

## 人工衛星データによる地形解析事例

Examples of topographic analysis by using satellite data

西脇二一<sup>\*</sup>・平 壽孝<sup>\*\*</sup>・成松友己<sup>\*\*</sup>・野田 卓<sup>\*\*</sup>・見崎晴章<sup>\*\*</sup>

Niichi Nishiwaki<sup>\*</sup>, Toyotaka Taira<sup>\*\*</sup>, Yuki Narimatsu<sup>\*\*</sup>, Suguru Noda<sup>\*\*</sup> and Haruaki Misaki<sup>\*\*</sup>

### はじめに

リモートセンシングは人工衛星・航空機・気球などに搭載したカメラやセンサーで採取した写真やデジタルデータを用いて、地球に関する情報を解析するものである(土屋, 1990)。センサーおよび解析技術の発達に伴ってリモートセンシングの対象は拡大し、地形・地質・植生・水温・海流・気象などの自然環境だけでなく、土地利用・資源開発・遺跡調査・災害監視・航路管理など多様な活用がされている。地表調査による記載を基礎とする地形・地質の研究においても、予備調査および広域対比などの段階でリモートセンシングが利用されるようになった。

データサイズが大きいため、かつてはリモートセンシングのためには大型計算機ないし専用解析システムを必要としたが、コンピュータ技術の向上によって、汎用パソコン上での作業が可能となってきた。本研究では、地形・地質の研究の基礎としてリモートセンシングを利用するためのシステム構築とデータの整備を行い、いくつかの解析を試みたので、ここでその概要を報告する。

本研究は著者の一人(西脇)が平成12年度奈良大学研究助成を受け、地理学専攻の大学院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。助成をしていただいた奈良大学に感謝申し上げる。

### 解析システム

今回は著者の一人(西脇)が所有していたパソコンシステムに、リモートセンシング用ソフトのみを追加して解析システムを構築した。研究遂行中はこのシステムを社会学部棟の西脇研究室と総合研究棟の地理学専攻大学院生研究室の間を移動させて共同利用した。

ハードウェアは、HDD (6.4GB)・CD-ROM・FDD 内蔵のデスクトップパソコン NEC Mate

---

<sup>\*</sup>奈良大学社会学部人間関係学科

<sup>\*\*</sup>奈良大学大学院文学研究科地理学専攻修士課程

NX MA46H (CPU: Intel Celeron 466MHz, ROM: 64MB) に、プリンター (モノクロレーザーおよびカラー BJ)、スキャナー (600dpi)、CD-RW ドライブ、MO ドライブ (640MB)、および Zip ドライブ (100MB) を外付けし、LAN に接続したシステムである。人口衛星データはサイズが大きいため、これに対応できる補助記憶装置および画像処理装置は増設してあるが、ごく一般的なパソコンシステムである。なお、カラー印刷には社会学部所有のカラーレーザープリンターも利用した。

ソフトウェアは、OS としての Windows 2000 Professional と、その下で稼働するリモートセンシング統合ソフト EXPIA ver 2.0b (富士通 FIP 製) を中心として、一般的なデータ処理・文書処理・画像処理・インターネット検索などのソフトウェア (MS Office Professional, Netscape Navigator 4.7 など) を併用した。

EXPIA は地球観測センターで作成された CEOS フォーマットのデータを読み込んで PLIA フォーマット (EXPIA の保存形式) に変換し、それを変換・補正・抽出・合成・演算・解析・分類および表示する機能を持っている。EXPIA は LANDSAT の MSS・TM データだけでなく、MOS-1・SPOT・JERS-1・ADEOS・EERS-1・RADERSAT など多くの衛星のデータが扱える (富士通 FIP, 1999)。

## LANDSAT

地球観測衛星はいくつかあり、研究対象によって使い分けられているが、地形・地質の研究においてもっともよく利用されているのは LANDSAT である。LANDSAT には、1972 年に打ち上げられた 1 号 (当時は ERTS と呼ばれていた) から 5 号まであって、改良が繰り返されており、3 号までと 4 号からとは軌道も少し異なっている。ちなみに今回多く使用した 5 号では、高度 683 ~ 698km、周期 98.6 分の太陽同期軌道 (太陽との相対角度が一定となる軌道で、同一緯度の地点は同一地方時に通過する) となっており、日本上空を通過するのは朝 9 時頃、同じ地点を通過するのは 16 日毎である。

