

1. はじめに

戦後の日本では大都市圏への人口集中が長期的に進行し、都市化の進展に伴い、とりわけ子供の日常的な自然接触の機会が減少してきたりと指摘されている。また、自然との接触が子供の発達や人格形成等において重要であることは、これまでの研究²⁾により示されている。したがって、今日に至るまでの子供の自然接触機会（自然との近接性）を把握する必要がある。子供の自然との接触に関する既往研究には、アンケート等により意識や経験に基づく経年変化を把握した例³⁾がある一方で、自然接触機会を時空間的に定量化する手法は十分に確立されていない。

近年、深層学習を用いたセマンティックセグメンテーションは土地被覆抽出手法として発展しており、例えば横矢⁴⁾はOpenEarthMapのような空中写真・衛星画像データセットを用いた土地被覆分類マップを提案している。このような進展により、過去の空中写真に対しても適用可能性が広がっている。そこで本研究では、空中写真から深層学習モデルにより自然的土地被覆を効率的に抽出し、子供の日常的な自然接触可能性を定量化する手法を構築することを目的とする。

2. データ概要

本研究で用いるデータを以下に示す。

- (1) 国土地理院タイルの空中写真（仙台市，1974～1978年，1984～1986年，2008年）
- (2) 各年代の空中写真を基に作成した教師データ
- (3) 国勢調査の1kmメッシュ人口（0～14歳，1975年・1985年・2010年）
- (4) OpenEarthMap (OEM) データセット

なお、空中写真およびマスクは500m平方をカバーする範囲で取得し、1500×1500pixelで使用した。

3. モデル選定

4種類の深層学習モデルについて、OpenEarthMapデータセットを用いて事前学習を行い、精度（mIoU）を比較した。その結果、総合指標mIoUはDeepLabV3+とU-Netが相対的に良好であり、特に自然系クラスの分類精度が高かったDeepLabV3+を以降の解析に採択した。

表1 学習モデル精度比較

学習モデル	学習回数	学習損失	検証損失	mIoU	mIoU_nature
U-Net	67	0.591	0.665	0.596	0.704
DeepLabV3+	68	0.536	0.678	0.596	0.717
FPN	40	0.655	0.691	0.570	0.690
PSPNet	81	0.690	0.771	0.543	0.672

4. 空中写真への適用

表2 学習データ構築状況

マスク(500m平方)	学習用	検証用	テスト用	計(枚)
1974～1978年	20	4	8	32
1984～1986年	16	4	8	24
2008年	構築中	4	8	12

ゼロショット適応				教師ありドメイン適応			
0 裸地	4 樹木	0 樹木	4 道路	0 樹木	4 道路	0 樹木	4 道路
1 草地	5 水域	1 水域	2 農地	1 水域	2 農地	1 水域	2 農地
2 開発地	6 農地	2 農地	3 建物	2 農地	3 建物	2 農地	3 建物
3 道路	7 建物	3 建物		3 建物		3 建物	

図1 クラスID一覧



図2 1984～1986年での空中写真とマスクデータ



図3 ゼロショット適応と教師ありドメイン適応

本研究では、空中写真への適用に向けて、まず事前学習済みモデルを各年代の空中写真に直接適用する（ゼロショット適用）。しかし、空中写真は年代により撮影条件（色調、コントラスト等）が異なるため、直接適用のみでは推定精度が低下する可能性がある。そこで、ラベルなし画像に対して疑似マスクを生成し、これを用いた適応後に、作成した少量のマスクを用いて各年代で教師ありドメイン適応を行った。推定マスクの妥当性は、テストデータの真値マスクとの重なり（IoU）により検証する。なお、本概要ではクラス定義が異なるため、統合の無い自然系（樹木・水域・農地）の3クラスに絞って検証し、2008年はマスク構築中のためゼロショット適用のみとする。

表3 クラスと年代ごとの比較

作成マスクからのIoU		樹木	水域	農地
1974~1978年	ゼロショット	0.321	0.143	0.889
	ドメイン適応	0.492	0.0396	0.822
1984~1986年	ゼロショット	0.183	0.339	0.808
	ドメイン適応	0.365	0.812	0.893
2008年	ゼロショット	0.316	0.111	0.773

表3に示すように、農地は全年代で高いIoUを示し、他クラスに比べて安定して抽出できた。農地は区画形状がまとまりやすく、畝などに由来する反復的なテクスチャが現れやすい。そのため、年代差による色味や画質の変動があっても形状・テクスチャの手がかりが保たれると考えられる。樹木についても、ドメイン適応後にIoUが改善したことから、年代差に伴う色調・コントラストの変動を一定程度吸収できる可能性が示唆される。

一方で水域は、年代によってIoUの改善と悪化が分かれた。特に1974~1978年では、空中写真の撮影ルートと撮影環境での写り方の差(ドメインギャップ)が大きく、階調が狭くコントラストが低い場合には境界が不明瞭となり、誤分類が増えやすいことが悪化要因として考えられた。

