

複合的な自然環境便益の時空間評価に関する基礎的研究

林 希一郎¹⁾、町村 尚²⁾、福井 弘道³⁾、杉田 暁³⁾、竹島喜芳³⁾

1) 名古屋大学、2) 大阪大学、3) 中部大学

1. はじめに

人間社会の自然に対する関与や自然資源の利用の増大が、複合的な環境問題をもたらし、また問題解決を困難にしている。今日、これらの問題に対して、時空間的に複合的なデータの分析を通じて、問題解決を目指す動きが活発化している。本研究では、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し、分析を進める。多様な生態系サービスに対して、様々な解像度の分析スケールで情報を収集し、GIS を用いた統合的なプラットフォーム上にこれらの情報を整備しつつ、総合評価手法の研究を進めた。

昨年度までは、森林空間体積とバイオマス量・炭素ストック量との関係を分析し、バイオマス量・炭素ストック量の推計モデルのプロトタイプを開発し、AI の一種であるセマンテック・オントロジーを活用した webGIS 型自律的解析システムである k.LAB への取り込みを進めた。引き続きデータ収集による経年データの収集、航空機レーザー測量データの活用を進めたが、これに加えて本年度は①AW3D 等の高さ方向の情報を要する広域データの活用可能性の検討、②UAV 等の撮影画像を念頭に上空からの撮影画像を用いた主要樹種判定のための基礎的なデータ収集を行った。

2. 方法

①AW3D 等の高さ方向の情報を要する広域データの活用可能性の検討

竹島 (2017) と類似の手法を用いて広葉樹の森林空間体積と炭素ストックとの関係を推計する手法の開発を進めている。なお、複数の市域を跨る広域に航空機レーザー測量データを適用するには、データ制約等の課題があるため、AW3D (JAXA, RESTEC, NTTdata) 等の広域をカバーするデータの活用可能性を検討した。AW3D 標準版地形データ (以降 AW3D データ) は JAXA の ALOS 等のデータをもとに高さ情報を有する広域データとして有償データにて整備されているものである。本研究では、航空機レーザー測量データ、AW3D データ及び現地フィールド調査による毎木調査データの比較分析により行った。航空機レーザー測量データは国土地理院より提供を受けた生データを前処理することでエラー除去後、2mx2m グリッドのラスターデータである Digital Surface Model (DSM) を作成した。その後、航空機レーザー測量データのグランドデータより、Digital Terrain Model (DTM) を作成し、DCM から DTM を差し引くことで、Digital Canopy Model (DC) を作成した。次に、国土地理院の基盤地図情報 (<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>) から 5m の数値標高モデル (DEM) をダウンロードし、AW3D データから差し引くことにより AW3D_DCM を作成した。AW3D は 2.5m x 2.5m グリッドデータであることから、航空機レーザー測量データに分解能を揃える処理を施した。その後、名古屋市内の緑地 GIS データ 2010 年版 (<https://www.city.nagoya.jp/ryokuseidoboku/page/0000145477.html>) を用いて、DCM 及び AW3D_DCM から森林部分を切り出し、個々の緑のポリゴンの塊単位での森林の体積を比較した。

森林の毎木調査については、2022 年度末までに概ね 99 か所程度の名古屋市内の森林現地調査が終了した。現地調査データに基づき、森林の炭素ストック量を推計した。調査は、300m² の円形プロット内の diameter at breast height (DBH) 5cm 以上の全ての樹木の DBH、樹種を計測した。樹高については、100m² 内のみ SK 逆目盛検測桿 AT 型 20m の樹高ポール (宣真工業) を用いて計測し、200-300m² 内は Näsrlund 式 (松村, 2003) の推計式を用いて推計した。用いた式のパラメータは、小林ら (2019) の値を用いた。石井・只木 (2000) 及び只木ら (2004) の式を用いて ha 当たり地上部現存量を推計した後、同文献と同様に地下部現存量 (地上部現存量の 1/4)、炭素構成比 (セルロースの平均組成 4/9) を用いて炭素ストック量を推計した。推計手法の詳細は、昨年度報告書を参照されたい。

現地調査による森林炭素ストック推計値と上述 DCM、AW3D_DCM との関係式を求める作業を行った。なお、森林現地調査地点を DCM 及び AW3D_DCM 上に正確にプロットする必要があるため、森林現地調査の中心点測位を行った。森林内の正確な位置を特定することは困難であるため、本調査では ZED-F9P ((u-blox 社) のセンサーを SK 逆目盛検測桿 AT 型 20m の樹高ポール (宣真工業) の先端に設置し、樹冠上に位置するように掲げ、中

