

# 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<sup>i</sup>, 町村 尚<sup>ii</sup>, 福井 弘道<sup>iii</sup>, 杉田 暁<sup>iii</sup>, 竹島喜芳<sup>iii</sup>

<sup>i</sup>名古屋大学、<sup>ii</sup>大阪大学、<sup>iii</sup>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（文献1）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る。

昨年度までは、Unmanned aerial vehicle (UAV) 及び、試行的に航空機レーザー測量データを用いて限られた森林を対象に、森林空間体積とバイオマス量・CO<sub>2</sub> ストック量との関係を分析し、バイオマス量・CO<sub>2</sub> ストック量の推計モデルのプロトタイプを開発した。また、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 (文献5) への取り込みを進めた。

今年度は、引き続き UAV 等を用いたデータ収集による経年データを収集するとともに、航空機レーザー測量データの本格的な活用により、市町村規模の広域的な CO<sub>2</sub> ストック量推計手法の開発を行った。これまでに開発してきた森林空間体積を用いたバイオマス量・CO<sub>2</sub> ストック量推計モデルについて、特に、名古屋市域内での多地点データの収集を進め、広域評価モデルへの拡張を試みた。このように生態系サービス評価モデルの広域化を進めることにより、デジタルアース (Japan) 評価の一部を作成することを目的とする。

## 2. 方法

これまでに進めてきた UAV を用いたスギ・ヒノキ人工林に対する炭素ストック量推計手法については、UAV から得られた digital canopy model (DCM)、頂点抽出モデルを用いた炭素ストック量推計手法の目途がたったため<sup>1)</sup>、昨年度以来広葉樹を対象とした推計手法の開発に注力している。本項では以下の手順に従い研究を進めた。

- ① 航空機レーザー測量データを用いた森林空間体積の推計
- ② 現地森林調査による炭素ストック量の推計
- ③ 現地調査中心点の測位
- ④ 炭素ストックと森林空間体積の関係の分析
- ⑤ 広域的な炭素ストック量の推計手法の開発及び k.LAB への取り込み
- ⑥ その他生態系サービス評価手法の改良

### (1) 航空機レーザー測量データを用いた森林空間体積の推計

広葉樹を対象とした炭素ストック量推計手法の検討では、都市部においては UAV 空撮可能な箇所が限定されるため、航空機レーザー測量データを国土地理院から借用し、分析に活用した。昨年度までの研究では、試行的な活用ということもあり、航空機レーザー測量データの前処理を簡易にしたデータを用いて分析を行った。今年度は、入手した名古屋市周辺地区の航空機レーザー測量データ（詳細は文末参照）に対して、時間をかけて前処理を施したデータを活用した。具体的には、送電線、送電線鉄塔、フェンス、クレーン、鳥等の分析ノイズと認識されるものを自動及び手動で除去し、2m-grid スケールの digital surface model (DSM)、digital canopy model (DCM) を作成した。

岐阜県高山における針葉樹森林調査については、UAV 調査、現地調査を含めて経年調査を引き続き続け

---

<sup>1)</sup>A. Fujimoto, C. Haga, T. Matsui, T., Machimura, K. Hayashi, S. Sugita, H. Takagi, An End to End Process Development for UAV-SfM Based Forest Monitoring: Individual Tree Detection, Species Classification and Carbon Dynamics Simulation. Forests, vol. 10, 680, 2019/08. 及び文末発表論文を参照。

ており、UAV 飛行の詳細は昨年度とほぼ同様に次のとおりである。DJI GS Pro および Map Pilot for DJI による自動運転を用い、撮影には Phantom3 (1/2.3" CMOS、1240 万画素) および Phantom4 Pro (1" CMOS、2000 万画素) の備え付きのカメラを用いた。Phantom3 は中部大国際 GIS センター及び名古屋大学未来材料・システム研究所の機材、Phantom4 Pro は中部大国際 GIS センターの機材を使用した。

