

LANDSAT映像のエッジ強調処理 方向差分によるカラー合成

星野一男(燃料部)・久保俊介(産業研究所)
Kazuo HOSHINO

1972年7月に最初の地球資源衛星 LANDSAT-1 が打ち上げられて以来ほぼ10年が経過して衛星映像を利用する所謂リモートセンシング技術は広く各分野に浸透し今後の展望についてもそれなりの見通しが得られる段階に至っている。この10年を振り返ってみると最初の約5年は LANDSAT 映像写真そのものを対象として映像写真からどのような要素が判読できるかということがいろいろな部門で試みられた時期であり 後半の約5年は映像データを再処理して特殊な映像写真を作製し 通常の映像写真と比較して要素判読技術がどの程度向上できるかが試みられるようになった時期と分けられるように思われる。

地質調査所におけるリモートセンシング研究はわが国で衛星映像が入手できるようになった非常に早い時期から行われている。衛星映像から抽出される諸々の地質要素のなかで地質線構造 (lineament) は最も抽出が容易な要素であり 衛星映像から地質解析を行うときにはまずリニアメント・パターンの判読から行われるのが普通となっている。さらに 立体視の困難な LANDSAT 映像写真の解析においては 陰影効果により生ずる様々な陰影模様と地形起伏により現われる いろいろな規模・方向のリニアメントの組合せ模様が地質要素判読の鍵に

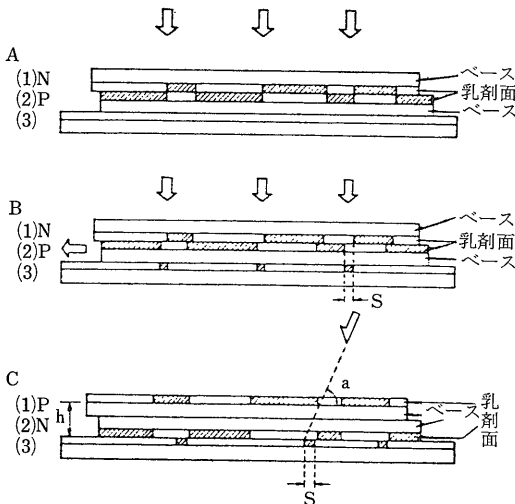
なるケースが意外に多いのである。このことに気がついた著者らは写真技術の1つとして知られていたエッジ強調を衛星写真に適用してみることを思いついた。この試みは予想以上の成功を得ることができ エッジ強調技法がリニアメント解析に非常に有効な技法であることが証明されたのである (松野ほか1975)。

その後 著者らは共同で エッジ強調処理をコンピューターによる微分演算として行うことにより 衛星映像を利用するリモートセンシングにおいて エッジ強調技法の地質解析における有効性の研究を行ってきた。その結果 著者らの方法により上記の方法 (以上マニュアルと呼ぶ) と同じような効果のある白黒写真や 非常に美麗で 解析上効果的なカラー写真を作成し得ることがわかった。

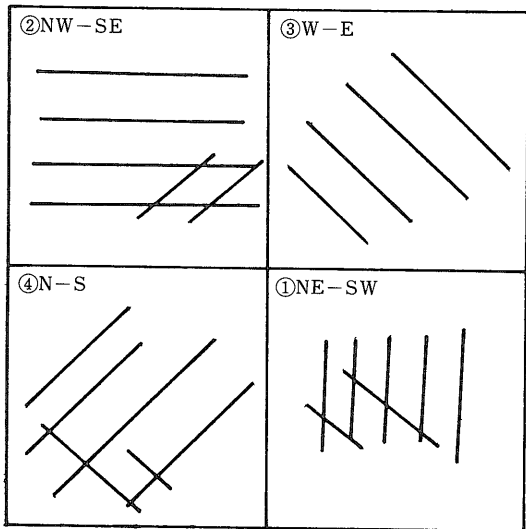
本誌の口絵はこのような方法 (以下方向差分法と呼ぶ) で作成された関東山地の特殊写真であり 表紙はそのカラー合成写真である。

