

LANDSAT/ERTS映像による東北地方の構造解析

地質構造解析小委員会¹⁾ (日本鉱業会リモートセンシング利用技術の基礎研究委員会)²⁾

1. 序 言

日本鉱業会では (財)日本鉱業振興協会より昭和50年度試験研究等助成金の交付を受け「リモートセンシング利用技術の基礎研究」を行なった。その研究課題として「LANDSAT/ERTS 映像の写真地質学的手法による判読」と「マルチバンド写真および映像の利用技術」の2つが取上げられ前者については東北地方が後者については秋田県鹿角市花輪鉱山付近がモデルフィールドとして研究が進められてきた。これらの研究の過程で映像データから写真地質学的手法によって得られる“地質構造に関する情報”が地質図作成ひいては鉱物資源探査に対するもっとも基本的なものであることが認識されるにいたった。そこでこの問題に関して本委員会と別に“地質構造解析小委員会”(委員長;星野一男)を設けて検討を行なってきた。

この小委員会は本ページ脚注に示す6名の委員からなり衛星映像データによる地質構造解析に関する技術的問題を具体的に整理し今後におけるその利用および研究のための基礎資料としてとりまとめることを活動の基本方針とした。

LANDSAT データは 地表面についての2次元の映像表示データであり地質単元の分布およびその相互関係あるいは線状地質構造の客観的な記録でもある。さらにこれらは4チャンネルのスペクトル情報を含むものでもあり種々のマルチスペクトル映像データ処理技術の発達によって特定の情報を強調・抽出しあるいは人間の視覚による判断を助けるような形に置き換えることができるようになってきている。この結果これらデータの地質調査および鉱物資源探査における大きな有効性が期待されるようになりその具体的な検討が行なわれつつある。

地質構造のマッピングは一般地質調査にとってきわめて重要な項目であると同時に鉱物資源探査の間接法としての側面をもっている。すなわち地質構造はそれを規制する応力の場に対応する拡がりの中で規則性をもち逆にこの規則性を把握することが地質構造の形成とその過程の解明と鉱物資源探査へのアプローチの

1つとなる。このような規則性には1鉱床地域における鉱脈の配列のような局地的なものから鉱床区あるいは鉱床帯というような延長数千 km あるいは面積にして数10万km²にわたって規則性が認められるといった地域的規模のものさらに大陸的規模の巨大構造に適合するものまで広範囲にわたっている。現在のリモートセンシングでは飛行高度を選ぶことによって地質構造のスケール毎にそれに見合った映像データを得ることができる。ここで検討の対象としたLANDSAT映像データは従来の航空機高度からでは到底対応することの出来なかった大きな拡がりの大観的把握を可能としたのである。

最近とくに注目されることはplate tectonicsに代表されるようなglobal tectonicsすなわち全地球あるいは大陸規模での地質学上の問題解決へのアプローチの手段としてLANDSATデータの利用が現実のものとなっていることである。このような研究は地質学上の単なるアイデアの遊びといったものではなく広域的視野からの地体構造の把握その形成過程の検討ひいてはこれと鉱床分布とその生成との関連を明らかにしようとするものである。

この際重要なことは具体的なケーススタディを1歩々々積み上げることでありこのような基礎の上にリモートセンシング技術が体系的に成立すべきものであろうということである。本小委員会ではこのような見地からモデルフィールドについての検討から得られた事実について具体的な例をとり上げLANDSATデータが地質構造解析に対してどの程度有効であるか?あるいはその限界はどこまでであるか?についての評価を行なった。いわゆる地質構造解析の方法を大別するとある原理あるいは仮説の下に進むものと各構造要素の特徴をそのままに摘出するものとの両極に分けることができよう。勿論中間的にさまざまな方法があることはいうまでもない。今回の研究はこの後者の立場に立って行なわれたものである。この報告が今後明らかに1つの分野を確立すると思われる“衛星映像による地質解析”に対してひとつの出発点となりう

① 1) 大串 融(同和鉱業) 谷藤吉郎(日鉱探開) 長谷敏和(地調) 藤田 実(石油資源) 星野一男(委員長 地調) 松野久也(地調)
2) 委員長:松野久也(地調)

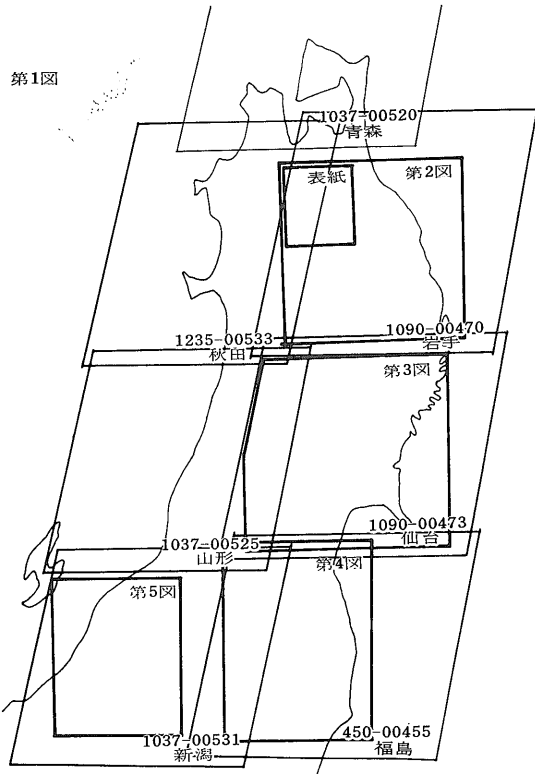
れば幸いである。

2. 解析方法 作業順序

第1段階として1/40万の縮尺で東北地方（青森 秋田 岩手 山形 宮城 福島の6県および新潟 群馬 栃木 県の一部）について第1表のフィルムベースに変換された LANDSAT データの原版から各5種の写真印画を作成した。5種とは MSS 4 5 6 7バンドの各白黒印画および合成カラー（4 5 7バンド 第2表のB）印画である。縮尺を1/40万としたのは第1に写真処理上の理由である。またこの縮尺では仕上がりの画面の大きさが40cm×42cm となり 既製印画（全紙サイズ）を使用できるための経費が低減できることである。さらに LANDSAT データの分解能の点からもこの程度の縮尺が最も適当である。

作製した1/40万写真印画を基に 第1に下記の項目を抽出するを行なった。この際 まず従来の地質図などのデータとは無関係に 写真上だけから判定できる範囲で各要素の抽出を行なうこととし 既存資料との比較はこの抽出作業が終わった段階で行なった。

A. 地質単元の識別とその相互関係



第1図 原版見取図。各シート右下の数字は第1表のIDナンバーである。太線の枠は表紙および第2～5図の場所と範囲を示す。

色調 濃淡などの特徴による堆積岩層の区分 火成岩体の分布範囲 火山噴出物の範囲。

B. 地質構造

- 層理 片理（走向 傾斜）
- 褶曲構造（脊斜 向斜 ドーム 盆地の区分）
- 線状構造（地質構造線 断層 地質的断裂—いわゆる節理など 岩脈 その他の線状構造）
- 環状～半環状構造

C. 地形的要素

- 主要水系 海岸線 都市など およびその他の異常要素（たとえば変質帯などによる地形的異常）

その作業手順は次のとおりである。

1. 上述の項目抽出注記（直接写真上へ）
2. 抽出注記事項の整理（オーバーレイあるいは別紙上へ）
3. 既存の地質データとの比較 検討
4. 既知鉱床を記入 地質構造との関連の解析

実際の作業はこのような解析規準を決めたのちに 経歴の異なる2グループによってそれぞれ独立に行なわれた。すなわち (A) 主に金属鉱床を取り扱っているグループおよび (B) 主に石油・ガス鉱床を取り扱っている2つのグループである。以下 本報告ではそれぞれをAグループ Bグループと略記する。この結果 東北地方全域についての地質解析図が2通り作られたことになる。そして それぞれから 1/40万の鉱床分布が付記された地質構造解析図が提出された。第2～7図に示した解析例図はそれぞれAあるいはBグループによる解析原図をほぼそのままの形で示したものである。

小委員会はこの両グループの作業結果を検討のうえ 第2段階として 重点地域を選び これらの地域については更に縮尺の大きな写真印画を作製して詳細な解析を試みた。また 空中磁力図の既資料を1/40万の縮尺に編集することも行なった。重点地域は下記の7地域でそれぞれについて1/20万の縮尺で3種類 すなわち MSS 6 7の白黒印画および合成カラー（主として4 5 7バンド合成 第2表B 1部5 7バンド 同C）のカラー合成印画を作製した。

