

## 審査の結果の要旨

氏名 チョー トウ・モー

高価値広葉樹は森林管理において経済的に重要な役割を持つ。北日本の針広混交異齢林では、ウダイカンバやハリギリ、ミズナラから商業的価値の高い木材が生産される。高価値広葉樹の優良木は個体数が少なく森林内に点在するため、単木管理のもとで適期に収穫されている。優良木の探索や測定は地上調査に依っているが、作業に要する人的、費用的負担は大きい。リモートセンシング技術、特に無人航空機を用いたデジタル空中写真測量 (UAV-DAP) の適用によって、高価値広葉樹の単木情報を効率的に収集し、地上調査の困難さを克服できる可能性がある。また、高価値広葉樹の資源推移を評価・予測する技術の適用により、高価値広葉樹の持続的資源管理が可能になると期待される。そこで本論文では、リモートセンシングと資源評価の技術を組み合わせ、高価値広葉樹の単木管理システムに応用するための手法について検討を行っている。

本論文では第 1 に、高価値広葉樹 (ウダイカンバ、ハリギリ、ミズナラ) の大径木を対象に、UAV-DAP による単木樹高推定の精度評価を行った結果が記述されている。東京大学北海道演習林 (北演) の 36・59 林班に生育する計 178 本の高価値広葉樹について、単木位置、樹高、胸高直径 (DBH) を地上調査により測定している。また、単木位置と調査地のオルソ画像から対象木の樹冠を抽出し、航空機レーザー計測 (LiDAR) と UAV-DAP により生成した林冠高モデルを用いて樹高を推定している。3 つの方法で推定した樹高の値を比較した結果、UAV-DAP は LiDAR および地上調査と高い相関を示したと記述されている。地上調査による樹高の推定精度は樹種によって異なること、UAV-DAP は LiDAR に比べて樹高を過小推定する可能性のあることが示唆されたとしている。

第 2 に、UAV-DAP を用いて高価値広葉樹の単木位置の特定と DBH の推定を行った結果が記述されている。北演 36・59 林班の UAV オルソ画像に多解像度分割アルゴリズムを適用し、樹冠情報をもとに樹種分類を行っている。個々の樹冠区画のスペクトルおよびテクスチャ属性を抽出し、ランダムフォレストを用いて分析した結果、3 種の高価値広葉樹、その他広葉樹、針葉樹の 5 つのグループに分類することができたとしている。また、UAV-DAP による樹高とオルソ

画像による樹冠面積を変数とする DBH 推定モデルを構築し、LiDAR や地上調査による樹高・樹冠面積を変数とした場合と同等の精度で単木の DBH を推定できることを明らかにしている。

第 3 に、択伐施業下にある針広混交林での高価値広葉樹資源の持続可能性について、長期測定試験地データを用いて評価を行った結果が記述されている。北演の天然林施業試験地 31 箇所における 1968～2016 年の測定データから、立木本数密度と胸高断面積合計 (BA)、BA 増加量 (BAI)、進界木と枯死木の各本数、樹種別本数比率の経年変化を分析している。結果として、高価値広葉樹 3 種の立木本数密度と BA、BAI はいずれも増加傾向にあったこと、高価値広葉樹の DBH 分布は概ね逆 J 字型のパターンであったこと、枯死木本数には有意な傾向が見られず進界木本数は測定期間中に増減していたこと、ウダイカンバとミズナラの本数比率は増加したこと、が示されている。これらの結果から、択伐が行われた針広混交林では、林分構造が長期的に変化しているものの、高価値広葉樹資源の持続性は達成可能と結論付けている。

第 4 に、同じ長期測定試験地データを用いて、針広混交林における高価値広葉樹の単木成長モデルを構築した結果が記述されている。期首の DBH、立木本数密度と BA、択伐木の BA を固定効果とし、単木、プロット、測定年をランダム効果とする線形混合モデルを構築し、3 つの樹種別に単木の BAI を予測している。Leave-one-out 交差検証を行った結果、いずれの樹種においても BAI の実測値と予測値との間に高い相関がみられ、予測値の二乗平均平方根誤差はそれぞれ 10.44、7.91、11.62  $\text{cm}^2/\text{年}$ であったとしている。構築したモデルにより、BA 増加率が一定と仮定して、DBH が 30 cm の単木が 50 cm に達するまでの所要年数を算出したところ、それぞれ 29 年、28 年、48 年と予測され、ミズナラが他の 2 樹種に比べて 2 倍近くの年数を要することが示唆されたとしている。

以上のように本論文は、リモートセンシング (UAV-DAP) と資源評価の技術が、単木情報の正確かつ空間明示的な収集と、計画的・持続的な資源管理を可能にし、高価値広葉樹の単木管理の効率化と省力化、および精密林業の実現に役立つものであることを具体的に示したものである。これらの研究成果は、学術上応用上寄与するところが少なくない。よって、審査委員一同は本論文が博士 (農学) の学位論文として価値あるものと認めた。