

# JNLT 技術検討の昨今

家 正 則\*

本稿はこれまでの JNLT 技術検討の歩みを概観し、この1年間の技術面での進展を筆者なりにまとめてみたものである。

## 1. JNLT ワーキンググループと技術検討会

JNLT の技術的な検討は、1980 年頃から小平の呼び掛けで旧東京天文台の有志を中心に始められた。この当時はまだ光学系、機械系などについても一般的な勉強という段階であったが、大望遠鏡を考える会として組織された光学・天文懇談会(幹事:河野嗣男)で関連分野の専門家の知恵を聞くうちに、次第に JNLT の姿がおぼろげながら浮かび上がってきたといえよう。

本格的な検討は 1983 年 6 月に組織された東京天文台の JNLT ワーキンググループ(幹事:安藤)を中心に進められてきた。JNLT ワーキンググループはほぼ毎週開催され、1989 年末までに開催回数は通算 243 回に及んでいる。天文台外の関連研究者・技術者の方々にも検討に参加していただくため、1984 年 8 月には大型光学赤外線望遠鏡技術検討会(幹事:家)を発足させ、1985 年 4 月には大型光学赤外線望遠鏡光学検討会を光学天文懇談会から発展的に組織して検討を深めてきた。光学検討会は 1986 年 4 月までに合計 8 回を開催し、以降は技術検討会に合流した。技術検討会は 1989 年 10 月までに延べ 34 回を重ねるに至っている。参加者は回を追うごとに増え、近年は 10 余りの機関からの 40 名程度の参加を得ている。両検討会に提出された検討報告書は総計 277 編にのぼる。

口径 7.5 m の光学赤外線望遠鏡をハワイ島に建設しようという基本路線が光学天文連絡会、東京天文台、天文学研究連絡委員会などで了承されたのを受けて、技術検討に熱が入り、比較的初期の段階で能動光学方式の薄メニスカス鏡の採用が決意された。望遠鏡の光学系、機械系、制御系の基礎的な検討を踏まえて、観測装置、ドーム、山麓山頂施設、蒸着設備、これらの運用、保守などの細部を具体的に検討する作業が 1989 年 10 月の第 34 回技術検討会で一通り完了した。1989 年は概算要求に向けて計画の技術的細部を詰める作業を JNLT ワーキンググループが中心となって精力的に行った。これまでの技術検討については、1986 年 2 月の大型光学赤外線望遠鏡一技術調査経過報告書一、1989 年 9 月の大型光学赤外線

望遠鏡計画説明書にその概要がまとめられているが、以下では 1989 年の 1 年間にあったいくつかの特筆すべき技術的な進展にスポットライトをあてて解説したい。

## 2. 能動光学実験

JNLT 本体の最大の技術開発項目は、能動光学方式の確立であった。このことについては天文月報 1989 年 12 月号に詳しく解説したとおり、1989 年 8 月の時点で基本アルゴリズムが完成し実用化のめどを立てることができた。

その後、家・野口・鳥居・三上・山下を中心に 1989 年 10 月から新しい実験望遠鏡(図 1)を用いて能動光学技術の実証実験を行った。この実験では、実際に鏡面変形の非点収差成分などを数値シミュレーションどおりに矯正できることを実証した(図 2)ほか、鏡面収差測定をもとに閉ループ制御を行うと基本的には回折限界の結像性能を達成できることを実証した。さらに 11 月後半からは、静的制御から動的制御へのレベルアップや、鏡面振動の評価などの実験が続けられている。

