研究ノート

UAV 画像と機械学習を用いた苗木自動検出技術の開発

中 川 太 人^{1,*}・藤 平 光 希¹・トウソウキュウ²・加 藤 正 人²

Development of automatic seedling detection method using UAV images and machine learning

Futoshi Nakagawa^{1,*}, Mitsuki Fujihira¹, Songqiu Deng² and Masato Katoh²

I. はじめに

我が国では戦後の拡大造林によって植えられた人工針葉樹林の約半数が一般的な主伐期である50年生を超え、伐採適齢期を迎えている（林野庁，2019）。林業の持続的経営管理を行うためには主伐後の再造林が求められるが、再造林に伴う育林コストが主伐による木材収入を上回るのが現状であり、育林の低コスト化は早急に解決すべき課題である（原山ら，2014；渋谷，2014）。育林の低コスト化に関する研究として、コンテナ苗の活用（榎本ら，2016；大矢ら2017）や下草刈り回数削減の検討（酒井ら，2019）がある。造林地そのものに着目した技術開発として、UAV（unmanned aerial vehicle）による地形事物判定を基に植栽計画に活用する事例（古家，2020）等がある。しかし、植え付け本数の確認やその後のモニタリングといった長期的管理に関する国内の研究は極めて少ない。一方海外では、1990年頃からリモートセンシング技術を利用した造林地の苗木検出が行われ始め、初期研究ではヘリコプターと航空写真を用いた手動での検出が行われた（Hall and Aldred, 1992）。リモートセンシング技術の発達とともに低コストかつ高解像度の画像データを得られる UAV の普及が進み（Anderson and Gaston, 2013；村上，2018），UAV から取得した RGB 画像及び近赤外画像と決定木アルゴリズムの一つである CRAT を用いて75.8%の針葉樹苗木を検出した事例（Feduck ら，2018）や、3つの畳み込みニューラルネットワークベース物体検出手法（R-CNN，R-FCN，

SSD）を用いた苗木検出を行い、R-CNN では81.0%の精度を示した事例（Fromm ら，2019）等が報告されている。このように UAV 取得データと機械学習を組み合わせた植栽苗木の自動検出は一定の有用性が示されている。そこで本研究では UAV 空撮で取得した RGB オルソ画像及び CHM（Canopy Height Model）から、GIS の樹頂点抽出技術と機械学習を併用した植栽苗木の自動検出技術の開発を目的とした。

II. 対象地・使用機材

対象地は長野県上水内郡信濃町の北信森林管理署 霊仙寺山国有林 1038へ林小班 4年生スギ林及び同国有林1036ち林小班 6年生カラマツ林とした（表-1）。

使用 UAV は Phantom 4 RTK である。各造林地の下草刈り業務直後の2020年8月13日、9月17日に高度50m、オーバーラップ85%、サイドラップ75%に設定し空撮を行った。

表-1 霊仙寺山国有林造林地の詳細

林小班	面積	樹種	Haあたりの植栽本数	林齢
1036ち	2.68ha	カラマツ	2200	6
1038へ	3.99ha	スギ	1700	4

III. 方 法

はじめに、Agisoft 社 Metashape を用いてドローン空撮により得られた写真から数値表層モデルである DSM（Digital Surface Model）とオルソ画像を作成し

* 連絡先（Corresponding author）E-mail: 20as409k@shinshu-u.ac.jp

1 信州大学大学院総合理工学研究科農学専攻（399-4598 長野県上伊那郡南箕輪村8304）

Department of Agriculture, Graduate School of Science and Technology, Shinshu University, 8304 Minamiminowa-Vill., Kamiina-Dtrct., Nagano 399-4598, Japan

2 信州大学先鋭領域融合研究群山岳科学研究拠点（399-4598 長野県上伊那郡南箕輪村8304）

Institute for Mountain Science, Interdisciplinary Cluster for Cutting Edge Research, Shinshu University, 8304 Minamiminowa-Vill., Kamiina-Dtrct., Nagano 399-4598, Japan

た。次に ESRI 社 ArcGIS のラスター演算機能を用いて DSM と国土地理院を通して公開及び提供されている数値基盤情報の数値標高モデル (Digital Elevation Model) の差分から樹冠高モデル (Canopy Height Model; 以下 CHM) を解像度 2 cm で作成した。次に樹頂点抽出技術を用いて CHM から苗木位置の候補となる点を抽出し、分類器に SVM (Support Vector Machine) を用いて機械学習を行い苗木位置の推定を行った。

