

## スペース・テレスコープ (ST) について

小平 桂 一\*

## 1. 大気海の底で

星の世界が好きなら誰しも経験があると思うが、初めて望遠鏡で月面を眺めた後に高倍率で惑星面を見ると、全く戸惑ってしまう。何やら揺めくぼんやりとした像に、惑星の専門家は一体どうやってスケッチをするのだろう、とさえ思う。この天文観測の第一歩で経験する戸惑いは、専門的な観測に深入りすればする程大きくなり、シーイングやイメージ、シンチレーション、大気吸収または大気放射(夜光)などの問題となって現れる。

いわゆる星像の揺らぎやぼけは、地球大気の乱れによって生じる。夏の暑い日に観察される陽炎のように、密度が局所的に変化する大気を通過する光波面は乱され、その粗密のパターンが時間的に大きく変ると、像の見える方向さえも揺れ動くことになる。

また大気は光を散乱する。低くなってしまったアンダレスなどが、滲むように淡く光っているのを見た人も多いだろう。夕陽が赤く見え空が青く見えることから判るように、微粒子を含んだ大気は、青紫側の光の成分を強く散乱する。大気中のオゾンや水蒸気、酸素、炭酸ガスなどの分子は紫外線や赤外線を吸収してしまう一方、大気中の原子やイオン基は輝線を放射して夜光を形成する。この大気による吸収や放射の問題は、光学域だけでなく、第二の窓といわれる電波域でも短波長域では重要なものであり、紫外線、X線、赤外線など、宇宙放射の大部分は、吸収に妨げられて地表に到達し得ないのである。

地球大気による像の悪化や照度の低下は、暗い天体を観測しようとする、大きな障碍となる。例えば暗いコンパクト・ギャラクシーの直接写真を撮ろうとすると、その大きさは角度で秒の程度であり、普通の2~4"程度にイメージの拡がるシーイングでは、その内部の様子が全く判らなくなってしまう。しかも、イメージが2倍に拡がれば、面輝度は1/4に低下し、1.5等級も暗いギャラクシーを撮るのと同じことになる。市街からの散乱光や夜光、周囲の星野等のいわゆるバックグラウンド・ノイズに近い輝度の天体の場合には、1.5等級の低下によって直接写真には写らなくなってしまう。目的の天体が球状星団の内側や近いギャラクシーの場合には、どこまで個々の星に分解できるかが大切であって、イメージの

良いことが要である。これは直接写真に限らず、分光観測や測光観測にも共通して言えることで、惑星面や太陽面上の特定の紋様を観察する際に生じる問題とも、原理的に同じものである。また位置天文学では、ある時刻における星の位置の精密測定が必要であって、大気の影響に対する補正が詳しく吟味されているのは周知のところである。

したがって、「地球に大気さえ無かったら!」、と思った天文観測者も少なくなかったであろう。第二次世界大戦で高層を飛ぶ航空機やロケットが開発され始めると、地球大気の外に望遠鏡を運び出すという夢が描かれた。

## 2. スペース・テレスコープ (ST) 計画

現在では人工衛星を利用した軌道天文台が活動していて、X線用のウフルや紫外域用のコペルニクス等の成果は、高く評価されている。またスカイラブやOSOシリーズの太陽観測衛星の成果も、太陽物理学を大きく変容させてしまった。こうした軌道天文台のほとんどは、当然のことながら、大気海の底の地表までは届かない宇宙放射を観測している。地表では観測できない宇宙放射を捉えるということ自身に、すでに大きな意義があるので、当初の装置は専ら放射を集めて検出することに重きが置かれた。次いで角分解能と姿勢制御能力が向上し、望遠鏡と呼ぶにふさわしいものとなったが、それをさらに一歩進めて、地球大気に制約されずに、非常に高い角分解能で宇宙の姿を見よう、とするのが、NASAによって計画されているスペース・テレスコープである。望遠鏡の角分解能は集光鏡の干渉模様を中心ピークの幅で決まり、理想的な鏡面の場合には、波長に比例し口径に反比例する。したがって、できるだけ大口徑のもので短波長の放射を観測すればよいが、実際は、X線域では光学的結像が困難であって、とても理想的な大型鏡面を作成することができない。そこで目下計画中のものは口径が2.4mで、1000Å程度の短波長の真空紫外線に対しても理想鏡面に近くなるように設計されている。これで期待される角分解能は最高0%005であるが、可視光だけしか放っていない天体では約0%02となる。同じ口径の望遠鏡を地上に置いたのでは、紫外線を利用できないばかりか、大気の乱れのために、その角分解能はせいぜい0%5止まりとなってしまう。スペース・テレスコープの概観は表紙写真とアルバム頁に見られるように、フリー・フライヤーとして設計されている。すなわち、ス

