

論 説

リモートセンシングによる土地被覆分類
－ 2万5千分の1箱根における検証－

Land Cover Map by Remote Sensing: In the case of HAKONE area

新井田 秀一

神奈川県立生命の星・地球博物館

Shuichi NIIDA

Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, 499 Iryuda, Odawara, Kanagawa, 250-0031, Japan

Abstract. The theme of this research is to make the land cover map of the Hakone region by using the image of EOS (earth observatory satellites) LANDSAT/TM observed on April 14, 1998. The improvement was added to setting the training area and the category by using a maximum likelihood method for the classification. As a result, land cover map was compared with the vegetation map, which had been investigated before. It has been understood to be able to say practicable enough though a simple comparison cannot be done because a basic idea to the classification is different. Because the change in a continuous environment from the past can be examined, the land cover map made by this research can be used as basic material of the nature conservation etc.

Key words: remote sensing, Land Cover, LANDSAT/TM, Hakone

I はじめに

リモートセンシング (remote sensing) とは、離れた場所から対象物の状態を調べることである。ここでは、地球観測衛星ランドサット (LANDSAT) 5号に搭載されているセマティックマッパー (Thematic Mapper: TMと略す) が観測する電磁波の強さを用いて、地球の表面がどのようなもので覆われているか解析した。

この解析によって得られる図を、土地被覆図 (Land Cover Map) という。この図は、植物、コンクリートなど地球の表面を覆っている物理的なものを示している。観測手法からいって、土地利用図のように利用目的まで知ることにはできない。また、植生図のように植物群落や種組成について細かく知ることにはできない。しかし、定期的に観測されている地球観測衛星のデータを用いるために、迅速な更新が可能であるというメリットがある。

新井田 (1998) は、丹沢山地について1995年11月の観測データを用いて土地被覆の解析方法を評価し、さらに1984年と1995年のデータを用いて神奈川県土地被覆の変化について解析した。本論は、解析データの観測時期や解析方法に改良を加えた。また、2万5千分の1地形図への合成も行った。

この研究は、神奈川県全体の土地被覆図を作成し、経年変化を調べることを最終的な目標としている。本論では、2万5千分の1地形図「箱根」(メッシュコード:

523960) について土地被覆図を作成し、分類結果について検証した結果を報告する。

II 衛星画像を用いた土地被覆分類方法

1. 使用したデータセットと解析環境

新井田 (1998) は、ランドサット5号の11月の観測データを用いた。11月は、夏緑樹はすでに落葉しているため、常緑樹との区別が容易であった。しかし、太陽高度が低いために山地における西側斜面に陰の部分が多くなり、分類精度に悪影響を与えていることが明らかになった。そこで今回は1997年4月14日に観測したデータを用いた。4月は、太陽高度も高く、夏緑樹と常緑樹との区別も容易だと考えられる。なお、神奈川県立生命の星・地球博物館では衛星画像についても、博物館資料として位置づけ、継続的な収集をしている。神奈川県域を中心に関東から中部地方の環境の変遷を調べるため、TMについては1984年観測分のデータから収集している。

画像解析に用いたワークステーションは、当博物館の「博物館情報システム」において、「展示 (共生) 支援システム」として整備されている富士通 S-4/20 (メモリ 96MB、ディスク容量 3.15GB) を使用した。衛星画像データは従来、磁気テープで配布されていたため、磁気テープ装置 Shugart Model-9662 を備えている。また、衛星画像解析用のソフトウェアとしては、富士通 FIP 社製

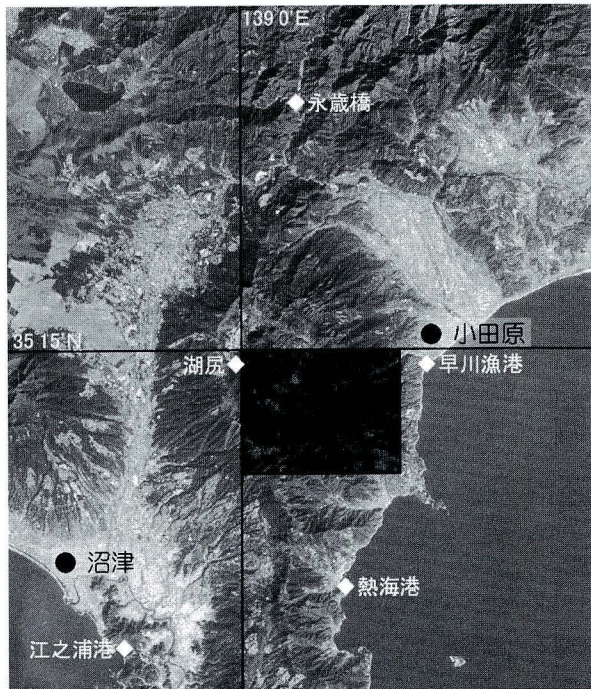


図1 観測位置図（◆印はG C Pを示す）.

