

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*、岡澤宏**、町村 尚***、竹島喜芳****、杉田 暁****

*名古屋大学、**東京農業大学、***大阪大学、****中部大学

1. はじめに

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。本年度の研究では森林炭素ストック量に焦点を当てた。

これまで、現地フィールド調査、航空機レーザー測量データ、衛星データを活用し、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することで、簡易型森林炭素ストック推計手法の開発を試みた。特に、岐阜県の強度間伐林において UAV を用いた分析 (Fujimoto, et al., 2019;Machimura, et al., 2021) や都市部の広葉樹に着目した分析を行ってきた。針葉樹を対象とした研究では、UAV 撮影画像を用いて 3D 点群データを作成し、これから得られる情報と材積との比較や、スギとヒノキの樹冠の形状や面積の違いを深層学習により分類する手法等を用いた分析を行った(Fujimoto, et al., 2019)。一方、名古屋市等の都市部における広葉樹を対象とした分析では、広葉樹林の樹種多様性などの要因もあり、炭素ストック推計手法の精度向上が課題となっていた。また、都市部における UAV 調査実施上の制約が大きくなりつつあることも鑑み、別手法によるデータ収集の可能性を検討する必要性が高まってきている。

これらの課題を鑑み、精度向上方策の検討を進めきた結果、今年度は森林内部で iPhone pro に内蔵されている 3D スキャンを用いて、森林情報を収集することに着目した。この結果を現地フィールド調査データ等と比較することで、データの精度の検証を行うとともに、現地フィールド調査の iPhone pro LiDAR での代替可能性についての検討を行った。

以下図 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す。特に、情報・データの収集・蓄積に関係が深い取り組みと理解している。



図 1 デジタルアース研究としての位置付け

2. 方法

森林現地フィールド調査は、労働集約的な作業であり、かつ現場での樹種判定に専門的な知識が必要である。樹種判定が可能な専門家の参加が必要となるため、一度にできる調査場所の数に限界がある。また、調査サイトの設定に時間を要する。これらのことを鑑み、本年度は、森林現地フィールド調査の時間の短縮を目指して、調査サイト設定時に活用可能な機材の整備及び iPhone pro LiDAR の活用可能性を検討した。具体的には、森林内で iPhone pro12 LiDAR を活用することで、撮影画像、点群データが得られる。これらをもとに、各種森林情報 (DBH (胸高直径)、樹高、樹種、座標等) の取得可能性を検討した。

本研究は以下のようなサブ項目に分けた。第一に、森林現地フィールド調査である。名古屋市西部丘陵地

域周辺の森林数を対象に現地フィールド調査を実施した。現地フィールド調査では、森林内に600m²内の円形プロットを作成しDBHが5cm以上の全樹木を対象とした毎木調査を実施した。具体的には、100m²、100–300m²及び300–600m²の3つの同心円を作成し、それを更に45度単位に合計24分割して調査を行った。距離測定にはレーザー測距計GLM150c(BOSH)、方位測定には方位計HB-3コンパスグラス(石神井計器製作所)を用いるとともに、名古屋大学全学技術センター装置開発技術支援室の助力を得て図2に示すような距離方位測定機材を自作し活用した。この装置を用いることで、方位と距離を測定し、同心円を作成した。なおサイト内の立木状態での枯死木は調査対象に含めることとしたが、倒木状態の枯死木は調査対象外とした。これは、iPhone pro LiDARでは立木状態の枯死木は区別できないためである。毎木調査の対象は600m²内の樹木を対象としたが、iPhone proの結果との比較には100m²内の毎木調査結果を使用した。

調査プロットの中心位置測位には、GNSS受信モジュールのZED-F9P(u-blox)、DG-PRO1 RWS(ビズステーション)、ANN-MB-00(u-blox)、TOP107(TOPGNSS)、RWX(ビズステーション)、u-blox社のu-center、softbank社ichimillを使用した。なお森林内での測位が困難な場合もあったため、その場合は上空の開空度が高い場所での測定値を調査中心場所まで補正することにより調査中心地の座標を算出した。