\* 東大理 K. Kodaira: On the Space Telescope

ペイス・シャトルに搭載して約 500 km の軌道にまで運び、そこに置いてくるのである。予定の軌道は傾斜角  $28.8^\circ$  の円である。このフリー・フライヤーは前部の望遠鏡部分 (OT)、と中間の観測器部分 (SI)、それに後部の補助機器系部分 (SSM) から成り立っていて、外側には巨大なソーラーパネルが付いている。総重量は約 6.9 トン、外径約 3 m に全長が約 13 m、消費電力は約 1.5 kW という超大型のもので、建造費は全てを含めると一兆円のオーダーに近くなると言われている。NASA の計画では、これを 1983 年の後半に打ち上げ、約 15 年間の活動を考えている。その間には軌道上で保守や調整を行う他に、時にはスペース・シャトルを使って一時回収し、地上に持ち帰って大規模な改修を行うことも予定している。アルバム頁の図はそのようなサイクルを示すものである。このスペース・テレスコープが 15 年間にわたって活躍するならば、天文学の最前線がまた一歩進められることは確実である。

すでに何年もかかって、準備研究がなされてきたが、本年 3 月に本格的な設計・建造参加公募 (AO) が出された。公募の対象となったのは (1) 研究課題設定チーム (IDT; 研究課題を設定し、それに合った装置を製作する)、(2) 個人研究者 (チームではないが、どれかの IDT に協力する)、(3) 天文台員 (a. 望遠鏡担当、b. 研究統括担当、c. データ・運営担当など) 等であって、本年夏に募集を締切って審査し、年末頃までにはメンバーが決定する。このメンバーが約 1 年がかりで設計を行い、1983 年末には打上げに漕ぎつけようというのである。打上げ後のチェック・アップが済んでからの最初の 2 ケ月間は、完全にこの設計・建造に参加した人々の自由な観測に委ねられ、次の 6 ケ月間は半分だけが、また次の 1 年間は  $3/4$  が、そして次の 10 ケ月は 9 割までが部外者に公開されることになる。この軌道天文台の客員観測者は、キットピーク天文台の場合のように、原則的には世界中に公開であるが、観測プログラムの決定には、当初の各担当代表者が委員として加わる。ST 計画の建造・打上げ等のミッション・オペレーションは、マーシャル・スペース・フライト・センター (MSFC) が中心となって当るが、観測器材の設計・開発や打上げ後の ST の運営には、ゴダード・スペース・フライト・センター (GSFC) が当る。現段階では、C. R. オデル博士 (ST 計画担当、MSFC) や N. G. ローマン博士 (ST プログラム担当、NASA-HQ) がイニシヤチブをとっている。打上げ後も ST そのものの管理は NASA が行うが、科学研究を中心とする天文台は、一応独立な組織として構成される予定である。本年の公募に対し、日本からは早川 (名大)・古在 (東京天文台) 両氏が提案書を出した。

### 3. ST の機能

ST の 2.4 m の光学望遠鏡はリチ・クレチアン式で  $F/24$ 、実効焦点距離が 57.6 m、焦点位置は主鏡面の 1.5 m 後方にある。したがって焦点面上のスケールは 1 mm が約  $3''6$  に相当し、 $28'$  の有効視野は 46.7 cm の円となる。このうち観測に使われるのは内側の  $18'$ 、つまり 30 cm の円の部分で、外側はトラッキングに使われる。望遠鏡は地上指令を受けると、粗制御によって  $1'$  の精度で目的の方向に向くが、3 基のスター・センサーによるトラッキング機構を働かせると、 $0''002$  という高い精度で追尾を行う。トラッカーは波面の 4 方向分割によるもので、ポインティングはフリー・フライヤー全体を動かすボディー・ポインティングである。スペース・テレスコープが無人式となっている理由の一つに、生きた人間が乗ったのでは、これ程高精度のボディー・ポインティングが不可能なことが挙げられている。高分解能と高精度ポインティングに釣り合せて、望遠鏡本体に伸縮や歪みの生じないことが必要条件であるが、カーボン・エポキシのトラスを使うと、構造全体の熱膨脹率を  $10^{-7}/^\circ\text{K}$  程度に押えられる。鏡材自身にはコーニング社が開発した極低膨脹ガラス No. 7971 U. L. E. TM が用いられるが、これは普通の硅酸塩系のガラス素材に酸化チタン系の素材を混ぜたもので、常温での膨脹率は  $0.00 \pm 0.03 \times 10^{-6}/^\circ\text{K}$  とされている。

