

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-5-3-4
3.3 撮影画像の高精度化の検証	IV-5-3-5
3.4 サンゴ被度分類結果	IV-5-3-8
3.5 分類作業の効率化の検証	IV-5-3-37
4. 結果のまとめと今後の課題	IV-5-4-1
5. 次年度の計画（案）	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

(1) サンゴ分類の高精度化、高効率化（実証海域）

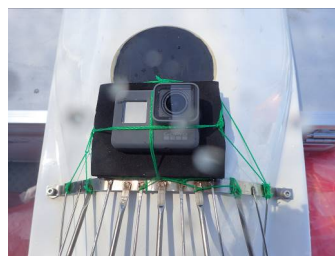
船上水中カメラ撮影により画像計測を行い、サンゴ分類をより精度よく、効率的に計測する技術の開発を行う。

サンゴ計測技術について、リモコンボート取付水中カメラによる撮影を行い、撮影の効率化について検証するとともに、撮影画像が計画測線上をブレなどの少ない高精度な画像が取得できるような技術を開発する。

サンゴ分類技術について、AI（深層学習モデル）を活用し、サンゴ分類解析にかかる労力の 50%以上の効率化を図ることを目指す。新たなサンゴ礁画像を取得し、教師データを増やすことで、さらなる分類精度向上を目指す。



リモコンボート撮影状況



水中カメラ取付状況

図-IV.5.1.1 ICT 技術によるサンゴ被度計測イメージ

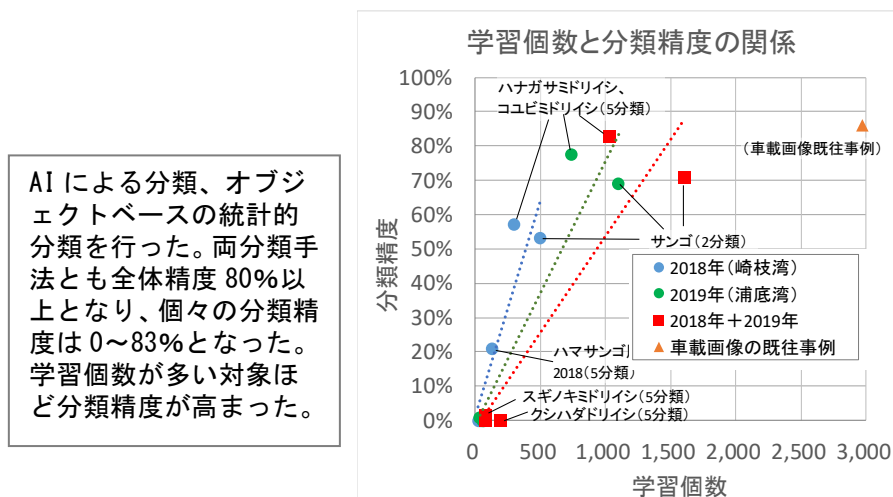


図-IV.5.1.2 昨年度の AI（深層学習モデル）分類結果

(2) 沖ノ鳥島で計測方法の改善、AI によるサンゴ分類解析の実施

リモコンボート取付水中カメラによる撮影を行い、撮影の効率化について検証するとともに、AI を活用したサンゴ分類解析を行い精度検証する。

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

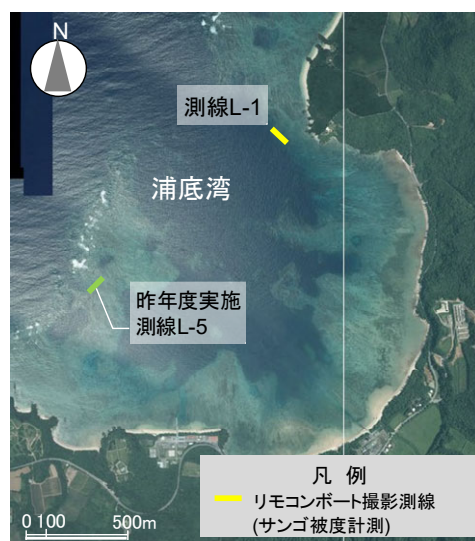
項目	検証項目	分類、解析手法
サンゴ 計測技術	① リモコンボート取付水中カメラ撮影 によるサンゴ被度計測	・実証海域において、撮影画像取得の効率化と、撮影画像の高精度化（船体またはカメラの動揺を抑え、ブレのない画像の取得）を検証する。 ・沖ノ鳥島において計測方法の改善（リモコンボートによる撮影）による効率化を検証する。
サンゴ 分類技術	① 統計的分類手法による分類 （教師あり分類）	・リモコンボート水中撮影について分類、検証する。（AI 学習との比較用）
	② AI（深層学習）による分類	・実証海域において、異なる場所でのサンゴ画像撮影による学習データの蓄積、歪みの少ないオルソ画像作成手法、AI 学習モデルのサンゴ分類の高精度化と分類作業の効率化を検証する。 ・沖ノ鳥島において R1 年度撮影したサンゴ画像とあわせた AI 学習モデルによる分類解析を実施し、精度検証する。

2.2 調査位置

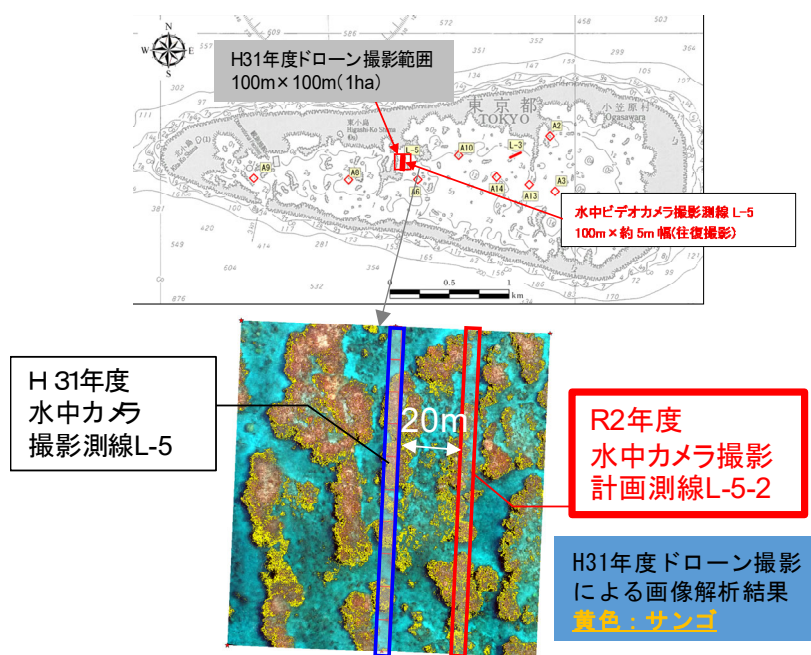
令和2年度は、石垣島浦底湾及び沖ノ鳥島において検証のための調査を行った。調査対象位置図を図-IV.5.2.1に示す。

浦底湾は昨年度実施した測線と異なるミドリイシ属が成育する箇所に測線を設定した。

沖ノ鳥島は昨年度水中ビデオ画像を取得したL-5測線の20m東側のサンゴが成育すると思われる箇所に測線を設定した。



沖縄海域：浦底湾調査位置図



沖ノ鳥島調査位置図

図-IV.5.2.1 R2年度調査対象位置図

2.3 調査解析、検討の流れ

令和2年度の調査解析、検討のフローを図-IV.5.2.2に示す。

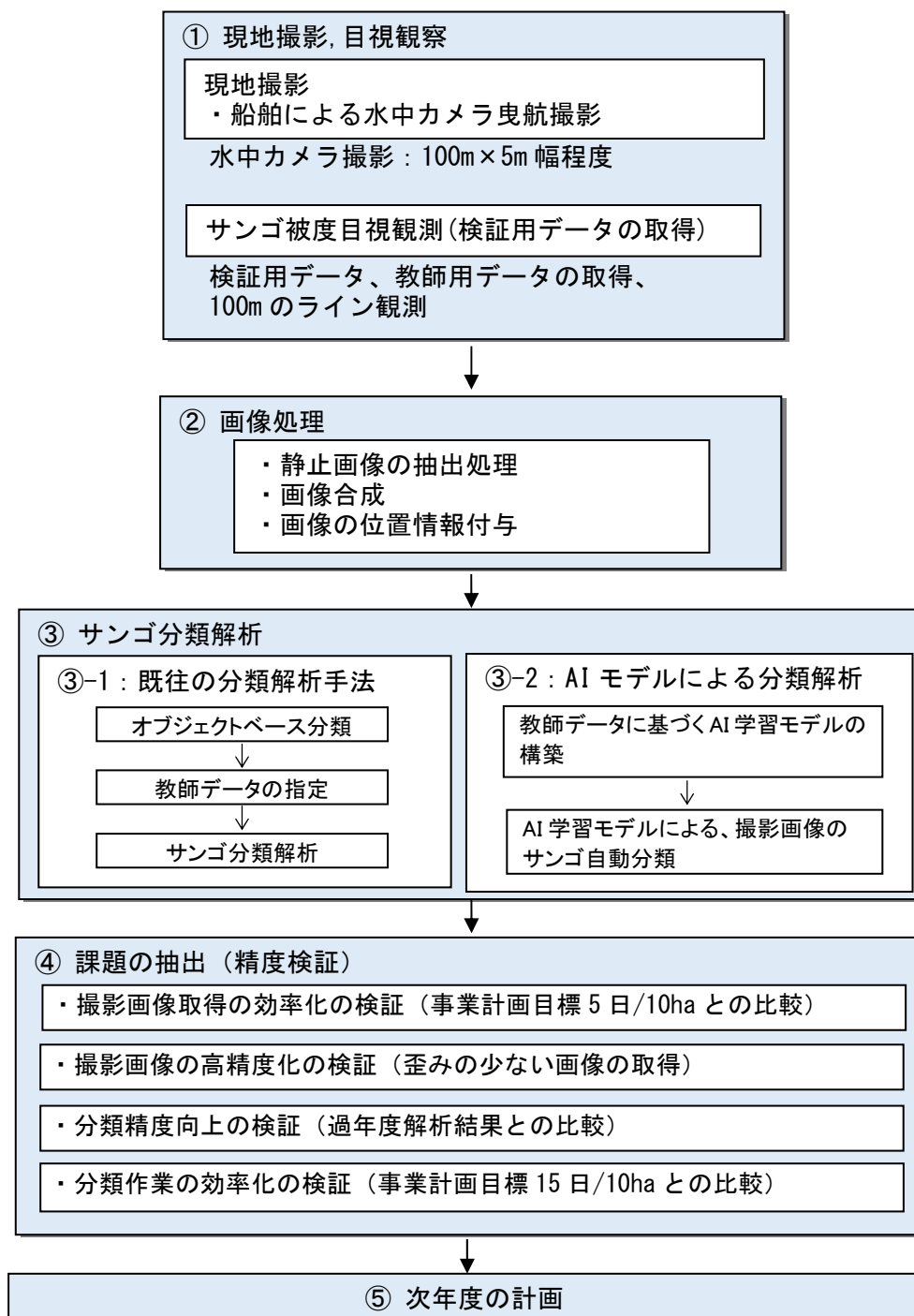


図-IV.5.2.2 サンゴ被度分類作業フロー (令和2年度)

3. 調査・解析結果

3.1 現地計測結果

(1) 沖縄海域：浦底湾

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7月28～29日に実施した。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（手振れ補正機能の性能向上）を使用した。また、取得画像の色調の統一化、合成画像の高品質化の試行として、撮影時のカメラ設定を自動露出補正の有り・無しの2パターンで撮影した。

浦底湾における調査状況及び撮影画像を図-IV.5.3.1に示す。



リモコンボート及び撮影状況（沖縄海域：浦底湾， 7月28日）

リモコンボート撮影水中画像（沖縄海域：浦底湾， 7月28日）
図-IV.5.3.1 沖縄海域のリモコンボート調査実施状況及び取得画像
（令和2年度）

(2) 沖ノ鳥島

令和 2 年 5 月 29～30 日に沖ノ鳥島において高機能の撮影カメラ（手振れ補正機能の性能向上）を使用し撮影を行った。検証用データを取得するため、専門家による潜水観察を実施した。沖ノ鳥島における調査状況及び撮影画像を図-IV. 5. 3. 2 に示す。



リモコンボートによる撮影状況と水中撮影画像（沖ノ鳥島， 5 月 29、30 日）

図-IV. 5. 3. 2 沖ノ鳥島のリモコンボート調査実施状況及び取得画像
（令和 2 年度）

(3) 使用したカメラ機材の性能

表-Ⅳ. 5. 3. 1 使用したカメラ精度

沖縄海域

	船舶水中カメラ
機種名	Woodman Labs 製 GoPro HER08
撮影区分	動画撮影 (60 枚/秒)
撮影画像	1920×1080

沖ノ鳥島

	船舶水中カメラ
機種名	Woodman Labs 製 GoPro HER08
撮影区分	タイムラプス撮影
撮影画像	4000×3000



Woodman Labs 製 GoPro HER08 の取付状況

図-Ⅳ. 5. 3. 3 撮影機材の状況

3.2 計測効率化の検証

今回実施した船舶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。

検討した作業効率を以下の表-IV.5.3.2に示す。沖ノ鳥島においても作業効率は4.2日/10haとなり事業計画目標の5日/10haは達成できた。

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: $5\text{m} \times 100\text{m} = 0.05\text{ha}$ (測線3本) 0.05ha 撮影の所要時間: 0.16 時間 1ha 撮影の所要時間: 3.2 時間、1 時間当たりの撮影可能面積: 0.31ha 1 日(7.5h)当たりの撮影可能面積: 2.34ha (2.34ha 撮影に係る測線数: 測線長 100m の場合、約 140 測線) <u>10ha 撮影に必要な日数: 約 4.2 日間</u> なお、水中動画のファイルサイズは、100m 測線 1 本当たり約 400KB 1ha 撮影の動画ファイルサイズ: 約 24GB
	沖ノ鳥島 (リモコンボート取付水中撮影)	撮影面積: $5\text{m} \times 100\text{m} = 0.05\text{ha}$ (測線3本) <u>0.05ha 撮影の所要時間: 0.16 時間</u> 1ha 撮影の所要時間: 3.2 時間、1 時間当たりの撮影可能面積: 0.31ha 1 日(7.5h)当たりの撮影可能面積: 2.34ha <u>10ha 撮影に必要な日数: 約 4.2 日間</u>
参考値 R1 年度調査結果	沖ノ鳥島 (船取付水中ビデオ撮影)	撮影面積: $5\text{m} \times 100\text{m} = 0.05\text{ha}$ 0.05ha 撮影の所要時間: 0.23 時間 1ha 撮影の所要時間: 4.6 時間 1 時間当たりの撮影可能面積: 0.22ha 1 日(7.5h)当たりの撮影可能面積: 1.65ha <u>10ha 撮影に必要な日数: 約 6.1 日間</u>
参考値 潜水士による水中ビデオ撮影		撮影面積: $100\text{m} \times 100\text{m} = 1\text{ha}$ 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 <u>10ha 撮影に必要な日数: 約 18 日間</u> ※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