一連の実験の中でも、数 nm の測定精度を誇る高精度波面測定装置を用いて光路上の空気熱的な振る舞いを

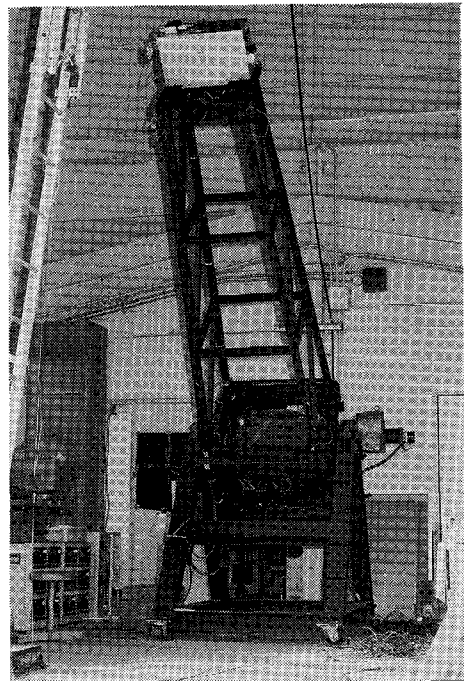


図 1 62 cm 薄型鏡能動光学実験装置

\* 国立天文台 Masanori Iye: Review of JNLT Engineering Study

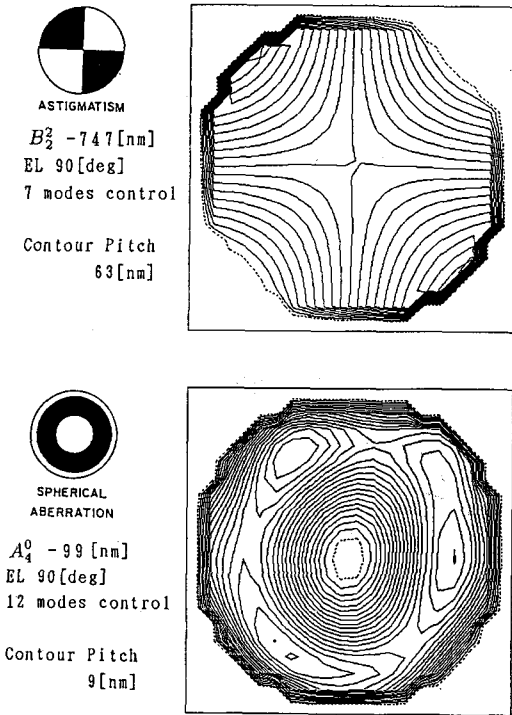


図 2 能動光学による鏡面矯正の様子。  
 (上) 非点収差の補正例  
 (下) 球面収差の補正例

調べた実験データは、1990年正月早々に開かれたハワイ側研究者との打ち合わせや、欧州南天天文台での情報交換会議、更に2月の SPIE 望遠鏡国際会議でも高く評価された。この実験は光路上の空気の乱れによる波面収差が鏡と周辺空気の温度差に対してどのように関係しているのかを調べたものである。熱容量の大きいガラス鏡は空気より温度変化が遅いため、空気とは温度差を生ずる。鏡のほうが空気より冷たいときは基本的には空気は安定成層となる。鏡のほうが暖かいと不安定成層となり、対流による結像の劣化が起こってしまう。温度差が 1°C 以下というような場合でも、この様子が見事に捕らえられたのである。鏡の熱制御やドーム構造の熱設計を行う上での指針を得るために、このような実験をより徹底して行うことが必要である。

3. 赤外 2次元カメラ

この2~3年の赤外線検出器の進歩には目覚ましいものがある。数年前までは赤外線観測のデータといえば、せいぜい数チャンネルの測光データであり、ソロバン(?) が電卓で計算できる程度のものであった。このところ、InSb, HgCdTe などの半導体を用いた2次元カメラが次々に開発され天文観測で応用されるようになってきた。その威力は息を飲むほど絶大である。赤外線ですべて宇

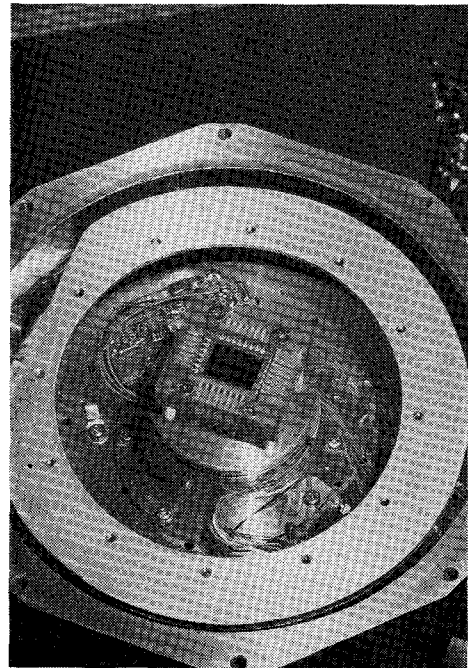


図 3 冷却デューワーに取り付けられた赤外線 PtSi 2次元素子

宙の写真が撮れるようになってきたのである。

国立天文台でも 1988 年から佐藤・上野・伊藤を中心として、PtSi の 512×512 素子という世界最大規模の 2次元赤外カメラの開発が進められている(図3)。このカメラは赤外線用の CaF<sub>2</sub> や ZnSe のレンズを用い、冷却したりオストップに望遠鏡副鏡の像を結像して背景熱放射の混入を防ぐ工夫がされている。画素サイズは 26×20 μm であり、宇宙科学研究所の 1.3 m 望遠鏡では約 6×8 分角の視野を確保出来る。1989 年末には赤外線の写真を初めて撮るところまでこぎつけることができた。また、小林・山下らは InSb の 1次元アレーを組み込んだ赤外プリズム分光器をテスト中であり、良い成績を得ている。これらの赤外用半導体素子そのものの改良も含めて、この方面の技術開発は JNLT グループの中でも今一番急速に発展している。赤外用のこれらのカメラ・分光器は純国産技術の結晶であり、この延長が JNLT につながるが大いに期待されている。

4. 汎用 CCD コントローラーの開発

JNLT のような大プロジェクトには、望遠鏡本体の各種装置を初めとし、様々な観測装置などの開発に極めて多数の人が携わることになる。例えば最新の観測装置を例にとると、遠隔操作で各種の観測モードの切り替えや、調整を行うため数10個のモーターを組み込まねばならないこともしばしばである。このようなとき、そのモーター駆動装置や電源を規格化しておけば、開発の手間

