

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

鉱物資源探査におけるリモートセンシング技術(II)

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

リモートセンシング利用技術の基礎研究の過程において LANDSAT 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情報の1つ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 本研究委員会の中に特別に“地質構造解析小委員会(委員長 星野一男)”が設けられ 東北地方をモデルフィールドとして総合的な検討を行なってきた。この小委員会は 1975年12月に正式に発足し 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。当時 衛星映像データが多目的に利用可能であることが喧伝されるようになってきたが 具体的に鉱床探査にどのように使えるのか 映像より得られた情報を地質的にどのように解釈すべきか あるいはまた ある特定の地質情報を収集するために映像をどのように処理すべきか などについての報告なり資料は皆無と言ってよい程であった。このために 小委員会では第1年度の活動として モデルフィールドにおける地質構造要素の抽出をまず実際にやってみることを行なったのである。この結果は 半年後に地質ニュース誌上 (No. 264)に報告した(地質構造解析小委員会 1976)が 地質構造解析のための画像処理 どの種の映像データをどの程度の縮尺でみたらよいかというようなハードの問題から 映像が有用な範囲 あるいは利用できる限界 解釈上の問題点などソフトの問題に至るまで 第一次的な問題について一応の解答を得たように思う。

小委員会では これに引続き 第2年度の作業をどのように進めるべきかについて討論を繰返した結果 衛星映像から得られた情報 ことにリニアメントの地質的意味を更に掘下げることに 第1年度の報告の結果明らかにされたリモートセンシングの最大の特徴 広域的地質情

報の質を更に高めるため 物理探査データとの組み合わせを考慮すること 鉱床探査技術としての実際の調査法を確立すること の3問題をテーマとして選ぶことを決め 脚注のメンバーで 1976年9月より数回の会合を重ね これらテーマについて討議を行なってきた。いずれの問題も複雑な要素を含み 最終的な結論を出すまでにはなお多くの時間が必要であるが 小委員会の母胎であるリモートセンシング利用技術の基礎研究委員会の活動が 1977年3月で終了するので 小委員会の第2年度活動成果として一応まとめたのが本報告である。

なお 本小委員会と並行して スペクトル・データの活用技術を検討するために デジタル処理研究小委員会(委員長 石井吉徳)が 1976年4月から活動を開始している。

第2年度の活動は以上の3テーマを中心に 各論的に進められたので 本報告の構成も 第1報とは若干異なり 各章ごとに独自性がある。小委員会の討論は終始全員で行なわれており 本報告のどの部分も この討論を反映していることは勿論であるが 以上の趣旨を体して 各章の主執筆者を記しておく。

2. 小川克郎
3. 大串 融 谷 藤吉郎 藤田 実
4. 長谷紘和
5. 松野久也

全体の取まとめは 星野一男 松野久也が行なった。本報告が リモートセンシングとくに地質リモートセンシング技術の発展の礎石の1つともなり得れば 関係者にとって望外の喜びである。

2. 東北地方の磁気的リニアメント

2.1. 序 論

2.1.1. 磁気的リニアメント

磁気異常の分布は火成岩体の分布と密接な関係にあり この関係に基づいて金属鉱床や炭化水素鉱床の探鉱に磁

① 1) 小川克郎(地調) 大串 融(同和鉱業) 谷 藤吉郎(日鉄探開) 長谷紘和(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)

気探査が活用されている。磁気異常の大きさは岩石に含まれる磁鉄鉱の量にほぼ比例するが、磁鉄鉱の量率は一般に 超塩基性岩→塩基性岩→中性岩→酸性岩の順に低下し、堆積岩は特殊なものを除いて酸性岩よりも更に低い。磁気異常の大きさもこれに準ずるが、実際には岩体の規模や埋没深度にも左右され、岩石の種類との関係は単純ではない。

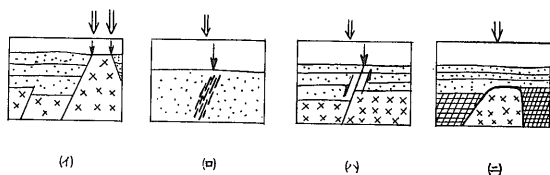
東北地方では北上山地の早池峯岩体などの超塩基性岩体が極めて強い磁気異常を作っているが、これら例外的な岩体を除くと、磁気異常の多くはグリーンタフ地域では中新世-第四紀の火山岩類、北上・阿武隈山地では白亜紀の花崗岩類とこれに伴うハンレイ岩などの塩基性深成岩類や火山岩類が母体となっている。

これら火成岩類の分布の仕方は磁気異常の分布として観測されるが、これらは大略次の二つの型に分類できる。

- A型 連続性の良好な細長く分布する異常
- B型 目玉状に離散的に分布する異常

A型は北海道の神居古潭の如く延々数百 km にわたって連続するものもあるが、東北地方に限って言えば数 km～数10 km の延長をもつものが大半である。B型は第四紀の火山で代表される孤立的な分布を示すが、大局的には一個の連続する帯の上に連なると考えられる。

A、B型いずれもその規模は多様であるにしても、日本列島の様々な地質構造に規定された形で連続性をもつ



↓ 地表面に現われたリニアメント ↓ 磁気的リニアエーション

	モデル	対応
火成岩体	(a) 地表面まで火成岩体が来ている場合	良
堆積層	(b) 地表面に達する火成岩をもつ破砕帯	良
脈状岩体	(c) 地表面に達する断層であるが、深部でも火成岩体を切っている場合	良～不良
非火成岩基盤	(d) 地表面に何ら根跡を残さない深部火成岩体	不良

第1図 磁気的リニアメントと LANDSAT リニアメントの対応の例

ことには変りなく、そうした性質は磁気異常の線状配列（磁気的リニアメント magnetic lineament）として磁気図上にあらわれている。

2.1.2. 磁気的リニアメントと LANDSAT リニアメント (LANDSAT/ERTS 映像にみられるリニアメント) の対応
 磁気的リニアメントと LANDSAT リニアメントとはしばしば対比されるが、この時両者の次のような性質の相違に注意する必要がある。即ち LANDSAT リニアメントは地表面にまで達している何らかの線状構造（断層、背斜、岩相境界など）を示すものであるが、磁気的リニアメントはもっと深い地殻内部（最大 15 km 程度）を含めた線状構造を示すものであり、両者は必ずしも一致しない。第 1 図に両者の対応を模式的に示した。比較的浅部に火成岩体が分布する場合（イ、ロ）や深部であってもその構造的反映が地表に達している場合（ハ）では一致は良好であろう。逆に火成岩体が深部にあってかつその反映が地表に達していない場合（ニ）は一致は不良であろう。

2.1.3. 磁気的リニアメントと金属鉱床の関係

東北地方の金属鉱床は黒鉄々床にしても鉄脈鉱床にしても、新第三紀の火成活動と密接な関係にあることは言うまでもない。新第三紀の火成活動の場合—例えば噴出貫入の位置、系列方向や岩体規模など—や岩相（磁鉄鉱の量率＝帯磁率）は、削剝を受けていない岩体については磁気異常から解読できるはずである。

また先新第三紀基盤岩類の分布についてもそれが磁気鉱量の多少と何らかの理由に関連するものであれば、事情は同じである。ただ基盤岩類の分布は新第三系に比して平均に深いから、磁気異常としても波長の長い規模の大きい形で出現するはずである。

しかしながら、鉱床探査の観点に立つ時、磁気異常と鉱床の分布の関係は単純ではあり得ない。即ち、磁気異常と火成岩体の間にはよい対応が成り立つが、火成岩体と鉱床の間には必ずしも成り立たない。鉱床は火成岩体を伴うが、逆に火成岩体は必ずしも鉱床を伴わない。したがって、磁気異常の分布が鉱床探査の手段となり得るのは、鉱床の直接的検知の手段であるよりも、むしろ地表では知り得ない地下での火成岩体の分布を知ることを手掛りとして、対象地域の地質構造を把握する手段として、いわば間接的な外堀を埋める役割りにおいてであろう。

このような役割りにおいて磁気的リニアメントは重要な意味をもつ。即ち 火成活動や構造運動は基盤の時代や新第三紀のいくつかの時代に その時代特有の運動の方向性をもっている。この方向性は各地質時代のより広域なテクトニクスの場合によって規定されるものであろう。

現在の地表や地下の火成岩体の分布に見られる方向性は 各時代の様々の方向性の総和であり いくつもの方向性の入り混った複雑な分布をしている。次章で述べる東北地方の磁気的リニアメント(第3 4図)にもこうした複雑な火成岩体の分布の方向性が明瞭に認められる。この方向性とその規模 埋没深度 磁鉄鉱量(岩相)など火成岩体の性質の空間的分布の中で既知鉱床の分布を位置づけることができればリモートセンシング技術が鉱床探査に有効な情報を提供し得るであろうし 深部情報収集にすぐれている磁気的リニアメント技法と 浅部情報収集にすぐれている LANDSAT リニアメント技法とを併用することによって 更に適確度を増大させることができるだろう。

