

講演要旨(第178回)*

特集 地質リモートセンシング

地質調査所における地質リモートセンシングへの取り組みと将来

序 論 1

長谷紘和

地質調査所においては、1961年国連主催による、空中探査講習会が開催されたのを契機に写真地質への取り組みが開始され、以後航空機高度からの熱赤外リモートセンシング技術開発・利用研究を端緒としたリモートセンシングに関する研究が継続的に行われてきている。

本研究発表会では地質調査所において、従来主として地熱資源探査テーマの中で進められてきた「地質リモートセンシング」の沿革についてまず述べ、この経験をもとに、以下の2点に焦点を絞って述べた。

1) 資源探査の基図としてみた場合のリモートセンシング画像データの分解能

地質調査所からこれまで発行されてきたわが国の地質図幅シリーズの縮尺ならびにそのベースとなっている国土地理院発行の地形図シリーズの縮尺には一定の傾向がみられる。これは対象に対してわれわれが要求する精度、あるいは詳細さが人間工学的には統一的に取扱い得ることを経験的に示しているものとみなすことができる。この観点から国内については今後資源探査の基図として求められる、地形形態についてのリモートセンシング画像データの分解能は約10mである、という結論を導き得る。

2) 断裂情報としてのリニアメント

リニアメントはリモートセンシング画像データ中に観察される最も豊富な地質情報の一つであるが、その形成要因が多様なこと、評価のための手段が限られること、また余りに情報が豊かすぎることもあって、リニアメントの評価のための取り組みは大変遅れている。ここでは米国ヴァージニア州で行われている(発表当時未完)、石炭坑道天板の割れ目や、崩落、地下水流出等をもとにした、地表で観察されたりニアメントの地下での評価に関する研究を紹介しつつ、地熱資源賦存におけるリニアメントの重要性について述べた。その成因はとも角、地熱探査においてはリニアメント情報は既に実際の価値を認められている、といえる。

また、本論ではリモートセンシング利用技術大系に含められる、大陸規模にまたがるような広域的地形・地質理解をそのための技術開発研究がわが国には不十分であったことについても指摘した。(地殻熱部)

序 論 2

津 宏治

我が国は、昭和65年度に資源探査を主目的とする地球資源衛星を打上げるべく、現在、着々と準備が進められている。これは、地質リモートセンシングの分野にとっては画期的な出来事の一つとなろう。

地球資源衛星について、センサーを始めとする各部の仕様が定められつつある。

特に、利用サイドからみて重大な関心のあるセンサーについては光学センサーと合成開口レーダの2種類のセンサーが搭載される。

光学センサーは、可視・近赤外域3バンド、短波長赤外域4バンドの計7バンドを有し、かつ近赤外域で立体視が可能である。また、地表分解能は約18×24mとなっている。

合成開口レーダはLバンド、HH偏波、オフナデスア角35°、地表分解能は約18×18mである。

これらセンサー仕様について、利用する側からは不満足な点も見られるが、今後は取得されたデータを有効活用する利用技術の開発が急務であり、地質調査所においても、利用技術開発に関する研究を鋭意進めている。(物理探査部)

*昭和61年8月6日日本所において開催の研究発表会

分光反射特性による岩石分類について

佐藤 功・浦井 稔

ランドサット等により取得される衛星データによる岩石分類には、岩石の分光反射特性が利用される。岩石は種々の鉱物から構成されていて、構成鉱物の分光反射特性に基づいている。衛星データを岩石の分類に利用しようとする場合、岩石をどの程度判別できるかという観点からセンサーの評価・検討が重要である。ここでは、概略を把握するために、シミュレーション手法による判別能力の検討を行った。

判別の対象としたのは鉱物であり、珪酸塩鉱物、酸化鉱物、炭酸塩鉱物、磷酸塩鉱物および硫化/硫酸塩鉱物の5つの鉱物群である。これらの鉱物群に属する鉱物の分光反射特性はDr. Huntによる一連の論文からデザインした。波長領域は可視-短波長赤外(0.4-2.5 μ m)

第1表 優先バンド/バンド比と各鉱物群への判別正解率

1. 細粒の場合

バンド または バンド比	鉱物群の名称				
	珪酸塩 鉱物	酸化 鉱物	炭酸塩 鉱物	磷酸塩 鉱物	硫化鉱物/ 硫酸塩鉱物
7, 5, 2	57.1	85.7	50.0	100.0	33.3
1/3,4/7,2/5	42.9	42.9	33.3	100.0	66.7
7, 1/4,5/7	57.1	71.4	50.0	100.0	50.0

