

画像データ解析 解釈過程の分析

— リニアメント解析を例に —

長谷 紘和・鎌田 浩毅 (地殻熱部)
Hirokazu HASE Hiroki KAMATA

はじめに

画像データに内蔵される情報を抽出するにあたって情報を量子化して扱うデジタル処理技術は多くの利点をもっている。約20年前に初めて手がけられたといわれるこの技術はコンピュータ技術に支えられてきわめて著しい発展をとげている。地質地下資源分野では画質の向上や位置補正あるいは地図変換といった前処理技術として多用されるが一方ではさらに進んで地表面の岩質地形情報を抽出する技術を確立するための努力も続けられている。こうした分野の研究は量子化された画素あるいはその集合の特徴と地質現象との因果関係が明確にされた際には広域地質の理解に大きく寄与することが期待される。このためにわれわれにとくに求められることは 1)従来経験的に行われることの多かった地質判読プロセスのシステム化 2)地質評価調査の促進による因果関係の明確化があげられる。後者は実際に地質調査を伴うので急にその実を上げることは困難であるが前者については現在の知識を系統的に整理することによって汎用性の高い解析ソフト技術をつくることが可能と思われる。ここでは画像データに含まれる地質情報のうちとくに断裂情報について考えてみる。断裂の地表トレースを意味するリニアメント抽出は地質専門家によって試みられるのが多くの利点があると考えられる。しかし他面結果のばらつきにより基礎データとしての信頼性に欠ける。その実態をソフト的な思考過程の面からとらえて見たいと思う。

1. 断裂解析ソフト技術

リモートセンシングが地質学の中で大きな成果を挙げるに至った今日においても解析データが未だ完全には受容されたとはいえないのはデータの客観性に対して普遍的な了解が得られにくいからである。しかし地質現象の画像解釈においてはこの客観性の問題はリモートセンシング技術上の問題というよりはむしろ地質学においてデータ或いは事実はいかにして認知されるのかという問題に帰着する。地質学でよく見られることであるが断層を1本例にとっても人により認める人と認めない人との差違が生じ最終的結論は主として経験の有無に左右される。しかし正確に事実を把握

することに関しては長年やってきた経験者が常に正しい判断を下すというわけではないようで地質学は多分に歴史的観念に支配されてきたこともあり経験者ほど蓄積された観念に縛られ正確な判断力が曇らされてしまう場合も時に生ずる。

自然科学においては推論又は論理的展開は客観的な事実の上に組み立てられるわけであるが真の事実のみをピックアップすることは不可能に近い。すなわち認知された事実には必ず観測者の影響(ゆらぎ)が含まれている。しかし事実の認知は本来あるプロセスを通じて最も確からしいと判断されるものについてのみ行われるものである。ここでいうプロセスとは過剰な情報の含まれる1次データソース(例えば高々度衛星データ)から誰もが認める明らかな(完全に明らかであるとは言いがたが少なくとも現在までの学問の蓄積に照合し最も確からしいと言いがた)論理的展開を経ることによりある2次データを抽出し(例えばリニアメント図)これをもとにして地質学的解釈(interpretation)を加えることを言う。

現在最も必要なことはこのプロセスを誰もが等しく正しく使うような形態にすること即ち“システム化”することである。この“システム化”は昨今よく用いられている画像処理と言い換えてもよいがここでの意味は現在主に使われているようなハード面での画像処理技術ではなく地質学的総合解析のためのソフト面での処理技術系を指す。

実際のリモートセンシングに於いては1次データは人工衛星高度あるいは航空機高度より得られた2次元の画像データである。地質学的処理とはこの画像データからリニアメント等を抽出したり3次元の地質現象(褶曲・陥没構造等)の2次元平面への投影を抽出したりすることであるが案外そのプロセスは直観的な経験に頼っており論理的な解明がなされていない。リモートセンシングデータから信頼するに足る2次データを抽出するためにはまずこのプロセスを明らかにする必要がある。現在のリモートセンシング利用技術分野において最も必

