



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Characterizing typhoon-disturbed biomass dynamics using multitemporal airborne laser scanning and imagery, and deep learning in cool-temperate forest of northern Japan
Author(s)	李, 昂
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第17006号
Issue Date	2026-06-30
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k17006
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/100059
Type	doctoral thesis
File Information	Ang_Li_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（農学） 氏 名 LI Ang
審査担当者 主査 教授 平野 高司
 副査 教授 濱本 昌一郎
 副査 教授 加藤 知道（国際食資源学院）

学位論文題名

Characterizing typhoon-disturbed biomass dynamics using multitemporal airborne laser scanning and imagery, and deep learning in cool-temperate forest of northern Japan
（北日本の冷温帯林における複数時期の航空レーザ計測・写真と深層学習を用いた台風攪乱後バイオマス動態の解明）

本論文は、英語 81 頁、図 22、表 9、5 章からなり、参考論文 1 本編が付されている。本研究の目的は、北日本の冷温帯林における台風後の樹冠構造および地上部バイオマス（Above ground biomass: AGB）の長期的回復過程を定量化することである。北海道大学苫小牧研究林における大型台風 Songda（2004 年）後のバイオマス回復動態を解明するため、3 時期の空中からのレーザ測量(LiDAR)観測データ（2004 年、2014 年、2022 年）と深層学習に基づく画像分類を統合した時系列リモートセンシングのフレームワークを構築・適用した。

第 1 章では、攪乱後の森林バイオマス回復の背景と気候緩和における重要性について、特に北海道における 2004 年の台風 Songda に焦点を当てて概説している。既往研究のレビューから、以下の 3 つの課題が明らかとなった。まず複数時期の LiDAR と現地観測を統合した長期モニタリング研究が依然として不足していること、次に異なるプラットフォームおよびセンサで取得された LiDAR データの年次間の整合的な処理の困難さが長期トレンド検出を妨げていること、さらに攪乱履歴と森林タイプの基礎情報が明らかで、攪乱からの回復過程を追跡できる条件が限られていることである。本研究ではこれに対応し、①複数時期 LiDAR の整合的に処理した質が一定した樹冠高モデル（Canopy Height Model: CHM）生成と現地データに基づく AGB 推定、②深層学習による攪乱および森林タイプの分類、③攪乱区分および森林タイプごとの回復の不均一性の定量化、の 3 点を目的として設定した。

第 2 章では、北海道大学苫小牧研究林（2,516 ha）および研究手法について記述している。点群密度が大きく異なる 3 時期の航空機 LiDAR データ（2004 年、2014 年、2022 年）を、ノイズ除去、リサンプリング、およびピットフリーラスタ化により、空間解像度 2 m に統一した CHM を作成した。Real Time Kinematic（RTK）測量により取得した現地プロットデータを用いて、CHM と AGB のアロメトリー線形関係を較正した。また、残差ニューラルネットワークである Residual Network（ResNet）-34 を用いた深層学習モデルを用い、2004 年の RGB・近赤外の空中写真から台風攪乱を検出し、2022 年の UAV（無人航空機）RGB 画像から針葉樹・広

葉樹の分類を行った。さらに、攪乱状態、森林タイプ、および期間ごとに年平均成長率を算出した。

第3章では、分類精度および台風後18年間のバイオマス動態を示している。いずれの分類においても総合精度は93%以上と高精度であり、CHM-AGB回帰では決定係数 $R^2 = 0.37$ 、 $RMSE = 28.75 \text{ Mg ha}^{-1}$ が得られた。2004年の攪乱マップでは森林面積の約3.7%が台風被害を受けたと判定され、2022年の森林タイプ分類では大部分が広葉樹で、一部に針葉樹が存在することが示された。解析期間全体（2004–2022年）において、森林全体の平均CHMは12.46 mから14.86 mへ（ 0.13 m yr^{-1} ）、平均AGBは130.3から153.7 Mg ha^{-1} へ（ $1.30 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ）増加した。攪乱林分では回復に顕著な時間遅れが見られ、AGB成長速度は2004–2014年では $0.97 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ にとどまったが、2014–2022年には $2.48 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ へと加速した。これは、主たる回復段階が攪乱直後ではなく約10年後に顕在化したことを示している。一方、非攪乱林分ではより安定した成長軌道が見られ、また針葉樹林は広葉樹林に比べて一般に高いAGB成長率を示したが、これは植栽林の比較的若い林齢による可能性が高い。

第4章では、生態学および方法論的意義について考察している。推定された回復速度は、熱帯林の報告値より低いものの、同一景観における攪乱前の基準値とは同程度であった。この時間遅れは、最初の10年の風倒木による樹冠ギャップ形成直後は、若齢木の成長がまだ小さく、次の8年ではある程度大きくなった若齢林の成長が加速したことにより説明される。本研究の結果は、攪乱林が顕著な炭素吸収の加速を示すまでに約10年を要する可能性を示唆する。研究の制約としては、2004年以前の画像データの欠如、データ間の解像度差、ならびに未記録の人為攪乱の影響が挙げられる。

第5章では、本研究の結論を述べる。複数時期LiDAR、深層学習分類、および現地観測の統合により、森林回復の主要な応答が即時ではなく顕著な時間遅れを伴って現れること、ならびに攪乱区分および森林タイプ間で持続的な不均一性が存在することを明らかにした。今後は、独立した検証データおよび森林管理記録の導入が求められる。

以上の結果に基づき、本研究で構築した複数時期LiDARと深層学習を統合したフレームワークは、景観スケールにおける台風後の長期的バイオマス回復動態の解明に有効であることが実証された。また、本研究は他の攪乱森林への応用可能な方法論的基盤を提供し、リモートセンシングに基づく森林モニタリング手法の発展に寄与する点において高く評価される。

よって審査員一同は、Li Angが博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。