5. 近接性評価

近接性指標は以下に定義する。

$$A_i = \frac{\ln(\sum_j e^{V^{ij}})}{\gamma}$$

$$V^{ij} = \beta G_{ij} + \gamma D_{ij}$$

$$PA_i = \frac{POP_i}{A_i}$$

$$PA_{all} = \frac{\sum PA_i}{\sum POP_i}$$

G = 面積, D = 距離, POP = 0~14歳の人口

マスクの画像中心点から有効円を設定し、その円内に含まれる自然系のクラスを対象として近接性評価を行う。まず各クラスについて、同じクラスのピクセルが連続して存在する領域を「塊(クラスタ)」として抽出する。クラスタの判定には、上下左右に加えて斜め方向も隣接として扱う8方向のつながり(8近傍)を用い、同じクラスのピクセルが8方向のいずれかで接していれば同一の塊として扱う。次に、各クラスタについて画像中心からの距離を算出し、クラスタ内で最も中心に近いピクセルまでの距離を当該クラスタの距離とする。また、クラスタの面積は有効円内に含まれる当該クラスタのピクセル数として算出する。

なお、有効円の範囲については子供の放課後の日常的な行動距離が概ね500mに収まるとの先行研究⁵⁾を踏まえ、500m相当のピクセル数により設定した。図4に1984~1986年の例として、左から空中写真、作成

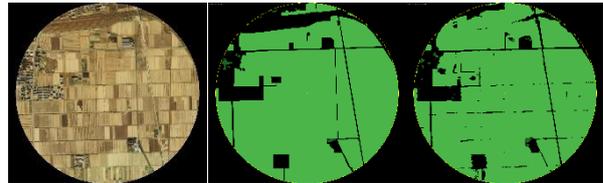


図4 1984~1986年での近接性

表4 各クラスにおける近接性評価

樹木	近接性評価	平均距離 (pixel)	総面積 (pixel)	全区画PAall
1974~1978年 (平均: 260人)	作成マスク	1098	193884	-0.0026
	教師あり	1055	197739	-0.0028
1984~1986年 (平均: 439人)	作成マスク	1036	130694	-0.0026
	教師あり	1052	208400	-0.0029
水域	近接性評価	平均距離 (pixel)	総面積 (pixel)	全区画PAall
1974~1978年 (平均: 260人)	作成マスク			
	教師あり	1204	98075	-0.0018
1984~1986年 (平均: 439人)	作成マスク			
	教師あり	350	307	-0.0004
農地	近接性評価	平均距離 (pixel)	総面積 (pixel)	全区画PAall
1974~1978年 (平均: 260人)	作成マスク	885	9086914	11.4904
	教師あり	1066	10475927	3.3679
1984~1986年 (平均: 439人)	作成マスク	882	8479868	11.7621
	教師あり	970	8643356	12.0659

マスク、教師ありドメイン適応による推論マスクの有効円内での自然系クラスのみを可視化した図を示す。

表4の近接性評価(PAall)より、樹木は兩年代で作成マスクと教師ありの差は小さく、樹木の近接性は年代による変動が相対的に小さいことが示唆された。

一方で、作成マスクでは、教師ありが樹木領域を広めに推定している可能性が値関係から考えられる。

農地は総面積が他クラスより大きくPAallも大きい値を示した。1974~1978年では、教師ありの平均距離が作成マスクより大きく、PAallが低下していることから、中心付近の農地が減っていることが示された。1984~1986年では作成マスクと教師ありの差は小さく、年代による変化は限定的と解釈できる。水域は作成マスク側で欠損が多く比較が困難であったため、今後は学習データの見直し等で水域の推定の改善を図りたい。

6. まとめ

本研究は、過去の空中写真から深層学習により自然的土地被覆の抽出と年代に伴うドメイン適応によって精度向上を図った。その結果、樹木や農地では一定の精度改善が確認された一方、水域は年代により適応効果が安定しないことが示唆された。

近接性評価では、近接性指標 A_i と人口によって年代観比較する枠組みを示した。高いIoUのクラスではある程度近接性を近似することができた一方、適応が不十分だった1974~1978年の水域は推定の改善やデータセットの拡充等による改善が必須となった。

参考文献

- 1) 環境省 平成3年環境白書
- 2) Using nature and outdoor activity to improve children's health, Curr Probl Pediatr Adolesc Health care ScienceDirect, Volume 40, Issue 5, May 2010
- 3) A Multi-Year Investigation of the Factors Underlying Decreasing Interactions of Children and Adults with Natural Environments in Japan Human Ecology Volume 47, (2019)
- 4) OpenEarthMap: A Benchmark Dataset for Global High-Resolution Land Cover Mapping WACV 2023
- 5) GPS 軌跡による児童の放課後の自宅を起点とした行動域分析 J-STAGE 日本建築学会計画系論文集 2010.12