

特集：天文学の現状と展望

すばる望遠鏡とその良きライバルたち

家 正 則

1. はじめに

古代より人類は満天の星空を見上げ、太陽と月の運行の様子を観察し、暦をつくりあげてきた。1609年にガリレオ・ガリレイが口径4 cm程度の望遠鏡を自作し、夜空を見上げたのが天体望遠鏡の始まりである。ガリレイが木星の4大衛星、土星の輪、太陽黒点、

天の川の無数の星、などを発見し、地動説を信念を持って説くようになったことは良く知られている。質の良いレンズの製作には限度があり、実用的な大型屈折望遠鏡は1900年にヤーキス天文台に建設された口径101 cmのものが最後となった。色収差の無い反射望遠鏡はアイザック・ニュートンが1688年に発明した。初期の金属鏡に代わって、変形の少ないガラスにアルミニウム膜を施して鏡に

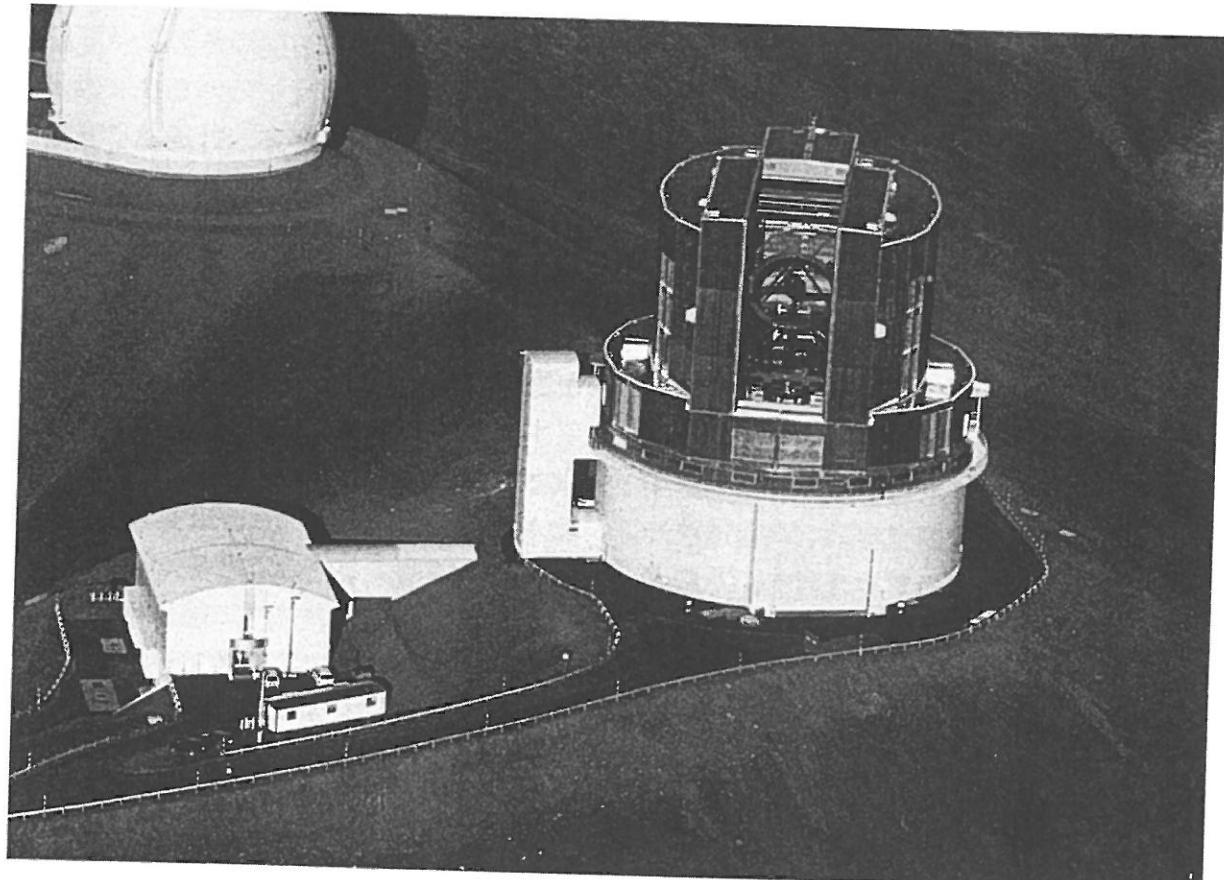


図1 マウナケア山頂のすばる望遠鏡ドーム

する方法が開発され、20世紀になると反射望遠鏡が実用化された。反射望遠鏡の大型化は20世紀前半のウィルソン山の100インチ反射鏡(1917年)、パロマー山の200インチ反射鏡(1949年)で一旦頂点に達した。その後、1970年代から1980年代中頃までには、3-4m級の望遠鏡が観測条件の良いハワイ島マウナケア山頂や大西洋のラパルマ島山頂、南米チリのアンデス高原などに多数建設された。この時期、望遠鏡の大型化は一時停滞したが、光の検出器が、量子効率約1%程度の乳剤写真から最大で80%に達するCCDカメラに換わるという重要な進歩があった。集めた光を無駄なく、しかも再現性良く記録する技術が円熟し、光の天文学は1980年代に躍進した。だが、検出器の技術がほぼ完成した1980年代後半には、観測限界をさらに広げるため、再び望遠鏡口径を大きくする必要が叫ばれるようになった。そして、西暦2000年を迎えた今日、カリフォルニア大学連合の2台の10mケック望遠鏡、欧州南天天文台の4台の8.1mVLT、日本の8.2mすばる望遠鏡(図1、2)、米英加ほかの2台の8mジェミニ望遠鏡などが相次いで完成し、地上光学赤外線望遠鏡は8-10m鏡の時代について突入したのである。

