

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
3.1	分類効率化の検証について	V-2
3.2	ドローン撮影画像によるサンゴ被度計測及び解析結果	V-3
3.3	船舶水中カメラ撮影によるサンゴ礁観測結果	V-5
3.5	船舶水中カメラ撮影によるサンゴ被度分類結果	V-6
4.	課題と次年度の計画	V-9
4.1	課題	V-9
4.2	次年度の計画	V-9

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

サンゴ被度計測技術について、今年度は、ドローン及び船上水中カメラ撮影により画像計測を行い、群体レベルでのサンゴの分布をもとにサンゴ被度を計測する技術の開発を行った。

また、サンゴ分類手法の高度化について、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%以上の効率化を図り、分類精度 80%以上とすることを目指した。

2 方法

検証項目と手法を表-V.2.1 に示す。



ドローン撮影



船舶曳航水中カメラ撮影



表-V.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 ドローン撮影画像によるサンゴ被度計測	・高精度なサンゴ被度分類解析が可能な画像撮影手法について検証する。
	② 船舶曳航水中ビデオカメラ、リモコンボート水中撮影によるサンゴ被度計測	・撮影画像の精度向上、撮影作業の効率化のための画像撮影手法の改善方を検討し、両手法の有効性を検討する。
サンゴ被度分類技術	① 統計的分類手法による分類	・沖ノ鳥島ドローン撮影画像について分類、検証する。 ・浦底湾リモコンボート水中撮影について分類、検証する。
	② AI（深層学習）による分類	・AI（深層学習）による分類で上記と同等の分類精度、効率性の比較を行い、検証する。 ・解析手法の精度向上方を検討する。

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。

潜水士による水中ビデオ撮影と比べ、ドローンによる撮影では6倍、船舶水中カメラによる撮影では3.5倍の効率化を図ることができた。

表-V.3.1 サンゴ被度計測の効率化検討結果

撮影手法	実証海域(手法)	作業日数
① ドローンによる撮影 ※白波、風なしでハレーションのない時間帯での撮影制約条件あり。	沖縄海域・浦底湾 (ドローン・高度 100m) ※設標(目印設置)時間は含まない。	撮影面積:100m×100m=1ha 1ha撮影の所要時間:1.0時間 1時間当たりの撮影可能面積:1.0ha 1日(7.5h)当たりの撮影可能面積:7.5ha <u>10ha撮影に必要な日数:約1.3日間</u>
	沖ノ鳥島 (ドローン・高度 100m) ※設標(目印設置)時間は含まない。	撮影面積:100m×100m=1ha 1ha撮影の所要時間:1.0時間 1時間当たりの撮影可能面積:1.0ha 1日(7.5h)当たりの撮影可能面積:7.5ha <u>10ha撮影に必要な日数:約1.3日間</u>
② 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)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:5m×100m=0.05ha 0.05ha撮影の所要時間:0.17時間 1ha撮影の所要時間:3.4時間 1時間当たりの撮影可能面積:0.3ha 1日(7.5h)当たりの撮影可能面積:2.25ha <u>10ha撮影に必要な日数:約4.5日間</u>
	沖ノ鳥島 (船取付水中ビデオ撮影)	撮影面積:5m×100m=0.05ha 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: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 <u>10ha撮影に必要な日数:約18日間</u>

3.2 分類効率化の検証について

AIによる分類の効率化については、本年度、従来のオブジェクトベース分類に対する効率化の検討する予定であった。しかし、AIモデルの教師データの選別、画像学習手法などの作業方法の決定に試行錯誤が生じ、分類解析にかなりの時間を要し、オブジェクトベース分類の解析(15日間/1ha)よりも、1.5倍程度(約1ヵ月)の時間を要した。

今年度、分類解析の手法が概ね確立できたため、今後は教師データとなる画像をさらに増やしつつ、教師データの作成要領の改善を行い、本実証試験の最終段階で50%の効率化を目指す。