1. 八甲田地域
2. 田沢湖地域
3. 北部北上地域
4. 阿武隈地域
5. 岩船地域
6. 横手—天童地域
7. 柏崎—長岡地域

第1表 LANDSAT 映像 原版

シーン名	ID-NO	撮影年月日	雲量* %	画 質*				判 定**		本文 記号
				4	5	6	7	雲量%	画量	
青 森	1037-00520	72. 8.29	20	G	G	G	G	10	C	①
秋 田	1235-00533	73. 3.15	30	G	G	G	G	10	C	②
新 潟	1037-00531	72. 8.29	30	G	G	G	G	30	C	③
"	1379-00531	73. 8. 6	30	G	G	G	G	70	C	④
山 形	1037-00525	72. 8.29	30	G	G	G	G	30	C	⑤
福 島	1450-00455	73.10.16	20	G	G	P	G	20	B	⑥
"	1162-00480	73. 1. 1	30	G	G	G	G	30	A	⑦
仙 台	1090-00473	72.10.21	20	G	G	G	G	30	B	⑧
"	1450-00453	73.10.16	20	P	G	P	G	20	A	⑨
岩 手	1090-00470	72.10.21	10	G	G	G	G	10	A	⑩
"	1450-00450	73.10.16	30	G	G	G	G	80	A	⑪

* 印は EROS DATA CENTER 基準で画質の G は GOOD P は POOR (POOR は走査線ミスがあるものと思われる)

**は今回の判定で雲量は陸地部分に対するもの 画質はABCとした。

以上のようにして集積された資料を小委員会の委員相互で検討 討論した結果が次章以下の記述である。また A B 両グループによる解析図をもとにその後の小委員会での検討結果を加えて総合的な解析図 (1/40万) が星野 長谷岡委員によつて編集された。ただし この解析図は地質ニュース誌上には割愛した(末尾⑩参照)。

3. 原版および写真処理

本研究に使用された LANDSAT データは 第1表および第1図の通りである。写真処理をはじめとしてリモートセンシング データの処理に当つて 原データの良否がその結果を根本的に左右する。限られた原データ中からの使用データの一般的な選択基準としては

- (1) 雲量の少ないもの
- (2) 画像のグラデーションに片寄りが少ないもの
- (3) 走査線ミスの少ないもの

である。更に今回のように広い範囲を対象とするときは 撮影時期など相互の画像均一性も考慮しなければならない。雪の時期 紅葉の季節などで原版の画像はかなり異なる。農村地帯では田植以前と刈入直前ではまた異なる。四季の変化のある日本ではこれらの点に留意することが必要である。以上の事柄に注意して第1表のような原版を採用した。たとえば 新潟では③④の原版のうち ④は陸地部の雲量が多いために③を選んだ。福島では画質の点から言えば⑦の方が良いが1月は降雪期であり また雲の位置を考慮して⑥を採用した。仙台の⑧ ⑨も同様で 画質は後者の方が優れているが ⑧は脊梁部の露出状態がすぐれているために当初これを採用した。その後 北上南部の観察のため

に ⑨についても 追加して印画を作成した。岩手では 陸地部について雲量の少ない⑩を採用した。地質解析のためには 樹木の葉が落ち かつ植物被覆のもっとも少ない冬季のデータが最も良いのであるが 積雪地や高い山地では降雪の影響があり 結局 8~10月のものを使用することになった。

白黒印画については 最初に原版ポジ (70mm) から 23cm×23cm の中間ネガを作成し これを用いて引伸処理が行なわれた。合成カラー印画は まず最初に原版ネガ (70mm) から 23cm×23cm の白黒ポジを作成し これをもとにして第2表に示すフィルターを用いて同サイズの合成カラーネガを作り カラー印画処理の原版とした。これら写真処理は 日本情報処理開発協会 (旧日本情報開発協会) に委託して実施された。

前に述べたように 原データの良否一画質一がデータ処理を根本的に支配するほか データ収集時期一撮像日時一もまた重要なファクターとなる。わが国のように植物被覆が厚く 四季の変化がはっきりして いる ことが植生に大きな影響を与えるところでは どの季節のデータを使用するかによって 抽出される情報の量は勿論のこと その内容についても大きな差がある。理想的には あらゆる季節のデータが利用できることが望ましいが 現在のところ限られた数のデータの中から 最良のものを選択して使用しなければならない。したがって この報告の議論は 一応第1表に示した使用データに基づくものである。

使用データの写真処理にあたっては カラー印画 白黒印画とも 写真焼付濃度の高低に注意が必要であり LANDSAT データでは画角下部に記録されたグレースケール (白黒の濃度差を段階に区分) に沿つて忠実に表現することが原則である。しかしながらカラー印画で原データの一部を抽出し写真処理を行なう場合 グレースケールに忠実に焼付を行なうことは良好な写真画像を得ることに必ずしもつながらない。白黒印画の場合も同様で 解析のためにはグレースケールに固執するよりは ケースバイケースで解析にもっとも適した処理を講じて作業を行なうことがより有効な解析結果を産む。

カラー印画の場合 4 5 7バンド合成による合成カラー (第2表B) USGS方式の合成カラー (同C) を作製したが これらの他にも色調再現の方法が多種あ

る。

第2表 カラープリントの種類と使用フィルター

使用ポジフィルム9.5"	MSS-4	MSS-5	MSS-6	MSS-7	本文記号
カラープリント ナチュラルカラー	Blue	Red		Green	A
4 5 7 フォールスカラー	Blue	Green		Red	B
5 7 フォールスカラー		Blue Green		Red	C

り解析目的に最も適した発色法も場合によって異なることが考えられる。これらを含めた解析法の確立は今後に残された課題であろう。

4. 結果

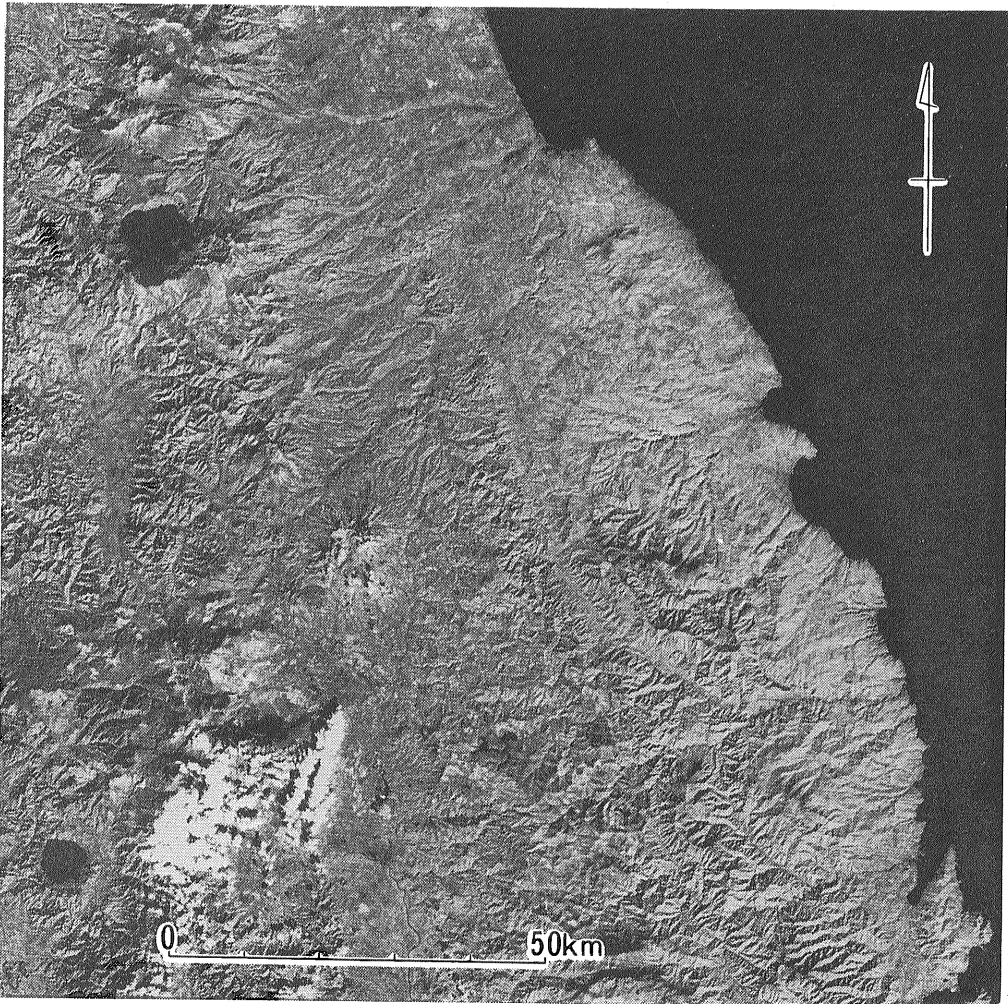
4.1 概説

東北地方を構成する地層・岩石は大きく次のように区分される。

先第三系基盤岩
 新生界(第三系 第四系)地層・岩石
 深成岩
 第四紀火山岩類

また 構造区分としては 大ざっぱだが 太平洋側の阿武隈 北上の基盤岩地域 中央部のいわゆる脊梁地域 日本海側の新第三系褶曲帯 および 西南部の朝日・飯豊・上信越の先第三系地域に分けられる。このような大きな地質区分 構造区分は1/40万 および1/20万のLANDSAT 映像写真でそれぞれ特徴あるパターンを呈しており一見して識別できる。本地方の場合には衛星映像上 次のような地質区分をすることが適切であろう。

