

V. ICT 技術等を活用したサンゴの
被度計測技術の開発

目 次

V	ICT 技術等を活用したサンゴの被度計測技術の開発	
1.	目的	V- 1
2.	方法	V- 1
3.	調査・解析結果	V- 2
3.1	計測効率化の検証	V- 2
3.2	撮影画像の高精度化の検証	V- 3
3.3	サンゴ被度分類結果	V- 4
3.4	分類作業の効率化の検証	V- 8
3.5	考察	V- 9
4.	課題と次年度の計画（案）	V-11
4.1	課題	V-11
4.2	次年度の計画（案）	V-11

V ICT 技術等を活用したサンゴの被度計測技術の開発

1 目的

○サンゴ計測技術

沖ノ鳥島海域において質の高い教師データを作成するため、継続して同じ撮影方法により画像を取得し、AI 学習モデルのサンゴ分類の高精度化の検証を行う。

○サンゴ分類技術

実証海域（沖縄）において令和 2 年度（2020 年）、令和 3 年度（2021 年）に撮影したモザイク画像を用いて誤分類への対応として画像の前処理（カラー調整等）や AI 学習モデルの改良（死サンゴのモデルの追加）を行い、サンゴ分類の高精度化、分類作業の効率化の検証を行う。

併せて、沖ノ鳥島海域で新たに撮影した画像を使用して、教師データを作成し、学習データの蓄積を図る。

2 方法

検証項目と手法を表-V.2.1 に示す。

表-V.2.1 検証項目と手法

項目		検証項目	検証手法
サンゴ計測技術 (沖ノ鳥島のみ)		<ul style="list-style-type: none"> リモコンボート取付水中カメラ撮影によるサンゴ被度計測 	<ul style="list-style-type: none"> 撮影画像の高精度化（ブレや白飛びを抑えた画像取得）の検証 ハリエダミドリイシやハマサンゴなど沖ノ鳥島でよくみられるサンゴが分布するエリアに測線を設定し、また計測方法の改善（重複のない測線の画像取得）し、正確な教師データ取得による AI 学習モデルのサンゴ分類の高精度化の検証 （昨年度までの実績において、10ha を 3.3 日で撮影でき、効率化の目標を達成している）本年度も継続して撮影作業の効率を検証
サンゴ分類技術	沖縄海域	<ul style="list-style-type: none"> AI（深層学習）による分類 	<ul style="list-style-type: none"> モザイク画像のカラー調整や死サンゴの教師データ追加による AI 学習モデルの改良、個別分類するサンゴ種の絞り込みを行い、サンゴ分類の高精度化を検証 上記 AI 学習モデルの改良等を踏まえた、分類作業の効率化の検証
	沖ノ鳥島	<ul style="list-style-type: none"> AI（深層学習）による分類 	<ul style="list-style-type: none"> 今年度取得する画像からサンゴ種の教師データを作成し、学習データ蓄積による分類精度の高精度化を検証

