

口径 8 m 「すばる」望遠鏡とその補助光学系 家 正則

国立天文台 東京都三鷹市大沢2-21-1 TEL:0422-34-3703
8m SUBARU Telescope and its Auxiliary Optics
Masanori IYE
National Astronomical Observatory

National Astronomical Observatory commenced the construction of an 8m telescope for optical and infrared astronomy to be completed by 1998 at the 4200m summit of Mauna Kea, Hawaii. The telescope has an F/2 primary focus, an F/12.2 Ritchey-Chretien focus, and two F/12.6 Nasmyth foci. A number of auxiliary optics are envisaged at these foci. They include, e.g., wide field corrector, wavefront analyzer, atmospheric dispersion compensator, image derotator, acquisition and guide optics, calibration optics, adaptive optics, and so on. The required characteristics of these auxiliary optics are summarized.

The outline of the project, the active optics concept of the primary mirror support, and the flushing enclosure to reduce the air turbulence are also briefly discussed.

1. 口径 8 m 「すばる」望遠鏡

国立天文台は平成3年度から8年計画でハワイ島マウナケア山頂に口径8 mの光学赤外線望遠鏡 (J NLT : Japan National Large Telescope、愛称「すばる」) の建設を開始した。この望遠鏡(図1)は波長0.3-30 μmの可視光・赤外線で、宇宙の果てのクエーサーや銀河を観測し宇宙の構造と進化を解明すること、銀河内での星形成領域の観測から星や惑星系の誕生の過程を解明すること、などを目的として建設される¹⁻²⁾。

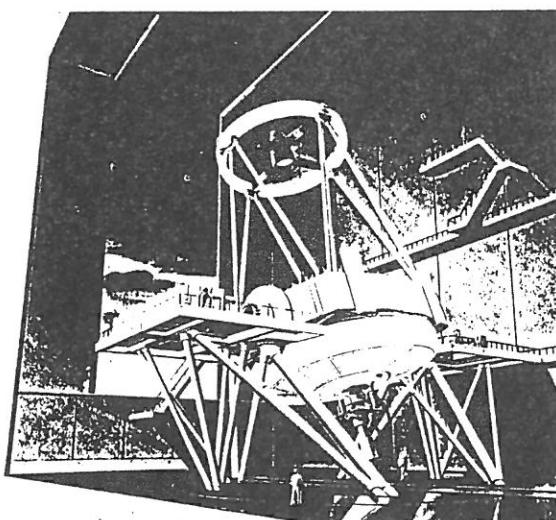


図1 「すばる」望遠鏡完成予想図。

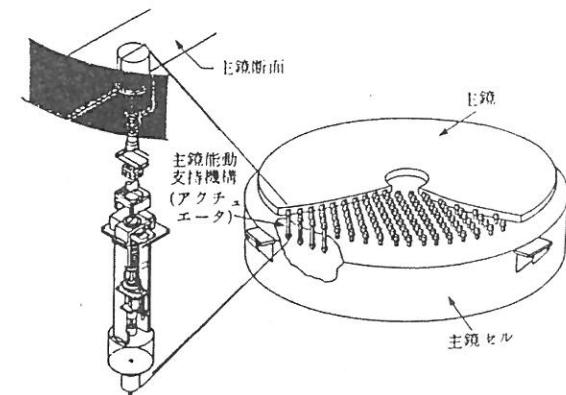


図2 「すばる」望遠鏡の主鏡能動支持機構。

2. 「すばる」の工夫

(1) 高精度鏡面を実現する能動光学³⁾

「すばる」の主鏡は熱膨張率が低くて薄いガラス材でつくる。薄いガラス材は剛性が低く変形しやすいが、鏡の形状をコンピュータ制御の264個の支持機構(図2)で、いつも設計どおりの曲面に保つよう工夫する。「能動光学」と呼ばれるこの工夫により、望遠鏡を軽量化して安くつくることが可能になっただけでなく、重力変形、熱変形などを補正してその結像性能を常に最良の状態に保てるため、従来よりもシャープな像を結ぶ望遠鏡とができる。能動光学方式は21世紀の望遠鏡には標準装備の技術となるものと思われる。

