

## 特集

# 2020年の宇宙学へ

### 観測天文学の光と闇

天文学は実に面白い。光の望遠鏡で始まった近代天文学は、20世紀中頃からの電波望遠鏡の参入で、光では見えない低温のガス成分の理解が進んだ。 gamma線、X線、紫外線、赤外線など、地上からは観測できない電磁波については、20世紀後半に気球やロケット搭載の観測装置から始まり、1990年代以降、次々と打ち上げられた宇宙望遠鏡により、さまざまな新しい天体と現象の発見が続いた。宇宙の地図づくりを手がけたスローン・デジタル・スカイ・サーベイ、口径8~10m級の光赤外望遠鏡とハッブル宇宙望遠鏡の連携による遠方の銀河や超新星の観測、マイクロ波背景放射に関するCOBEやWMAPの成果など、この10年間の宇宙観測の発展は目を見張るばかりである。2020年代には、これらの成果でのノーベル賞受賞が複数となっているものと思われる。

つい数年前まで、放送大学のTV授業では宇宙年齢は $150 \pm 50$ 億年と講義していた。今では宇宙年齢が約137億年程度となる加速膨張の「標準モデル」を使って論文を書かないと受理されない。われわれの知っている普通の物質は宇宙の約4%程度でしかなく、宇宙の約76%はダークエネルギー、約20%はダークマターだという。誰もその正体を知らないダークエネルギーについては、どうしたら解明できるのかさえわかっていない。まさに「お先真っ暗」状態だ。新しい発見が新しい謎を生む。だからこそ、天文学が今とても面白い。

20年前に人類が見ていた一番遠い天体は、ビッグバンから約20億年後の時代の天体だった。観測能力の飛躍的拡大により、ビッグバンから約8億年後の時代の銀河を見ることができるようになってきた。最

初の星や銀河は、ビッグバンから約3億年後に生まれたと推定されている。その現場を見るのもあと一息だ。須藤氏のエスプリあふれるダークエネルギー解説、有本氏の銀河考古学と宮沢賢治考、日本の宇宙論を牽引する戸谷、柏川、吉田各氏の記事から、宇宙論研究の現場の雰囲気を感じていただきたい。

天文学者はこれらの謎に挑戦する種々の次世代望遠鏡構造を練っている。だが、次世代装置はどれも多額の予算を必要とする。光赤外の拙稿、X線の高橋氏、重力波の柴田氏の稿からは、日、米、欧とも単独で計画を遂行することが難しくなりつつあり、国際協力が重要となっていることをご理解いただけるであろう。だが、計画承認の仕組みも経済事情も異なるため、国際協力には先の見えない部分もある。世界中で未だに終わることのない戦争や政治腐敗、無策政治で浪費され、闇に消えている巨額な金を考えると、これらに必要な額など微々たるものなのかもしれない。だが、大学法人化と連動した運営費交付金の圧縮、研究と教育の「効率化」などの動きの中、黒田氏が指摘されるように、日本の将来を担う世代を育成する科学教育と基礎科学への積極投資に、国としてビジョンを示す時期に来ているのではないだろうか。

——家 正則



すばる望遠鏡がとらえた最遠(128.8億光年)の銀河。国立天文台提供

特集

2020年の宇宙学へ

## 光赤外超大型望遠鏡と次世代宇宙望遠鏡

家 正則 (国立天文台)

いえ まさのり

2005年春、日本の理論と観測の第一線研究者で組織した光赤外天文学将来計画検討会は「2010年代の光赤外天文学——将来計画検討報告書」(図1)<sup>(1)</sup>と題する全440ページの将来計画検討報告書を発表した。これは2010年代の天文学研究を展望し、その遂行のための大型観測装置についての提言を明確にまとめたものであった。検討会は、宇宙論、銀河形成と進化、クエーサー、超新星・ガンマ線バースター、恒星種族、星形成/系外惑星、太陽系の各分野の研究動向を展望し、(1)初期宇宙の進化と、(2)惑星系の形成過程の2大テーマを次世代天文学の柱と位置づけた。

