

第3章 地球観測分野の展望

1 意 義

宇宙空間からの地球観測の意義は、広域を短時間に同一の計測器で反覆観測できることである。また、人工衛星を地球上の各地点から追跡する測地的観測は、従来の手法では得られない高精度の測地を可能とする。

我が国の国土は、世界的にも狭いものであるが、我が国の自然環境、社会活動は、世界的な状況の中であってこれに密接に関連しているものであり、地球周辺空間の物理科学、気象現象、汎地球的大気の循環、汎地球の海洋現象、固体地球物理現象、自転運動、植生等のデータは大気科学、海洋科学及び地球科学を発展させる上で不可欠のものである。

また、これらのデータは我が国の国土環境の実体を示すものであるから、国の基本施策を決定する上で重要な資料となる。

特に我が国は周囲を海で囲まれた海洋国であり、既存のシステムでは殆んど不可能であった海洋全般にわたる観測を宇宙空間から定期的に行うことにより、海洋科学の飛躍的な発展がもたらされ、我が国の国益に大きく貢献する。

また、近年、海洋法200海里漁業専管水域時代を迎えて、海洋監視システムの充実が緊急の課題となっているところであるが、宇宙からの監視システムは重要な役割を担うものと期待される。

2 内外の動向

(1) 日本の動向

我が国における宇宙からの地球観測データ利用については、国内で開発した受信装置により1967年米国の気象衛星ESSAの受信実験を行い、

1968年から気象業務に衛星データを取り入れ多大の成果を収めて来た。

更に、国際的な地球大気開発計画（GARP）の一環として、我が国は、静止気象衛星（GMS）を東経140°の赤道上空へ昭和52年7月に打ち上げたところであり、極東及び太平洋地域 の気象データ収集に重要な役割を果たし、気象の長期予報、気候変動等の予報精度の向上が期待される。

また、人工衛星の追跡による測地学の研究は、スプートニク打上げ直後から、我が国でも追跡システムを開発・改善しつつ国内あるいは国際的共同観測を行うことによって、多くの実績を上げ国際的にも高い評価を得ている。

一方、より広範な地球観測システムの調査が近年科学技術庁において行われ、今後15年間の地球観測衛星の展望が明らかにされている。

また、我が国の地球観測衛星開発の一環として、米国の地球観測衛星LANDSATのデータを受信する地上局の開発整備を昭和52年度に着手したところであり、53年末には運用を開始する予定である。

地球観測データの解析利用研究については、我が国は、1972年の米国によるLANDSAT-1の打上げ以来、米国の国際解析研究計画、ERTS計画、EREP計画、ERTS-FOLLOW-ON計画等に参加し、人工衛星からの地球観測の有効性を確かめてきた。また、科学技術庁は、昭和48年度から3カ年計画で、地球観測衛星及び航空機から得られる地球観測データに関し、「リモートセンシング情報利用技術の開発に関する総合研究」を政府関係機関、大学等の協力のもとに実施してきた。現在引き続き昭和51年度から3カ年計画で「リモートセンシング情報の収集処理解析手法に関する総合研究」を行っている。この他、各省庁においても、地球観測衛星データの有用性が認識され広範な分野での解析利用研究が進められている。

また、多くの学会及び団体でも地球観測データ処理、解析利用に関するシンポジウムが開催され、1977年だけでも約20個のシンポジウム、セミナー等が開催された。

(2) 外国の動向

ア、米 国

地球観測衛星計画の面で、世界をリードしているのは米国で、過去17年以上の実績を持つとともに、将来の20年先までの長期展望を発表している。

1960年、米国は気象衛星TIROS-Iにビジョンカメラ、可視赤外放射計等を搭載し、世界で始めて全地球表面の温度や雲分布等を観測した。

その後、現在までにTIROS、ESSA、NOAA、NIMBUS、SMS、GOES等30数個の気象衛星が打ち上げられ、気象業務に取り入れられており、気象学の発展にも貢献している。

米国は、更に1963年から、人工衛星からのリモートセンシング情報の地球資源管理、環境保全等への利用の可能性について研究を開始し、1972年にはLANDSAT-1、1975年にはLANDSAT-2を打ち上げた。その概要は、以下の①及び②のとおりである。