3.2 ドローン撮影画像によるサンゴ被度計測及び解析結果

(1) 沖縄海域（浦底湾）のドローン撮影のオルソ画像化

浦底湾のドローン撮影結果のオルソ画像は図-V.3.1 に示すとおりである。

高度 70m、100m で撮影を実施したが、高度 70m では昨年度と同様の課題である画像のつなぎ合わせ（オルソ化）ができず、面的な画像の作成はできなかった。

100m 撮影結果は、さざ波がほとんどないところでは、サンゴの群体が確認できる程度に鮮明な画像が取得できた。

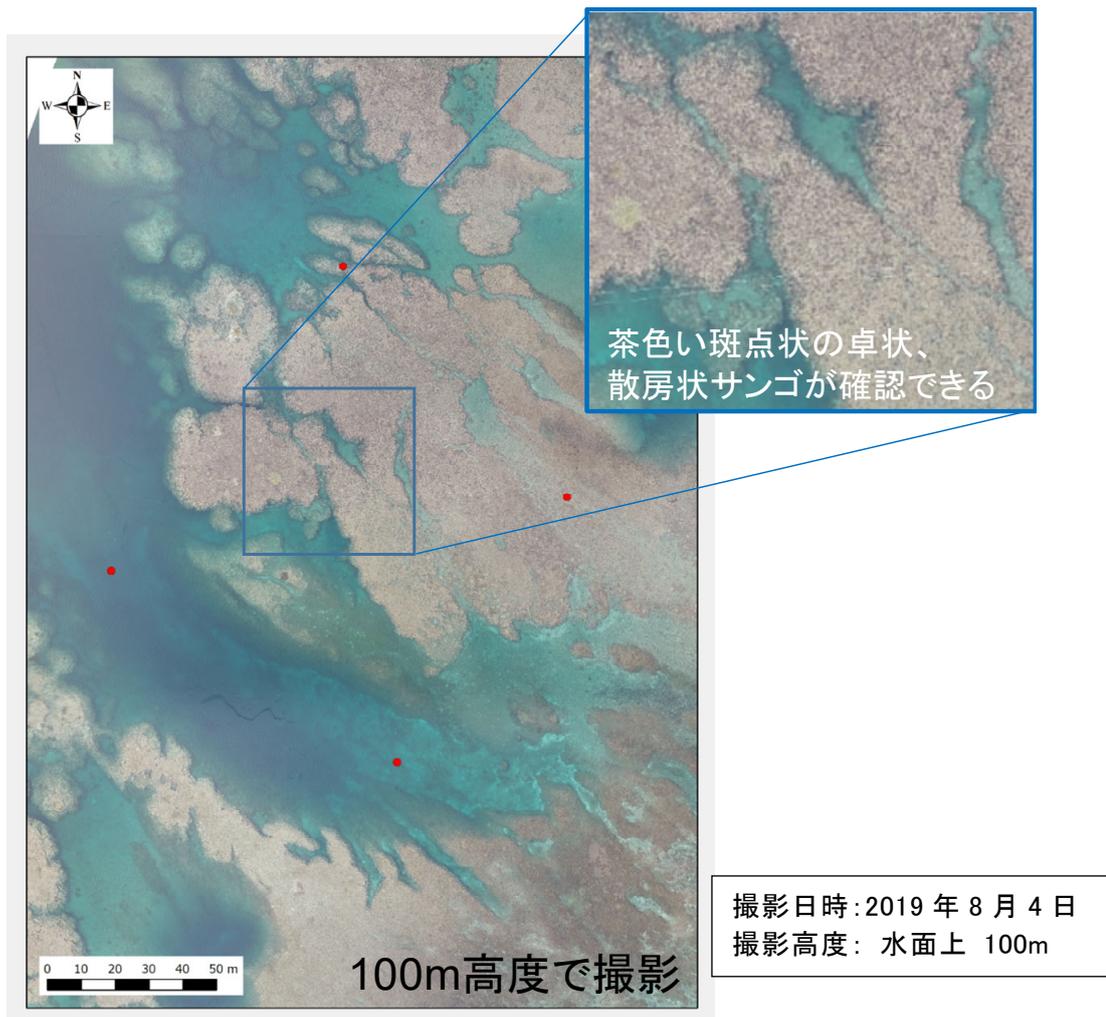


図-V.3.1 ドローン撮影結果のオルソ画像（浦底湾）

(2) 沖ノ鳥島のドローン撮影のオルソ画像化とピクセルベース被度解析結果

1) ドローン撮影のオルソ画像化

沖ノ鳥島においても、高度を 75m 及び 100m で撮影を行ったが、高度 75m での撮影画像は画像をオルソ化することができず、100m 高度撮影のものでオルソ化を行った。