(1) 沖縄海域（浦底湾）

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（Woodman Labs 製 GoPro HERO8）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、昨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、今年度はオルソ化は行わず、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.5.3.4 にモザイク処理後の合成画像を示す。モザイク画像は元の画像の視認性を維持した状態で合成ができた。また、タイムラプス撮影に比べて動画はコマ数が多いため船が左右に揺れても連続性を維持される画像を取得でき、合成作業は効率的に行うことができた。

なお、本手法はリモコンボートの測線方向に合成を行うため、測線間の接合部で位置のずれと画像の色調が変わる。

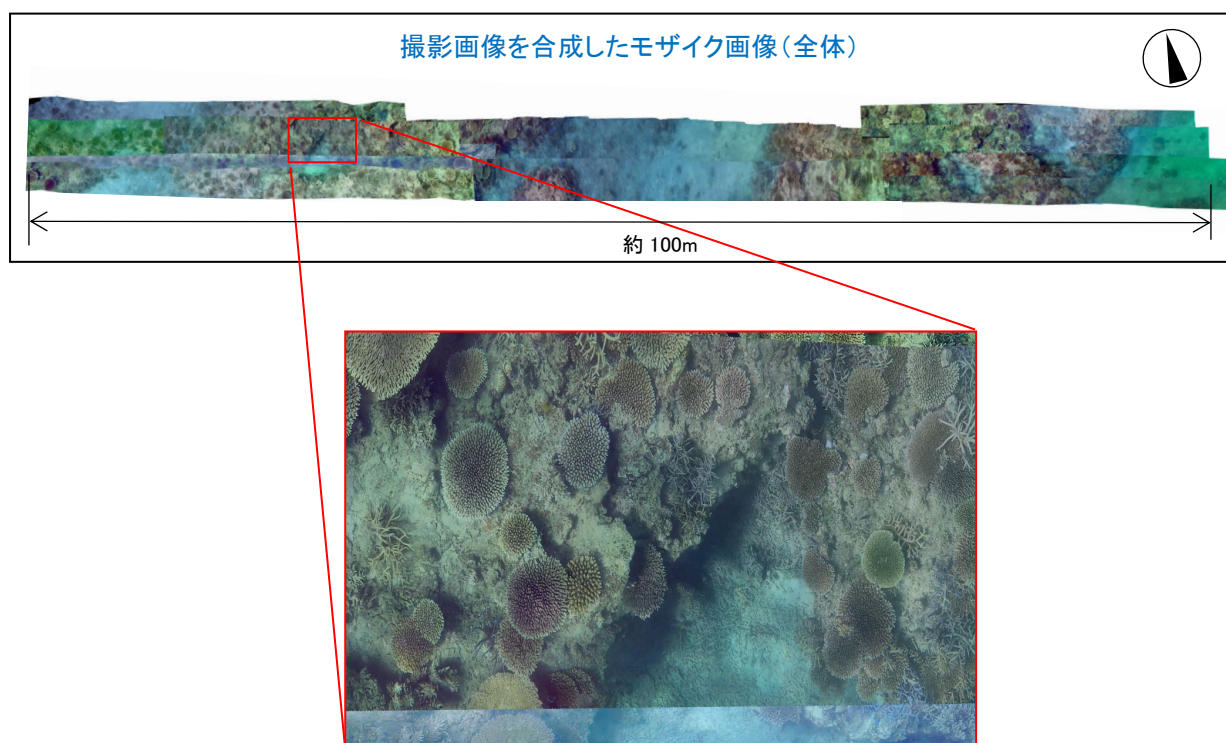


図-IV.5.3.4 リモコンボート撮影結果のモザイク画像（浦底湾）

また、沖縄海域・浦底湾の撮影は、取得画像の色調の統一化、合成画像の高品質化の試行として、撮影時のカメラ設定を自動露出補正の有り・無しの2パターンで撮影した。

自動露出補正の有り・無しの水中撮影画像を図-IV. 5. 3. 5 に示す。露出補正無しの画像は、全体的に暗い色調の画像となるが、色飛びが少なく、サンゴの色情報を捉えられた。

サンゴ被度分類は沖縄海域・浦底湾については、自動露出補正の無しの画像を使用した。

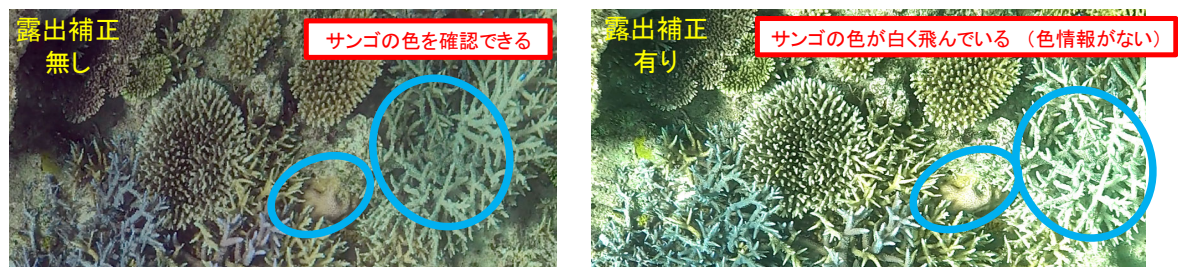


図-IV. 5. 3. 5 自動露出補正の有り・無しの水中撮影画像

(2) 沖ノ鳥島

沖ノ鳥島は撮影画像の高精度化の検証対象ではないが、手振れ補正効果が向上したカメラ（Woodman Labs 製 GoPro HERO8）を使用し撮影を行い、モザイク処理による画像合成を行った結果を以下に示す。

撮影方法はタイムラプス撮影により行った。

画像合成は、リモコンボートの測線方向に隣り合う画像同士をつなぎ合わせるモザイク処理による合成を実施した。モザイク処理には Microsoft 提供のフリーの画像処理ソフト Image Composite Editor を使用した。

図-IV.5.3.6 にモザイク処理後の合成画像を示す。サンゴの形状が捉えられる画像となっている。なお、画像の接合部で位置のずれと色調が変わる。

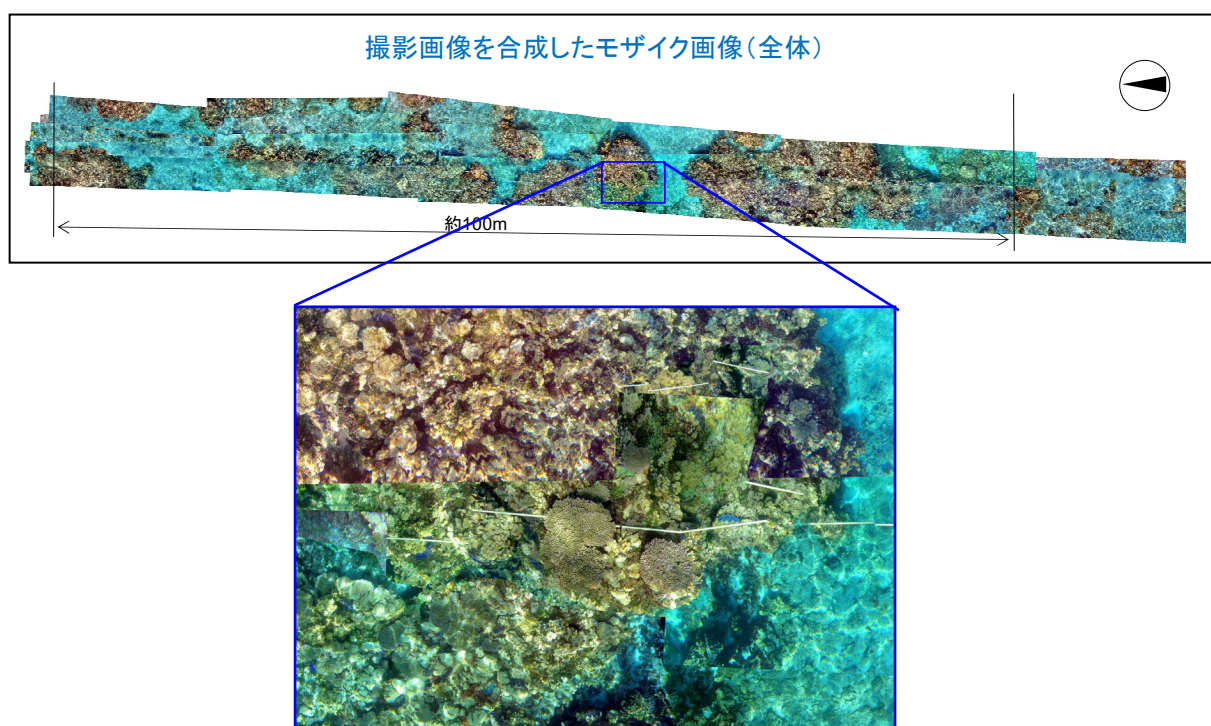


図-IV.5.3.6 リモコンボート撮影結果のモザイク画像（沖ノ鳥島）

3.4 サンゴ被度分類結果

沖縄海域・浦底湾、沖ノ鳥島的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。

今年度は一部モデルを改良し、輪郭検出の補正を追加した。²

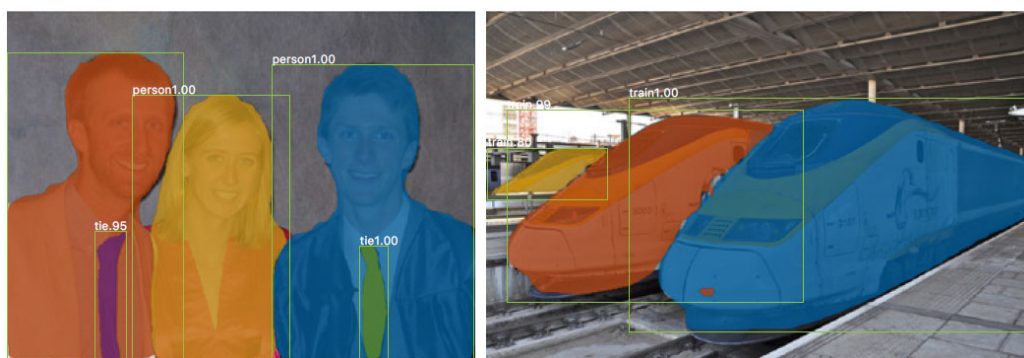


図-IV.5.3.7 インスタンスセグメンテーションの概要¹

- [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) 沖縄海域（浦底湾）

1) 教師・検証データの作成

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、昨年度と同じ分類とした。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

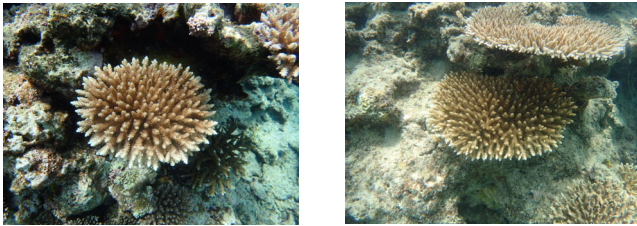
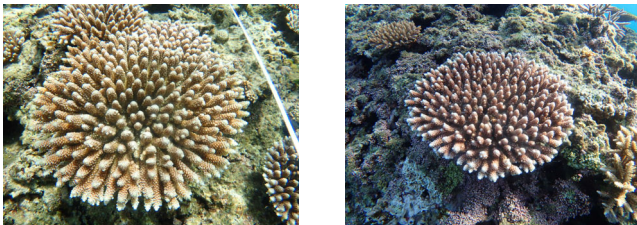
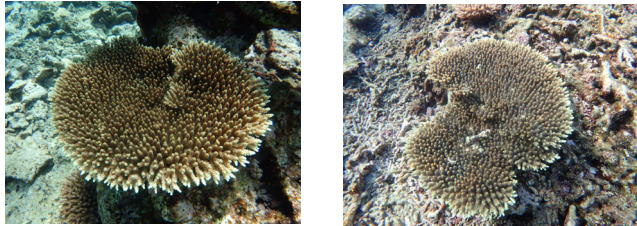
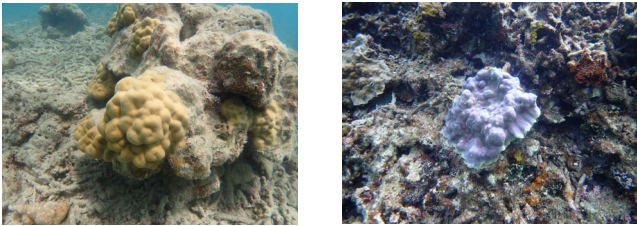
サンゴ分類	イメージ写真（2019 年観察調査写真より）	
スギノキミドリイシ		
ハナガサミドリイシ		
コユビミドリイシ		
クシハダミドリイ		
ハマサンゴ属		