要なことはハードの開発ではなく原データからどういう情報がどれだけの精度で得られるかという利用面でのソフト技術の確立である。例えば医学の分野においてはガンの診断技術は誰もが等しく診断のつく方法を目指してシステムとして研究されている。リモートセンシングデータ利用分野におけるこれらの過程は具体的には地形や輝度分布の強調等の技術により工夫が凝らされているがこれらの1つ1つの作業がリニアメント等を抽出するのに適したプロセスを含んでいるかについて再考してみる必要がある。

このような点に関して現在のリモートセンシング技術はソフト面がたち遅れている。例えばリニアメントとは本来何を示すのか、どういふものをリニアメントと定義し使用するか、また地形とは本来どういふ点が地質を反映していると認めてよいのか等の基本的な問いかけなしに画像処理技術を考えることはできない。さらにリモートセンシング画像データからはリニアメントのような地形上に直接表われる外的構造のほかにもある単純な構造が集積されることで統計的な判読も可能である。面的情報源としての2次元画像データから線的情報としてのリニアメントを抽出する際の過程において現在の方法ではどこかに論理的冗長や見落としがないとは言えない。

このような最も基本的な問いから出発することが地質分野におけるリモートセンシングデータ利用の本来の活用につながってゆくものと考えられる。

2. リニアメント

画像データ上に現われる線状のパターンは総称して線状形態 (linear feature) と呼ばれる。しかしこの「リニアメント」は類語や地質家間の不一致な内容での使用によって少なからず混乱している。しばしば混同される地質用語にリニエーションがあるがこれは構造岩石学の分野から定義された平行線構造であり発達スケールも異なる。リニアメントは地殻に発達した断裂の地表トレースを意味するものと受け取られておりとくに基盤に発達する断裂が上方に向かって伝播し地表に線状の特徴を与える事実が知られるようになってから断裂系の地表トレースとほとんど同義に用いられるようになった。しかしリニアメントは地質学用語であると同時にリモートセンシングデータを扱う分野で広く用いられる用語でもある。また空中磁気データ解析においても磁氣的性格の線状の特徴を現わす言葉として magnetic lineament という用語はしばしば使用される。

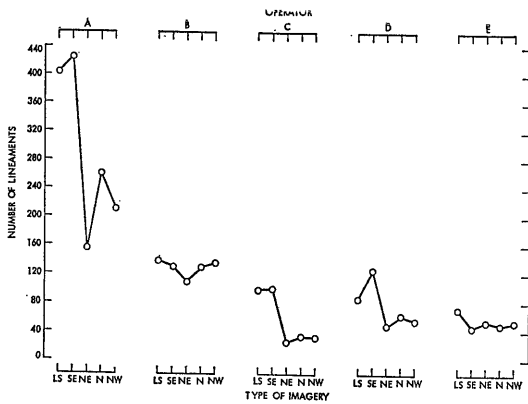
このようにリニアメントという用語は広い分野で使用され便利な用語ではあるが各種のリモートセンシング画像データの利用が進むにつれて使用上の混乱に輪をかける傾向があった。最近こうした地質構造上の意義をもった線状形態についてリニアメント (lineament) の定義に関する提案 (O'LEARY et al, 1976) が正式になされている。この提案によれば上記の意義をもつ線状形態に画像の種類を前置用語として付加した使用方法 (airphoto lineament など) は避けるべきとしている。しかし慣用的に広く用いられてきた「リニアメント」という用語を従来どうりの意味で用いたい場合もある。そのときは用語の基本的意義を損わないような前置用語を付して使用できるとしている。この提案によれば topographic tonal thermal あるいは magnetic などの前置用語を用いて定義を明確化することができる。

本号の中ではリニアメントをさらに限定して地殻の割れ目に関連した地表トレースの情報として述べる場合には断裂系など別の固定化された用語を併用している。

空中写真や地上分解能の高い画像データからは地表形態の細部が観察でき断裂特有の地形特徴がよくとらえられるが Landsat 画像に識別されるリニアメントの評価は十分にはなされていない。地質図に表現された規模の大きい構造線は Landsat 画像では明瞭なりニアメントとしてとらえられるが逆に同画像上で直線的な形態から構造谷と推定されるものは現地を訪れると谷筋の幅も広く地形的特徴からそれを裏付けることが困難なことがしばしばある。また同画像上によく表現されるトータルな線状特徴は評価がほとんどなされていないといってもよい。

