

テーマ番号	1EP181			
プロジェクト テーマ	和文	深層学習に基づく森林境界の明確化支援技術に関する研究	指導教員	長田 茂美 教授
	英文	Research on the Visualization Technology of Forest Boundary Based on Deep Learning		
プロジェクト メンバー	4EP1-57 室伏美緒 (Murofushi Mio)		4EP2-43 林悠月 (Hayashi Yuzuki)	

**Abstract** In recent years, a number of forests has been abandoned and devastated due to factors such as aging of forest owners and owners leaving villages near their forests. Under these circumstances, it is necessary to efficiently clarify the forest boundaries to promote forest maintenance, such as thinning. As important key technologies to clarify forest boundaries, our laboratory proposed a system that can distinguish major tree species and extract forest boundaries on aerial photographs (ortho images) acquired by UAVs by utilizing deep learning and image processing technologies. In this study, we proposed methods for (a) improvement of tree species discrimination accuracy and (b) extraction of forest boundary candidate areas, and confirmed their usefulness by evaluation experiments.

**Keywords** forest boundary, visualization, tree species discrimination, deep learning, convolutional neural network, AlexNet.

## 1. まえがき

間伐等の森林整備を推進するには、森林境界の明確化が必要であり、対象となる森林の位置や面積等を正確に把握しなければならない。しかし、近年では、森林所有者の高齢化や離村が進み、森林が放置されたまま荒廃化していく傾向が顕著となっており、早急な対応が求められている。そのため、自治体や森林組合が森林境界の明確化事業に取り組んでおり、この森林境界の明確化に貢献できる明確化支援技術に大きな期待が寄せられている。

当研究室では、森林境界の明確化の前提となる重要な要素技術の一つとして、ドローン等の UAV により取得した森林の航空写真（オルソ画像）から主要な樹種を判別し、林相界（森林境界候補）を抽出する森林境界の明確化支援システムの研究開発を進めてきた<sup>[1],[2]</sup>。本研究では、このシステムの「樹種判別」の評価・改良、および、「林相界抽出」における林相界候補の抽出手法の検討を進め、樹種判別さらには林相界抽出の精度向上を目指す。

## 2. システム概要

図 1 に、当研究室で提案する森林境界明確化支援システム<sup>[1],[2]</sup>を示す。森林のオルソ画像から局所矩形領域ごとに樹種判別を行い、その結果を統合することにより、同一樹種から構成される樹種領域を、さらには異なる樹種領域間の林相界（森林境界候補）を抽出するという処理の流れになっている。

まず、「樹種判別」では、森林のオルソ画像における局所矩形領域内の樹木の樹種を推定する。図 2 に、樹種判別の処理の流れを示す。ここでは、処理対象となるオルソ画像を 128×128 pixels の矩形領域単位で、その矩形領域の画像と“スギ”、“ヒノキ”、“他樹種（広葉樹他）”、“樹種以外”の 4 種類のカテゴリとの対応関係を学習させておいた AlexNet<sup>[3]</sup>に入力し、その領域内の画像を 4 種類のカテゴリに判別する。また、樹種判別結果は、樹種判別カラーマップとして出力され、可視化される。図 3 に、AlexNet の構造を示す。

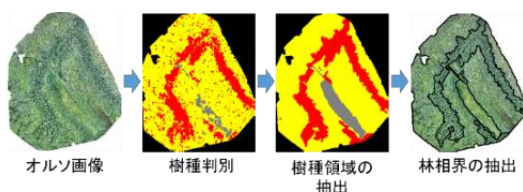


図 1 システムの概要  
Fig. 1 Overview of the system.

次に、「樹種領域の抽出」では、樹種判別カラーマップに基づいて、同一樹種（林相）領域を抽出し、「林相界の抽出」で、異なる樹種（林相）領域間の林相界（森林境界候補）を抽出する。



図 2 「樹種判別」の処理の流れ  
Fig. 2 Processing flow of the tree species discrimination.

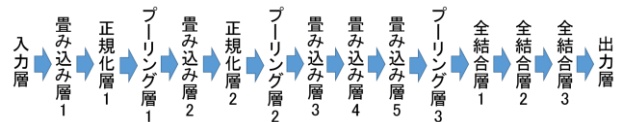


図 3 AlexNet の構造  
Fig. 3 The structure of AlexNet.

