



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	衛星リモートセンシングを利用した樹高および森林バイオマスの広域評価に関する研究〔論文内容及び審査の要旨〕
Author(s)	林, 真智
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	乙第6971号
Issue Date	2015-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/60156
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Masato_Hayashi_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称：博 士（農学）

氏名 林 真 智

衛星リモートセンシングを利用した 樹高および森林バイオマスの広域評価に関する研究

森林がもたらす様々な生態系サービスの中でも、気候変動の緩和に貢献しうる炭素の貯蔵庫としての機能が、近年関心を集めている。しかし、森林をはじめとする陸域生態系の炭素吸収量の推定値には大きな不確実性が含まれており、全球の炭素循環を理解するうえで最大の不確定要素となっている。また、気候変動緩和を目的とした、途上国における森林減少などを抑制する枠組みである REDD+（Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation）を実現するためには、森林における炭素蓄積量の時間変化を正確に計測することが求められる。このように、炭素循環の理解という科学的側面と、REDD+の実現という政策的側面の両面から、広域の森林資源モニタリング技術の必要性が増しつつある。

森林の広域モニタリングには衛星リモートセンシングの利用が適しているが、中でも衛星 LiDAR (Light Detection and Ranging) は高精度な計測を実現できる新しいセンサとして注目されている。これは地表面をレーザ光で照射する能動型センサで、反射されたレーザ光の強度変化を波形として記録しており、その波形の解析から地面標高や樹高などを推定できる。NASA が 2003～2009 年に運用した ICESat (Ice, Cloud, and land Elevation Satellite) 衛星に搭載された GLAS (Geoscience Laser Altimeter System) は、これまで存在した唯一の衛星 LiDAR である。本研究では、森林資源の広域モニタリングにおいて衛星 LiDAR が発揮しうる能力を評価することを目的とし、北海道およびボルネオ島を対象に、GLAS データを利用して樹高や地上部バイオマスといった森林資源を推定した。

はじめに、北海道の森林を対象に、GLAS データから樹高を推定する手法を構築し、広域評価に適用した。苫小牧および釧路サイトの 49 地点において樹高を地上計測し、そのデータにもとづき、GLAS データから樹高を推定する際の誤差要因を多変量解析により特定した。その結果、最大の誤差要因は GLAS の観測位置決定精度が低かった期間のデータ、次いで GLAS 波形にノイズの多いデータ（信号対雑音比が 10 未満）であった。こうしたデータは解析から除外することとした。続いて、道内 7 サイトの 476 地点において航空機 LiDAR により計測された樹高データにもとづき、先行研究で利用されている複数の樹高推定モデルの精度を比較した。その結果、Lead10 / Trail10 と呼ばれる GLAS 波形の両端のエッジの長さを利用したモデルが最も高精度であり、その RMS (Root-mean-square) 誤差は 4.3 m であった。この推定モデルを利用し、北海道の森林を観測した GLAS データ 13,774 点の各々において樹高を推定した。その結果、北海道の森林の平均樹高（±標準偏差）は 22.8 ± 6.0 m であることや、樹高分布に影響を与える地理条件で最大の要因は地面の傾斜角であること、樹高の高い地域は北海道中央域や渡島半島南西域に、樹高の低い地域は根釧地域や道央南部地域に分布していることなどがわかった。

次に、GLAS データによる樹高推定の応用として、北海道に大きな被害をもたらした 2004 年の台風 18 号の風倒被害にともなう樹高変化を定量評価した。道内で最も甚大な被害を受け

た苫小牧市周辺の国有林を対象とし、台風の前後あわせて 640 点の GLAS データから樹高を推定した。その結果、重大な被害を受けた森林では、平均して 2.1 m の樹高低下が観測され、中でもカラマツ林では平均 5.8 m もの低下が観測された。カラマツは根が浅いため風倒害に弱いことが知られている。また、樹高の低下量と地理条件との関係を多変量解析により分析したところ、黒ボク土の土壌や疎林、下層植生が草本の林分などでは、風倒被害リスクが高くなることがわかった。

次に、北海道の森林を対象に、GLAS データから地上部バイオマスを推定する手法を構築し、広域評価に適用した。道内 4 サイトの国有林内 106 地点において、ビッターリッヒ法を応用したサンプリング調査により地上部バイオマスを計測した。このデータにもとづき、GLAS 波形から導出した複数のパラメータを利用することで地上部バイオマスを推定するモデルを構築したところ、推定精度 (RMS 誤差) は 41.2 Mg ha^{-1} であった。この推定モデルを利用し、北海道の森林を観測した GLAS データ 13,774 点において地上部バイオマスを推定した。その結果、北海道の森林の地上部バイオマスの平均値 (±標準偏差) は $119.4 \pm 49.5 \text{ Mg ha}^{-1}$ であることや、地上部バイオマスに影響を与える地理条件で最大の要因は森林タイプであること、最大の地上部バイオマスを有する森林タイプは落葉針葉樹林 (カラマツ林) で 141.8 Mg ha^{-1} 、最小は混交林で 99.5 Mg ha^{-1} であり、両者には 1.4 倍もの差異があることなどがわかった。また、GLAS は離散的な位置を観測していることから、他の衛星画像データや気象データ、地形データを利用することで空間的に補間し、北海道全域をカバーする地上部バイオマス地図の作成も試みた。

最後に、北海道とは森林タイプが異なるボルネオ島の熱帯林を対象に、GLAS データから樹高および地上部バイオマスを推定する手法を構築し、広域評価に適用した。島内 5 サイトの 37 地点において地上計測をおこなったデータにもとづき推定モデルを構築したところ、樹高の推定精度 (RMS 誤差) は 3.8 m、地上部バイオマスの推定精度は 38.7 Mg ha^{-1} であった。この推定モデルを利用し、ボルネオ島の森林を観測した GLAS データ 127,862 点において地上部バイオマスを推定した。その結果、ボルネオ島における地上部バイオマスの平均値 (±標準偏差) は $190.2 \pm 131.6 \text{ Mg ha}^{-1}$ であることや、森林タイプ別の平均値は常緑広葉樹林で 212.0 Mg ha^{-1} であるのに対して、マングローブ林 (101.2 Mg ha^{-1}) や灌木 (92.7 Mg ha^{-1}) ではその半分程度であること、全島における総量は 10.26 Gt であることなどがわかった。また、GLAS データから推定された樹高にもとづきボルネオ島の森林消失率を算定したところ、2004~2007 年の約 3 年間に $1.6 \% \text{ yr}^{-1}$ の速度で森林が失われたことや、インドネシア領ではマレーシア領の 2 倍以上の速度で消失していたことがわかった。

本研究によって、衛星 LiDAR は、樹高や森林バイオマスを効率的かつ広域的にモニタリングする目的に適していることが示された。北海道とボルネオ島という 2 地域において有効性が確認されたことから、他地域の森林へも同一の手法を適用できる可能性が示唆される。全球規模で統一的手法により森林資源を評価できるツールは、炭素循環の理解や REDD+ を実現するうえで有効であろう。2009 年に ICESat 衛星の観測が終了してから衛星 LiDAR 不在の期間が続いているが、今後打ち上げ予定の計画がいくつかあるため、森林モニタリングの需要の高まりを受け、衛星 LiDAR は一層重要な役割をになうことが期待される。