

リモートセンシングデータのデジタル処理

竹内章司 (轄富士通研究所)・上原勝徳 (富士通轄)・松野久也 (環境地質部)

はじめに

本誌第258号において筆者らの1人松野は丸山欽洋とともに『テーマ(主題)抽出写真処理技法』と題してリモートセンシングにおける多波長帯域映像データの処理技法について概説を行ない写真技法によるテーマ抽出について詳述した。このとき映像あるいは画像データのコンピュータによるデジタル処理技術は未だその発展の初期段階にあって一般的な実用のものとなるまでにはなお研究開発が促進されなければならないと述べた。

しかしながらデジタル画像処理は日進月歩の計算技術およびその周辺技術と装置の開発に伴って急速に発展しリモートセンシングによる映像データ処理において重要な位置を占めるようになりつつある。わが国における実用段階のデジタル画像処理システムの例として昭和52年度から運用に入る予定である気象衛星画像処理システムがあげられる。

続いて一条敏明・松野久也(1976)は『リモートセンシングにおける写真』を題する総説を公表(本誌第265号)しそのなかで写真および写真処理技法のリモートセンシング技術における位置付けを行ないその優れた点を明らかにすると同時に欠点についても言及した。そして写真処理コンピュータによるデジタル処理電子的アナログ処理などの技法を相補的に組み合わせることによってはじめて効果的かつ系統的なリモートセンシングデータの処理システムが構成されるものであることを強調した。

続いて今回はリモートセンシングにおける多波長帯域映像データ処理において近年とくに重要な位置を占めつつあり自動処理という点から将来の主流の1つと考えられるデジタル処理技法について紹介することにする。この技法は鉱物資源探査の面で乾燥露岩地帯における斑岩銅鉱の生成に関連する変質 halo の抽出・識別のための LANDSAT データの処理に応用されその効果が明らかにされつつある(長谷 1976 SCHMIDT 1976)。ここではその原理手法およびその全体の概要の紹介を目的として LANDSAT データの土地利用分類図作成への応用についての実験結果を例としてとり

あげることにした。

1. デジタル処理の特徴と役割

デジタル処理は写真処理に代表されるアナログ処理と比較した場合次のような利点をもっている。

- i) すべての処理過程を完全に定量的に把握できるため精度の良いかつ客観的な解析を行なうことができる。
- ii) 処理の再現性が保証されるため処理のアルゴリズムがどの処理システムにも普遍的に適用できる。
- iii) 融通性・多様性に富みマンマシンシステムによって解析能力を向上させることができる。

他方欠点としては

- i) 特殊な入力装置を必要とするため装置が高価になる。
- ii) 一度に大きな(画素数の多い)画像を扱うことはメモリや計算時間などに制約を受け困難である。
- iii) 表示装置の制約上大きな画像を一度に表示することが困難である。

などがあげられる。しかしこれらの欠点はコンピュータや周辺装置の進歩に伴って徐々に克服されて行くことであろうしまたiii)などは写真処理技術と組み合わせることによっても解決がなされるであろう。

次にデジタル処理技法がリモートセンシングデータの処理において果たす役割を示すと第1図の通りである。すなわち大きく①前処理②強調および③特徴抽出・分類・計測の3つに分けられる。

①前処理は入力データ(原データ)に含まれている種々の歪についての補正であって正しいデータの提供を目的とするものである。この補正には画像の幾何学的ひずみ除去と放射エネルギー強度観測値に関する補正との2つが含まれ前者にはデータの地図投影(map projection)の変換も含まれる。これら前処理は後のすべての処理の基礎でありその成果を左右する重要な過程である。

