

論文の要約

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

持続可能な森林経営を実施するためには、素材生産の分析だけではなく、原木市場における認証原木と非認証原木の木材流通と価格の分析を行い、認証原木によって森林経営の改善につながるのかを明らかにする必要がある。また、既存の森林管理手法にとらわれることなく、様々な分野で活用され始めた ICT 技術の一つである UAV (Unmanned Aerial Vehicle) を森林管理に導入し、森林管理を行う上でどのような効果があるのかを明らかにする必要がある。そこで、本研究では、持続可能な森林管理に向けた実現に関する課題を明確にするため、原木市場における産地証明材と森林認証材の経済的分析を基に実態解明を行い、それらに加え新たな森林管理の手法として近年注目を集めている UAV 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た。

まず、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た。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 (FSC と SGEC) 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と考えられる。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る。また、多摩認証材や森林認証材も価格プレミアムが付かないため、現状の原木価格では、認証を取得しても素材生産業者や森林所有者への利益の還元は困難といえる。そのため、市場で評価されず、収益の増大が厳しいのであれば、新たな手法を用いた作業の効率化や省力化の検討の必要であろう。

そこで、新たな技術として近年注目されている UAV に着目した。UAV は様々な分野で積極的に活用され、UAV 空撮画像により生成した 3D モデルや DSM (Digital Surface Model) 画像から高さの推定などが行われている。その飛行条件や SfM (Structure from Motion) ソフトウェアによる画像の処理方法は体系化されておらず、UAV による推定手法の組み合わせは幾多も存在する。しかし、森林分野においても UAV が活用できれば、人的な資源調査のコストを削減できる可能性が高まる。そのため、UAV の導入における基礎的なデータの蓄積が急務である。そこで、実務レベルでも活用可能である UAV による簡易な森林資源把握手法を用い、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を試みた。対象地は北海道にある日本大学八雲演習林に試験地を設定し、UAV には Phantom3 Advanced を用いて、空撮画像の取得と SfM ソフトウェア (Terra Mapper) による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 条件を設定した。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は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。その結果、3D モデルから樹高と樹冠の判読が可能なものが 64 条件、判読が不可なものが 16 条件であった。樹高の UAV 推定値は、実測値と比較すると過少傾向であり、飛行条件ごとの RMSE は 5.2~7.1m であった。また、材積の推定値も実測値と比較すると過少傾向であり、飛行条件ごとの RMSE は 0.31~0.4 m³ であった。そのため、RMSE はどの飛行条件においても同程度であり、飛行条件が推定値に与える影響は少ないと考えられた。しかし、画像処理が不可となり、空撮画像を再取得する可能性を考慮すると、空撮画像の重複率が高い飛行条件の設定が求められる。また、実測値と比較すると精度は低いいため、現場での運用には精度の向上が求められる。

次に、UAV による樹高や材積の推定には、SfM 技術の活用を必要とするが SfM ソフトウェアは複数存在しており、その画像の処理工程はソフトにより異なる。そこで、異なる有償の 3 つの SfM ソフトウェアによる樹高や樹冠面積の推定値の比較と、画像処理や生成画像の違いを明らかにすることを

試みた。使用した SfM ソフトウェアは、Terra Mapper, PhotoScan, Pix4Dmapper である。また、用いた空撮画像は前述したものと同様のものを使用するが、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 条件による比較とした。SfM 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た。その SfM 処理した画像をもとに樹高と樹冠面積を推定し、異なる SfM ソフトウェアにおける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 推定値の精度検証を行った。その結果、どの SfM ソフトウェアでも生成画像の地上解像度は約 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。高密度点群数は、SfM ソフトウェアにより大きく差があり、PhotoScan による SfM 処理で最も多く的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を行った結果、樹冠面積、樹高ともに多くの飛行条件で統計的な有意差 ($P < 0.05$) 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 Pix4D の推定精度が高かった。そのため、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が明らかになった。また、生成された高密度点群数からは PhotoScan, RMSE からは Pix4D の活用が推奨された。具体的な例を挙げると、災害地の状況把握などのモニタリングには PhotoScan, 樹高などの推定には Pix4D が有効と推察された。

本研究の結果をまとめると、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、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もなく、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た。現状では、持続可能な森林管理のためには、新たな技術を用いた作業の効率化や省力化が求められることが明らかとなった。そこで、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。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。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がある。本研究で得られた成果は、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。