1. 基盤岩地域
2. 裏日本含油第三系褶曲地域
3. 第四紀火山
4. 第四系(沖積層 洪積層)



第2図
A

北上山地北部および十和田 田沢湖付近。(A)はMSS 6 バンド写真。(B)は同範囲のBグループによる解析例。北上山地の葛巻構造線 第三系基盤の北上山地とは明らかに異なった映像パターンを呈していることが容易に見分けられる。第2～5図の縮尺はほぼ100万分の1である。

きわめて大胆に言えば最も識別しやすい地質要素は先第三系のような brittle 岩体によく現われる断裂構造と第四紀堆積物のように最も新しい時期に地表を被った地層である。前記の1は前者の例であり 3 4は後者の例である。構造区分の境界が阿武隈山地東縁の双葉断層のようにはっきりした構造線であるときは特に際立ったパターンを呈する。同山地の棚倉破碎帯のような基盤岩中の大構造線は一見して見事な直線構造を以って認めることができる。構造線の延長が第四系中に伏在している例も認められる。本地域全般を通じて南北および北北東-南南西の断層が多く 各規模の構造方向もこれらに平行するものが多い。

以上の2要素をのぞいては 各地質単元の境界を図上に正確に決めることはむずかしい場合が多いが ある程

度のひろがりがあればおよその分布範囲を決めることは不可能でない。とくに油田地帯のような堆積岩地域では key-marker をトレースすることにより構造を見分けることができることが多い。

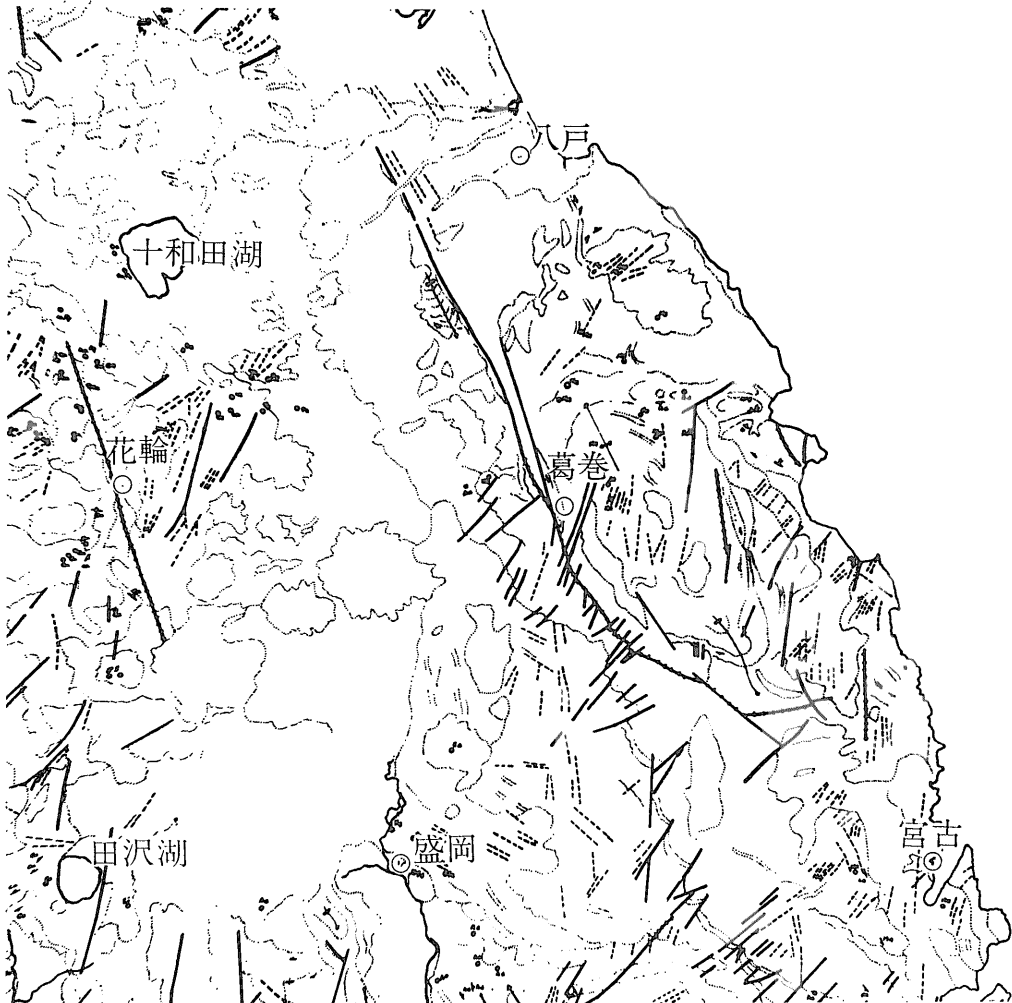
4.2 各地質単元

4.2.1 先第三系

北上山地

本地区の地質は主として古~中生層(粘板岩 チャート 変成岩類) 花崗岩類および超塩基性岩類からなる。

これらは独特の侵蝕形態を呈しそれが地形的特徴として認められることおよびリニアメントの状況から 周辺の新第三系 第四系との区別は容易である。一方山地内部では古~中生層は種々の岩層からなっているため



第2図 B

十和田湖南の花輪断層などの北北西-南南東断裂がよく見える。十和田 田沢湖を貫ける脊梁の大部を構成するグリーン・タフ地域は先

それらの影響が複雑に反映し 地形的特徴が変化に富むこと 花崗岩類はきわめて明るい色調を呈し 谷断面は浅い型 山稜形態は丸味を帯び 樹枝状水系をこなすこと 超塩基性岩類は色調が暗く 山稜形態が険しいこと等が主な判読要素である。

北・中部は硬質岩層あるいは石灰岩層が key-marker になり大きなドームあるいは盆地構造が北北西—南南東方向にやや伸長した形で宮古地方に2カ所認められる。これは北東—南西の断層によりきられる。

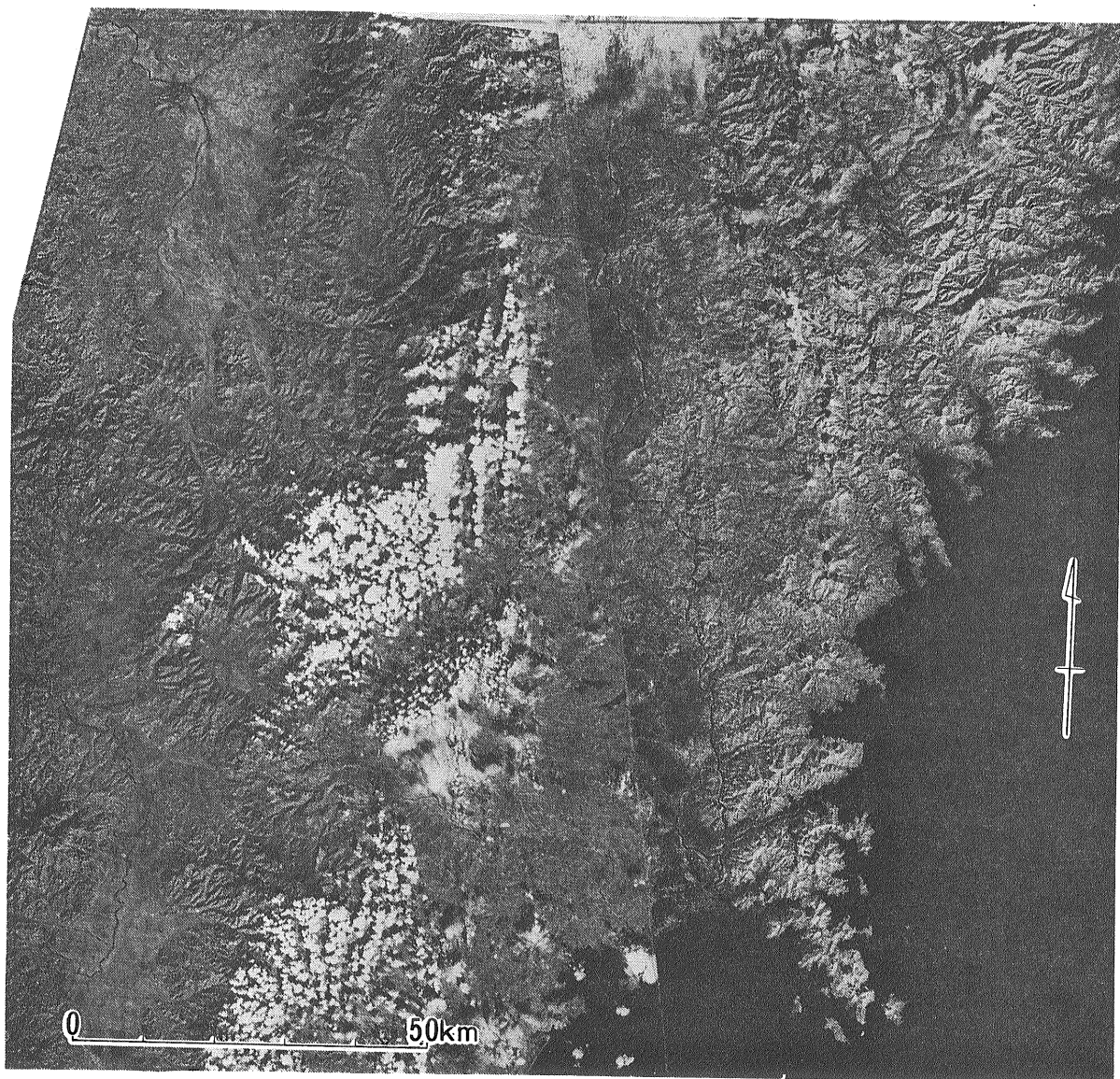
東縁・西縁に南—北ないし北北西—南南東の断層が多く見られ北上山地の境界を示している。