3 調査・解析結果

3.1 計測効率化の検証

検討した作業効率を以下の表-V. 3. 1 に示す。

リモコンボート取付水中撮影の作業効率は 3.3 日/10ha となり事業計画目標の 5 日/10ha は達成できることを確認した。

なお、天候、気象条件が急変した場合は、船の航行を中止する必要があるため、遠隔地の沖ノ鳥島での撮影は余裕をもった撮影計画を立てる必要がある。

表-V. 3. 1 サンゴ被度計測の効率化検討結果

撮影手法	対象海域(手法)	作業日数
水中カメラによる撮影 ※船の航行条件(波浪静穏で干潮時を除く/計測可能箇所は操縦者から 800m 以内)の撮影制約条件あり。	沖ノ鳥島 (リモコンボート取付水中撮影)	撮影面積: 2m × 100m × 2 測線 = 0.04ha(ラップなし) 0.04ha 撮影の所要時間: 0.1 時間 1ha 撮影の所要時間: 2.5 時間 1 時間当たりの撮影可能面積: 0.4ha 1 日(7.5h)当たりの撮影可能面積: 3ha (3ha 撮影に係る測線数: 測線長 100m の場合、約 150 測線) 10ha 撮影に必要な日数: 約 3.3 日間※ (※ラップなし撮影による。実質の作業効率は R2 年度と同じ)
参考値 潜水士による水中ビデオ撮影		撮影面積: 100m × 100m = 1ha 1ha 撮影の所要時間: 13.8 時間 1 時間当たりの撮影可能面積: 0.07ha 1 日(7.5h)当たりの撮影可能面積: 0.53ha 10ha 撮影に必要な日数: 約 18 日間 ※有性生殖によるサンゴ増殖の手引き 技術ノート 3 水中ビデオ画像によるサンゴ自動分類技術を参考に計算した。

3.2 撮影画像の高精度化の検証

今年度のリモコンボート撮影では、手振れ補正効果が向上したカメラ（GoPro, Inc. 製 GoPro HERO10）を使用した。手振れ補正効果が向上したカメラを使用することで、動画（60 フレーム/秒）の切り出し画像でもブレの少ない画像を取得できたことから、動画からの画像合成を行った。

画像合成の方法は、リモコンボートの測線方向に隣り合う画像同士をパノラマ写真のようにつなぎ合わせるモザイク処理による合成を行った。モザイク処理には市販の画像処理ソフト PhotoDirector（サイバーリンク社製）を使用した。

図-V.3.1 にモザイク処理後の合成画像を示す。モザイク処理後も元の画像の視認性を維持した状態で合成ができた。

昨年度と同様に 3m 程度の間隔をあけて測線を設置し撮影を行うことで、水深が深い箇所でも重複しないモザイク画像を作成できた。

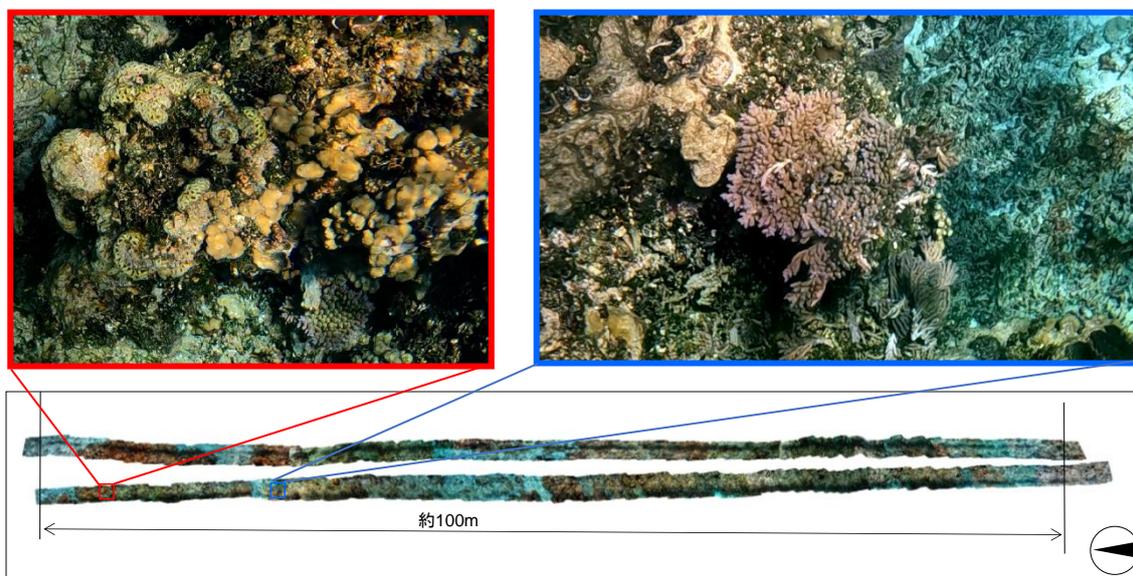


図-V.3.1 リモコンボート撮影結果のモザイク画像
(沖ノ島島海域)