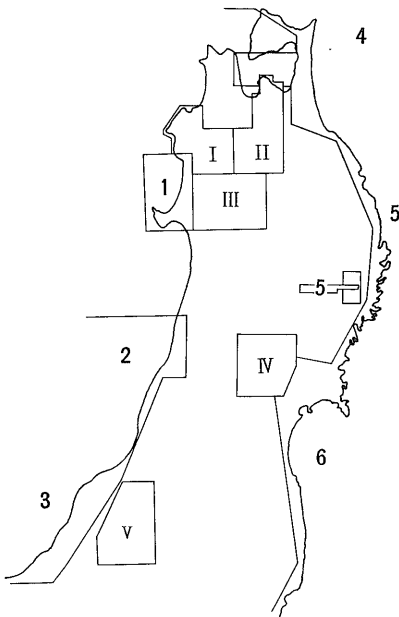
2.2. 東北地方の磁気的リニアメント

2.2.1. 全域の概観 特にリニアメントの方位について

第2図は東北地方の磁気探査の実施された地域を示す。いずれも空中磁気探査で 海域は地質調査所により 陸域は主に金属鉱業事業団により調査されたものである。陸域は調査が進んでおらず空白域が広い。第3図は磁気的リニアメント図であるが これは正磁気異常の軸をあらわしており 磁気異常の振幅や波長 岩体幅や埋没深度などの性質は表現されていない。また 実際の岩体位置はこれと若干ずれる場合もある。

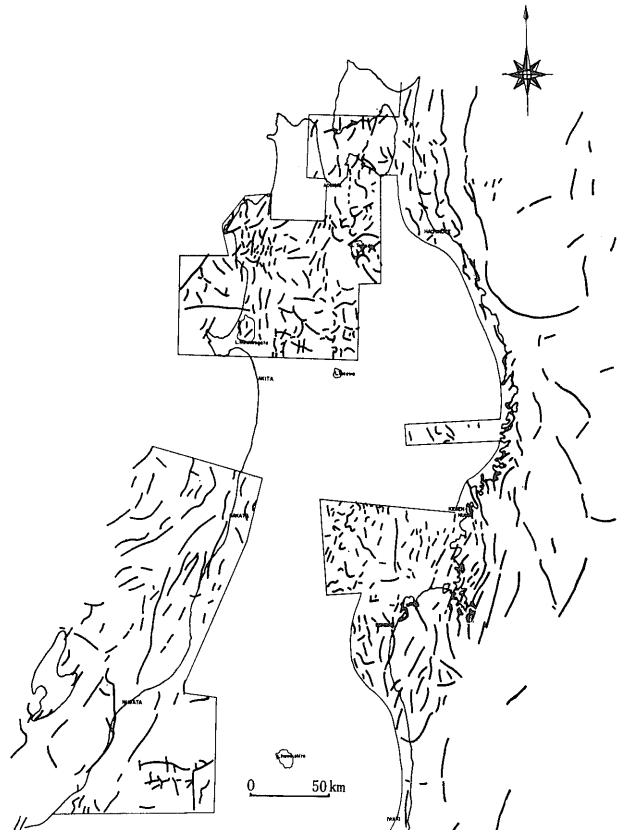
第3図でも明らかなように 東北地方には連続性の良好な特定の方位をもつ磁気的リニアメントが数多く分布している。一個のリニアメントの長さは 平均10~20 km 程度であるが 長いものでは 100km を越える。

全域を 青森-秋田 山形-新潟 北上 及び阿武隈の四つの地域に分け 各地域での磁気的リニアメントの主方位(最も出現頻度の高い方位) 副方位I(出現頻度は劣るが重要な方位) 副方位II(出現頻度は更に少ないが重要な方位)を求め 更にそれらの LANDSAT リニアメントとの対応を調べて第1表に示した。



第2図 東北地方 空中磁気探査インデックス図

地質調査所	金属鉱業事業団
1 能代沖	I 西津軽
2 酒田沖	II 八甲田
3 新潟沖	III 北 秋
4 道 南	IV 栗 原
5 下北-北上沖	V 浦 原
6 北上一阿武隈沖	



第3図 東北地方磁気的リニアメント図(正磁気異常正軸)

第1表 東北地方の磁氣的リニアメントおよび LANDSAT/ERTS 映像によるリニアメントとの対比

磁氣的リニアメントの性質	青森—秋田	山形—新潟	北上(仙台湾以北 但しグリーンタフ地域を含まず)	阿武隈(仙台湾以南 但しグリーンタフ地域はすべて含む)
(i) 主方位 (主として浅部岩体)	南北*	北北東—南南西*	南北* (八戸以北) 北北西—南南東*(八戸—気仙沼) 南北* 北北東—南南西* (気仙沼—仙台湾)	南北* (グリーンタフ地域) 北北東—南南西* 北東—南西* (阿武隈)
(ii) 副方位 I (主として浅部岩体)	北東—南西*	北東—南西*	北東—南西*	北西—南東* (グリーンタフ地域) 南北* (阿武隈)
(iii) 副方位 II (主として深部岩体)	北西—南東** 東西*	北西—南東** 東西**	—	—

* LANDSAT リニアメントにも見られる方位
** " " では見られない方位

磁気異常の性質から推して 主方位および副方位 I は浅部に存在する火成岩体に対応するのに対し 副方位 II は主として規模が大きい深部岩体に対応する。青森—秋田 山形—新潟の裏日本グリーンタフ地域ではこの副方位 II は 先新第三紀の基盤の何らかの構造方向に対比される可能性がある。

これらの方位と LANDSAT リニアメントとの対応を要約すると次のことがいえよう。

(i) 主 方 位

裏日本では南北ないし北北東—南南西 表日本では南北を中心として 北北西—南南東 北北東—南南西の方位の範囲に半数以上の磁氣的リニアメントが属する。

これは現在の東北日本弧の方向である。裏日本ではいわゆる含油新第三系褶曲の方向が磁氣的リニアメントとしても卓越している。例えば新潟県の新津背斜 阿賀沖—粟島系列や秋田県八郎潟東岸に沿う夏井背斜などがその代表例である。ただし 新潟では北よりやや東へ偏った北北東—南南西方位が主で 秋田では南北方位が主となり いずれも現在の海岸線の方向に沿っている。一方 表日本では一部のグリーンタフ地域を除き北上山地 金華山 阿武隈山地で知られている第三紀以前の花崗岩体の分布の方向とよい対応をもつ磁氣的リニアメントが卓越している。阿武隈山地の南縁日立以北三陸の気仙沼までの間は北北東—南南西方位が卓越し 気仙沼より北へ八戸までの間は北北西—南南東方位が卓越するが 八戸以北では南北方位が主体となる。

これら主方位のリニアメントは磁気異常の性質からみて地表ないし極く浅い地下に存在する岩体に対応しており LANDSAT リニアメントとの関係では第1図イロあるいはハに相当し 当然良く一致している。

確かに LANDSAT リニアメントもその出現頻度を基準にとれば磁氣的リニアメントの主方位と同じ主方位をもつ。しかしながら 個々のリニアメントを対比する

と両者の一致はそれほど良好ではない。全体的な方位の傾向は一致するが 個々には一致しない理由は次のように考えられる。即ち 主方位は各地域での比較的新しい地質時代 構造運動(断裂 褶曲 背斜 向斜 火成活動など)の方向をあらわしているが それは両者に異なった仕方で反映する。例えば 磁氣的リニアメントでは系列的に活動した貫入岩や噴出岩の位置が反映されているのに対し LANDSAT リニアメントでは堆積岩の褶曲や断層構造が 反映されているような場合にはその方位は同じであっても出現する場所は異なるであろう。もちろん 両者が全く同じ場所に出現する場合も少なくない。

(ii) 副 方 位 I

数は少ないが裏日本では北東—南西 表日本では北西—南東の方位のリニアメントが出現する。これも地表ないし地下浅部の岩体によるものである。一方 LANDSAT リニアメントでも山形県の朝日山地 神室山地 秋田県の太平山—森吉山などにこの方位が認められる。この方位はこれまで地質学的にあまり明らかではなかったものであるが LANDSAT および磁氣的リニアメントとしてはかなり明瞭な方位であり 今後の詳細な検討を必要とするだろう。

(iii) 副 方 位 II

裏日本では 北秋田や南新潟で東西方向の磁氣的リニアメントが局所的に認められる。この方向は最近鉱床分布に関連して注目されつつ方向である(e. g., ISHIHARA et al, 1974)。かなり深所に潜在する岩体によるものと推定される。LANDSAT リニアメントでは 西津軽でこの方位が明瞭に観察されるが その位置では対応する磁氣的リニアメントは分布せず 少し離れた場所に分布する。この方位については次章で別に述べる。

2.2.2. 青森—北秋田 地域

2.2.2.1. 磁気的リニアメントと LANDSAT リニアメント

この地方の新第三系は黒鉄々床や鉄脈鉄床を胚胎し多くの金属鉄床区を形成している。これら鉄床は 新第三紀の火成活動と密接に関連して生成されたものであるが 更に先新第三紀の基盤の分布が火成活動に影響を与えたに違いなく この二つの構造要素のかかりあいにおいて 鉄床の胚胎場所を考えることも可能であろう。これら構造要素はそれぞれ独自の方位をもっており それらは磁気的リニアメントにも反映されている。

