

空撮画像を用いた樹種判定手法の基礎技術に関する研究

林 希一郎*、町村 尚**、杉田 暁***、竹島喜芳***

*名古屋大学、**大阪大学、***中部大学

1. はじめに

これまでに筆者らは、人間と自然の相互作用を生態系サービス(MA, 2005)の軸でとらえ、それらを時空間スケールで把握・分析する研究を進めてきた。特に、様々な解像度の分析スケールで森林等に蓄えられる炭素ストック量の簡易型広域推計手法の開発を行い、これらを webGIS 型統合的プラットフォーム上に整備してきた。一方、森林のタイプは針葉樹、広葉樹等の大まかな分類にとどまり、精緻な分析は今後の課題とされてきた。

森林の現地調査の現場において、樹種の判定は樹種に関する専門知識を有する者が葉形態、樹冠形状、樹皮等を総合的に判断して行っている。既往研究を鑑みると、近年、深層学習を用いた研究の進展により、画像を用いた樹種判定の試みがなされている (Sun, et al., 2017)。また、UAV(unmanned aerial vehicle)等の空撮画像を用いた樹種判定に関する研究も樹冠や樹形、樹木一部形状に着目した分析が見られる (Onishi, et al., 2021, Natesan, et al., 2019)。筆者らは、UAV の空撮画像から作成した 3D 画像を深層学習により分析することでスギ、ヒノキの分類を試みた(Fujimoto, et al., 2019)。なお、地域を指定した高木層に絞れば、葉形態のみによる深層学習等を用いた樹種判定の難易度は下がることが期待される。実際目視による樹種判定は葉形態の特徴を把握することで行われている場合もある。今後の技術の進展、特に高画質カメラの小型化・軽量化が進むことにより、UAV 等に搭載可能な高性能カメラの開発が進む可能性があり、空撮画像を用いた葉形態の深層学習による樹種判定の可能性が高まることが期待される。

本研究では、将来的に UAV 等を用いた高解像度葉形態画像の入手可能性を考慮し、空撮画像から樹種判定を行うための基礎的手法の検討を行うことを目的とした。将来的には、森林調査を通じた炭素ストック量広域推計手法に組み合わせることを想定しており、当該森林情報に関連する基礎データ整備も併せて進め、これらの結果を踏まえて webGIS 型生態系サービスモデルの必要に応じた改良を進めた。

表 1 に本研究のデジタルアース研究としての位置づけを示した。

表 1 デジタルアース研究としての位置付け

		カテゴリI: DEの技術要素の統合	カテゴリII: 問題複合体の具体的事例への取り組み 空間スケール	
			大	小
DEの開発項目 (技術要素)	1. 情報・データの 収集・蓄積			
	2. 情報・データの 処理・統合・流通	Target1		Target2
	3. 意思決定支援			

2. 方法

通常、森林の現地調査の現場での樹種判定は、葉形態、葉の色、葉表面の状況、葉の大きさ、樹皮の色や特徴、花の色や形態、芽の色や形態、実の色や形態、その他の多くの情報をもとに行う。このうち、葉の形態や色は、多くの情報を含む最も重要な要素の一つである。本研究では、この葉の形態や色を重要な要素と捉え、上空から撮影した樹木のトレーニングデータを作成し、樹種判定を行った。手順の概要は、まず名古屋市内の主として広葉樹の森林概況の調査を行い、主要な高木樹種を選定した。次に、選定された高木樹種について、葉形態が判別可能な程度の分解能の画像を多数撮影した。この際、季節性、時間帯、天候、個体差等を考慮し、多様な時期・時間帯及び場所における当該樹種の葉画像を上空から撮影した。その後、撮影画像を一つ一つ確認し、他樹種や地面上の草本等の映り込みに留意し、対象樹種部分のみを抽出した。さら

に当該画像を分割し、ラベル付き葉画像のトレーニングデータを作成した。作成したトレーニングデータについて、google の colabatory を用いて深層学習を行った。以下詳細を示した。