②強調はデータのスペクトル特性や空間的特性(テクスチャなど)を強調して見易い形で表示することにより人間の目による識別の助けとすることを目

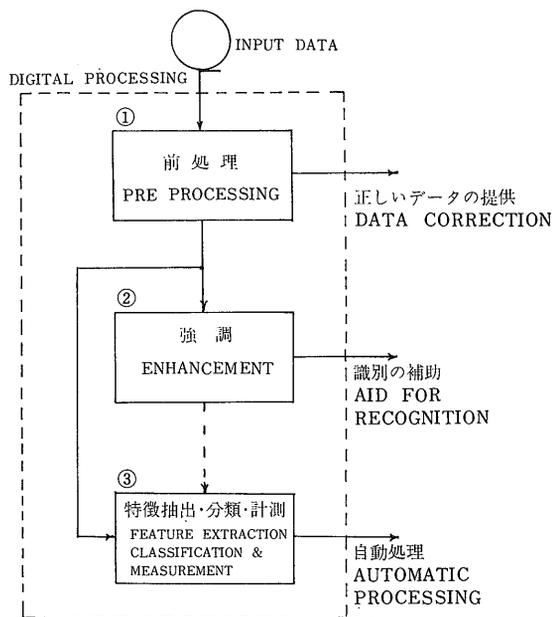
的とする。この場合 デジタル処理の融通性を活用して 処理パラメータを人間が入力し 即時にその処理結果を表示できるようなマンマシンシステムを用いることが 他の処理技法に比べて優れた点である。

③ 特徴抽出 分類 計測 は コンピュータ自身がプログラムに従って行なう自動処理の段階—いわゆる“テーマ抽出”—である。これは すべてこの対象に対して適用することは 実際上不可能であるが 特定の対象だけを大量のデータから効率的に取り出し あるいは時間的に一連のデータから変化対象だけを迅速に取出す場合などにおいて極めて有効である。現在 この段階の研究開発が リモートセンシングデータ処理における中心課題となっているが 実用レベルのものとしては その対象を明確にすると同時に 人間のもつ優れた判断力と コンピュータの高速性およびその正確さを有機的に結合させた 柔軟な処理システムの構築が その目標となるであろう。

以下 前処理中 地図投影変換を含めた 幾何学的歪補正 について概要を述べ 強調 および 自動処理 (テーマ抽出) について詳述する。

2. 幾何学的歪補正 (geometric correction)

リモートセンシングによる映像データあるいは その処理結果の表示については 対象が地球表面であること

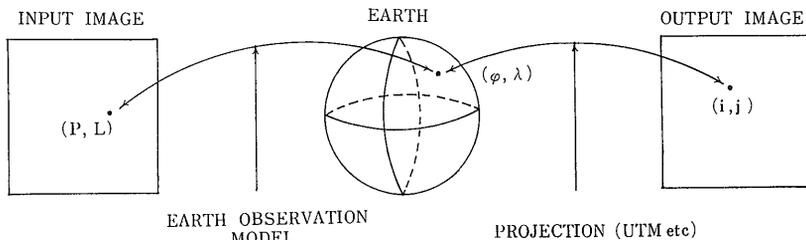


第1図 リモートセンシングにおけるデジタル処理の役割

から地図としての精度を持たせるほか 標準地図投影への変換が必要不可欠である。地図は縮尺によって また使用目的によって投影方式が異なる。このほかセンサによっても映像の投影方式が異なる。したがって これら相互の投影変換が重要な課題の1つとなっている。さらに リモートセンシングデータは 地球表面からの電磁波放射エネルギー分布に関するものであり 対象物表面についての一側面のデータでしかない。これを地質および鉱物資源探索の1手段として利用する場合には 基図 (base map) として重要な役割を果たすと同時に 地表面にあらわれた地質情報ならびに深部に賦存する鉱物資源に関係のある表面徴候に関する情報収集という初期探索あるいは概査段階で有効な手段として認識されている。すなわち それぞれの手法にはそれぞれの役割があつて 一つの方法がすべてではないということである。