マニュアルによるエッジ強調の原理は松野ほか (1975) に述べてあるが一応おさらいしておこう。第1図Aの(2)Pはフィルムに焼付けられた透明陽画 (ポジ) で簡単のために図のように白と黒のトーンから構成されているとする。次にこのネガを作ると白と黒が逆になる(N)。このNとPを重ねて矢印の光線によって印画紙(3)に焼付けてもNとPの黒の部分が交互に全体を覆ってしまうために印画紙は感光せず ただの白紙が結果として得られる。ところでここで同図BのようにNとPをある方向に少々ずらした後に印画紙に焼付けてみよう。今度はずらした距離(S)だけ隙間ができるのでその部分だけ印画紙が感光し 黒くなる。すなわち 原陽画の黒と白の境界のところ その一方の縁辺部 (エッジ) だけが印画紙上に抽出されることになる。この効果は同図(3)のようにずらす代りにPとNの間にある厚み(h)をおき斜光線を与えても変わらない。

衛星映像写真にこの手法を適用すると山陵とか 河岸とか 黒白色調の急変部のみが抽出されたエッジ強調写真を作ることができる。リニアメントは地形的にこのような場所にあるので エッジ強調写真では 原映像写真に写されているリニアメントがとくに抽出されて現わ



1図 エッジ強調処理の原理



2 図 エッジ強調写真における差分 (ずらし) の方向と顕著なリニアメントの方向 数字は差分方向

れることになる。

このような技法で作製されるエッジ強調写真では差分 (ずらし) の方向が1つの要素であり 方向によって強調されるリニアメントの種類がやや異なる。第2図は北東—南西 (NE—SW) 北西—南東 (NW—SE) 東西 (W—E) 南北 (N—S) の各方向のエッジ強調写真に対して それぞれ どの方向のリニアメントが強調されるかを示したものである。ずらしの方向はこのように強調されるリニアメントの頻度を変えるが 原映像にあったリニアメントは優劣いずれにせよ 強調処理によって消失することはない。マニュアルによって行われるこの方法は簡単な写真処理として行えるので費用もほとんど

1 表 映像処理に関する従来の各種微分方法

A	B	C
D	E	F
G	H	I

a	b
c	d

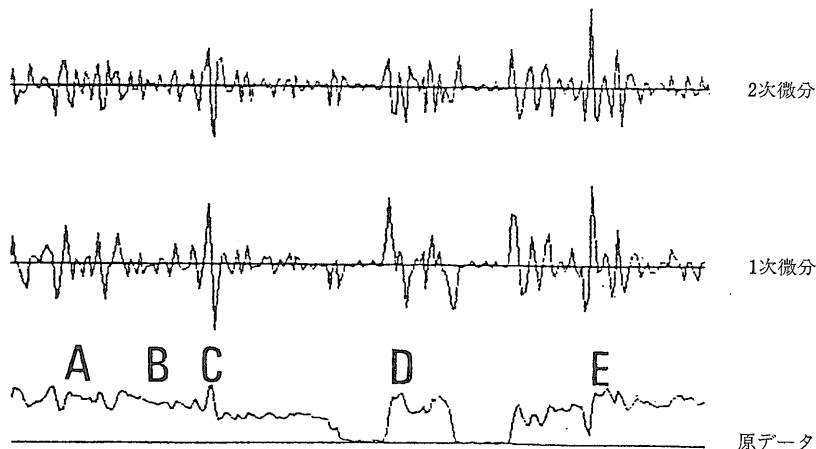
- (1) $\sqrt{(a-d)^2+(b-c)^2}$ Roberts
- (2) $|a-d|+|b-c|$ Forsen, Rosenfeld, et al.
- (3) $(|a-b+c-d|+|a+b-c-d|)/2$ Ejiri, et al.
- (4) $(a-b)$ と $(c-d)$ が同符号で大、
 $(a-c)$ と $(b-d)$ が同符号で大 Herskovits, et al.
- (5) $U[1, 0]+V[0, 1]$ Pingle
 $U=(C+2F+I-A-2D-G)/8, V=(A+2B+C-G-2H-I)/8$
- (6) $E-\min(A, B, C, D, F, I, H, G)$ Sakai, et al.
- (7) $\text{sign}(B-H) \cdot [\min(A, B, C) - \max(G, H, I)]$ Kelly
- (8) $[(A+B+C-G-H-I)^2+(A+D+G-C-F-I)^2]^{1/2}$ Rosenfeld
- (9) $|A+B+C-G-H-I|+|A+D+G-C-F-I|$ Rosenfeld
- (10) $|E-A|+|E-C|+|E-G|+|E-I|$ Rosenfeld, et al.
- (11) $(B+D+F+H-4E)/4$ Hawkins, Prewitt, Graham, 坂井, 他
- (12) $|E-(A+B+C+D+F+G+H+I)/8|$ Rosenfeld, Prewitt
- (13) 4×4 以上の窓に対する各種オペレータ Prewitt, 諏訪, 他