2) ドローン画像の被度解析結果（ピクセルベース分類解析）

既往の統計的分類手法（「改訂 有性生殖によるサンゴ増殖の手引き」（H31年3月）のp.Ⅲ-4～13に示される手法）によって、サンゴ被度解析を行ったところ、サンゴの同定ができる専門家による観察データとの誤差5%未満でサンゴ被度を解析できた。

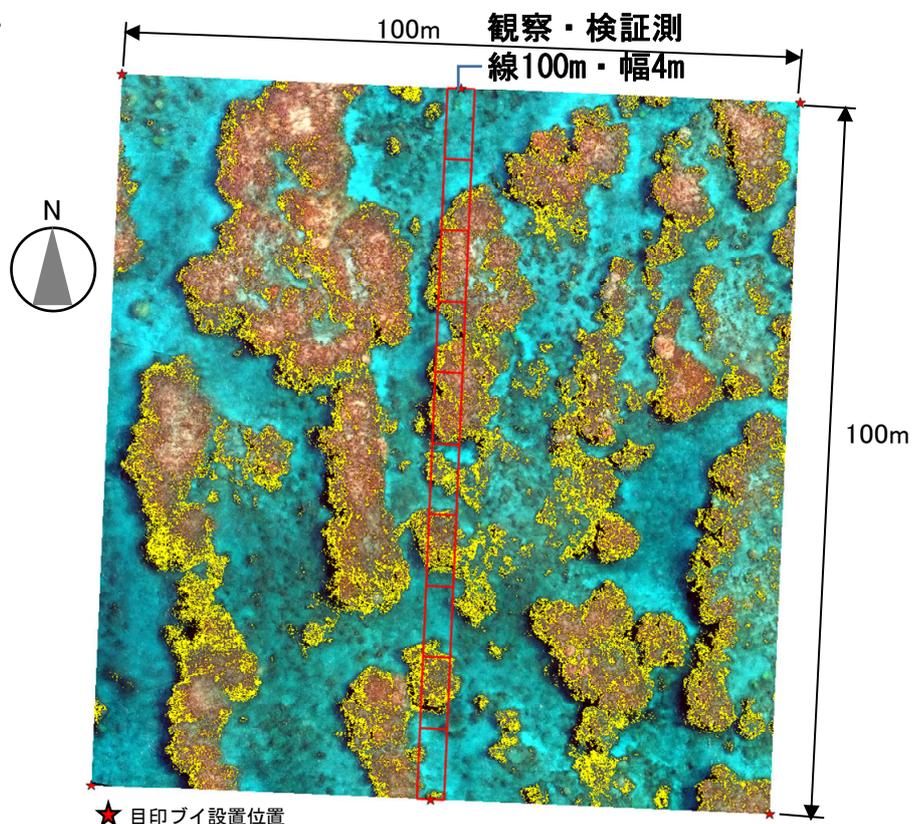


図-V.3.2 サンゴ被度の画像解析結果（画像ピクセル黄色部分がサンゴ）

表-V.3.2 観察10m区間ごとの観察と解析被度の比較

起点からの距離(m)	現地調査結果被度(%)	画像解析被度(%)
0~10	5%	0%
10~20	15%	12%
20~30	20%	14%
30~40	25%	21%
40~50	20%	22%
50~60	25%	22%
60~70	20%	26%
70~80	10%	8%
80~90	15%	24%
90~100	10%	5%

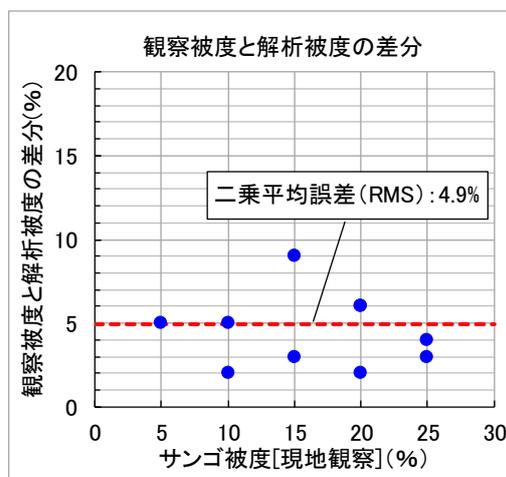


図-V.3.3 観察被度と解析被度の差分と二乗平均誤差(RMS)