EXPIA/S Ver.2.0を使用した。なお解析後の画像の出力などは、パーソナルコンピュータ（富士通 FMV-DESK POWER T III -23、OS:WINDOWS95、メモリ 96MB）を用いた。

2. 地図投影変換

ランドサットのデータは、世界標準座標（Worldwide Reference System：WRS）によって、位置を特定する。この座標系によれば、神奈川県は丹沢山地や多摩丘陵などの県北部がPath107-Row035、箱根山地や三浦半島などの県南部がPath107-Row036のように分かれている。

ランドサットは極軌道衛星であるため、経線に対して傾斜を持つ軌道をとる。そのため観測された画像は上部が真北になっていない。また、センサに起因する歪みもある。そこで衛星画像上において明らかに読み取れる地形・人工構造物の緯度経度位置をG C P（Ground Control Point）として与え、地図投影変換を行った。

本稿では、1997年4月14日観測のPath107-Row036のデータから、国土メッシュコード523960「箱根」に相当する北緯35度10分から15分、東経139度00分から7分

30秒のエリアについて、400×400pixelに切り出した。この1 pixelは、2万5千分の1地形図上においてランドサット／TMの地表分解能である約25メートル四方に相当する。今回G C Pとして与えたのは、北から丹沢湖・永歳橋、早川漁港、芦ノ湖・湖尻、熱海港、江浦港の5点である（図1）。

3. 分類解析

3.1 分類の仕組み

リモートセンシングにおいては、電磁波の強さを観測することによって、対象物の情報を間接的に調べる。このことは「すべての物体は、種類および環境条件が異なれば、異なる電磁波の反射および放射特性を持つ」という特性に基づいている。今回用いたランドサット／TMの観測波長帯とその設計時に想定された目的を表1に示す（宇宙開発事業団地球観測センター編、1990）。

土地被覆を分類する手法は、新井田（1998）が用いた「教師付き分類法（Supervised Classification）」を改良して採用した。

3.2 分類項目の設定

はじめに、分類項目の設定について改良した。新井田（1998）では、土地利用図の凡例を主に参考に行っている。したがって植生に関係する分類項目については常緑針葉樹林、夏緑広葉樹林、常緑広葉樹林、松林、雑木林と粗いものになっていた。

今回は植生図への応用を考え、宮脇他（1972）に付属している「神奈川県現存植生図」にある凡例（合計78単位）を参考に検討した。

森林は複数の層構造を持つ。衛星からは、その最上部層しか観測できないため、上部が樹木で閉ざされている場合、林床がどのような植物で覆われていても分類結果に影響を与えない。そのため、植生の外観（いわゆる、相観）を考慮して決定した。ブナクラスは15単位を5項目に、ヤブツバキクラスは20単位を4項目にまとめた。また、ブナクラスおよびヤブツバキクラスに存在する代償植生についてはあわせて37単位あったものを7項目にした（ただし、耕作地に関するものは別項目としてある）。

この他には、耕作地は温室を追加し3項目とした。水田と畑の区別については、4月に稲作は始まっていないために困難であるので区分していない。無植生地は4項

表1 TMの観測波長帯と設計時に想定された目的

バンド	波長帯[nm]	空間分解能[m]	設計時に想定された目的
1	0.45-0.52	30	土壌と植物の区別 落葉樹と針葉樹の区別
2	0.52-0.60	30	植物の活力度
3	0.63-0.69	30	植物の種類を決定するためのクロロフィル吸収
4	0.76-0.90	30	バイオマス調査 水塊調査
5	1.55-1.75	30	植物水分測定 雪と雲の区別
6	10.4-12.5	120	温度
7	2.08-2.35	30	熱水作用

表2 分類基準一覧

今 回 の 分 類			神奈川県 の 現存植生(*1)	新井田(1998)
分 類 項 目		説 明		
ブナクラス	ブナ林	ブナを中心にした林	ヤマボウシ・ブナ群集 ニシキウツギ・ヤマボウシ群落 イトスゲ・リョウブ群集	夏緑広葉樹林
	夏緑広葉樹林	ブナ以外の夏緑広葉樹林	クレーミズナラ群落 アブラチャン・クロモジ群落	
	風衝低木林	岩場に生える低木林・	オノエラン・ハコネコマツツジ群落 フジアカショウマ・シモツケソウ群落 ヒメノガリヤス・ススキ群落	—
	ミヤマクマザサ	ミヤマクマザサを中心とした笹原	—	
ヤブクラスバキ	照葉樹林	クスを中心とした林	ヤブコウジ・スダジイ群集	常緑広葉樹林
	モミ林	モミを中心とした林	モミ・シキミ群集	—
	シラカシ林	シラカシを中心とした林	シラカシ群集	
	夏緑広葉樹林	ケヤキなどの夏緑広葉樹の林	イロハモミジ・ケヤキ群集 タマアジサイ・フサザクラ群集	
代償植生	コナラ林	いわゆる雑木林	オニシバ・コナラ群集 クスギ・コナラ群集	雑木林
	マツ林	クロマツ林	クロマツ植林 アカマツ植林	松林
	スギ・ヒノキ林	スギ・ヒノキ林	スギ・ヒノキ植林	常緑針葉樹林
	モウソウチク・マダケ	竹林	モウソウチク・マダケ植林	—
	ハコネダケ	ハコネダケを中心とした笹原	ハコネダケ群落	草地
	ススキ草原	ススキを中心とした草原	アズマネザサ・ススキ群集 チガヤ・ススキ群落	
	シバ	シバ地、ゴルフ場など	シバ軍団	
	その他の草地	牧草地など	—	草地
耕作地	果樹園	ミカン畑	常緑果樹園	果樹園
	田・畑	水田・畑	—	耕作地
	温室	温室	—	—
無植生地	高密度市街地	コンクリート建造物が密集した地域	—	高密度市街地
	市街地	住宅地・商業地など	—	市街地
	工場・タンク他	工場団地など	—	工場
	荒地・裸地	地表に植物のない地域	—	空地・荒地
水域・その他	内水域	河川・湖水	—	河川・湖水
	海域	海	—	海
	雲および雲による影	雲と雲の影が地表にうつっているところ	—	雲・未分類地
	急傾斜による分類不定地	北西方向に標高の低下する急斜面	—	—