南部の薬師岳・遠野花崗岩体には北東—南西の断層が顕著である。岩泉—葛巻—戸を通る構造線は三戸西方からさらに北方に伏在して 延びることがみとめられる。

阿武隈山地

本山地の大部分は中生代の花崗岩類であり 南部に変成岩類が分布する他石灰岩および超塩基性岩類が所々に散在する。

これらの分布地域の地形はきわめて良く開析され 準平原を呈していることから隣接する 新第三系 第四系



第3図A

北上山地および横手・山形盆地付近。(A)はMSS 7バンド写真。(B)はAグループによる解析例。当初 I D1090—00473の写真を使用したもののパターンを示しており 南北その他の多くの断層が発達している。北上川を隔てた北上南部および牡鹿半島では 対照的に中・古生層に特有

より容易に区別されるが 山地各岩相の細かな境界は花崗岩類をのぞいて識別がむづかしい。

従来 本山地の特徴であった双葉 八釜 棚倉の三大構造線は衛星映像でも非常に明瞭であり 東北の映像全体でも大きなハイライトとなっている。これらの構造線に沿って北東-南西の断裂が分布するのが見出され 主構造線の右ずれ水平変移を示唆しているのではないかとと思われる。

朝日・飯豊・上信 越山塊

この地域の先第三系は 主に古生層と花崗岩類により

構成されている。古生層には層理～節理系の反映と考えられる微細な平行性リニアメントが発達し 一般に起伏量の大きい急峻な地形が“荒々しい”肌理として映像上にははっきり表われている花崗岩類部分とは 明確に識別することが出来る。また 地域全般に岩質の著しい脆性的性質を反映する断裂性リニアメントが 非常に密にしかもシャープに現われている。この中には明確に地層の転位を指摘出来る断層規模の南-北方向リニアメントが卓越しており これ以外のリニアメントもこれにほぼ平行に発達する場合が多い。なお従来の地質データには記載されていない断層もいくつか認められ 尾瀬沼



第3図 B

(B)でみる通り 北上川以東は雲量が多かったので この部分は他原版で補完した。脊梁部は第2図と同じように脆性質の火山岩類に多い 特有の非常に細かな断裂パターンが示され また 遠野花崗岩体に見える東北東-西西南断層が特長的である。

北方約10kmの山地の南北性の断層はその好例である(第5図)。これはLANDSAT映像によってはじめて発見されたと言って良い。この先第三系とより西方に発達する新第三系との境界は両者の対照的な起伏量の差異及び多くの個所で断層接触を示唆するリニアメントの存在により明確に追跡することが可能である。

4.2.2 新生界

脊梁・グリーンタフ分布地域

いわゆる脊梁は東北地方の中央部に南北に貫く地帯として認められているがここでは田沢湖北の第四紀火山に被われていない地域を主に考察する。硬質頁岩層・グリーンタフを含む新第三系中・下部層よりなり多くの火山岩をはさんでいる。

映像データのパターンは壮年期山地を特徴づける起伏の大きい陰影コントラストの強い不規則な水系模様とそれらを合流した環状～彎曲水系模様の組合せで表現される場合が多い。細かい不規則水系模様は火山碎屑物に富む岩層を反映し局所的な地質構造を判読することは困難な場合が多いが巨視的には複褶曲軸部などが推定できる。南北にのびる花輪盆地の東西両域に発達するグリーンタフ地域の構造を例にとれば南北方向に長軸をもつ不規則水系模様発達帯の南端または北端部が彎曲して閉じここに(複)褶曲軸が存在することが推定される。また既存地質図では玉川石英安山岩類として一括して取り扱われている田沢湖北部地域の同岩類発達地域の中にみられる著しい水系模様の違いなどから同岩類の岩質組織堆積様式について巨視的な区分が可能である。熔結凝灰岩が発達する地域ではその岩相区分をすることが可能な場合が多い(第3図)。一般に脊梁部は雲に覆われていることが多く判読のできない所が得意。

羽越褶曲帯

秋田～新潟の油田地帯の褶曲構造はかなり高精度で図化が可能である。新第三系は起伏量が小さいことと岩石の固結度が未熟なため映像上の情報は基盤岩域に比べ明瞭性に劣るところもあるがMSS 6と7を用いこれに合成カラーを併用することにより地層単元の識別・水系判読を綿密に行なっていくと褶曲構造の大局が驚くほど適確に把握出来ることが判明した。地層単元区分は従来層位学的に認められているものに一致して地域全体に連続追跡出来るケースはむしろ少なく局所的ではあるが高頻度に表われている一種の“key-marker”(オーダーとしてはフィールドで扱うmemberからまれにformationにまたがる規模のものと思われる)の

図化によりある程度総合解釈が可能である。この地域の構造解析には特に1/20万縮尺の拡大印画による精査判読が効果的で上述のkey-marker追跡と構造を反映した適従河川や異常水系(特に水系偏位彎曲水系環状～半環状水系)から構成されるLANDSAT映像特有の“粒状のバンド様肌理”の判読によって褶曲構造の摘出をきわめて正確に行なうことが出来た。新潟の中央油帯地域ではこの作業が特に容易に実施出来てその結果の既地質データに対する照合性の高さには予想以上のものがあつた。

このような一連の映像解析を行なうと従来地表で知られている本地域の南北方向の背斜構造の形態は多くの場合かなり高い精度で再現されることが明かとなった。

第四系

第四系(洪積・沖積・平野・河川流域)地域は先第四系と比較的明瞭に区分出来る。沖積層は洪積層に比べ白黒(MSS 5あるいは4)写真でより黒いトーンで表われ合成カラー印画では多く黄色系の色調を呈する。なお人工化の進んだ市街地などは淡青緑色を呈し合成カラー写真が環境保全の点で勝れていることを物語っている。砂丘は色調の明暗が帯状に配列することが特徴で新潟北部岩船地区に3帯新潟市南部に6帯が現汀線にやや斜交して併走し北方へ収斂していくのが解る。

4.2.3 火成岩

第四紀火山

LANDSAT映像で判読がもっとも容易なものの一つである。判読の鍵は火口湖 火口縁 独立峰を中心に発達する放射状および環状水系模様 開析の進んでいない滑らかな表面などである。火山体に繁茂する植物の地形高度による帯状分布によって火山地形が強調されとくに合成カラー印画では識別が容易になる場合がある(表紙参照)。火口湖はMSS 7では周囲に対しきわ立った濃度コントラストを示し直径200m以下のものも容易に識別できる。火山は規模が小さくなるにつれ識別が困難になり基盤が古期の火山岩質物質からなる場合にはとくにそうである。脊梁地域の火山は雲に覆われている場合が多く気象条件による画質の悪さから識別できないものが多い。火山文献選集に記載された火山を例にとれば対象地域内38火山(No. 96～133)のうち識別がきわめて容易な火山(群)は北から八甲田 十和田 森吉 田沢 月山の5火山(群)である。そのほか識別が容易なものは8 識別可能8 識別不可能17であった。識別不可能なものうち13は雲のカバー

