

解 説

## リモート・センシングにおける情報処理\*

飯 坂 譲 二\*\*

### 1. はじめに

地球資源の有限性が指摘され、また大規模工業化や、都市の高密度化に伴う環境悪化等、現代の社会に多くの問題が山積している。これらの問題の解決の糸口として我々が住んでいる国、地球についての知識をさらにふやす必要にせまられている。狭くなった地球とはいえ、点と線を結ぶこれまでのデータ収集方法では十分とはいえない。また、各分野の素過程について深い科学的知識を得る研究と同時に実際に地球レベルの総合的なプロセスについて情報を得る必要があり、人工衛星や、航空機を用いて、広域的に情報を収集する技術が開発されている。この技術によって、実際に地表での研究調査を必要とする地域、問題の検討をつけるための労力や時間を著しく、低減することが出来る。この技術はリモート・センシングと呼ばれ、基本原理は、地球表面やそれに近い被覆物、物体物質等の分布その他の情報を物理的な特性をもとに広域的に測定、解析し、資源問題、環境問題に利用しようとするものである。リモート・センシングの技術は、特に新しい原理の発見によって開発された技術ではなく、ランドサットと呼ばれる人工衛星の成功や日本における受信局設置計画推進等多くの関心がたかまっている。またリモート・センシングは単に地球科学的な観点のデータ収集のみならず、先に述べたような食糧資源、環境に関する情報の管理、運営に利用されるもので、“情報管理”への応用は、リモート・センシング技術の応用が重要な柱の一つである。

そこで、リモート・センシングを情報処理の側面から、1)リモート・センシングで収集している情報はどんなものか？ 2)広域、面的な情報処理として画像処理的な立場の情報処理、3)地表分布対象物のパターン認識としての情報処理、4)応用面からの情報処理、5)

情報処理システムとしての現状等について、解説をこころみたものである。

### 2. リモート・センシングによる情報

人間の五感の中で触感以外はリモート・センシングを行っているといつてよい。測定対象物と検出器の間に空間があり非接触的に情報を収集している。地表またはそれに近いところの対象物の状況を人工衛星等の空中、宇宙から得ようとするのが“リモート・センシング”である。一般に観測は、観測対象物と観測手段とこの情報のキャリア（例：電磁波、重力、音波、粒子線）との相互作用が基礎となっている。リモート・センシングでは、主として可視光線を含む電磁波と地球被覆物質との相互作用によって情報を収集している。地表に近いところには種々の物質から構成されており、その物質は種々の電磁気的な特性を有している。また、種々の物質が混合しているのでその性質もまた、複雑な散乱、吸収等の影響を受けるが、得たい情報の種類に応じて電磁波の散乱、吸収、放射の過程を簡単なモデルにおきかえて考えることが出来る。航空カメラもリモート・センシングのセンサの一種であり、視覚的に判断出来る対象（人工構築物等）の分布、振り等の幾何的形狀の検出によく用いられるが、ここでは電磁波と物質の相互作用のモデルから体系的に眺めてみることにする。電磁波と目標物質の相互作用としては、1)放射特性、2)分光特性、3)偏向特性、4)散乱・吸収、5)時系列特性等が中心で、面的情報としての空間特性（形状・分布等）を合せて収集している。その他、螢光や、光合成等の光化学的な特性もまた計測の対象となっている。電磁波は、波長に応じて種々の呼称がつけられており、波長の短い、ガンマ線、X線に始まり、可視光線、近赤外、熱赤外線、マイクロ波……等となっている。人工衛星等の地表からはなれた場所からの観測には、大気中での電磁波の透過率が問題となり、紫外線より短い(ガンマ線を除く)電磁波は観測し難い。また、大気の窓とよばれる波長

\* Information Processing for Remote Sensing by Joji IISAKA (Tokyo Scientific Center, IBM Japan).

\*\* 日本アイ・ビー・エム(株)サイエンティフィックセンター

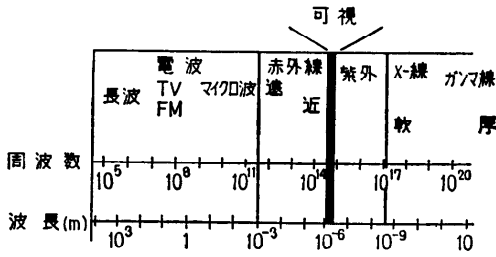


図-1 電磁波の波長と種類

域 (8 $\mu$ ~12 $\mu$ ) では電磁波の透過がよい。更に長い波長のマイクロ波等になると大気の影響が少なく、全天候型の観測が可能となる。現在のリモート・センシングではこのように可視域とそれより長い波長の領域での観測が主として行われ、特に日本の現状では熱赤外線程度のみに限定されている。

地表を覆っている物質には種々のものがあるが、リモート・センサが観測している情報は、その電磁波との相互作用形態を図-2 のように体系化してみると容易に理解することが出来る。

I) 放射モデル 地表、海洋水等が熱せられるとその表面温度、表面の状態に応じて種々の電磁波が放射され、理想的な黒体の場合、その分布がプランクの法則に従う。太陽光 (6000°K) の場合可視光線域に最大があり、また、常温に近い物体は 10 $\mu$  近傍で最大値を示す。地熱、雲、海水温、温排水等、温度に関する情報収集に用いられる。表-1 に物質ごとの放射率の差の例を示した。

表-1 各種物質の放射率 ( $\epsilon$ )

理想黒体 (定義)	1.000
水 (純水)	0.993
水 (石油被膜)	0.972
水 晶 砂 (大粒子)	0.914
水 晶 砂 (湿った, 大粒)	0.936
コンクリート	0.966
アスファルト	0.956

II) 反射モデル 太陽光が地表に当たると地表物質に吸収通過する光以外は、その物質の分光特性に応じていろいろの反射スペクトルが得られる。地表の諸物質の分布を図-2(c)のように、対象物の分光特性の差によって測定する。図-3 に種々の対象物による分光特性のスペクトルを示している。特に植物の場合、このスペクトルが、植物の種類、葉面積、葉中水分、季節等によって変化し、植物の光合成プロセスと密接に関係しており、農作物等の食糧資源情報収集の上で重要な情報源となっている。地表で反射されず吸収されたエネルギーは地表の物質を温め、表面から放射される熱的エネルギーはモデル(a)で計測される。

III) 多層モデル 表面放射、反射では表面上の情報のみが収集出来ないが、表層を構成している物質が種類の誘電率を有する物質の層の集りと考え電波的に内部についての情報を得ることも可能であり、地下水地下岩盤表層の融雪等の調査等に 응용される (図-2(e))。

IV) 表面形状 波浪その他・表面の粗さの情報は、マイクロ波等の散乱 (特に後方散乱) の断面積が有用な情報を提供してくれる。また畝地に農作物が生長していく場合草丈に応じて表面の粗さが変化すると考えられるので作物の生長度の指標ともなる (図-2(d))。

V) 混合モデル センサの最少解像度の中に、分光

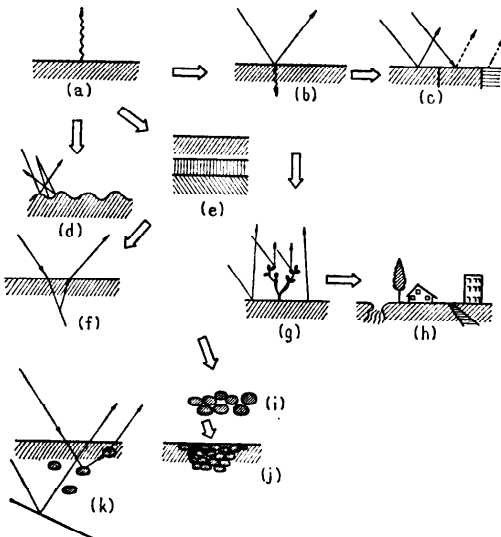


図-2 地表物質と電磁波の相作用モデル

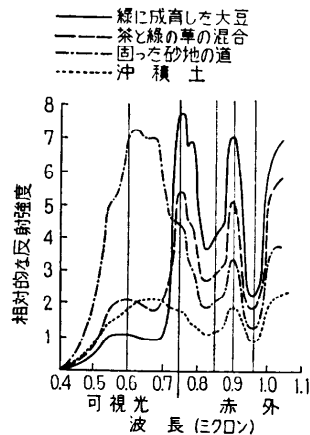


図-3 分光反射特性の例

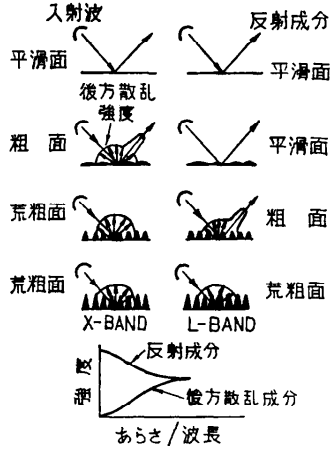


図-4 レーダ波の後方散乱の表面の粗さへの影響

的に異った対象物が混合している場合が多い。畝の中の土壌の中に農作物が成長していく例をみると、芽の出ないうちは土の特性が優性でセンサに入った情報は土に関するものであるが、葉がおいしげった時は、植物の情報となる。