LANDSAT に搭載されているセンサーには、MSS (Multi Spectral Scanner)、RBV (Return Beam Vidicon)、および TM (Thematic Mapper) の 3 種類がある。センサーはバンドに対応する波長帯毎の反射率 (分光反射率) をアナログで測定し、デジタル値に変換している。ちなみに、MSS は 0 ~ 63 の 64 段階、TM は 0 ~ 255 の 256 段階で符号化している (宇宙開発事業団地球観測センター, 1990)。

センサーは改良が繰り返されており、同じ名称でも異なった仕様のものがあるので、今回使用した LANDSAT 4 号および 5 号のものを記しておく。MSS は可視域 (緑) から近赤外域までを 4 バンドで観測し、空間分解能 (ピクセルサイズ) は 81mX81m である。TM は可視域 (青) から遠赤外域までを 7 バンドで観測し、空間分解能は 30mX30m (バンド 6 のみは 120mX120m) である。観測幅は両者とも 185km で、連続的に撮影して地表に送信されているが、長さ 170km 毎に区切って、185kmX170km を 1 シーンとしている。未補正の 1 シーンのピ

クセル数とデータサイズは、MSS では 3600X3000 で 43MB、TM では 7000x6000 で 294MB となっている（長谷川，1998）。

## データ

著者の一人（西脇）は 1979-86 年における LANDSAT 研究解析で宇宙開発事業団よりデータの提供を受けたが、カラー合成写真、バンド毎ネガ写真が中心である。MSS-CCT 16 シーンと RBV-CCT 3 シーンは磁気テープに収納されており、媒体変換に手間が掛かる。また、1994 年にはフロッピーディスクに収納された LANDSAT TM データ 18 サブシーンを購入したが、データ領域が狭く、しかもデータが二分の一に間引かれており、研究には不十分である。バンド毎の写真や合成写真も重要なデータではあるが、デジタルデータに各種の処理を施して解析することを目的とするため、今回は CD-ROM に収納されたデジタルデータを新たに入手することとした。

デジタルデータは一般の購入方法ではきわめて高価で、当初の予算では十分な領域をカバーできない。幸い、宇宙開発事業団の地球観測衛星データの研究目的配布が行われており、これを利用することで十分の一以下の価格で購入することができた。申請の結果、LANDSAT MSS および TM それぞれ 10 シーンずつの割り当てを承認された（2000 年 3 月 30 日承認、承認番号：1142）。なお、この研究目的配布は 2001 年 3 月末で終了となっており、溜り込みで利用できたことになる。

LANDSAT データは、衛星の周期、気象条件の制約、衛星およびセンサーの不調などがあって、対象期間を限定した場合は必要な条件を満足するシーンが必ずしも入手できるとは限らない。今回の研究では対象期間については限定しないこととし、奈良を中心とする地域を対象とすること、解析には広域のデータを比較する必要があること、地形解析には雲が無いシーンが必要であること、などを考慮してデータを整備することとした。地球観測データ解析研究セン

Path-Row	地域名	衛星	観測年月日	TM	MSS
109-35	高山	L4	85-06-06		○
109-35	高山	L5	98-03-30	○	
109-36	伊勢	L5	97-10-21	○	
109-36	伊勢	L5	98-03-30		○
110-35	若狭	L5	92-04-21	○	○
110-36	大阪	L5	89-04-13		○
110-36	大阪	L5	91-04-03	○	
110-36	大阪	L5	92-04-21	○	○
111-36	岡山	L5	94-05-20	○	
111-36	岡山	L5	97-04-26		○
112-36	広島	L5	96-05-16	○	
112-36	広島	L5	97-04-01		○
112-37	豊後	L5	96-05-16	○	○
113-37	北九州	L5	97-04-24	○	○
113-37	北九州	L5	97-11-02	○	○

ター (RESTEC) のホームページで雲量 0 の条件で検索し、プレビュー画像でデータの内容を確認し、前頁下の表のシーンのデータを購入した。

### 解析事例 1 : カラー合成画像による近畿地方の都市化判読

LANDSAT TM の 7 バンドの中から 3 バンドを選び、それに赤・緑・青の 3 原色を割り当て、反射率に対応する明るさを与えることによってカラー合成画像が作成できる。3 原色のバンドへの割り当て方は 210 種類あるが、これまでの経験から一般的に使われているのは以下の 3 種類である (長谷川, 1998)。

トゥルーカラー 赤: バンド 3 緑: バンド 2 青: バンド 1 (Fig. 1a)