この高性能望遠鏡の焦点部には、観測器部分のユニットが結合されるが、径 30 cm の観測用焦点面は図 2 のように 5 分割されて、5 種の観測器へ導かれる。したがってある特定の観測器に目的の天体が入っている時に

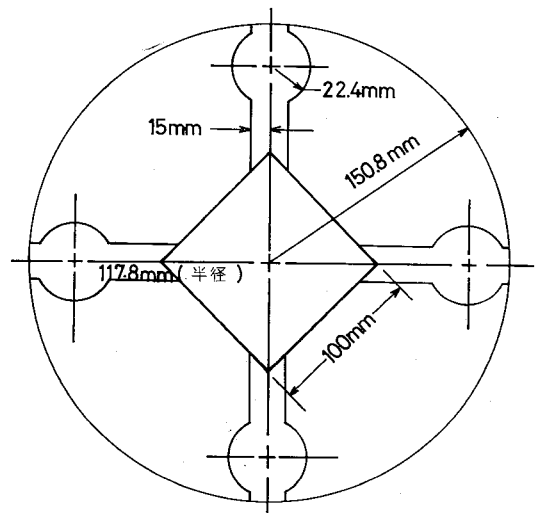


図 2 ST 焦点面の分割 (+: 5 種の観測器中心, トラッカーはこの円の外側の視野を使う.)

は、他の4つの観測器に入る星野は受動的に定められてしまう。周囲の4視野を利用する観測器は、そのまま望遠鏡軸に沿って後方に配置されるが、中央の視野を利用するものは、主鏡の後面にはりつくように配置される予定である。現在候補に挙げられている観測器には次のようなものがある。

**広視野カメラ (WFC):** F/24 で約 3' の視野を 0°09' の分解能で覆い、感度域は  $\lambda$ 1200-8000 Å, パスバンド 1000 Å 程度で  $m_V \approx 26$  の星に対して 30 分間の露光で  $S/N \geq 5$  となる。図 3 のような構造で、検出器には SEC オルシコンが使われている。0°09' という、スペース・テレスコープとしては惜しい分解能は検出器の 1 ピクセルの大きさで決められているが、3' の視野を覆う

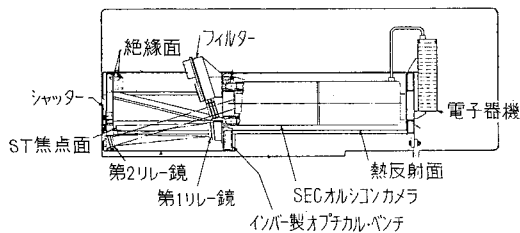


図 3 ST の広視野カメラ (全体が温度コントロールされている)

のに百万のオーダーの画素が必要なことを見ても、広視野の場合には止むを得ない。このカメラは他の観測装置が中心となって働いている間にも、画像を送り続ける予定である。星団やギャラクシーなどの広がった天体を、個々の星に分解し、セファイドの検出や、暗い主系列の決定、白色矮星の同定に偉力を発揮する。このようにしておとめ座星雲団の距離を決定し、遠くの暗い星雲団の発見にも役立つであろう。また紫外観測によって、淡いガス星雲の様子が明らかになるであろう。矮小ギャラクシーや遠くのケーサーが続々発見される。

**微光天体分光器 (FOS):**  $\lambda/\Delta\lambda \approx 10^3$  程度で  $\lambda$ 1200-6000 Å を覆う。スリットに沿った恒星像は 0.2 以下 ( $\lambda \sim 6330$  Å) で、3 時間の露光で単位画素に対し 100 カウントを限度とすれば、 $m_V \approx 22$  までの観測が可能。全体のダイナミック・レンジは  $m_V \approx 12-23$  となっている。真空紫外域にまでわたってケーサーのスペクトルが撮れる。0.1 もの角分解能でギャラクシー内の金属度分布を決定でき、惑星状星雲の HeIII 領域の物理状態が知れ、惑星面上の局所分光が可能になる。X線連星を始めとして球状星団内の水平枝星、フレア星など、普段は苦勞に苦勞を重ねている暗い星のスペクトルが得られる。しかもデジタル的に得られれば、たし合せができるだけでなく、様々な種類の時間変化を調べられる。