目とし、市街地など人為的な環境3項目と、荒地と裸地を同一の分類として分けた。「荒地・裸地」には、河原や崩壊地、土のグラウンドなどが含まれている。

このように細分化した結果、新井田(1998)の17項目に対して、今回は27と増加した(表2)。なお、これらの分類は、神奈川県全体について分類することを念頭においているため、箱根エリアに限定した場合、出現しない項目もある。

3.3 トレーニングエリアとカテゴリの設定

次にこれらの分類項目についてトレーニングエリアを設定し、7バンドそれぞれの平均値と標準偏差を求めた。これをカテゴリテーブルとしてまとめた。

トレーニングエリアは、「神奈川の実林50選」として選ばれているものや天然記念物に指定されているような純林として典型的なものの中から比較的面積の大きいものを選んだ。このような場所は、すでに調査報告書が発行されていることが多く(例えば、宮脇他、1972など)、位置を特定する際に参考とした(表3)。

新井田(1998)では影の影響によると考えられる誤分類が多く見られたため、誤分類と地形の傾斜との関係を

調べた。詳しくは後述(Ⅲ 4)するが、北西方向に高度の低下する斜面において、誤分類を起こすことが確認された。今回使用した画像では、水平250メートルの間に150メートルよりも降下するような斜面(傾斜30度)の分類結果は、宮脇(1972)や環境庁(1982)とは異なっていた。

また、同一の植物でも標高が異なれば生育段階が異なることも予想される。そのため、斜面の向きに起因する反射強度の差や、高度差に起因する気温差などによる成長の違いからくる反射強度の差を考慮し、同一の分類項目においても、複数のカテゴリを設定したことがある。たとえば、スギ・ヒノキ林については標高差から2つに分けてある。コナラ林については日向と日陰でバンド4の値が大きく異なるため2つにしてある。そのため、表3において分類項目数とカテゴリ数は一致していない。

各バンドの強さと主だったカテゴリとの関係を図2に示す。この図からは、各カテゴリがそれぞれ独特のスペクトルを持つことが読み取れる。光合成色素の吸収帯であるバンド3において、市街地とシバが似たような値を取るところが興味深い。