### 日米欧の「2010年代構想」

光赤外天文学将来計画検討会は、天文学研究を進めめるため、(1)すばる望遠鏡の後継機となる30m級望遠鏡JELT(Japan Extremely Large Telescope)計画を国立天文台を中心に具体化し、(2)一連の光赤外線スペースミッションの中でも3.5m SPICA(Space Infrared Telescope for Cosmology & Astrophysics)望遠鏡計画の早急の実現を諮るべし、との勧告を決議した。この報告書「2010年代の光赤外天文学」は日本学術会議天文学研究連絡委員会にも具申された。

実は、アメリカでは日本に先駆けて、2001年に議会の諮問委員会の勧告書という形で「天文学・天体物理学10年計画書2000年版」<sup>(2)</sup>がとりまとめられている。日本の報告書はこれとは独立に検討したものだが、アメリカの10年計画書に掲げられている主要課題と、当然ながら内容はほとんど重なっている。計画書では、NASAには口径2.4mのハッブル宇宙望遠鏡HSTの後継機となる口径8mの宇宙望遠鏡JWST(James Webb Space Telescope)の実現が、NSF(全米科学財団)には口径10mのケック望遠鏡の後継機となる口径30m級の超大型分割主鏡望遠鏡GSMT(Giant

Segmented Mirror Telescope)の実現が勧告された。JWSTは現在建設中だが、当初10億ドルとの見積もりが現段階で45億ドルに膨らんでいる。ちなみに運用費を含めたHSTの総経費は80億ドル(約1兆円)にのぼる。プロジェクトの巨額化にともない、NASAの宇宙ミッションは絞り込まれ、2011年から2014年に打上げが見込まれるのはJWSTだけとなつた<sup>(3)</sup>。

少し遅れたが、2006年末には欧州の天文学界も、「欧州の天文学の展望」をとりまとめた<sup>(4)</sup>。それまで各国が個別で行ってきたものとは異なり、欧州が一丸となって取り組む将来計画という視点



図1——報告書「2010年代の光赤外天文学」。

でまとめられた点が、まさに画期的なことであった。そこでも謳っている研究課題はほとんど日米と同じであり、ESA(欧州宇宙機関)とESO(欧州南天天文台)に向けて、やはりJWSTと次世代超大型望遠鏡E-ELT(European Extremely Large Telescope)などの実現を勧告している。

さて、これらの報告書に盛り込まれた2010年代の研究テーマのうち、惑星系形成過程については本誌の2007年2月号の特集を参照していただくこととして、初期宇宙の研究課題のいくつかについて、以下に述べてみよう。

## 2010年代の初期宇宙の観測的研究

### (1) ダークエネルギー

WMAP(マイクロ波背景放射異方性観測衛星)による詳細な観測と、超新星を標準光源として宇宙膨張を検証した結果から、2003年には「宇宙が加速膨張していること」が示され、その原因となる正体不明の「ダークエネルギー」の存在が明らかになった。ダークエネルギー約76%，ダークマター約20%，物質(バリオン)約4%というエネルギー密度比も割り出され、加速膨張する $\Lambda$ CDMモデルが宇宙の標準モデルと位置づけられるようになった。

このような展開は10年前には予測されなかつたものである。ダークエネルギーの性質を観測から少しでも明らかにするには、遠方の超新星探査や、高赤方偏移銀河の視線方向と角方向の分布の差から宇宙の状態方程式のパラメータを測定することが提唱されている。そのためには広視野の撮像観測と多天体の同時分光観測機能が必要である。

### (2) 物理定数の変化と宇宙膨張の直接測定

物理学の基本定数が不变なものかどうかの検証が課題となっている。たとえば、電磁相互作用の強さを表す無次元量である微細構造定数 $\alpha$ の時間変化については、高赤方偏移クエーサーの吸収線の波長を詳細に分析することで検証が始まっている。また、宇宙膨張により宇宙は1年間で約

100億分の1だけ大きくなる。クエーサー吸収線の波長を超精密測定してモニターすることで、この宇宙膨張を直接実証する観測の提案などがなされている。これらの観測には高分散分光機能が必要である。