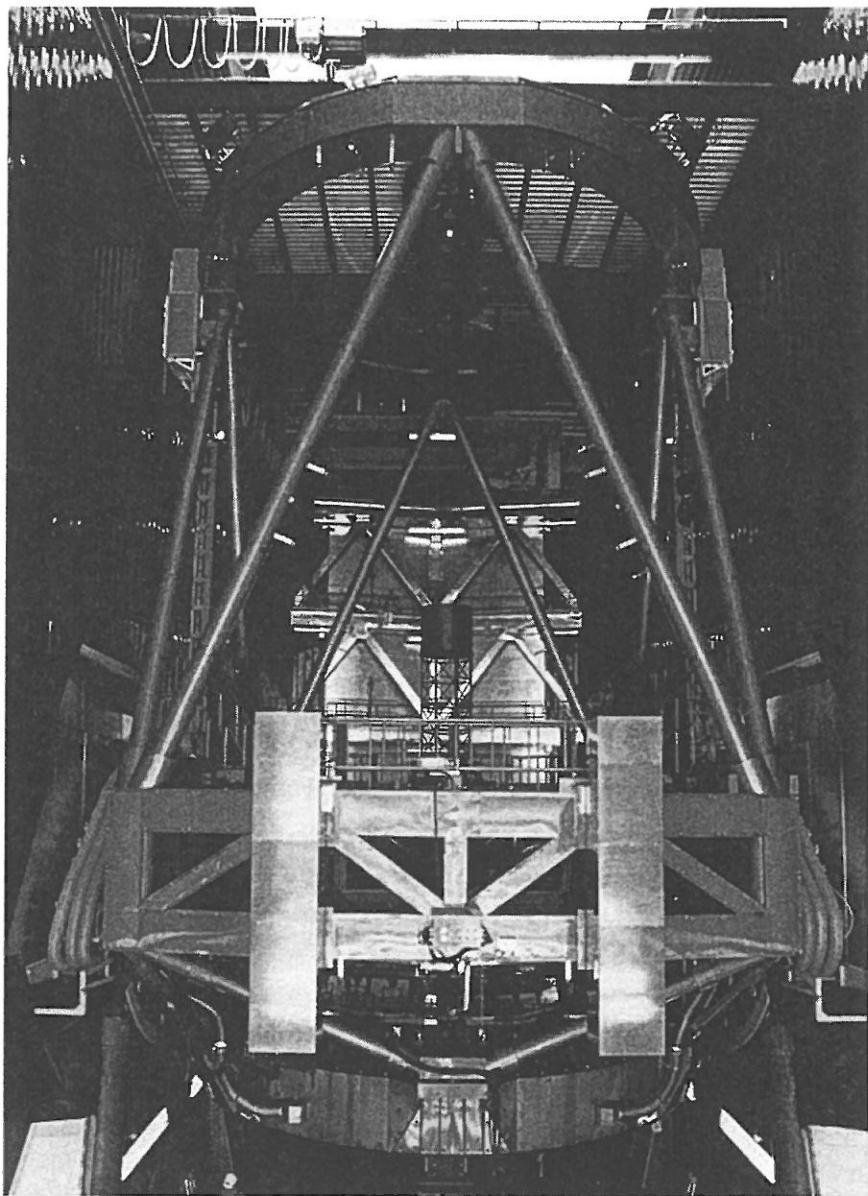


図2 8.2m すばる望遠鏡

2. すばる望遠鏡への道

1980年頃、日本で最大の望遠鏡といえば、東京大学東京天文台の岡山天体物理観測所に1960年に設置された188cm望遠鏡であった。この望遠鏡は英国で製作されたもので、完成当時こそ世界でも第6位の大きさであったが、1980年頃には30位以下となっていた。1974年には東京大学理学部木曾観測所に国産技術で105cmシュミット望遠鏡を建設したが、次期望遠鏡を3-4mクラスにし

て国内に設置するか、一挙に7-8mクラスの望遠鏡を海外に設置するかで、1980年代初めの日本の天文学界では活発な議論が交わされた。世界に追いつき追い越すには、多少背伸びしてでも後者を選ぶべきとの合意が1984年には得られ、すばる望遠鏡の基本構想の本格的な検討を開始した。筆者は幸いこの計画の最初から携わらせていただくことになった。予備検討と概算要求に7年、本格建設に9年を費やしたすばる望遠鏡計画にいろいろな面で参加し、支援して下さった方々は、国立天文台、文部省はもとより、全国の関連大学・研究機関、内外の受注メーカーの人々を含めると、マンパワー換算で2000人・年以上にのぼると思われる。

