

## 審査の結果の要旨

氏名 ウォン ウィルソン ヴン チョン

大面積に対して多時期に適用できるリモートセンシング技術は、森林地上バイオマス量の推定や森林の生物物理量測定、森林モニタリングシステム、生物多様性の評価などといった林業的な利用に対して大きな可能性を持っている。地表面の3次元データセットは、航空機LiDAR (ALS) や合成開口レーダ (SAR)、ステレオ画像などにより構築することができるが、情報の質は使用センサや飛行高度により異なっている。このうちステレオ空中写真は取得コストが低く、応用可能性が高く、反射スペクトルの情報を持っているという点で、ALSやSARとは異なる有利な情報源である。そのため、REDD+メカニズムのもとでの熱帯林の森林炭素蓄積量推定といった、世界的に重要な技術開発の中でも写真測量技術は主要な位置を占める。本論文の目的は、熱帯山地林環境におけるデジタル空中写真測量の林業的な利用について評価し応用可能性を示すことである。

本論文は9章から成り立っており、第1章では研究の背景および目的、第2章では文献調査、第3章では研究フローについて述べた。

第4章では研究対象地域、本論文で用いたデータおよび地上調査の概要について述べた。対象地域はマレーシア・サバ州Ulu Padasの標高900~2,000mの比較的急峻な熱帯山岳林で、企業による伐採区や地元住民による焼き畑などが混在し、様々なレベルの森林劣化が見られる地域である。使用したリモートセンシングデータは、ヘリコプタで取得した簡易デジタル空中写真 (AP) と高密度ALSデータである。2011年から2014年まで行った森林調査では、45プロットで毎木調査とDGNSSによるプロット位置の測位を行った。

第5章では、SfM (Structure from Motion) 手法により空中写真を用いて作成したデジタル表層モデル (AP-DSM) の性能を、ALSとの比較を行って明らかにした。その結果、森林構造がAP-DSMの精度に影響を与えることが明らかとなった。RMSEは1.01mから4.19mであったが、表層樹冠面の傾斜角が大きいほど、写真の輝度が小さいほどRMSEが大きくなることがわかった。AP-DSMデータが得られない領域が対象地の3.3%あったが、樹冠のギャップで林床まで太陽光が十分届かず画像が暗い、またはオーバーラップ率が不十分だったため空中写真のアラインメントが行えず3Dモデルが作成できなかったことが主な理由であった。これらの結果から、十分なオーバーラップ率で撮影すれば、データ取得費用がALSよりも小さく、よ

り大面積への適用が可能な空中写真は、DSM取得に十分な精度を持っていることが明らかとなった。

第6章では、空中写真を用いた地上バイオマス量(AGB)推定精度の検討を行った。地上調査プロットにおいて、ALSから抽出したデジタル地形モデル(ALS-DTM)をALSポイントクラウドとAPポイントクラウドに適用して作成した地上高ALSポイントクラウドと地上高APポイントクラウドを用いたAGB推定精度の比較を行った。プロット調査結果に対して4種類の単木AGB推定アロメトリ式を用い、単回帰法およびランダムフォレスト法による平均材積推定を行ったところ、4種類のアロメトリ式の中ではBasukiモデルのRMSEが最も小さく、全般的に高バイオマスプロットにおけるRMSEが比較的高いという傾向が見られたが、ALSと空中写真のAGB推定精度に顕著な違いは見られなかった。

第7章では、空中写真を用いた生物物理量推定精度の検討を行った。本研究で推定を行ったのは、上層樹高、Lorey平均樹高、平均胸高直径、胸高断面積合計(G)および立木密度(N)の5種類である。第6章と同じデータセットを用いて推定を行ったところ、GおよびN以外は高い精度を得られること、ALSと空中写真での推定精度はRMSEが3%未満とほとんど変わらないことがわかった。

第8章と第9章で結果、考察および結論を述べた。

以上のように本研究は、これまで主に温帯林や冷温帯林においてしか検討されていなかったデジタル空中写真測量を初めて熱帯山地林に対して適用し、ALSと変わらない性能を持つことを明らかにした。空中写真ではALSのように高精度のDTMを得ることができないため、空中写真の性能をフルに利用するためにはALS-DTMの取得が前提となるが、ALS-DTMの存在する地域ではデータ取得費用が安価な空中写真を定期的に撮影することで、森林の調査やモニタリングに必要な情報が高い精度で得られる可能性を示した。この成果は学術面だけでなく、持続可能な熱帯林の森林管理の推進といった応用面でも貢献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。