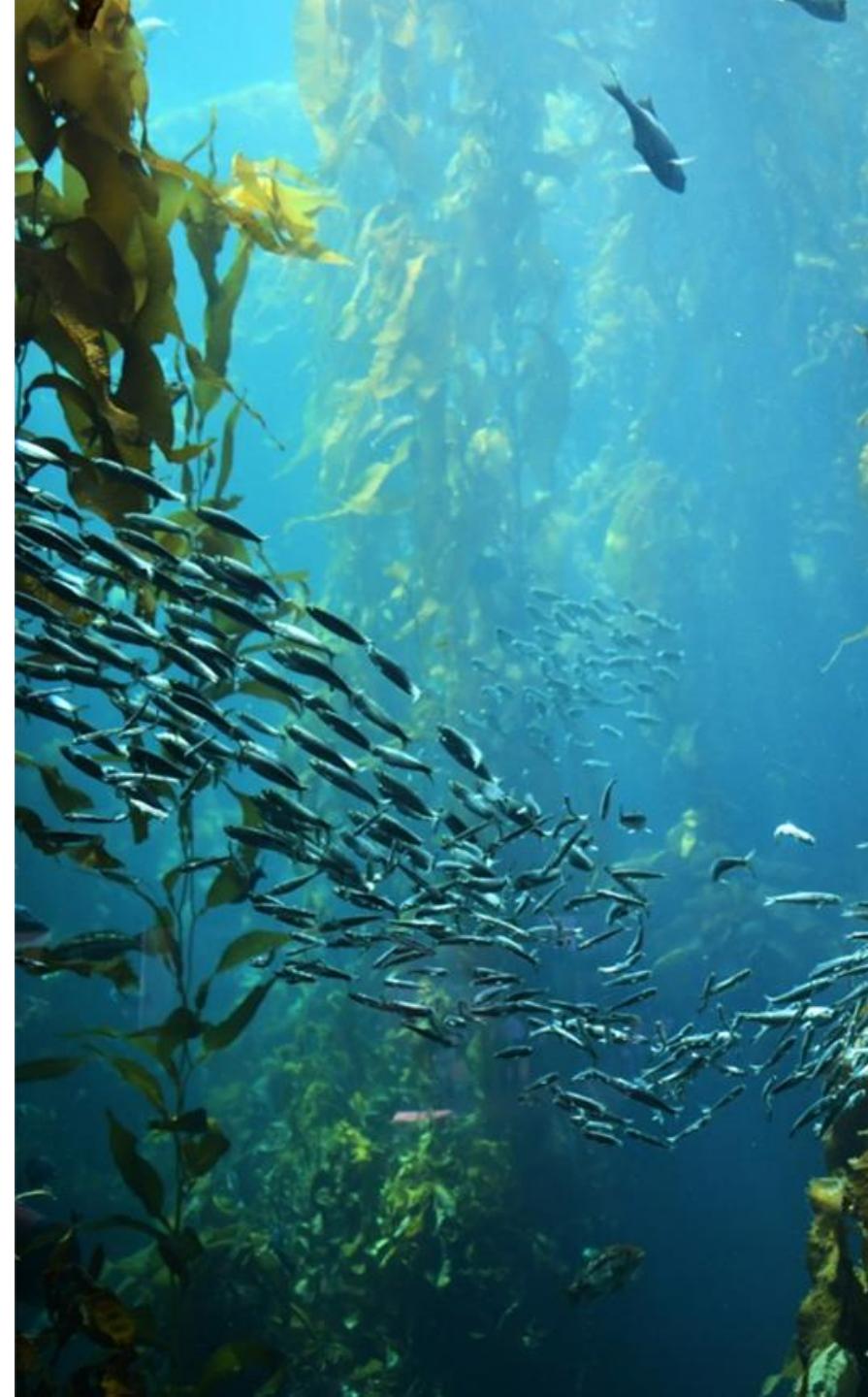




【事業報告資料】
レーザー装着型ROVと画像識別AIによる、
ブルーカーボン評価手法の開発と有効性検証

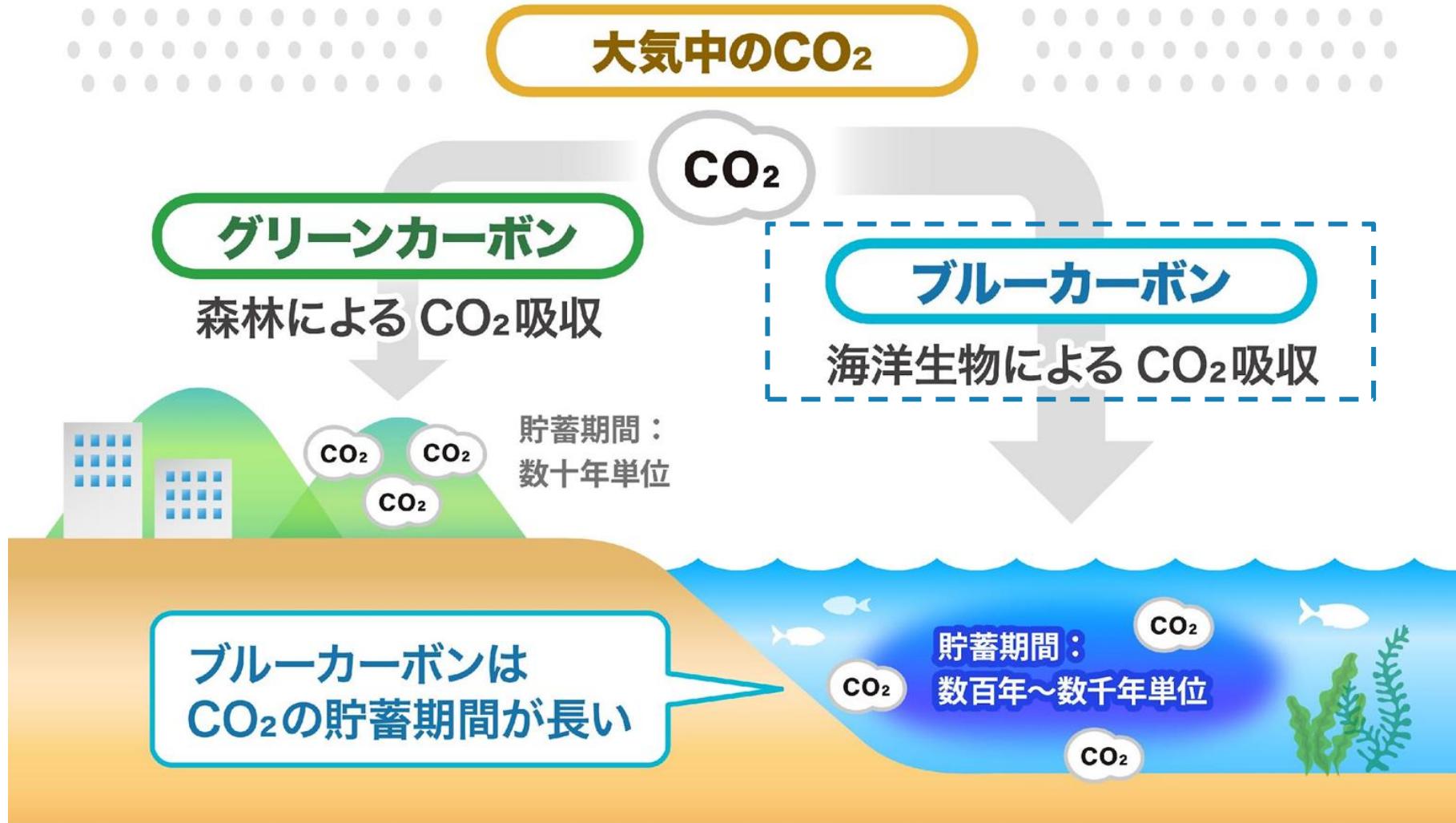
海×TECHプロジェクト実行委員会
(2025年5月より一般社団法人BlueArch)