望遠鏡設置場所はハワイ島海拔4200mのマウナケア山頂の一角である。この地域を管理するハワイ大学とは科学協力に関する覚書きを交わして、建設地を借りることとなった。望遠鏡口径は当初7.5m(300インチ)を目標としたが¹⁾、欧州南天天文台が口径8mで一足先に建設を開始したこともあり、建設時には口径でも世界最大となるよう8.2mにグレードアップした。観測研究の2大テーマは宇宙の構造と進化の研究、および星惑星系の形成の研究である。いずれのテーマでも、赤外線領域での観測性能が可視光域での性能と並んで重要となる。半導体技術の進歩により赤外線でも可視光用のCCDカメラに近い画質の撮像素子が開発される見通しができたこともあり、新しい観測装置を順次更新して装備することにより、将来にわたっても可視光と赤外線で最先端の研究ができる望遠鏡を目指すこととした²⁾。4m級望遠鏡で観測する天体は、広視野撮像のできる1m級シュミット望遠鏡の探査観測で

これまで抽出してきた。すばる望遠鏡のような8m級望遠鏡で狙う暗い天体を探査する機能を持つ望遠鏡がほとんど無いことを考えて、すばる望遠鏡には視野の広い主焦点を備えることにした。8m級望遠鏡で主焦点を備えたのは、すばる望遠鏡だけであり、海外の研究者からも期待されている。

3. 能動光学と精密追尾

望遠鏡の建設コストを抑えるには、まず主鏡を軽量化することが必要であった。すばる望遠鏡の主鏡は直径8.2mに対し、厚さがわずか20cmという薄い特殊ガラスでつくりられている。従来の望遠鏡はガラスを厚くして傾けても変形しないようにつくられてきた。だが、すばる望遠鏡ほどの規模になる

