

# ブルーカーボン評価に資するドローンを用いた海草藻場分布の時空間変動推定

## Identification of Variation in Seagrass Distribution Using a Drone for Contributing to Blue Carbon Evaluation

佐々木 淳\*  
Jun SASAKI

\* 東京大学大学院新領域創成科学研究科 社会文化環境学専攻 教授

Detailed ground-truth mapping of seagrass bed was conducted using field survey and unsupervised classification of ortho mosaic photos in Futtsu coast of Tokyo Bay. A method for seagrass bed mapping in intertidal and subtidal zones and beach-cast was developed using a consumer-grade drone photogrammetry and semantic segmentation of U-Net and FPN. A seasonal change in the distribution of seagrass beds was obtained along with a short-term change before and after a typhoon hit. The FPN was found to outperform existing studies. No significant change in seagrass bed distribution was observed during the study period.

*Key Words : seagrass bed, subtidal zone, drone, machine learning, semantic segmentation*

### 1. はじめに

気候変動の緩和・適応策として、海洋生態系が吸収する二酸化炭素である、ブルーカーボンへの関心が高まっており、日本においてもそのポテンシャルが推定評価され<sup>1)</sup>、地球温暖化対策の吸収源の一つとして検討が進められている<sup>2)</sup>。なかでも海草藻場は水産資源等の生態系サービスとの相乗便益が期待でき、市民活動等による再生活動も盛んである。

海草藻場のモニタリングは長年にわたり様々な手法で実施され、近年では超高解像衛星画像を活用した手法が環境省により採用され有用な知見が提供されている。一方、近年のコンシューマー向けドローンの発展により、藻場の拡大や衰退の解析では台風等のイベント時を含め、藻場のパッチ状分布やパッチ内の空洞等の変動を捉える、モニタリングの高度化と NPO 等の活動をプロモートする低コスト化の両立が期待される。

海草藻場を有する海岸では海草が流出し砂浜に漂着している様子(以降、ビーチキャストと呼ぶ)をしばしば見かける。ビーチキャストはそれが高い割合で貯留に移行すればブルーカーボンとしての貢献が期待できるが、その多くが速やかに分解されると二酸化炭素の排出源ともなりうるが、ビーチキャストを定量的に評価した例は少なく、効率的なモニタリング手法の検討も必要である。

本研究ではブルーカーボン推定に資することを意図し、千葉県富津市の富津海岸の海草藻場を対象とした<sup>3)</sup>、ドローン空撮によるパッチ形状等の特徴を含む詳細な藻場分布を効率的にモニタリングする手法の開発を行い、藻場分布の時系列を把握し、その要因を考察することを目的とする。特に、潮間帯に加え潮下帯においても高精度に適用可能な手法の構築を目指す。なお、後述の通りこの期間には

目立った変動が見られなかったことから、手法開発について重点的に述べることにする。

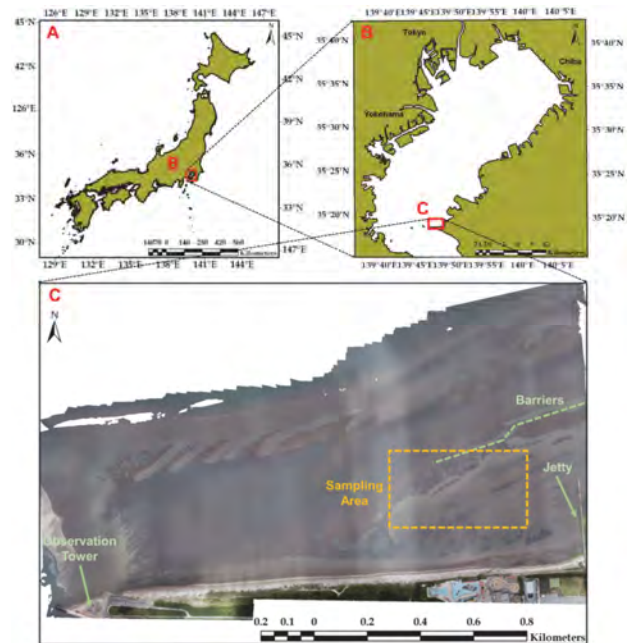


図-1 東京湾富津海岸における研究対象域

### 2. 研究の方法

#### 2.1 ドローン空撮等の現地調査

2019年4月23日から2021年3月5日まで予備調査を含め計23回の現地調査を実施した。空撮はドローン Phantom 4 Pro(DJI社)を用い、DJI GS-Proによる自動飛行・撮影計画に基づき、潮下帯を含む比較的大きな水深帯においても良質の画像取得が可能な撮影条件を探索し、海草藻場およびビーチキャストにおける空撮画像を取得し

