

〈研究ノート〉

広域環境調査についてのリモートセンシングの適用

水 無 瀬 綱 一

〔要旨〕

自然界に存在する物体は、それぞれ個有のスペクトルを持つ電磁波を反射する性質を有して居る。此の電磁波を効果的に把握出来るならば、我々は対象物体に対して、より良い情報が得られる。つまり僅かな、狭い帯域しかもたない可視光線で物体を識別するよりもはるかに明晰に識別出来るのである。この技術は赤外線カラー写真解析による方式はもとより、数値解析可能な非映像走査方式など飛躍的な発展を見せつつあり広域環境調査に極めて有効な技術である為に次第に注目される様になって来た。つまり、色々の現象に対して空間を超えて、広域的同時に認識が得られる方法として、従来のどんな技術を駆使しても追いつかぬ程の技術を秘めて居ると思われるのである。このレポートは電源立地の地点選定などに必要な広域環境調査に不可欠な技術としてのリモートセンシングの概要と現状を調査したものであり、又 ERTS 衛星写真よりの若干の考察を行ったものである。

1. はしがき
2. リモートセンシングの定義
3. 電磁波について
4. リモートセンシング方式の分類
5. 写真映像方式による物体の識別について
6. 非写真映像方式による物体の識別について
7. リモートセンシングの現状
8. まとめ

1. はしがき

公害問題がきびしさを増すとともに火力、原子力発電所の建設が思うように進まず、このままの状態では供給予備力はゼロとなり、たとえ燃料が確保出来たとしても電力使用の制限をせざるを得ない事となって、我々の日常生活は勿論、産業活動にも悪影響を及ぼす事となるであろう。

電源立地について、このように地域住民が反発する原因は色々考えられるが主として次のような問題が考えられる。

火力発電所 1. 大気汚染問題

2. 温排水の問題
 3. 補償交渉
 4. 公害防止協定の締結
 5. その他行政不信、企業不信など
- 原子力発電所
1. 安全性
 2. 温排水の問題
 3. 補償交渉
 4. その他行政、不信企業不信など

等々であるが、住民は公害に対しての技術的解決を強く望んでおり、又不充分な処置に対しての不信感も中々拭い難いものがあるのである。

かかる現状から、発電所建設と引きかえに地元になんらかの恩恵を与えて、例えば緑地帯、道路、港湾、プール、学校などを建設することで電源の建設をし易くすることを目下の頼みとしておるが、しかし電源立地の持つ性格や、それが当面しておる困難性の実態からすれば、何と言っても企業自身の謙虚な態度が大切であり、とにかく電源を立地して環境にどんな影響を与えるのか、又与えないのか、影響を与えるとすればどの程度なのか、そしてそれを解決するめどがあるのか、どうかを明確に科学的に立証した上で、住民との真剣でねばり強い対話が必要であろう。その為に電源によると思われる環境汚染の実状を把握し、その解決策を早急に計画されねばならない。環境汚染は広域的、総合的、同時的にとらえる必要があるにもかかわらず測定は従来、そのごく一部を地上で測定する場合が多い。地上の点的測定では十分に全域をカバーする事は不可能である。この解決の為の有力な手段としてリモートセンシングの技術が注目されるようになったのである。

この方法は既存の方法技術をどんなに広範囲に能率的に運用しても追いつかぬ所まで発達する可能性を秘めて居る。以下、広域環境汚染の調査について有力な手段としてのリモートセンシング技術について調査した概要を記す。

猶、ここで環境汚染の概念規定についておことわりしておく。環境汚染については現在、各人、各様の概念規定によって議論されておる。国連経済社会理事会（1965年）にて、きめられた定義によると「直接的または間接的に人の活動の結果として環境の組成または状態が変化し、そのために自然状態において環境が適合したであろうところの機能と目的の一部または全部にとって適合性が減少するとき、環境は汚染

広域環境調査についてのリモートセンシングの適用されておる」と云い、一方、我が国の公害対策基本法に云う公害とはその種類を、大気汚染、水質汚濁、土壌汚染、騒音、振動、地盤沈下、悪臭の7つに限定し、そして「人の健康、又は生活環境に係る被害」が発生した場合に「公害」と云う定義の仕方をしておる。いま環境汚染の調査をするにあたっては、一応前者の態度をとる事にした。