3.3 船舶水中カメラ撮影によるサンゴ礁観測結果

(1) 沖縄海域（浦底湾）のリモコンポート撮影のオルソ画像化

リモコンポート撮影では、ビデオ画像切り出し画像のブレ対策、GNSS データと撮影位置を対応させるため、連写モードで撮影を行った結果、オルソ画像データは、一部オルソ処理の過程で歪みがみられたが、サンゴの種や底質が確認可能なものであった。

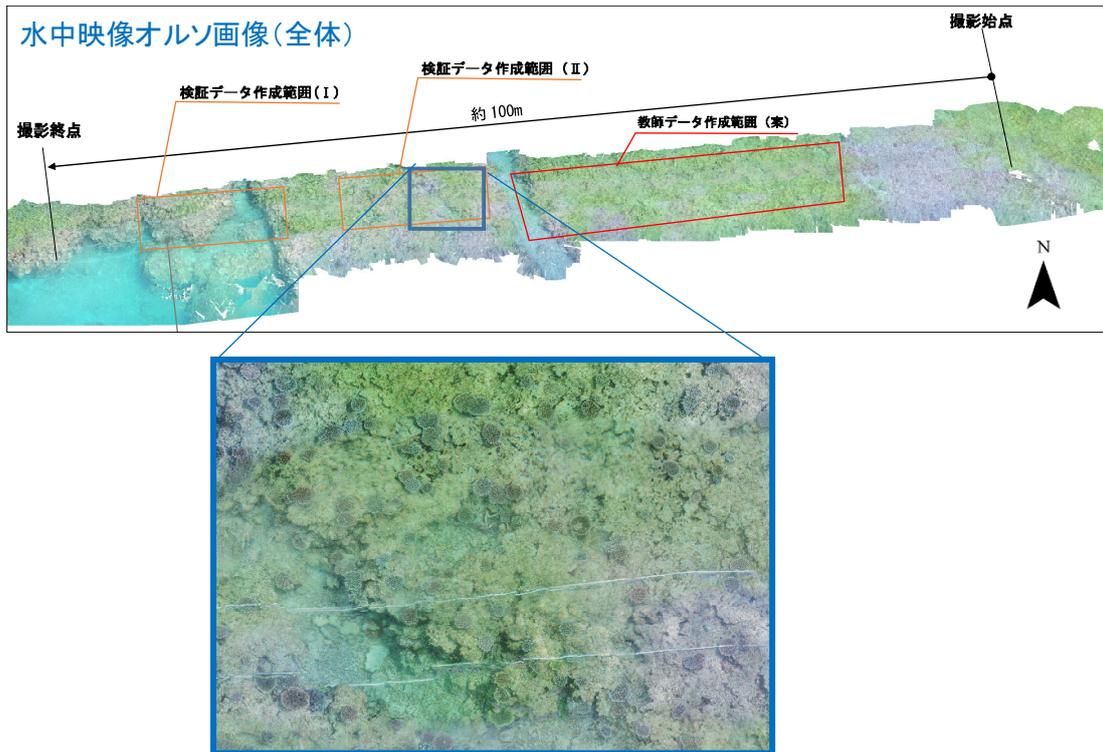


図-V.3.4 リモコンポート撮影結果のオルソ画像（浦底湾）

(2) 沖ノ鳥島の船舶曳航水中カメラ撮影のオルソ画像化

小型船（ゴムボート）に取り付けたビデオカメラで水中映像撮影結果のオルソ画像データは、サンゴの種や底質が確認可能なものであった。

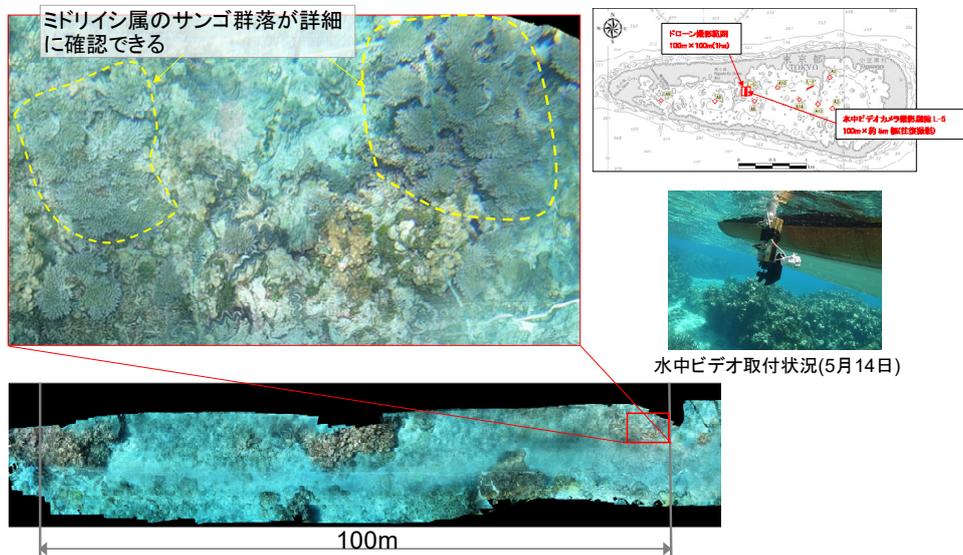


図-V.3.5 船舶曳航水中カメラ撮影結果のオルソ画像（沖ノ鳥島）

3.5 水中カメラ撮影画像によるサンゴ被度分類結果

浦底湾のリモコンボート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」と従来の「統計的分類手法(オブジェクトベース分類)」でサンゴ分類を実施した。

1) 2019年の教師データのためのサンゴ分類結果

浦底湾の水中カメラ撮影によるサンゴ分類結果を図-V.3.6に示した。

サンゴ、非サンゴの2分類では、「オブジェクトベース分類」では、分類できていないエリアと、サンゴのないエリアをサンゴと誤分類する傾向にあり、「AIモデルによる分類」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。

一方、5分類の結果は「オブジェクトベース分類」では、教師データが少なかったクシハダミドリイシを多く誤分類しており、スギノキミドリイシが分類できていない。「AIモデルによる分類」でも同様に、クシハダミドリイシをスギノキミドリイシと多く誤分類している。

