

(短報)

人工衛星画像を利用したスギ林分布図の作成

高橋 裕一¹⁾・川島 茂人²⁾¹⁾ 山形県衛生研究所 〒990-0031 山形市十日町1-6-6²⁾ 農林水産省農業環境技術研究所 〒305-8604 つくば市観音台3-1-1

(1999年3月31日 受付, 1999年5月6日 受理)

Preparation of *Cryptomeria japonica* Forest Map Using Data from SatelliteYuichi TAKAHASHI¹⁾ and Shigeto KAWASHIMA²⁾¹⁾ *Yamagata Prefectural Institute of Public Health,
Tohkamachi 1-6-6, Yamagata, 990-0031, Japan*²⁾ *National Institute of Agro-Environmental Sciences,
Kannondai 3-1-1, Tsukuba, 305-8604, Japan*

In order to prepare the source area map of airborne *Cryptomeria japonica* (*C. japonica*) pollen, we applied a remote sensing technique using satellite data, such as SPOT, LANDSAT and ADEOS. It is clarified that ① Forests face north and shaded areas not be classified as *C. japonica* forest, ② Accurate classification is prevented by cloud, ③ *Pinus* forests and *C. japonica* forests are not always classified as separate category. Applied satellite data and their acquisition time influence the classification results. There are several weak points, though the method using data from satellite is outstanding, because it is an only method for preparing the *C. japonica* forest map reflects the present condition of the forests, and the renewal is easy by changing a newly obtained data from relevant satellites.

Key words : *Cryptomeria japonica*, forest map, image, remote sensing, satellite

Abbreviations : SPOT System Probatoire d'Observation de la Terra, ADEOS Advanced Earth Observing Satellite, AVNIR Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer, HRV High Resolution Visible, TM Thematic Mapper, BIL Band Interleaved by Line, CEOS Committee on Earth Observation Satellite, UTM Universal Transverse Mercator.

我々は、刻々と変わる空中スギ花粉の濃度分布を地図上にリアルタイムに表示することを目的に種々検討している。この仕事で第一に必要なものは、スギ花粉の発生源であるスギ林がどこにどれくらいあるか

を知ることであった。それには環境庁が作成した現存植生図(自然環境保全基礎調査(植生図))を利用するのが便利であった。しかし現存植生図では、スギ花粉の発生源とは成り得ない若いスギ林もスギ林に分類

されること、現存植生図は更新回数が少なく現状に合わないことが多々あることなどが指摘された。我々はグラントルース (ground truth checking)^(注1) のたびにそのことを経験してきた。そこで、最新のデータをもとにスギ林分布図を作ることを考えた。川島により開発された空中スギ花粉の濃度分布のリアルタイム表示モデル¹⁾では、二次メッシュ (約 10km × 10 km) を基本単位として採用している。したがって、今回の目的では二次メッシュ単位ごとにスギ林の密度が求められる精度があれば良い。ただし現状を反映するものでなければならないので、できるだけ最新のデータを用いる必要がある。それには衛星画像が適していると考え、LANDSAT 衛星の TM データ²⁾を用いることにした。初期の結果は先に本学会誌に報告した³⁾。前回使用した衛星データは 10 年以上前のものなので、今回は最新のデータに改めるとともに、前報で検討課題になっていた、①最適な衛星の種類、②画像取得時期の問題、等について検討した。

人工衛星からの画像はスポット (SPOT)、ランドサット (LANDSAT)、アデオス (ADEOS) 衛星のものを用いた。いずれも CEOS フォーマット^(注2)、BIL 形式 (ライン挟み込みバンド並び)^(注3)、のフルシーン画像を利用した。解析に用いた波長は SPOT 衛星の HRV ではバンド 1 (0.49 ~ 0.59 μm)、バンド 2 (0.61 ~ 0.68 μm)、バンド 3 (0.79 ~ 0.89 μm)、LANDSAT の TM ではバンド 1 (0.45 ~ 0.52 μm)、