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)
その他サンゴ	主なその他サンゴの一部 タチハナガサミドリイシ  マルツツミドリイシ 

教師データの作成状況を図-IV.5.3.8 に示す。モザイク画像を作成したエリア内の 2 領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、

ハナガサミドリイシ：156 個、コユビミドリイシ：8 個、クシハダミドリイシ：33 個、スギノキミドリイシ：167 個、ハマサンゴ属：11 個、その他サンゴ：153 個であり、AI 解析は下記の 5 区分と 2 区分で実施した。

5 区分：ハナガサミドリイシ・コユビミドリイシ、

クシハダミドリイシ、

スギノキミドリイシ

ハマサンゴ属

その他サンゴ

2 区分：サンゴ、非サンゴ

また、モデルの精度検証のため、同じ測線の異なる 2 領域で検証用データを作成した。

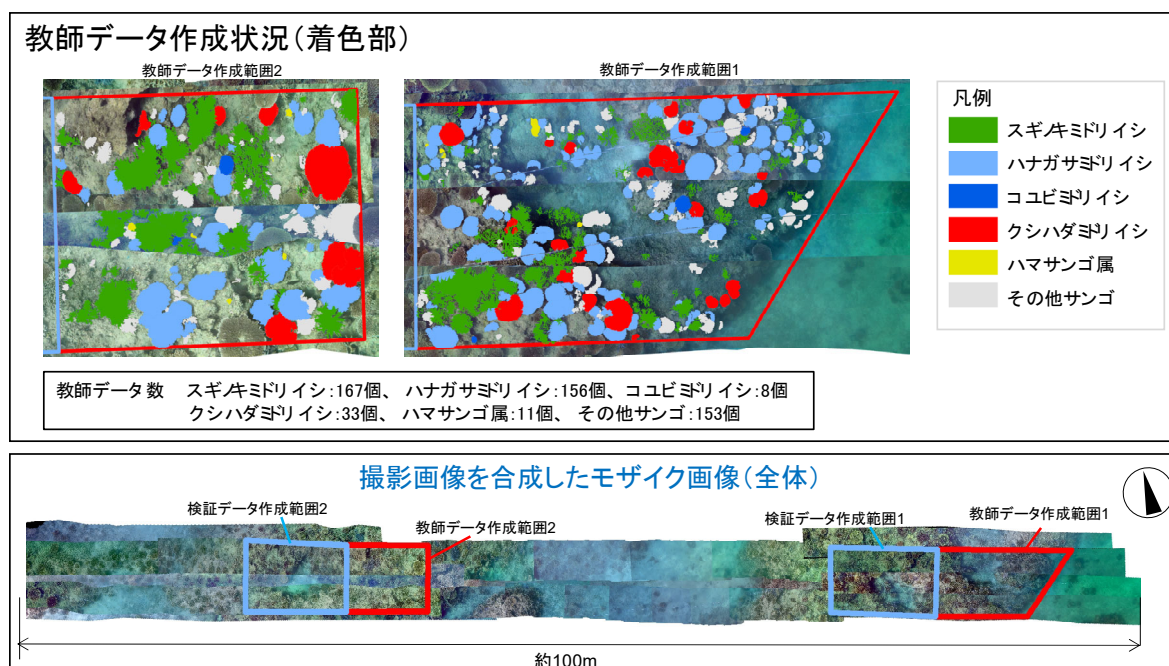


図-IV.5.3.8 AI 学習モデルの教師データ作成状況と検証データ作成エリア

2) 被度分類解析結果

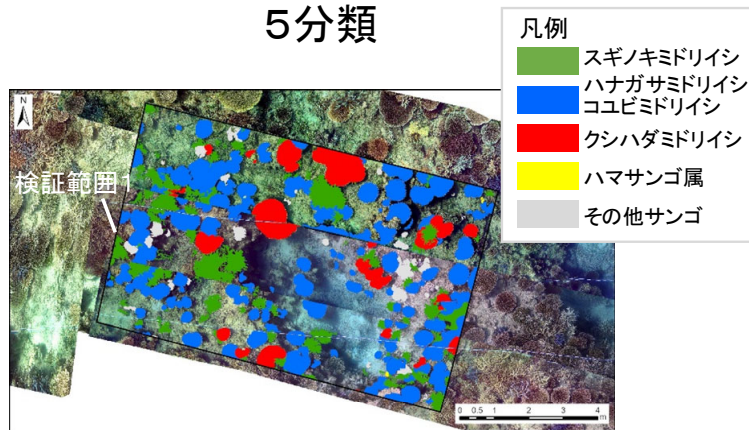
2020 年の浦底湾における水中カメラ撮影による検証エリア(Ⅰ)及び(Ⅱ)のサンゴ分類結果を図-Ⅳ.5.3.9 に示す。

サンゴ、非サンゴの 2 分類では、検証範囲の全域にわたり詳細にサンゴを分類する結果となった。

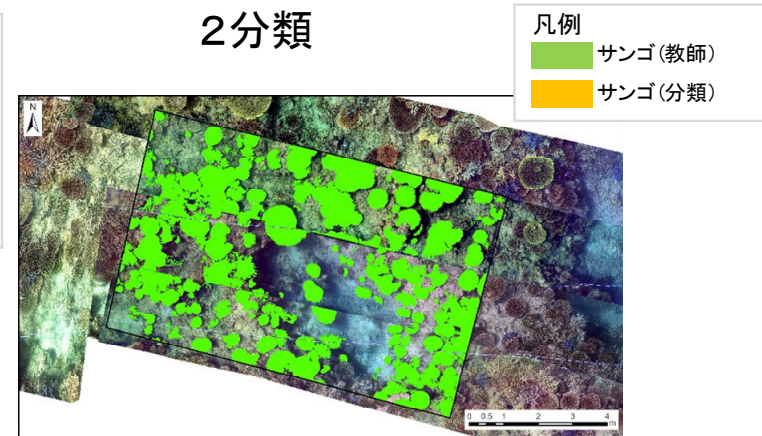
5 分類の結果は、昨年度間違えて分類していたスギノキミドリイシ、クシハダミドリイシを今回の解析では分類できる結果となった。

正解
データ

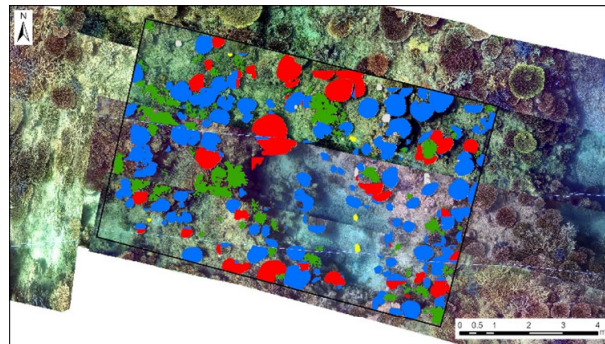
5分類



2分類

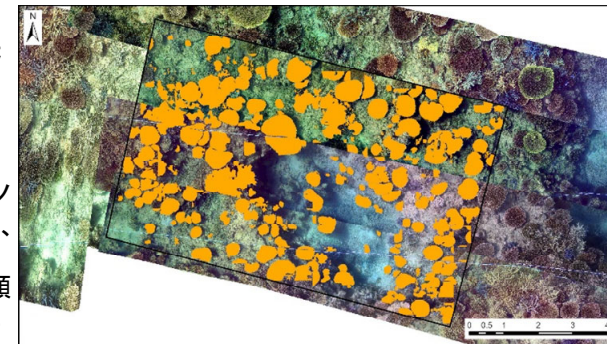


AI分類
結果



分類結果

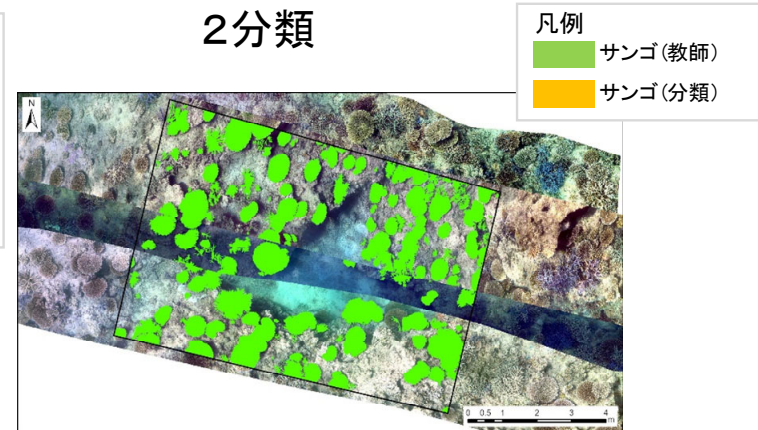
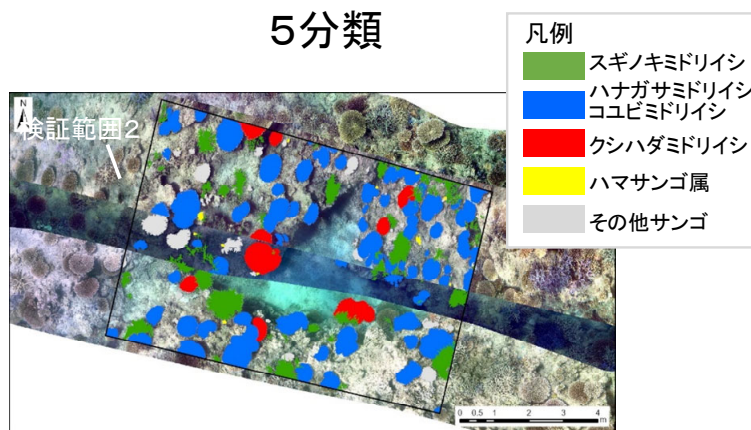
昨年度サンゴの種類を間違えて判別したスギノキミドリイシ、クシハダミドリイシを分類できている。



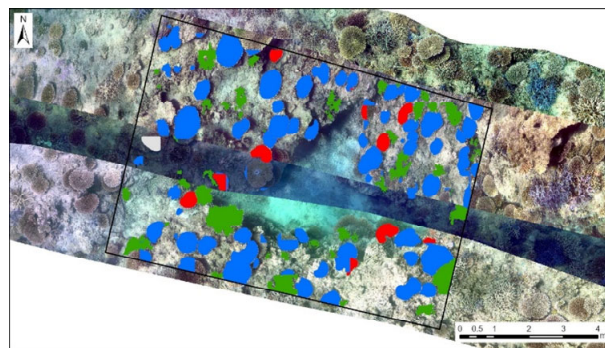
検証範囲の全域にわたり詳細に分類できている。

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〔検証エリア(Ⅰ)〕

正解
データ

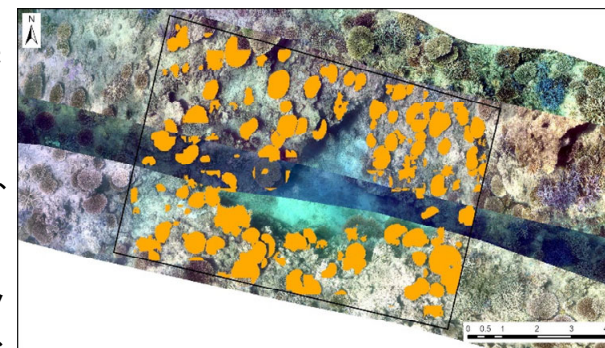


AI分類
結果



分類結果

中央のやや暗い色調の画像以外は、昨年度サンゴの種類を間違えて判別したスギノキミドリイシ、クシハダミドリイシを分類できている。



分類結果

検証範囲の中央のやや暗い色調の画像では一部サンゴがあるのに「ない」と判別しているところがある。

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〔検証エリア(Ⅱ)〕

3) 分類精度のまとめ

各分類の分類精度について、過年度と比較し整理した結果を表-IV.5.3.4に示す。

- ・2020年の解析結果は、2分類ではサンゴの分類精度は72%であり、昨年度と同程度の精度であった。
- ・5分類ではスギノキミドリイシ、クシハダミドリイシともに分類精度は60%程度であり、昨年度（2019年）に比べて大幅に精度は向上した。
- ・ハナガサミドリイシ、コユビミドリイシは、80%程度の精度であり、昨年度と同程度の精度であった。
- ・ハマサンゴ属の分類精度は0%と低いが、教師データが少ないことによる。

表-IV.5.3.4 分類精度の過年度比較

分類	プロデューサー精度	2018年 (崎枝湾)	2019年 (浦底湾)	2020年 (浦底湾)
		AIによる 分類	AIによる 分類	AIによる 分類
5分類	ハマサンゴ属	21%	0%	0%
	スギノキミドリイシ	0%	1%	59%
	クシハダミドリイシ	0%	0%	65%
	ハナガサミドリイシ、 コユビミドリイシ	57%	77%	76%
	非サンゴ	97%	98%	96%
	全体精度	88%	89%	84%
	kappa係数	0.50	0.62	0.70
2分類	サンゴ	53%	69%	72%
	非サンゴ	99%	97%	95%
	全体精度	92%	92%	86%
	kappa係数	0.62	0.72	0.69

備考) 2020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。

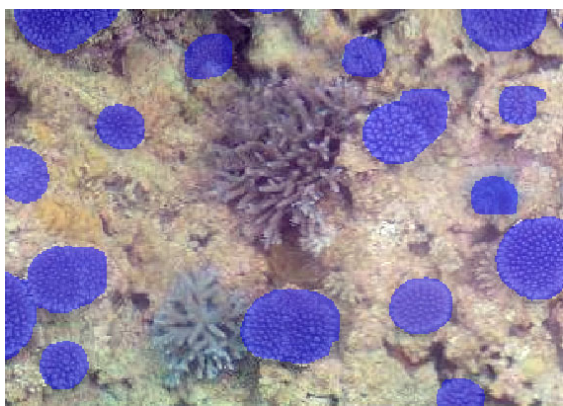
全体精度:対象地の被度の中で、正しく画像分類された割合を表す比。(正しい分類面積/総面積)