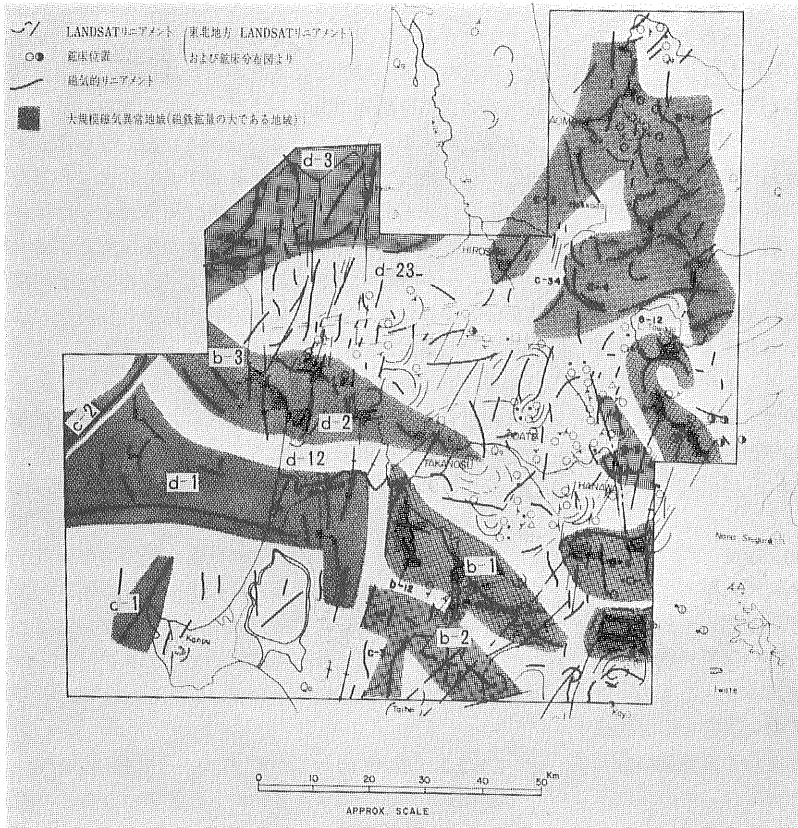
第4図は本地域の磁気的リニアメントを LANDSAT リニアメントおよび鉄床位置とともに示したものである。本図は第3図の部分であるが リニアメントの表示法が多少異っている。即ち 本図には第3図にはない斜線の地域が表現されている。これは次の手順で決めたものである。まず 磁気図をある一定の値で区切り それ以上の高い磁気値をもつ地域を選択し ついでその異常の分布から対応する岩体の分布地域を決めて得たのが斜線部分である。このような操作は 局所的な異常を除去して比較的広域で規模の大きい異常あるいは対応す

る岩体を選択的に強調させる。

青森—北秋田地域の磁気的リニアメントの概略の傾向は前章で述べたように 南北の主方位 北西—南東および北東—南西の副方位 I および東西の副方位 II に分類できる(第1表)。以下に各方位に分けてリニアメントの特徴を述べよう。

i) 南北(または北北東—南南西)方位—主方位

全域にわたって最も数多く出現する方位(主方位)で新第三紀の油田褶曲などの代表的構造配列方位であり 第四紀の火山帯もこの方向に配列している。この方位は比較的浅部(その多くは地表付近)に存在する火成岩体に対応するが 磁気異常としてはその数の多さにもかかわらず常に局所的な異常にとどまり 広域で規模の大きい異常は形成しない。これは磁鉄鉄量率の低い火成岩がこの方位を構成しているのか または火成岩の量が総体に小さいのか いずれかの理由によるだろう。この方位は LANDSAT リニアメントとも 西—中津軽から八郎潟に至る地域で見られるような比較的良好的な一致



第4図
青森—北秋田地域の
磁気的リニアメント

を示している。

ii) 北東-南西方位 (副方位I)

これは全域的に出現する方位ではなく 主に西津軽から男鹿半島に至る海岸線部およびその西方海域に分布する。代表的なものとして 男鹿半島入道崎をかすめるようにその西側に分布するもの (c-1) 能代の西方沖合のもの (c-2) および西津軽の須郷岬の黄金岬のものがあげられる。この他にも 大館から小坂に至る鉱床地帯にも散見されるが c-1 や c-2 に比べて規模が小さい。LANDSAT リニアメントでもこの方位はこの地域全体に多数認められる。

iii) 北西-南東方位 (副方位II)

これは主に青森県よりも秋田県で顕著な方位である。そして i) の南北方位と対照的に出現個数は少ないが規模の大きい磁気異常で特徴づけられる。その代表は八郎潟東方の合川付近から南東方向へ森吉山を経てのびるリニアメント (第4図 b-1) とこの南側に並走して阿仁の西方からその南方を通り田沢湖方面へのびるもの (b-2) である。この他に能代市の西方海域でこの方位のリニアメントが分布する (b-3)。

この方位は従来よりグリーンタフの基盤の方向として考えられている方位であるが LANDSAT リニアメントでは非常に弱い。この火成岩体がいつの時代のものであるかははっきりしないが b-2 については 太平山周辺地域に見られる北西-南東方向の基盤岩の分布とほぼ対応していることから 基盤の隆起帯が同時に規模の大きい火成岩体の分布となっていると考えられる。これは必ずしも基盤岩自体が リニアメントの母体となっていることを意味するのではなく 基盤の隆起運動に伴った北西-南東方向の火成活動により生じた岩体と基盤自体との総和が こうしたリニアメントを作成しているのであろう。恐らくこの北側のリニアメント (b-1) についても同様であろう。この方向は深部構造にのみ関連している可能性が強い。

iv) 東西 (または西北西-東南東) 方位

本地域の西半部にはこの方位の極めて卓越したリニアメントが分布する。即ち 八郎潟の北方から西方海域へ伸びるもの (第4図 d-1) 青森-秋田県境に分布するもの (d-2) 西津軽の北部に存在するもの (d-3) である。これらはいずれも磁気異常として規模が大きく 膨大な量の磁鉄鉱の存在を示す本地域の最も支配的なリニアメントである。d-1 は岩体の埋没深度が4~5 km と深く これを切るマルチチャンネル反

射法地震探鉱記録 (石油開発公団) と対比してみると この岩体は音響基盤であるグリーンタフ層準 (おそらく台島階) よりもかなり深い場所に潜在しており 先新第三紀の基盤内部の岩体である。もちろん これを新第三紀の花崗岩類と考えることも可能であるが この岩体を横切る中新世中期以降の堆積岩の構造形態がこの岩体の影響を全く蒙っていないことから推すと 新期花崗岩と考えるには無理がある。かつて井上 (1960) は男鹿半島中部から東方の森吉山に到る東西方向の構造線 (寒風-森吉線) を潜在基盤方向と規定した。d-1 は寒風-森吉線の北方に位置し場所は一致しないし また両者が構造発達史的に同一に論じられるものでもないだろう。しかし この地域に東西方向の構造が存在することはともかく重要な事である。

一方 d-2 は d-1 の北側にあつてこれと並走する。この間に狭小なチャンネル状の負磁気異常のリニアメント (d-12) が東西に伸びる。これは能代市から東へほぼ米代川沿いに大館方面へと続き 一方西方の海域へも真直ぐに伸びて沖合 15km の地点で西北西方向へ屈曲する。d-2 はこの d-12 と青森-秋田県境付近との間に分布する振幅 900 ガンマにもおよぶ本地域最大規模のリニアメントである。これとその北側の西へ中津軽の負異常帯 (d-23) とにまたがった地域には 下部新第三系の火山砕屑岩の分布があり その間をぬって中性~塩基性の火山岩や旧期および新期の花崗岩類が存在する。しかし 地表地質から判断する限り d-2 と d-23 をこのように鋭く分離する構造的差異は何も認められない。ただ これらの境界部付近に中新世の小規模な花崗岩体がいくつか分布するが b-2 の太平山の隆起帯周縁部に分布する同様の花崗岩体との対比が許されるならば d-2 の地域が基盤の隆起帯であると考えられることもできよう。この場合も b-2 と同じく 磁気リニアメントは隆起した基盤と隆起運動に伴った火成活動との総和をあらわしているといえよう。

ところで 負磁気異常リニアメントで特徴づけられる d-23 の地域には 多数の東西方向の LANDSAT リニアメントが走っている。これは西津軽の海岸付近から十和田湖方面へ断続的に 50km 以上ものびる顕著な系列である。少々発想に飛躍があるかもしれないが このリニアメントは その南の磁気リニアメント d-2 に対応する基盤隆起運動の余波とは考えられないだろうか。

2.2.2.2. 磁気的リニアメントと鉱床分布

第4図より磁気的リニアメントと鉱床の分布との間に次のような関係が読み取れる。

- i) 大規模な磁氣的リニアメント(図の斜線部)から外れた負磁気異常帯に西津軽 北鹿の主な鉱床(尾太 太良 花岡 小坂 尾去沢 花輪 など)が分布する。
- ii) しかしながら上の地域にも主に南北方向の小規模な磁氣的リニアメントが多数分布し 多くの鉱床がこの型のリニアメントの近傍に分布している。
- iii) 阿仁鉱床は磁氣的リニアメントの特殊な位置にある。即ち 八郎潟東の北西-南東方向の2つのリニアメントb-1 b-2に橋をかけるような形で 北北東-南南西のリニアメントが走るが この橋の部分に阿仁の鉱床は位置している。阿仁鉱山の鉱床の分布方向は北北東-南南西であるが 個々の鉱脈鉱床の走向方向は 北西-南東ないし東西であり 上の磁氣的リニアメントと相関がみられる。

上のような特徴が鉱床の探鉱上どのような具体的な役割りを果たすかは 早急に結論を出すべきではなく 今後の課題としたい。1.3.でも述べたように 磁氣的リニアメントの鉱床探査における基本的役割りは磁鉄鉱々床を除いて間接的なものであろう。この観点から上に記した特徴について2~3の解釈の可能性を指摘しておくたい。

