

リモート センシングによる環境調査

東大工学部

丸 安 隆 和

1 リモートセンシングの意義

新しい仕事を始めるとき、新しい手法を工夫し、利用することが、より大きい成功をもたらすために最も重要な基礎条件である。今までに全く例と見えないような環境条件のもとで、多くの諸問題と互いに関連づけながら考えなければならぬとき、新しい手法の導入の必要であることは当然といえる。

地球資源が豊富で、人口もそれほど多くなかった時代には、将来予測もまた容易であり、従来の方法による調査で十分ことになった。しかし、現在の状況は一変した。この複雑な条件のもとで、将来に禍根を残さない方法で、人数の NEEDS を満たすには、より有効な手法による現象の調査分析が必要であることは明かである。これに、その規模が全地球を対象としなければならなくなったために、一層その要請が高まった。

この約 1/4 世紀の間に生じた種々の社会情勢の変化は、地球のより迅速で、より有効な探査方法として、初期世代のリモート センシング システムの開発ようながしたのも、その例である。このシステムの中には、最近の写真技術、写真測量技術、磁気重力探査、地下電気、弾性波探査などが含まれ、短かい時間で、より多くよりよい情報を提供し、現在までの調査に大きい役割を果たしてきた。

このリモート センシング システムは、ここ数年の間に、第二世代へと発展した。新しい Vehicle、新しい sensor の開発が、飛躍的にリモート センシングの効果を高めたのである。NASA が行っているアーツ計画は、その大きい契機となったことはいままでもない。より高いところから、より広範囲を、より迅速に探査する方法が可能となり、地球を従来の方法ではなし得えなかつた全く新しい角度から眺めた情報として捉えることができるのである。1 本 1 本の樹木としてではなく、森として評価することが可能になったのである。

しかし、これらの方法で得られる情報は、すべてに取つてかかるというものではなく、従来の有効な調査方法と組合わせて利用することが重要であること、同じ情報でも、これを判読する人の専門的な知識によって、その読みとられる内容は、さまざまであること、従つてその応用分野は極めて広範囲になることに注目すべきである。

2 マルチスペクトル写真

従来の写真といえば、いかにありのまゝを表現するか、カラー写真でも、できるだけ自然色に近くなるように努力がなされてきた。しかし、物体から反射される電磁波と波長別を、いくつかのバンドに分け、それぞれの波長の強さを記録し、それらの写真を組合せて色合成するまでの処理を行うことによつて、調査しようとする対象物を特に強調して表現したり、色調濃度を色分けして表現するなど、および従来の写真としての考え方を大きく転換し、情報源としての写真の利用価値を高めた。

航空写真を用いて行つてきた判読技術は、従来から写真測量の中では重要な分野として大きい役割を果たしてきた。しかし、現在までの判読は、専門家の名人芸に類する作業であり、蓄積された経験と専門的知識の裏付けによつて判読分析の意味づけをするという範囲を越えず、主観的な判断がその主体となっていた。従つて、解析結果には客観性がなく、普遍性に乏しいという批判が多かった。

このために計算機技術とを導入し、波長別に与つた写真濃度を測定し、反射特性と利用して判別するという方法がとられるようになった。これに呼応して、センサーも、普通のカメラから、テレビカメラやスキャナーに発展し、収集したデータが電気信号としてマグネチックテープに記録され、計算機処理を助けることになつ

た。これによって Remote Sensing の技術が飛躍的に進歩し、多くの利用分野がひろげてきた。

太陽エネルギーを受けて 地上の物質は非常に広い波長域にわたって電磁波を反射している。図-1は反射される電磁波の波長域とその特性を示している。どの波長の電磁波が、どんな強さで反射するかは物質によってさまざまである。(図-42)

従来の写真では パンクロマチックの写真であれば 可視光域に含まれるすべての波長の反射光を総合したものを白から黒までの色調差で記録している。カラー写真では青、緑、赤の三つのバンドに分けて感光させるが、その結果えられる写真は それらを総合したものである。マルチスペクトル写真は、波長別に それぞれの強さを白黒の色調差で別々に記録し、必要に応じて その中のいくつかを重ねし、色をつけて表現させる。

一般に フィルム上に直接感光させて記録できるのは $0.3\mu\text{m}$ ~ $1.1\mu\text{m}$ の範囲であるが 実際にはわかれが利用しようとする電磁波は さらに長い波長域も含まれる、この場合には普通の写真技法は利用できない。Scannerを用い 反射エネルギーを電気信号として記録しなければならぬ。

