

世界の望遠鏡技術の現状と展望 [I]

清水 実*・磯部 秀三*

1. はじめに

天文学の発達史は、望遠鏡の改良・技術革新の歴史と切り離して考えることはできない。19世紀後半には次々と屈折望遠鏡が建設されていたが、20世紀に入ると反射望遠鏡の時代に入ってきた。そして、1917年のウィルソン山天文台の望遠鏡、1918年のドミニオン天文台185 cm 望遠鏡、1938年のマクドナルド天文台208 cm 望遠鏡へと続いた流れは、1948年のパロマー山天文台508 cm 望遠鏡でその頂点に達した。

1917年の257 cm 望遠鏡が完成した直後の1920年から計画され始めた508 cm 望遠鏡は、第二次世界大戦等によって遅れて、30年近い年月を経てようやく完成している。このような長年月を要した理由は、戦争のためばかりでなく、5 m もの望遠鏡を働かせるのに必要なその当時としては新しい技術開発が数多くなされねばならなかったためである。そして、この望遠鏡において採用された多くの新しい技術が、現代における望遠鏡工学の基礎を作ったと言えるであろう。

この望遠鏡を成功させたいくつかのポイントをあげると、

- 1) パイレックス材の出現
- 2) アルミ蒸着の採用
- 3) 蜂の巣構造による鏡材の軽量化とその保持方式
- 4) 主焦点ケージとロスの補正レンズの採用
- 5) セルリエ・トラス構造による光軸の安定化
- 6) ホースシューと油膜静圧軸受けによる大型回転軸の安定

などがあり、これらのすべてがいかに望遠鏡の建設のために重要であったかが判るであろう。

1965年4月にアリゾナ州ツーソンで開かれた“大望遠鏡の建設”に関するIAUシンポジウム第27番において、パロマー山天文台508 cm 望遠鏡の経験を基にして、次代の世界の望遠鏡として、口径3 m から4 m の望遠鏡が考えられ、それらについて詳しい技術的な検討が、世界中の多くの天文学者と技術者の間で行なわれた。その結果が1970年代の大型望遠鏡時代へと導かれていったのである。

1982年に生きる私達は、次の世代にくる望遠鏡としてどのようなものを考えれば良いのであろうか。1960年

代と異なる状況の中で最大のものは、可視光の観測だけでなく、X線、紫外線、赤外線、電波等の他の波長域での観測が増えたことである。これらの観測の中での地上の可視光および近赤外線の観測の位置づけをした上で、次の世代の望遠鏡のことを考えなければならない。1960年代には、パロマー山天文台508 cm 望遠鏡しかなかった大型望遠鏡も、1970年代においてある程度の数をしめるようになってきている。そして、これらの建設の過程で蓄積された技術によって次世代へとつなげることができるようになりかけている。この一文においては、世界の大型望遠鏡の現状を一通りながめ、それらを通して、次代の望遠鏡としてどのようなものが考えられており、それに向っての技術開発がどのようになされているかを紹介したい。

2. 1970年代の望遠鏡建設

理科年表・天文部門・88頁を見ると、口径2 m 以上の望遠鏡が25台並んでいる。25台もある中で日本の望遠鏡が一台もないことは、一人天文学者ばかりでなく、天文学・科学に関心のある多くの人々にとって残念なことであると思う。その25台のうち、建設中の3台を含めて1970年以降に建設されたものは14台ある。また、口径3 m 以上の9台のうち、先に記したパロマー山天文台508 cm、リック天文台305 cmを除く7台は、いずれも1970年代以降に作られたものである。これらに加えて、ハワイ・マウナ・ケアに建設されたUKIRとよばれる口径390 cm 望遠鏡、NASAの口径320 cm 望遠鏡等の赤外用大口径望遠鏡も、1970年代に次々に建設されている。

1948年、それまでの世界最大のウィルソン山天文台の口径257 cm 望遠鏡に対して、一挙に2倍近くの口径を持つパロマー山天文台508 cm 望遠鏡が完成した。この望遠鏡を使って、数々の天文学上の発見がなされてきたことは周知のことである。天文学においては観測対象天体の数は非常に多く、それらの観測データを集積することにより新しい側面があらわれてくる場合が多い。電波や赤外線・X線等のような1960年代に観測が活発化してきた分野では、当初は新しい受光器で、ある種の天体を受かったという事実だけで、天体物理学上重要な問題点を示す観測となりえた。しかし、もう一步深くそれらの天体の物理的な性質を明らかにするには、似たような性質を持つ天体をたくさん並べて比較検討すること

* 東京天文台 Minoru Simizu and Syuzo Isobe: New Development of Large Telescope In the World [I]

が重要になってくる。これらの新しい波長域でも、1970年代になされた精力的な観測によって、単なる発見の時代は終わった感じであるが、可視光では百年以上ものデータの蓄積があるのでこの傾向が特に強い。