心点からセンサー位置までの補正をレーザー距離計 GLM150C (Bosch 社) 及び方位計 HB-3 (石神井計器) を用いて行った。風等の影響、測定誤差等を含め、50cm 程度以内の誤差範囲に収まるように努めた。なお、手法は昨年度調査において試行的に導入した方法とほぼ同様な手法を用いた。

これらの結果を通じて得られた 300m² 内の炭素ストック量、DCM 及び AW3D_DCM による森林樹冠体積との関係を推計した (図 1)。分析は、名古屋市西部地域とした。

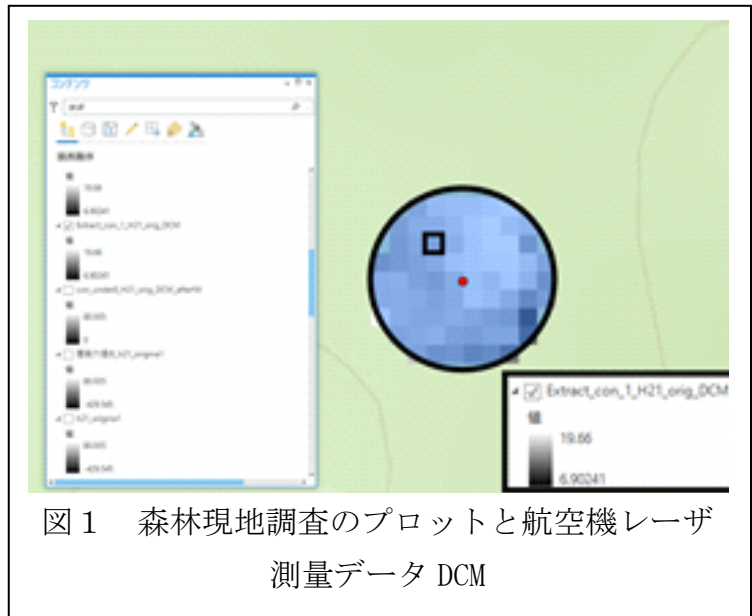


図 1 森林現地調査のプロットと航空機レーザー測量データ DCM

②上空からの撮影画像を用いた主要樹種判定のための基礎的なデータ収集

今後の技術の進展により UAV 等の上空撮影画像を用いて樹木個々の葉の鮮明画像の

入手可能性を考慮し、上空撮影画像から樹種判定を行うための基礎的なデータ収集を行った。樹木の樹種を判定した後に、15m または 20m の前述の樹高ポール先端にカメラ RX0 II (DSC-RX0M2) (SONY) を設置し、上空から葉及び樹冠を複数枚撮影した。樹種の選定は、名古屋市近辺の通常みられる高木層の樹木を対象とした。太陽高度、天候、場所による違い等を考慮するために、複数日で撮影を行った。その後、深層学習用のトレーニングデータを作成し、Tensorflow Hub より入手した既存モデルを用いて学習し、樹種判定の可能性を検討した。用いた既存モデルは、Inception_v3、Mobilenet_v2_100_160、Resnet_v2_50、Efficientnet_v2_imagenet1k_b0 である。分析には Google Colab を用いた。分析対象とした樹種は、樹冠スケールの分析では、アベマキ、コナラ、ムクノキ、スタジイ、アラカシ、クスノキ、ソヨゴである。葉スケールの分析では、アベマキ、コナラ、アラカシ、クスノキである。

その他、針葉樹を対象とした長期的モニタリングを行っている岐阜県高山における針葉樹森林調査については、UAV 調査の経年調査を引き続き続けており、UAV 飛行の詳細は昨年度とほぼ同様である。UAV 機材は中部大学国際 GIS センターの Phantom4 Pro を使用した。

3. 結果

名古屋市内の 0.1ha 以上の緑地 3,024 か所の森林に対して、航空機レーザー測量データ DCM と AW3D_DCM の高さの比較を行った (図 2)。この結果を見ると、上記 2 つのデータは一回帰式の R 二乗値が 0.977 の結果が得られた。