バンド 3 (0.63 ~ 0.69 μm)、バンド 4 (0.76 ~ 0.90 μm)、ADEOS の AVNIR の Mu^(注4)ではバンド 2 (0.52 ~ 0.60 μm)、バンド 3 (0.61 ~ 0.69 μm)、バンド 4 (0.76 ~ 0.89 μm) である^{4), 5)}。研究対象地域は、北は北緯 39 度 20 分、南は北緯 37 度 30 分、東は東経 141 度 30 分、西は東経 139 度に囲まれた地域で南北に約 205km、東西に約 220km の範囲である。山形県を中心とし、秋田県と岩手県の南部、宮城県のほか全域、新潟県と福島県の北部を含む。この領域は、我々が先に空中スギ花粉の濃度分布をリアルタイムに表示することを目的としてシミュレーションモデルを構築した際に対象として用いた領域である⁽⁷⁻⁹⁾。画像処理には Erdas 社のソフトウェア Erdas Imagine Ver 8.3 を用いた。入手した画像は Imagine ソフトウェアで処理できるように Import / Export 機能を使い拡張子が img (Imagine のファイルフォーマット形式) のファイルに変換した。次に、UTM 座標系 (ユニバーサル横メルカトル図法) にジオコーディング (geocoding)^(注5) ずみの地図画像を用いて変換処理後の衛星画像を UTM 座標系に幾何補正した。その際、GCP (ground control point ; 地上基準点) は 20 地点以上をとり、変換精度は 1.0 以下になるようにした。国土地理院が発行している国土数値情報 (標高 50m メッシュ) も同様の方法で UTM 座標系に変換して用いた。スギ林の抽出は前報³⁾と同様の方法で行った。すなわち、航空写真およびグラントルース

注 釈

- (注 1) 人工衛星からの画像を処理した結果得られたデータと地表または地表に近いところで収集されたデータ (気球、航空写真) との間で、正確さや整合性をチェックする作業。
- (注 2) CEOS 地球観測衛星委員会が定めた人工衛星データのフォーマット形式。
- (注 3) BIL 全バンドの 1 シーン分のデータが 1 ファイルを構成し、1 バンド、1 ラインのデータが 1 レコードを構成している。それに対して 1 バンドの 1 シーン分のデータが 1 ファイルを構成している形式を BSQ (band sequential) という。
- (注 4) HRV, TM, AVNIR はそれぞれ、SPOT, LANDSAT, ADEOS 衛星に搭載された高分解能の光学センサー名で ADEOS にはマルチスペクトルバンド (Mu) とパンクロマチック (Pa) とがあり、それぞれ空間分解能は 16m (4 バンド)、8m (単バンド) である。
- (注 5) リモートセンシング画像と地形図を対応づける技術。
- (注 6) 確実に目的対象が存在する領域 (ここではスギ林) を真の対象領域と仮定して教師と呼ぶ。教師が誤っているとその後の処理は信頼できないものとなる。
- (注 7) “もっともらしさ” を与える尺度を尤度 (ゆうど) というが、尤度を最大にする値を求める方法。