ナチュラルカラー 赤: バンド 3 緑: バンド 4 青: バンド 2 (Fig. 1b)

フォールスカラー 赤: バンド 4 緑: バンド 3 青: バンド 2 (Fig. 1c)

かつては合成画像の作成に手間と経費がかかったため、上記のものに限定されてきたが、現在では数秒で画面上に表示できるので、試行錯誤的に目的とする情報が判読できる組み合わせを 210 種類の中から選ぶことができる。

今回は、都市化の判読を目的として、実際に多数のカラー合成画像を作成し比較してみた。使用したデータはシーン番号 (Path-Row) : 110-36、撮影日: 1991 年 4 月 3 日の LANDSAT 5 号 TM データである。

画像合成に先立って、データの入力・変換、対象地域の抽出、および、反射率ヒストグラムの作成を行った。バンド毎のヒストグラムは、色毎の明るさを割り当てる範囲 (最小値と最大値) を読みとるためのものである

以下の 3 つのグループの 15 画像について比較してみた。丸囲みの数字は画像識別番号、RGB の後の数値はそれぞれ赤緑青に割り当てたバンド番号、括弧内の数値はそれぞれのバンドの値の範囲を表す。上述のトゥルーカラーは①、ナチュラルカラーは⑦、フォールスカラーは⑫にそれぞれ対応する。

T グループ ① R3G2B1 (R:14-64, G:19-50, B:55-120)

② R4G2B1 (R:21-85, G:19-50, B:55-120)

③ R5G2B1 (R:18-121, G:19-50, B:55-120)

④ R6G2B1 (R:90-123, G:19-50, B:55-120)

⑤ R7G2B1 (R:1-55, G:19-50, B:55-120)

N グループ ⑥ R1G4B2 (R:57-114, G:21-87, B:19-48)

⑦ R3G4B2 (R:14-65, G:21-87, B:19-48)

⑧ R5G4B2 (R:8-100, G:21-87, B:19-48)

⑨ R6G4B2 (R:97-122, G:21-87, B:19-48)

⑩ R7G4B2 (R:1-55, G:21-87, B:19-48)

F グループ ⑪ R1G3B2 (R:57-114, G:14-63, B:19-48)

⑫ R4G3B2 (R:20-87, G:14-63, B:19-48)