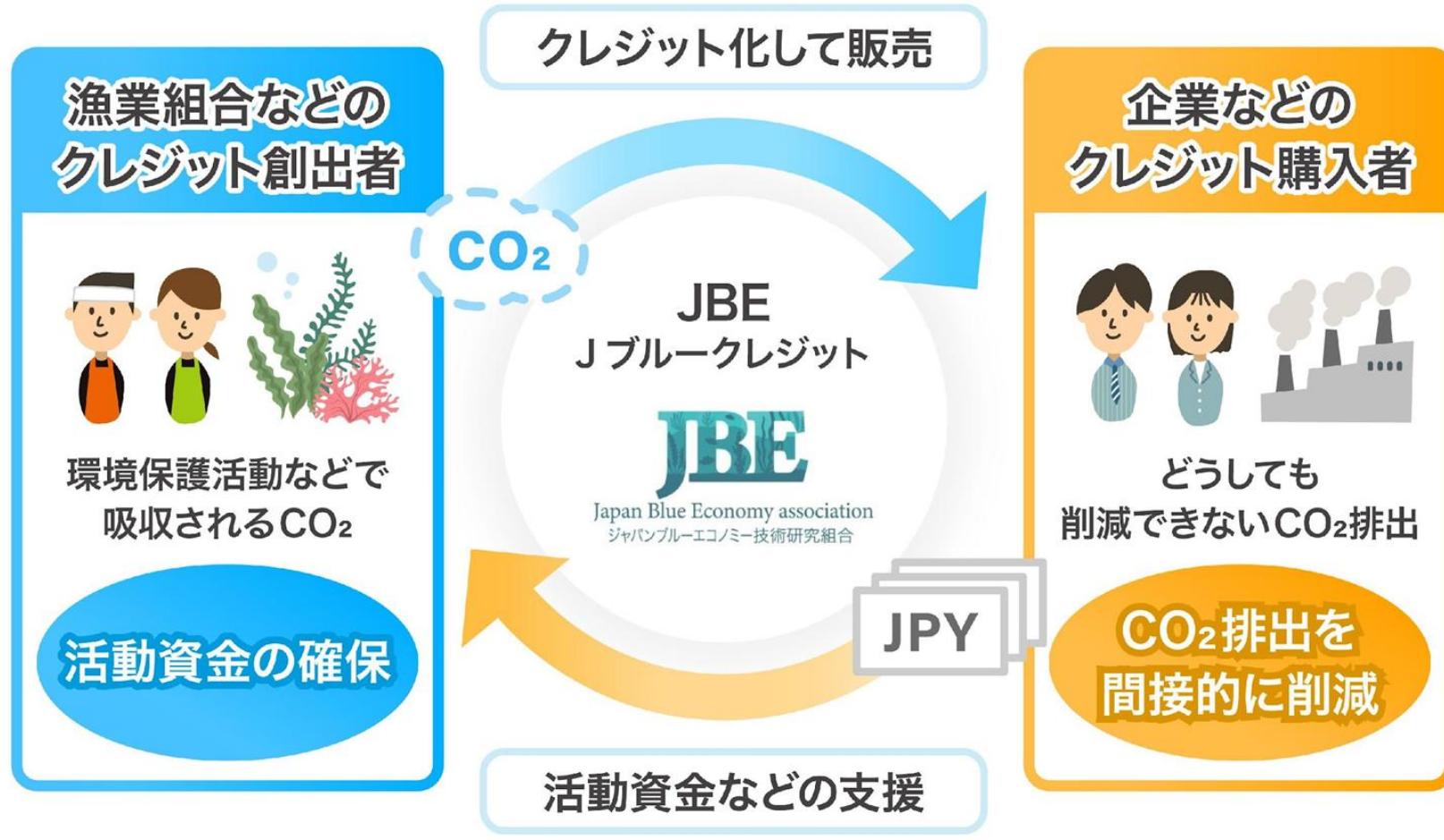
1. 背景・ブルーカーボンについて
2. 水中ドローンを活用した海藻の被度データ取得
3. AI・データ解析技術を活用した海藻の被度算出手法
4. 社会実装に向けた取り組み・クレジット認証申請への実用化