(2) 斬新なドーム

建設候補地マウナケア山頂は海拔4200mで、年間250日程度の晴天夜に恵まれる。町明りも届かず、気流が安定し、残存水蒸気量も極めて低いため、可視光や赤外線の観測には世界一適した場所とされていて、すでに10台ほどの望遠鏡が日夜宇宙をにらんでいる国際観測所である。

地上では最良の建設地マウナケア山頂を選び、能動光学でせっかく立派な鏡を実現しても、ドーム内外に陽炎が立って光波面を乱してしまったのでは台無しである。実際、従来の望遠鏡ではドームや主鏡自体から空気の熱ゆらぎが発生して、結像性能を劣化させていることが分かってきた。そこで、「すばる」ではドームの形状も半球形ではなく、楕円柱形にして地表近くの乱れた風がドームに沿って登って来ないようにする。ドーム内の熱源を最小限に抑えた上、発生する熱はすべて遠くへ排出するように工夫する。それでも、熱容量の大きな構造物が多いため、わずかな陽炎が立つの避けられない。このため、「すばる」ではドーム内部に風の通り道を確保し、ドーム内で発生する空気揺らぎを流し去るフランシング機能を持たせる。

(3) 新時代の観測装置

撮像観測では、主焦点に高感度のSi-CCDを100個程度並べて直径30分角の視野を一度に撮影する。現在、このためのモザイクCCDカメラを開発中であり、東京大学木曾観測所のシュミット望遠鏡を用いた試験観測が始まっている。

一方、PtSi、HgCdTe、InSbなどの新しい赤外線用二次元半導体検出器の開発により、1-3 μmの近赤外線でも、可視光用のCCDカメラの画質に近い高画質の観測が実現され始めている。わが国独自の開発としてPtSiを用いた赤外検出素子の実用化が進み、試験観測にも成功している。近赤外線撮像観測は1990年代に入って本格化した分野であるが、未開拓の3-30 μmの中間赤外線での撮像についても「すばる」での実用化を目指してカメラの開発が企画されている。

分光観測用には、エシェルグレーティングを用い

て波長分解能10万以上を達成する本格的な高分散分光装置をナスマス焦点に設置することが計画されている。冷却型赤外分光装置は「すばる」でも最も活躍する装置の一つであろう。

この他にも、非常に暗い天体の撮像観測やさまざまなモードでの分光観測がスイッチ一つ切り替えるだけで行え、天体の多面的な観測が可能な微光天体分光撮像装置、100本以上の光ファイバーで多数の銀河のスペクトルを一度に撮れる多天体分光装置、など、ユニークな装置の設計・開発が進められている。

3. 補助光学系の概要

「すばる」の補助光学系のユニットとして想定されるものを表1にまとめた。ユニット数が多いだけでなく、詳細設計に至るまでの検討開発要素も多いが、以下に各ユニットの機能と構造について現時点での構想を示す。

3. 1 主焦点広写野補正光学系

リッチャー・クレチアン系の双曲面主鏡単体では、球面収差、コマ収差があるため良い結像が得られない。そこで、非球面を含む3枚構成の低分散ガラス補正レンズ系を用いて、視野約30分角、星像直径0.2秒角以内の結像を実現する方向で設計・開発を進めている。

3. 2 大気色分散補正系

空気の屈折率の波長依存性のため、高度の低い天体ほど焦点面での色ズレが著しい。2組の直視プリズムを対向させ、その相対角度を高度角に応じて調節することにより、大気色分散を補正する(図3)。

