

我が国の宇宙開発に関する長期ビジョン

第2部 各論

昭和52年7月

宇宙開発委員会長期ビジョン特別部会

目 次

第2部 我が国の宇宙開発に関する長期ビジョン

第1款 宇宙飛翔体の地上活動への活用	1
第1章 天文学及び太陽物理学分野の展望	1
第2章 地球及びその外圏環境の科学観測と実験の展望	17
第3章 地球観測分野の展望	29
第4章 情報通信分野の展望	47
第5章 航法関係分野の展望	73
第2款 地球軌道における宇宙環境の使用	83
第6章 理工学実験分野の展望	83
第7章 材料実験及び製造加工の分野の展望	97
第8章 有人飛行及びライフサイエンス関係分野の展望	113
第3款 月及び惑星への挑戦	133
第9章 月及び惑星探査の展望	133
第4款 宇宙開発活動の共通手段の展望	147
第10章 ロケットの長期展望	147
第11章 宇宙船及び宇宙ステーションの長期展望	189

第1款 宇宙飛しょう体の地上活動への活用

第1章 天文学及び太陽物理学分野の展望

A 天文学

1. 意 義

人類は原始時代以来、絶えず宇宙に夢を描き続けてきた。宇宙とは何か、星はいかにして生まれたか、そして人類はどうして生存してきたかを絶えず問い続けてきた。この問題は科学技術が進歩するにつれてますます広く、かつ深まってきた。天文学は人類の知的探究心を背景として最も古くから発達した自然科学であり、それがもたらした知見と技術はしばしば文明の命運すら左右してきたのである。

現代の宇宙観の土台は今世紀初頭以来の天体物理学の長足の進歩によって築かれたが、過去四半世紀におけるクエーサー、パルサー、 3°K 輻射、赤外線星、X線星、星間分子、ブラックホール等の相次ぐ発見によって、我々の宇宙についての認識は急速にその度合を深めつつある。ところで、その認識の方途は大気圏外観測の実現と共に新しい次元を加えた。即ち、大気は大部分の宇宙放射線を遮蔽し、僅かに可視光と赤外線・電波の一部を透すのみである。これまで大気海の底にあってその揺ぎ、吸収、放射などの障害と戦って宇宙を探ってきた人類が、大気海の上に出て宇宙の全貌を見渡せるようになったのである。こうして人類が宇宙を見る波長帯は電波から γ 線にわたって一挙に拡がり、大気に制約されていた従来の天文のイメージを一変しつつある。これらの新しい眼で観測する宇宙は、それ自体地球上で実現され得るいかなる状態をも超えた超高温、超高密度あるいは超高真空の世界であり、激変のドラマに満ちている。

この意義ゆえに大気圏外からの宇宙観測は、宇宙線、X線、 γ 線で代表されるように、宇宙時代の幕開け以来常に宇宙開発の先駆者的役割を果たしてきた。今後、特にX線・極端紫外・遠赤外の領域の天文学は測定技術の進歩につれて、飛躍的に発展することが期待される。また大気のゆらぎにわずらわされない軌道望遠鏡では遙かに遠く暗い宇宙のはてを見ることも可能であり、将来天文学のフロンティアは次第に軌道天文台からの観測へと移って行くであろう。

広大な宇宙に生起する現象の研究は、高温・高密度・高エネルギーの物理学、稀薄電磁流体の物理学、孤立重力系の物理学、一般相対論物理学、分子・塵形成の物理化学等の重要な新しい学問分野をも導出しつつある。将来ますます重要性をますこれら学際領域においては、近い将来必然的に観測は大型化、精密化して行くであろう。

今や宇宙時代の新しい宇宙観が築かれつつあり、技術先進国の内でも独特な文化的発展を遂げてきた我が国は、相補的役割を果たす地上観測とともに、大気圏外よりの宇宙観測を積極的に推進しなければならない。

2. 内外の動向

(1) 日本の動向

我が国においては1963年以来、気球、ロケットにより、X線天文学の分野で先端的な研究が行われてきた。特にすだれコリメーター、極軟X線検出器等の観測技術にも先鞭をつけ、米国のOSO、SAS、HEAO-A、英国のAriel-5等の衛星の設計に大きな影響を与え、また共同の観測も進めてきている。