森林現地調査による炭素ストックとの DCM、AW3D_DCM の比較は、中心点測位終了の 28 か所にて行った。なお、森林タイプが多様なこともあり、十分な結果が得られていないこともあり、現在調査地点数を追加して分析を進めている。

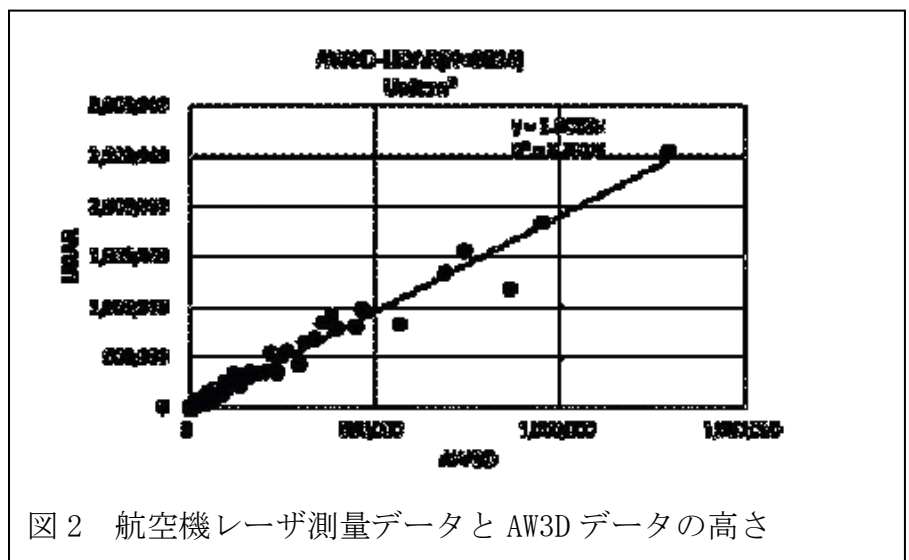


図 2 航空機レーザー測量データと AW3D データの高さ

次に、深層学習を用いた上空画像の樹種分類であるが、既存 4 モデルを用いた分析を行った。トレーニングデータは、各々数百から千数百程度作成しモデルのトレーニングを実施した (図 3)。この結果、