① センサーとしては、次のものを搭載している。

(ア) リターンビームビジョンカメラ〔RBV〕（3バンド、分解能80m、可視近赤外）

(イ) マルチスペクトルスキャナー〔MSS〕（4バンド、分解能80m、可視近赤外）

② また、広帯域ビデオテープレコーダーを搭載し、観測範囲の拡大を図る一方、データ収集システム機能を有している。

LANDSATから得られるデータは世界各国の研究者に配布され、国際的

な解析研究計画が推進されているとともに、米国においては、このデータを用い小麦収量予測実験システム、環境評価実験システム等利用システムの実用化の研究が進められている。

今後LANDSATシリーズには1977年後半のLANDSAT-C、1981年頃のLANDSAT-D、1982年頃には静止地球観測衛星SEOSの打上げがそれぞれ計画されており、これらには改善されたセンサーが搭載されることになっている。

測地関係では1962年に初の衛星が打ち上げられ、その後、我が国の提案した高密度球形衛星LAGEOSも1976年5月打ち上げられている。

また、SKYLABやGEOS-3にレーダ高度計を搭載し、衛星と海面間の距離測定により、衛星軌道の観測から求めたジオイドのチェックを行っている。

一方、海洋観測を目的とした人工衛星SEASAT計画もスタートした。この衛星には次のミッション機器が搭載されることになっている。

- (ア) レーダ高度計(ALT)
- (イ) 合成開口レーダ(SAR)
- (ウ) 散乱計(SCAT)
- (エ) 走査型多波長マイクロ波放射計(SMMR)
- (オ) 走査型放射計(SR)

これらのセンサーから得られるデータは波高、波長、ジオイド、海上風、海水温、流水、海面トポグラフィ等であり、海洋物理研究、船舶の航行安全、漁場調査等への利用、気象予報の精度向上等多くの役割が期待される。

SEASATから得られる上記データと他の地球物理パラメータ観測用衛星(GEOS、MAGSAT、LAGEOS等)から得られる磁場、重力、測地データ等を総合的に解析する地球及び海洋物理応用計画(EOPAP)では固

体地球物理学、海洋物理学を通じて、地震や津波等の自然災害予知を進めようとしている。

一方、地球の熱収支、大気組成、汚染状況等の観測を目的とする衛星として、NIMBUS-G(1978年)の打上げを計画している。この衛星では次の観測が行われることになっている。

- (ア) 太陽光の地球大気への入射量、反射量
- (イ) 地平線の放射量
- (ウ) 成層圏から中間圏にわたる温度分布、大気組成分布
- (エ) 成層圏エアロゾル分布
- (オ) 広域的CO、CH₄、NH₃分布
- (カ) オゾン垂直分布、オゾン量

上記の諸実験に基づいて、1980年代中期までには、可視赤外多チャンネル放射計の解像度の改善、全天候センサーの開発を完了し、1990年までには、準オペレーショナルな穀物収獲量予測システム、牧場管理システム、木材量予測システムを実現し、1990年以後は、オペレーショナルな全世界的規模での主要穀物の収獲量予測システム、牧場管理システム、木材量予測システム、自然環境監視システム等の実現を期している。

このほか、1980年代後半から1990年中期にかけて、オペレーショナルな長期の気象予報システム、沿岸漁業週間予報システム等の実現を目指している。

イ、ヨーロッパ

ヨーロッパ各国も米国のLANDSATデータ解析研究計画に参加した。

1976年イタリアが同衛星のデータを受信する地上局を設置し、運用を開始した。

また、ESAは、同局の他将来スウェーデン、ベルギーに地上局を設置し、EARTH NETシステムとして整備する計画である。

一方、フランスはこのほど試験地球観測衛星システムSPOT計画の構想を発表した。主要搭載センサーは、低分解能可視赤外センサー（地上分解能、可視中間赤外域100m、熱赤外域200m、観測バンド7～8チャンネル）及び可視近赤外高分解能センサー（地上分解能20m、観測バンド数チャンネル）であり、衛星には更にデータ収集システムも搭載されることになっている。