が省けるし、万一故障したときも、それを直すのではなく、あらかじめ用意しておいた予備ユニットと交換するだけですぐに故障に対処できるという利点がある。

部品点数の多い装置を作るときには、なるべく同種部品は規格を統一して故障の確率を下げる工夫が必要である。規格がきまれば、複数の人が協力するにも間違いが少なくなる。このような方向は JNLT の設計段階から十分に意識する必要がある。

関口は高エネルギー実験物理での経験からこの問題の重要性を早くから認識し、各種電子モジュールの共通バスとして VME バスを採用することを提唱し、汎用 CCD 制御回路の試作に取り掛かっていたが、このほどその回路モジュールがほぼ完成した。これでこれまでばらばらに行われていた CCD カメラ開発を、体系的に行う道が開けてきた。規格化・標準化へむけての、この VME バスによるシステムは今後、国立天文台を中心として我が国の天文観測の標準システムとなろう。

### 5. ナスミス・カセグレン焦点のジレンマの解消

JNLT はカセグレン (リッチー・クレティアン) 焦点とナスミス焦点を有するが、当初これらは共通の焦点距離に配置し共通の副鏡を用いる構想で設計を始めた。ところが、具体設計を行うと口径比 2 の大望遠鏡では、焦点位置があちらを立てればこちらが立たずで、焦点距離を共通にするのは大変難しいことが分かった。焦点距離を少し変えればどちらも都合の良い位置に観測装置を配置できるのだが、そうすると副鏡をいちいち取り替えねばならない。これらの焦点は多用されるものと予想されるので、切り替えがスムーズに行えるかどうかは、観測効率に大きな差を生ずる。全く頭の痛い問題であったが、能動光学方式のめどが着いたことでこのジレンマを解決する道が開けた。

その解決法とは、主鏡・副鏡を口径比 12.5 のリッチー・クレティアン光学系として設計しておいて、ナスミス焦点を用いる時は副鏡の位置を少し下げ、焦点距離を伸ばしてやるというものである。このままでは球面収差が生じるが、成相・山下・家の検討で、主鏡を能動光学方式で球面収差が打ち消されるように変形してやれば良いという結論に至った。この方式により、ナスミス焦点は F 13.0 となるが、カセグレン焦点と共通の副鏡を利用できることになる。

### 6. 2重トップ・リング方式の採用

望遠鏡の設計の上で、JNLT は主焦点補正レンズ 2 種類、ナスミス・カセグレン焦点用副鏡 2 枚、赤外線用振動副鏡などをどう機能的にかつ正確に交換するかという難問があった。各々の副鏡ごとに望遠鏡先端の直径約 9 m の輪を用意し、この輪ごと交換するには大型のクレーンを使うしかない。ドームが大きくなるし、時間もかか

る。なんとかならないかと知恵を絞っていたが、この点ではハワイのアラン・トクナガ氏との共同研究により、望遠鏡先端の輪を 2 重輪にして、内側の輪の部分だけで交換作業をするという新しい方法が検討され、焦点切り替えのスピードアップが具体化されることになった。

### 7. FEM/CAD, 光線追跡などによる設計技法

従来は、望遠鏡や観測装置の事前設計段階では、その重力変形、熱歪み、光学性能などについては簡単な評価に頼るしかない場合が多かった。従って実際に作ってみて、予想しなかったような問題に悩まされ、後から対策に追われるという場合があった。

最近では計算機環境が良くなり、パソコンでも有限要素法による構造力学的解析や熱力学的解析、また光線追跡による光学設計などが、比較的容易にかつ定量的に出来るようになってきた。

成相・山下は以前より光学設計に光線追跡を用い、また山下・渡辺・渡部らは鏡の変形計算に有限要素法を用いて実績を挙げてきた。この経験を生かして、最近では山下・野口・沖田らはドームや望遠鏡本体の変形計算にも取り組み始めている。今後は観測装置についても、熱歪みや重力変形の事前計算を行い、設計を最適化することが常識となる。

### 8. JNLT を巡る今後の技術開発項目

JNLT の実現へ向けて、技術開発に意欲を燃やす若い世代が集い始めたという実感がある。実に心強くこれらが楽しみである。今後の課題もいろいろあるが、筆者の偏見で列挙すると、望遠鏡関係では

- (1) ドーム内部でのシーイング劣化条件の評価
- (2) 熱制御とドーム構造の最適化
- (3) 急速な進歩を遂げつつあるアルミ金属鏡の実用性の評価
- (4) 鏡の洗浄装置と蒸着装置の細部構造の具体化などが当面の急務と思う。

観測装置関係では

- (1) アダプティブ光学への取り組み
- (2) 光干渉技術への取り組み
- (3) 中間赤外線観測装置開発

などが重要であろう。

このような技術開発に専念できる人材・環境・体制づくりが早急にできるかどうか JNLT 成功の鍵となる。当事者の努力が前提であることは論を待たないが、読者の皆様のなおい層のご支援をお願い致します。