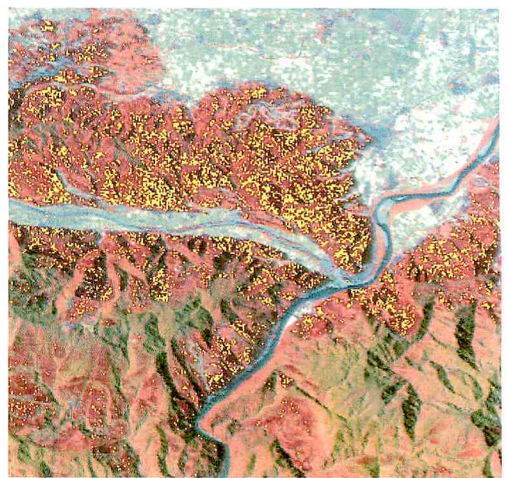


Fig. 1



Fig. 2

95. 8. 18



97. 10. 22

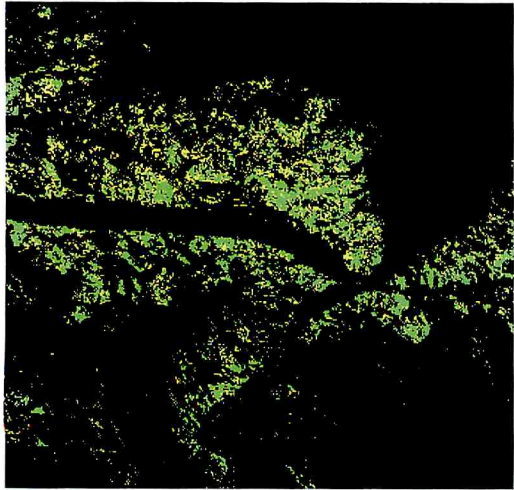
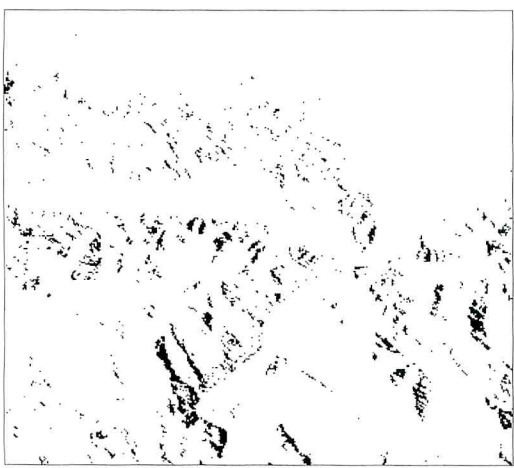


Fig. 3

a



b

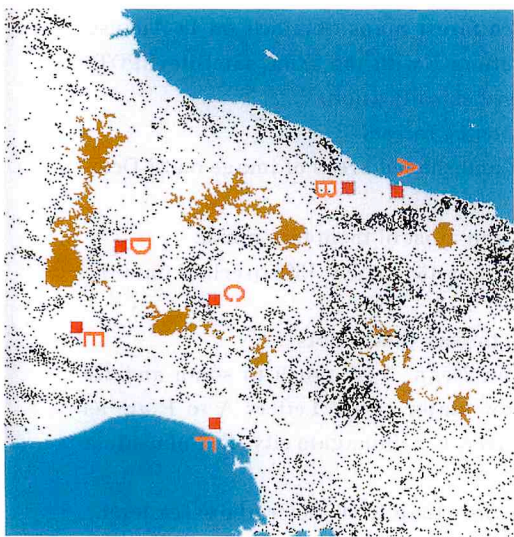


Fig. 4

スからスギ林であることが明らかな領域を地図上にプロットした。次に、教師^(註6)をとらずに衛星画像を200のクラスターに機械的に分類した(教師なし分類法)。先に作成した航空写真およびグラウンドトランスからスギ林であることが確実な領域を選び出し、それを教師として最尤法^(註7)で再分類した(教師つき分類)。雲などで期待通りの抽出ができなかった領域については、別の日に撮った画像あるいは他の衛星で撮った画像を用いて同様の処理を行った。このようにして得られた分類ずみの画像をモザイクし最終的なスギ林分布図を得た。

得られたスギ林分布図が実際のスギ林の分布に合っているか確認するため、できるだけ新しい航空写真や植生図を用意し重ね合わせを行った。具体的には、航空写真や植生図をイメージスキャナーでパソコンに取り込み、パソコンの画面上で航空写真や植生図から得られたスギ林分布図と衛星画像からのスギ林分布図を重ね合わせ、その重なり具合を調べた。その結果、広大な面積一面にスギが植林されて、その植林地がなだらかな斜面であるか平坦地の場合には精度良くスギ林に分類されることがわかった。Fig. 1には教師つき分類法で分類したSPOT衛星の画像を示した。この図では海岸沿いのマツ林(Fig. 1のG(褐色))と明