Ⅵ) 複合モデル (Ⅴ)の複合モデルが、1地上画素内の応答信号全体を1データとして測定しているのに対し、更に隣接した画素に異った対象物が分布しているケースで、都市土地利用のように植物、人工構築物等が散在している場合がその例である。反射応答信号の中に複雑な地表対象物からの信号が含まれている。

Ⅶ) グレイン・モデル モデル(a)では一様平面物体を仮定したが、砂のように、粒状物体の場合乱反射等のメカニズムが複雑となり、粒子サイズ等による差等の情報を含むことになる。更に、水を含んだ砂のように他の物質に混在している場合、または、表層の薄膜になるようになる場合、照射エネルギーの吸収バランス、反射等が変ってくる。

Ⅷ) 透過モデル 電波は一般に水等の物質で反射、吸収され、あまり、透過しないが可視光ではある程度水中に透過し、溶けている物質分子との相互作用で散乱する。水質等の情報がこれによって得られる (図-2 (k)), (図-5)。

Ⅸ) 複合多重散乱モデル 浅い沿岸水等、水に含まれる物質が多種にわたり、また、底の影響を受ける場合は、複雑散乱形態となるが、単純なモデルが設定出来る場合は、水深等の情報が得られる。また大気や、雲における多くは、複雑な散乱を示しているが、大気汚染等の情報も得ることが出来る。

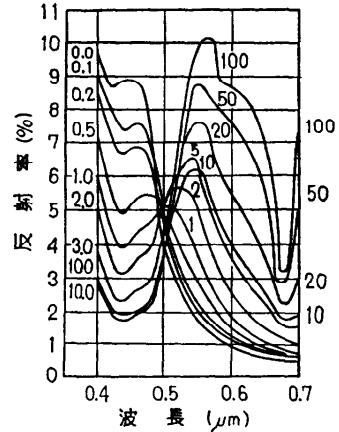
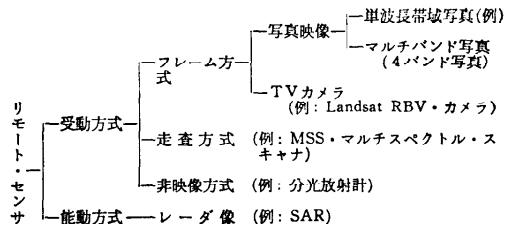


図-5 クロロフィルの量 (mg/m<sup>3</sup>) の変化と海水の分光反射率の変化 (計算値)

表-2 リモート・センサの分類



以上、散乱、吸収を中心にモデル化を試みたが、他の量を計測することによって更に有用な情報が得られる。例えば、表面反射で、電磁波の水平、垂直方向偏向の変化を計測することによって、水面の風速が求まることも報告されている。

このように、反射率、放射率、誘電率、その他適切な物理量とその組合せを計測することによって、農業、鉱物、地質、水利、都市環境、海況等の情報を収集出来る。このような計測を行うセンサとして、表-2の示したように多くのセンサが用いられている。観測のためのエネルギー源をセンサ自体が有するか否かにより能動式、受動式にわかれる。また図-6(次頁参照)に種類の人工衛星で使用している代表的なセンサと、そのカバーする波長域についての概要を示した。

リモート・センシングのもう一つの特徴は、高所から広域的にデータ収集出来ることにあり、地球を静止または一定の軌道で定期的に情報を収集することが可能である。従って、時系列的な情報を得ることが容易であり、地球上の諸現象のダイナミクスが得られると同時に情報管理に役立てることが出来る。表-3(次頁参照)に代表的なリモート・センシングの観測用飛

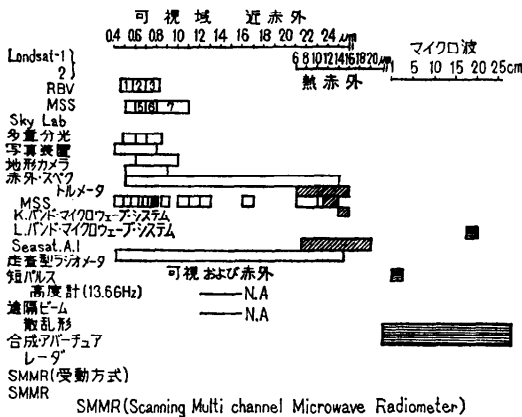


図-6 人工衛星の代表的なセンサのカバーする領域

表-3 MSS のカバーできる領域

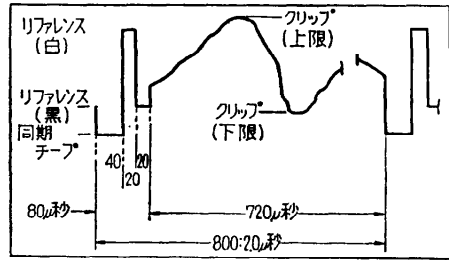
プラットフォーム	解像度 m	幅 km	周期	Time of Day
人工衛星				
ERTS (LANDSAT)	80	185	18日	一定
SKYLAB	80	70	5日	可変
航空機				
高高度	10	10	選択可	選択可
中高度	5	5	"	"
低高度	1	1	"	"

しょう体と、観測周期、観測範囲、解像度等を例示した。

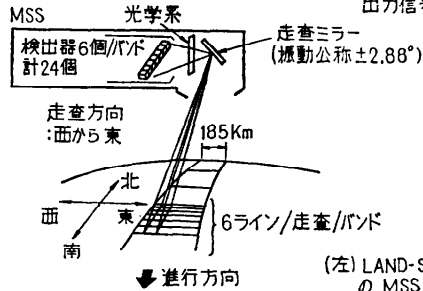
図-7 にリモート・センシングで代表的なランドサット・データ収集の概要を示した。地表面を各波長域ごとに6個の素子で衛星の進行方向に直角に走査している。走査はミラーの振動で行い、2.28°の視野角でデータを収集している。データは地上受信局のあるところでは、そのまま電送し、その他の地区は一旦磁気テープに記録され、受信局の上空にきたときに地表に送信される。データ量は、16.5 MPSで発生している。データの配布は、写真、磁気テープ等で行われており、1シーン当り、3240×2460画素からなり、1,600 hpi、2,400フィートのテープ約一本となっている。現在、測定している波長域は4バンドで、0.5~0.6, 0.6~0.7, 0.7~8.0, 0.8~1.1ミクロの乱用であるが、本年打ち上げられたランドサットCでは、第5バ

表-4 ランドサットの MSS と計画

	IFOV (m)	ダイナミ ックレン ジ	スペクト ルバンド 数	スペクト ル波長域 (μm)	スペクト ル打ち上げ
ランドサット 1.2	79	6ビット	4	0.5 ~ 1.1 (稼動中)	
ランドサット C	79	6ビット	5	0.5 ~ 12.6 (1978)	
ランドサット D	30	8ビット	6~7	0.45 ~ 12.5 (1980)?	



