写真情報の土木工学への利用

講　演　者
大　嶋　太　市
正会員 工博 法政大学教授 工学部土木工学科

講　演　者
渡　辺　貫太郎
正会員 理博 東海大学教授 海洋学部海洋工学科

担当：中部支部

❶ 写真情報とその利用

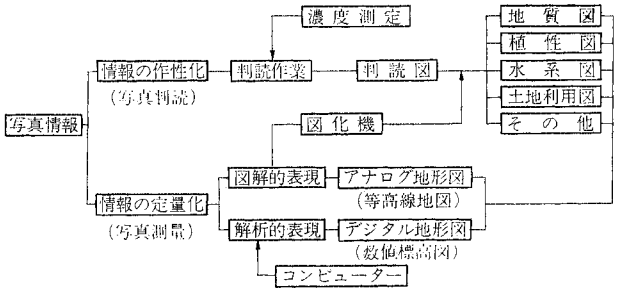
大　嶋　太　市

まえがき

図—1 は対象を地球表面として写真像から像情報を抽出するシステムをフローチャートの形で示したものである．

写真情報の定量化はフィルム上の三次元としての位置情報を再現の原理で図化機で立体モデルを構成してアナログとしての三次元の像情報を得る方法と，図化機を使わないで，フィルム上の二次元の情報を座標測定機で測定し，計算機で三次元の像情報に変換する方法とに分れる．この方法は定量写真測量ともよばれ，一般に写真測量とよぶ場合はこの部分をさしている．しかし写真情報を定性的にとらえて，被写体の質的な判断をする判読技術は，写真材料の質的向上と，使用する波長域が広がったこと，さらに写真濃度パターンのコンピューターによる自動処理により，判断の自動化が促進され，パターン認識によるデジタル的な判読技術が実施されている．こうした判読技術は，定量写真測量でつくられたアナログまたはデジタルマップをベースとして，自動判読の結果をオーバーラップさせて，相関的に加減算を行うことにより，必要な要素だけを表現した図面またはデジタルデータをもとにして，各種の土木構造物の設計であるとか環境調査や，都市や国土計画のマスタープランをたてる基本のベースマップとして利用することができる．

写真測量は，単に地形図を作ることだけでなく，鉄道や道路の建設作業のための路線選定や計画，設計，交通量調査，ダム港湾の計画等の土木測量に，また森林や土地利用の調査，さらに都市計画，国土計画，災害調査，考古学調査等に欠くことのできない貴重な資料を提供している．またこの航空写真の測定原理は，地上から撮影した立体写真にも同じように適用でき，これが非常に広い応用分野をもっている．しかも，普通の測定方法では不可能な三次元的なディメンションを広い範囲にわたって，またその時間的な変化もとらえることができる点で測定技術としてはきわめてユニークな方法ということができる．特に最近では近接撮影のできる特別のステレオ



図—1　写真像情報を取り出すフローチャート

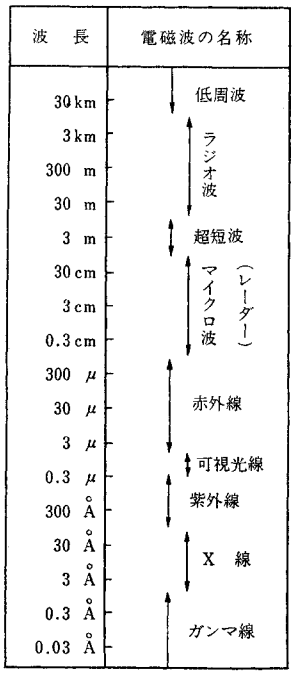
カメラも開発され，対象物の刻々と移り変わる現象の精密測定も可能になり，ますますその用途は広くなってきている．自動車の車体線図の作成，水車の性能検査のための精密測定，建築物の精密測定，土木構造物の変形測定，各種模型実験の精密測定，医学用のレントゲン写真測量，顕微鏡および電子顕微鏡写真測量によるミクロな測定，宇宙での人工衛星による写真測定，さらに，ミサイル，波，雲，交通流，洪水流，タイヤ，なだれ等の動く対象物の測定など多方面に利用されている．国際写真測量学会の7つの研究委員会の1つに写真測量の応用に関する研究委員会が設けられていて，世界各国ともその応用面の研究開発に力を注いでいる．