### (3) 宇宙の再電離

ビッグバンから38万年後に陽子と電子が結合し、中性化した宇宙は、ダークマターと中性水素原子で満たされ、光と相互作用するものがなくなり、背景放射以外には光源となる天体のない暗黒宇宙となった。その後、ダークマターの密度ゆらぎの中で物質が重力的に凝縮し、約3億年(赤方偏移 $14^{*1}$ 程度)の時代には、初代の星形成を育む場としてあちこちで原始銀河が生まれたと考えられている。これらの原始銀河は衝突合体を繰り返して次第に成長し、大型の銀河になっていく。ビッグバン後、いったん中性化した宇宙空間は、若い銀河からの紫外線で再び電離されていく。赤方偏移6のクエーサーの分光観測から、ビッグバン後約10億年の時代には、宇宙の再電離は完了していたと考えられている。この最初の星が生まれ、銀河が成長していく時代の観測には、広視野撮像と微光天体分光が必要である。

### (4) 銀河考古学

有本氏の記事を参照していただきたい。

### 日本の活躍

実は、宇宙の再電離期に迫る観測では、すばる望遠鏡の活躍は目覚ましく、赤方偏移 $7.0^{(5)(6)}$ の最遠銀河(図2)をはじめとして赤方偏移5.7から6.6の時代の銀河の研究は、日本が最先端を切っている(表1)<sup>(7)(8)</sup>。10年前には最遠方銀河の記録が赤方偏移4程度であったことを考えると隔世の感がある。

最遠銀河の観測で世界をリードできたのは、広

<sup>\*1</sup> 赤方偏移の値が大きいほどより遠く、より昔の時代にさかのぼることになる。

表1——最遠銀河ベストテン(2006年9月14日)。

順位	天体名	座標	赤方偏移	距離 <sup>#</sup>	論文	公表日
1*	IOK-1	J132359.8+272456	6.964	128.826	家ほか	2006年9月14日
2	SDF ID1004	J132522.3+273520	6.597	128.250	谷口ほか	2005年2月25日
3	SDF ID1018	J132520.4+273459	6.596	128.248	柏川ほか	2006年4月5日
4	SDF ID1030	J132357.1+272448	6.589	128.238	柏川ほか	2006年4月5日
5	SDF ID1007	J132432.5+271647	6.580	128.222	谷口ほか	2005年2月25日
6	SDF ID1008	J132518.8+273043	6.578	128.219	谷口ほか	2005年2月25日
6	SDF ID1001	J132418.3+271455	6.578	128.219	小平ほか	2003年4月25日
8*	HCM-6A	J023954.7-013332	6.560	128.189	Huほか	2002年4月1日
9	SDF ID1059	J132432.9+273124	6.557	128.184	柏川ほか	2006年4月5日
10	SDF ID1003	J132408.3+271543	6.554	128.178	谷口ほか	2005年2月25日

\*距離は宇宙年齢を136.6億歳とするモデルによる値。単位は億光年。

\*この銀河のみケック望遠鏡で発見されたが、ほかはすべてすばる望遠鏡による発見。

\*重力レンズ効果で増光した銀河で、その色から赤方偏移が7以上と推測されている銀河が報告されている<sup>(9)</sup>。ただし、どれも分光観測での赤方偏移の確認はできていないため、公式記録ではない。

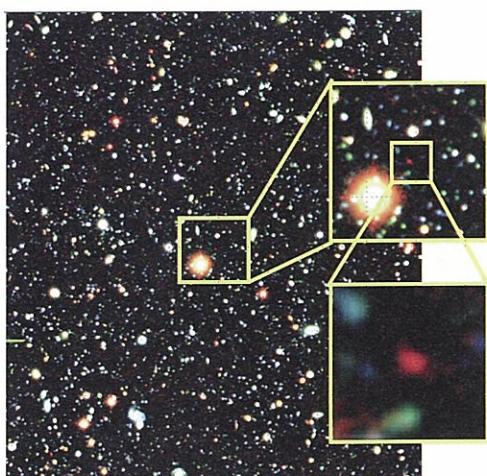


図2——すばる望遠鏡が発見した赤方偏移7.0の最遠銀河IOK-1。

視野カメラを搭載できる主焦点を備えたのがすばる望遠鏡だけだったからである。ただし、CCDの波長感度は1μmが限界であり、赤方偏移7.3を超えた世界の探索には、広視野赤外線カメラの登場を待たねばならない。赤外カメラでも、すばる望遠鏡のMOIRCS(近赤外多天体分光撮像装置)が世界をリードする位置にあるが、CCDカメラに比べると視野が狭く、より大きな赤方偏移領域では銀河がさらに暗くなるため、探査観測は急速に困難になる。