- イ) i)の原因は 黒鉄々床や鉱脈鉱床が塩基性火成岩に比してやや磁性的の弱い流紋岩等の中性-酸性の火成活動の激しかった場所に限って生成されたが したがって磁気異常も玄武岩等の塩基性火成活動の激しかった場所に比べて小さい。
- ロ) 一方 ii)の原因は 鉱床の成因となった中性-酸性岩が現在も鉱床の近傍に分布する場合には それらが弱い磁気異常を形成している。
- ハ) i)はイ)によっても部分的には説明可能であるが 磁気異常の形状から判断する限り大規模なリニアメントの分布する地域では それ以外の地域に比べて火成岩体の量自体も多いと考えられる。したがってこうした地域では磁鉄鉱量率の大きい岩体が多量に存在することによりその相乗効果として磁鉄鉱量が多い。

2.3. 今後の方向について

本稿では LANDSAT リニアメントと磁氣的リニアメントの関係を東北地方を例として概観し ついで青森-北秋田の鉱床地帯について それらと鉱床分布との関係を概観した。この作業はまだ始めたばかりであり ここでとりあげたのは極く定性的な内容に限られている。今後は既知鉱床付近の磁気異常について 解っている限りの地質学・鉱床学的知見をとり入れた地下構造模型による詳細な定量的解析を行ない 火成岩体の磁性や分布形態を知った上で それを本論で述べた LANDSAT リニアメントや磁氣的リニアメントの方位 鉱床の分布形態と併わせて考察してゆくことが重要であろう。将来

の重要な研究課題である。

1975年度の金属鉱床探査における物理探査活動統計によると 磁気探査が全活動の65% (測線長)を占めている。論文・報告書の傾向をみると 金属鉱床探査における磁気探査の役割りの重要な部分がリニアメントの抽出におかれている。またある特定の地域ではリニアメントのパターンと鉱床胚胎位置との関係が特定されている場合も数多い。我が国ではこのような作業が今だ不充分であるように日頃感じていたが 今回の討論を機として今後こうした作業を進めてゆきたいと考えている。

3. 金属鉱床分布とリニアメント

3.1. 序 論

金属鉱床の分布は 地質構造とくに断裂系に支配されるものであるという考え方は古くからあり この考え方に基づいた探査手法も 長年の間日本の金属鉱業界において採用され それなりの成果を挙げて来たことは事実である。そして これまでのこの考え方に基づいた探査の多くは 既知鉱床そのもの あるいはその周辺部分の探査に限られていたといっても過言ではない。

したがって 探査の目標も既知鉱床の延長方向 あるいはその周辺における同種の未知鉱床を見出すための手法として 極めて有効に用いられていたのである。

ところが 近年における経済構造の急激な変化と人件費・資材の高騰は 過去10年以上も前ならば充分採算ベースに合せて稼行できた鉱量・品位の金属鉱床も 到底採算ベースに乗った計画は樹てられないところまで追込みつつある。逆に 経済価値の変換から 従来では到底資源として考慮されなかったもの あるいは考慮しがたかったものでも 最近における処理技術の進歩と新しい需要の発現から新しい資源として登場して来ている。

このような時代における資源探査の方法としては 上述のような型の資源探査にも適用できるような技術を開発することが望まれていることも否定できない。しかしながら 何れにしても資源探査のためには 直接探査対象地域について 基本的な広域的地質構造の枠組におけるその位置付けの認識および鉱床分布と 地質構造との関連の把握が何よりも重要なことである。この点 LANDSAT の大観の映像データは これに対して1つの解答を与えることができるであろう。

3.2. LANDSAT リニアメントおよび鉱床分布のマッピング

上述の問題を検討するための1つの試みとして 第1報で報告した東北地方の地質構造解析図に 既知鉱床の

分布を重ねてみることにした。既知鉱床の位置の資料として日本鉱産誌を用い それぞれの分布を先ず地図上に記入した。続いてそれをLANDSAT映像上にプロットした後これをさきの地質構造解析図の第2原図上にトレース移写するという方法がとられた。原図は40万分の1縮尺で作成されたが このままでは文中に収録できないので 第5 6 図に 秋田・岩手地域 山形地域を抜粋して示した。

3.3. リニアメントと鉱床分布

上記「東北地方 LANDSAT リニアメントおよび鉱床分布」を一見して気がつくことは 当然のことかも知れないが 金属鉱床はその産出鉱種毎に 分布に著しい偏りがあるということである。例えば 銅 鉛 亜鉛について言えば これら3種の金属は 一般に硫化鉱物として共生して鉱床を形成しており 一括して銅鉛亜鉛鉱床と呼んで差支えない状態である。鉱床学的に これらはその生成条件の相違から 黒鉱型鉱床と鉱脈型鉱床との2つに分けて論議されることも多い。しかしながら これらを一括して 銅鉛亜鉛鉱床とみてその分布

をみると 黒鉱型 鉱脈型の相違に関係なく その分布の密度の高い地域とそうでない地域とに分けることができる。そして 分布密度の高い地域として

1. 下北地域 (大揚鉱山を中心とする地域)
2. 上北地域 (青森市東側の地域)
3. 北鹿地域 (青森県南西部から秋田県北部にかけての地域)
4. 仙北和賀地域 (秋田県東部から岩手県南西部)
5. 雄勝峠地域 (秋田県南部から山形県北東部 一部宮城県北西部)
6. 栗原地域 (細倉鉱山を中心とする地域)
7. 葉山地域 (山形県中央部月山の東方地域)
8. 面白山地域 (山形と仙台の中間地域)
9. 西会津地域 (福島県西部へ新潟県津川地域)
10. 奥只見地域 (新潟県・福島県県境地域)

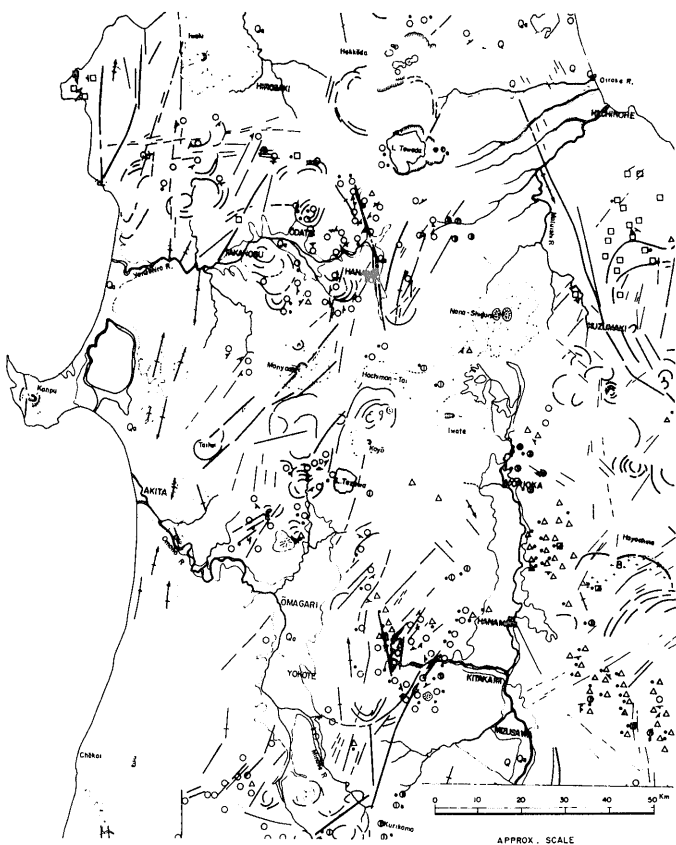
などが 拾い出される。

次に 金銀鉱床についてみると これらは銅鉛亜鉛鉱床の分布地域とは独立して その分布密度の高い地域が存在する。なかでも著しく目立つのは 盛岡周辺から大船渡西方 そして気仙沼にかけての地域である。こ

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 |
| | | 中規模地質線構造(断層 節理群など) |
| | | 小規模地質線構造(断層 節理線など) |
| 褶 曲 構造 | | 環状~半環状構造 湾曲構造 |
| | | 褶曲構造(矢印はプレンジを示す) |
| 火 山 構造 | | 大型独立火山体 |
| | | カルデラ線(火山湖を除く) |
| | | 独立する山頂をもつ円錐状小型火山体 |
| 地 層・岩 相 境界 | | 地層境界 |
| | | 第四紀(Qa沖積層) |
| | | 基 盤 岩 |
| | | 同上(花崗岩質岩) |
| 鉱 床 | | Cu Pb Zn |
| | | Au Ag |
| | | Mn |
| | | Mo |
| | | Fe |
| | | S |
| | | Gy |
| | | As |
| | | Hg |
| | | 鉱床位置および鉱脈の走行・傾斜 |

第5~6図の凡例



第5図 東北地方 LANDSAT リニアメントおよび鉱床分布(秋田・岩手地域)

のほかに 前述の銅鉛亜鉛鉱床の高密度分布地域に重なっているところも認められる。以上のほか他の金属についてみても 何れもその産出地域は非常に片在しているのがわかる。このような事実について 金属鉱床の生成は造構造条件に支配されるものであるというのが従来の一般的な説明であった。

さて それならばどのような地質構造要素が 上述のような金属鉱床の片在性を規制しているのかという論議になると 簡単に結論づけることは極めて困難である。一例を挙げると 上述のような銅鉛亜鉛鉱床密集地域を従来知られている東北地方の主要地質構造線と関連づけその構造線上に主要なこれらの鉱床が分布しているというような報告もある(山岡一雄 1976)。しかしながらこれらの構造線についての地質学的な意味づけ 他の構造線との比較および関連など 充分明確にされていない点が多々ある。したがって 特定の構造線だけが 鉱床分布を規制する唯一の要素であるとは直ちにいきれないように思われる。全くこれと同様に LANDSAT 映像から抽出された地質構造要素と全属鉱床分布との関連

