

最近の技術から

Multiple mirror telescope の現状と将来

磯部 琇三

東京大学東京天文台 〒181 三鷹市大沢 2-21-1

1. ホプキンス山の MMT

MMT という言葉にはなじみが薄い人が多いと思う。これは multiple mirror telescope (多重鏡望遠鏡) の頭文字をとったので、現在の光学天文学者にとってはもっとも関心の深い望遠鏡の型である。名前のとおり主鏡が何枚もあって天体の光がそれぞれの鏡から一点に集められるので、全体の鏡の面積に対応する光量になり暗い天体まで観測することができる。

このような型の望遠鏡が考えられ始めたのは1960年代でかなり古いことである。アメリカのスミソニアン天文台で実際の建設のための検討を始め、1979年5月9日にアリゾナ州ホプキンス山頂に最初の MMT を完成させている¹⁾。この望遠鏡は口径1.8mの主鏡6枚からなっていて、一つの架台の上に乗っている。天体の方向の違いによる六つの主鏡に対する重力の影響をできるだけ小さくするために、経緯儀式架台が採用されている。また、主鏡はアメリカ空軍から支給されたもので、何枚ものガラス板をはりあわせたエッグクレートとよばれる軽量鏡が使われている。

ホプキンス山の MMT ではこれ以外にもいろいろな試みがなされている。赤外線観測も行なえるように、焦点から空を見たときに雑音源となる鏡の縁や支えの棒がなるべく見えないように工夫してある。6枚の鏡からの光束を一点に集めるためにレーザー光を使って副鏡、第3鏡、ビーム結合鏡と相対位置のずれを検出して、それを補正するシステムが採用された。しかし、この方法はうまく働かなくて、2年後には後で示すような星像を重ね合わせる方法が採用されている。また、望遠鏡周辺の空気を安定させその上ドームをできるだけ小さくするために、望遠鏡といっしょに回転する建物(ドーム)の中に望遠鏡はおさめられている。

MMT は完成後5年になり、各種の手が加えられて現在では使用時間の90%以上が実際の天体観測に使われるようになってきた。そして、銀河による重力レンズ効果によって二重クェーサーが作られることの発見など

いくつもの天文学的に意義ある発見がなされるようになってきた。

2. なぜ MMT が必要か

天体からの光を1枚の鏡で受け、それを直接焦点に集めるのがもっとも簡単な方法である。それではなぜ MMT のように何枚もの主鏡を使って光を集めるのであろうか。その一番目の理由はパロマー山5m鏡を越える超大口径の主鏡を作ることの困難さであり、二番目には望遠鏡建設にかかる費用の軽減である。望遠鏡の主鏡はその口径が大きくなるにつれて厚みを増やさなければならない。望遠鏡をいろいろな方向に向けても非常にシャープな星像(0.1"~0.3")を得るように鏡面を保つには、直径の1/6~1/8の厚みが必要である。5m鏡では40tもの重量になってしまう。これ以上の重量をよい精度で支えることは不可能に近い。

ハニカム鏡や薄型鏡によって鏡材の重量を軽くする方法が考えられている²⁾。それでも口径が7.5m以上になると重量が大きくなりすぎる。天文学の進展によってより大口径の望遠鏡の必要性が感じられ始めている。単一鏡の超大口径望遠鏡の建設が不可能であることが明らかになった段階で考えられることは、主鏡を分割することである³⁾。もっとも簡単な方法は通常望遠鏡を何十台も建設し、それぞれの望遠鏡からのクーデ焦点を一点に集めるものである。これには特別な新しい技術は必要ないが、クーデ焦点に持ってくるまでに何枚もの鏡で反射しなければならないので光の損失が大きく、また費用も膨大である⁴⁾。

主鏡を数十枚に分割した部分鏡望遠鏡も考えられ、実際にカリフォルニア大学が口径10mのものを建設することになっている⁵⁾。この方法では一つの放物面が何十枚もの鏡に分割されており、鏡同士の数nmというわずかなずれを検出して刻々動かしている。しかし、常に安定に鏡面を保てるかどうかまだ不安な面があるし、F比の明るいものでなければ焦点距離が長くなって望遠鏡全体が巨大になってしまう欠点がある。

MMT ではそれぞれの主鏡が中心軸をもった放物面になっているので、望遠鏡の筒の長さはそれぞれの主鏡の焦点距離によって決まっている。アメリカ国立光学天文台(1984年2月にキット・ピーク国立天文台から分離して新しく設立された天文台)では7.5m鏡を4枚使った有効口径15mの超大口径望遠鏡計画をもっている⁶⁾。この場合一枚鏡の5m望遠鏡の建設費とほぼ等しい建設費で行なうことが可能であると考えられている⁷⁾。

