

衛星データからトドマツ人工林の樹冠疎密度を推定する

加 藤 正 人

は じ め に

衛星データを利用すれば、広範囲の森林の現況についての情報を周期的に得ることができます。解析に用いた衛星データは、米国の地球観測衛星ランドサットの多重走査計（TM）です。TMデータ



は、人間の視覚と同じ波長帯の可視光線域の3つの観測波長帯（バンドと呼ぶ）、可視光線より波長の長い近・中間赤外線域の3つのバンドおよびさらに波長の長い熱赤外線域の1つのバンドで、地表からの反射光の強さを測定しています。こうして得られたデータ（反射輝度値）をコンピュータ上で組み合わせて、人間の目に見える白黒の濃淡やカラー画像にして利用します。空中写真は可視光線域の1種類の目でみるのに対し、TMデータは7種類の目で見るので、林相区分や森林の活力を含む地表の様々な表情（情報）が見えてきます。しかし、空中写真によるデータと異なって解像力が劣ることから、これまで利用が限られていました。空中写真が単木を識別するのにに対し、TMデータの識別できる能力は30m×30mであることから、0.09haごとの大きさで樹木の集団の表情（情報）を捉えることに利点があります。ここではこのTMデータの特性を利用して、トドマツ人工林の樹冠疎密度を推定する方法を開発したので紹介します。

調査地と用いた衛星データ

調査対象としたトドマツ造林地は、樽前山東部丘陵地の国有林苫小牧事業区80林班ほ小班です。天然林の皆伐跡地に昭和40年植栽された無間伐の平地林で、縦360m・横270mの長方形で9.72haの大きさです。林内はトドマツの生立本数の多い部分や、侵入したハルニレ、カンバ類などの広葉樹が優占する部分などが混在し、トドマツの樹冠占有割合は場所によって異なっています。TMデータは1990年4月11日、4月27日、5月29日に観測された3つのシーンで、現地は樹木の芽ぶきから開葉時期にあたります。4月11日は広葉樹の芽ぶき時期、4月27日は開葉初期、5月29日は開葉終期です。トドマツ人工林の樹冠疎密度の算出に使用した白黒空中写真（以下、空中写真と略す）は、1990年7月1日撮影の縮尺約8千分の1のものです。

解 析 方 法

解析の流れを図-1に示します。解析の手順は①空中写真上の調査地を衛星データの最小区画（30m×30m）で区分して、この区分ごとに疎密度を求めます。②この疎密度と衛星データから得た同じ位置の輝度値との対応関係を統計学的に明らかにします。③その対応関係を適用して、衛星データから樹冠疎密度区分画像を作成するという手順です。

1 空中写真から最小区画 (30 m×30 m) ごとに疎密度を求める

空中写真をカラスキャナによって、赤・緑・青の各カラー成分にデジタル変換します (写真-1,左)。写真上のトドマツの樹冠は黒色で、隣接する林分の幼齢トドマツ造林地、ミズナラ、シナノキを主とする広葉樹天然林は白色であることから、肉眼でも色調の違いが明白です。この画像をTMデータの画素サイズ (30m×30m) に対応するように調査地のトドマツ人工林の右上を原点に 30m幅の格子を作成し、調査地の上に重ねます。調査地は縦 360m, 横 270 mであることから縦 12 個, 横 9 個の格子に区分され, 右上から格子番号 1, 左下が 108 番となるように格子ごとに通し番号を割り当てました (写真-1,右)。次に現地踏査から確認した上で林相分類を行いました。分類はトドマツ, 広葉樹, 下層植生, 非植生 (裸地・道路) の 4 区分としました。各格子ごとに分類区分に該当する面積をカウントし, 占有面積割合を算出しました (表-1)。例えば, 写真-1 の格子番号 1 は, トドマツの樹冠占有面積割合 63.3%, 広葉樹 26.5%, 下層植生 6.1%, 非植生 4.1%です。108 個の格子のトドマツ樹冠占有面積割合は 26.8%~87.3%までの範囲で, 平均は 64.3%でした。

表-1 空中写真のデジタル解析結果から導かれた格子 (30 m×30 m) ごとの分類項目の占有面積割合

格子 №	占有面積割合 (%)			
	トドマツ	広葉樹	下層	非植生
1	63.3	26.5	6.1	4.1
2	74.6	18.8	2.1	4.5
3	68.6	25.8	3.7	1.9
4	52.9	38.7	8.4	0.0
5	48.7	40.3	9.7	1.3
105	74.6	15.2	1.7	8.5
106	82.4	9.5	0.3	7.8
107	83.1	5.2	1.8	9.9
108	87.3	7.4	2.9	5.4