3.3 サンゴ被度分類結果

沖縄海域、沖ノ鳥島の中水カメラ撮影画像に対して、「AI モデルによる分類手法」によりサンゴ分類を実施した。

(1) 沖縄海域

1) AI モデル（深層学習）による分類手法

インスタンスセグメンテーション手法の一つ Mask R-CNN（物体検出と分類の一手法）により実施した。令和3年度の手法と同様に、サンゴ1種類ごとに学習するモデルを構築した。

2) モザイク画像の前処理

1枚に結合する前のモザイク画像は、撮影時の光条件や映り込んだ対象物により、色調の違いが生じるため、標準化（特徴量のスケールを揃える手法）により影響を緩和させたくて1枚に接合を行った。調整の結果を図-V.3.2に示すが、標準化を行うことで、画像間での極端な色の差を抑えることが確認できた。

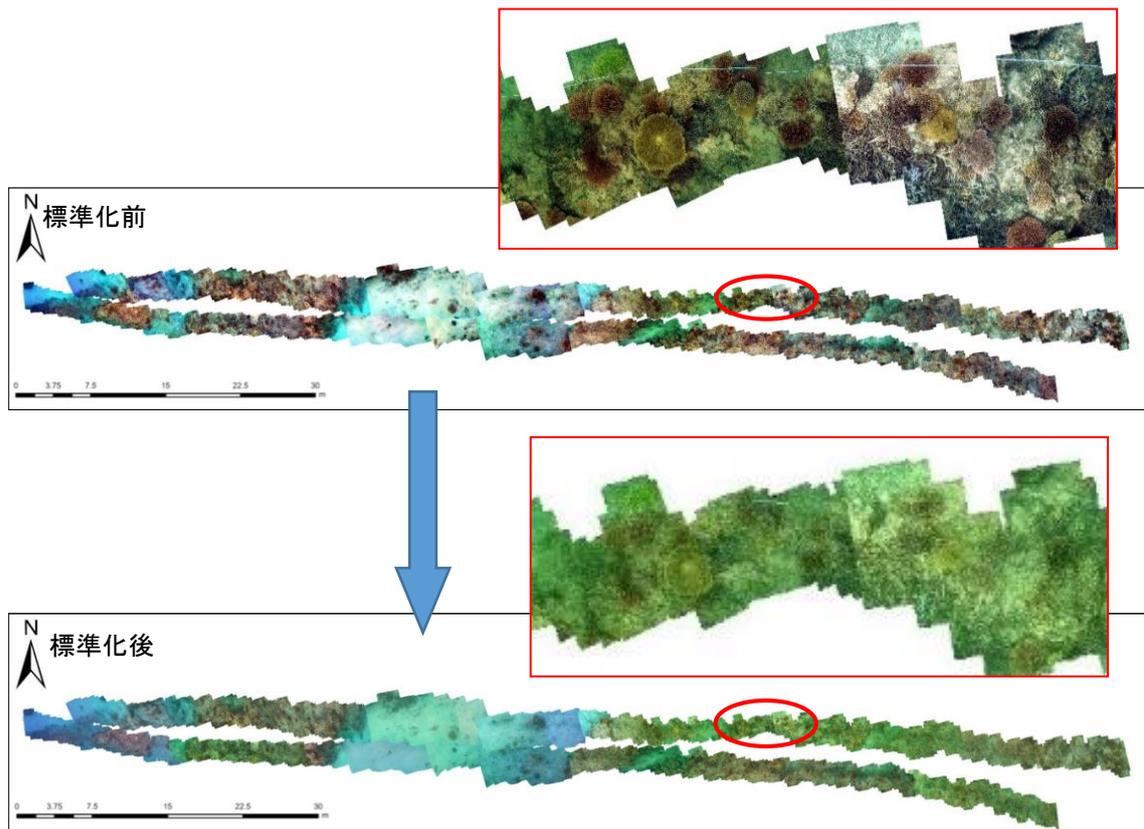


図-V.3.2 標準化前後の画像

3) 死サンゴの教師データ作成

令和3年度では、死サンゴを樹枝状サンゴと間違えている結果が見られた。今年度は、同様の間違いを減少させるために、2020年、2021年撮影のモザイク画像を用いて藻の付着したサンゴを死サンゴとして教師データを作成し、モデルに組み込むことでAI学習モデルの改良を行った。