最近リモートセンシングすなわち遠隔探知という言葉がさかんに使われている．これを厳密に定義づけることは非常に難しいが，遠く離れた所にあるいろいろの物質から放射または反射されている電磁波を測定してその物質の性質を調べ，その結果を各種の目的に利用する技術と解釈することができる．したがって，広義に解釈すれば，写真測量もこの中に包含して考えることができる．取り扱う電磁波の波長域を考えてみても，写真測量では可視光線から近赤外線までの電磁波スペクトルを利用するのに対し，リモートセンシングのシステムでは紫外線からマイクロ波までの広い領域を対象にしている．1972年7月アメリカで ERTS (1) 衛星 (Earth Resource Technology Sattelite-1) (地球資源技術衛星)，1975年1月に ERTS (2) 衛星が打ち上げられ，この衛星に搭載されている3台のテレビカメラとマルチスペクトルキャンナーにより，約 900 km 離れた地球上の映像を電磁波信号でとらえ，それを写真映像に変換して地球上の資源探査や諸現象の解明に使われつつある．まだ実験的な段階で実際面への利用のシステム化は今後の研究に待つところが多い．このような人工衛星からの遠隔探知方式に利用される機器装置の原型は，航空機からの遠隔探知，すなわち空中探査に使われてきたもので，方法として根本的には変わってはいない．装置として磁力計のような場の力を測定するものと，対象物から放射あるいは反射される電磁波エネルギーの強度を測定あるいは記録するものとがある．電磁波エネルギーを測定あるいは記録する方法には，受動的方法と能動的方法とがあり，太陽光の反射エネルギーを記録する空中写真は前者であり，人工の電磁波を発射し，その対象物からの反射エネルギーを測定記録する映像装置は後者である．現在，人工衛星あるいは宇宙線からの探知装置は主として電磁波の放射あるいはエネルギーを記録する装置で遠隔探知装置という言葉をこのような装置にだけ使う人もいる．

これらの遠隔探知方式は，地球表面の迅速な情報を得る手段として環境調査，資源探査はもちろん，地学・農学・林学・水文学・海洋学・気象学などの地球表面に関する科学技術の分野の問題解決に大きな貢献をしつつある．

1．電磁波とその利用

電磁波スペクトルは波長，振動数によって，**図—2** のように分類することができる．この表の中で今日の遠隔探知方式では，波長帯 30 Å より 3 m または 30 cm くらいまでのマイクロ波までが主として使われている．この中で可視光という電磁波を対象とする像情報の処理方式が写真測量に利用されてきた波長帯でここ 10 年間に遠隔探知法における計画面で大きな役割を果たし，長足の進歩をとげてきた．特に最近は白黒写真やカラー写真だけでなく赤外写真，さらに赤外とカラー写真を合成したフォルスカラー写真等が地球表面の地物の判読技術に大いに貢献をしており，さかんに利用されている．0.7～0.9 μ の波長域を記録する赤外線写真は地表の地物の含水率の差をその濃淡に記録し，沿岸測量，土壌調査，森林調査にかなり広く使われている．フォルス・カラー（赤外線カラー）は現像によって赤外線は赤く，可視光線の赤は黄に，緑は青に発色する．したがって赤外線の反射の強いものほど赤く写るので樹木の種類や活力を調べることができるし植物



図—2　電　磁　波

像を明瞭に区別することができる．こうした技術を使う空中写真およびその関連技術は，すでに一応は完成された遠隔探知方式である．

上述した写真で扱える電磁波の波長域を含めて，さらに短い波長域および長い波長域にわたって特定の波長域を分割して取り出し選択的に記録して，それぞれの波長域に応じて地球表面の化学組成および物理的条件について特有の情報を得ることがしばしば行われる．人工衛星からの情報獲得は主にこの方法によって行われている．

中間赤外線から遠赤外線の部を記録することによって地球表面の温度分布を探知することができ紫外線領域の波長が特定の物質の識別に役立つこともすでに知られて実際に使われている．また赤外線装置を使えば夜間の観測もできるが赤外線は天候に影響される．レーダー装置は昼夜全天候下で応用でき，発信装置観測範囲受信装置の関係位置を任意に決定できる利点がある．