(上) RBVカメラの出力信号



(左) LAND-SAT の MSS

図-7 ランドサット・データの収集と信号

ンドとして熱バンドが含まれており、飛躍的に有用情報が得られると期待されている。

### 3. リモート・センシングの画像処理

リモート・センシングでは地球表面を主に面的な情報として得る場合が多く、画像処理の応用として重要で、また、実用的な要請がたかいものである。リモート・センシングで得られる情報は極めて多い(図-8参照)。リモート・センシングの画像処理の目的には大

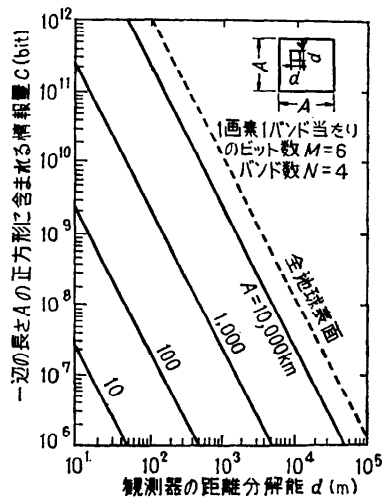


図-8 地表面から得られる情報量

大きく、画像のであるハンスメントの問題と、画像解析(情報の抽出)とがある。前者は主として、画像の正規化、雑音除去や、データのデコンプレッションや、特徴の強調がある。その他データ圧縮や、多量画像の蓄積、検索がある。米国ではすでにデジタルで大容量磁気ディスク(MSS)のランドサットデータをファイルする方式がとられている。

前処理

計測したリモート・センシングのデータの規準化のためには大きく、表-5、表-6にも示したように、1)幾何学的補正、2)放射系の補正が必要である。1)の幾何学的補正は、測定された面的な情報を正しい形に引きなおす処理である。測定位置に関係した補正の他、飛行機、人工衛星等の動きに関係したぶれもある。たとえば、飛行機に固定した測定機の走査方向は、飛行機の本体とは一定の関係に固定されるにしても、実際には、横風の影響で、必ずしも機体方向と進行方向は一致しないし、測定高度と、速度との関係によっては動きによるぶれの影響もある。また、ランドサット衛星に搭載されているRBVのような撮像管を利用した場合、レンズ等の光学系の歪みの他、電気的な走査、偏

表-5 マルチ・スペクトラル・スキャナデータの補正

幾何的補正	
内部要因	ミラー走査速度によるぶれ 検出器のデータ・サンプリングのおくれ
外部要因	測定時における測定器の傾きによる歪み 走査のずれ 地球の回転 飛行速度 高度 ロール、ピッチ、ねじれ 射影
放射系の補正	
内部要因	検出器の応答(オフセット・増幅度)
外部要因	大気による吸収・散乱 太陽光強度 フィルム、レコーダのガンマ特性

表-6 RBV(リターン・ビーム・ビジコン)カメラの補正

幾何的補正	
内部要因	レンズの歪み 走査、偏向系の歪み
外部要因	撮影時のカメラの傾き 高度 射影
放射系の補正	
内部要因	シェーディング
外部要因	大気による吸収・散乱 太陽光 フィルム・レコーダのガンマ特性

表-7 ランドサット MSS データの誤差

歪みの原因	誤差(3σ) 単位 km	歪みの原因	誤差(3σ) 単位 km
ランドサット		画面	
高度	1.50	地球曲率	0.75
姿勢		地球の自転	13.30
ピッチ	12.0	地図撮影	3.70
ロール	12.0	センサ	
傾れ	2.40	ミラーの掃引	0.37
ピッチ率	0.93	画面/センサ	
ロール率	0.54	立体歪	0.12
傾れ率	0.04	透視歪	0.08
スキャン・傾れ	0.08		
速度	1.50		

向系の直線性の欠除等に起因する歪みもある。一般に画像をデジタルで表現する場合は、画像を分割し(ランドサットでは3240×2460分割)、その一つ一つの画素の値で行列を作ったもので表現されるが、その画像に対し、回転、その他の歪除去の演算を行い、正しい位置での行列表現に引き直す処理がこの種の復正計算である。

ビジコンのシェーディングのように同じ強度の光が撮像面に到達しても感度の不均一性によって、撮像面の位置によって異った大きさの信号が発生する場合がある。このように検出器自体のもつ性能による歪みの他、測定対象から検出器までの伝達系による歪みがある。これらが2)の放射系の補正である。

地表に当る太陽光は途中、ちり、水蒸気、その他スペクトル的に変化しており、散乱、吸収の影響を受けている。また、地表面からの反射も同様であり、高々度の検出器はこの影響を受けている。そのメカニズムは一般に複雑で、その散乱、吸収の過程を量的に求めるには諸条件が複雑であるが、加法成分、乗法成分等に除去のため、画像間の演算が行われる。

画像強調

画像強調として雑音除去の他、視覚的な判断の上で有用な形式で出力する場合もある。視覚が区別出来る濃度レベルの範囲は、25段階程度(5ビット以下)である。一方計測された信号はランドサットの場合7ビット(ランドサットはそれを6ビットに圧縮している)であり、通常の写真にプリントした場合、下位ビットの情報が失われる。図-9(次頁参照)はバンド6のデータのオリジナルと、水域のレベルをコンピュータで括けて再びプリントを行ったものである。一方、単一画像の強調のみでは、図-9の例のように出現したパターンが大気汚染によるものか、河川水によるものか区別しにくい。これに対し、異ったバンド間の比演

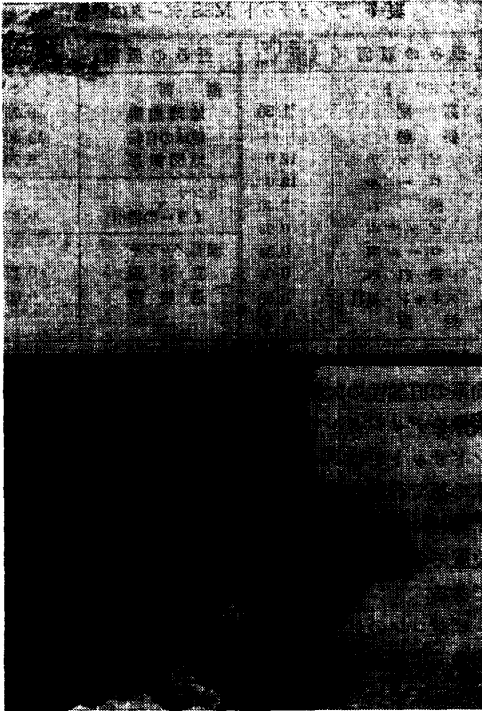


図-9 画像強調 (ランドサット・データバンド6)

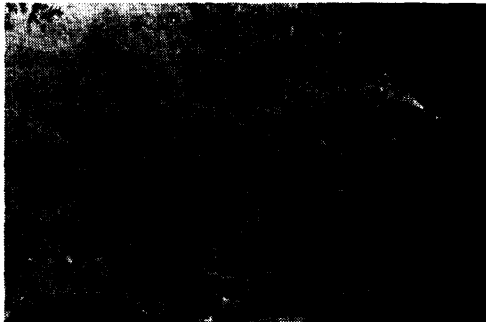


図-10 比演算画像による河川像の強調

算を行った結果についてプリントしたものが図-10である。図-10の場合は河川水の流入による影響であることが示されていることが容易にわかる。

**位置合せ**

地表の位置を固定する処理もまたコンピュータによって行われる。

二つの画像があり、図-11に示されているように位置合せを行いたい部分を含む部分画像  $W$  (サイズ  $L \times M$ , レベル  $K$ ) を照合対象の画像  $S$  (サイズ  $L \times L$ ) 内を走査し、正規化された相関が最大になるよう

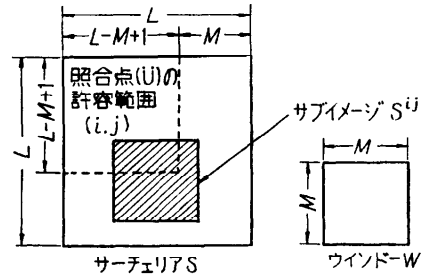


図-11 画像位置合せの探索域とウインド

な変位点を求める演算等を行って位置合せを行う。

一般に  $W, S$  の画像が大きくなると多くの処理時間を要するようになるので、フーリエ変換によって、パワースペクトルを求めたり、逐次走査に変る効率のよい走査法の工夫を行って、処理速度をあげている。

**モザイク画像の生成**

幾何的補正及び放射系の補正と、地表の位置が決定出来ると広範にわたる画像のモザイクが可能となる。リモート・センシングが広域的な情報を収集するにしても日本全域の地質学的な構造をみたい場合等には、モザイクが必要となる。また、常に全面雲のない映像を得ることも出来ないのも、画像の編集、パッチングが有効である。図-12はコンピュータで作成したランドサット・データによるモザイクである。処理は、二つの画面の共通座標系への変換に始まり、重ね合せの位置の決定、次に、結合すべき境界の決定を行って作成する。この例では2年間のずれのあとデータについてモザイクを作成したものである。最適接合点の決定に

