

学 位 論 文 題 名

衛星リモートセンシング技術による針葉樹人工林の
樹冠疎密度の推定に関する研究

学位論文内容の要旨

現在、森林施業計画を策定する際には、空中写真判読や地上調査によって得られたデータが利用されている。その場合、人工林の樹冠疎密度は、間伐適期の判断、蓄積の算定など人工林資源を管理するための重要な因子となる。しかし、空中写真判読から樹冠疎密度を求めるには熟練を要するとともに個人差によるデータの客観性の問題や、広範囲の写真判読には相当の労力と時間を要するなどの問題点が指摘されている。

＜研究の目的と方法＞

本研究の目的は、衛星データの特性を利用して、北海道の主要な針葉樹人工林であるトドマツ、エゾマツ、カラマツの樹冠疎密度を精度良く推定し、疎密度区分画像を作成することである。

調査地は地上の情報（図面・空中写真）が整備されているとともに、地形が平坦で、かつ林班が明瞭に長方形で区画され、またトドマツ、エゾマツ、カラマツの針葉樹が大面積に一斉造林されているなど、衛星データの解析に適切な樽前山麓国有林を選定した。

本研究の解析手順は次のとおりである。

（１）衛星データの地上参照データとなる針葉樹人工林の樹冠の情報を毎木調査や写真判読によらず、空中写真のデジタル変換と画像解析によって、衛星データの最小区画（30m×30m）と同じプロットサイズの樹冠疎密度を求める手法を開発する。

（２）観測時期の異なる３シーン（1990年4月11日、4月27日、5月29日）のランドサットTMデータを標準化して、樹冠疎密度を精度よく求めるため、以下の前処理方法の中から最適な処理方法を検討する。

① ３種類の内挿法（歪みのある衛星画像を地図投影して補正する）

② 人工衛星データから大気的水分やごみ、散乱などの影響を排除するためのラジオメトリック補正・大気補正などの放射量補正処理。

③ノイズ除去のための調査地の外周画素の削除と3種類のフィルタリング処理。

(3) 以上について、衛星データの処理を実行し、空中写真のデジタル解析結果と対比して回帰計算と分散分析による手法間の検定を行い、それにより最適な処理方法を明らかにして、針葉樹3種の樹冠疎密度の推定のモデル（推定式と処理方法）を作成する。

(4) モデルをもとに3シーンの衛星画像それぞれについて、針葉樹3種の人工林の樹冠疎密度の区分画像を作成する。

(5) ここで求めた関係は、1つのシーン(185km×185km)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樹冠疎密度区分画像を同時に作成できる。そこで、開発したトドマツの樹冠疎密度モデルを調査地以外の他地域の森林に応用し、現場で使われる林相図と同縮尺(5万分の1)かつ同サイズ(A0版)で疎密度区分画像を作成し、区分精度について検証する。

<研究の意義>

衛星データから針葉樹人工林の樹冠疎密度を捉える手法の開発は以下の理由から意義が大きいと考えられる。

- (1)疎密度を衛星データから把握できれば、熟練性と労力を要する従来の写真判読に頼らなくてもよく、省力化が図られる。
- (2)衛星データから作成された疎密度区分画像は熟練者でなくても視覚的に林分の全体的な区分状況を捉えることができる。
- (3)疎密度が衛星データの画素(最小読み取り単位30m×30m)単位に把握できることから、小班内の成績区分や層化に活用できる。
- (4)コンピュータ上で情報が取り扱えることから、すでに北海道林務部で導入している地理情報システム(GIS)との組み合わせや電算化された森林調査簿データと結びつけ、小班のデータ修正・更新等のデータベース作成に活用できる。
- (5)年度の異なる疎密度区分画像の比較によって、若齢人工林や間伐後の樹冠閉鎖の進捗状況を把握することに利用できる。
- (6)人工林の資源把握以外にも、出力画像や図面は広域の森林を含めた土地利用状況が把握できることから、他分野への情報提供に有益である。

<解析結果>

本研究で明らかにした点は以下のとおりである。

- (1)空中写真から衛星データの最小区画(30m×30m)ごとに樹冠占有面積割合を求めた。本手法は従来の写真判読から求める方法より、効率的かつ客観的で大量の地上参照データを取得できる。

(2)モデルの処理方法では3樹種とも内挿法ではキュービック・コンボリューション(C³)法、ノイズ除去ではフィルタリングなしと調査地の外周画素をすべて削除した場合が共通して推定精度が高くなった。また放射量補正ではトドマツ、エゾマツ、開葉した時期のカラマツについてはラジオメトリック補正処理が良好であった。

(3)衛星データのモデルから作成したトドマツ、エゾマツ、カラマツ人工林の樹冠疎密度の区分画像は、3種とも空中写真が表わす樹冠の疎・密な箇所とよく対応しており、観測時期が異なっても同様の疎密度の配色パターンを示した。したがって、本手法によってトドマツ、エゾマツ、カラマツ人工林の疎密度区分の推定が可能なことがわかった。

(4)求めたモデルを他地域に応用して、現場で使われる林相図と同縮尺・同サイズのトドマツ疎密度区分画像を作成した。得られた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の活用が期待される。