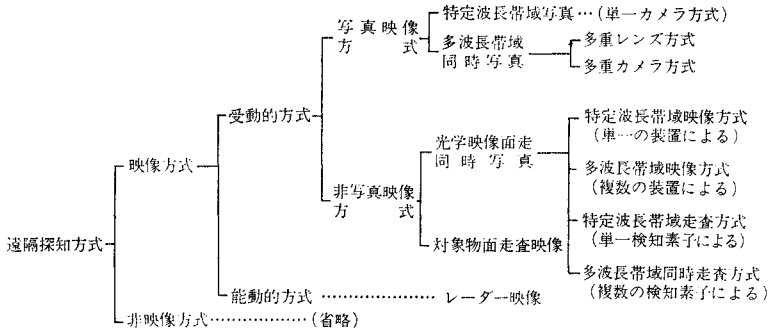
2．写真情報を得る方式の分類

（1） 遠隔探知方式による分類

電磁波は，一般に大気圏中を伝ぱし，地球表面に到達して土壌・岩石・水・人工の地物，植物などの地球上の物質と作用し合う．この相互作用は電磁波の周波数（波長），放射強度，ポーラリゼーション，さらにその物質の性質によって異なってくる．この相互作用として二つの作用すなわち，① 反射，② 透過あるいは吸収があり，こうした電磁波作用の測定により地球表面の物質の化学組成と物理条件の把握ができる．遠隔探知方式による像情報を得る方式にはいろいろの分類法があるが，大きく分類して映像方式と非映像方式に分けることができる．前者は対象物から放射・反射される電磁波のエネルギーの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方式である．後者のほうは，センサーの搭載機の航跡にそ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．電磁波のエネルギー強度の分布データの位置の情報を得るために，この両者の併用も行われる．映像，非映像方式とも受動的（パッシブ方式）と，能動的（アクティブ）方式の二つの方法に分れる．パッシブ方式は物質それ自身から放射あるいは反射する電磁波エネルギーをとらえる方法であり，アクティブ方式は人工的な電磁波エネルギーを発信し，その対象物からの反射をとらえる方法である．写真測量は太陽を光源としているので上記二つの方法の中間的なものということができる．したがって，航空写真の場合には，電磁波を探知し，記録している航空写真の濃淡や色相を分析するためには，太陽の放射エネルギーの状態をつかむことが重要である．

図—3 の受動的方式は写真映像方式と非映像方式とに分けることができる．写真映像方式は，航空写真によって代表されるもので，これは単一のメートリック・カメラ（測量用カメラ）によってフィルムとフィルターの組合せを選択して，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，同一の被写体あるいは同一地域の異なった領域のいくつかの写真を得る多波長帯域同時写真がある．後者には数個のレンズをそなえたカメラを用いる場合と数個のカメラを用いて同時に撮影する方式とがある．これを多重レンズ式，多重カメラ方式とよんでいる．多重レンズ方式では電磁波のなるべく領域をカバーするフィルムの良好な像情報を得ることにいろいろの制約がある．また多重カメラ方式では目的に応じて種々の組合せができるので，装置全体が若干大きくなるという欠点はあるが，他の制約条件は前者に比べて少ない．青，緑，赤の波長域の同一地域の写真を合成することによってカラー写真を得たり，緑，赤，近赤外でフォルス・カメラの写真を得たり，また各種のフィルターの組合せを変えて再現し，特殊な現象の把握に役立てることができる．非写真映像方式では，光学映像面走査映像と対物面走査映像に分れる．前者はテレビジョン方式で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スキャンをし逐次電気信号に変換して送信あるいはビデオテープの形に記録し，これを再び映像として再現表示するものである．地球資源技術衛星の ERTS (1) にはそれぞれ異なった三つの波長領域の映像をうるために 3 台のリターン・ビーム・ビジコンカメラが搭載された．

対物面走査映像は対象物を回転鏡で走査してうけた電磁波の放射エネルギーを検知素子面に収束し電気信号に変換する．航空機あるいは人工衛星用の装置では，その



図—3 遠隔探知方式の分類

進行方向に平行軸をもつ回転鏡で左右の走査を行う一軸走査機構となっている．

上述の走査映像方式にはいずれも特定の波長領域を対象としている装置のほかに，多波長帯域同時走査方式の装置があり，それぞれの波長域を分光器で分光して，対応する検知素子で同時に電気信号で取り出し，ビデオテープに記録する方式である．アメリカ合衆国のミシガン大学のウイロー，ランの科学者たちは多くの探査機器のメーカーと協力して，0.3 から 14.0 mμ までの光波を24の帯に分割し別に記録する探査機を開発した．ERST (1) では4チャンネル，昭和50年1月23日に打ち上げされた ERST (2) では最初の計画では5チャンネルで熱線映像が加わることになっていたが種々の事情で従来の4チャンネルの解像力をあげることにして 1977 年の Sea Sat に熱映像が予定されている．

