TM データによるリニアメント抽出の最適化

An optimization of lineament extraction using TM data

岩下 篤*, 下田 陽久**

坂田 俊文**

*Atsushi IWASHITA, Haruhisa SHIMODA
Toshibumi SAKATA*

Abstract : Two types of Laplacian Edge enhancement processing were applied on three different surface characters, Rock exposed, Mountainous vegetated, and Flat vegetated, of LANDSAT TM data to clarify several relations between data processing parameters and surface characteristics. As a result, several interesting features were confirmed on the trend of extracted lineaments, (1) Vertical and horizontal Edge enhancement was the best way to extract lineaments for every type of areas. Length and the numbers of these extracted lineaments were relatively short and large. (2) Omni-directional Edge enhancement generally gives too much enhancement, and mostly long and less Lineaments were extracted by the reduction of the topographic features.

1. 緒 言

リモートセンシングデータが近年になり、地球観測の手段として実用に供されて以来、現在に至るまでいろいろな分野に応用され、その成果も数多く報告されている。衛星搭載センサも、この間 LANDSAT MSS から TM にその利用主体は移り、各分野での利用も高精度なデータが要求され、SPOT HRV 等の高分解能データを使った画像解析も行なわれるようになってきている。利用面から見ると、TM の持つ可視近赤外・短波長赤外・熱赤外という広い波長帯域データの広範な分野への応用、広域概査への中程度分解能データの利用、HRV の高分解能ステレオ立体視による地形学への応用という利用方法が世界的に浸透しつつあるといえる。筆者らは、現在入手しうる衛星データの中で利用頻度の高い、30m の分解能を持つ TM 画像を用いた地質情報解析を目的として、世界の陸域の特徴的な地域の TM データを選択し、異なるパラメータによる

画像強調手法を適用した。得られた処理画像および原画像からリニアメントを抽出し、適用手法や地域特性が抽出されるリニアメントに与える影響についての研究を行なった。

2. 地域選定

地球上の陸域の地域的特性は、極地域・赤道地域を両極として変化する。これらの地域特性を地質情報解析に関連する地域として大まかに分類すると、砂漠地域・露岩地域・植生地域にわけられる。地域によっては、平坦地域・急峻地域等に分けることも可能である。リモートセンシング画像を利用する場合、対象地域の持つ特性は、地域選択の際に重要な意味を持つ。筆者らは、研究対象地域として露岩地域と植生地域を選んだ。さらに植生地域の中から急峻地と平坦地を選択した。これらの地域を選択したのは次の理由による。

- (1) 天然資源を解析の対象とする時、直接地表面を探知できるような岩石露出地域であれば、スペクトルの特徴による岩相の識別や構造判読に有利であること。
- (2) 赤道隣接地域は、資源ポテンシャルの点で対象となりやすい半面、熱帯雨林特有の厚い植生に覆

* 株式会社地球科学総合研究所

** 東海大学情報技術センター

「写真測量とリモートセンシング」Vol. 30, No. 2, 1991

われており、画像解析に際して植生の影響を考慮しなければならないこと。

- (3) 赤道隣接地域以外では、対象植生地域によっては山岳部や平坦部が存在し、地形起伏の違いによる植生の影響を明確にする必要があること。

3. 地質概要

3-1 山岳急峻植生地域（コロンビア）

BK3-E0, BK3-E1, BK3-E2

アンデス山脈は南米大陸を南北に7,000kmにわたって縦断し、その北端はコロンビアに入り3本に分岐した山脈になる。北西部に位置するマグダレナ堆積盆地は、東コルディレラと西コルディレラの間に挟まれて存在し、産油盆地として有名である。盆地内には白亜系・第三系が発達し、山脈内には古生界と中生界が複雑に発達している。これらの産油地域の特徴は、ドーム構造とその周囲に分布する断層である。東コルディレラ山中の都市 Bukaramanga 周辺は、東側に比較して地形的・地質的な境界が明確ではなく、南北方向に発達する多くの断層が認められる。