2. 粗粒の場合

バンド または バンド比	鉱物群の名称				
	珪酸塩 鉱物	酸化 鉱物	炭酸塩 鉱物	磷酸塩 鉱物	硫化鉱物/ 硫酸塩鉱物
7, 1, 5	37.5	71.4	100.0	100.0	37.5
3/4,1/5,1/2	0.0	42.9	87.5	50.0	75.0
7, 3/4,1/5	50.0	57.1	75.0	100.0	75.0

3. 全試料の場合

バンド または バンド比	鉱物群の名称				
	珪酸塩 鉱物	酸化 鉱物	炭酸塩 鉱物	磷酸塩 鉱物	硫化鉱物/ 硫酸塩鉱物
7, 1, 4	26.0	85.7	57.1	50.0	28.6
1/2,3/4,1/5	20.0	35.7	64.3	50.0	57.1
7, 3/4,1/5	40.0	71.4	50.0	50.0	42.9

第2表 粒径別の判別結果

粒径の差異	全体としての判別正解率		
	バンド	バンド比	バンドとバンド比
細粒	60.7%	50.0%	60.7%
粗粒	63.6%	51.5%	66.7%
全試料	49.2%	44.3%	50.8%

で、サンプリング間隔は10nmである。太陽の分光放射照度データと1962年米国標準大気モデル(春-夏)による大気中での透過率を用い、センサに入射する放射輝度を各鉱物についてシミュレーション計算し、判別分析の入力データとした。なお、天空光やパスラジアンは無視している。ここで対象としたセンサーは、ランドサットTMである。即ち、熱赤外領域のバンド6を除く、可視-短波長赤外領域の6つのバンドである。判別分析には、段階的線形判別分析法を用い、各鉱物群を判別するのに適するバンド、バンド比およびこれらの組み合わせを求めた。なお、分光反射特性は、鉱物試料の粒径により差があるため、細粒(粒径74 μ 以下)、粗粒(粒径74 μ 以上)および全試料の場合について検討した。第1表と第2表に、その結果をまとめた。この結果から、次のように結論づけた。

(1) ランドサットTMの可視-短波長赤外領域の6つのバンドのうち2.2 μ m帯のバンド7が岩石分類に寄与すると期待される。

(2) TM画像による岩石判読には、バンドとバンド比を組み合わせた画像が適する可能性がある。

(物理探査部)

野外用スペクトロメータによる変質帯マッピングとAIS画像解析への適応

山口 靖・Ronald J.P.Lyon

粘土鉱物や炭酸塩鉱物などは、短波長赤外域(1.3-2.5 μ m)の反射スペクトルにおいて特徴的な吸収パターンを示す。このため、地質リモートセンシング分野では、この電磁波領域を対象としたセンサーの開発が、ひとつの傾向となっている。いっぽう、この領域を対象とした野外用スペクトロメータも数年前から出現し始めており、リモートセンシングのグランドトゥールズ取得用としてだけでなく、探査用機器としての可能性も検討されている。講演では、まず、分光光学系として回折格子を用いたもの(IRIS)と、CVFを用いたもの(PFS)について、それにより得られた反射率データの比較結果に

ついて報告した。前者はスペクトル分解能は高いが、測定時間が長いことが難点である。後者は測定時間は短い、分解能はやや劣る。しかし、いくつかの種類の鉱物の識別については、後者でも十分なデータが得られることがわかった。

次に、IRISのデータを用いて、鉱物同定を自動的に行うソフトウェアの開発について報告した。まず、スペクトロメータにより得られた反射率データから、特徴的な吸収ピークのみを自動抽出し、その波長位置と吸収強度に応じて16進法様の文字によりコード化する。このコードをデータファイル内の鉱物コードとマッチングすることにより、鉱物名が同定される。この方法を実際の岩石試料について適用したところ、フィールド用としては十分な結果が得られた。

最後に、スペクトロメータのデータをグランドトゥールズとして使用した例を報告した。米国NASAは、AIS(Airborne Imaging Spectrometer)と呼ばれる128チャンネルの撮像システムを開発している。現在、画像上のピクセル値パターンをいかにして地表物質の物性値である反射率パターンに変換するかが問題となっており、いくつかの処理手法が提案されている。演者らは、地表ターゲットの反射率とピクセル値との一次相関式を求め、生データを反射率画像データに変換した。この結果を基に、提案されているグランドトゥールズを用いない3つの処理手法を評価したところ、一般的にはLog Residual法、Least Upper Bound法、Flat Field法の順に優れていることが明らかとなった。

(地殻熱部・スタンフォード大学)