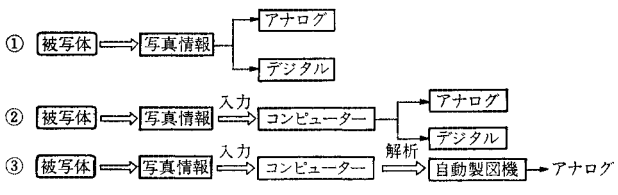
能動式方式で最もよく使われ空中からの地球表面を探査する方法としてその効果を高く評価されているのにサイド・ルッキング・レーダー (Side Looking Airborne Rader, 略称 SLAR) がある．これは航空機にとりつけられたアンテナから斜下側方に指向性をもったマイクロ波をパルスの形で発信させ，次のパルスが発信される間にアンテナによって地表面からの反射が受信される．その反射波を映像管の上に映し，それを飛行機の速度に同調して移動するフィルム上に結像させる．これが交互に繰り返されて一定の地域をカバーする．パルスは1秒間に 1 000～2 000 回も出されるので，次々に写された像はあたかも連続した写真のように見える．

このサイド・ルッキング・レーダー方式は非写真映像方式の中に含められるものである．

(2) 写真情報の表現方法による分類

写真情報の抽出や解析は，その表現方法との関連において一連のシステムのもとで考えて組織化する必要がある．局部的に最適であるシステム化も全体的にみれば必ずしも最適であるというわけにはいかない場合が多い．

写真情報はその意味であるプロジェクトの計画設計に利用される場合にミクロにもマクロにも，主観的な立場でも客観的な立場からでも自由にその内容を変換して判断する情報をとり出すことのできる特徴をもっている．



図—4 写真情報の表現の方法

最近はプロジェクトが大型化し，社会機構が複雑になってきているので考慮すべき要素も増大し，その影響する範囲も拡大されてきている．

したがって，現在の環境の要素を一定の規約のもとで数量化しておけば電子計算機を使って種々の変換を行い必要な判断の要素を自由に取り出すことができる．またこうした結果はプロッターなり，テレビ画像の形でアナログとして表現し視覚により判断し，必要があれば自由に手直して計画の内容を非常に速い形で変更することも可能である．

図—4 は写真情報の表現方法をシステム的に考えた場合の一例である．

① の場合は写真情報をアナログの形（主として等高線）やデジタル（数値標高図）の形でひき出すもので標準的な解析による表現方法である．② の場合は，写真情報をコンピューターによりデジタル化して必要な場合はアナログ表現する場合であり，③ の場合は全体のアナログ表現までの作業をシステム化して，より高度な解析結果をフィードバックしながら得ようとするもので将来の写真情報の処理方法の基本となるものであろう．ここで注意すべき写真情報の表現方法は，全部アナログ化して表現する必要はなく，適当に使いやすい形でアナログとデジタルをミックスした形で表現するのがよいと考えている．

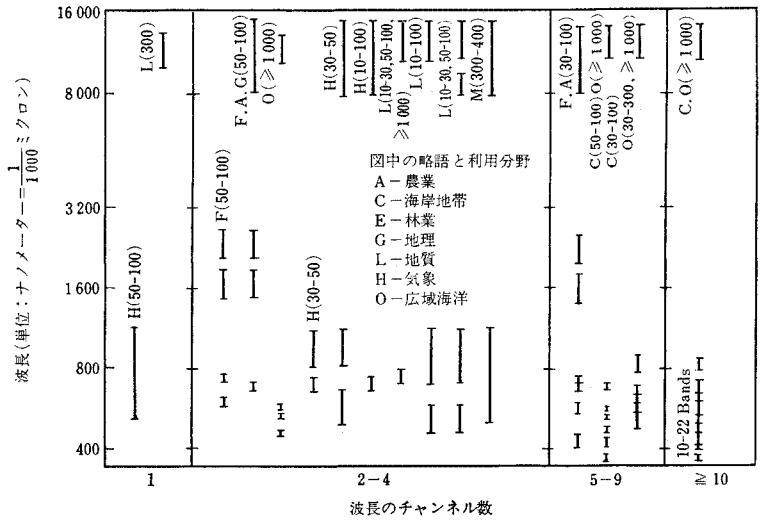
3. 遠隔探査技術（リモートセンシング）の利用

上に述べたように写真情報のもつ利用面は今後ますます拡大されていくものと考えられる．

写真情報を得る機材は，① 輸送機材と，② 搭載機材とそれ以外の機材に分けることができる．輸送する機材としては巨大な人工衛星から飛行機，ヘリコプター，気球，無人飛行機，自動車，船舶等がある．これらはそれぞれの使用目的により使い分けられ要求される結果によって搭載する機材も決められる．