同計画による打上げ予定は、1983年である。更に将来の構想としてマイクロ波センサを搭載した海洋観測を目的とする地球観測衛星の調査も行われている。

この他、LAGEOS型のSTARLETTが打ち上げられている他、宇宙空間からの衛星表面に働く力を補償するような力の働く衛星も測地学研究用に開発されている。

ウ、カナダ

カナダは、1972年の米国のLANDSAT打上げ計画にあわせて、国内のリモートセンシング推進体制を整備し、同年LANDSATデータ地上受信局の運用を開始した。解析利用研究についても同局から得られる豊富なデータを使い、いくつかの実用利用研究を着実に進めている。

その主要なテーマは、以下のとおりである。

- (ア) 小麦収獲量予測システム
- (イ) 芋類収獲量予測システム
- (ウ) 海水マッピングシステム
- (エ) 牧草地モニタリングシステム

カナダは更に米国のSEASATデータ受信を目指し、米国と交渉を行っているが、地上局はすでに整備されている。

このような活発なリモートセンシング活動実績を踏まえ、カナダは1976年、海洋管理のためのレーダ衛星計画（大陸棚管理、漁業管理、北極海の汚染防止、200海里内の航行管理・捜索救助）の可能性について、調査検討を行った。

この調査の結果、カナダとしては当面米国のSEASAT計画に参加しレーダ衛星に搭載する映像レーダ等の有効性を確認することとし、1979年において、レーダ衛星計画を推進するか否かを定めることとしている。

エ その他

上記以外の諸国も、米国のLANDSAT打上げ以来、衛星からのリモートセンシングに関心を示しており、ブラジルは1974年に地上局を整備し、イラン、チリ等もLANDSATデータ受信のための地上局を整備している。

また、ソ連、インド等は、独自の地球観測衛星計画を推進しているが、その詳細は不明である。

更に、ソ連は測地学の研究にも力を入れており、インターコスモスで追跡網を整備するとともに、LAGEOS型の衛星の打上げも計画している。

気象衛星データの利用については、現在世界中の国がアメリカの気象衛星からのデータ受信を実施し、気象業務に利用している。

3 実施課題

(1) 当面早急に実施すべき課題

ア、我が国は周囲を海に囲まれた海洋国であり、水産業、海運業、海難等、我が国社会と海洋とのかかわりは非常に大きい。

このため、現在必要なことは広大な海域の地球観測衛星による海況情報収集体制の整備であり、基本的には、そのデータ解析による海洋大循環、波浪、潮

汐、津波、高潮等の海洋物理学研究の進展である。近年、新海洋法時代を迎え、海洋監視体制の整備は緊急の課題となっているが、上記海洋観測衛星システムにより海洋現象の理解が進み、海洋監視、海洋環境情報収集、漁海況情報収集、航行安全への寄与等大きく貢献するものである。

また、新海洋法時代にあつては、我が国領土の正確な測地が重要であり、測地衛星を用いて我が国を含む広域地域の測地網を早期に確立する必要がある。

イ、また、地震、津波等自然災害の多い我が国においては、その予知・警戒体制を確立することが急がれる。

地震予知に関しては、現在、地震観測、地形傾斜観測、磁場、岩石の電気抵抗等の地上観測及びプレートテクトニクス或いはショルツ理論等を踏まえ、その研究が大きく進展しようとしているが、基本的には従来の地上観測と合わせ宇宙飛しょう体の追跡を利用した測地或いは宇宙飛しょう体からの地球観測によるテクトニックプレート構造と運動、地殻変動、海洋底拡大構造、地球の極運動の変動、地球自転率の変動、地球の潮汐運動、重力場、磁力場等の固体地球物理学研究の進展が図られなければならない。

(2) 将来の実施課題

1990年代に入り、大型宇宙船が開発され、地球観測センサーが高性能化することにより、地球観測ミッションの多様化が図られよう。以下アにおいて有人地球観測を、イ以降において海、陸、大気等の複合ミッションを有する静止及び極軌道地球観測衛星データの利用課題を述べる。