### (2) 現地森林調査による炭素ストック量の推計

炭素ストック量を推計するために、各森林において現地調査を実施した。現地調査の方法は、一昨年度来と同様な手法を用いた。以下簡便に現地調査手法を整理した（詳細は 2019 年度報告書を参照）。森林内に 100m<sup>2</sup>、300m<sup>2</sup> のコドラートを設置し、diameter at breast height (DBH) が 5cm 以上の全木本の樹種、樹高等を記録した。樹高測定では、主として SK 逆目盛検測桿 AT 型 15m（宣真工業）を用いるとともに、15m 以下の樹木は 0.1m 単位で測定し、15m 以上の樹木は樹高ポールとレーザー距離計の LASER 550A S (Nikon) を併用しつつ 0.5m 単位で測定した。100-300m<sup>2</sup> コドラート内では樹高が未測定のため、Näslund 式（文献 2）を用いて樹高を推計した。推計に用いた式のパラメータは、文献 3 の推計値を用いた。文献 4 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。今年度は、市域の広い範囲からのデータ入手を目的としていたため、多地点のデータ収集に努めた。

### (3) 現地調査中心点の測位

現地調査サイトの中心点は、森林内であることもあり、正確な位置を特定することは困難である。トータルステーションなどの特殊な機材を用いて測位が行われる場合もあるが、高価であるため、今年度は、低価格でコンパクトな RTK 測量機材である ZED-F9P ((u-blox 社) のセンサーを活用可能性を検討した。F9P 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、樹冠上部に位置するように設置する。その後、その F9P センサーまでの距離を地上からレーザー距離計 GLM150C (Bosch 社) を用いて計測し、また現地調査中心点からの距離等も測定することにより、F9P センサーの位置を現地調査中心点に補正した。風等の影響、測定の実誤差等を含め、50cm 程度以内の誤差範囲に収まるように努めた。なお、本現地調査中心の測位は、落葉期である主として 12 月から 3 月に実施した。



写真 1 (a) F9P センサー (左)、(b) 中心地測定の様子 (右)

### (4) 炭素ストックと森林空間体積の関係の分析

上記中心点座標を用いて、その中心点座標周辺の森林空間体積を算出し、現地調査により求めた炭素ストック量との関係を分析した。

### (5) 広域的な炭素ストック量の推計手法の開発及び k. LAB への取り込み

上述の結果を用いて、名古屋市広域地域を対象とした炭素ストック推計モデルを検討した。なお、航空機レーザー測量データの処理に時間を要することもあり、より広域をカバーしている衛星データの加工データである AW3D データ (NTT DAT, RESTEC、<https://www.aw3d.jp/>) の活用可能性の検討も開始した。

(6) その他生態系サービス評価手法の改良

その他の生態系サービスについては、昨年度までに構築している炭素ストック量、大気汚染調整サービス、微気候調節サービス等のモデルやデータの修正を行った。

データ処理は、Photo Scan Professional (Agisoft)、ArcGISpro (ESRI) を用いた。

3. 結果

現地調査は、名古屋市内の 1ha 以上の連続した樹冠を有する森林を対象とし、現時点では 90 か所程度で調査を終了している。この中には、都市公園としての森、社叢林、二次林等多様なタイプの森林が含まれる。その中から、今年度は 17 か所の現地調査中心測位を実施した（現在も継続中である）。現地調査中心測位は、落葉期の冬季以外では樹冠上部が見えにくくなるため困難である。このため主として 2020 年 12 月から 3 月にかけて実施した。

本項では、特に、森林空間体積の研究結果について記載した。航空機レーザー測量データを活用して求めた DCM を、当該 300m<sup>2</sup> コドラート内の毎木調査による炭素ストック量の推計値と比較した（図 1）。

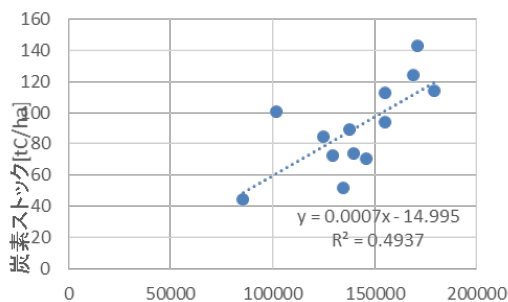


図 1 航空機レーザー測量データによる森林空間体積と現地調査による炭素ストック推計値との比較

これらの推計値を用いて、k.LAB へ炭素ストックモデルを取り込んだサンプルの一例を図 2 に示した。なお、データ点数を追加していく予定であるため、推計値は暫定的な値である。