赤方偏移7を超す天体としては、ライマンα銀河よりもガンマ線バースター<sup>(10)</sup>での発見のほうが現実的かもしれない。ガンマ線バースターは爆発後急速に減光してしまうので、発見後速やか

に望遠鏡を向けることが肝要だが、後述のレーザーガイド補償光学系<sup>(11)</sup>が実用化され始めたので、ガンマ線バースターや超新星、クエーサーのような点光源の観測では、格段の進展が期待できる。

2006年に打ち上げられた日本の赤外線天文衛星「あかり」も、初期宇宙での星形成率を明らかにするなど、重要な観測を行っている。

### ハッブル宇宙望遠鏡をしのぐ JWST

ハーシェル宇宙天文台<sup>(12)</sup>は、60 μmから670 μmの遠赤外線領域で宇宙を見る、初めての本格的な口径3.5 mの望遠鏡である。ESAが、太陽と地球による重力と遠心力が釣り合うラグランジュ点の1つであるL<sub>2</sub>(地球から約150万km)のまわりのハロー軌道に2008年の打上げを期している。この位置では太陽と地球がほぼ同一方向に並ぶため、「日傘をさす」と、太陽と地球からの赤外線を同時に遮ることができる。L<sub>2</sub>ハロー軌道は宇宙観測の特等席であり、中間赤外線や遠赤外線では格段の感度が期待できる。ハーシェル宇宙天文台は、後述のJWSTと地上のミリ波サブミリ波干渉計ALMAの守備範囲となる波長域の間を埋める望遠鏡である。

JWST<sup>(13)</sup>(ジェームス・ウェッブ宇宙望遠鏡)は波長0.6 μmから28 μmの波長域で宇宙を見る、米欧加の国際協力による宇宙天文台計画である。波長2 μm以上では回折限界の解像力を達成する。

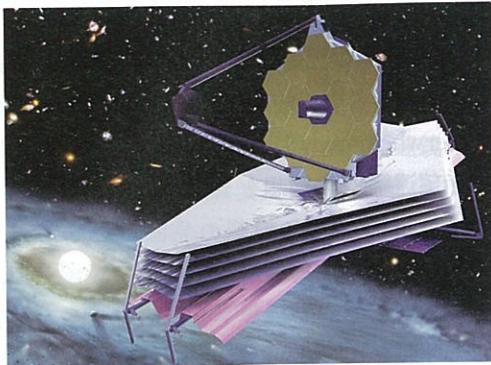


図3——6.5 m JWST 宇宙望遠鏡の想像図。打ち上げ時には、右上の主鏡や下の月除けパネルは折りたたまれている。提供: NASA.

技術面と予算面から当初の 8 m 構想を口径 6.5 m に変更して製作が進められており、2013 年以降の早い時期の打上げを目指している(図3)。

JWST では、望遠鏡自体を絶対温度 40 度以下に冷やし、 $L_2$  点に運ぶ。望遠鏡の主鏡は、比重の小さいベリリウム製の 18 枚のセグメントからなる。ロケットに収めるため主鏡は三つ折りにし、鏡筒も日除けパネルもたたんで打ち上げ、 $L_2$  点への飛行中に展開する。展開用や主鏡セグメント制御用のモーターの数は数百個におよぶ。遠いため、ハッブル宇宙望遠鏡のようにスペースシャトルで修理に行くわけにはいかない。モーターが回らないとか、どこかで引っかかったりしたらと心配し出すと切りがない。関係者を信じて無事成功することを祈るばかりである。