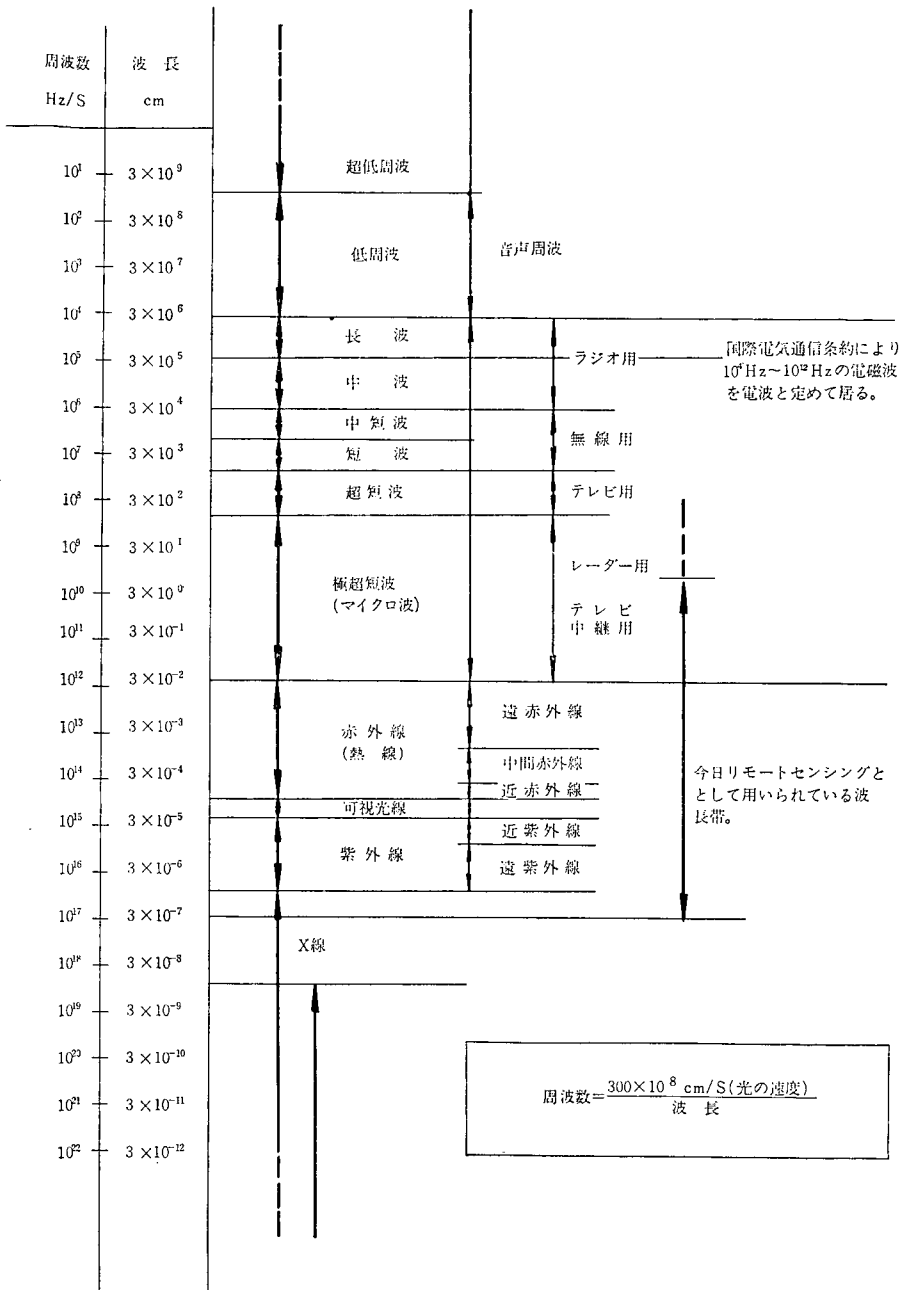
2. リモートセンシングの定義

リモートセンシングとは“何らかの特性を測定しようとする対象物に直接ふれる事なく、又は接近する事なくその電磁波放射或いは反射エネルギー（又は両方）を検知する事によって、その対象物を探知し、それに関する情報を獲得する方法”と云われている。

これは広い意味では、従来の地球物理探査とかレーダーによる探知方式、或は超音波による水中探知機、測深機なども皆、リモートセンシングの一つと見て良いであろう。

今回調査したのは、狭義のリモートセンシングに限定した。つまり、紫外線からマイクロ波領域を用いた探査技術とその応用についてである。

現在の環境問題は局所的な問題ではなくなった。発電所にしても益々大規模になってその影響する範囲は非常に広くなり、影響調査にしても広域調査が必要となってきた。広域調査は従来の技術では中々困難であったが今後はリモートセンシング技術の進歩に大きな期待を寄せて良いと思われる。しかも、この技術は、全地球的規模迄にも拡大可能であり、実際に現在、宇宙衛星から、情報が送られ解析されつつあるのである。