(和達ほか, 1976)

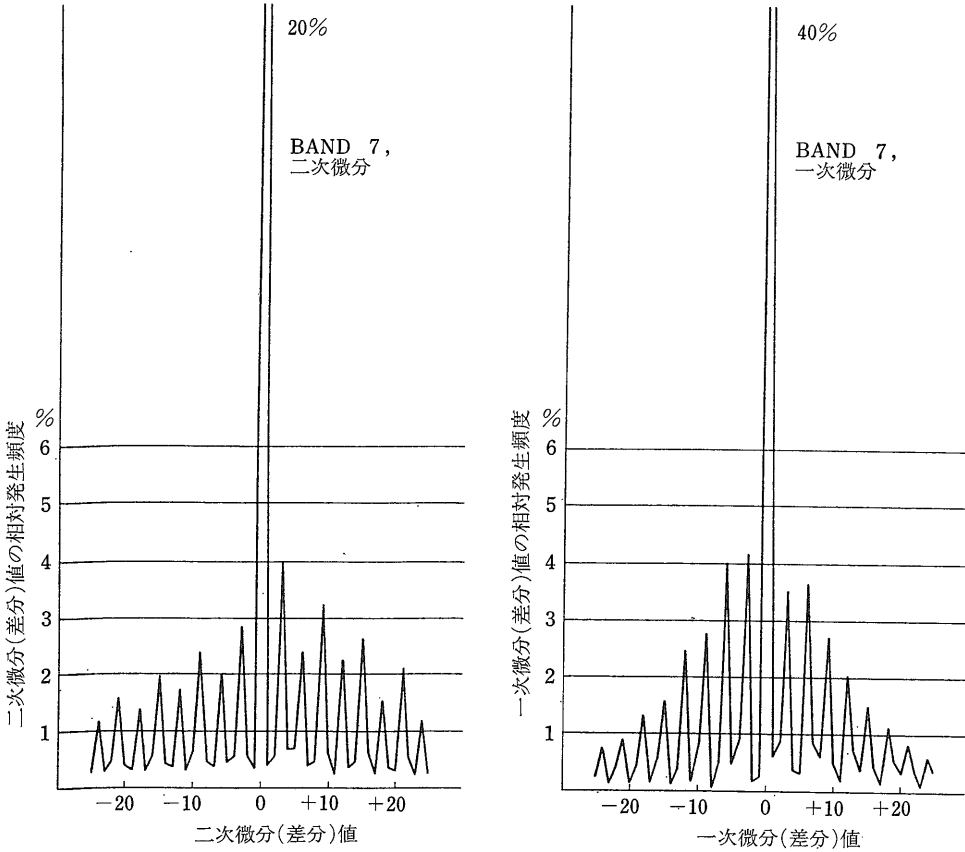
どこからず また迅速に作成することができるのが大きな利点となっている。

エッジ強調は 4, 5, 6, 7 バンドのどれを用いてもよいが通常リニアメントは 7 バンドで最もよく表現されるので 7 バンドについて行う。差分方向は第2図のように方向によって 現れ易いリニアメントの方向がやや異なるので最初に作製するときは 4 方向の写真を作成した方がよいであろう。著者の体験では NE—SW がほとんどの場合に その地域の全般的傾向を最もよく表現しているようである。

群馬県万場地域 神奈川県丹沢山地などでこの技法によって作製されたエッジ強調断裂図を既往文献データと比較してみると両者は良い一致を示すのみか 従来の調



3 図 方向差分処理の例



4図 一次と二次微分値の相対発生頻度パターン比較

査では断片的にしか把握されていなかった断裂系が極めて短時日のうちに系統的に把握されることによりその地質の意味が明確になるなど 第1次的地質調査に大いに利用されてよいであろう。また この技法は通常の映像写真では抽出するのに難しい 規模のやや小さな断層の解析に 特に規模の小さい活断層の予備的調査に非常に有効であると思われる。