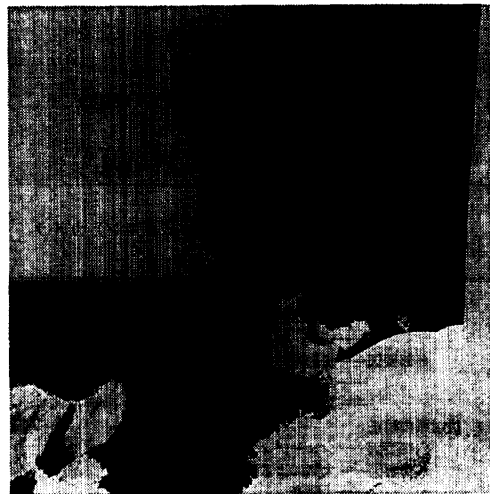


図-12 ランドサット・データによるモザイク合成画像

は、種々の方法があるが、最大微分値を示す点の選択によって決定している。

#### 4. リモート・センシングにおける分類

リモート・センシングで観測したデータの解析の代表的な例は、地表（あるいは海面）の種々の状態の分類マップを作成することにある。たとえば、植生分布、農作物の作付け、成育状況、土地地質、土地利用などがある。検出器で検出された地表からの情報（放射輝度、反射率 etc.）をもとに、上記のような分布図を作成する処理は、画像処理の中で、自動、半自動処理的な応用である。代表的な手法として、1) 統計的な最尤推定法、2) 教師なし分類、があり、最近では対象物の分光特性のみでなく、テクスチャ（きめ模様）をとり入れた手法もとり入れられるようになっている。

##### 統計的パターン認識による分類

ここでは、 $N$  チャンネルのマルチスペクトルスキャナによって得たデータの分類を例に、代表的な分類方法について述べる。

$N$  チャンネルのスキャナによって、地表上の1点に対して  $n$  次元の測定空間でのベクトルになっている。すなわち、1画素ごとにこの空間でのベクトルを示し、

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

となっている。

地表の状況を  $m$  分類 ( $m$  個のパターンクラス) を行うには、 $m$  個の  $X$  の1価関数  $g_1(X), g_2(X), \dots, g_m(X)$  なる判別関数によって測定値  $X$  に対し、パターンクラス  $i$  以外の  $j$  に対し、 $g_i(X) > g_j(X)$  が成立した場合に、その測定値  $X$  はパターンクラス  $i$  に属すると考える。したがって、関数  $g_i(X)$  の最適な形をどう定めるかが重要で、理論的、実際に求められる場合もあるが、一般にはトレーニングパターンを基礎に  $g_i(X)$  をつくる。特にリモート・センシングのデータは、測定条件を完全な形で再現することができなく（たとえば飛行高度、コース、気象条件、季節、時刻などのまったく同一条件での再録ができない）、また種々の雑音を含んでおり、地表のパターンクラスが明確でない、トレーニングパターンの同定自体にも不確定要素があり、パターンクラスのオーバーラップ

もある。そこで、あるパターンの確率密度関数を利用し、これをトレーニングパターンで決定する統計的なパターン認識の方法が用いられる。これはベイズの決定法を利用したもので、あるパターンが実際にはパターンクラス  $j$  に属するにもかかわらず  $i$  として分類された場合の損失関数  $\lambda(i, j)$  を用い、あるパターン  $X$  が、パターンクラス  $i$  とした場合の期待損失  $L_X(i)$ 、

$$L_X(i) = \sum_{j=1}^m \lambda(i, j) P(\omega_j | X)$$

が最小になるように判別関数を定める。通常、地表上の既知対象物のスペクトルの分布確率  $P(X | \omega_i)$  をガウス形の確率密度関数とし、一判別関数を

$$g_i(X) = \log P(\omega_i) - \frac{1}{2} \log |\Sigma_i| - \frac{1}{2} (X - \mu_i)^T \Sigma_i^{-1} (X - \mu_i)$$

但し、 $\mu_i$  はパターンクラス  $i$  の測定値の平均、 $\Sigma_i$  は、パターンクラス  $i$  の共分散マトリックス、 $\Sigma_i^{-1}$  はその逆行列、 $|\Sigma_i|$  は行列式の値である。

上述の手法によって、リモート・センシングのデータから、地表の状態の分類マップを作成する手順として、

- (1) 画像データから典形となるトレーニング地区を選択する
- (2) 分類したいパターンクラス(森, 田, その他)を定め
- (3) 標本データを取り出し
- (4) データの統計値, 分布等を検討し, 分類クラスを確定
- (5) 全地域について処理を行う。

##### 教師なし分類

前述の手法は解析者が、予め対象物の存在する地区の選定を行っており、解析者の地表上の情報の知識が不可欠である。一方データ自体の散布状況から類似性を見出し、それに基づいた分類を行い、結果を地表に対応させ、その意味付け、判定を行うアプローチがある。このような分類方法は教師なし分類とよばれるもので、簡単な場合は、データ間の距離をユークリッドにとるクラスターの手法、逐次サーチ法、K-L 系での特徴量空間による方法等がある。

逐次サーチの例として SSC (Sequential Statistical Search) 法では、先ず  $M$  個のデータを読み込み、先ずそのデータか、1つのパターンクラスを形成するかを検討する。 $M$  個のデータの平均に分散を求め、い

き値  $T$  に対して

$$\frac{\Delta X^2}{|X|^2} \leq T$$

但し,  $\Delta X^2$ : 分数の平均,

$|X|$ : 平均ベクトルの大きさ

が満されている場合には, 1つのクラスを形成しているとして, そのクラスを登録し, 次のデータを読み込む。新しいデータが既存のクラスに属していなければ, 新しいクラスが形成されるまでそのデータを保存する。また, クラスの数が予め指定した数より大きくなった場合はクラスの要約を行う。

上述の手法にせよ, 最尤法による分類も, 分光帯の各チャンネルの張る空間での分類であり, 分光データの各チャンネルの値がたがいに独立であるとしている。これに対し分類の基準となる, 特徴量として, K-L 系と呼ばれる直交系で, パターンベクトルを展開したときの展開係数から求められる長さを特徴量とし, その大小で分類する方法もある。

#### テクスチャを基礎にした分類

人間は色彩以外に, 形, 模様などの情報を利用して, リモート・センシングのパターン分類においても, 画像の空間的な情報を利用して, その代表的な例は, 画像のテクスチャ(きめ)で, 分類したい点のまわりの点の階調を考慮したものである。テクスチャを表現する方法として代表的なものとして,

1)空間周波数領域で高いところのパワーの大きさ, 自己相関関数が小さくなる傾向, すなわち, 高い周波数のパワーが大きいほど, また, 自己相関関数が小さなシフトで早く小さくなればなるほど, テクスチャはこまかい, 2)ある単位領域の中で含まれるエッジの数, この数が多いほど, テクスチャはこまかくなる。3)ある点のまわりに, その階調とにたような階調が存在する確率で表す。

すなわち, ある点のまわりに距離  $d$  離れた点に濃度レベルが  $i$  か  $j$  に移動する相対数を  $P(i, j)$  とするとき,

- (1) 各方向に対する2次モーメント

$$f_N = \sum_i \sum_j |P(i, j)|^2$$

- (2) コントラスト

$$f_2 = \sum_{n=0}^{n_j-1} n^2 \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} P(i, j)$$

- (3) 相関

$$f_3 = \left\{ \sum_i \sum_j [i j P(i, j)] - \mu_x \cdot \mu_y \right\} / \sigma_x \sigma_y$$