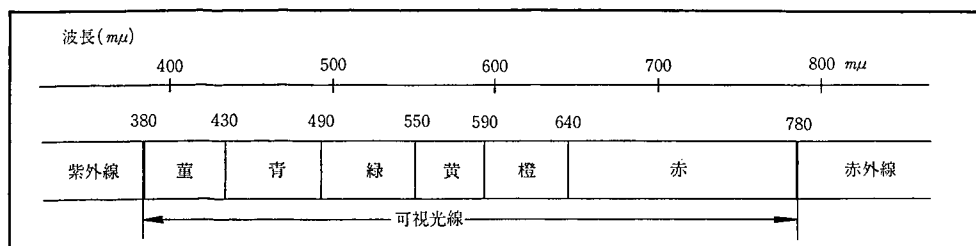


第1図 電磁波スペクトル

3. 電磁波について

電磁波とは真空又は物質中を互に直交した電波と磁場を有し一定の速度で伝搬する電氣的横

波である。1864年マクスウェルはファラデーが実験で求めた電気力線，磁気力線の概念をもとに電磁気の諸現象を数学的にまとめ電磁波の存在を理論的に示した。この電波と磁波は独立で



第2図 可視光線波長 (可視光線の限界ならびに色の境界は人の眼によって異なる。ここには大略の値を示す。)

は存在せず、互に垂直でその強さは等しい。速度は毎秒 3×10^{10} cm で光速度に等しく、光と同様に直進、反射、屈折、干渉、回折、かたより、などの性質を示す。

第1図に示す様に電磁波スペクトルは 1 \AA 以下の非常に短い波長から数 100 km という波長迄を含んでおり、それぞれの境界に明確な境があるわけではなく、それぞれの名称の帯域は互に重複し合っておりである。また第2図に示す通り、我々の肉眼は、光のスペクトルのうち、可視光線 (380~780 μm) の電磁波を感じて居るがこのこの帯域全部の電磁波の代りに物体の色を青 (474 μm)、緑 (526 μm)、赤 (677 μm)、三原色の配合として見る事が出来る。(\AA : オングストローム 10^{-8} cm, μ : ミクロン 10^{-4} cm)

地上の物体は太陽を源とする超低周波から γ 線迄の多くの電磁波を受け、そしてその電磁波を反射したり、吸収したり、透過したり、して居るのである。この場合土壌、岩石、水、植物など種々の物質はそれぞれ特有の周波数の電磁波を反射しており、その電磁波によってそれぞれの物体を識別する事が可能である。もしも、人間が何等かの手段で可視光線以外の電磁波を記録する事が出来るならば、物体を認識する上に於いて我々は、はるかに多くの情報を得る事となる。この情報を記録する一つの方法として今

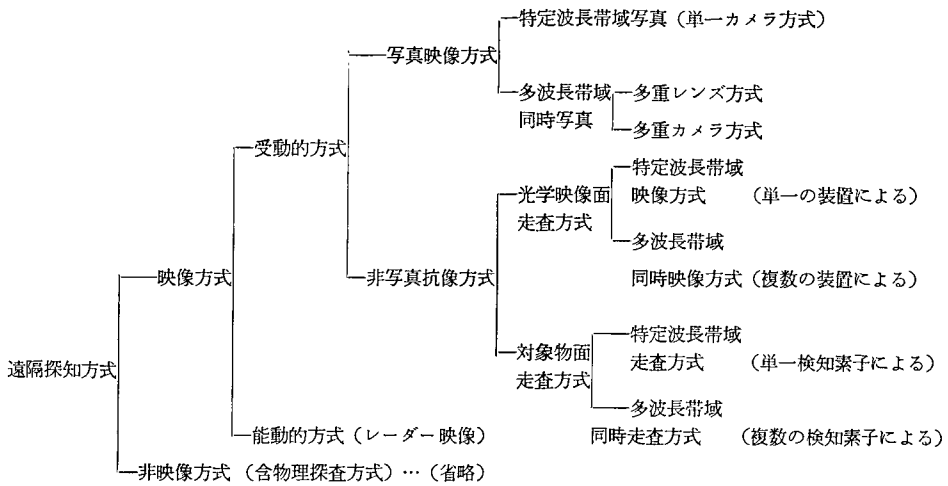
日、可視光線よりも波長の長い赤外帯域を利用した赤外カラー映像方式、或は多波長帯域同時走査方式などによるリモートセンシングの技術が開発され、その応用範囲を広げつつあるのである。