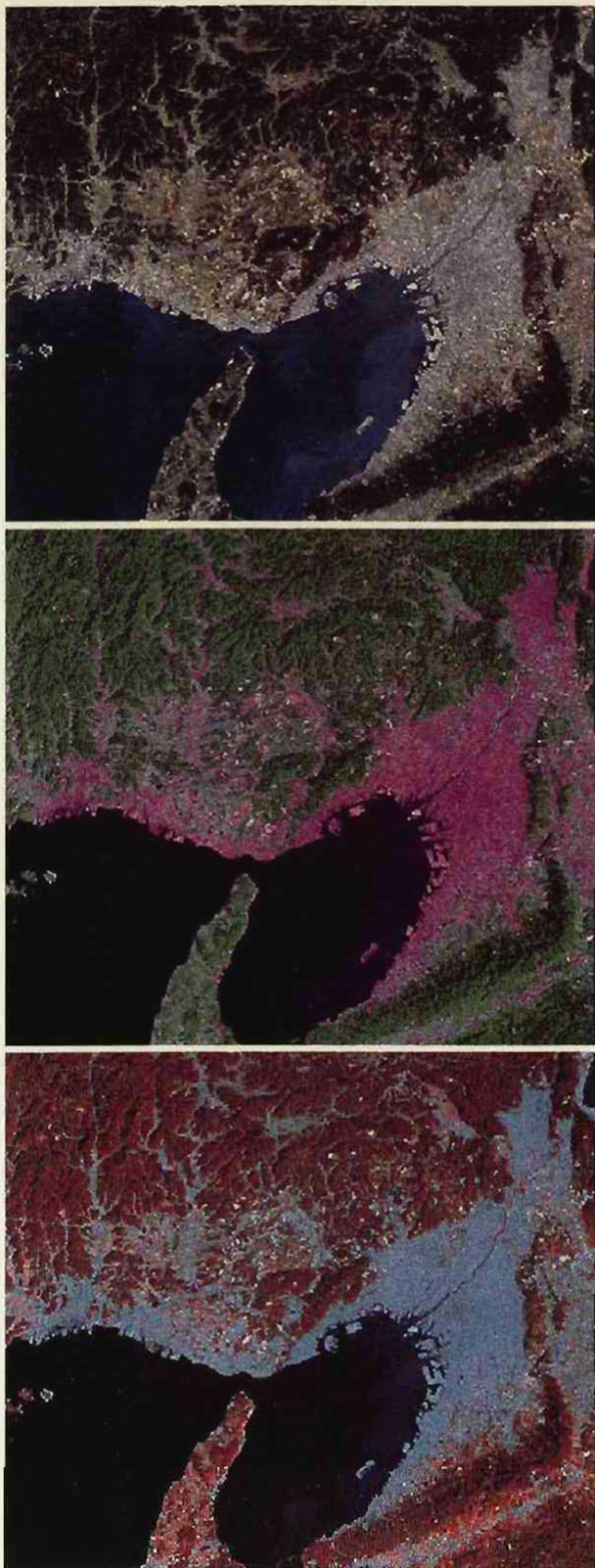


Fig. 1 近畿地方のLANDSAT TM カラー合成画像。  
a. トゥルーカラー  
b. ナチュラルカラー  
c. フォールスカラー。

⑬ R5G3B2 (R:8-95, G:14-63, B:19-48)

⑭ R6G3B2 (R:97-122, G:14-63, B:19-48)

⑮ R7G3B2 (R:1-54, G:14-63, B:19-48)

Tグループをみると①・②・③では平野と丘陵地・山地の区別以外はつきにくい。④・⑤では、平野部において様々な色彩があり分析ができる。④では都心部は深緑、建物密集地は赤で表現されている。建物密集率が落ちるところは、緑で表現されている。⑤では都心部の深緑部分が拡大している。また赤の範囲が狭くなっている。

Nグループをみると色彩の系列が⑥・⑦・⑨・⑩系統と⑧系統の2種類に分かれる。この系統の違いは、後者は都心部では青の色彩が強く、山地では黄色の色彩が強い。これは赤色のBANDの反射が近赤外線に対する反射とそれ以外の反射具合が違う事を示していると思われる。全体的にみても大阪市都心部が色の濃度が濃く、色の層はドーナツ状になっている事がわかる。また平野部と丘陵地・山地の区別はしやすい。

Fグループを見ると⑪では平野部が白、丘陵地・山地が深緑で表現されている。⑫では平野部および丘陵地が青緑で表現されている。⑬では大阪市都心部が青緑で表現されておりそれ以外の平野部は白、丘陵地・山地は赤で表現されている、⑭では都心部の青緑は範囲がさらに狭くなっている、また平野部が赤、丘陵地・山地が深緑で表現されている。⑮では⑭とくらべて青緑の範囲が広がり、赤の濃度がおちている。

大阪平野での都市化を見るため建物に関して着目してみる。そうすると大阪市都心部には赤外色の波長をはじく建物はかなり密集していることがわかる。そしてその周辺も赤いことにより大阪市は全般的に建物密集が濃いことを証明している。また大阪郊外の丘陵地にもはじきやすい建物があることがわかる。これは住宅開発によって建てられたマンション等の住宅が反応したのではないかと考えられる。そして湾岸域および淀川沿いも反応が良いことがわかるが、湾岸域は工業地帯の建物、淀川沿いは住宅開発によるマンション等の住宅が密集していることをさしていると考えられる。

## 解析事例2：奈良市周辺地域の土地被覆分類図の作成

リモートセンシングデータによる土地被覆調査の正確さを検証するため、LANDSAT TMデータを用いて奈良市周辺地域の土地被覆分類図を作成してみた。使用したデータはシーン番

水域	水上池、ウワナベ池、蛙股池、菖蒲上池、いぬい池
樹林地	奈良大学付近、春日山、梅谷地区
水田	佐紀町、山陵町、秋篠町、奈良大学付近
草地	若草山、奈良国際ゴルフ場
空き地	帝塚山学園、奈良工業高校、平城中学校、一条高校、陸上競技場
高密度市街地	近鉄奈良駅周辺、餅飯殿町、東向北町、三条町
市街地	佐紀町、秋篠町、法華寺町、西大寺北町、学園南