ここで  $\mu_x, \mu_y$  は  $P(i, j)$  の  $x, y$  方向の平均,

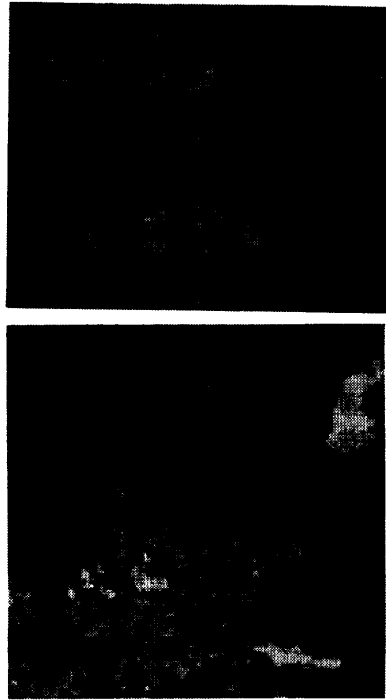


図-13 テクスチャ解析の応用例(森林の分類)  
(上) 入力データ (下) 解析結果

$\sigma_x, \sigma_y$  は標準偏差

等の量を基に分類を行う。

図-13 は空間格子フィルタを用いたテクスチャ解析を森林に応用した例である。

#### 句構造解析

パターン認識の中で, パターンの構造をその階層構造や, 手法で記述する研究がすすめられている。このアプローチは, 決定論的アプローチや前述の統計的アプローチに対して, 構造的, 句構造的アプローチとして区別されている。文字認識や, 心電図等の認識に実用的に用いられているが, リモート・センシングのデータ解析にも応用されている。この句構造的アプローチでは, 各パターンを, その部分構造に分割し, 最も簡単なパターンこの元素ともいふべき, 原要素 (Pattern Primitive) に分割し, その構成をパターン原要素を表す記号とその結合を手法に従って記述している。パターン要素の認識には決定論的なアプローチがとられる場合が多い。一旦, パターンの構造が記述されれば, そのパターン(記号列として一つの文を生成している)を, 句構造的な分析を方法に従って行い, 基本構文形(パターン・クラス)引きなおして, 認識する。

方法として, 一次元列の文法の他, 樹木構造の構



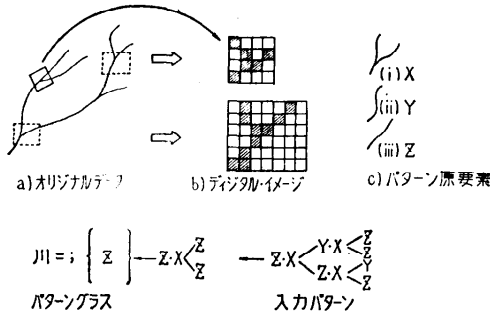


図-14 句構造解析のリモートセンシングへの応用  
川をパターン要素 XYZ で記述し、文法に従って分析すると一本の川と同じ構造に縮約される。

文、グラフ構文等、多次元の構文文法がある。この方法では、河川や道路等の認識に応用される。例えば川は、線分と、支流との分岐点よりなっており、これがパターン要素として扱うことが出来る。川を認識する上で、線分と分岐点の連なりとして表現されている場合に、それを川の基本パターン線に縮退し、判別する。

後 処 理

リモート・センシングのデータ解析の結果は、解像度の限界等の理由によって線形状のものが常に線としては現われない。川を分光的に抽出しても川幅がせまい場合や、伏流になっている場合は、鎖状の点列になってしまう。従って、構造解析の前処理、あるいは、分光特性を基礎にした分類結果の後処理として、いくつかの処理が必要となる。その方法として、

a) 構造的な合成 川、道路のように線分か点列の集りとなる場合、線形連続性を考慮する。

b) 関連性による合成 種々の領域内の関連性、包含関係、接続、分類等の関連性を考慮する。“橋は川を交叉している”、“森は種々の樹木の集りである”といった関連性の情報がこれに当る。

c) 条件的選択による合成 面積、形状、散布距離、混合率等のパラメタ設定によって、領域を設定していく。これは次章にのせる応用上の後処理としても利用される。

5. リモート・センシングの応用

応用のための後処理

リモート・センシングで計測した情報は直接的には物理量である。従って応用上地表の状態を区分するカテゴリーと直接的には一致しない場合が多い。例えば森林の区分の上で“混合林”として分類したい場合、樹

a) 構造的合成

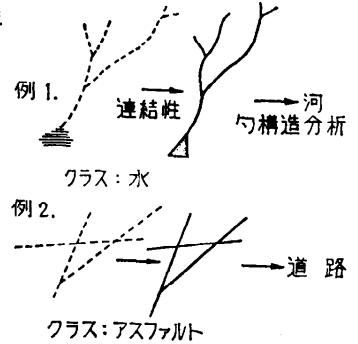
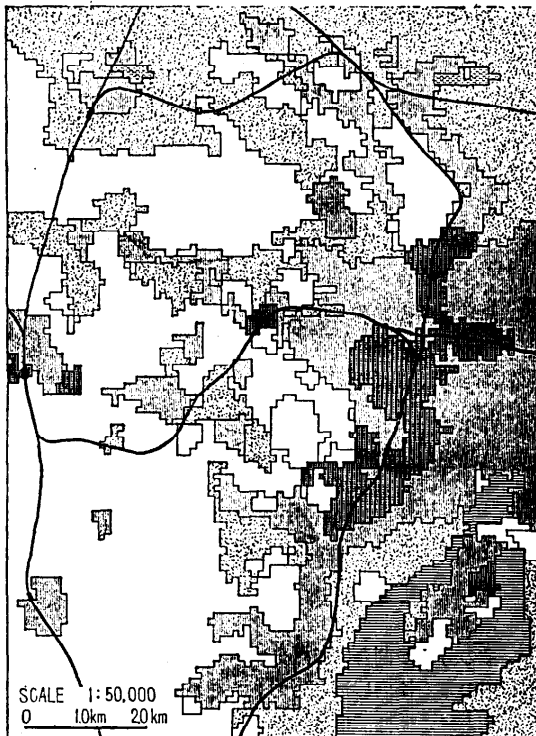


図-15 パターン分類結果の総合化

種の分布の割合いで区分することになる。分光的に樹種の差を検出したとしても、それを混合体としてまとめ上げるには、後処理が必要となる。同じような後処理を必要とする例に川や道路のように線形性を追求する場合もある。都市の土地利用についても同様で、住宅地として、ある領域を区別したい場合に、その中には物理的性質の異ったものが散在している。庭木あり道路、屋根等が含まれている。応用上、これらの計測値から住宅地として区分する場合に単位領域内での重み付けを行う後処理が必要となる。すなわち、計測値による区分とそれを応用上の各クラスの概念の定義によって導かれた方針による後処理が重要である。図-16(次頁参照)はランドサットから得られた東京の住宅定集度によって後処理を行ったものである。単位面積内での人工構築物のパーセンテージで区分している。情報管理地質、地形のような比較的静的な情報の他、気象、農業、水資源、海況等の情報は、その応用上、現状調査の結果から、予測、計画への情報を提供し、運営管理の目的に利用する。情報処理として、この方面の利用は実用的な面で大きな課題である。観測データのデータ・ベース、解析のための参照データ(地形、分光特性、その他)のデータ・ベース、解析手法地図等のグラフィカルなデータとの照合、予想モデルの確立等、ほとんどの情報処理技術が要求される。すでにこの方面の研究は、米国を中心に広域穀類生産情報シ



高層市街地 中高層市街地 中低層高密度市街地 低層高密度市街地

図-16 ランドサットによる東京土地利用度分布

システムの開発の研究も進められている。

リモート・センシングの応用分野として、有用と考えられる分野は極めて多い(表-8)、ある分野はすでに実用的な局面に入っているものもある。

## 6. リモート・センシングのデータ処理システム

以上述べたようにリモート・センシングのデータ処理は基本的にデジタル処理が不可欠であることがわかりただけよう。デジタル処理をする上に必要なコンピュータシステムについて、2, 3考察すべき点を述べることにする。リモート・センシングの技術を用いる目的に応じた精度と費用の対価、性能費が基本的な評価基準によって自ら選択されるものである。たとえば、土地利用解析を行いたいとした場合、1平方キロメートル当りの解析費用(正確度を含めて)がリモート・センシング技術を用いなかった場合との比較検討も一つの評価基準である。また、解析規模に応じた初期投資と拡張した場合の投資額も考慮する必