リニアメントの判読は地形起伏の誇張を通してもっともよく観察されるため従来は空中写真の立体視観察によってそれが行われてきたが作業のプロセスは前にも述べたようにブラックボックス的な要素が強く地質条件の実態にもとづいた地質観と解析技術としての要素が混然としていた。

こうした解析が人間によってなされる以上そこにはデータ抽出上のばらつきが生じることは避けられない。そうした影響のうち観察者の眼の疲労からくる心理的な影響が無視できないことを最初に指摘したのは LATTMAN (1957) である。現在この抽出データのばらつきに関する問題は多様なリモートセンシング画像データの出現とそれらのデータの各種強調処理技術の出現とによってさらに重要な意味合いをもつに至っていると言える。画像上に現われた線状の特徴を強調する技術はいくつか



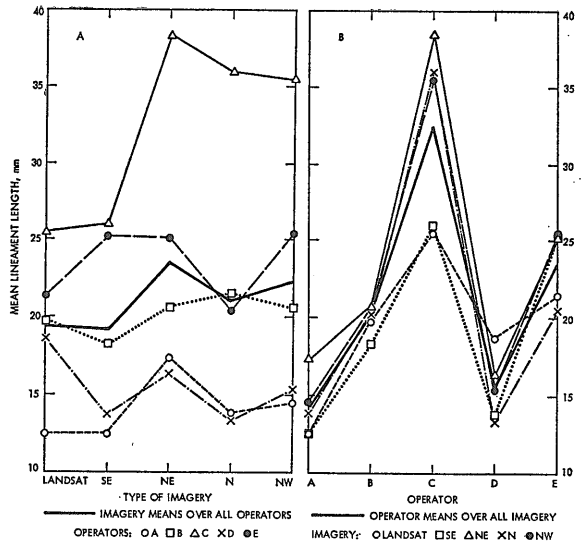
第1図 5人の地質経験者(A B C D E)が5種の小縮尺画像データを用いて同一地域のリニアメント抽出を行った際に現われた抽出数のばらつき (SIEGAL and SHORT, 1977)

あるが そうした技術の濫用は却って事実を誤認する危険性もある。

3. リニアメント抽出結果のばらつき要素

画像からのリニアメント抽出は 地質経験をもった解析者によってなされてきた。この基本は不変であろう。高度の画像解析技術には 判断機能が含まれるものがあるが たとえば河谷のパターンから必従谷や適従谷を区別し 表示できるようなプログラムを組むことを想定しても いろいろな画像領域を設定して 多くの判断機能が柔軟に対応できるような 高度のプログラムが要求される。しかし人間による解析結果は必ずしも一致性の高いものではなく ばらつきが生じる。従来こうしたばらつきは地質経験が深いほど小さいと言われてきた。しかしそれが厳密性を欠いた表現であることについては前にふれた。基礎データのばらつきは科学的推論を行う上で重大な欠陥である。たとえば画像データからリニアメント抽出を行い これを用いて断裂の密度解析のようなテーマへ発展させるには抽出結果が許容誤差内にあるという科学的了解が必要である。この問題を論じるには 地質学的基本にかかわる問題と人間の心理作用に分けて考える必要がある。本節ではカリフォルニア工科大学のグループによってなされた一つの実験結果をもとに後者の問題について考えてみる。

この実験 (SIEGAL and SHORT 1977) では5人の地質専門家に アリゾナ州内のテスト地域における同一バンドの Landsat 画像 レリーフマップとしてしられる立体地形図に SE NE N および NW 方向から光線をあてて地形の特徴を陰影によって強調しそれを撮影した4種の陰影強調画像が渡され リニアメント抽出が依頼された



第2図 A 画像毎にみる抽出リニアメント平均長の違い
B 同じ抽出結果を抽出者毎にみたもの 解析者cのばらつきが大きいこれは地質経験の基本に係るばらつきであろう (データ出所第1図と同様)

