

深層学習による森林画像の分析とその活用

—UAV オルソ画像と林内全天球画像を対象とした森林資源情報等の推定—

矢田 豊 (石川県農林研)・林 航希・喜多 泉月・鴨井 伸哉・九後 佑樹 (金沢工大)・村上 良平 (エイブルコンピュータ)・木村 一也・山路 佳奈 (石川県森連)・松井 康浩・長田 茂美 (金沢工大)

UAV オルソ画像と林内全天球画像から、深層学習技術を用いて樹種や森林資源に関する情報を出力し、その情報を林業の実務現場で容易に活用できるシステムの開発に取り組んだ。画像は、Skycatch社のExplore1とその連携システムにより撮影・合成したUAV オルソ画像と、リコー社のTHETA SCを用いて撮影した全天球画像を使用した。深層学習モデルとしてDenseNetを、フレームワークとしてKerasを使用した。UAV オルソ画像からは樹種を、全天球画像からはスギ人工林の材積や原木品質を推定するAIエンジンを開発・ほぼ実用に耐える精度を実現し、実利用のためのWebアプリケーションソフトウェアを試作した。

キーワード：UAV オルソ画像、全天球画像、深層学習、Webアプリケーションソフトウェア、画像判読

I はじめに

国内の森林資源は成熟し、本格的な利用期を迎える一方、林業事業者における人手不足が深刻化しており、調査業務の効率化が喫緊の課題となっている。一方、小型無人機により撮影・合成したオルソ画像（以下、UAV オルソ画像）や手軽な専用カメラにより撮影した林内全天球画像が比較的容易に取得できるようになり、それらの効率的な活用手法の開発が求められている。

以上のことから、林業事業者等が実施する森林調査業務を効率化するために、近年画像認識の分野で広く有用性が認められている深層学習技術を活用し、UAV オルソ画像を用いた樹種判別や森林境界明確化支援、および林内全天球画像を用いた材積や原木品質推定のためのAIエンジンと、それを利用するためのWebアプリケーションソフトウェアを試作し、その実用可能性の評価を目的として検討を行ったので、報告する。

II UAV オルソ画像を活用した樹種判別と樹種界抽出

1. 調査方法

深層学習技術を活用し、UAV オルソ画像を用いた樹種判別や森林境界明確化支援に使用する樹種界抽出を行うためのAIエンジンを開発し、その精度評価を行った。

石川県内の30林分においてUAV空撮を実施した。使用した機体はExplore1 (Skycatch社)であり、同社のクラウドシステムにて合成したオルソ画像（解像度5cm/pixelにて出力）を使用した。

また、QGIS (QGIS Association) を用いて、UAV オ

ルソ画像の目視判読により樹種区分図(スギ, ヒノキ, 他樹種, 森林以外を色分け区分)を作成し、UAV オルソ画像と同じ解像度・範囲で出力して、深層学習の学習データセットとした。深層学習モデルとしてDenseNet (2), フレームワークとしてKerasを使用した。実際の学習は、画像をメッシュ分割 (1メッシュの矩形辺長は256pixel, 128pixel, 64pixel, 32pixelの4通りに設定)して、分割した矩形ごとにUAV オルソ画像と樹種区分結果を一組のデータセットとして供試した (ただし、単一の樹種区分のみからなる矩形のみを使用)。また、判定結果に付随して出力される確信度を用いて、1pixel単位で樹種区分を判定した (以下、多重統合処理)。具体的には、各pixelごとに、次式の C_i を樹種カテゴリごとに求め、その値が最大となる樹種カテゴリを、当該pixelの判定結果とした。

$$C_i = W_{i256} \times C_{i256} + W_{i128} \times C_{i128} + W_{i64} \times C_{i64} + W_{i32} \times C_{i32}$$

ただし、 W_{in} : 樹種カテゴリ i , 矩形辺長 n の場合の重みづけの係数 C_{in} : 樹種カテゴリ i , 矩形辺長 n の場合の判定結果の確信度 である。

作成したAIエンジンの精度評価は、以下の方法で行った。樹種区分については学習データとして使用しなかった石川県能登町宇出津林分のデータセットを使用し、各処理方式の正解率を、次式により算出した。

$$a = t/n$$

ただし、 a : 正解率 t : 正解矩形数 n : 全矩形数 で

YADA Yutaka*, HAYASHI Koki, KITA Mizuki, KAMOI Shinya, KUGO Yuki, MURAKAMI Ryohei, KIMURA Kazuya, YAMAJI Kana, MATSUI Yasuhiro, NAGATA Shigemi