JWST の観測では、赤方偏移の大きい宇宙での初期銀河の研究や、これまで知られていない新たな天体の発見に期待がかかる。近赤外から中間赤外にかけてのエネルギースペクトル分布から、ダストの温度と赤方偏移をひも解く観測や、赤方偏移した水素輝線の観測で星の形成率を求める研究などが考えられる。また最初の恒星<sup>\*2</sup>の証拠と考えられる、電離ヘリウムの 1640A 輝線の探査も重要なテーマであり、宇宙望遠鏡により大きな進展があると思われる。

日本は 2006 年に「あかり」を打ち上げ、宇宙からの赤外線観測の本格的に参入した。「あか

り」に搭載された望遠鏡は口径 70 cm であったが、これを一挙に口径 3.5 m に拡大する SPICA 衛星計画<sup>(14)</sup>が提案されている。SPICA では、画期的な冷却系を採用して、望遠鏡全体を 4.5 K まで冷却する。この温度はハーシェル宇宙天文台(80 K)や JWST の望遠鏡よりはるかに低温であり、SPICA は 5~200  $\mu\text{m}$  の波長域で圧倒的な高感度を達成し、とくに塵に埋もれた天体の観測に大きな役割を果たすと期待されている。

### 次世代地上超大型望遠鏡構想

地上超大型望遠鏡(Extremely Large Telescope: 一般名詞)構想に関する日米欧の動向を述べる。

日本では、先の報告書を受けて、2005 年度から国立天文台に次世代超大型望遠鏡準備室<sup>(15)</sup>を設置し、内外の研究者と構想の具体化に向けて活動している。すばる望遠鏡による研究成果を踏まえて、日本独自の 3 非球面光学系を採用した 30 m 望遠鏡構想を策定したのである。だが、実現への予算規模が 1000 億円を超すことになると見積もられ、単独での実現は困難と判断し、後述するように国際協力での実現を図ることにした。

北米では、ケック望遠鏡を建設したカリフォルニア工科大学とカリフォルニア大学に、カナダ天文学大学連合 ACURA、アメリカ天文学大学連合 AURA が加わった 4 者が合同した 30 m 望遠鏡計画 TMT(図4)<sup>(16)</sup>と、カーネギー研究所、アリゾナ大学等合計 9 機関の連合が推進する大マゼラン望遠鏡計画 GMT<sup>(17)</sup>が、それぞれ構想の具体化を図ってきた。前者は直径 1.5 m の六角形の鏡を 492 枚敷きつめる計画である。後者は 8.4 m 望遠鏡 7 台を单一の架台に載せて、有効口径 24 m の望遠鏡とする構想である。その前身として 8.4 m 望遠鏡 2 台を单一の架台に載せて、干渉計としての観測も実現することを狙った LBT(Large Binocular Telescope: 大双眼望遠鏡)<sup>(18)</sup>の仕上げにかかっている。NSF は、これら 2 つの計画をにらみながら、次世代望遠鏡計画を全米体制で建設することを勧告してきた。

<sup>\*2</sup> 歴史的経緯があり、このような天体を種族ゼロとか I ではなく、種族 III と呼ぶ

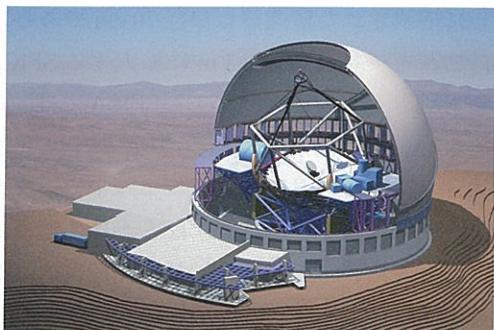


図4——TMT 30 m 望遠鏡の完成予想図。提供: TMT Project.

