

遠隔探知(リモート・センシング)技術の現状と展望

新しい宇宙技術利用の時代を迎えて

応用地質部長 松野久也

はじめに

アメリカ合衆国の地球資源技術衛星 (ERTS=Earth Resources Technology Satellite)—Aは 当初の予定よりは若干おくれたが 本年7月24日午前3時6分(日本時間)に バンデンバーグ空軍基地から打上げられ 予定通りの軌道にのった。この衛星は“地球資源観測衛星 (EROS=Earth Resources Observation Satellite) 計画”の実験段階の1つとして打上げられたものである。すなわち 宇宙空間から われわれの住んでいる地球表面を系統的に反覆観測することによって 人類の環境と資源に関する情報をタイムリーに獲得することを最終目標として進められているのである(本誌 no. 182)。

この実験衛星に搭載されている遠隔探知装置によって得られるデータの地球環境および資源問題への応用および可能性についての研究が 国連ベースで行なわれようとしている。わが国からも これに関して4つの研究課題が提案され アメリカ国内および諸外国からの提案とともにすでに2つが採択されている。1972年末には 3人乗の有人宇宙ステーションを打上げるスカイラブ(Skylab) 計画があり 引続いて1973年には ERTS—Bが打上げられる予定であり これらからのデータについても 同様な研究参加が予定されている。

ここで1968年 オーストリアの首都ウィーン市で開かれた「宇宙空間の平和利用に関する国連会議」においてこれまで地球の外の方に向けられていた宇宙技術の応用が 大きくUターンして地球表面の観測に向けられ“地球資源観測への利用”が論議の対象となったことがあらためて思い起こされる。この現実的な第1段階がこのERTS—Aであり これをもって人類は宇宙空間の利用について新しい時代を迎えることになったのである。

これまでに 何回かにわたって(本誌 no. 182 no. 194 no. 200) 宇宙空間からの地球環境および資源の観測について紹介してきたのであるが 今回は観測に用いられる“遠隔探知(リモート・センシング)技術”と その現状について概説を試みることにする。

遠隔探知(リモート・センシング)

遠隔探知(リモート・センシング=remote sensing)ということばが出現してから約10年を経過し 科学技術用語として世界的に固定しつつある。このことばが初

めて出現したのは 1962年2月13~14日にミシガン大学において開催された“The First Symposium on Remote Sensing of Environment(環境のリモート・センシングに関する第1回シンポジウム)”においてである。

このシンポジウムは 1972年で 第8回を迎えることになるが 1969年の第6回目から“国際シンポジウム”として開催されるようになっていく。リモート・センシングの日本語訳として“遠隔探知”という用語が提唱されたのは 1967年のことである。その後 いろいろな分野で“遠隔探査”あるいは“遠隔測定”などという用語も リモート・センシングの日本語訳として用いられている。

英語の“リモート・センシング”ということば自体はすでに固定した用語とはなっているが その歴史は前述のとおりきわめて浅く 定義あるいは内容については各方面で未だ種々異論がある。

定義

“遠隔探知”という用語の定義については 種々異論があることは さきに述べたとおりである。これと同時に リモート・センシングそのものが関連する科学技術分野が広くかつ対象とする分野も多岐にわたっているために 関連用語についても 非常な混乱があることは否定できない。これを狭義に解釈すると“対象物に直接接触することなく あるいは近接することなく対象物からの電磁波放射・反射エネルギー(あるいは両方)を検知することによって 対象物あるいは対象とする現象を探知し かつ あるいはその特性を測定し またそれに関連する情報を獲得する方法”ということになる。これは 空中写真調査方式の拡大解釈といえることができよう。広い意味では 地球磁場の力を測定する空中磁気探査をはじめとして 地球物理探査法の中に含まれていた空中探査方式も包含される。また 船上から海水を伝播媒体として 海底面あるいは海底面下の地形や地質情報を収集する船上音波探査法なども これに含めることができる。さらに 地球上におかれた種々の観測装置(地震計 流速計 温度計 風力計など)の観測データ(出力)を航空機や宇宙船によって収集し これを地上局に通信伝達する方式までを遠隔探知の1つであるという考えさえある。

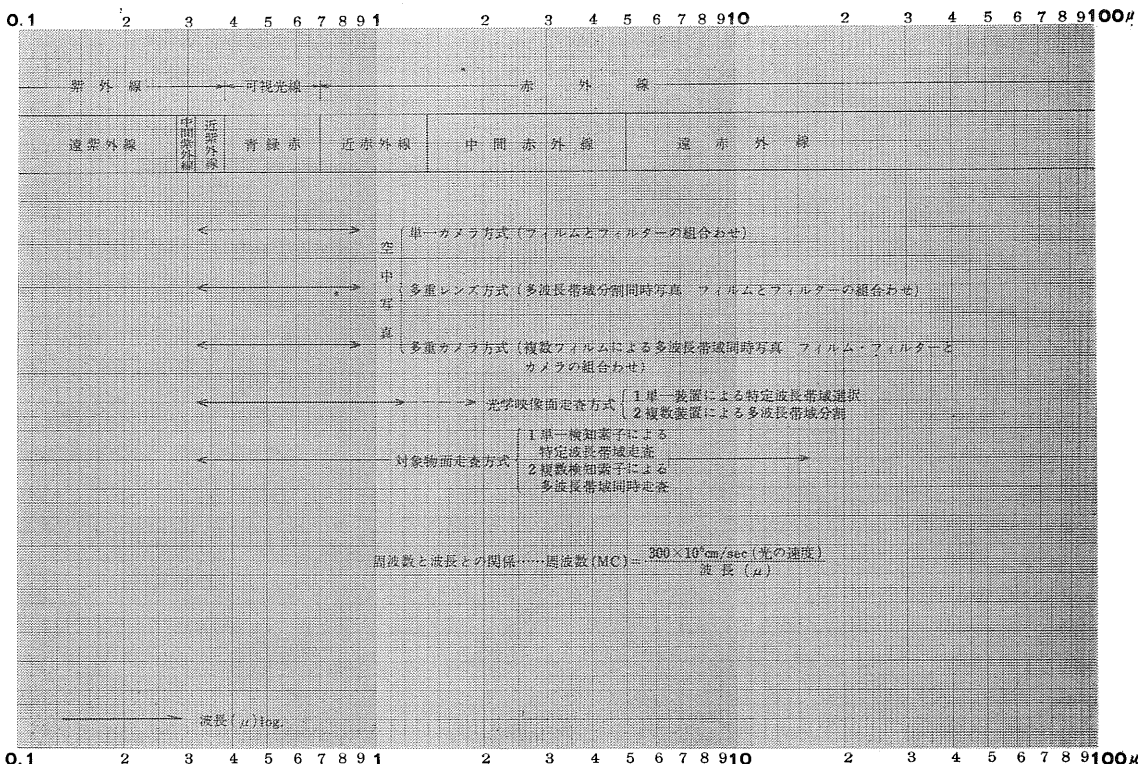
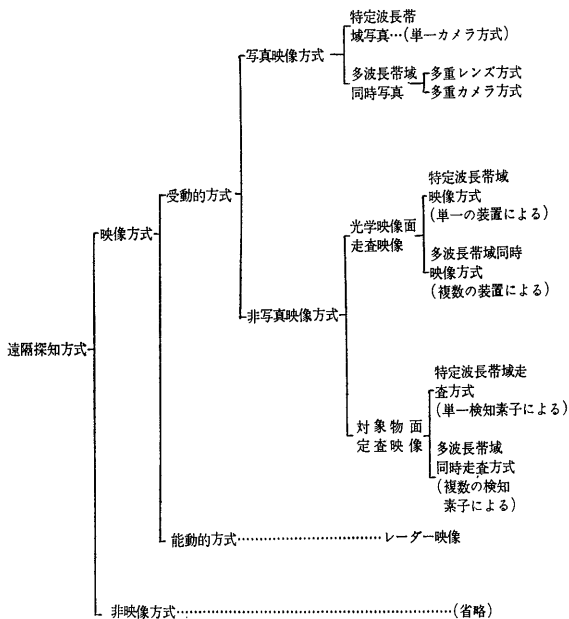
現在 アメリカ地質研究所 (American Geological Institute) で発行している "地質学用語辞典 (Glossary of Geological Terms)" の改定版に 地質遠隔探知 (geologic remote sensing) およびその関連用語を統一 収録しようという計画があつて 1970年にスタンフォード大学の地球科学教室の R. J. P. LYON 教授によってその案が作られている。これによると 従来の地球物理探査技術の中に含まれていた方式を含めた広い意味に用いられている。

従来の空中あるいは船上物理探査技術は すでに長い伝統をもっており それぞれ多くの文献 書籍にくわしく記述されている。したがって ここでは狭義の遠隔探知 しかも主として映像データを利用するものについて述べることにする。すなわち 紫外線からマイクロ波領域における映像データ収集技術とその応用とである。

遠隔探知の対象となる波長域は 上述のとおり非常に広い範囲におよび またそれぞれの応用分野も いろいろな科学・技術分野にまたがっている。さらに人工衛星あるいは航空機からの遠隔探知技術には 種々のセンサ (探知装置) を組み合わせ (いいかえれば種々の波長領域を組み合わせ) た効果 データ処理 (情報理論 処理方式 装置) 通信および通信装置 センサの搭載機 (航空機 宇宙船など) およびその航法あるいは軌道論