1. 樹頂点の抽出及びデータセットの準備

まず、GIS のツールを組み合わせた樹頂点抽出技術を用いて、CHM から苗木位置の候補となる点を自動で抽出した。この工程では移動最大値フィルタ処理をした CHM とデフォルトの CHM の差分が 0 のピクセルを樹頂点とした (図-1)。次に、候補点から半径 10cm のバッファを作成し、バッファ内の CHM, RGB 及び最小値を 0, 最大値を 1 となるようにスケールリングした正規化 RGB のピクセル値について、QGIS の地域統計プラグインを用いて合計、平均、中央値、

標準偏差、最小、最大、範囲、最小頻値、多様、分散を算出し、計 70 の特徴量とした。特徴量を抽出した候補点バッファ全体を推定対象とし、候補点バッファの全体から 20% を目視により苗木またはそれ以外の地物の 2 項目にラベリングを行い、これをトレーニングデータとした。推定対象とトレーニングデータに重複があるが、精度検証時には後述する検証用プロット内のトレーニングデータを除外し精度を算出した。

2. 機械学習

はじめに、SVM-RFE (Guyon et al 2002) を用いてモデルの性能に寄与しない特徴量を 1 つずつ削除して特徴量数が 69 から 5 までの計 65 個のモデルを構築した。続いて、5 分割交差検定を用いて各モデルの分類精度を算出することで最適な特徴量の組み合わせと数を決定した。最後に最も分類精度の高いモデルを用いて苗木位置推定を行った。

3. 精度検証

まず、GIS 上で調査地全体を覆うように 10m 四方の

図-1 CHM と移動最大値フィルタを用いた樹頂点抽出

図-2 (a) 1038 は林小班 4 年生スギ林のオルソ画像及びグリッド配置

図-2 (b) 1036 ち林小班 6 年生カラマツ林のオルソ画像及びグリッド配置

グリッドを作成しスギ林、カラマツ林からそれぞれ6か所をランダムサンプリングした(図-2(a), (b))。次に、グリッドの範囲内に存在する苗木位置推定結果とオルソ画像を重ね合わせて、目視判読により苗木樹冠上に推定点が存在した場合は一致、下草上や地面に推定点が存在した場合は誤抽出として判定した。なお、精度評価に用いた一致率及び誤抽出率は以下の式により算出した。ここで正解本数とはオルソ画像上で目視判読により確認した各精度検証プロット内の個体数を指す。

$$\text{一致率}(\%) = (\text{一致本数} / \text{正解本数}) \times 100$$

$$\text{誤抽出率}(\%) = ((\text{抽出本数} - \text{一致本数}) / \text{正解本数}) \times 100$$

IV. 結果と考察

4年生スギ林及び6年生カラマツ林の苗木位置推定結果を表-1, 2に示す。4年生スギ林の正解本数は6グリッド合計で103本、一致本数は87本であった。全グリッドの抽出率・誤抽出率の平均はそれぞれ84.5%及び3.1%であった。対して6年生カラマツ林の正解本数は6グリッド合計で87本、一致本数は83本であった。全グリッドの抽出率・誤抽出率の平均はそれぞれ95.7%及び14.2%であった。両調査地において、一致率は80%以上、誤抽出率は15%以下という結果が得られた。これは下草刈り後の画像を用いたことにより、地面と苗木樹冠の色調の違いが顕著であったため、分

類が容易であったと推測される。オルソ画像上で確認したところ、両調査地において、地面に存在する苗木位置候補点は推定の段階で全て削除された。次に、4年生スギ林の結果に着目すると、誤抽出が見られたのは2つのプロットのみで、苗木以外の事物の推定はおおむね成功したと言える。しかし一致率は3つのプロットで80%を下回っており、これらの結果から苗木位置は過少に推定される傾向が示された。逆に6年生カラマツ林の結果では、5番を除く5つのプロットすべてにおいて誤抽出が見られ、過剰に苗木が推定される傾向が見られた。さらに、誤抽出のすべてが下草上に存在することをオルソ画像上から確認した。このような傾向が示す原因が樹種の違いによるものなのか、あるいは本調査地だけに言えることなのかは今後さらに対象地や樹種のバリエーションを増やして検証していく必要がある。

V. おわりに

以上の結果から、SVMを用いた本研究手順を用いることで、苗木位置検出は一定の精度を得られることが示唆された。今後取り組むべき課題はいくつか挙げられる。

第一に対象データの拡張である。本稿はスギとカラマツについて下草刈り作業後の各一か所のみの結果報告に留まった。ドローン空撮によるデータ取得自体は他にも4か所の造林地において下草刈り作業の前後(計8個)で終えている。これらデータを用いて追加