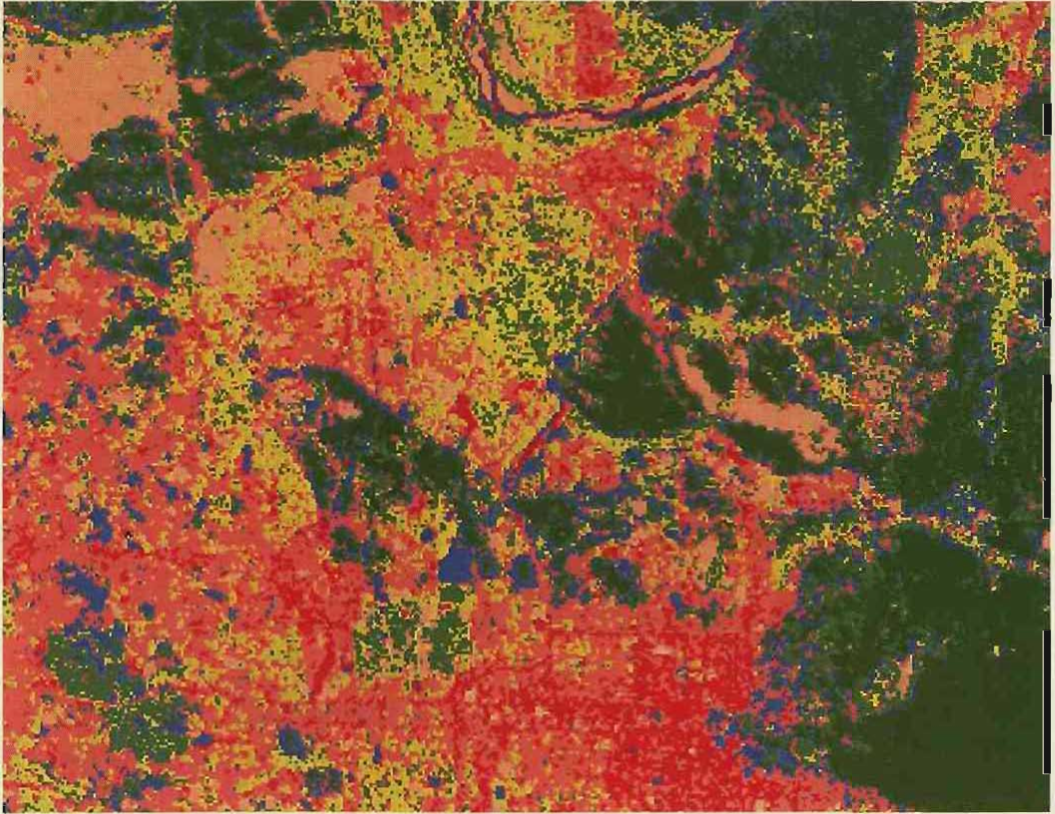


Fig. 2 奈良市周辺地域の土地被分類図。青色：水域、深緑色：樹林地、黄色：水田、黄緑色：草地、肌色：空き地、赤色：高密市街地、桃色：市街地。

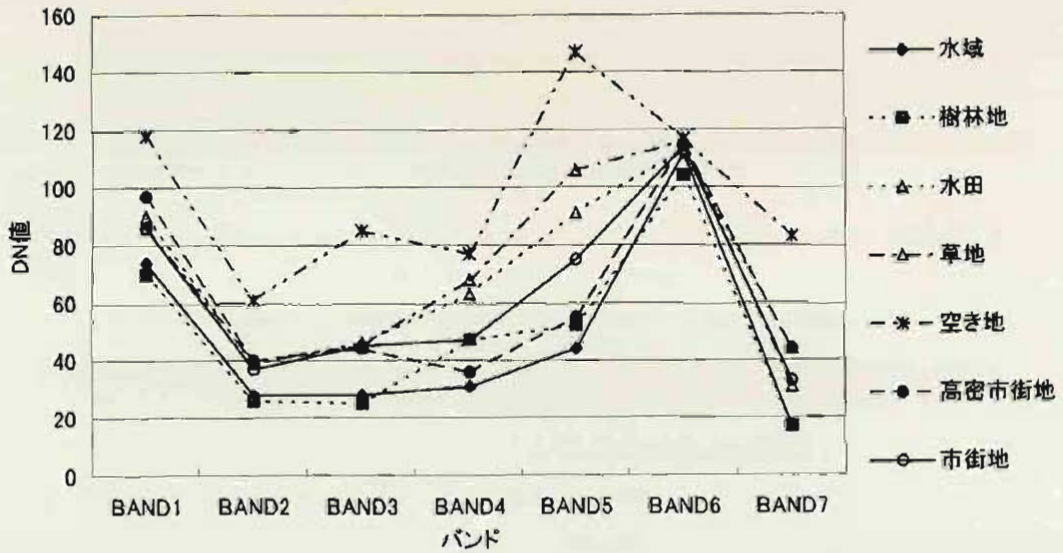


Fig. 3 トレーニングエリアにおける土地被覆区分毎のバンド毎のDN値の平均。

号：110-36、撮影日：1991年4月3日のLANDSAT 5号のTMデータである。

今回は土地被覆を水域、樹林地、水田、草地、空き地、高密度市街地、市街地の6区分に分類し、分類方法として最尤法による教師付き分類を採用した（日本リモートセンシング研究会、1992）。トレーニングデータの抽出にあたって参照した資料は、『1:10000地形図 奈良』『1:10000地形図 西大寺』『1:25000地形図 奈良』の他、少し古いが1975年撮影の空中写真を用いた。土地被覆区分毎のトレーニングデータ抽出地点は前々頁下の表である。

これらのトレーニングデータからそれぞれの分光特性によって分類された画像に適当な色を割り当てたのがFig. 2、分類したエリアのバンド毎のDN値の平均をグラフ化したのがFig. 3である。なお出力した画像は、方角が地形図のものと一致するようにフォトレタッチ・ソフトによる傾きの修正を行った。それぞれの区分の分類結果について以下に述べる。

- ・水 域：トレーニングエリアはすべて池だったにもかかわらず、図の北側の木津川ははっきりと分類できている。だが樹林地、特に奈良公園付近の林が水域と誤分類されている。水域と樹林地はバンド4（近赤外域）以外、目立った分光特性の差がないためである。