や雪の影響によるもので使用原データの画質が悪いことが主な理由で識別できないものは4火山であった。

深成岩

東北地方の花崗岩類はその分布域から2通りに大別される。その1つは新第三系発達域に他の1つは先第三系の発達する地域に分布するものである。

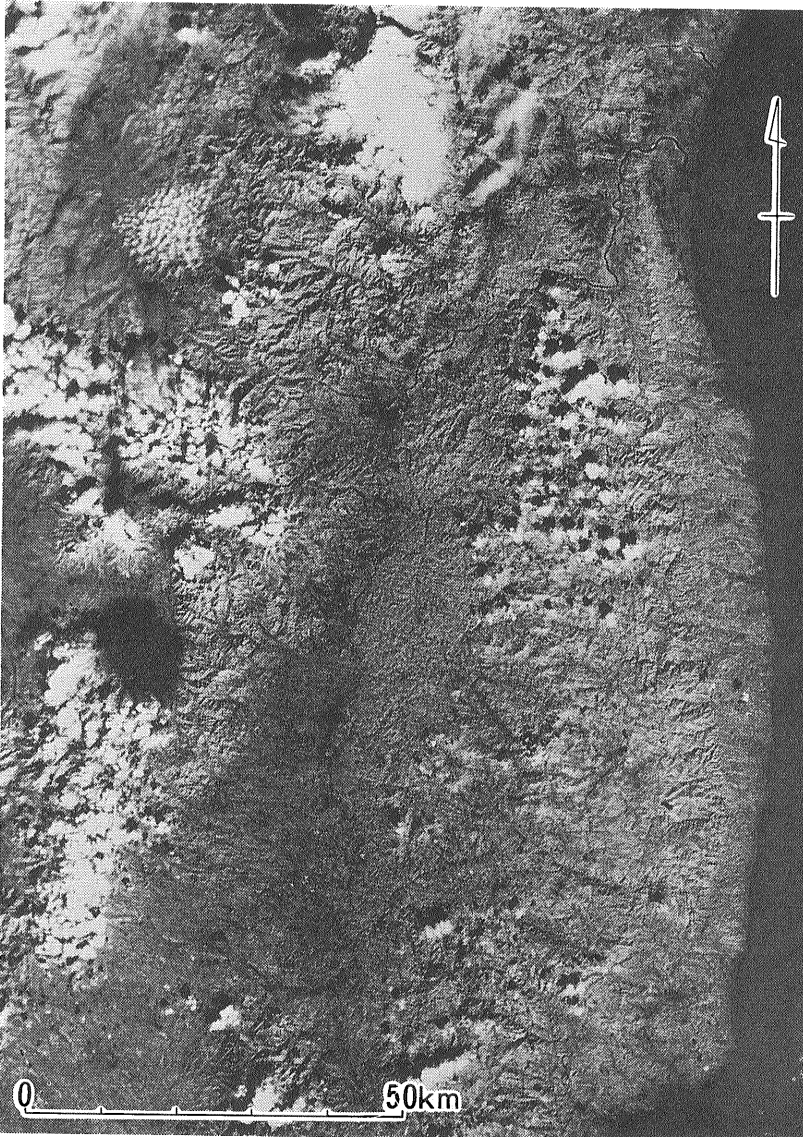
前者は基盤を構成するものと第三紀花崗岩類とがあり両者を区別することは同一地区に発達する場合が多く特徴も類似しているため困難である。しかし全体としては色調の暗い部分と明るい部分とが太縞模様を呈し

抵抗度が高く格子状水系をなす特徴によって容易に識別される。

後者は前述の北上山地または阿武隈山地のものとも岩体によりその特徴に差があるがいずれも共通しているのは各岩体ともにほぼ均等に開析され樹枝状水系を呈ししばしばリニアメント(直線状環状ともに)が発達していることでありこれにより容易に識別される。

火山岩および岩脈

火山岩類はしばしば凝灰岩類を伴っておりそれが全体として1つのパターンを形作っているため火山



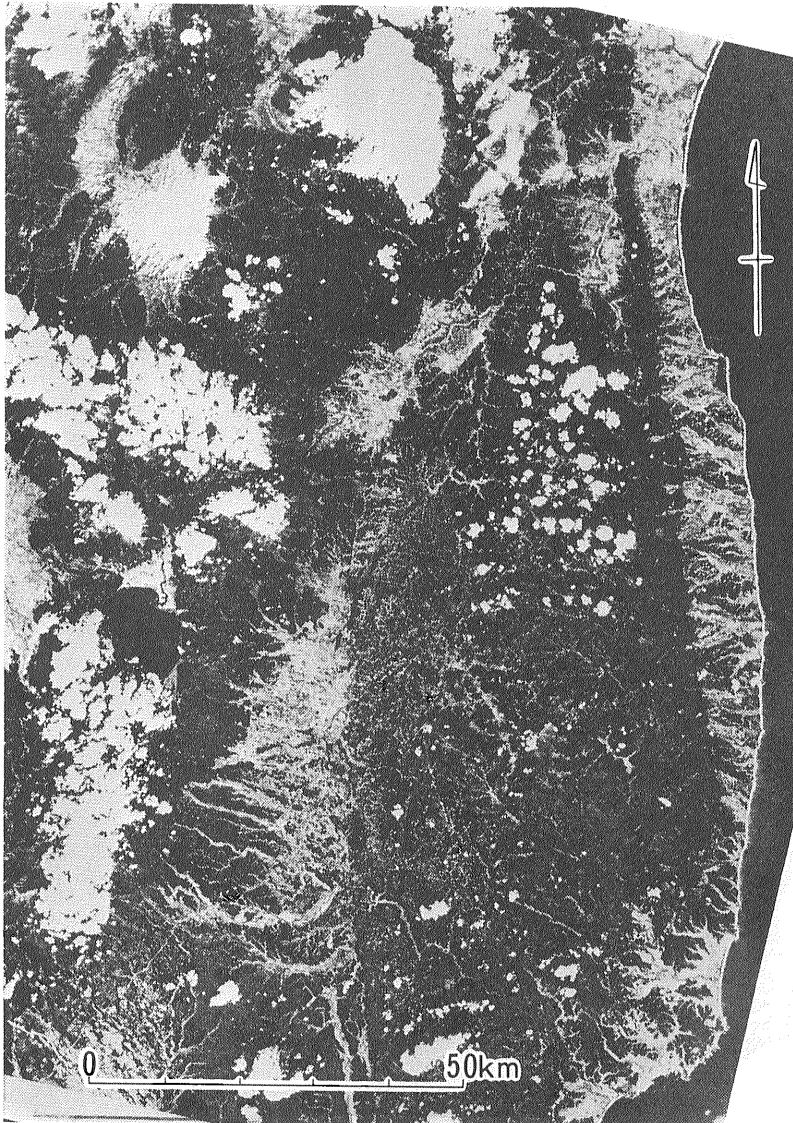
第4図 A B C
 阿武隈山地および猪苗代湖付近。(A) MSS 7バンド (B) MSS 5バンド および(C) Aグループによる解析例。阿武隈山地の東縁に双葉 八葎の断層線が北北西—南南東方向に発達しているのがよく見える。西縁は棚倉破砕帯である。とくに(B)で双葉 棚倉の阿構造線が山地の東西の境界を作っている様子が明瞭であろう。阿武隈山地南部は花崗岩で占められている所が多くこれは特長ある細かな網目状断層パターンによって見分けられる。猪苗代湖東縁の南北性断層も(A)(B)でよく見分けることができる。

第4図 A

岩類のみを識別することは困難であるが 一部で識別可能な場合もある。 例えば北鹿地域では大館盆地側に発達する単元(主として流紋岩)は抵抗度が高く 山稜形態が険しいのに対し その東方から花輪盆地にかけての単元(凝灰岩類を主とし泥岩を伴う)は色調が明るく 肌理が特徴的な“ツブツブ状”で 抵抗度が低く 山稜形態は丸味を帯びており対照的である。

岩肌としては 前述の北上山地の超塩基性岩類が明瞭であるが その他には 特筆に値するようなものは認められない。

4.3 地質構造



第4図 B

4.3.1 線状構造

全域を通じて一般に南北性の線状構造が顕著である。 そのうちでも従来から知られていた阿武隈 北上山地における北北西—南南東の構造線は非常に明瞭であり 更に脊梁部へも延長して発達している可能性が高い。 これに対して 従来推定されていた大構造線の類(例えば本荘—仙台構造線)ははつきりしない場合が多い。

後述する環状構造も北北西—南南東に配列する傾向がみられる。

脊梁—油田地帯にかけては南北方向の断層および断裂が多く認められるが 先第三系基盤地帯の北北西—南南東構造線のように長くは続かない。 脊梁中・南部では

北北西—南南東方向と 北東—南西ないし北北東—南南西方向の断層が多くS字状の形態が見られるところもある。 特に村上から北上の一带には北東—南西の断層が続き さらに北上山地の花崗岩中に延長するように見られる。

小規模の断裂(延長距離ほぼ5 km 以下)を見ると 基盤岩地帯では南北および北東—南西が多く 脊梁—油田地帯では南北が多い。

これら南北性の他に 東北地方の北部 青森・秋田県境に沿って東西性の線状構造が若干認められる。

映像上でみとめられる断裂の方向がこの様に偏っていることの原因として 映像撮影時の太陽方位が一定していて 約150°すなわち南南東方向であること また太陽高度も一定して約30°の低角度であることを考慮する必要があるとか 割れ目の性格の違いすなわち北東—南西系は張力性であり 北西—南東系は圧縮性でありその差が色調およびパターンの表われ方に影響を与えるのではないかなどのが考えが出されたが 日本の他の地域 また世界的にも LANDSAT 映像に示される線状構造は地質構造をほぼ反映していると思われる。

映像特有の“粒状バンド様肌理”の抽出によって 褶曲構造形体のアウトライン及びそれらのトレンド関係が適確に図化出来る。なお植生繁茂地区では一般の空中写真判読においても地層傾斜方向の判定は困難であるが立体総観察の出来ない本映像ではこれが一層困難で ことに向斜 背斜の区別あるいは判定には総合的な地質解釈の能力が要求されるようである。