4. リモートセンシング方式の分類

リモートセンシング方式の分類としては色々考えられるが次に松野氏 (地質調査所) による分類を示す。

映像方式とは対象物からの電磁波エネルギー強度分布のパターンを目で見える映像で表示する方法であり、非映像方式は連続的あるいは断続的に航跡に沿って放射・反射エネルギーを測定する方式である。また、物体からの電磁波をそのまま受けるか、或はマイクロ波を発信してその反射の電磁波を受信するかによって受動的方式と能動的方式とに分けられる。受動的方式は写真映像方式と非写真映像方式に分けられる。写真映像方式はフィルムとフィルターの選択で特定波長帯域の写真をとる方法と複数のレンズか又は複数のカメラによって同一物体の多波長帯域をとる方法がある。

多重レンズ方式はフィルムの感光特性上せいぜい紫外線の一部から近赤外線領域迄が主であるが多重カメラ方式では目的に応じて色々の感光特性のフィルムを使用出来るのでカラー、フ



(地質調査所 松野氏による分類)

オルスカラーなどそれぞれの目的に応じた組合せ写真の作成が可能である。非写真映像方式には光学映像面走査方式と対象物面走査方式とがあり、これらは映像伝送や映像データの自動処理の為に考えられたものであり、この開発によって衛星からのリモートセンシングが可能となったのである。光学映像面走査方式とは TV 方式による映像であり、昨年上げられた ER TS-A には 3 つの波長領域の映像を得る為の 3 台の RBV (Return Beam Vidicon) がつけられた。(上げ後に故障)

対象物面走査方式とは直接対象物面を走査してそれを探知し、電気信号に変換する方式である。多波長帯の場合は分光器によりそれぞれの波長領域毎に検知しテープなどに記録される。

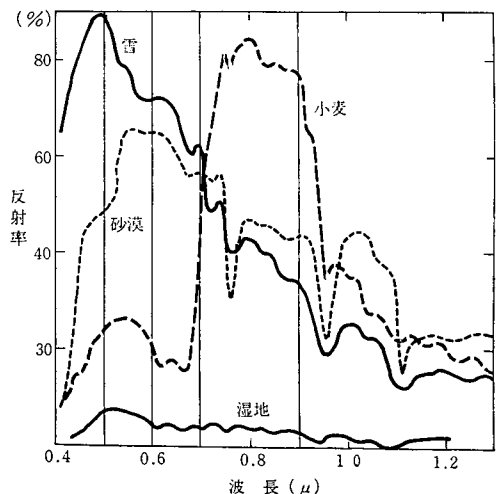
又、能動方式とはレーダー方式であり、資源探査に多く用いられておる。

5. 写真映像方式による 物体の識別について

周波数帯域を異にする写真映像によって解析する方法、即ちマルチスペクトル写真による解析方法についての詳細は他の文献にゆづるとし

て、今その概要のみを記す。

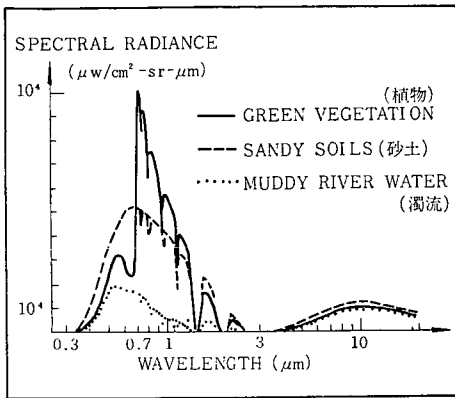
我々の眼は通常 0.4~0.7 μm のいわゆる可視光線帯域内の反射光を認識して居るにすぎない。我々の眼は残念ながら他の帯域の反射光は認識出来ないのである。しかし、すべての物体は色々の周波数帯域毎にそれぞれ特有の反射特性を有して居り、この反射特性を知る事によってその物体が何であるのかを識別出来るのである。



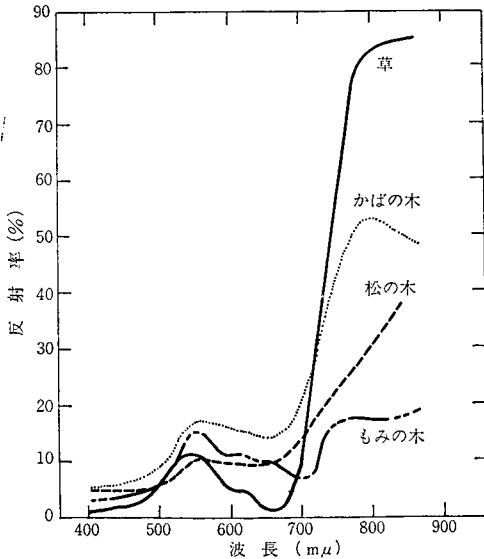
第 3 図 各種物質の反射率 (土木学会誌)