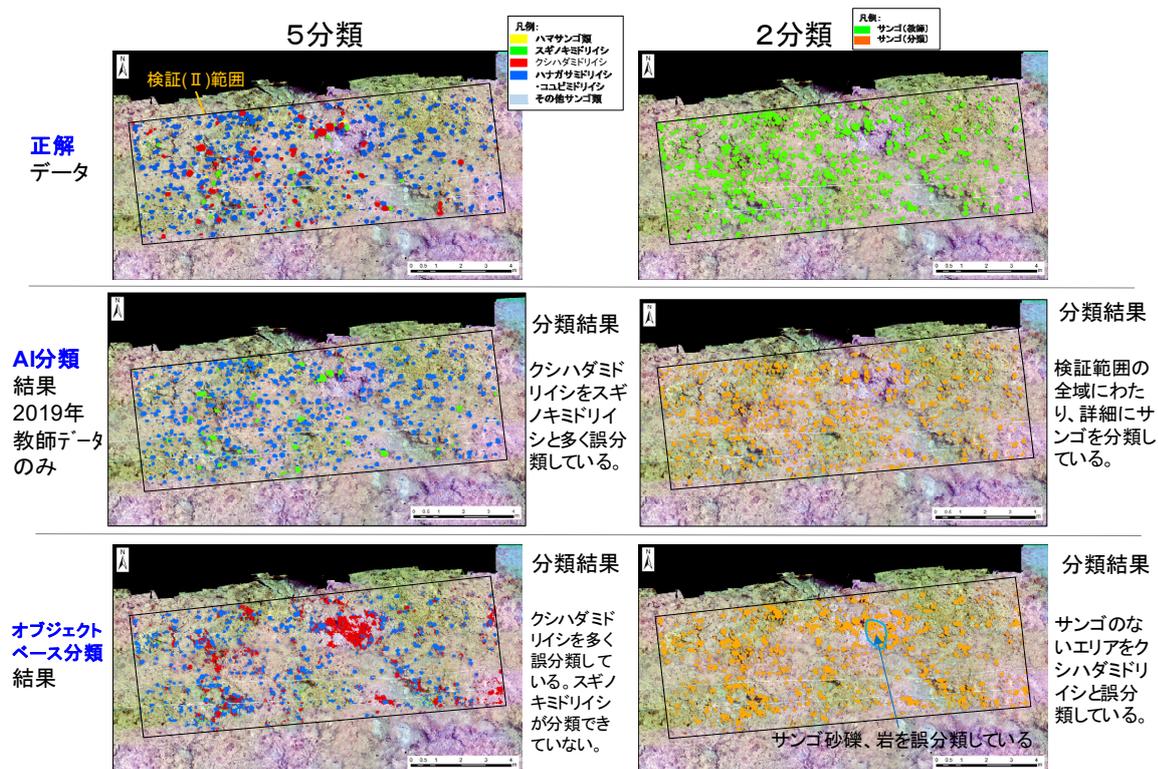


図-V.3.6 水中カメラ撮影のオルソ画像に対するサンゴ分類解析結果 (2019年の教師データのみ)

2) 2019年の教師データに2018年の教師データを追加したAIモデル分類結果

AIモデルによるサンゴ分類において教師データを増やして学習、分類精度を高めることを期待して、2019年の浦底湾の教師データに、2018年に崎枝湾で作成した教師データの画像を加えて、分類した結果を図-V.3.7に示した。

その結果、サンゴ、非サンゴの2分類では、2019年のみと比べてわずかにサンゴの分布エリアが合致する度合いが向上した。5分類の結果は、2019年のみの分類結果と顕著に変わらず、クシハダミドリイシをスギノキミドリイシと誤分類する傾向がみられた。