Scanner が一つの信号として どのぐらいの地域範囲を記録するかを示すのに 解像度を用いるが これは普通の写真の解像度に相当する。ERTS の MSS では 0.086mm rad で 950km の高度から撮った場合 地上で 80m^2 が一つの信号となる。SKYLABでは 0.182mm rad で、同じく地上の 80m^2 にあたる。航空機に搭載する Scanner は $1.7\sim 2.5\text{mm rad}$ であり、ERTSの約 $1/30$ の解像度になるが 高度は低くから地上の一信号の面積は小さい。

マルチスペクトル写真を用いて 物質の種類や状態を識別するには Spectral Signatureを用いる。この意味を理解するため 図-3を参照しよう。これは土、水、植物の反射特性を示している。いま λ_1 , λ_2 二つの波長について 三つの物質の反射率をプロットしたのが 図-4である。土は λ_1 で最も強い反射を示している。 λ_2 では 植物が最も強い反射を示している。これをプロットすると 土と植物でそれぞれ異なる位置にすている。Spectral Signatureが土と植物では異なっているのである。この場合、波長は二つに限ることなく、三つでも四つでも比較することもできる。

しかし 図-5にみるように、同じ植物でも植付け時期や土壌の性質で 反射特性が異なる。従って λ_1 , λ_2 について 反射率とプロットすれば 必ずず ある範囲に分散する。ある場合には 互いに重複することもあるだろう。これをどうして区別するかは問題で、識別の誤差の原因となる。

図-6のように 非常に似かよった物質、こまかい変化をばと知ろうする場合には λ_1 と λ_2 の比をとつたり、差をと

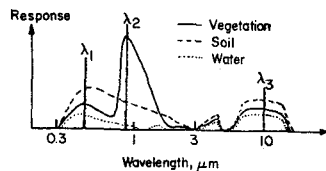
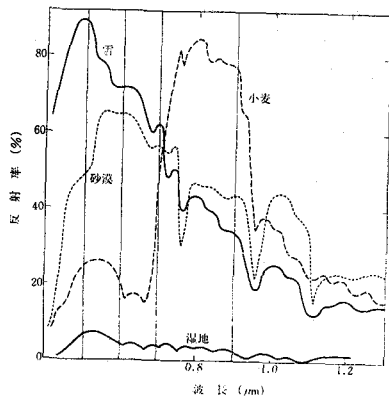
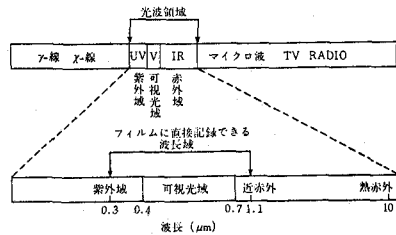


図-3

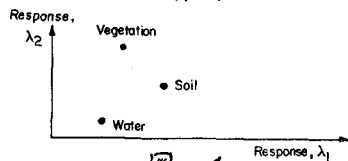


図-4

図-4

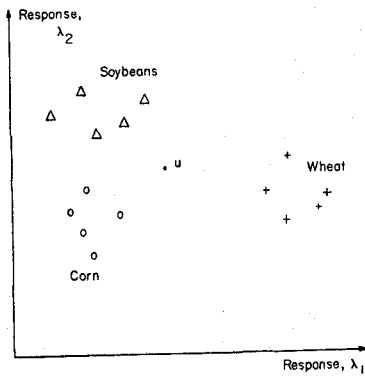
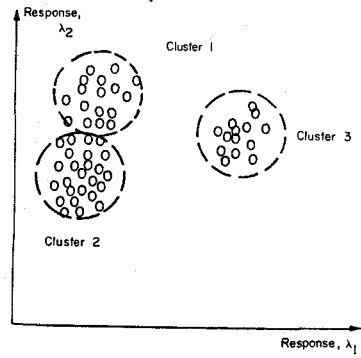


図-5



たりして その差を明確にすることもできる。植物の種類や公害の被害の程度を知ろうとする場合などに有効に利用できる

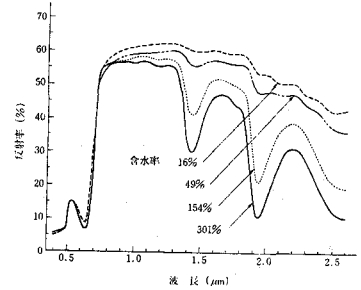
3 緑の調査

葉緑素効果は、植物の活力を知る上で有効である。葉緑素が盛んに炭酸同化作用を行っている植物物は赤外線を強く反射することが知られている。植物が病虫や公害におかされると赤外域の反射が次第に弱まり、赤色の反射が強くなる。