(1) 対象高木の選定

これまでに、名古屋市内の森林 49 か所を訪問し、300m² の円形プロットを作成し、毎木調査を行ってきたため、この成果を活用した。100m² 以内の樹高は、SK 逆目盛検測尺 AT 型 15m15 本継(宣真工業)を用い目視にて測定し、15m を超える高木は、樹高ポールを併用しつつ目視にて 50cm 単位で測定した。100-300m² 以内の樹高は、松村(2003)を参考に Näsrlund 式を用いて推計した。各プロットの樹高上位 5 高木の樹種を調べた結果、アベマキ、コナラ、アラカシ、クスノキ、ムクノキ、ソヨゴ、スダジイが主な高木として選定された。以降この 7 種類の樹種の樹木に着目し、市内の森林を再度訪問し上空からの画像を撮影した。

(2) 対象高木の空撮画像の作成

空撮画像の撮影にあたり、ドローン活用の可能性がある。ドローンは、樹冠との距離をある程度確保した高度で飛行することが多い。その際、センサーの解像度によっては葉画像の詳細な画像の取得は難しいという問題がある場合が多い(図1)。また、樹種分類のためには、葉画像に対して適切なラベリングが必要となるが、上空画像からの樹冠データのみで正確に広葉樹の樹種を識別し、ラベリングすることは困難である。そこで、将来的なドローン搭載カメラの飛躍的な高性能化を見越し、本研究では、樹高ポール(20m等)を用いて空撮画像を撮影した。季節性、天候、場所による違い、個体差等同一樹種においても多様な周辺環境条件が存在するため、多様な森林及び条件での撮影を行った。なお、事前に樹種を判定しておく必要があるため、森林の現地調査も併せて実施した。

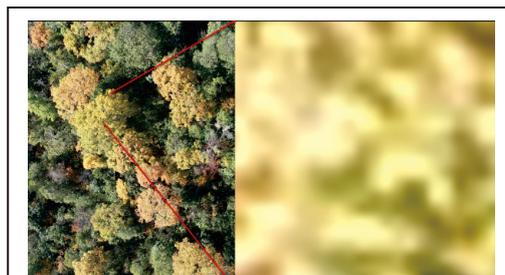


図1 空撮画像(右)ドローン画像、(左)拡大写真の例

具体的には、樹高ポール 20m (SK 逆目盛検測尺 AT-20(宣真工業))の先端に、SONY 製 RX0 及び RX0II(総画素数約 2,100 万画素、有効画素数約 1,530 万画素)を設置した。それを wifi 接続(Sony, Imaging Edge Mobile)した iPad mini を用いて手動で撮影(可視画像)した。撮影は、2021年4月から2022年11月の期間中に計16回、名古屋市東部丘陵地域23地点の森林を対象に実施した。

(3) トレーニングデータの作成

深層学習に活用するため、撮影画像からトレーニングデータを作成する必要がある。撮影画像は、樹冠の一部を含む画像であり、写真内に他樹種が混在する可能性がある。また、写真によっては、人工物や地面付近の低木等の映り込みがある場合がある。このため、個々の画像について、他樹種、人工物、他草本等を目視により除去(ペイント 3D, Microsoft)する作業を行った。当該樹種以外を除去した画像を 600 分割(IMGonline.com.ua)し、白地が多い写真を手動で除外して、トレーニングデータを作成した(図2)。

個葉スケールのトレーニングデータの作成

葉スケール: 樹幹写真を細分化し、葉をクローズアップした画像を生成



図2 葉スケールトレーニングデータの作成

(4) 分析

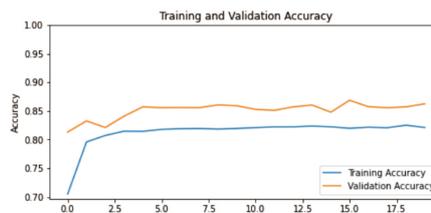
作成したトレーニングデータを google の colabatory を用い Google TensorFlow Core のスクリプトを改良することにより深層学習を行ったが、その際利用したモデルは、Tensorflow Hub 等に公開されている既存モデルを用いた。昨年度の簡易な検討により、mobilenet_v2_100_150 の検出精度が高かったため、本年度の分析では mobilenet_v2 を用いた。