我が国のX線天文衛星としてはCORSA-b、ASTRO-A、ASTRO-B等の設計、製作が進められているが、これらはいずれも米国のX線天文学者と密接な連絡を保ちつつ進められている計画である。

また赤外線天文観測も気球、ロケット等を使用して急速に進展しつつあり、宇宙線の γ 線観測、気球観測については、特に我が国で創始された観測技術によって実績が積み重ねられている。

(2) 外国の動向

米 国：OAOシリーズ、OSOシリーズ、SASシリーズの打上げに加えて、マリナーシリーズの一部も利用され、またジュミニシリーズやスカイラブなどの有人観測も行われてきた。1977年から78年にかけてHEAO-A、HEAO-Bの大型X及び γ 線天文衛星が上がり、またスペース・シャトルを利用しての大型X線望遠鏡、赤外線望遠鏡、紫外線望遠鏡を上げる計画も続く。フリーフライヤーとしてスペース・シャトルで上げられる大型光学望遠鏡(ST; 1983年)は10年以上の寿命を予定している。

ソ 連：インターコスモスシリーズを利用して観測が行われてきており、また、ソユーズシリーズを利用しての有人観測も行ってきた。更にプロトンなどの高エネルギー粒子測定衛星もある。なお、将来計画は不明である。

ヨーロッパ：衛星を作って米国から打ち上げてもらう方式をとっており、ESROのTD-1A、COS-B等がある。これまでも積極的だったオランダは強力な宇宙科学体制を持っていて、ANSによる観測に成功し現在赤外天文衛星IRASを計画中である。また英国にはURシリーズがある。

この他、NASA・ESA・英国共同のものにIUEがある。スペース・ラブの開発を引き受けたESAはNASAとの連携を強め、STにおいても一部の測定器の開発を担当する予定である。この

他には、X線観測のためのEXOSAT(1976年)、更にEUVでの観測衛星等が計画されている。

諸外国においては全般的に大型化、国際共同化が進みつつあり、将来はスペースステーションに天文台が設置される可能性が極めて高い。

3. 実施課題

重要性が次第に増してくると考えられる課題の主なものは次のとおりである。

(1) 銀河系の生成・進化及び終末

恒星は星間物質から生まれ、起新星の爆発を経て再び星間物質に帰って行くが、その恒星と星間物質の輪廻の場となっている銀河系全体の物理を明らかにし、進化の道筋を研究する。ハッブル系列として知られている銀河系のさまざまな形状・構造を統一的に説明し、その原因を宇宙論的な初期条件にまで結びつけ、我々の銀河系の置かれている進化段階を究明する。

宇宙線、 γ 線、X線(電波)などによる高エネルギー源の観測によって、銀河系の大局的な活動の様子を探り、赤外、紫外、X線(電波)の観測によって星間物質の物理・化学特性を明らかにして銀河系の進化における働きを明らかにする。大気圏外光学観測は恒星と星間物質の相互作用の様子を浮き彫りにし、遠い銀河系や我々の銀河の周縁部についても、化学組成や運動学的特性、銀河年齢の決定を可能にする。

(2) 中性子星、ブラック・ホール、準星等の特異天体の物理

人工実験では、実現不可能な極限的な物理状況が存在していると考えられるこれらの特異天体を観察・研究することによって、新しい物理学の分野を開拓する。中性子星は超高密度物性論と超強磁場の電磁プラズマ論において、またブラック・ホールは一般相対論の特異点論において独特な実験場となっている。

準星については当てはめるべき物理概念の模索から始めなくてはならない。

起こっている物理過程を見究めるために、できる限り広いエネルギー帯域にわたっての観測を同時に行う。また特異天体の状態を統計的に究明するために、全天にわたる掃天探査が重要となるが、新しい宇宙観測技術の開発に伴って、新種の特異天体が発見されることも期待される。広範囲の時間尺度を持つさまざまな変化・活動の詳しい観測は、物理過程の決定に不可欠である。