これらを総合する大規模なシステム理論など 関連する科学・技術分野は きわめて複雑多岐である。

第1表 遠隔探知方式の分類



第1図 電磁波の波長領域区分と遠隔探知方式 この図は 0.1μ から 100μ の範囲にとどめた

分類

遠隔探知方式については いろいろな人がそれぞれの立場に立って分類している。ここでは 映像データ獲得方式と対象波長領域とから検討の結果 第1表および第1図に示すような分類を試みた。これら図表では非映像方式の分類を省略し また第1図では波長領域の区分列の関係から マイクロ波領域のセンサ(探知装置)を割愛せざるを得ない。

第1表に示すように 遠隔探知方式は 映像方式と非映像方式とに大きく2区分できる。前者は 対象物から放射・反射される電磁波エネルギー強度分布のパターンを映像濃度におきかえて 目に見える形で表示することのできる方式である。これに対して 後者は探知装置の搭載機の航跡に沿って 連続的あるいは断続的に放射・反射エネルギー強度を測定する方式である。これには広義の遠隔探知である空中や船上物理探査方式も含まれる。航空機上あるいは宇宙船上から地球表面の広大な地域を観測する場合 線に沿ったあるいは点についての測定データは いくら密に測定を行なっても一定の範囲を完全にカバーすることができないばかりでなく データの位置付けがきわめて不正確となるという欠点がある。したがって 特定の目的以外には 映像表示型の探知装置と併用されることが普通であり これによって 上述の欠点がカバーされる。反面多くの映像表示型の探知装置によるデータは エネルギー強度の相対的な差を記録表示するものであって 非映像方式のセンサのデータによって その定量的精度が高められるのである。

映像方式および非映像方式は それぞれ受動的(passive)方式と能動的(active)方式とに分けられる。すなわち 対象物から放射あるいは反射される自然の電磁波エネルギーを受動的に検知・記録する方式と 能動的に人工の電磁波エネルギーを発信し その対象物からの反射を検知・記録する方式とである。

たとえば 赤外線放射温度測定や赤外線(温度)映像は 対象物表面からの赤外線放射エネルギーを検知・記録し その表面温度測定や温度分布の記録を行なう方法であって 受動的方式である。これに対して 人工的にマイクロ波を発信して その対象物からの反射エネルギー強度分布を映像の形で表示するレーダー映像は 能動的方式の代表例である。これらに対して写真は 自然の太陽をエネルギー(照明)源とし その可視光線領域を中心とする波長領域の電磁波の反射エネルギー強度分布を記録するとともに 人工の照明源をも用いることができることから 中間的な方式ともいうことができる。

しかしながら 航空機あるいは宇宙船からの遠隔探知の場合には 人工光源による方法は実際上用いられない。

第1表中 受動的方式は さらに写真映像(あるいは単に“写真”)方式と非写真映像方式とに区分することができる。写真映像方式は 空中写真によって代表されるものであって もっとも初期のしかも世界中でもっとも広く利用されている遠隔探知方式である。これは単一のカメラによって フィルムとフィルターとの組み合わせを選択し 必要とする特定の波長領域を記録する特定波長帯域写真と 同一被写体あるいは同一地域について 異なった波長領域のいくつかの写真を得る多波長帯域同時写真とに分けられる。後者には 複数のレンズを備えたカメラと 複数のカメラを用いる方式とがある。ここでは 多重レンズ方式および多重カメラ方式と呼んでおくこととする。写真によって記録できる波長領域は 可視光線を中心として 紫外線の一部からおおむね近赤外線領域までである(第1図)。多重レンズ方式では 上述の写真領域の電磁波についてできるだけ広く かつ等しい感光特性をもったフィルムが望ましいが この点いろいろな制約がある。いっぽう 多重カメラ方式では 装置全体が大きくなるという欠点はあるが異なった波長領域に感光特性をもった種々のタイプのフィルムやカラー フォルスカラー 2色カラーフィルムなどを 目的に応じて種々組み合わせ用いることができるというすぐれた点がある。

しかしながら 最近では4つのレンズからなる多重レンズカメラによって 青から近赤外線領域までを4つの波長領域(青 緑 赤および近赤外線)に分割して撮影された4枚の同一地域の写真から 簡単に合成カラー映像あるいは 合成赤外カラー映像を再現して観察することのできる装置が得られるようになってきている。つまり上記の4つの波長領域の白黒写真のうち 青 緑 赤の波長領域の3つの白黒写真から再合成カラー(reconstituted colour)映像が得られ 緑 赤および近赤外線の3つの同様な写真から 再合成フォルスカラー(reconstituted false colour)映像が得られるのである。

一方 本来のカラー写真およびフォルスカラー写真は3チャンネルの遠隔探知方式ということができる。これらを分解して 逆に青 緑 赤あるいは緑 赤 近赤外など それぞれの感光極大波長領域に対応する白黒写真を得ることもできる。

非写真映像方式による映像には 光学映像面走査映像と対物面走査映像とがある。これらは

- 1) 映像データの即時通信伝達
- 2) 広波長領域カバー
- 3) 映像データの自動処理

の目的から開発されたものということができる。光学映像面走査映像はテレビジョン方式による映像である。レンズ系で結像された光学像面を電子ビームで走査し光学像を分解して走査にしたがって逐次電気信号に変換して送信しあるいはビデオテープに記録しこれを再び映像として再現表示するものである。このテレビジョンによる送像方式によって時間によって変化する現象および対象物のリアルタイムでの監視が可能となり一定の軌道上高々度で地球の周囲をたび続ける宇宙船からの遠隔探知が可能となったのである。この方式による検知・記録できる波長領域は写真映像方式によるそれとほぼ同じである(第1図)。低速ビーム走査管赤外ビジコンを用いるとその波長領域は2~2.4 μ まで拡大されるが速度の速い航空機や宇宙船からの遠隔探知には原則的には用いられない。したがってこの方式の限界は現在のところ1.2 μ までであろう。この方式によっていくつかの波長領域の映像データを得るには複数の装置を必要とする。今年打ち上げられた地球資源技術衛星(ERTS)にはそれぞれ異なった3つの波長領域の映像を得るために3台のリターンビームビジコンカメラが搭載されている。

対物面走査映像は光・機械的走査映像あるいは単にラインスキャン映像とも呼ばれ装置は対象物面を走査する回転鏡受けられた電磁波放射エネルギーを検知素子面に集束させる光学系およびこれを可視光線に変換し映像化する表示部からなる。その代表例は赤外線映像装置である。検知素子面に集束された電磁波エネルギーは検知素子によって電気信号に変換される。映像は得られた信号を輝度変調し走査にしたがって写真フィルムビデオテープあるいはブラウン管に記録表示される。航空機あるいは宇宙船搭載用の装置ではその進行方向に平行な回転軸をもつ回転鏡によって左右の走査を行ない前後方向はその進行によってカバーされる1軸走査機構となっている。この方式では紫外線可視光線赤外線領域を通して特定の波長領域の映像データを得ることができる。対象とする波長域についてそれぞれ検知素子に差があるだけで装置の機構そのものについては根本的な差はない。

上述の特定の波長領域を対象とする走査装置のほかにも多波長帯域同時走査方式の装置がある。これは回転

走査鏡で受けられた電磁波をプリズムあるいは回折格子などの分光器で分光しそれぞれの波長領域ごとに対応する検知素子で同時に電気信号として取り出しこれをビデオテープに記録する方式である。ミシガン大学で作られているミシガンM-7走査装置では0.32 μ から14 μ まで波長領域を12に分割し12チャンネルの映像データを同時に獲得することができる。また地球資源技術衛星(ERTS)-Aでは0.5~0.6 0.6~0.7 0.7~0.8 および0.8~1.1 μ の波長領域を記録する4チャンネル同じくBでは前述の4チャンネルに加えて10.4~12.6 μ の遠赤外線領域のチャンネルを加えて5チャンネルの多波長帯域同時走査映像が得られる予定である。

受動的遠隔探知方式に含まれるものとして以上のほかに受動的マイクロ波映像がある。これは後述する0.5mmより長い人工的な電磁波を用いる能動的な方法とは異なる。すなわち観測対象物から自然に放射される0.1mm~3cmの波長領域を受動的に映像記録するものである。マイクロ波放射の特性を決定するものは対象物の化学的性質と物理的性質あるいはその条件であってとくにその放射・伝播・反射特性および温度に関係があることは間違いないところである。ただしこの場合天空・雲などからの放射が重大な影響を及ぼすものと考えられる。受動的マイクロ波方式については筆者はここに述べるだけ十分な知識を現在持っていないのでより詳細は他の機会に譲ることにする。

最後に能動的方式であるがレーダーである。レーダー(Radar)とはRadio Direction-finding And Rangingの略称でアンテナを用い電磁波(マイクロ波)の送受信を行ない対象物の距離方向などを測定する装置のことであって遠隔探知方式の1つとして非常に重要なものである。空中からの地球表面の遠隔探知方式の1つとしてとくにその偉力が高く評価されとくに資源探査や地質構造の調査に広く用いられているのがサイドルッキングレーダー(SLAR=Side Looking Airborne Radar)である。これは航空機にとりつけられたアンテナから斜下方側方に指向性をもったマイクロ波をパルスの形で発信する。その次のパルスが発信される間アンテナによって地表面からの反射が受信される。これが交互にくり返されて航空機の進行にしたがって一定の地域がカバーされるのである。地表から反射されたマイクロ波は時間と振幅との相関で得られる。これを陰極管で輝度変調し航空機の進行に同期して送られるフィルム上に記録するのである。このとき電磁波はポーラライズされるので垂直・水平