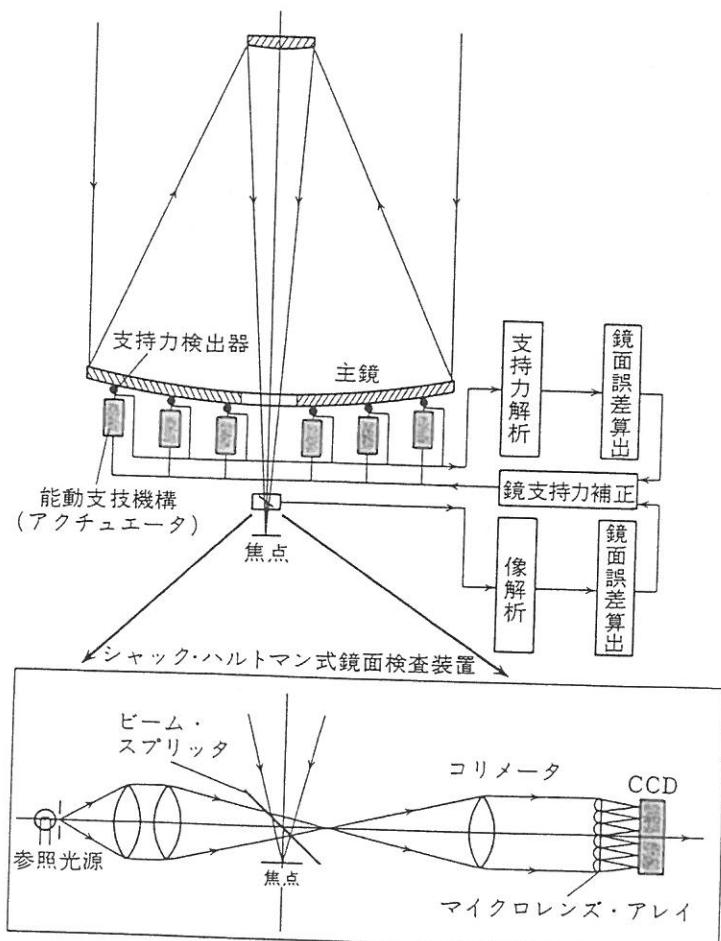


図3 主鏡能動光学システムの構成原理

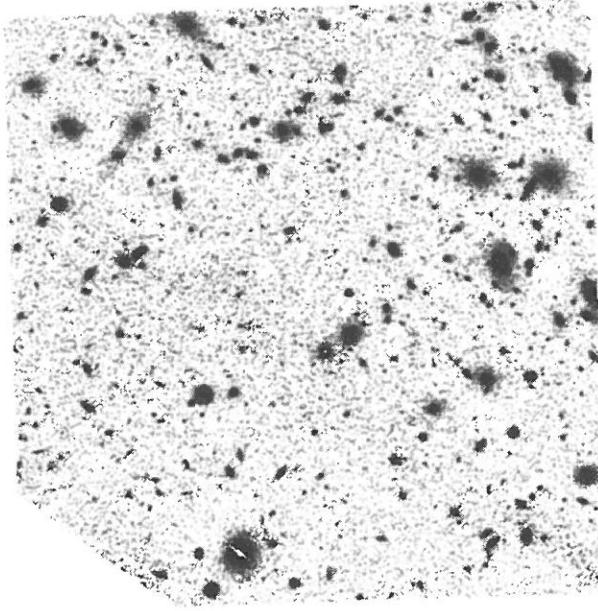
と、この考え方は原理的にも予算的にも採用できない。そこで、思い切って薄くして、ガラスを柔構造にし、鏡の形状を常に計測して、理想的な回転双曲面となるように、コンピュータ制御する方式を採用することとした。この方式なら、自重変形だけでなく、熱変形、研磨誤差なども含めて矯正することができるため、鏡を常に理想の状態に保てるという積極的な利点がある。光学系をこのようにリアルタイム制御することは、当時としては全く新しい発想であり能動光学系と呼ぶことにした（図3）。1988年には、小型の能動光学試験鏡をつくり、鏡の形状を測り制御できることを実証し、この方式ですばる望遠鏡をつくることができるという自信を深めた。この実験の過程で従来の望遠鏡では鏡自体からの陽炎が結像を劣化させていることが明らかとなった。ドームの形状についても風洞実験や水流実験を重ね、地上付近の乱れた風を巻き上げないよう、独特の橈円筒型構造とす

ることにした。さらにドーム内外の温度差を軽減させるために、昼間は内部を冷房し、観測時には通風して望遠鏡や鏡からの陽炎がたたないように工夫した。

望遠鏡本体構造にもさまざまな新しい工夫を積み重ねたが、重さ500トンの望遠鏡を静圧軸受けで約50ミクロン浮かして、リニアモータでギヤを使わず直接駆動できるようにし、極めて精度の良い静かな運転が可能となった。望遠鏡構造は国内で仮組み立てして、試験を行い、再度分解してハワイに輸送するという方法を採用した。