1. 背景・ブルーカーボンについて

海藻やマングローブなどの海洋生態系によって吸収され海底や深海に貯留される炭素



海藻類・マングローブなどブルーカーボン生態系が吸収するCO₂の量を定量化し、
発行者が更なる藻場保全に向けた活動資金を得ることができる制度



ブルーカーボンオフセットの拡大に向けて、より効率的な生態系モニタリング手法が求められる

対象生態系の面積と吸収係数に大別され、面積については現地調査が必須となる

ブルーカーボン量 = 対象生態系の分布面積 × 吸収係数



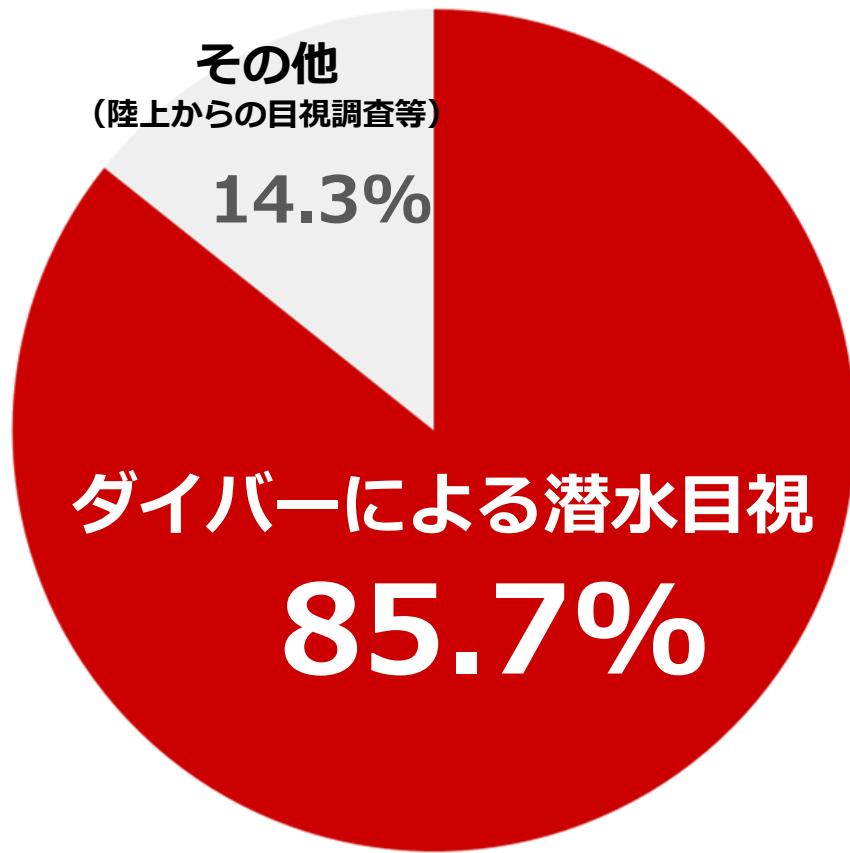
対象生態系の分布面積は、一定以上の被度の面積や被度毎の面積を用います。



吸収係数とは、単位面積あたりのCO₂吸収量です。藻場生態系の場合は、さらに単位面積あたりの湿重量とブルーカーボン残存率を乗じて求めることも可能です。

2. 水中ドローンを活用した海藻の被度データ取得

被度の把握・藻場タイプの判断に
使用されている測定手法



潜水目視が**8割**以上



画像元：藻場測定ガイドライン

【課題】

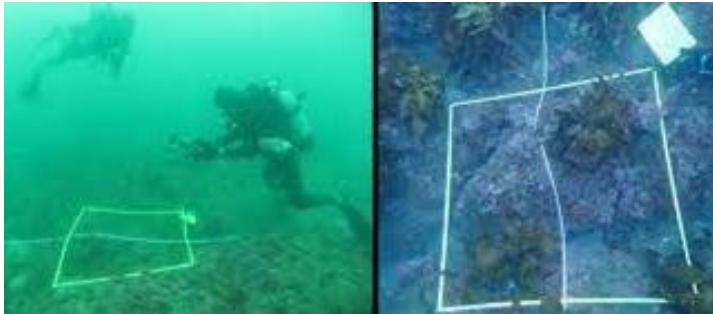
- ✓ 潜水作業に伴うリスクや身体的負担
- ✓ ダイバーの調査委託コスト

対象：令和4年(2022年度)に申請されたJブルーカーボンPJ21件

水中ドローンを活用し、調査担当者が潜水せずに船上・陸上から
被度調査に必要なデータを取得する手法を開発

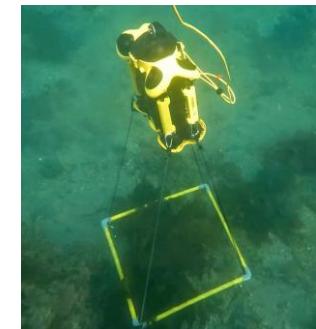
Before : これまで

負担の大きい潜水目視調査



After : 新規手法

ROVのカメラとレーザーまたはコドラーで
必要情報取得

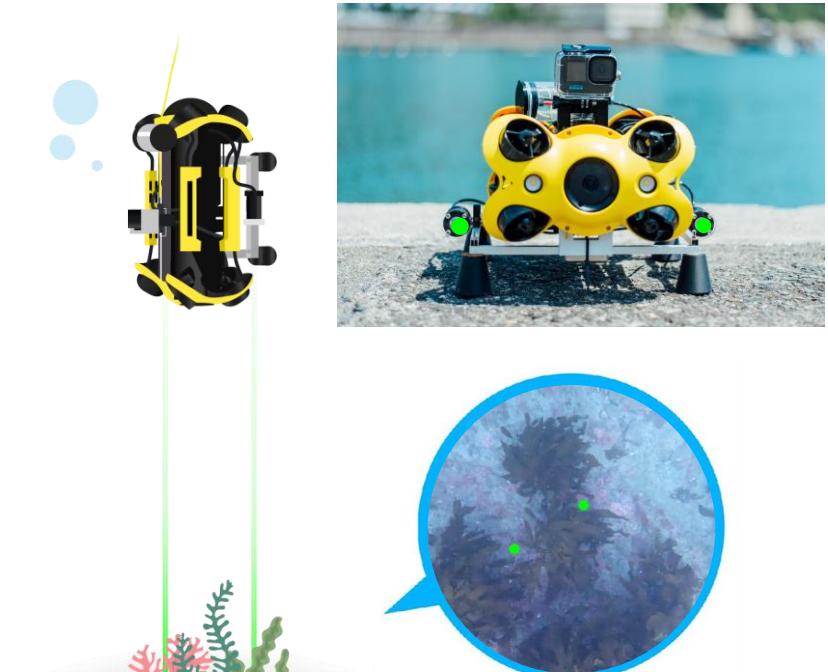


スケール情報を伴った海藻被度データ取得手法として、以下二つを検証

①コドラー装着型



②レーザー装着型



スケール情報であるコドラーが見やすい

メリット

レーザーは軽量であるため、
機体の姿勢や操縦難易度に影響が出ない

コドラーの重量により動きが若干鈍くなり
操縦難易度が上がる

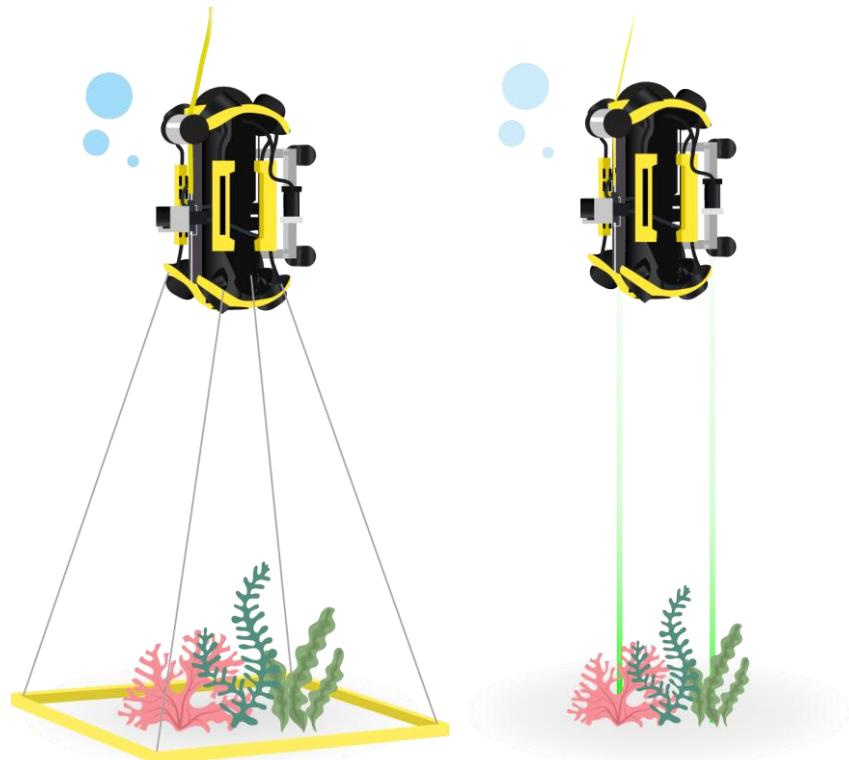
デメリット

スケール情報であるレーザー光が見にくい
(減衰してしまう)
一方で光量を上げた場合は安全性に問題

潜水目視の場合（従来）



コドラー装着型またはレーザー装着型ROVの場合

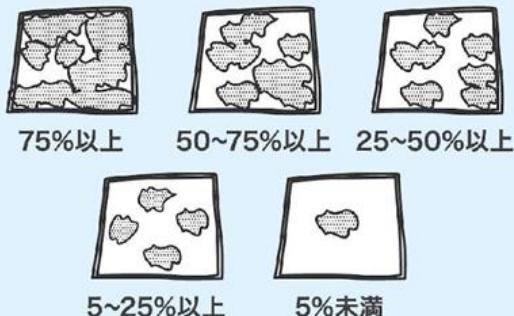


ダイビング機材一式：約40万-60万円	機材等コスト	ROV費用：約35万円 コドラー：1万円・レーザー：6万円
2名分(船上+潜水ダイバー)	調査人件費	1名分（船上で完結）

3. AI・データ解析技術を活用した海藻の被度算出手法

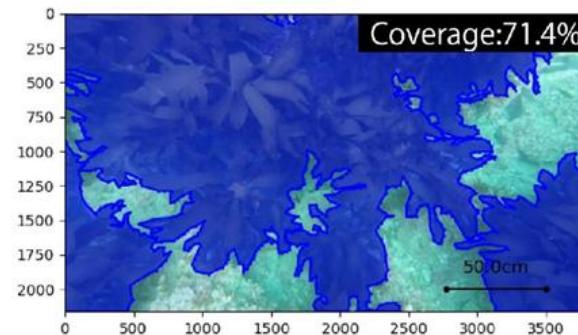
Before：これまで

目視による被度判定

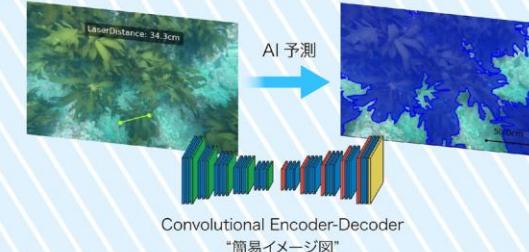


After：本手法導入後

画像認識AIで被度を即時算出



相対面積の計算



$$\text{Shoelace formula}$$
$$\frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^{n-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) + (x_n y_1 - x_1 y_n) \right|$$