3-2 山岳急峻露岩地域（トルコ）

TK4-E0, TK4-E1, TK4-E2

この地域の地質は、多岐にわたる時代の岩石が複雑に分布しており、Bitlis 山塊と Taurus 造山帯および周辺褶曲帯が主要な構造单元である。これらは、激しい火成活動や変成作用を被った造山帯や衝上断層によって分断された古生界・中生界の複合岩体、また広範囲の断層活動を受けた隆起部を伴う褶曲帯で特徴づけられる。これらの構造は、隣接するイランやイラクの産油地域と同様の地質区分に属しており、地表に分布する玄武岩や石灰岩等が露出する。この地域には有数の油田地帯が分布しており、ここを境に走るアラビアプレートとユーラシアプレートのせめぎ合いの結果生じた、東西に走る褶曲構造に沿って発見されている。

3-3 平坦植生地域（ブラジル）

BR3-E0, BR3-E1, BR3-E2

ブラジル南部に位置するパラナ堆積盆地は、独特のサバンナあるいは亜熱帯モンスーン気候に属するため全般的に植生に覆われており、地形的にも極めて平坦である。植生の種類は、平坦地であるため大半が珈琲

である。地質的には、先カンブリア系を基盤とした玄武岩や堆積岩から構成され、海成層と陸成層とが混在する地域であり、地表はジュラ紀の玄武岩が2000m程度の厚さで覆っている。ジュラ紀層にはオイルシェールが含有しており、資源的にも有望な地域である。構造は中生代の地質構造の反映の結果と考えられる北西～南東のトレンドを持っている。

4. データ処理

対象地域の使用データは TM である。TM データは、現在陸域を殆どカバーする衛星データとして、資源探査のための十分なスペクトル分解能・空間分解能を有する。TM の空間分解能30m は、画像のスケールを10万分の1程度まで拡大できるため、本研究のテーマである地質情報解析のためのリニアメント抽出には適当である。

概査段階での石油資源探査のための画像処理は、補正処理のち標準処理と解析処理に分けて実施される。今回の処理は、画像処理の初期段階で適用される標準的な処理のうちエッジ強調手法に的を絞った。画像に含まれる各画素の値は、独立した値をもっているがこの値は互いに関わり合っており、特に隣接した画素は互いに密接な関連をもちながら配列している。空間的な演算処理は、こういった各画素の配列の状態を定量化する手法である。昨今の新型センサーで得られた各種画像は、初めてリモートセンシングデータが取得された頃に比較して分解能が高く、これらのデータを高度に利用するためには、画像解析に欠かせないエッジ強調のための空間的な演算処理が重要となる。空間的演算処理は各画素間の濃淡のレベルの関係を定量化して、エッジの存在する近傍の画素の濃淡レベルを用いて行なわれる。画像に含まれるさまざまなエッジは、エッジの周りに比較して濃淡のレベルが急激に変化しているところである。エッジ要素の抽出には画像内での明るさが急激に変化している部分での明るさの微分値を使うことが最も適当である。従って、局所積和演算を用いたエッジ抽出として、1次微分（グラジエント）から、さらに画像中のエッジに反応する空間2次微分（ラプラシアン）を求めて適用した。

ラプラシアンは、

$$\nabla^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2}$$

BK3-E0

BK3-E1

BK3-E2

写真1 山岳急峻植生地域の処理画像（コロンビア）

TK4-E0

TK4-E1

TK4-E2

写真2 山岳急峻露岩地域の処理画像（トルコ）

BR3-E0

BR3-E1

BR3-E2

写真3 平坦植生地域の処理画像（ブラジル）

$= f_{xx}(x,y) + f_{yy}(x,y)$ で与えられる。

ここで、 $f_{xx}(x, y)$, $f_{yy}(x, y)$ はそれぞれ x 方向, y 方向の 2 次微分を表わし、1 次微分から得られた重み係数行列と画像データの積和演算による差分の差分で得られる。

2 次微分係数は、画像間の差分から得られる。

$$f_{xx} : \begin{matrix} & & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ & & 1 \end{matrix} \quad f_{yy} : \begin{matrix} & 1 & \\ -2 & & \\ 1 & & \end{matrix}$$

これから、以下のラプラシアンオペレータが導かれる。

$$\begin{matrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{matrix} \quad (\text{縦横方向})$$

$$\begin{matrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{matrix} \quad (\text{縦横斜め方向})$$