地質・鉱物資源探索においては 各種の間接探査手法によるデータに基づいた総合的な解釈を経て 探鉱試錐や試掘抗探査など直接的な手法に結びつけられて 始めて目的とする成果が得られるのである。リモートセンシング技術は 初期探索あるいは概査段階における有効な手段の1つであるが あくまでも地表面だけの情報の収集手段である。同じ初期段階の広域概査の手段である空中磁気探査データは 地表面下深部の情報を提供するものである。このほか 深部情報収集の手段として重力探査 地震探査などがある。したがって これらのデータを組み合わせて 解析することが必須であり これによって 相乗的に大きな効果が得られるのである。これらの各データおよびその解析結果は 平面図の形で各種の標準地図図に表示されるのが通常である。地図は 縮尺によって 場合によっては使用目的によって 投影法が異なることは既に述べた通りであつて これらデータの相補的な処理には 相互の投影変換が不可欠なことはいうまでもない。

LANDSAT の MSS データをはじめとして すべてのリモートセンシングデータの処理に当って もっとも重要な前処理は その幾何学的歪の補正である。これら映像データ上の各点の位置関係の信頼性あるいは異なったスペクトルバンドの映像の覆合 (registration) の成否は すべての誤差の範囲を明確にし それぞれを定量し 画像作成の過程でこれらを補正あるいは除去できるか否かにかかっている。これら各誤差は 位置 異なったスペクトルバンドの画像間 さらに異なった時間に収集された画像間の覆合の精度に影響する。さらに



第2図
幾何学的歪補正における入
力画像と出力画像の対応づ
け

画像上の各点の対地位置の覆合は 既知の地上基準点および計算によって求められた画像格子点の位置を参照して 地図投影変換することによって達成される。

画像の歪の原因として 次の3つがある。

- i) 外部誤差——センサに対する外部からの影響によるものであって 衛星の姿勢および衛星の位置推算層(軌道パラメータ)に関連する。
- ii) 内部誤差——センサ内部に起因するものであって 各種の非線型性(non-linearity) 心違い(offset)などによる。
- iii) 処理誤差——画像の作成 種々の変換および複製に伴って生じるものであり 補正誤差および残存誤差が含まれる。

これら外部誤差 内部誤差に起因する画像データの幾何学的歪の補正と その地図投影変換とは デジタル処理を利用することによって 容易にまた精度よく実施することができる。 幾何学的歪の補正の具体的方法としては 次の2つの方法(便宜的にそれぞれ後方交会法および前方交会法と呼ぶ)が考えられる。

- i) 後方交会方式
入力画像上の特徴点と地上の既知点(基準点)との対応づけを多項式によりモデル化し 出力画像を作成する。
- ii) 前方交会方式
画像データ収集機構をモデル化し 出力画像を作成する。

2つの方式を比較すると 後方交会方式は 後者の前方交会方式に比べて 画像データ収集機構には依存しない方式であって モデル化が簡単かつプログラミングが単純である。 しかしながら 実行に当っては 測量成果の判っている基準点を必要とし 結果の精度は基準点の数によって決まり その数が多い程精度が高くなる。

これに対して 前方交会方式は 基準点を用いずに画像データ収集機構だけから補正を行なうものである。 すなわち 衛星の姿勢 その位置推算層などに由来する外部誤差 センサの非線型性 心違いなどに起因する内部誤差の補正および投影変換処理を計算だけによって実施しようとするものである。 しかしながら一般的には

モデル化が複雑であり プログラミングが困難である。 また 補正ならびに処理に伴う誤差も 前者に比べて著しく大きい(LANDSAT 映像の bulk 処理データはこのような処理だけによるものである)。

2つの方式は以上のような特徴をもっているが 実際には少数の基準点で実行可能な後方交会 前方交会両方式の中間的方式(観測モデル方式と仮称)が実用的である。 そしてその処理の手順の概要を述べると次の通りである。