第 3 図にその一例を示す。即ち 0.7 μm 以下の

波長（可視光線内）での電磁波の反射率は〈雪—砂漠—小麦〉の順に低くなって居るが赤外領域になると〈小麦—砂漠—雪〉の順となり、丁度順序が逆になる。つまり波長 0.8μ 附近の赤外バンドの写真映像は緑色植物がよく出る反面、 0.5μ 附近のバンドの映像では雪や水が非常によく映る。第4図は農地の一例である。この様に宇宙衛星や航空機その他、気球等を利用した高所からの多チャンネル映像の組合せで物



第4図 代表的な農業シーンのスペクトル放射

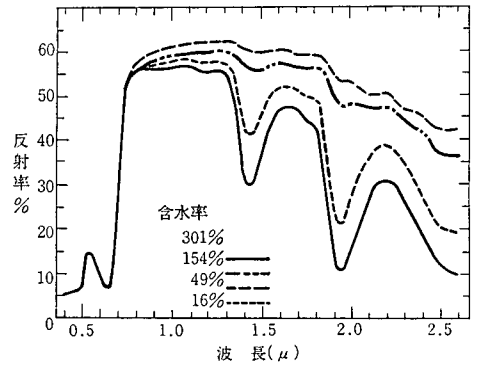


第5図 植物の種類による分光反射率曲線 (KODAK 資料より)

広域環境調査についてのリモートセンシングの適用体の識別をはじめとして色々の情報をつかむ事が出来る。次に植物観測の場合の応用例について述べよう。

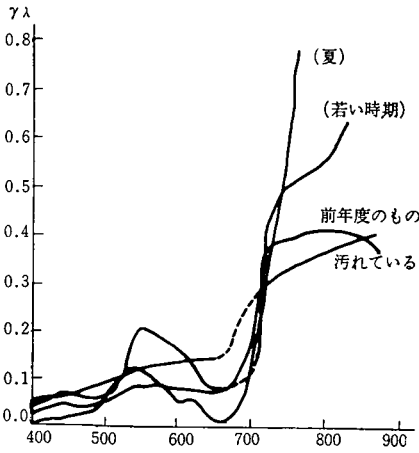
第5図に示すのは植物の種類による反射率の差異である。緑色帯域 ($550\text{m}\mu$) では、どの植物でも同じ様に反射率が若干高い。植物の葉が緑色に見えるのは、この為である。赤外部分になると反射率の差異は大きくなり、これを利用して種類の分別を行なう事が出来る。つまり可視光線波長帯ばかりよりも赤外領域を加えた場合の方がより明確に植物の識別が可能となるのである。

次に植物の活性程度の識別については第6図に示す通りである。



第6図 含水率の低下による反射率の変化 (丸安氏)

通常植物の電磁波反射は 0.4μ から始まり 0.8μ から 1μ で最大となり、次第に $2.0\sim 3.0\mu$ にかけて減少する。そして特徴的な事は 0.7μ , 1.4μ , 1.8μ 附近の3ヶ所で大きな吸収があり反射率の減少が見られる。これは植物体内の水分によるものであって含水率が低下するところの吸収が見られなくなる。この様に反射率調査によって植物の活力の程度が分るのである。又、同様に第7図に示す様に同一種類の植物でもその反射率特性は一定でなく、その成長に応じ



第7図 葉緑素を含む物体草のスペクトル反射 (D. S. Ross)

て、或は大気汚染の被害などによって変化が生じてくる。そして、それらは肉眼や一般カラー写真よりもはるかに識別し易いのである。かかる事から植物資源調査に赤外カラーフィルムやフォルスカラーの応用実用化が図られて居る。調査項目としては

1. 植物分布調査：大気汚染などの被害度の指標
2. 生産樹木の種類の判別：フィルターを用いて特定の樹種のみ選別する事が可能
3. 被害木、枯損木の判別：虫害などは肉眼より早く分る。
4. 農作物の変化：工場排煙などによる生育の差が判別できる。
5. 樹木活力の測定：フィルターを用いて分光、濃度測定機によって数値測定出来る。

そしてこれらの植物の指標を用いて

- 都市生活環境の調査
- 大気汚染被害調査
- 工場排煙調査

などの調査も行なっている。

又、次の様な現在の〈土地利用状況〉も知る事

が出来る。

- 干拓の可能性
- 侵蝕
- 作付面積、収獲予想
- 肥料効果
- 病虫害の被害状況
- 牧草地、湖沼調査
- 水源、水温
- 積雪、降雨量
- 排水、流出、等