1999年1月にファーストライトを迎えたすばる望遠鏡は、すぐさま素晴らしい画質の天体画像を我々に見せてくれた³⁾。図4はすばるの画像をハッブル宇宙望遠鏡の画像と比べたものであり、ゆらぐ大気を通しての観測というハンディにもかかわらず、すばる望遠鏡がハッブル宇宙望遠鏡と同等の感度と画質の写真を撮影できることを実証している⁴⁾。

**Subaru R
3600 s**



**HST F702W
4200 s**

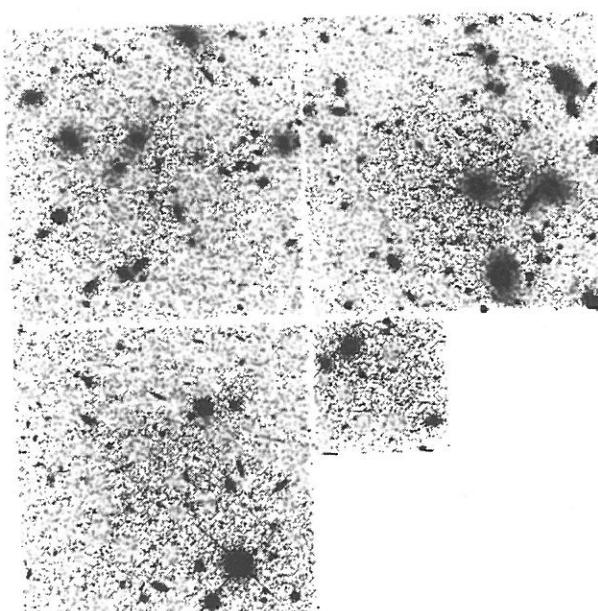


図4 すばる望遠鏡(左)とハッブル宇宙望遠鏡(右)の画像比較。ともに銀河団アーベル851の1時間露出画像。28等級の銀河まで写っている。

鏡の集光力でハッブル宇宙望遠鏡より12倍強力な、すばる望遠鏡は天体のスペクトル観測では、ハッブル宇宙望遠鏡より遙かに感度の良い観測を行うことができる。すばる望遠鏡には可視光用と赤外線用の特色あるカメラと分光器が合計7台備えられ、2000年10月から一部共同利用開始を目指して、現在試験調整中であるが^{5), 6)}(図5)、すでに試験観測の初期成果として11編の学術論文を発表した。

4. 補償光学

能動光学方式の採用で、光学系としては常にチューニングができるシステムとなったが、変化の速い大気による光波面の擾乱については固有振動数の低い主鏡では対応できない。すばる望遠鏡では、これに対処する小型の可変形鏡を組み込んだ補償光学システムを開発した⁷⁾。

補償光学の原理そのものは実は1953年に天文学者が考えたものである⁸⁾。当時はそのようなアイデアを実用化する技術が成熟していなかったが、1970年代後半から米国の防衛研究の中で衛星監視望遠鏡の解像力を向上させる技術として、巨額の予算を投入して実用化研究が秘密裏に進められた。80年前後の技術に立脚したシステムができあがりかけた頃、天文学研究の立場からよりスマート