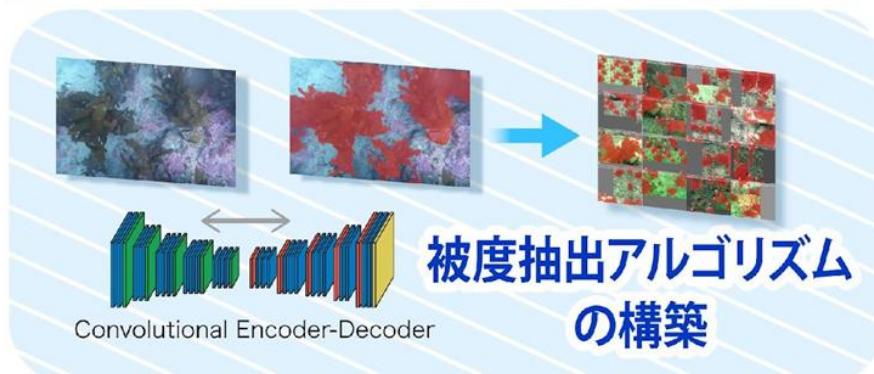
① データ取得



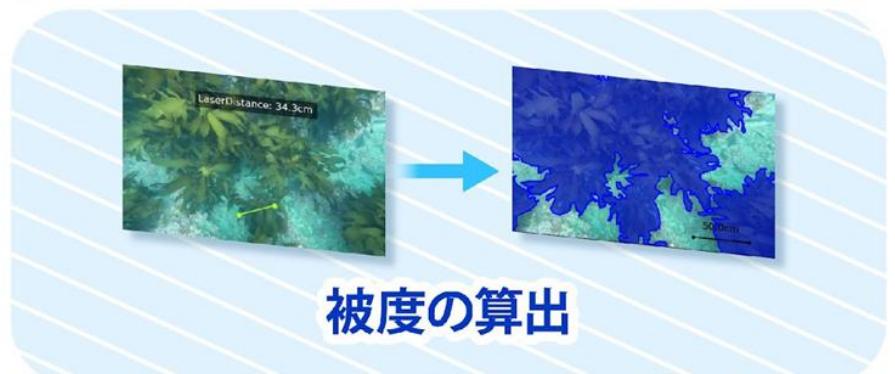
② 前処理



③ AI モデル訓練・評価



④ AI 予測・解析



2D算出(本内容に関連)

データ



画像

主要技術

深層学習
(ベース: UNet)

先行事例

- ・藻場の被度検出[2]
- ・水中物体位置情報検出

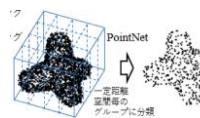
課題

・環境(光、濁り等)によるデータセットの質の劣化

優先度高の
解決策

- ・水注環境に依存しない
画像フィルタリング技術

3D算出^{[1][2]}



点群データ

広域エリア算出^[3]



衛星/空撮データ

深層学習・画像処理
(ベース: Unet, OpenCV)

- ・広域藻場の被度検出

・藻場と似たような対象物
が多く、誤識別しやすい

・データによってラベリング
定義が決定されておらず、学
習データセットの作成が困難

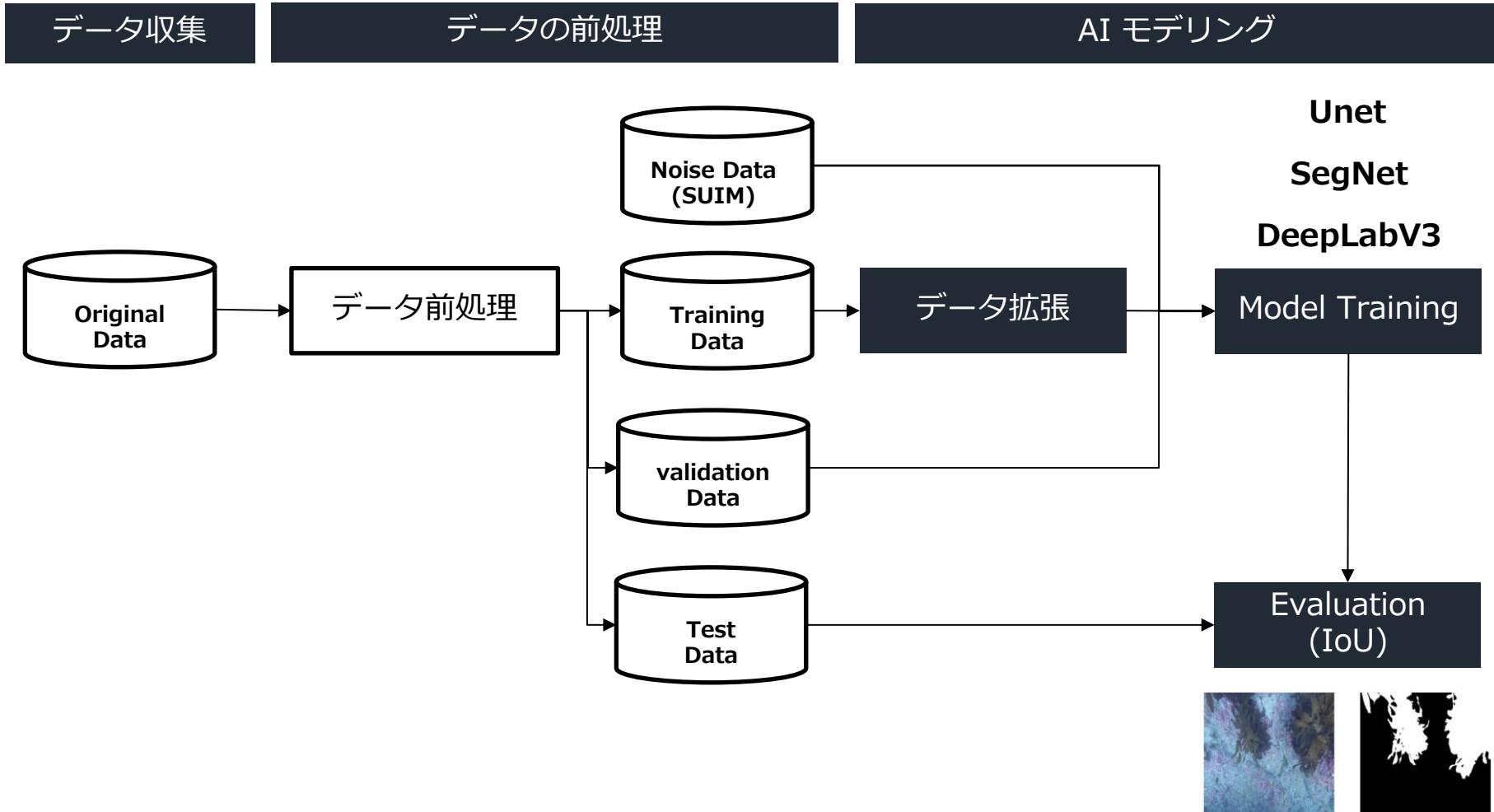
- ・画像鮮明化/高解像度化によ
るデータの質の向上
- ・ラベリングルールの決定

[1] Abdullah et al., "CaveSeg: Deep Semantic Segmentation and Scene Parsing for Autonomous Underwater Cave Exploration", IEEE, 2023.

[2] S. Yagi, "A Study on Detection and Visualization of Underwater Structures Using Point Cloud Deep Learning", Computational Mechanics Lab., 2020.

[3] K. Yonai et al., "Detection of Seaweed Area Using Semantic Segmentation", The 377th Tohoku Chapter Meeting, SICE, Doc. No. 337-1, 2022.