死サンゴの教師作成イメージを図-V.3.3に示す。

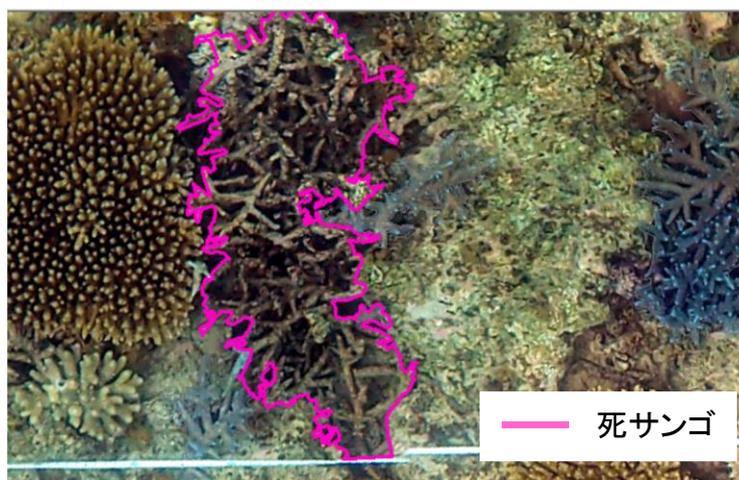


図-V.3.3 死サンゴの教師作成イメージ

4) 教師・検証データの作成

本年度の学習に使用した教師データは、2020年、2021年に撮影・作成したモザイク画像から作成したものを使用した。検証データは、2021年に撮影・作成したモザイク画像から作成したものを使用した。画像の前処理と併せて、教師・検証データは品質を精査し、見直しを実施した。

本年度のサンゴ種別のAI学習で使用した教師データ数は、以下のとおりである。

樹枝状（スギノキミドリイシなど）：387個

コリンボース状（ハナガサミドリイシ、コユビミドリイシなど）：345個

テーブル状（クシハダミドリイシなど）：106個

死サンゴ：35個

5) 分類精度のまとめ

1)～4)の作業を行ったAIモデルを用いて、解析した結果を表-V.3.2に示す。比較のため、過年度（令和3年度業務）の解析結果も併せて示す。

- ・2分類の分類精度は、今年度手法ではサンゴの分類精度は82%、非サンゴの分類精度は90%であり、過年度手法よりも精度が向上した。2分類では、事業計画目標の80%は達成した。
- ・個別分類の分類精度は、全てのサンゴ種で過年度より精度が向上し、コリンボース状サンゴで分類精度は85%、樹枝状サンゴで分類精度は79%であった。コリン

ボース状サンゴは事業計画目標の80%を達成し、樹枝状サンゴではおおむね達成した。

テーブル状のサンゴは樹枝状やコリンボース状より教師データが少ないことで目標の分類精度に達しなかったと推定される。

表-V.3.2 分類精度の過年度比較（沖縄海域）

分類	プロデューサー精度	2020~2021年	
		過年度手法	今年度手法
個別分類	樹枝状 (スギノキミドリイシなど)	73%	79%
	コリンボース状 (ハガミドリイシ、ユビミドリイシなど)	80%	85%
	テーブル状 (クシハダミドリイシなど)	64%	66%
	塊状 (ハマサンゴ属など)	0%	88%
	その他サンゴ	19%	
	非サンゴ	91%	
	全体精度	83%	85%
	kappa係数	0.68	0.71
2分類	サンゴ	79%	82%
	非サンゴ	88%	90%
	全体精度	85%	87%
	kappa係数	0.67	0.72

