

# 大型光学赤外線望遠鏡計画の基本構想

小平 桂 一\*

## 1. はじめに

1984 年 7 月の日本学術会議・天文学研究連絡委員会(古在由秀委員長)において、光学天文連絡会(小暮智一会長)を中心に練られてきた大型望遠鏡計画の基本構想が受け入れられ、長い間の懸案が実現に向けて動き始めた。提案は、5メートルより大きな単一主鏡(目標口径7.5m)をもつ光学赤外線望遠鏡を、ハワイのマウナケア観測所に建設することを骨子としている。

現在の我が国最大の光学望遠鏡は、1960 年以来稼働を続けている東京大学・東京天文台・岡山天体物理観測所の口径 1.88 メートル反射望遠鏡である。建設当時には世界でも屈指の規模を誇っていたこの望遠鏡も、四半世紀を経た今では、世界の第 40 位近くに甘んじている。第 1 表に見られるように、1960 年代には天文学上の大発見が続き、世界の各国は競って大望遠鏡の建設に乗り出した。第 1 図には 1.88 メートル以上の口径をもつ望遠鏡数の増加の状況を示してあるが、特に 1970 年代からの大口径望遠鏡の急激な増加に注目されたい。

1974 年に東京天文台・木曾観測所の 105 センチ大型シュミット望遠鏡が完成すると間もなく、天文学研究連絡委員会は、その将来計画書の中で、様々な他の計画と並んで、大型宇宙電波望遠鏡と共に、口径 4 メートル級の大型光学望遠鏡の建設を要望した。二つのうち緊急性を認められて先ず実行に移されたのは前者であって、野

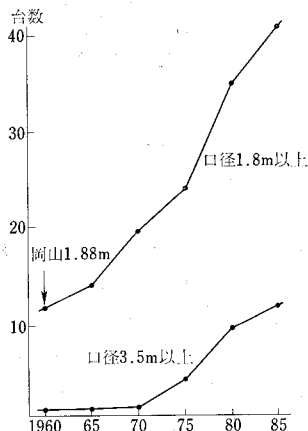


図 1 第三期における大型光学赤外線望遠鏡の建設状況

\* 東京天文台 Keiichi Kodaira

表 1 光学天文観測に大きな影響を及ぼした発見と事象

第一期	1913	恒星のスペクトル光度関係
	1920	干渉計による恒星の直径測定
	1925	白色矮星
	1927	銀河系の回転
	1929	ギャラクシーの速度距離関係
第二期	1931	宇宙電波
	1934	超新星
	1937	天体内の熱核融合反応
	1944	天体の種族
	1951	星間中性水素
	1957	人工衛星
第三期	1962	キューサー、X線星
	1965	3°K宇宙背景放射
	1967	パルサー、中性子星、赤外線星、星間分子
	~1975	欠損質量、ブラックホール
	~1980	超銀河団、超空洞

辺山宇宙電波観測所の 45 メートル・ミリ波帯望遠鏡と、5 基の 10 メートル鏡からなる干渉計が、1981 年から 82 年にかけて完成した。

光学望遠鏡計画の再検討が開始されたのは 1978 年であって、当時の天文学研究連絡委員会・将来計画小委員会(海野和三郎委員長)での検討の様子は、本誌(第 72 巻 8 号他)にも報告されている。1980 年に推進を目的とする全国の関連研究者・技術者有志の集まりとして光学天文連絡会(Group of Optical and Infrared Astronomers in Japan=GOPIRA; 会員数約 200 名)が結成され、経過報告の主体はその会報に移された。そこでの検討は、我が国に育った光学天文分野の土壌の豊かさを反映して多岐に亘り、収束には少なからぬ年月を要したが、1984 年 5 月に至って明確な形を現わしたのが、上記の提案である。

## 2. 計画の目的・観測課題

大型光学赤外線望遠鏡は、木曾のシュミット望遠鏡、野辺山の電波施設、宇宙科学研究所の X 線衛星と並んで、我が国の天文学を科学の最前線に進め、国際的な寄与をするために不可欠な基幹装備として検討されて来た。電波や X 線では、宇宙の中の稀薄なガスの部分を観

測するのに対し、星や銀河のように物質が密に集中した、いわば「宇宙の骨組」を見るためには、どうしても光学・赤外線域での観測が必要であって、両者相補って宇宙の全体像が得られる。