収集したデータをAI学習用に前処理し、セマンティックセグメンテーションモデルを構築



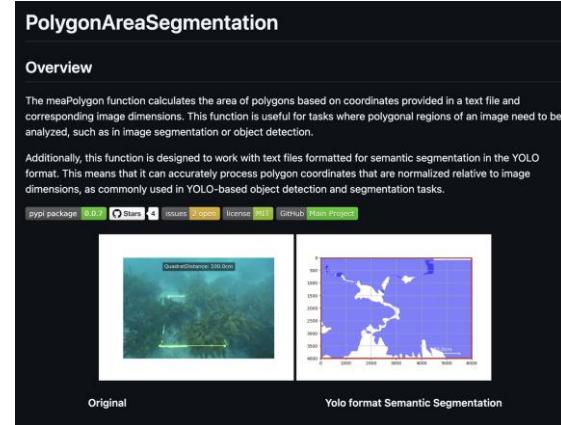
画像をアップロードするだけで、被度を即時算出できる画像認識AIモデルを開発

コスト検証：既存の手法である比較対象よりも、低コストであることを示す

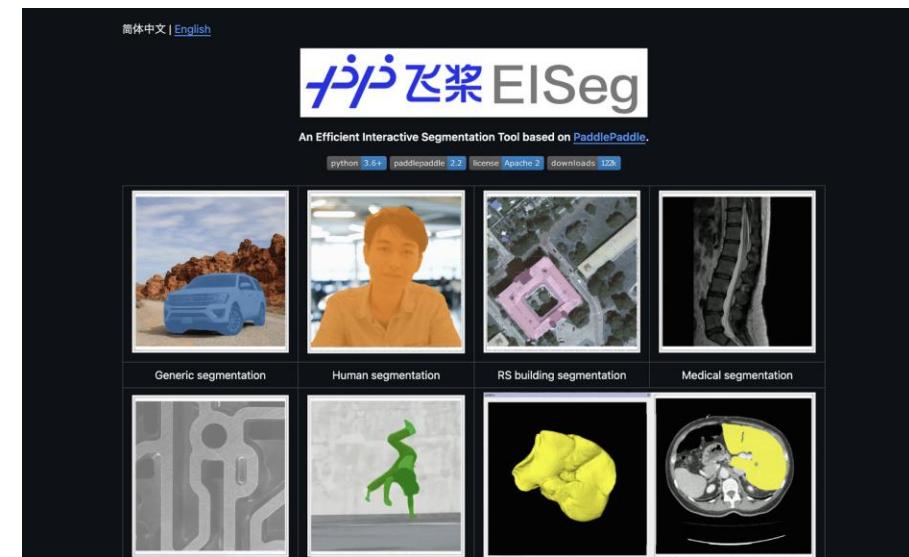
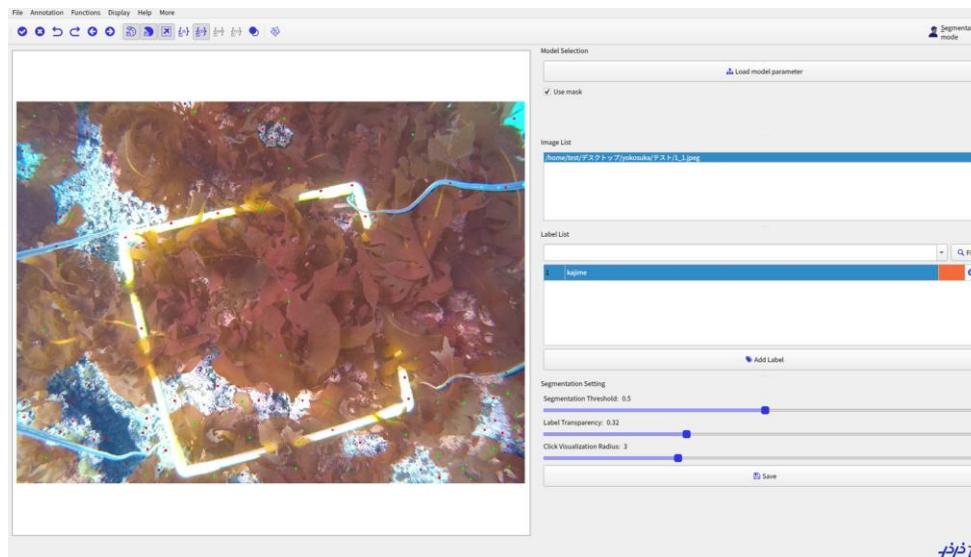
- ・「目視による被度計算」と「本測定手法による被度計算」の時間コストを比較

精度検証：目視の場合と同程度 (± 3) の精度であることを示す

- ・「目視による被度計算」と「開発するAIモデルの被度計算」の精度を比較

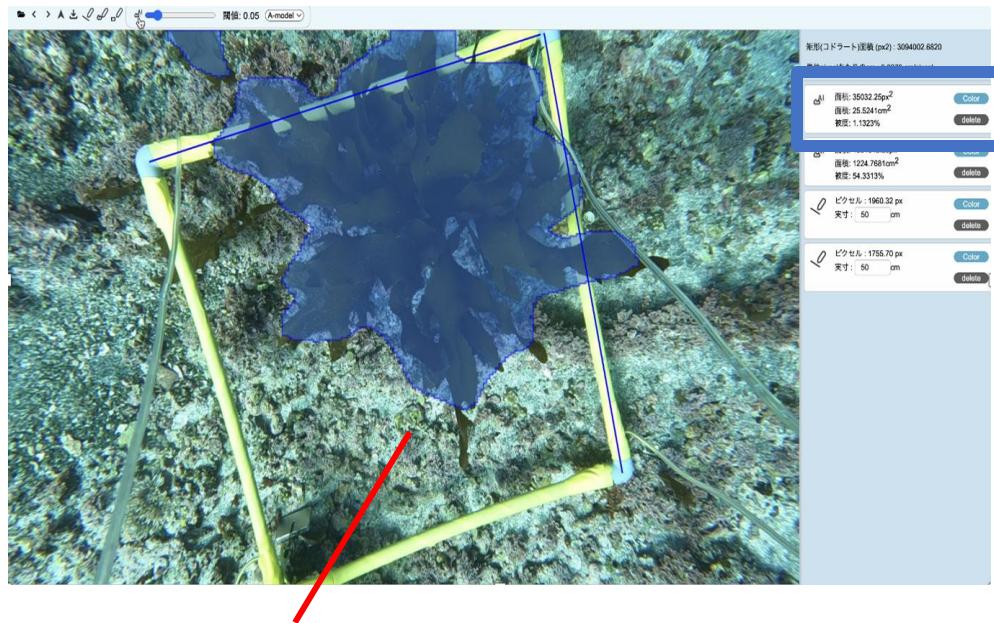
比較手段	計測時間 (ストップウォッチ)	被度 (独自ツール)	
	1分55秒	92.0% 誤差2.4%	※コドラートの位置情報検出や被度ピクセル計測は別アルゴリズムで独自実装
	高性能AIの場合29秒 (簡易ソフトウェアの場合58秒)	89.6%	

EISeg (Efficient Interactive Segmentation) はアノテーションソフトウェア
人物、リモートセンシング、医療、動画など、さまざまな分野のセマンティックやインスタン
スラベルのアノテーションが可能