土地被覆図

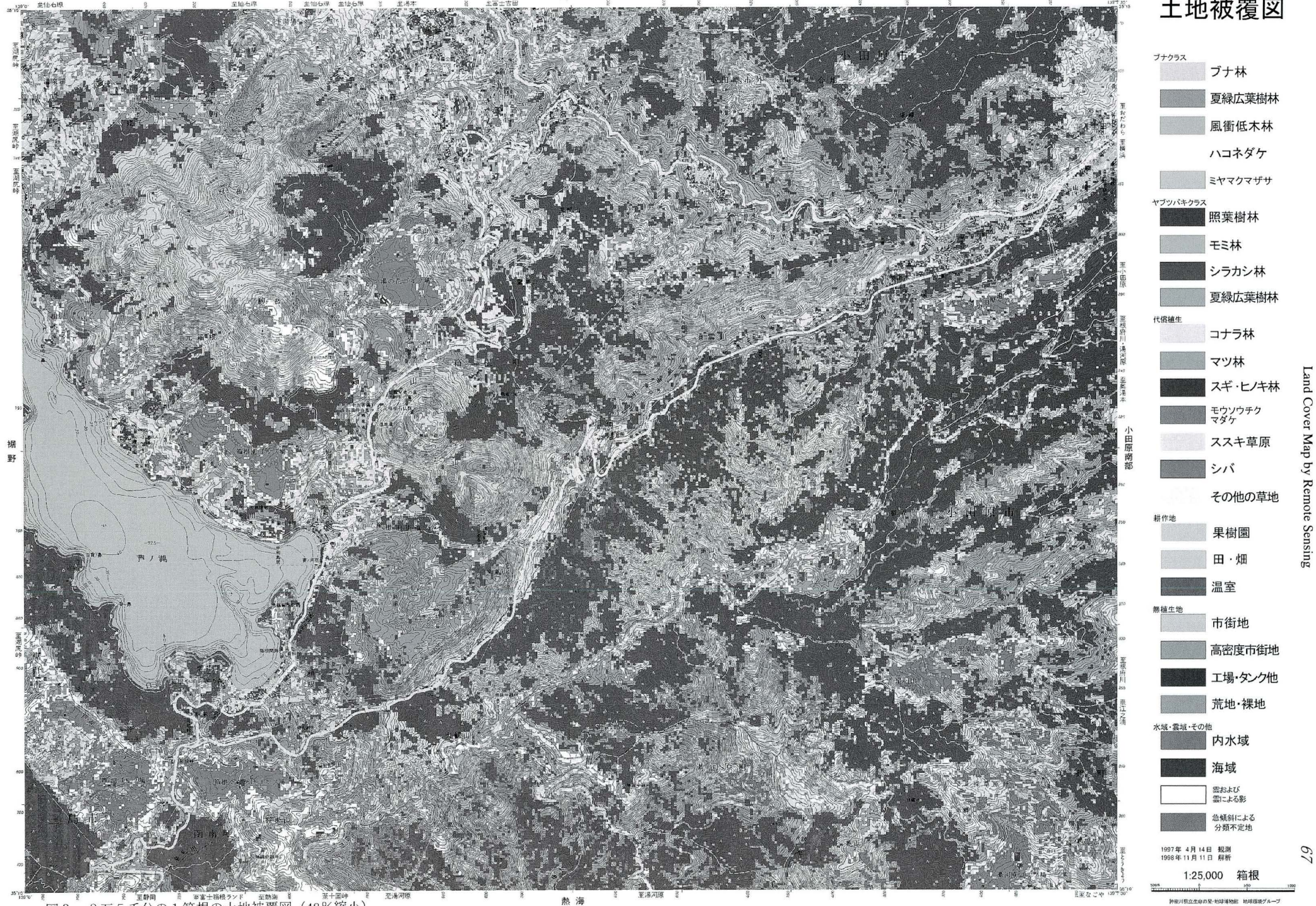


図3 2万5千分の1箱根の土地被覆図(48%縮小)

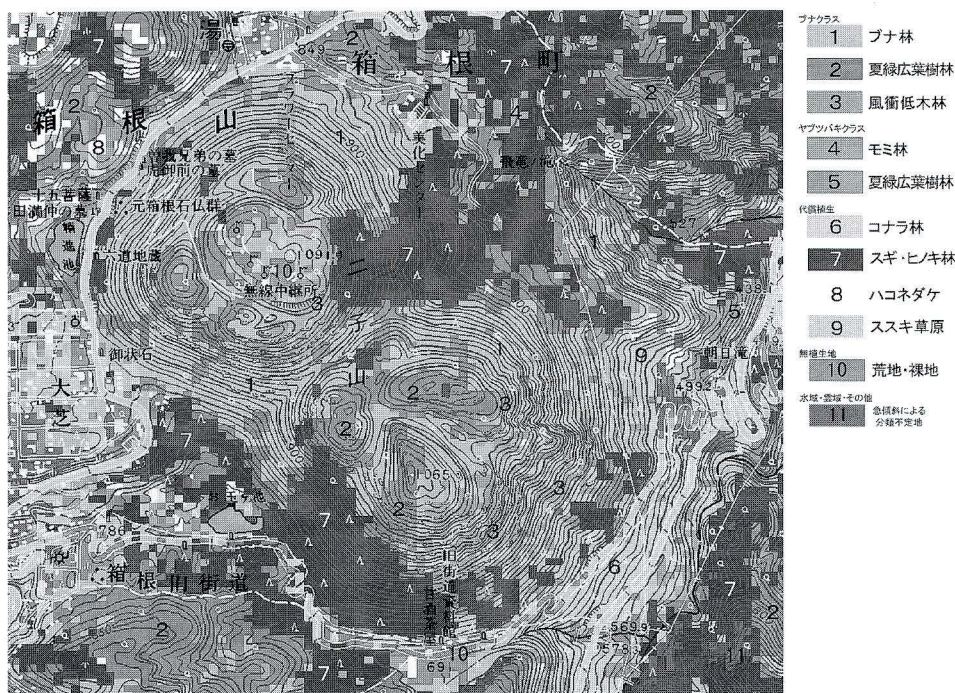


図4 二子山周辺の土地被覆図。

EXPIA/Sには、最尤法を用いて分類処理するプログラムが搭載されている（富士通エフ・アイ・ピー、1993）。

4. 画像合成と出力

400×400pixelというサイズで分類処理された画像は、拡大補間したのち、地形図と重ね合わせた。

地図への重ね合わせ処理は、ワークステーションからTIFF型式でファイル出力したものを、パーソナルコンピュータ（WINDOWS95）に博物館内LANを通じて転送し、Adobe Photoshop 5.0（ソフトウェア）を用いて行った。

重ね合わせに使用した地形図は、国土地理院発行のCD-ROM、数値地図25000（地図画像）「横須賀」に収録されている地形図ファイル、523960.TIFを使用した。このファイルは、地図全面が100pixel/cmの精度で読み取られている。そのため注記や緯度経度目盛など地図の周辺部（整飾）まで含まれている。