TMTのプロジェクトオフィスとGMTのプロジェクトオフィスは、ともにカリフォルニア州のパサデナ市内にあり、車で10分の距離でしかない。だが、アメリカ国内の天文学界の長い歴史を背負い、技術的にもかなり異なる方式をとっており、今のところ合同の気配はない。光から電波に至る地上望遠鏡による天文学のNSF予算は、1995年度の年間約1億ドルから、2005年度には約2億ドルへと倍増した。しかし、ALMA計画の推進や既存の各種望遠鏡の運用資金で新規計画に投資するゆとりがない。2006年度にはNSFに対して「シニアレビュー」<sup>(19)</sup>報告がとりまとめられ、既存望遠鏡の運用縮小、AURAの参加の当面の先送りが決まった。

アメリカの大型望遠鏡は、公的予算に加えて民間からの大口寄付によって建設を進めてきたという歴史がある。古くは鉄道王の寄付によるヤーキス望遠鏡に始まり、ヘール5 m 望遠鏡や10 m ケック望遠鏡も民間財團の寄付により建設された<sup>\*3</sup>。一般大学でも民間からの寄付で寄付者の名を冠した建物が数多く存在する。これは税制上、学術寄付に免税優遇措置があり、税金を払うくらいなら寄付するという動きに拍車をかけているからである。とくに天文学は実利から遠いので、寄付対象としては人気があり、アメリカの天文学界はこの恩恵を受けている。日本や欧州にはないメカニズムだが、日本でも税制を工夫すれば、志の高い資産家が学術や教育への寄付を考えるのではないだ

<sup>\*3</sup> ビル・ゲイツが大口寄付をすれば、天文学者は喜んでアウトルック望遠鏡と命名するだろう。

ろうか。

欧州13カ国の国際機関である欧州南天天文台では、とびきり野心的な口径100 m のOWL望遠鏡(Overwhelmingly Large Telescope: 圧倒的にデカイ望遠鏡<sup>\*4</sup>)の構想を1999年ごろから練ってきたが、2005年末に構想の見直しを決定し、2006年11月に口径42 m の新たな望遠鏡E-ELT(欧州超大型望遠鏡)構想<sup>(20)</sup>を発表した。この構想は非球面を3枚使う望遠鏡光学系であり、日本で検討した3非球面光学系に通じる設計思想である。また歴史のある反射面2面で焦点を結ぶ光学系ではなく、5面で最終結像する光学系となっており、その第3鏡を平面補償光学鏡とし、第4鏡をビームの揺れを止める高速傾斜鏡とする。いわば望遠鏡光学系自体の中に光制御機能を組み込んだ、野心的な構想となった。北米のTMTあるいはGMT計画よりたとえ完成が遅れることになても、より高機能の望遠鏡とすることで2020年代の天文学をリードしたいという考えである。

これら3つのELT計画は、まだどれも建設段階に入っているわけではない。GMTはカーネギー財団が所有しているチリのラスカンパナス天文台での建設を前提にしているが、TMTはチリのアルマゾネス山などの候補地とマウナケア山頂付近の候補地を検討している。E-ELTは公式にはサイト調査中だが、おそらくチリに建設することになる。

日本の光赤外天文連絡会は、すばる望遠鏡により世界のフロンティアに躍り出た状況をさらに発展させるためには、マウナケアに建設される可能性があるTMTとの連携を図ることが最重要との方針を2007年1月に固めた。TMTとの連携の具体的中身や予算計画を詰め、国立天文台の事業計画での位置づけを経て、関係方面への計画説明と予算要求の正式な働きかけを行うことが緊急課題である。