光学赤外線望遠鏡は様々な目的に活用できるが、本計画の主要課題は以下の3点に集約されている。

(1) 銀河宇宙の生成と進化

20世紀の宇宙観が確立されて来たなかで、最後まで残らずに残っていたのが銀河宇宙の生成の問題である。今世紀の宇宙論はアインシュタインの一般相対性理論に始まり、ハッブルの銀河の赤方偏移の法則の発見によって具体的な形を取り始めた。それに続く恒星大気構造論及び恒星内部構造論の発展によって、宇宙における元素合成の歴史の観測的追跡が可能となり、その間に提唱された「火の玉」モデルは、宇宙背景放射の検出によって確立されたかのように思われた。しかし、この様な膨張する宇宙の描像の中で、銀河の生成期だけは依然として謎に包まれたまま残った(本誌第70巻2号参照)。1970年代に優れた観測地に設置された大望遠鏡群が活躍を始めると、ミッシング・マス、超銀河団、超空洞(本誌第77巻4,7号参照)の存在など、更にいくつかの新しい謎が加わり、今世紀の宇宙観は急速に修正を迫られる状況となってきた。

この謎を解くための最も直接的な方法は、規模と性能において現存のものを上まわる望遠鏡を建設して、100乃至150億光年の彼方と想定されている宇宙の涯の辺りを観測し、そこに生まれ進化しつつある銀河や銀河団を調べることに他ならない。

(2) 恒星及び惑星系の誕生

1970年代以来の様々な惑星探査計画は、地球型惑星についての豊富な知識をもたらし、特にボイジャー探査計画は、外惑星についても、60年代には予想もできなかった程の詳しさが情報をもたらして、太陽系の全体像を浮び上らせた。その結果、「もしかしたら……」と思われていた太陽系内の他の生物の存在の可能性はほとんど無くなった一方、太陽系の構造とその生成の歴史についての手掛りは格段に増して、人類は新しい問いを發しつつある。地球は特別な惑星なのだろうか? この問いに答えるためには、恒星及び惑星系の誕生の過程を明らかにしなければならない。

星間雲が収縮して恒星が生まれる過程で、その周辺に形成される回転円盤状の濃密な雲が惑星系の前身になると推定されている(本誌第76巻9号及び第77巻11号参照)。既にそれらしき天体は野辺山の大型宇宙電波望遠鏡や、アメリカの赤外線軌道望遠鏡IRASによっても検出されているが、それらの芯に当たる部分の詳しい観測は、大型の光学赤外線望遠鏡の活躍に待たねばならな

表2 主な観測課題

課 題	観 測 対 象	目 的
(1) 銀河宇宙の生成と進化	遠方の銀河・銀河団、超銀河団、クエーサー、BL Lac天体、原始銀河、銀河間物質、ミッシングマス	現存する物質宇宙の起源と構造を把握し、宇宙観を確立する。
(2) 恒星と惑星系の誕生	原始星、双対流天体、若い星団、星生成領域、近い銀河、他の惑星系、太陽系微小天体	恒星誕生の過程を究明し、生命を生んだ地球と太陽系の位置付けを明らかにする。
(3) 極限宇宙物理	パルサー、ブラック・ホール、X線星、超新星、フレア星、銀河中心、クエーサー、電波銀河、重力レンズ	宇宙の極限的環境下での物質の性質や振舞いを探り、新しい法則性を導く。

い。誕生しつつある星は濃い星間物質の雲に包まれていて、強い星間吸収と星間赤化を蒙っているのが普通である。恒星の誕生は、個々の素過程としては惑星系の誕生と密接に結びついているが、その集合過程は、銀河の進化を左右する大きな要素となっている。

(3) 極限宇宙物理

上記の二つの課題が、人類古来の基本的な問いの現代版であるのに対して、第3の課題は、近年の高エネルギー天体物理学分野の発展と共に拓けてきたものである。地球大気圏の外からのX線衛星による観測などから、宇宙は人類が想っていたよりも活動的でダイナミックな現象に満ちていることが明らかになった。そこでは地上の実験室では実現できないような超高密度の、あるいは超高エネルギーの環境の下に、想像を絶した現象が次々に起っている。太陽や恒星のフレア現象を始め、パルサー、X線連星、超新星、電波銀河、クエーサーなどは、その例である。そのような状況下では物質はどのような物性や振舞を示すのだろうか? それを把握することは、人類にとっての大きな知的挑戦であるばかりでなく、そこに展開される諸々の新しい法則は、既知の法則の枠組を変えていく可能性を秘めているのである。この種の特異天体は、一つ一つを、広い波長域にわたって同時に詳しく観察することも必要であるが、一般的な法則性を導くためには、できるだけ数多くを観測することも重要なのである。しかし極限的な特性を持つ天体や宇宙領域は、特殊なだけに、明るいものが近くに沢山在るという訳には

