

審査結果の要旨

氏名 ラム アバトル

今日の熱帯林では、生物多様性保全、水資源、土壌保全、木質資源生産、炭素吸収などの生態系サービスを支える役割の重要性の認識の高まりと共に、適切な森林管理への要請が世界的な問題となっている。世界森林資源評価 (FRA2010) は年平均で約 1300 万 ha の熱帯林が減少していると報告しており、より良い資源管理が必要となっている。本研究はこのような世界的な森林問題への対処として、森林減少・劣化に伴う排出削減 (REDD) 政策で活用すべきリモートセンシング技術に関する研究を行い、気候変動緩和へ貢献することを目指したものである。

本論文ではリモートセンシングを REDD+政策の遂行に利用するための問題点を整理して、7つの主要研究課題を設定し、リモートセンシング技術の特性とその利用法を提示した。

最初の研究課題では、熱帯林の被覆分類を向上させる手法を明らかにした。熱帯では、雨季には雲の影響のために、また乾季には落葉樹が落葉するために、光学センサの利用は適切とはいえない。本論文ではフェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ (PALSAR) のフル偏波データで偏波分解定理を利用して高精度の森林分類を行う手法を示した。Cloude-Pottier の H/A/ α 法と Freeman-Durden の 3 要素分解法、Yamaguchi の 4 要素分解法による森林型分類の比較では、Yamaguchi の 4 要素分解法が最も高い精度を示した。

第 2 の研究課題では、森林開発跡地と森林型における PALSAR の偏波パラメータの特徴を明らかにした。まず PALSAR のフル偏波データの森林および開発跡地における特徴量を示した。後方散乱係数 (σ°)、エントロピー(H)、アルファ角(α)、異方性(A)、ペDESTラル高(PH)、レーダ植生指数(RVI)、Freeman-Durden の 3 要素分解法、Yamaguchi の 4 要素分解法などの分析の結果、HV 偏波の後方散乱係数、エントロピー、レーダ植生指数、ペDESTラル高などが特に有効なパラメータであることを明らかにした。

第 3 の研究課題では、複数のデジタル標高モデル (DEM) を用いて森林開発前の林分高推定を行う手法を提示した。一般に利用可能な ICESat-GLA、PRISM-DSM、ASTER-GDEM および STRM DEM を利用した。森林開発地の林分高を CESat-GLAS データでオフセット修正した PRISM-DSM と SRTM-DEM を用いて良く推定できることを示した。本成果は、林分の 3 次元データの取得を可能にするとともに、森林開発に伴う排出量の算出に極めて有効である。

第 4 の研究課題では、人工林の成長を PALSAR が捉えられることを示した。カシュー人工林の PALSAR 後方散乱係数 (σ°) と林分パラメータとの関係を分析した。その結果、林齢が高いほど後方散乱係数は大きく、若い林齢の時に後方散乱係数の上昇率は大きいことを明らかにした。また、HV 偏波の後方散乱係数の方が HH 偏波よりも成長把握に適しているが、13 年生頃の林では後方散乱係数のサチュレーションが起きることなどを明らかにした。PALSAR によるカシュー林の林齢推定は、 $R^2 = 0.86$ 、RRMSE=1.8 年で、バイオマス推定は $R^2 = 0.88$ 、RRMSE=6.3 t/ha であった。

第5の研究課題では、人工林でのバイオマス推定法を天然林でも適用可能であることを示した。カシュー林とゴム林の PALSAR 後方散乱係数の特性を比較した。カシュー林はゴム林に比べて林分パラメータとの相関が高く、サチュレーションしにくい。カシュー林で得られた多変量線形回帰モデルは天然林のバイオマス推定でも良い結果をもたらすことが分かった。天然林の評価の結果、落葉広葉樹林で、PALSAR から推定したバイオマスと地上調査によるバイオマスとが比較的高い相関 ($R^2 = 0.64$, $RMSE = 23.2 \text{ Mg/ha}$) を示した。一方、高密度の常緑林のようなバイオマスの大きな森林では PALSAR はサチュレーションし、その適用限界も明らかになった。

第6の研究課題では、国レベルのバイオマス分布図作成を可能にした。全国の地上部バイオマスを推定するために PALSAR の二偏波 50m モザイクデータを利用した。バイオマスと PALSAR 後方散乱係数 HV との相関は高く ($R^2 = 0.67$)、HH/HV との相関も比較的高い ($R^2 = 0.56$)。PALSAR で推定されるバイオマスは常緑林ではサチュレーションすることが多いものの、落葉樹林では良い結果を示した。評価の結果、バイオマスが 200 t/ha 以下の森林では高い相関を示していると言える ($R^2 = 0.61$, $RMSE = 21 \text{ t/ha}$)。

第7の研究課題では、持続的森林管理計画策定のために、最新の森林バイオマス分布図の利用が有効であることを示した。カンボジアの森林管理では、間伐、再植林、コミュニティフォレスト、コンセッションなどの対象地選定が必要であり、最新の森林被覆と森林バイオマス情報が極めて重要である。持続的森林資源管理を支え、有効な REDD+政策を実施するためにはコミュニティフォレストにおけるリモートセンシングの利用が有効であることを示した。

本研究は、REDD+政策を効果的に実行する為の計測・報告・評価 (MRV) に対して、リモートセンシング技術の利用可能性を実証的に示したものであり、極めて新規性の高いものである。これらの知見は、MRV システムの開発や持続的森林管理のみならず、国レベルの炭素アカウンティング向上のための二酸化炭素排出量推定に資するところも大である。

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。