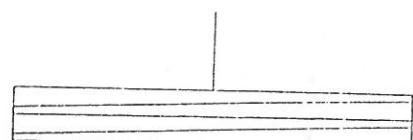


図3 大気色分散補正系。

3. 3 像回転補正系

高度軸と水平軸の2軸駆動経緯台方式の望遠鏡では、1軸駆動の赤道儀方式の望遠鏡と異なり、天体追尾に伴い焦点面で視野が回転する。3枚の合わせ鏡を像回転の半分の角速度で回転することにより、焦点面での視野回転をキャンセルすることができる(図4)。

3.4 シャックハルトマン型鏡面検査装置

能動支持方式の薄鏡の鏡面形状は、264個の支持機構内蔵の力センサーの出力をモニターして支持力を調整することにより制御される。しかしながら、力制御系の校正を行うため、鏡面を光学的に適宜モニターする必要がある。マイクロレンズアレーを内蔵したシャックハルトマンカメラを用いてこの光学検査を行う。シャックハルトマンカメラのプロトタイプは国立天文台で試作済みであり、ツエルニケ係数の繰り返し測定誤差として数nm以下の性能を達成している。

3.5 オフセット／軸上ガイダー

望遠鏡の追尾誤差は、焦点面での比較的明るいガイド星の位置をモニターして補正する。

3.6 感度校正／波長校正用光学系

焦点に装着した観測装置の感度の校正や、分光器の波長校正を行うための光学系である。

3.7 波面補償光学系

地上観測の宿命とも思われてきた大気の揺らぎによる像のボケについても、補償光学と呼ばれる技術の発展により、赤外線では望遠鏡の回折限界に近い解像力の達成が実現されつつあり、可視光でも0.1秒角を切る解像力の実現が見込まれている。補償光学は「すばる」の主鏡制御に用いる能動光学と原理的には共通な技術であるが、大気の揺らぎを補正対象とするため、入射瞳の再結像位置に置いた薄型可変鏡を最高で1kHz程度の高速動作させることが要求される(図5)。高感度高速カメラの実用化と、高速制御プロセッサーの進歩により、このような高速動作が可能になりつつある。能動光学や補償光学による解像力の向上は、S/N比向上にもつながり望遠鏡口径の増大、半導体検出器による量子効率の向上とならんで、天文学上重要な技術的ブレークスルーである。

補償光学系として、技術的に易しいイメージ・スタビライザの開発は終えており、より高度な多軸制御のアダプティブ・オプティクスシステム、世界でまだ実現していないオートフォーカサーの開発を進め、あるいは企画している。

カセグレン焦点の直前でビームを横に出し、波面補正してビームをカセグレン焦点に戻すことを前提として設計を考えた。

文献

- 1) T.Kogure and A.Tokunaga eds. : Japanese National Large Telescope and Related Engineering Developments, (Kluwer Academic Publishers, 1989).
- 2) 家正則・海部宣男・小平桂一：口径8m「すばる」望遠鏡計画：宇宙の生い立ちを明示する、日本物理学誌、47巻、4号、269頁、(1992)
- 3) M.Iye et al. : Proc.SPIE Instrumentation in Astronomy 7, 1236 (1990) 929.

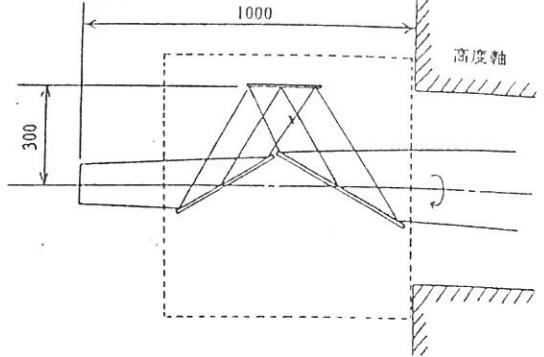


図4 像回転補正系。

補助光学系関連要素マトリックス(案)