た。また、位置補正のための Post-Processed Kinematic (PPK) によるグランドコントロールポイント、ドローン吊り下げ防水カメラによる水中側方画像、および0.5m×0.5mのコドラートをを用いた株密度や草本長さ情報等の取得を行った。

## 2.2 グラントルースデータの構築

空撮画像は Structure from Motion (SfM) ソフトウェアの Metashape (Agisoft LLC) を用い、オルソモザイク画像を作成した。海草藻場とビーチキャストの分類には ArcMap 4.7 (ESRI 社) 上で教師なし分類の一つである ISODATA 法を適用し、現地調査結果と目視による画像判別を組合せ、図-2 に示すようなグラントルースデータ (正解データ) を構築した。

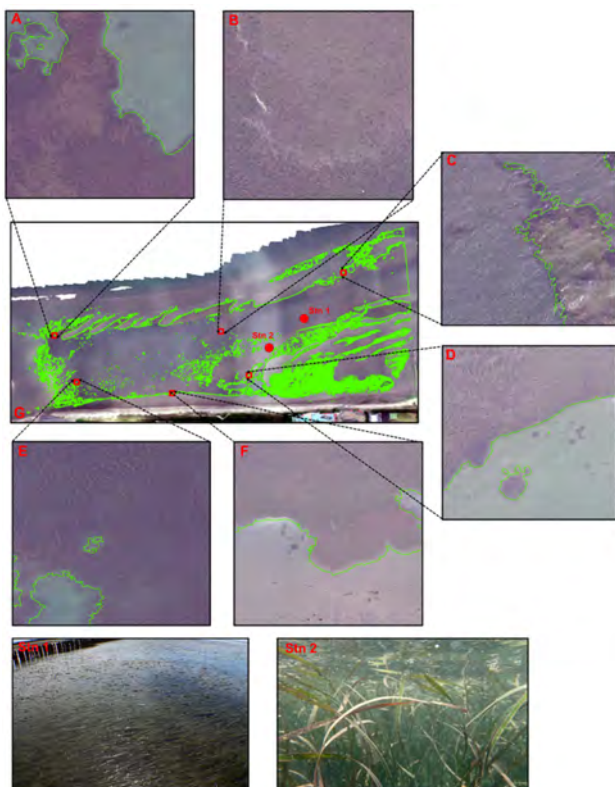


図-2 2020 年夏季における海草藻場のグラントルース (緑色ポリゴン) (G) と赤ボックスの拡大画像 (A~F) および 2 地点における海草近接写真

## 2.3 セマンティックセグメンテーション

位置を含む物体判別に高い実績を有する深層学習モデルとして、まず、U-Net<sup>4)</sup>を採用し、PyTorch を用いて図-3(上)に示すアーキテクチャを構築し、フィルタ数、学習率、バッチサイズや画像平滑化に関わるガウスブラー等の最適値を探索した。トレーニングデータセットは 2020 年冬、夏、秋、2021 年春 (2020 年春は COVID-19 の影響により調査不可) のグラントルースを組合せ 15 通りのモデ

ルを構築し、2021 年冬のオルソモザイク画像に適用し精度検証を行った。

U-Net は解析時の空間解像度が一定のため、様々な空間スケールを持つパッチ分類ではノイズが多く現れることが判明したため、これを改善する試みとして、様々な空間解像度の特徴マップを構築可能な図-3(下)に示す FPN<sup>5)</sup>を用いた精度改善を図った。