1960年代に入り、パロマー山の輝かしい成果を見て、世界各国で大望遠鏡の必要性が痛感され、その建設のための準備が始まった。各国の経済状態等の条件および、自国内に大口径望遠鏡にふさわしい観測条件の場所があるかないかによって、実際に完成した年には開きがでたが、この頃計画の始まった大部分のものはすでに完成している。

1971年11月号の天文月報に、山下氏による大望遠鏡の設計という一文がある。そこに出ている当時計画されていた大望遠鏡の表の一部を示しておく。この表を見て第一に気づくことは、イタリアのものを除くとすべてすでに完成するか、完成直前であることである。もっとも、すべてがすんなりと進んだ訳ではなく、カナダとフラン

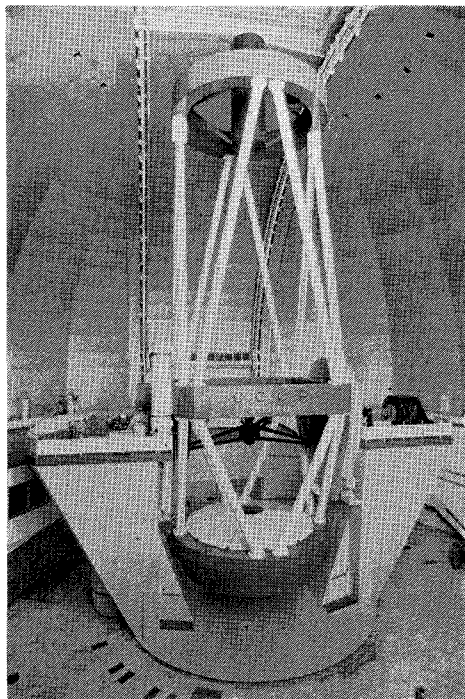


図1 ツェレンチェスカヤの口径6m望遠鏡

スの計画は一体となり、ハワイ大学を加えた三者による共同望遠鏡として、1979年にハワイ・マウナ・ケアに口径358cm望遠鏡が完成している。

次に注目すべき事は、計画から完成まで10年前後の年数がかかったことである。これは、一つには観測条件の良い場所の調査に時間がかかったこともあるが、建設をする天文台にも光学会社にも大望遠鏡の経験が少なく、設計・調査等に時間を要したためと言える。

表の中で、ソ連の600cm望遠鏡のみが経緯儀式である。ソ連としては、世界最大の望遠鏡という名前を得るために、パロマー山天文台より大きい口径をねらったものである。この口径ではとても旧来の赤道儀式では作れないので、経緯儀式になったのであろうが、この計画が始まった時代のコンピューターその他の技術レベルが十分でなかったので、1976年に完成しているにもかかわらず、まだ十分良質の天文観測データが出ていない状態である。

これらの時期における計画では、電波望遠鏡、スペース天文学からの影響を大きく受け、口径3-4mクラスの望遠鏡では

- 1) 低膨張ガラスの出現
- 2) リッチ・クレチアン光学系の採用
- 3) エレクトロニクスとサーボ・システムの進歩
- 4) 計算機による完全制御
- 5) 検出器の進歩
- 6) 赤外線天文学の発展

などの新しい技術の恩恵を受けられるようになった。

さらに、この時代には、特に電子工学と計算機の進歩が著しく、望遠鏡もさることながら、検出器を中心とした観測装置の開発に重点がおかれ、光電素子とデータ収集そして精密計測と制御の問題が改善されていった。さらに、一方では銀河天文学、X線天文学、赤外線天文学の重要性が増大し、シュミット望遠鏡が南天を含めた各地に出現してきたので、画像処理と低分散分光に関心もたれるようになった。そして、 S/N の向上をめざして、良いサイトを探し求め、チリやマウナ・ケア、ラ・パルマの三地点がベスト・サイトとして、クローズ・アップされ、地上天文学のメッカになろうとしている。

表1 1971年頃に計画されていた大望遠鏡計画とその完成年

	ソ連	アメリカ	アメリカ	ESO	英国・豪国	カナダ	フランス	ドイツ	イタリア	アメリカ
開始年	1960	1961	1967	1962	1967	1966	1964	1969	1971	1971
場所	ツェレン チェスカ ヤ	キット・ ピーク	セロ・ト ロロ	ラ・シ ヤ	サイディ グ・スプリ ング	マウナ・ケア		カラ・ アルト		ラス・カ ンパナス
口径	6.0m	4.0	4.0	3.6	3.9	3.58		3.5	3.5	2.5
完成年	1976	1973	1974	1976	1974	1979		1982	未完	1977