<https://github.com/PaddlePaddle/PaddleSeg/tree/release/2.6/EISeg>

1枚の画像の被度算出を約1分で実施することが可能



こちらの例では被度が
54.3%であることがわかる

矩形(コドラー)面積 (px2) : 3094002.6820

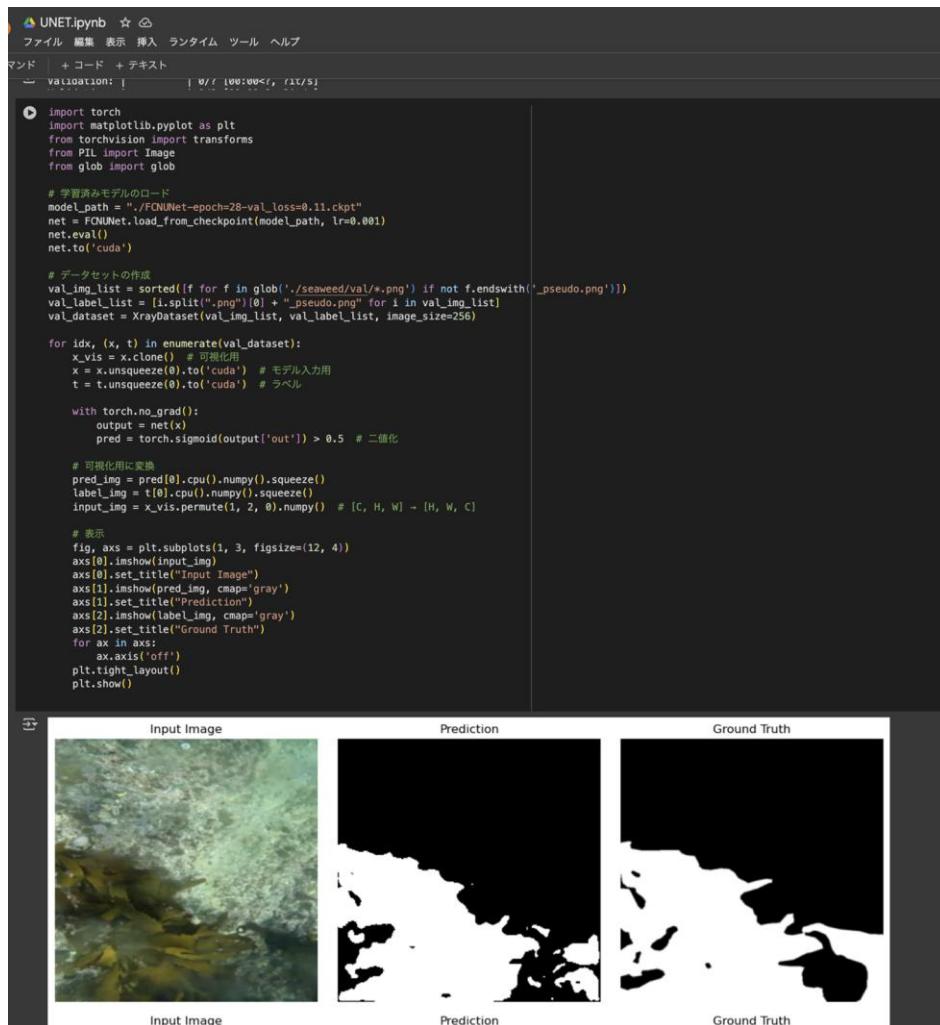
単位pixelあたりのcm : 0.0270 cm/pixel

AI 面積: 1681012.25px²
面積: 1224.7681cm²
被度: 54.3313%

課題：パラメータ数の重いAIモデル(精度90%以上)をソフトウェアに組み込むと処理が重くなり、システムエラーが生じてしまうため、精度の低い(70%)のAIモデルを採用

ソフトウェアではなく、ローカル開発サーバーで高精度なAIを動作させた場合

ローカル独自環境（コード実行～出力）



```

UNet.ipynb ☆ ⓘ
ファイル 編集 表示挿入 ランタイム ツール ヘルプ
マンド + コード + テキスト
validation: | 0/100:00<7, 11/S

import torch
import matplotlib.pyplot as plt
from torchvision import transforms
from PIL import Image
from glob import glob

# 学習済みモデルロード
model_path = "/FCNNet-epoch=28-val_loss=0.11.ckpt"
net = FCNNet.load_from_checkpoint(model_path, lr=0.001)
net.eval()
net.to('cuda')

# データセットの作成
val_img_list = sorted([f for f in glob("./seaweed/val/*.png") if not f.endswith('_pseudo.png')])
val_label_list = [i.split('.')[0] + "_pseudo.png" for i in val_img_list]
val_dataset = XrayDataset(val_img_list, val_label_list, image_size=256)

for idx, (x, t) in enumerate(val_dataset):
    x_vis = x.clone() # 可視化用
    x = x.unsqueeze(0).to('cuda') # モデル入力用
    t = t.unsqueeze(0).to('cuda') # ラベル

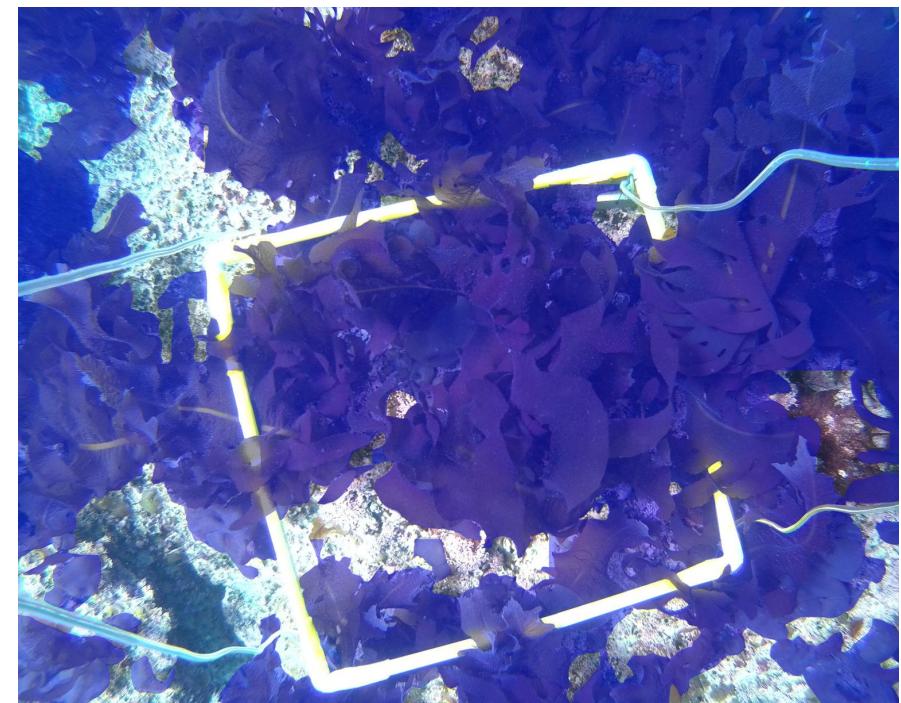
    with torch.no_grad():
        output = net(x)
        pred = torch.sigmoid(output['out']) > 0.5 # 二値化

    # 可視化用に変換
    pred_img = pred[0].cpu().numpy().squeeze()
    label_img = t[0].cpu().numpy().squeeze()
    input_img = x_vis.permute(1, 2, 0).numpy() # [C, H, W] -> [H, W, C]

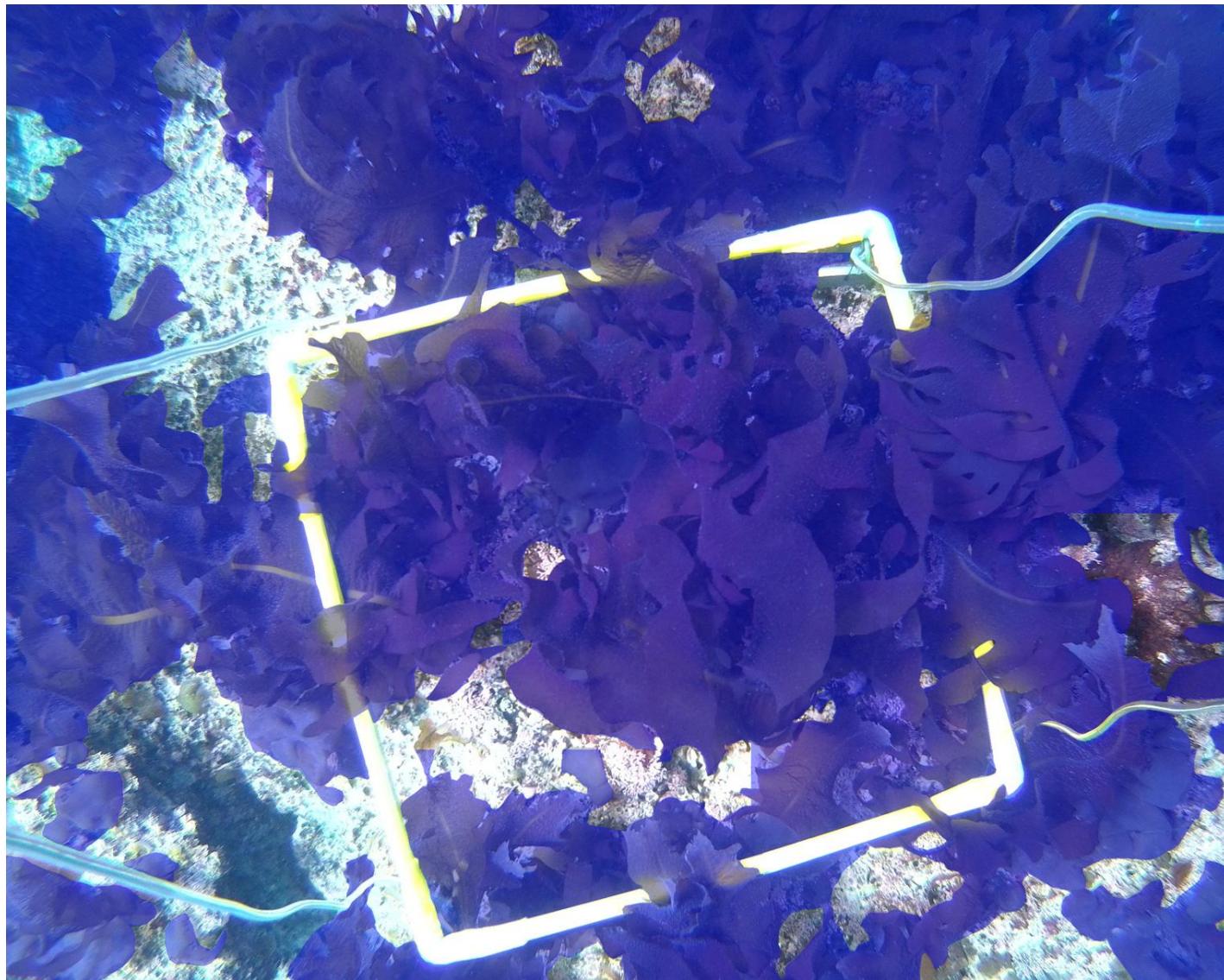
    # 表示
    fig, axs = plt.subplots(1, 3, figsize=(12, 4))
    axs[0].imshow(input_img)
    axs[0].set_title("Input Image")
    axs[1].imshow(pred_img, cmap='gray')
    axs[1].set_title("Prediction")
    axs[2].imshow(label_img, cmap='gray')
    axs[2].set_title("Ground Truth")
    for ax in axs:
        ax.axis('off')
    plt.tight_layout()
    plt.show()

    Input Image          Prediction          Ground Truth
  