3. MMT の観測精度を出すために

MMT では主鏡、副鏡、第3鏡、ビーム結合鏡と少なくとも4回の反射が必要で、それぞれの主鏡に対して同じだけあるので、ホプキンス山のMMTでは24枚の反射鏡がある。これらの鏡の位置が任意に変わるので大変である。とくに日周運動で追尾している間に相対位置が変わると、天体からの光の像は一点で重ならなくなる。最初に採用されたレーザー光を用いる方法は、レーザービームが非常に細いために各鏡筒内部でビームが通っているごく一部分の空気がゆらいでもその方向にそれぞれの鏡の位置を修正してしまっ、かえって星像が悪くなるが多かった。

現在では、望遠鏡光軸調整システムという方法がとられている⁸⁾。焦点近くに六角プリズムを挿入して六つの主鏡からの星像をそれぞれ六角形の頂点に対応するところに作り出す。そのとき正確に六角形の頂点にあればプリズムを除去したときに星像が焦点に一点で集まるように調整しておけば、以後とときどきプリズムを挿入して

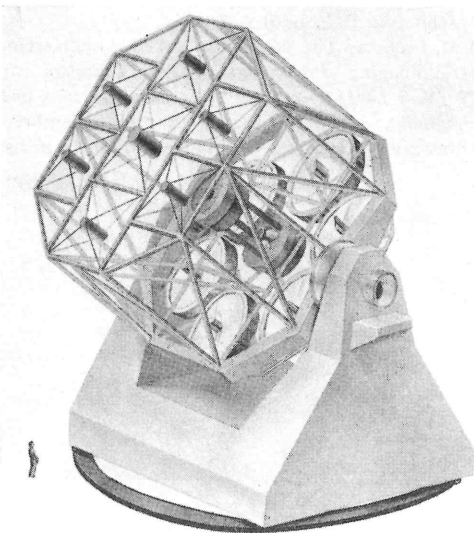


図1 アメリカ国立光学天文台で計画している有効口径15mのMMT

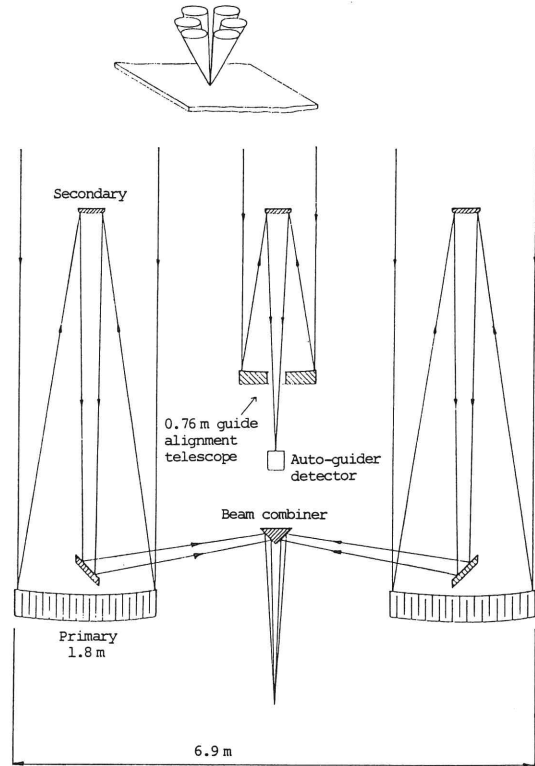


図2 MMTにおける光路

上に擬似カセグレン焦点への光の集まり方が示してある。

チェックをすればよいことになる。この方法はある意味では完全ではあるがチェックのときに観測が中断されるし、また長時間積分しないとその存在が明らかでないような天体には使えない。15m MMTでは、観測天体のすぐそばの天体を使いたいゆるオフセットの観測を行なうための研究が進められている。

六つの主鏡からの光を一点に集めるのは比較的やさしい。光は波であり、それぞれの主鏡からくるコヒーレントな光の重ねあわせの場合、位相がずれたもの同士を重ねあわせると光量は2倍にはならない。とくに干渉計として使う場合には光の位相があつたコヒーレントな状態で重ねあわせなければならない。一枚鏡でもその鏡の別別の部分からきた光の位相があつていなければならないが、通常の場合常にコヒーレンスは保たれている。