- ・樹 林 地：今回最も苦労した分類である。果樹園など樹木密度の薄い地域は「草地」と分類される危険が高い。また、特に広葉樹林地において水域との区別がつきづらい。4月でなく、5月の新緑のデータを用いれば植物の活性度が増し、近赤外域などの波長で分光反射率が高くなるため、分類しやすくなるであろうと思われる。
- ・水 田：水田と草地を比較すると、近～中赤外域での分光反射率において草地が高いという点である。だがあまり大きな違いはないため、特に北東の加茂町などにおいて草地と分類している箇所がある。また今回分類項目にあげなかった「畑」は、水田に含まれることが多かった。
- ・草 地：トレーニングエリアにあげなかった美加原ゴルフ場や平城宮跡が、わりとくっきりとあらわれている。樹林地や水田に食い込む傾向がある。
- ・空 き 地：全体的に分光反射率が他の項目より高く、最も分類が容易だった項目である。学校グラウンドや造成地、河川敷がくっきりとあらわれている。
- ・高密度市街地：密集した建物群の中の赤外線を吸収する特性が、グラフに現れているが、「高密度市街地」と「高密度でない市街地」との境界はどこにするか、あいまいな部分がある項目である。やや、木津川の水域を誤分類している。
- ・市 街 地：やや範囲が広すぎ、水田を誤分類している地域がある。「市街地」は本来土地利用であり、実際は宅地の建物や庭などが複合した土地被覆であるため、どうしても分類が困難になる。

以上の結果をまとめると、やはり教師付き分類による土地被覆分類は、かなりの熟達と、綿密な調査を必要とするものである。時系列間での比較といったリモートセンシングのメリットを利用した土地被覆分類調査においても、やはりかなりの部分、空中写真などの他の資料や実



