

# 人工衛星データによる地形解析事例 その4

## Examples of topographic analysis by using satellite data - Part 4

西脇 二一\*・石山 一義\*\*・藤谷 和樹\*\*

Niichi Nishiwaki, Kazuyoshi Ishiyama and Kazuki Fujitani

### I. はじめに

LANDSATをはじめとする地球観測衛星のデータを用いたリモートセンシングは地形・地質の解析に利用されており、著者らは奈良を中心とする地域における事例研究を続けている。2000年度にはLANDSAT 5号のTMおよびMSSの画像で地形がどのように表現されるか、土地被覆がどの程度分類できるかについて考察した（西脇ほか、2002）。2002年度にはレーダーサットERSのAMIデータの処理を行い、ERS画像とLANDSAT画像との地形表現の違いを考察した（西脇ほか、2004）。2004年度には高解像度バンドを持つLANDSAT 7号 ETM+ データの処理を行い、ETM画像における地形表現とそれに基づく住居区分の判別を試みた（西脇ほか、2006）。2006年度には地質判別、水温分布およびリニアメント解析に関する研究を行ったので、その結果を報告する。

本研究は著者の1人（西脇）が平成18年度奈良大学研究助成を受け、地理学専攻修士課程1回生であった他の共著者と共同研究として行ったものである。研究の機会を与えて頂いた奈良大学に感謝申し上げます。

### II. データおよび解析システム

本研究で使用したLANDSATデータは、著者らが過去および今回の研究助成で入手したものである。いずれも宇宙航空研究開発機構（旧宇宙開発事業団）の鳩山地球観測センター（略称HEOC）で受信されたもので、（財）リモートセンシング技術センターを通して購入したものである。

本研究ではこれまでと同様にパソコンをベースとした個人用解析システムを利用した。リモートセンシングデータ解析ソフトとしてはEXPIA 2.0（富士通FIP（株）、1999）およびERDAS IMAGINE 8.7（ESRIジャパン（株）、2004）の二つを併用し、その他の画像処理・統計解析・

表計算などについては一般的なパソコン用汎用ソフトを使用した。バージョンアップおよび一部のモジュールは追加しているが、基本的には西脇ほか（2006）と同じシステムである。

### Ⅲ. 京都府和束町・笠置町周辺の地質判別

岩盤が直接露出している地域を除けば、地質を直接観察することができないので、リモートセンシングによる地質判別は困難であるとされている。日本のように植生が厚く、人工的な土地利用も進んでいる地域では、地形、植生、土地利用のように地表に直接出ている特性から間接的に地質を判別せざるを得ない。すなわち、地表に現れている特性には何らかの形でその下の地質を反映していると仮定し、地表を計測したリモートセンシングデータにも地下の地質が反映されているとして、地質の判別を行うのである。

これまで近畿地方のいくつかの地域についてLANDSATデータを用いた地質判別を試みたが、一部の特殊な地域を除けば、地質図に示されるような細かな区分は困難であった。そこで今回は地質区分を粗くとり、狭い地域について地質判別を試みることにした。