ホプキンス山のMMTでもコヒーレントな光を重ねあわせる努力を続けており、1983年10月になってやっと赤外線波長域で十分な精度のコヒーレント像を得ることができた⁹⁾。しかし、赤外線の波長でもその継続時間はあまり長くない上に、可視光を使って光路の長さを調節するシステムなので、このシステムをそのまま可視光

に使ってコヒーレントな像を得ることはできない。

膨大な建設費のかかる大望遠鏡や超大口径望遠鏡は観測条件(星像の大きさ, 快晴率, 暗夜の暗さ, 大気の外線放射の少なさなど)のよい場所に設置されるようになってきた。そして, 星像の大きさが可視光で $0.3''$, 赤外線で $0.2''$ にもなっている。このような条件に合った MMT を建設するには, 主鏡自身の性能ばかりでなく, 鏡筒, 架台のゆがみや不整, さらに, それらから放出される熱によるドーム内部の空気のゆらぎなどあらゆる面に細心の注意を払った設計にしなければならない¹⁰⁾。

4. MMT で進める天文学

MMT の実現によってより超大口径望遠鏡の可能性が開けてきた。ホプキンス山の MMT は有効口径が 4.4 m もあるにもかかわらずパロマー山天文台 5 m 望遠鏡の1割あまりの費用で完成している。

その口径を利用して非常に暗い天体を観測できるようになるであろう。暗い点像を観測するという意味だけであれば1986年に打ち上げられる口径 2.4 m のスペーステレスコープにはかなわない。大気がないために星像が小さいからである。しかし, クェーサーや原始星のような天体の性質を明らかにするには, スペクトル観測が必要で, そのためには多量の光を集める必要が出てくる。

物理学の実験においては一つの実験によって一つの結果を導き出すことを目的としている。天文学では1台の望遠鏡であらゆる天体の観測を試みることができる。そして, そのなかから宇宙の新しい物理法則が導かれる。MMT ではあらゆる意味の極限状態にある天体を詳しく調べられるであろう。そして, その基線長を利用しての角分解能の高い観測も可能になる。

MMT という新しい型の望遠鏡は天文学を大きく前進させる可能性を強くもっているが, 一方では, それを

有効に働かせる技術, とくに光学技術的問題がまだまだ残されているといえるであろう。

文 献

- 1) J. M. Beckers, B. L. Ulich, R. R. Shannon, N. P. Carleton, J. C. Geary, D. W. Latham, J. R. P. Angel, W. F. Hoffmann, F. J. Low, R. J. Weymann and N. J. Woolf: *Telescopes for the 1980s*, ed. G. Burbidge and A. Hewitt (Annual Reviews Inc., California, 1981) p. 63.
- 2) J. R. P. Angel and J. M. Hill: Steps toward 8 m honeycomb mirror blanks—III. *Proceeding of SPIE (Advanced Technology Optical Telescope II)*, ed. L. Barr and B. Mack (SPIE, Washington D.C., 1983) p. 184.
- 3) L. Barr: The Kitt Peak NGT Project. *Proceedings of Optical and Infrared Telescopes for the 1990s*, ed. A. Hewitt (Kitt Peak National Observatory, Arizona, 1980) p. 23.
- 4) H. Abt: The cost-effectiveness of telescopes of various apertures. *ibid.* (Kitt Peak National Observatory, Arizona, 1980) p. 609.
- 5) J. Nelson: The University of California ten meter telescope project—The segmented design. *ibid.* (Kitt Peak National Observatory, Arizona, 1980) p. 11.
- 6) S. Isobe: Japanese national large telescope (JNLT). *Proceedings of IAU Colloquium No. 79 (Very Large Telescope, Their Instrumentation and Programs)*, ed. M.-H. Ulrich (European Southern Observatory, Garching bei München, 1984) in press.
- 7) K. Kodaira, S. Isobe and T. Kogure: Japanese national large telescope (JNLT) project. *Proceedings of the 13th Congress of the International Commission for Optics (Optics in Modern Science and Technology)* (1984) p. 610.
- 8) J. M. Beckers, B. L. Ulich and J. T. Williams: The multiple mirror telescope: A Progress report. *Proceedings of SPIE (Advanced Technology Optical Telescope II)*, ed. L. Barr and B. Mack (SPIE, Washington D.C., 1983) p. 2.
- 9) J. M. Beckers: The use of the MMT for interferometric imaging. *Proceedings of IAU Colloquium No. 79 (Very Large Telescope, Their Instrumentation and Programs)*, ed. M.-H. Ulrich (European Southern Observatory, Garching bei München, 1984) in press.

(1984年5月31日受理)