

IV-5. ICT 技術等を活用したサンゴの 被度計測技術の開発

目 次

IV-5	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	IV-5-1-1
2.	技術開発手法	IV-5-2-1
2.1	検証項目	IV-5-2-1
2.2	調査位置	IV-5-2-2
2.3	調査解析、検討の流れ	IV-5-2-3
3.	調査・解析結果	IV-5-3-1
3.1	現地計測結果	IV-5-3-1
3.2	計測効率化の検証	IV-5-3-2
3.3	撮影画像の高精度化の検証	IV-5-3-3
3.4	サンゴ被度分類結果	IV-5-3-4
3.5	分類作業の効率化の検証	IV-5-3-26
3.6	考察	IV-5-3-27
4.	結果のまとめと今後の課題	IV-5-4-1
5.	次年度の計画	IV-5-5-1

IV-5 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

広範囲のサンゴの分布を把握する手法として、船上水中カメラやリモコンボートを活用した効率的観測手法と、人工知能 (AI) を活用した効率的な解析手法の技術の開発を行う。

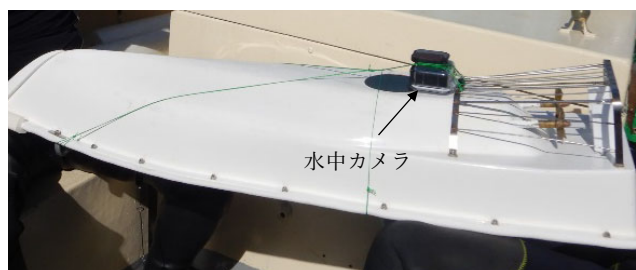
(1) サンゴ計測技術

令和 2 年度は撮影画像の高精度化を試行し、画像のブレや白飛びを抑える技術について開発を行った。

令和 3 年度は質の高い教師データを作成するため、同じ撮影方法により画像を取得し、また、計測方法を改善し（重複のない測線の画像取得）、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を行う。



リモコンボート外観



水中カメラ取付状況 (リモコンボート底面)

図-IV. 5. 1. 1 ICT 技術によるサンゴ被度計測イメージ

(2) サンゴ分類技術

(1) サンゴ計測技術において取得した高精度の撮影画像を用いて、令和 2 年度の検討において分類精度が低かったサンゴ種の教師データの蓄積を図る。

また、令和 2 年度の検討ではサンゴ種を 5 区分し解析を行ったが、その 1 つ “その他サンゴ” には多様な種が含まれ学習精度の低下を招いている可能性がある。令和 3 年度は、AI 学習モデルの改良 (分類の最適化) を行い、サンゴ分類の高精度化の検証を行う。

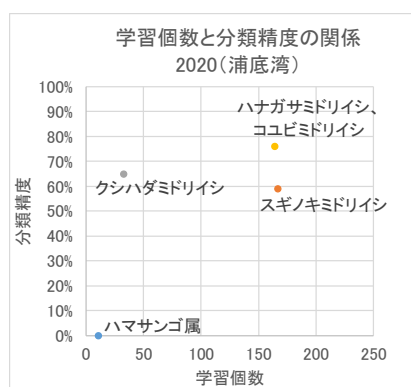


図-IV. 5. 1. 2 昨年度の AI (深層学習モデル) 分類結果

2 技術開発手法

2.1 検証項目

検証項目と手法を表-IV.5.2.1 に示す。

表-IV.5.2.1 検証項目と手法

項目	検証項目	分類、解析手法
サンゴ計測技術	① リモコンポ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・計測方法を改善（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・撮影作業の効率化の検証
サンゴ分類技術	① AI（深層学習）による分類	<ul style="list-style-type: none">・ R2 年度の検討で分類精度が低かったサンゴ種の学習データの蓄積と、AI 学習モデルの改良（分類の最適化）による、サンゴ分類の高精度化の検証・ 分類作業の効率化の検証

2.2 調査位置

浦底湾にて令和2年度に撮影したミドリイシ属が生育する測線L-1周辺において、衛星画像解析でサンゴ被度が高い箇所（L-1-2）を設定し、撮影を実施した。調査対象位置図を図-IV.5.2.1に示す。

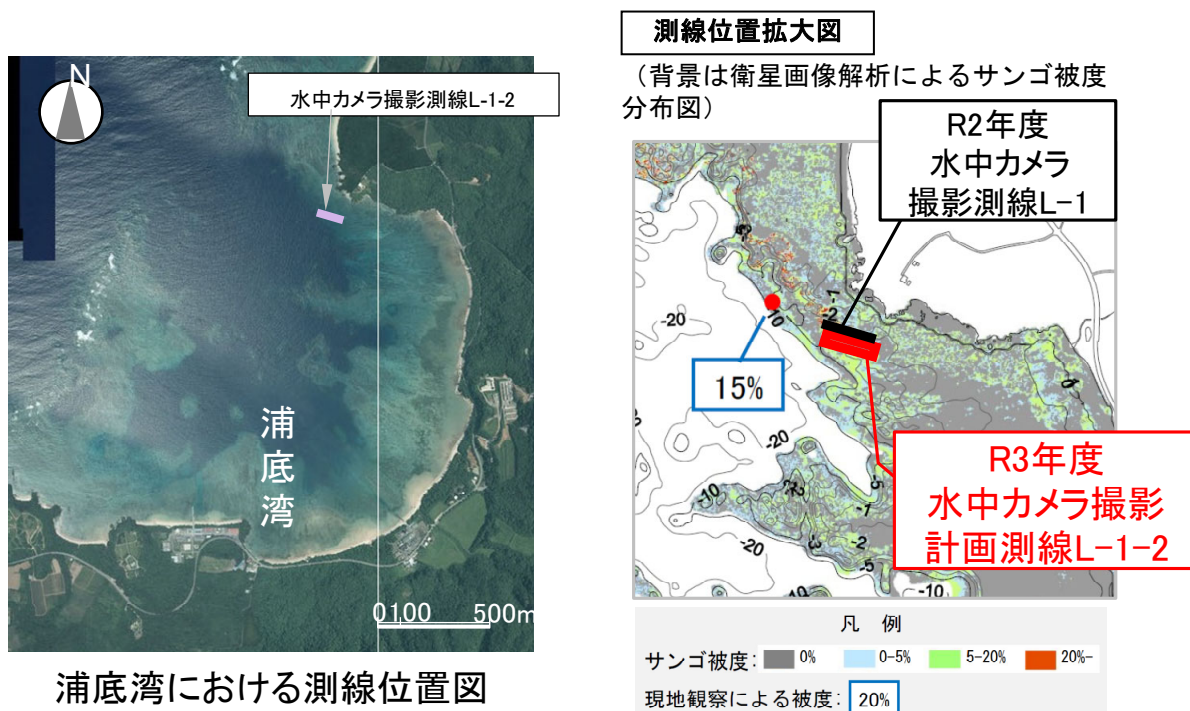


図-IV.5.2.1 R3年度調査対象位置図

(沖縄海域：浦底湾)

2.3 調査解析、検討の流れ

令和3年度の調査解析、検討のフローを図-IV.5.2.2に示す。

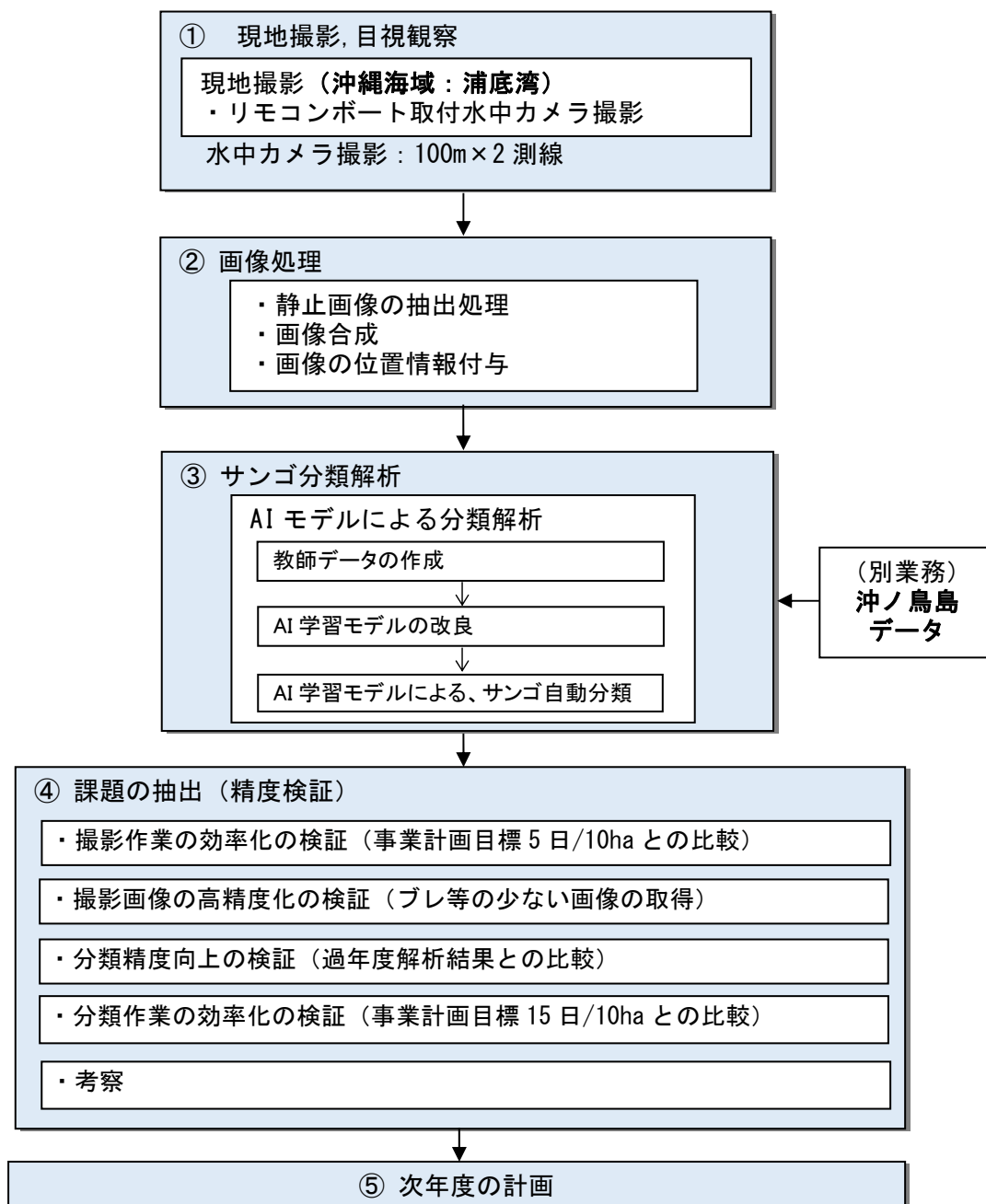


図-IV.5.2.2 サンゴ被度分類作業フロー (令和3年度)

