高さで光る人工ガイド星をつくる。

これは高度90kmの大気中にナトリウム原子密度の高い層があることを利用した革新的技術である。オレンジ色のナトリウムD線で発振する約6Wのパワーレーザーを打つと、上空のナトリウム原子が励起されて光る現象を利用したものである。

筆者たちのグループでは2002年から9年がかりでこのシステムを開発してすばる望遠鏡に実装し(図7)、この記事を書いている現在、その最終試験をマウナケア山頂で行っている。レーザーガイド星補償光学系は次世代の観測に必須の技術となっており、マウナケア山頂でレーザービームが交錯する毎夜である(図8)。

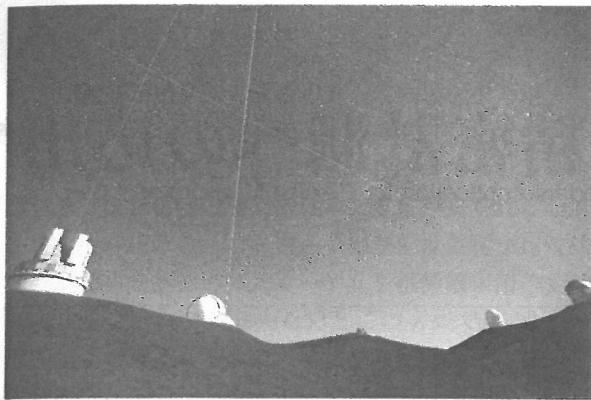


図8 マウナケア山頂に飛び交うレーザービーム

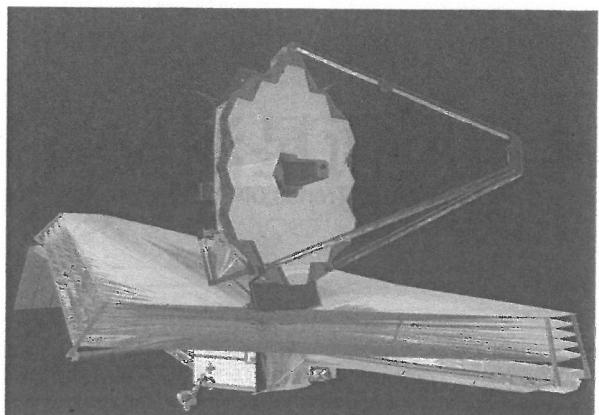


図9 6.5 m 宇宙望遠鏡 JWST

4. 波長域拡大と検出器技術

地上から観測できる可視光と近赤外線の一部、それと電波では望遠鏡の大型化と観測装置の高度化、さらに半導体検出器などの高感度化が、新たな世界を切り開いてきた。地上に届かない電磁波であるガンマ線、X線、紫外線、中間赤外線、遠赤外線などの観測は、ロケットや人工衛星に観測装置を搭載して地球大気外に打ち上げることで可能になった。X線望遠鏡や遠赤外線望遠鏡は可視光では見えない宇宙の姿を次々に見せてくれた。

宇宙技術の急速な進歩により、これらの宇宙空間からの観測に使用できる望遠鏡も次第に大型化している。

最も有名なのは1990年に打ち上げられた口径2.4mのハッブル宇宙望遠鏡であろう。打ち上げ直後に光学系に問題があることが分かり、数年後には補正メガネを取り付けて視力を改善する改修をスペースシャトルの乗組員がハッブル宇宙望遠鏡を宇宙空間で回収して行った。ハッブル宇宙望遠鏡の後継機として2014年には直径6mのジェームス・ウェブ宇宙望遠鏡 JWST の打ち上げが予定されている(図9)。

JWST は地球周辺より約 150 万 km 離れ、日傘を展開すると太陽と地球の両方を遮ることができるラグランジュ点(L2)に打ち上げられる予定である。この場所は邪魔な熱放射が少なく理想的な観測場所となるが、あまりに遠いため、何か故障があっても修理に行くことができない点が気がかりである⁶⁾。

精密工学が支え発展させてきた観測天文学では、これからもまだ驚きの発見が待っていることと思う。

参考文献

- 1) 家正則：宇宙の夜明けに迫る—最果ての銀河探査—、パリティ、11 (2008) 4-14.
- 2) 林正彦：すばるが明らかにした宇宙、日経サイエンス、2 (2009) 24-31.
- 3) 家正則：次世代超大型望遠鏡の時代を読む、パリティ、10 (2009) 16-23.
- 4) 家正則：すばる望遠鏡、岩波ジュニア新書、(2003).
- 5) 家正則：すばる望遠鏡と観測装置の技術、日本物理学会誌、63、12 (2007) 93-98.
- 6) R. イリアン：ジェームス・ウェブ宇宙望遠鏡、日経サイエンス、1 (2011).