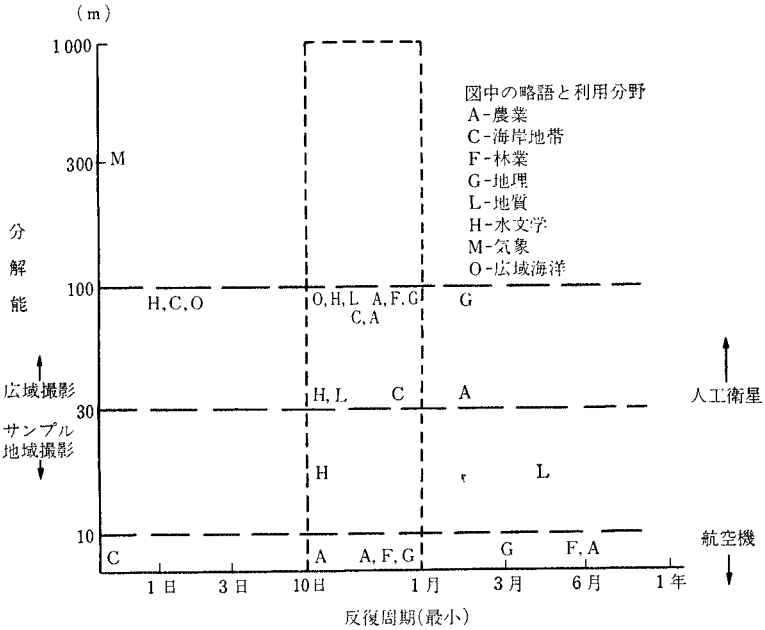
アメリカ合衆国の NASA では，ユーザーの要求しているデータについて調査している．**図—5** は8つのデータ利用分野についてチャンネル数，分光的な要求をまとめたものであり，**図—6** は分解能と観測周期を示したものである．

写真情報を農業 (A)，海岸地帯 (C)，林業 (F)，地理学 (G)，水文学 (H)，気象学 (M)，広域海洋学 (O)，の分野に利用する場合，スペクトルの特性と，その解像度や反復周期の内容を十分に研究し，各調査目標に見あう有効な波長域を使うことが大切である．またこうした波長域を種々組み合せてデジタル的な計算をさせ相関をとることに



(カッコ内の数字は要求される空間解像力，単位：メーター)

図―5　利用分野ごとに要求される波長と解像力との関係



図―6　同一地域の反復周期の必要日時

より，その地域の特性を示す回帰式などを作り諸種の判定に使うことができる．

(1)　植生への応用

活力のある植物の葉は，他の無生物に比べて著しく高い赤外線反射率をもっているのが特長である．

図―7 にマツの病虫害による反射波長の変化を示している．近赤外部での吸収帯部分 1.4，1.8 ミクロン付近での波長の変化をとらえれば明らかに健康と病虫害をうけているマツの判定をすることができる．

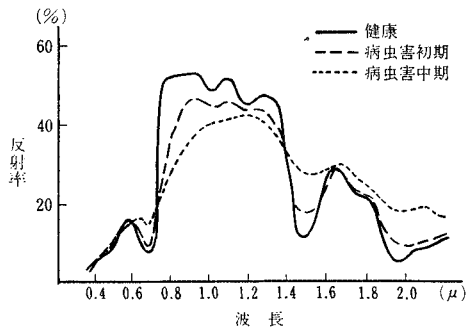
植物が病虫害で活力が低下した場合，活力低下の初期では緑色光にはほとんど変化がない時期に，近赤外光のみが減少するので像は青みがかる．この時期ではまだ肉眼では判定不可能である．さらに活力が低下して肉眼で葉の黄色が認められるようになれば，像は黄白色化する．また葉の密度の差による色の変化は，可視光では透過光が重ね合わされることはないので天然色写真には全く現われず，陰影の差，肌目の違いが生じるだけであるが，赤外カラー写真では密に葉が重なり合って着生したものと疎のものでは明らかに光量差が生じ密なものは濃い色を示す．

このような識別力の増大は，土壌の地質性質，また含有水分の差の判定効果にも明らかに現われる．

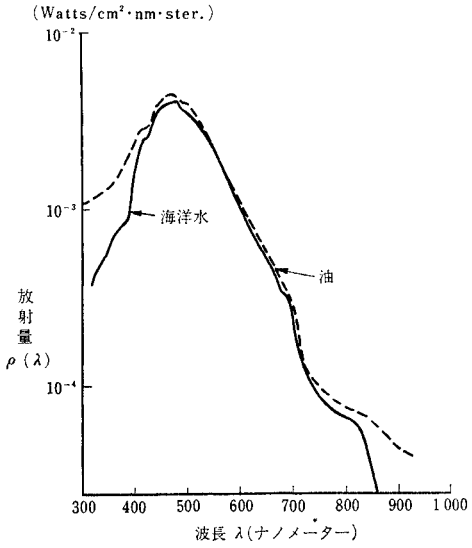
裸出して乾いた砂礫，崩壊土砂は白いが，多少なりとも水分を含むものは，その含みぐあいによって淡緑から濃緑のむらとなり，とくに農用地，造成地などでは著しい．水面は含有物が少ないほど完全に赤外光を吸収するので暗青色となる．ただし工場その他の排棄物によるもので油性のものを浮遊させたときも暗色となり，重金属質の無機物を混じたときには緑色味が，また有機物，藻類を混じえる時は赤紫色を加え，泥土等の濁りでは白色味を加える．