```

AIモデルによる予測結果



コドラー内内の青ピクセル数を自動算出
→被度88.6%



※被度 = コドラー内
の
青ピクセルの数/コドラー
内
の
全ピクセル数

※ピクセル算定には独自
ツールを利用

PolygonAreaSegmentation

Overview

The `meaPolygon` function calculates the area of polygons based on coordinates provided in a text file and corresponding image dimensions. This function is useful for tasks where polygonal regions of an image need to be analyzed, such as in image segmentation or object detection.

Additionally, this function is designed to work with text files formatted for semantic segmentation in the YOLO format. This means that it can accurately process polygon coordinates that are normalized relative to image dimensions, as commonly used in YOLO-based object detection and segmentation tasks.

Original Yolo format Semantic Segmentation

GitHubに公開
参考：<https://github.com/BlueArch-Project/PolygonAreaSegmentation>

人手による被度算出では、時間がかかるという課題だけでなく、藻場以外も色塗りをしてしまっている箇所が見られる。また、藻場のエッジに綺麗に沿って色塗りできているわけではない



エッジが直線になっており違和感がある

地面の色塗りをしている

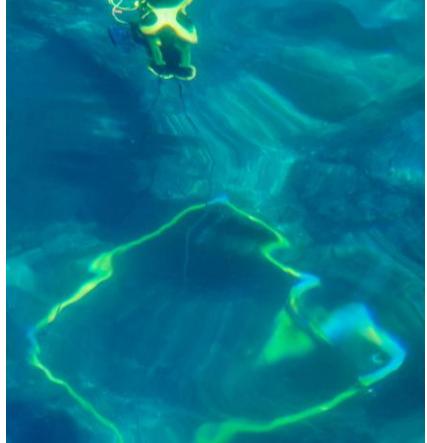
※ブルーカーボンに関する知識のない対象者に色塗りをしてもらった結果

4.開発手法の社会実装・波及に向けた取り組み

潜水をせず、水中ドローンとAIを活用したブルーカーボン調査を実施し、
Jブルークレジットを申請し認証される（本手法で国内初の事例）

ブルーカーボン測定

コドラーート装着型ROVを活用した 磯焼け対策エリアのカジメ場調査



ブルークレジット申請

Jブルークレジットの 認証申請

図中ドローン撮影した結果と見直しと並んで下図で測定して密度を算出し、7箇所の平均を採り(図2)、7箇所の各々の繁殖量は、測定した直線の直角にしたってから直線で下に引いてかみにかけた繁殖量アリの数をさす。7箇所の各々の繁殖量は、エフ、B.C.D.等が約80%などにように計算される。なほ、本手写で示すと直角に水槽上端に引いて、代表個体数から直線の外端の点に直角に引いて、その直角の長さを測定してアリの数を算出することを確認している(参考図)。アリをエフアリ等で示すと繁殖量アリの数をアリ数アリ等で示す。エフアリ等に直角を引いて測定がおこなわれたことを確認。並行直線アリ等である。

また、アリを数取った直後の水槽の中央から、解説用の墨書きドットを引いて2枚の画面を測定して密度を算出する。各エフアリの繁殖量、繁殖量、密度が次に並ぶ事とまとまる。

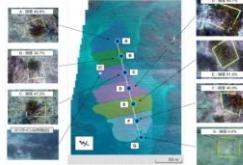
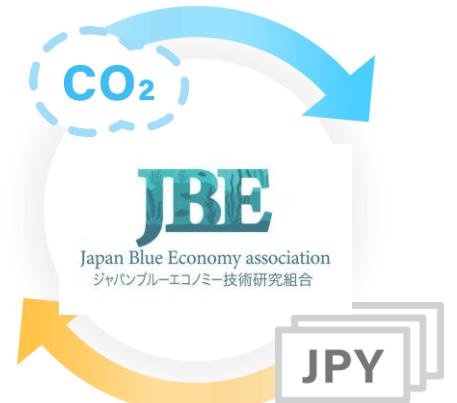


図 2-4 カジメ場と測定エラяの対応関係

周辺ネットワーク	周波数(kHz)	周波数範囲	電波の周波数範囲	周波数の周波数範囲
A	4794.0	2	49.8	39.8
B	1807.4	3	30.7	25.7
C	2484.4	3	47.2	42.4
D	3595.4	5	85.7	80.3
E	3145.0	5	81.9	77.7
F	3190.1	2	49.9	39.9
G	-	0	0.0	0.0

表2-5 各エリアの面積、密度(コドラート5km²)



広大な藻場分布エリアの測定迅速化を実現する手法を実証

ブルーカーボン測定

レーザー装着型ROVを活用した カジメ被度計測

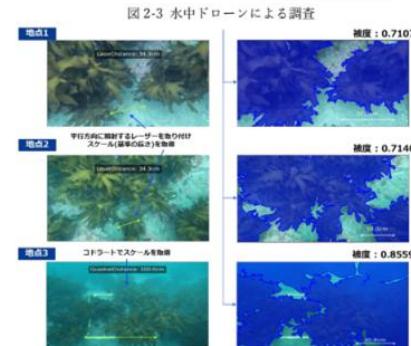
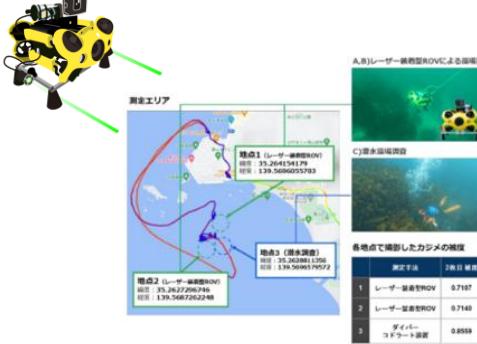