衛星画像には、この地形図ファイルの地図部分の画像サイズ（4553×3698）にあわせてニアレストネイバー法にて補間する「画像解像度」変換を行った。この後、地形図ファイルと画像サイズ（4703×3848）を一致させるために「画像サイズ」変換を行った。こうして変換された画像の上に、背景を透明にする処理を行った地形図ファイルを重ね合わせた。

出力は、パーソナルコンピュータに接続されたEPSON MJ-8000Cにて行う。このプリンターは最大A2縦幅（420ミリメートル）まで印刷できるため、この土地被覆図は2万5千分の1というスケールのままで印刷することができる。

III 分類結果の評価

1. 土地被覆図

今回作成した土地被覆図を図3に示す。原図は、縮尺2万5千分の1で土地被覆を色分けで表示しているが、

収録の都合上、白黒印刷で48%縮小している。なお、原図は博物館にて閲覧可能である。

この図を元に、第2回自然環境保全基礎調査（植生調査）において作成された現存植生図（環境庁、1982）、神奈川県現存植生（宮脇他、1972）、国土地理院（1979）の土地利用図と比較した。今後これらと個別に比較する場合を除き、これらをまとめて植生図と記す。

2. 二子山周辺の評価

二子山は山頂にNTTの無線中継所のある上二子山（標高1091メートル）と下二子山（1065メートル）の2つからなる。下二子山の山頂部は、風衝植物群落として神奈川県天然記念物に指定され、立ち入りが制限されている。

植生図からは、下二子山の山裾部や、上二子山と下二子山の谷部の北東側にはスギの植林地が広がっていることが読み取れる。また、山頂部の風衝低木林を除くと、ブナ林が広がっている。

この付近の土地被覆図を図4に示す。この図において下二子山の国道1号線見晴茶屋付近は、スギ・ヒノキ林のトレーニングエリアとしている。図中に示されているスギ・ヒノキ林はこの場所を含めて、植生図と分類結果がよく一致している。

また、無線中継所の周辺に荒地・裸地と分類したエリアがあるが、これは無線アンテナなどの基礎部分などと思われる。

両二子山の南東側の急傾斜地には、風衝低木林と分類される部分が点在する。これは地形図上では岩が露出している記号で描かれている部分と一致している。ヘリコプターからの写真（図5）は、屏風山上空からのアングルで撮影したもので、右側が下二子山、左側が上二子山である。図中に示してあるように、右下側の色の濃い部分がスギの植林地、左側の上二子山の山頂にあるアンテ



図5 二子山付近の空中写真.1998年10月12日飛行、田中徳久氏撮影。

ナが無線中継所である。無線中継所右下の矢印で示してある斜面は、写真からは分かりにくい岩場となっており、背の低い樹木が覆っている。風衝低木林という設定は、参考にした植生が岩場などに生える低木林であるため、このような結果になったものと考え。

3. 神山周辺の評価

神山の南東斜面は、宮脇他（1972）によればイトスゲ・リョウブ群集とされ、環境庁（1982）ではミズナラ・リョウブ群集となっている。北西斜面はどちらの図でも、ヤマボウシ・ブナ群集とされている。この神山付近の土地被覆図を図6に示す。

イトスゲ・リョウブ群集やミズナラ・リョウブ群集はどちらもリョウブの目立つ林相であるので、リョウブ林と呼ぶことにする。植生図への応用を考えているため、夏緑広葉樹の区別について検討している。結果として、ブナ林とリョウブ林との間で光学的特徴に差が見られなかったため、区分することはできなかった。このため、図6において神山山頂一帯はブナ林と分類されている。このようなパターンは、環境庁（1982）において大観山から白銀山にかけての尾根の北西斜面においてミズナラ

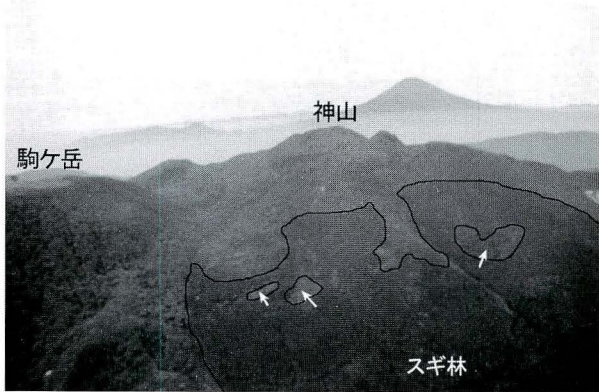


図7 神山付近の空中写真.1998年10月12日飛行、田中徳久氏撮影。

リョウブ群集とされている部分についても、同様になっている（図10参照）。そのため、神山山頂部は土地被覆図ではブナ林という分類結果になっている。したがって、今回の箱根エリアにおいては「ブナ林」のなかに、リョウブ林が含まれることになる。

植生図からは、1300メートル以下にはスギの植林地が広がっていることが読み取れる。図6でのスギ・ヒノキの植林地は、植生図とほぼ同様の分布を示している。ただし、神山と早雲山とのほぼ中間地点にスギ・ヒノキ林の中にブナ林などと分類されるエリアがある。このパターンは国土地理院（1979）の土地利用図にはあるが、それ以外の植生図には見られない。山頂付近を二ノ平上空においてヘリコプターから撮影したのが、図7である。図の右下に広がる色の濃いエリアがスギの植林地であり、その中に矢印で示しているあたりが上記の場所である。植生図作成の際には、国土地理院のものを除いて、なんらかの理由で表現されなかったものと思われる。