解析地域については、奈良盆地周辺で人工的な改変の少ない地域を探し、京都府和束町から笠置町にかけての地域を対象として設定した（図1）。

5万分の1地質図「奈良」（尾崎ほか、2000）ではこの地域の地質を細かく細分しているが、今回は以下の3グループに集約した。

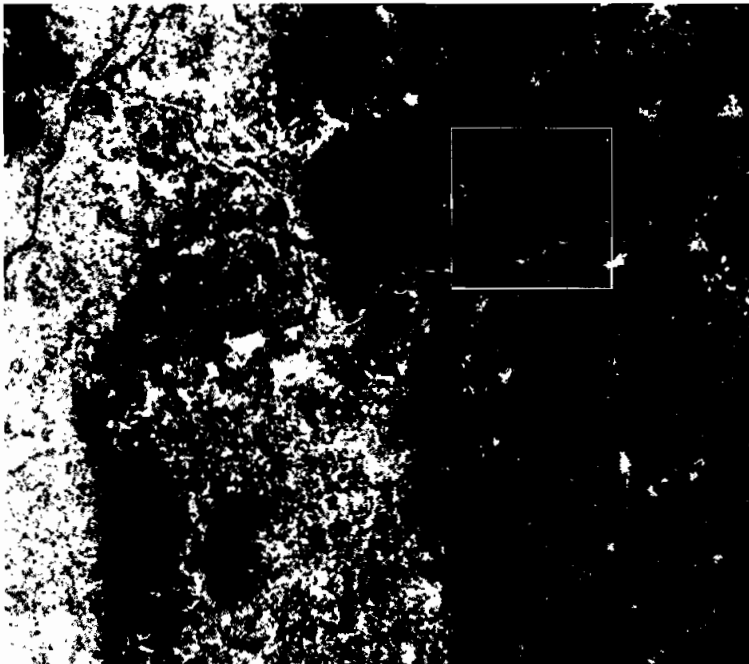


図1. 奈良盆地周辺のLANDSAT 5号ナチュラル画像と解析地域（左上白枠）。  
使用データはシーン番号：110-36、撮影日：1991年4月3日。

- a. **付加体岩類**：この地域の基盤となる中生代の付加体を構成するもので、ベルム紀から三畳紀のチャート、ジュラ紀の砂岩・泥岩などを一括して扱う。
- b. **花崗岩類**：白亜紀に前述の付加体に酸性のマグマが貫入してできた領家花崗岩類で、年代(新期・古期)、岩石名(花崗岩・花崗閃緑岩・トータル岩)、有色鉱物および分布地域によって多くの岩体に区分されているが、それらを一括して扱う。
- c. **新生代層**：新生代の鮮新世以降の大阪層群および段丘層で、年代や岩相によって細かく区分されているが、それらを一括して扱う。

年代や岩相の異なるものを一括することで、地質区分としては曖昧なものになるが、このような大まかな区分であれば地表の特性にもある程度反映できていることを期待したのである。

これらのグループ毎に地質図上でできるだけ異質なものが含まれない地域をトレーニングエリアとして設定した(図2)。

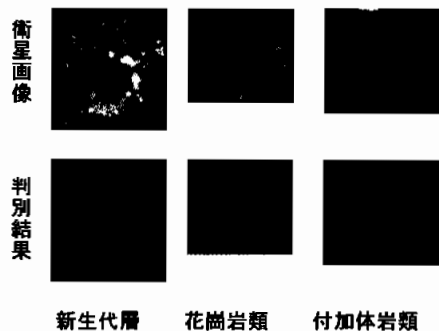


図2. 解析地域に設定したトレーニングエリアの衛星画像(上)とその判別結果(下)。  
赤：花崗岩類、緑：付加体岩類、青：新生代層、黒：未区分。

使用バンドについては、地質を反映している可能性がある特性をできるだけ均等に扱うことを目指して、可視域・赤外域・熱赤外域をカバーするように4つのバンド(Band 1, Band 3, Band 4, Band 6)を用いることとした。

それらのバンド毎のDN値の平均と標準偏差(表1)にもとづいて、それぞれのトレーニングエリアについて地質判別を行った(図2、表2)。その結果、新生代層については95%以上

表1. 各グループのDN値の平均(上段)と標準偏差(下段)。  
グループ名下の括弧内の数字はトレーニングエリアのピクセル数

		バンド1	バンド3	バンド4	バンド6
新生代層 (2396)	mean	82.0	38.5	61.9	114.4
	s.d.	9.5	10.0	13.7	2.6
花崗岩類 (1671)	mean	64.6	21.5	47.2	103.5
	s.d.	2.9	3.2	12.2	2.0
付加体岩類 (2251)	mean	61.2	18.3	40.0	100.9
	s.d.	1.6	1.7	8.2	1.4

表 2. トレーニングエリアの判別結果 (%)

地質図の グループ	判別されたグループ			
	新生代層	花崗岩類	付加体岩類	未区分
新生代層	95.6	1.0	.0	3.5
花崗岩類	.1	74.0	23.5	2.4
付加体岩類	.0	8.1	91.1	.8

が元のグループに判別されたが、付加体岩類については91%、花崗岩類については74%しか元のグループに判別されなかった。つまり、基盤岩類と表層の新生代層との判別はできるが、同じ基盤岩である付加体岩類と花崗岩類の間の判別が難しいことが示されている。なお、未区分と判別されているのは、ピクセル単位のDN値からは、これらの3グループのいずれにも判別できないものである。