ところでエッジ強調処理と似た効果はコンピューターによるデジタル処理によっても行うことができる。

ここで行った演算方法は特定方向差分微分法とも称すべきものである。衛星映像データを微分処理する方法にはいろいろあるがここで行ったのは1次微分および2次微分である。ただし ここで微分のある特定方向に一定させることが本法の特長である。この場合の微分(差分)は第1図の「ずらし」に相当する。映像画素の配列を第1表上のように考えると 1次微分2次微分演算式はそれぞれ次に示される。

$$C-E, \text{あるいは} E-G \quad (1)$$

$$(C-E)-(E-G)=C+G-2E \quad (2)$$

これは微分(差分)方向が北東-南西の場合である。

第3図に実際の演算結果例を示す。原データのCやEのように山や谷地形が急峻なときには1次微分カーブの変化が著しく エッジ強調効果が最も大きいことが示される。しかし2次微分になるとカーブの振幅が減少する。Dのように幅広い山陵があったときには両側の斜面部分は1次微分で振幅が大きくエッジ強調効果の著しいことがわかるが この部分の2次微分カーブを見ると全体に振幅が平均化されエッジ強調効果が目立たなくなることを示している。一方 AやBのように原データ(原地形)で平坦にみえる所でも微分カーブでは山や谷の形がはっきりと表われ エッジ部分が非常に見やすくなったことが示される。これはとくに2次微分が目立っている。この図でも分かるように個々の(断裂)地形に対しては1次微分の方が効果が大きい 2次微分では振幅(写真上では濃淡)が平均化されカーブが細くなる傾向がある。この傾向は第4図のように1次2次微分処理における発生頻度を比較してみたときにも現われている。両方ともO周辺が最も頻度が高いが 両方の頻度分布を比較すると1次微分がOを中心とする地帯への集中率が大きいのに反して2次微分ではそのような集中率が劣化し 頻度分布が平坦化されて

いる。

このように微分演算によるエッジ強調は原地形の形態により1次微分 2次微分それぞれの特性がある。解説の場合にはこのような特性に注意すべきであろう。

微分による差分でもマニュアルと同じように差分方向によってパターンはやや違ってくる。しかし 差分方向と断裂方向との関係はほぼ同じで第2図のように考えて差支えない。

口絵に關東山地—富士箱根地域の1次微分 2次微分による写真を示した。これは7バンドより作成 北東—南西方向の差分である。

ところで 同じ差分方向の微分を異なるバンドで作ってみるとそのパターンには微妙な差異がみられるようである。エッジ強調を行った単バンド(単波長域)の写真を通常の単バンド写真からカラー合成を行うようにカラー化ができるであろうか。そのように作られたカラーエッジ強調写真は地質要素の解析に有用であろうか。著者らはこの実験を1978年以来行ってきたが マニュアルによるエッジ強調写真以上の実用性を確認することができたと思う。

カラーエッジ強調写真の作製過程は第5図のようである。上に述べた方法で 4, 5, 7バンド それぞれで微分処理を行い そのポジフィルムを作成する。あとは通常の映像写真フォールスカラー合成と同じように

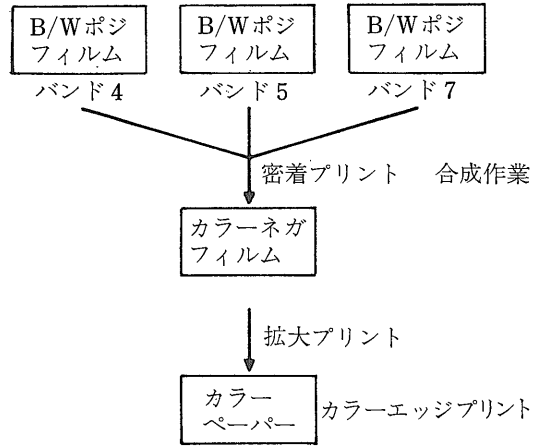
- 4バンドに blue
- 5バンドに green
- 7バンドに red

の露光処理を行い 3枚の発色原版を密着合成してネガフィルムを作成するのである。

表紙写真はこのようにして作成されたカラーエッジ強調写真の例である。

差分方向を NE—SW, あるいはNW—SE 微分を1次および2次と 諸要素を変えながらいろいろな条件で作成したカラーエッジ写真の結果を見ると次のような特徴が挙げられる。