(2)　水への利用

海洋における油汚染発生の探知，および監視に対するリモートセンシング技術の応用が考えられている．

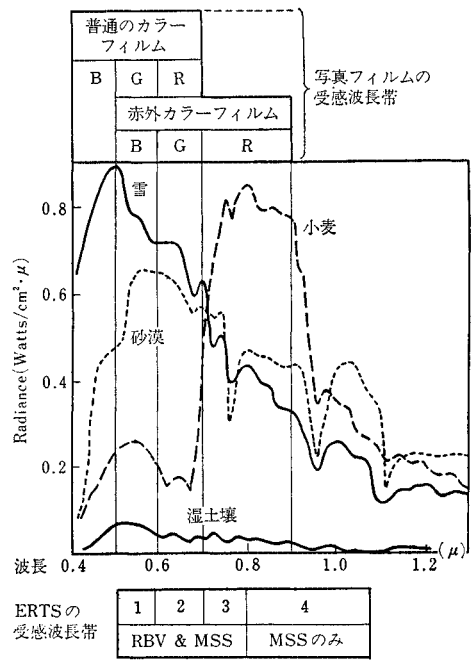


図―7　マツの病虫害による反射波長の変化



図—8

図—8 は，アメリカ合衆国のミシガン州立環境研究所の Horvath らにより太陽光で照明されたときの原油と水面から反射される電磁波の分光放射輝度分布を測定した例で，水と油とでは近紫外および 0.85 μm 以上の近赤外帯域で大きな相違が現われる．したがって，油汚染に対しては，近紫外帯域が最も有用となるが，一方，この波長帯は大気中における光の散乱効果の影響を大きく受けるので，低高度における観測の場合にしか応用できない．



図—9 雪，砂漠，湿った土および小麦（葉）からの反射光のスペクトル分布（渡辺博士論文より引用）

水と油とでは，純水で 0.993，石油の薄膜＋水で 0.972 というように放射率がわずかに異なる．したがって，10 μm 付近の波長領域を利用して，水と油と識別することが可能となる．特に，夜間における油汚染の監視は，10 μm 前後の熱赤外帯域を利用することによって可能となる．2.05～2.35 μm の中間赤外帯域は，氷の識別およびその移動の様子をくわしく知るのに利用され，水資源の探索にも有用とされる．また，水のダイナミックスな研究に役立つ．