3. 調査・解析結果

3.1 現地計測結果

浦底湾におけるリモコンボート取付水中カメラによる撮影は5月3日に実施した。浦底湾における調査で使したボート、カメラ及び取得画像を図-IV.5.3.1に示す。

令和2年度からの撮影手法の改善として、ブレの少ないサンゴ画像を取得するため、高性能の撮影カメラによる撮影を行った。また、重複のない測線の画像を取得するため、100m区間を2測線で撮影した。

撮影に使したカメラ機材の性能は表-IV.5.3.1に示すとおりである。



リモコンボート及びカメラ取付状況



リモコンボート撮影水中画像（沖縄海域：浦底湾，5月3日）

図-IV.5.3.1 リモコンボート調査で使したボート、カメラ及び取得画像
(令和3年度)

表-IV.5.3.1 使したカメラ機材の性能

	リモコンボート取付水中カメラ
機種名	GoPro 社製 HER09
撮影区分	動画撮影 (60 枚/秒)
撮影画像	1920×1080

3.2 計測効率化の検証

今回実施したリモコンボート取付水中カメラによる撮影について、事業計画目標の5日/10haを達成できているかについて、現地の撮影時間から検討した。別業務で実施した沖ノ鳥島の撮影時間も併せて示す。

検討した作業効率を以下の表-IV.5.3.2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-IV.5.3.2 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。	沖縄海域・浦底湾 (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)
	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 潜水土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。

3.3 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 社製 HERO9）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、過年度実施したオルソ化処理では処理過程で画像がぼやけた状態となったため、昨年同様オルソ化は行わず、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-IV.5.3.2 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。

今年度は測線間 3m 程度の間隔をあけて撮影を行ったが、水深が深い箇所は画角が変化し画像が一部重複した。AI 解析では 2 測線分の画像に分けて、教師・検証データを作成するものとした。

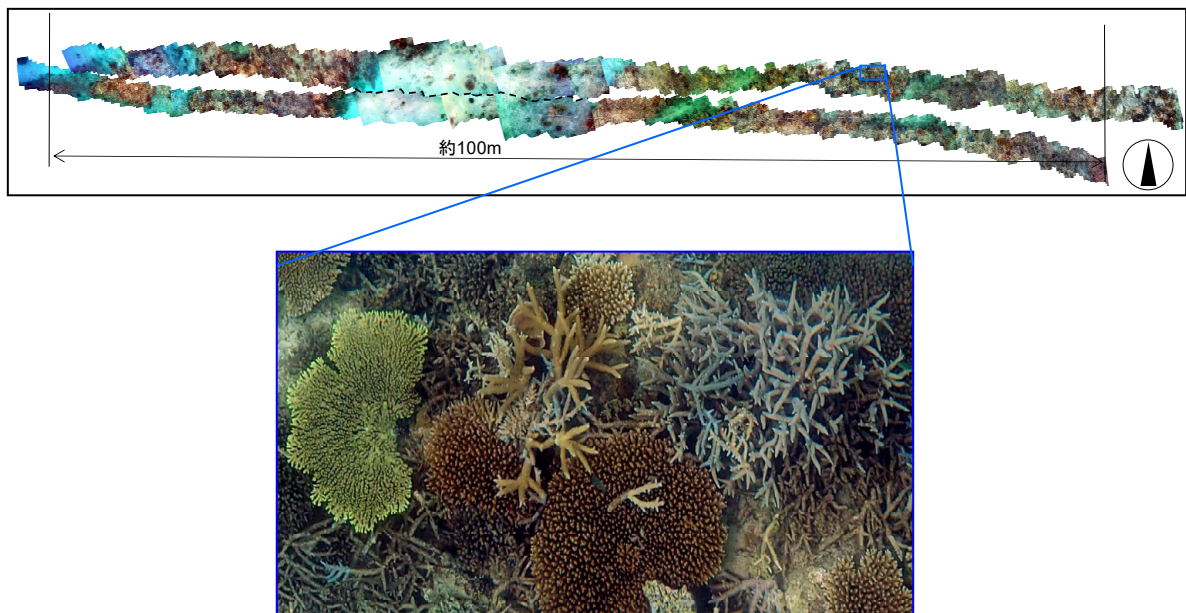


図-IV.5.3.2 リモコンボート撮影結果のモザイク画像
（沖縄海域：浦底湾）

3.4 サンゴ被度分類結果

沖縄海域・浦底湾、沖ノ鳥島の水中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) 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。下図のように物体ごとに領域を抽出する。物体検出のアルゴリズムが基本になっているが、下図のように物体ごとの矩形（枠）・クラスに加えて、物体の領域も抽出する。

令和 2 年度の検討では、沖縄海域では 5 区分したサンゴ種を一度に解析したが、その 1 つ“その他サンゴ”には多様な種が含まれており、学習精度の低下を招いている可能性が考えられた。今年度はモデルの改良として、サンゴ 1 種類ごとに学習するモデルを構築した。沖ノ鳥島海域も同様に 1 種類ごとに学習するモデルを構築した。

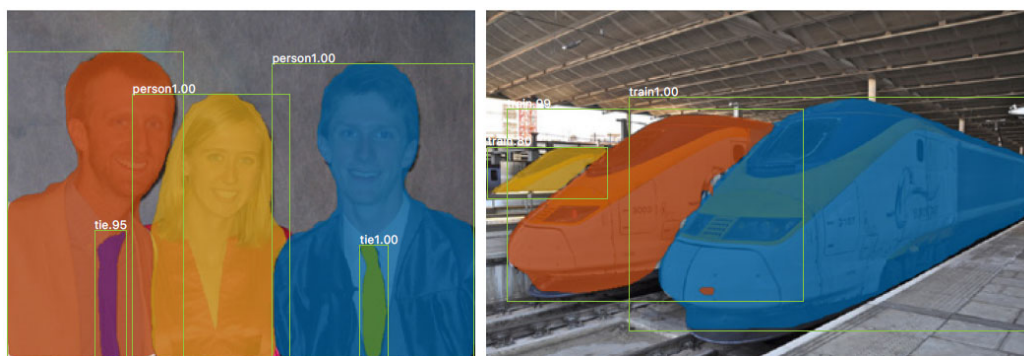


図-IV.5.3.3 インスタンスセグメンテーションの概要¹

[1] Kaiming He, Georgia Gkioxari, Piotr Dollár, Ross Girshick. Mask R-CNN. <https://arxiv.org/abs/1703.06870>

[2] Zhaojin Huang et, al. Mask Scoring R-CNN

(2) 教師・検証データの作成

1) 沖縄海域（浦底湾）

浦底湾の水中画像について AI 教師データを作成した。沖縄海域のサンゴの教師データは、昨年度と同様、サンゴの形状の違いから以下の 5 分類とした。表-IV. 5. 3. 3 には教師データを作成したサンゴのイメージ写真を示す。

表-IV. 5. 3. 3 (1) 沖縄海域におけるサンゴ分類







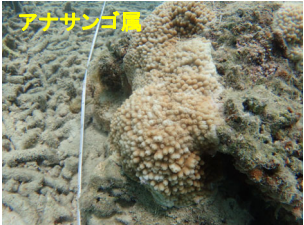
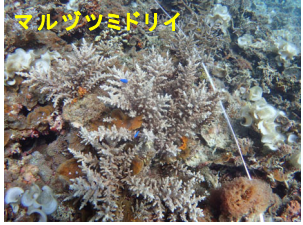
サンゴ分類	イメージ写真（2019 年観察調査写真より）	
<p>樹枝状 (スギノキミドリイシなど)</p>		
<p>コリンボース状 (ハナガサミドリイシ、コユビミドリイシなど)</p>		
		
<p>テーブル状 (クシハダミドリイシなど)</p>		
<p>塊状 (ハマサンゴ属など)</p>		

表-IV.5.3.3 (2) 沖縄海域におけるサンゴ分類

サンゴ分類	イメージ写真 (2019年観察調査写真より)
<p>その他サンゴ</p>	<p>主なその他サンゴの一部</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>アナサンゴ属</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>マルツツミドリイ</p>  </div> </div>

教師データの作成状況を図-IV.5.3.4 示す。教師データは、図-IV.5.3.4 の赤枠領域内で作成するとともに、R2 年度に分類精度が低かったサンゴ種はモザイク画像の全域で教師データを作成した。また、教師データ数を増やすため、領域の外側でも追加して樹枝状、テーブル状のサンゴについて教師を作成した。

作成したサンゴの教師データ数は、以下のとおりである。

樹枝状（スギノキミドリイシなど）：155 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）：85 個

テーブル状（クシハダミドリイシなど）：45 個

塊状（ハマサンゴ属など）：5 個

その他サンゴ：99 個

AI 解析は下記の区分で解析を行った。

6 区分：（サンゴ 5 分類+非サンゴ）：

樹枝状（スギノキミドリイシなどなど）

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）

テーブル状（クシハダミドリイシなど）

塊状（ハマサンゴ属など）

その他サンゴ

非サンゴ

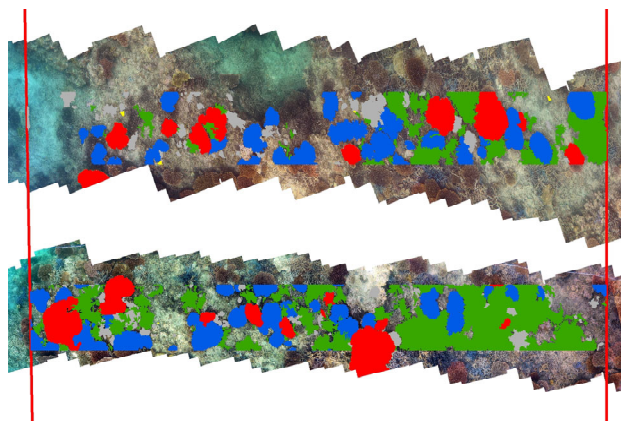
2 区分：サンゴ、非サンゴ

また、モデルの精度検証のため、図-IV.5.3.4 の青枠領域内の 1 領域で検証用データを作成した。

教師データ作成状況(着色部)

教師データ数	樹枝状(スギノキミドリイシなど): 155個※	※樹枝状、テーブル状のサンゴは、領域外側でも教師データを作成
	コリンボース状(ハナガサミドリイシ、ココビミドリイシなど): 85個	
	テーブル状(クシハダミドリイシなど): 45個※	
	塊状(ハマサンゴ属など): 5個	
	その他サンゴ: 99個	

教師データ作成範囲



凡例

- 樹枝状
(スギノキミドリイシなど)
- コリンボース状
(ハナガサミドリイシ、ココビミドリイシなど)
- テーブル状
(クシハダミドリイシなど)
- 塊状
(ハマサンゴ属など)
- その他サンゴ

撮影画像を合成したモザイク画像(全体)

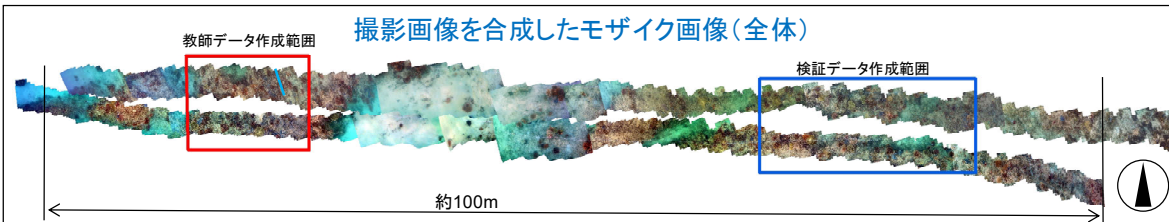


図-IV.5.3.4 AI 学習モデルの教師データ作成状況と検証データ作成エリア
(沖縄海域：浦底湾)