調査対象森林においてiPhone pro 12のLiDAR機能を活用し、3Dスキャンを行い、その後、Pix4D matic(Pix4D株式会社)を用いて点群データ等を作成した。具体的には、森林内の100m²の円を東西南北に4分割した上で一プロジェクト当たり3,000枚前後の画像撮影を行い分析に活用した。なお、撮影には練度が必要なため、何度かのトライアンドエラーを経て撮影を行った。撮影上の留意点としては、調査中心点、地面、2–3m程度の高さまでの樹高、個葉、木の番号等が映り込むように工夫した。特に、iPhone pro12 LiDARの測定範囲が実質的に数mのレンジしかもたないため、高木までをカバーする測定は困難であるが、DBHを定める高さくらいまでは測定可能なため、地面からの連続的な撮影に留意した。さらに、樹種判定の可能性を検討していたため、対象樹木の個々の葉の色や形状が適切に撮影されるように遠近の活用やオーバーレイへの配慮等を試した。

その後、Pix4D maticでの分析結果を用いて、DBH_{Pix4d}を作成し、DBH_{現地調査}との比較を行った。

次いで、点群データや撮影画像を用いた樹種判定の可能性を検討した。樹種判定は、まずは、点群データを用いた樹種判定の可能性を模索したが、個々の葉の詳細なデータの取得が困難であった。そこで、樹木単位の画像を名古屋大学観察園の専門家の助力を得つつ複数人で確認しながら樹種判定を行った。樹種判定は、



図2 距離・方位測定機材



図3 上段は写真画像、下段はPix4Dによる点群

主に色や葉の形状を確認しつつ実施したが、特に高木等葉の画像が無いものについては、樹皮を確認しつつ樹種を判定した。

最後に、森林現地フィールド調査及び点群データの分析から得られた結果に対して簡単な統計解析を実施し、結果を取りまとめた。

3. 結果

名古屋市内の複数の森林の 600m³内の調査を実施したが、2023 年 10 月に実施した 100m²内の調査結果を報告する。本調査では、DBH5cm 以上の全樹木の DBH 及び樹種名を記録した。iPhone pro12 での撮影は先ずは狭い 100m²での調査を実施したため、その調査エリアのデータをまとめた。対象地内には 22 の樹木が存在し、そのうち 2 本は立ち枯れ木であることを確認した。樹種は、合計 7 種であり、ヒサカキ、ソヨゴ、コナラ、サカキ、アベマキ、カナメモチ、カクレミノであった。DBH の最大値 36.4cm、最小 5.1cm であった。高木は概ねコナラ、アベマキであった。

同時に iPhone pro12 LiDAR を用いて、90 度ずつの 4 方向での 3D スキャンを実施した後、研究室内で Pix4Dmatic を使って画像処理を行った。図 3 の上段は、調査地内の画像であり、下段は iPhone pro12 データを Pix4Dmatic で解析した結果のほぼ同じ地点の点群データである。これによると、DBH が比較的大きい樹木は点群データ自体が得られたが、細い樹木や枝は点群データとしての再現性が低かった。次に、DBH5cm 以上の樹木に着目し、点群データから DBH を測定し、その値を現地調査データと比較した。その結果、点群データから求めた DBH は最大値 36.15cm、最小値 5.05cm であった。さらに、DBH_{Pix4d} と DBH_{現地調査} を比較した結果、全樹木の DBH の誤差平均の絶対値は 3%であった。

次に、Pix4D の分析結果を用いた樹種判定の可能性も検討した。当初、点群データを用いた専門家の判断による樹種判定の可能性を検討したが、点群データの分解能が荒いため明確な樹種判定が困難なことが判明した。そこで、点群作成時に使用されている撮影画像データをもとに専門家の判断に基づく樹種判定を行った(図 4)。その結果、樹種判定率は 15/20 (判別困難 3、判定エラー 2) であった。樹木の葉画像が撮影されていれば、ある程度の確率で樹種判定が可能であることが示された。

4. 考察

森林現地フィールド調査による毎木調査と iPhone pro を用いた 3D スキャンを行い、これらの結果を比較することで、現地調査の iPhone pro での代替可能性を模索した。

森林現地フィールド調査の iPhone での代替可能性は、想定以上に iPhone の撮影に時間と熟練度が必要なことから、一概には困難であることが判明した。なお、練習を重ねることで熟練度が増すとともに、複数人で複数地点のデータを入手可能な仕組みであることから、広域展開による時間短縮効果は期待できるものと思われる。