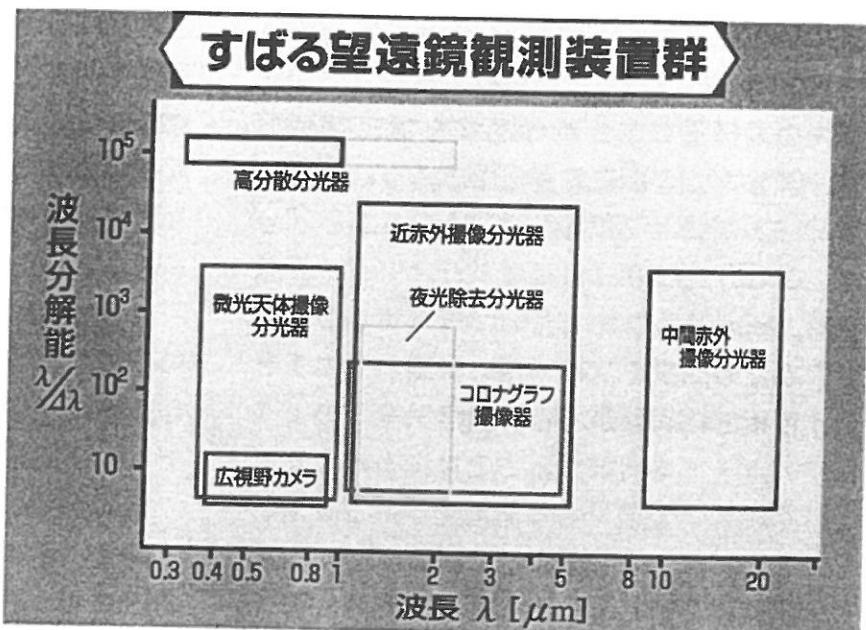


図5 すばる望遠鏡観測装置の観測波長域と波長分解能

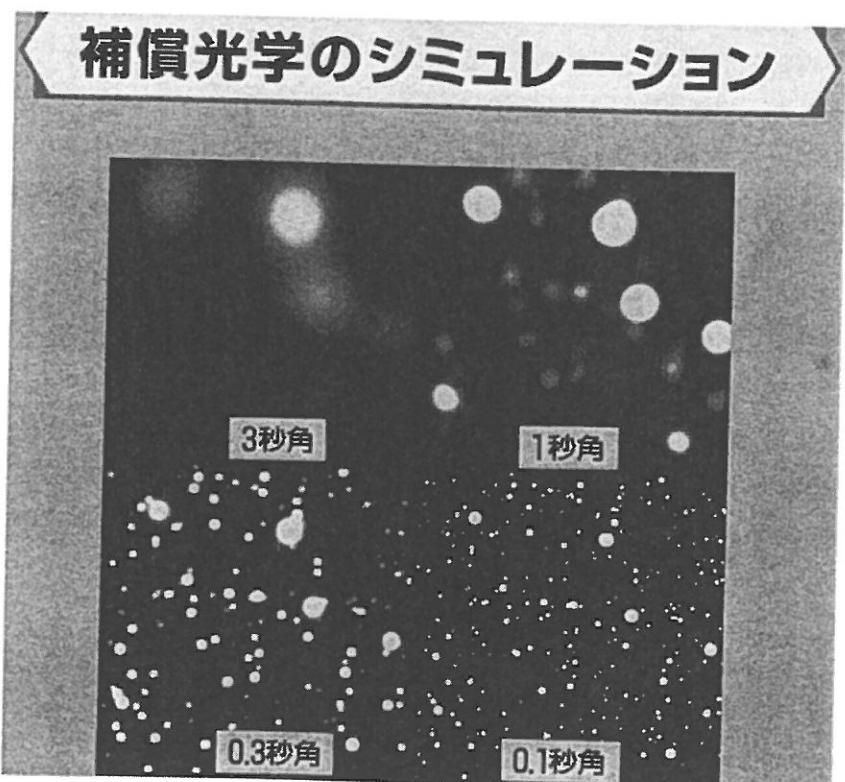


図6 補償光学による像改善効果のシミュレーション

トで安価なシステムが独立に開発され公表された。幸いこのころ冷戦が終結したこともあり、防衛関係で開発された補償光学関連技術は公開されるようになった。これをきっかけとして、天文学での補償光学技術が一斉に花