1. 地上基準点のデータから後方交会による衛星の姿勢の決定
入力画像(bulk 処理映像)上で明確な しかも地上で正確な位置のわかっている点(基準点)を参照して データ収集時における衛星の姿勢を求める。 この姿勢データによって入力画像上の格子点における測地座標上の位置が計算される。
2. 入力画像と出力画像との対応づけ(歪補正係数の計算)
入力画像上の格子点について測地学的座標から地図学的座標への変換を行なう。 この2段階を経由して 入力画像と出力画像の地図学的対応づけが行なわれる。
3. 出力画像の再構成(リサンプリング)
前記の対応づけ結果を使用して 画像データのリサンプリングを行なう。 この場合 出力画像を矩形のブロックに分割し ブロックの隅点は 2の画像の対応づけから求め ブロックの内部は線形補間によりリサンプリングを行なう。

以上の処理によって 地図学的な精度をもった前処理済のデータが作成される。

3. 強調処理(enhancement)

マルチスペクトル映像データの利用では 判読を助けるために フォールスカラーと呼ばれるカラー表示がよく使われる。 その原理は 第3図に示すように 任意の3つのスペクトルバンドをとり出して 各バンドの反射エネルギーを 色の三刺激値(赤 緑 青)に対応させて カラー合成を行なうものである(第3図の空間をカラー空間と呼ぶことにする)。 このようなカラー合成は 写真処理を用いてさかんに行なわれている。

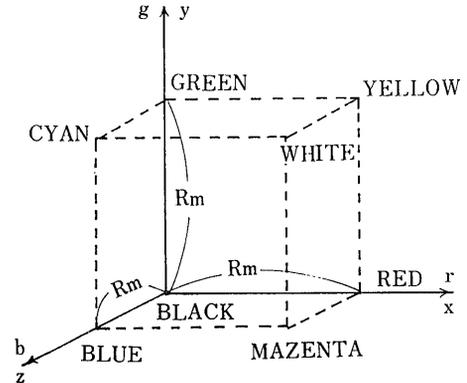
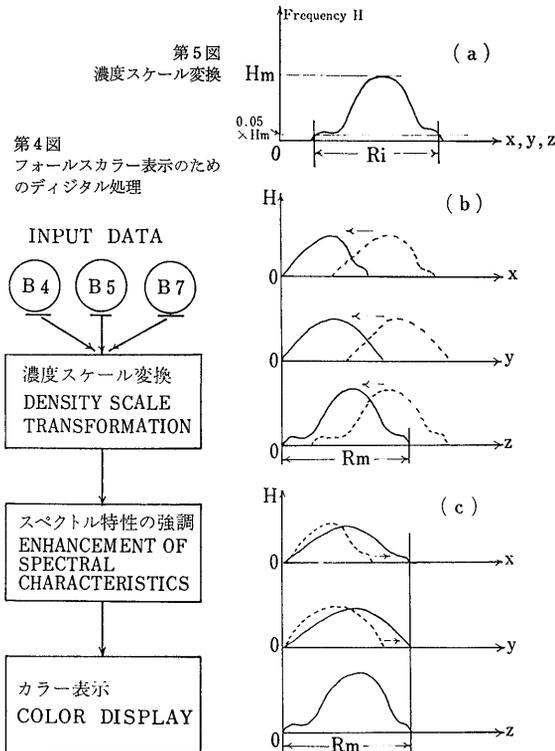
デジタル処理を用いる場合 カラー合成のためのデ

ータの変換が 写真処理に比べかなり自由に行なえることが特徴であるが その意義として 次のような点があげられる。

- (i) コンピュータとディスプレイ装置により マンマシンシステムを構成し 判読者が指示した処理を即座に行なって表示することにより 必要な情報を迅速に抽出することができる。
- (ii) デジタル処理を標準化しておくことにより 複数個のデータを同一基準で判読できるようにすることができる (ただし コンピュータから画像 (hard copy) の形で出力する場合は カラースケールの挿入などの標準化も行なう必要がある)。

つぎに 著者らが試みたカラー表示のための処理について その処理の流れを示すと 第4図に示すとおりである。 まず最初に 第5図に示すような濃度スケール変換を行なう。 これは 実際のデータが バンド毎にかなり偏った分布をしているので その補正を必要とする。 変換の過程は次のようになる。