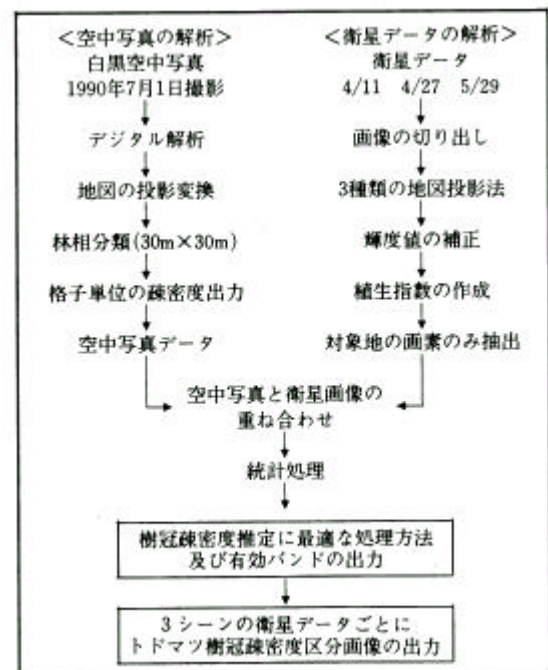


図-1 トドマツ人工林の樹冠疎密度推定の流れ図

2 疎密度を求めるために衛星データの前処理方法を調べる

衛星データから精度良く疎密度を推定するには画像の歪みを取り除き, 地図に投影する前処理および観測時の大気や水分による散乱を補正する前処理が必要です。しかし, これらの前処理に使用される補正方法は数種類あり, それぞれに長短があるため, 疎密度と相関の高い手法を統計的に検定して選択する必要があります。ここでは以下の手法を比較・検討しました。

(1) 地図の投影法の検討

TM データが記録された磁気テープから調査地を含む範囲における地表の状態を表しているデータを取り出し, それと 2 万分の 1 事業図と 5 千分の 1 森林基本図から得られるデータ

との対応関係から求めたそれぞれ特徴のある三種類の地図投影法を用いて、TM データの画像の補正（幾何補正）を行いました。

(2) 観測された輝度値の補正

TM センサーに受信された反射光の強さは、地表からセンサーに届くまでの間に、空気中の水分やちりによる散乱の影響を受けます。そこで3つの異なる時期に観測されたTM データについて、輝度値を衛星通過時刻の天頂角、太陽と地球の距離の比、波長帯別の太陽放射量から絶対放射輝度値に変換しました。また、大気中の水分やちりによる散乱の影響についても調べました。

(3) 植生指数の作成

樹木を含む植物の反射率は、クロロフィルの影響により可視域で低く、近赤外域では高い値を示します。また、植物は種固有の反射特性をもち、今までの研究で針葉樹は広葉樹と比較すると、どの波長帯においても反射率は低く、針葉樹の中でもカラマツ、トドマツ、エゾマツの順に低下することが分かっています。こうした植物のもつ反射特性の違いを強調するため、可視域と近赤外域のバンドを組合わせて数々の植生指数が提案されており、ここでは代表的な5つの植生指数を求め、樹冠疎密度を推定する上での有効性を調べました。

解 析 結 果

1 最適な疎密度推定画像を得る方法

疎密度を推定する最適な衛星画像を得るために3つの地図投影方法を試みました。空中写真のデジタル解析で求めた108個の格子ごとのトドマツ樹冠占有面積割合と衛星画像の反射輝度値との相関を調べ、その値(r^2)に関し分散分析を行い、どの投影方法が最適か検討しました。その結果、樹冠疎密度を推定する地図投影法はCC法（キュービソク コンボリューション法）が最も有効でした。輝度値の補正では、大気中の水分やちりによる散乱の影響を除去するので画像は見やすくなりましたが、疎密度推定に対する大気補正処理の効果は認められませんでした。バンド選択の結果では、観測する波長のバンド間に有意差が大きく、樹冠疎密度の推定にバンドの選択が重要であることが分かりました。疎密度推定の精度の高い順位はTM4, 5, 7の近・中間赤外線域、次に植生指数のグループ、可視域のTM1~3は全体に低い傾向が見られました。

2 トドマツの樹冠疎密度区分画像の作成

これまで述べた結果から、観測された各シーンについてトドマツの樹冠疎密度と最も相関の高かった手法や最適なバンドまたは植生指数を変数とする回帰式（表-2）を求め、樹冠疎密度を推定しました。白黒濃淡の画像化したのが写真-2です。調査地のトドマツ人工林は各シーンの左下の四角で囲まれた範囲です。疎密度コードの凡例は右側に示し、濃くなるにしたがって疎密度が高くなります。衛星データから作成した画像は3シーンとも調査地の左上部と下部が密で、右側の中間部は疎であるなど空中写真が表わす樹冠の疎密とよく対応しています。

表-2 トドマツの樹冠疎密度を求める回帰式

4 月 11 日	$Todo = (-8.75859 \times TM5 + 138.9) \div 100$	$r^2 = 0.635^{***}$
4 月 27 日	$Todo = (674.8 \times TVI - 628) \div 100$	$r^2 = 0.702^{***}$
5 月 29 日	$Todo = (-4.92424 \times TM4 + 214.3) \div 100$	$r^2 = 0.664^{***}$

Todo：トドマツの樹冠疎密度 TM5：TM データのバンド 5
 TVI：植生指数 TM4：TM データのバンド 4
 前処理は CC 法，ラジオメトリック補正を用いた