4.4 鉱 床

東北地方の金属鉱床は 種々な地質单元の中に 多様な形の鉱床として存在しているが 代表的なもの若干の例を取って それらが LANDSAT 映像上でどの様に現われているかを検討した。

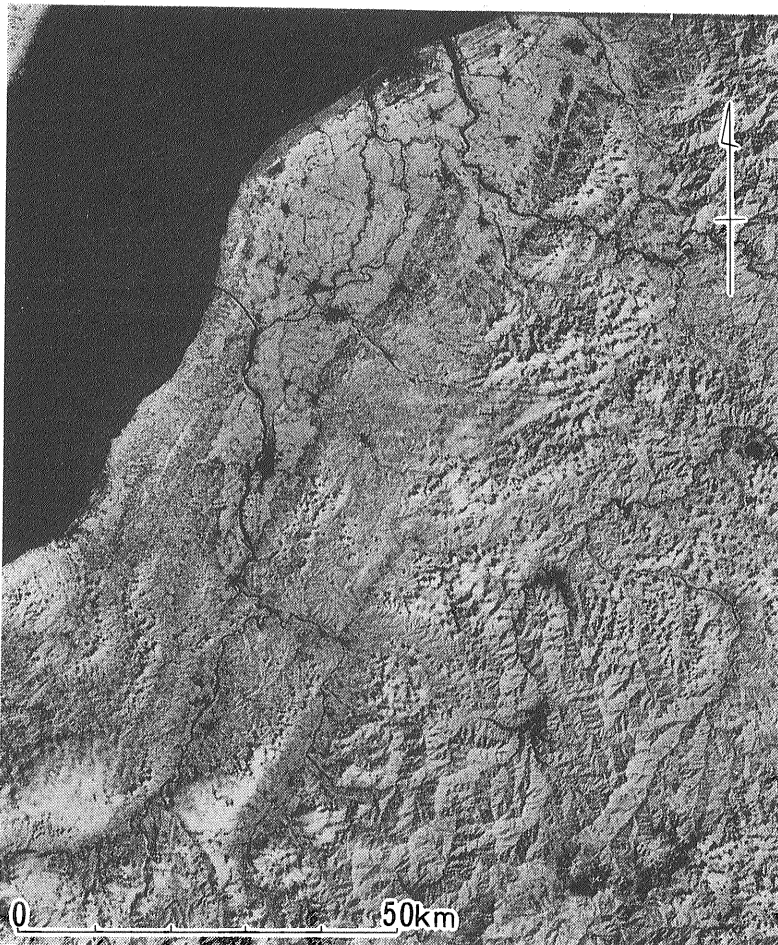
4.4.1 合成カラー 印画上での表現

カラー印画（第2表C）では 現在操業中の大規模な鉱山は青色のスポットとして現われており 色調特徴と

しては 高密度の都会地のそれと同様である。しかし地形あるいは地理的に都会地としては考えられない場所にある事 及び その周囲が急激に森林地に変る事などから両者を区別することができる。このような事実は世界中のある規模以上の鉱山の把握が可能なることを示唆するものである。これは MSS 5 波長域で反射が強く同じく7の領域で反射が弱い事に起因しており 都会地と同様 植生の被覆の全くない所の特徴である。すなわち坑口付近の研(ズリ)の堆積地 廃滓池などの現われとみる事が出来る。表紙の写真に小坂鉱山 相内鉱山（表紙中央下端部） 上北鉱山（同上端部）などが青く現われているのが見られているが 他にも松尾鉱山を始め 多くの現在あるいはつい最近まで稼行された鉱山の場所にこの様な色調異常がみられる。

4.4.2 層状マンガン 鉱床 地域

東北地方の代表的層状マンガン鉱床地域である北上山地の野田玉川鉱山周辺地域を詳細にみてもみると 鉱床生成よりずっと新しい中生代末～古第三紀堆積物の久慈層群と 花崗閃緑岩類の進入を受けてホルンフェルス化した二畳系岩類との境界がフォールス合成カラー印画上で明瞭に読取る事が出来 更に進入を受けた二畳系と 花崗閃緑岩との境界も色の濃度の差として現われている。二畳系の地層の走向傾斜と その形成する褶曲構造 及びそれらを切る断層構造などは 地形の凹凸の差が 低角度の太陽照射による



第5図 A B
新潟県中部。 (A)MSS 7バンド (B)グループによる解析例。新潟市から拍崎市に至る所謂新潟油田地帯の含油褶曲構造がよく見える。脊斜部は白く見えると言われるが本図はその好例で長岡市東西の中央油帯 東山油帯の脊斜構造にこれが見える。右下（南東部）は上越の先第三系であり 北上に似た断裂パターンが発達している。矢印は今回発見された断層の例である（8頁参照）。

第5図 A

陰影効果（山の影の大きさ 密度などの分布の差）のために容易に読取る事が出来 マンガン鉱床は その一つの層準の上にあるのが見られる（第2図）。

4.4.3 接触鉱床地域

金属鉱業事業団広域調査の遠野地域は鱗片状の雲が多く 詳細は読み取り困難であるが 釜石鉱山地域についてみれば 鉱床生成に関係したと見られている花崗閃緑岩の分布が やはり低角度太陽照射による山の影のパターンの差として明瞭に識別出来る。更にこれに貫かれた二疊系の砂岩 粘板岩 石灰岩などの構造も同様に追跡する事が出来る。そして 合成カラー印画でみると大峰 佐比内 新山などの各鉱床の露頭沿い 及び高前細越などの鉱床沿いに点々と青い斑点が見られ この分布が二疊系の地層面の構造と一致しているので これは交代を受けた二疊系石灰岩層の層準の現われと解釈出来る（第3図）。

4.4.4 黒鉱鉱床地域

北鹿地域についてみると 大館盆地側の映像には良いものがなく 詳細はわからないが 花輪盆地側では かなり良く地質構造を読取る事が出来る。即ち 花輪盆地は南北にのびたベースン構造をもち 下位層は熔岩 侵入岩類を主としており 粗い密な山の影をつくる地形であり 上位層は凝灰岩 泥岩などを主とし 細かく疎な山の影をつくる地形を示し 以上の様相が合成カラー印画上で明瞭に識別出来る。この比較的平坦に見える凝灰岩 泥岩を主とする上位層の中に 鉱床生成に関係のあったとみられる流紋岩ドームの侵入岩体が やはり低角度照射による 山影の特徴あるパターンから識別できる（第2図）。

4.4.5 鉱脈型鉱床

東北地方は鉱脈型鉱床の宝庫であり 各地に点在するが それでも平均的にばらまかれているわけではなく

いくつかの密集地帯にわけられている。その中の一つ尾去沢鉱山周辺についてみると 黒鉱地域と同様 鉱床母岩のもつ地質単元的相違が 山の影の密度に現われる地形の相違から読取れると同時に 鉱脈群の走向方向に一致した微細なNE方向のリニアメントを見出す事が出来る。他の鉱脈密集地域についても 一部雲のために観察出来にくい細倉周辺地域などは別として 横手盆地の東側山地 新庄盆地の北側 東北側 南西側山地 また山形盆地の南東など 何れも構成地質単位としての凝灰岩 泥岩などを主とする地層と熔岩 侵入岩類を主とする地域の区別と 鉱脈群の走向を代表する微細なリニアメントを観察する事が出来る。唯これらリニアメントは 何れもいくつかあるリニアメントの中の一つであり そこにある鉱脈の走向の知識なしに 鉱脈の走向を代表するリニアメントをえらび出すことは困難である（第3図）。

5. 考 察

5.1 概 説

白黒印画の効果をみると MSS4 は水中および雲に関する情報把握によりと言われていた通り 今回のように陸



第5図 B

域を主とする地質構造解析に対しては陸上要素が不鮮明であり 不適當である。MSS 5 は水系と植生を見るのに最も都合がよい。岩石の露出部を主な対象とする地質構造解析としては これに対して同じく 6 7 が最も有効な画像を提供し得る。どちらか 1 種を選ぶとすれば MSS 7 が最適であろう。MSS 7 は近赤外帯として地形のパターンを最も鮮明に表わすからである。USGS は MSS 5 および 7 の映像を通常併用しているようである。沖積・洪積層地域および水系をみるには 5 が確かに有効であるし 7 は断裂パターンの差異 侵蝕地形の差を最もよく表わすから 白黒写真から選ぶとすればこの 2 つの組み合わせが最もよいであろう。

