

第Ⅲ編 参考資料

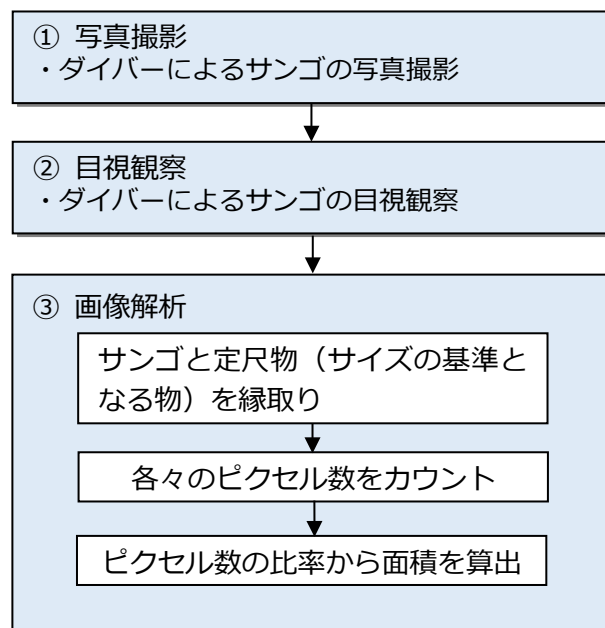
1. 【技術ノート1】中間育成中のサンゴの成長面積の簡易算定手法

従来、植え付け後のサンゴ成長量の把握は、ダイバーによる目視観察で被度（%）を記録するケースが多い。しかし、潜水目視では観察力に個人差が生じやすく、さらに、植え付けたサンゴの数が多い場合、多大な労力と時間を必要とすることから、効率的に観測し、正確にデータを記録できるモニタリング調査手法の確立が求められている。

以下に、現場で写真撮影によるモニタリングを行い、撮影画像の解析からサンゴの面積を算定する方法について整理した。

（1）調査・解析手順

調査・解析の流れは、図Ⅲ.1-1 に示す通り、「①写真撮影」、「②目視観察」、「③画像解析」の3つの工程に区分される。「①写真撮影」では、現地でダイバーによりモニタリング対象サンゴの撮影を行う。「②目視観察」では、撮影画像からでは判別が困難なサンゴの生死を現地で記録する。最後に、「③画像解析」では、撮影画像からサンゴの面積（cm²）の算出を行う。各工程の詳細は以下に示すとおりである。

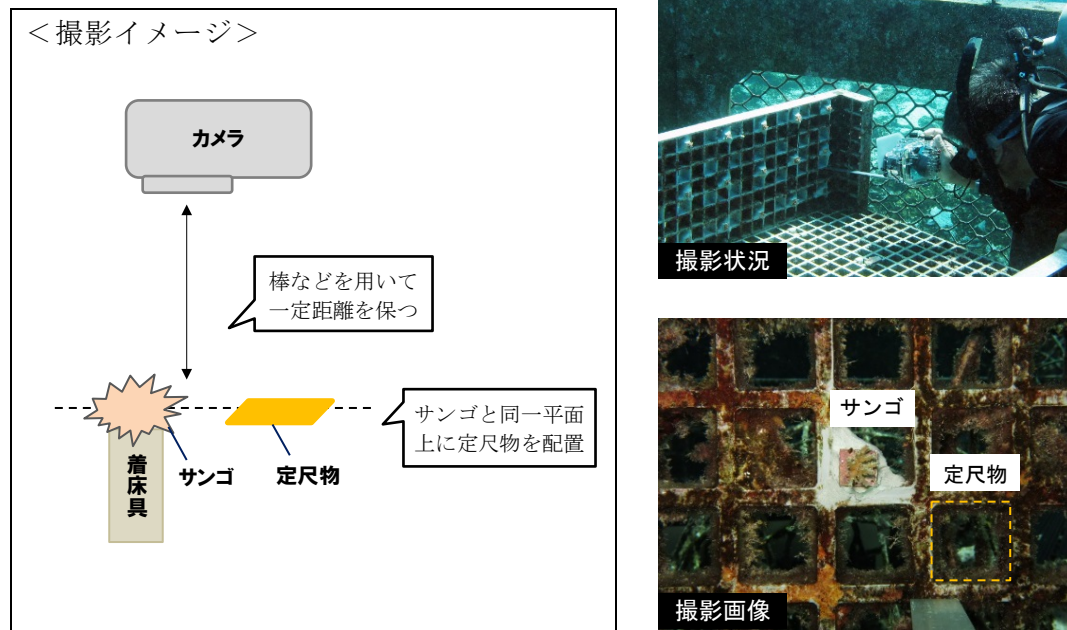


図Ⅲ.1-1 画像解析による面積算出方法の手順

① 写真撮影

撮影画角内に定尺物（サイズの基準となる物）をサンゴと同一平面上に配置して、サンゴを着床具面に対して平行で撮影する。沖ノ鳥島の実証事例では、サンゴを植え付ける中間育成施設の格子状基盤 1 マス（4×4cm）を定尺物とした。

なお、棒などを用いて一定の距離を保ちながら撮影すると、撮影時の平行も確認できるため、複数のサンゴに対する撮影作業が容易となり効率的に行える。

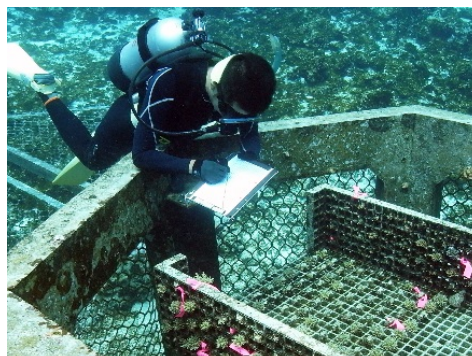


図Ⅲ.1-2 サンゴの写真撮影

② 目視観察

撮影画像ではサンゴの生死の判別が困難であるため、現場での目視観察により生残状況や外観変化を記録して、画像解析時の補足資料として活用する。

生残状況のモニタリングについては「第Ⅱ編 2.3.4 育成管理」の表Ⅱ.2-9を参照。



図Ⅲ.1-3 サンゴの目視観察（生残状況の確認）

③ サンゴの面積算出

画像解析ソフト（Adobe Photoshop 等）を用いて、撮影画像からサンゴと定尺物のピクセル数を比較して、サンゴの面積を算定する。

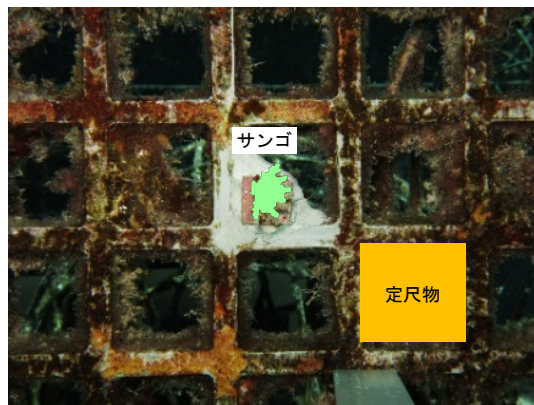
デジタル画像は、色情報（色調や階調）を持つ小さな点の集合体である。この点を「ピクセル（＝画素）」と言い、画像解析ソフトを用いてピクセルの数（画面上でのサイズ）を計測できる。サンゴと定尺物のピクセル数が判明すれば、定尺物の面積が既知であるため、比率計算によりサンゴの面積を算定できる。

画像解析によるサンゴ面積の算定手順を以下に示す。

【算定手順】

1. 画像解析用のソフトを起動して写真を開く。
2. サンゴと定尺物を縁取りし、それぞれの縁取った範囲内のピクセル数を計測する（計測方法はソフトに準拠）。
3. 比率計算より導かれる下記の計算式により、サンゴ面積を算定する。

$$\text{サンゴ面積} = \text{サンゴピクセル数} / \text{定尺物ピクセル数} \times \text{定尺物面積}$$



図Ⅲ.1-4 サンゴの画像解析イメージ

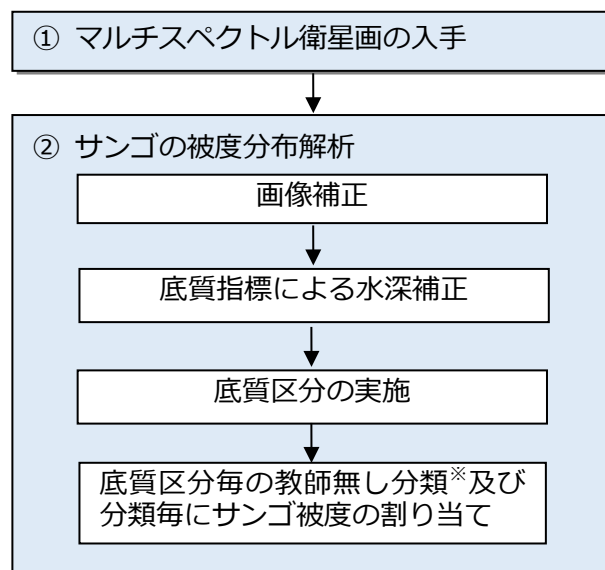
2. 【技術ノート2】衛星画像によるサンゴ被度分布解析手法

サンゴの成長や被度を把握する上では、従来のダイバーによる潜水調査や ROV 調査が一般的な方法であるが、数 km～数十 km 規模のサンゴ礁のサンゴ分布を広域に把握する場合、ダイバーによる潜水調査では多大な労力と時間を必要とすることから、広域的なサンゴの被度や分布などのモニタリングを効率的に行える調査手法の確立が求められている。

ここでは、「衛星画像によるサンゴ被度分布解析」に関する調査結果を総括し、本技術の実調査への活用の考え方について検討・整理する。

1) 衛星画像解析手順

衛星画像解析の手順は図Ⅲ. 2-1 に示すとおりであり、「①マルチスペクトル衛星画像等の入手」、「②サンゴ被度分布解析」の2つの工程に区分される。「①マルチスペクトル衛星画像等の入手」では、解析対象となる撮影時期や解析に耐えうる画質を確認したうえで画像を入手する。「②サンゴ被度分布解析」では、撮影画像毎に水蒸気や天気に応じた色調の影響等の補正や画像の歪みを補正する画像補正を行った上で、画像解析によりサンゴ被度解析を行う。各工程の詳細は以下に示すとおりである。