振動数 (ヘルツ)	10^{10}	10^9	10^8	10^7	10^6	10^5	10^4	10^3	10^2	10^1
波長	0.03 μ	0.3 μ	3 μ	30 μ	300 μ	3m	30m	300m	3km	30km
電磁波(E. M.R)の名称	ガンマ線	X線	紫外線	可視光線	赤外線	マイクロ波(ヒーター)	超短波	ラジオ電波	電同波	
今日 Remoto Sensingとして用いられている長波長										注: $1\text{A}^{\circ} = 10^{\circ}\text{cm}$ $1\mu = 10^{-6}\text{cm}$

第2図 電磁波の分類

ポーラリゼーションの2つのデータが得られる。装置のデザインによっては電磁波の到達する範囲を航空機の側方1kmから50kmにも広げられるので短時間に非常に広い範囲をカバーすることができる。この波長域の電磁波は雲や雨などの天候条件による影響を受けないためほとんど全天候にわたって使用することができる。人工の電磁波であるため夜間における観測にも利用でき24時間全天候型のセンサといえることができる。これは別な立場から分類すると非写真映像方式の中に含まれるものである。

以上述べた非写真映像方式によるデータは電気信号の形でとり出すことができるので即時あるいはほとんど即時に地上に通信伝達することができる。また即時にブラウン管上に表示することもできさらに磁気テープに記録し写真フィルム上にも表示することができる。写真映像方式による映像データは前にも述べたとおり紫外線の一部から可視光線を含めて近赤外線の一部までのごくせまい波長領域に限られるばかりでなくその出力は写真フィルムであってこれを回収し現像処理過程を経なければならないというやっかいな点がある。さらにそのデータを電気回路で直接処理できないという欠点もある。この点非写真映像には解像力の点で写真映像に劣る点があるがその欠点をカバーしてあまりあるものがある。

電磁波の性質

電磁波スペクトルは波長・周波数あるいは光子エネルギーにしたがって第2図のように分類されている。この分類は実験的および理論的両面からなされたものであってオングストローム以下の非常に短い波長から数100kmという長波長までを含んでいる。これら全波長領域について万能な検知素子あるいは測定装置はない。したがって図のような分類は検知・分割・発生(発信)・測定などに要する機器装置技術面などからの分類であって多分に人為的なものでありそれぞれの境界には明確な境があるわけではなく実際には互いに重複し合っている。

電磁波放射(光)は17世紀の後葉にニュートンによって“微粒子(光の微粒子説)”と考えられホイヘンスによって“波動(光の波動説)”であると考えられた。現在の知識では両方共正しく電磁波は空間を連続的に伝わる

波動でもありまた量子でもあると考えられている。

電磁波は大気圏中を伝播し地球表面に到達して土壌岩石水人工の地物植物など地球物質と互いに作用し合う。この相互作用は周波数(波長)放射強度ポーラリゼーションさらにその作用する物質の性質によって異なる。この相互作用としてごく一般には2つが考えられる。すなわち1)反射と2)透過あるいは吸収とである。反射には全反射と部分反射とがある。部分反射の場合には残りの部分は透過あるいは吸収される。固体あるいは液体中に透過した電磁波は異なった物質の境で反射されあるいはさらに下層の物質中に透過あるいは吸収される。吸収された電磁波は熱(仕事)の形で消失する。そしてそこに生じた熱は再放射されるが再放射は異なった周波数(波長)でなされる。一般にはこの再放射エネルギーは非常に微弱であって検知しにくいのが普通である。周波数の高い(波長の短い)電磁波は物質を透過しにくい。たとえば厚い植物被覆や土壌を通して下層の岩石との相互作用は高周波数の電磁波では困難である。しかしながら低周波(長波長)の電磁波では植物被覆を透過しあるいは表層の土壌を通して下層の岩石との相互作用が得られる場合がある(たとえばマイクロ波)。

電磁波放射の地球物質表面からの反射は電磁波の周波数(波長)地球表面の物質の化学組成と物理的条件によって支配されるものである。電磁波放射の全体あるいは大部分が地球物質の表面から反射されることはきわめてまれである。電磁波放射のある部分は地球表面の物質中に吸収される。この反射と吸収の比率は本質的に物質の誘電係数によって変化する。

要するに電磁波放射と地球物質との相互作用としては通常3つの型がある。すなわち1)散乱と反射2)吸収(吸収には再放射を伴う)および3)透過(下位あるいは隣接物質の境界面における反射と屈折および消失が含まれる)である。

地球資源

後節にその経緯についてくわしく述べるが アメリカ合衆国は 1975~1980年に全地球表面の反覆観測を目的とする実用の“地球資源観測衛星(EROS)”を実現させようとしている。すなわち EROS 計画である。この実験段階の“地球資源技術衛星(ERTS)”計画はすでに現実のものとなっている。さらにこれらに先行する種々の調査研究 探知装置の開発 航空機段階の先行テスト 計画の立案などは NASA の“地球資源調査(ERS=Earth Resources Survey)”計画のもとに行なわれている。ここで用いられている“地球資源”という用語の内容について理解しておく必要がある。

従来の概念では 資源とは 地下資源 農林水産資源など 天然資源だけを考えがちである。しかしながら現在では 大地 水 大気なども人類の生存に欠くことのできない資源として環境資源 (environmental resources) として広い意味での資源に加えられつつある。また 人類の活動の所産である 文化遺産 建造物 人工環境なども 文化資源 (cultural resources) と呼ばれるようにさえなっている。ここに地球資源と称せられているものの中には さらに広範囲なものが含まれている。1968年8月のウィーンの国連会議における「衛星による地球資源探査」に関するグループ討論のバックグラウンドペーパー No. 13 として提出された資料では地球資源を次のように分類している。

- ア. 人類の生存の基礎となる原料：食糧 清浄な空気および新鮮な水
- イ. 近代文化の維持に基本的な原料：燃料 鉱物および水
- ウ. よく理解し 制御することによって 人類の生活レベルを向上させる自然現象：大気現象 海洋現象 地質・地球物理学的営力 環境と人間活動との相互作用 (地理) の理解

アおよびイについては いまさら改めて説明を必要としないが ウについて若干の説明が必要であろう。ここで大気現象を1つの例としてとりあげてみよう。天候は人類がこの地球上に出現して以来 直接・間接にその生活上重大な影響を与えてきた。そしてわれわれ人類は 気まぐれともいえる天候の変化を受身に切りぬけて生活してきたのである。天候の根源である大気現象を完全に把握することができ さらにこれを自由に制御することができるか そこに生ずる利益には はかり知れないものがあることは容易に想像できるところである。自由な制御までは不可能なことであるとして 向う1週間の天気予報が全世界にわたって確実に行なわれるようになるだけでも 有形・無形のはかり知れない恩恵が期待できる。天候だけは 世界中のあらゆる人

々が等しく影響を受けるだけに その利益にはぼう大なものがある。

次に 自然の環境と人間活動との相互関係を取りあげてみよう。両者の関係の理解は 学問上地理学の方野に入る。この関係は ある場合には 人間自らの意志で制御する必要があり また変更することもできる。こういった観点から地理の理解も 1つの重要な資源の中に入れられている。

遠隔探知データの応用

各種の遠隔探知技術によって得られるデータには 実に莫大なものがある。地球表面の空中あるいは宇宙空間からの遠隔探知の場合 そのデータは 通常写真あるいはその他の映像 (画像) の形で表示される。これらは トーン カラー 大きさ 形態 (平面的および立体的) 肌理 模様あるいは配列 (パターン) の組み合わせから構成されている。このほかに 各波長域の放射エネルギー強度の定量測定が行なわれる。上述の写真あるいはその他の映像は 一般的にはそれぞれ選択記録された波長域の放射・反射 (あるいは両方の) エネルギー強度の相対的な差を映像濃淡の差におきかえて表示したものである。この放射および反射は 電磁波の周波数 地球表面の物質の化学組成と物理的条件に支配されることは前に述べたとおりである。

さきにも述べたように空中写真は もっとも初期のしかも現在もっとも広く利用されている遠隔探知である。主として可視光線領域を記録する普通の白黒写真は 地球表面およびその上の地物の幾何学的形体に関する情報獲得 すなわち地形測量に広く用いられている。地形図は 地質調査および鉱物資源探査 森林調査および開発 都市計画 道路建設など 地球表面に関するすべての科学・技術の基図として必須のものである。空中写真とその関連技術は 世界中で基図としての地形図作成の速度を増進させた点で非常に高く評価される。

これらの空中写真のもう1つの利用面として重要な分野は 写真判読技術である。この技術分野は 乾燥地帯の地質調査 (油田開発のための) において 岩質の違いの識別 断層・褶曲構造の作図に応用され 写真地質学として端を発し 現在では 森林 土壌 地理 氷雪 沿岸および海洋調査などの分野でそれぞれの判読技術として体系がたてられるにいたっている。ここ25~30年間に種々のタイプとサイズのカラーフィルムが開発されるようになった。カラーフィルムは可視光線の全波長領域を記録し とくに判読分野で威力を発揮している。

