

多様な樹種のバイオマス量を評価する —ドローンによる多樹種のバイオマス推定式の開発—

概要

京都大学大学院農学研究科の HTOO Kyaw Kyaw 博士研究員（当時）、小野田雄介教授らのグループは、ドローンを用いた大規模な森林調査を行い、日本全国の多様な樹種（149 種）のバイオマス量を推定する式を開発しました。

森林のバイオマスを正確に把握することは、温室効果ガスの収支評価や持続可能な森林経営の基盤となるなど、大きな意義があります。しかし、従来の評価方法は、多様な樹種の違いを十分に考慮しておらず、また現地調査には、労力やアクセス面で大きな制約があります。近年、レーザー（LiDAR）を搭載したドローンが普及しつつあり、私たちは、この技術を用いて全国 23 か所で 149 樹種・4,326 個体の高木を測定し、樹高と樹冠面積に基づいて樹種ごとのバイオマスを推定する式を構築しました。多様な樹種を対象に、ドローンデータからバイオマス推定式を体系的に導出した例は、世界でも初めての試みです。これにより、人工林だけでなく樹種多様性の高い天然林でも、ドローンを用いた高精度なバイオマス推定が可能になり、炭素クレジットの精度向上や生物多様性モニタリングなど、さまざまな応用が期待されます。

本研究成果は、2025 年 10 月 28 日に、国際学術誌「Journal of Forest Research」のオンライン版に掲載されました。



1. 背景

日本は国土の約 3 分の 2 を森林が占めており、欧米に比べても高い樹種多様性を有し、樹形の異なる多様な樹種が生育しています。これらの森林バイオマスを正確に評価することは、温室効果ガス削減、生物多様性の保全、持続可能な森林経営の推進に不可欠です。

しかし、従来の現地調査（毎木調査）は多大な労力を要し、僻地や急斜面での実施が難しいため、広域的な森林評価には限界があります。さらに、既存のバイオマス推定式はスギやヒノキなど一部の造林樹種に偏っており、日本の森林面積の約 6 割を占める天然林とその主要構成要素の広葉樹に関するデータは極めて乏しいのが現状です。

近年、レーザー（LiDAR）を搭載したドローンの普及により、上空から数ヘクタールから数百ヘクタール規模の森林構造を高解像度で計測することが可能になっています。この技術を活用することで、多様な樹種が混在する森林においても、上空から大規模かつ高精度にバイオマス量を推定する手法の開発が期待されています。

2. 研究手法・成果

私たちは、北海道から沖縄まで全国 23 か所の森林に設けられた固定試験地（100m × 100m）において、レーザー（LiDAR）を搭載したドローンを用い、林冠木（上空から見える木）の三次元構造（樹高と樹冠面積）を計測しました。これらの調査では、合計 149 樹種・4,326 個体を評価しました。

さらに、各試験地でこれまで蓄積されてきた現地調査データを活用し、ドローンで得られる情報（樹高・樹冠面積）と、地上で計測された情報（樹種・幹直径・バイオマス量）を対応づけることで、ドローンデータから樹種ごとのバイオマス量や幹直径を推定する新たな数式モデルを開発しました。

4,326 個体のデータを用いてこのモデルの精度を検証した結果、ドローン情報のみ（樹高と樹冠面積）でもバイオマス量のばらつきの 72% を説明でき、さらに樹種タイプ（針葉樹、落葉広葉樹、常緑広葉樹の 3 分類）を加えると 79%、個々の樹種情報を加えると 83% まで説明力が向上しました。

このように、多様な樹種が混交する森林を対象に、全国規模でドローンデータを用いてバイオマス推定式を体系的に導出した研究は、世界でも初めての試みです。

3. 波及効果、今後の予定

今回開発した手法とバイオマス推定式により、スギやヒノキなどの人工林だけでなく、樹種多様性の高い天然林においても、ドローンを用いた高精度なバイオマス推定の道が開かれました。

近年、ドローンによる森林計測はさまざまな団体や企業でも活発に行われており、樹高や樹冠面積の自動解析、樹種識別などのツールも急速に発展しています。これらを活用することで、専門の研究者だけでなく、企業や自治体など一般の利用者でも、森林のバイオマスを高精度に評価できる時代が近づいています。

ドローンでは下層木（林冠の下にある木）を直接捉えることはできませんが、私たちの調査から、林冠木が森林全体のバイオマスの 64~89%（平均 75%）を占めることが明らかになりました。この結果を踏まえ、林冠木の情報を基に下層木を含めた全体のバイオマス評価へと発展させることが見込めます。

これらの手法の開発と普及は、炭素クレジット制度の精度向上や、生物多様性モニタリングなど、気候変動対策と自然資源管理の両面で大きく貢献することが期待されます。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は学術変革領域研究（21H05314）および JSPS 科研費（21H02564）の支援を受けて実施しました。

<用語解説>

LiDAR : Light Detection and Ranging の略で、光（レーザー光）を使って対象物までの距離を正確に測定するリモートセンシング技術です。通常の LiDAR は1秒間に数十万から数百万点のレーザー光を照射し、物体の三次元情報を得ることができます。

バイオマス量 : 現存量とも呼びます。ここでは樹木の地上部（幹、枝、葉）の総乾燥重量のことを指します。バイオマス量の約50%は炭素ですので、0.5を掛けることにより炭素量に換算することもできます。