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。

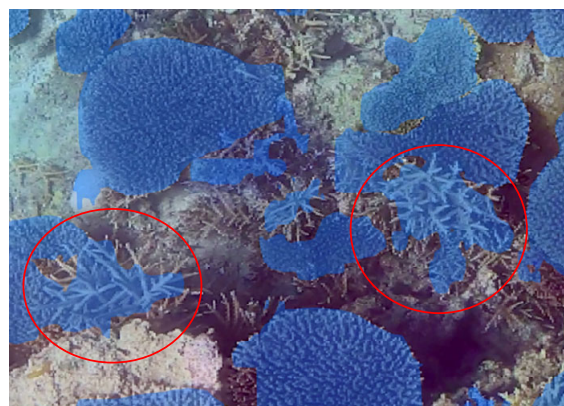
分類精度が向上したスギノキミドリイシの昨年度（2019 年）と今年度（2020 年）の解析結果の例を図-IV. 5. 3. 10 に示す。

昨年度（2019 年）はオルソ処理した画像を使用して AI 解析を行った。画像では長い枝状のスギノキミドリイシがぼやけた状態にあり、AI 解析では抽出できていない（左画像）。

今年度（2020 年）はモザイク処理した画像を使用して AI 解析を行った。画像はぼやけた状態になっておらず、AI 解析によりスギノキミドリイシを抽出できている（右画像）。



2019年（浦底湾）2分類



2020年（浦底湾）2分類

図-IV. 5. 3. 10 昨年度と今年度のスギノキミドリイシの解析結果の例

4) 2018、2019 年の教師データを追加して学習させた分類精度

2020 年の教師データに、過年度業務（2018 年、2019 年）で作成した教師データを追加し学習させたモデルでの分類精度の結果を表-IV.5.3.5、分類結果を図-IV.5.3.12 に示す。

- ・2018～2020 年の複数年の教師データを用いた学習モデルによる解析結果は、2 分類ではサンゴの分類精度は 74%であり、2020 年単年の学習と同程度の精度であった。
- ・一方、5 分類ではクシハダミドリイシ、ハナガサミドリイシ、コユビミドリイシの分類精度は低下し、これはスギノキミドリイシとして間違えて判別していることによる。
- ・ハマサンゴ属は 9%と若干精度は向上しており、教師データが増えたことが要因として考えられる。

表-IV.5.3.5 分類精度の単年との比較

分類	プロデューサー精度	2020年 (浦底湾)	2018 +2019 +2020年
		AIによる 分類	AIによる 分類
5分類	ハマサンゴ属	0%	9%
	スギノキミドリイシ	59%	76%
	クシハダミドリイシ	65%	1%
	ハナガサミドリイシ、 コユビミドリイシ	76%	39%
	非サンゴ	96%	92%
	全体精度	84%	71%
	kappa係数	0.70	0.46
2分類	サンゴ	72%	74%
	非サンゴ	95%	95%
	全体精度	86%	86%
	kappa係数	0.69	0.70

備考) 面積集計結果の詳細は表-IV.5.3.6～表-IV.5.3.9 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。

スギノキミドリイシとして間違えて判別した要因としては、2018 年、2019 年、2020 年では合成画像の精度が違うため、作成した教師データの見た目が年によって異なることが挙げられる。

図-IV. 5. 3. 11 に各年の教師データの作成の例を示す。

各年によって教師データの見た目（サンゴ表面の質感・輪郭形状）が異なり、特にスギノキミドリイシの見た目が大きく異なっている。スギノキミドリイシの学習パターンが雑多となり（2020 年のハナガサミドリイシ、その他サンゴと特徴が一部類似しているものが含まれている）、スギノキミドリイシとして間違えて判別するケースが増加したと考えられる。

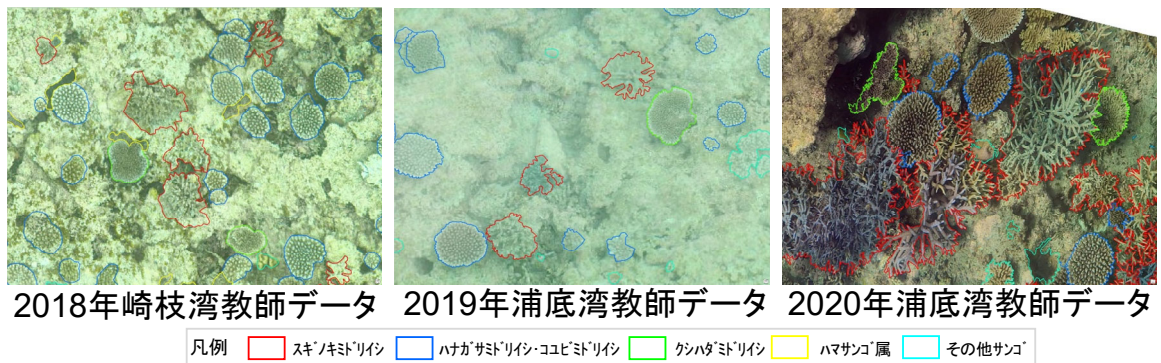


図-IV. 5. 3. 11 2018 年、2019 年、2020 年の教師データの例

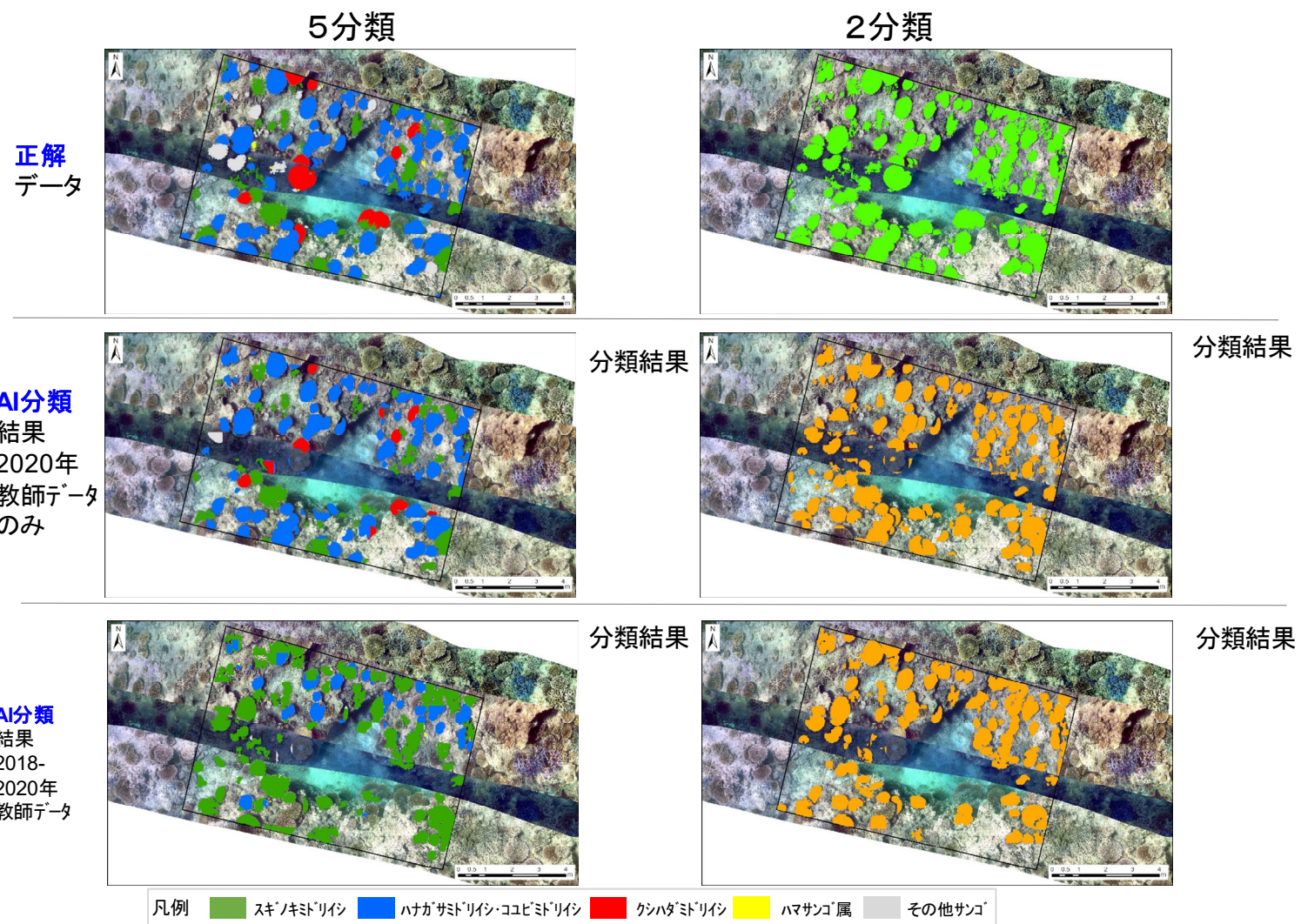


図-IV.5.3.12(1) 2020年教師データに2018・2019年教師データを加えたAIモデルによるサンゴ分類解析結果〔検証エリア(Ⅰ)〕

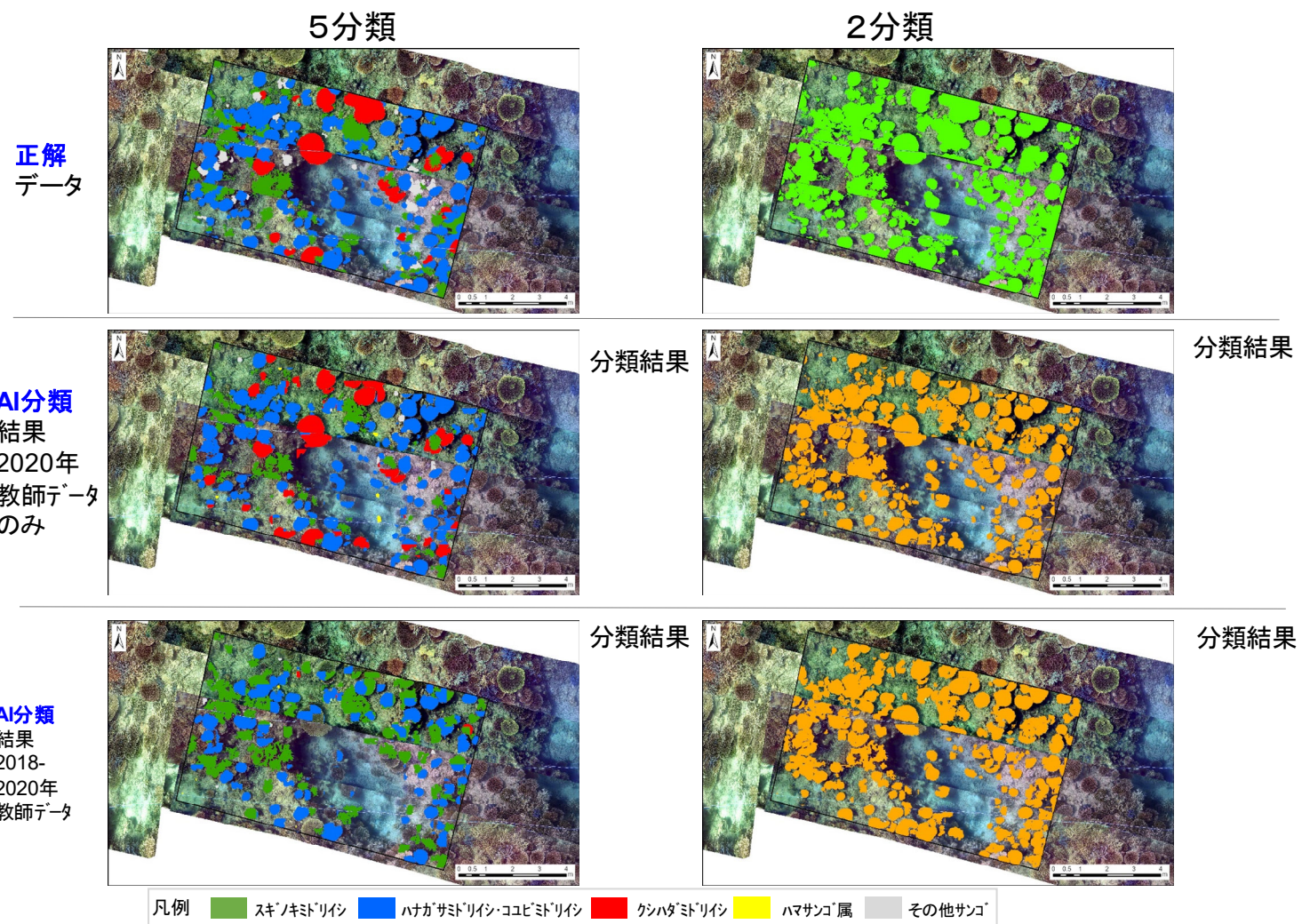


図-IV.5.3.12(2) 2020年教師データに2018・2019年教師データを加えたAIモデルによるサンゴ分類解析結果〔検証エリア(Ⅱ)〕

表-Ⅳ. 5. 3. 6 2020 年教師モデル (浦底湾) 5 分類精度表

分類精度表 (m)		分類結果						行方向総和	プロデューサ精度
		スキノキミドリイシ	ハナガサミドリイシ・ユビミドリイシ	クシハダミドリイシ	ハマサング属	その他サング	非サング		
照合用クラス	スキノキミドリイシ	7.374	0.127	0.060	0.000	0.007	4.910	12.478	59.1%
	ハナガサミドリイシ・ユビミドリイシ	0.174	23.436	1.324	0.000	0.065	5.948	30.946	75.7%
	クシハダミドリイシ	0.060	0.302	4.954	0.000	0.000	2.325	7.641	64.8%
	ハマサング属	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.138	0.141	0.0%
	その他サング	0.056	0.768	0.055	0.010	0.288	2.237	3.413	8.4%
	非サング	1.281	1.366	0.819	0.082	0.052	78.527	82.128	95.6%
列方向総和		8.944	26.001	7.211	0.092	0.413	94.085	136.747	
ユーザー精度		82.4%	90.1%	68.7%	0.0%	69.7%	83.5%		
								全体精度	83.8%
								kappa係数	0.70