1. フォールスカラー合成によるエッジ強調写真は今までどこでも試みられたことがなく今回の写真が最初の試みであるが 50万分の1 および20万分の1に拡大された写真でも 単バンドの白黒エッジ強調写真に比較して見易くなっており パターンの微細なところまで良く読み取ることができる。著者らは10万分の1まで拡大したがこの程度まで拡大可能である。
2. 差分方向に対する影響としては 一般に差分方向と直角に近い方向では赤色が目立つようになり 平行に近



5図 カラー・エッジプリントの作成フロー図

くなる程黄白色が目立つようになる。断裂系の方向は 単バンド写真のようにある方向に対する選択性は減少しすべての方向の断裂が優劣なく表現される傾向にある。この効果はNE—SW方向の写真で特に目立っている。

3. 単バンドの白黒写真ではエッジは濃淡差で見分けられるのだが カラー写真ではいろいろな要素による色調差が主体になる。このために白黒写真に比較して一般に判読が容易になるばかりでなく たとえば沖積層や第4紀火山堆積層分布域のように 白黒写真では単調な濃度となっていた所でも微細な色調差によりリニアメントがよく観察されるようになる。この効果は特に2次微分写真でより著しい。
4. カラー合成写真では各バンドに特有な異種の情報が混じり合って判読に利用できる要素が多くなる。たとえば河川系は青色で表現されるので水系に関連したリニアメントは見易くなる。沖積層地域や山地部など地形変化がリニアメント・パターンと組合わせた色調変化で現われるために単に断裂系の解析のみでなく 普通の衛星写真や単バンドのエッジ強調写真では見分け難い微細な地質単位 地形区分の解析を行うことができる。

第8図はこれらのエッジ強調写真による關東地方南部の地質構造解析図である。關東山地では従来地層境界による西北西—東南東の構造が主要地質要素として認められていたのみであったが エッジ強調写真によって南北性の割れ目が山地全体に発達していることが非常に明

隙に示されているのである。このようなエッジ強調写真はそのまま地質断層図 (lineament map) として利用できる可能性を持っている。衛星映像がきっかけとなって見出された関東山地における南北性の断層 (星野ほか, 1974) は現実に存在することが詳細な地表調査によって確かめられた。西丹沢の河内川—中川流域では第6図のように巾2~3 km にわたって南北性の断層群によって画された帯状ブロックが神縄断層や花崗閃緑岩を切って1.0~0.5 km 北に突出しており。