6. 非写真映像方式による物体の識別について

写真映像方式では直接遠距離電送や、又色々の機械的処理にも限界がある。航空機又は宇宙衛星からの赤外カラー写真をいかに経験のつんだ研究者が的確な解析を行っても作業能力にも限界があり、又、主観的判断をさげ得ない。しかるに、写真は一日に何百枚でも作成可能である。

そこでフィルムにとらえず、電磁波の帯域を幾つかのチャンネルに分け各チャンネル毎の情報をテープにとる方法が開発されこれの情報処理に対して機械的判定にもとづく完全な情報自動処理システムが考えられた。その中で PDS (デジタル処理装置) は米国では既に実用化されており、日本でも科学技術庁にて実用化システムを検討中である。

コンピューターとの連動によって像の選別、修正、拡大、縮小は自由となり作業も機械化され、人間は判定の基準と命令を与えるだけですむようになった。

機械処理の完成によって、初めて処理能力の速度は上りオンライン化されて各種の目的に実用化されるであろう。

7. リモートセンシングの現状

1) 日本

科学技術庁が窓口となって解析検討会（アーツ衛星 データ 判読検討会）（主査 丸安隆和）が組織され

- (1) 日本の環境変化のパターン調査
- (2) 中規模気象、(冬季 モンスーン 雲, 降雪の研究) の2テーマについて検討を始めておるがまだ研究の著についたばかりである。

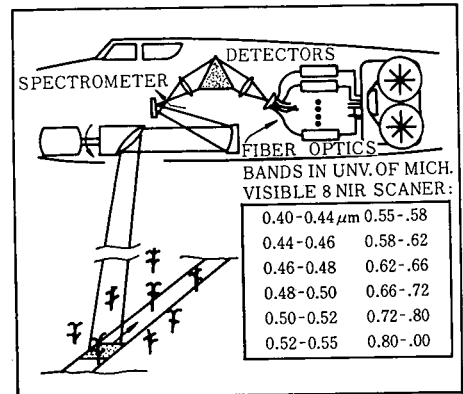
猶、赤外線カメラは次第に各方面にて採用されつつあり、カメラ本体の製品も納入されておる。又、C社ではマルチスペクトル写真解析装置が開発されておる現状である。

国土地理院では昭49~54年の6ヶ年計画で赤外カラー、マルチスペクトル写真などを利用して「高密度地域における環境基礎調査」事業を計画して大都市及びその周辺部 36,000 km² の環境基本図作成を準備中である。又、各自治体にもそれぞれ環境調査の為に計画されつつある。

2) 米国

この分野では他の追従をゆるさぬ程技術が進んでおる。赤外線映像の実用例として次のような項目があげられる。

1. 森林火災の発見（米、林野局の空中パトロールのルーチン化）
 2. 軍事目的
 3. 大気汚染の被害調査、塩害調査
 4. 水文学的应用：温排水汚染調査、水源調査
 5. 地学的应用、積雪、なだれの調査
- その他農業、気象、環境、資源等の各種調査に应用されておる。



第8図 マルチバンドのスペクトル輻射のデータを収集するための光機械的スキャンナー

これらの測定機器もすぐれて居り、既にミシガン大学では第8図にある様な12バンドのスキャンナーで研究調査にあたって居る。

米国に於ける宇宙衛星として現在迄に色々の衛星（TIROS, ESSA, ITOS, NOAA, NI MBUS, ATS など）が打上げられ、それぞれ反射計によって電磁波の測定が行なわれたが、特に地球資源探査に有効な手段としてリモートセンシングによる 実用化の為、70年代後半に EROS 衛星を打上げる計画がある。そのテスト衛星として一昨年7月、ERTS 衛星（地球資源技術衛星）が打上げられた。

なお、ここで言う資源の意味を説明して置くと次の如くである。

- イ) 人類生存の基礎となる原料
(食糧、清浄な空気及び新鮮な水など)
- ロ) 近代文化に基礎的な原料（燃料、鉱物、水など）
- ハ) 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、環境と人間生活の相互作用）