樹冠 : 樹木個体の上部にある枝や葉が茂っている部分のことを指します。英語では crown と言うため「冠」の字が充てられています。

林冠 : 森林の最上層のことを指します。林冠は森林レベルの用語で、樹冠は個体レベルの用語という違いがあります。

<研究者のコメント>

森林は巨大な立体構造をもつ生態系で、これまでは木1本の高さを測るだけでも大変な作業でした。ましてや樹冠面積の測定となると、さらに多くの時間と労力が必要でした。しかし、近年のドローンや LiDAR 技術の進歩により、こうした計測が劇的に容易になりました。「昔の苦労した時間を返してほしい」と冗談を言いたくなるほどですが、このような先端技術をうまく活用することで、森林資源の評価が格段に効率化され、研究の発展だけでなく、生物多様性の保全、持続可能な林業の推進、さらには地方の活性化にもつながることを期待しています。

<論文タイトルと著者>

タイトル : Development of crown-based allometric equations for estimating stem diameter and above-ground biomass using UAV-LiDAR in 23 species-rich natural forests of Japan (23の種多様性の高い自然林における幹直径や地上部バイオマスを推定するための樹冠レベルのアロメトリー式の開発)

著者 : Kyaw Kyaw Htoo, Masanori Onishi, Md Farhadur Rahman, Ryuichi Takeshige, Kaoru Kitajima, Yusuke Onoda

掲載誌 : Journal of Forest Research (日本森林学会が発行する国際英文誌)

DOI : 10.1080/13416979.2025.2576384

著者所属

京都大学農学研究科

博士研究員 Htoo Kyaw Kyaw (現 北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター・博士研究員)

博士研究員 大西 信徳 (兼 DeepForest Technologies 株式会社・代表取締役)

博士研究員 Rahman Md Farhadur (現 Bangabandhu Sheikh Mujibur Rahman Agricultural University, Bangladesh・助教)

博士研究員 竹重 龍一 (現 大阪公立大学 理学部・博士研究員)

教授 北島 薫

教授 小野田 雄介

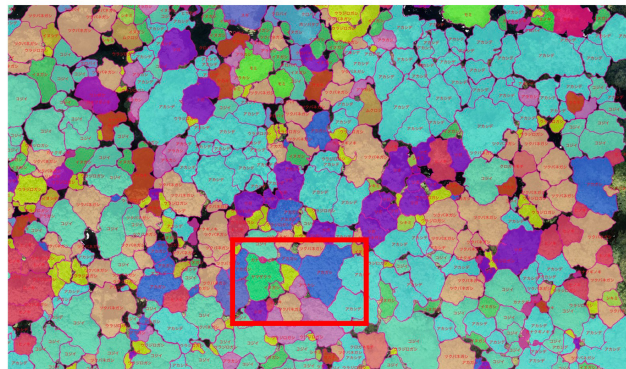
< 参考図表 >

調査地の例

(a) 広域オルソ画像



(b) 広域樹冠地図



(c) 拡大オルソ画像



(d) 拡大樹冠地図



図2 調査地の一例。(a)広域のオルソ画像と (b) 個体分離した樹冠地図。それぞれの樹冠に関しては樹高や樹冠面積の情報が自動計算される。(c) 拡大したオルソ画像と (d) 拡大した樹冠地図。

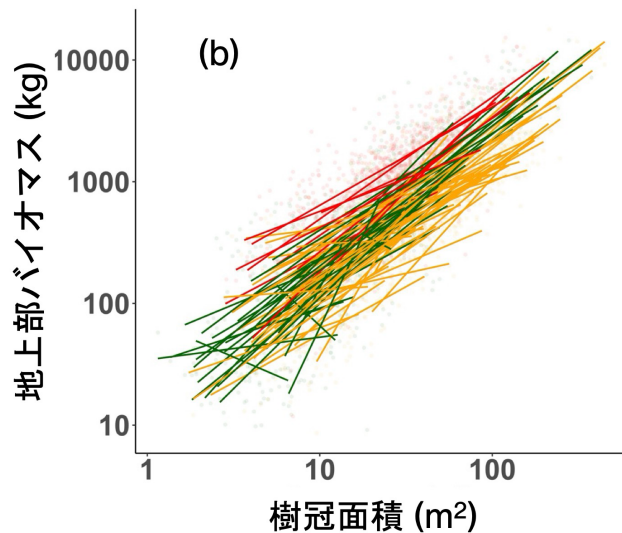
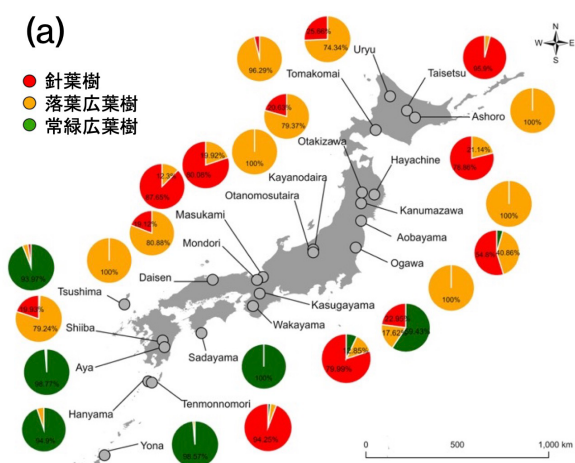


図3 (a) 調査地の一覧。円グラフは樹種タイプの割合を示している。(b) 樹冠面積と地上部バイオマス量との関係。両者には強い相関があるが、樹種によって樹形が異なるため、樹種ごとの関係式は少しずつ異なる。