(2) 沖ノ鳥島

沖ノ鳥島では昨年度までと同じ工程で AI 分類を実施した。沖縄海域で実施した「画像の標準化」や「過年度に作成した教師データの見直し」、「死サンゴの追加」は実施していない。

1) 教師・検証データの作成

今年度撮影した水中撮影画像を用いて、教師データを作成した。作成状況を図-V.3.4に示す。

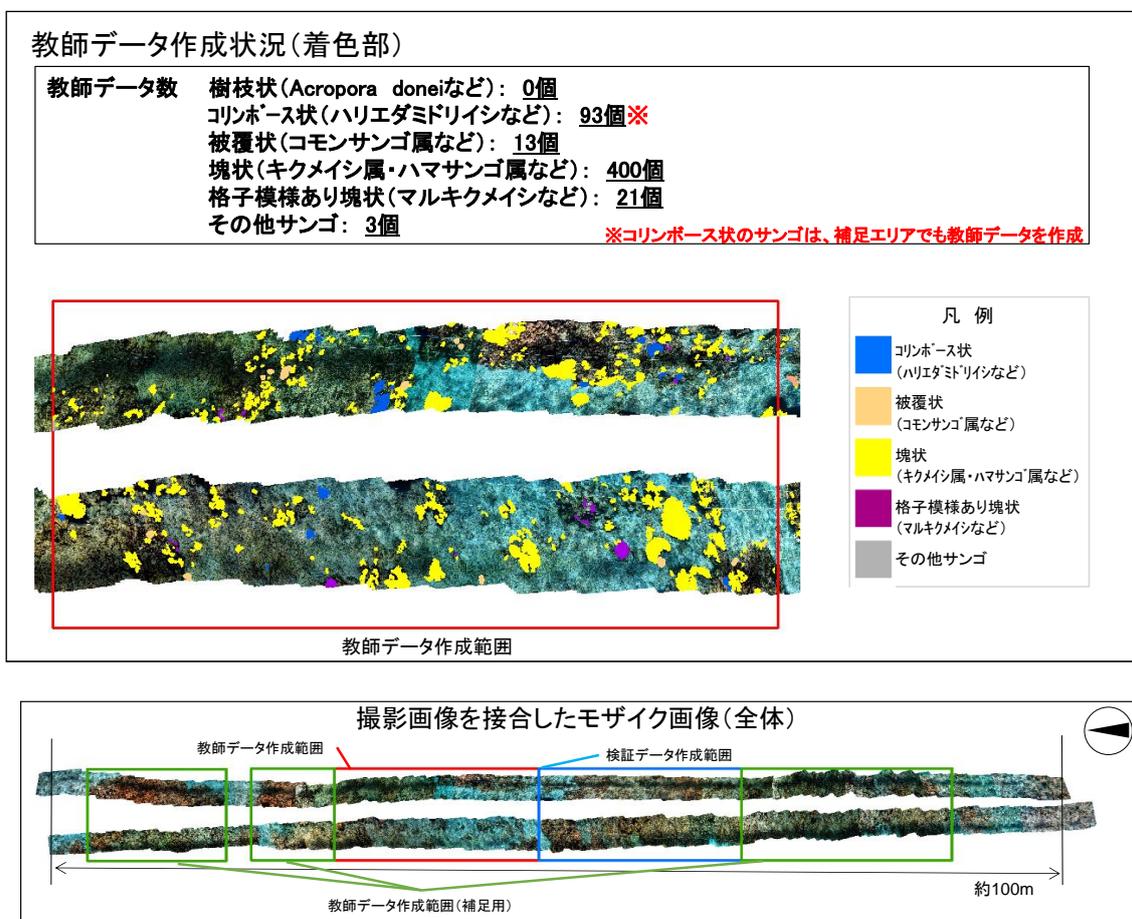


図-V.3.4 教師データ作成状況と検証データ作成エリア (沖ノ鳥島海域)