4. 浅間山から湯坂山にかけての評価

新井田（1998）では、影の存在によって間違った分類結果を示してしまうことが問題であった。箱根エリアに

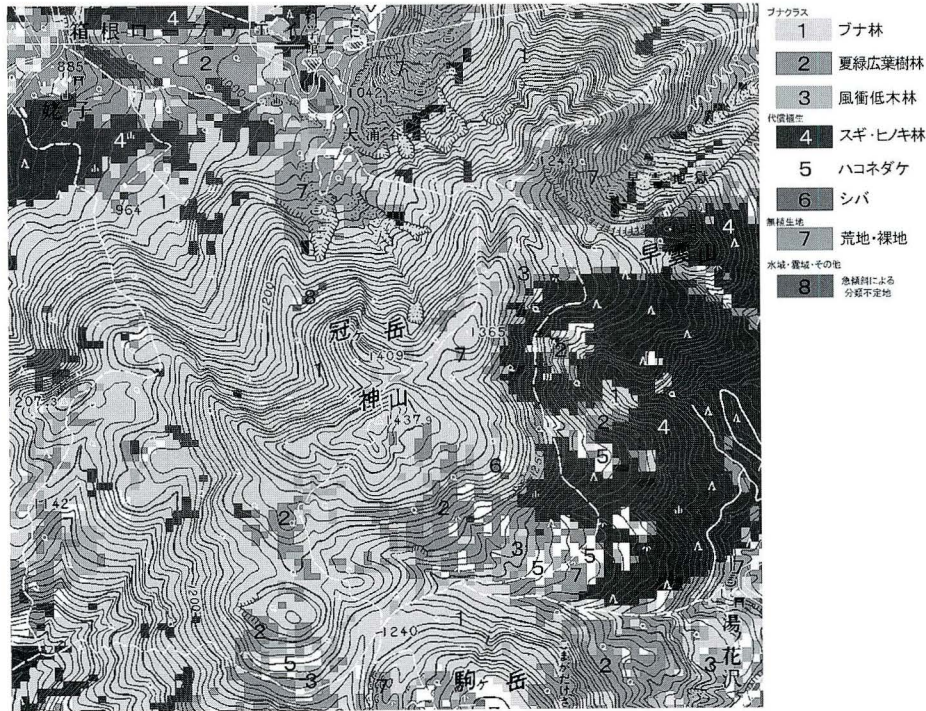


図6 神山周辺の土地被覆図。

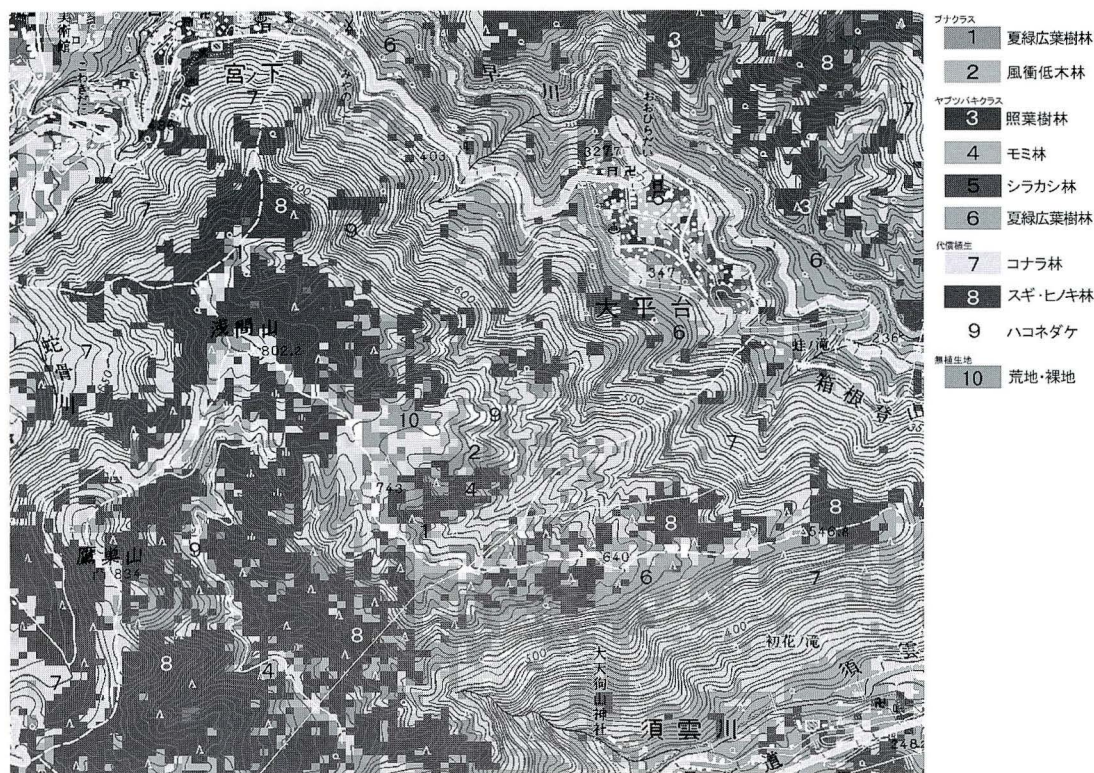


図8 浅間山から湯坂山にかけての土地被覆図。

においては浅間山から湯坂山にかけての稜線の北側がそれに当たる。新时期輪山であるこれらの山々は、ほぼ東西方向に尾根がのびている。そのため、北西方向に太陽光の当たりにくい急傾斜面が存在する。この斜面の植生を、環境庁（1982）と比較した。