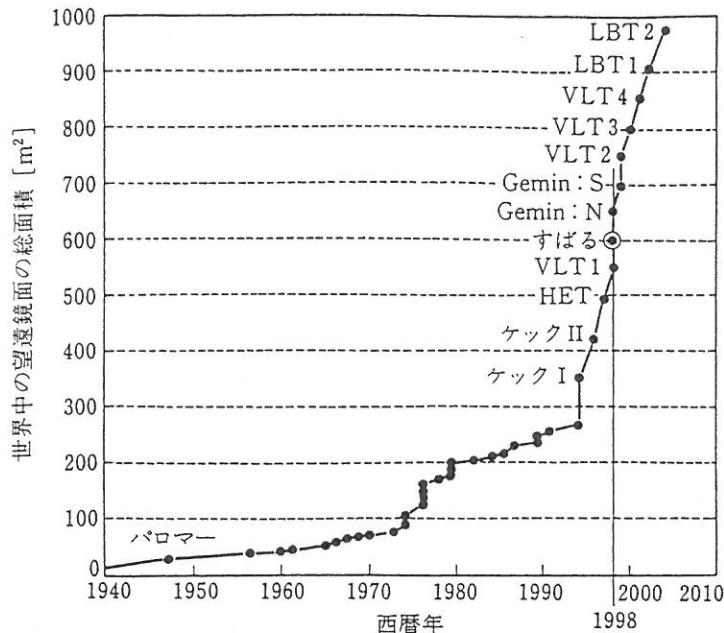


図7 人類の持つ望遠鏡鏡面の総面積の増大

開くこととなった。

補償光学系の製作は波長が短くなると途端に難しくなるため、最初の補償光学系は近赤外域で実現された。地上望遠鏡の宿命であった大気による光の擾乱を打ち消すことができるとそれまで見えなかった天体が見えてくる(図6)。実際に補償光学装置を使うには、任意の方向にある観測天体に対して、その方向の地球大気のゆらぎを実時間で測ることを可能にする充分な明るさを持つ光源が必要である。通常は明るい恒星を光源として利用するが、それでは明るい星の周辺でしか補償光学技術が実用にならない。この問題については、地上から任意の方向へレーザービームを打ち、上層大気中に星のように光るスポットをつくり、人工の光源星として利用するレーザーガイド星技術の開発が進められている。

6. 21世紀の天体観測

次世代の宇宙望遠鏡計画として、NASAは2010年の打ち上げを目標に、波長1-5ミクロンの近赤外線で遠宇宙を観測する口径8

mクラスの望遠鏡を地球-月系のラグランジュ点に打ち上げる構想を練っている⁹⁾。太陽からの光を遮る大きな日除けパネルの裏側に望遠鏡を置き、背景放射の少ない状況での観測を行う。ラグランジュ点は地球から見て月の裏側にあるため、地球からの照り返しもない。

可視光・近赤外線領域で観測可能な地上望遠鏡は8-10 m級望遠鏡の時代に入り、この数年で人類の保有する鏡の総面積は急速に増大した(図7)。集光力の増強は今後も続くであろう。有効口径30-100 m級の地上望遠鏡による可視光・赤外線域での超微光天体の分光観測の可能性が次世代の計画としていろいろな機会に議論されはじめている¹⁰⁾(図8)。本年3月に開催された国際会議でも、15年後を見据えたこれらの計画について具体的な研究成果が多数報告された。現在の地上望遠鏡の建設技術を用いれば、近赤外線用の有効口径30 m級の望遠鏡の建設自体は技術的には不可能ではないであろう。補償光学システムをより高度化できるかどうかが鍵であるが、このような次世代望遠鏡は特に分光観測で有力であり、現在は写真を撮るのがやっとの宇宙の果て近くにある銀河の光をスペクトル観測して、宇宙の歴史を調べることが可能となる。

天文学は計測技術の進歩で20世紀後半に入って、驚異的な進歩を遂げた。次々と新しい観測事実が発見され、今天文学が一番面白いとさえ言われている。今後も宇宙を知りたいという強い動機に支えられ、観測波長域の拡大、空間解像力の増強、波長分解能の拡大、装置の高感度低雑音化、観測効率の改善などが間違ひなく進められるであろう。装置が大型化し複雑化するに従い、そのシステムを効率良く安全に動かす制御法や、得られた