さらに これら青 緑 赤の3つの波長域とはちがって 緑 赤および近赤外線領域に感度をもつフォルスカラー (赤外カラー) フィルムの出現によって 植物の葉体からの赤外線反射を赤色の像として強調してとらえることができるようになり 高々度から 植物を他の地物と区別して記録したり また 森林 農作物の調査にその利用面がひらかれてきた。これは 最近における大気汚染の指標となる植物の活力調査にも利用されている。また空気中のちりや水蒸気あるいは水中の微細な浮游物の影響をさけて コントラストのすぐれた写真を得るために青の波長域に感度をもつ乳剤を除いた 2色カラーフィルムなども海中から海中の撮影 空中から海中の撮影を目的として市場に供給されるようになってきている。

1945年に 赤外線フィルムが出現し 空中のもやちり けむり などの影響をさけて 高々度から 画質のよい写真が得られるようになった。0.7~0.9 μ の近赤外領域の電磁波は 水の表面わずか数 cm のところで吸収されてしまうため 赤外線写真では水域が最大暗黒部として写真上に記録される。この特性を利用して 沿岸水路測量において 最低々潮位における汀線の測量に広く利用されている。

石英レンズのカメラを用いて 太陽からの近紫外線の反射を記録することによって 海面に浮遊する油膜の分布 移動の監視や 石灰岩のような特殊な岩石の分布の把握も行なわれている。

写真領域より長い波長領域の赤外線検知素子の開発によって 地球表面の火山活動に伴う熱異常や熱水作用を探知することが行なわれ また山火事の空中からの監視も可能となっている。さらに最近では 常温付近の物体からの放射赤外線 すなわち長波長(8~14 μ)赤外線を効率よく検出できる素子が入手できるようになり 地球表面の微弱な温度異常の測定ならびにその分布のマッピングが効果的に行なわれるようになってきた。その結果 内湾 河口部における海水と河川からの流入水との干渉パターンの把握 温排水の拡散パターンの監視もルーチン化されるにいたっている。この型の赤外線映像装置は 物質ごとの微少な放射率の差をみかけの温度差として記録できることから 夜間における監視手段としての利用も可能である。

以上のように 電磁波放射とその地球物質との相互作用には 波長域によって大きな差がある。すなわち 特定の波長領域を検出することによって それぞれの波長領域に応じて 地球物質および現象の化学組成および物理的条件について特定の情報が得られる。したがっ

て 可能な限り広い波長領域(紫外線から遠赤外線の一部まで)を 細かい波長領域に分割して それぞれの領域についての情報を一度に得ようとするくわだてが生まれたのである。これがミシガンM-7に代表される多波長帯域同時走査映像装置である。

マイクロ波領域の能動的探知装置であるサイドルッキングレーダー(SLAR)は 全天候 24時間にわたって利用でき かつ広域の観測にすぐれた偉力があることはすでに述べたとおりである。一年中 ほとんど晴天をみることでできない地域の観測 あるいは半年の間日の出のない極地方の流水の観測などに大きな偉力を発揮している。また 波長を選べば 植物被覆や表層の土壌をある程度透過することから 熱帯多雨表層被覆の厚い地帯の地質調査とくに地質構造のマッピングに広く利用されようとしている。

以上 遠隔探知データの応用について 詳細はそれぞれの分野の専門家に譲ることにして きわめて簡単に概説した。ここに1つ付け加えておかなければならないことは これら映像データのライブラリーの完備である。これらは 地球表面の各時点での貴重な またと得られない記録であり 長い期間における変化のパターンの把握に有効である。したがって完全に整理・保存しいつでも公共の利用に役立てられることが必要である。

宇宙空間からの遠隔探知

基本的な宇宙方式

これまでに述べてきたように 遠隔探知は 地球資源観測および探査に広く応用されており その方式には いろいろな型のもがあり また次々に新しいものが開発されつつある。その応用面における差は 探知装置の搭載機(気球 航空機 宇宙船)によっても大きな違いがある。従来 装置の搭載機としてもっとも広く使用されているのが航空機である。これは けっして今後すたれて行くものではなく もっとも手軽に随時使用できる基本的な搭載機としての使命は失われることはないであろう。宇宙技術の発達によって 現在 装置の搭載機として実用の域に達した宇宙船は 航空機上からでは不可能な超高空からの広大な地球表面の全域にわたる遠隔探知を可能とするにいたった。その例は気象衛星である。宇宙空間の地球軌道からの地球表面の遠隔探知方式として基本的には次の3つの方式が考えられる。

- ア. 低高度(150~200km) 短寿命(1~3週間)の衛星による方式
- イ. 中高度(350~1,000km) 長寿命(1年以上)の太陽同期衛星による方式(EROS方式)

ウ. 静止軌道衛星による方式

低高度 短寿命の衛星 からの遠隔探知は ジェミニやアポロなどの有人衛星を例としてあげることができる。この方式では 写真フィルム 磁気テープなどデータを直接回収できるという利点があるが 次々と新しい衛星を打ち上げなければならないため 費用の面で問題がある。また リアルタイムでデータを得られないという欠点がある。しかしながら 有人であるという点でデータの獲得およびその地理的位置付 探知装置の保守などきわめて信頼性がある。

中高度 長寿命の太陽同期衛星 からの遠隔探知は データの伝送装置を備え 即時あるいは ほとんど即時に近いデータの獲得が可能である。地球資源観測衛星 (EROS) および地球資源技術衛星 (ERTS) はこのカテゴリーに入るものである。この方式については次章に改めて述べる。

静止軌道衛星 からの地球表面の遠隔探知は 上記2つの方式とは また別な面で大きな利点がある。静止衛星は 赤道上約35,800kmの円軌道上の衛星であって 地球の自転と同調し 周期が24時間であって 地球表面からみると 静止している状態の空間位置をもっている。この種の衛星としては 通信衛星がすでに実用化され NASAの応用技術衛星 (ATS=Application Technology Satellite) がある。静止衛星からの遠隔探知には データの伝送装置を必要とすることはいうまでもない。この型の衛星からの観測は常に地球上の同一地域を対象とするものであり 赤道上に等間隔に6~8個の衛星を打ち上げられることによって 赤道に沿って全地球面を観測することが可能となる。また 隣り合う2個の衛星からの映像によって立体観測が可能となり 対象物の平面位置関係ばかりでなく 高さの測定も可能となろう。

これらの衛星からの上述のような遠隔探知のためには 探知装置としてスピン走査方式による望遠カメラが用いられる。ATS では 5インチ口径 15インチ焦点距離のスピン走査望遠カメラが搭載され その可能性が実証されている。この方式を実用化するためには まだ種々検討すべき問題が多々ある。地上分解能は立体観察によって向上するというものの 利用面によって異なる。十分 分解能の高い望遠カメラは 光学技術の面でも問題があるとともに 衛星に搭載するためにも 大きな点で制約を生ずる。この点については 目下 NASA および アメリカ合衆国地質調査所で検討が続け

られている。

EROS 方式

中高度 長寿命衛星からの遠隔探知方式として NASA およびアメリカ合衆国地質調査所で計画されている EROS と ERTS とがあり これは地球資源の反覆観測を目的としている。この方式による遠隔探知のもっともすぐれた点として次の5項目をあげることができる。

- ア. 非常に広い範囲を一度に観測できる
- イ. 世界中 地球全表面をカバーできる
- ウ. 非常に速い速度でカバーできる
- エ. 一定の周期で反覆観測が可能である
- オ. 常に一定の太陽角度で観測できる

EROS 計画の最終目標は 1970年代の後半までに 実用衛星による全地球表面の反覆観測システムを完成することであり 現在進行中の ERTS 計画はその実験段階の1つであることは前述のとおりである。このシステムに用いられる衛星と探知装置は ERTSにおいて現在テストされているものと根本的には差がないものと考えられる。これを例にとりて 中高度 長寿命の太陽同期衛星からの遠隔探知の概要について述べることにする。

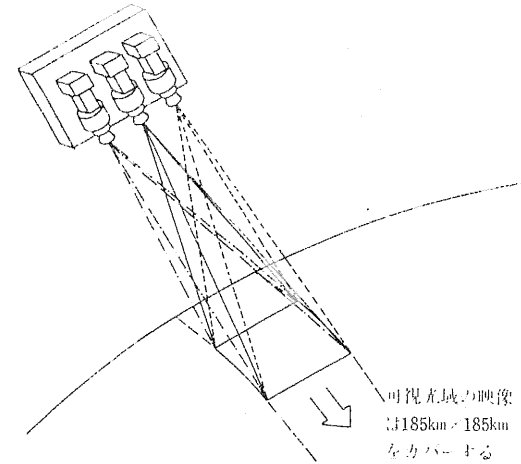
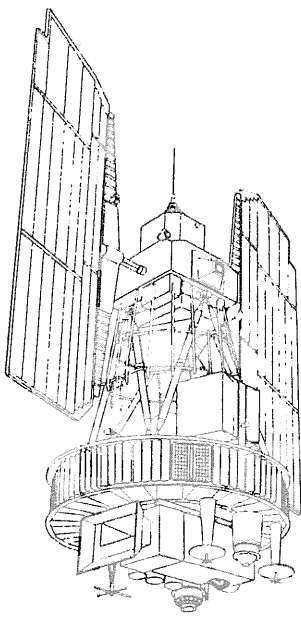
ERTS (第3図) は無人衛星であって探知装置として