その結果、浅間山山頂から宮ノ下にかけての広葉樹林について、土地被覆図ではスギ・ヒノキ林という分類結果を示していることが分かった。このエリアの傾斜は約30度となっている。観測日の太陽高度は51度なので、その斜面における日射量は平らな土地での32%に低下する。他に同じような場所を探すと、湯坂山北側斜面や幕山北西斜面において、植生図とは異なる分類をしていた。湯坂山については植生図を参考に新しいカテゴリとして定義し、分類しなおした。図8はこの結果を反映させたものである。

しかし、幕山においては、岩石の露出している急斜面（図9中の矢印部分）においては、バンド5の値が低いことが確認された。そのためにこのカテゴリとは一致しな



図9 幕山北西斜面の岩場。

いと考え、「急傾斜による分類不定地」を新たに設定した。なお、図3・4・6・8・10はすべてこのカテゴリを設定した上での分類結果となっている。

5. 大観山周辺の評価

植生図によると、大観山北側斜面はスギの植林地となっている。南側斜面は、ブナクラスの夏緑広葉樹林に覆われているが一部にモミ林があるとされている（環境庁、1982）。図10の土地被覆図では、スギ・ヒノキ林についての分類結果は、トレーニングエリアとしている大観山北側斜面を含めて、植生図とほぼ同様であった。また、無線中継所付近のターンパイク沿いの南斜面は、一部に夏緑広葉樹林が混在するような分類結果となっているが、これも宮脇他（1972）とよく一致している。

大観山から無線中継所にかけての南斜面は宮脇（1972）ではハコネダケ群落になっているが、環境庁（1982）ではハコネダケ群落の幅は狭く、その両脇をクリミズナラ群集が挟んでいる。このため図10は環境庁（1982）に近い結果を示している。

モミ林についても大観山南斜面にあるもののひとつをトレーニングエリアとして指定しているが、図10の中ではこの斜面において、モミ林が点在するという結果が得られた。

IV まとめ

数値地図（地図画像）というCD-ROMを利用したことによって、この土地被覆図は新井田（1998）に比べ、土地被覆分布を地表と照らし合わせることが容易になった。特に2万5千分の1という縮尺で作成されている他の植生図との評価が簡便に行えるようになったことは重要である。しかし、分類結果はきわめて機械的に地図上