表-8 リモート・センシングの応用分野

農業・森林資源管理への応用
穀物生産: 作物判別と作付面積
・収 益 算 定
・地 層
・灌 漑 計 画
・災害被害量—洪水, 台風
・施肥料解析
・病虫害汚染地域の同定
牧草地管理: インベントリー
・モニターリング
・飼 養 条 件
森林管理: インベントリー
・森林植生図
・病虫害調査とコントロール
地質・鉱物資源管理への応用
地下資源・鉱物資源の調査と管理:
・石油資源管理
・天然ガス資源管理
・地 熱
・地質図の作製
土地利用調査
土地利用状況調査:
・タイプ……都市, 農地, 森林, 湿地, ……
・クラス……住居地, 商業地区, 牧草地, ……
・地 域……都道府県, 市町村, ……
・立地—ルート選択……道路, 鉄道, 施設, ……
・総合開発計画
・地 形 図
水 資 源 管 理
・積雪地区と積雪量評価
・表層かん水
水産資源と海況調査
・船舶航行
航路, バイプラインのルート設定
・津波予報
・沿岸海域管理
—海水汚染
—じゅん選
・立 地 選 択
—排棄地区, 石油精製
—港湾建設
環 境 管 理
・大規模・水汚染……河川, 海
・湿地湿原管理
—インベントリーと分級
—変化の調査
・環境・じょう乱地区のモニターリング
・都市環境の評価
気 象 / 防 災
・雲, 霧, 台風

要がある。

現在大規模なシステムとしては NASA 関係では Jhonson Space Center にある, ミッションコントロールにも使用されるコンピュータ, IBM S/360-M 75 とタイム・シェアで用いている ERIPS (Earth Resources Image Processing System) が代表的なもので, 二つの白黒の CRT とカラー TV を有する端末装置によってコンピュータからの指示を受けながら解析を進めていく。

このシステムは、ミッションコントロールと同時に同じコンピュータで行われる。プログラムの実行の優先順位は、人工衛星のミッションコントロールのためのプログラムに割り当てられており、ERIPSによる実行は、ミッションコントロールの必要が生じた場合には、コンピュータは、ミッションコントロールにわたされるようになっている。リモート・センシングのデータ解析は、コンピュータの専門家ではない応用分野の人達が自由にコンピュータを駆使する必要があり、また、画像の全自動解析処理に至る中間段階として、オペレータの介入するマン・マシン方式のコンピュータシステムで、コンピュータの計算処理時間に比べて人間が思考に費す時間が圧倒的に多く、この間コンピュータは他の仕事を行うことができる。ERIPSの生まれた背景はこのように汎用コンピュータを用い、画像解析を行っている人が思考している間はコンピュータを他の仕事に利用し、究極的な利用コストの低下をねらっているものといえる。同じような思想の

もとでコンピュータによるリモート・センシング・データの解析システムに Purdue 大学の LARSYS がある (ERIPS の原型となっている)。これは Purdue 大学の LARS (Laboratory of Application of Remote Sensing) にある IBM S/360-M 67 のもとで、NASA の JSC, GSC, MSC, AMES, USGS の EROS, California 大学等、全米の各地より、オンラインで一つの解析システムを利用できるようになっている。この方式の問題点は、通信回線の速度であり、センター側と端末側との画像データの往復を少なくする必要がある。

ERIPS の構成と機能概要を図-17 に示した。

A) ERIPS-スーパーバイザ ERIPS スーパーバイザはシステム全体のコントロールと、システムの有するリソースの管理とターミナルと応用プログラム、大量データ記憶装置との間のインタフェースの働きをする。

1) システム管理機能

システムの初期値化、常駐プログラムのロード、コ

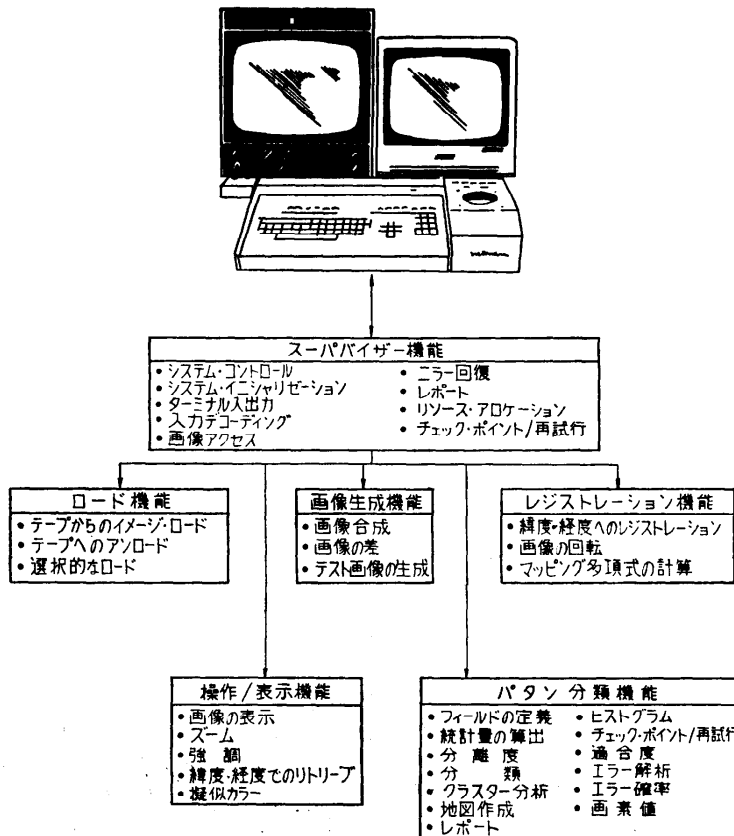


図-17 ERIPS の構成

ントロールブロックの初期値化等を行う。また応用機能の選択を行うメニューを表示する。

エラー回復：1つのターミナルで処理されている際にエラーが生じた場合、他のターミナルの処理に影響が及ばないようにする。

応用解析のタイムスライシング：2人以上が同時に解析する場合、一方が他方を妨げないようにタイムスライスで行う。

## 2) 応用サービス

メニューコントロール：必要なメニュー画面の表示をコントロールする。CRT上のメニュー画面により処理の選択ができ、解析者はこのメニューを眺めて必要なプログラムや、機能の選択をグラフペンを用いて行う。1つの処理のあとつぎの処理にわたされる画像データは出力ターミナルへ出力される。

画像データへのアクセス：画像のライン番号、表示開始画素番号、チャンネルの選択形式の選定によって画像データを取出す。

ダイナミックな割り当て：画像データの処理に必要なワークスペースをダイナミックに割り当てる。

ロギング機能：解析者が行った手順のロギングを行う。

バッチ入力：ターミナルがない場合でもシミュレーションオペレーションできる。

## B) イメージロード機能

リモート・センシングのデータはセンサタイプによって種々の形式をもっているが、ERIPSのワークディスク上にデータをロード（またはアンロード）するもので、LARSYSテープ、LANDSATテープ、S 192、JSC 23チャンネルデータなどがロードできる。

## C) 画像のマニピレーションと表示機能 (IMD)

IMD (Image Manipulation & Display) は、TVの画面上（白黒/カラー）への表示をコントロールし、カラー、黒白の選択、画像の名前、表示するチャンネル番号の指定、表示するライン番号ピクセルの指定、倍率の指定、放射輝度と階調の値との交換の指定を行う。CRTは510×512の要素から構成される。

## D) 画像の生成機能

2つ以上の入力画像から合成した出力画像を生成する。時系列的な画像の合成や、減算による変化部分の抽出が可能となる。また、モザイクを行い大きな画像データの生成、2つ以上の画像間の比や、画像データのサブセットの作成もできる。

## E) 位置合わせ：レジストレーション

2つの画像間や地図との対応点、標定點合わせを行う機能がある。異ったセンサで測定されたデータ間のレジストレーションを行う。2つのオペレーションモードがあり、種々の地図へのプロジェクションの選択、緯度、経度の選択を行うものと画像の反転、逆転、左右シフト、上下シフト、回転や、多項式の入力によるレジストレーションを行う機能とである。

## F) パターン分類

最尤法によるパターン認識処理のほか、適中率の計算、正規分布の検定などを行い、レコグニションマップを結果として出力する。一般にこの種の計算は時間を要するので、途中で打ち切り、再度、途中から再開することのできるチェックポイント、リスタート機能がある。

分類機能の中には、トレーニングフィールドの選択、トレーニングフィールドのデータ分析（平均、共分散ベクトル etc.）、分散度の計算による最適チャンネルの選択、分類処理、分類マップの生成などが用意されている。また教師なし分類もある。