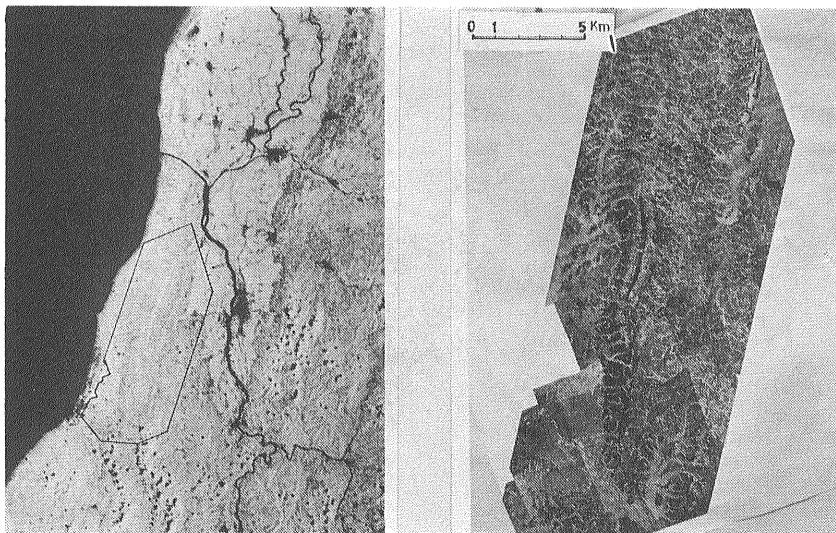
合成カラー印画については 1/40万で今回使用した MSS 4 5 7 の合成カラーは植生と地形特質の識別に非常に有効であった。1/20万で作製したものは USGS 方式の MSS 5 7 合成カラーであったが第四系と先第四系との境やある種の断裂構造の解析に威力を発揮した。これが鉱山所在地の識別に有効なことも前に述べた通りである。従って 地質構造解析に最もすすめられる組み合わせは MSS 7 の白黒印画と USGS 方式合成カラー印画第 2 表 C の併用である。

白黒印画のみを使うときは MSS 5 と 7 の併用が最も適當である。しかし写真印画の質は 原版次第であるから もし 7 の原版の質が悪い場合には むしろ 6 の印画で代用した方がよいであろう。

縮尺については 原版 70m/m のフィルムベースに変換されたデータに含まれる面積は (185×185)km² であり 縮尺は約 340 万分の 1 である。1/40万に引伸した

ときの印画紙の大きさは約(42cm)²であり 東北地方全体をカバーするためには第 1 図のような 7 枚の映像が必要であった。この縮尺はたとえば北上山地が 15×30cm の大きさとなる程度であって その全体の構造を概観するためには都合がよい。1/40万の写真印画上で識別し描図できる限界は 0.5mm であり これは地表で約 200m に当る。今回の結論から言えば 構造解析にはこの程度の縮尺が最適である。これより粗くしては構造単元の識別に困難であるし これより細かくしても情報の質はそれ程変らない。非常に構造単元の小さい所 第三系褶曲帯のようなところは 1/20万に拡大することは有意義である。しかし 1/20万以上に大きくすると おそらく画像が荒れて かえって見難くなるであろう。1/40万では さきに述べたとおり全紙判に 1 つの画面がそのまま入るので写真処理上能率がよく 経費が節減できるという利点もある。

衛星映像による地質解析の最大の利点は適度の正確度を具えた迅速さということであろう。東北地方のように 約 500×250km² に及ぶ広大な地域でも作業を 1 ヶ月程度で終了することができ まずまずの地質構造図を作成することができる。この範囲を通常の中空写真で埋めようとすれば 5～600 枚の写真を処理しなければならず おそらく 10 倍以上の日時を要しよう。それ以上に LANDSAT 映像の提供するものは普通の中空写真以上のものがあるように思われる。第 6 図は新潟県の中央油帯地域の MSS 7 白黒印画(A)と同じ範囲を 1/2.5万の航空写真をモザイクして作り上げた写真(B)を並べたものである。LANDSAT 映像では延長 30km に及ぶ長大



第 6 図
新潟県中央油帯脊斜(第 5 図参照)
における衛星映像写真(左)と普通航空写真モザイク(右)の比較。
(左)は第 5 図の原版を拡大したものである。(右)は 2 万 5 千分の 1 航空写真をモザイクしたものである。衛星高度よりの映像情報は航空写真のような低高度よりの写真情報と質的に異なることがわかる。

な中央油帯脊斜のパターンが1望の下に示されているがモザイク写真では中々この実感は得られない。

海外調査のような場合には経費の低さ 処理の速さに対して情報の信頼度のかなり高いことから実に強力な武器となり得るであろう。またその解析作業に従事する技術者としては 普通の空中写真解析の経験を備えていることが望ましい。

5.2 地質単元

先第三系基盤岩地域は 長期間にわたる運動と侵蝕を蒙っている。その結果 基盤岩類には方向の異なった多くの断裂が発達し 岩石毎にその物性に対応した侵蝕地形を呈する。したがって LANDSAT 映像データによる地質判読が もっとも有効性を発揮する対象でありその判読の手がかりとなるのは断裂と 地形的起伏である。このような地形的起伏のパターンは 低太陽角度の映像にあらわれた陰影のパターンによく示される。したがって 植物葉体からの強い反射によるハイライト部と地形的起伏による陰影部との2つのトーンに集約されるような形の MSS7 の印画が その判読にもっとも有効である。また この波長域の映像は 4バンド中もっとも大気中における光の散乱の少ないものであってとくにシャープである。

これに対して 新生代あるいはその中でも新期の地層の分布地域では 色彩の濃淡をもっとも人間の眼で見た感じに近い形で再現する MSS5 の白黒印画がよい。つまり 岩質の差 あるいはそれを反映する土地利用の細部その他がもっとも識別し易い映像データである。これに加えて すでに述べたような合成カラー印画(第2表のBあるいはC)を使用すると 細かい水系 植物被覆の細部や土地利用のちがいがなどが容易に識別でき非常に効果的である(表紙写真)。

深成岩は 通常塊状を呈し 通常方向性の異なったいくつかの断裂系が発達し そのパターンの特徴から識別される。これらが堆積岩と接する場合には 識別がきわめて容易であるが 深成岩同志が接する場合は 互に区分することはむずかしい。先第四紀の火山岩類についてもほぼ同様なことがいえる。ただし 火山岩が碎屑性堆積岩と組合ってシートをなす場合に これらを区分することは困難である。岩脈の場合 LANDSAT 映像データの地上分解能(約80m 写真印画上では 200m位といわれる)に見合った大きさのものでなければ 単なる線状構造と区別できない。広域に分布する火成岩体の場合 その規模による区分一岩類 餅盤 岩株 底盤なども重要であり 東北地方のような広大な地域を僅

かに5枚(実質2枚分の面積)の映像でモザイクできる LANDSAT データの利用価値は大きい。

第四紀火山は その内部構造に起因するそれぞれの形態が 識別の重要な手がかりである(表紙写真)。またこれらに随伴する特徴として 火口 噴煙 熔岩流などがある。これらはその活動が最近のものであり 現在活動中のものである場合には 映像上で極めて明瞭である。

要するに 一般に堆積岩地帯あるいは火成岩地帯にせよその内部で地質単元の境界を決めることは地質図のように100%可能ではないし 衛星映像の特質からいってそれを要求するのは不適切である。むしろ 広域的構造の特質が一望の下に全体的に把握できるという衛星映像の大観的な特徴を活用すべきで 鉱床探査の場合 精査というより概査に用い 探鉱調査のための先行的資料として利用すべきであろう。

5.3 構造要素

既に述べたように 堆積岩の場合 その堆積盆の大きさが十分に大きい場合には 地質構造単元も大きく 褶曲構造も十分に把握できるが 空中写真や衛星映像データのもっともよい対象となるのは断裂系 すなわち線状地質構造である。すなわち 節理 断層 破碎帯 片理などの反映として 地表面にあらわれた線状の特徴(リニアメント)の抽出である。

一般的な作業手順として 主要な断裂の抽出 作図することによってまず最初に大きな構造単元を区別する。例えば 第4図に示すように 双葉断層(久の浜一岩沼線)とこれに併走する棚倉破碎帯を把握することによって 両者にはさまれる阿武隈山地 東側の双葉地域 および西側の八溝山地の大きな3つの地体構造区分が把握される。続いて さらに細かく各地帯構造単元毎のリニアメントのパターンを分析 比較することによって より細かい各単元の区分 さらにその境界の決定を可能 かつ容易ならしめる。古い地層・岩石の分布地域ほど異なった方向の多くの断裂が発達している。あるものは再活動しより上位の地層中に変位が波及し さらに未固結の新期堆積物までそれが及んでいるものがある。

LANDSAT 映像から抽出されるリニアメントによって示されるパターンは 既存の地質図と対照してみると実際の断裂系のパターンに対して よい対応を示している。既知のものに同定できないものについては 新しいデータが加わったものとして 再検討を行なうことも考えなければならない。地域外ではあるが 関東山地における南北性のリニアメントが 現地検討の結果従来

知られていなかった断裂系であり しかも丹沢では神縄断層を切り洪積世駿河礫層堆積後のものであることが証明(星野・長谷 1976)されたのは その一例である。

このようなリアメントの解析には フィルム サンディッチ法(長谷 1974) エッジ強調技法(松野ほか 1975)を用いて 作業の能率化と同時に 解析結果の客観性をもたせる努力も必要であろう。