図Ⅲ. 2-1 衛星画像解析の手順

※ 教師無し分類とは、教師データ（画像と区分したい分類を紐付けるデータ）を用いずに、画像毎の持つ特徴の類似した集団毎に分類する手法。

(1) マルチスペクトル衛星画像の入手

解析を行いたい対象箇所、時期の衛星画像を入手する必要がある。1 時期の画像のみを対象とする場合は、現地調査による検証データと同時期の画像を選択する。複数時期の画像を対象とする場合は、その内 1 時期は、現地の検証データと同時期の画像を含むよう選択する。画像解析の対象となる代表的な衛星を表Ⅲ. 2-1 に示す。ノル等の微細な構造の把握に耐える精度として解像度 1m より高精度のものが望ましく、大まかな分布解析であれば解像度 10m 程度でも利用可能である。なお、同様の画像解析は、航空写真でも可能であり、衛星画像に比べて航空写真は解像度が高い場合が多い。国土地理院やその他機関が保有する航空写真を入手するか、新たに航空写真撮影を行って画像を入手することにより、高精度の画像解析を行うことが可能となる。

衛星画像の選択・購入時の留意点は以下に示すとおりである。

表Ⅲ. 2-1 画像解析の対象となる代表的な衛星

衛星種類	パンシャープンオルソ画像※ ² (4 バンド) の解像度と価格の例	
	解像度の例	価格※ ⁴
IKONOS	0.8m ※ ³	4,500 円
GeoEye-1	0.5m ※ ³	6,000 円
WorldView-2、WorldView-3、WorldView-4	0.5m ※ ³	6,000 円
Pleiades	0.5m	2,400 円

【衛星画像の選択・購入時の留意事項】

- 対象範囲全域が解析できるよう、雲の影響が少ない画像を選択する。
- 波浪の影響がある場合、ハレーションや白波により解析ができない箇所が発生しやすいため、波の影響の小さい画像を選択する。
- 衛星画像によるサンゴ画像解析が可能な水深帯は、海底面が透過して撮影されている範囲である。よって、現地の透明度等を勘案し画像解析の可否を判断する必要がある。なお、今回実施した沖ノ鳥島では、水深 0～5m の水深帯を解析している。
- 衛星の種類が異なっても解析は可能であるため、複数年の画像解析を行う場合は、上記 2 項目に留意した衛星画像を選択する。

※1 マルチスペクトル衛星画像とは、複数の波長帯（バンド）の情報を有した衛星画像。例えば IKONOS は青、緑、赤、近赤外の 4 バンドを有している。

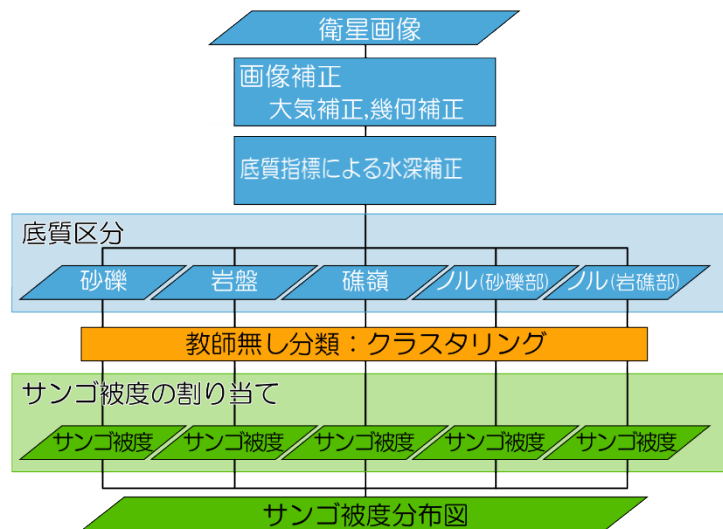
※2 マルチスペクトル画像よりも分解能が高いパンクロマチック画像と、マルチスペクトル画像を合成し、オルソ化した画像。

※3 各衛星の代表的な解像度であり、他の解像度データもある。

※4 衛星画像データ最小購入面積は 25k m² であるが、それを 1km² に割り戻したアーカイブ画像の価格（2017 年 12 月 7 日時点）。

(2) サンゴの被度分布解析

サンゴ被度分布解析は、画像補正、底質指標による水深補正を行った上で、画像解析によりサンゴ被度解析を行う。これらの工程には一般的に、ERDAS IMAGINE、ArcGIS、SIS 等のソフトウェアが用いられており、本調査では、ERDAS IMAGINE を利用している。



図Ⅲ. 2-2 サンゴ被度分布解析の手順

①画像補正

衛星画像は、水蒸気による影響を軽減するための「大気補正」と、画像の歪みやズレを補正する「幾何補正」を行う。

大気補正は、暗画素法と呼ばれる、画像から大気上層で反射した光を除去する方法を用いて補正する。次に、幾何補正は、画像の空間位置の誤差を除き、基準点（経年変化の少ない構造物等）を用いて正確な地理座標を与える。

【画像補正時の留意事項】

- 幾何補正に地上基準点（GCP：Ground Control Point）を用いる場合は、GCP を対象範囲内で偏りなく分布させる。

②底質指標（Bottom Index）による水深補正

海などの水域を観測した衛星画像データには水深の影響が含まれている。この水深の影響を除去する方法として底質指標（Lyzenga 1978）を用いる。この底質指標は、「同じ底質であれば異なる 2 バンドの底質反射率比は一定になる」という理論（ルイ ソチエーほか 2008）にもとづいており、衛星画像データに含まれるデジタル値（DN）を用いて下式で表される。

$$BI_{ij} = LN(DN_i - DN_{si}) - k_{ij}LN(DN_j - DN_{sj})$$

BI_{ij} : バンド i, j から求まる底質指標、 DN_i, DN_j : バンド i, j の DN 値、

DN_{si}, DN_{sj} : バンド i, j での水深が深いと思われる箇所の DN 値、 k_{ij} : 水中消散係数比

水中消散係数比は、底質が同じと思われる画素の DN 値の自然対数を算出し、バンド間の回帰直線を求め、その傾きから求まる（池間ほか 2003）。この消散係数比を用いることで 2 バンド間の反射率比に対して水深の影響を補正した底質指標が導出される。なお、浅い海域を中心に分類を行う場合、底質指標を用いない方が良い場合もある。

③底質区分の実施

作成した底質指標画像と衛星画像を重ね合わせ、底質区分毎に画像を分類する。

沖ノ鳥島では、沖ノ鳥島礁内の画像を、砂礫、岩盤、礁嶺、ノル（砂礫部）、ノル（岩盤部）の5区分に分類している。

【底質区分時の留意事項】

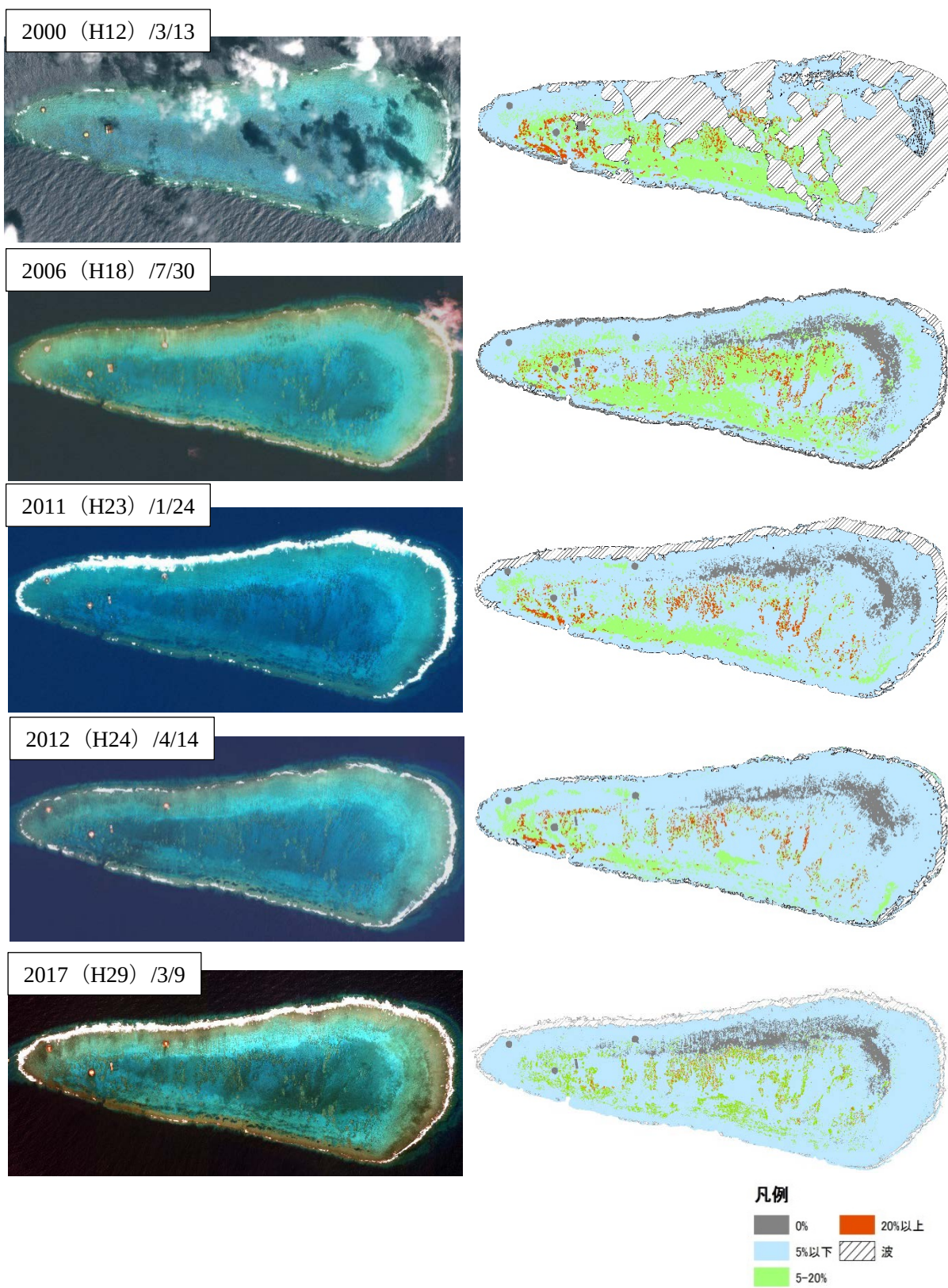
- ・ 現地調査等による底質調査結果が存在する場合には、底質区分時に底質調査結果をさらに重ね合わせるにより、より高精度の底質区分を行うことが可能となるため、事前に底質の分布状況を把握しておくことが望ましい。
- ・ 底質指標の算出は、Lyzenga(1978)に基づき算出する。この手法は、異なる2バンド※を用いるため、算出の際に分類に適したバンドを選定することが重要である。本事例では、一般に用いられる青バンドと緑バンドを利用した。
- ・ 底質指標を算出するためのサンプルポイントは、同じ底質から適切に抽出する。