- (a) 3つのバンド毎に 1次元濃度ヒストグラムを求めヒストグラムの最大値 (H_m) の5%以上の頻度をもつ範囲をとり その表示範囲 (R_j) とする。



第3図 フォールスカラー表示
 r, g, b : TRISTIMULUS VALUE OF COLOR
 x, y, z : ENERGY LEVEL OF EACH SPECTRAL BAND
 R_m : MAXIMUM RANGE FOR COLOR DISPLAY

- (b) 表示範囲の下限が0になるように 原点を移動する。
- (c) 3つのバンドの表示範囲のうち 最大範囲を R_m とし 残りの2つの範囲も R_m になるように 濃度スケールを拡大する。

このような変換を行なうことにより データが第3図のカラー空間の各軸に均等に分布することになり 一応のカラー表示を行なうことができる。 しかし デジタル処理の特徴を生かすため さらに第6図に示すようなスペクトル特性の強調を試みた。 変換方法として 方向余弦変換および写像変換と呼ぶ 2通りの方法を試みた。

方向余弦変換は データのカラー空間内の座標点を無彩色の軸 (u) から遠ざけるような変換を行なうものである。 この変換は 3つのバンドの反射エネルギーの和を一定に保ちながら 各エネルギーの相対比率を強調する働きをする。 すなわち 3つのうちで最大のはさらに大きくなり 最小のはさらに小さくなる。 強調の程度は 第6図の K の値を指定することにより調整できる。

写像変換は データの座標点を 第3図のカラー空間の立方体の表面に写像するものである。 この場合 反射エネルギー間の相対比率の情報だけが 色の違いとなって表示される。 とくに エネルギーの絶対値の小さいデータでは 相対比率の情報の方がより明瞭に表示されている。 この変換は 山の部分のカゲの影響をとり除きたい場合などには有効である。

表紙の左上の画像は LANDSAT-1 の名古屋付近の映像であり 原データに 濃度スケール変換と方向余弦変換 ($K=2$) を施して カラー合成した画像である。 B4に青 B5に緑 B7に赤を割り当てて合成されたものである。 これによって都市地域 (青) 森林 (赤)

耕地（明るい赤） 裸地（明るい緑） 水域（黒） などそれぞれの色の違いによって明瞭に識別することができるようになる。

表紙の画像は コンピュータと結合したカラーファックスにより ポラロイドフィルムに出力したものである。画像出力装置としては このほかに カラーTVモニターやフライングスポットスキャナー（FSS）などを用いることができる。

4. 自動処理 (automatic processing)

画像データに含まれるデータ量は非常に多い。さらにリモートセンシングでは 反覆観測による膨大なデータ量を処理しなければならない。したがって その有効な利用のためには 自動識別あるいは自動処理に期待されるところが大きい。したがってリモートセンシングの研究のかなりの部分が この自動識別ないし自動処理にさかれている。その中でも コンピュータを用いたデジタル処理による自動処理の研究が もっとも大きな課題となっている。その理由として次の点があげられよう。

- (i) デジタル処理の自由度が大きく 利用者が意図するアルゴリズムを忠実に実行できる。
- (ii) 解析結果が容易に定量化でき 客観性が高い。
- (iii) マンマシンのシステムにより 解析結果を容易にフィードバックできる。