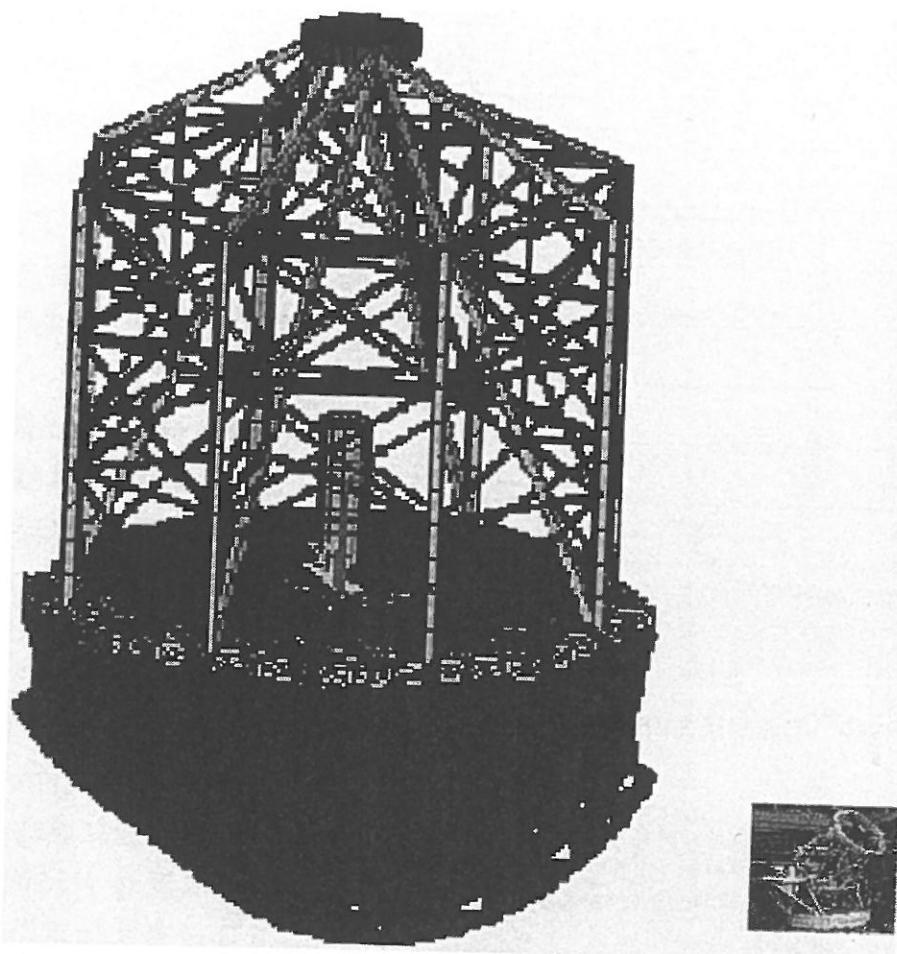


図8 100 m超大型望遠鏡OWL構想(左)とすばる望遠鏡(右)

大量のデータを解析し、管理保存するシステム、の充実が極めて重要な課題となってきている。

次世代の大計画は1000億円を上回る予算規模となるものが多く、必然的にそれぞれの国単独で建設可能な規模を超えたものとなる。天文学ではすでに多くの観測装置計画においてさまざまな国際協力を実質的に行ってきているが、今後はその方向がさらに加速されるであろう。巨大科学の方向付けは、研究者が学術的意義、コスト、マンパワーなどを厳しく自己評価しつつ進めるべきである。

エド温・ハッブルが膨張宇宙を発見し、人類の宇宙観が観測に立脚して広がってからまだわずか70年しか経っていない。宇宙を観測するさまざまな手段を手にした人類は、これからも「知りたい」という人間の性

が無くならない限り前進するであろう。

■参考文献■

- 1) 山下泰正、小平桂一、家 正則：精密工学会誌, 53-9, 49-52 (1987)
- 2) 家 正則、海部宣男、小平桂一：物理学会誌, 47-4, 269-276 (1992)
- 3) Kaifu, N. et al.: PASJ, 52, 1-8 (2000)
- 4) Iye, M. et al.: PASJ, 52, 9-23 (2000)
- 5) Nishimura, T.: SPIE 4004-06, (2000) in press
- 6) Iye, M. and Yamashita, T.: SPIE 4008-03 (2000) in press
- 7) 高見英樹：天文月報, 第91卷, 10号, 466 (1998)
- 8) Babcock, H.W.: PASP, 65, 229 (1953)
- 9) <http://www.ngst.gsfc.nasa.gov>
- 10) Dierichx, P. and Glimozzi, R.: SPIE 4004-51 (2000) in press, <http://www.gemini.anu.edu.au/science/maxat/future/future.html>

家 正則(いえ・まさのり)
国立天文台 教授。