表-2 1038ヘ林小班4年生スギ林精度検証結果

グリッド	現地本数	推定本数	一致本数	誤抽出本数	一致率 (%)	誤抽出率 (%)
1	16	19	16	2	100	12.5
2	17	17	16	3	94.1	17.6
3	19	14	14	0	73.7	0
4	17	16	16	0	94.1	0
5	21	15	15	0	71.4	0
6	13	10	10	0	76.9	0
合計	103	91	87	5	平均 84.5	5.0

表-3 1036チ林小班6年生カラマツ林精度検証結果

グリッド	現地本数	推定本数	一致本数	誤抽出本数	一致率 (%)	誤抽出率 (%)
1	16	18	15	3	93.8	18.8
2	17	19	17	2	100	11.8
3	11	14	11	3	100	27.3
4	13	16	13	3	100	23.1
5	11	10	10	0	90.9	0
6	19	19	17	2	89.5	10.5
合計	87	96	83	13	平均 95.7	15.2

解析し、環境や樹種の違いによる検出結果の変動をより明確に把握する必要がある。特に下草刈り前のデータから苗木の検出が可能ならば、空撮のタイミング等に制限を受けることなく、本技術の活用の幅は大きく広がると考えられる。

第二に、候補点抽出技術の見直し及び異なるアルゴリズムの適用・精度検証である。本研究では、GISでの苗木位置候補点の抽出と機械学習による推定という2つのプロセスを用いた。この方法の問題点はGISでの解析段階で候補点として抽出できない苗木が存在することだ。6つのグリッド内では苗木本数全体の約3%である7本の苗木が抽出されなかった。実用化に向けた精度向上という意味では、候補点抽出技術の見直しや、画像上から直接苗木を検出する手法を用いることが望ましい。

これらの課題を解決し苗木推定技術が確立されれば、ドローンを用いた空撮を経年で行い、取得した画像を基に成長率の算出や地位判定、枯死枯損判定技術に適用することが期待される。

引用文献

- Anderson, K. and Gaston, K.J. (2013) Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology, *Front. Eco. Environ.* 11(3), 138–146.
- 榎本卓也・宇都木玄・田中浩 (2016) 低コスト再造林の実現にコンテナ苗をどう活用するか—研究の現状と今後の課題—, 日林誌98, 135–138.
- Feduck, C., McDermid, G.J. and Castilla, G. (2018) Detection of Coniferous Seedlings in UAV Imagery, *Forests* 2018, 9(7), 432.
- Fromm, M., Schubert, M., Castilla, G., Linke, J. and McDermid, G. (2019) Automated Detection of Conifer Seedlings in Drone Imagery Using Convolutional Neural Networks, *Remote Sens.* 11(21), 2585.
- 古家直行 (2020) 空撮・測量から造林支援まで 森林・林業現場でのドローン活用最前線, 現代林業 650, 12–34.
- Guyon, I., Weston, J., Barnhill, S., & Vapnik, V. (2002). Gene selection for cancer classification using support vector machines. *Machine learning*, 46(1–3), 389–422.
- Hall, R.J. and Aldred, A.H. (1992) Forest regeneration appraisal with largescale aerial photographs, *The Forestry Chronicle*.68(1).142–150.
- 原山尚徳・来田和人・今博計・石塚航・飛田博順・宇都木玄 (2016) 異なる時期に植栽したカラマツコンテナ苗の生存率, 成長及び生理生態特性, 日林誌98, 158–166.
- 村上拓彦 (2018) UAV を利用した森林リモートセンシング, 日本リモートセンシング学会誌38, 258–265.
- 大矢信次郎・斉藤仁志・城田徹央・大塚大・宮崎隆幸・柳澤信行・小林直樹 (2017) コンテナ苗を活用した低コスト再造林技術の実証研究, 長野県林業総合センター研究報告31, 17–26.
- 林野庁 (2019) 令和元年度森林・林業白書, 360pp, 全国林業改良普及協会.
- 酒井敦・北原文章・中山啓介・三島貴志・岩田若奈・島田博匡・奥田清貴・中島富太郎・山下由美子・藤井栄・渡辺直史・鷹野孝司 (2019) 低コスト育林を目指した植栽試験におけるスギ・ヒノキ苗の活着率と初期成長, 日林誌101, 94–98.
- 渋谷正人 (2014) 林業イノベーションの必要性, 北新研62, 1–2.

(2020年11月26日受付)

(2021年4月12日受理)