Analysis and Application of Forest Image by Deep Learning - Estimating forest resource information for UAV ortho images and omnidirectional images -

yada@pref.ishikawa.lg.jp

ある。

樹種界の抽出率については、5 林分（表-1）の UAV オルソ画像中央部に約 150×150m の枠を設け、その範囲内の樹種界を評価対象とし、次式により抽出率を求めた。

$$d=e/s$$

ただし、 d ：抽出率 e ：UAV オルソ画像から目視判読により作成した樹種界の±5m 範囲内に含まれた、推定樹種界線分長 s ：推定樹種界の全線分長 である。

2. 結果と考察

樹種区分の評価結果および使用した矩形データ数について表-2 に、教師画像および多重統合処理の出力例を図-1 に示す。矩形サイズが大きいくほど正解率は高くなる傾向となった。多重統合処理における重みづけ係数 W_{in} の値は、試行の結果を踏まえ、今回は「森林以外」カテゴリの矩形辺長 64pixel のみを 3 とし、その他はすべて 1 とした。その結果、多重統合処理の正解率は 80% となった。多重統合処理により、精度と分解能の向上を両立できる可能性が示されたものと考えられる。今後学習データを追加し、アルゴリズムの調整を含め、さらなる精度向上を目指す予定である。

樹種界抽出の評価結果を表-1 に示す。今回評価した 5 林分における樹種界の抽出率は、平均 90% となった。実務者への聴取り結果等を踏まえ、今回は樹種界抽出率の許容範囲を±5m としたが、実際にはそれ以上の精度を求められる場合も多いと考えられる。多重統合処理のアルゴリズムの改良等を踏まえ、さらなる精度向上を目指す予定である。

Ⅲ 林内全天球画像を活用した材積と原木品質の推定

1. 調査方法

深層学習技術を活用し、林内全天球画像を用いて材積と A 材、B 材、C 材の比率（以下、原木品質）を推定するための AI エンジンを開発し、その精度評価を行った。

石川県内のスギ人工林 29 林分において全天球画像の撮影を実施した。使用したカメラはリコー社の THETA SC であり、調査林内にて約 10m 間隔、地上高約 2m の高さに撮影点を定めた。各撮影点において、直交する 2 方向、各 2 枚の撮影を行った。各撮影点の材積は、撮影点から半径 12.6m（面積 500m²）の範囲の立木の計測値から算定した。立木の計測には地上型レーザースキャナ（アドイン研究所製 OWL）を用い、各立木の位置と胸高直径を計測し、各林分にて調査した D-H 関係から各立木の樹高を推定し、上記範囲の材積を、撮影地点ごとに算定した。また、原木品質については熟練者（共著者の木村及び山路）の目視判読に

より決定した。上記により得られたデータセット 880 組のうち 616 組を学習データセットとして用いた。深層学習モデルとして DenseNet (2)、フレームワークとして Keras を使用し、材積は前記範囲の ha あたり材積を推定する回帰モデルとして、原木品質は A 材、B 材、C 材の比率を推定する回帰モデルとして扱い、推定結果の合計値が 100% になるように比例配分して、最終的な推定値を得た。

精度評価は学習に使用していない 264 枚の画像の推定結果について、1 枚ごとの推定値の精度を評価したほか、実際の資源量調査に即した精度評価を想定し、学習に使用していない石川県河北郡津幡町瓜生畑地内のスギ人工林分における全天球画像撮影結果から得られた推定値の平均値と、OWL による林分材積計測値を比較した。

2. 結果と考察

全調査林分の林況は、平均胸高直径 18~41cm、立木密度は 580~1,600 本/ha、林分の傾斜角は 8~30° であった。評価用全天球画像の推定値と計測値の関係を図-2 に示す。誤差が±10%の範囲だった撮影点は全体の 59% となり、誤差が±20%の範囲だった撮影点は全体の 85% となった。また、原木品質の推定値については、A 材、B 材、C 材各々の推定値の誤差がすべて 10% 以内に収まった画像は全体の 78%、同じく 20% 以内に収まった画像は全体の 96% となった。