デジタル処理は 自動処理の点からも 以上のような利点をもっているが デジタル処理といえども決して万能ではなく 人間の判断が介入することなく完全

な自動処理を行なえるものではない。

したがって 現在自動処理といわれるものは 第7図に示すような ある程度人間の補助を必要とするマンマシンの処理である。

第7図の①で人間が与えなければならない情報として 次の2通りが考えられる。

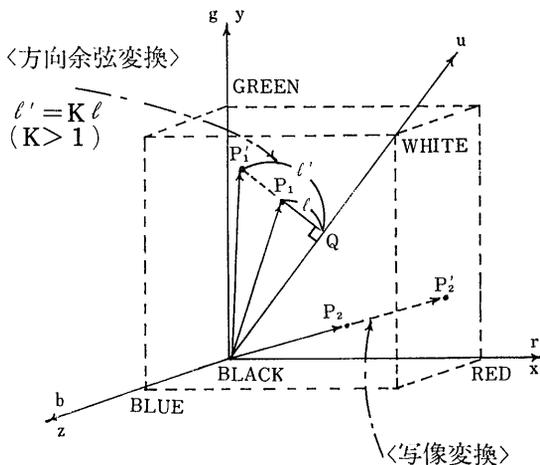
- (i) 個々の 識別対象に関するスペクトル情報そのものを与える。
- (ii) スペクトル情報を与える代わりに 識別対象の特性をよく表わしている地域を指定してやる。

(i)の方法は スペクトル特性に関する絶対情報を用いることになる。したがって データの変動（地理的位置とくに緯度 天候 データ収集時期および時間などの違いなどによる）にどう対処するかが 大きな問題である。(ii)の方法は 相対的な情報で良いので (i)に比べて実用的であるが 基準となる地域のえらび方が問題である。

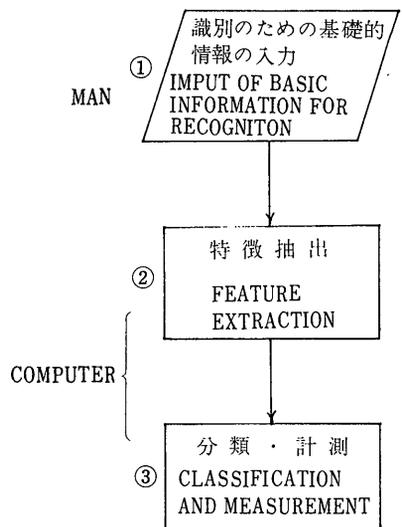
この場合第7図の②③のコンピュータ処理側の問題としては特徴量の定義 分類方法の選択などが重要な問題である。さらに分類単位の決定（画素毎あるいは領域毎） スペクトルバンドの選択 各バンドのレベルのサンプリング精度 分類項目の数 などの問題がある。これらは 目的 精度 計算コストさらに データ収集から処理結果の入手まで必要とする時間などとのかね合いから 最適な方法を決定する必要がある。

5. 自動処理の実験

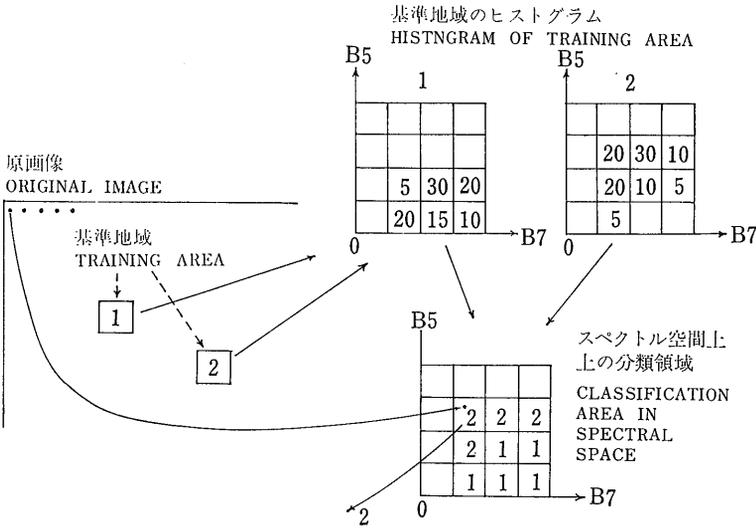
自動識別の具体例として ここでは 著者らが実験的に試みた土地利用分類のための手法について述べるこ



