

(続紙 1)

京都大学	博士 (農 学)	氏名	Md Farhadur Rahman
論文題目	Forest structure and disturbance dynamics detected with high-resolution airborne LIDAR (高解像度航空機LIDARによって検出した森林構造と攪乱ダイナミクス)		
(論文内容の要旨)			
<p>A significant proportion of the global land is covered by forests, which are critically important for the carbon uptake by land. But, the carbon uptake function of forests in Japan and other mid-latitude regions is threatened by increases in frequency and strength of major storm events under the changing climate regime. Hence, it is necessary to describe forest structure at the regional scale, to set the baseline, and to monitor forest responses to major storm events. To do so, it is important to make use of the recent advances in remote sensing techniques for accurate evaluations of forest structures with sufficient details at the level comparable to conventional field-based approaches, but also with a sufficiently large spatial coverage. This thesis reports a new methodology to use airborne laser scanning (ALS) to achieve these goals, demonstrating its feasibility by analyzing the 230 km² area of forests north of Kyoto City. This scale is much larger than the spatial scales to which ALS had been previously applied. The relevant background information, as summarized above, is explained in Chapter 1 through literature review, before describing the overall objectives of the thesis.</p> <p>Chapter 2, “Forest canopy height variations in relation to topography and forest types in central Japan with LiDAR,” reports variations of forest canopy structure in terms of the height of individual trees with a 1-m resolution digital surface model (DSM) in combination with 1-m resolution terrain model (DTM) to calculate the canopy height (CHM), from which the height of the individual trees was estimated as the maximum canopy height within a 2-m radius. This resulted in the identification of 14,466,340 canopy trees, from which 480,000 trees were randomly chosen to analyze the relationship of tree height to elevation, local topography (slope angle and direction, convexity), forest type (planted and natural stands of evergreen conifers, deciduous broadleaf stands, evergreen broadleaf stands), and distance from the nearest gaps in the canopy. In addition, for the area within the national forest boundary, the effect of stand age on tree height was also examined. The multivariate statistical analyses show that a Random Forest model, a type of machine-learning technic, is the best to describe how these</p>			

variations influence the height of individual trees.

Chapter 3 “Impact of typhoons on forest landscape: estimating biomass loss using LiDAR-derived tree height and satellite optical data” evaluates how the study area was impacted by a major typhoon that affected the area in 2018 (‘Jebi’). The technic developed in Chapter 2 was used to estimate individual tree height, which was important in estimating the aboveground biomass at the stand level. Combining the LiDAR-based data with satellite optical data from the study region from before and after the typhoon, it was estimated that 1.07% of the study area exhibited canopy height loss. The results also show that conifer plantations (which occupied 45.3% of the area) were particularly vulnerable (85% of the damaged area). The biomass loss was estimated to be 1.44% of the pre-typhoon aboveground biomass of the study area. Conifer plantations, in which tree height tended to be taller, lost 2.44% of the pre-typhoon biomass. These estimates matched but were likely to be underestimated, in comparison to the results of more-accurate ground- and drone-based estimations for a smaller subset of the study area.

Chapter 4 “Assessing forest vulnerability to typhoon damage using high-resolution airborne LiDAR and mesoscale meteorological data” reports how wind characteristics of the typhoon ‘Jebi’ (which traveled over Kyoto on September 4, 2018) explains the vulnerability of the forest in combination with the characteristics of the forest stands and the underlying topography. The analysis with machine learning techniques found that combinations of the slope aspect, canopy height, and wind speed explain the likelihood of windthrow. Treefalls were more likely in valleys than on ridges, because in valleys that opened to the strongest winds coming from SW and SE, apparently funneling resulted in powerful winds to cause treefalls. In addition, the vulnerability of trees to typhoon wind increased consistently with the increase of canopy height and wind speed. Chapter 5 summarizes how the techniques and findings reported in Chapters 2-4 might advance the field, and how it may be informative for forest management in central Japan.

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。
論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(論文審査の結果の要旨)

森林による炭素貯蔵は、陸域の炭素吸収に大きく貢献し、気候変動の緩和対策として重要である。安定した炭素貯蔵効果が望まれるが、貯蔵量は台風などの強風イベントに伴う倒木により、時空間的に大きな変動を示す。したがって、森林構造を広域かつ詳細に評価する技術が求められている。本論文は、近年、技術革新が進むALS(航空機搭載型LIDAR装置を用いた距離測定法)のデータを活用する解析手法を開拓し、単木の樹高を広域に推定することで、森林構造の環境・攪乱応答を広域に評価した。具体的には、京都市北部の森林を対象として、大型台風による風倒被害が森林と地形の特徴によってどのように変化するかを明らかにした。評価すべき点は以下の通りである。

1. ALSデータから、高解像度かつ広域スケール(230km²)で1447万本の林冠木を特定して樹高を個体レベルで推定するとともに、この広域データをもとにして立地条件、立木密度、ギャップからの距離、植生タイプなどの関数として樹高のモデル化を行い、各要因の重要性を定量的に評価した。
2. ALSデータから推定される樹高が、実測の樹高と高い精度で一致することを示し、さらに森林の現存量を推定するモデルを構築し、上述の230km²の範囲において、詳細な森林の炭素貯蔵量の評価を行った。
3. 平成30年に関西地方に上陸した台風第21号による風倒箇所を高解像度衛星画像により抽出し、ALSデータに基づく樹高や現存量と対応させ、台風による風倒被害を詳細に評価した。
4. 台風による風倒リスクを、ALSデータに基づく樹高、立地条件、風向きや風速、優占樹種の種類などを用いてモデル化した。従来考慮されていなかった樹高データが、風倒被害予測に重要であることを示した。
5. 台風による強風が吹き込みやすい南に開いた谷における針葉樹人工林の脆弱性を定量的に示し、ALSを活用する広域評価は、気候変動に対してより適応的な森林管理に有益な知見をもたらすことを示した。

以上のように、本論文は、ALSなどの最新のリモートセンシングのデータを活用して広域における森林構造や攪乱の評価を行う基盤的技術を開発し、さらに、この技術がどのように生態学的理解に貢献できるかを具体的に示し、地球環境科学、森林生態学、森林・人間関係学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士(農学)の学位論文として価値あるものと認める。

なお、令和4年2月10日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士(農学)の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。