(SE 方向と NW 方向からの入射条件は一般には同一の結果が出るものとしてどちらか一方が省略される)。対象地域画像データからの抽出結果はリニアメントの本数 長さ 方向 および一致性について統計的に比較された。解析者の前提条件としては各人ともテスト地域の実地の地質調査経験をもたないことが設定されているが これは野外調査結果を無意識に画像情報としてとりこむことを避ける意味も持っている。

第1図に抽出されたリニアメントの本数を各解析者画像データ毎に示すが これをみても分かるようにリニアメント解析結果は解析者個人によってかなり大きな個人差があることがわかる。われわれもこのテストが例外でないことを経験的に知っている。

実験には 断裂情報抽出時における地質的思考過程以外にも 最終的判断において人間の性格的な影響がばらつきの原因をつくる上で強く出ることを示している。ある解析者は微弱な断裂情報と思われる地形的な特徴を画像中に見出した時に それを積極的に表現しようと試みるし 他の解析者は慎重でそれを除外する。

第2図はリニアメントの平均長を解析者毎にチェックしたもので (A)は画像データの種類 (B)は解析者を横軸にとって比較している。これらの結果から 画像データから抽出されたリニアメントの数や長さの統計は解析者個人間で大きいことがいえる。このため単一の

解析者の抽出結果をもとに断裂の とくに密度的観点からの地質解析結果は 多分に論理的根拠が薄弱であると 言わざるを得ない。しかしこの実験結果からも判る ように 解析者個々人のリニアメント抽出に対する結果は 系統性がある。たとえば リニアメントを積極的に抽出 する人 慎重な人それぞれの一貫性 リニアメントの 平均的な長さに対する一貫性 などである。後者の系 統性の基本になっているものは各人の地質経験—ここ では断裂トレース末端部におけるエシェロン—馬の尾状の 認識—が統計結果として表現された結果とみなしてよい だろう。この系統性は解析結果の精度基準をきめる指 標として意義をもつ。解析結果のばらつきは最終的な 判断時に主として現われることは注目してよい。

同様に解析者が結果を抽出表示する際にも心理学上の 弛緩が働く。

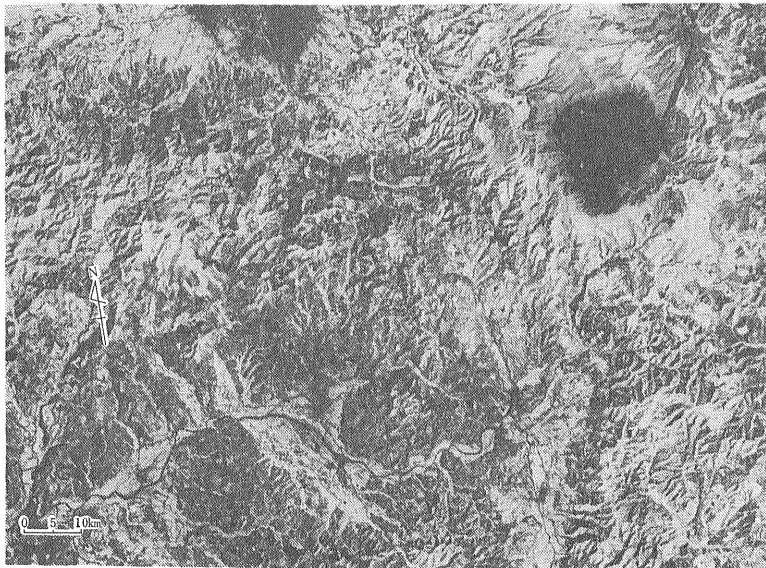
地質学では因果関係が重視される—ここでは断裂とそ れらの地表トレースとしてのリニアメントとの因果関係— ために 一方ではそれさえ明らかにされれば たとえ ば断裂トレースの位置が多少本来の位置からずれている とか 地表に現われた長さが実際と多少異っていても意 に介さないという風潮がある。たしかにこうした要素 は二義的なものかも知れない。しかし解析技術として みた場合このような考えから生じる誤差も結果全体の 評価を低めてしまう原因になり得る。さらに地熱流体 のように主として開面した断裂の隙間を通して移動がな されるような対象や土木地質的なテーマからは 断裂の 地表トレースを正確に抽出し 記録することは大きな実 用的意義がある。