SAR(合成開口レーダ)画像による リニアメント解析

山口 靖・矢野雄策・村岡洋文・長谷紘和

SAR(合成開口レーダ)画像は、情報媒体としてマイクロ波を用いること、能動型センサーであることなどから、空中写真とは異なる特徴を有している。SAR画像では、強い陰影コントラストのため、特定方向の地形が選択的に強調される傾向が特に強い。従来は、照射方向に対して直交する地形・地質構造が強調されるとされてきたが、新エネルギーが総合開発機構により得られた日本のSAR画像では、照射方向に対して20-30度をなす方向のリニアメントの抽出頻度が相対的に高く、その方向の選択的強調効果が予想された。これを説明するために、日本の地形をモデル化した。すなわち、直線的な谷

がりニアメントとして判読される場合、その多くは2次谷であり、谷斜面上には1次谷が発達する。この2次谷が直線的な陰影パターンとして画像化される条件は、レーダ波照射伏角、谷斜面傾斜、谷方向とレーダ波照射方向とのなす角度、の3者の間の関係により決まる。提案した地形モデルに対してこの強調条件成立範囲を求めると、照射方向に対して20-30度方向において最も強い選択的強調効果が働くことが示された。

画像上で判読されたリニアメントは、地下の地質現象、おそらくは断裂を反映した直線状の地形特徴のことである。しかし、判読されたリニアメントが実際にはどのようなタイプの断裂に対応するのか明らかでない場合も多い。東北地方北部の2つのテスト地域での現地調査結果によれば、リニアメントは、1本の断層を示す場合だけでなく、周囲と比較して高い節理密度を示す場所や、特に節理密度は高くなくとも特定方向の節理の卓越する場所など、様々な場合に対応する可能性がある。今後われわれは、リニアメントに対して、もうすこし具体的かつ共通的な認識を持てるよう努める必要があると思われる。

(地殻熱部)

ランドサットMSS画像の線状模様抽出と カラー表示

浦井 稔*・古宇田亮一**・佐藤 功*・津 宏治*

地質学の分野において、リモートセンシング画像は、地質構造解析等に広く応用されている。画像中に出現する線状模様(直線状または弧状の模様)のうち、地下の地質構造を反映していると考えられるものはリニアメントと呼ばれ、地質構造解析を行う上で重要な役割をもっている。

本研究では、画像中に出現する線状模様を抽出するためにエッジ検出型マスクによるテンプレート・マッチング・オペレータを開発した。このオペレータを伊豆半島のMSS画像に適用したところ、既知のリニアメントを抽出することができた。さらに、線状模様を強調するために線状模様の方向と強さをHSIカラー・モデルの色相と明度に割り当てる表示方法を開発した。この表示方法は不連続な線状模様の把握および特定パターンをもつ形の認識に利用することができる。

(*物理探査部・**鉱床部)

ランドサット TM 画像のテクスチャ解析

坂上勝彦

ランドサット TM 画像に対する、地質区分のための新しいテクスチャ解析手法を紹介する。アルゴリズムは、いくつかの SPIDER サブルーチンを中心に構成されており、次の2段階に分けることができる。

Step.1: ミクロな特徴(ラプラシアン強度)を利用することによって、原画像をある程度の面積を持った基本領域に分割する。

Step.2: 基本領域ごとに濃度同時生起行列に基づくテクスチャ特徴量を計算する。

ラプラシアンは、一般には、雑音を強調するという副作用に注意する必要があるが、テクスチャ解析ではこれを逆に利用しようというのが本手法の考え方である。また、2段階からなる手法を採用した理由は、「広い範囲でのテクスチャ特徴量の計算」および「詳細な領域境界の抽出」というあいまいな2点を両立させるためである。

Step.1 はさらに4つのサブステップ(第1図参照)から構成される。すなわち、

- (a) 原画像にラプラシアン(3×3)オペレータ(EGLP)を施し、その絶対値を計算する。
- (b) (a)の結果を3×3単純平均化オペレータ(FLWL 2)でまず平滑化し、さらに「エッジを保った平滑化(EGPR)」を4回反復する。
- (c) 平滑化結果を領域拡張処理(RMRG 3)によって複数の領域に分割する。
- (d) 小領域(面積50画素未満)を併合することにより、画像を50画素以上の面積を持つ基本領域に分割し直す。

ただし、(EGLP)等には実際に使用した SPIDER サブルー

チン名である。サブステップ(d)については、相当する SPIDER ルーチンが存在しないため、新たにプログラムを開発した。なお、EGLP, FLWL 2, EGPR については、画像処理専用高速プロセッサ DcAnza IP8500 への移植に成功しており、高速実行が可能である。