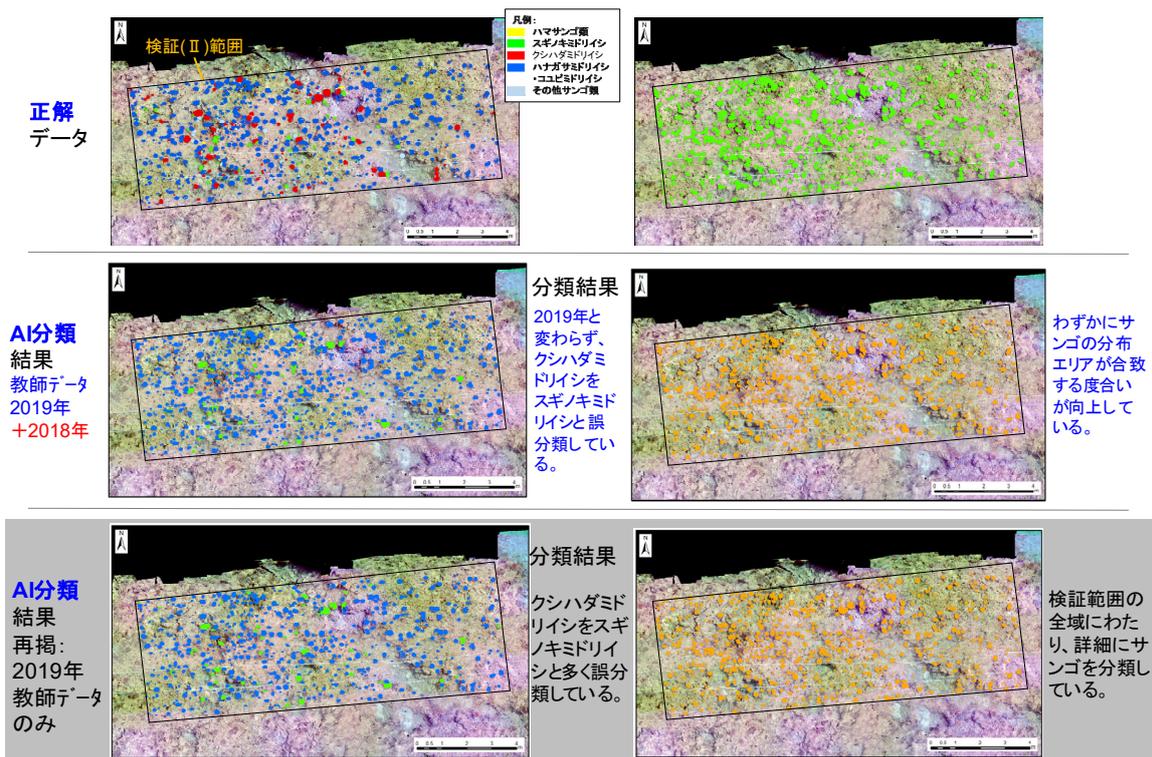


図-V.3.7 2019年教師データに2018年教師データを加えたAIモデルによるサンゴ分類解析結果

3) サンゴ分類精度のまとめ

各分類の定量的な分類精度について、表-V.3.3、図-V.3.8に示した。

- 2019年のみの分類解析では「オブジェクトベース分類」より「AIモデルによる分類」の方が10%程度精度が高くなったが、2018年と2019年の教師データを足し合わせたAIモデルによる分類では2018年と全体精度は同程度であった。
- 個々の分類精度について、5分類では、最も出現頻度が高かったハナガサミドリイシ・コユビミドリイシは80%程度まで向上したが、その他のサンゴは0~2%と抽出できていない。一方、2分類ではサンゴの分類精度は70%程度まで向上した。
- 各年度の近似直線を見ると学習個数が高くなれば、分類精度が高まる傾向がみられる。しかし、学習個数の多い「ハナガサミドリイシ・コユビミドリイシ」、「サンゴ(2分類)」は、2018+2019年と教師データを増やしても顕著に高くない傾向がみられる。