トレーニングエリアによる判別は必ずしも満足行くものではないが、この判別基準を用いて解析地域の地質判別を行った（図3、表3）。その結果と元の地質図（垣見ほか、2000）を比較してみると、それぞれのグループの大まかな分布は現れているが、全体として付加体岩類の分布が狭く、新生代層と花崗岩類の分布が広がっている。これは、前述の花崗岩類と付加体岩類の判別が難しいことと、基盤岩類の分布域の端が新生代層に判別されていることが原因と考えられる。なお、未区分は河川を中心とする沖積層に相当しており、これは新生代層と区別できることを示している。

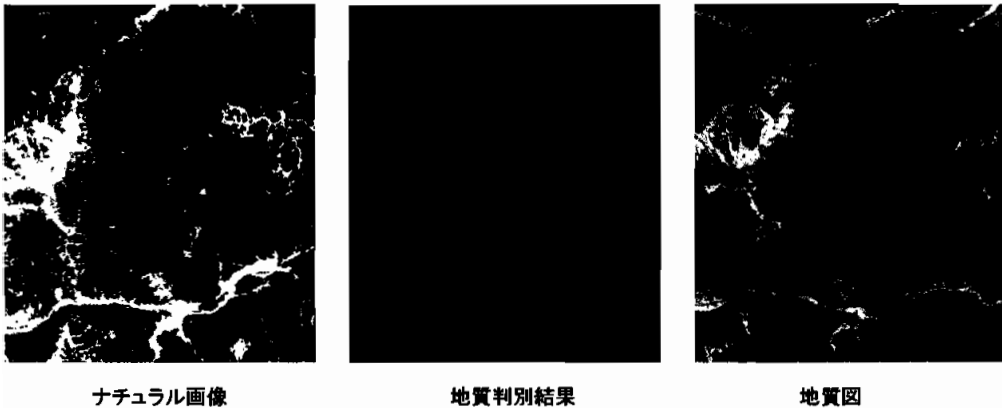


図 3. 解析地域のナチュラル画像、地質判別結果、および地質図（5万分の1地質図「奈良」より）。判別結果および地質図の凡例については表3参照。

表3. 各グループの地質判別図および地質図における区分。  
地質図における区分は尾崎ほか(2000)による。

グループ	判別図の区分	地質図の区分
新生代層	青色	淡水色・淡緑色(段丘堆積物), 淡黄色・黄緑色(大阪層群)
花崗岩類	赤色	桃色(新期領家花崗岩類), 赤紫色(古期領家花崗岩類)
付加体岩類	緑色	朱色(チャート), 橙色(砂岩), 灰茶色(泥岩)
未区分	黒色	白色(現河床堆積物・谷底平野堆積物)

#### IV. 琵琶湖南部の水温分布解析

LANDSAT TMのバンド6は熱赤外域バンドで、地表温度の観測に利用されている。本論では地表温度の解析例として琵琶湖南部の水温分布の解析を試みた(図4)。

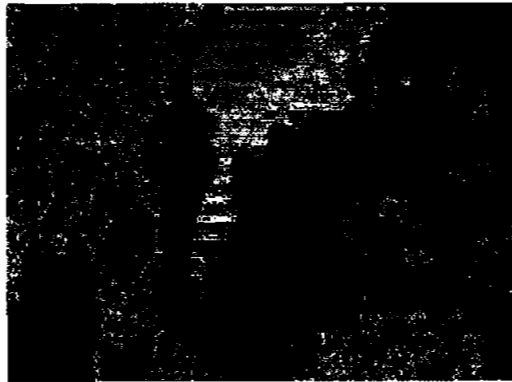


図4. LANDSAT 5号熱赤外バンド(Band 6)による琵琶湖の水温分布。  
使用データはシーン番号:110-36、撮影日:1991年4月3日。

このバンド6のDN値と地表温度との関係については、NASA(米国航空宇宙局)の公表した係数に基づいて以下の関係式が示されている(宇宙開発事業団地球観測センター、1986)。但し、この関係式については、センサーの劣化が考慮されていない、地表基準点による補正が行われていない、などの問題がある。

$$R = \{(V/255) \times (R_{\max} - R_{\min}) + 0.1534\} / 1.239$$

$$R = 5.1292 \times 10^{-5} \times T^2 - 1.7651 \times 10^{-2} \times T + 1.6023$$

ここで、 $R$ : 絶対放射輝度 ( $10^{-3} \text{Wcm}^{-2}\text{sr}^{-1}$ )

$V$ : バンド6のDN値、 $R_{\max}$ : 最大放射輝度 [ $1.896 \times 10^{-3} (\text{Wcm}^{-2}\text{sr}^{-1})$ ]