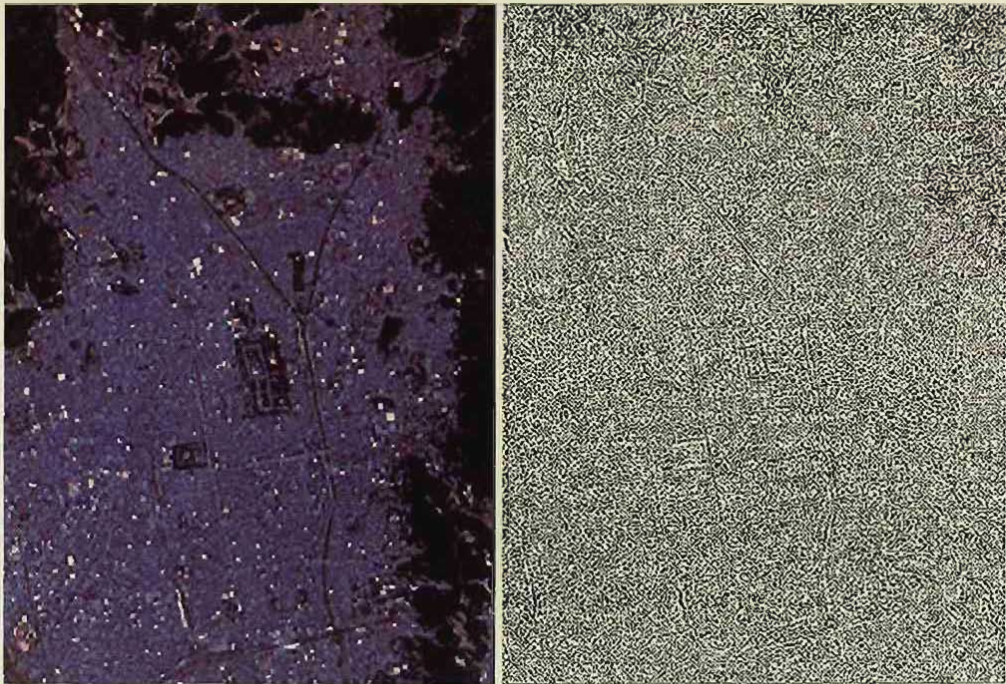


Fig. 4 京都盆地のLANDSAT TM画像。

a. 空間フィルタリングによりエッジ強調したトゥルーカラー画像 b. エッジのみを抽出した画像

地調査は必要であり、また欠かせないものである。

### 解析事例3：京都盆地の条坊の抽出

土地利用というものは、時間の流れの中で細かな部分は変化しているものの、基本パターンは現在まで踏襲されていることもあると仮定し、その具体例として条坊を考えてみた。京都盆地地域は過去の条坊を元に現在の都市が形成されているので、この地域を対象にリモートセンシングの手法で条坊の抽出を試みた。

分析結果と当時の条坊との比較を行うための基準データとして、「京都市遺跡地図」(京都市教育庁指導部文化財保護課, 1972)の京都市の部分を使用した。条坊の様子がはっきりしない部分もあるが、衛星写真との比較をする場合においては遺跡地図レベルで十分であると考えた。

使用したデータはシーン番号:110-36、撮影日:1991年4月3日のLANDSAT 5号TMデータで、そこから京都盆地部分を切り出して分析に使用した。分析手法としては、対象地域のカラー合成画像で表示し、条坊を強調させるため空間フィルタリングのエッジ検出と鮮鋭化の両方の分析を試みた。各種のバンド組み合わせについて試みたが、トゥルーカラー(赤:バンド3、緑:バンド2、青:バンド1)と同等もしくはそれ以下の結果しか得られなかった。

作成したトゥルーカラー画像は、京都盆地という狭い範囲で切り出しているため、画像全体に荒さが目立つ。空間フィルタリングによるエッジ強調を行った画像(Fig. 4a)およびエッジ



のみを抽出した画像 (Fig. 4b) では、現在の道路に関してはわりとはっきり検出できているものの、条坊に関してとなると疑問である。基準データの「京都府遺跡地図」と照らし合わせて見ても、二条城及び京都御所に関してははっきりと確認できるものの、当時の条坊が検出されているとは言いがたい。さらに鮮鋭化を行えば現在の道路がもう少し見やすくなるが、それでもやはり条坊そのものが検出されたとは言いがたい。

この地域は過去の土地利用を踏襲した地域であり、それが現在の都市計画に生かされていることから、空間フィルタリングのエッジ検出及び鮮鋭化をすることによって碁盤目状になっている道路を抽出し、条坊の抽出ができるのではないかと期待した。しかし、エッジ検出に関して3種類の方向による分析を試みても、はっきりと条坊を抽出するまでには至らなかった。このことから、TMデータのピクセルサイズ (30mX30m) の解像度では条坊の解析には不十分ということであろう。

#### 解析事例4：有明海の海流・流出パターンの判読

奈良地域から離れるが、有明海の海流・流出パターンに関して解析を試みた。

平成13年初頭に発生した有明海の「のり養殖」で色落ちなどの不調について、諫早湾の締め切り堤が原因として調査が求められている。締め切り堤が建設されてしまった現在では、過去の海流や流出パターンについての現地調査は困難であるが、LANDSATのデータは16日周期