4. 解析技術と解釈の接点

画像データから複数の解析者によって抽出される地質 情報を客観化しようとする努力はいくつかなされており わが国でも最近 Landsat 画像を用いた東北地方の構造 解析でそれが行われた(星野一男他 1976 1977)。この 時試みられた方法は 2つの異なった地質経験をもつ解 析グループによって 同一画像をもとに全く独立的に解 析を進め 後に相互の解析結果をつき合せて重合する抽 出結果を重要視する方法であった。しかしこの方法で は客観性についての改善とはうらはらに 画像から得ら れる地質情報の多くを 単に重合性がないという理由の ために犠牲にしなくてはならず そのために解析データ 利用の限界をせばめてしまうことが判り反省がなされた。 すなわち解析データは少くとも上に述べたような単純な 方法で有意な情報が排除されるものであってはならず 論理過程が正しくふまれた抽出結果については 積極的に それを評価する態度が必要である。ここにソフト技 術としての一課題がある。

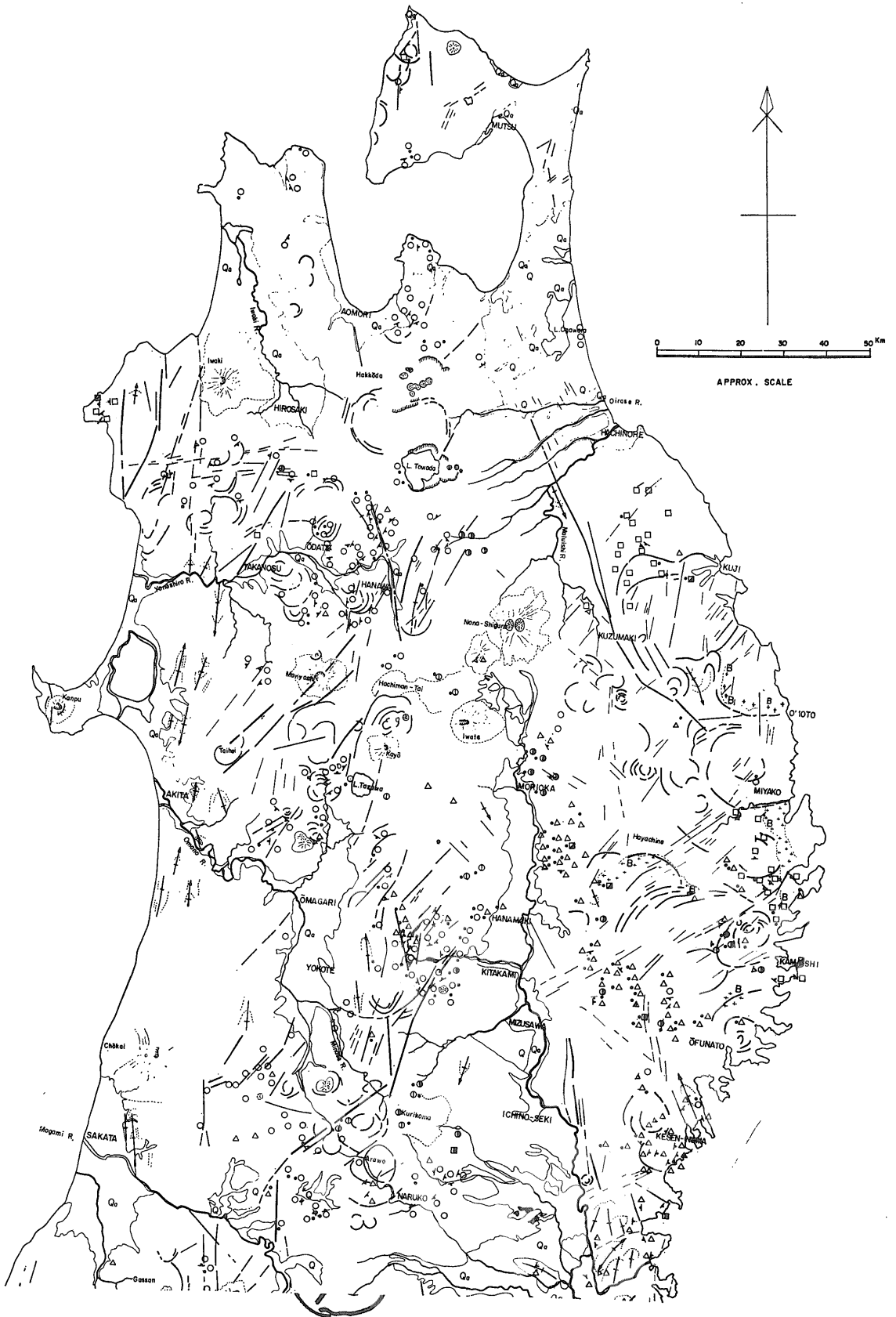
他方 地質解析は総合的な思考過程の下に下される最 終的アウトプット結果である。「解析技術と解釈」の接 点を考えるにあたって 北鹿地域を対象になされたいく つかの研究結果は興味深い素材を提供している。