代替可能性に関する論点の 2 つ目として、得られる森林情報がある。DBH は現地測定データに近い値が iPhone pro LiDAR によって得られることが判明したが、iPhone pro の LiDAR の測定レンジの関係で樹高情報を得ることは困難であった。これは、より測定レンジの長い LiDAR を活用することで樹高測定可能性が高まる可能性を残している。

樹種判定については、Pix4D の加工情報、例えば点群データ

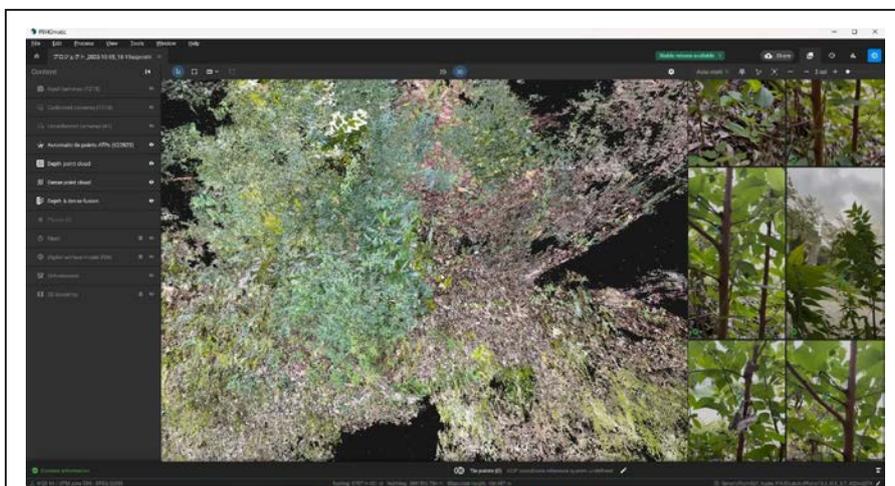


図 4 Pix4Dmatic で作成した点群と撮影画像

を活用した情報では困難であるが、そのもととなる撮影画像を用いることである程度可能であることが判明した。なお、この際、写真が当該樹木の画像であることの確認、個葉が移っている画像の必要性、樹木マーキングの画像、根本付近の葉画像の撮影など撮影時の工夫が必要なことが課題として挙げられた。また、特に高木の場合、iPhone pro LiDAR の測定レンジ内に葉が移らない場合もあるために、樹皮による判定可能性を検討する必要があるが、エラーが生じるリスクが高くなり、実際今回の結果においても判定エラーが発生した。なお、専門家の判断で写真画像から樹種判定が可能であれば、将来的には深層学習などを用いた画像分類への発展可能性があり、専門家がすべての現地調査に参加しなくても樹種判定が可能である仕組みの構築への道が開けると思われる。

森林内では座標の取得が困難であることに鑑み、調査中心点及びその他のグランドコントロールポイント（GCP）を適切に設置する必要性が挙げられる。これにより、方位や距離が補正され、森林現地調査データとの比較が可能となる。

今後は、測定レンジが広い LiDAR データや深度カメラ等の活用により、測定時間の短縮及びより広いエリアの森林情報を得られるような工夫が可能と考えている。

5. まとめ

森林現地フィールド調査と iPhone pro を用いたハンディライダーを用いたデータ取得容易性の比較を行った。その結果、DBH や樹種判定については、一部代替可能性があることが判明したが、撮影時の工夫が必要なことが指摘された。また、複数の場所で同時にデータを得るような工夫をすることで、森林現地フィールド調査を省力化ができる可能性があることが判明した。

6. 謝辞

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 IDEAS202319 の助成金の助成を受けたものです。本研究の遂行にあたり森林調査、データ分析等に助力いただいた名古屋大学全学技術センター（共通）吉野奈津子氏、林研究室メンバーには謝意を表す。また名古屋大学全学技術センター 装置開発技術支援室（理学）小林和宏氏には、距離・方位系の支持土台を作成いただいた。その他、東京農業大学の岡澤研究室メンバーには iPhone pro による撮影に協力いただいた。

参考文献・データ

1. Fujimoto, A., Haga, C., Matsui, T., Machimura, T., Hayashi, K., Sugita S., Takagi, H., 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.
2. Machimura, T., Fujimoto, A., Hayashi, K., Takagi, H., Sugita, S.. A Novel Tree Biomass Estimation Model Applying the Pipe Model Theory and Adaptable to UAV-Derived Canopy Height Models. *Forests* 2021, 12,