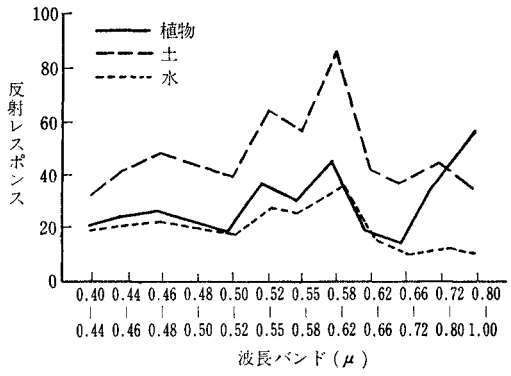
（3） 土木計画への利用

資源衛星 1 による情報が普通の写真情報よりはるかに豊富な情報をもっているのは，対象物を各色別（波長帯別）の識別情報として記録しているからである．

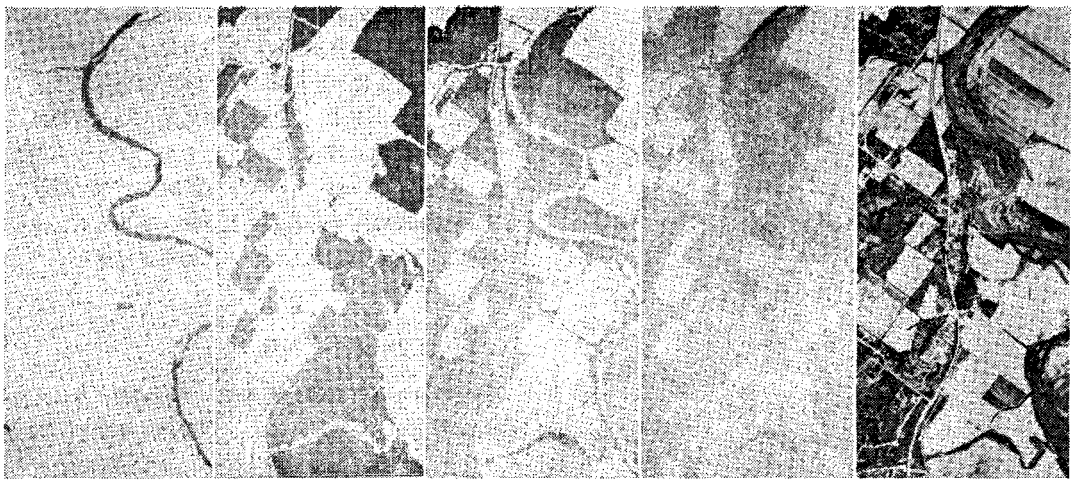
この図—9 でわかるように反射光は物質によって，それぞれ固有のスペクトル分布特性をもっているので反射光強度の分光的解析によって対象物の質を識別することができる．図—9 の B は青色，G は緑色，R は赤色に感ずる波長帯を示しており，赤外カラーは赤色に感ずる R の部分を赤外に感ずる R におきかえており，赤外カラー写真で植物が赤く色鮮かに表わされるのは，反射赤外部にも感光して赤く発色するように乳剤がつくられているからである．図—10 は植物と土と水の電磁波特性を示したものである．このようなレスポンス差の相関により識別を行うことができる．

これらの差を利用して簡単に電算機で識別を行った結果をアナログの形で打ち出したのが図—11 で，Ⓐ は航空写真のモザイク，Ⓒ は植生だけを表示，Ⓓ は土壌だけを表示，Ⓔ は水面部だけの表示を示し，それらを総合して濃淡差で示したのが Ⓑ である．

カラーは B, G, R のトータル・エネルギーの合成されたものが光化学的像情報として記録されたものであるが，撮影のときに複数個のカメラに違った色のフィルターをつけて同一対象物を同時に撮影する方法が多重波長帯別写真で，別々のカメラを連動装置によって同時に撮



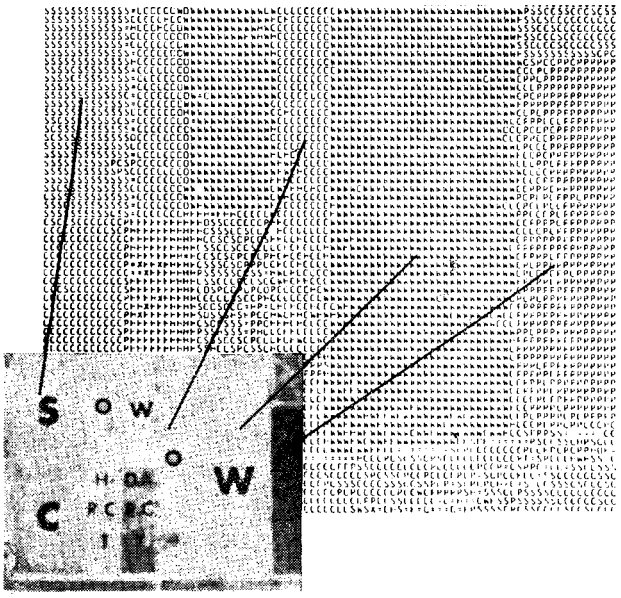
図—10 植物と水と土の電磁波特性



Ⓐ　Ⓑ　Ⓒ　Ⓓ　Ⓔ

（Ⓐは同じ地区の空中写真のモザイク，Ⓒは植生だけ，Ⓓは土壌部分だけ，Ⓔは水面部分だけをそれぞれ表示しており，Ⓑはそれらを総合した形で表示したものである（パーデュー大学の 1970 年の研究報告より引用））

図—11　電磁波特性より計算機で自動的に識別を行い白黒の濃淡差で打ち出した区分図



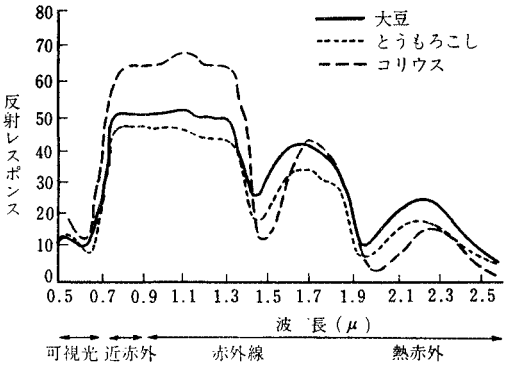
図—12　電算機で判別された穀物の種類をラインプリンターで打ち出して表示したもの（面積も記録できる）