いくつかの演算についてさらに説明を加える。

エッジを保った平滑化は、5×5の平滑化オペレータである。像のエッジをばかすことなく雑音を抑制することができる。また反復することによりエッジを鮮鋭化することもできる。ここでは、後者の性質を積極的に利用する。すなわち領域拡張が領域の輪郭の部分で正しく終了できるようにエッジを鮮鋭化するのである。

領域拡張は、ある画素とその隣接画素との濃度レベル差があるしきい値 thr 以下であればその2点を1つの領域として統合する、というプロセスを領域が広げられなくなるまで反復する処理である。実験では、thr=1として、隣接画素の条件としては4連結を採用した。

小領域の併合は、面積の小さい領域から順次、共通境界線の最も長い隣接領域との併合を行い、これを全領域が50画素以上の面積になるまで反復することによって実現される。

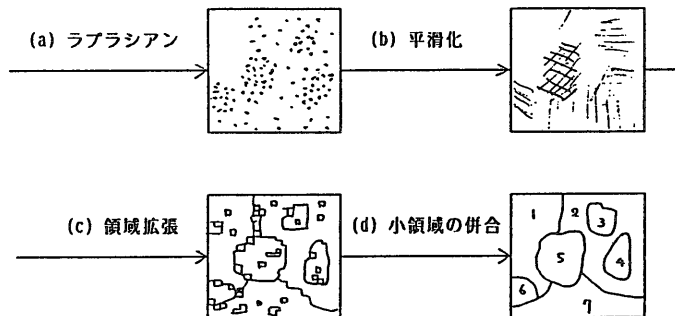
Step.2 では、テクスチャ特徴 Difference moment (f_2) を各基本領域について原画像から計算する。(COMX1, COF)

$$f_2 = \sum_k k^2 \left(\sum_{i=k}^8 \sum_{j=k}^8 P(i, j) \right)$$

ただし、P は 8×8 の濃度同時生起行列である。入力画像は陸領域のみで求めた濃度ヒストグラムに基づいて8レベルにヒストグラム平坦化を行っている。変位ベクトルは、(1, -1) すなわち NW→SE である。

桜島の TM 画像バンド4 に対し処理を行い、良好な結果を得た。

(電子技術総合研究所)



第1図 基本領域への分割処理

重磁力データとリモートセンシングデータ との重合画像

宮崎芳徳

リモートセンシングデータは主に地球表面上の情報を提供してくれるが、これに地下深部情報を有する地球物理学データ(重力および空中磁気データ)を付加した重合画像作成により、質の高い判読が可能となる。対象エリアとして、地熱ポテンシャルが高く、また地震災害の可能性も残っている米国カリフォルニア州ロングバレーカルデラを選び解析を実施した。ベースマップとして、National Cartographic Information Center (NCIC) のデジタル標高データ(地上分解能 60 m)を用い、計算機を用いたカラー合成陰影画像(shaded relief map)を作成した。この陰影画像は衛星画像データと比べて、植生の影響が全くなく、純粋に構造要素だけの情報であるので、ロングバレーのような、パイアス型カルデラ構造・カルデラ内の resurgent dome・Keystone グラーベンなど特徴あるストラクチャを有する地域にたいしては実に判読効果の大きい画像である。

空中磁気データは、貫入岩体の位置、地表変質帯のマッピング、磁性の異なる岩石分類、温度上昇による磁性損失などの特徴をもち、これに対して重力データは地下深部の質量欠損、大規模断層の存在、地表浅部の堆積物の層厚などの情報を有するので、これらと先の標高データの陰影画像および Landsat MSS を主体とする衛星データとを組み合わせると、地質学的・地球物理学的見地より総合的解釈が可能となった。

(地殻熱部)

衛星画像を端緒とする八甲田広域火山地域の カルデラ群の研究

村岡洋文・山口 靖・長谷紘和

直径 10 数 km のオーダーの開析されたカルデラを、地質踏査のみからアプリアリにみつけ出すことは大変難しく、また効率的でない。MSS から TM や SPOT へと、急速に進歩しつつある衛星センサーは、大規模な地質構造の探査に、堅実な道具を提供している。

演者らは、標題の地域において、衛星画像や航空機レーダー画像を活用し、その判読結果を作業仮説として系統的な現地調査を行ってきた。その結果、湯ノ沢、碓ヶ

関、沖浦の3つのカルデラの存在と、不明とされてきた八甲田カルデラの南西縁が明らかとなった。これに十和田カルデラを加えると、八甲田広域火山地域では鮮新世以降、5つのカルデラが40km×40kmの範囲に順次形成されたことになる。これらは時間的にも空間的にも密接しており、東北日本弧における火山分布のセグメント構造が、少なくとも鮮新世頃には成立していた可能性を示している。