また，衛星から推定した疎密度の確からしさ（寄与率）は，いずれのシーンも 60%以上でした（表-2）。

3 他地域への応用

ここで求めた関係は，1 つのシーン（185 km×185 km）の全域あるいは同一観測日の他のシーンに応用できることから極めて広域の疎密度区分画像を同時に作成できます。一例として道立林業試験場森林施業・生態研究林（中央研究林）のトドマツ人工林に関し，疎密度区分画像を作成しました（写真-3）。ナチュラルカラー画像上にトドマツ人工林のみ白黒濃淡の疎密度コードで表示しています。区分画像は視覚的に小班の中を画素単位に疎密度識別が可能なことから，小班内の人工林の成績の層化区分や密林分を主とする間伐対象小班の選択・抽出など，施業計画を策定する上で活用が期待できます。

お わ り に

今回解析に用いた TM データの地上解像力は 30mですが，現在利用可能な国産のふよう衛星は 18mの解像力です。さらに来年度初頭に打ち上げ予定の ADEOS は 8 mと衛星データの地上解像力は向上します。そうなれば現行のプロット単位から単木レベルでの現況把握が可能になるため，衛星データの林業への利用は一層進み，将来的にはこれらの衛星データは作成経費・観測周期性の面から，現行の空中写真や正射写真図と置き変わる時が来ると考えます。

こうした背景のもとに，将来の衛星データの森林・林業分野への実利用を目指して，ハード・ソフト面での整備と合わせて新しい解析技術の導入，そして本報告に示すような応用例を蓄積していく必要があります。また，技術の普及を図るため森林計画分野で運用している森林地図情報システム（GIS）と統合して，効率的な森林資源の管理を行うためのシステム開発についても行政と一体となって取り組んでいく考えです。

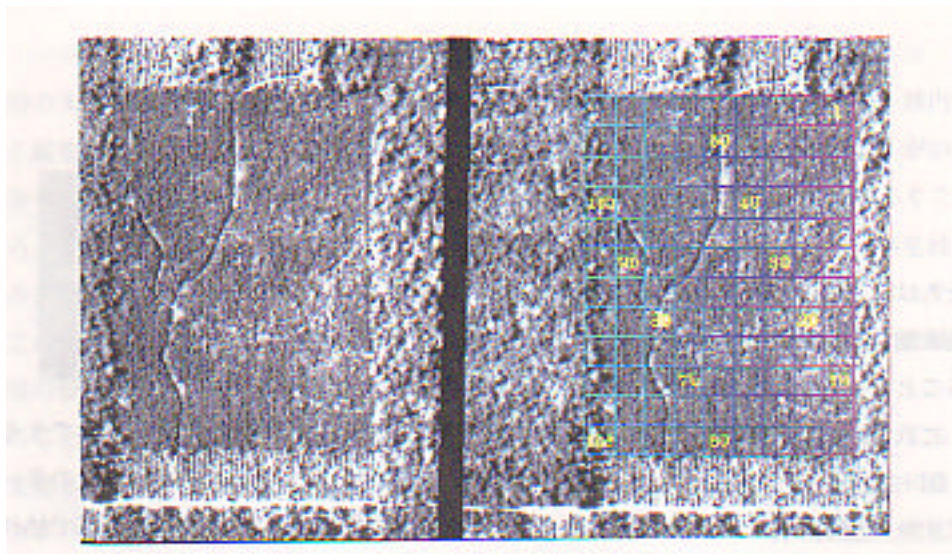


写真-1 幾何補正された空中写真(左)と、その上に格子(30 m×30 m)を重ね合わせた図(右)



写真-2 トドマツ人工林の樹冠疎密度区分画像
左：4月11日 中央：4月27日 右：5月29日

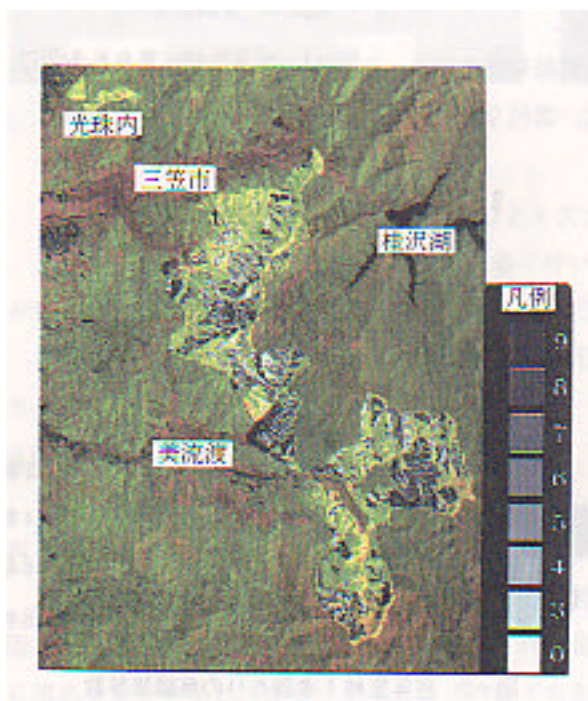


写真-3 トドマツ人工林の疎密度区分の他地域への応用例