- ア. 多波長帯域テレビカメラ (3台) 装置 (第4図)
- イ. 多波長帯域 (ERTS—A では4チャンネル 同一Bでは5チャンネル) 走査装置 (第5図) および
- ウ. 地上観測点からのデータ収集装置を備え

かつ これらデータの地上局への伝送機構をもっている。

この衛星の公称軌道は 高度約920km 軌道傾斜角約99° 周期約103分の完全な円軌道を取り 昇交点時間は21時30分の太陽同期衛星である。ERTSの軌道 サブポイントトラックを メルカトル世界地図に示すと第6図のとおりである。

3台のテレビカメラ (RBV) は それぞれ異なった波長領域で作動し 同じ地域についてそれぞれの波長領域の映像が得られる。その映像範囲は 約185km×185km である。多波長帯域走査装置 (MSS) のそれは 約185kmの幅であって テレビカメラと同じ地域について走査映像が得られる。地球の1自転ごとに これらの探知装置の視軸は約160kmほど西へずれ 約13%の重複をとりながら 251週 (18日) で全地球表面をカバーする (第6図)。すなわち ERTS の軌道としては準回帰軌道が採用されているのである。テレビカメラは25秒間隔で撮像し 多波長帯域走査装置は 全視野約185

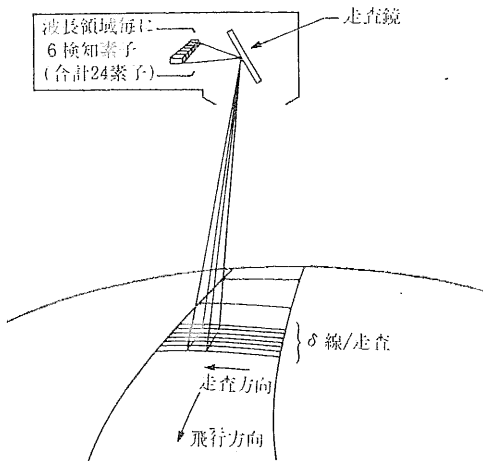


第4図 多波長帯域テレビカメラは 3台のリターンビームビデオコン(RBV)カメラからなり 同一地域を3つの波長領域で撮影する

第3図 地球資源技術衛星(ERTS)は基本的には気象衛星 Nimbus と同型である

km の幅で連続走査を行なう。軌道傾斜角は約 99° であって $180^\circ - 99^\circ = 81^\circ$ に相当する南北緯度までの範囲をもれなくカバーすることができるので ほとんど両極点付近だけを除いて全地球表面を観測できるのである。ERTS-A の探知装置は 可視光線から近赤外線領域の一部までであって 日中の観測しかできないが ERTS-B では $10.4 \sim 12.6 \mu$ の長波長赤外線放射を映像化する第5チャンネルが加えられ 昼夜にわたる観測が可能となる。

テレビカメラの1枚の映像(第8図)に記録される範囲は 約 $34,000 \text{ km}^2$ 強であって この範囲にわたって厳密な同時性をもったデータが得られる。これは わが



第5図 多波長帯域走査装置は 185kmの幅で連続走査を行なう

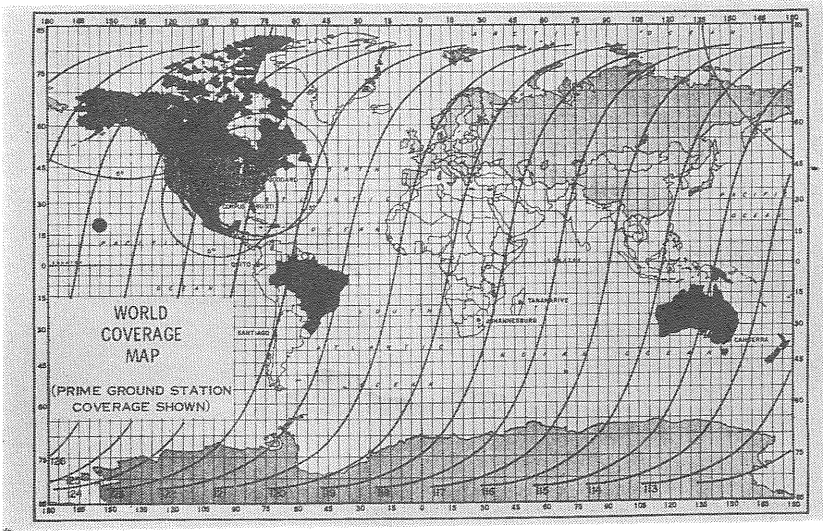
国最大の広さをもつ岩手県の面積の2倍強に相当し 広大なアメリカ合衆国をわずかに400枚の映像で記録できることになるのである。

18日周期で全地球表面を観測できることは 従来の航空機による遠隔探知では全く不可能なことである。18日という周期は対象によっては けっして十分なものではない。気象現象のような変化の速いものを対象とする場合には もっと短い周期が要求される。

これを解決するためには 衛星の数を増加することによって解決されるであろう。昇交点時間が一定の地方時(21時30分)であるということは その反対側においては星間に常に一定の地方時に北から南に向かって赤道を横ぎるということである。この結果 年間を通じてほぼ一定の太陽の照射角度(条件)のもとで 観測ができることになる。しかも この時間における太陽角度は 比較的低角度であって 地物および地形の起伏が陰影効果で強調されるという利点がある。

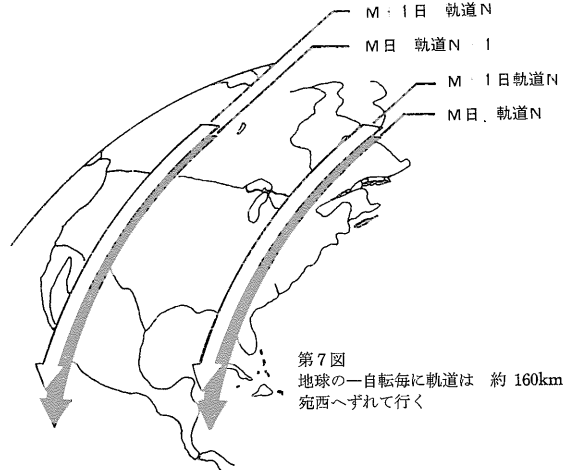
このような全地球表面を反覆観測する衛星システムはすでに1960年以来 気象衛星に実現している。そしてその映像その他のデータは リアルタイムで受信され国際的に気象観測に利用されている。ただし 大気現象のスケールは 非常に大きく 全視野 100° 以上 地上分解能 $2 \sim 15 \text{ km}$ という小縮尺 低分解能の探知装置を用いて 24時間という短い周期での反復観測の方が効果的である。人間活動とこれに直接関連のある自然のパターンの観測には 気象観測よりはるかに高い精度が必要である。ERTSのテレビカメラの全視野は 16.2° であり 地上分解能は 100 m 以下である。 16.2° というせまい視野は 地球表面の曲率また 地形的起伏に起因する映像のずれを考えに入れなくて 映像をそのまま地図とみなすことのできる範囲である。

地上観測点からのデータ収集装置は 地球表面(陸上および海上)あるいはその近く(地下 海面下あるいは空中)におかれた地震計 温度計 流量計 雨量計などの地上設置探知装置(earth based sensor)による観測データを中継し 地上局に伝送する機構である。これら

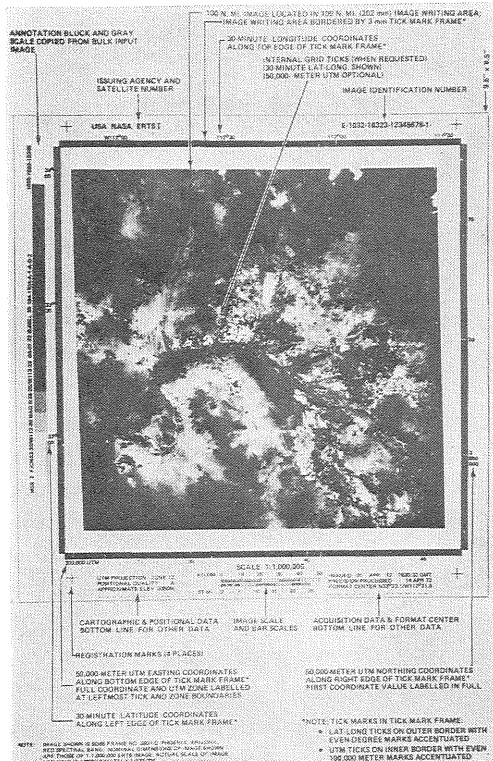


第6図
ERTS の軌道 この軌道が一日毎に西へ約 160km づつずれ (第7図) でゆき 18日 (251周) でもとの軌道に回帰する

のデータは それ自体非常に貴重なものであると同時に前述の2つの探知装置によるデータの解析の指標として重要な役割をはたすものである。これら地上設置探知装置は 大洋の真中や人跡未踏の山間僻地におくことが可能であるとしても 地上に通信施設を設置することが非常に困難であり またその維持にはばく大な費用を