2) 沖ノ鳥島海域

別業務において、沖ノ鳥島海域の水中画像について AI 教師データを作成した。沖ノ鳥島のサンゴの教師データは、昨年度と同様、サンゴの形状の違いから以下の 6 分類とした。表-IV.5.3.4 には教師データを作成したサンゴのイメージ写真を示す。

表-IV.5.3.4 (1) 沖ノ鳥島におけるサンゴ分類

サンゴ分類	イメージ写真 (2019・2020 年観察調査写真より)
樹枝状 (Acropora donei など)	Acropora donei 
コリンボース状 (ハリエダ ミドリイシ、 Acropora globiceps など)	ハリエダミドリイシ  Acropora globiceps 

表-IV.5.3.4 (2) 沖ノ鳥島におけるサンゴ分類

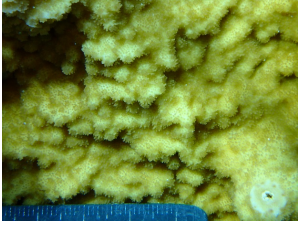
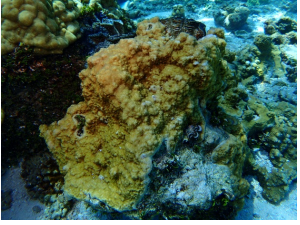
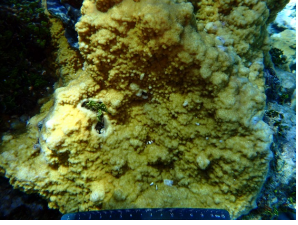

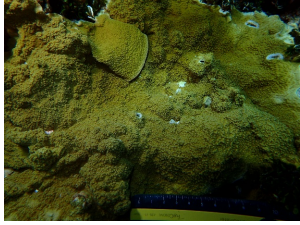
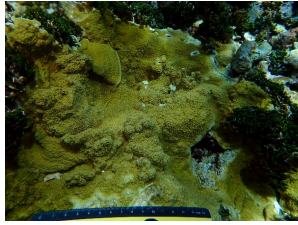
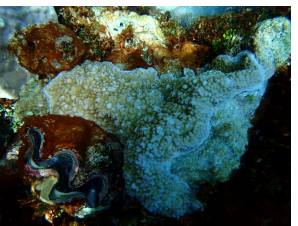

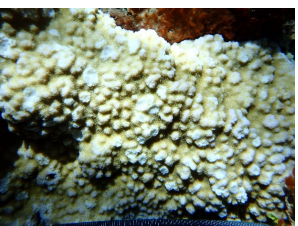
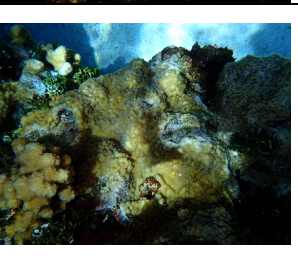

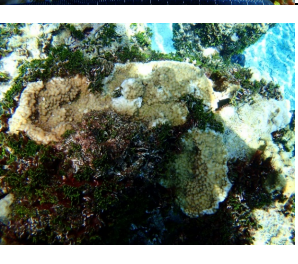



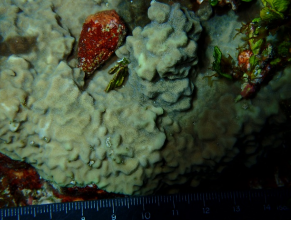
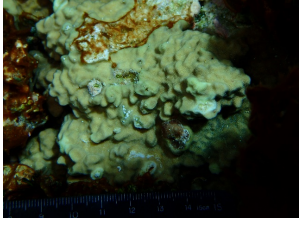

サンゴ分類	イメージ写真 (2019・2020年観察調査写真より)		
被覆状 (コモンサンゴ属、リュウキュウキツカサンゴ、アミメサンゴ属など)	シモコモンサンゴ		
			
	トゲコモンサンゴ		
			
	モリスコモンサンゴ		
			
			
	アミメサンゴ		
			
	アミメサンゴ属		
			

表-IV.5.3.4 (3) 沖ノ鳥島におけるサンゴ分類



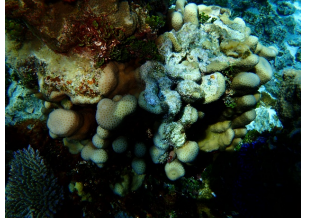





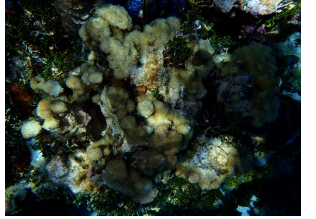
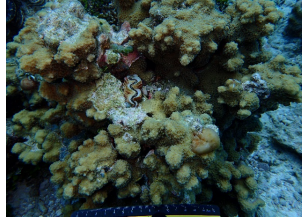
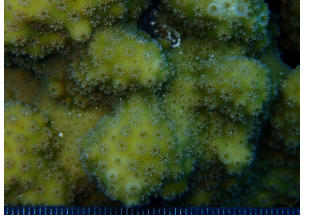
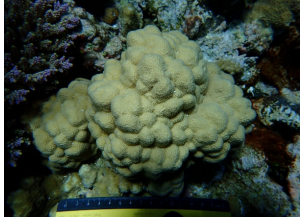
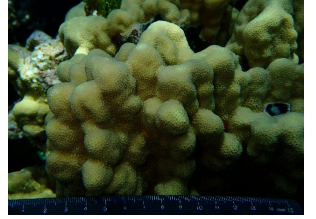


サンゴ分類	イメージ写真 (2019・2020年観察調査写真より)		
塊状 (キクメイシ属、ハマサンゴ属、ナガレサンゴ、オオサザナミサンゴ、ミダレノウサンゴ)	ホシキクメイシ		
			
	コトゲキクメイシ		
			
	トゲキクメイシ属		
			
	トゲキクメイシ		
			
	ベニハマサンゴ		
			
オオハマサンゴ			
			

表-IV.5.3.4 (4) 沖ノ鳥島におけるサンゴ分類

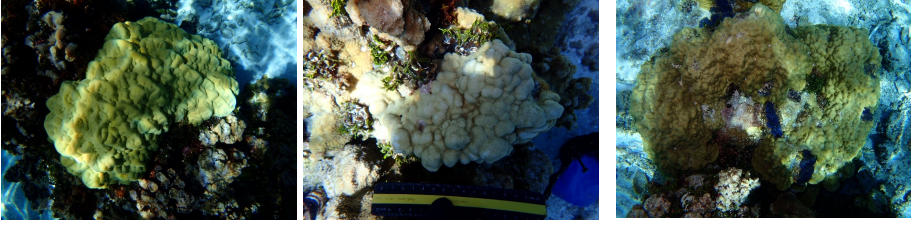


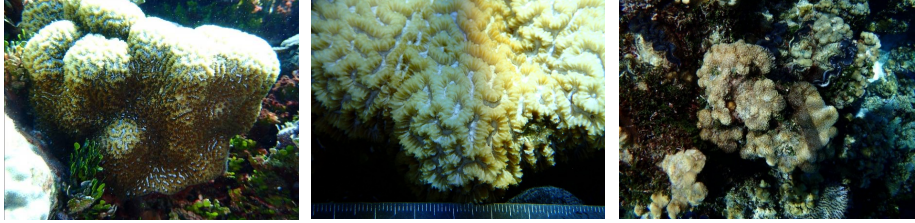
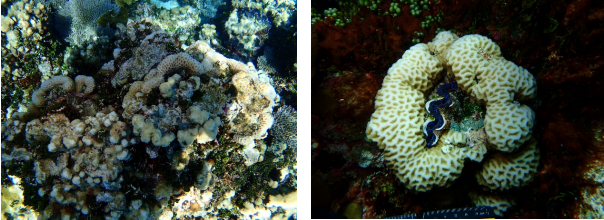

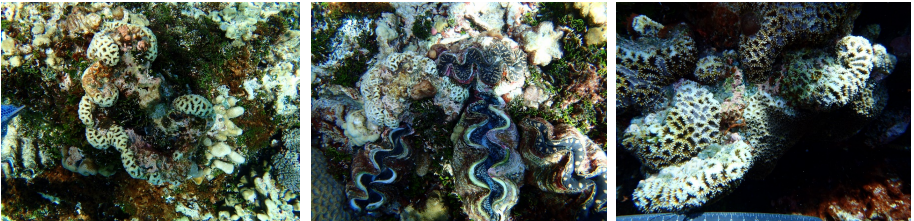

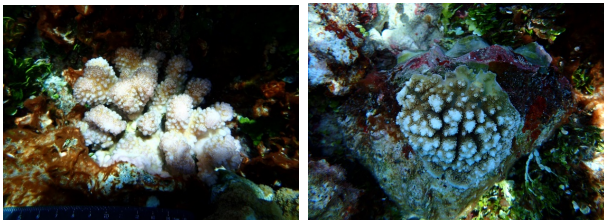
サンゴ分類	イメージ写真 (2019・2020年観察調査写真より)
塊状 (続き)	<p data-bbox="448 365 627 398">ハマサンゴ属</p> 
	<p data-bbox="448 656 627 689">ナガレサンゴ</p> 
	<p data-bbox="448 931 715 965">オオサザナミサンゴ</p> 
	<p data-bbox="448 1216 687 1249">ミダレノウサンゴ</p> 

表-IV.5.3.4 (5) 沖ノ鳥島におけるサンゴ分類

サンゴ分類	イメージ写真 (2019・2020年観察調査写真より)
格子模様あり塊状 (コカメノコキクメイシ、マルキクメイシ、ウスチャキクメイシ)	コカメノコキクメイシ 
	マルキクメイシ 
	ウスチャキクメイシ 
その他サンゴ	主なその他サンゴの一部 オオカメノコキクメイシ シワシコロサンゴ ハマシコロサンゴ  ハナヤサイサンゴ属 クシハダミドリイシ 

教師データの作成状況を図-IV.5.3.5 に示す。教師データは、図-IV.5.3.5 の赤枠領域内で作成するとともに R2 年度に分類精度が低かったサンゴ種はモザイク画像の全域で教師データを作成した。

作成したサンゴの教師データ数は、以下のとおりである。

- 樹枝状 (Acropora donei など) : 0 個
- コリンボース状 (ハリエダミドリイシなど) : 168 個
- 被覆状 (コモンサンゴ属など) : 77 個
- 塊状 (キクメイシ属・ハマサンゴ属など) : 236 個
- 格子模様あり塊状 (マルキクメイシなど) : 27 個
- その他サンゴ : 64 個

AI 解析は下記の区分で解析を行った。

7 区分 : (サンゴ 6 分類+非サンゴ) :