第3図は秋田県北部を中心にした拡大Landsat画像で ある(グラビア参照)。この画像に見られる大館盆地周 辺地域は 黒鉱々床を主体とするわが国の代表的な富鉱 地域で 「北鹿地域」として良く知られる。かつて東 北地方を対象に Landsat画像データを用いて地質構造解 析が行われ(前出) 客観的データとしての努力が払われ て解析図としてまとめられた。第4図はこの図の北半 を抜粋して示したものである。

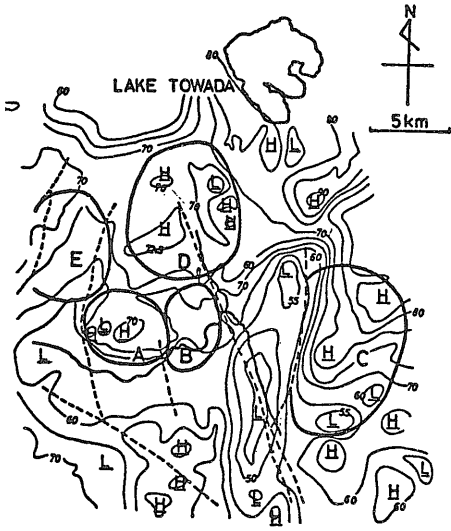


第3図 北鹿地域を中心とするLandsat拡大画像

最近北鹿地域の黒鉱々床成因に関する研究が2つの研究者(グループ) によって発表されたが この研究には Landsat 画像からの地形構造情報がかなり の比重を占めて考慮されている。すなわち一つは Kouda らによって提 唱された 北鹿地域における海底再生 カルデラ活動とその結果としての環状 構造の形成 ならびに黒鉱々床賦存の 構造規制に関する考え方(Kouda and Koide 1978) ともう一つはカナダの Scott によって提唱された 北鹿地域の 基盤を切る断裂構造とそれによる黒 鉱々床賦存の規制に関する考え方 (Scott 1977) である第5図に Kouda



第4図 Landsat 画像データによる東北地方の地質構造解析図 (星野他 1977 抜粋)



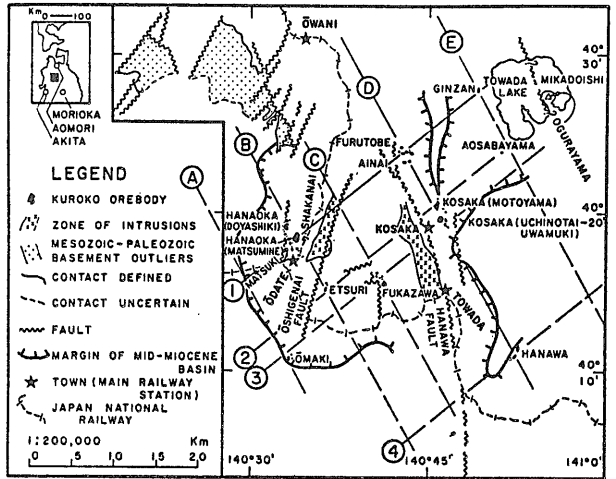
- : POSSIBLE RING STRUCTURES
- : GRAVITY CONTOUR (milligals)
- H: GRAVITY HIGH
- L: GRAVITY LOW