※バンドとは、画像の波長帯を意味し、赤、青、緑等の波長分割等が代表的である。

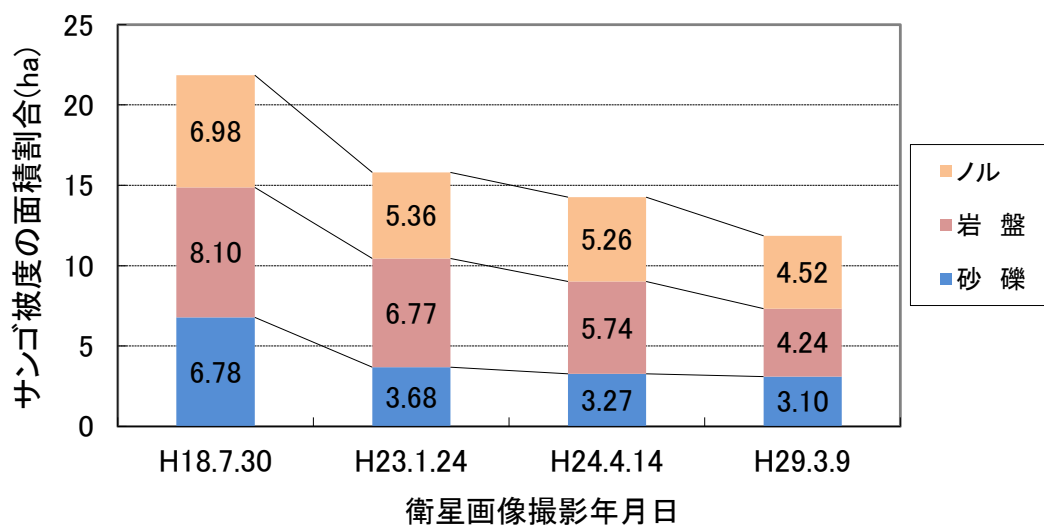
④底質区分毎の教師無し分類及び分類毎のサンゴ被度割り当て

底質区分毎に分類した画像に対して、教師なし分類（クラスタリング）と呼ばれる、画像の一定の特徴をもとに自動分類を行う。分類後の各クラスに対して、現地確認したサンゴの被度調査結果をもとに、サンゴ被度を付与してサンゴ被度分布図を作成する。

なお、沖ノ鳥島では、現地確認したサンゴ被度調査結果を有する2006年の画像にサンゴ被度を付与してサンゴ被度分布図を作成している。2000年、2011年、2012年並びに2017年の衛星画像にも、人工物を基準に明るさの補正を行った上で2006年のサンゴ被度を参考に、教師無し分類により被度を付与している。このようにして作成したサンゴ被度分布図を図Ⅲ.2-3に示す。本解析により経年的なサンゴ被度の変遷を把握することも可能である（Ⅲ.2-4参照）（片山ほか2014）。



図Ⅲ.2-3 サンゴ被度解析結果（沖ノ島島の事例）

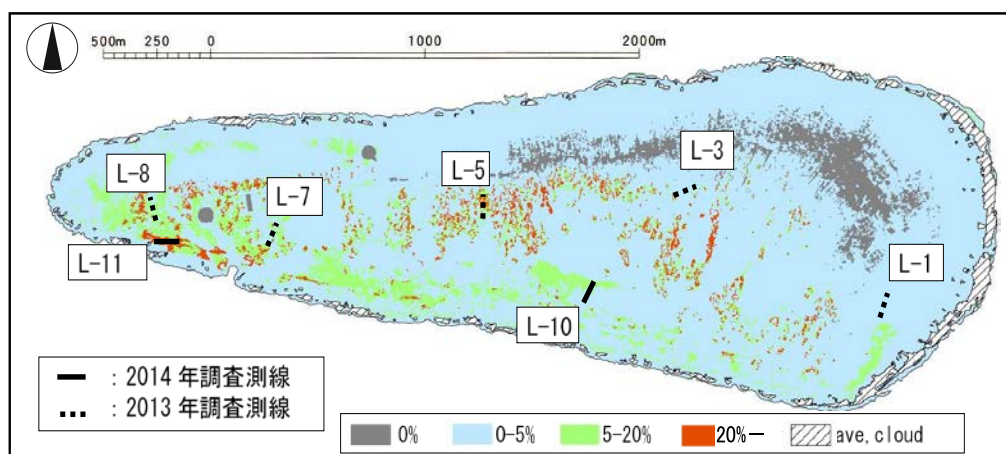


図Ⅲ. 2-4 沖ノ鳥島における底質区分毎のサンゴ面積の推移

2) 衛星画像解析の精度

衛星画像解析の精度検証は、2012 年の衛星画像を解析した結果と 2013 年～2014 年の現地調査結果を用いて実施した。精度検証のための現地調査は、図Ⅲ. 2-5 に示す沖ノ鳥島の 7 測線について、サンゴ被度の測線調査を行った。画像分類の精度検証結果を図Ⅲ. 2-6、図Ⅲ. 2-7、図Ⅲ. 2-8 並びに表Ⅲ. 2-2 に示す。

現地検証データに対する、衛星画像によるサンゴ被度解析結果の精度は、RMSE（平均二乗誤差）による評価で約±3%の精度であり、全体精度は 80%、Kappa 係数は 0.7（高度の一致）を得た。ただし、図Ⅲ. 2-7 の例に示すように、現地調査で 5%被度の地点に対し 2.5～12.5%と自動分類し、最大 7.5 ポイントの誤差が生じることもあるため結果の使用には留意が必要である。

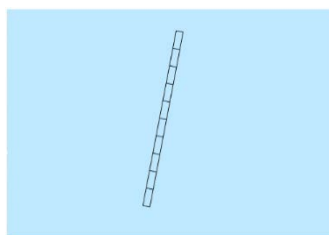


図Ⅲ. 2-5 精度検証に用いた現地調査測線位置図

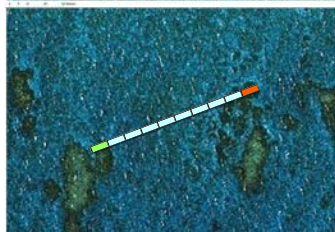
現地調査結果（衛星画像上に表示）

画像解析結果（現地測線を表示）

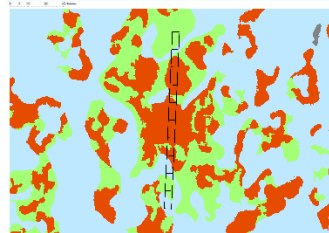
L-1



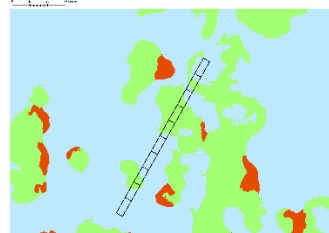
L-3



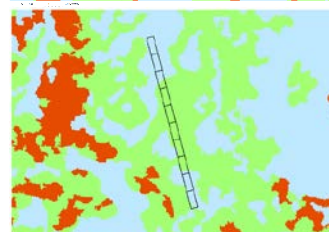
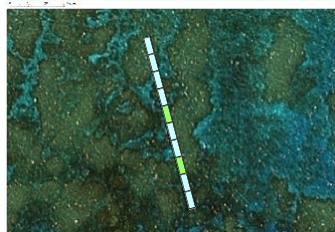
L-5



L-7



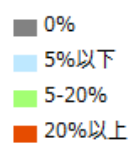
L-8



L-10



L-11



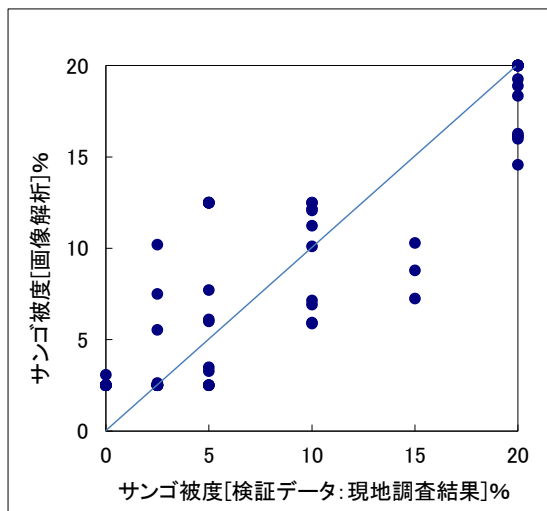
図Ⅲ. 2-6 被度調査結果と衛星画像解析結果との比較
(現地調査：2013, 2014年、衛星画像：2012年)

◆RMSE（平均二乗誤差）による解析誤差の確認

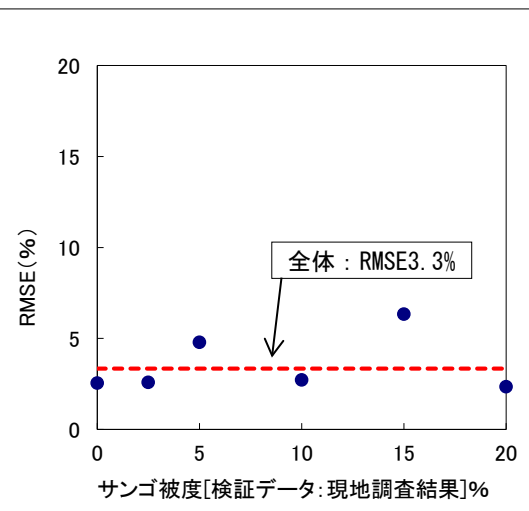
RMSE（Root Mean Squared Error：平均二乗誤差）とは、衛星画像解析の被度が正解（現地調査）被度とどの程度乖離しているかを示す精度評価指標であり、以下の式で表される。