本講演ではこれらカルデラの各々について、地質・構造・年代・岩石化学・地熱の特徴を総括し、衛星画像に端を発した本研究のその後の展開を紹介した。

例えば、湯ノ沢、沖浦の両カルデラは“ピストン陥没型”であり、環状断層を特徴的に伴う。特に、後者では環状断層が多数の露頭で観察される。これらの火砕岩は、多かれ少なかれ、Or 成分に富、流紋岩質である。碓ヶ関、八甲田、十和田の3カルデラは“じょうご陥没型”である。その火砕岩は、Or 成分に乏しく、デイサイト質である。これら3カルデラの火山岩類は、それぞれ先カルデラ期から後カルデラ期に向かって、ソレイイト岩系からカルクアルカリ岩系へ変化する傾向を示す。八甲田広域地熱地域の60℃以上の温泉は、大部分がこれら5つのカルデラ内に分布する。従って、この地域の地熱は、熱源・貯留層構造共に、カルデラによって支配されているといえることができる。

(地殻熱部)

衛星画像のリニアパターンから見たカルデラ 生成機構と熱水鉱床探査への応用

古宇田亮一

ランドサット衛星画像にあらわれるカルデラの形状をリニアパターンから解析し、2万5千分の1地形図との対応関係を調べた。代表的な日本のカルデラ湖、支笏湖、洞爺湖、十和田湖、田沢湖を検討すると、湖底等高線から見て、カルデラ湖の形状が平板状の壁で囲まれたすり鉢形の多角形状を示すことが共通して見出された。衛星画像のリニアパターンの多角形状と、精密な地形図にみられる多角形状は良く一致する。

カルデラが多角形状を示す原因は、マグマの垂直上昇による押し上げで地表を隆起させる応力が発生、実際に隆起が生じると、岩体は割れ目を発生させることによると考えられる。もし、マグマの形状が球体に近ければドーム状隆起となり放射状割れ目が顕著になるが、もしマグマの形状がクサビ状である場合は、横方向の押し圧力が

強まり、岩体が水平に分離する結果、中央が逆に沈降することになる。地表付近における垂直方向の応力は零に近い。この割れ方は拡張割れ目である。多角形カルデラが発生するのは、マグマがクサビ状の場合と考えられる。この時、平面を安定的に線で分割する必然性から、四角形、六角形、三角形の陥没が理想的である。実際のカルデラ火口のリニアパターンも、四-六角形状が多い。

一方、マグマの存在による熱の供給と割れ目発生による水の移動で、熱水循環と変質が進行する。このような場では、変質に伴って、恐らくその後期に金鉱床の形成が考えられる。実際に南九州で金鉱床の分布とリニアパターンの多角形状は良い一致を示している。このことから、衛星画像のリニアパターンに注目した熱水性金鉱床の探査への応用が今後考えられよう。

(鉱床部)

衛星画像による珪長質マグマの比較解剖学

村岡洋文

本講演では、衛星画像を用いて、珪長質マグマに由来するプルトンや火山中心を、グローバルに比較した。

先ず、サウジアラビア、ニジェール、韓国、南部北上、中国地方の画像を用い、珪長質プルトンが直径10数

kmの円形-楕円形の形状をもっている例を紹介した。次に、リビア、韓国の画像を用い、珪長質プルトンの削剝レベルが浅いと、直径10数kmの円形-楕円形の環状岩脈としてみられることを紹介した。さらに、バイアスカルデラや沖浦カルデラの画像を紹介し、楕円状プルトンや環状岩脈の地表火山形態としては、後カルデラ丘が環状に配列するバイアス型カルデラが考えられることを示した。

これら珪長質プルトン、環状岩脈、バイアス型カルデラの大きさを比較すると、直径16-20kmのものが多い。従って、これらは地殻浅所に定置した大型の珪長質マグマと、その上部に派生する構造として理解される。

このような珪長質マグマの上昇は、マグマの浮力によるダイヤビルとして起こるのであろう。環状岩脈や環状断層は、珪長質マグマの天盤に、放射状の局部伸張応力場が生じることを示している。その原動力は、天盤の広域ドーム形成による伸張応力であろう。環状岩脈や環状断層が楕円形である場合は、これらマグマ性局部応力場が広域応力場の干渉を受けたことを示している。例えば、バイアスカルデラの後カルデラ丘が東西に長い楕円上に配列することや、ロングバレーカルデラの環状断層が東西に長いことは、リオグランデやペーズンアンドレンジの広域応力場が東西への伸張応力場に支配されていることの必然的な結果として理解される。

(地殻熱部)