について 簡単には結論を下すことはむずかしい。また これまでの検討の結果 LANDSAT 映像からの地質構造要素抽出についても いくつかの問題が残る。以下 これらの諸点についての問題について述べてみると次の通りである。

ここで先ず第1に問題となるのは 地質構造解析図が果して完全かつ目的に合ったものであるかという疑問である。これは前回の報告で述べられた通り 全く独立にその専門を異にする2つのグループによって抽出された地質構造要素のうち 両者間で一致するものだけを採用して編集されたものである。したがって 顕著な比較的目立つ構造要素が主として抽出され そうでないものは実際に重要な役割りを果たすものでありながら捨てられてしまうことになりかねない。極端ないい方をすれば 経験的に非常に優れた地質判読グループの成果と経験の少ないグループのそれとをつき合せて等価で判断すると 結果は経験に乏しいグループの成果に強く影響されてしまうというおそれがあることにも考慮を払う必要があろう。一般にこのような判読は 対象につい



第6図 東北地方 LANDSAT リニアメントおよび鉱床分布 (山形地域)



第9図 a
大曲一山形地域
リニアメント解析図

第9図 b
大曲一山形地域
リニアメント解析図

0 10 20 30 40
APPROX. SCALE

- (A) 第四紀火山岩類：
N60°~80°Wが卓越するほか N10°~20°E 又は N30°~50°Eが優勢であるが 各方向にバラツキが大きい。
- (B) 船川期以後の貫入岩類：
N10°~30°Eに集中する傾向部もつがNE系内でバラツキが大きい。
- (C) 船川期以降の碎屑岩類：
N10°~50°E付近にまとまっており ほぼBに似た断裂系を示している。
- (D) 女川期以前の碎屑岩類：
N20°~30°Eに集中するほかN40°~60°Eが優勢である。またNW系の線状構造も出現する。
- (E) 女川期前の火成岩・凝灰岩類：
N20°~60°E付近にまとまっているが さらにN70°~90°W付近にも出現している。

これを整理して この地域の特徴として次のようにいうことができよう。

- (1) 各岩相および全地域を通じて北北東—南南西および北東—南西方向が卓越している。
- (2) 南北および東西方向は本地域の南部の朝日山地 および脊梁山地にやや見られ また地質的には女川期以前に多い。
- (3) 大局的に見た以上の特徴は 規模の大きな LANDSAT リニアメントを中心としてまとめられた 本地域の断裂傾向 (第6図) とよく一致しているが 個々のローズ・ダイアグラム中の頻度傾向は隣接する規模の大きな LANDSAT リニアメントの大小とは必ずしも一致しない。

3.4. 今後の課題

これまで述べて来たように LANDSAT 映像データからの線状地質構造すなわちリニアメントの抽出は 地質構造解析のための有力な1つの方法であることは既に報告した通りである(地質構造解析小委員会 1976)。そして 金属鉱床の賦存を規制する有力な地質構造条件の1つは 断裂系(映像データ上でリニアメントとして表現される)であり いくつかの方向の断裂系の集合あるいは交差する場所という考えに基づくと き これは金属鉱床探査の有力な手段となり得る。そして現実に大陸地域ではこの考えに基づいて 映像データを利用する断裂系のマッピングとその解析が探査のガイドラインを与えるものとして 積極的に行なわれている。しかしながら 東北地方における今回の検討結果だけから これらを直ちに資源探査の基本的な1つの方法としてそのまま応用することは現状では未だであると思われる。

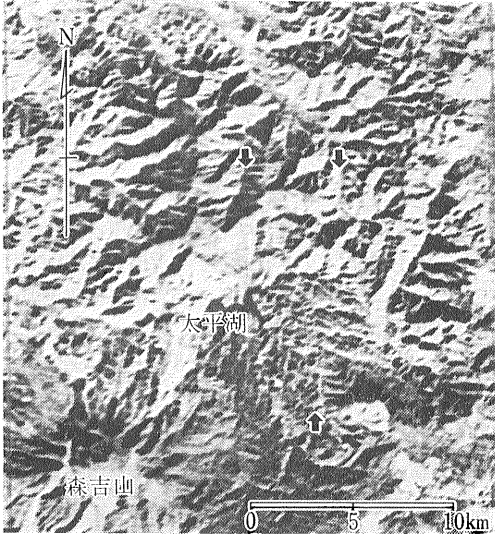
たしかに 僅かの訓練を積めば 誰れでもが単純に各種の映像データからリニアメントの抽出およびマッピングが可能である。これを探査のためのより有効な手段として1歩先に進めることは 野外調査による情報との対応 他の地質構造要素との関連などから総合的に その本質の理解が出来ない限り困難であろう。

現代の資源探査を進めて行くために 現実の問題として求められているのは 局地的な地質構造の把握はもちろんのこと 広域的なむしろ全地球表面規模でのイメージの把握である。それだけではなく より深部 極端かも知れないが 全地殻的規模での構造の把握までが必要となっているのである。従来金属鉱床探査の場合 鉱床というような表現で呼ばれていたのは 単にある特定な種類の金属鉱床の存在密度の高い地域であった。

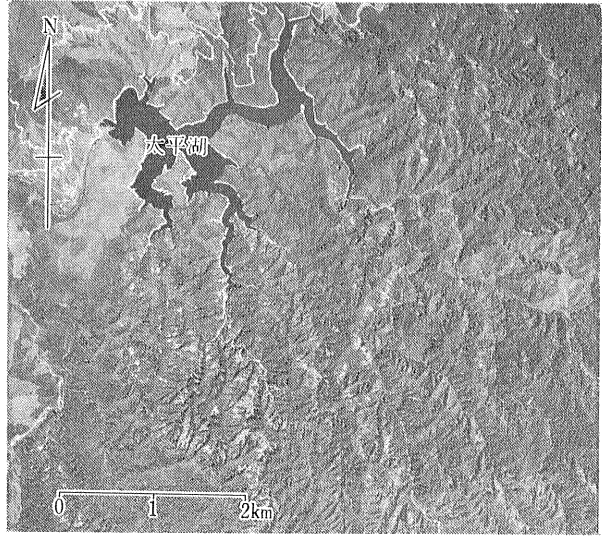
最近の進歩した地球物理・化学の理論を背景にした金属鉱床成因論では 一種の火山活動がなければ 金属の移動の原動力が供給されないのであり 過去における過去の地質時代における火山活動の追跡が必要であると要求している。そこで第5図および第6図で示した銅鉛亜鉛鉱床の分布密度の高い地域は 過去の地質時代に火山活動の著しい地域であるという側面からの検討が必要となる。LANDSAT 映像データを含めて大部分の映像データは 現在からさかのぼって極く最近の地質時代の火山活動については 極めて有力な情報を提供するが古い時代のそれについては殆んど無力にちかい場合が多い。したがって これらについて必要な情報の収集は他の手段に依らなければならない。

最近の火成岩成因論は プレートテクトニクスの理論を取り入れて 地下でのマグマの生成条件を考察している。したがって 金属鉱床の賦存およびその密集を考察するに当って 地質時代におけるマグマの発生発展および消滅 そしてその遺物の存在を通じて その中の金属鉱床の存在 およびその型を把握することが望まれているのである。

このような広域的 全地殻的地質構造の把握のために大観的に しかも全地球表面をカバーすることの可能な LANDSAT 映像データを積極的に利用すべきであろう。そしてそのデータから抽出される地質構造要素すなわちリニアメントについても それに対応して扱い 解釈が必要である。このようにしてこそ 始めて大観的な LANDSAT 映像データから抽出されるリニアメントとその正しい評価が 実際に利用できることになるものと考えられる。鉱物資源探査において 大観的映像データが 個々の鉱床の探査あるいはその評価に 直接的に有用であると期待するのは あまりにも短絡した考えで



第10図 a 秋田県森吉山東部地域の LANDSAT 映像 (7バンド) 図中矢印方向に顕著な南北性リニアメントが識別できる。太平洋湖の南方には「玉川石英安山岩類」が広く分布する



第10図 b 太平洋湖周辺の空中写真 「石英安山岩類」中の細い侵食パターンが読みとれるが 地質構造に関しては判読が困難である。

ある。非常に大きな視野で 鉱床賦存の可能性についての基本的な指針を与えるものであることを認識してよいのではないだろうか。

4. 映像データ評価における問題と課題

4.1. 序 論

LANDSAT 映像データを利用した 写真地質的手法による東北地方の構造解析が行なわれたのに引続く解析結果と鉱床分布の関連についての検討の過程で 鉱物資源探査における LANDSAT 映像データの評価が議論されてきた。この評価は 鉱物資源探査の側面からなされる多分に関接的な性質のものであり 評価を具体化するには 議論を整理し 問題点を認識するとともに今後の課題をはっきりさせることが必要であろうと思われる。このため モデルとした東北地方を中心にそれを試みてみたい。しかしモデル地域での結果のみから 評価を行なうことは不十分であるというのがわれわれの感想である。LANDSAT 映像データのような広域データの評価は 大陸的あるいは地球的規模に立って考えないとなかなか引き出し難い要素が多分に含まれている。

したがって 東北地方は 湿潤温暖気候下にある 島弧変動帯の一地域であるとする認識のし方が求められ 副題からは逸脱する部分も出てくるがご丁承りいただきたい。

出発点にあたって 以後本章で述べる LANDSAT 映像データとは EROS データセンターのマスターフィル

ムから複製されたフィルム原版から作成された 白黒またはカラー合成写真印画を指し 各種の前処理や補正が施こされていないもの (bulk data) を指すものとする。