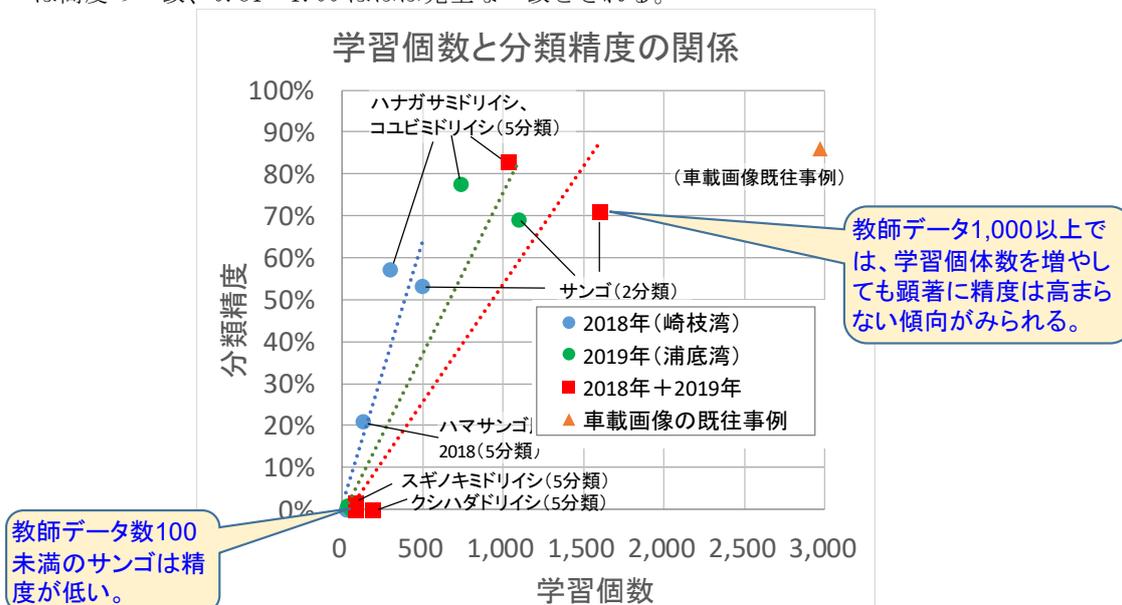
表-V.3.3 各解析の分類精度

今年度の成果

分類	プロデューサー精度	2018年(崎枝湾)		2019年(浦底湾)		2018年+2019年
		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	
5分類	ハマサング属*	18%	21%	0%	0%	0%
	スギノキミドリイシ	2%	0%	1%	1%	2%
	クシハダミドリイシ	0%	0%	31%	0%	0%
	ハナガサミドリイシ、コユビミドリイシ	51%	57%	48%	77%	83%
	非サング	98%	97%	89%	98%	96%
	全体精度	87%	88%	79%	89%	88%
	kappa係数	0.48	0.50	0.38	0.62	0.61
2分類	サング	51%	53%	62%	69%	71%
	非サング	97%	99%	85%	97%	97%
	全体精度	88%	92%	81%	92%	92%
	kappa係数	0.55	0.62	0.44	0.72	0.73