ア、有人地球観測宇宙実験船による特殊地球観測、無人観測衛星の観測機器の補修基地並びに多様な地球表面現象及び大気圏内の最も効果的な観測には、複雑な計測器による専門家の観測が必要である。このため、有人宇宙船により

各々の分野の専門家による地球観測実験を行う必要がある。

イ、海洋関係

1990年代までに確立された海洋監視システムの成果を踏まえ、かつ前項の地球観測実験の成果を取り入れた大型海洋監視衛星による監視システムを確立する。

このシステムは、通信衛星機能を有するとともにすでに述べた海洋監視（船舶の位置確認）、海洋環境情報収集（油汚染、赤潮等）、漁海況情報収集（海上風、海色、水温、波浪、海流、塩分、海霧、流水等）の機能を強化したものであるのみでなく、地上行政機構と結びついた総合海洋監視システムとする。

一方、水産資源の安定確保のため、漁海況情報のみならず、海洋動物やマグロ等の回遊魚の監視データ、海洋気象予報、漁海況予報等の予報データと行政機構を結びつけた、水産資源管理システムが必要となる。

このシステムでは衛星が中心的な役割を果たすので、特に衛星システムの開発を進める必要がある。

ウ、測地・防災関係

この分野においては第1に衛星システムとして測地、重力、地磁気等固体地球物理観測システムを拡充する。即ち、重力場の詳しい位置的な変動を調べるために、衛星の追跡装置を持つ静止衛星により上空から測地衛星の軌道の変動を追ひ、我が国を含めた広域でのジオイドの細かい凹凸を調べる。更に将来は現在地上にある中央局の役割もかねそなえた人工衛星を打ち上げ、地上にはレーザ光反射器や電波のトランスポンダーを置いて衛星よりのレーザ光や電波を受けてこれを衛星に反射し、衛星上でデータを自動処理して、地上の各点での地殻変動を知り、地震予知などにも役立てることが可能となろう。これらと、前項で述べた総合海洋監視システムとを合わせて地球物理監視衛星体

制が整うことになり、この体制によって得られた情報は防災担当行政機関に送られる。

一方、地上システムとして主要海区の地震発生地域に海底地震計を設置しその他の現場測定データとともに、衛星経由で防災担当の行政機関にデータを集めるようにする。

この他、ランドサット以来のデータの蓄積により、災害別、地域別、自然災害の危険予想地域データを整備しておく。

以上のシステム及び整備されたデータを用いて、自然災害時に避難対策、緊急施策等の防災対策が即時に推進できる防災システムを確立することとする。

エ、大気物理関係

1990年代に入ると、大気物理のための高性能センサーの開発試験を大型宇宙船を用いて容易に行えるようになり、赤外能動センサー及び多周波ドップラーセンサーが開発されることとなろう。これらの開発機器により、気温、湿度、高層風等を50kmの測定間隔で測定できるようになるう。

これらのデータの全球的規模での収集システムの整備により、大気-海洋の相互作用、大気内及び海洋内でのエネルギー伝達過程や（大気-海洋）・（陸地-大気）間の気候を支配するフィードバック機構、超高層と対流圏との相互作用等大気科学の研究は大いに進展する。この結果、気象予報、気候予測等の精度が向上する。それらは一般市民生活にとって重要であるのみならず、河川流量予測、水資源管理、穀物収量予測システム等にとって極めて重要な基礎情報となる。

また、大気科学の解明が進むことにより気候変動のメカニズムが解明されて行く。全ての因果関係の解明がなされた後には、更に気候調節実験等が計画されようが、このような計画の実施に当たって、実験の進行をモニターし、実験をコントロールする上で、宇宙からの観測システムがまた重要な役割を担うものと思われる。

オ、環境保全関係

21世紀にかけて、環境汚染問題はますます切実となろうが、地球観測船システムによる、汎地球的な大気組成の測定結果、地域的大気汚染のモニタリング結果、海洋汚染のモニタリング結果と地上での測定結果は、気象予報システムあるいは海況予測システムと組み合わせられ、環境汚染対策情報として該当地域あるいは関連国にデータ中継衛星経由で伝達される。この場合、これらの各種データの解析は全て大型地球観測船に搭載されたコンピューターにより行われ、情報抽出に当たり、主観的要素が入ることのない総合的環境監視システムが確立されよう。