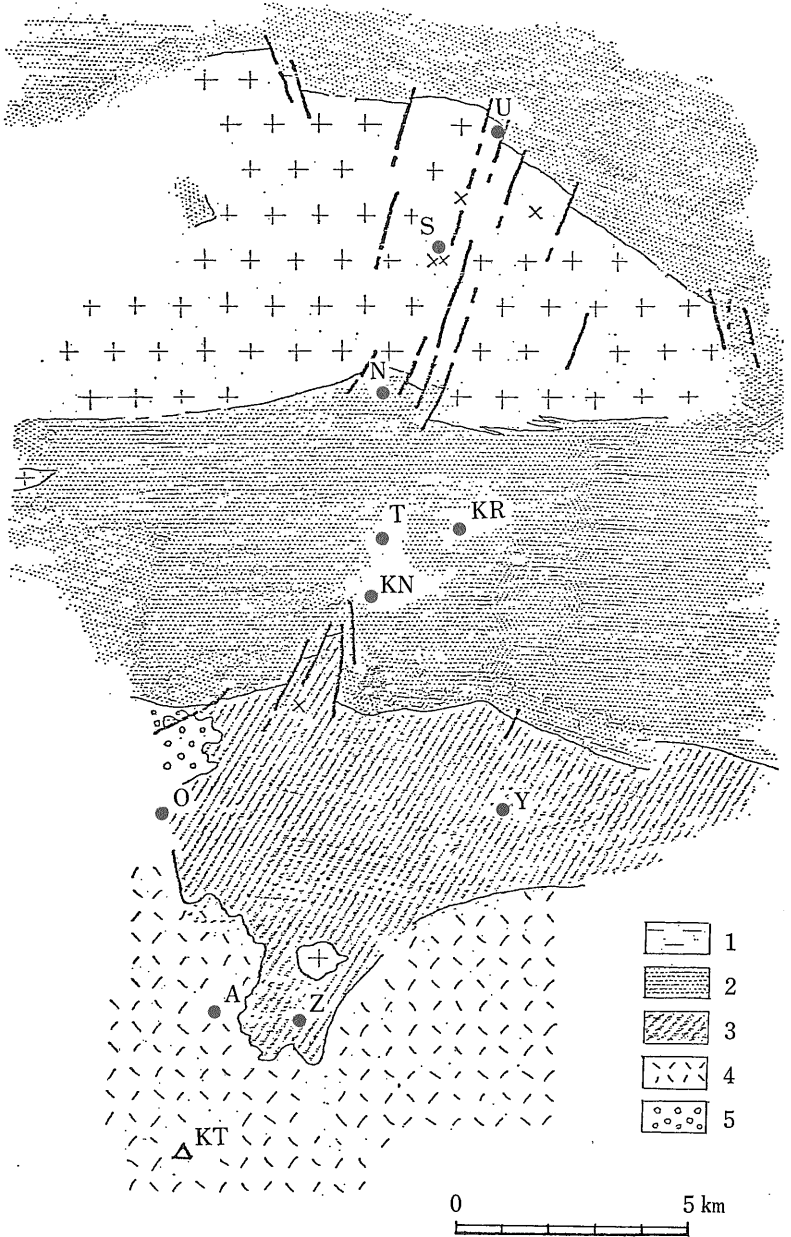
(星野, 1978) その周辺では第7図のように南北方向の割れ目がよく発達している。
カラーエッジ強調写真 (表紙) ではこれに加えて従来知られていなかったいくつかの構造が目につく。たとえば富士山頂を通過して丹沢中部を抜ける東西方向のリニアメントが認められる。この方向のリニアメントは利根川上流の沖積層地域にも認められる。

マニュアルにせよコンピューターにせよ方向差分法による単バンドの白黒エッジ強調写真は実用価値のあることが以上のような調査で確かめられてきたが 本稿で紹介したカラー合成のエッジ強調写真もそれに劣らない実用性をもっていると思われる。

衛星映像データの微分処理という考えは従来より存在しさまざまな計算方法が提示され (第1表) 一部は実際にテストされている (たとえば金属鉱業事業団, 1979 など)。著者らの方法は通例忘れられていた程最も単純な微分でありこれを特定方向で行った点が従来になかったアイデアである。我々がマニュアル手法について充分既存データおよび野外調査による照合を行って差分によるエッジ強調の細部にいたるまでのいろいろな問題点を現実の作業のなかで消化したのちに コンピューター