## 3. 本研究のアプローチ

本研究では、「樹種判別」の精度向上のための評価・改良、および、「林相界の抽出」の方式検討に焦点をあてる。

### 3.1 「樹種判別」：評価・改良

昨年度の研究では、k-means 法というクラスタリング手法を用いて、偏りが少なく、可能な限りすべてのバリエーションをもつ学習データセットの構築手法<sup>[2]</sup>を提案・導入し、その有用性を示した。

本研究では、この学習データセットの構築方法に加えて、新たにオルソ画像の矩形領域単位の処理に、ピラミッド画像処理の考え方を導入し、従来通り、128×128 pixels の矩形領域単位の処理と、矩形領域サイズを縦横ともに 2 倍の 256×256 pixels にして、解像度を 1/2 に落とした矩形領域単位の処理も検討した。これにより、オルソ画像を「広く、粗く見る」ことが可能となり、より大局的な特徴を捉えることが期待できる。学習データセットの構築は、128×128 pixels の矩形領域単位の場合は従来通りであるが、256×256 pixels の場合には、正解の樹種領域を色で表現した正解カラーマップを 256×256 pixels の矩形領域単位で走査し、同一カラーのみからなる矩形領域に対応する矩形画像をオルソ画像からすべて自動的に抽出し、128×128 pixels にリサイズして学習データとして格納する。

### 3.2 「林相界の抽出」：手法の検討

「林相界の抽出」では、「樹種判別」と同様の処理過程で、“林相界候補領域”を出力する新しい手法と“林相界候補”カテゴリのための学習データセット構築手法を提案する。提案手法は、「樹種判別」の分類器として用いている AlexNet の分類カテゴリに、新たに“林相界候補”カテゴリを追加することにより、“林相界候補”を抽出した後、“林相界”を抽出する構成を採っている。

学習データセット構築の「樹種判別」との違いは、正解カラーマップを  $1 \times 2$  pixels の窓で走査し、その窓内の 2 画素のカラーが異なる地点（境界）を中心とした  $128 \times 128$  pixels (or  $256 \times 256$  pixels) からなる矩形領域に対応するオルソ画像を自動的に抽出する点である。

### 4. 「樹種判別」：評価

提案手法の有用性を確認するために、樹種カテゴリが既知のオルソ画像 6 枚（学習用: 4 枚, テスト用: 2 枚）を用いて、“スギ”, “ヒノキ”, “他樹種 (広葉樹他)”, “樹種以外”の 4 種類のカテゴリに判別する評価実験を実施した。表 1 に、その結果を示す。

実験 I は、学習用オルソ画像 4 枚を用い、 $k=1,000$  枚の学習データで、局所矩形画像と 4 種類のカテゴリとの関係を学習させた AlexNet によるテスト用オルソ画像の判別結果である。実験 II~V では、新たに樹種カテゴリが既知の学習用オルソ画像 7 枚を追加した。II は  $k=1,000$  枚, III は  $k=1,400$  枚, IV は  $k=1,800$  枚として、実験 I と同様に学習させた AlexNet によるテスト用オルソ画像の判別結果である（いずれも矩形領域サイズは  $128 \times 128$  pixels）。V は、矩形領域サイズ  $256 \times 256$  pixels の場合で、 $128 \times 128$  pixels にリサイズした矩形画像を  $k=1,400$  枚として、実験 I と同様に学習させた場合の判別結果である。図 4 (a), (b) にテスト用オルソ画像と正解カラーマップの一例を、図 4 (c), (d), (e) に上記実験の樹種判別カラーマップを示す。

#### 4.1. 「樹種判別」：結果

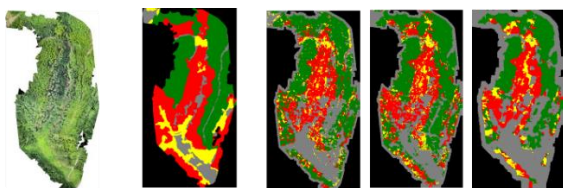
表 1 の I, II から、同一の学習データ数  $k$  でも、学習用オルソ画像の追加により精度が向上することを確認できた。また、II~IV から、学習データ数  $k$  の増加とともに精度は向上するが、 $k$  がある程度以上に達すると、精度が低下することも確認できた。 $k$  を過度に増加させると、学習データ中に類似した画像が増え、逆に学習データの偏りが生じているのではないかと考えられる。さらに、V からは、オルソ画像を「より広く、より粗く見る」ことが精度向上に繋がることも確認できた。

以上の結果から、オルソ画像をいくつかの解像度レベルで処理するピラミッド画像処理の有用性が確認できた。

表 1 評価実験結果

Table 1 Result of evaluation experiment.