表-Ⅳ. 5. 3. 7 2020 年教師モデル (浦底湾) 2 分類精度表

分類精度表 (m)		分類結果		行方向総和	プロデューサ精度
		サング	非サング		
照合用クラス	サング	39.244	15.377	54.620	71.8%
	非サング	4.352	77.776	82.128	94.7%
列方向総和		43.595	93.153	136.748	
ユーザー精度		90.0%	83.5%		
				全体精度	85.6%
				kappa係数	0.69

表-Ⅳ. 5. 3. 8 2018+2019+2020 年教師モデル (浦底湾) 5 分類精度表

分類精度表 (m)		分類結果						行方向総和	プロデューサ精度
		スキノキミドリイシ	ハナガサミドリイシ・ユビミドリイシ	クシハダミドリイシ	ハマサング属	その他サング	非サング		
照合用クラス	スキノキミドリイシ	9.491	0.035	0.000	0.000	0.001	2.952	12.478	76.1%
	ハナガサミドリイシ・ユビミドリイシ	7.808	11.915	0.006	0.000	0.065	11.153	30.947	38.5%
	クシハダミドリイシ	1.082	1.308	0.059	0.000	0.014	5.177	7.641	0.8%
	ハマサング属	0.019	0.000	0.000	0.012	0.000	0.109	0.141	8.8%
	その他サング	1.261	0.262	0.000	0.007	0.032	1.851	3.413	0.9%
	非サング	6.100	0.309	0.021	0.028	0.063	75.604	82.126	92.1%
列方向総和		25.760	13.830	0.087	0.048	0.175	96.846	136.747	
ユーザー精度		36.8%	86.2%	68.2%	25.8%	18.2%	78.1%		
								全体精度	71.0%
								kappa係数	0.46

表-Ⅳ. 5. 3. 9 2018+2019+2020 年教師モデル (浦底湾) 2 分類精度表

分類精度表 (m)		分類結果		行方向総和	プロデューサ精度
		サング	非サング		
照合用クラス	サング	40.233	14.385	54.618	73.7%
	非サング	4.554	77.569	82.122	94.5%
列方向総和		44.786	91.954	136.740	
ユーザー精度		89.8%	84.4%		
				全体精度	86.1%
				kappa係数	0.70

(3) 沖ノ鳥島

1) 教師・検証データの作成

沖ノ鳥島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・今年度実施した潜水観察結果をもとに、形状の違いからサンゴ種を 6 分類した。

表-IV. 5. 3. 10 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。

長い枝状の *Acropora donei*、短い枝のハリエダミドリイシや *Acropora globiceps*、被覆状のコモンサンゴ属、リュウキュウキッカサンゴやアミメサンゴ属、塊状～被覆状のキクメイシ属、ハマサンゴ属、ナガレサンゴ、オオサザナミサンゴやミダレノウサンゴ、格子模様のある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、その他のサンゴとした。

表-IV. 5. 3. 10 (1) 沖ノ鳥島におけるサンゴ分類

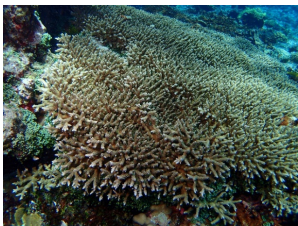
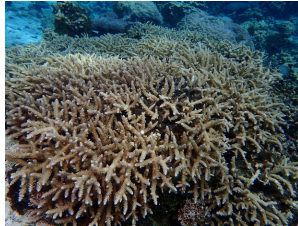
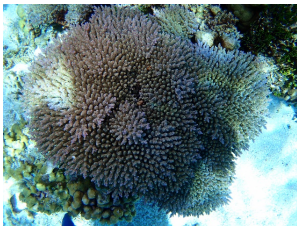
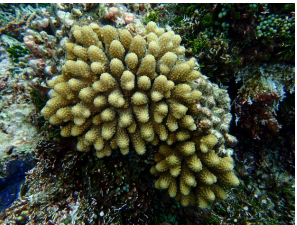
サンゴ分類		イメージ写真 (2019・2020 年観察調査写真より)		
1	<i>Acropora donei</i> (長い枝状)			
2	ハリエダミドリイシ (短い枝)			
	<i>Acropora globiceps</i> (短い枝)			

表-Ⅳ.5.3.10 (2) 沖ノ鳥島におけるサンゴ分類

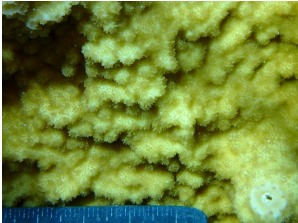
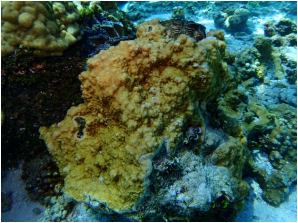
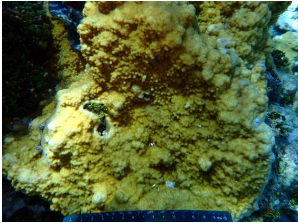
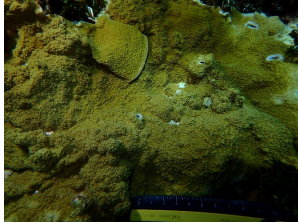
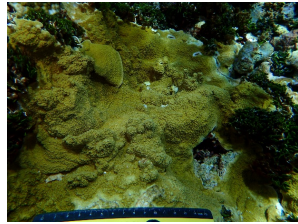
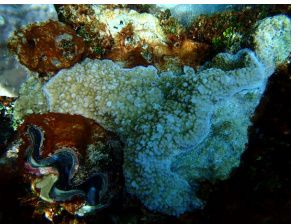
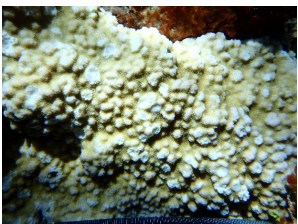
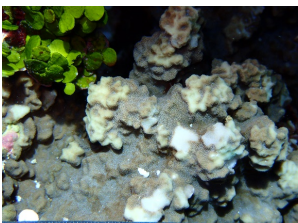
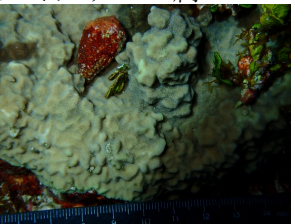
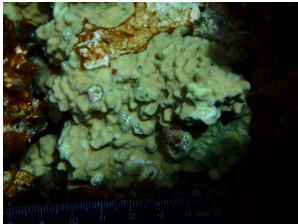
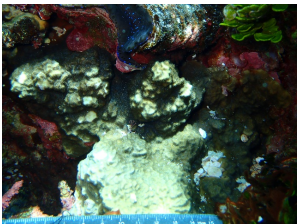
サンゴ分類		イメージ写真 (2019・2020 年観察調査写真より)		
3	コモンサンゴ属 (被覆状)	シモコモンサンゴ		
				
		トゲコモンサンゴ		
3	リュウキユウキッカサンゴ (被覆状)			
		モリスコモンサンゴ		
				
	アミメサンゴ属 (被覆状)	アミメサンゴ		
				
		アミメサンゴ属		
				

表-Ⅳ.5.3.10 (3) 沖ノ鳥島におけるサンゴ分類

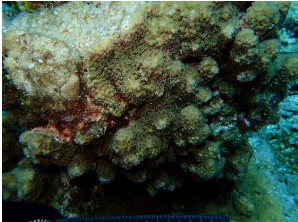
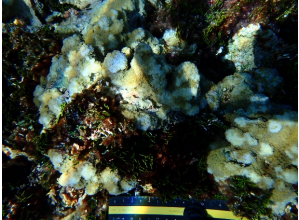
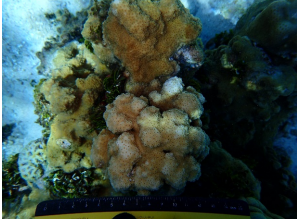
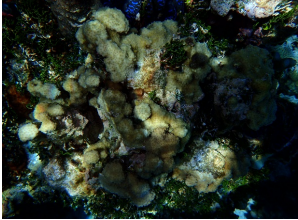
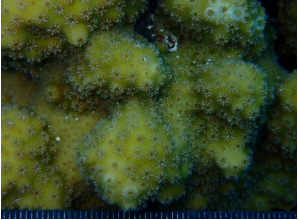
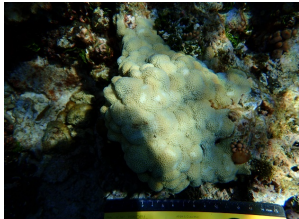
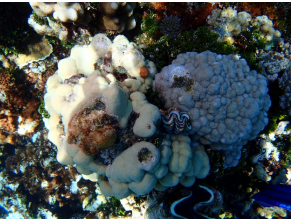
サンゴ分類		イメージ写真（2019・2020 年観察調査写真より）		
4	キクメイシ属 （塊状～被覆状）	ホシキクメイシ		
				
		コトゲキクメイシ		
				
		トゲキクメイシ属		
				
		トゲキクメイシ		
				
	ハマサンゴ属 （塊状～被覆状）	ベニハマサンゴ		
				
オオハマサンゴ				
				

表-Ⅳ.5.3.10 (4) 沖ノ鳥島におけるサンゴ分類

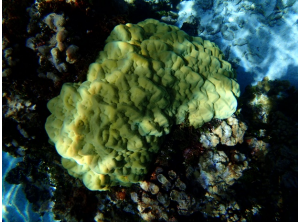
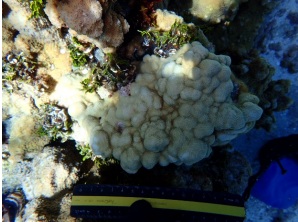
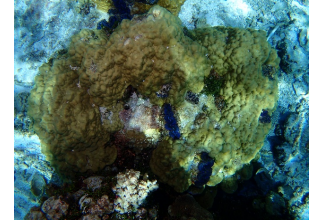
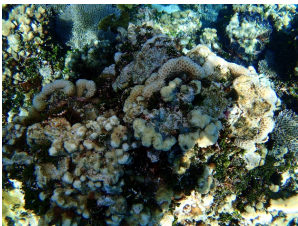
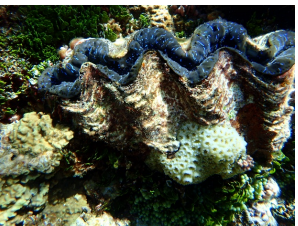
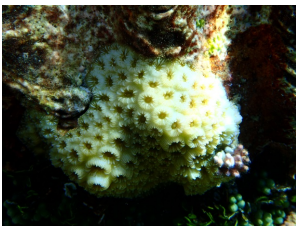
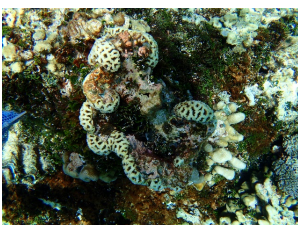
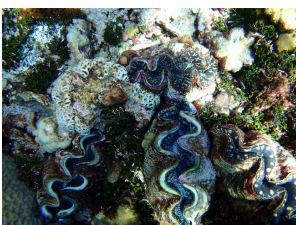
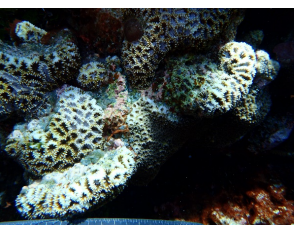
サンゴ分類		イメージ写真 (2019・2020 年観察調査写真より)		
4	ハマサン ゴ属 (塊状～ 被覆状) つづき	ハマサンゴ属		
	ナガレサ ンゴ (塊状～ 被覆状)			
	オオサザ ナミサン ゴ (塊状～ 被覆状)			
	ミダレノ ウサンゴ (塊状～ 被覆状)			

表-Ⅳ.5.3.10 (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)		
5	コカメノ コキクメ イシ (格子模 様あり)			
	マルキク メイシ (格子模 様あり)			
	ウスチャ キクメイ シ (格子模 様あり)			
6	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.5.3.13、図-IV.5.3.14 に示す。

今年度（2020 年）、昨年度（2019 年）に撮影した水中撮影画像を用いて、AI 解析を行った。

[R2 年度（2020 年）撮影画像の教師・検証データの作成]

モザイク画像を作成したエリア内の 2 領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、

- Acropora donei（長い枝状）：5 個
- ハリエダミドリイシなど（短い枝）：132 個
- コモンサンゴ属など（被覆状）：29 個
- キクメイシ属・ハマサンゴ属など（塊状・被覆状）：727 個
- マルキクメイシなど（格子模様あり）：50 個
- その他サンゴ：36 個