ERTS-No. 1 (Earth Resources Technolo-

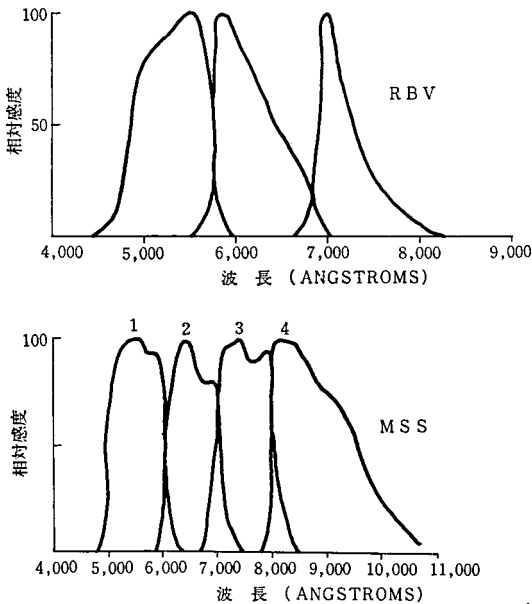
gy Satellite 地球資源技術衛星) (No. 2は76年に延期された。)について。

1972-7-24日 (日本時間) 打上げられた。高度 926 km, 896 km, 赤道との傾斜角 99° 周期 104 分 (≒ 1 日 14 周) 1 周毎に軌道は 160 km 西にずれ 18 日でもとの位置にもどる。17 日で地球全表面をカバーする。観測期間は約 1 年の予定。

RBV (テレビカメラ) 青緑, 赤, 近赤外波長それぞれ 1 つづつ (打上後故障)

M. S. S 0.5~0.6, 0.6~0.7, 0.7~0.8, 0.8~1.1 の 4 ch 一枚の写真の面積は 185×185 km である。

第 9 図は ERTS 1 号の RBV, MSS のスペクトルバンドの相対感度を示したものである。



第 9 図 ERTS-1 のスペクトルバンド (D. S. Ross)

1 枚の写真で 185 km 四方の広域がカバー出来、しかも精度の高い解像力をもって居り、その上 18 日毎に時系列データが得られるが赤外線

バンドは 1.1 μm 迄の為に厚い雲で蔽われた場合は地表面の映像が写されて居らない。(雲の解析には役立つが)。日本上空では一昨年 7 月より、もう 25 回以上同一地点を撮影して居る筈であるが雲に覆われて居る場合が多く各地点とも完全に写されたのは各コースとも数回との事である。又遠赤外の熱線バンドがない為に地表面の温度分布も明らかに出来ない。この ERTS 写真は現在公表されて紙プリントとかポジフィルム形で米国の EROS センターから販売されて居り、必要な手続きを行えば誰でも入手可能である。

[住所] EROS DATA CENTER
U. S. Geological Survey
10 th and Dakota Avenue
Sioux Falls, South Dakota 57198

この、ERTS 衛星写真を購入し、色々のバンドのネガを組合せ又フィルターをかえて合成カラー写真を作成するわけであるが、この写真は第 10 図のようにして作られる。

次に、より高度の設備を持つスカイラブについて述べるが、この衛星写真は公開されて居らない。ERTS-A に比べてはるかにすぐれたものであろう。

スカイラブ計画 (skylab) について (48 年 5 月打上げ)

1 日 16 周, 8 ヶ月の実験期間中 3 人づつ 3 組の宇宙飛行士が地球, 太陽, 人間を対象に 60 研究項目を受持ち, 合計 140 日間住込む予定であったが太陽電池の故障の為計画変更。