- 樹枝状 (Acropora donei など)
- コリンボース状 (ハリエダミドリイシなど)
- 被覆状 (コモンサンゴ属など)
- 塊状 (キクメイシ属・ハマサンゴ属など)
- 格子模様あり塊状 (マルキクメイシなど)
- その他サンゴ
- 非サンゴ

2 区分 : サンゴ、非サンゴ

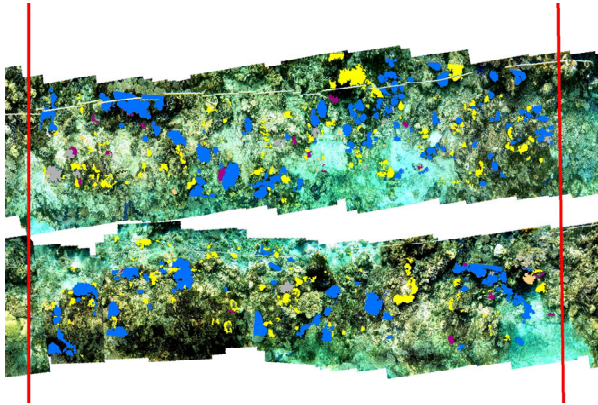
また、モデルの精度検証のため、図-IV.5.3.5 の青枠領域内の 2 領域で検証用データを作成した。

教師データ作成状況(着色部)

教師データ数 樹枝状(Acropora doneiなど): 0個
 コリンボース状(ハリエダミドリイシなど): 168個
 被覆状(コモンサンゴ属など): 77個※
 塊状(キクメイシ属・ハマサンゴ属など): 236個
 格子模様あり塊状(マルキクメイシなど): 27個
 その他サンゴ: 64個

※被覆状のサンゴは、領域の外側でも教師データを作成

教師データ作成範囲



凡例	
■	コリンボース状 (ハリエダミドリイシなど)
■	被覆状 (コモンサンゴ属など)
■	塊状 (キクメイシ属・ハマサンゴ属など)
■	格子模様あり塊状 (マルキクメイシなど)
■	その他サンゴ

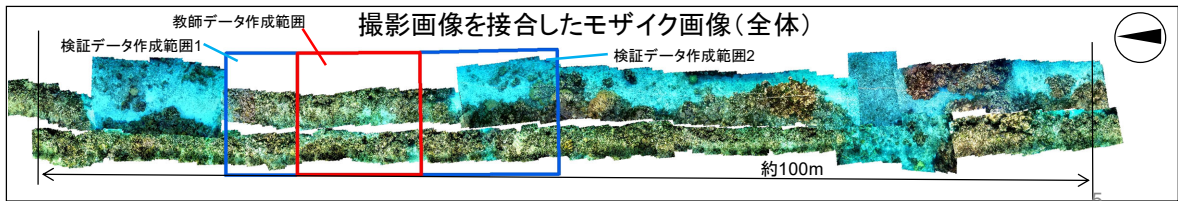


図-IV. 5. 3. 5 教師データ作成状況と検証データ作成エリア (沖縄海域)

(3) 被度分類解析結果・分類精度のまとめ

1) 沖縄海域（浦底湾）

2021年撮影の浦底湾の水中画像で作成した教師データを用いて学習させたモデルの、検証エリアにおけるサンゴ分類結果を図-IV.5.3.6に示す。

また、過年度業務（2020年）で作成した教師データを追加し学習させたモデルの分類結果を図-IV.5.3.7に示す。

分類精度について、過年度と今年度（単年、複数年の学習モデル）を比較し整理した結果を表-IV.5.3.5に示す。

- ・2分類の分類精度は、2021年単年の学習モデルでは、サンゴの分類精度は83%、2020～2021年複数年の学習モデルでは、サンゴの分類精度は79%であった。概ね事業計画目標の80%は達成した。
- ・5分類の分類精度は、2021年単年の学習モデルでは、昨年度に比べて精度は向上した。テーブル状のサンゴは教師データが増えたこと、樹枝状、コリンボース状のサンゴはモデルの改良が精度向上の要因の1つと推定される。
- ・2020～2021年複数年の学習モデルでは、コリンボース状のサンゴの分類精度は80%であった。コリンボース状のサンゴは概ね事業計画目標の80%を達成した。それ以外のサンゴは未達成であった。

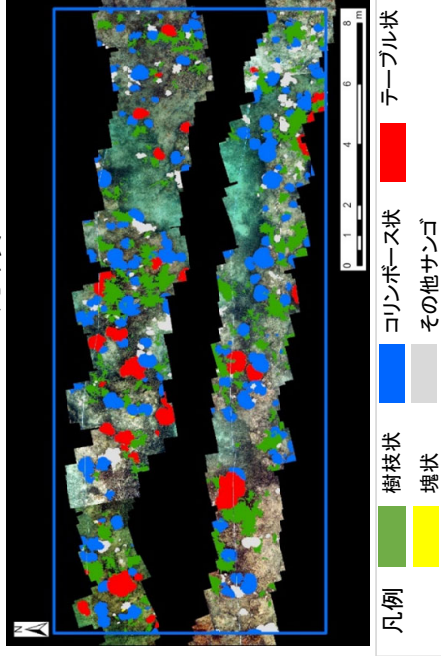
表-IV.5.3.5 分類精度の過年度比較

分類	プロデューサー精度	2020年	2021年	2020～2021年
サンゴ 5分類+ 非サンゴ	樹枝状 (スギノキミドリイシなど)	59%	71%	73%
	コリンボース状 (ハナガサミドリイシ、ヨロミドリイシなど)	76%	79%	80%
	テーブル状 (クニハダミドリイシなど)	65%	70%	64%
	塊状 (ハマサンゴ属など)	0%	10%	0%
	その他サンゴ	8%	35%	19%
	非サンゴ	96%	92%	91%
	全体精度	84%	84%	83%
	kappa係数	0.70	0.69	0.68
2分類	サンゴ	72%	83%	79%
	非サンゴ	95%	75%	88%
	全体精度	86%	78%	85%
	kappa係数	0.69	0.55	0.67

備考) 2021年、2020～2021年の面積集計結果の詳細は表-IV.5.3.6～表-IV.5.3.7に示す。

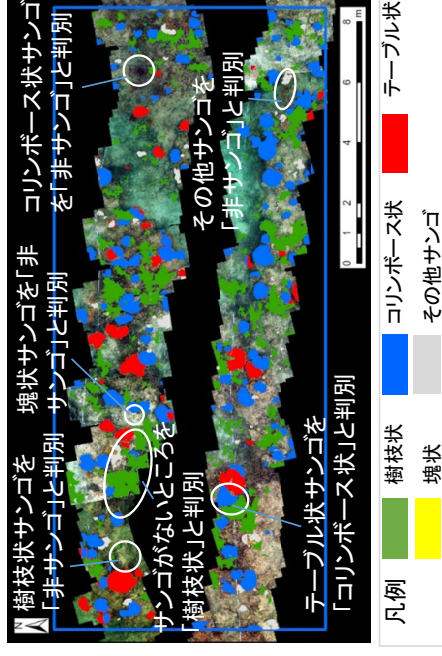
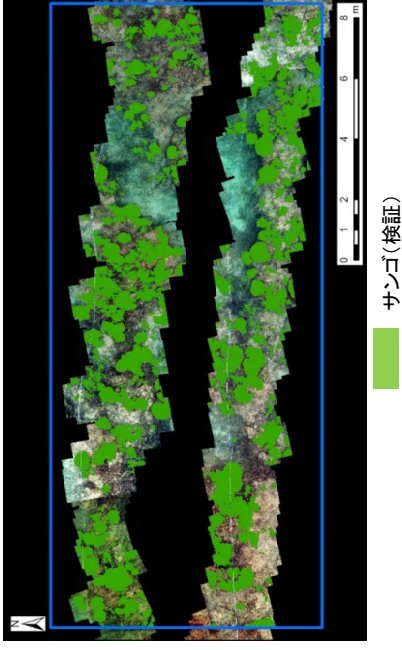
全体精度:対象地の被度の中で、正しく画像分類された割合を表す比。(正しい分類面積/総面積)
 Kappa係数:1から-1の値をとり、1に近いほど予測結果が良いとされ、0以下は偶然の一致とされる。Landis JR, Koch GG(1977)の基準によれば、0.41～0.60は中程度の一致、0.61～0.80は高度の一致、0.81～1.00はほぼ完全な一致とされる。

サンゴ5分類

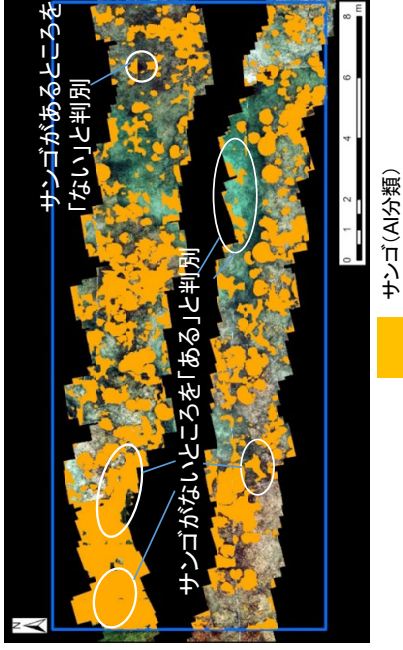


正解
データ

2分類



AI分類
結果



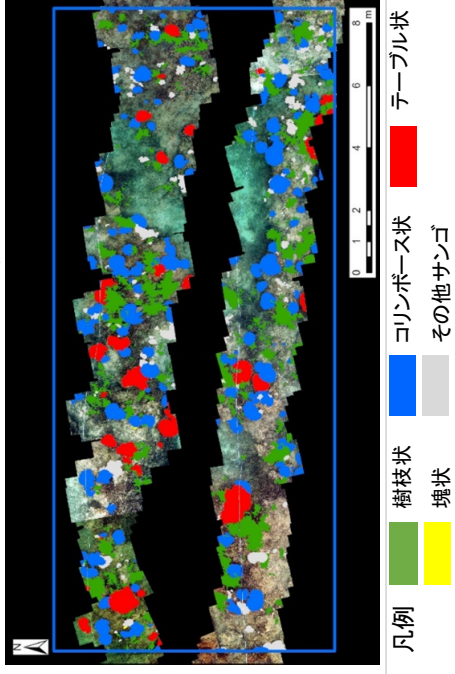
分類結果

検証範囲の全域にわたり概ね分類できているが、画像の色調が暗いところや死サンゴを誤分類している箇所などがある。

画像の色調が暗いところは誤分類している箇所が多くみられる。

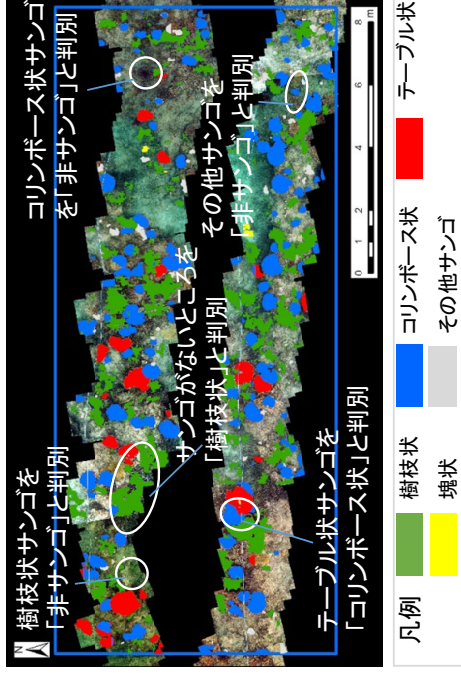
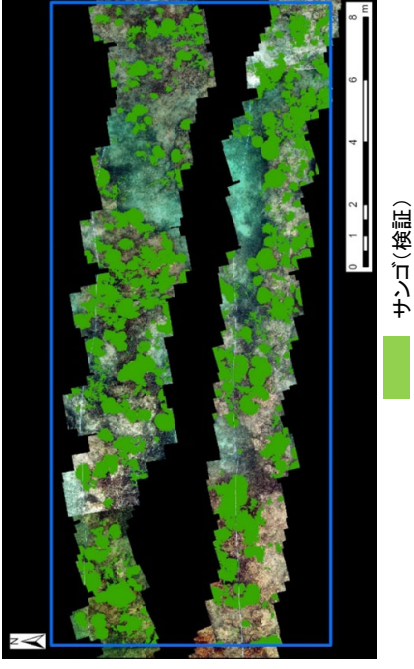
図-IV.5.3.6 水中カメラ撮影結果のモザイク画像に対するサンゴ分類解析結果 [沖縄海域の検証エリア、2021年]