カ、農林業関係

大型宇宙船に搭載された超高分解能センサー 全天候型のマイクロ波センサーによる地球観測により、我が国のような狭い国土でかつ多雨な気候条件の下においても、農作物の健康度調査、作物分類、森林調査、材木量調査等が可能となり、気象データ、長期気象予報データ、水利データ等と結びついた農産物収量予測システムも確立されよう。

キ、水資源関係

我が国は、地域的には降水量の多い水資源に恵まれた国ではあるが、人口の都市集中、産業構造の高度化、近年の異常気象の頻発等に伴い、将来深刻な水不足に陥いることも予想されている。

地球観測衛星に搭載したマイクロ波放射計及び高分解能映像センサーによって、それぞれ雪面水分及び積雪面積の推定等が行われ、冬期の水資源量を推定することが可能となろう。これに長期気象予報による情報を加えて河川流量予測システムが確立されよう。

更にこのシステムに各地域の水需要予測の情報を総合し、水資源管理システ

ムが確立されて行くと考えられる。

ク、宇宙環境関係

地球をとりまく宇宙空間は、気象や地表面付近の環境にも影響する。このために太陽活動、電離空間等を定常的に観測するシステム並びに太陽からの高エネルギー粒子、X線等の観測により超高層空間の大気組成・状態、空電現象の分布等を観測するシステムを確立していく必要がある。

ケ、その他

我が国においては、土地利用形態の変化は都市を中心に非常に著しいものがあるが、都市計画その他の行政施策に反映させるため、地球観測衛星に搭載するマイクロ波映像レーダ、可視映像レーダをより高分解能化し(10~20m)、特定地域の土地利用図は随時最新の形で、全国的なものは適切な周期で、更新していくことが可能となる。

また、可視から赤外域までの高分解能センサー、磁力計・重力計等の高性能センサーを用いた地球観測により、地上における資源探査のための物理探査に有効なデータを提供することもできよう。

また鳥類、昆虫類等の陸上・海上移動は病源体、害虫等の移動等に関係があり、これらの動きをとらえる必要があるが、将来これらを宇宙空間から追跡観測することも考えられる。

4 開発技術

(1) 当面の実施課題実現のために必要な開発技術

ア、ハードウェア

イ ミッション関連

a、水色、植物の生育、土地利用状況、地表面温度分布等の情報収集のため

に、高分解能可視赤外多重スペクトル放射計の開発が必要である。空間分解能は可視10~15m、熱赤外100~500m、温度測定精度は0.2℃ぐらいが要求される。

b 可視・赤外放射計は、非常に精密な観測ができるが、途中で雲があると観測できない。このために全天候型のマイクロ波を利用した放射計、散乱計、映像レーダ(合成開口レーダ)等の開発が必要である。マイクロ波放射計は、多少の雲には影響されずに、地表面の温度、大気中の水蒸気、海水、積雪等の分布状況の観測が可能である。温度測定精度は0.5℃が要求される。マイクロ波散乱計は、海面の風向、風速、波高等の観測が可能であり、精度は風速が±2m/s以内、風向は±15度以内が要求される。

c 海洋の平均波高、海流、ジオイド、津波等の観測のためには、衛星搭載用マイクロ波高度計の開発が必要である。要求精度は±10cmである。

d 大気組成観測のため、衛星搭載用レーザーセンサーの開発が必要である。

e データ収集システムとしては、海洋の分野では固定ブイや浮遊ブイ、気象・大気物理の分野では、定圧浮遊気球や無人観測所等のデータ収集機能が必要である。

f 地球観測衛星の観測対象域やデータ量の増大に伴い、リアルタイムで観測データを入手するため、TDRSSの開発整備が必要となる。TDRSSが整備されるまでは、データレコーダに依存することになる。