リモート・センシングのデータ処理の中で日本において比較のおざりにされているのは、データの管理であろう。リモート・センシングでこれまで得られたデータ、これから入手されるデータの量は莫大なものであり、そのデータを必要とする利用者にとってそのデータの保管場所、そのカバーしている地域、撮影日時等、雲の状態、気候、その他データ解析に必要な項目をどう管理し、適切なデータを利用者に提供できるように検索まで行えるシステムは画像解析と同様、大切なシステムである。

## 7. リモート・センシングのデータ処理の今後

リモート・センシングのデータ処理の性能は、解析コスト等で、実用化の鍵である。ランドサット・データの処理時間の減少傾向を図-18に示した。

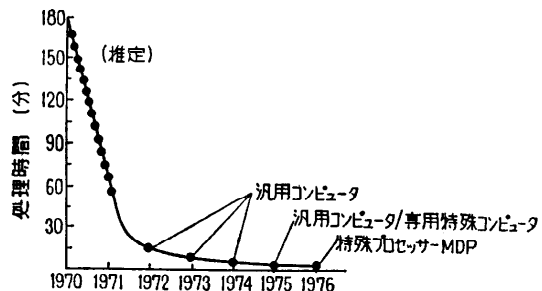


図-18 リモート・センシングのデータ処理時間の減少傾向

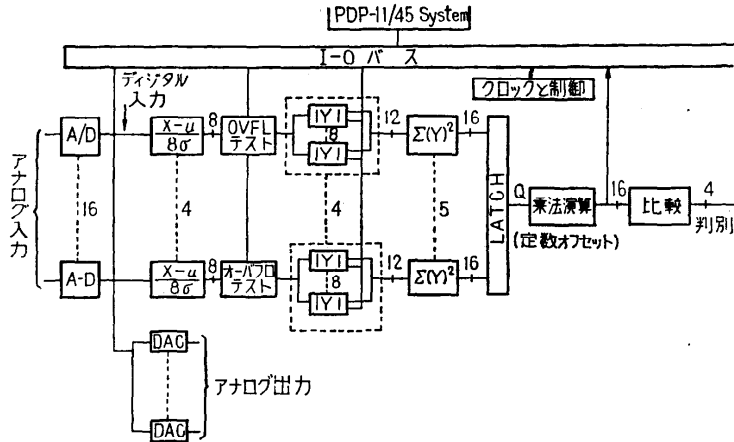


図-19 ERIM (ミシガン環境研究所) のリモート・センシング・データ並列処理

その一つは、専用処理機と並行処理等の技術の進歩である。この処理時間の減少の傾向は、図-19のようにコンピュータの処理速度の増大のみならず、リモート・センシングのデータ処理専用機の概念が実用化しつつあることによる。最新のものは GFC で利用する MDPS (Master Processing System) で、マイクロプログラムの可能な高速プロセッサを使用している。多重のデータ・パス・パイプライン方式の演算問題等を採用している。データレートは、2.5 MHz に至り、ランドサット・データの実時間入力が可能範囲である。この ASP-202 は、32 kW の記憶容量をもつコントロール・プロセッサと、64 kW のバルク記憶装置と、2つのパイプライン・プロセッサからなり、放射系の補正、校正、標定点処理と、幾何的メッシュ計算を行う。

一方電送されてくるデータの貯蔵についてもオンライン化に向い、大容量の外部記憶装置 (全米を 23 回カバーする程度の容量をもつ) にランドサットのデータをデジタル的に保存し、後の処理の便がはかられている。

1) 解析の並列処理

リモート・センシングのデータ解析の目的に地表状態の分類がある。分類の手法は、リモート・センシングのデータの分光的な測定が基礎となっているので、通常の空間的なパターン認識の手法より、スペクトル空間でのパターン認識の手法を用いている。最近では、スペクトル空間での分類に加え、テクスチャ解析や、グローバルな空間構造的な情報を加味した分類を行った試みが報告されているが、手法の研究の域

も出ていない。

スペクトル空間での分類手法の中で最も多く採用されているのが最尤法である。これは同質のカテゴリー画素単位のデータの分布がガウス分布であることを仮定したものである。これに対し、領域単位の分類や、ガウス分布とは異った分布に対する分類手法の研究も行われている。データ処理時間からみると、画素単位ごとの計算に比して、領域単位の処理時間は急増するのでこれもまた、研究的なレベルにあるといえよう。画素単位の計算の中で最尤法はよく用いられている手法であり、多くのコンピュータ・システムの機能に準備されているケースが多い。

一方データ処理時間はデータ量、分類クラスの数によるが、一般には大きな計算時間がある。リモート・センシングのデータ解析は未だ完全自動システムではなく、マンマシン・システムによる解析が進められている。従って解析オペレータの思考時間のスピード (例えば次の解析の結果の判読から次の意志決定が行われるまでの時間) にマッチした処理時間が要求される。

表-9 マルチスペクトルデータ圧縮

圧縮法	圧縮率	S/N	システム	分類性能	再現性
固定レートのエンコード	~1/4 ~1/6 (ホフマンエンコードの追加)	35 dB	ハール、2次元 DPCM	91%	良
固定ビット・レート	~1/8	31 dB	ハール・コサイン DPCM	82%	やや劣化
クラスター・コーディング	~1/12	29 dB		71%	満足出来る程度

注：圧縮率 1/10 にするとかなり画像は劣化し、利用出来ない応用分野がある。

る。このような事情から処理性能の向上が望まれているが、その一つのアプローチとして ERIM の並行処理解析を行うシステムがある（同様のシステムも西独で研究が行われている。LSI 等の進歩がこのようなアプローチを可能にしたともいえる）。

## 2) データ圧縮とオンボード・プロセッシング

解像度が高まり、波長帯域の増大、チャンネル数の増大にともない、その情報量は急激に増大する。それらのデータの記録、地上への通信、地上での処理能力、機上での電力その他諸条件下で十分な容量を持ち得るとは限らない。そこで、なんらかのデータ圧縮を行った形式での記録、通信、処理方法の検討がせまられている。

通信容量の軽減のためデータ圧縮の他、MSS データのような、幾何的補正、視野角による大気の影響の除去等、画像の前処理をオンボードで行おうとする試みも検討されている。航空機/人工衛星の何れにせよ、1980年代にあっては特定のテーマ、目的別（例：環境モニター、農業生産予測等）に設計されたものが実用的に運用されることが予測されている。その時代にあっては、現代のように一次測定データをそのまま地上に送り、地上のデータ処理システムで、汎用のデータを生成、配布するシステムとは異り、効果的なデータ処理を機上で行って、それを利用者ごとに送る方式となる。現在はそのための方式の検討、処理方法、経済性、応用分野の順序付けが行われている。これは、NASAに限らず、ヨーロッパでも行われており、シミュレータを用いて、その評価を行っている。将来のランドサットに対しては、応用分野として、①農業、②沿岸、近海の調査、③森林、④地図、⑤地質、⑥水利、⑦気象、⑧海洋、の諸分野をとり上げ、クラスターリング、最尤法、テーブル・ルック・アップ等の手法を用いて、必要な解像度、必要チャンネル数から必要なビット・レートを算出し、特徴抽出のアルゴリズム、前処理の方法、必要な IC の個数等から総合的な評価を行う。その結果、広い応用分野をカバーする上で、①テーブル・ルック・アップ、または最尤法のアルゴリズムがよいが5チャンネル以上のチャンネルを必要とする以外は、テーブル・ルック・アップ方法がよい。②オンボード・プロセッサの利用がデータ負荷の上で有利である、③オンボードのプロセッサの能力は1975~1985の間に2倍になり得るマイクロコンピュータの使用によって能力、コスト、体積、重さの諸面で有効なプロセッサが作製されることがいわれてい

る。具体的な事例としては、ERIMが計画しているオンボード・プロセッサがある。これは、CCD等(1976年秋現在)で検出された信号を読みだした直後に前処理回路(線形結合回路)を通し、最尤演算処理を行って、オンボードで分類してしまう方法で、回路を小形化し、オンボードで利用しようとするものである。

## 参 考 文 献

### リモート・センシング一般

- 1) US. S. P. 編: "Manual of Remote Sensing" (1976).
- 2) 和達, 江森, 土屋, 飯坂, 安田, 長尾: "リモート・センシング", 朝倉書店 (1976).
- 3) キヤノン・イメージ編: "リモート・センシング" キヤノン (1973).
- 4) NASA ERTS Data User Hand Book (1973).
- 5) Proceeding of the International Symposium on Remote Sensing of Environment, ERIM, Michigan, USA (1-11).