いかない。我々の銀河系の中でも、太陽系から遠く離れた微光天体である場合が多く、それも恒星の密集している銀河中心付近にあって、強い星間吸収を受けている。

とりわけ大口径の光学赤外線望遠鏡を必要とする由縁である。

いずれの課題も高い解像力と赤外性能、20等級より暗い天体の能率良い観測を要請している。

(具体的な観測課題については、本号の家正則・安藤裕康・野口邦男氏らの記事を参照されたい。)

### 3. 望遠鏡の規模と性能

上のような学問上の目的を踏まえて、光学天文連絡会では、望遠鏡の規模と性能について検討を加えて来た。電波望遠鏡やX線衛星との相補性も考慮に入れなければならないが、最も密接な関連があるのは、1986年にNASAによって打ち上げを予定されている口径2.4メートルの紫外光学用の軌道望遠鏡(通称スペース・テレスコープ=ST; 本誌第71巻1号参照)である。口径こそ大きくはないが大気の揺らぎの無い宇宙空間で働くこの望遠鏡は、口径に対する限界解像力をまともに発揮できるので、最も高性能の強力な光学望遠鏡となることは間違いない。

最大解像力をもつSTの微光天体カメラは、可視域で $0''.02$ の分解能をもつが、写野は $4''3$ 角という狭いものに過ぎない。つまりこのカメラは、予め重要と判っている選別された天体や領域に向けられるのである。この極限的な特性を有効に生かすには、別の方法によって、 $0''.1$ 以下の詳しさを観測が必要な天体を、 $1''$ の位置精度で選び出しておかねばならない。しかも、このSTの微光天体カメラは、必要に応じて能動的に活躍する4つの観測器のうちの1つに過ぎない。

常に探査モードで働いているSTの広写野カメラは、 $0''.2$ の解像力と $4''7$ 角の写野をもっている。この $0''.2$ という解像力は、地上の最適地に設置されている4メートル級の望遠鏡が到達している可視域での $0''.3$ という値に近い。地上の望遠鏡の限界解像力は、その光学系の出来不出来に依存することは勿論であるが、かなりの部分はいわゆるシーイングによって左右されている。シーイングによる像質の劣化は、大気中の乱流による密度の揺らぎが屈折率の揺らぎとなって、光波面を乱すことによって生じる。可視域での $0''.3$ のシーイングは、波長5ミクロンの近赤外域では $0''.2$ 以下の像質を意味する。このような地上の大型装置がもたらす好条件を最大限に利用して、STと相補的な貢献をするには、波長2-5ミクロンにかけての近赤外域での解像力が $0''.2$ を切れるように、5メートル以上の望遠鏡口径が欲しい。しかも、いくつもある焦点のうちの少くとも1つでは、STの広写野カ

メラの写野の100倍の写野(約 $0^\circ5$ 角)をもてるようにしたい。

とりわけ重要なのは、STが苦手とする赤外観測において高い性能を持たせることである。STそのものは赤外域でも使用可能であるが、検出器を冷やすのに冷媒が必要なこともあって、第1回目の観測器リストには赤外専用の装置は入っていないからである。現在ではまだ赤外域での広写野検出器は開発が始まったばかりであるが、近いうちに実用化されるのは確かである。大望遠鏡の寿命は何十年もあるのを忘れてはならない。更に広写野の焦点は、直接像ばかりではなく、最近急速に開発実用化されつつある光ファイバーを利用した多天体分光器との組合せで、分光観測にも威力を発揮する。遠い銀河団や誕生しつつある星団の赤色域分光には欠かせない。

光学天文連絡会や東京天文台の望遠鏡作業会では、以上の様な要請や配慮を基に、5メートルより口径の大きな単一主鏡をもつ、経緯台式の光学赤外線望遠鏡の仕様を検討している。当面の設計目標値を口径7.5メートルに据えて、その主鏡材については、ハニカム方式、エッグクレイト方式、薄メニスカス方式、くり抜き方式などの比較検討を行いつつある。F/2の主焦点に $0^\circ5$ の写野を与えるべく、その補正レンズ系が設計されつつある。カセグレンとナスミス焦点は同一副鏡を利用することを想定し、F/12乃至F/15を考えているが、赤外用にはF/60位の振動副鏡系を用意する予定である。 $0''.1$ に迫る像質を確保するために、光学系設計、駆動追尾系設計には各方面の専門家にも加わって頂いて検討を加えている。