らかにスギ林であることをグラウンドトランスで確認したスギ林(Fig. 1のE(白色))を教師として分類したところスギ林とマツ林は異なるカテゴリーに分類できた。このように平坦地で均一なスギ林が広範囲にある場所では良い分類結果が得られた。一方、小さい面積のスギ林が点在するような地域、急勾配の北斜面にあるスギ林はうまく抽出できなかった。太陽光線が当たらず陰になっている領域は独立したカテゴリーに分類された。秋の画像では陰が強調された。その一例をFig. 2に示した。この図は、1995年8月18日と1997年10月22日に同一SPOT衛星で、同一画像処理法(教師なし分類)で得られた画像を比較したものである。8月の画像でも陰の領域がみられたが、10月の画像では陰が強調された。Fig. 3aはFig. 2で得られた二枚のスギ林の分布図を重ね合わせたものである。Fig. 3bには10月22日の画像で陰に分類された領域が示してある。なだらかな斜面(図の左)は比較的良く重なっていたが、一部の急斜面(図の右)では結果に違いがみられた。図には示さなかったが、衛星をかえたり、撮影時期をかえたものについて同様の分類処理を行ったところ、衛星や撮影時期が異なると分類結果に多少の違いが出るということがわかった。

植生図との重ね合わせの結果うまく分類できたと考

Fig. 1. An example of supervised classification from data obtained with SPOT satellite on 22 October, 1997 (path 330, row 272).

Letters A to G are as follows : A ; city, B ; paddy, C ; Mogami river, D ; the Sea of Japan, E ; *C. japonica* forests (white areas), F ; deciduous forests, G ; *Pinus* forests (brown areas).

Fig. 2. Comparison between *C. japonica* forest maps obtained on 18 August, 1995 (summer) and 22 October 1997 (autumn) with the same satellite (SPOT) and the same data analysis (unsupervised classification).

Yellow colored areas represent *C. japonica* forests.

Fig. 3. Overlaid two images from Fig.2 and shaded areas of image on 22 October 1997.

Right : black areas are shaded areas and most of them face north.

Left : *C. japonica* forest map obtained on 18 August, 1995 overlaid onto the map on 22 October 1997.

Fig. 4. Distribution map of *C. japonica* forests (black dots).

The size of the subjective area is about 205km from north to south and 220 km from east to west. Red squares show major cities. Letters A to F are as follows : A ; Sakata city, B ; Tsuruoka city, C ; Yamagata city, E ; Fukushima city and F ; Sendai city.

Light brown areas represent the places more than 1,000 meter above sea level.

えられる領域同士をモザイクし、最終的なスギ林分布図を得た (Fig. 4)。この図では LANDSAT 衛星の4つのフルシーンをういて処理したものをモザイクしてある。スギ林分布図を得る目的でバラバラに得られた領域を組み合わせるには、衛星画像をつなぎ合わせる際に生じる色調補正等の手間はなく単純につなぎ合わせを行えば良い。個々の領域でスギ林の分布に問題がなければつなぎ合わせた後の画像でも大きな誤りはないと考える。ただし、用いる衛星の種類、分類手法、撮影時期の違いで結果に多少の違いが出ることは念頭に置く必要がある。

この分布図が実際のスギ林の分布をどの程度反映しているかを標高データや植生図と見比べ検討したところ、標高が1,000m以上の領域にもスギ林に分類された領域があった。植生図やグラントルースからそれはアオモリトドマツ林であることがわかった。そこで、国土数値情報 (標高50mメッシュ) を用いて、標高が1,000m以上の領域を選び出し、その領域に属するスギ林を除去した (Fig. 4の淡褐色の領域)。