第6図 スペクトル特性の強調
P₁ P₂ : COORDINATES OF ORIGINAL DATA
P₁' P₂' : COORDINATES OF TRANSFORMED DATA



第7図 デジタル処理による自動識別



第10図 画素単位の分類

第11図の方法により分類された結果である。

上に述べた手法は 通常の土地利用分類以外にも 種々の応用が考えられる。たとえば 第11図の多次元ヒストグラムどうしの相関を用いて 着目する領域とある基準領域とが どの程度の類似性をもっているかを数量的に表わすことができる。表紙の右下の画像は 名古屋市中心部を基準領域にえらび その領域との相関を色の変化で表わしたものである。赤は相関最大(1) 青は相関最小(0)で シアンは0.25 緑は0.5 黄は0.75の相関をそれぞれ表わしている。このような画像により 各地域がどの程度“都市化”しているかを把握

することができる。そして 反覆観測データを処理することによって 巨視的ではあるが 広域にわたってその変化量(都市化の程度 その分布および速度)が一定周期で迅速に計測されるであろう。

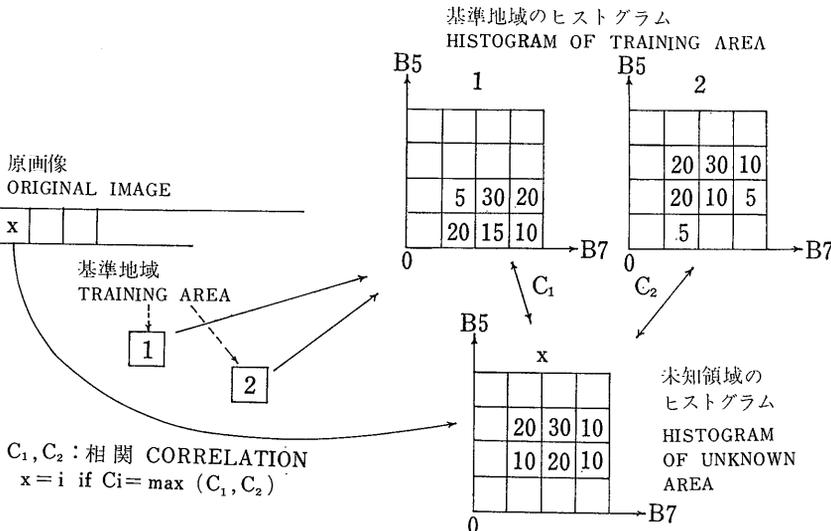
6. デジタル処理の課題

以上述べて来たように デジタル処理技術は リモートセンシングデータ処理において 前処理 強調および自動識別など 広範囲をカバーすることができる。したがって これを軸とする一貫した

データ処理システム構成の可能なことが 充分に予想される。しかしながら 実用的なシステムとするためには 多くの課題が残されている。

そのうち ハードウェアに関する課題としては 実用に組み入れて使い易い より小型 かつ安価な装置の開発が当面の問題である。例えば 使い易い画像入出力装置などであり とくにカラー画像表示装置は マンマシン対話システムにおいて 欠くことのできないものであるが 現在のところ未だ高価であり 今後手軽に使用できる装置の開発が望まれる。

ソフトウェアに関する課題としては 効率のよい処理プログラムの開発 画像データ処理用の使い易い言語の



第11図 領域単位の分類

開発などがある。そして それらを如何に効率的に運用するかが大きな課題である。この点については単にデータ処理側だけで解決できる問題ではないこととくに注意を払わなければならない。これら開発されたデジタル処理技術を如何にして実際の計画および業務に転移をはかるかに問題の半ばがある。

本報告の冒頭でも述べたように 実用のもので有用に運用するためには デジタル処理技術の能力あるいは特性に見合った応用対象を明確にし そこから運用に入ることが第1である。