	I	II	III	IV	V
使用枚数	1,000	1,000	1,400	1,800	1,400
カテゴリ名	F値	F値	F値	F値	F値
スギ	54.0	55.7	59.5	57.3	74.6
ヒノキ	57.9	76.4	78.3	73.2	89.1
他樹種	50.4	58.3	69.6	58.7	60.4
樹種以外	51.8	54.7	58.3	58.6	80.4
accuracy	53.0	59.6	66.8	60.4	76.7



(a) オルソ画像 (b) 正解カラーマップ (c) 実験結果 I (d) 実験結果 III (e) 実験結果 V

図 4 正解および樹種判別カラーマップの一例

Fig. 4 Correct color map and discrimination result.

### 5. 「林相界の抽出」：評価

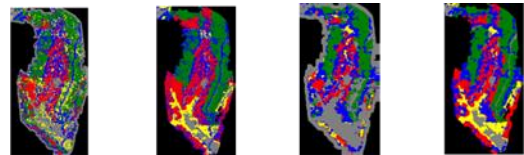
図 5 に、「樹種判別」と同様に、オルソ画像 6 枚を使用し、“林相界候補”カテゴリを追加した評価実験を実施した。

#### 5.1 「林相界の抽出」：結果

図 5 (f1), (g1) は、林相界候補領域を青色で示した実験結果を、図 5 (f2), (g2) は、(f1), (g1) の林相界候補領域を正解カラーマップに重畳した評価結果を示す。

図 5 (f1), (g1) は、 $128 \times 128$  pixels で切り出した  $k=1,000$  枚の局所矩形画像群に回転およびガンマ補正によるデータ拡張を施した学習データ 28,755 枚 (5,751 枚/カテゴリ) を用いた場合の結果であり、“林相界候補”カテゴリの再現率が 50% の林相界候補抽出精度を実現した。

図 5 (f2), (g2) は、学習用オルソ画像を 7 枚追加して、矩形領域サイズ  $256 \times 256$  pixels で切り出し、 $128 \times 128$  pixels にリサイズした  $k=3,000$  枚の局所矩形画像群の学習データ 15,000 枚 (3,000 枚/カテゴリ) を用いた場合の結果であり、“林相界候補”カテゴリの再現率が 61% の林相界候補抽出精度を実現した。これは、 $256 \times 256$  pixels で林相界を「広く、粗く見る」ことにより、 $128 \times 128$  pixels で見るよりもその特徴を的確に捉えることができたからだと考えられる。この「林相界の抽出」実験においても、「樹種判別」と同様に、「広く、粗く見る」ことの有用性が確認できた。今後は、異なる解像度レベルのオルソ画像を統合的に処理することにより、より高精度な「林相界の抽出」の実現を目指したい。



(f1) 実験結果 I (g1) 評価結果 I (f2) 実験結果 II (g2) 評価結果 II

図 5 林相界候補領域の抽出結果

Fig. 5 Result of extraction of boundary candidate area.

### 6. むすび

本研究では、森林境界の明確化支援システムにおける「樹種判別」過程の評価・改良、および、「林相界の抽出」過程における新たな手法の提案を行い、評価実験により、その有用性を確認した。今後は、さらなる精度向上を図り、実用的なシステムへと発展させていく予定である。なお、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。

### 参考文献

- [1] 須貝勇希, 川崎邦将, 松井康浩, 長田茂美, 矢田豊, “深層学習に基づく森林境界の「見える化」技術に関する研究,” 第 7 回中部森林学会大会, 506, 2017.
- [2] 津崎まどか, “深層学習に基づく森林境界の明確化支援技術に関する研究,” 平成 30 年度プロジェクトデザイン III, 公開発表審査会予稿集, EP166, 2019.
- [3] Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Geoffrey E. Hinton, “ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks,” NIPS, Vol. 25, 2012.

### 本プロジェクトに関する業績

- 1) 室伏美緒, 林悠月, 川崎邦将, 松井康浩, 長田茂美, 山路佳奈, 木村一也, 矢田豊, “深層学習に基づく森林境界の明確化支援システム - 樹種 (林相) 判別 -,” 第 9 回中部森林学会大会, 318, 2019.
- 2) 林悠月, 室伏美緒, 川崎邦将, 松井康浩, 長田茂美, 山路佳奈, 木村一也, 矢田豊, “深層学習に基づく森林境界の明確化支援システム - 林相界の抽出 -,” 第 9 回中部森林学会大会, 319, 2019.