**微光天体カメラ (FOC):** ST の最重要観測器で、その

開発は ESA (欧州宇宙機構) に委託されている。ST に可能な角分解能を完全に生かすために、F/96 という暗いシステムにして、 $25 \mu\text{m}$  の画素が 0°022' に当るように考えられている。しかも 10 時間露光で  $S/N \geq 4$  の条件のもとに  $m_V = 28$  の星にまで迫ろうとするため、良質の画素を大量に組むことが難しく、 $200 \times 200$  ピクセルでほぼ 4'4' (!) の視野を覆う。感度域は  $\lambda$ 1200-8000 Å。赤外域で検出器の感度が無いため、惑星観測にはあまり向かないが、密集した恒星を個々に分解し、近接連星を分離し、活動銀河 (ケーサー, BL Lac, セイファート) の中心域を解像し、宇宙の涯の微光天体を検出する。

**赤外測光器 (IRP):** ST の光学系自体は、 $1200 \text{ Å}$  の紫外から  $1 \text{ mm}$  のサブミリ波に対して使用できるように設計されていて、地上からでは強い大気吸収を蒙る赤外域の観測にも向いている。分解能の点でも、 $10 \mu$  で  $1''$  程度はある。望遠鏡本体は冷却されていないが、視野を低温のクライオスタット ( $2.2^\circ\text{K}$ ) 内で限ることによって、十分に役立つ。ただし液体ヘリウムを補給しなければならないので、赤外測光器の単位観測期間は、1 年程度となる (宇宙空間は寒い!)。感度は、現在の航空機赤外天文台の 36 インチ級に較べて、約  $10^3$  倍も高い。感度域は  $2 \mu$  から  $1 \text{ mm}$  で、フィルター・セットによって  $\lambda/\Delta\lambda$  は  $2 \sim 10$  とする。 $100 \mu$  での限界は、1 秒積分で  $S/N \sim 3$  とすれば、約  $6 \times 10^{-16} \text{ W/m}^2$  程度とし、全波長域でバック・グラウンド・ノイズまで検出する。視野は角分解能の極限まで絞れる。ダイナミック・レンジは、1 回につき  $\sim 10^3$ 、全体として  $10^5$  を達成する。赤外天体の場合には、測光器自身でポインティングを最終的に決めるので、トラッカーとの間にラスター・スキャン・モードがあり、最強点で食いつかせることもできる。銀河中心や HII 領域の赤外線源のマッピング、ポイント・ソースの精密な位置決定 (そこを FOC で見る!), 赤外線星の構造の究明、系外赤外線源の探査、惑星面測光などが中心テーマとなる。

**トラッカー利用のアstroméaker (GSA)** は、 $\pm 0.002$  の精度のトラッキングを生かして、暗い天体 ( $m_V \geq 13$ ) の精密位置測定を行う。トラッキングには焦点面上の 2 点で充分で、第 3 のセンサーをアstroméater とする (図 4)。したがって各センサーの視野は 20 平方分は欲しく、この範囲にわたって良い星像が保証されなくてはならない。波長域は少くとも  $4000-6000 \text{ Å}$  で、いくつかのフィルターを備えていることが望ましい。位置決定精度が 1 桁以上改善されるので、15 年間の固有運動やパララックス観測は、地上での 150~200 年間 (1680 年から 1880 年相当!) の成果に相当する。ヒヤデスを始めとする重要な距離指標の精密決定や星団のメンバーシ

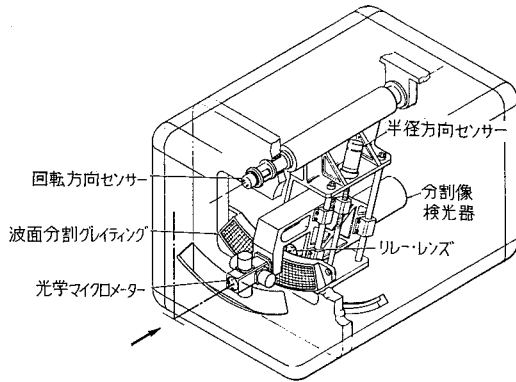


図4 スター・トラッカー (波面分割グレーティングは透過式; 前面は回転方向に、後面は半径方向に溝が切っており、光路コンペンセーターと一組になっている。)