図 2-4 水中ドローンにより取得した映像を基にした AI を用いた被度分析

空中ドローンで撮影した画像をエッジ検出技術で解析 ヒジキの実勢面積を算出



Before : これまで

空撮画像を目検で被度計算



地点Aの被度階級は「4」
地点Bは「5」面積は0.78ha。
目視だと、大体こんな感じかな？

After : 本手法導入後

データ解析でヒジキ部分をプロットし 被度を即時計算



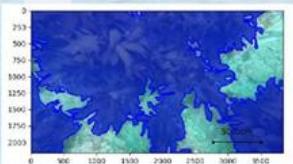
知りたい部分の
詳細が即時計算で
すぐにわかる！

JBEより認証を受け、開発したブルーカーボン調査手法の有効性が証明される



開発手法を活用した調査結果が Jブルークレジット認証取得

\ AI解析 /



ドローンとAI技術を活用した効率的なブルーカーボン調査手法を開発

調査結果により申請された「Jブルークレジット®」は正式認証を取得

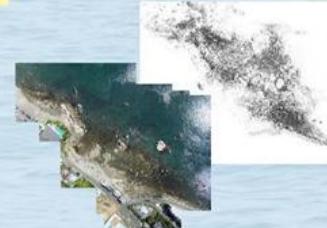
\ データ解析 /

横須賀市

カジメ被度調査

葉山アマモ協議会

ヒジキ実勢面積調査

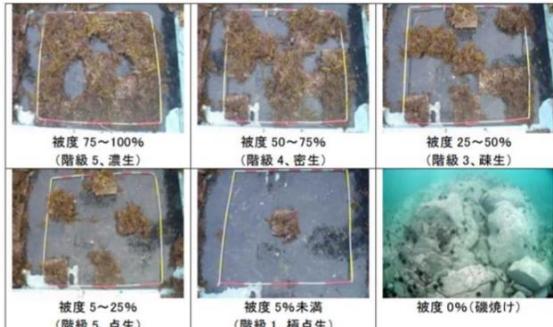


ブルーカーボン生態系の被度把握に必要な、長さの基準となるコドラー（方形枠）を水中ドローンに装着し設置・回収する調査手法・システム

コドラー（方形枠）法×水中ドローン

■被度の把握方法

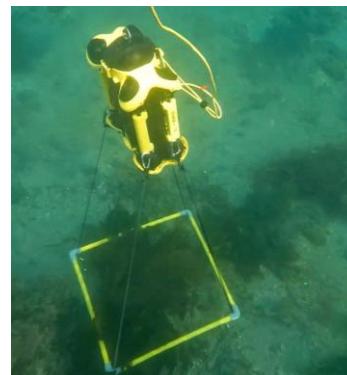
藻場の被度を把握する場合は、海底に方形枠を置いて上から見た海藻が占める面積の割合を景観被度として記録します。目視では誤差があるため、5段階程度の記録で十分です。可能であれば写真等に記録し、判断根拠としてオンラインシステムに添付してください。



出所：Jブルークレジット®認証申請の手引き

出典：第3版 碳焼け対策ガイドライン、水産庁、令和3年3月

船上からの被度調査が可能に



ROV
(操縦型の一般的な水中ドローン)



AUV
(自律型海中ロボット)



ASV
(小型水上ボート)

ROVに加え、AUVやASVなど、
水中および水上ドローン全般が
権利範囲に含まれる



第2会場

3月29日(土)

午 前

- | | | | |
|-------|------|--|---|
| 9:30 | 0236 | GOエンリッチメント解析を用いた褐藻 <i>Saccharina japonica</i> var. <i>religiosa</i> の胞子体における鉄欠乏応答の解明 | ○中村友哉・中西啓仁・山崎裕司・山本光夫(東大院農) |
| 9:45 | 0237 | 遺伝資源収集に向けた南方系野生ノリの探索～新種を含むオニアマノリの隠れた遺伝的多様性～ | ○松下桜子・高橋南帆・岡本未来(海洋大)・玉城泉也(水産機構技術研)・菊地則雄(千葉県立海の博物館)・小檜山篤志(北里大生命)・二羽恭介(海洋大) |
| 10:00 | 0238 | 日本産チシマクロノリの分類学的再検討と発生初期の性分化過程 | ○仁科陽人・宮崎寛太・堀之内祐介・二羽恭介(海洋大) |
| 10:15 | 0239 | ドローンおよびAI技術を活用したブルーカーボン調査手法の開発 | ○武藤素輝・河野哲大・戒田雄士(一般社団法人BlueArch)・山木克則(鹿島建設株式会社) |

講演要旨

ドローンおよびAI技術を活用したブルーカーボン調査手法の開発

武藤素輝・河野哲大・戒田雄士(一般社団法人BlueArch)
山木克則(鹿島建設株式会社)

【背景・目的】ブルーカーボンの算定において、藻場の面積や密度などの現地計測技術の信頼性向上と効率化はブルーカーボン市場の活性化につながる重要な課題である。本研究では、BC量の効率的かつ正確な評価を目的に、水中および空中ドローンのAI技術活用を含めた新たなモニタリング手法の開発とその現地実証実験を行った。

【方 法】神奈川県横須賀市長井の水深5~10mのカジメ場において、コドラートを装着した水中ドローン(ROV)を用い、AI技術を用いたカジメの被度調査を実施した。実験は取得した画像データをもとに、コドラート枠およびカジメのAIによる自動検知、被度の自動算出を検証した。また、神奈川県三浦郡葉山町地先の潮間帯では、ヒジキの保全エリア2地点を空中ドローンで撮影し、オルソ結合した画像をエッジ検出によるデータ解析を行い、対象とするヒジキ領域のみを自動抽出する手法について検証した。

【結果・考察】カジメの被度調査では、コドラート装着型ROVとAIを活用することで、AIが方形枠およびカジメを認識し、代表点の正確な被度計測が広域で可能となり、従来の潜水調査手法に比べて大幅な効率化、コストダウン化が望めることを確認した。一方、ヒジキの実勢面積調査では、水面付近に広く分布するヒジキの分布面積を効率的かつ正確に評価できることが確認できた。これらの調査結果は、横須賀市・長井町漁業協同組合や葉山アマモ協議会がJBE(ジャパンブルーエコノミー技術研究組合)に申請したJブルーカレジット®の認証取得にも貢献した。今後は自律型海中ロボット(AUV)など複数の分析技術の統合による位置情報を含めた藻場面積の精度向上、炭素貯蔵量の効率的かつ正確な把握をするための手法を開発する計画である。

開発した海藻認識AIモデルを活用した AIプログラミング教育を実施

横須賀市中高生向け
2024年8月4日



逗子市小中学生向け
2025年2月23日



■レーザー/コドラー装着型ROVについて

- 撮影画像にスケール情報を付与して被度データを取得する手法として、ROVにレーザーおよびコドラーを装着し、潜水を伴わずに船上から被度調査を行う方法を開発・実証した。
- その結果、コスト・視認性・安全性の観点に加え、水産庁の「藻場モニタリングの手引き」においてもコドラー法が推奨されていることから、コドラーを装着する手法がより実用的であることが明らかとなった。
- 一方で、コドラーはレーザーに比べて重量があり、ROVの操縦性に影響を及ぼすという課題が存在する。
- 今後は、観測代表点まで自動航行可能な半自律型ROVの開発を進め、操縦性と作業効率の両立を図る予定である。

■海藻認識AIモデル・被度算出システムについて

- Jブルークレジットの認証機関であるJBEの審査を通過し、実用レベルの精度で海藻を認識可能なAIモデルの開発に成功した。
- 現在の課題としては、光の反射や海藻同士の重なりによる認識精度の低下が挙げられる。これに対応するため、学習データの拡張やモデルのチューニングを通じて、さらなる高精度化を目指す。

■社会的波及について

- 開発および実証が当初計画を上回るペースで進展し、開発したシステムを用いたブルーカーボン調査やJブルークレジットの認証申請に加え、学会発表や教育イベントでの活用など、多方面での社会実装が実現した。
- 今後は、本技術をブルーカーボンクレジット制度の普及促進や、持続可能な藻場保全体制の構築支援に活用し、海のポテンシャルを引き出すアプローチで、気候変動対策や生物多様性の回復に貢献していく。