であり、AI 解析は下記の 6 区分と 2 区分で実施した。

6 区分：Acropora donei（長い枝状）

ハリエダミドリイシなど（短い枝）

コモンサンゴ属など（被覆状）

キクメイシ属・ハマサンゴ属など（塊状・被覆状）

マルキクメイシなど（格子模様あり）

その他サンゴ

2 区分：サンゴ、非サンゴ

また、モデルの精度検証のため、同じ測線の異なる 1 領域で検証用データを作成した。

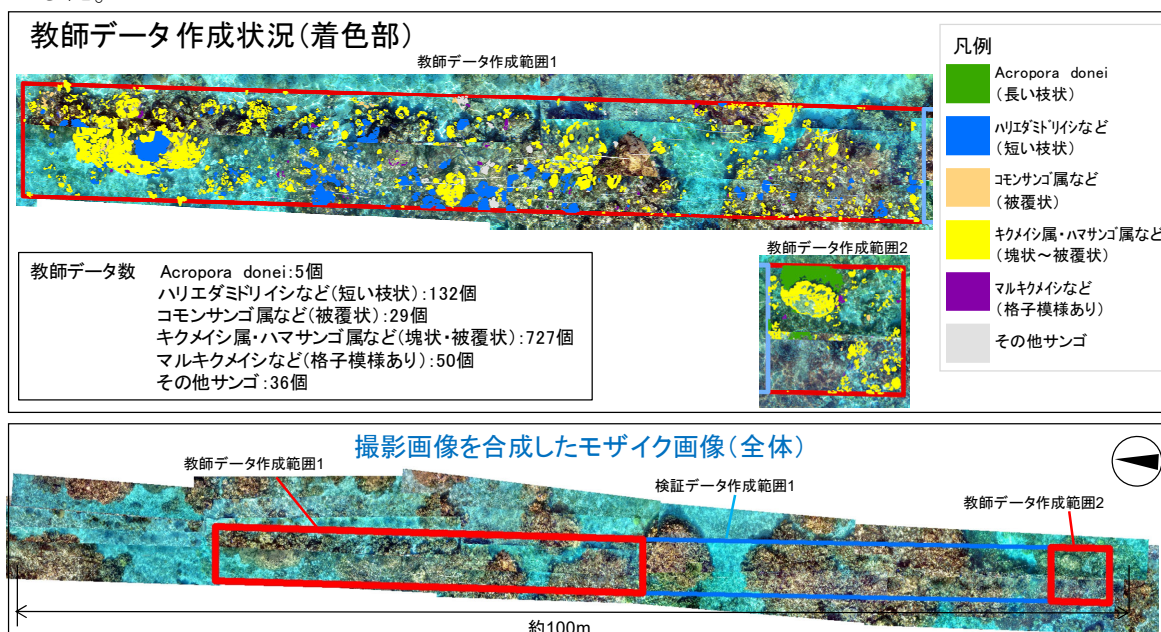


図-IV.5.3.13 教師データ作成状況と検証データ作成エリア（2020 年撮影画像）

[R1 年度（2019 年）撮影画像の教師・検証データの作成]

モザイク画像を作成したエリア内の 1 領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、

- Acropora donei（長い枝状）：0 個
- ハリエダミドリイシなど（短い枝）：187 個
- コモンサンゴ属など（被覆状）：32 個
- キクメイシ属・ハマサンゴ属など（塊状・被覆状）：425 個
- マルキクメイシなど（格子模様あり）：47 個
- その他サンゴ：16 個

であり、AI 解析は下記の 6 区分と 2 区分で実施した。

6 区分：Acropora donei（長い枝状）

ハリエダミドリイシなど（短い枝）

コモンサンゴ属など（被覆状）

キクメイシ属・ハマサンゴ属など（塊状・被覆状）

マルキクメイシなど（格子模様あり）

その他サンゴ

2 区分：サンゴ、非サンゴ

また、モデルの精度検証のため、同じ測線の異なる 1 領域で検証用データを作成した。

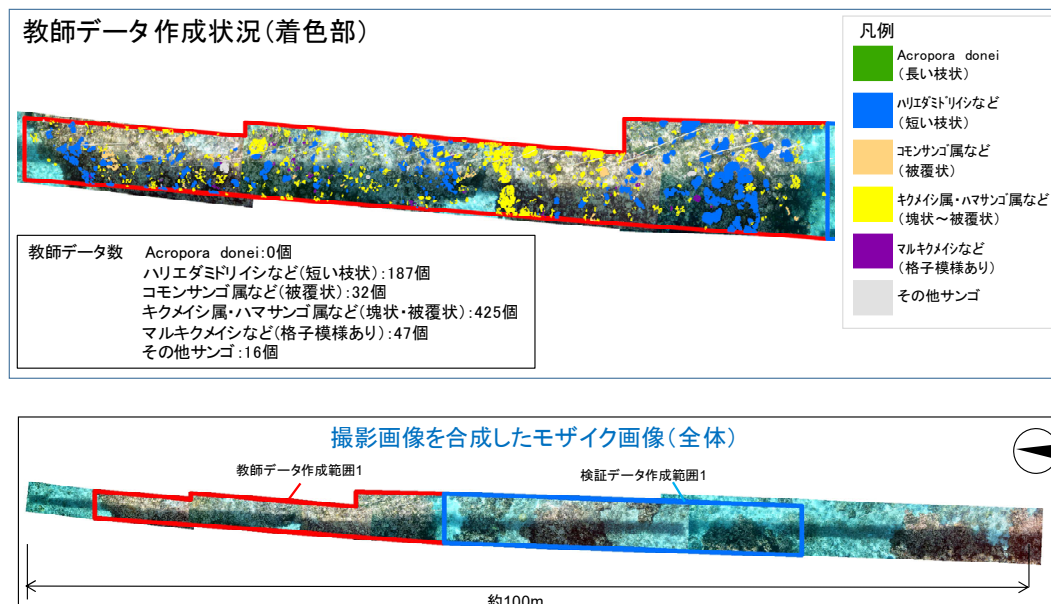


図-IV. 5. 3. 14 教師データ作成状況と検証データ作成エリア（2019 年撮影画像）

2) 被度分類解析結果

2020 年、2019 年の沖ノ鳥島における検証エリアのサンゴ分類結果を図-IV.5.3.15、図-IV.5.3.16 に示す。

サンゴ、非サンゴの 2 分類では、2020 年、2019 年ともに AI 解析の結果は概ねサンゴを分類できている。従来の統計的分類手法であるオブジェクトベース分類※による解析結果も併せて示すが、ノル上のサンゴのないところもサンゴがあると判別し多く誤分類している。

5 分類の結果では、AI 解析の結果は一部キクメイシ属・ハマサンゴ属など（塊状～被覆状）を分類できていないところが見られた。また、オブジェクトベース分類による解析結果は、2020 年はノル上のサンゴのないところをキクメイシ属・ハマサンゴ属など（塊状～被覆状）があると判別し、2019 年は暗い色調の船影部分ではサンゴがあるのにないと判別しており、誤分類が多くみられる。