本研究では、種々の特性を持つ地域の TM 画像からエッジ要素を抽出するための方法を 2 種類選択して適用した。最初にコントラスト強調処理を行なった後、リニアメント抽出に対するエッジ強調処理の影響を知るために、2 次微分処理を縦横方向 (E1) と縦横斜め方向 (E2) に適用して、異なるエッジ強調画像を得た。処理対象部分は、対象地域から地域の特性を最も良く表わしている場所を選定した。

得られた処理画像は、以下の 9 種類である。

(1)山岳急峻植生地域オリジナル	BK3-E0
(2)山岳急峻植生地域エッジ強調(1)	BK3-E1
(3)山岳急峻植生地域エッジ強調(2)	BK3-E2
(4)山岳急峻露岩地域オリジナル	TK4-E0
(5)山岳急峻露岩地域エッジ強調(1)	TK4-E1
(6)山岳急峻露岩地域エッジ強調(2)	TK4-E2
(7)平坦植生地域オリジナル	BR3-E0
(8)平坦植生地域エッジ強調(1)	BR3-E1
(9)平坦植生地域エッジ強調(2)	BR3-E2

5. 解析結果

処理の結果得られた画像を用い、処理方法や地域特性が地質情報に及ぼす影響を与えるかという点に注目して解析を試みた。解析は、オリジナル・エッジ強調 1 (E1)・エッジ強調 2 (E2) の各処理画像から 2 人の画像解析者がリニアメントを抽出し、これらのリニアメントについて総合的に検討した。得られたリニア

メント解析図は合計 18 面作られ、各地域毎に $L1 \cdot L2$ に区別されている。

5-1 地域及び処理による抽出リニアメントの相違

山岳急峻植生地域

(1) 山岳急峻植生地域オリジナル BK3-E0

平均標高 2,600m の山岳植生地域である。ここは地形の起伏が顕著なため、太陽高度の比較的低い時間に得られた陰影効果によって、リニアメントは抽出しやすい。また画像全体がエッジ強調画像に比べ軟質の感じであるため、山脈中の大きな谷沿いのリニアメントだけでなく細かいものまでムラなく引くことができる。これは地形が急峻であるため起伏の変化が大きく、これがリニアメントの引き方に違いが出ない一因と思われる。

(2) 山岳急峻植生地域エッジ強調(1) BK3-E1

BK3-E0 に比較して殆ど同程度のリニアメント抽出が可能である。しかし、縦横方向の 2 次微分によって地形起伏の微細な部分が強調されているが、陰影効果によるリニアメントの抽出しやすさと比較した場合にはその効果が発揮されていない。

(3) 山岳急峻植生地域エッジ強調(2) BK3-E2

BK3-E0 と BK3-E1 の画像に比較して、全体が粗く見える。これは、BK3-E1 の縦横方向のみのエッジ強調に加えて斜め方向の強調も行なっているために、画像に含まれるすべての地形起伏情報が平均化されてしまっているからである。

山岳急峻露岩地域

(4) 山岳急峻露岩地域オリジナル TK4-E0

先の山岳植生地域同様に地形起伏が顕著であるため、陰影効果によって得られるリニアメントは多い。ただし、エッジ強調による画像先鋭化がないために不明瞭な感じが拭えない。特に画像右下に見られる雁行状のパターンは明瞭ではない。またリニアメントの個々の長さは 3 種の画像中一番長い。

(5) 山岳急峻露岩地域エッジ強調(1) BK4-E1

オリジナルで抽出できるリニアメントは確実に引くことができ、3 種の画像中最も抽出量が多い。また、得られる線分も短く多くのリニアメントとして引くことができる。これはこの画像の判読の

有利な点である。

(6) 山岳急峻露岩地域エッジ強調(2) BK4-E2

地形起伏の変化が明瞭でないわりには見やすい画面に見える。しかし、画像全体の印象としてエッジが強調されすぎており、画素が粗くみえるため、この地域のように構造単元の小さなものが卓越する場合リニアメントの抽出は容易ではない。このため抽出されるリニアメントは数が少なく、長いものが多い。