ップ決定、外惑星の衛星の運動の究明に活躍する。精密位置測定連星を調べて、惑星系やブラック・ホールなどを伴う恒星を探す。

**その他:**他に候補に挙げられたものには、高分散分光器 ( $\lambda$  1150-3100 Å,  $\lambda/\Delta\lambda \approx 3 \times 10^4$ , 25分積分で  $S/N \sim 20$  に対する限界等級は BOV の星で  $m_V \sim 15$ ) や、惑星面カメラ ( $\lambda$  2000 Å  $\sim 10 \mu$ , F/48, F/96, 視野  $9'' \times 9''$ , 測光精度  $\sim 1\%$ ), 高速測光器 (時間分解能 1 msec  $\sim 1$  sec; 二次元測光器とする可能性あり) などがあるが、トラッカーの他に装着できる観測器は5台なので、選定しなければならない。

#### 4. 地球という宇宙空間飛翔体

以上に述べたように、ST は非常に優秀な性能を備えているが、決して万能ではない。高角分解能の宇宙空間望遠鏡であるために、観測者が直接に乗ることは許されないし、画素数の制約からカメラの視野は広くとれな

い。また赤外測光器のヘリウム補給も簡単ではない。また厳しい宇宙空間環境に対処するために、多くの特殊な工夫が必要であり、それは15年間を一応のめどとする短寿命を通して、コスト高へとはね返ってくる。したがって ST という精鋭特殊装置と相補い、それを支援する装置が無くては、ST も生きない。スペース・シャトルのパレットに、1m級の赤外測光望遠鏡や紫外シュミット・カメラを搭載する計画はその一部である。昨年7月に科学技術庁の宇宙開発委員会がまとめた「わが国の宇宙開発に関する長期ビジョン」では、今世紀の終り頃には宇宙ステーションが実用化し、宇宙望遠鏡群が乱れ(!) 飛ぶことが期待されている。ここ何世紀かの科学技術の進歩ぶりを思うと、それも単なる夢ではない。しかしながら、地球という宇宙空間飛翔体も、なかなか優秀な観測ステーションである。何よりも力学的に安定していて、位置・時間の絶対測定に有利であり、電波域での開口超合成や VLBI を可能にしている。観測者が宇宙服を着たり面倒な制約なしに装置を作動させられるために、各時代の超精密な大型装置は、依然として地球上で構築される。「宇宙時代」だからと言って、スペース一辺倒では、大変な片手落ちになる。しかしながら、少くとも現在では、日本の天文学はもう少しスペースに目を向けるべきではないだろうか。予算の限界があるので問題は多いが、地上観測や理論研究の成果を踏まえて、国際共同利用の宇宙空間観測計画にも、もっと積極的に参加できないものであろうか。また、地上観測技術の開発においても、宇宙空間観測との関連で考えられることが望ましい。「地上」と「スペース」の問題は、皆で熟考すべき時点にさしかかっていると思うが、どうであらうか。

## スペース・テレスコープで何ができるか

安藤 裕 康

ST の運用、機能などについて述べられたが、ここでは ST で何が出来るかを考えてみたい。それには地上観測にない ST の特徴をあげてみれば大体想像がつくであろう。(1) 地球大気の乱れ、即ちシンチレーションの除去のため  $1''$  に制限されていた角分解能が望遠鏡の理論的分解能まで可能になる。(2) 大気減光、大気光、夜光、街灯、などから自由になり限界等級が上がる。(3) いわゆる地上観測で不可能であった紫外域 ( $\sim 1000 \text{ \AA}$ ), 赤外域 ( $2 \mu \sim 1 \text{ mm}$ ) の観測が高角分解能で可能となった。(4) シンチレーションのため地上で不可能であった高精度時間分解能の観測が可能になる。このように従来の地上観測とは比較にならないほど優れた観測であることは

言うまでもなく、従来のロケット、バルーン、人工衛星などによる観測と比較しても高角分解能、超精密なポインティングなど進んだ面が見受けられる。

ST でなされなければならないのは (1) 新しい知識を増やすに止まらず、天文学を変えるものであること、(2) 地上から容易に出来るものでないこと、といった点が考えられる。(1) については実際 ST を軌道に乗せてみないと予測できないことである。どんな偉い人が考えても予想不可能なことは1960年代の天文学の発見時代(パルサー、QSO、X線星、赤外線星、星間分子など)を考えてみれば明白であり、唯一我々が出来るのはとにかく好奇心を持って宇宙を“見る”冒険をすることである