<sup>\*4</sup> 天文学者はいつの時代にも「最大」の望遠鏡をつくるべきだ。困ったことに次々に大きくなる望遠鏡につける形容詞が足りなくなってきた。

## 補償光学の新展開

最後に、望遠鏡技術の革命と言えるハイテク技術「補償光学」について述べる。望遠鏡の理論的な空間解像力は観測波長  $\lambda$  と主鏡直径  $D$  の比で決まる回折限界  $1.2\lambda/D$ (ラジアン)であり、波長  $0.5\mu\text{m}$  の可視光、直径  $30\text{ m}$  の望遠鏡では、星像直径は  $0.01\text{ 秒角}$  にまで小さくなりうる。だが、従来の地上の望遠鏡の解像力は、このような回折限界には達していなかった。その原因是地球大気の温度ゆらぎに起因する光波面の乱れである。乱れた光波面を十分素早く直すことができれば、大気のゆらぎを打ち消して、回折限界の解像力を実現できるはずというのが「補償光学」のアイデアであり、1953年に提唱された<sup>(21)</sup>。補償光学の技術開発は、アメリカが冷戦時代の1970年代に、ソ連の人工衛星を地上から撮影、監視を目的に、巨額を投じて密かに進められていた。だが、1970年代末に、まったく独立に天文学でも開発が始まわり、冷戦の終結もあって、技術公開が進んだ。本格的な補償光学装置が観測に用いられるようになったのは1990年代後半からである。

すばる望遠鏡では、科学研究費補助金特別推進研究の補助(2002~2006年度)を得て、第2世代の補償光学系として制御素子数188の補償光学系を新たにナスミス焦点用に製作した。

2006年10月に行った試験観測で、このシステムを使わないときに $0.6\text{ 秒角}$ になる星像のサイズがその10分の1の $0.06\text{ 秒角}$ にまで改善され、空間解像力と感度が格段に向上することを実証した



図5——188素子補償光学系のファーストライト画像。オリオン座のトラベジウム星団。すばる望遠鏡近赤外カメラCISCOで1999年に撮影した右の画像(分解能 $0.6\text{ 秒角}$ )と比べると左の補償光学系の画像(分解能 $0.06\text{ 秒角}$ )の切れ味の良さは一目瞭然である。

(図5)。

さらに188素子補償光学系には、レーザーガイド星生成装置を組み込んだ。これは大気のゆらぎを測るために必要な光源となる明るい星を、レーザービームを放って上層大気中に人工的につくってしまうというハイテク装置である。図6は2006年10月に行った試験観測風景である。このレーザービームにより、高度 $90\text{ km}$ の高さに存在するナトリウム原子が励起発光し、補償光学系で必要となる波面測定に十分な明るさの人工星を任意の方向につくることができる。

レーザーガイド補償光学系を活かした回折限界撮像により、高赤方偏移の銀河の内部構造を鮮明にとらえることができれば、原始銀河が衝突合体して成長してきたという銀河の進化史のシナリオが、観測的に実証されることになる。また、天体の位置測定精度も $0.1\text{ ミリ秒角}$ に迫る精度が期待されており、アンドロメダ銀河中心の巨大ブラックホールを周回する恒星の動きを測定することもできるだろう。

このような補償光学技術は次世代超大型望遠鏡の能力を理論限界にまで高める画期的技術であり、さらなる高度化にむけてさまざまな開発が進行中である。補償光学技術は天文以外でも、眼底検査、レーザー加工、レーザー核融合などの分野での応用が拡がりつつあり、天文学の開発が実社会につながっているよい例といえよう。

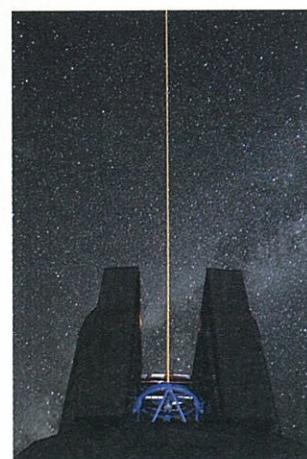


図6——レーザーガイド星生成システムによる初照射試験。撮影: 高遠徳尚氏。

\* \* \*

TMTは、集光力ではJWSTの25倍となる。空間解像力についても、補償光学系を組み込めばJWSTの5倍となる。地上望遠鏡の特徴として、新しい技術を導入したグレードアップや突発天体への速やかな対応などができるという自由度がある。大集光力を活かした高分散分光や、個別天体の高解像観測、広い視野を活かした観測などで、JWSTと相補的な観測を行うことができよう。

JWSTは、地上では観測できない赤外線波長域での観測を可能とする。背景雑音も低く、観測条件は安定している。JWSTと地上超大型望遠鏡の感度は観測モードによるが、おおざっぱには波長 $4\text{ }\mu\text{m}$ 以上の長波長側ではJWSTが優位であり、可視光から近赤外のとくに分光観測ではELTに軍配が上がる。また、塵からの熱放射が支配的な波長 $20\text{ }\mu\text{m}$ を超える波長域では、SPICAの威力が圧倒的となる。