この事実を利用して植物の健康診断が行われる。赤外カラー写真は天然色写真の青に感ずる層と赤外線に感ずる色層にしてこれと赤に染色させ、これで赤外線の強さを知ろうとする方法である。

図-6は植物から反射される電磁波をさらに長に波長域にまで延ばして測定した結果である。緑が近赤外で非常に強い反射を示すことは前述の通りであるが、さらに波長が $1.4\mu\text{m}$ および $1.9\mu\text{m}$ で吸収帯を生ずることがわっている。この波長は水による吸収帯である。植物の含水率が次第に減少するに従ってこの吸収帯が次第に弱まって行く。これによって植物の水々しさを知ることができる。

図-6



4 海洋の汚染

海洋の汚染の調査は汚染物質の検出ならびに濃度の測定、汚染物の分布、拡散状況の観測などが含まれる。船中やブイなどに行われる点測定では不可能な広域調査が必要な場合には視野の広い航空機か人工衛星による広域同時観測が不可欠である。

海面に漂う汚染油膜は太陽光の反射成分に感ずる写真およびマルチスペクトル写真、スキャナーで探査できるが、マイクロ波を用いれば夜でも悪天候でも監視できる。

海を対象とした探査方法を表-1にまとめた。光の水中透過性はきれいな海水では $480\text{m}\mu$ あたりで最もよく、海水が汚れてくると緑、黄、橙と長波長の方へずれて行く。図-7はその状況を示した。しかし老の水による減衰率は赤色域以上で急激に高くなっているため $800\text{m}\mu$ 以上の近赤外では水中でほとんど透過しなくなる。水中の懸濁微粒子から散乱される水中光にも一般には近赤外はほとんど含まれない。図-8は水中を通る光の減衰率を示した。

表-1 水面検査の方法

電 磁 波		探 査 方 法				適用可能な海洋汚染
波 長	区 分					
0.4 μ	紫 外 部	紫外線写真				汚染油膜
0.7 μ	可 視 部	カラー写真	蛍光分析計	マルチスペクトル放射計	マルチスペクトル放射計	汚染水域 河川排水水域 豊プランクトン域
8 μ	赤 外 部					
12 μ		赤外放射計				温排水, 汚染油膜
数 mm	マイクロ波	マイクロ波放射計 レーダー散乱計				温排水 工場排水 汚染油膜
数 10 cm						

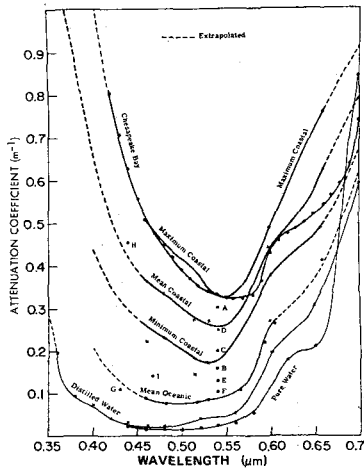


図-7 可視域の水中減衰率

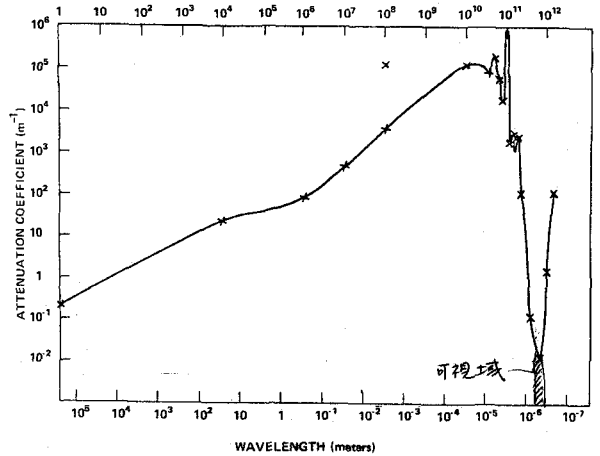


図-8 電磁波の水中減衰率

5 熱赤外の利用

検知される電磁波には、反射と放射の二つの成分がある。太陽や天空など自然の光源の他レーダーのような人工的な電磁波をうけた物質は、その性質によって特有の反射を示す。また、絶対温度 0° 以上の物体は、その温度に関連して電磁波を放射している。普通にみれば、周囲にある物体の平均温度 (300°K) では $8 \sim 10 \mu$ の波長の電磁波を最も多く放射している。これを熱赤外といい、その量は温度の差によって生ずる。これを利用して地上の物体の判別ができる。対象物の温度の日変化、位相のずれ、熱異常などが識別でき、物体の汚染、海水と淡水の区別、温排水、いろいろな調査が可能であり、今後の発展が期待できる。