平坦植生地域

(7) 平坦植生地域オリジナル BR3-E0

植生が多く分布する平坦地域である。地形的な起伏はほとんどなく全体にボケた感じであり、リニアメントを引く場合明暗感に乏しいこともあって直線上のものを中心に引いてしまうため、E1で認識できるような明度の低い道路や耕作地の境界は誤認する傾向がある。

(8) 平坦植生地域エッジ強調(1) BR3-E1

エッジ強調効果による、地形的な変化が良く表現されている。全体的に明瞭な画像であるため、細部にわたってリニアメントが認識でき、短いリニアメントが3種の画像中では最も多く抽出できている。しかし、この画像で拾えないリニアメントも若干ある。

(9) 平坦植生地域エッジ強調(2) BR3-E2

全方向に対してのエッジ強調は過度な強調となり、ボケている場合同様に不明瞭な直線上道路や耕作地の境界を誤認している。しかし、E1で抽出できなかったリニアメントが認識できている場合もある。

5-2 個人差による抽出リニアメントの違い

山岳急峻植生地域

処理の違いによる画像の持つ特徴は、両解析者とも的確に表している。個人差によるものであろうが、L2はL1に比較してE0、E1、E2間の差が大きい。特にE1とE2の差が顕著である。これを詳細に検討すると、BK3-E1-L2画像の山間部での長大リニアメント周辺の抽出率が高いことがわかる。これは、BK3-E2-L2との差が大きいためであり、強調過多による陰影効果の減少が影響しているものと思われる。

山岳急峻露岩地域

前述した露岩地域でのリニアメント抽出の有利性は、ここでも認められる。地形変化による陰影効果と露岩によるスペクトル効果という2つの特徴により、E0・E1・E2のすべての画像で両解析者共に抽出率にあまり差がない。

平坦植生地域

植生に覆われた平坦地域でのリニアメント抽出は、地形変化による陰影効果と露岩によるスペクトル効果の2つの有利さに欠ける。この地域では、平坦地での耕作地域ということもあって。各耕作地の境界線と道路に混在して不明瞭なリニアメントが認められる。これらを抽出するためには微妙な地形変化やスペクトルの違いを追跡する必要がある。この結果、短小リニアメントが多く抽出され、一見たくさんの情報が得られたように見えるが、この中には誤認されたものも含まれている可能性がある。

6. 考 察

今回の研究では、得られた処理画像から画像解析に携わる2人の解析者によってリニアメントを抽出し、これらの分布の傾向から画像処理が地質解析に与えるいくつかの影響について考察した。最初に言えることは、選択した各地域の地表面の特性と適用された処理手法によって異なった成果が得られたことである。これによって、本研究の目的である地表面の特徴とデータ処理との関係が明らかになった。

山岳急峻地域では、地形情報の変化が急であるので一般にリニアメントは抽出しやすい。見やすい画像は、BK3-E0-L1・BK3-E1-L1・BK3-E0-L2・BK3-E1-L2に見られるように詳細な位置のリニアメントが抽出しやすく、その長さは平均して短いものが卓越し数も多い。エッジ強調は強調する度合いによってその効果が急激に変わる。例えば、強調しない画像でも比較的良く抽出できるこの地域でも、縦横斜め方向の2次微分を適用してみると、地形の変化が把握しにくくなり、総じてリニアメントの数も減少して長さは伸びる(BK3-E2-L1・BK3-E2-L2)。これは地形起伏による明暗効果を減ずる要因であり、過度な強調の弊害が現われる。

露岩地域においては、急峻植生地域とは若干違った

BK3-E0-L1

BK3-E1-L1

BK3-E2-L1

図1 山岳急峻植生地域から抽出したリニアメント群 L1 (コロンビア)

TK4-E0-L1

TK4-E1-L1

TK4-E2-L1

図2 山岳急峻露岩地域から抽出したリニアメント群 L1 (トルコ)

BR3-E0-L1

BR3-E1-L1

BR3-E2-L1

図3 平坦植生地域から抽出したリニアメント群 L1 (ブラジル)

BK3-E0-L2

BK3-E1-L2

BK3-E2-L2

図4 山岳急峻植生地域から抽出したリニアメント群 L2 (コロンビア)