赤外域での性能を上げるには、何といたっても望遠鏡本体からの熱背景放射の混入を最少限に押えなければならない。我が国で専有できる最大の望遠鏡ということで、トップリングの交換、ナスミス鏡の着脱までを取り入れて、望遠鏡の赤外放射率を8パーセント以下に押え込めるように設計している。(詳細な検討状況については本号の山本泰正・西村史朗氏の記事を参照のこと。)

### 4. 設置場所及び運用

望遠鏡性能や学問目標の項からも明らかのように、この大型光学赤外線望遠鏡は天文学の最前線を狙うものであって、世界第一級の観測適地であるハワイのマウナケア山頂に設置することを強く希望する。観測適地とは、(1)快晴夜数の多いこと、(2)空の透明度の高いこと、(3)気象・気温が温暖で安定していること、(4)空気の乱れが少ないこと、(5)夜空が暗いこと(これは赤外域では残存水蒸気量の少ないことに相当する)、などの条件を良く満たす地域である。

優れた地域は世界的に調査がされていて、中低緯度の

貿易風帯にある高山や高地が目ざされている。南米チリ-北部のアンデス高地、北米合衆国南部のアリゾナの高山、ハワイ諸島の高山や、南スペインの高地やカナリー諸島の高山がそれである。チリにはセロトロロに汎米天文台、ヨーロッパ南天文台、カーネギー南天文台など、複数個の4メートル級を含む大規模な天文台が2000メートル台の高地に展開している(本誌75巻3号参照)。アリゾナにはキットピーク米国立天文台(4.0m)や多鏡式望遠鏡天文台(MMT; 4.5m)があり、南スペインのカラアルトには西独マックス・プランク協会の西独スペイン天文台(3.5m)、カナリーには連合王国の北天文台(4.2m)が設置されている。

これらはいずれも2000メートル台の高山であるが、ハワイのマウナケア観測所は海拔4200メートルと群を抜いて、「宇宙を見るための極地」といえる程の好条件を備えている。大洋の真っ只中にあるために気圧配置は安定しており、乾いた貿易風環流の上層に首を出したマウナケア山頂では、年間快晴夜数270日以上、しかも測光夜がその半分以上を占める。

しばしば天文条件のよい場所は遠隔の地であって運用

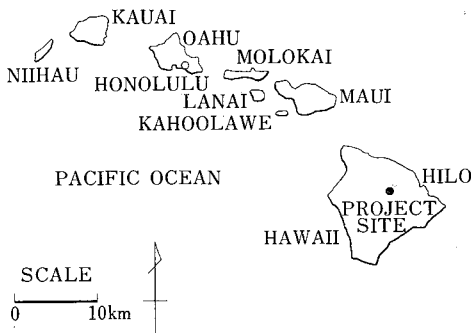
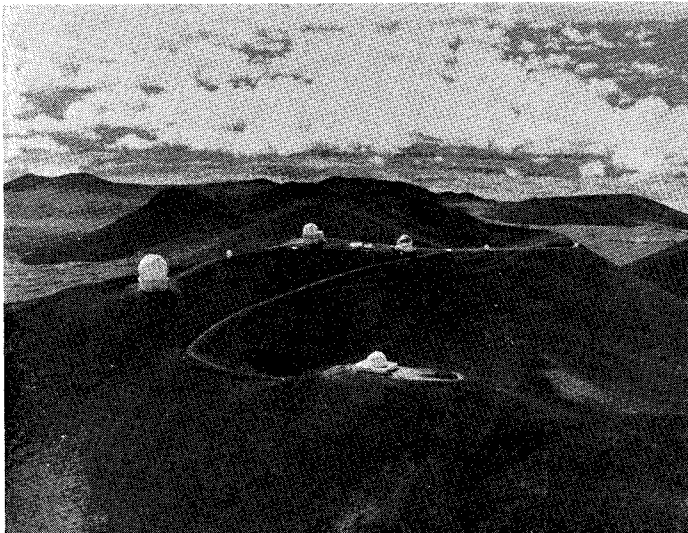


図3 マウナケア観測所位置



◀ 図4 マウナケア観測所全景(1980年頃)。現在は右手の凹地で2台の電波望遠鏡の工事が行われている。

には不便なことが多いが、ハワイは政情の安定した先進国内にあって、交通の便や技術支援の面から見ても申し分ない。現在すでにハワイ大学の3つの望遠鏡を初め、カナダ・フランス・ハワイ共同の3.6m、連合王国の3.9m、NASAの3.0mなどの光学及び赤外の望遠鏡が設置されているが、2つのミリ波帯望遠鏡が建設中で、さらにはカリフォルニア大学連合の10メートル分割式望遠鏡や15メートルアメリカ国設新技術望遠鏡(複合式の可能性大)の建設も見込まれている。これら計画中の外国の新技術望遠鏡が大型化による集光力増強に力点を置き、解像性や写野の広さ、赤外性能を犠牲にし勝ちなものに対して、日本の計画では、我が国の密度の高い技術を生かすことによって、これらと相補って国際協力を進めていく方針である。