RMSE（平均二乗誤差）の算出式：

$$RMSE = \sqrt{(\sum (\text{画像解析値} - \text{検証値})^2 \div \text{個数})}$$



図Ⅲ. 2-7 サンゴ被度の検証データと画像解析結果の比較（衛星画像 2012 年、現地調査 2013・2014 年）



図Ⅲ. 2-8 画像解析結果の誤差（RMSE）（衛星画像 2012 年、現地調査 2013・2014 年）

- ※1 画像解析によるサンゴ被度は、観察範囲 4m×10m 内の全画素（40 画素）がもつ被度情報の集計値（平均）を示す。
- ※2 現地調査及び画像解析によるサンゴ被度は、変化幅のある範囲のデータとして求めている。そのため、解析誤差の算出にあたっては、被度を下記のように整数値化した上で、比較・誤差算出を行った。
被度 1%未満⇒0%、1～5%未満⇒2.5%、5～20%⇒12.5%、20%以上⇒20%

◆分類精度検定（Kappa 係数、全体精度）

分類精度検定とは、画像解析結果の確からしさに関する検定方法である。ここでは全体精度及び Kappa 係数という、リモートセンシング分野における一般的な精度検定手法を用いた。

Kappa 係数：1～-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 and Koch(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 はほぼ完全な一致とされる。

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

表Ⅲ. 2-2 分類精度検定結果（衛星画像：2012年、現地調査2013・2014年）

全体精度	Kappa 係数
80%	0.7（高度の一致）

3) 衛星画像解析の適用条件

衛星画像からのサンゴ被度分類について、サンゴの被度を概ね 80%の精度で自動分類できることが判明した。

また、以下の表Ⅲ. 2-4 に示すように、ダイバーにより観察する目視調査と、衛星画像による画像分類では、観察対象面積が 0.5km² 程度を上回ると衛星画像分類のコストがダイバーによる目視調査より安くなり、面積が大きくなるほど差が顕著になる。

ここでは、実海域で行われているサンゴ調査において、当該手法の特徴や精度を踏まえ、有効に活用できる適用条件を以下のとおり整理した。

表Ⅲ. 2-3 衛星画像サンゴ被度分布解析と潜水観察の摘要条件の比較

	衛星画像サンゴ被度分布解析	潜水観測
調査範囲	数 km～数十 km 規模	数百 m 規模
観察項目	サンゴ被度	サンゴ被度、種
観察時期	1 時期で現地と衛星画像の検証ができれば、その他の時期は、現地データが無くとも分類可能	観察した時期のみ

【衛星画像によるサンゴ分布解析を適用できる調査内容】

- ・ サンゴの増減傾向の把握（サンゴ被度、面積の大まかな推移など）
- ・ サンゴ分布の状況や変化の把握など

【対象とする調査海域、調査規模】

- ・ 数 km～数十 km 四方規模の広範囲を対象に、概略的なサンゴ被度を把握したい場合に有効である。また、サンゴ被度の変遷を把握したい場合、画像分類が可能な衛星画像が入手できれば、過去に遡って把握が可能である。

【留意事項】

- ・ 衛星画像の選択・入手に際しては、気象・海象条件（雲、ハレーション、白波の有無等）に留意する必要がある。
- ・ 衛星画像の幾何補正に地上基準点（GCP）を用いる場合は、GCPを対象範囲内で偏りなく分布させる必要がある。
- ・ 底質区分に際しては、現地調査結果を重ね合わせることでより精度を向上させることが出来るため、事前に底質の分布状況を把握しておくことが望ましい。
- ・ 底質指標の算出は、Lyzenga (1978) に基づき算出するが、異なる2バンドを用いるため、算出の際に分類に適したバンドを選定することが重要である（本事例では青バンドと緑バンドを利用）。
- ・ 底質指標を算出するためのサンプルポイントは、同じ底質から適切に抽出する。
- ・ 衛星画像による画像分類では、サンゴ被度の分類精度は80%程度であるため、利用に際しては誤差を含むことに留意する必要がある。また、種構成の分類は困難なため、種構成の把握に際しては、潜水目視調査を併せて実施する必要がある。

表Ⅲ. 2-4 調査面積の違いによる衛星画像サンゴ被度分布解析と潜水観察のコスト試算

		調査面積	(km ²)	0.1	0.5	1	10	100
		長さ例		0.5×0.2km	0.5×1km	1×1km	2.5×4km	10×10km
ダイバー 目視分類	現地調査	測線距離	(km)	0.5	2	3	24	210
		現地調査時間	(日)	2.2	8.7	13.0	104.3	913.0
		船舶	(日)	3	9	14	105	914
		費用	(円)	455,000	1,625,000	2,470,000	19,305,000	168,610,000
	結果整理	作業時間	(日)	1	4	6	48	420
		費用	(円)	30,300	121,200	181,800	1,454,400	12,726,000
	現地及び整理合計費用		(円)	485,300	1,746,200	2,651,800	20,759,400	181,336,000
衛星画像 サンゴ被 度分類	現地調査	現地調査時間	(km)	0.5	1	1	2	5
			(日)	2.2	4.3	4.3	8.7	21.7
		船舶	(日)	3	5	5	9	22
		費用	(円)	455,000	845,000	845,000	1,625,000	4,030,000
	結果整理	作業時間	(日)	1	2	2	4	10
		費用	(円)	30,300	60,600	60,600	121,200	303,000
	画像購入	費用	(円)	87,500	87,500	87,500	87,500	350,000
		補正・解析	作業時間	(日)	4	4.5	6	8
	PC稼働時間		(日)	4	5	6	8	15
	費用		(円)	126,400	142,200	189,600	252,800	474,000
	現地及び整理合計費用		(円)	699,200	1,135,300	1,182,700	2,086,500	5,157,000

※1: ダイバー目視分類の現地調査時間は、標準観察延長が230m(作業時間:6時間) 漁港漁場関係工事積算基準下巻第2部第2編 藻場調査 参照

※2: 現地調査の費用は、作業員3名(ダイバー2名、船上作業員1名)を想定し、ダイバー46,400円/日 国土交通省単価(潜水深度10m未満)、船上作業員26,800円/日 公共労務単価(東京都)、船舶65,000/日を用いる。船舶は調査船(借上)(FRP D 70PS型 3.0t 51kW)、重油A単価は52.5円/ℓ 積算資料2017年8月号(東京都)、船員は、公共労務単価(東京都)を想定(千円以下切捨)して用いる。

※3: 結果整理の費用は、技術者単価の技師Cを想定し、30,000円/日 平成29年度設計業務技術者単価、標準PCの損料300円/日を用いる。

※4: 衛星画像サンゴ被度分類の現地調査は、教師データと検証データの取得を目的として、1測線×100mとして総延長距離を記載。

※5: 衛星画像は、解像度0.5mの高分解能衛星画像1シーン(4バンド)あたりで試算。最小25km²の面積から購入可能であり87,500円、その後1km²増えるごとに3,500円増額。

※6: 分類の費用は、技術者単価の技師Cを想定し、30,000円/日 平成29年度設計業務技術者単価を用いる。またPC稼働時間にソフトの費用7,200円/日を用いる。

※7: ※6の分類に用いるソフトに関する費用は、日単価で計算しているが、購入時には数十万～数百万の初期費用が発生する。

※8: 上記費用は、現地までの移動費や宿泊費等は含まれていない。

※9: 上記費用は、直接費であり、諸経費等は含まれていない。

3. 【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

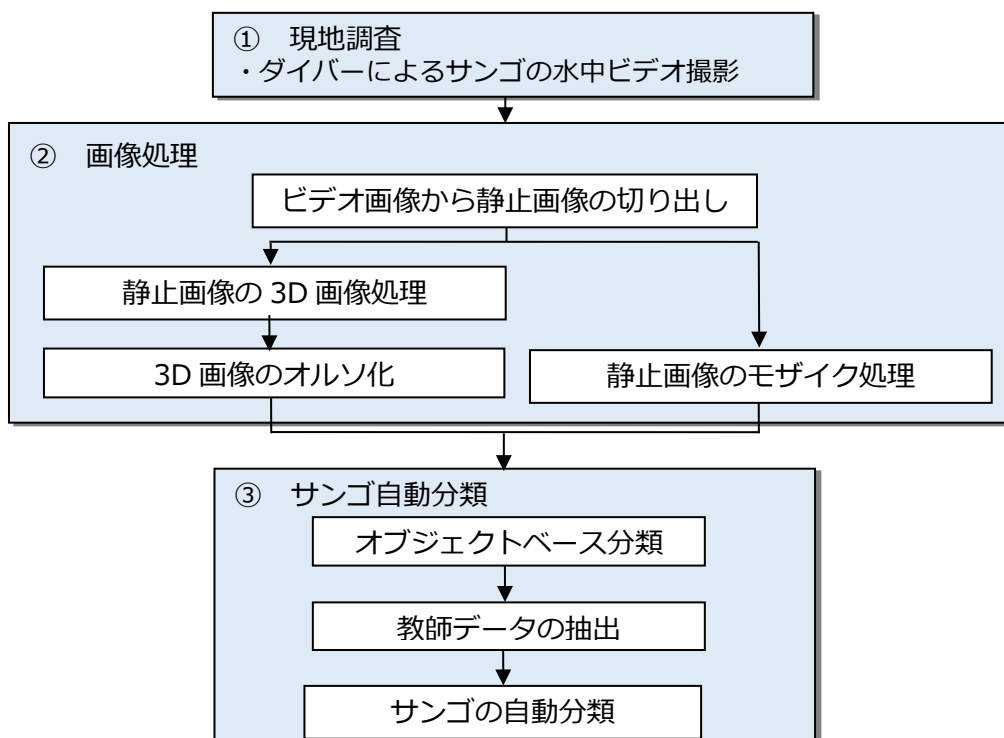
従来、ダイバーによる潜水調査により、サンゴの成長や被度の把握を行ってきた。しかし、広範囲にサンゴを移植し、継続的にその変遷を把握していく場合、ダイバーによる潜水目視では多大な労力と時間を必要とする。特に、沖ノ鳥島のような遠隔離島地域では、広域的なサンゴの被度や分布などのモニタリングを効率的に行える調査手法の確立が求められている。