3. 結果

合計 16 回の森林調査での撮影により、各樹種概ね 100 枚程度の画像を撮影したがムクノキ、ソヨゴの高木は市内で分布が限定されていることからそれぞれ 60 枚の撮影に留まった。上述のエラー処理を行い、さらに画像を分割した後、最終的にアベマキ約 8,400 枚、アラカシ約 7,400 枚、コナラ約 6,600 枚、クスノキ約 9,000 枚、ムクノキ約 2,000 枚、ソヨゴ約 4,000 枚、スダジイ約 4,700 枚のトレーニングデータを作成し、分析に用いた。

分析の結果 Validation accuracy は過学習の兆候が見られたため、data augmentation、dropout 処理を行った。これらの対策後の結果を図 3 に示した。なお、今後トレーニングサンプルの追加及び精査が必要である。

本研究は、将来的には森林等に蓄えられる炭素ストック量の簡易型広域推計手法の改善に資するものであるため、森林現地調査等を含む森林炭素ストック広域推計手法開発の基礎データ整備も併せて進めた。



(Model: Mobilenet_v2; Validation split: 0.2; Training epochs: 20)

図 3 学習曲線(青 training accuracy, 赤 Validation accuracy)

4. 考察

本研究では、個々の葉画像を用いた高木樹種の分類手法を検討したが、いくつかの課題が考えられる。まずは、トレーニングデータを追加することである。これには、トレーニングデータの作成段階の改善点が考えられる。上空空撮画像には当該樹種以外の他樹種、人工物や地面及び草本等が映り込む可能性がある。これらのエラーを目視で除去するが、煩雑な作業になるとともに、当該作業には葉画像から当該樹種と他樹種を判別するための専門知識が必要である。また、葉画像が判別できる高解像度画像のみを分析に用いることになる。今後は、上空空撮する段階で、他樹種、人工物、地面上の草本等の映り込みを極力なくすような工夫が必要である。さらに、一部の樹種については、分布が少なく、サンプル画像が限定される。より多くの森林を対象に、多様な季節性、時間帯、天候、個体差等を考慮したサンプル画像の撮影を行う必要がある。加えて、今回は 7 樹種を対象としたが、高木層を形成する樹種は、これらのみに限らない。新たな高木層の対象樹種を選定し、データを収集する必要がある。一方で、先述したように樹種によっては分布が少なく十分なサンプルを収集するのが困難な場合も想定されるため、これらの点にも留意が必要である。

今年度は可視画像のみを用いた分析を行ったが、スペクトル画像の同時撮影等により、樹種判定の精度が向上する可能性が考えられる。

最後に、モデル選定についてである。本年度の研究では、mobilenet_v2 を活用した。UAV 等の画像の活用を考える場合は、まずは樹冠分割を行い、その後物体検知に関するモデルにより樹種を判定する方法も考えられる。本年度までに、樹冠分割を行う手法を試行したが、分割した樹冠に他樹種が混在する場合もあり、更なる検討が必要である。その後物体検知の手法を用いて樹種を特定することができれば、空撮画像から樹種を判定できると思われるが、今後の課題と考えている。

5. まとめ

本研究では、将来的な UAV 等を用いた高解像度葉形態画像入手の可能性を考慮し、空撮画像から樹種判定を行うための基礎的手法の検討を行った。7 樹種各数千枚の個葉のトレーニングデータを作成し、深層学習を行った。今後の課題はトレーニングサンプルの追加である。例えば、トレーニングデータ作成時の他樹種や他物の除去、多様な条件下での撮影、対象樹種の拡大、樹冠分割手法の検討、モデルの検討等が考えられる。

6. 謝辞

本研究の遂行にあたり、吉野奈津子氏、Tao Linwei 氏らの支援を得た。また、本調査の遂行にあたり、名古屋市内の各森林保有者・管理者の方々より森林調査の許可をいただいた。本研究の一部は、中部大学問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究 IDEAS202213 の助成を受けたものである。本研究では、森林炭素ストック広域推計手法開発の基礎データ整備において国土交通省国土地理院が管理する航空機

レーザー測量データを活用した。

学会報告

早川昂汰, 林希一郎, 竹島喜芳, 杉田暁, 町村尚. 簡易型森林の炭素ストック量推計手法に関する研究. 環境アセスメント学会 2022 年度第 21 回大会 環境アセスメント学会, 東京工業大学, 要旨集, p225 2022/9/2