※2018年にパラオハマサングとした分類は、形状が類似した他のハマサング属をまとめて分類したため、ハマサング属とした。

- 1) 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)
- 2) 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。



※車載画像の既往事例は、あくまで一例であり、必ずしもサングの分類において同様の精度となるわけではない。

図-V.3.4 教師の学習個数と分類精度の関係

4. 課題と次年度の計画

4.1. 課題

【ドローン撮影によるサンゴ被度計測・分類】

- ⇒10ha を 3 日間で画像取得の目標を達成した。効率よく被度計測撮影を行う場合は、早朝・夕方及び海象条件を踏まえた撮影時間の計画と、予め計測場所の地形を把握し、より特徴点を多く含む撮影範囲（撮影高度）の計画が必要がある。
- ⇒ドローン撮影では、統計的分類手法により高精度で被度計測が可能であるが、個々のサンゴが分類できないため、計測現場（画像）ごとに底質区分による色調補正が必要である。

【水中カメラ撮影によるサンゴ被度計測・分類】

- ⇒船舶取付カメラより、リモコンボート取付カメラによる撮影が、作業効率の点や浅い場所でも撮影できる点で有利であるが、波浪静穏時をねらった調査が必要なため、さらなる船体動揺に対する機能改良（ボート、カメラの動揺対策によるブレ補正）が必要である。
- ⇒今年度のハマサンゴ属の分類精度の低下の要因は学習データ数が少なかったことによる。2018 年を足してもデータ数は 200 弱。（分類精度が良いハナガサ・コユビミドリイシは 700 を超える教師数。）今後、教師データを増やす必要がある。
- ⇒クシハダミドリイシとスギノキミドリイシの誤分類は、教師データ数が少ない上に、取得画像と画像オルソ化におけるブレ・歪みによる、教師データの“不正確さ”によると考えられる。教師データを増やすとともに、教師データ選別も必要である。

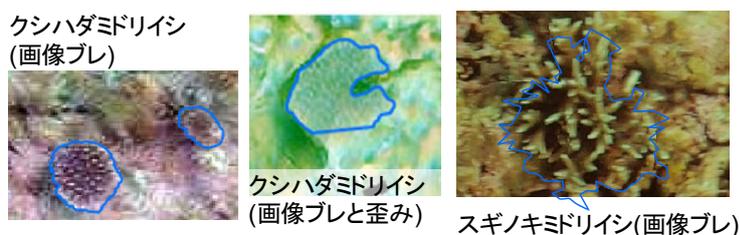


図-V.4.1 誤分類に影響する教師データ画像のブレ、歪みの例

- ⇒現在の分類種では汎用性がない点については、今後分類するサンゴ種の教師データ画像が増えれば、AI 分類手法で、まずは形状が類似したサンゴ種で分類し、属レベルで結果を出すことは可能と考える。

4.2. 次年度の計画

(1) 次年度の目的

実証海域における水中撮影の AI 学習モデルの改良による高精度化、高効率化を実施し、沖ノ鳥島で計測方法の改善と、AI による分類解析の実施し精度検証を行う。

(2) 次年度の検証項目

【サンゴ被度計測】

- ①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）
- ②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

【サンゴ被度分類】

- ③被度分類技術は、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
- ④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

(3) 次年度のアプローチ方法

- ①実証海域（浦底湾又は崎枝湾）において、リモコンボート・カメラ機能改良型の撮影の試行、撮影画像の検証、サンゴ水中観察
- ②沖ノ鳥島において、リモコンボート・カメラ機能改良型によるサンゴ礁画像の撮影取得、サンゴ水中観察
- 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
- ④実証海域および沖ノ鳥島において過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、課題抽出
- ⑤沖ノ鳥島における被度計測およびAI学習モデルによる分類作業の効率化の検討、課題抽出、改善事項の提案