第5図 北鹿地域に発達する推定環状構造 (Kouda and Koide, 1978)

凡 例

- | | | |
|-------------|-----------------|----------------------|
| 断 裂 系 | —— | 主要地質線構造(断層、構造線など) |
| | - - - | 同上 伏在構造 |
| 褶 曲 構 造 | —— | 中規模地質線構造 (断層 節理群など) |
| | —— | 小型規模地質線構造 (断層 節理群など) |
| 火 山 構 造 | ⊙ | 環状~半環状構造 湾曲構造 |
| | ↗ | 褶曲構造 (矢印はプランジを示す) |
| 地 層 岩 相 境 界 | ⊙ | 大型独立火山体 |
| | ⊙ | カルデラ縁 (火口湖を除く) |
| 鉍 床 | ⊙ | 独立する山頂をもつ 錐状小型火山体 |
| | — | 地層境界 |
| | — | 第四紀(Qa沖積層) |
| | B | 基盤岩 |
| | + + + B | 同上 (花崗岩質岩) |
| 鉍 床 | | 岩相境界 |
| | ○ | Cu, Pb, Zn. |
| | △ | Au, Ag. |
| | □ | Mn |
| | ■ | Mo |
| | ⊙ | Fe |
| | ⊙ | S |
| △ | Gy | |
| ■ | As | |
| ▲ | Hg | |
| • | 鉍床位置および鉍脈の走向・傾斜 | |

第4図 の 凡 例



第6図 北鹿地域に発達するNNW(A~E)およびNE(①~④)方向の共役性断裂とその交点付近に分布する黒鉱々床(SCOTT 1978)

らによって指摘された環状構造の位置図を第6図に Scott によって示された大規模断層系と鉍床関連図を示す。第3 4 5 6図を交互に検討してみよう。第4図には Kouda らおよび Scott によって指摘された環状地形構造ならびに大規模なリニアメントがともに記されている。ただし さらに細部を検討してみるとその位置関係は各々少しづつ ずれている。従来の地質観点からみると これらはすべて調和的であるとみなされるかも知れない。しかしさらに厳密にその位置関係を検討してみると われわれはそこに画像データに誘発された他の資料にもとづく解釈結果としての影響をみるのである。このテーマについてここではこれ以上深く議論しないが 人間の視覚と大脳の作用によってもたらされた解析と解釈の本源的テーマがそこに含まれている。また 解析技術の成果品として目指すべき精度上の問題点もともに含まれている。

現在われわれは 地質専門家によって リモートセンシングデータから抽出されたリニアメント解析結果をもとに断層系の密度解析など 定量解析化が可能となると考えている。このために たとえば本誌上に紹介する光学一電子フーリエ法などの確立とともに 事前に解析者の「くせ」を把握しておくことが必要だと考えている。この「くせ」が一定ならば地質経験にもとづく判断過程に一慣性が認められる。また「くせ」は各種画像の特徴の理解にも関連してあらわれるのでその理解度も知り得る。

こうして地質的判断と画像データの理解がチェックされた後に行われる解析結果は抽出リニアメントの重合性とは別に尊重されるべきものと思う。

5. 画像解析における視知覚

画像データに直面した判読者の態度を分析してみよう判読者の注意はまず大きな特徴要素から次第に微細なものに移行する。リモートセンシングデータではこの特徴要素は地質構造に関連の深い地形形態(パターン)と組成に関連の深い色調(スペクトル情報)である。形が大きくて色調が目立つ対象がまずとらえられそれが何であるかの最初の推定判断がなされる。以下この繰り返しで次第に微細な地形色調の判読が進行するがフィードバックは頻ぱんである。この状態を視知覚作用のうえから分析すると大よそ次のようなことが言える。