4.2. 映像データの基本的特徴

まず最初に映像データの一般的利点に関しては 第1報の前半で指摘されているように (地質構造解析小委員会 1976) 広域の情報を短時間で把握できるという迅速性が最大である。これはリモートセンシング技術に共通して言えることで 一般にも十分認識されているので多言は要しないであろう。LANDSAT 映像データは EROS データセンターから販売されており 今年に入ってから従来の4倍 約70米ドルに値上げされた。それでも単位面積当りの価格は格安である。これは衛星打上げおよびデータ取得に要する費用が付加されていないことによるものであるが 迅速性と経済性は明白な評価ができるであろう。

LANDSAT 映像データを利用して 鉱物資源探査へのアプローチをはかる際 基本的に問題になる点は次のとおりである。

- 1) LANDSAT データのもたらす地球表面の情報は太陽光の反射スペクトルラジアンズであり 地下鉱物資源探査の直接探査手段とはなり得ない：現在使用されている波長領域で われわれの肉眼に「未知」の情報を提供するの7バンドと6バンドの一部にすぎず 反射は文字通り表面に限定される。

2) データのもつ 広域大観性に基づく先行調査 あるいは予備調査で調査指針を決定する際にもつとも有効性を発揮するもので 従来行なわれてきた調査の延長上で利用効果を評価することはできない：局地的規模での詳細調査においては LANDSAT 映像データは何ら寄与することがない場合が多い。これは同データの地上分解能が約80m四方であることを考えれば当然である。

3) 映像データの良否が利用効果を根本的に左右する：雲の存在がもっとも大きく その際大気中の湿度 画像濃度の片寄り 雑信号などによるものである。

この基本的問題点のうち 2と3について今回の作業から実例を取り上げて見よう。

第10図に示したのは秋田県北部 森吉山北東地域の LANDSAT 映像と空中写真である(第10図)。本地域は「玉川石英安山岩類」として一括される 第三紀鮮新世～第四紀にかけての酸性火山砕屑物が広く地表面を覆っており 特徴的な侵食パターンから両映像でその発達範囲と岩質を推定することが可能である。両者を較べれば 侵食パターンの判読精度に関しては 空中写真の方がはるかに優れていることは一目瞭然である。しかしながら 地質構造についてはどうであろう。本地域の河川の発達は南北方向が多いが 空中写真からは それらが地質構造に支配されたものかどうかを判読することは困難である。他方 LANDSAT 映像データからは それらの河川の発達が 東北地方全体に亘って支配的な広域的南北性リニアメントの一部を構成する造構的成因に強く支配を受けて形成されたものと推定することは容易である。すなわち両映像データの評価基準ははっきりと異なるのである。

問題点の第3点については全く受身の立場をとらざるを得ない。東北地方背陰部は雲が多く 解析にあっても障害となった。秋田および盛岡での快晴日数(雲量2以下)は過去30年の平均で それぞれ21日および24日である。LANDSAT の周期を18日とし 各周回毎に映像データが得られると仮定しても(この仮定は事実上世界のきわめて限定された地域にしか適用されないものではあるが) 年間を通じ良好なデータが得られる機会は少ない。EROSデータセンターから発行される LANDSAT 映像データのカタログには 雲のカバー率や画質の表示があるが 雲が画面のどの部分にあるかが不明である。国外での調査などに LANDSAT 映像データの利用を考える場合 良好な映像が得られていないときには 利用効果の評価には致命的な問題となる。

以上のような LANDSAT 映像データの基本的な特徴と問題点を理解した上で モデル地域として取り上げ

た東北地方の検討結果について 具体的な例から鉱物資源探査への利用に関して評価ができるものについてはそれを行ない 困難なものについては 問題点の指摘を行なって今後への課題をはっきりさせたい。

4.3. 変質帯の識別と色調判読

映像データのカラー印画では 現在操業中の大規模な鉱山が 坑口付近のズリの堆積地や廃滓池から識別できたが 同様な色調の特徴から 地熱変質帯が変質裸地の存在から識別される。変質帯の広がりや把握は鉱床探査の面からも重要であるが 本地域では肉眼による識別限界に関して一つの結果が得られている(長谷 投稿中)。

地熱変質帯が広域にわたって発達するのは 秋田・岩手県境に位置する八幡平地域で ここには焼山 後生掛などをはじめ多くの地熱変質帯が分布する。幸い この地域の映像データの画質は良好で 変質裸地の周辺は笹原や ブナを主とする原生林となっているため 合成カラー印画上(縮尺20万分の1程度)では 変質裸地と植生とのスペクトル分布特徴の違いにより 変質裸地が周囲の植生によって強調された形になり 識別しやすくなっている。ここでは 後生掛(変質裸地面積151,900m²)のような大規模の変質裸地は識別がきわめて容易である。やや規模の小さい 玉川温泉(同57,000m²) 蒸ノ湯温泉(同54,000m²)について見ると 前者が識別が容易であるのに反し 後者ではやや困難で この程度の規模の変質裸地では その分布形状 周囲の地形と陰影などの要素が識別限界に大きく関与し 無視できないことを物語っている。肉眼観察による識別限界は 澄川温泉周辺の変質裸地で 裸地面積は 14,000m²と算出されている。これは LANDSAT 映像データの 3 pixel にほぼ相当する面積である。

未知地域における変質地帯の抽出へのアプローチは 写真地質的手法ではまず火山地形の識別から始められる。判読経験のなかで 第四紀の火山は識別のもっとも容易なものの一つであり 火山と関連の深い地熱変質帯の抽出は比較的容易である。これに較べ 時代的に古い鉱床地帯の変質の把握は相対的に困難であり 抽出限界も精度の粗いものとなることが予想される。

東北地方の映像データ全体を通じ とくに山地部にみられる濃度差は 主として植生の反映によるものである。それは合成カラー映像でもっともよく判定できるが 北上山地の例では植生以外の要素が合成カラー映像の色調変化に関与している。それらの要素には 母岩の岩質 表層土壌 水分含量 など地質関連因子の他に 太陽光入射方向に対する地形的因子の影響などがあげられる。

しかしカラーデータに対する知識経験が不足しているため それらの諸因子個々について検討し判読することはできなかった。写真地質手法は白黒映像データについては経験の蓄積があるが カラー映像データに対してはそれがきわめて不足している。カラー映像データは白黒映像データに較べて判読効果が高いとされているが他面色調変化に関与する要素も複雑であることが指摘されている。われわれの肉眼は可視光領域におけるすぐれたマルチバンドセンサーであるといえるが肉眼での経験が不十分のまま現状はLANDSAT映像データのように近赤外領域までも含むマルチバンドデータからの合成カラー印画による判読に一足とびにとびこんだ感が深い。幸いカラー空中写真の撮影が全国規模でなされつつありわれわれはこのデータを積極的に利用しLANDSAT映像データに代表されるような多波長帯域データについてもその経験を生かすべく働きかけることが課題として上げられる(表紙参照)

4.4. 断裂系の上方「伝播」

火山活動が地殻の弱線に沿って行なわれることは疑いないが大規模な火成火山活動の場が大規模な構造線の交点に位置して形成されるとする考え方を主張する地質学者がいる。とくにそのような考え方は地質構造の比較的単純な大陸の地質学者の間で発展してきたものである。実際われわれがとり上げて検討してきた東北地方のモデル地域では多くの構造要素が複雑に交錯し変動帯における構造解析の困難さの一端を経験した。大陸地殻では地表のリニアメントを通して過去の構造要素を広域地殻変動ごとに区分抽出する試みが盛んに行なわれその結果に基づいて鉱床生成の場の問題が検討されている。とくに熱水性の鉱床に関しては上記のような考え方によって既存の鉱床が説明できるとする主張が米国などでなされリニアメントが鉱床生成区の中で重要な探鉱指針の基礎データであることが認識されている。地表のリニアメントがなぜそのように重要視されているのかについて彼等の主張は新期に形成された断裂の他に古い基盤構造の反映が地表で観察されることをまず上げる。コロラド高原地域では先カンブリア紀の基盤上に古生層～中生層がのり安定な地殻条件下での堆積相を示す。それらは中生代後期のララマイデ変動を受けていく分修飾されてはいるものの磁気調査結果などから得られる古い基盤構造と考えられる線状構造とたとえばLANDSAT映像データによって地表で識別されるリニアメントとがよく対応することから地表のリニアメントのあるものは古い基盤構造が上部層を「伝播(propagate)」して地表に侵食地形あるい



第11図 母岩を覆う未固結層にあらわれた母岩のリニアメント(カナダマッケンジー川の空中写真 RUMSEY, I. A. P. 1971 より引用)

は濃度差として表現されるリニアメントを形成したと考えるのである。

このように非常に安定した地殻における「伝播」のメカニズムについては潮汐運動なども含めた議論があり他方では基盤のような地殻深部の反映とする考え方に否定的な専門家もいる。しかしそのようなリニアメントの上方「伝播」が事実であることを示す好例をここに示す。第11図はカナダのマッケンジー川中流域の空中写真であるが写真には水中にもかかわらず河川水を通して河底のリニアメントが観察できる(RUMSEY: 1971)。リニアメントは川岸および川中の島に露出する母岩はもちろんのこと川底に堆積する未固結の砂や粘土中にも明瞭に識別できるであろう。母岩のリニアメントが未固結層を「伝播」して表面に現われている実例である。河川水流の運搬営力による河底表層物質の移動堆積と較べ時間的にははるかに遅いはずの「伝播」がなぜ未固結層中で形をとどめているのかメカニズムに関する問題は別に考える必要があるもののこの例で示されるように下位層に発達するシャープな地質情報—リニアメント—が表面に現われる可能性はかなり高いものと考