項目	焦点	主焦点	カセグレン焦点(ペントカセグレン)	ナミミス焦点
1. 副鏡 第3鏡		光学副鏡F12.2 赤外副鏡F12.2	光学副鏡F12.6 光学第3鏡	振動副鏡(赤外第3鏡) 赤外第3鏡
2. 补正光学系	紫外／可視／赤外	可視用補正系に内蔵 F1.4用A.D.C. 退避法検討(アリ?)	可視用A.D.C. 退避法検討(アリ?)	振動副鏡(赤外第3鏡) 赤外第3鏡
3. 大気分散補正系 (A.D.C.)		可視用補正系に内蔵 F1.4用A.D.C. 退避法検討(アリ?)	可視用A.D.C. 退避法検討(アリ?)	振動副鏡(赤外第3鏡) 赤外第3鏡
4. 装回転機構(1nR) (アリ? - ない?)	主焦点回転機構 (共用)	主焦点回転機構 (アリ? - ない?)	主焦点回転(青/赤) 端面外退避	装置に内蔵 (制御系は用意)
5. 像回転機構(1nR) (アリ? - ない?)			主焦点回転(青/赤) 端面外退避	装置に内蔵 (制御系は用意)
6. 鏡面検査装置(S.H.) (アリ? - ない?)	主焦点S.H.	光F1.4/S.H.(共用)	光F1.4/S.H.	F35用S.H.
7. レーザー指向装置 (O.G.) CCD or IDT (アリ? - 一部使用?)	主焦点O.G. (アリ? - 一部使用?)	光F1.4/O.G. (アリ? - 一部使用?)	光F1.4/O.G.	F35用S.H.と同一
8. ルーパ反射器(S.V.) (アリ? - 分光器側) 屈野ミラーを兼ねる?	光F1.4/S.V. 可視CCD	光F1.4/S.V. 可視CCD	光F1.4/S.V. 可視CCD	F35用S.H.と同一
9. 校正用光源部(Cal) (アリ? - 波長切替) (HD、色温度切り替え)	主焦点較正部 写野の一部のみ F1.4-較正法	主焦点較正部 退避可能な構造 F1.4-較正法	光F1.4/A 退避法検討 (アリ? - ない?)	光F1.4/A 退避可能な構造 F1.4-較正法 退避可能な構造 ?
10. フォト管系(F.A.) 焦点前or後? (アリ? - ない?)	主焦点F.A. 退避法検討 (アリ? - ない?)	主焦点F.A. 退避法検討 (アリ? - ない?)	観測装置内蔵 光F1.4/S (アリ? - ない?)	観測装置内蔵 光F1.4/S ?
11. 積安定化装置(1S) (アリ? - ない?)	光F1.4/S 赤外はshift/add	光F1.4/S ?	光F1.4/S	観測装置内蔵 光F1.4/S ?
12. 自動合焦装置(A.F.) (アリ? - ない?)	主焦点A.F.	主焦点A.F.	光F1.4/A.F.	観測装置内蔵 光F1.4/A.F. ?
13. 赤外屈屈光学系(A.O.) (アリ? - ない?)	光F1.4/A.O. 焦点前or後?	光F1.4/A.O. 焦点前or後?	光F1.4/A.O. 焦点前or後?	観測装置内蔵 光F1.4/A.O. ?
14. 観測装置 (Obs.Instr.) (アリ? - ない?)	カセグレン (装置内蔵?)	カセグレン (装置内蔵?)	観測装置内蔵 高分散分光器 中間赤外測光器 中間低分散分光器 P1装置	観測装置内蔵 高分散分光器 中間赤外測光器 中間低分散分光器 P1装置
15. 観測装置 (Obs.Instr.) (アリ? - ない?)	可視CCDカラ(アリ? - ない?) 赤外カラ(アリ? - ない?) 多天(4,7,16)分光器 P1装置	可視CCDカラ(アリ? - ない?) (偏光分光撮像) 赤外カラ(アリ? - ない?) 多天(4,7,16)分光器 P1装置	可視CCDカラ(アリ? - ない?) (偏光分光撮像) 赤外カラ(アリ? - ない?) 多天(4,7,16)分光器 P1装置	観測装置内蔵 高分散分光器 中間赤外分光器 P1装置

図5 波面補償光学系