(3) 宇宙線の起源

宇宙線は太陽系外から我々が直接入手できる唯一の宇宙物質のサンプルである。

$10^{10} \sim 10^{20}$ eVにも達する超高エネルギーをもつ宇宙線の起源については多くの理論が提出されているが、まだ明確な実証は得られていない。地球上の粒子加速器によって得られるエネルギーに比べればその規模の大きさは驚くほかない。特に 10^{18} eV以上の宇宙線は我々の銀河系に閉じこめておくことさえできない。宇宙線の方向分布とエネルギースペクトル及び組成、特に同位体比を良い精度で求めることによって、超新星、パルサー、銀河中心核などの局所的な活動と結びつく可能性を追及する。宇宙線粒子そのものの観測と並んで、宇宙線源における加速現象に付随する放射を捉えるためにX線・ γ 線域、電波・光学域の観測も必要である。

(4) 銀河集団の物理

銀河集団は既知の物質集合形態のうち最大のものであって、その起源、進化の究明は、「物」についての基本的な考え方を左右する。この巨大な物質集合の構造と力学は宇宙の歴史と直接的に関連していて、単に小集団の力学の類推では説明のつかない領域である。銀河系集団の重力安定性から古典力学的に求められた総質量と、観測される構成銀河系の質量の総和との間に生じている大きな

差異(いわゆる missing mass)(前者が約 100 倍)は重大な謎だが、銀河系間物質や銀河集団の大局的な活動性の問題をも含んで解明されなければならない。大集光鏡による高エネルギー帯の観測とともに高解像力を持つ長波長帯(紫外～電波)の観測が有効である。

(5) 宇宙物質の生成と進化

我々の宇宙を形成している元素の種類とその起源と進化を明らかにする。太陽系より遠方の空間尺度における様子は、近くの恒星や電離水素雲の領域に限って詳しく調べられてきたが、一次宇宙線による直接の探査、X線分光による超高温星間プラズマの化学解析、電波・赤外域分光による星間物質の組成決定等、宇宙空間からの観測は新しい窓を開きつつある。また高解像力・低雑音の大気圏外光学観測は非常に遠方の、従って宇宙の歴史を過去にさかのぼった天体の元素組成決定を高い精度で行うことを可能にする。宇宙を満たしている粒子や放射を直接的に測定することによって、宇宙の初期からの残存成分を検出し、それと現在の状況とを物理的につないで、宇宙物質形成の歴史を明らかにする。これは素粒子論、宇宙論とも深く関連する課題である。

(6) 宇宙論モデルの検証

宇宙は或る巨大な爆発(big bang)によって始まったとする説が定着しつつあるが、現在提唱されている宇宙論モデルのうち、どれが我々の宇宙と合致するものであるかを決めなければならない。モデルの特性の1つである開・閉の問題、即ち宇宙は永遠に膨張を続けるのか、あるいは、やがて収縮に転ずるかは、宇宙の物質密度によって定まる。今までに観測にかからなかった銀河系間物質や巨大ブラック・ホール等の存在を赤外域・紫外域・X線域の観測によつて探索する。またモデルの運動学的特性は遠方の

天体の逃散速度、宇宙の膨張速度の精密決定によって決まり、低雑音で大集光力を持つ宇宙空間望遠鏡が威力を発揮する。この種の望遠鏡は宇宙天体、遠方の銀河系、特に準星の分布統計や見かけの大きさの変化の統計によってモデルの幾何学的特性を決定するにも有効である。

(7) 他の高等文明生物の存否

生物が生存できる地球と似た条件を持つ惑星そのものを探すには、高精度で位置測定のできる宇宙空間光学望遠鏡によるのが良いが、高文明生物が多量のエネルギー消費を行うことを前提として、赤外域で探査することも可能である。すでに行われている電波域における通信による探知が成功すれば、それに基づいて天体を同定する手順となろう。現在では、まだ探知の手段も明確ではないが、将来は確実に重要な課題の一つとなる。