第7図
地球の自転毎に軌道は 約 160km 宛西へずれて行く



第8図 ERTS の精密処理映像データには図のような形で フィルムに焼付けられる フィルムは 70mmフィルムと 25cm×25cmフィルムとがある

要する。さらに災害時には このような地上の通信施設の信頼性はきわめて低い。これらの点を考慮すると衛星を利用する上記のデータ収集 伝送方式の方がはるかに経済的であり信頼性があると考えられる。ERTS計画では 合衆国大陸部およびその周辺に1,000にのぼる観測点にデータの送信設備を設け これらの各々から12時間以内の時間間隔で それぞれの観測データを受信できるようにしようと考えている。これを国際協力によって 全世界に拡大することも将来不可能ではなからう。

10年間における国際的な歩み

遠隔探知という用語が出現したのは 1962年のミシガン大学における第1回目の“環境の遠隔探知に関するシンポジウム”においてであることについてはすでに述べたところである。このシンポジウムは 1961年1月

アメリカ合衆国政府に対する National Academy of Sciences, National Research Council および Office of Naval Research の代表者からなる委員会の勧告に端を発している。すなわち 第2次世界大戦から以降における種々の空中用の探査あるいは探知装置(sensor)の改良あるいは開発には実にめざましいものがある。

しかしながら これらの地球科学への応用については非常なおくれがみられる。そこで これらによる地球科学に関する効率のよいデータ獲得技術と そのデータの処理・解釈に関する技術の開発が急務であることが討議され その推進に関する措置の必要なことが勧告されたのである。その結果 12月になって 政府にこの勧告に沿った小委員会が生まれ さっそく活動が開始されその現実的なあらわれが 上述のシンポジウムである。第1回のシンポジウムは 政府から招集された形で行なわれ 約70人の出席であったが 第7回には世界中から千数百人の参加者を見るまでに発展した。しかも第6回(1969年)からは 国際シンポジウムとして 開催されて今日にいたっている。

遠隔探知が 今日このような国際的課題として取り上げられるようになった背景には 宇宙開発があることを忘れてはならない。

1957年10月4日 人類最初の人工衛星スプートニク1号が初めて地球軌道上をとんで全世界を異常な興奮のうずまきこんでから 米・ソ両国の国の威信をかけた宇宙開発は 1969年7月1日には アポロ11号によって3人の宇宙飛行士が月面に着陸するまでに急テンポで進められてきた。この間に多くの科学・技術衛星 軍事偵察衛星 実験衛星が打ち上げられ と同時にその波及効果として 気象 通信 測地 航行などの実用衛星が誕生し われわれもその利益を身近に享受できる段階にきたのである。

宇宙開発の目が地球から外側 月や他の天体 すなわち地球圏外に向けられつつある間にあって 徐々にではあるがこれら衛星からの観測技術(遠隔探知技術)の「われわれの住む地球表面の観測」への応用の可能性がだいに認識されるようになってきた。すなわち 1960年4月からほぼ実用段階に入った気象衛星からの観測データ(映像) NASAにおける最初の有人衛星計画であるマーキュリー計画(1958年10月~1963年5月) および2人乗衛星計画であるジェミニ計画(1964年4月~1966年11月)の過程で 宇宙船から手持カメラで地球表面を撮影した写真などによってである。とくにジェミニ計画のいくつかの衛星上からの38mm 80mm 250mmな

ど焦点距離の異なった各種のレンズを用いて撮影された70mmカラーフィルムによる数千枚にのぼる地球表面の写真はこの点で非常に高く評価されるものである。これらの写真は アメリカ合衆国地質調査所を中心にして各機関の専門家によって検討され 宇宙空間からの観測方式が 地球観測に対して 科学的にも経済的にも他の比類のない多くの利点をもっていることが確信されるにいたった。これらの検討は5か年にわたって続けられ 1966年9月に時の内務長官 S. UDALL 氏によって 地球資源観測衛星(EROS)計画が公表されるにいたったのである。

この計画の内容は

- 1) 国家資源目的の達成に対して 宇宙および遠隔探知技術がどのような分野で どのように経済的に用いられるかを明らかにし
- 2) 内務省の所管行政活動に宇宙からのデータの最も効果的な利用をはかること

を目的としたものであり その所管機関をアメリカ合衆国地質調査所とし 時の所長 W. T. PECORA 博士を責任者として任命した。合衆国地質調査所は 種々の空中探査技術の開発に すでに長い歴史と経験とをもっており また すでに進行中であった NASA の地球資源調査(ERS)計画に対し 宇宙方式の開発の面で数年来密接な協力を行なっていたのである。EROS計画の発足とともに 内務省傘下の合衆国地質調査所をはじめとする 鉱山局 土地保全局 土地改良局 国立公園局 水産局 連邦水質汚染規制局 屋外レクリエーション局 および原住民局の10機関が研究活動を開始した。この研究の結果 地球表面の広域調査に衛星からの観測がはたす役割がはっきりとし 1968年には ERTSの基本となった衛星の仕様および搭載探知装置のそれとが提示され この計画が初めて具体的な形となって 第1歩を踏み出したのである。

いっぽう 1966年の暮にNASAは National Academy of Sciences に対して “地球を対象とした応用分野における衛星について 将来予想される有効性”に関する検討を要請した。これに対して National Academy of Sciences はこの問題に関して中央審議会を発足させ 1967年から2年間にわたって13のパネルにわかれて110数人の各界からの専門家を動員して検討を行なった。1969年にその作業が完結し 報告書が出版されたが この中で衛星を利用する自然環境と資源の管理という国際的なしごとに対しては 1961年に通信衛星が全地球とい

う規模で 国際間で差別なく利用できることとされた原則を思いおこす必要があると述べられていることは 深い感銘を受ける。 他方 NASAの地球資源調査(ERS)計画では 探知装置の開発を含めて 宇宙からの地球資源観測の可能性とその応用との検討を目的として 航空機段階 しかも高々度からの遠隔探知の実験的研究が続けられると同時に これらとジェミニ アポロ衛星から得られたデータとの比較研究が推進せられ また実験ベースではあるが 実際への利用も進められてきた。 宇宙船搭載探知装置の開発・実験は 1961年に「1970年代に人類を月に送るだろう」と J. F. KENNEDY によって発足させられたアポロ計画の中に組みこまれて実施されるにいたった。 1969年 高度 240km からのアポロ9号による3つの波長領域の白黒写真とフォルスカラー写真との4枚1組 130組の写真を得た多重カメラ方式による地球表面撮影実験はその一例である。

また 1968年 人類最初の人工衛星スプートニク1号が打ち上げられてから10年を記念して 8月14日から27日にいたる2週間 オーストリアのウィーン市において「宇宙空間の探査と平和利用に関する国連会議 (United Nation's Conference on Exploration and Peaceful Uses of Outer Space)」が開かれた。 前にも述べたとおり この会議における重要なグループ討論の1つとして「衛星による地球資源探査」があつて 初めて宇宙空間からの地球資源観測が国際的な課題として クローズアップされるにいたつたのである。

以来 国連でもこの問題についての真剣な検討がなされ その結果 航空機による遠隔探知技術は 世界中で有効に資源・環境の調査に広く用いられており 次の段階として 当然地球軌道上からの応用へと進むべきであることが確信されるにいたつている。 そして1970年6月アメリカ合衆国の ERTS 計画への研究参加要請が国連ベースで行なわれるにいたつたのである。 カナダでは リモート・センシング・センターをすでに3年前に設立しており メキシコ ブラジルなどの広大な面積をもつ国家は 米国と緊密な協力体制をとって準備を進めつつある。

また オーストラリアでは 国内の関連諸省をあげてこれに参加することを 1971年12月23日に公表している。 ECARE では 域内諸国での遠隔探知技術の有効な利用を推進するために 技術研修を目的とした移動セミナーが実施されようとしている。 さらに 多額の費用を要する遠隔探知の域内諸国での実施について 基金を設けようというところまで進んでいる。

地球資源衛星 観測衛星データの応用研究

本年6月23日 NASAの公表によれば ERTS—Aおよび有人(3人乗)宇宙ステーション すなわちスカイラブ (Skylab) 計画から得られる実験データの研究に対して 合衆国内および海外から 600以上の研究テーマが提案されている。 これに参加しようとする機関は 国内28州 国外22カ国の政府機関 大学および民間企業にわたっており その対象科学・技術分野は 農業 森林 地理 人口統計 地図 地質 水文 海洋 気象 環境 生態 さらにデータ処理技術まで きわめて多岐多彩である。 これらは 100人以上の科学者からなる9つの専門部会で審査され 初めに約270の提案が除外されている。 その後の審査によって最終的には どれだけ採択されたかは不明であるが アメリカ合衆国々内からのもの約40 国外からのもの20内外ではなからうかと思われる。 日本からは 「環境の変化パターンの研究」と 「中規模気象現象 冬冬季節風 雲および積雪地域の研究」とが採択されている。