サンゴ5分類

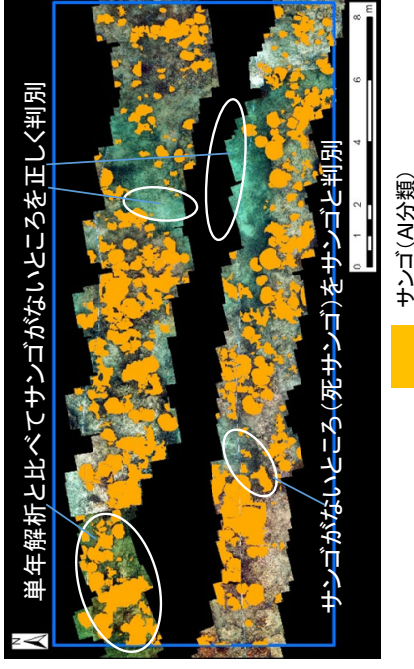


正解
データ

2分類



AI分類
結果



分類結果
単年解析と同様に、画像の色調が暗いところや死サンゴを誤分類している箇所などがある。

図-IV. 5.3.7 水中カメラ撮影結果のモザイク画像に対するサンゴ分類解析結果 [沖繩海域の検証エリア、2020～2021年]

表-IV. 5. 3. 6 沖縄海域の検証エリア 2021年教師モデル 5分類精度表

分類精度表 (㎡)		分類結果						行方向総和	プロデューサ精度
		樹枝状	コリンボース状	テーブル状	塊状	その他サンゴ	非サンゴ		
照合用クラス	樹枝状	9.34	0.07	0.02	0.00	0.04	3.77	13.23	70.6%
	コリンボース状	0.12	11.28	0.34	0.00	0.10	2.51	14.34	78.6%
	テーブル状	0.04	0.71	3.88	0.00	0.10	0.80	5.55	70.0%
	塊状	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	10.0%
	その他サンゴ	0.10	0.12	0.06	0.00	1.34	2.27	3.89	34.5%
	非サンゴ	4.61	0.62	0.25	0.00	0.24	63.61	69.32	91.8%
列方向総和		14.21	12.80	4.55	0.00	1.83	72.96	106.35	
ユーザー精度		65.7%	88.1%	85.3%	54.4%	73.2%	87.2%		
								全体精度	84.1%
								kappa係数	0.69

表-IV. 5. 3. 7 沖縄海域の検証エリア 2021年教師モデル 2分類精度表

分類精度表 (㎡)		分類結果		行方向総和	プロデューサ精度	
		サンゴ	非サンゴ			
照合用クラス	サンゴ	30.81	6.22	37.03	83.2%	
	非サンゴ	17.07	52.25	69.32	75.4%	
列方向総和		47.89	58.47	106.35		
ユーザー精度		64.3%	89.4%			
					全体精度	78.1%
					kappa係数	0.55

表-IV. 5. 3. 8 沖縄海域の検証エリア 2020~2021年教師モデル 5分類精度表

分類精度表 (㎡)		分類結果						行方向総和	プロデューサ精度
		樹枝状	コリンボース状	テーブル状	塊状	その他サンゴ	非サンゴ		
照合用クラス	樹枝状	9.7	0.0	0.0	0.0	0.1	3.4	13.2	73.3%
	コリンボース状	0.1	11.4	0.3	0.0	0.1	2.4	14.3	79.8%
	テーブル状	0.0	0.7	3.6	0.0	0.1	1.2	5.6	64.1%
	塊状	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0%
	その他サンゴ	0.1	0.2	0.1	0.0	0.7	2.8	3.9	19.0%
	非サンゴ	5.1	0.5	0.2	0.1	0.2	63.1	69.3	91.1%
列方向総和		15.0	12.9	4.1	0.1	1.3	72.9	106.35	
ユーザー精度		64.6%	88.8%	85.9%	0.0%	59.0%	86.6%		
								全体精度	83.3%
								kappa係数	0.68

表-IV. 5. 3. 9 沖縄海域の検証エリア 2020~2021年教師モデル 2分類精度表

分類精度表 (㎡)		分類結果		行方向総和	プロデューサ精度	
		サンゴ	非サンゴ			
照合用クラス	サンゴ	29.24	7.79	37.03	79.0%	
	非サンゴ	8.04	61.28	69.32	88.4%	
列方向総和		37.28	69.07	106.35		
ユーザー精度		78.4%	88.7%			
					全体精度	85.1%
					kappa係数	0.67

2) 沖ノ鳥島海域

2021年撮影の沖ノ鳥島海域の水中画像で作成した教師データを用いて学習させたモデルの、検証エリア範囲(1)、(2)におけるサンゴ分類結果を図-IV.5.3.8に示す。

また、過年度業務(2019年、2020年)で作成した教師データを追加し学習させたモデルの分類結果を図-IV.5.3.9に示す。

分類精度について、過年度と今年度(単年、複数年の学習モデル)を比較し整理した結果を表-IV.5.3.10に示す。

- ・2分類の分類精度は、2021年単年の学習モデルでは、サンゴの分類精度は65%、過年度に比べて精度は向上した。これは撮影方法の改善による、教師データの質の向上が精度向上の要因の1つと推定される。
- ・2019～2021年複数年の学習モデルでは、サンゴの分類精度は72%まで向上した。
- ・6分類の分類精度は、2021年単年の学習モデルでは、被覆状のサンゴは50%となり、過年度に比べて精度は向上した。教師データ数が増えたことによる。
- ・2019～2021年複数年の学習モデルでは、塊状のサンゴは精度向上するが、それ以外のサンゴについては、分類精度は横ばい又は低下した。
- ・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-IV.5.3.10 分類精度の過年度比較

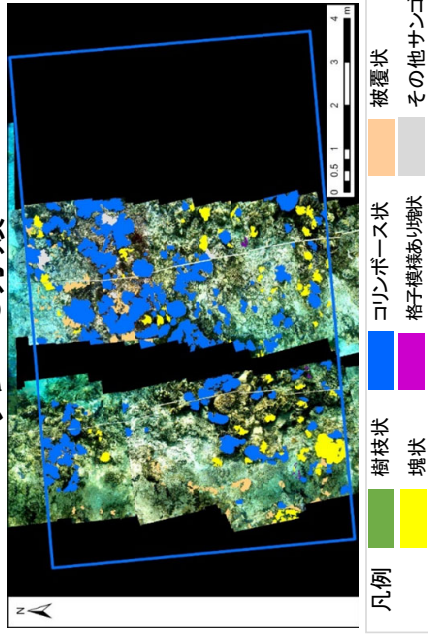
分類	プロデューサー精度	2019年	2020年	2021年	2019～2021年
サンゴ 6分類+ 非サンゴ	樹枝状 (Acropora doneiなど)	0%	16%	検証データに存在しない	検証データに存在しない
	コリンボース状 (ハリエタトリスなど)	84%	69%	72%	71%
	被覆状 (コモンサンゴ属など)	1%	0%	50%	28%
	塊状 (キクメイシ属・ハマサンゴ属など)	31%	54%	43%	57%
	格子模様あり塊状 (マルキクメイシなど)	7%	0%	6%	0%
	その他サンゴ	検証データに存在しない	0%	1%	0%
	非サンゴ	99%	98%	96%	97%
	全体精度	95%	92%	90%	92%
	kappa係数	0.50	0.55	0.63	0.68
2分類	サンゴ	49%	56%	65%	72%
	非サンゴ	98%	95%	97%	97%
	全体精度	95%	91%	92%	93%
	kappa係数	0.53	0.53	0.68	0.73

備考) 2021年、2019～2021年の面積集計結果の詳細は表-IV.5.3.11～表-IV.5.3.14に示す。

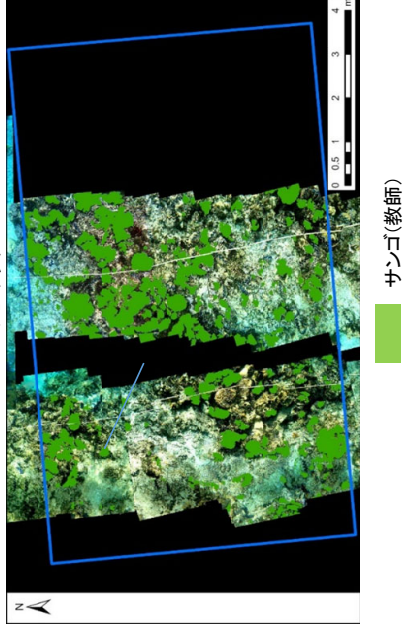
全体精度:対象地の被度の中で、正しく画像分類された割合を表す比。(正しい分類面積/総面積)
Kappa係数:1から-1の値をとり、1に近いほど予測結果が良いとされ、0以下は偶然の一致とされる。Landis JR, Koch GG(1977)の基準によれば、0.41～0.60は中程度の一致、0.61～0.80は高度の一致、0.81～1.00はほぼ完全な一致とされる。