(8) 反宇宙の探査

極めて微量ではあるが、我々の近くの空間でも反物質が素粒子の形で検出されている。この反素粒子から構成される反物質でできた天体の存否は、物理学の普遍性や対称性、また、我々の宇宙観にとって大きな意味を持つ。

もし反宇宙が我々の宇宙と同時に創られたと仮定するならば、反宇宙と我々の宇宙との境界、あるいは、両物質が混在する領域では、物質が消滅して大量のエネルギーが発生すると考えられる。このような場所があれば、広いエネルギー帯域の探査観測を行うことにより特異天体あるいは領域として捉えられる可能性がある。

4. 開発技術

(1) 大重量衛星の打上げ

現用のMロケットでは約200Kg、Nロケットでは約1 tonの天文衛星の打上

げが可能であり、これらの小中型衛星は限られた波長帯あるいは限られた対象の観測のため、1～2年に1個の打上げが必要である。しかし将来の宇宙観測では、必然的に、大きな面積で情報を集めなくてはならない。3.実施課題の(1)から(6)までに挙げた諸課題について一応満足のいくような詳しい観測を行うには、口径が2 m程度の望遠鏡(光学、X線)が必要となり、総体積と重量がほぼ長さの3乗に比例して大きくなるとすれば、5～10トンの衛星が必要となる。軌道高度は数100kmで良い。当面スペース・シャトルによる打上げが考えられるが、長期的展望にたてば我が国固有の打上げ技術の開発が望まれる。

(2) 高精度の姿勢制御

解像力が高く方向分解能の良い観測を行うには、衛星自体の姿勢制御の精度の高いことが欠かせない要件である。大気の揺ぎの外に出られる利点を最大限に活用し、また暗い天体を探し当てるためには、1角度秒以上の精度の姿勢制御が要求される。

(3) 衛星環境の保持

一旦打ち上げた遠宇宙観測機器は、できる限り長い期間にわたって活動しなければならない。特に全天掃査、常時監視の目的を持つ衛星の場合には、一定の作動特性を保つことが肝要である。衛星内の発熱や太陽照射による加熱は、光学装置の歪だけでなく、赤外域の放射源を作る原因となるので、温度の変動は数度内外に押えられることが望ましい。また衛星自体からの排出気体は光学装置面を汚染するので十分な注意を払う必要がある。

(4) 軌道上の保守・改修

大型観測装置になると長い活動期間中に保守・改修の必要が生じる。付属装置を新しいものに変えて新種の観測計画を始めることもある。将来のこの種の作業は、スペース・シャトルのような宇宙運搬機によって装置を地上に持ち帰って

行うこともできるが、宇宙空間で行うことによって直接的なチェックができ、副次的な悪効果を与えないという点からみて、有人飛行・宇宙作業の技術に頼るところが非常に大きい。

(5) 宇宙空間での大型建造物の構築

地上の重力下では、大型の精密観測機器の建造が限界に近づいているが、宇宙空間では重力の制約を受けずに大型化することが可能である。やがては数100mの規模を持つ装置を宇宙観測ステーションとして飛ばす段階がくるであろう。また、宇宙空間に漂う望遠鏡群のセンター的役割を担う宇宙ステーションが必要となる。

(6) 測定装置

宇宙空間観測の高精度化に伴い、像分解能の良い測定装置が要求される。とりわけ γ 線・X線など、従来の光学的手法の使えない高エネルギー帯での像形成装置が重要となる。入射信号を電氣的信号に変換する像検出器の開発、また、赤外、極端紫外、X線等の高精度スペクトロスコピー技術の開発が急務である。望遠鏡の大型化に伴い膨大な通信容量が必要となるので、通信関係との共同研究が必要である。3.実施課題の(2)のような特異天体では、活動の時間尺度が極端に短いものもあり、また3.実施課題の(1)、(4)及び(6)における微光天体の観測では個々の光子を数える程の低信号観測ともなるために、検出器と情報処理装置の総合的な開発が必要である。

5. 自主開発／国際協力

当面は、小・中型衛星を我が国独力で打ち上げつつ、大型・超大型のものについては国際協力によって行うことになろうが、将来は大型のものも独力で打ち上げられることが望ましい。