えられる。LANDSAT 映像データ中に非常に多く見出されるリニアメントのあるものがそのような下位層の古い構造を地表において反映するものと類推することは間違いなからう。

わが国におけるような変動帯地域においては地質時代を通じて断裂などのリニアメントを形成する地殻応力の変動は頻繁でありまた地震など地殻の振動によるリニアメントの地表への「伝播」作用も大陸地殻に較べて頻繁だったことは推定できる。この複雑さが鉱床分布とリニアメントの関連についての考察を進める上で解釈をむずかしくしている一因となっているようである。

4.5. 鉱物資源探査面からの2,3の課題

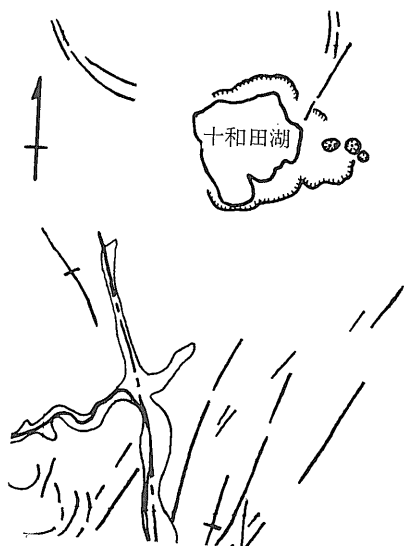
鉱床分布とリニアメントの関連について LATHRAM (1973) および KUTINA (1974) によって提唱されている変動帯における鉱床分布の新概念は鉱物資源の広域的探査指針を定めるにあたって注目される。

LATHRAMはアラスカの鉱床区に関連してそれが大陸縁辺部に沿って太平洋岸沿いに並列して発達すると考える従来の考え方を改めベニオフゾーンにはほぼ直交して発達する大規模なリニアメントが発達する地域では鉱床の賦存とくに銅・モリブデン鉱床のそれに関しては陸域奥部までが探査対象として含められるべきであると主張している。他方 KUTINA は鉱床胎胚の場が地殻深部にまで達する弱線と密接な関連をもち弱線の交点に鉱床が形成されるとする説の主唱者の一人でわが国の鉱床賦存の場もそのような考え方から説明しようと試みている。KUTINA は現在積極的に提唱されている plate tectonics とは異なる大陸漂移を想定しており

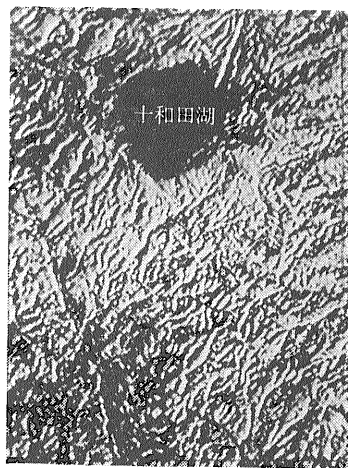
MINESZ らヨーロッパ流の思考影響を多分に受けついでいるように思われ北緯40度付近に東西方向の global な断裂帯が発達することを指摘している。すなわち西太平洋海洋底に発達する断裂帯 (Mendocino Fracture zone) アジア中央域天山山脈・モンゴル高原に発達する東西性の構造線トルコ北方に発達するそれなどである。彼は東北地方北部の深部地殻もそのような影響下にあり本地域の火成活動ひいては鉱床胎胚がこれに関与していると主張している。

両者の主張の中で現在発見され稼行されている鉱床を含め未知鉱床の賦存が広域的観点から一ときには島弧変動帯と大陸地殻との関連において一理解されるべきであるとの宇宙データ利用による現実的提案は今後われわれが課題として受けとめるべきテーマであろう。

東北地方の鉱床成因と構造との関連について東西方向の深部地殻構造の不連続面と火山フロントの交点における第三紀鮮新世から第四紀火山活動に伴う硫黄鉱床の相関の指摘 (ISHIHARA et al, 1974 NISHIWAKI and OTHERS : 1976) は上記の提案と照らし合せても注目される。LANDSAT 映像データからのリニアメント抽出の過程で東北全域については東西性リニアメントの発達には乏しいが秋田青森両県境付近にはその発達が認められた(地質構造解析小委員会 1976 p.10)。このリニアメントは上記論文で引用された深部地震の不連続面あるいは第2章の空中磁気データ解析による東西性構造特徴帯とも地理的位置はほぼ一致する。このリニアメントが地殻深部の構造的特徴の地表への「伝播」の結果表われたものかどうかを明らかにすることは鉱床生成とも関連し本地域内における具体的な課題と



第12図 a
秋田県北部地域における構造解析結果とエッジ強調例
構造解析図としてまとめられた上記地域のリニアメントを主とする地質情報(地質構造解析小委員会 1976より 凡例については同文献参照)



第12図 b
エッジ強調映像 a 図(枠内が対応) この強調例では花輪盆地西縁および奥入瀬川上流がとくに強調されている。エッジのざらし幅によってより細いリニアメントが強調される(フィルター効果) a 図にはプロットされていない北西方向のリニアメントの存在に注意 それらのうちあるものは地質線構造である。

なるうし 3.3.で試みられたリニアメント解析例は将来の研究方法についての示唆を与えるであろう。さらに地域的な課題になるが LANDSAT 映像データの解析を通して明らかにされた 環状～半環状構造の発達 は 鉱物資源探査の観点からも注目する必要があるように考えられる。貫入岩体などマグマの地殻上層への貫入固化の過程で生じる環状および放射状断裂の形成機構に関する理論的考察が これまでになされ (KOIDE and BHATTACHARJI: 1975 小出: 1975など) そのような断裂としての上記構造は 脈状鉱床などの探査上有益な情報を与えるに違いない。

4.6. データ解析処理技術の課題

写真地質学的解析では解析結果により客観性をもたせ広い層の人々の共感と理解を得るような努力が必要である。映像データは視覚に訴える情報源として広く利用されるが 一つの利用分野から見た場合 情報量が過剰なことが難点でもある。その中から必要な地質関連情報を客観的かつ効率的に抽出する技術の確立は重要である。

東北地方の構造解析においては この客観性を重視し 経歴の異なる 2 グループによる解析を行なった。そしてまとめの原因としては 両グループによって別個に独立して抽出された同一の地質情報をもっとも重視された。この方法は一面では客観的データの提供に寄与はしたが他面では別の問題を投げかけた。すなわち前回報告したように (地質構造解析小委員会: 1976) 地質構造要素の特徴をそのまま抽出するという初期方針に沿って初められた作業過程で 当然のことながら解析担当者の専門 経験がもたらす抽出情報に何らかの重みづけが意識的または無意識的になされることを避けることはできないということである。この点で 2 グループによって抽出された同一情報を重視する (たとえば 2 グループによって抽出されたリニアメント図を重ね合わせ 重合するものを採用するというような) という機械的やり方は第3章でも言及されている通り 今後 重要な問題として充分に考えなければならない。

コンピューターによる 人工物も含めた線状形態の無差別抽出データは必ずしも有益とはいえず 客観的にみてもっとも汎用価値のあるリニアメントデータとしては 「リニアメント抽出の際にのみ地質的に意味があるかどうかの判断を行ない それ以外には地質的判断をまじえないもの」 が望ましい。これを技術的に確立するには マンマシン対話形式によるアプローチがもっとも適していると考えられるが そのような画像解析装置によ

らなくても 簡単な技術によってデータの客観性を高める方法がいくつか提案されており それらはより実用的であるということができよう。これについてはすでにいくつかの例が報告されているが (松野ほか: 1975 星野・長谷: 1977など) 東北地方の一例として エッジ強調法について見てみよう (第12図)。構造解析図と比較すれば 同図に盛りこまれたリニアメントの他にも地質的に意味があると考えられる多くのリニアメントが存在するのがはっきりするだろう。

LANDSAT 映像のような広域データは 従来力の場の広域データを扱ってきた物理探査専門家にとっても興味のある対象であり 写真地質専門家とのコミュニケーションを通じて両分野で用いられてきた解析技術のブレンドがみられる。上記のようなエッジ強調法によるリニアメントの抽出の際には物理探査解析でよく用いられるフィルタリングの技術が適用でき有効である。また磁気や重力データの解析に 写真地質解析で用いられる立体視による三次元表示解析法が適用され効果を上げている (Gay, Jr. 1970)。これらの技術をより有効に生かすためには 最近急速に増加してきた映像データ (リモートセンシングデータ) の判読にあたって 知覚心理学をふまえた検討を加えることが必要な課題となろう。

5. あとがき

この研究は日本鉱業会が (財)日本鉱業振興協会の試験研究等助成金を得て 昭和50年度を初年度として 「リモートセンシング利用技術の基礎研究」を行なって来たものの一環である。当初3ヶ年計画で発足したのであるが 昭和51年度から 国の予算で金属鉱業事業団において本格的な研究が開始されることになり 急遽計画を変更し 継続中の研究項目については 一応の区切りをつけ これを終了することになった。もともと この研究は金属鉱業事業団によって計画されたものであり かつ早急に着手すべく望まれていたものであるが 諸般の事情からその実現がおくっていたものである。一方内外の情勢は一刻の遅延も許されない事態にあるという判断のもとに 取敢えず日本鉱業会においてこれが進められることになったのである。これは 日本鉱業会の立場では 研究の終了報告であるが 本来の目的 研究従事者の立場からは 中間報告である。