実際の林分調査を想定した評価の結果を表-3 に示す。25 点/0.1ha の取得画像の平均材積推定値の誤差は 2.7%（絶対値にて表記。以下同）となり、13 点/0.1ha の取得画像の平均材積推定値の誤差は 4.7~10.3% となった。また、原木品質の推定誤差は、25 点/0.1ha の平均値では 7.1% 以内、13 点/ha の平均値では 10.6% 以内となった。以上のように、林内全天球画像 1 枚 1 枚の推定値は比較的ばらつきがある結果となったが、調査対象林分内にて、適切な個数で全天球画像を取得し、その平均により得られる林分材積と原木品質については、実務上許容される推定精度を得ることができたものと考えられる。今後学習データを追加し、推定項目の追加やデータの加工法等の検討を含め、さらなる精度向上や活用範囲の拡張を目指す予定である。

Ⅳ Web アプリケーションソフトウェアの試作

上記成果を活用するための Web アプリケーションソフトウェアを試作した。開発したソフトウェアの機能を表-4 に、開発した操作画面の例を図-3 に示す。試作に際しては、石川県内森林組合の担当者へのヒアリングを行い、実情に即した使用環境や機能、ユーザーインターフェースの開発を行った。

アプリの本体（含、AI エンジン）はクラウドサーバー上に置き、Web ブラウザ経由でアクセスする仕様とした。使用する UAV オルソ画像は、(株)ランドログ

のクラウドシステムである LANDLOG 経由で取得する仕様とし、全地球画像はユーザーの PC から直接アップロードする仕様とした。また、森林境界明確化支援の機能について、石川県内森林組合の担当者へのヒアリングと事前調査 (I) の結果から、樹種判別結果だけでなく、地形や公図等の情報を効果的に参照しつつ作業できるインターフェースも作成した。試作版を石川県内森林組合の担当者に試用してもらった結果、好評価を得ることができた。

V おわりに

本研究により、深層学習を用いることで、UAV オルソ画像を対象とした樹種判別や林内全地球画像を対象とした材積および原木品質の推定が、ほぼ実用レベルで可能となることが明らかとなった。今後は、より広範なニーズに対応するためにさらなる精度の向上を目指すほか、試作アプリの機能についても改良を重ねた上で、石川県内森林組合等を対象とした実証運用に進

む予定である。

謝辞

調査地の使用にご理解・ご配慮・ご協力いただいた森林所有者・各森林組合関係各位および県・市町関係各位、包括連携協定の下、スマート林業の取り組みに連携して取り組んでいただいている(株)小松製作所および関係会社の関係各位に、厚く御礼申し上げます。

本研究は、農研機構生研支援センター イノベーション創出強化研究推進事業の支援を受けて行ったものである。

引用文献

- (1) 木村一也・矢田 豊・山路佳奈 (2019) UAV オルソ画像判別による林相界と所有界の対応. 第 130 回日本森林学会大会学術講演集, 241
- (2) Gao Huang, Zhuang Liu, Laurens van der Maaten, Kilian Q. Weinberger (2017) Densely Connected Convolutional Networks. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 4700-4708

表-1. 評価林分と樹種界抽出率

調査地	林相界抽出率 (%)
小松市馬場	97.5
志賀町富来	96.2
小松市菩提	86.1
津幡町俱利伽羅	83.2
津幡町吉倉	86.2
平均	89.8

表-2. 矩形サイズと正解率

矩形の辺長 (pixel)	矩形供試数 (枚/カテゴリ)	正解率 (%)
256	3,033	92
128	4,916	80
64	24,638	70
32	109,790	66
多重統合処理	—	80

a) 教師画像



b) 多重統合処理

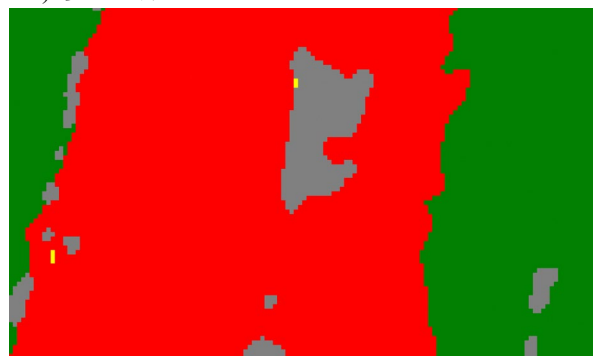


図-1. 樹種区分の出力例 (部分)