g 地震予知に必要なジオイド測定のために、重力センサーの開発が必要である。要求精度は 10^{-1} である。

h 地球大気の垂直構造測定用のセンサーの開発が必要である。

(イ) 衛星本体関連技術

a 高精度三軸姿勢制御の開発が要求される。

b 各種マイクロ波センサーに供給すべき電力は数百W程度に上る。このため大電力供給システムの開発が必要である。

(ウ) 打上げ技術

a 太陽同期軌道(1000km前後)への打上げロケット及び打上げ技術が必要である。

b 常時観測、常時監視の要望に対処するため、重量500kg以上の静止地球観測衛星を打ち上げる能力を有するロケットの開発が必要である。

(エ) 地上支援技術

マイクロ波高度計を搭載する衛星においては、その衛星の軌道高度を高精度に測定する必要がある。

(オ) データ処理技術

a 各種センサー(特に映像センサー)の高分解能化に伴い出力データの伝送速度は数百Mbit/Sに達することが予想される。衛星上で行う、マイクロコンピュータを用いたデータ圧縮処理技術等を開発する必要がある。

b 映像レーダーのデータ処理技術の開発が必要である。

イ、ソフトウェア

可視・赤外放射計から得られるマルチスペクトルデータ並びに各種マイクロ波センサー、レーザセンサー等から得られる情報について不要情報の除去・補正・必要情報の抽出技術を開発する必要がある。

ウ、地上施設

大容量データ受信処理のための超大型計算機、画像処理設備等を備えた地上施設の整備が必要である。特に最近はこのような地上施設のための、土地の入手が困難になりつつあるので、早急に準備する必要がある。

(2) 将来の課題を実施するために必要な開発技術

3 実施課題で述べたシステム実現のため、大型修理可能衛星及び有人宇宙船の開発が必要となる。

これらの宇宙船による地球観測、有人宇宙ステーションからの随時補修・修理等を想定し、より低コストで高性能な地球観測機器を開発する。

同時に、宇宙空間での大アンテナ(100~300m)の組立技術も、高精度マイクロ波地球観測のために要請されよう。

また、より基本的には、オンボードコンピュータの能力の拡大を図ることが不可欠である。

5 自主開発/国際協力

(1) 地球観測分野の重要性は今後増加の一途をたどるであろう。

衛星搭載用センサー関連の技術は、我が国の得意とするところが多く、かつ新しい分野であるところから米国等との技術格差も比較的小さいため、地球観測分野の研究開発に当たっては、実用化までの今後10~15年間に、システム全体にわたり極力所要の技術を自主開発により確立していく必要がある。

(2) この分野における国際協力は、宇宙空間平和利用の面からも非常に望ましい姿である。

この場合、中高度軌道衛星については、観測周期を短縮するために複数個打ち上げられる衛星のうちの1~2個を分担し、静止衛星においては、我が国周辺地域の観測を分担するのが適切であろう。

また今後の国際協力として、静止気象衛星計画のような国際協力組織の下にデータ解析利用に全人類の叡知を結集し、データの有効利用を図ることも一つの方向と考えられる。

この場合、搭載機器の一部については、現在米国のニムバス衛星や気象衛星

に英国やフランスで開発したミッション機器を搭載しているように、他の国の開発した機器で、我が国の目的に合致するものがあればこれを搭載して運用することも考慮される。

また、測地衛星については、衛星の追跡面での国際協力、特に近隣諸国との国際協力が不可欠になるものと考えられる。

6 解決すべき問題点

(1) 現在のランドサットによる観測でも、国連宇宙空間平和利用委員会で、他国の観測が問題にされている。

今後解像度の高いセンサーが利用されるようになると、この問題は更に面倒になるう。

(2) 宇宙側の技術が進んでも、地上での解析利用の技術及び体制が十分に開発整備されていなければ、システムとして機能しないので、この点を十分配慮する必要がある。

事	
人 工 衛 星 宇 宙 船 シ ス テ ム	海 陸 気 象 測 地 宇 宙 複 合 補 助 有 人 ラン
	海洋
	測地
	気象
	宇宙空
	環境監
実 施 課 題	農林業
	水資源