正解
データ

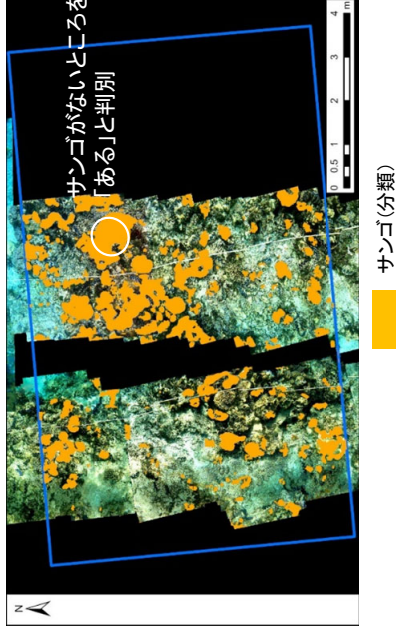
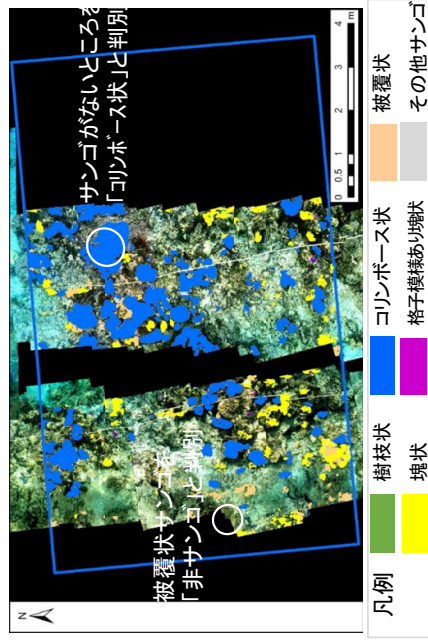
サンゴ6分類



2分類



AI分類
結果



分類結果

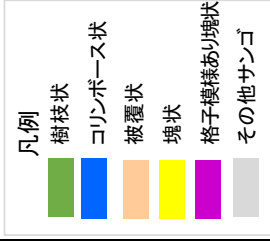
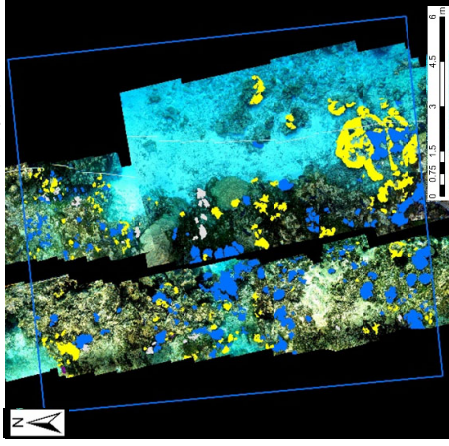
検証範囲の全域にわたり概ね分類できているが、死サンゴを誤分類している箇所がある。

検証範囲の全域にわたり概ね分類できているが、死サンゴを誤分類している箇所がある。

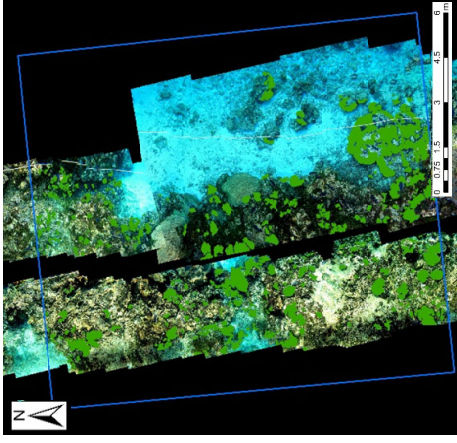
図-IV.5.3.8 (1) 水中カメラ撮影結果のモザイク画像に対するサンゴ分類解析結果〔沖ノ島海域の検証エリア1、2021年〕

正解
データ

サンゴ6分類

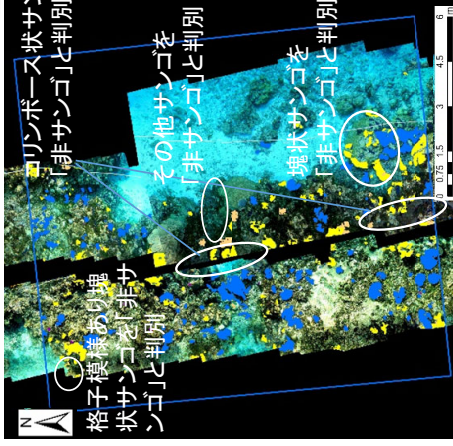


2分類

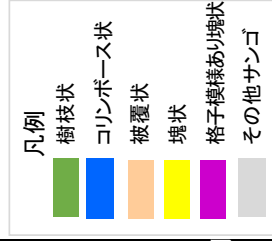


サンゴ(教師)

AI分類
結果



サンゴ(分類)



サンゴがあると
ころを「ない」と
判別

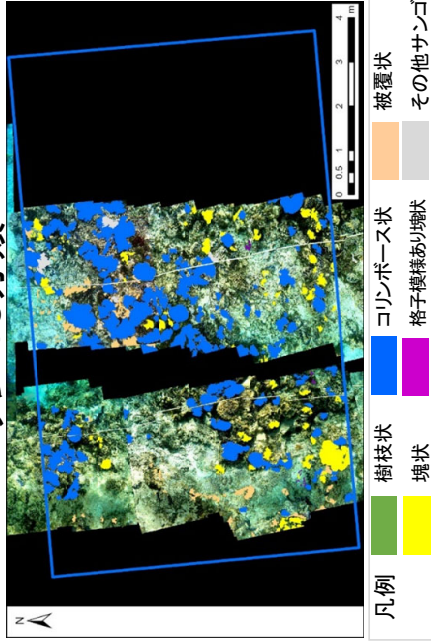
分類結果 検証範囲の全域にわたり概ね分類できているが、画像の色調が暗いところや塊状サンゴで分類できていないところがある。

検証範囲の全域にわたり概ね分類できているが、塊状サンゴの部分で分類できていないところがある。

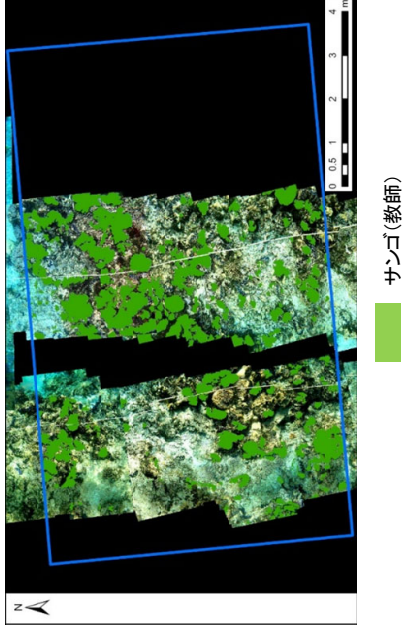
図-IV.5.3.8 (2) 水中カメラ撮影結果のモザイク画像に対するサンゴ分類解析結果〔沖ノ鳥島海域の検証エリア2、2021年〕

正解
データ

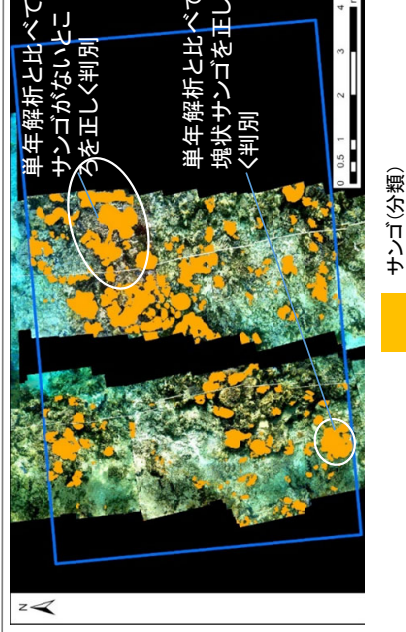
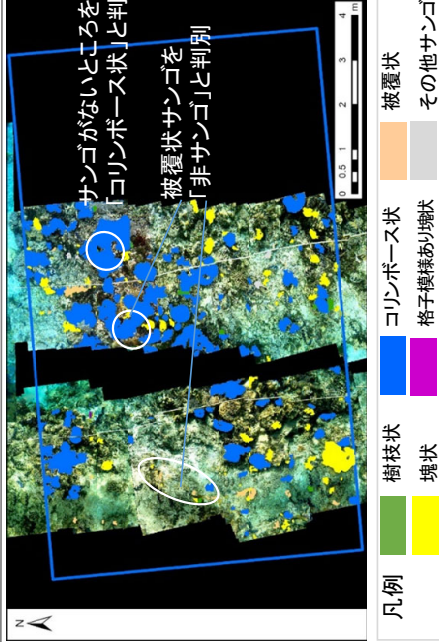
サンゴ6分類



2分類



AI分類
結果

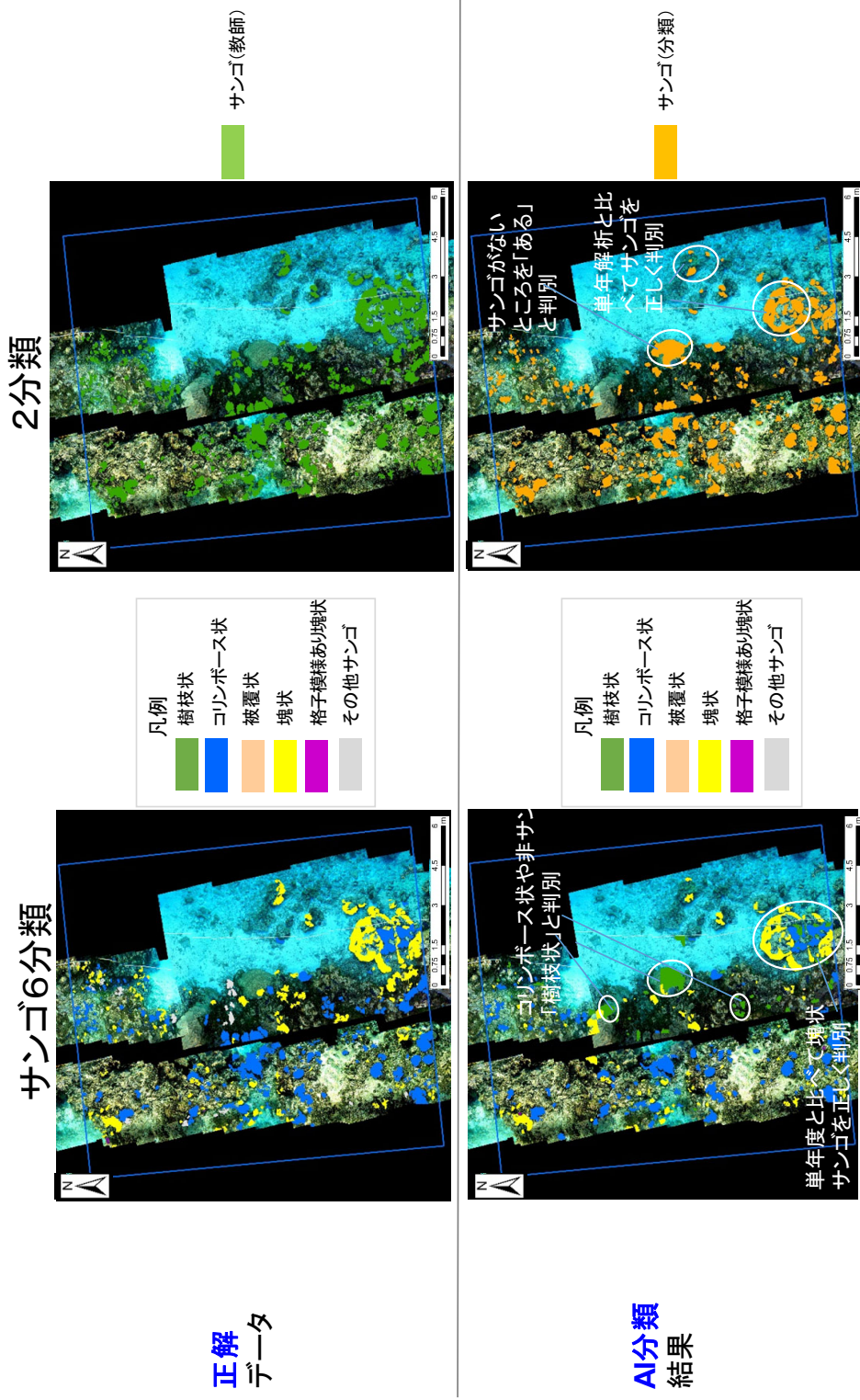


分類結果

単年解析と同様に、死サンゴをコロニーポース状と誤分類している箇所がある。被覆状サンゴを分類できない箇所が単年解析に比べて増加した。

単年解析と比べて色調の暗いところでも非サンゴを正しく分類できた。

図-IV.5.3.9 (1) 水中カメラ撮影結果のモザイク画像に対するサンゴ分類解析結果 [沖ノ島海域の検証エリア 1、2019～2021年]