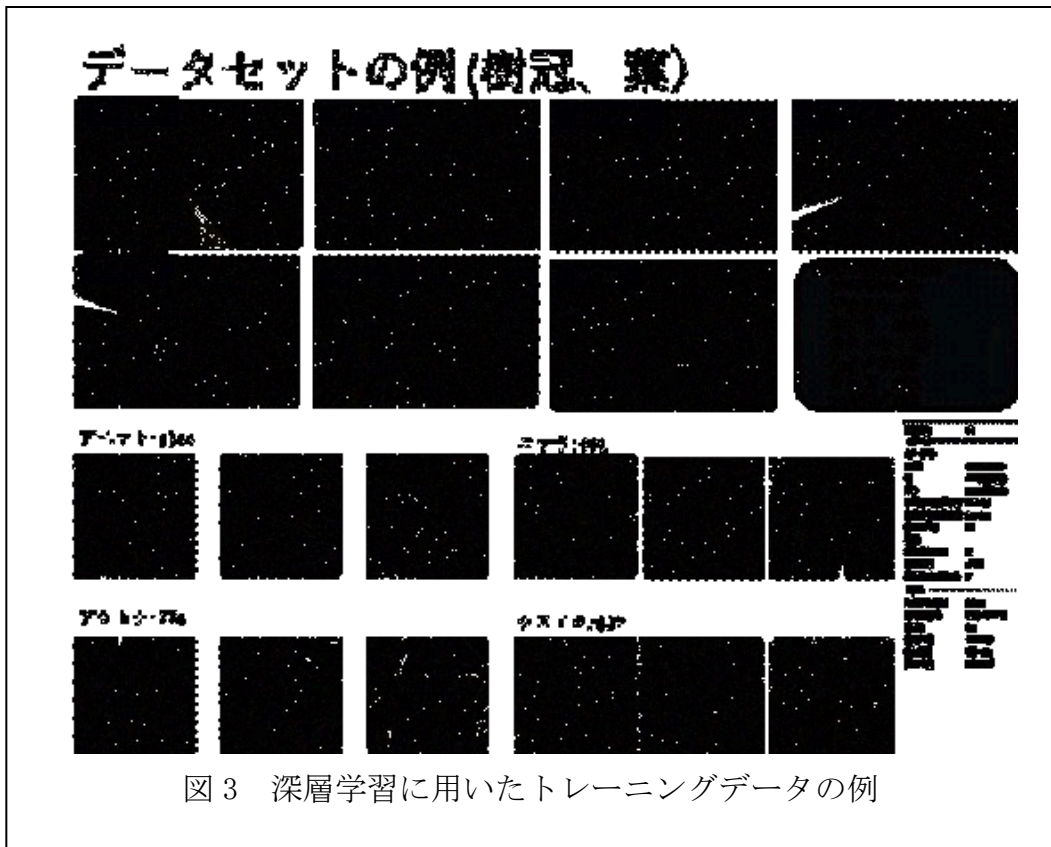


図3 深層学習に用いたトレーニングデータの例

Mobilenet_v2_100_160 が最も良好な結果が得られた。

これらの結果を踏まえて、k. LAB の昨年度の生態系サービスモデルを必要に応じてアップデートした。

4. 考察

AW3D データの活用可能性については、航空機レーザー測量データとの比較結果からは良好な結果が得られたため、AW3D データによる代替の可能性は高いものと判断される。なお、個々の森林の塊に着目し、細かいスケールでのデータの比較等を進めることで、細かいレベルでのデータの代替可能性を検討していく必要がある。

次に、炭素ストック量と DCM 及び AW3D_DCM による森林樹冠体積との関係の分析であるが、今回のデータの範囲では、いまだ高い相関の結果が得られておらず、各種パラメータの導入や測定地点の追加など更なる分析が必要と考えられる。

深層学習による上空画像を用いた樹種判定は、今回の基礎的検討においては、概ね良好な結果が得られた。今後は、撮影画像対象の樹種数を増やすこと、高さを変えた各種画像をトレーニングデータに用いることなどを通じて、UAV による上空画像に近いデータを入手し、分析に活用して行くことが必要である。

5. まとめ

今年度は、広域データである AW3D データの活用可能性の検討、及び上空画像による樹種分類の可能性の基礎的検討を行った。いずれも今後の活用可能性を示唆する結果が得られており、今後も研究を進めていく異議があるものと考えている。今年度の結果を踏まえて、今後詳細な条件等の検討を進めていく必要がある。

6. 謝辞

本研究では、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。本研究における森林調査は関連土地所有者・管理者の許可を得て実施した。本研究の遂行にあたり、吉野奈津子氏及び早川昂汰氏、Tao Linwei 氏、Rehan 氏等の研究室内の学生諸子の協力を得た。K. LAB については、Ferdinando Villa 氏、Stefano Balbi 氏らの協力を得た。また、本研究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 IDEAS202114 の助成を受けたものです。

<学会報告>

- 早川昂汰, 林希一郎, 竹島喜芳, 杉田暁, 町村尚. 森林空間体積に着目した簡易型炭素ストック量推計手法の開発—名古屋市の事例, 環境アセスメント学会 2021 年度第 20 回大会, 環境アセスメント学会, オンライン, 2021/9/3~4.

参考文献・データ

1. MA(Millennium Ecosystem Assessment), 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.
2. 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—. 写真とリモートセンシング, 56, 3, 70-80.
3. 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, 51(1), 11-18.
4. 小林航, 林希一郎, 大場真(2019): 1955 年と現在の生態系サービス供給ポテンシャルの比較分析—愛知県西部の事例—. 環境共生, 35, 5-17.
5. 石井洋・只木良也(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, 197-206.
6. 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, 9-13

活用したデータ

- 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)
- 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)
- 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)
- 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)
- 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>
- AW3D 標準版地形データ (JAXA、RESTEC、NTTdata)
- 名古屋緑地 GIS データ 2010 年、<https://www.city.nagoya.jp/ryokuseidoboku/page/0000145477.html>

用いたモデル

- Inception_v3 https://tfhub.dev/google/imagenet/inception_v3/feature_vector/5
- Mobilenet_v2_100_160
https://tfhub.dev/google/imagenet/mobilenet_v2_100_160/feature_vector/5
- Resnet_v2_50 https://tfhub.dev/google/imagenet/resnet_v2_50/feature_vector/5
- Efficientnet_v2_imagenet1k_b0
https://tfhub.dev/google/imagenet/efficientnet_v2_imagenet1k_b0/feature_vector/2