2) 分類精度のまとめ

作成した教師データを学習させたモデルによる分類結果を表-V.3.3に示す。過年度と今年度を比較し整理した。

- ・ 2分類の分類精度は、2022年単年の学習モデルでは、サンゴの分類精度は56%と過年度と同程度の分類精度であった。
- ・ 2019～2022年複数年の学習モデルでも、サンゴの分類精度は57%と単年度の精度

と比べて横ばいであった。

- ・ 6分類の分類精度は、2022年単年の学習モデルでは、コリンボース状のサンゴは49%となり、過年度に比べて精度は低下した。一方、塊状サンゴは60%と過年度より精度が向上した。
- ・ 今年度取得した画像は撮影した船の揺れの影響により、サンゴが斜めに写ったものが多くみられ、精度が上がらなかったと推定される。
- ・ 2分類、6分類ともに、事業計画目標の80%は未達成であった。

表-V.3.3 分類精度の過年度比較（沖ノ鳥島海域）

分類	プロデューサー精度	2019年	2020年	2021年	2022年	2019～2022年
サンゴ 6分類+ 非サンゴ	樹枝状 (Acropora doneiなど)	0%	16%	検証データに存在しない	検証データに存在しない	-
	コリンボース状 (ハリダミトリシなど)	84%	69%	72%	49%	
	被覆状 (ゴモンサンゴ属など)	1%	0%	50%	4%	
	塊状 (キクメイシ属・ハマサンゴ属など)	31%	54%	43%	60%	
	格子模様あり塊状 (マルクメイシなど)	7%	0%	6%	1%	
	その他サンゴ	検証データに存在しない	0%	1%	検証データに存在しない	
	非サンゴ	99%	98%	96%	99%	
	全体精度	95%	92%	90%	98%	
kappa係数	0.5	0.55	0.63	0.59		
2分類	サンゴ	49%	56%	65%	56%	57%
	非サンゴ	98%	95%	97%	99%	99%
	全体精度	95%	91%	92%	97%	97%
	kappa係数	0.53	0.53	0.68	0.57	0.58

3.4 分類作業の効率化の検証

分類作業に係る作業日数について、事業計画目標の15日/10haを達成できるか、沖縄海域での分類作業の実績から検討した。

分類作業では、「モザイク画像作成」、「画像の前処理」、「AIモデル構築」、「AI解析」の手順を踏む。各工程に係る作業日数について、沖縄海域の作業実績より算出した結果を表-V.3.4に示す。モザイク画像作成は測線長200mあたり9.33時間となった。画像の前処理は測線長200mあたり1時間となった。AIモデル構築は72m²の教師データ作成には約11日間、作成した教師よりモデル構築にかかる日数は約7.5日間となった。AI解析は120m²あたり0.02時間となった。AIモデル構築は教師データが蓄積されモデルを構築できると、将来的には不要となる。モザイク画像の作

成は撮影毎に作業が発生するため、事業目標 15 日/10ha を達成するためには、対象範囲を面的に効率的に計測、解析することが求められる。

そこで、10ha の現地計測を図-V.3.5 に示すような 50m 間隔の測線を配置し計測、AI 解析することをイメージして分類作業の日数を試算した（下式を参照）。50m 間隔の測線配置を想定した場合、作業日数は 14.6 日となり事業計画目標の 15 日/10ha は達成できる。