アメリカ合衆国国内からの 約40の研究の内容について Geotimes の1972年3月号に 合衆国地質調査所の EROS 計画の担当スタッフが解説を加えている。 この記事は われわれが将来 地球資源観測衛星のデータの利用 あるいは次の ERTS—Bのデータの応用研究への参加をする場合の参考となるものと考えられる。 以下その要点を簡単に同記事にしたがって述べてみよう。

この40の研究は 大きくみて 次の5つのカテゴリーに分けることができる。

- ア. 地図への応用と作図上必要な要件
- イ. 地質・鉱物および土地資源
- ウ. 水文および水資源
- エ. 海洋資源
- オ. 地理 人間およびその文化資源

地図への応用と作図上の要件

合衆国地質調査所は リターン ビーム ビデオン (RBV) カメラによる映像データの地図作成への応用について 次の6つの実験を提案している。

実験的写真地図

NASAでは ERTSの映像データを大量処理データと精密処理データの2つに分けて処理する予定である。 このうち精密処理された映像データは 地球上の基準点によって 傾きや縮尺のコントロールが行なわれるものであつて 事実上地図と同じような性質のものとなる。 これをさらに 標準地図投影(たとえば万国共通の縦メ

ルカトール投影)に変換し 経緯度座標を入れる実験である。写真地図の成果品としては 縮尺1:1,000,000が考えられているが 実験的には種々の縮尺のものがテストされ 各方面に検討のため配られることになっている。すなわち1:250,000 1:500,000 1:5,000,000の縮尺の写真地図である。

国外の写真地図

この実験でも 国内のもの同様基本的には 1:1,000,000 縮尺のものが考えられている。このために 国土の条件のそれぞれ異なった約10カ国が選ばれ それぞれの国が写真地図作成に必要な地上基準点について資料を提出することになっている。

極地方の地図作成

ERTSの軌道傾斜角は99°であるという制約上 両極において 南北緯度82°以上の地域の映像は得られない。しかしながら これだけでも 両極地方の未踏のまま残されている地域のかなりの部分をカバーできる。この両極地方の地図作成実験には 次のような計画も含まれている。

1. 平面図のうえに氷河 クレバス 氷河の流れの方向などを図化
2. ロス フィルヒナー ロン氷棚の氷状の作図
3. 南極大陸未測量地域の平面図 写真地図の編集
4. 1:10,000,000 全世界写真地図の編集
5. 海氷図(小縮尺)編集および時間的変化記録
6. 氷河の変化に関する情報把握
7. 高緯度地方の地図作成

地図の改訂

これは 1:250,000~1:1,000,000標準地図改訂へのRBV映像の応用研究である。その第1段階の作業として計画されているのは RBV映像に記録された地物の同定と分類 さらに地図に表現されている地物との対比である。このために 合衆国内の条件の異なっていくつかの地域がモデル地域として選ばれている。たとえば 北西部 カリフォルニア海岸 東部海岸などである。次の段階として 反覆カバーデータから 地図の改訂が可能か否かを検討することになっている。

主題地図(テーマ地図)

アメリカ合衆国地質調査所は このため RBVデータの解析システムを開発している。ERTSデータからは 水雪 植物葉体からの反射赤外線 人間の集団的作用などが 主題図を目的として抽出される課題になっている。そして可能な限り 各テーマ毎に平面図に図解表

示を行ない かつデータの定量値と時間的変化の表示を行なうことにしている。

ERTSデータの利用方法および利用技術それ自身が提案された研究の目的でもある。したがって 成果としては各種の主題図はもちろんのこと 主題図のデータ解析のための基礎となる各種の地図 さらに各種の数値化されたデータが生まれるものと考えられる。

軌道および高度データ

この研究は 地上基準点なしに 天文データだけでどこまで映像データの正確な偏わり修正ができるかということを目的としている。これによって 衛星の位置および高度データの地図作成への利用方式が開発されるとともに より正確な探知装置の位置とその高度の決定が可能となろう。

地質 鉱物および土地資源

この分野への応用研究は非常に大きなウエイトを占めている。土地保全局は土地保全事業の進捗状況の把握ひいてはその事業の進捗によっておこる環境の変化あるいは地方経済におよぼす影響を反覆観測データによって把握できるか否かを検討しようとしている。土地管理局から提案された研究は 牧畜地帯の牧草の質と量の予測すなわち放牧可能頭数の予測を目的としている。

合衆国地質調査所は 前述の地図への応用とともにこの分野で非常に多数の研究計画をたてている。すなわち アラスカの永久凍土の分布および土地災害調査への応用 サウジ アラビアおよび西パキスタンの地質図編集への多波長帯域映像の応用研究 アフリカ・アジア・オーストラリアの砂漠地域の砂漠砂の 起源・移動・砂漠地形に関する応用研究などがある。また 地上の観測装置とERTSとを結んで 火山活動に関する温泉・噴気現象の監視 地震およびその結果生ずる変動の監視が重要な研究項目として承認されている。

以上のほか 映像データの自動判読による土壌 岩石の同定と地質図作成技術の研究が計画されている。この対象として コロラド高原の一部であるイエローストン国立公園 アリゾナの山岳および盆地地域が考えられており 土壌図作成 1890年以降のアリゾナの砂漠地帯の侵食の研究 大平原の風成層被覆下の氷河作用の研究などが地質学の立場から興味ある問題としてとりあげられている。

水文および水資源

水資源作業グループは 多波長帯域映像の地表面における水および水に関連する現象の探知および同定への応

用に関する実験を提案している。ここでは地表面の水の水質の測定に関して情報が得られるだろうとしている。ERTSの映像データの解像力の点から対象としては大きな湖水 貯水ダム 内湾 入江 水文学的条件の指標となる土壌中の水分の分布および植物被覆の分布が選ばれる。水文学的条件の変化は季節的な要素によって支配されることから18日周期で反覆して得られる映像データの効果に大きな期待がもたれている。

水文に関する実験には 実に広い範囲が関連をもっており 広く横の連絡 協力が考えられている。前述の土地保全局の土地保全事業の進捗に伴う環境の変化の検討中で水理の変化も重要な問題として考えられている。水文地図の作成への応用 地上の水質 流量の測定装置からのデータを ERTS でリレーしフィラデルフィアの Current Record Center へ伝送 アラスカのパイプライン敷設に伴う環境変化と水文上の影響の調査へのERTS映像データおよび地上収集データの応用をはじめとして他分野と協同あるいは総合研究が目立っている。

海洋資源

海洋に関しては その対象が大きいだけに 宇宙空間からの小縮尺の広い範囲を含むデータが有効である。ERTSデータの応用研究に関して ハワイ島を含めて北太平洋北東部 テキサス湾沿岸および北部アラスカなどが対象地としてとりあげられている。

北太平洋北東部では 沿岸のとくに浅海域の水質と海水の循環を明らかにして沿岸の環境整備に利用しようとしている。とくに広範囲を一度に記録する ERTS の映像データは 水塊の境目のマッピングに役立つものと考えられている。また水によって運ばれる物質の発生源と その海中への拡散パターンが明らかにでき 懸濁堆積物の沿岸における移動を把握するとともに 沿岸作用および海岸地形の変せんについて 多くの情報が得られるものと期待されている。

テキサス湾沿岸の研究でも ほぼ同様のことが行なわれようとしているが ここでは浅海域の海底地形の作図への応用の可能性が検討されることになっている。

アラスカ北部の海の環境については ほとんどデータがない。ここでの課題は 大陸棚内側の運搬作用およびそれに伴う堆積作用 ならびに海水と海岸地形などであって 宇宙空間からの映像データが水塊および海水の分布と移動 凍結—解氷の関係 堆積物の流入など きわめて多様な情報を提供してくれるであろう。

地理 人間およびその文化資源
1971年に“アメリカ合衆国国土地図帳”が出版された

のであるが その700以上の主題図編集の過程で 従来の方で集められたデータは 精度 内容が場所によって非常にちがうばかりでなく データの新旧に大きな幅があることが明らかになった。そこで航空機・衛星を利用して 全国土ベースで 種々の情報を収集し処理しコンピュータに入れ 要求に応じて 地図の形に表示できるようにしておく必要があるということが 深刻に考えられるにいたった。これに対して 合衆国地質調査所内に“地理応用計画”が樹立されたのである。そしてこれは後に 人間指向計画への遠隔探知の応用をも含む“人間文化資源作業グループ”の設立にまで発展した。この作業グループの研究活動は 国土 地域 都市規模での土地利用および環境研究に向けられている。実際の仕事としては 衛星 航空機および従来の方式による収集データを総合して

- 1) 土地利用および環境条件に関する主題図
- 2) 地表の動的変化の作図
- 3) 環境動向の同定および災害に対する救援活動の促進

という一連の活動を実施しようとするものである。

この作業グループはすでに気象衛星 アポロおよびジェミニ衛星の映像および写真データに 航空機による遠隔探知データをはじめとしてあらゆるデータを加えて 総合的な土地条件図 土地利用図の作図 その他関連する研究を行なってきた実績があり また活発な活動を続けている。

ERTS—A データの利用に向けて アポロからの写真による土地利用図作成の先駆的研究を行っており また 中部大西洋地域生態学試験地では 約30,000km²の地域を対象として多分野にまたがる総合研究を実施している。

これらは 広域にわたる各機関が参加し 衛星 高々度航空機 あるいは従来ルーチン化されているあらゆる方式によるあらゆるデータを総合して 環境条件との関連において 土地利用に関する情報分析のシステムを作ることを計画しているものである。