(1) 国産小・中型衛星

Mロケットによる小型衛星の打上げを活用しつつ、1980年代初頭からはX線、紫外線、赤外線等の1トン程度の中型軌道天文台を、Nロケットを利用して5年に1回程度の割合で打上げるのが望ましく、中型軌道天文台については早急に実行計画を検討する必要がある。

(2) スペース・シャトルの利用

スペース・シャトルに搭載すると、観測期間は限られるであろうが、比較的短い準備期間と割安なコストで、大型装置を低軌道に打ち上げることが可能である。この場合パレットを借り切って、複数の研究領域にわたる観測・実験計画を一体として行うことが望ましい。このような一体化により最小のマネジメントで最大の効果が得られるであろう。スペース・シャトル実用期には、中・大型望遠鏡を数回にわたってこのような方式で打ち上げる。

(3) 超大型天文台の共同利用

1980年代以降には、例えばST (Space telescope) のような超大型の天文台が国際協力によって打ち上げられる。この種の装置は新分野を切り開く役割を果たすので、我が国も積極的にこれに参加し、とりわけ客員観測の機会を十分に活用すべきである。

(4) 国産大型衛星

1990年代には、1980年代の新知見に基づく新しい分野の展開とともに、電波からX線、 γ 線にわたって精密観測を行う時代に入る。これに対応するため、我が国でも5~10トンの天文台を打ち上げ、軌道上での保守改良や回収も行う能力を備えなければならない。これは、それに続いてやってくる、宇宙ステーションからの軌道望遠鏡群コントロールを中心とし、場合によっては月面天文台をも利用する本格的な宇宙観測時代の前提として不可欠なものとなる。

6 解決すべき問題点

(1) 科学は本来、全人類の文明という視点から汎地球的に考えられるべきであるが、天文学は特にその色彩が強い。天文学ではしばしば広汎な国際協力が大きな成果をもたらしてきたし、今後軌道天文台が増すにつれて、一層国際的連帯を強めなければならない。諸国間の軌道天文台の相互利用、情報及び人的交流を円滑に行うための有効な機構を検討すべきである。

(2) 従来の天文学は地上の光学・赤外・電波望遠鏡によって発展してきたので、その技術的蓄積は大きい。従って、地上からも観測可能な波長帯については、地上からの観測と宇宙空間からの観測の両者の特徴と経済性を十分に考慮の上、それぞれの長所を生かして使い分けなければならない。宇宙空間観測技術の急速な進展に見合って、相補的な役割を果たす地上の光学・赤外・電波域における大型精密観測装置の充実化が同時に必要である。

B 太陽物理学

1 意義

太陽物理学は本来広義の天文学に含まれるものであるが、太陽は、我々惑星系の中心的存在であって、惑星、惑星間空間の物理と密接に結びついている一方、表面をつぶさに観察できる唯一の恒星として天文学のなかでも独特な地位を占めているため、その物理学は別項として扱うのが適当である。

太陽は恒星物理学のさまざまな理論の詳しい実証の場となるばかりか、今や電磁プラズマ物理学の実験場としてかけがえのないものとなっている。X線や遠紫外での観測は、大気にじゃまされない高像分解能の利点も加わって、フレアを始めとする多くの動的な電磁プラズマ現象の克明な追跡を可能とした。ま

た電離層の外側に出て幅広い電波帯域の観測をすることが可能となり、太陽からさまざまな距離を飛ばす探査体による太陽風・太陽コロナ・プラズマの直接的観測もできるようになった。

このように電磁プラズマの一大実験場としての太陽を、宇宙空間から総合的に詳しく観察する必要性は、年を追って高まってくる。また惑星間空間における人類の宇宙活動にとっては、太陽とその活動についての基礎的な科学的理解が不可欠なものとなってくるであろう。我が国の太陽物理関係の研究水準は極めて高く、将来この分野で我が国が大きな貢献をすることが国際的にも期待されている。