$R_{\min}$ : 最小放射輝度 [ $0.1534 \times 10^{-3} (\text{Wcm}^{-2}\text{sr}^{-1})$ ]

$T$ : 観測輝度温度 ( $^{\circ} \text{K}$ )。

実際の地表温度を計算するためには、上記の関係式に地表の基準点の温度を加味した補正を行う必要がある。しかし、今回使用したデータは1991年4月3日午前10時撮影のものであるが、これに該当する水温分布データは入手できなかったため、補正は行わず、水温分布パターンのみを考察することとした。

滋賀県琵琶湖環境科学研究センターのHPでは水深50cmの水温が月別で公開されている。1991年のデータはないので、今回は1994年4月データを参考にするものとした。それによると北湖の最低水温が9.4℃、南湖の最高水温が15.7℃となっており、今回の解析地域における最低温度（青色）と最高温度（赤色）の温度差は約6℃と推定できる。

北湖に比べて南湖の水温が高くなっていること、北湖も南湖も中心部より周辺部の水温が高くなっていること、北湖では西岸よりも東岸の水温が高くなっていること、南湖では北部よりも南部の方が水温が高くなっていること、などの特徴が読み取れる。これらは、琵琶湖の沈降中心が北へ移動して、北湖は広く深くに対して、南湖が狭く浅くなっているという構造上の違いが反映していると考えられる。南湖の水温上昇については、南湖の周辺の都市化が進んでいるという社会的背景も影響していると考えられる。

## V. 若狭東部のリニアメント解析

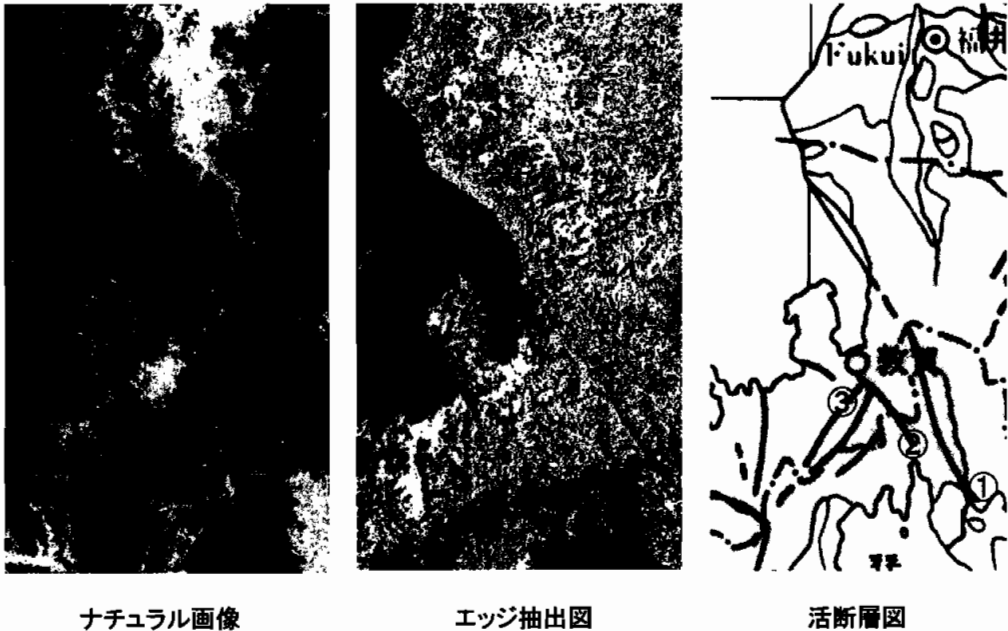
LANDSATデータは広域の地形を均質なデータとして扱えるという特徴があり、地形の中に含まれる線構造（リニアメント）の解析に利用される。リニアメントには地形境界、海岸線、地層区分、断層などの自然境界を表すものだけでなく、道路や鉄道などの人工的なものも多い。ただし、人間が人工物を作る際に自然を無視することはできず、人工的なリニアメントが断層などの自然のリニアメントと重なっていることも多いので、注意して判別する必要がある。

今回は、大規模な地形変化が少なく、また、活断層がよく観察できる琵琶湖北東の若狭東部についてリニアメント解析を試みた（図5）。

この地域は西側の丹波山地と東側の美濃山地の接合部である。人間の視覚に近いLANDSATナチュラル画像では、山、谷、海岸線、および平野と山地の境界にNW-SEおよびNE-SWの2方向が卓越している。特に、木之本から干飯崎を結ぶ谷と海岸線で構成されるNW-SE方向が明瞭である。