1970年の国勢調査のときには 20以上の都市の上空を多重探知方式で飛行した市勢調査計画がある。この結果は地質調査所の“都市および地域的变化地図帳”の作成に使うために コンピューターに入れられつつある。

この計画が遂行されることによって 内務省の行政機能に大きな効果を及ぼすものと考えられる。内務省の使命は 国家資源の開発 国土の種々の地図作成・管理・保全にある。このような使命を完遂するためには 国家資源と国土の状態について 完全かつ最新の情報が

必要である。ERTS計画の進展は資源の需要と国土開発が急速に進みつつある今日きわめて重要である。宇宙からの遠隔探知によって得られるデータは広域をカバーししかもタイムリーなものでありこれらの情報システムには大きな期待がかけられている。

もし上述のデータがわれわれが信じているとおりの有効なものであるとすると科学技術者は資源および国土の利用限界を決定するためにこれらを有効に使用するものと考えられる。さらに法制・行政部門では資源および土地利用に関する政策決定にこれらの情報を利用し計画決定を行なうようになるであろう。

以上が Geotimes に寄せられた EROS 計画のスタッフの見解の概要である。

現状の展望

遠隔探知は急速に発展しつつある技術である。とくにここ10年間における技術の進歩には著しいものがある。新しい装置が次々と生まれそれらによるデータおよびその分析の成果は日に日に積みあげられ関連文献もものすごい勢いでわれわれの手もとに流入しつつある。

空中写真は可視光線領域の電磁波を利用する遠隔探知技術でありもっとも長い歴史をもっている。現在では通常の白黒写真に加えて赤外カラー赤外カラー2色カラーなど各種のしかも各タイプの感光材料が市場に供給され対象に応じていろいろな応用面が拡大され逆に必要に応じて新しい型の感光材料も日進月歩である。写真領域の電磁波の映像データはテレビ方式によって遠隔地への即時伝送が可能となり時間によって変化する現象の監視が可能となった。赤外線映像装置に用いられた対物面走査方式による映像獲得技術はさらにその適用範囲を拡大し紫外線領域から遠赤外線領域までの電磁波の放射パターンを多くのせまい波長帯に分割して映像化することを可能とした。さらにこれらの方式とは全く異なるレーダー映像も遠隔探知の強力な一手段として高く評価されつつある。また前にはまったくふれなかったが空中赤外線分光計による岩石の種類同定とその分布の作図も可能となりそうなところまできている。

探知装置の運搬あるいは搭載機として航空機に加えて人工衛星あるいは宇宙船が出現し全地球表面規模での遠隔探知も可能となった。従来昼間だけに限られていた遠隔探知も赤外線装置の出現によって夜間における実施も可能となりレーダーによって全天候24時間にわたる観測も不可能ではなくなっている。こ

れらのおびただしいデータを有効に利用するためデータ処理の自動化も急テンポで進歩しつつある。

これらは科学技術が人類の福祉の増進と生存に対する必要性から開発されてきたものであるという従来の常識に反して二大強国の国威発揚という宇宙開発競走から発展したものであると断言してもさしつかえなくらいである。現在われわれのおかれている立場はものすごい量の材料を与えられつつあるがこれらを用いて何をすべきかとまどっている状態である。いろいろな近代的な探知装置その他のデータ処理装置関連機器についても同様である。とくにわが国ではERTSデータの国際協同研究への参加呼びかけを機にして一時にどっとこれらが目前に現われたといっても過言ではない。

すでにわが国では空中写真による遠隔探知とくに陸地の幾何学的形態の情報獲得手段である空中写真測量の分野では世界の先進国にけってひけをとらないところまで進んでいる。さらに写真映像を利用して対象物あるいは現象を評価するという遠隔探知技術すなわち写真判読技術についてもある程度の基礎が確立されているともいえる。しかしながら写真映像方式以外の遠隔探知については残念ながら後進国といってもよい状態である。とはいってもここ1~2年間における各方面とくに地球科学(広義での)の分野の人々の努力によって新しい遠隔探知の地球資源調査への応用の可能性についての理解は急速に高まりつつある。すなわち利用側に立つ何人かの勇敢な先覚者による全体的なレビューを通じてである。これは一部を除いて現在のところ“遠隔探知とは何か?”という段階にとどまってはいるがこれに続いて装置そのもの(ハード・ウェア)の関係分野からのアプローチもいろいろな機会を通じて行なわれるようになりつつあることは喜ばしい。こうして逐次両者の間の広い知識のギャップが埋められてゆくことが必要である。またごく最近では将来予想されるべく大な映像データの処理についても真剣な考慮が払われるようになってきている。

宇宙船からの遠隔探知の地球資源調査への応用に関する興味も逐次増大しつつあることはもちろんである。遠隔探知技術が非常に広い科学・技術分野を含むとともに対象分野もまた多岐にわたっていることから学問・技術の境界をこえた協力なくしてはその有効な利用は不可能であるということわれわれは強く認識する必要がある。

ここでとくに強調しておきたいことは 宇宙空間からの大きな視野での反覆観測は 全地球表面という規模での遠隔探知として それなりに他の比類のないものであるが いっぽうわが国の国土の状況だけを考えると 航空機段階の遠隔探知に より大きな効果が期待されることである。 ぜんたいとして 宇宙空間からの遠隔探知によるデータより はるかに高い分解能のデータが必要である。 現在 電磁波のほとんど全波長領域が知識のくさりでつなげられ ほとんどあらゆる波長領域にわたる遠隔探知が可能となっている。 また 広義の遠隔探知である空中地球物理探査においてもいろいろな方式がある。 これらは それぞれ地球資源の探査にかぎらない可能性をもっている反面 非常に大きな費用を要するものである。 個々の機関が それぞれの航空機に それぞれの目的に応じた単一の探知装置だけを設置し きわめて非能率的な作業を競走で実施していることに対して再考の必要があろう。 関係機関が協力して共同の航空機をもち 多波長帯域(マルチ・スペクトル)の遠隔探知方式はもちろんのこと 多重方式 あるいは多目的(マルチ・システムあるいはマルチ・パーパス)の遠隔探知方式を考える必要があるのではなからうか? 現状は 航空測量関係の機関が それぞれ航空カメラを装備した航空機を所有し 写真映像方式の遠隔探知を実施しており 鉱山 地質関係の機関が磁力計を装備した航空機で 空中磁気探査だけを実施しているのが実情である。

ここに次のような例があることを付記しておく。 すなわち グラマン航空機工業株式会社では ガルフストリーム機に ASQ-10 フラックスゲート磁力計 バリンジャー インプット エアボーン EM システム ガンマ線分光計 SLAR 赤外線映像装置 航空測量用カメラ(RC-8)を搭載し 空中写真測量 鉱床および石油調査 生態調査 森林調査ならびにその火災探知など未開発地域の総合調査への進出を企図しておりすでにその一部は実施にうつされている。

これまで述べてきたように 遠隔探知は 地球科学 地球資源探査に対して あらゆる分野に応用できる技術である。 しかも それぞれ異なった方式によるデータは それぞれ非常に価値のある情報源である。 しかしながら これらがすべてについて万能ではない。 したがって それぞれのデータから 各分野に必要な情報の抽出は 直面している問題をはっきり認識した上での それぞれの分野における地道な研究によって はじめて可能となるのである。

これを達成するには 対象地球科学分野についての深い知識と経験とを背景にもつ遠隔探知の専門家を必要とすることはいうまでもない。 アメリカ合衆国においては EROS計画が公表された1966年 すでにいくつかの大学で 遠隔探知コースが開設されている。 すなわちスタンフォード(地質) コロラド鉱山(地質) ネバダ(地質・地球物理) カンサス(地理) カリフォルニア(農林) パーデュ(農学) コロラド州立(生態)などの大学(対象分野)である。 これらとはまったく内容を異にするものとして ミシガン大学(工学・物理)がある。 1968年8月 この大学の科学工学研究所のウイロウラン研究室によって設立された“遠隔探知情報分析センター(Center for Remote Sensing Information and Analysis)”は 遠隔探知に関するあらゆる面—探知装置工学 データ処理 応用開発など—での研究活動を行なうとともに 実質的に国際的なセンターとしての役割をはたしつつある。 また 大学の学部をこえて全体を対象とした遠隔探知に関する教育・訓練をもその重要な業務の一つとしている。 EROSが実現すると これだけのデータの分析だけで 各分野の専門家をあわせて700名の科学者が必要とされており 早くからこのような対策がとられているのである。

あ と が き

1969年6月2日 NASA によって公表された地球資源技術衛星からの観測データの地球資源の反覆観測への応用に関する国際的協同研究が 国連ベースで加盟各国へ要請され これを機にして わが国では遠隔探知が各方面で大きな話題となりつつある。 遠隔探知ということばが出現したこと自体 ここ10年間のことであり これに対する理解はまだ十分に滲透していない。 このたび地質ニュースのこの特集号にということでのこの問題に関する記事を依頼された。 個々の問題については それぞれの専門の研究者の報告・論文がある。 ここでは総論の形でその全ぼうを述べることにした。

これによって遠隔探知とくに宇宙空間からのそれについての概要を理解していただくことができればまことに幸いである。