Fig. 5 諫早湾周辺のカラー合成画像 (赤:バンド7, 緑:バンド3, 青:バンド1)。

で得られるため、定期的な変化を時系列として求めるのには適している。今回は、河川の河口付近から湾を中心とした対象地域で LANDSAT TM データによる海流・流出パターンの判読がどこまでできるかを一時期について分析してみた。

海域でのパターンを解析するため、河川の河口付近から湾を中心に対象地域を設定した。使用したデータはシーン番号：113-37、撮影日：1997年4月24日の LANDSAT 5号 TM データである。

解析方法は、まず LANDSAT TM データから諫早湾周辺地域を切り出し、ヒストグラムの解析によってバンド毎の DN データの範囲を設定した。海流・流出のパターンを良く表現するカラー合成バンドの割り当てについては、試行錯誤の結果、赤：バンド7、緑：バンド3、青：バンド1の組み合わせを選択し、カラー合成画像 (Fig. 5) を作成し、海上保安庁発行の 1/100,000 海図「島原湾」と比較した。

作成した画像では、諫早湾周辺について流出パターンと思われるものが二つ見られる。一つは湾の上方から反時計回りのパターンであり、もう一つは湾奥部の本明川河口から締め切り堤の範囲のパターンの二つである。

しかし、同じ画像でも、西部および南部の大村湾・橘湾ではほとんど流出パターンがみられない。海図では、諫早湾の 10m の等深線はおおよそ竹崎島と多比良港を結ぶラインとなっているのに対し、大村湾・橘湾の等深線 10m は海岸に隣接するように走っている。従って、パターンは水深 10m 以浅の海域に表れているが、それより深い海域では流れがあってもこの画像からは判読できないということになる。

比較的浅い地域での分析については、今回の手法での海流・流出パターンの分析は有効であると考えられる。ただし、有明海の恒流（常流ではない）と潮の干満によるパターンの変化が考えられるので、ランドサットのみのデータをもって判定することは困難である。

また、この画像では浅瀬と水域でのパターンとの間に明確な区別がつかない。つまり、本明川河口の「干潟」、「みお」の水分に反応してしまった結果、森山町の旧海岸堤付近の埋立地と締め切り堤外縁地域との区別が困難である。

## まとめ

今回作成したパソコン上で稼働するシステムは LANDSAT を始めとするリモートセンシングデータの解析のための基本機能を備えており、作業手順も簡略化されていて標準的なパソコン操作と変わらない。研究目的配布の制度を利用したため限られた予算で多数のデータを購入できることとなり、奈良を中心とする広い地域について良好なデータを入手し、いくつかのシーンについては複数のデータを入手することができた。

必要なデータが揃えば解析を行うこと自体に面倒なことはなく、今回の解析事例でもそれなりの成果が得られている。しかし、それぞれの解析には限界があり、いずれも必ずしも期待した結果とはなっていない。これは、今回のシステムには地形・地質のための特有の手法やオブ

ションが含まれておらず、リモートセンシングの一般的な手法のみしか使えなかったからである。

地形・地質の分野でもリモートセンシングを利用した研究は多くあるが、リモートセンシングデータの中に地形・地質の情報がどのように保存されているかはまだ十分に解明されておらず、この分野独自の手法や標準値も確立していない。今後、今回のシステムを利用して、これらの問題点についての研究を進めていきたい。

### おわりに

本研究で使用した LANDSAT データは宇宙開発事業団の研究目的配布により提供されたもので、その著作権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：SpaceImagingR / 宇宙開発事業団」

### 参考文献

- 宇宙開発事業団地球観測センター (1990) 地球観測データ利用ハンドブック-ランドサット編・改訂版。  
(財) リモートセンシング技術センター刊。  
京都府教育庁指導部文化財保護課 (1992) 京都府遺跡地図 (別資料)。京都府刊。  
土屋清 (1990) リモートセンシング概論。朝倉書店刊。  
日本リモートセンシング研究会 (1992) 図解リモートセンシング。日本測量協会刊。  
長谷川均 (1998) リモートセンシングデータ解析の基礎。古今書院刊。  
富士通 FIP ㈱ (1999) EXPRIA Version 2.0 HTML ヘルプ。ソフトウェア組み込みファイル。

### Summary

The remote sensing is one of powerful tool in geographic and geological researches. A remote sensing system was constructed on a personal computer, and satellite data were collected in Nara and surrounding area. It is revealed from several analytical examples that the LANDSAT data are useful for the topographic and landuse analyses to some extent, but that new techniques should be developed for the more concrete analyses.