2 内外の動向

一般的には天文学の項で触れたので、ここでは簡単に太陽物理学に特に関係の深いものだけを加えておく。

(1) 日本の動向：多くの気球・ロケット観測に続いて1971年には太陽電波観測を一つの目的とする科学衛星「しんせい」が、また1975年には太陽紫外・X線観測計画を含む科学衛星「たいよう」が打ち上げられ多くの成果を収めている。

更に、次の太陽活動極大期に狙いを定めて、独創的なフレア観測計画を行うことを中心としたASTRO-A衛星の打上げ準備が進行中である。

(2) 外国の動向：米国のATSシリーズ、RAEシリーズ、OGOシリーズ、IMPシリーズ、SORLADシリーズ、OSOシリーズ、アエリアル、スカイラブなどが、X線・紫外線、低周波電波帯、及び高像分解能を持つ光学域観測を精力

的に行ってきた。米国は次期の太陽活動極大期を狙って、1979年にはSMM衛星の打上げを予定している。電波衛星としては、カナダのアルエットがあり、太陽近傍の探査体としては西ドイツ・米国共同のヘリオスが独特である。いずれにせよ長寿命化・多角化して総合軌道天文台の様相を深めるとともに、地上の光学・電波観測網と一体化して機能する傾向を強めている。

3 実施課題

(1) 太陽表面での非熱エネルギー伝播

太陽表面下の対流層で生まれる運動エネルギーは波や流れのエネルギーとして上層に伝わり、コロナ下部で再び熱化すると考えられているが、その電流体力学的な機構は明らかではない。この過程の解明は恒星物理学にとって重要であるばかりでなく、基本的な物理過程としても大切なものである。X線から光学域にわたる総合的な観測が必要で、特に高い像分解能($\sim 0.1''$)が要求される。

(2) 太陽クロモスフェア・コロナの構造

太陽の外層ではガス圧に対して磁気圧が優勢となり、絶好の電磁プラズマの実験場を形成している。地上からでは、限られた電波帯域以外では、日食という稀な機会にしか十分な観測ができなかった領域で、時とともに興味深い事実が次々と発見されており、将来も新事実発見の宝庫となるであろう。X線から電波にわたる全帯域の同時観測が効果を発揮し、またコロナの先につながる惑星間空間の探査とも同時に行うことが望ましい。

(3) 太陽の大局的電磁流体構造

太陽の黒点や一般の磁場は、太陽の微分回転と対流活動が相乗して働くダイナモ機構によって維持されているものと考えられている。この地球などの惑星や多くの恒星でも共通に働いていると思われる機構の最も明白で観察しやすい典型が太陽であって、この重要な物理過程の完全な理解には、太陽活動の何周期にもわたる観測が必要である。特に散乱光を避けた高像分解能を持つ磁場・速度場の観測や、太陽放射の絶対測定などが重要となる。

(4) 太陽フレアの機構

短時間のうちに莫大なエネルギーの放射と粒子を放出する太陽面爆発（フレア）は、太陽面現象中最も大規模で多彩な現象である。地球や惑星間空間に及ぼす影響が大きいばかりでなく、短時間に巨大なエネルギーを開放する機構の解明は物理学の最重要課題の一つである。全エネルギー帯域の高像分解能の同時観測が望ましく、しかも高い時間分解能も必要である。

また宇宙線などの高エネルギー粒子の観測、惑星間空間プラズマの観測、地球の高層大気観測とも密接に関連しており、太陽活動極大期などに集中的に組織立って行うことが肝要である。

なお、4 開発技術、5 自主開発／国際協力、6 解決すべき問題点の各節については、A 天文学の項と共通であるので、A の(4)から(6)のそれぞれの節を参照されたい。

7. 開発スケジュール表

1975年									
1980年	ASTRO-A (太陽フレア)	ASTRO-B (X線)							
1985年									
1990年		ASTRO-C以降							
1995年									
2000年									月面天文台

宇宙ステーション

小型衛星 (1年1基程度) (Mロケット)

中型~1t (低) (赤外線、紫外線、X線、宇宙線) (Nロケット)

大型 (軌道天文台) (スペースシャトル、H-1ロケット)