ここでは、「水中ビデオ画像によるサンゴ自動分類技術」に関する調査結果を総括し、本技術の実調査への活用の考え方について検討・整理した。

1) 調査・解析手順

調査・解析の流れは、図Ⅲ. 3-1 に示す通り、「①現地調査」、「②画像処理」、「③サンゴ自動分類」の3つの工程に区分される。「①現地調査」では、ダイバーにより調査対象範囲の水中ビデオ画像の撮影を行う。「②画像処理」では、「3D 画像によるオルソ化」と「モザイク化」の2種類の方法があり、調査目的、要求される精度により両者を使い分ける。最後に、「③サンゴ自動分類」では、処理された画像を画像解析により分類する。なお、サンゴ自動分類に際しては、教師データ*を与えることにより精度を確保する。各工程の詳細は以下に示すとおりである。

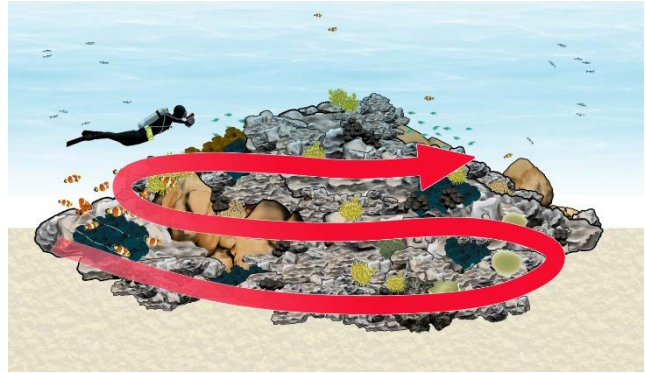
※ 教師データとは、サンゴ礁領域の画像と分類（例えば、サンゴ、サンゴ以外）を関係づける正解データ。



図Ⅲ. 3-1 調査・解析の流れ

(1) 現地調査

現地調査では、調査対象範囲のサンゴ分布を面的に画像として取得するため、動画から画像取得を行う。動画取得は、画像分類時の解像度や作業効率を考慮して、サンゴ礁と1～1.5m程度の距離を保ちながら、調査対象範囲全体を網羅するように撮影する。動画撮影時の留意点は以下に示すとおりである。



図Ⅲ. 3-2 ダイバーによる水中画像撮影イメージ

【水中動画撮影時の留意事項】

- ・ サンゴ礁との距離を一定に保つことにより分類精度が向上する。サンゴ礁との距離が近いほど精度向上は期待できるが、調査や後述する画像処理に多くの時間を要するため、調査目的に応じた精度を確保できる距離に設定する必要がある。本調査では、サンゴの分類が明確にできる距離として、サンゴ礁から1～1.5mでの撮影を行った。
- ・ 撮影コースをラップさせることにより、モザイク化や3D化が可能となる。本調査では、進行方向のオーバーラップ60～90%程度、サイドラップを50～80%程度で撮影した。
- ・ ノルの垂直面の撮影時には、水中光量による画像の明暗差が大きくなるよう留意する。特に、画像に海面が映り込まないように撮影する。一方、深い場所やオーバーハングした場所は水中ライトにより光量を保つことで、対象物をはっきりと撮影することができる。
- ・ ノルの形状は複雑であり、オーバーハングになっている箇所等も網羅するよう撮影する。
- ・ 水中動画撮影時には、画像処理する際に画像上の距離補正の目安になるよう、方形枠を設置した上で撮影を行う。方形枠は、切り出した静止画像に映り込むよう、5～10m間隔で設置する。

(2) 画像処理

撮影した水中ビデオ画像は、サンゴの分類ができるように画像処理を行う。まず、撮影したビデオ画像から静止画像の切り出しを行い、静止画像を重ね合わせて調査対象範囲の平面図を作成する。画像の切り出しの際、重ね合わせができるように、写真の一部が重複するように切り出す。本調査では、4コマ/秒の頻度で画像を抽出している。

次に、平面図を作成する。手法は「モザイク化」と「オルソ化」の2種類がある。各手法の概要は以下に示すとおりである。

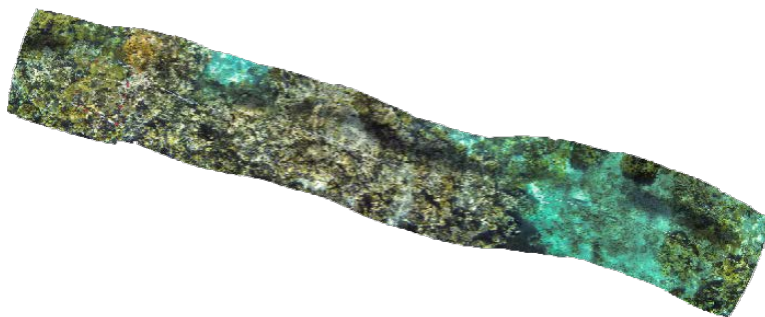
<モザイク化>

切り出した静止画像を重ね合わせるため、重なり合う画像の特徴点同士を貼り合わせ、調査対象範囲全体の平面図を作成する。

平面図は、画像処理ソフトを使用することで比較的容易に作成できるが、画像撮影による画像の歪みやノル等の複雑な地形の凹凸などは表現できていないため、実際のサンゴ生息状

況を的確に表現する平面図にはなっていない。

このため、本手法は比較的
地形変化が少ない平面的な
環境での利用が有効である。
なお、画像処理ソフトには、
一般的に Photoshop、ICE
(Image Composite Editor)
等が用いられており、本調査
では ICE を使用している。

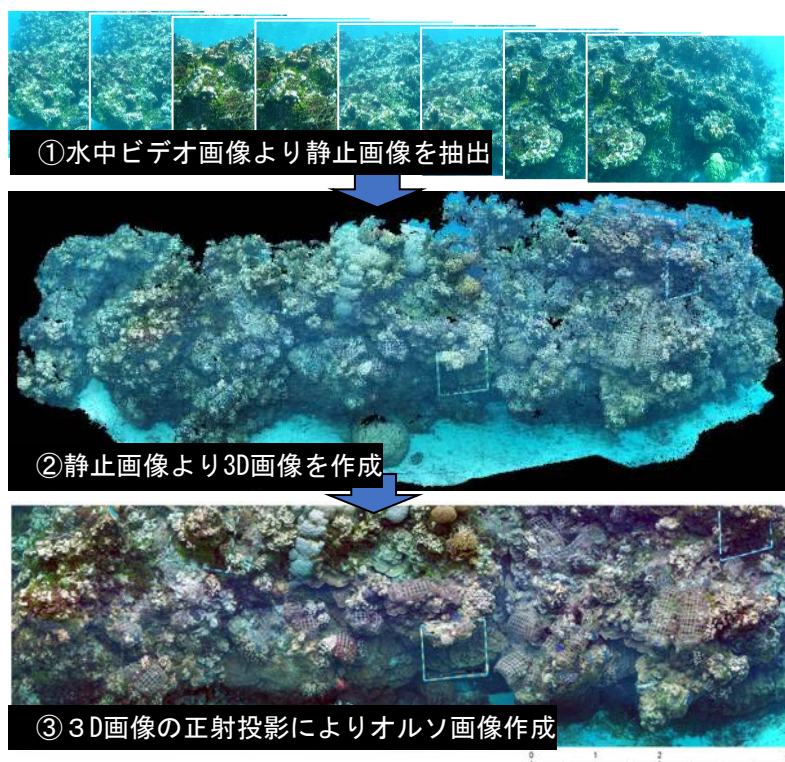


図Ⅲ. 3-3 モザイク図作成例

＜3D 処理を行うことによるオルソ化＞

切り出した静止画像における歪みや地形の凹凸の影響を補正するための手法として、静止画像から3D画像を作成した上で、オルソ画像を作成する手法がある。

3D 画 像 処 理 は、
SfM(structure from motion)
を用いて3D形状を作成すること
ができる。SfMは多数の画像
から特徴点を抽出し、3D形状
を復元する技術である。動画
からも、各フレームを画像と
して用いることで3D形状を作
成することができる。本調査
で使用した SfM ソフトウェア
は Pix4Dmapper である。その
ほかにも ContextCapture、
PhotoScan 等のソフトが一般
的に用いられている。



図Ⅲ. 3-4 オルソ画像作成イメージ

次に 3D 化された画像は、任意座標系における位置や高さが定まっているため、これを用いて正射投影を行い、オルソ画像（平面図）を作成する。オルソ画像は写真の傾きや地形の凸凹が補正された地形図となっているため、特に地形が複雑な形状にある箇所やノル等において使用することが有効である。画像解析を行う上での留意事項を以下に示す。

【画像処理時の留意事項】

- ・ 調査対象範囲の地形が比較的平坦な場合には、画像を直接モザイク化する手法を用いることができる。一方、海底地形が複雑な場合には、モザイク化する手法では画像の歪みや地形の凹凸の影響が大きくなるため、3D 画像からオルソ画像を作成する手法を用いるのが有効である。

