

論文審査の結果の要旨

氏名：亀山 翔平

博士の専攻分野の名称：博士（生物資源科学）

論文題名：経済的分析に基づく持続可能な森林管理に向けた UAV 活用に関する研究

審査委員：(主 査) 教授 丸山 温
(副 査) 教授 太田 祐子
教授 木口 実
准教授 杉浦 克明

日本における成熟した森林資源を持続的に活用するためには、伐採して適切に木材を利用し、さらに再植林することで次世代の森林を造り上げていかなければならない。そのため、林業・木材産業の活性化や持続可能な森林管理の推進が必要になる。既往研究では、事業体における素材生産の生産性は低位であるとともに、収入（原木売上）だけでは支出（間伐作業費、作業道開設費）を賄うことができず、補助金を活用することで黒字の収支を維持している状況にあることが示されている。また、日本における素材生産においては、急峻な地形や路網整備の遅れなどの要因により、導入できる林業機械や作業システムが制限されるため生産性の向上は困難であり、大幅なコストダウンが望めない状況にある。そのため、持続可能な森林管理を実施するためには、素材生産の分析に加え、原木市場における木材流通の分析と新たな技術の活用の検討が求められる。

そこで、本論文では、持続可能な森林管理の実現に向けた課題を明確にするため、1) 原木市場における産地証明材と森林認証材（FSC: Forest Stewardship Council と SGEC: Sustainable Green Ecosystem Council）の経済的な分析を基に実態解明を行い、2) それらに加え新たな森林管理の手法として近年注目されている通信情報技術（ICT: Information and Communication Technology）の一つである UAV（Unmanned Aerial Vehicle）を活用した森林管理の可能性について検討することを目的としている。

まず、原木市場における調査では、東京都西多摩郡日の出町にある原木市場の多摩木材センターを対象に、原木の取扱量や価格について分析を行い、持続可能な森林管理に向けた課題の検討を試みている。その結果、産地証明された多摩認証材や持続可能な森林資源のお墨付きを受けた森林認証材が取扱われて以降、その需要が増加したことで多摩木材センターを介した原木の安定供給に寄与したことを示唆している。しかし、原木価格は日本全国平均と同様に多摩木材センターでも長期的に下落していたことに加え、多摩認証材や森林認証材も価格プレミアムが付いていないことが明らかになり、現状では認証取得は素材生産業者や森林所有者への利益の還元に寄与しないことが示された。

次に、新たな技術として注目されている UAV が森林分野でも活用可能であれば、人的な資源調査のコストを削減できる可能性がある。そこで、実務レベルでも活用可能な簡易な手法を用い、樹高や材積の推定とその精度検証から、UAV 活用の基礎的な知見の蓄積と森林域における UAV の活用の可能性について検討を行った。

まず、UAV の飛行条件が、樹高や材積の推定値に影響を与えるのか検証するため、日本大学八雲演習林を試験地とし、UAV（Phantom3 Advanced）を活用した空撮画像の撮影と SfM ソフトウェア（Terra Mapper）を活用した空撮画像の処理と推定を行った。飛行条件は、飛行高度が 5 条件（60m, 80m, 100m, 120m,

140m), オーバーラップとサイドラップがそれぞれ4条件(80%, 85%, 90%, 95%)の計80条件を設定し, 飛行条件ごとの処理画像を基に, 樹高と樹冠面積の推定およびその推定値から材積の算出を行った。樹高と材積において毎木調査の実測値と比較し, UAV推定値の精度検証を行った結果, 樹高の推定値は実測値と比較すると過少傾向を示し, 材積の推定値も実測値と比較すると過少傾向であった。RMSEはどの飛行条件においても同程度であり(樹高のRMSE: 5.2~7.1m, 材積のRMSE: 0.31~0.4 m³), 飛行条件が推定値に与える影響は少ないと考えられたが, 実測値と比較すると精度は低いため, 現場での運用には地形や林況を考慮したUAVの飛行条件を設定することなどによる精度向上が求められる。

次に, UAVによる空撮画像の処理および樹高や材積の推定にはSfMソフトウェアが必要になるが, ソフトウェアによって処理画像や推定値が異なることが予想される。そこで, 異なる3つのSfMソフトウェア(Terra Mapper, PhotoScan, Pix4Dmapper)による画像処理や生成画像の違いと, 樹高や樹冠面積の推定値を比較することを試みている。用いた空撮画像は, 上記の分析に使用したものであるが, 飛行高度が5条件(60m, 80m, 100m, 120m, 140m), オーバーラップとサイドラップがそれぞれ2条件(90%, 95%)の計20条件による比較である。ソフトウェアの画像処理における各ステップのパラメータは, マニュアルの推奨値や初期値に設定している。異なるSfMソフトウェアにおいて樹高と樹冠面積を推定し, 推定値の差を検定するため多重比較を行った。また, 樹高においては毎木調査の実測値と比較し, UAVによる推定値の精度検証が行われた。その結果, 生成された画像やモデルの解像度については, 約2~5cm/pixであり, 同一の飛行条件である場合にはSfMソフトウェアによる違いはなかったが, 高密度点群数についてはSfMソフトウェアにより大きく差があり, PhotoScanは最も多くの高密度点群が生成されていた。また, SfMソフトウェアにおける推定値の多重比較の結果, 樹冠面積, 樹高ともに多くの飛行条件で統計的有意差(P<0.05)が確認された。さらに, 樹高のRMSEは, どのSfMソフトウェアにおいても5~6mであるが, 多くの飛行条件においてPix4Dmapperの推定精度が高かった。結果より, SfMソフトウェアにより樹冠面積と樹高の推定値は有意に異なることを明らかにしている。また, 生成された高密度点群数からはPhotoScan, RMSEからはPix4Dmapperの活用が推奨される。

本論文では, 持続可能な森林管理に向け原木市場の経済的な分析を試みた結果, 現状では原木の差別化(多摩認証材, FSC認証材, SGEC認証材)による価格プレミアムは期待できず, 原木価格の下落による収入の減少が大きな課題であることを解明し, 持続可能な森林管理のために新たな技術を用いた作業の効率化や省力化の必要性を示した。一方で, 人的作業の省力化が期待できる新たな森林管理の手法としてUAVの活用の可能性を検討した結果, 森林域においてもUAVによる森林情報の取得が可能であり, 作業の省力化や効率化に向けた新たな森林管理の手法として十分に活用の可能性が高いことを示した。短期的な視点では大幅なコスト削減にはつながらないが, 持続可能な森林管理に求められる長期的な森林の可視化が容易にでき, 将来的には森林管理のコスト削減につながる可能性を提示した。本論文で得られた成果は, 今後のUAV技術を導入した森林情報の蓄積や情報共有のための基礎的な情報としての活用が十分に期待される。

したがって審査委員一同, 本論文の学術的価値を高く評価し, また申請者の研究者としての資質や大学院博士課程における研鑽や単位取得なども併せて考慮し, 申請者が博士(生物資源科学)の学位を授与されるに値するものと認められると判断した。

以上

令和3年2月22日