影するようにしたものと，一つの大型カメラに複数個のレンズがついていて，同一フィルムにバンド別写真を写し込むカメラとがありバンドの数も 4 個が一般であるが 5 個，6 個，9 個，12 個，18 個，24 個といろいろある．

このようにして判別された結果は電算機によりラインプリンターで，あらかじめ定めた記号で打ち出すことも可能で，**図—12** はそれを示している．**図—13** は大豆，とうもろこし，コリウスのレスポンス特性を示しているが，この 3 種の混生する農地での判別は，0.8～1.3 で最高であったコリウスが 1.5 と 2.1 の近くで最低に逆転するので，この特性を使えば容易に識別することができる．すなわち，0.8～1.3 で最大で 1.5，2.1 付近で最小のレスポンスを示す地域を選びだせば，残る農地はどの波長帯を用いても，とうもろこしと大豆とに分けることができる．このようにすれば，植物や農作物の生育の度合や良否，病虫害の有無，収獲量の予測，等をすることが可能になる．

むすび

以上，簡単であるがリモートセンシングで有用な波長域が，どのような分野でどのように利用されているかを概見したわけであるが，今後，リモートセンシング技術を着実に発展させ，実際面に役立たせるためには，地道な基礎データの積み重



図—13　大豆，とうもろこし，コリウスのレスポンス特性

ねがいかに大切であるかを理解していただければ幸いである．わが国においても，国土地理院が中心となって，幅広い対象物体について分光反射率測定が行われるようになり，また，日本国土海洋総合学術診断（B & G プロジェクト）や日本リモートセンシングセンターにおいても，基礎データの収集が行われるようになり，今後の成長が期待される．

参考文献

1) 大嶋太市：写真情報とその利用 (1)～(2)，写真学会誌，第 36 巻 1～2 号，昭和 48 年．
2) 大嶋太市：写真測量の工学計測への応用，土木学会関西支部テキスト，昭和 46 年．
3) 中島　巌：遠隔探査による地球資源観測，学術月報，昭和 48 年 12 月．
4) 丸安隆和ほか：日本の衛星写真，朝倉書店．
5) Workshop on Remote Sensing and ERTS Image Interpretation, U.S. Geological Survey.

マークは語る　TOA

東亜道路工業株式会社

当社の社章は，社内応募による作品の中から，写真家岡田紅陽氏により選考され，昭和 26 年 4 月に制定したものである．

当社は，昭和 5 年の創業で，わが国において最初に瀝青乳剤の製造を開始した歴史を有し，これにより冷式舗装を可能にしたものである．

マークに示されている は，EMULSION（乳剤）の頭文字 E を意味し，その下辺の横に伸びた線は道路を表わし，文字の TOA（東亜）は，日本の道路舗装の歴史とともに歩み，道路建設に貢献した当社の足跡を物語るもので，この業種に限定せず，一般土木工事，産業廃棄物処理等の実績を通して社会の発展に寄与し，はたまた将来への限りない前進を表現したものである．

マーク全体を，丸や三角等の形式をあえて指向せず，流動的にとらえたところが他のものと違うところである．

を 1 本の帯とせず，2 本の線としたのは，TOA の文字を明瞭にするためのデザイン的考慮によるものである．

このマークは，従業員用のバッジ，看板，社旗，株券，会社案内，パンフレット，封筒などの印刷物，作業服等に現在使用されている．

（福士敬喜・記）

新刊　コンクリートライブラリー 41 号　丸善はじめ全国主要書店で扱います

鉄筋コンクリート設計法の最近の動向

B 5・186 ページ　定価 2 500 円　会員特価 2 300 円（〒 210 円）

建設コンサルタント　登録番号(49)133号

業務内容

河川	洪水解析、河道計画、水門、堰等構造物設計、内水排除計画、水資源開発計画	道路	路線選定及び道路計画・設計
水質	水質汚濁解析、水質保全の対策	橋梁	各種型式橋梁の計画・設計
ダム	各種ダムの計画・設計、仮設備設計	実験	河川及びダムの各種実験
用排水	排水機場、工業用水計画及び設計	空港	需要ならびに基本調査
環境アセスメント		測量	路線、地形、河川等各種測量
		下水道	調査、計画、設計

株式会社 **建設技術研究所**

取締役社長　藤樫博暁

本　社　〒103 東京都中央区日本橋本町4－2(第9中央ビル)　電話 03(668)0451大代表
大阪支社　〒541 大阪市東区本町1丁目24－1(ニューホンマチビル)　電話 06(262)1571代　表
福岡支社　〒810 福岡市中央区渡辺通4丁目6－20(星野ビル)　電話 092 (771)5007
川越試験所　〒356 川越市大字藪沼字中荻野2503　電話 0492 (35)3495