3. 1980年代の望遠鏡計画

現在、もっとも完成に近い大口径望遠鏡は、表に出ていたドイツ・マックス・プランク研究所の3.5m望遠鏡である。昨年4月にZeiss社の工場内での組み立てが完了している。スペイン・カラ・アルト天文台に今年移され、1983年から試験観測に入ることになっている。この望遠鏡は典型的な赤道儀式の望遠鏡である。最初の予定では、南西アフリカに建設されることになっていたが、政治的な事情でスペインに置かれることになった。同じく南西アフリカに建設されることになっていた2.2m望遠鏡は、1976年にZeiss社から引き渡されて以来、長い間マックス・プランク研究所の倉庫に眠っていたが、近年ヨーロッパ南天天文台に貸すことになり、1982年にチリのア・シヤに移され、1983年から観測を始めることになっている。

次の計画は、イギリスの口径4.2m望遠鏡である。昨年4月にグラブ・パーソン社との契約がなされ、1986年完成の予定である。望遠鏡の建設費用をできるかぎり節約するために、いろいろの事が考えられた。その一つは、一枚の鏡を切断して二枚の薄い鏡を作ることであり、他は、経緯儀式にすることである。イギリスでは、赤外線観測用としてハワイのマウナ・ケアの3.9m望遠鏡を建設しているが、通常口径に対する鏡の厚み1/6に比べて半分以下のものを使って十分な精度を出している。その経験を使って波長の短い可視光で行なっても可能であろうと考えられていた。しかし、鏡体を二つに切っても下側の鏡体の表面精度を良くすることができないことが判って中止になっている。経緯儀式望遠鏡はソ連の6m望遠鏡の苦い経験があるが、近年のコンピューターの進歩の目覚しさを考えると問題がないようである。しかし、ソフト・ウェアの開発費用の評価が十分できない段階であるので、コントロールのソフト・ウェアをグリニチ天文台側が進めることになっている。

この望遠鏡は、アフリカ西海岸の島・スペイン領ラ・パルマに置かれることになっている。3000mを越える山の上に、すでにグリニチ天文台ハーストモンソーにあった口径2.5mアイザック・ニュートン望遠鏡が移されており、この山頂部分を開発するのに、港からの道路建設を含めて、30億円の費用がかかっているとのことである。ラ・パルマは、マウナ・ケア、チリとともに世界のもっとも天文観測に適した土地であり、大口径望遠鏡を置く場所が十数台分もあるので、国際的な観測用地として使われるべきであると考えられている。

もう一つは、ヨーロッパ南天天文台(ESO)が計画している口径3.5m望遠鏡である。1982年からイタリアとスイスが、ESOに加盟し、その加盟料20億円のうち10

億円を新技術の開発に使い、10億円を経緯儀式の3.5m望遠鏡の建設に使う予定である。このように安価に3.5mもの望遠鏡を作るには、数多くの問題点を解かなければならないが、ESO本部がスイスのジュネーブからドイツ・ミュンヘン郊外ガルフィンに1980年9月に移った際に、技術者の半数以上が退職してしまった。その結果、経緯儀式望遠鏡の研究を始め多くの問題点の研究のスタートが大分遅れそうである。

このESOの計画に並行して、イタリアも独自に3.5m望遠鏡を建設する計画を持っている。しかし、この計画は、ESOの望遠鏡がいかにか安く、良くできるかという技術的検討がなされてからのことになる。

ちょっと変わった所では、イラクがZeiss社による口径3.5m望遠鏡を建設する計画を持っており、昨年6月に契約が交されたそうである。しかし、この望遠鏡は技術的にはあまり興味あるものではなく、マックス・プランク研究所の3.5m望遠鏡とそっくりそのままのコピーになるらしい。オイル・マネーを使って、お金のことは気にしないで、Zeissの技術にまかせきりの感がある。

これらの計画案を見ると、お金はあるが技術はないというイラクの場合を除いて、すべて経緯儀式になっている。経緯儀式の長所は、ドームを小さくすることと、重い望遠鏡を支えやすいことで、この両面からの経費の節約は多大である。欠点としては、星像が回転することと、コンピューター・コントロールをしなければならないことである。星像の回転については、像回転補償機構を使うことにより解決できる可能性があり、コンピューターのソフトウェアはこれからの問題として残るが、一度作られると後は他の望遠鏡にも比較的簡単に応用できる面がある。日本の場合、東京天文台が三菱電機に発注して建設中の45m電波望遠鏡では、数秒角のトラッキングを行なおうとしているので、参考になるであろう。そして、これらの計画において経緯儀式に成功すれば、視野の広いシュミット望遠鏡等を除いて、今後の大望遠鏡はすべて経緯儀式になるであろう。