LANDSAT TMのバンド4は近赤外線バンドで、地形解析に適しているとされているので、このバンド4で微分オペレータによるエッジ抽出を行った。その結果、長さは数kmの短いものが大部分であるが、NW-SEおよびNE-SWおよびN-Sの3方向のリニアメントが多数抽出された。その中のいくつかは連結されて長く伸びているものもあり、木之本から北西に延びるリニアメントは50kmに達し、敦賀南西には10kmを超えるWNW-ESE方向の2本のリニアメントがつながっている。琵琶湖北東地域では、NE-SW方向のリニアメントが何本も並行している。

これらのリニアメントを既知の活断層と比較すると、柳ヶ瀬断層①は木之本から北西に伸びる長いリニアメントに対応し、集福寺断層②は敦賀南西のWNW-ESE方向のリニアメントの東



ナチュラル画像

エッジ抽出図

活断層図

図5. 若狭東部のLANDSAT 5号ナチュラル画像、エッジ抽出図、および、断層分布図（2百万分の1日本活断層図に断層番号を追加）。

使用したLANDSAT データはシーン番号：110-35、撮影日：1992年4月21日。

活断層図に追加した活断層名称は、①：柳ヶ瀬断層、②：集福寺断層、③：敦賀断層。

半分に対応する。また、敦賀断層③およびそれと平行な断層は琵琶湖北方地域の複数のNE-SW方向のリニアメントに対応するものと考えられる。

LANDSAT TMのピクセルサイズ（30m×30m）の制約で、LANDSAT画像から抽出できるリニアメントは大きなものに限定されるため、全ての活断層と対比することはできない。しかし、広域を均質に観察できるLANDSATだからこそ抽出できるリニアメントもあり、今後更に検討を続けたい。

## VI. おわりに

本研究ではLANDSATデータからどのような情報がどの程度読み取れるかを検証したものであるが、バンド毎の輝度という限定されたデータからの情報抽出は必ずしも容易ではない。特に地質のような地表データから間接的に抽出せざるを得ないものについてはなお多くの課題が残されており、必ずしも十分な結果は得られなかった。今後、地域および地質区分を変えて解析を続け、解析精度を上げていきたい。

なお、本研究で使用したLANDSATデータの著作権者および提供者は以下である。

衛星データの所有：米国政府

衛星データの提供：SpaceImaging®/宇宙航空研究開発機構

## 引用文献

- ESRIジャパン（株）（2004）ERDAS IMAGINEツアーガイド。
- 富士通FIP（株）（1999）EXPIA Version 2.0 HTMLヘルプ。ソフトウェア組込ファイル。
- 垣見俊弘・衣笠善博・加藤禎一編（1978）2百万分の1日本活断層図。地質調査所。
- 西脇二一・平 壽孝・成松友己・野田 卓・見崎晴章（2002）人工衛星データによる地形解析事例。奈良大学総合研究所報、第10号。
- 西脇二一・谷口賢也・関 泰二郎・都筑密乘（2004）人工衛星データによる地形解析事例 その2。奈良大学総合研究所報、第12号。
- 西脇二一・羽田康祐・藤本 悠・三好達也・出羽一貴・中井 歩（2006）人工衛星データによる地形解析事例 その3。奈良大学総合研究所報、第14号。
- 尾崎正紀・寒川旭・宮崎一博・西岡芳晴・宮地良典・竹内佳史・田口雄作（2000）5万分の1地質図「奈良」。地質調査所。
- 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター（2007）<http://www.lberi.jp/aspx/bkgis/bkgismain.aspx>（2007.8.5.内容確認）
- 宇宙開発事業団地球観測センター編（1986）地球観測データ利用ハンドブック。リモートセンシング技術センター。

## Summary

The LANDSAT TM data were used for topographic analysis of Nara and its adjacent area. Four TM bands were selected to analyze the geology of the Wazuka area in the north of the Nara basin, and the major three divisions were discriminated with higher significance. The TM band 6 was used to analyze the water temperature of Lake Biwa, which shows a clear difference between the southern and northern parts of the lake. The TM band 4 was used to analyze the linearment pattern in the northeast of Lake Biwa, in which NE-SW and NW-SE fault patterns were extracted, though the more integrated methods should be introduced to define individual faults.