例えば LANDSAT 映像からの地質構造要素の識別・抽出は 鉱物資源探査の基礎である地質図の編集あるいはその間接手法として極めて重要であるが 地質および探査技術者の写真地質学的方法による判読に依存する以外に方法はない(地質構造解析小委員会(代表星野)1976)。しかしながら この判読結果と空中磁気探査データなど他の手段によるデータとの総合解析のためには判読の素材として 地図としての精度をもった映像データ(hard copy)の供給が必要である。このためにはここで述べた前処理技術が根本的な役割を果たすのである。つまりここで必要なのは 来る1977年に予定される LANDSAT-3の運用において 米国内で考えられているような地図としての精度を備えた各縮尺(1:250,000 1:500,000 1:1,000,000)の写真フィルムおよび印画の形のデータの供給体制である。この点は地質・鉱物資源探査の分野だけでなく 各分野に共通する問題であろう。これと同時に それぞれの目的をもった利用者に対する 同様な前処理を行なった CCCT(Corrected Computer Compatible Tape)の供給体制も可能となることはいうまでもない。

長谷(1976b)が紹介しているように USGS およびジェット推進研究所のグループの研究によって 変質鉱物の多くが0.45~0.5 μ m 0.85~0.95 μ m および2.2 μ m 付近で吸収幅の広い吸収帯を形成することが明らかにされている。これに対して LANDSAT の MSS の各バンドとも帯域が広く しかも0.5 μ m から1.1 μ m までの範囲までなので 上述の吸収特性を充分映像濃度に反映することができない。各種の岩石についても同様な研究が進むに従って 現在の LANDSAT データだけを用いる限り 各種のテーマ抽出マッピング方式は 地質学上の目的に対して 全面的に不適当であるという見解さえも出されつつある。この反映として 本年1月に GEOSAT(地質衛星)に関する委員会が発足し 5月にはアリゾナ州の Flagstaff において そのセンサ分

解能などは勿論のこと実現のための推進方策についての作業部会がもたれるにいたっている。

最後に もっとも大きな問題は デジタル処理技術とくに自動処理に大きな期待がもてる応用対象あるいは分野の明確化である。時間的に変化している対象についての反覆観測データから 機械的に変化対象だけを迅速にとり出して その結果を利用者に——必要な時間間隔で 必要とする時間内に——供給する必要があるものをこそ その対象として考えなければならない。例えば 北方海域における航海の安全のための海氷と開水域の分布の抽出 発電および灌漑のため流量を把握するための雪線のマッピング 牧畜管理のための草地の分布と病害範囲の抽出など 単純ではあるが迅速を要するものが デジタル処理技術の特徴が もっとも有効に發揮できる対象であると 米国では考えられている。わが国においても このような対象の選択 そこでそれぞれについて 基本的かつ標準的成果品を供給するシステムの開発 そのテスト さらにその実用化を早急にはかるようにしなければならない。カナダのリモートセンシングセンター(Canda Center of Remote Sensing)の所長 L. W. MORLEY 博士が 1975年11月末に来日した折にいわれたことであるが “リモートセンシングの推進は technological push(技術面からの推進)と application pull(応用面からのけん引)とが併行してはじめて達成されるものである”。まさに名言である。

さらに リモートセンシングは データ収集およびこれを支援するシステムから データ処理を経て 利用面にいたるまでの一貫した巨大なシステムである。したがって このような一貫したシステムであることへの配慮なくして リモートセンシング技術を発展させようということは 全く無暴というほか いいようがないということを銘記すべきであろう。

参 考 文 献

- 地質構造解析小委員会(代表 星野一男)(1976): LANDSAT/ERTS 映像による東北地方の構造解析 地質ニュース No. 264 1~17
- 長谷紘和(1976a): 地質リモートセンシング研究開発動向調査 JITA ニュース No. 1 19~22
- 長谷紘和(1976b): EROS 計画と第1回 W. T. Pecora 記念シンポジウム 地質ニュース No. 259 15~25
- 一条敏明・松野久也(1976): リモートセンシングにおける写真 地質ニュース No. 265 36~43
- 松野久也・丸山欽洋(1976): テーマ(主題)抽出写真処理技法 地質ニュース No. 258 1~7
- Schmidt, R. G. (1976): Exploration for Porphyry Copper Deposit Using Digital Processing of LANDSAT-1 Data. *Jour. Research U.S. Geol. Surv.* Vol. 4, No. 1. 27~34