5.4 鉱 床

鉱床の個々については 既に述べた様に LANDSAT 映像の中から その存在位置を規制する主要な地質構造要素を讀取る事は 割合に容易であるが 逆に 既知の鉱床についてのその様な知識なしに 単に映像だけから得られた地質構造要素から鉱床の存在を規制する構造要素をえらび出す事は 現状では未だ困難である。従って LANDSAT 映像の解読から色々な形の地質構造要素をいくつかえらび出したとしても すぐそのままそれが 鉱床の発見に結びつけられるものである事にはならない。しかしながら 既に発見され その周囲の地質構造条件もよくわかっていての鉱床についての地質構造要素は 既にいくつか例示した様にかなり明瞭に讀取る事が出来るのであるから LANDSAT 映像からどのようなスケールのあるいはどのような性格の地質構造を読み取るかということに注意すれば LANDSAT 映像は鉱床探査の上はかなり有効に役立たせる事が出来るはずである。

そのためにはまず対象とする鉱床の型を決める事であり 然る後 その鉱床が生成した地質条件から考えて期待されるその鉱床の存在を規制する地質構造条件を明らかにし それらが映像の上にどの様に現われているかを探し求めるというやり方をとる事である。例えば 石油 天然ガス地域においては 堆積岩類の形成する褶曲構造が これら鉱床の存在位置を規制する主要な地質構造条件であるから 主としてこの点に的をしばって解読する事になる。東北地方の場合 既にいくつか例示した様に可成り明瞭に解読された背斜構造の位置と 実際の既知の鉱床の位置とが一致している事から 更に残された可能性のある地域の検討が容易に行なえる事となる。

金属鉱床について言えば まず層状マンガン鉱床の場合では その生成機構から考えて二畳系のチャート層準と整合的に存在する事が期待され 従って二畳系堆積岩の褶曲構造と地層面の追跡が大切なテーマとなる。また接触鉱床の場合でも 鉱床生成に関係した進入深成岩体の形の追跡と それに切られた石灰岩を含む地層の構造とその地層面の追跡が注目すべき地質構造要素となる。

黒鉱の場合は 燧岩類を主とした地層が凝灰岩類を主とした地層に変わる近くで流紋岩ドームの見られる場所と言うのが讀取るべき大切な地質構造要素となるが これと合わせて鉱床生成に関与した流紋岩ドームとそうでないものとの識別を岩漿論的に判断する事も必要である。鉱脈の場合は その鉱脈をつくった金属分を地下から運んで来た火成岩類の識別と その沈澱した張力性断裂を讀取る事となる。その張力性断裂は映像写真ではリアメントとして現われるはずであるが リアメントは同じ地殻応力の場での断裂系のすべてのものについて夫々個別に現われて来るので それらを全部総合的に判断し 剪断面に伴うリアメントと張力面に伴うリアメントとを区別する事も大切な判読要素の一つとなる。全体的にリアメントの密集地帯は断裂の多い地域 即ち鉱脈の多い場所である事が多いので注目すべきである。何れの判読の場合でも MSS 7 を中心とする白黒印画を適切に使用すると共に 合成カラー印画が 植生の違いに基づくトーンの変化 地形の凹凸による山の影の大きさ 密度の分布の相違などを総合的によく表現するので 以上の判読にこの印画がかなり適切である様に思われる。

6. 結 論 と 今 後 の 問 題

LANDSAT のフィルム ベースに変換された映像データから 写真地質学的手法によって 一般地質調査および鉱物資源探査に関し どれだけの情報が得られるかを評価する目的で 本研究を実施した。研究のためのモデルフィールドとして東北地方が選定され 基礎データの最少限の処理として 縮尺1:3,692,000のフィルムベースの原版(EROS Data Center から入手)から引伸された40万分の1縮尺の白黒印画(MSS—4 5 6および7) および標準タイプの合成カラー印画(第2表B)さらに1部地域については 縮尺20万分の1の同様な印画の作成を行なった。

写真印画の形に作成された映像から 写真地質学的手法によって 地質データを判読 抽出する際 映像の質的良否が結果を左右することはいうまでもないことであり ここでは適当な記録波長領域の選定 縮尺 合成カラー印画と白黒印画との比較等について 総合的な検討を行なった。

宇宙衛星から得られた 4チャンネルのスペクトル情報から適当にえらばれたバンドを写真処理した印画を用いて従来の写真地質判読手法を適用するだけで 一般地質図作成に必要な情報あるいは地質構造とくに線状地質構造一に関する情報が抽出できることが明らかになっ

た。この手法が今後さらに全地球的スケールでこの面で大きな役割を果たすことになるであろう。本報告に示した例をはじめとして多くの例が示すように場合によっては映像上に岩石地層の分布地質構造線がはっきりと表示され映像そのものがあたかも地質図あるいは地質構造図ということができる位である。

したがってこれをうまく利用することによってきわめて能率的に地質単元の分類地質構造区の区分などが可能となり広域的な大～中規模地質構造の効果的な解析が可能となる。このためにはデータの最小限の処理としてフィルムベースに変換されたMSS 4～7の白黒印伸し印画および合成カラー印画の作成だけで充分である。そして原データの地上分解能およびその1画面に含まれる面積などの点さらに作業能率および経済性などを併せて考えると縮尺40万分～50万分の1程度のものできわめて好都合である。

LANDSAT データに記録された地表面の起伏と詳細はそこに存在する岩石・地層の分布範囲それぞれの性質ならびにそこに働いた地質学的作用の総和である。したがって長期間にわたって地質学的作用を蒙った先第三紀基盤岩分布地域では各岩石の型各断裂系およびその変位その侵蝕の特徴のちがいが映像上で形態各種のパターン肌理色彩トーンなどのちがいでいとしてもっとも識別し易い形であられる。つまりこのような地域の構造解析にLANDSAT データがもっとも役に立つ。一方第四紀火山体のような新期の未侵蝕の単元は周囲の侵蝕地形から対照的に堆積あるいは建設的(constructive)地形として容易に分離できその形から構造形態を正確に把握しかつ構造上の位置関係も一見して決定できる。

第三紀堆積岩地域については地層の層理葉理などによる縞状パターンから地質構造—例えば褶曲構造—を作図することができる。したがってその堆積盆と基盤岩地域との区分に有効なデータを提供しさらに貫入岩体の分布を容易に限定することができ金属鉱床探査に対して一つの指針が得られる。

LANDSAT 映像による地質構造解析の最大の利点はここで明らかにされた通り短時間に広大な地域について他の方法では不可能あるいは可能であっても莫大な費用を要するような情報をかなり高い正確度で得られることである。したがって発展途上国など交通不便な既存資料の少ない地域の予備調査の手段としてきわめて有効なものであり現地調査を能率的に進めるための不可欠なものとなる。

今後の問題として東北地方だけではなく種々異なった地質地理気候条件の異なった地域においてこの方法で抽出された各種の地質要素と地形・植生などとの対応についてケーススタディを積み重ねて行くことが必要である。また鉱物資源探査に関してより直接的な方法として活用できるよう映像上に表示される断裂系と鉱床の種類タイプ付随する特性などについて相互の関連を明らかにする研究努力が望まれる。

4チャンネルのスペクトル情報を活用しそこから得られる鉱徴に関連する諸異常との関連についても同様な検討が必要である。LANDSAT データを始めとしてすべてのリモートセンシングデータはさきに触れたように空中磁気図をはじめとして重力図地震探査のデータなどと合わせた総合解析を考えなければならない。LANDSAT データの記録電磁波領域の情報は地表面の表皮深度のものである。より深部の情報に関するデータである上述のそれらと合わせて総合的に解析し最終的には試錐試掘坑などのような直接探査に結びつけられてはじめてその効果が評価されるものである。

引用文献

- 星野一男・長谷絃和(投稿中): 神縄断層を切る南北性断層について 地質学雑誌
 長谷絃和(投稿中): リモート・センシング データからの地質情報抽出技法 物理探鉱
 一色直記・松井和典・小野晃司 1968: 火山文献選集 地質調査所
 松野久也・星野一男 1975: ERTS映像による地質構造解析—エッジ強調処理(edge enhancement)技法の応用 地質ニュース no. 245 p. 1~13
 松野久也 1976: 写真地質(第2刷) 248p. 実業公報社

なお東北地方の構造解析について参照とした主要文献は下記の通りである。

- 50万分の1 地質図 青森 1960: 地質調査所
 同上 秋田 1959: 同上
 同上 新潟 1958: 同上
 北村 信 1974: 東北日本の新生代変動史 海洋科学 6巻 2号 p. 46—53
 竹内常彦編 1962: 日本地方地質誌 東北地方 朝倉書店

Ⓢ(3頁)本報告の付図LANDSAT/ERTS映像による東北地方地質構造解析図(1/40万 1/100万)は編集の都合上本号には入れられませんでした。希望者は下記へ連絡して下さい。

Ⓢ162 東京都新宿区河田町8
 地質調査所 燃料部 星野一男
 Tel (03) 341—7131