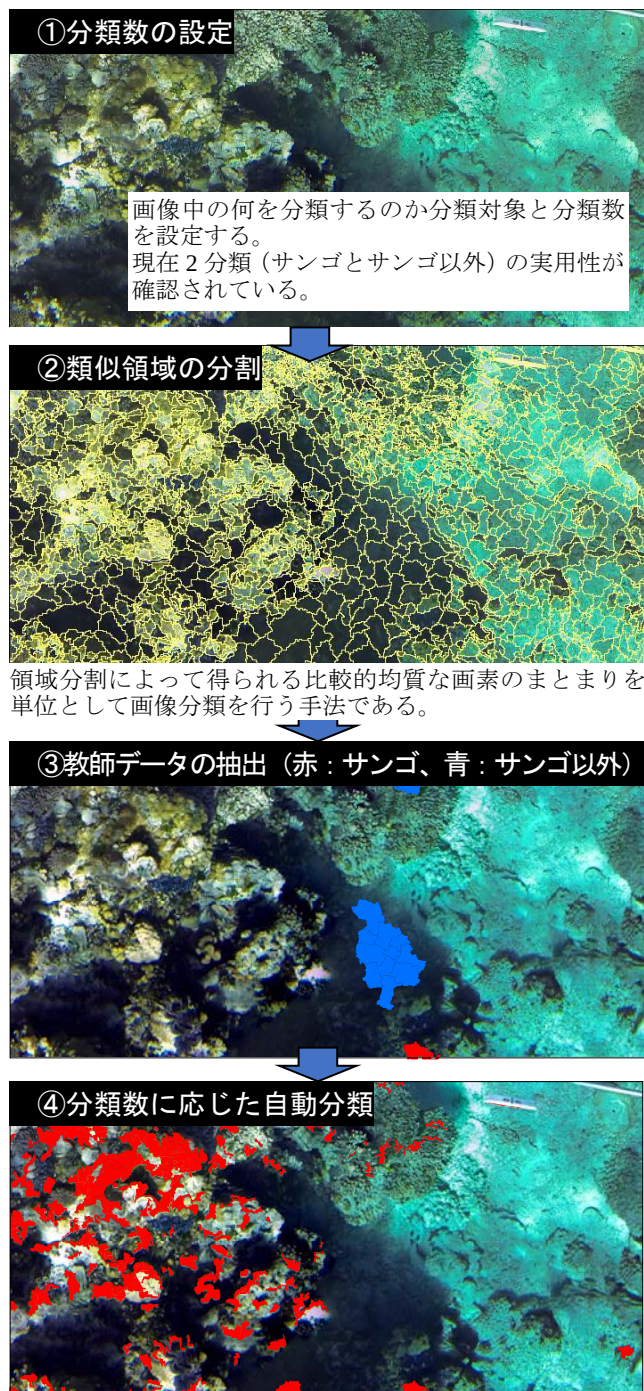
(3) サンゴ自動分類

サンゴ自動解析は、「①分類数の設定」、「②類似領域の分割」、「③教師データの抽出」、「④分類数に応じた自動分類」の流れ（図Ⅲ.3-5 参照）で実施する。本調査では、②～④の工程においてソフトウェア、eCognition を用いている。なお、その他のソフトウェアでは、ArcGIS、ERDAS IMAGINE 等が挙げられる。

「①分類数の設定」は、サンゴの全体的な被度・分布を把握したい場合、2 分類（サンゴとサンゴ以外）とする。さらに詳細に把握したい場合は、海藻、岩盤等を分類できるよう分類数を増やす必要がある。本調査では、2 分類の他、7 分類（「枝状サンゴ」、「その他サンゴ」、「死サンゴ」、「海藻」、「岩盤」、「シヤコ貝」、「その他」）の場合の自動分類精度の検証を行っており、2 分類の実用性が確認されている（詳細は後述）。

「②類似領域の分割」は、オブジェクトベース分類と呼ばれる分類手法により実施しており、領域分割によって得られる比較的均質な画素のまとまりを単位とし、画像分類を行う。

「③教師データの抽出」は、分類対象の特徴がわかる領域から教師データを抽出し、自動分類を行うために必要となる項目について分析を行う。教師データの分析項目については、色調、テクスチャー（柄）、規模、奥行き（距離）等を挙げることができる。本調査では、分析項目として 20～47 種で分析し、それを



図Ⅲ.3-5 サンゴ自動分類の手順

基に自動分類を行っている。

「④分類数に応じた自動分類」では、①から③の結果を基に分類数に応じた自動分類を行う。なお、自動分類を行う上での留意事項を以下に示す。

【自動判別実施時の留意事項】

- ・ 教師データ数は、調査海域毎の画像の特性に応じて決定することが望ましい。沖ノ鳥島海域を対象として行った本調査では、「2 分類」の場合、1 つの特徴を持つ集団につき 10～50 個の教師データを与えることで、自動分類精度 80%以上を確保できている。

2) 水中ビデオ画像によるサンゴ自動分類手法の精度

これまで実施した画像分類の精度を表Ⅲ. 3-1、表Ⅲ. 3-2 に示し、その結果を以下に示した。

【結果】

- ・ 2 分類の場合、モザイク画像及びオルソ画像ともに、サンゴ自動分類精度 80%以上を確保できることが判明した（表Ⅲ. 3-1）。一方、7 分類の場合、オルソ画像でサンゴ自動分類精度が 40～60%程度となり、実用性は低い（片山ほか 2016）。
- ・ 2 分類の分類精度は、分類パラメータの増加によって若干の精度向上が見られたが、今後更なる精度の向上が見込めない※ことから、当該技術のサンゴ自動分類の精度は概ね 80%として、適用条件や活用手法を検討する（図Ⅲ. 3-6）。

※ 今回用いたサンゴの自動分類技術は、ノルの垂直面は光量のバラツキ、サンゴ・死サンゴ・岩盤等の類似したものの誤分類等が要因で分類精度に限界が見られている。

[参考条件] 他地点の教師データを用いて解析をする場合、精度が低下することから、分類はオルソ画像毎に教師データを与えている。

表Ⅲ. 3-1 精度検証結果（精度向上の取組に関するもの）

No.	画像	画像規模	教師データ	教師データの分類項目	実施年度・場所	自動分類精度	
						2分類	7分類
1	モザイク画像	約30m ²	画像毎に付与	色、柄、規模等(20種)	測線L-5 H27年度 海底面 画像全体	80%	—
2-1	オルソ画像	約50m ²	画像毎に付与	色、柄、規模等にオルソで得られる奥行き条件追加(23種)	A3_1 H28年度 ノル垂直面 画像全体	85%	68%
2-2		約30m ²			A3_2 H28年度 ノル垂直面 画像全体	87%	68%
2-3		約50m ²			A10_1 H28年度 ノル垂直面 画像全体	72%	60%
2-4		約20m ²			A10_2 H28年度 ノル垂直面 画像全体	76%	57%
4-1	オルソ画像	約50m ²	画像毎に付与	色、柄条件追加(47種)	A10 H29年度 ノル垂直面 画像全体	87%	55%
4-2					A10 H29年度 ノル垂直面 海藻多部分	91%	63%
4-3					A10 H29年度 ノル垂直面 死サンゴ多部分	84%	44%
4-4					A10 H29年度 ノル垂直面 岩盤多部分	85%	63%
4-5				No.2の同様(23種)	A10 H29年度 ノル垂直面 画像全体	—	51%

※精度の色: 青色が強いほど精度が高い、赤色が強いほど精度が低い

※2分類: サンゴ、サンゴ以外 7分類: 枝状サンゴ、その他サンゴ、死サンゴ、海藻、岩盤、シャコ貝、その他

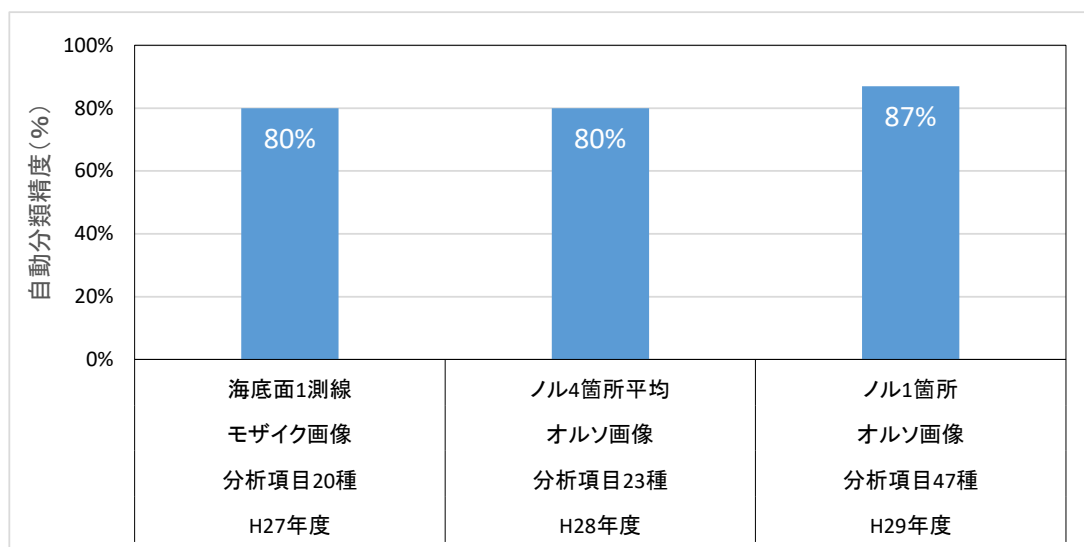
※自動分類精度＝自動分類により正しく把握された分類の面積/総面積

〔参考〕他地点の教師データを用いて、画像分類した場合の自動分類精度（2分類時）は、60～77%（表Ⅲ. 3-2 参照）となる。これはオルソ画像毎に教師データを与えた場合の自動分類精度、72～87%（表Ⅲ. 3-1 No. 2-1～2-4）に比べて大きく低下する。

表Ⅲ. 3-2 精度検証結果（他地点の教師データで画像を解析した場合）

No.	画像	画像規模	教師データ	教師データの分類項目	実施年度・場所	自動分類精度	
						2分類	7分類
3-1	オルソ画像	約50m ²	No.3-2.3-3.3-4統合データ	色、柄、規模等にオルソで得られる奥行き条件追加(23種)	A3_1 H28年度 ノル垂直面 画像全体	71%	43%
3-2		約30m ²	No.3-1.3-3.3-4統合データ		A3_2 H28年度 ノル垂直面 画像全体	77%	57%
3-3		約50m ²	No.3-1.3-2.3-4統合データ		A10_1 H28年度 ノル垂直面 画像全体	63%	45%
3-4		約20m ²	No.3-1.3-2.3-3統合データ		A10_2 H28年度 ノル垂直面 画像全体	60%	32%

※精度の色、分類の内容、自動分類精度の定義は、表Ⅲ. 3-1 の注記参照



図Ⅲ. 3-6 サンゴ2分類の自動分類精度の経年推移

※自動分類精度はⅢ. 3-1 から引用し、H27 年度は No. 1、H28 年度は No. 2-1～2-4 の平均、H29 年度は No. 4-1 の値とした。