分類結果 単年解析と比べて塊状サンゴを正しく分類できたが、コリンボース状や非サンゴを樹枝状と誤分類している箇所がある。

単年解析と比べて色調の暗いところでもサンゴを正しく分類できたが、岩をサンゴと誤分類している箇所がある。

図-IV.5.3.9 (2) 水中カメラ撮影結果のモザイク画像に対するサンゴ分類解析結果 [沖ノ鳥島海域の検証エリア 2、2019～2021年]

表-IV. 5. 3. 11 沖ノ鳥島海域の検証エリア 2021年教師モデル 6分類精度表

分類精度表 (㎡)		分類結果							行方向総和	プロデューサ精度
		樹枝状	コリンボース状	被覆状	塊状	格子模様あり塊状	その他サンゴ	非サンゴ		
照合用クラス	樹枝状	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	#DIV/0!
	コリンボース状	0.00	11.27	0.02	0.18	0.00	0.03	4.06	15.56	72.4%
	被覆状	0.00	0.00	0.40	0.11	0.00	0.00	0.28	0.80	50.4%
	塊状	0.00	0.01	0.19	3.35	0.02	0.01	4.26	7.84	42.7%
	格子模様あり塊状	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.07	5.6%
	その他サンゴ	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.01	0.54	0.86	1.3%
	非サンゴ	0.00	1.79	0.92	2.56	0.09	0.05	128.49	133.91	96.0%
列方向総和		0.00	13.38	1.54	6.20	0.12	0.10	137.70	159.04	
ユーザー精度		#DIV/0!	84.2%	26.1%	54.0%	3.2%	11.6%	93.3%		
教師データがないため、分類対象外									全体精度	90.2%
									kappa係数	0.63

表-IV. 5. 3. 12 2沖ノ鳥島海域の検証エリア 2021年教師モデル 2分類精度表

分類精度表 (㎡)		分類結果		行方向総和	プロデューサ精度
		サンゴ	非サンゴ		
照合用クラス	サンゴ	16.39	8.74	25.13	65.2%
	非サンゴ	3.81	130.18	133.98	97.2%
列方向総和		20.19	138.91	159.11	
ユーザー精度		81.2%	93.7%		
全体精度					92.1%
kappa係数					0.68

表-IV. 5. 3. 13 沖ノ鳥島海域の検証エリア 2019~2021年教師モデル 6分類精度表

分類精度表 (㎡)		分類結果							行方向総和	プロデューサ精度
		樹枝状	コリンボース状	被覆状	塊状	格子模様あり塊状	その他サンゴ	非サンゴ		
照合用クラス	樹枝状	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	#DIV/0!
	コリンボース状	0.69	11.05	0.00	0.01	0.00	0.03	3.78	15.56	71.0%
	被覆状	0.00	0.01	0.22	0.14	0.00	0.00	0.43	0.80	27.7%
	塊状	0.05	0.01	0.02	4.50	0.00	0.00	3.26	7.84	57.3%
	格子模様あり塊状	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.0%
	その他サンゴ	0.02	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	0.86	0.0%
	非サンゴ	1.23	1.48	0.04	1.01	0.03	0.06	130.06	133.92	97.1%
列方向総和		1.99	12.91	0.28	5.65	0.03	0.10	138.08	159.04	
ユーザー精度		0.0%	85.6%	78.7%	79.6%	0.0%	0.4%	94.2%		
全体精度									91.7%	
kappa係数									0.68	

表-IV. 5. 3. 14 沖ノ鳥島海域の検証エリア 2019~2021年教師モデル 2分類精度表

分類精度表 (㎡)		分類結果		行方向総和	プロデューサ精度
		サンゴ	非サンゴ		
照合用クラス	サンゴ	17.96	7.17	25.13	71.5%
	非サンゴ	3.64	130.33	133.97	97.3%
列方向総和		21.59	137.50	159.10	
ユーザー精度		83.2%	94.8%		
全体精度					93.2%
kappa係数					0.73

3.5 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」、「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-IV.5.3.15 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。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-IV.5.3.18 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 13 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 13.1 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

① + ② = 約 13 日間

表-IV.5.3.15 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
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72m²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120m²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

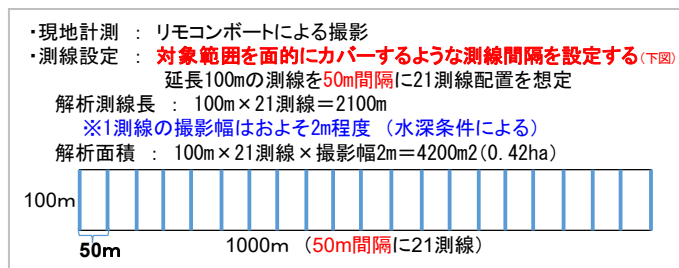


図-IV.5.3.10 対象範囲 10ha の現地計測イメージ

3.6 考察

沖縄海域（浦底湾）、沖ノ鳥島海域ともに、昨年度に比べて分類精度の向上はみられたが、事業計画目標とする分類精度 80%は一部を除いて未達成であった。そこで、沖縄海域（浦底湾）、沖ノ鳥島海域の解析結果について、AI 分類精度の低下要因を整理し、対応策を検討した。

(1) 学習個数と分類精度の関係

1) 沖縄海域（浦底湾）

2021 年単年の学習モデルと、2020～2021 年複数年の学習モデルの AI 解析結果より、学習個数と分類精度の関係を整理し、図-IV.5.3.11 に示す。

- ・樹枝状のサンゴは、教師データが増えることで精度は 73%まで向上するが、伸び率は鈍化している。
- ・テーブル状のサンゴは、もともと撮影画像に分布が少なく、教師を増やしたが期待通りに分類精度は向上しない。
- ・その他サンゴは教師データが増えることで分類精度は低下している。

以上より、分類精度の向上には、今までの方法で教師データを増やす以外の対応策が必要と考えられる。

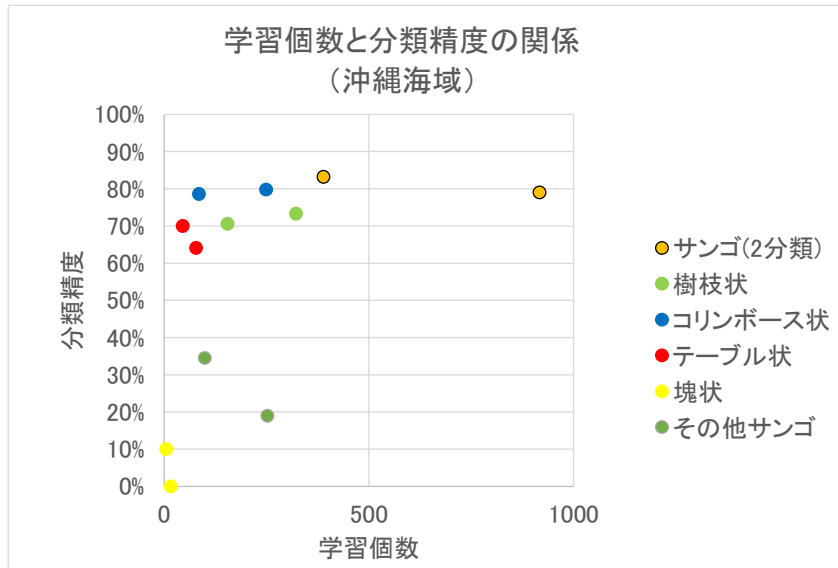


図-IV.5.3.11 学習個数と分類精度の関係（沖縄海域）

2) 沖ノ鳥島

2021年単年の学習モデルと、2019～2021年複数年の学習モデルのAI解析結果より、学習個数と分類精度の関係を整理し、図-IV.5.3.12に示す。

- ・2分類の分類精度は、教師データが増えることで精度は70%程度まで向上するが、伸び率は鈍化している。
- ・コリンボース状のサンゴは、教師データを増やしても精度は70%程度である。
- ・塊状のサンゴは教師データが増えることで精度向上している。
- ・被覆状のサンゴは教師データが増えることで分類精度は低下している。
- ・教師データを増やすために使用した2019～2020年の教師データは、従来の撮影方法による低精度画像（白飛びあり）のため、教師データの質も、精度の伸び率に影響している。

以上より、分類精度の向上には、質の高い教師データを増やしつつ、新たな対応策も必要と考えられる。

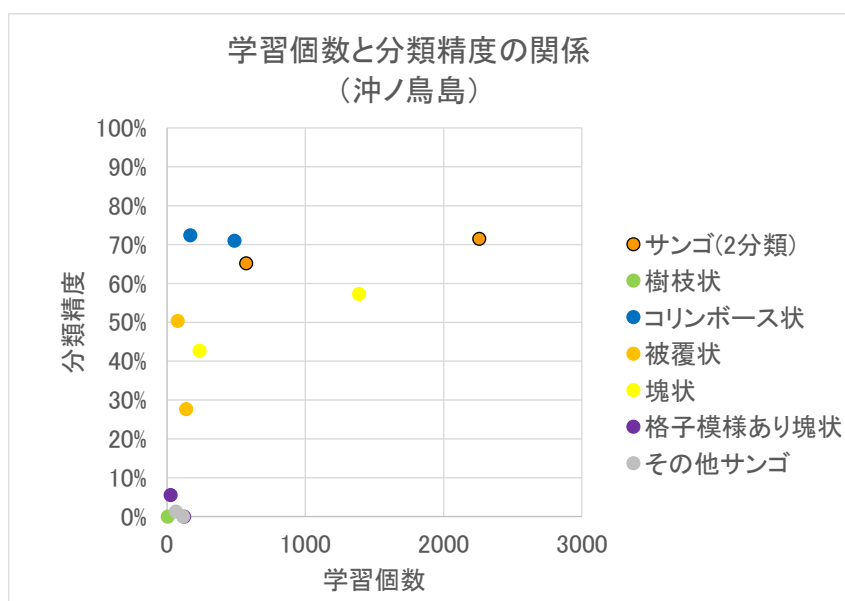


図-IV.5.3.12 学習個数と分類精度の関係（沖ノ鳥島海域）

(2) 誤分類のパターン整理

1) 沖縄海域（浦底湾）

沖縄海域の 5 分類の分類解析結果について、誤分類がみられた箇所を確認したところ、主な誤分類は表-IV. 5. 3. 16 に示す①～⑤のパターンに分けられた。

パターン①と②では、画像の色調が暗い箇所で誤分類が生じていた。

パターン③では、赤色のテーブル状サンゴで誤分類がみられ、赤色のサンゴがコリンボース状で多いことが誤分類の要因と考えられた。

パターン④では、死サンゴを誤分類しているものであり、色味によって生死が違うサンゴの判別が難しく、精度低下を招いていると考えられた。

パターン⑤は本海域における分布面積が小さく（全体面積の 0.1%以下）、教師データが少ないことが原因と考えられた。

パターン⑥は多様な種が含まれているため、教師データが少ないことが分類精度の低下要因と考えられた。

2) 沖ノ鳥島海域

沖ノ鳥島海域の 6 分類の分類解析結果について、誤分類がみられた箇所を確認したところ、主な誤分類は表-IV. 5. 3. 17 に示す①～⑥のパターンに分けられた。