対象範囲 10ha の分類に係る日数の試算（50m 間隔の測線配置を想定）

＜既存の AI モデルを使用する場合（モデル構築含まず）＞

- ・モザイク画像作成の所要時間

解析測線長 2100m 当たり： 約 14.5 日間・・・①

- ・AI 解析の所要時間

解析面積 4200m² 当たり： 約 0.1 日間・・・②

+②=約 15 日間

表-V.3.4 分類作業に係る作業日数（実証海域の実績）

手法	対象海域	作業日数
モザイク画像の作成	沖縄海域・浦底湾	解析測線長：100m×2測線=200m 測線長200m分のモザイク画像作成の所要時間：9.33時間 1時間当たりの解析測線長：21.4m、1日(7.5h)当たりの解析測線長：160.5m
画像の前処理	沖縄海域・浦底湾	解析測線長：100m×2測線=200m 測線長200m分の画像の前処理の所要時間：1時間 1日(7.5h)当たりの解析測線長：1,500m
AIモデル構築 (教師データ作成含む)	沖縄海域・浦底湾	解析面積：(学習エリア12m×3m)×2領域=72m ² 面積72m ² 分の教師データ作成の所要日数：約11日間 AIモデル構築の所要日数：約7.5日間
AI解析	沖縄海域・浦底湾	解析面積：(検証エリア20m×3m)×2領域=120m ² 面積120m ² 分のAI解析の所要時間：0.024時間 1時間当たりの解析面積：5,000m ² 、1日(7.5h)当たりの解析面積：37,500m ²

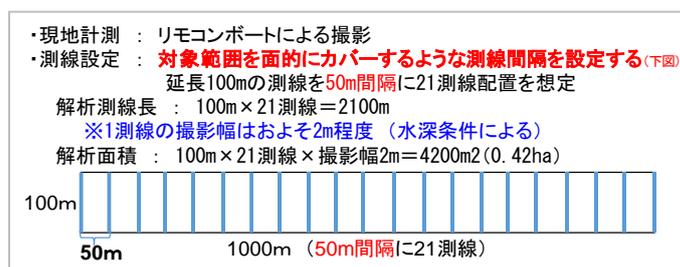


図-V.3.5 対象範囲 10ha の現地計測イメージ

3.5 考察

今年度は実証海域（沖縄海域）において AI 解析による誤分類への対応策として、画像の前処理や AI 学習モデルの改良（死サンゴのモデルの追加）を新たに行った。これら対応策の有効性について解析結果を踏まえ考察した。

(1) 画像の前処理

画像の前処理の方法として、①色調の補正、②画像の標準化の2種類を試行した。

①色調の補正では、人の目で判断しやすい画像になったが、全体的に画像が明るくなったことで、サンゴ・非サンゴ間の色調差（画像の有する情報量の差）が少なくなり、AI解析結果はサンゴの輪郭を抽出できず、輪郭以外にも境界みられた（図-V.3.6）。分類精度をみると、色調補正前に比べて全体精度は1.4%低下し、色調の補正はAIには不適であると考えられた。

②画像の標準化では、画像間の極端な色の差が抑えられ、AI解析結果はサンゴの輪郭を正しく表現できた（図-V.3.7）。分類精度も、標準化前に比べて非サンゴの分類精度は3.2%、全体精度で0.3%向上した。サンゴ画像の前処理方法として、色調補正に比べて標準化が有効であると考えられる。