3) 水中ビデオ画像によるサンゴ自動分類手法の適用条件等

調査結果から、2分類（サンゴの有無の2分類）であれば、水中ビデオ画像によるサンゴ自動分類手法により、サンゴの有無を概ね80%程度の精度で自動分類できることが判明した。

また、以下の表Ⅲ.3-3に示した条件では、ダイバーにより観察する目視調査と、水中ビデオ画像分類を比較すると、観察対象面積が100m²程度以下では水中ビデオ画像分類のコストが高く、それより面積が大きくなると水中ビデオ分類の費用が安くなる。

以下に、実海域で行われているサンゴ調査において、当該手法の特徴や精度を踏まえ、有効に活用できる適用条件等を整理した。

【水中ビデオ画像によるサンゴ自動分類手法を適用できる調査内容】

- ・ サンゴの面的な概略分布状況
- ・ サンゴの増減傾向の把握（サンゴ、面積の推移など）

【対象とする調査海域、調査規模】

- ・ 遠隔離島での調査など、調査期間や調査員数に制限がある場合、短期間でサンゴ分布状況が把握可能な当該手法が有効である。一方、一般海域においても、経験を有する調査員を多数確保できない場合や、広域のサンゴ分布を把握する必要がある場合には、当該手法が有効となる。

【留意事項】

- ・ 水中ビデオ画像取得時には、サンゴ礁との距離を一定に保つことにより分類精度が向上する。サンゴ礁との距離が近いほど精度向上は期待できるが、調査や画像処理に多くの時間を要するため、調査目的に応じた精度を確保できる距離に設定する必要がある。
- ・ 撮影コースをラップさせることにより、モザイク化や3D化が可能となる。また、ノルの垂直面の撮影時には、水中光量による画像の明暗差が大きくなるよう留意する。一方、深い場所やオーバーハングした場所は水中ライトにより光量を保つ。
- ・ 画像処理する際に画像上の距離補正の目安になるよう、方形枠を設置した上で撮影を行う。
- ・ 調査対象範囲の地形が比較的平坦な場合には、画像を直接モザイク化する手法を用いることができる。一方、海底地形が複雑な場合には、モザイク化する手法では画像の歪みが大きくなるため、3D画像からオルソ画像を作成する手法が有効である。
- ・ 自動分類に用いる教師データの数、調査海域毎の画像特性に応じて決定することが望ましい。
- ・ 分類数を2分類（サンゴの有無）とした場合には、比較的高い精度を確保できるが、潜水調査で分類する程度（7分類）にした場合には、十分な精度を確保できない。

表Ⅲ.3-3 調査面積の違いによる水中ビデオ画像分類とダイバー目視分類のコスト試算

		調査面積	(m ²)	10	100	1,000	10,000
		長さ例		2m×5m	4m×25m	10m×100m	100m×100m
ダイバー 目視分類	現地調査	現地調査時間	(時間)	0.13	1.3	13.0	130.4
			(日)	0.022	0.22	2.2	21.7
		船舶	(日)	1	1	3	22
			費用	(円)	67,595	91,001	454,986
	結果整理	作業時間	(日)	0.5	2.5	25	250
		費用	(円)	15,150	75,750	757,500	7,575,000
	現地及び整理合計費用		(円)	82,745	166,751	1,212,486	11,604,889
水中ビデオ 画像分類	現地調査	現地調査時間	(時間)	0.014	0.14	1.4	13.8
			(日)	0.0017	0.017	0.17	1.73
		船舶	(日)	1	1	1	2
			費用	(円)	65,203	67,033	85,332
	画像張り合 わせ	作業時間	(日)	1.5	2	4	8
		PC稼働時間	(日)	2	4	10	30
		費用	(円)	49,800	69,600	144,000	312,000
		分類	作業時間	(日)	1.5	1.5	10
	PC稼働時間		(日)	1.5	1.5	10	15
	費用		(円)	56,250	56,250	375,000	562,500
	現地及び整理合計費用		(円)	171,253	192,883	604,332	1,211,408

- ※1: ダイバー目視分類の現地調査時間は、標準観察延長が230m(作業時間:6時間) 漁港漁場関係工事積算基準下巻第2部第2編 藻場調査 参照、1測線当り2m観察することから1時間当たり76.67㎡観察できると想定している。
- ※2: 現地調査の費用は、作業員3名(ダイバー2名、船上作業員1名)を想定し、ダイバー46,400円/日 国土交通省単価(潜水深度10m未満)、船上作業員26,800円/日 公共労務単価(東京都)、船舶65,000/日を用いる。船舶は調査船(借上)(FRP D 70PS型 3.0t 51kW)、重油A単価は52.5円/ℓ 積算資料2017年8月号(東京都)、船員は、公共労務単価(東京都)を想定(千円以下切捨)して用いる。
- ※3: 結果整理の費用は、技術者単価の技師Cを想定し、30,000円/日 平成29年度設計業務技術者単価、標準PCの損料300円/日を用いる。
- ※4: 水中ビデオ画像分類の現地調査時間は、カメラの撮影範囲を4mとし、0.4m/sで泳ぎながら、撮影対象との距離を一定に保ち、50%サイドラップで撮影することを想定している。
- ※5: 画像張り合わせの費用は、技術者単価の技師Cを想定し、30,000円/日 平成29年度設計業務技術者単価を用いる。またPC稼働時間にソフトの費用2,100円/日を用いる。
- ※6: 画像の張り合わせの費用は、現状のPCの演算能力から100m²までは3D処理、それ以上はモザイク処理による作業時間数を想定している。
- ※7: 分類の費用は、技術者単価の技師Cを想定し、30,000円/日 平成29年度設計業務技術者単価を用いる。またPC稼働時間にソフトの費用7,200円/日を用いる。
- ※8: ※5の画像張り合わせや※6の分類に用いるソフトに関する費用は、日単価で計算しているが、購入時には数十万～数百万の初期費用が発生する。
- ※9: 上記費用は、現地までの移動費や宿泊費等は含まれていない。
- ※10: 上記費用は、直接費であり、諸経費等は含まれていない。

4. 幼生収集装置

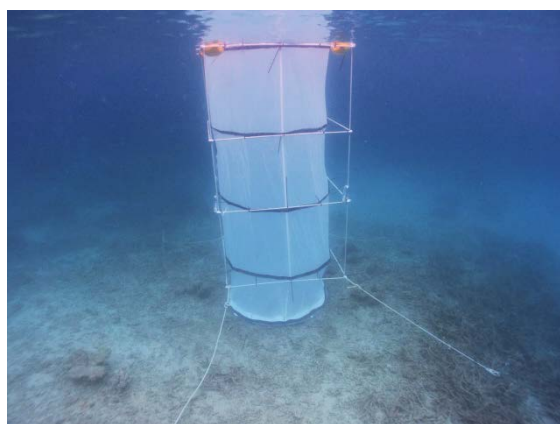
1) 概要

幼生収集装置は、1 m²あたり 100 万個以上のサンゴ卵を収集し、生残率 90%以上で着生能力を有する幼生を保持することが可能である。この装置により、着床具に効率よく着生させる一連の種苗生産を、現場海域で完結できる（「3. 幼生収集装置を用いたサンゴ面的増殖技術」参照）。

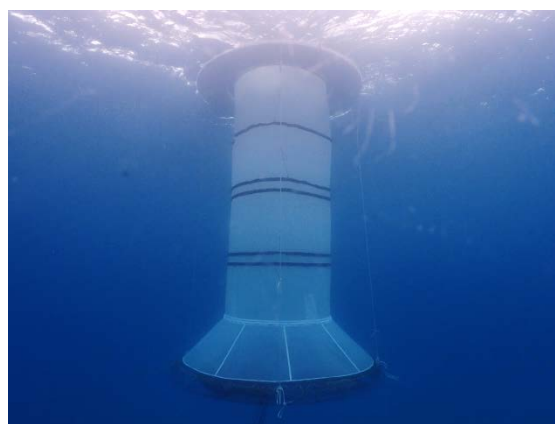
装置本体は、構造は円筒形状で、材質はナイロンネット製である。海底基盤上の親サンゴを対象として設置する場合には海底固定型を用いるが、海底に基盤が無い場合や水深が深い場合は、親サンゴを装置内底部に設置する浮体型も用いることができる。表Ⅲ. 4-1 にそれぞれの特徴を示す。

表Ⅲ. 4-1 海底固定型と浮体型の幼生収集装置の特徴

	海底固定型	浮体型
メリット	・ 海底に固定できるため、波や流れに対して安定性が高い ・ 海底基盤上の親サンゴを対象にして装置を設置できる	・ 海底固定型の改良版 ・ 水深に関係なく装置を設置できる ・ 設置に際して潮位変動を考慮する必要がなく水没の恐れが少ない
デメリット	・ 深い場所に設置する場合には筒状の部分長くする必要がある ・ 設置に際しては水没しないように潮汐を考慮する必要がある	・ 波や流れに対して安定性が低い ・ 親サンゴを直接装置内に直接収容する構造とする必要がある