ハワイ設置に関する非公式の交渉はすでに1980年から始められ、ハワイ側は受け入れに非常に積極的かつ好意的であって、すでにJNLT(=Japanese National Large Telescope)として、建設予定表にも組み込まれている。1984年10月に京都で開催された国際天文学連合のアジア太平洋地域会議には、ハワイ大学天文研究所のホール所長が出席されて、JNLT招致の意向を表明された。マウナケア山頂のどの地点にどの位の高さのドームを建てるかなどの具体的な点は、これからの調査を待って決められる。

我々が希望しているように順調に計画が進んで1990年代の前半に完成に漕ぎつけられれば、単一主鏡様式の世界最大の望遠鏡として活躍する時期が来る可能性が強い。現在ではソ連ゼレンチュクスカヤの6メートル(1974年完成)、パロマー山の5メートル(1948年完成)が両横綱であるが、前者は新技術大型望遠鏡の先駆であるにもかかわらず設置場所が今一つ優れないこともあって、本

領を發揮し得ないで見える。後者は今となってはやや古典的であって、最新鏡の3~4メートル級とよい勝負となっている。

本計画の大型光学赤外線望遠鏡は、外国に設置される我が国初の大型国設設備であって、その規模や目的から見ても明らかなように、全国の研究者の共同利用に供される。当然のことながら恒常的な機器開発や新しい分野での層の厚い理論研究を可能とするための配慮も要る。完成後の運用に当っては、それらに最も適した形態が模索されねばならず、今から慎重に準備検討を進める必要がある。できることならば、他の国際級の望遠鏡と同じように、世界の天文学研究者にも一部の観測時間を供与することが望ましい。特にアジア・太平洋地域の研究者には、その需要も高い。また我が国の他の観測装置との有効な連携観測や技術管理のために、マウナケア山頂と麓の現地基地を光ファイバー通信で結ぶばかりでなく、日本とハワイの間にもテレメータ・リンクを設ける。これは望遠鏡の利用効率を上げるのが狙いであって、現地要員を減らすことが目的ではない。軌道望遠鏡に較べて地上の大型望遠鏡のもつ利点は、人間が近くに居て複雑な高性能の装置を管理運用できる点にあるので、どちらかと言えば、それを生かす方向で考えなくてはいけな

い。

蛇足ではあるが、本望遠鏡のハワイ設置が、東経135°周辺の日本列島における天文観測の重要性を、いささかも変えるものではないことを付け加えておく。ハレー彗星の接近や新星の出現など、刻々と追跡しなくてはならない多くの天文現象にとっては、欧米が昼のときに夜となる極東地域の観測は不可欠なのである。

## 5. おわりに

本計画は、その基本構想を日本の天文学界全体に認めていただき、その実現に向けて技術上・事務上の具体的な詰めに入りかかった段階にあって、これから関係官庁を初め諸方面の理解と協力を求めているかねばならない。国際的には各国の天文学者から強い後押しがあるものの巨額の経費を要する大型プロジェクトであるだけに、隣接分野のみならず、広い範囲の国民的な理解と支持が必要である。直接の当事者である光学天文分野の研究者・技術者に加えて、関連する研究機関や産業界の技術陣の協力も不可欠である。できるだけ多くの方々、この計画が我が国の将来に開く長期的な展望の重要さと学問的な稔りの豊かさを理解されてご支援下さることを祈りつつ筆を置く(1984年10月)。

天体観測雑誌

# 天文ガイド

2月号 定価420円<sup>80</sup> 好評発売中!

天体写真の画像処理の問題を解説

第2回下保賞のもう一つの受賞作品

チタン同好会の滋賀県下の星の地名の研究

ニューカレドニアの皆既日食報告

ハレー彗星搜索班の活動ぶり

テレスコープエンジニアリング

カスタム

観測ガイド

切りぬく本

## 万能星座早見 '85'86年版

●企画・構成 藤井旭 定価690円

## 天文年鑑1985

●天文年鑑編集委員会編 定価500円

## 天体観測野帖 '84夏~'86夏

●企画・構成 藤井旭 定価690円

## 全天恒星図2000

●廣瀬秀雄 中野繁共著 定価2500円

誠文堂新光社

〒101 東京都千代田区神田錦町1-5  
電話03(292)1221 振替東京7-6294