人工衛星の画像からスギ林分布図を作る方法は、最近の画像を用いれば新しい情報が容易に得られるので現状にあうものを作ることができる。画像処理は、以前はコンピュータにくわしい人でないとできなかったが、最近ではパソコン版の画像処理ソフトが出回るようになり比較的容易に行えるようになった。人工衛星画像を用いてスギ林分布図を作る方法は、一度ある地域について作成すれば、次回からは新しいデータを同様に処理するだけですむので安価で、しかも労力もかからない。ただし、この方法では、①急峻な山の斜面 (特に北斜面) に植林されたスギ林は抽出できない、②雲は薄いものでも分類結果に悪影響を及ぼすので、使用する衛星画像は、まったく雲のない画像を選ばなければならない、③樹種分類では、マツとスギの識別はある場所では可能であっても、他の場所では不可能であった等の問題がある。③については衛星をかえて調べても類似した結果が得られたことから考えると、対象樹林のサイズや植林状況 (スギのみの単相林か、数種類が混生しているか) などが関係しているのかも知れない。今回アオモリトドマツ林はスギ林と識別できなかった。このことからスギ林に分類されたものの中にはスギ林以外の針葉樹林が含まれている恐れがある。一方、落葉樹林は明らかに針葉樹林と識別できたのでスギ林の中に落葉樹林が含まれることはないと考えられる。②については雲のない画像を探せばよいが、利用できる衛星が少なく、必ずしも目的のものを探すこ

とができないことがある。①と③で、良い結果を得ることができなかった急峻な北斜面は、航空写真、パラグライダー等の近距離から得た画像を用いることで解決すると考える。ただしこの方法は手間暇と予算がかかるので、状況次第では従来の植生図で代用するしかない。栗屋¹⁰⁾は森林のスペクトルは樹種、生育ステージ、そして季節ごとに多様に変化するため森林解析ではスペクトル変化の特徴を理解し、その基礎データから最適な条件を選ぶ必要があるとしている。実用面からいえば、現在利用できる衛星の種類がごく限られており、決して最適な条件のものを選んで処理できる状況にはない。今回の対象領域では福島県の会津地方で雲のない画像を探すのが困難であった。将来利用できる衛星が増えれば別であるが、現時点ではその選択の余地はあまりないと考えた方がよい。

謝 辞

本研究は科学技術庁の「スギ花粉症克服のための総合研究」の一部として行われた。衛星データは宇宙開発事業団 (NASDA) の研究者配布の画像データを利用していただいた。陰に分類された領域の評価には、岩手大学工学部の横山隆三教授が作成した東北地方の斜度図・斜向図を利用した。画像処理に際しては PASCO の名和裕司氏の、また画像処理及び論文作成は結城留美氏の協力を得た。

引用文献

- (1) 川島茂人：スギ花粉の発生と拡散過程のモデル化 — スギ花粉の拡散過程に関する研究 (I)。日本花粉学会会誌 37, 11-21 (1991)。
- (2) リモートセンシング技術センター：衛星観測データ利用ハンドブック—ランドサット編・改訂版。宇宙開発事業団 pp.22-33 (1976)。
- (3) Takahashi, Y., Tokumaru, K. and Kawashima, S. : Distribution chart of *Cryptomeria japonica* forest through data analysis of LANDSAT - TM. *Jpn. J. Palynol.* 38, 140-147 (1992)。
- (4) 新井康平：高分解能可視近赤外放射計 (AVNIR)。日本リモートセンシング学会誌 13, 62-68 (1993)。
- (5) 日本リモートセンシング研究会：リモートセンシング衛星一覽。リモートセンシングハンド

- ブック, 宇宙開発事業団. 東京 pp.256-275 (1997).
- (6) Kawashima, S. and Takahashi, Y. : Modelling and simulation of mesoscale dispersion processes for airborne cedar pollen. *Grana* 34, 142-150 (1995).
- (7) 川島茂人・高橋裕一: 開花日を考慮したスギ花粉拡散シミュレーションー スギ花粉の拡散過程に関する研究(Ⅲ). 日本花粉学会会誌 37, 137-142 (1991).
- (8) 高橋裕一・川島茂人: スギ花粉の飛散動態をめぐって. アレルギーの臨床 16, 165-169 (1996).
- (9) 高橋裕一, 川島茂人, 相川勝悟: 空中スギ花粉シミュレーション法を用いた花粉情報. アレルギー 45, 371-377 (1996).
- (10) 粟屋善雄: 森林のスペクトル変化, 農業リモートセンシングー 環境と遡源の定量的解析ー. 農業環境技術研究所 養賢堂 pp.117-118 (1996).
-