4. 1990年代の望遠鏡に向けて

これまでに見てきたように、1970年代に次々と口径3-4m望遠鏡が建設され、その名残りの望遠鏡が1980年代に数台作られることになっている。これらの望遠鏡によって、パロマー山508cm望遠鏡で発見された天文学における新しい事実が、より確かなものにされてきた。しかし、各天体をより細かく調べるためには、より高波長分解能、高空間分解能、高時間分解能、そして、より暗い天体の観測が必要になってくる。

3-4mクラスの望遠鏡が次々に完成した1970年代の中頃から、より大きい望遠鏡の計画が練られ始めた。ソ

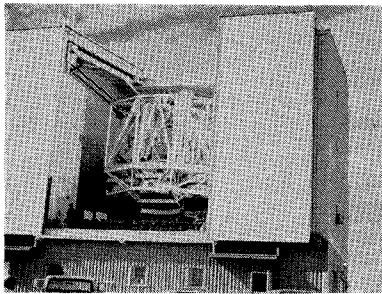
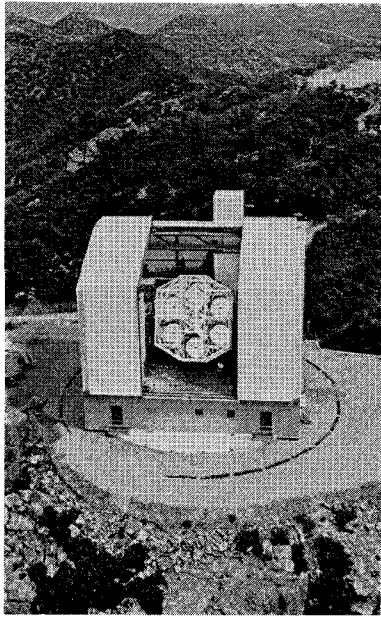


図2 ホプキンス山にある多重鏡望遠鏡 (MMT)。ドームも望遠鏡と共にまわるようになってい

表2 MMT の性能

項目	現状	目標
位置精度	2"	1"
追尾精度	2"	0.2"
像質 (合成)	円盤状 (0.5)	0.1 以下
けられなし視野	30" × 45"	40" 以上
光学系自動調節	1"	0.1"

連の6m望遠鏡の場合には、その開始当時には新しい技術であった経緯儀式が初めて採用されたが、これは厚みが1mにもなる大きな鏡を旧来の赤道儀式では支えきれないために、やむをえず採用されたものである。一方、望遠鏡の建設費用は口径の2.6乗に比例して増大するので、これ以上の大集光望遠鏡では実現不可能な程度に高額なものになってしまう。そこで、より新しいアイデアと技術を使った望遠鏡の開発が大切な事になってきている。

このような方向における最初の試みは、アリゾナ大学とスミソニアン天文台が共同で建設した多重鏡望遠鏡 (Multi-Mirror-Telescope: MMT) で、1979年5月に完成している。これは6個の1.8m鏡を一つの架台にのせて有効口径4.4mを実現している。一つの望遠鏡のF比は30であるが、6つの光束はF/9に合成される。表2に、その性能仕様を示してあるが、ほぼ1"の精度の像の合成と追尾が可能になっているということである。6つの鏡からの光束をレーザーを使って一点に集めるようにしているが、まだ長時間にわたって良い像が得られないのが問題点となっている。この望遠鏡はアリゾナのホプキンス山の独立峰の頂きにあるので、風による影響も大きいようである。とにかく、このような新しい方法によって、鏡の軽量化と支持方式に関する問題点を解決したと言えるであろう。そして、この望遠鏡を使って、すでにいくつもの天文学的結果を出している。

一方、高空間分解能においては、既存の大口徑望遠鏡を結合させ、干渉させる方法が試みられている。例えばマウナ・ケアのフランス・カナダ・ハワイ (FCH) の3.6m望遠鏡とイギリスの赤外線用 (UKIR) 3.9m望遠鏡を結合させることや、チリのラ・シヤ3.6m望遠鏡とセロ・トロロ4.0m望遠鏡、ラス・カンパナス2.5m望遠鏡を結合させる計画が提案されている。フランスの南部、香水の生産地として有名なグラスにあるCERGAでは、コンクリート製の鏡筒・架台を持った1.5m望遠鏡を10台 (有効口径6m) を作って、星像を干渉させるシステムが開発されており、1982年までに2台が完成する予定である。

お知らせ

京都大学理学部物理学第二教室教官公募

次の通り公募いたします。

募集人員 助教授1名
研究室 (分野) 宇宙線研究室 (赤外線天文学)

着任時期 決定後なるべく早い時期

必要書類 履歴書、発表論文リスト、主要論文別刷各1部、自薦の場合は研究計画書、他薦の場合は推薦状

締切 1982年4月24日 (土) 必着

宛先 〒606 京都市左京区北白川 京都大学理学部物理学第二教室主任 田中正

なお郵送の場合は応募書類と表記し、簡易書留とすること。