■:スギ ■:ヒノキ ■:他樹種 ■:森林以外

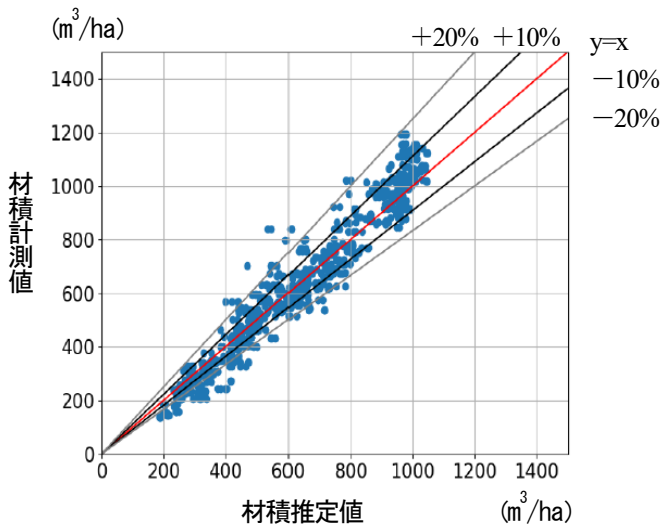


図-2. 全地球画像の材積推定値と計測値の関係

表-3. 全地球画像の撮影点数と推定値

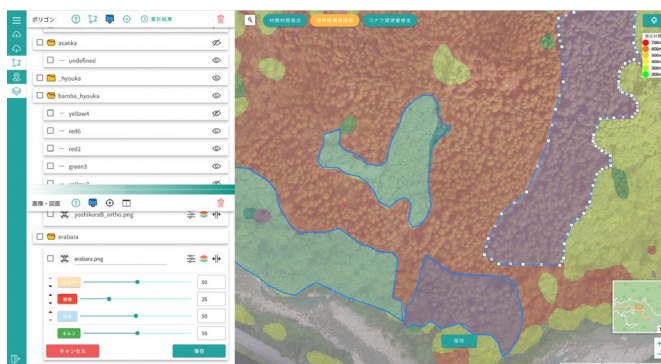
撮影点数	材積		原木品質の推定 (推定値と計測値の差 %)			
	推定値 (m ³ /ha)	誤差 (%)	A材	B材	C材	
38 (25点/0.1ha)	675	-2.7	0.1	-7.1	6.9	
19 (13点 /0.1ha)	①	622	-10.3	0.2	-10.6	10.4
	②	727	4.7	0.1	-3.6	3.4
	③	655	-5.6	0.2	-9.6	9.4
平均	668	6.9	0.2	7.9	7.7	

※ 撮影点数19の①～③は、撮影点数38の中からそれぞれ規則的に抽出した19点による計算値

表-4. 開発したソフトウェアの機能

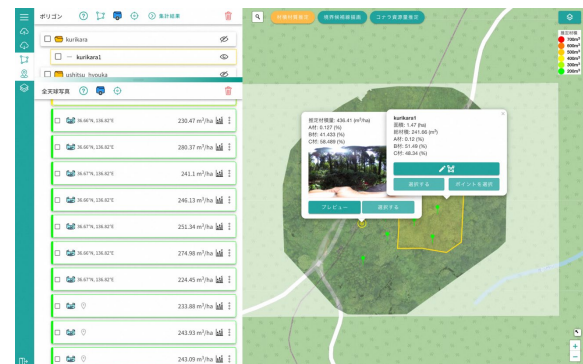
機能分類	項目	機能分類	項目
境界明確化支援	<ul style="list-style-type: none"> UAVオルソ画像のアップロード・表示 UAVオルソ画像からの樹種区分・表示 地形(尾根線、谷線)の表示 公図等参考画像の表示、変形 ポリゴンの描画・ダウンロード 	コナラ資源量推定	<ul style="list-style-type: none"> UAVオルソ画像のアップロード・表示 UAVオルソ画像からのコナラ樹冠面積推定 ポリゴン内のコナラ資源量推定 推定結果のダウンロード
材積・材質推定	<ul style="list-style-type: none"> 林内全地球画像のアップロード・表示 林内全地球画像からの材積・材質推定 地図上の画像撮影位置のピン表示 ポリゴン内の材積、材質推定 推定結果のダウンロード 		

a) UAV オルソ画像の処理画面



UAV オルソ画像、樹種区分、DEM から算定した尾根線と谷線、公図等の参照図面等をレイヤ表示できる。各レイヤを参照しながら、森林境界の候補線を描画し、ポリゴンデータとして出力することができる。

b) 全地球画像の処理画面



全地球画像に記録されている座標値の位置にアイコンが表示され、施業予定範囲等のポリゴンをインポートすることで、その範囲内にある全地球画像の材積等推定値の平均値が表示される。

図-3. 開発したソフトウェアの操作画面の例