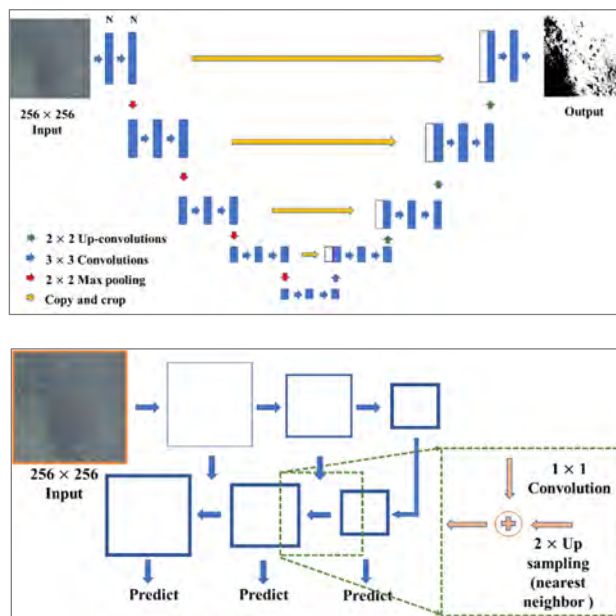


図-3 U-Net(上)およびFPN(下)のアーキテクチャ

## 3. 結果と考察

### 3.1 藻場のグラントルースと分類精度

四季におけるグラントルースとして構築した藻場ポリゴンとビーチキャストのポリゴンを図-4に示す。また、U-Net および FPN による藻場分類精度の比較と分類結果を表-1 および図-5 に示す。U-Net は最近になって海草藻場分類にも適用されるようになり、水中画像に適用したもの<sup>6)</sup>や潮間帯に適用したもの<sup>7)</sup>があるが、本研究のように水深の影響を受ける潮下帯に空撮画像を適用した例はほとんどなく、提案モデルは既往文献との比較においても高い正解率を示し、特に FPN は正解率 94% と最も高い精度を示した。

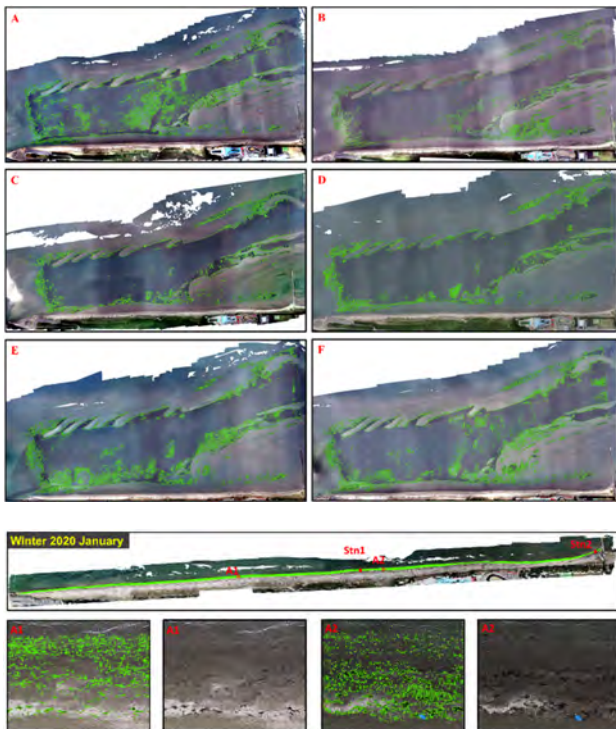


図-4 2020年冬季(A), 夏季(B), 秋季(C, D), 2021年冬季(E), 春季(F)における藻場(上)と2020年冬季におけるビーチキャストのポリゴン

表-1 U-Net と FPN による藻場分類精度の比較

Model	ガウスブ ラー半径	図 2.9 の 対応画像	正解率 (OA)	適合率	再現率	F1 スコア
U-Net	-	A	0.923	0.812	0.909	0.858
	801	B	0.926	0.835	0.887	0.86
FPN	-	C	0.906	0.766	0.911	0.832
	901	D	0.939	0.863	0.92	0.885

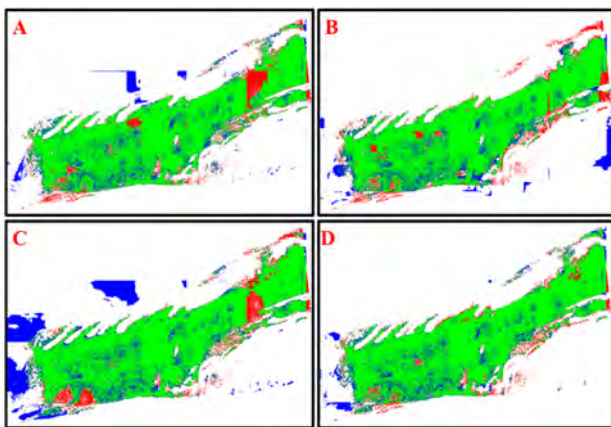


図-5 U-Net (A, B) と FPN (C, D) を用い、2021年冬の画像に適用した藻場分類結果. 緑: TP (True Positive), 赤: FP (False Positive), 青: FN (False Negative)