JWSTやSPICAなどの宇宙望遠鏡とTMTやE-ELTなどの次世代地上超大型望遠鏡は、ちょうど、HST、やSpitzer、「あかり」などの宇宙望遠鏡と、すばる望遠鏡などの8~10 m級望遠鏡が、互いを補いながら観測的宇宙論を前進させてきたのと同じように、2010年代から2020年代の天文学の中枢望遠鏡となるだろう。すばる望遠鏡の成果で国際舞台の第一線に立っている日本の研究者が、さらに活躍できる場として、TMT計画への参画とSPICA計画の早期実現を、ぜひ期待したい。

エド温・ハップルがアンドロメダ銀河の距離を測り、宇宙観を変革してから100年となる2023年には、ダークエネルギーの理解が進み、地球型惑星が見つかっているだろうか？近年の科学の発展は、指数関数的にすら思えるが、このままでそれが続くはずはない。私たちは宇宙観が大きく展開するわくわくする時代を生きてい

る、幸せな世代なのかもしれない。

この夏、数年ぶりに打上げ花火を見に行った。古典的大玉のビッグバン、途中から加速膨張するダークエネルギー花火、上がっていったはずなのに咲かない暗黒花火、キャラクター花火に、迷走する花火。宇宙論の進展は著しいが、天文学者の想像力も、まだ華火師にはかなわないようだ。

謝辞 中川貴雄氏と白田知史氏から貴重なコメントをいただきました。

## 文献

- (1) 「2010年代の光赤外天文学——将来計画検討報告書」: <http://jelt.mtk.nao.ac.jp/>
- (2) *Astronomy and Astrophysics Decadal Survey(2001)*
- (3) Illingworth アメリカ議会証言: <http://legislative.nasa.gov/hearings/5-2-07%20Illingworth.pdf>
- (4) *A Science Vision for European Astronomy(2006)*: [http://www.astronet-eu.org/IMG/pdf/D9\\_Science\\_Vision\\_draft\\_report.pdf](http://www.astronet-eu.org/IMG/pdf/D9_Science_Vision_draft_report.pdf)
- (5) M. Iye et al.: *Nature*, **443**, 186(2006)
- (6) 最遠銀河発見ウェブニュース: [http://subarutelescope.org/Pressrelease/2006/09/13/j\\_index.html](http://subarutelescope.org/Pressrelease/2006/09/13/j_index.html)
- (7) N. Kashikawa et al.: *ApJ*, **648**, 7(2006)
- (8) K. Shimasaku et al.: *PASJ*, **58**, 313–334(2006)
- (9) D. Stark et al.: *ApJ*, **663**, 108(2007)
- (10) N. Kawai et al.: *Nature*, **440**, 184(2006)
- (11) レーザーガイド補償光学試験観測成功のウェブニュース: [http://subarutelescope.org/Pressrelease/2006/11/20/j\\_index.html](http://subarutelescope.org/Pressrelease/2006/11/20/j_index.html)
- (12) Herschel ホームページ: <http://hereschel.esac.esa.int/>
- (13) JWST ホームページ: <http://www.jwst.nasa.gov/>
- (14) SPICA ホームページ: [http://www.ir.isas.jaxa.jp/SPICA/index\\_j.html](http://www.ir.isas.jaxa.jp/SPICA/index_j.html)
- (15) JELT ホームページ: <http://jelt.mtk.nao.ac.jp/index.html>
- (16) TMT ホームページ: <http://www.tmt.org/>
- (17) GMT ホームページ: <http://www.gmto.org/>
- (18) LBT ホームページ: <http://medusa.as.arizona.edu/lbt/>
- (19) シニアレビュー: <http://www.aura-astronomy.org/nvresult.asp?nuid=97>
- (20) E-ELT ホームページ: <http://www.eso.org/projects/e-elt/>
- (21) H. M. Babcock: *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **65**, 229(1953)