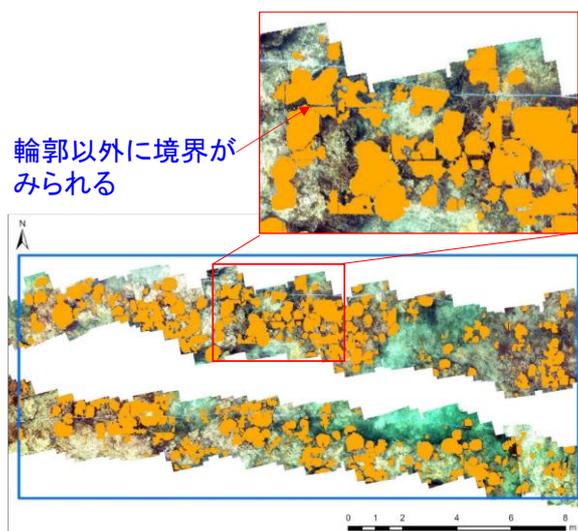


図-V.3.6 ①色調補正後の画像を用いたサンゴ被度解析結果

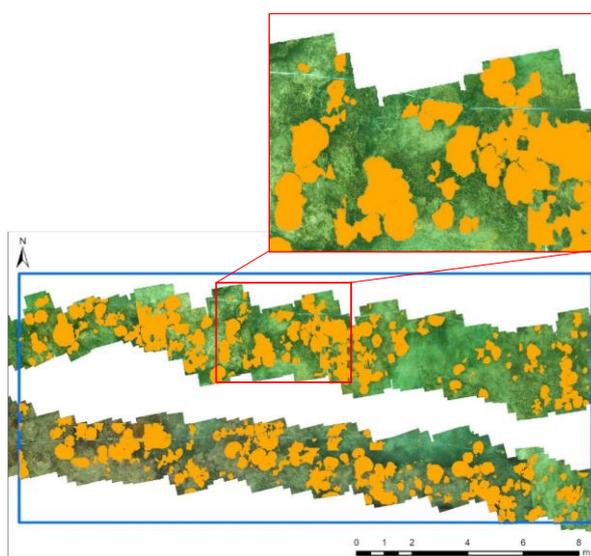


図-V.3.7 ②標準化後の画像を用いたサンゴ被度解析結果

(2) 死サンゴの教師データの追加

昨年度は死サンゴを樹枝状サンゴと間違えている結果がみられたため、今年度は死サンゴの教師も一緒に学習させる AI モデルに改良した。

死サンゴを加えた場合は、加えなかった場合よりも、全体精度が 1.7%、サンゴの分類精度が 0.9%、非サンゴの分類精度が 2.2%向上した。このことから、分類精度の向上には、死サンゴの教師を追加することが有効であることが考えられる。

4. 課題と次年度の計画（案）

4.1. 課題

今年度は実証海域（沖縄海域）において AI 解析による誤分類への対応策として、画像の前処理や AI 学習モデルの改良（死サンゴのモデルの追加）を新たに行った。その結果、2 分類の分類精度は、事業計画目標とする分類精度 80%を達成、サンゴ種別では、画像の前処理や死サンゴの教師データの追加により精度が向上し、コリンボース状は事業計画目標を達成、樹枝状サンゴではおおむね達成した。テーブル状サンゴにおいても昨年度からの精度向上を達成した。

今後は、実証海域（沖縄海域）における解析結果を踏まえ、沖ノ鳥島において「画像の標準化」や「死サンゴの追加」に加え、「質の高い教師データの蓄積」することで、分類精度の向上を図ることが課題となる。

また、沖ノ鳥島の主なサンゴ種（図-V.4.1）の教師データを増やすことで、AI 分類できるサンゴ種を増やし、実用的なモデルに発展させることも課題となる。



ハリエダミドリイシ



globiceps

図-V.4.1 沖ノ鳥島の主なコリンボース状サンゴ

4.2. 次年度の計画（案）

(1) 次年度の目的（案）

今年度の沖縄海域における AI 解析結果を踏まえ、沖ノ鳥島において、①画像の標準化、②死サンゴの追加 を行うことに加え、「教師データの質と量」を改善することで、サンゴ種別の分類精度の向上を図る。

(2) 次年度の検証項目（案）

- ・モザイク画像の標準化の実施

- ・死サンゴの教師データ追加による AI 学習モデルの改良
 - ・質の高い教師データの蓄積
- によるサンゴ分類の高精度化の検証

(3) 次年度のアプローチ方法（案）

沖ノ鳥島

- ① 2021、2022 年撮影のモザイク画像を用いて、標準化の実施、死サンゴの教師データを作成
- ② 令和 3 年度に撮影した測線付近のサンゴ被度の高いエリアで、サンゴ画像の撮影、水中観察
- ③ 撮影画像のモザイク化、画像処理、教師データ・検証データの作成
- ④ 沖ノ鳥島の AI 学習モデルで分類解析を実施、精度検証