### 3.2 藻場分布の時系列変動

藻場分布の各領域における分類結果と2020年冬から2021年春までの藻場面積の時系列を図-6に示す。藻場面

積は基本的に春季から夏季にかけて増大し、夏季から秋季にかけて減少したが、藻場の領域によって変動の傾向が異なる様子も捉えられ、同図のArea 1は季節変動が小さく安定している一方、Area 2では比較的大きな変動が確認された。ただし、藻場全体としては周年スケールでの面積の変動はほとんど見られず、2019～2020年度にかけての変動はほぼ見られなかった。藻場の衰退に大きな影響を及ぼす夏季の高水温が見られなかったことが一因と考えられる。

2019年10月の台風19号襲来前後における一部領域の藻場分布を図-7に示すが、藻場面積は台風後に2.7%減少する結果が得られた。主要な藻場ポリゴンにはほとんど変化が見られなかったが、藻場内の空洞ポリゴンの拡大が観察され、詳細モニタリング手法の有効性が明らかとなった。

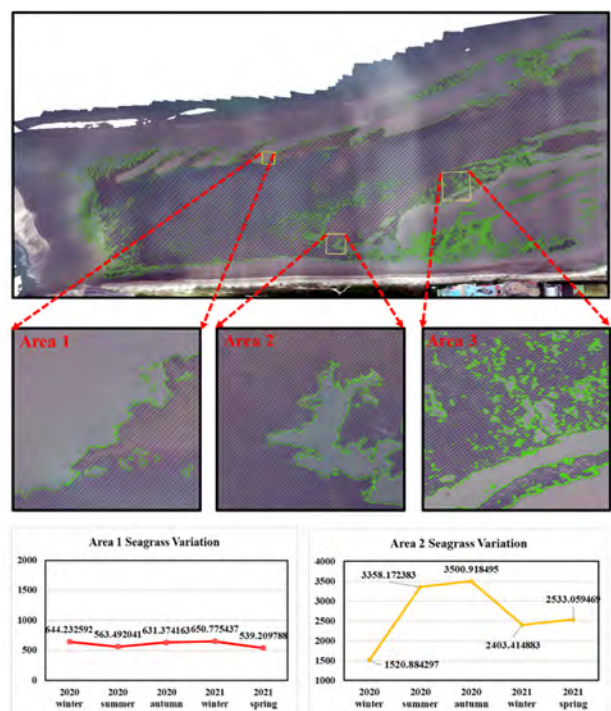


図-6 各領域の藻場分類結果と藻場面積の季節変化

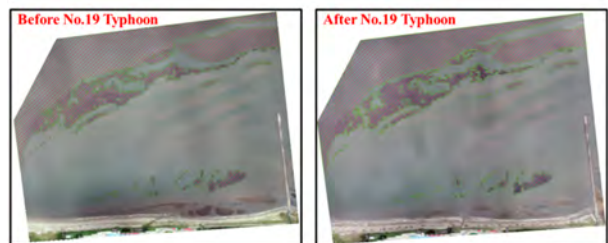


図-7 2019年台風19号前後(左右)の藻場分布

### 参考文献

- 1) 桑江朝比呂, 吉田吾郎, 堀正和, 渡辺謙太, 棚谷灯子, 岡田知也, 梅澤有, 佐々木淳: 浅海生態系における年間二酸化炭素吸収量の全国推計, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 75(1),

- 10-20, 2019.
- 2) 佐々木淳, 国土交通省港湾局海洋・環境課: ブルーカーボン生態系に係る我が国の取り組みについて, 港湾, 97, 28-29, 2020.
  - 3) Yamakita, T., Nakaoka, M.: Scale dependency in seagrass dynamics: How does the neighboring effect vary with grain of observation?, Population Ecology, 51(1), 33-40, 2009.
  - 4) Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T.: U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation, arXiv:1505.04597, 2015.
  - 5) Lin, T., Dollár, P., Girshick, K. He, K., Hariharan, B., Belongie, S.: Feature pyramid networks for object detection, 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 936-944, 2017.
  - 6) Schultz, T. S., Kruschel, C., Wolff, V. et al.: Semantic segmentation for Posidonia Oceanica coverage, Pomorski zbornik Posebno izdanje, 335-341, 2020.
  - Hobley, B., Arosio, R. et al.: Semi-supervised segmentation for coastal monitoring seagrass using RPA imagery, Remote Sens. 13(9), 1741, 2021.
  - 7) Hobley, B., Arosio, R. et al.: Semi-supervised segmentation for coastal monitoring seagrass using RPA imagery, Remote Sens. 13(9), 1741, 2021.