画像データに對した人は地表面パターンによって形成された光エネルギーの強弱パターンを網膜上に再現する。ここで網膜を構成する受容細胞層(ニューロン)が刺激され一種の生物電氣的な興奮が励起される。この興奮状態の大脳皮質への伝播過程一刺激のインパルスが最終的に網膜上の刺激にある意味づけを与える。ただし誰も脳細胞中のニューロンの実体を見た者はいない。とくに複雑な神経伝達回路をニューロンのみで説明することの困難性からニューロンどうしはシナプスと呼ばれる接合点からなる構造をもち伝達回路はこの接合点によって回路が形成されたり閉鎖されたりする特性をもつものと考えられている(HOCHBERG 1976 PRIBRAM 1979)。

こうした回路では網膜上の刺激インパルスは興奮を促進するように作用する回路とそれを抑止するように作用する回路との両経路をとり得ることになるが両回路は同時にループを形成するのではなく交互に反応し合う形をとる。このように互いに相反する反応の交代は形の知覚においてしばしばあらわれることはわれわれもよく知っている。錯視(illusion)と呼ばれる知覚心理学上の現象はその一つである。もっともこうした「錯視」もわれわれの精神発達とともに減少する性格のものと増大する傾向にあるものがあるといわれとくに後者の場合画像解析および解釈において与える影響が大きい。画像という場の効果によって知覚活動が引きおこされることをノーマルと考えればこの場合逆に場の効果によって知覚活動を引きおこし画像データに対する認識のあらたな変形作用が働らく。これは心理学的には別名「二次的視覚」とも呼ばれる作用である。

画像データの解析をシステム化するにあたって従来「判読」といわれる過程をわれわれの視知覚過程に立って分析することを試みた。もちろん試みは初歩的なものである。しかし画像データからの地質情報抽出にあたってわれわれの大脳が果す複雑なフィードバック作用の認識は画像解析技術の果し得る役割と限界を明らかにして行く上で重要であることを知った。またこれとは反対の意味で「二次的視覚」と呼ばれる現象が「判読」の中に意識的無意識的に介在することの可能性も知った。

本章ではリニアメント解析の例をもとに従来ブラックボックス的な内容であった「判読」過程を分析しシステム化された地質リモートセンシング解析解釈技術の確立化を目指すための基本条件をさぐった。時間的な制約もあり意の尽されてない部分が多いが後の機会にこうした点については充足していきたい。

参 考 文 献

- HOCHBERG, J. E. (1976): 知覚(田中久良訳) 岩波書店 164 p.
- 星野 一男他(1976): LANDSAT/ERTS 映像による東北地方の構造解析 地質ニュース 264号 pp. 1-17.
- 星野 一男他(1977): 東北地方におけるリニアメントと鉱床分布の関連について 地質ニュース 274号 pp. 1-19.
- 金属鉱業事業団: 鉱物資源探査技術開発調査(遠隔探知情報解析技術の開発 昭和54年度) 報告書
- KOUDA, R. and KOIDE, H. (1978): Ring structures, resurgent cauldron, and ore deposits in the Hokuroku volcanic field, northern Akita, Japan. Mining Geology, v. 28, pp. 233-244.
- LATTMAN, L. H., (1958): Technique of mapping geologic fracture traces and lineaments on aerial photographs, Photogram. Eng. v. 24, n. 4, pp. 568-576.
- O'LEARY, D. W. et al (1976): Lineament, linear, lineation—some proposed new standards for old terms, Bull. Geol. Soc. Amer., v. 87, pp. 1463-1469.
- PRIBRAM, K. H. (1979): Languages of the brain, (須田男他訳) 誠信書房 447 p.
- SCOTT, S. D. (1978): Structural control of the Kuroko deposits of the Hokuroku District, Japan, Mining Geology, v. 28, pp. 301-311.
- SIBGAL, B. S. and Short, N. M. (1977): Significance of operator variation and angle of illumination in lineament analysis on synoptic images, Modern Geology, v. 6, pp. 75-85.