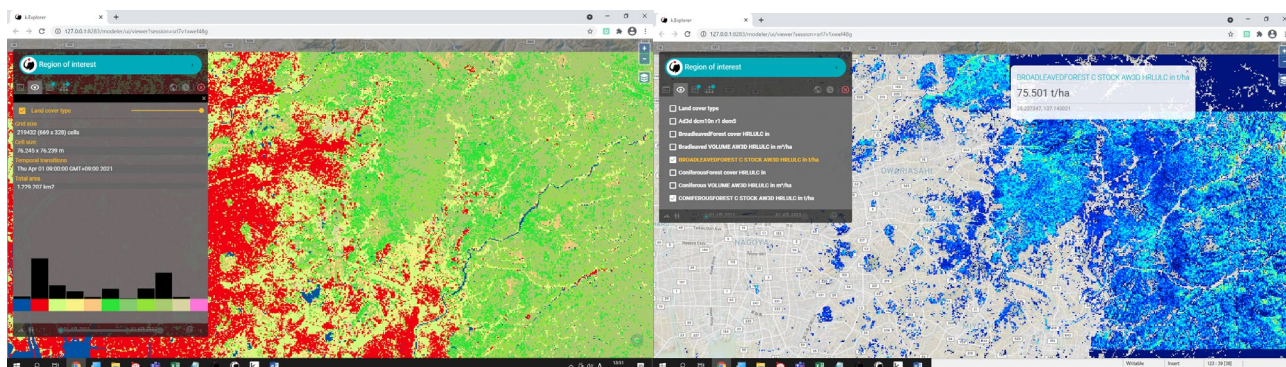


図 2 k.LAB による推計の例：(a)土地利用図（左）、(b)炭素ストック推計値(右)（暫定版）

その他の生態系サービスについては、大気汚染調整サービス、微気候調節サービス等のモデルやデータの修正を行った。

#### 4. 考察

広葉樹の森林空間体積をもとに炭素ストック量を推計する手法を検討した。同様な推計は、文献6のように針葉樹を対象とした研究がある。今回は、類似の手法を広葉樹に拡張したものである。航空機レーザー測量データを用いた手法の結果を現地調査結果と比較したところ、それほど高い相関は得られなかった。なお、事例数が少ないため、今後事例を増やしていく必要がある。現地調査データの集積は進んでいることから、今後は現地中心点測位のデータ収集を進めることで、データ分析の幅が広がることが期待される。また、現地調査の対象は、これまでの経緯等を踏まえ名古屋市内を中心としているが、周辺地域等へ拡大していくことが課題である。その際、航空機レーザー測量データの取得が行われていない場合もあるため、UAVや衛星データ等の活用可能性についてもより深い検討が必要となる。

#### 5. まとめ

今年度は、広葉樹を対象とした航空機レーザー測量データを用いた炭素ストック量の推計手法の開発を進めた。この結果、事例の蓄積を進めていくことで、森林空間体積を用いた炭素ストック量推計の精度を高めることが課題となった。また、炭素ストック量の推計にあたり、森林空間体積に加えて別の要因を取り入れることにより推計精度を上げていくことが課題である。広域適用を考える場合には、航空機レーザー測量データの前処理の煩雑さを考慮し、衛星データ等の代替データを検討していくことが課題である。

これらの結果により、SDGs ゴール 15 に関連するマップ化を通じて、デジタルアース、特に日本版のデータ整備に貢献することが可能と考えられる。

#### 6. 謝辞

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 IDEAS202012 の助成を受けた。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。

#### <発表論文>

- Takashi Machimura, Ayana Fujimoto, Kiichiro Hayashi, Hiroaki Takagi and Satoru Sugita (2021) A Novel Tree Biomass Estimation Model Applying the Pipe Model Theory and Adaptable to UAV-Derived Canopy Height Models. *Forests* 2021, 12(2), 258; <https://doi.org/10.3390/f12020258>

#### <学会報告>

- 町村 尚, 林 希一郎, 杉田 暁, 高木洋明. パイプモデル理論を応用した UAV 観測樹冠高モデルによる立木材積推定法, 日本農業気象学会 2021 年全国大会, 日本農業気象学会, オンライン, 2021/3/18~31

#### 参考文献・データ

1. MA(Millennium Ecosystem Assessment), 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
2. 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.
3. 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.
4. 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
5. Villa, F., Bagstad, K.J., Voigt, B., Johnson, G.W., Portela, R., Honza<sup>´</sup>k, M., Batker, D., 2014. A methodology for adaptable and robust ecosystem services assessment. *PLOS ONE*, 9(3), e91001. doi:10.1371/journal.pone.0091001
6. 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.

#### 活用した航空機レーザー測量データ

- 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ー測量業務成果, 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ー測量業務成果, 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)