重さ 28 t, 高度 435 km 地球を 90 分で 1 周, 日本上空には 5 日毎に訪れる。

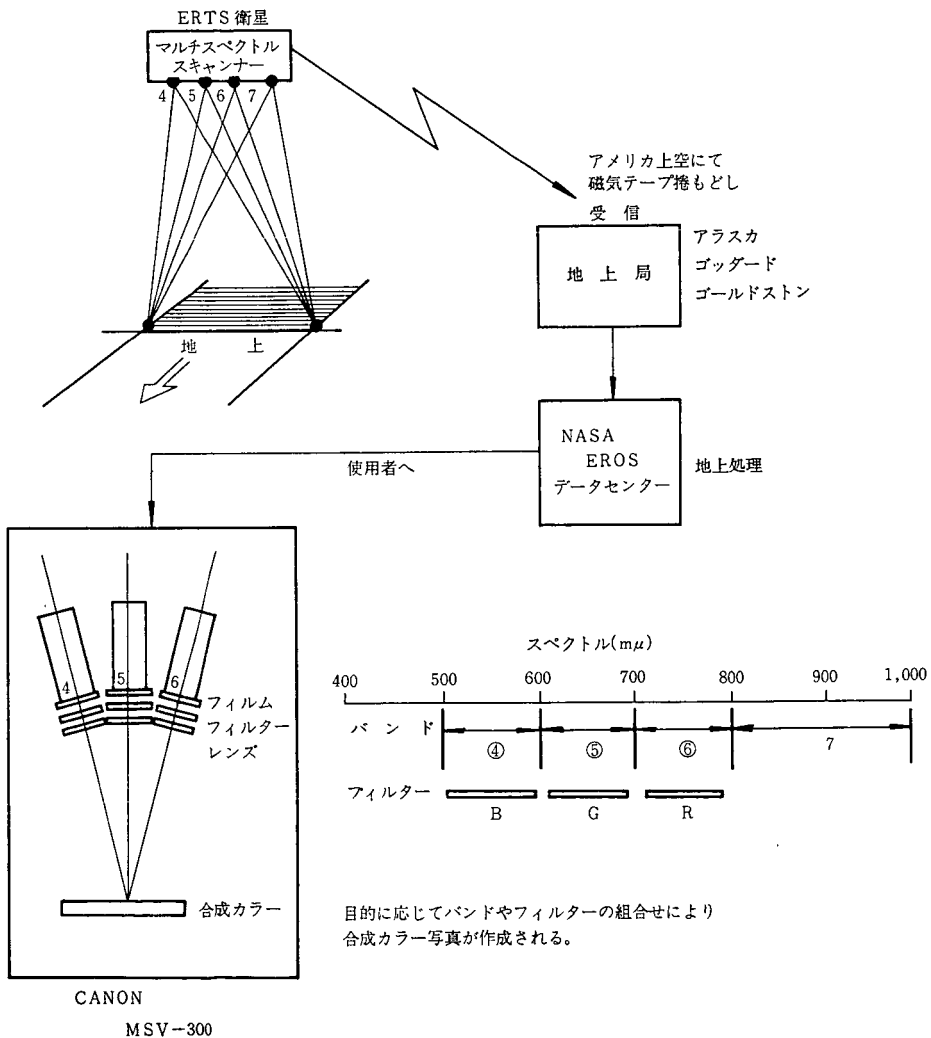
この計画にもリモートセンシングに関する研究が多い。

スカイラブは高度が ERTS 1 号の半分位で

〔販売価格〕

SIZE		PRINTS	UNITS UNITS	PRICE	TRANSPARENCIES	UNITS	PRICE
		UNIT PRICE★★			UNIT PRICE★★		
Contact(70mm)	1 : 3,369,000	\$ 1.25			\$ 2.50		
Enlargement(9×9)	1 : 1,000,000	1.75			3.00		
Enlargement(18×18)	1 : 500,000	3.50			---		
Enlargement(40×40)	1 : 250,000	9.00			---		
Microfilm(60mm)100 ft.roll	---	---			15.00		
Totals	---	(enter in line A below)			(enter in line B below)		

★★ For more than 25 photographs of one frame in an order there is a reduction in unit price. This reduced price may be obtained from the Data Center.



第10図 ERTS 合成カラーの作成

あり、更にすぐれた12チャンネルのカメラや温度放射計、その他の測定機が搭載されて居り、その上、人間が乗り込んで居るので地上からの注文に応じて、自由にスペクトル領域を選んだ写真もとれるなど、ERTS-1の場合よりもより進んだ観測が行なわれて居る様である。

3) その他

カナダでは ERTS よりの電波を受信する附属受信局を設けられた解析センターが活動して居る。又南米（ブラジル）欧州、イラン、メキシコ、インドネシア（養成センター）の各国でもそれぞれ解析センター設置を検討中である。

8. まとめ

宇宙空間からの大きな視野での反復観測は全地球表面という規模でのリモートセンシングとしてそれなりに他に比類ないが資金の効率化から言えば我国としては航空機段階のリモートセンシングにより大きな効果が期待されるであろう。

現在技術的には、電磁波の殆ど全波長領域にわたるリモートセンシングが可能である。又、広義のリモートセンシングである空中からの地球物理探査も色々の方式が考えられて居る。こ

れらは地球資源調査に限り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。この方面の測定機器や解析方法、総合的なシステム作りについて、我が国ではまだやっと始まったばかりと言って過言ではない。実を結ぶ為には色々の難問題が考えられる。

その為に各分野が協力して共同の航空機をもったり、マルチスペクトル方式は勿論、多目的のリモートセンシング方式などを考える必要があるのではなからうか。又、リモートセンシングに関する各専門分野の研究者の養成も大切である。

総合研究所である当電力中央研究所としても電源立地に関わる環境問題や、各種電力設備の保守などの面から、この分野についての研究開発の必要性があるように思う。即ち、将来各種の要請に応じられるような R. S データ解析処理のシステム作りを準備すべきではなからうか。

リモートセンシングに関する色々の問題については西尾博士（国際航業）に御世話になった。ここで感謝の意を表します。

（みなせ こういち・技術経済研究部）