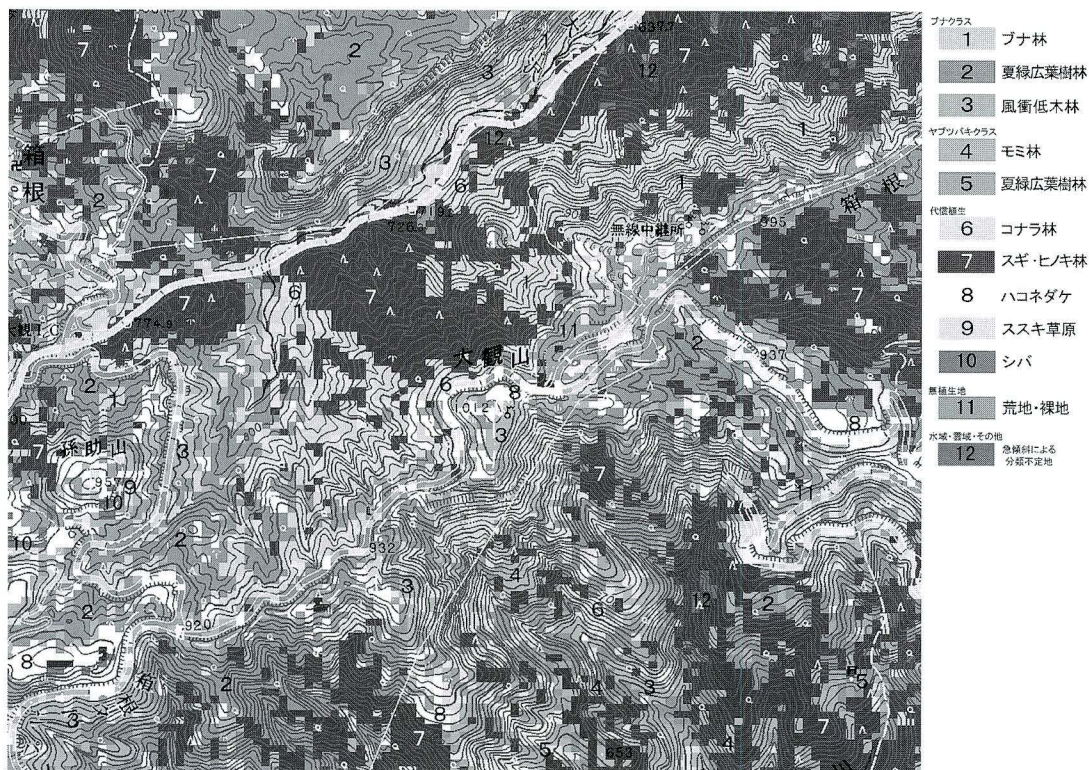


図10 大観山周辺の土地被覆図。

に投影されるため、同縮尺の植生図では分解能の限界から表現しないような小面積の分布についてもそのまま表現されている。

また、重ね合わせるための位置あわせに高い精度の座標変換が必要となった。1ピクセルずれるだけで約25メートルも移動してしまうために、尾根や谷が地図と一致しないことがあり繊細な注意が必要である。

急傾斜地での分類に困難な点が残るものの、今回改良された土地被覆図は、かなり実用に耐えられるようになったと考える。急傾斜地については、あらかじめ数値地図(標高)などのデータから傾斜方向を求めておくことで、判別が可能となる。

今後は、箱根だけでなく丹沢山地などにもエリアを広げ、神奈川県全体を2万5千分の1スケールでカバーする土地被覆図を作成する予定である。また、当館にて収集されている過去のデータについても同様に解析を進めたいと考えている。この研究によって作成される土地被覆図は、自然環境の変化を過去から連続して調べることができるため、自然保護を進めるにも有効なデータとなるだろう。

謝辞

本研究は、神奈川県立生命の星・地球博物館の調査研究事業「リモートセンシングを用いた丹沢山地の土地被覆図の作成」の成果の一部である。また、元神奈川県立博物館学芸部長の高橋秀男氏、当館学芸員の勝山輝男氏、田中徳久氏、田口公則氏には有益なアドバイスを頂きました。土地利用図の背景として使用した地形図は、建設省国土院発行のCD-ROM「数値地図25000(地図画像)横須賀」を使用しています。1998年の衛星画像については、元データの所有は米国政府であり、EOSAT

／宇宙開発事業団から提供を受けたものです。これらのご厚意に対して御礼申し上げます。

参考文献

- 神奈川県公園協会・丹沢大山自然環境総合調査団企画委員編, 1997. 丹沢大山自然環境総合調査報告書, 636pp. 神奈川県環境部.
- 環境庁, 1982. 現存植生図(小田原, 1/5万)第2回自然環境保全基礎調査(植生調査). 環境庁.
- 国土地理院, 1979. 土地利用図(箱根, 1/2.5万).
- 宮脇昭他, 1972. 神奈川県の現存植生, 789pp. 神奈川県.
- 宮脇昭・藤原一繪・寺田仁志, 1991. 大磯町の植生, 4+116pp. 大磯町役場.
- 新井田秀一, 1998. リモートセンシングによる土地被覆分類—ランドサット/TMによる神奈川県の場合—. 神奈川県立博物館研究報告(自然科学), 27: 85-92.
- 日本地図センター編, 1992. 数値地図ユーザーズガイド, 494pp. 日本地図センター, 東京.
- 日本リモートセンシング研究会編, 1992. 図解リモートセンシング, 4+308pp. 日本測量協会, 東京.
- 相模原市教育委員会, 1988. 相模原市の植生, 228pp. 相模原市教育委員会.
- 田中徳久, 1996. 第3節下草柳泉の森地区 2植物, 第四章 自然景観と動植物, 大和市史8(上)自然編. 265-297
- 土屋清編著, 1990. リモートセンシング概論, 322pp. 朝倉書店, 東京.
- 宇宙開発事業団地球観測センター編, 1990. 地球観測データ利用ハンドブッケーランドサット編・改訂版, 6+298pp. リモート・センシング技術センター, 東京.
- 山崎志乃・遠山三樹夫, 1994. 東高根のシラカシ林. 天然記念物総合診断報告書, 4: 98-137.

横浜市公害対策局, 1991. 横浜市陸域の生物相・生態系
調査報告書, 456pp. 横浜市公害対策局環境管理室.

摘 要

新井田 秀一, 1999. リモートセンシングによる土地被覆分類—2万5千分の1箱根における検証—. 神奈川県立博物館研究報告(自然科学), 28: 63-72. (S. NIIDA, 1999. Land Cover Map by Remote Sensing: In the case of HAKONE area. Bull. Kanagawa prefect. Mus. (Nat. Sci.), 28: 63-72.)

1998年4月14日に観測された地球観測衛星ランドサット/TMの画像を使って、箱根地域の土地被覆図を作成した。分類には最尤法を用い、トレーニングエリアやカテゴリの設定に改良を加えた。その結果、今までに調査されている植生図などと比べると、分類に対する基本的な考え方が異なるため単純な比較はできないが、十分に実用的だといえる。この研究によって作成される土地被覆図は過去からの連続的な環境の変化を調べることができるため、自然保護などの基礎資料となるものである。

(受付: 1998年11月27日, 受理: 1998年12月3日)