

(続紙 1)

京都大学	博士 (農 学)	氏名	大西 信徳
論文題目	Development and Application of Tree Species Identification System Using UAV and Deep Learning (ドローンとディープラーニングを用いた樹種識別システムの開発及びその応用)		
(論文内容の要旨)			
<p>森林の生物多様性の把握や管理において、個々の樹木の樹種情報は必要不可欠の情報である。広域での樹種識別はこれまで高解像度の特殊な機材を搭載した航空機などにより行われ、人的にもコスト的にも大きな負担であった。本論文は、近年技術的進歩の著しいドローンとディープラーニングを用いた樹種識別システムの開発と識別性能の評価、生物多様性の評価への応用の検討を行っており、5章から構成される。</p> <p>第一章では論文全体の導入として、航空機や人工衛星からの林冠木の樹種識別の研究史を振り返り、航空機搭載のハイパースペクトルカメラやLiDARを用いた樹種識別が発展した一方で、その精度やコストに問題があることを示した。さらに、近年のドローンの森林管理への利用が進み、樹高や胸高直径の推定などの研究利用が行われてきたが、樹種識別の利用に向けた研究開発が不十分なことを示した。画像認識の分野ではディープラーニングが目覚ましい精度を発揮しており、この手法を用いることで、樹種識別の精度が飛躍的に増大することも予想され、本研究ではドローンとディープラーニングを用いた樹種識別を試みた。</p> <p>第二章ではドローンの画像にディープラーニングを適用し、樹種識別を行う手法の開発を行った。民生用のドローンを自動操縦で飛行させ、森林上空から一定間隔で撮影したデジタル画像をもとにRGBのオルソ画像と3次元モデルを作成した。3次元モデルから傾斜角を計算して樹冠の境界を強調したデータも作成し、これらデータを複合的に用いることで各樹木の樹冠をポリゴンに分割することに成功した。このポリゴンの樹冠画像にディープラーニングを用いることで樹種識別が可能なシステムを開発した。この手法を用いることで、特定の樹種や樹木タイプを高精度で識別することに成功した。ディープラーニングが抽出・利用した特徴を可視化した結果、樹木の分枝パターンや枝先の葉群の形状を用いていることが示唆され、識別能力の時空間的な頑健性の高さが期待される結果となった。</p> <p>第三章ではこの識別システムの頑健性の高さを検証し、実用可能性を検討した。日本の温帯林6地点にてドローンの飛行及び地上調査を行い、針葉樹5種、広葉樹51種、枯死木、ギャップの計58クラスの教師画像を作成し、それらをもとに学習用データと評価用データの撮影時間・場所がほとんど同じ場合、場所だけが異なる場合、時間も場所も異なる場合の3つのパターンに分けて性能の評価を行った。その結果、Kappa係数はそれぞれ0.97, 0.72, 0.47となり、精度は条件に応じて変わることが示唆され</p>			

た。特に、時間も場所も異なる場合、精度は低下したが、針葉樹や一部の広葉樹では樹種識別が可能であった。さらに、既存の植生データを基に、評価用データに不在の樹種を予め指定する操作 (inventory tuning) を加えることで、計算負荷を増やすことなくKappa係数を0.47から0.62まで上昇させることに成功した。また、誤識別は系統的に近い種、葉のサイズが大きいものや形状が似ている種、同所的に分布する種などで生じやすかった。一方で、形態が異なれば、常緑・落葉などの同じ生活型を持つ樹種間であっても誤識別の可能性は低いことが示唆された。

第四章では、択伐の影響により劣化度が異なるボルネオ熱帯雨林を対象に、ドローンから林冠樹木群集組成 (生物多様性の指標) を評価することで、森林劣化度の推定が可能かどうか調査を行った。森林劣化の指標樹種は先行研究から明らかにされており、これらの指標樹種を上空から識別できれば、地上調査をせずに森林劣化度の評価が可能となる。そこで、ドローンから劣化林の指標種を識別し、その樹冠面積等と地上で調査した樹木群集組成の関係性を調べた。結果、多様な樹種が生育している環境下で、ドローンとディープラーニングを用いることで上空から劣化林指標種である *Macaranga* 属、*Neolamarckia* 属をKappa係数0.6~0.8で識別することに成功した。続いて、群集組成の指標値を目的変数とし、ドローンから識別した指標種の樹冠面積などを独立変数として重回帰分析を行ったところ、指標種の変数が選択された。これらの結果から、ドローンとディープラーニングを用いることで劣化林の指標種の識別が可能であり、その樹冠面積を用いることで劣化林の群集組成や生物多様性を評価・推定できる可能性が示唆された。

第五章では第二章~第四章までで得られた結果をもとに、本研究の意義や将来性について総合的な考察を行った。今回、デジタル画像にドローンとディープラーニングを適用して樹種識別をする手法を確立することができ、さらに識別した樹種情報を用いることで、森林の樹木群集組成を評価できる可能性を示した。今後の課題として、広葉樹林での精度の高い樹冠分離手法の開発や、種毎の樹高や胸高直径を推定する汎用ソフトウェアの開発の必要性などを指摘した。

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。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

森林の林冠木の樹種情報は生物多様性の把握や森林管理において有益な情報である。これまで上空からの樹種識別は航空機などに搭載された特殊なセンサーを用いて行われることが一般的であったが、コストの高さやノイズの影響などの課題が生じていた。近年ドローン(UAV)の開発が進み、上空から高解像度で撮影が可能になり、低コストで樹種識別できる可能性が生じてきた。本研究は、ドローンによるデジタル画像をディープラーニングを用いて解析し、低コストで精度の高い上空からの樹種識別の可能性を探り、その実用性と応用性を明らかにした。本研究の評価できる点は以下のとおりである。

1. ドローンのデジタル画像とディープラーニングを用いた低コストな樹種識別手法の開発に世界で初めて成功し、その精度の高さを示した。
2. 本手法がこれまでの手法とは異なり個々の樹冠を抽出しているため、ディープラーニングでは樹形などの情報も識別に利用していることを示し、多樹種の識別において高い頑健性があることを示した。
3. 日本の複数の温帯林で取得した画像を用いて、ある地域で学習させ作成したモデルを別の地域に適用して樹種識別しても、針葉樹や林相を代表するような特定の広葉樹であれば識別が可能であることを示し、本システムの高い実用可能性を示した。
4. 多様な樹種が生育するボルネオ熱帯雨林においても、森林の生物多様性の指標となる樹種群の識別が可能であることを示し、迅速な広域での多様性調査の可能性を示唆した。

以上のように、本論文はドローンとディープラーニングを用いた樹種識別の開発に成功し、その精度と応用可能性を明らかにしたものであり、森林計測学、森林育成学、森林情報学、森林管理学、森林生態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。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降 (学位授与日から3ヶ月以内)