TK4-E0-L2

TK4-E1-L2

TK4-E2-L2

図5 山岳急峻露岩地域から抽出したリニアメント群 L2 (トルコ)

BR3-E0-L2

BR3-E1-L2

BR3-E2-L2

図6 平坦植生地域から抽出したリニアメント群 L2 (ブラジル)

リニアメント抽出の方法が取られる。すなわち、植生地域と比較して直接リニアメントの対象となる地形や地質構造が判読できる。これは、主として地形変化をリニアメント抽出の対象とする植生地域とは明確に違う特徴である。露岩が卓越する地形変化に富む地域でのリニアメント抽出は、画像の陰影効果だけでなく、大規模構造につながる岩石のスペクトル情報も利用できるもので有利となる。

平坦植生地域での傾向は、山岳急峻植生地域に比較して地形の変化が少ないため、地形起伏に起因する明暗による抽出ではなく、いわゆる線状に走る特徴を目安として抽出する。本地域のように、平坦でありながら耕作地による直線状の特徴が明瞭であるような場合は、人間の目による判断としては、これらの人工的特徴は省いて選択的に抽出することが可能である。しかし、人間が選択的に抽出する能力を持つといっても、必要以上に強調されすぎた画像からは抽出ミスが多く発生する。例えば、BR3-E2-L1, BR3-E2-L2には、BR3-E0-L1, BR3-E1-L2では誤認しなかった不明瞭な道路や耕作地の境界線が引かれている。これは画像全体にわたって縦横斜めの全方向でエッジを強調することの危険を示している。

個人差による違いを全般的に見ると、2人の解析者による各画像のリニアメント抽出結果は類似している。オリジナル画像(E0)と強調画像(E1)との比較では、E1の方が両解析者共に抽出量が多く、構造的な特徴を良く表している。また、BK3-E1-L1, BK3-E1-L2に見られるようにおなじ画像に対する引き方にも若干の違いは出ている。これは抽出の際の考え方の個人差によるものであろう。これに対し、全方向に強調した画像は、BK3-E2-L1とBK3-E2-L2に見られるように、特徴が平均化されているため個人差による引き方の違いが明確となる。

今回得られた研究結果では、エッジ強調され過ぎた画像でのリニアメント抽出結果が、対応する断裂の存在を地質調査によって明らかにできれば抽出リニアメントの検証が可能である。

画像解析に際して我々が注意しなければならないのは、地表面の地質的な特徴がそれぞれの処理済み画像からいかに抽出され、処理によっていかに変化するかを比較しなければならないことである。資源探査に限らぬが、地質情報の抽出は微細な特徴を見逃すことによって、時として結論の違いを導くことがある。多くの場合、適用した処理によって予想された結論を導きだすことは可能である。しかし、特定の処理手法が有効であるか否かを知るためには、さまざまなリモートセンシング処理手法のうち地質情報の抽出に有効な手法を見極める必要がある。今回の研究は、リモートセンシング画像が含む情報を抽出するためには、いかなる方法を適用すれば正確に処理以降の専門家による解釈の役に立つ画像が作成できるかを念頭において行なってきた。この結果、これまでさまざまな形で利用されてきた画像処理手法が必ずしもすべてに対して有効ではないということがわかった。画像処理手法の適用時には、これらの点を考慮したうえで適用することが重要である。

7. おわりに

今回の研究にあたり、株式会社アイザックの堀口靖氏および石油資源開発株式会社札幌鉱業所の国安稔氏には適切な助言・助力をいただいた。厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 木村敏雄編, 地質構造の科学, 朝倉書店, 1984年
- 2) TXCHANZ, C.M., MARVIN, R.F. et al: Geologic evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Northern Colombia, Geol. Soc. America Bull. vol.85, No.2, pp.273~284., 1974
- 3) 日本リモートセンシング研究会編, 画像の処理と解析, 共立出版株式会社, 1986年
- 4) 松野久也, 写真地質, 実業公報社, 1980年
- 5) RIGGASSI, D.A., Petroleum Geology of Turkey., Geol. and History of Turkey, pp.453~482, Petrol. Explor. Soc.Libya, 1971.