による演算処理に移ったことが 幸に成功し得た原因であると思う。

カラー合成については 我々は当初 微分化されたこのような微細なパターンの色調が合成されたときに視覚的に実用性のある画像が作られるかどうか むしろ悲観



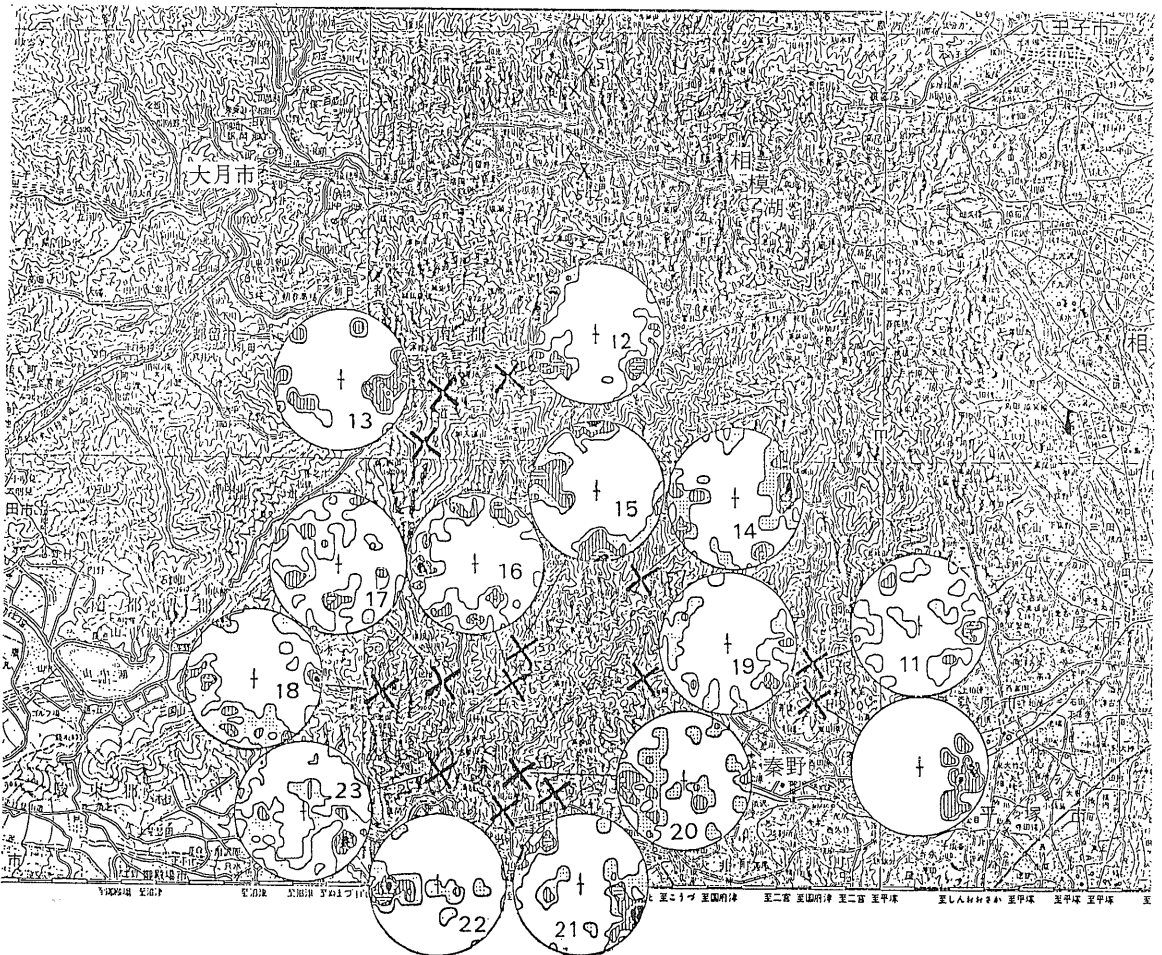
6図 西丹沢断層図
A, 足柄峠 KN 神縄 KR 玄倉 KT 金時山 N 中川温泉 O 駿河
小山駅 S 西丹沢自然教室 T 丹沢湖 U 犬越路 Y 山北駅 Z 地
蔵堂
1 花崗閃緑岩 2 丹沢層群 3 足柄層群 4 箱根火山 5 駿河礫層

的な予想を持ったのであったが敢て通常のカラー合成をまず試みたことが結果として良い画質の写真を得ることにつながったのであろう。この際このような微妙な写真処理の技術的問題にとりくみ自主的なテストをいろいろ反覆して美麗な写真を作り出すことに努力を惜しまれなかったオリエンタル写真工業kkの協力なしに本研究の成果はなかったことは明記しておかなければならないだろう。