ように、他の
を搭載して運

近隣諸国との

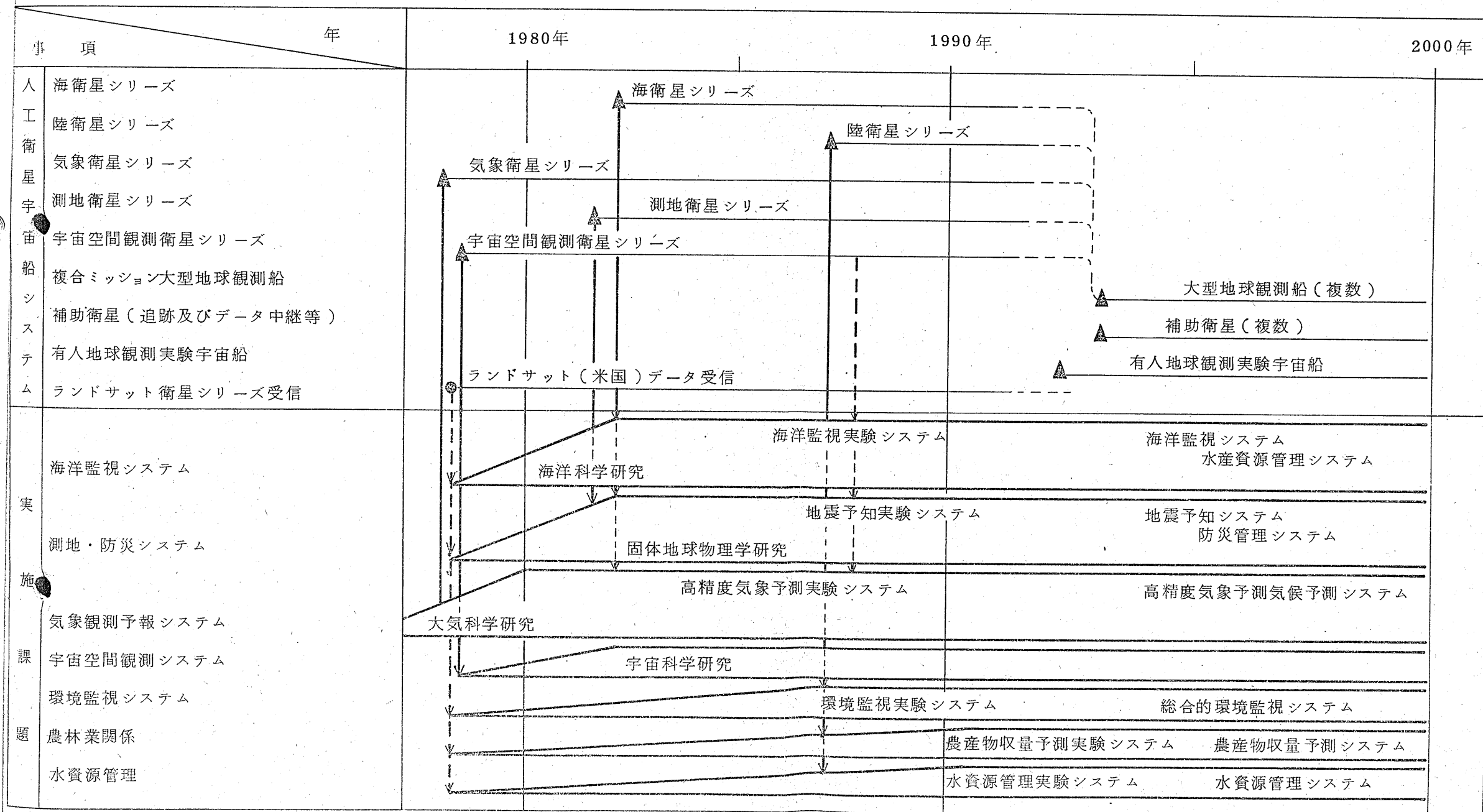
用委員会で、

題は更に面倒

利が十分に開

取を十分配慮

7. 開発スケジュール表



（注） ▲----- 個別衛星シリーズ ▽----- 課題別利用システム

▽ 利用システムで使われる主要衛星データ

▽ 利用システムで使われる補助衛星データ