参考文献・データ

1. Sun, Y., Liu, Y., Wang, G., & Zhang, H. (2017). Deep learning for plant identification in natural environment. Computational intelligence and neuroscience, 2017.
2. Onishi, M., & Ise, T. (2021). Explainable identification and mapping of trees using UAV RGB image and deep learning. Scientific reports, 11(1), 1-15.
3. Natesan, S., Armenakis, C., & Vepakomma, U. (2019). RESNET-BASED TREE SPECIES CLASSIFICATION USING UAV IMAGES. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences.
4. Fujimoto, A., Haga, C., Matsui, T., Machimura, T., Hayashi, K., Sugita, S., Takagi, H. (2021). An End to End Process Development for UAV-SfM Based Forest Monitoring: Individual Tree Detection, Species Classification and Carbon Dynamics Simulation. Forests 2019, 10, 680.
5. 松村直人 (2003). 長柱の座屈理論に基づく樹高曲線式の応用可能性, 統計数理, 第 51 巻, 第 1 号, pp. 11-18

<モデル>

6. mobilenet_v2: https://tfhub.dev/google/imagenet/mobilenet_v2_100_160/feature_vector/5
7. Google TensorFlow Core, TensorFlow Hub による転移学習, https://www.tensorflow.org/tutorials/images/transfer_learning_with_hub?hl=ja

<その他分析に用いたデータ>

8. 国土地理院(平成 18 年度中部地方整備局管内河川航空レーザ測量業務成果, 庄内川水系, 国土地理院計画分オリジナルデータ, グランドデータ)
9. 国土地理院(平成 18 年度中部地方整備局管内河川航空レーザ測量業務成果, 庄内川水系, 庄内川河川事務所計画分オリジナルデータ, グランドデータ)
10. 国土地理院(平成 21 年度中部地方整備局管内河川流域地盤高データ作成業務, 流域間データ, 知多半島オリジナルデータ)
11. 国土地理院(平成 21 年度中部地方整備局管内河川流域地盤高データ作成業務, 中部地方整備局管内グラウンドデータ)
12. 国土地理院基盤地図情報数値標高モデル, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>
13. 国土地理院(2022)基盤地図情報データ, https://fgd.gsi.go.jp/download/ref_dem.html, 2022 年 12 月 07 日閲覧
14. JAXA() 高解像度土地利用土地被覆図, https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/dataset/lulc_j.htm, 2022 年 12 月 27 日閲覧
15. JAXA() AW3D30, https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/jp/index_j.htm, 2022 年 12 月 27 日閲覧
16. JAXA, RESTEC, NTTdata() AW3D 標準版地形データ
17. 名古屋緑地 GIS データ(2010), <https://www.city.nagoya.jp/ryokuseidoboku/page/0000145477.html>

<その他分析に用いた資料等>

18. ビズステーション株式会社 : Drogger GPS DGPR01, https://www.bizstation.jp/ja/drogger/dg-prolrws_index.html, 2022 年 11 月 18 日閲覧
19. softbank : ichimill, <https://www.softbank.jp/biz/services/analytics/ichimill/>, 2022 年 11 月 18 日閲覧
20. u-blox : ZED-F9P, <https://www.u-blox.com/en/product/zed-f9p-module>, 2022 年 11 月 18 日閲覧

21. 国立環境研究所：日本温室効果ガスインベントリ報告書 2022,
<https://www.cger.nies.go.jp/publications/report/i160/i160.pdf>, 2022年12月13日閲覧.
22. 竹島喜芳(2017)：空間体積・幹材積のモデルを用いた航空レーザに基づく森林蓄積推定法の汎用化に関する研究 -岐阜県におけるスギ・ヒノキを例として-, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 56, No. 3, pp. 70-80.
23. 竹島喜芳(2015)：航空レーザーによるヒノキ・スギの森林蓄積推定-林分特性の違いを考慮した蓄積推定モデルの開発-, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 54, NO. 4, pp. 178-188.
24. 只木良也・平野綾子・参鍋秀樹・河口順子・平泉智子・星野大介(2004) 名古屋大学構内広葉樹二次林の純生産量, 名古屋大学森林科学研究, 23, pp. 9-13.
25. 只木良也・河口順子 (2000) 名古屋大学構内広葉樹二次林の構造と現存量, 名古屋大学森林科学研究, 19, pp. 197-206.