本研究は鉱物資源探査における LANDSAT 映像データの有効性についての1つの評価である。この評価は 鉱物資源探査の側面からなされる多分に間接的なもので

あり 従来の探査技術の延長上でその利用効果を評価することはできないということである。すなわちLANDSAT 映像データによる地域的規模での地質単元の相互関係および地質構造の把握は global な plate tectonics のような大陸規模での地体構造論の立場で 新しい地質学的理論の体系づけを可能としつつあるのである。現在このような大きな規模あるいは視野での地質および地質構造との関連において 鉱床の賦存とその成因を新たに体系づけ ひいては基本的な鉱床探査のガイドラインとしようという考えがある。

このあたりの事情は Remote Sensing and Mineral Exploration. (IGCP Project No. 143), International Conference on New Basement Tectonics, William T. Pecora Memorial Symposium, Meeting of the CCOP Expert Working Group on Remote Sensing など最近の問題に関しての国際的な動き(松野: 1975 星野: 1976 長谷: 1976) からも容易に認識されるところである。また USGS(1975)は 1975年度における LANDSAT データの販売全額のうち 約30%が民間企業であって その中でも主要な利用面は鉱物資源および石油資源探査に関するものであり しかも大企業がその基礎となる地質図作成に利用していると述べていることが注目される。この利用についての実際面については相手が民間の営利企業だけにはっきりしないが 少なくとも局地的な探査のための基礎地質図作成への応用ではないことだけははっきりしている。

現在のリモートセンシングでは 衛星高度を頂点とするいろいろな高度段階からの観測によって 対象とする地質単元および同構造の規模に見合った縮尺のデータの収集が可能である。この点 従来とは逆に 始めに地域的な大きな構造の枠組を把握し 逐次的を絞って行くことを可能としている。

これは とくにリモートセンシングを適用する地域の社会的条件と そこから生じる鉱物資源探査に対するニーズを考えると 極めて重要な要素である。すなわち 世界には科学技術の歴史が浅いため あるいは領土が広大なため 地理的にも地質的にも空白地帯が残されている国が数多くある。このような国では これらについて大局の情報が迅速に得られるリモートセンシング——とくに衛星高度からのそれ——は他にかげがえのない技術である。そして本報告で述べたような解析技術こそ現実のものであろう。

また 随時あるいは定期的な反覆観測によって 違った日時 あるいは季節のデータの収集が可能となり 異なった対象物の強調表示も得られる。また マルチス

ペクトルデータによるそれぞれ異なった対象物の同様な表示に有効なことが証明されつつある。さらに リモートセンシングデータの新しい解析技術は リモートセンシングの探査技術としてのポテンシャルをより高めるであろうことは 間違いのないところである。何れの場合においても この新しい技術であるリモートセンシングの探査技術としての有効性を評価する場合次の3点

- i) 従来の探査技術では 収集不可能かつ有効なデータが得られること
- ii) 従来を超える時間的 技術的 かつ経済的改善が得られること
- iii) 以上の2点が 対象地域の自然条件 社会的条件 およびそのニーズと直結した相対的尺度で評価されなければならないこと

が 基本的な要素であることに留意しなければならない。

したがって 探査技術としてリモートセンシング利用技術を確立するためには まず第一に異なった地質条件の地域だけではなく異なった自然環境条件の地域において 鉱物エネルギー資源探査のためその利用と可能性と限界を明らかにすることこそ早急になされなければならない。それだけではなく 技術的な側面についても 上述の評価のための基本的要素に基づいた検討がなされなければならない。そしてこれが 技術報告として逐次発表される必要がある。すなわち データ収集高度(データの縮尺) 精度(地上分解能 波長区分分解能) データの形(デジタルテープ フィルム 印画等) データのスペクトル上の特徴 利用可能なデータ処理技術などについて 鉱物資源探査のための情報収集立場からの評価であり 鉱山会社および探鉱従事者が それを適用する地域について 目的によって適切 かつ経済的な方法を選定できるようにすることが急務である。

すべての探査技術には それぞれ優れた点があると同時に限界もある。この点 リモートセンシング技術の鉱物資源探査システム(総合的な)における位置付けをはっきりさせることが重要である。すなわちリモートセンシング技術と従来の探査技術それぞれの間における分担の明確化と各々の関連づけである。そして 次にはリモートセンシングを含めて各種の探査方法によるデータの総合解析技術が今後の課題の1つとなるであろう。

鉱物資源探査は 主として鉱山会社 すなわち営利企業によって行なわれている。このために自らの利益のために そこで得られた技術上のノウハウは一般化されないのが普通である。このために 一方では重複した

無駄な努力もさげられない。この点 日本鉱業会という中立機関が これを取上げ推進したことは喜ばしい次第である。そしてこれが金属鉱業事業団によって国の費用で引継がれることになった。国の鉱物資源およびエネルギー問題の解決への貢献として 積極的に進められることを望んでやまない。

最後に現在の LANDSAT は 本来地球資源技術衛星 (ERTS=Earth Resources Observation Satellite) として地球資源 (広い意味での) および地球環境の反覆観測のための試験衛星として打ち上げられたものである。これが そのデータの応用についての研究が進むにしたがって 土地利用のマッピングおよびその変化のモニタリングに予想外に大きな効果があることが判明したのである。第2号からこれが LANDSAT と改称されるにいたった理由はおそらくこのあたりにあるのではなからうか? また LANDSAT の成功によって 宇宙からの観測方式について その方法論の基礎が確立すると同時に 対象によって専用のセンサシステムを搭載した衛星の開発が次々と実現あるいは計画されつつある。例えば 海洋動態観測のために1979年には海洋衛星 (SEASAT) が実現の運びとなっている。磁気観測衛星 (MAGSAT) についても色々検討がなされつつある。

これらの中であって われわれとしてはとくに興味を惹くのは 地質衛星 (GEOSAT) である。これは他の衛星が政府ベースで進められているのに対して 完全に民間ベースで検討がなされている点である。

GEOSAT に関しては 1976年8月10日デンバーにおいて この実現を検討するための委員会 (地質衛星委員会=Geosat Commission) を組織するための会合が開かれている。この会議では その組織 機能 計画 経費 などについて提案があり 出席者 (オブザーバーの USGS を含めて21機関) によって承認が得られ Michel T. HARBOUTY が委員長となり 下部機構として5つの小委員会によって構成されることになった。今後 この委員会の動きに対しても 注目を払って行く必要がある。

㊦ 本文にその1部を掲載した LANDSAT リニアメントと鉱床分布図 (1/40万 1/100万) および LANDSAT/ERTS 映像による東北地方地質構造解析図 (地質構造解析小委員会 1976) は下記で実費頒布しています。

㊦105 東京都港区芝西久保保舟町13—2
日鉱探開KK 地質物探部
谷 藤吉郎
金塚 玲子
㊦(03)503—0741

文 献

- 地質構造解析小委員会 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 p. 1—17.
- Gay PARKER, Jr. 1970: Morphological study of geophysical maps by viewing in three dimensions. *Geophysics*, vol. 36, no. 2, p. 396—414.
- 長谷紘和 (投稿中): LANDSAT 映像から識別された八幡平地域の環状地形形態の評価 サンシャイン計画推進本部報告
- 長谷紘和 1976: 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 p. 15—25.
- 星野一男 1976: CCOPIリモートセンシング専門家会議報告 地質ニュース No. 263 p. 20—29.
- 星野一男・長谷紘和 1977: 神繩断層を切る南北性断層について 地質学雑誌 83巻 p. 92—64.
- 井上 武 1960: 秋田油田地域における含油第三系およびその基盤グリンタフの火成層序学的研究. 秋田大学地学研究報告 vol. 23. p. 1—79.
- ISHIHARA, S., IGARASHI, T., and NISHIWAKI, C., 1974: A reexamination of the regional distribution of the late Cenozoic ore deposits in the east Japan arc. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 86, p. 292—294.
- 小出 仁 1975: マグマ貫入による環状割れ目と陥没構造の形成 (演旨) 日本地質学会第82年大会 p. 98
- KOIDE, H. and BHATTACHARJI, S. 1975: Formation of fractures around magmatic intrusions and their role in ore localization. *Economic Geology* vol. 70, p. 781—799.
- KUTINA, J. 1974: Relationship between the distribution of big endogenic ore deposits and the basement fracture pattern—examples from four continents. *Proc. 1st International Conf. New Basement Tectonics*, p. 565—593.
- LATHERAM, E. H. 1973: Geologic application of ERTS imagery in Alaska. 3rd Earth Resources Technology Satellite-1 Symp. p. 1—12.
- NISHIWAKI, C. and others 1976: The relation between tectonics and metallogenesis in the peripheral sea-island arc complex of Japan and vicinity. 第3回 MMIJ-AIME Joint Meeting 提出論文 14p.
- 松野久也 (1975): LANDSAT 映像データの地質・鉱物資源探査への応用 RESTEC vol. 1, pp. 5—12.
- 松野久也 田島大三 星野一男 山田修兵 1975: ERTS 映像による地質構造解析 —エツジ強調処理技法の応用— 地質ニュース No. 245 p. 1—17.
- RUMSEY, I. A. P. 1971: Relationship of fractures in unconsolidated superficial deposits to those in the underlying bedrock. *Modern Geology*, vol. 3, p. 25—41.
- USGS (1975): Status and Plans of the Department of the Interior EROS Program. USGS Open File Report, 75—376, 83p.
- 山岡一雄 1976: 東北日本内帯の新第三紀鉱脈鉱床に関する成因的諸問題 鉱山地質 特別号 No. 7 p. 59—74.