### 画像処理

- 6) 長尾: "リモート・センシングにおける画像処理" 計測と制御 7 (1976).
- 7) 飯坂: "リモート・センシングにおけるデジタル画像情報" 画像技術 (1975).
- 8) 飯坂: "医学, 航空写真への応用を中心にみた画像処理" 日経エレクトロニクス (1975).
- 9) Mercanti, E.: "The ERTS-1 Experiments Teaching Us a New Way to See," *Astronautics and Aeronautics*, Sept. 1973, Vol. 11, No. 9.
- 10) ERTS Data Users Handbook, NASA-Goddard Space Flight Center, GE Document #71SD 4249.
- 11) Specifications for EOS System Definition Studies, Earth Observatory Satellite (EOS) Project, Goddard Space Flight Center, Document No. EOS-410-02, September 13, 1973.
- 12) R. Bernstein, : "Results of Precision Processing (Scene Correction) of ERTS-1 Images Using Digital Image Processing Techniques", Symposium on Significant Results Obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1, Vol. II, NASA Document #SP-327, March 5-9, 1973.
- 13) R. Bernstein, : "Scene Correction (Precision Processing) of ERTS Sensor Data Using Digital Image Processing Techniques," Third ERTS Symposium, Vol. 1, Section A, NASA SP-351, December 10-14, 1973.
- 14) R. Bernstein : "All-Digital Precision Processing of ERTS Images," Final Report, NASA Contract NAS 5-21716, April 1975.
- 15) Bernstein, R., D. G. Ferneyhough and S. W. Murphrey, : Final Report-Feasibility of Generating Mosaics Directly from ERTS-1 Digital

- Data, IBM Report No. FSC 74-0140. April 30, 1974.
- 16) Schmidt, R. G. B. B. Clark, and R. Bernstein, : "A Search for Sulfide-Bearing Areas Using LANDSAT-1 Data and Digital Image Processing Techniques," presented at the NASA Earth Resources Survey Symposium, Houston, Texas, June 1975.
- 17) Refman, Samuel S., : "Evaluation of Digital Correction Techniques for ERTS Images-Final Report," TRW Systems Group Report 20634-6003-TU-00, March 1974.
- パターン認識
- 18) K. S. Fu, : Sequential Methods in Pattern Recognition and Machine Learning, Academic Press, New York, 1968.
- 19) K. S. Fu, D. A. Landgrebe and T. L. Phillips, : "Information Processing of Remotely Sensed Agricultural Data," Proc. IEEE, Vol. 57, No. 4, pp. 639-653 (April 1969).
- 20) K. S. Fu, : "On the Application of Pattern Recognition Techniques to Remote Sensing Problems," Technical Report, TR-EE 71-13, School of Electrical Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana, U. S. A.
- 21) Proceedings of the Symposium of Machine Processing of Remotely Sensed Data, 1973 and 1975, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- 22) Proceedings of the Symposium on Remote Sensing of Environment, 1964-1975. University of Michigan Ann Arbor, Michigan.
- 23) T. Huang, : "Per-Field Classification of Remotely Sensed Agricultural Data," Proc. 1970 Allerton Conference on Circuit and System Theory.
- 24) A. G. Wacker and D. A. Landgrebe, : "The Minimum Distance Approach for Classification," LARS Information Note 100771, Purdue University, W. Lafayette, Indiana, 1971.
- 25) R. L. Kettig and D. A. Landgrebe, : "Classification of Multispectral Image Data by Extraction and Classification of Homogenous Objects," Proc. 1971.
- 26) T. V. Robertson, P. H. Swain, and K. S. Fu, : "Multispectral Image Partitioning," Tech. Report, TR-EE 73-26, School of Elec. Eng., Purdue University, West Lafayette, Indiana, August 1973.
- 27) E. M. Rodd, : "Closed Boundary Field Selection in Multispectral Digital Images," IBM Publication No. 320. 2420, January, 1972.
- 28) P. H. Swain and K. S. Fu, : "On the Application of a Nonparametric Technique to Crop Classification Problem," Proc. 1968. National Electronics Conference.
- 29) E. P. Pan, W. A. Holley and H. D. Parker, Jr., : "The JSC Clustering Program ISOCLS and Its Applications," Proc. 1973. Symp. on Machine Processing of Remotely Sensed Data, LARS, Purdue University, W. Lafayette, Indiana 47907.
- 30) E. G. Henrichon and K. S. Fu, : "A Nonparametric Partitioning Procedure for Pattern Classification," IEEE Trans. on Computers, Vol. C-18, No. 7, July 1969.
- 31) K. S. Fu, P. J. Min and T. J. Li, : "Feature Selection in Pattern Recognition," IEEE Trans. on Systems Science and Cybernetics, Vol. SSC-6, No. 1, January 1970.
- 32) P. H. Swain and R. C. King, "Two Effective Feature Selection Criteria for Multispectral Remote Sensing," Proc. International Joint Conference On Pattern Recognition, November 1973, Washington, DC.
- 33) H. P. Decell Jr. and J. A. Wuirein, "An Iterative Approach to the Feature Selection Problem," Proc. 1973 Symp. on Machine Processing of Remotely Sensed Data, LARS, Purdue University, W. Lafayette, Indiana 47907.
- 34) R. Bajcsy and M. Tavakoli, : "Computer Recognition of Roads from Satellite Pictures," Proc. Second International Joint Conference on Pattern Recognition, August 1974, Copenhagen, Denmark.
- 35) J. R. Welch and K. G. Salter, : "A Context Algorithm for Pattern Recognition and Image Interpretation," IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-1, January 1971.
- 36) 富田, 白井, 辻, : "テクスチャ解析" 情報処理 19 (1978), p. 173
- データ・ベース
- 37) J. Iisaka, : "Synthetic Approach of Pattern Recognition for Remote Sensing," TSC Report, IBM Japan (1977).
- 38) R. S. Singh : "A Practical Cataloging, Indexing, and Retrieval System for Remote Sensing Data," Dr. Thesis, Univ. of Wisconsin (1973).
- 39) M. A. Knutson, D. Hurd, L. Hubble and R. M. Kroeck : "Image Selection System," NASA Contractor Report, NASA CR-2475 November, 1974.
- その他
- 40) A. Habbi, S. Sanulon, : "Band Width Compression of Multispectral Data." SPIE Vol. 66 (1975) 23.
- 41) A. Habibi, : "Study of on Board Compression of Earth Resources Data," Sept. 1975, NASA

- CR 137752.
- 42) R. Meneghini, : "Review of Data Analysis Procedures for the ATS-6 Millimeter Wave Experiment," Aug. 1975, NASA TM-X-71023.
- 43) R. E. Bodenheimer, "Satelite on Board Processing for Earth Resources Data," NASA CR-137757.
- 44) M. Griggs, : "Determination of Aerosol Content in the Atmosphere from LANDSAT Data," Oct. 1975, E 76-10067.
- 45) L. J. Ippohto, : "Twenty and Thirty GHz Millimeter Wave Experiments with the ATS 6 Satellite," April, 1976, NASA TN-D-8197.
- 46) R. M. Hoffer, : "Computer/Aided Analysis of LANDSAT-1 MSS Data: A Comparison of There Approaches, Including a Modified Clustering Approach," 1975, E 76-10292.
- 47) C. J. Baldwin, : "Functional Design for Operational Earth Resources Ground Data Processing," Sept. 1972, E 76-10346.
- 48) E. Bruederle, : "Study on the Compression of Image Data on-Board of an Applications or Scientific Spacecraft," 1975, ESA-CR(P)-770-VOL-1.
- 49) F. Kriegler, R. Marshall, S. Lampert, M. Gordon, C. Connel, R. Kistler, : "Multivariate Interactive Digital Analysis System (MIDAS) ERIM Report," Aug. 1973.
- 50) L. L. Thompson, : "Silicon/Solid State Linear Array for Multispectral High Resolution Image System Proc. SPIE Vol. 1, 1974, 132.

(昭和 53 年 3 月 31 日 受付)

(昭和 53 年 7 月 5 日 再 受付)