※オブジェクトベース分類は、領域分割によって得られる空間的に比較的均質な画素のまとまりに区分（オブジェクト）した後、教師を付与し、画像分類を行う手法

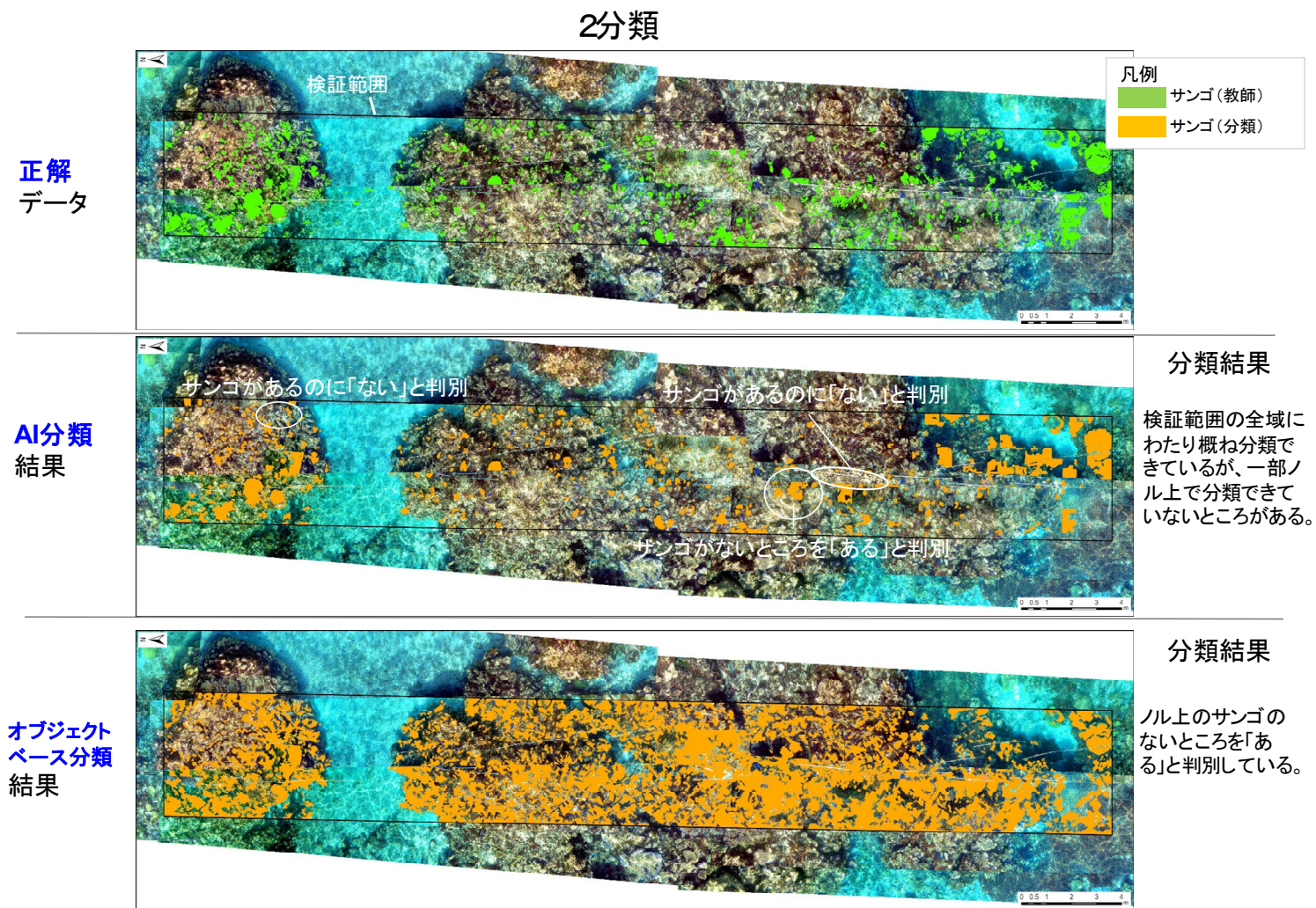


図-IV.5.3.15 (1) 水中カメラ撮影結果のモザイク画像に対するサンゴ分類解析結果〔2020 年撮影画像〕

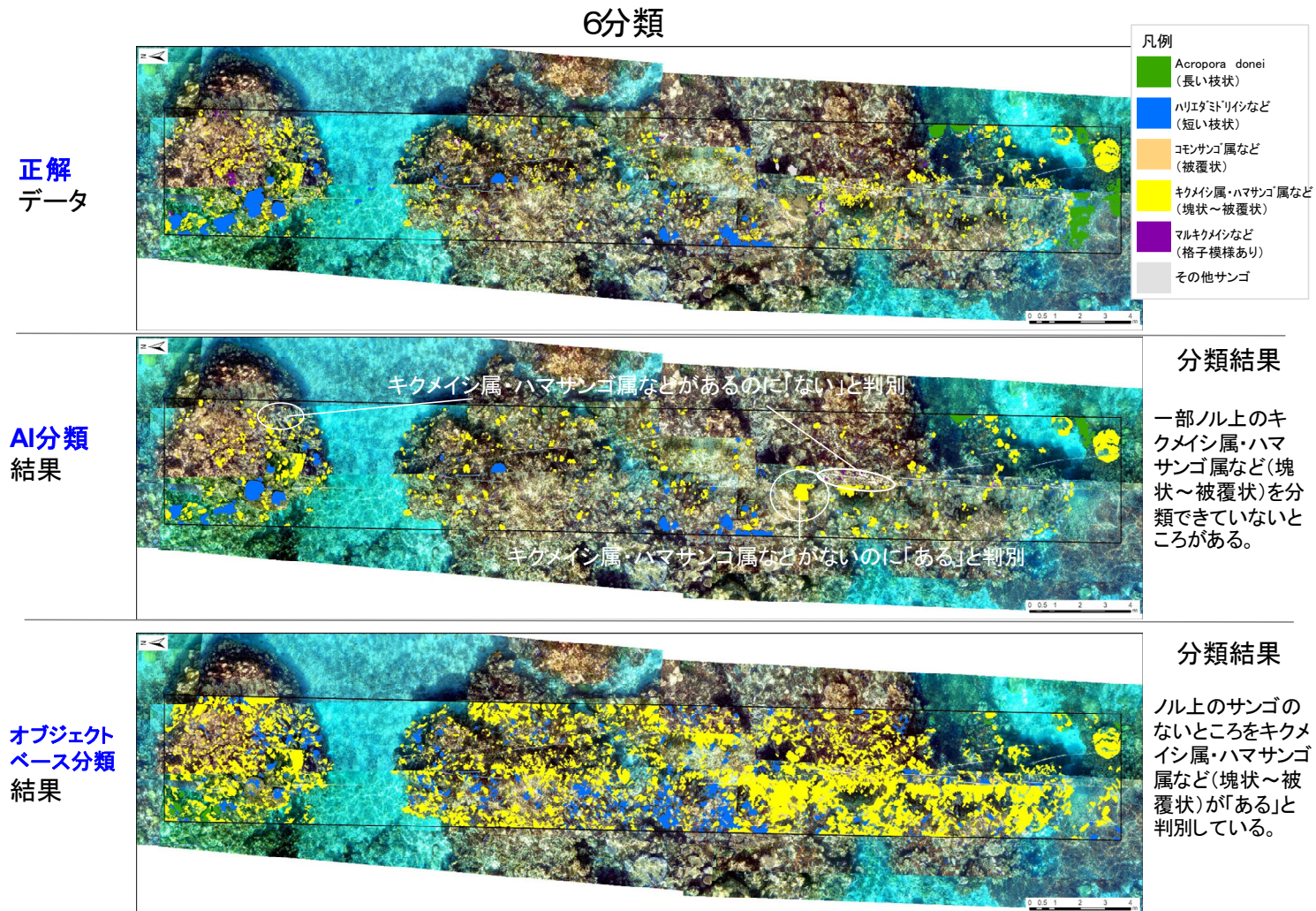


図-Ⅳ.5.3.15 (2) 水中カメラ撮影結果のモザイク画像に対するサンゴ分類解析結果〔2020 年撮影画像〕

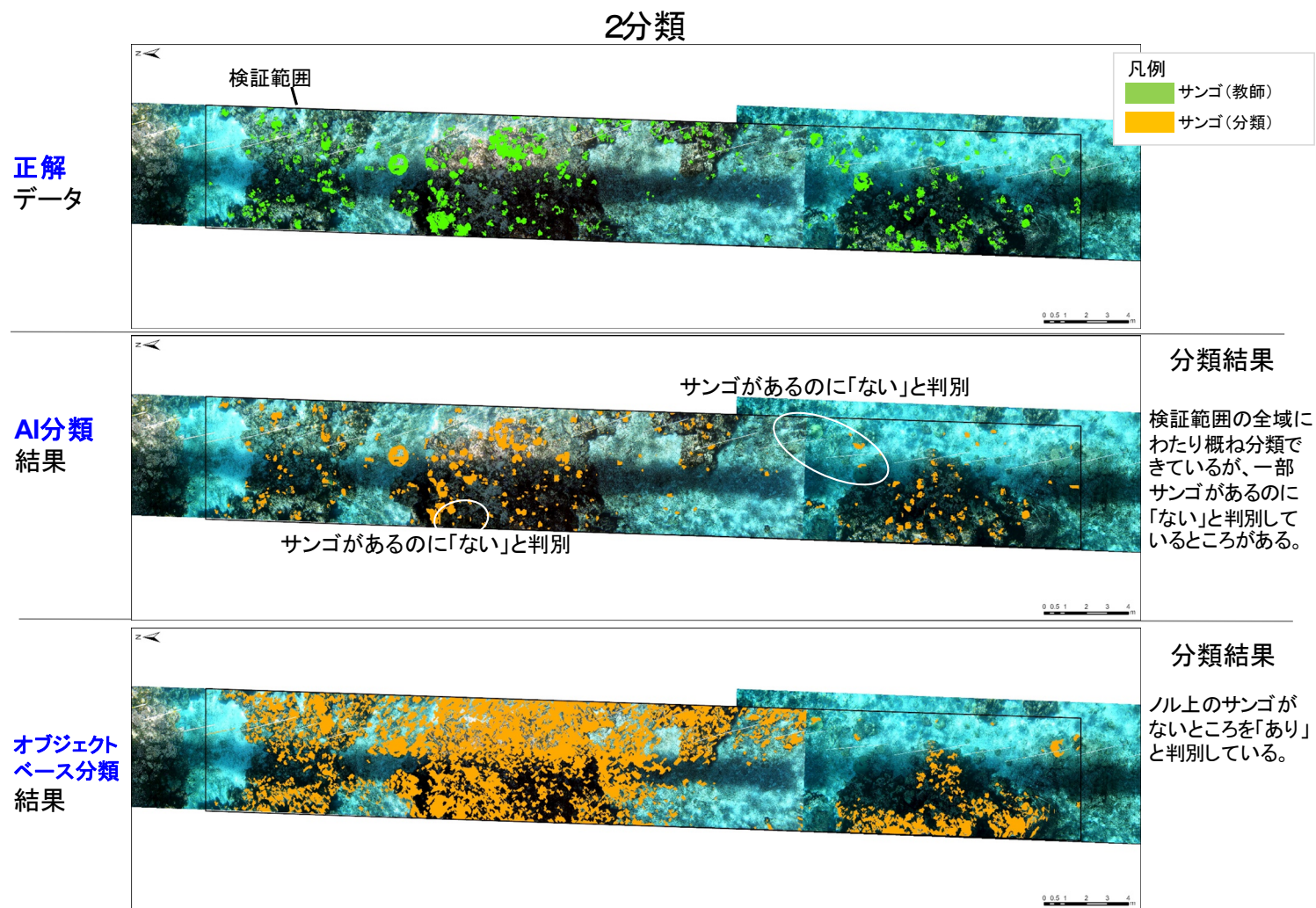


図-IV.5.3.16 (1) 水中カメラ撮影結果のモザイク画像に対するサンゴ分類解析結果〔2019 年撮影画像〕

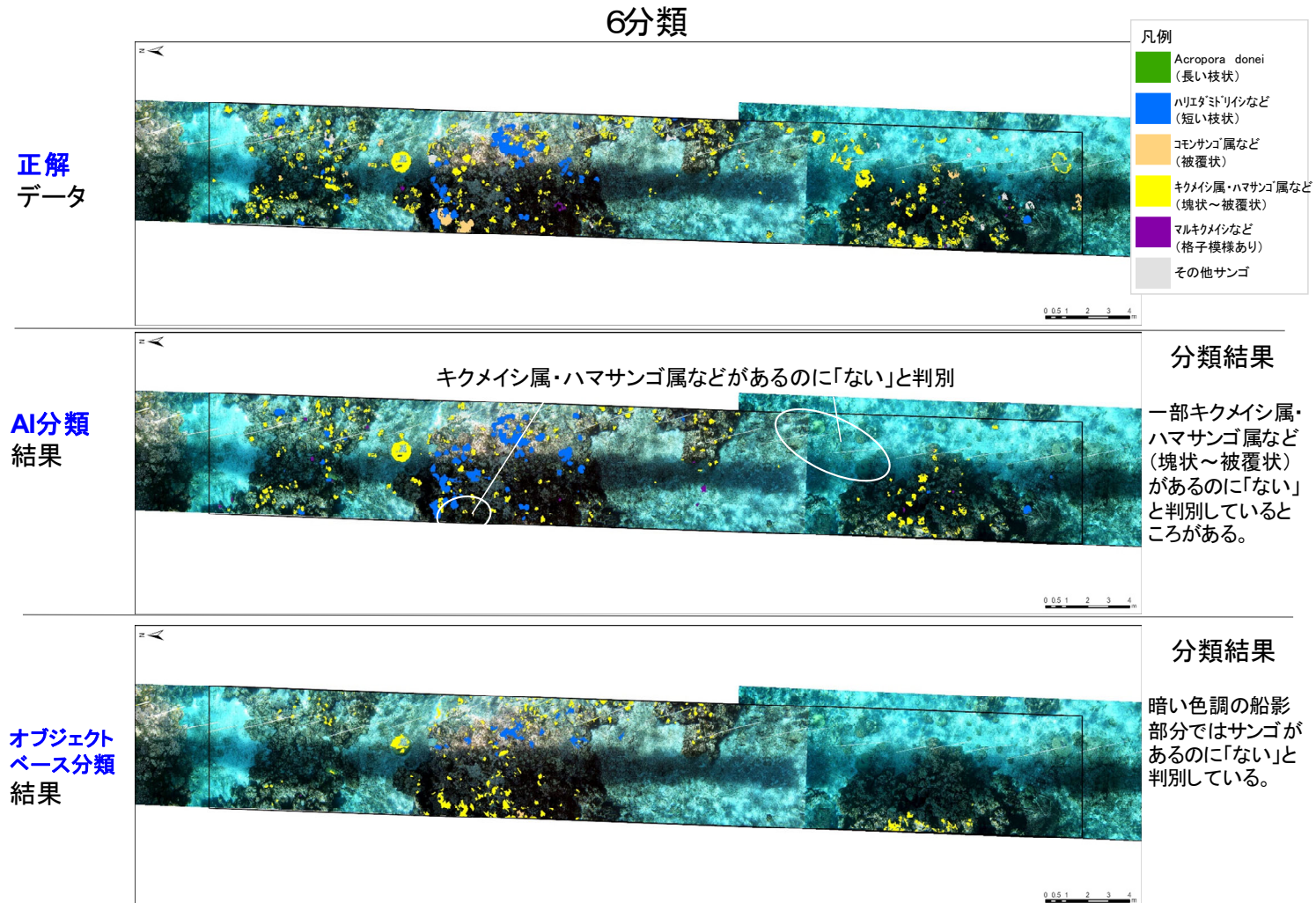


図-IV.5.3.16 (2) 水中カメラ撮影結果のモザイク画像に対するサンゴ分類解析結果〔2019 年撮影画像〕

3) 分類精度のまとめ

各分類の分類精度を整理し表-IV. 5. 3. 11 に示す。

- ・2019年、2020年ともに、「AIモデルによる分類」の全体精度（分類正解率）は2分類、6分類で90%以上であり、従来の「オブジェクトベース分類」よりも精度が高かった。
- ・2分類ではサンゴの分類精度は2019年は49%、2020年は56%であった。
- ・6分類では、ハリエダミドリイシなど（短い枝状）のサンゴの分類精度は高く、2019年は84%、2020年は69%であった。
- ・キクメイシ属・ハマサンゴ属など（塊状～被覆状）のサンゴは、出現個数が多く、教師データも多いが、分類精度は31%、54%と低かった。
- ・Acropora donei、コモンサンゴ属、マルキクメイシなどの分類精度は低いが、教師データが少ないことによる。

表-IV. 5. 3. 11 各解析の分類精度

分類	プロデューサー精度	2019年(沖ノ島島)		2020年(沖ノ島島)	
		解析区分		解析区分	
		オブジェクトベース分類	AIによる分類	オブジェクトベース分類	AIによる分類
6分類	Acropora donei (長い枝状)	0%	0%	0%	16%
	ハリエダミドリイシなど (短い枝状)	14%	84%	64%	69%
	コモンサンゴ属など (被覆状)	0%	1%	0%	0%
	キクメイシ属・ハマサンゴ属など(塊状～被覆状)	15%	31%	71%	54%
	マルキクメイシなど (格子模様あり)	0%	7%	0%	0%
	全体精度	94%	95%	73%	92%
	kappa係数	0.21	0.50	0.20	0.55
2分類	サンゴ	71%	49%	59%	56%
	非サンゴ	80%	98%	62%	95%
	全体精度	79%	95%	62%	91%
	kappa係数	0.21	0.53	0.13	0.53

備考) 面積集計結果の詳細は表-IV. 5. 3. 12～表-IV. 5. 3. 15 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。

キクメイシ属・ハマサンゴ属など（塊状～被覆状）のサンゴは、分類精度は31%、54%と低いですが、学習個数が増えると分類精度が高まる傾向がみられる。

ハリエダミドリイシなど（短い枝状）のサンゴも、学習個数が増えると分類精度が高まる傾向がみられる。

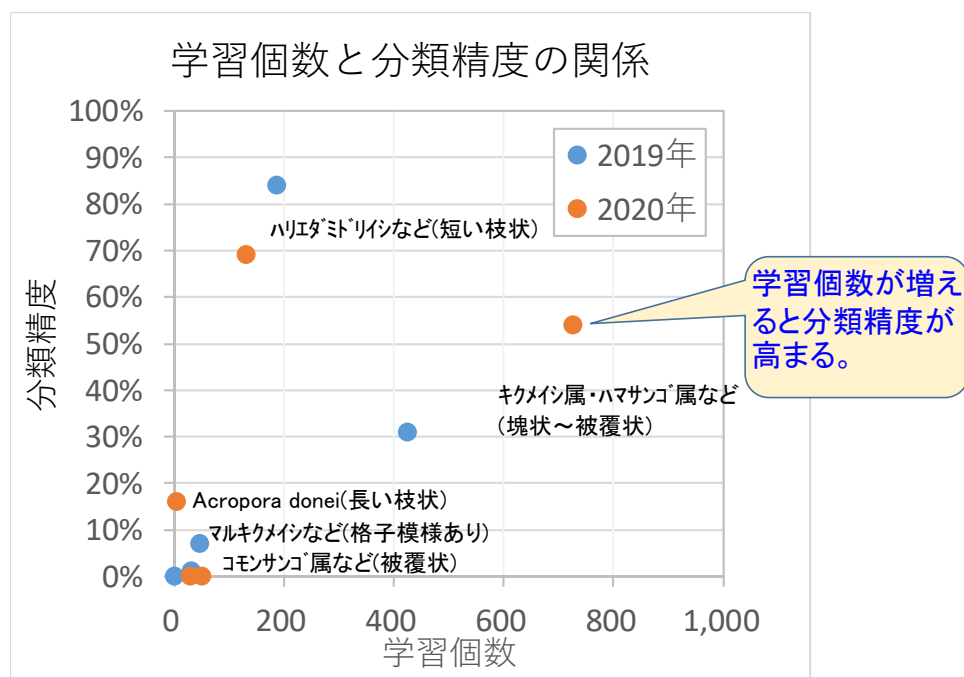


図-IV.5.3.17 教師の学習個数と分類精度の関係

表-IV. 5. 3. 12 2019 年教師モデル (沖ノ鳥島) 6 分類精度表

分類精度表 (m ²)		分類結果							行方向総和	プロデューサ精度
		Acropora donei (長い枝状)	ハリエダシ'リ'リンなど (短い枝状)	コモンサンゴ属など (被覆状)	キクメイシ属・ハマサンゴ属など (塊状～被覆状)	マルキクメイシなど (格子模様あり)	その他サンゴ	非サンゴ		
照合用クラス	Acropora donei (長い枝状)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.022	0.0%
	ハリエダシ'リ'リンなど (短い枝状)	0.000	3.197	0.000	0.002	0.000	0.000	0.621	3.820	83.7%
	コモンサンゴ属など (被覆状)	0.000	0.007	0.011	0.206	0.000	0.000	1.053	1.276	0.8%
	キクメイシ属・ハマサンゴ属など (塊状～被覆状)	0.000	0.316	0.000	3.332	0.000	0.000	7.097	10.746	31.0%
	マルキクメイシなど (格子模様あり)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.139	0.150	7.2%
	その他サンゴ	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	#DIV/0!
	非サンゴ	0.000	1.303	0.000	1.793	0.189	0.000	221.958	225.243	98.5%
列方向総和		0.000	4.824	0.011	5.333	0.199	0.000	230.891	241.257	
ユーザー精度		#DIV/0!	66.3%	98.6%	62.5%	5.5%	#DIV/0!	96.1%		
十分な教師データがないため、分類対象外 十分な教師データがないため、分類対象外									全体精度	94.7%
									kappa係数	0.50