パターン①では、画像の色調が暗い箇所で誤分類が生じていた。

パターン②と③では、岩と誤分類しているものであり、表面の質感によって岩かサンゴかの判別が難しく、精度の低下を招いている、③については、画像の色調が暗いことも原因と考えられた。

パターン④は死サンゴを誤分類しているものであり、色味によって生死が違うサンゴの判別が難しく、精度の低下を招いていると考えられた。

パターン⑤では、本海域における分布面積が小さく、教師データが少ないことが原因と考えられた。

パターン⑥では、多様な種が含まれているため、教師データが少ないことが分類精度の低下要因と考えられた。

(3) 精度向上に向けた課題・対応策（案）

主な誤分類に対する精度向上に向けた策を検討し、表-IV. 5. 3. 18 に示した。

画像の色調が暗い箇所で生じる誤分類への対応としては、モザイク画像のカラー調整の実施が考えられる。

異例な色のサンゴを誤分類することへの対応としては、AI 学習モデルのデータ拡張機能の改良、死サンゴを誤分類することへの対応は、死サンゴのモデル追加が考えられる。

岩と塊状サンゴを判別ができないもの、もともとの面積が小さいサンゴ、多様な種が含まれるサンゴは、現状の技術では AI による判別精度の向上は難しいため、個別分類は行わずに 2 分類により把握する方法が考えられる。

表-IV. 5. 3. 16 誤分類のパターン（沖縄海域）

誤分類	① 樹枝状のサンゴの一部を「非サンゴ」と判別	② コリンボース状のサンゴの一部を「非サンゴ」と判別	③ テーブル状のサンゴの一部を「コリンボース状サンゴ」と判別	④ サンゴがないところを「樹枝状サンゴ」と判別	⑤ 塊状のサンゴを「非サンゴ」と判別	⑥ その他サンゴを「非サンゴ」と判別
元画像						
正解						
AI分類						
分類精度の低下要因	<p>画像の色調が暗いことが原因と考えられる。</p>					



表-IV.5.3.17 誤分類のパターン（沖ノ島海域）

誤分類	① 短い枝状のサンゴの一部を「非サンゴ」と判別	② 被覆状のサンゴの一部を「非サンゴ」と判別	③ 塊状のサンゴの一部を「非サンゴ」と判別	④ サンゴがないところを「短い枝状サンゴ」と判別	⑤ 格子模様あり塊状のサンゴを「非サンゴ」と判別	⑥ その他サンゴを「非サンゴ」と判別
元画像						
正解						
AI分類						
分類精度の低下要因	画像の色調が暗いことが原因となっており、暗い部分が多いため、教師データが少ないことが原因となっている。	岩と誤分類しているものであり、表面の質感によって岩かサンゴかの判別が難しく、精度の低下を招いていると考えられる。(画像上のサンゴ・岩の判別の定義が明確ではないため、分類できない) ③は、画像の色調が暗いことも原因となっているものと考えられる	死サンゴを誤分類しているものであり、色味によって生色が違うサンゴの判別が難しく、精度の低下を招いていると考えられる。	死サンゴを誤分類しているものであり、色味によって生色が違うサンゴの判別が難しく、精度の低下を招いていると考えられる。	本海域における分布面積が小さく、教師データが少ないことが原因となっている。	多様な種が含まれているため、教師データが少ないことが原因となっている。

凡例 樹枝状 短い枝状 被覆状 塊状 格子模様あり塊状 その他サンゴ

表-IV.5.3.18 精度向上に向けた課題・対応策（案）

分類精度の低下要因	課題	対応策（案）
<u>画像の色調が暗いことが原因と考えられる。</u>	画像の色調変化への対応	<p>●モザイク画像のカラー調整の実施 （現状は、モザイク処理した画像を加工せずに使用しているが、画像のカラー調整を行うことで、色調が一致したモザイク画像を作成する。）</p>
<u>赤色のテーブル状サンゴで誤分類がみられ、赤色のサンゴがコリンボース状で多いことが精度低下を招いていると考えられる。</u>	異例な色のサンゴへの対応	<p>●AI 学習モデルの改良（カラー調整の追加による、データ拡張） （現状モデルでは、明暗・コントラスト・ノイズ・ぼかしの度合いを調整することで教師データの不足を補っているが、それにカラー調整を加えることで色調変化への対応を図る。）</p>
<u>死サンゴを誤分類しているものであり、色味によって生死が違うサンゴの判別が難しく、精度低下を招いていると考えられる。</u>	色味によって生死が違うサンゴの判別への対応	<p>●AI 学習モデルの改良（死サンゴのモデルの追加） （色味による生死の違いを明確に学習させる必要があるため、死サンゴのモデルを新たに作成する。）</p>
<u>岩と誤分類しているものであり、表面の質感によって岩かサンゴかの判別が難しく、精度の低下を招いていると考えられる。</u>	表面の質感によって岩かサンゴかを判別することへの対応	<p>●個別分類は行わずに2分類により把握 （岩と被覆状・塊状サンゴの区分は、現状の技術では AI による精度向上は難しい。また、多様な種が含まれるサンゴを学習させるには、膨大な教師データが必要となる可能性が高いため、個別分類は行わずに2分類により把握する。）</p>
<u>本海域における分布面積が小さく、教師データが少ないことが原因と考えられる。</u>	分布面積が小さいサンゴへの対応	
<u>多様な種が含まれているため、教師データが少ないことが原因と考えられる。</u>	多様な種が含まれているサンゴへの対応	

その他、分類精度向上の対応策として、本 AI モデルは海域画像の解析用に開発されたものではないことから、安定して性能を発揮できるよう、事前に大量のサンゴ画像を AI に記憶されることで安定を図る、事前学習により AI 学習モデルを改良する方法もある。

4. 結果のまとめと今後の課題

(1) 結果のまとめ

今年度実施したサンゴ分類の高精度化の検証結果のまとめを以下に示す。

1) 沖縄海域（浦底湾）

- ・ 2 分類の分類精度は、事業計画目標とする分類精度 80%を概ね達成した。
- ・ サンゴ種別では、モデルの改良や教師データを増やすことで精度は向上したが、樹枝状やテーブル状のサンゴは 70%程度の分類精度であった。
- ・ 更なる分類精度の向上には、今までの方法で教師データを増やす以外の誤分類への新たな対応が必要となる。

2) 沖ノ鳥島海域

- ・ 2 分類の分類精度は、撮影方法の改善により分類精度は向上した。しかし、目標は未達であった。
- ・ サンゴ種別では、教師データを増やしても、コリンボース状サンゴは 70%程度であった。
- ・ 更なる分類精度の向上には、質の高い教師データを蓄積しつつ、誤分類への新たな対応も必要となる。

(2) 分類精度の向上に関する今後の課題

今年度の解析結果について、誤分類がみられた箇所を確認し、AI 分類精度の低下要因を整理し、対応策を検討した。

誤分類への新たな対応策としては、沖縄海域（浦底湾）・沖ノ鳥島海域の両海域において、①モザイク画像のカラー調整の実施、②AI 学習モデルの改良（データ拡張にカラー調整を追加する、新たに死サンゴモデルを追加する）、③個別分類するサンゴ種の絞り込みの実施（AI 解析により精度向上が期待される種を対象にサンゴ種を絞り込む：図-IV.5.4.1 参照）が考えられた。併せて、沖ノ鳥島海域では、質の高い教師データの蓄積の実施も課題となる。

沖縄海域

- ・ サンゴ・非サンゴの2分類 + 以下3種のサンゴ種別の分類

樹枝状 スギノキミドリイシなど	コリンボース状 ハナガサミドリイシ、コビミドリイシなど	テーブル状 クシハダミドリイシなど
		

沖ノ鳥島

- ・ サンゴ・非サンゴの2分類 + 以下1種のサンゴ種別の分類

コリンボース状 ハリエダミドリイシなど


図-IV.5.4.1 絞り込みを行った分類区分

5. 次年度の計画（案）

(1) 次年度の目的（案）

1) 沖縄海域（浦底湾）

R3 年度に実施した AI 解析結果を踏まえ、誤分類への新たな対応の実施により、サンゴ種別の分類精度の向上を図る。

2) 沖ノ鳥島

質の高い学習データの蓄積を図る。

(2) 次年度の検証項目（案）

1) 沖縄海域（浦底湾）

【次年度検証項目】

- ・モザイク画像のカラー調整の実施、AI 学習モデルの改良、個別分類するサンゴ種の絞り込みによる、サンゴ分類の高精度化の検証
- ・分類作業の効率化の検証

2) 沖ノ鳥島

【次年度検証項目】

- ・撮影画像の高精度化（ブレや白飛びを抑えた画像取得）による、サンゴ分類の高精度化の検証

(3) 次年度アプローチ方法（案）

1) 沖縄海域（浦底湾）

①2020 年、2021 年撮影のモザイク画像を用いて、カラー調整の実施、死サンゴの教師データ・検証データの作成

②AI 学習モデルを改良、精度検証

（2020 年単年、2021 年単年、2020～2021 年複数年の学習モデルで検証）

2) 沖ノ鳥島

①サンゴ画像の撮影、水中観察

②撮影画像のモザイク化、教師データ・検証データの作成

③沖ノ鳥島の AI 学習モデルで分類解析を実施、精度検証

（2022 年単年の学習モデルで検証）

(4) 次年度スケジュール（案）

4 月～7 月：沖縄海域のモザイク画像のカラー調整、死サンゴの教師・検証データ作成

8 月～2 月：沖縄海域のモデル改良、精度検証、課題抽出

5 月末～6 月初旬：沖ノ鳥島におけるサンゴ被度計測、撮影画像の確認・検証

6 月～9 月：沖ノ鳥島の撮影画像のモザイク化、教師・検証データ作成

10 月～2 月：沖ノ鳥島の AI 学習モデル解析、精度検証