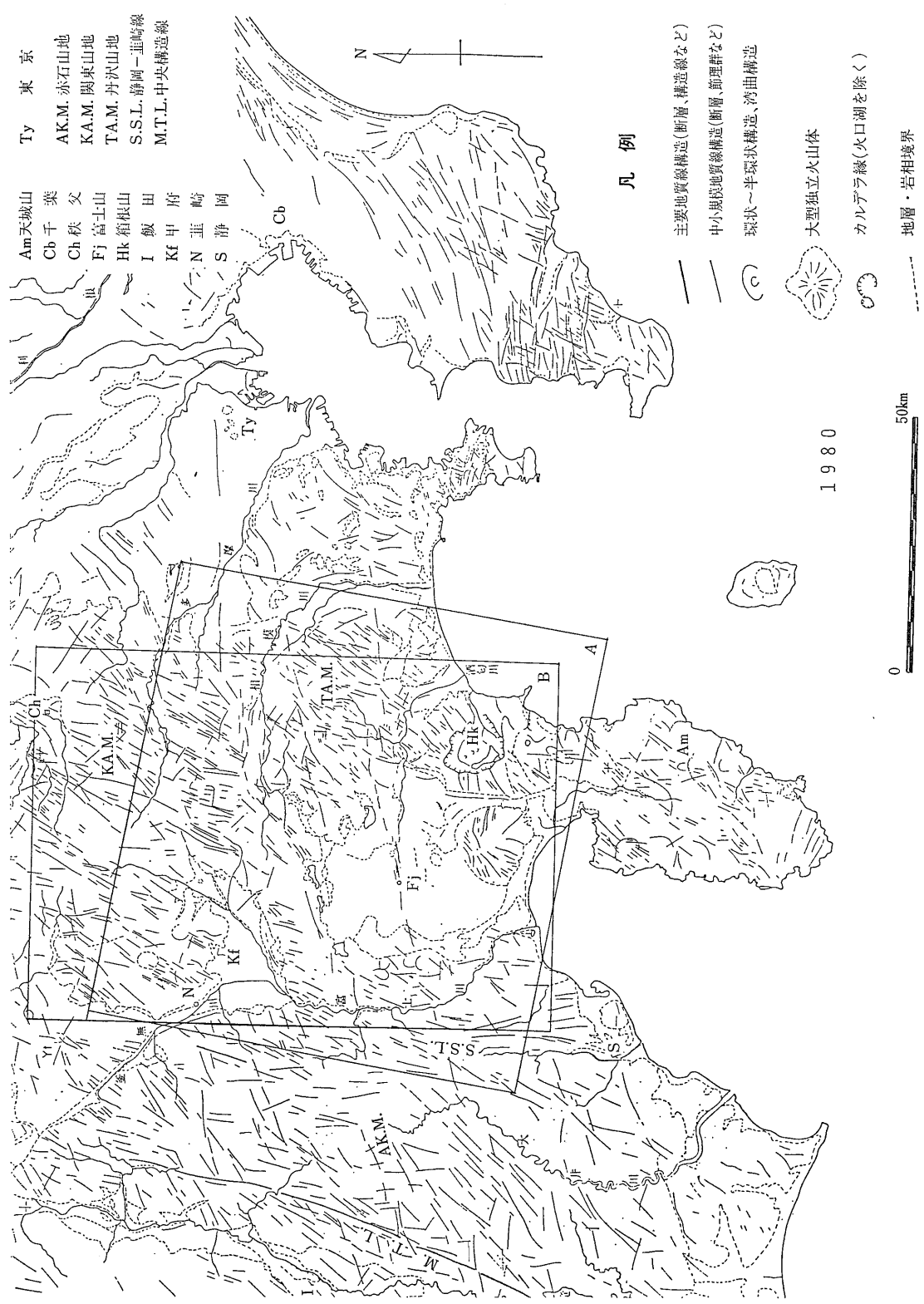
本研究の趣旨を理解され協力して研究にあたって頂いた(財)産業研究所 演算処理 写真処理に当たった(株)NAC (株)FIP (株)オリエンタル写真工業の関係各位 および研究の良き理解者であった松野久也当研究所環境地質部長に感謝する。

文 献

星野一男・松野久也, 1974, アーツ映像より見た南関東の断裂系, とくに南北性断裂について, 地質ニュース, No. 235, 1—13頁
 星野一男, 1978; 丹沢山地“足柄突出構造”の意義, 地震学会秋季予稿集, 163頁
 星野一男, 1979; 衛星映像より始まる活断層の調査と分類, 地球, 1巻 600—607頁
 星野一男, 1980; 衛星リモートセンシング, 石油開発時報, 44巻 44—52頁
 星野一男, 1981; LANDSAT 映像による地質構造解析の手法, 石油技誌, 印刷中
 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, エッジ強調処理技法の応用, 地質ニュース, 245号, 1—13頁
 金属鉱業事業団, 1979, 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)報告書
 産業研究所, 1978, 1979, 1980; リモートセンシング解析システム技術の研究報告書
 和達清夫ほか編, 1975, リモート・センシング, 朝倉書店



7図 丹沢・秦野附近地表面断裂図 シュミット・ネット下半球投影, Xは測定点



8 図 南関東解折図, A, B はそれぞれ表紙, 口絵写真の範囲