

## 審査の結果の要旨

氏名 田口 仁

森林生態系を維持しながら、社会的ニーズを満たす持続可能な森林管理が必要とされる中で、森林の二酸化炭素吸収量や炭素貯蔵量の広域な将来予測のニーズが高まっている。そのニーズに応えるためには、まず森林を広域に把握してデータを取得し、予測モデルを利用して二酸化炭素吸収量や炭素貯蔵量の将来予測を行う必要がある。

森林は、成長により二酸化炭素吸収量が増えるため、成長段階の把握が必要である。また、将来予測には過去の炭素貯蔵量の把握が必要である。これらの把握に、樹木サイズである樹高と胸高直径、そして材積やバイオマスで示される森林の 3 次元構造が有効であり、それを把握するには森林を構成する単木レベルの調査が必要である。現地調査による単木レベルの調査は可能だが、広域な調査は困難である。また、広域に整備された森林簿は精度不足が指摘されている。そのため、リモートセンシングが期待されており、特に 3 次元計測技術は単木レベルの森林の 3 次元構造データの抽出に有効である。

予測モデルは、最近では森林を生態系として扱う生態系プロセスモデルが登場した。このモデルは、今後の気候変動に対応でき、将来性や柔軟性がある。さらに、森林管理へ向けた実用性が高いモデルが登場している。

そこで、森林の二酸化炭素吸収量や炭素貯蔵量の広域な将来予測を行うために、リモートセンシングの 3 次元計測技術から森林の 3 次元構造データを抽出する手法を開発し、生態系プロセスモデルと統合する手法を開発した。

生態系プロセスモデルを整理し、リモートセンシングとの親和性が高く、森林管理への適用を視野に入れた Hybrid モデルの森林成長モデルを統合へ利用することが最適であると結論付けた。次に、森林の 3 次元構造データと森林成長モデルの統合手法を検討した。各林班の平均的な単木レベルの森林の 3 次元構造データとして、幹バイオマスと立木密度に注目し、パラメータ調整を行い、モデルにより森林を再現した後に将来予測を行い、二酸化炭素吸収量や炭素貯蔵量を算定する方法とした。また、単木レベルで森林の 3 次元構造が抽出可能なデータとして、単木データと Digital Canopy Model(DCM)の 2 種類を挙げた。また、リモートセンシングによる単木レベルの森林の 3 次元構造データの抽出手法の開発へ向け、LIDAR データ、ALOS/PRISM データ、空中写真それぞれに研究の方法論を示した。

研究の方法論に基づき、森林成長モデルとの統合へ向けた、リモートセンシングによる森林の 3 次元構造データの抽出手法を開発した。

LiDAR データからは、単木ごとに樹冠形状モデルのパラメータを推定する単木抽出手法を開発した。テストエリアでの検証では、樹高の二乗平均誤差は 1.37 m、樹高の過小推定は約 1 m 軽減できた。次に、樹冠閉鎖林班で下層木を推定する MNY 法を適用し、誤差率 9.1 % で幹バイオマスが推定可能なことを確認した。

ALOS/PRISM データからは DCM を作成し、検証を行った。作成した DCM は二乗平均誤差で 5 m から 6 m の精度で作成可能なことを確認した。ALOS/PRISM および LiDAR データの DCM から林班単位で平均樹高を推定し、現地調査データを利用して樹高から幹バイオマスと立木密度への変換式を作成し、各林班に変換式を適用して両者を推定した。テストエリアでの評価では、妥当な精度で抽出可能なことを確認した。

多時期の空中写真に対しては、セルフ・キャリブレーション付きバンドル・ブロック調整法による標定を行い、DSM および DCM を作成した。DCM の二乗平均誤差は 3 m から 4 m だった。時系列に作成した DCM の観察から、樹高成長、伐採、倒木が把握できた。

森林の 3 次元構造データと森林成長モデル 3-PG の統合手法を開発した。

単木データによる森林の 3 次元構造データと森林成長モデルの統合では、植栽年が明らかな林班において、幹バイオマスとして土壌肥沃度、樹木本数として間引きに関するパラメータを各林班で調整し、二酸化炭素吸収量や炭素貯蔵量を推定した。DCM による森林の 3 次元構造データと森林成長モデルの統合では、植栽年が不明な林班において、幹バイオマスとして植栽年、樹木本数として間引きに関するパラメータを各林班で調整し、二酸化炭素吸収量や炭素貯蔵量を推定した。2 つの統合手法をそれぞれにテストエリアへ適用し、パラメータの調整後にシミュレートした各林班は、空中写真による時系列の樹高データや林分収穫表との比較から、妥当な精度で予測が可能なことを確認した。さらに、ストックチェンジ法により、二酸化炭素吸収量を算定した。

本論文の新規性は、森林域における二酸化炭素吸収量や炭素貯蔵量の広域な将来予測に森林の 3 次元構造の有効性に着目したこと、地域スケール(数 km から数十 km)の空間スケールにおける二酸化炭素吸収量や炭素貯蔵量の将来予測を行う手法を開発したこと、リモートセンシングデータとして LiDAR データ、ALOS/PRISM データ、多時期の空中写真から、森林の 3 次元構造データを抽出する手法を新たに開発したこと、森林の 3 次元構造データという、新しいデータを用いて生態系プロセスモデルと統合する手法を開発したことである。

開発した手法により、これまで困難だった森林の成長段階や炭素貯蔵量のデータを広域に抽出する手法が確立され、二酸化炭素吸収量や炭素貯蔵量の将来予測を実現した。

よって本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認められる。