(5)作成した疎密度区分画像の精度の検証を行った結果、空中写真の判読結果と整合性が高いことが分かった。このことは時間と労力を必要とする地上調査や熟練性を要する写真判読を行わなくても、広範囲の人工林の疎密度の現況を把握するのに有効であることを示すものである。

本研究の将来展望として、以下の利用が考えられる。

(6)本手法を利用することによりスギ、ヒノキなど他の針葉樹の疎密度区分にも応用できる。

(7)森林の経年変化の把握に利用できる。例えば、5年前と現在の疎密度区分画像の比較によって、人工林のうっ閉状況の進捗状況が捉えられる。また土地利用の変化に対しての活用が期待できる。

(8)針葉樹と広葉樹の占有割合が把握できることから、人工林だけでなく天然林の針広割合、疎密度区分などへの活用が期待できる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 和 孝 雄

副 査 教 授 五十嵐 恒 夫

副 査 教 授 堀 口 郁 夫

学 位 論 文 題 名

衛星リモートセンシング技術による針葉樹人工林の 樹冠疎密度の推定に関する研究

本論文は7章で構成され、図15、表18、引用・参考文献111を含む総頁数118の和文論文である。別に参考論文31編が添えられている。

現在、森林施業計画を策定する際には、空中写真判読や地上調査によって得られたデータが利用されている。その場合、人工林の樹冠疎密度は、間伐適期の判断、蓄積の算定など人工林資源を管理するための重要な因子となる。しかし、空中写真判読から樹冠疎密度を求めるには熟練を要するとともに個人差によるデータの客観性の問題や、広範囲の写真判読には相当の労力と時間を要するなどの問題点がある。

本研究は、衛星データの特性を利用して、北海道の主要な針葉樹人工林であるトドマツ、エゾマツ、カラマツの樹冠疎密度を精度良く推定し、疎密度区分画像を作成するための手法を開発することを目的としたものである。調査地としては地上の情報（図面・空中写真）が整備され、また地形が平坦で、かつ林班が明瞭に長方形で区画されているなど、衛星データの解析に適切な樽前山麓国有林を選定している。

得られた研究成果を要約すると次のとおりである。

1. 衛星データの地上参照データとなる針葉樹人工林の樹冠の情報を、空中写真のデジタル変換と画像解析によって、衛星データの最小区画（30m×30m）と同じプロットサイズで求める手法を開発した。本手法は従来の写真判読から求める方法より、効率的かつ客観的で大量の地上参照データを取得できる。
2. 観測時期の異なる3シーン（1990年4月11日、4月27日、5月29日）のランドサットTMデータを標準化して、樹冠疎密度を精度よく求めるため、内挿法、外周画素削除、フィルタリング処理による衛星画像の歪み補正やノイズ除去などについての最適な前処理方法を検討した結果、3樹種とも内挿法ではキュービック・コンボリューション（CC

法)、ノイズ除去ではフィルタリングなしと調査地の外周画素をすべて削除した場合が共通して推定精度が高くなった。また、人工衛星データから大気的水分やごみ、散乱などの影響を排除するための処理について検討した結果、放射量補正ではトドマツ、エゾマツ、開葉した時期のカラマツではラジオメトリック補正処理が良好であった。

3. 以上の結果をふまえて、衛星データの処理を実行し、空中写真のデジタル解析結果と対比して回帰計算と分散分析による手法間の検定を行い、トドマツ、エゾマツ、カラマツ人工林の樹冠疎密度の推定モデルを作成した。モデルから作成した針葉樹3種の樹冠疎密度の区分画像は、空中写真が表わす樹冠の疎・密な箇所とよく対応しており、観測時期が異なっても同様の疎密度の配色パターンを示した。

4. モデルをもとに3シーンの衛星画像それぞれについて、針葉樹3種の人工林の樹冠疎密度の区分画像を作成した。

5. 開発したトドマツの樹冠疎密度モデルを調査地以外の他地域の森林に応用し、現場で使われる林相図と同縮尺(5万分の1)かつ同サイズ(A0版)で疎密度区分画像を作成した。得られた区分画像は視覚的に小班の中を画素単位に疎密度識別することが可能であり、小班内の人工林の成績の層化区分や樹冠密度の高い間伐対象小班の選択・抽出などに有効なことが分かった。また、作成した区分画像の精度を検証した結果、空中写真の判読結果と整合性が高いことが分かった。

以上、本研究で新たに開発したモデルは、時間と労力を必要とする地上調査や熟練を要する写真判読によらなくても広範囲の人工林の樹冠疎密度の現況を把握することを可能とし、また小班内の成績区分や年度の異なる画像の比較により林分の推移状況を把握できるなど、森林施業計画を策定するうえで有効かつ効率的な手法を提供するとともに、スギ、ヒノキなど他の針葉樹への本モデルの応用や人工林だけでなく天然林の針広割合、疎密度区分などへの活用、さらには森林を含めた広域の土地利用状況など他分野への情報提供にも有益であり、これらの研究成果は、学術上高く評価されるだけでなく、実用的にも寄与するところ大きいものがある。

よって、審査員一同は、別に行った学力確認試験の結果と合わせて、本論文の提出者 加藤正人は博士(農学)の学位を受けるのに十分な資格があるものと認定した。