表-IV. 5. 3. 13 2019 年教師モデル (沖ノ鳥島) 2 分類精度表

分類精度表 (m ²)		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	8.288	8.604	16.891	49.1%
	非サンゴ	4.466	218.783	223.250	98.0%
列方向総和		12.754	227.387	240.141	
ユーザー精度		65.0%	96.2%		
				全体精度	94.6%
				kappa係数	0.53

表-IV. 5. 3. 14 2020 年教師モデル (沖ノ鳥島) 6 分類精度表

分類精度表 (m ²)		分類結果							行方向総和	プロデューサ精度
		Acropora donei (長い枝状)	ハリエダシ'リ'リンなど (短い枝状)	コモンサンゴ属など (被覆状)	キクメイシ属・ハマサンゴ属など (塊状～被覆状)	マルキクメイシなど (格子模様あり)	その他サンゴ	非サンゴ		
照合用クラス	Acropora donei (長い枝状)	0.423	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.151	2.574	16.4%
	ハリエダシ'リ'リンなど (短い枝状)	0.000	2.837	0.000	0.037	0.000	0.000	1.254	4.128	68.7%
	コモンサンゴ属など (被覆状)	0.000	0.001	0.000	0.398	0.000	0.000	1.129	1.527	0.0%
	キクメイシ属・ハマサンゴ属など (塊状～被覆状)	0.008	0.022	0.000	6.746	0.054	0.000	5.782	12.611	53.5%
	マルキクメイシなど (格子模様あり)	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.431	0.433	0.0%
	その他サンゴ	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000	0.001	0.023	0.0%
	非サンゴ	0.181	0.214	0.007	2.965	0.005	0.000	165.341	168.714	98.0%
列方向総和		0.612	3.073	0.007	10.169	0.059	0.000	176.089	190.009	
ユーザー精度		69.0%	92.3%	0.0%	66.3%	0.0%	#DIV/0!	93.9%		
十分な教師データがないため、分類対象外									全体精度	92.3%
									kappa係数	0.55

表-IV. 5. 3. 15 2020 年教師モデル (沖ノ鳥島) 2 分類精度表

分類精度表 (m ²)		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	12.168	9.548	21.716	56.0%
	非サンゴ	7.840	160.455	168.295	95.3%
列方向総和		20.008	170.003	190.011	
ユーザー精度		60.8%	94.4%		
				全体精度	90.8%
				kappa係数	0.53

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。

分類作業は、モザイク画像作成、AI モデル構築、AI 解析を行う。各工程について、沖縄海域の作業実績より、測線長 300m あたりの作業日数を算出した結果を表-IV.5.3.16 に示す。モザイク画像作成は 14 時間、AI モデル構築は約 15 日間、AI 解析は 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構築ができれば、将来的には不要となるが、モザイク画像の作成は撮影毎に作業が発生する。そのため、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。

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

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。

表-IV.5.3.16 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×3測線＝300m 測線長300m分のモザイク画像作成の所要時間：14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10m×5m)×2領域＝100m ² 面積100m ² 分の教師データ作成の所要日数：約15日間 AIモデル構築の所要日数：約1.5日間
AI解析	沖縄海域・浦底湾	解析面積：(検証エリア10m×5m)×2領域＝100m ² 面積100m ² 分のAI解析の所要時間：0.02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

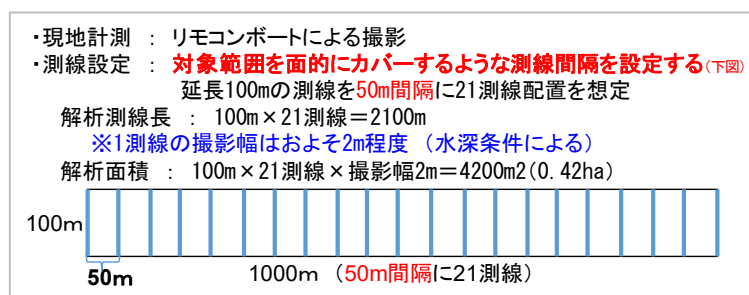


図-IV.5.3.18 対象範囲 10ha の現地計測イメージ

4. 結果のまとめと今後の課題

●結果、⇒課題

【サンゴ被度計測】

- リモコンボート取付水中カメラによる撮影により、沖ノ鳥島においても作業効率は4.2日/10haとなり、従来の潜水土撮影と比較し4倍、船取付撮影と比べて1.5倍の作業効率で撮影ができた。事業計画目標の5日/10haは達成できる。
 - リモコンボートによる撮影では、波による船の揺れにより撮影画像は左右に大きく振れる。モザイク画像を効率的に作成するためには、撮影コマが多く連続性を保てる動画での撮影が求められる。今回、高機能の撮影カメラ（手振れ補正機能の性能向上）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を抑えた画像を取得できた。また、撮影時のカメラ設定を従来の露出オートから露出固定モードに変更することで、画像の白飛びを抑制でき、サンゴの色を捉えやすい画像を取得できることがわかった。
 - 画像合成方法は、従来のオルソ化処理ではなく、モザイク処理に変更することで、効率的にオリジナルの画像の視認性を維持したぼやけや歪みの少ない状態での合成ができた。なお、本手法ではリモコンボートの測線方向に合成を行うため、測線間の接合部で位置のずれが生じ、色調が変わる（パッチワーク状の）画像となる。
- ⇒浦底湾の試行で、撮影方法・画像合成方法を変更することで、効率的かつ高精度の画像が得られた。沖ノ鳥島でも同じ方法で撮影し、質の高い教師データを増やすことが求められる。
- ⇒モザイク処理により効率的に高精度の画像が得られたが、接合部のずれや色調が一樣ではない複数測線の合成画像を用いて、教師データを作成し、学習させることは、不正確さにつながり、精度低下を招く要因と考えられる。測線ごとに教師データを作成、学習させることが求められる。
-
- 10haの広範囲調査を行うには、モザイク画像作成に係る作業日数を念頭に入れて、効率的に迅速かつ高精度のサンゴ分類ができる現地計測の計画が求められる。
- ⇒今後、対象海域のノルの分布状況を予め把握し、サンゴ分布を面的にカバーできる測線計画の立案が必要となる。

【サンゴ被度分類】

- 2020年（浦底湾）の5分類の分類精度は、昨年度まで精度が低かったスギノキミドリイシ、クシハダミドリイシが大幅に向上し60%程度となった。これは、撮影方法や画像合成方法の改善により高精度の画像を取得できたことで、質の高い教師データが増えたことによる。
- ⇒スギノキミドリイシ、クシハダミドリイシの分類精度は60%程度であり、ハナガサミドリイシ、コユビミドリイシの精度80%程度に比べるとまだ低い。ハマサンゴ属も教師データが少なく精度がまだ低い状況にある。更なる分類精度向上にむ

けて、精度の低いサンゴを中心に、多様かつ正確な（質の高い）教師データを増やすことが課題となる。また、5分類の1つ“その他サンゴ”には多様な種が含まれ、その学習により精度低下を招いている可能性もある。分類の最適化も課題となる。

- 沖ノ鳥島は今回初めて AI 解析を行ったが、浦底湾と沖ノ鳥島では出現するサンゴの種類が異なるため、沖ノ鳥島では新たに AI モデルを構築した。沖ノ鳥島に出現するサンゴの形状の違いからサンゴ種は6区分した。
 - 2019 年、2020 年（沖ノ鳥島）ともに、「AI モデルによる分類」の全体精度（分類正解率）は2分類、6分類で90%以上であり、従来の「オブジェクトベース分類」よりも精度が高く、沖ノ鳥島のサンゴ被度分類においても、「AI モデルによる分類」手法が適することを把握した。
 - 沖ノ鳥島の6分類の分類精度は、ハリエダミドリイシなど（短い枝状）のサンゴの分類精度は高く、2019 年は84%、2020 年は69%の精度で分類ができた。一方、キクメイシ属・ハマサンゴ属など（塊状～被覆状）のサンゴは、出現個数が多く、教師データも多いが、ノル上のサンゴを分類できていないところがあり、分類精度は31%、54%と低かった。分類精度の向上を図るためには、ノルとノル上のサンゴの輪郭、表面の質感といったわずかな特徴の違いを捉えることができる AI モデルを構築する必要がある。
- ⇒ 学習個数が多くなると分類精度が高まる傾向がみられることから、AI モデルによる分類精度の向上にむけて、沖ノ鳥島でも高精度画像を取得し、多様な、正確な（質の高い）教師データを増やすことが課題となる。

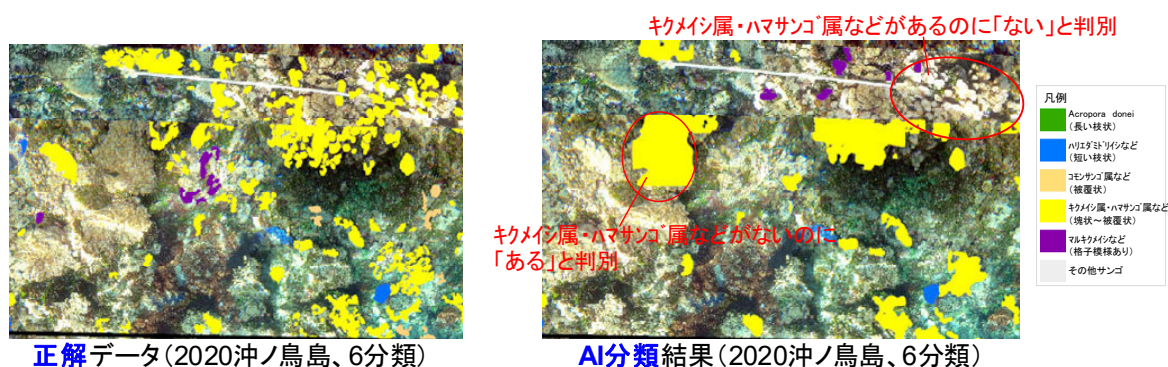


図-IV.5.4.1 ノル上のサンゴを分類できていない例

- 実証海域での作業日数より、対象範囲 10ha の分類に係る作業日数を試算した。事業計画目標の 15 日/10ha を達成するためには、10ha を面的にカバーするような測線間隔を設定し計測することが求められる。

5. 次年度の計画（案）

（1）次年度の目的（案）

実証海域、沖ノ鳥島において計測方法の改善と、AI 学習モデルの改良による高精度化を検証する。

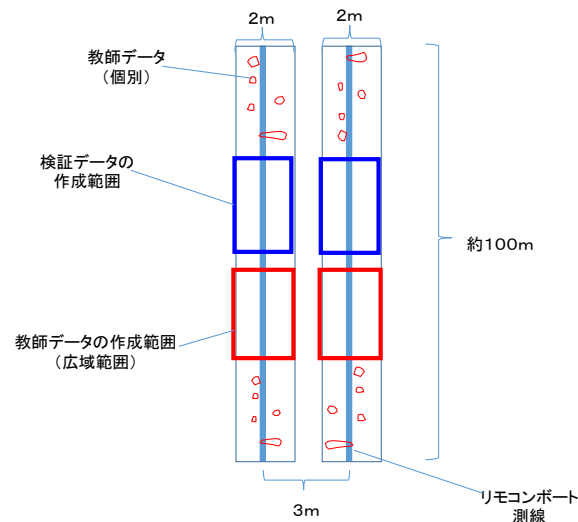
（2）次年度の検証項目（案）

【サンゴ被度計測】

- ①実証海域、沖ノ鳥島において、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
- ②沖ノ鳥島において、撮影画像の高精度化（サンゴの色を捉えやすい画像の取得）の検証

【サンゴ被度分類】

- ③実証海域において、学習データの蓄積（分類精度が低いスギノキミドリイシ、クシハダミドリイシ、ハマサンゴ属の教師データを増やす）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
- ④沖ノ鳥島において、学習データの蓄積（分類精度が低いククメイシ属・ハマサンゴ属、Acropora donei、コモンサンゴ属、マルキクメイシの教師データを増やす）による、AI 学習モデルのサンゴ分類の高精度化の検証



- ・ 延長100mの測線を重複がないよう設定し、リモコンボートで撮影
- ・ 測線ごとにモザイク処理による画像合成
- ・ 教師データの作成は、広域範囲での作成に加えて、教師が少ない・分類精度が低いサンゴを対象に個別に教師データを作成する

図-IV.5.5.1 次年度計測、教師データ作成のイメージ（案）

(3) 次年度のアプローチ方法（案）

- ①実証海域（浦底湾又は崎枝湾）において、サンゴ画像の撮影、水中観察
- ②沖ノ鳥島において、サンゴ画像の撮影、水中観察
- ③実証海域および沖ノ鳥島において取得した画像のオルソ化、教師データ・検証データの作成
- ⑤実証海域および沖ノ鳥島において AI 学習モデルによる分類解析を実施し、精度検証、課題抽出

(4) 次年度のスケジュール（案）

- 4 月～5 月中旬：実証海域におけるサンゴ被度計測、撮影画像の確認・検証
- 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～11 月：画像のモザイク化、教師・検証データ作成
- 8 月～2 月：AI 学習モデルによる解析、精度検証、課題抽出、改善事項提案