海底固定型



浮体型

図Ⅲ. 4-1 幼生収集装置の設置状況

2) 材料および費用

表Ⅲ. 4-2 に幼生収集装置（海底固定型）の材料を、表Ⅲ. 4-3 に費用を示す。

表Ⅲ. 4-2 幼生収集装置（海底固定型）の材料

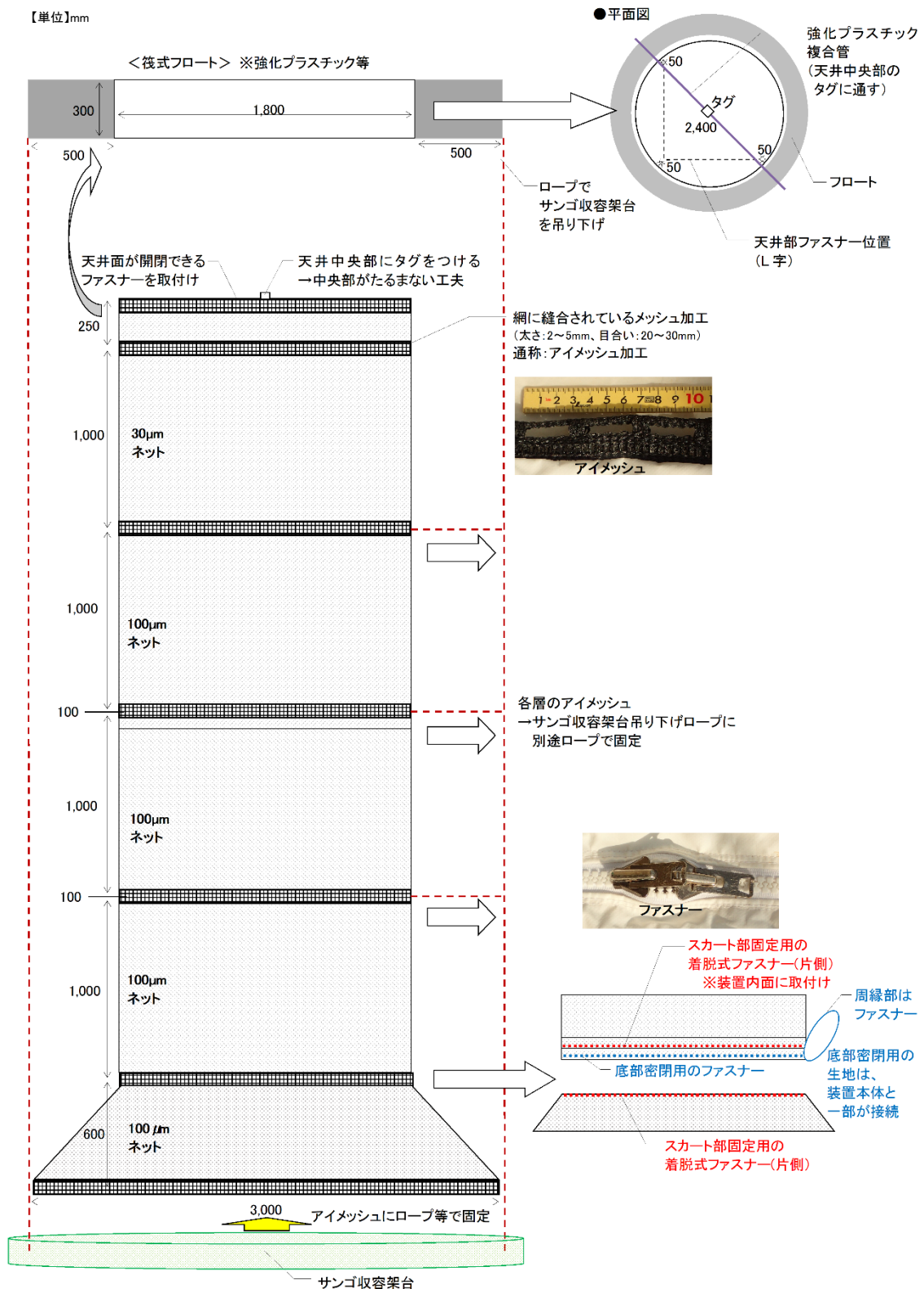
材 料	詳 細
<装置>	
本体	・胴体部：ナイロンメッシュ（目合い 30μm）ϕ 1.7m$\times$3.8m ・胴体部の6箇所：アイメッシュ（目合い 20$\sim$30mm） ・底面部+底面部付近：キャンパス ・天井部+底面部：ファスナー
<外枠フレーム>	
強化プラスチック複合管 (F-14)	・外枠用：(外径・内径 = ϕ 14mm・ϕ 4mm$\times$1,680mm)$\times$4本$\times$6セット ・天井部嵩上げ用：(外径・内径 = ϕ 14mm・ϕ 4mm$\times$260mm)$\times$4本
塩化ビニルパイプ (VP13)	・底部枠用：(外径・内径 = ϕ 18mm・ϕ 13mm$\times$1,300mm)$\times$4本 ・接続用ソケット$\times$4個 ※4本を円形に接続
強化プラスチック複合管3口エルボ	・外枠連結用：(内径 ϕ 14mm)$\times$8個
強化プラスチック複合管2口エルボ	・外枠連結用：(内径 ϕ 14mm)$\times$16個
浮力体（浮子）	・外枠(水面部)取付用：(EVAフロートSHE-40：浮力4kg)$\times$16個 ・着床具吊り下げ用：(EVAフロートSHE-40：浮力4kg)$\times$必要数
<固定用部材>	
ネジ	・外枠とエルボ固定用：(3.5mm$\times$12mm)$\times$56本
ケーブルタイ	・外枠と装置固定用：(幅4.8mm$\times$300mm)=約100本 ・縦棒ガイド用：(幅4.8mm$\times$300mm)：5個$\times$4箇所=20本
ロープ (ビニロン等)	・装置折りたたみ用：(ϕ 5mm) 3m$\times$4本=12m ・装置固定用：(ϕ 10mm) 5m$\times$4本=20m ・着床具吊り下げ用：(ϕ 8mm) 2$\sim$4m（必要本数分）
鉄筋	・下端固定用：(4分 / ϕ 12mm$\times$1m)：8本（2本交差して打ち込み）
小型標識灯	・シーライトCH-2000B LED夜間自動点滅防水型：1個

表Ⅲ. 4-3 幼生収集装置（海底固定型）の費用

材 料	金 額 (円)
<装置>	
本体（ネット部）	350,000
<外枠フレーム>	
強化プラスチック複合管 (1,680mmカット)	24,000 (1,000 $\times$ 24本)
浮力体（浮子：浮力4kg）	64,000 $\sim$ 144,000（固定用：4,000 $\times$ 16本 + 吊り下げ用：4,000 $\times$ 10 $\sim$ 20本）
その他（接続部品・塩ビパイプ）	4,000
<固定用部材>	
ロープ	10,000 $\sim$ 20,000（ ϕ 5mm $\times$ 12m、10mm $\times$ 20m 、 ϕ 8mm $\times$ 40 $\sim$ 80m）
小型標識灯	3,000
その他（ケーブルタイ・鉄筋）	5,000
合計	460,000 $\sim$ 550,000

図Ⅲ.4-2 に海底固定型および浮体型の幼生収集装置の図面を示す。





図Ⅲ.4-3 幼生収集装置（浮体型）の図面

5. 現地調査に関する諸手続

サンゴ礁での現地調査を実施する際には、以下に示す関係機関への手続が必要となる。

1) 航路及びその周辺の海域における調査等の場合

海上交通安全法（第三十条）に準拠した手続（作業許可申請）を行う。

様式は海上保安庁のホームページでダウンロードできる（下図）。

第9号様式

（工事・作業又は行事）許可申請書	
年 月 日	
港長 殿	
（特定港以外の港にあつては、管轄の海上保安監部長又は海上保安部長あて）	
申請者所属・氏名	印
1 目的及び種類	
2 期間及び時間	
3 区域又は場所	
（区域を示す図面を添付すること。）	
4 方 法	
（火薬類を使用する場合は、その旨明記すること。）	
5 そ の 他	
（標識、警戒要領その他船舶に対する事故防止措置等について記載すること。 その他必要な書類について添付すること。）	

図Ⅲ.5-1 許可申請書様式

海上保安庁 HP より : <http://www.kaiho.mlit.go.jp/ope/apply/you9.pdf>

2) 航路及びその周辺の海域以外の海域における調査等の場合

海上交通安全法（第三十一条）に準拠した手続き（作業届け）を行う。

書類は作業許可申請に準じた様式で作成する。

3) 漁業権区域内における調査等の場合

底質や水産動植物のサンプリング採取がある場合は、特別採捕許可の取得の必要性を確認するとともに、漁業権の侵害および漁業調整規則の抵触に該当しないか等の確認を行い、必要に応じて定められた手続きをとる（ 5) 特別採捕許可を参照）。

4) 調査に関係する法令（抜粋）

海上交通安全法

（昭和四十七年七月三日法律第百十五号）

（航路及びその周辺の海域における工事等）

第三十条 次の各号のいずれかに該当する者は、当該各号に掲げる行為について海上保安庁長官の許可を受けなければならない。ただし、通常の管理行為、軽易な行為その他の行為で国土交通省令で定めるものについては、この限りでない。

- 一 航路又はその周辺の政令で定める海域において工事又は作業をしようとする者
- 二 前号に掲げる海域（港湾区域と重複している海域を除く。）において工作物の設置（現に存する工作物の規模、形状又は位置の変更を含む。以下同じ。）をしようとする者

（航路及びその周辺の海域以外の海域における工事等）

第三十一条 次の各号のいずれかに該当する者は、あらかじめ、当該各号に掲げる行為をする旨を海上保安庁長官に届け出なければならない。ただし、通常の管理行為、軽易な行為その他の行為で国土交通省令で定めるものについては、この限りでない。

- 一 前条第一項第一号に掲げる海域以外の海域において工事又は作業をしようとする者
- 二 前号に掲げる海域（港湾区域と重複している海域を除く。）において工作物の設置をしようとする者

2 海上保安庁長官は、前項の届出に係る行為が次の各号のいずれかに該当するときは、当該届出のあつた日から起算して三十日以内に限り、当該届出をした者に対し、船舶交通の危険を防止するため必要な限度において、当該行為を禁止し、若しくは制限し、又は必要な措置をとるべきことを命ずることができる。

- 一 当該届出に係る行為が船舶交通に危険を及ぼすおそれがあると認められること。
- 二 当該届出に係る行為が係留施設を設置する行為である場合においては、当該係留施設に係る船舶交通が他の船舶交通に危険を及ぼすおそれがあると認められること。

電子政府の総合窓口（e-Gov）より：

<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S47/S47H0115.html>

5) 特別採捕許可

(1) 概要

各都道府県では、水産資源の保護培養等を目的として、「漁業調整規則*」により、採捕の期間、水産動物の全長、漁具及び漁法、採捕の区域等について、制限や禁止とされている事項を設けている。一般に漁業調整規則では、「試験研究、教育実習又は増養殖用の種苗（種卵を含む。）の供給（自給を含む。）のための水産動植物の採捕について知事の許可を受けた者が行う当該試験研究等については、適用しない。」等により適用除外規定が設けられている。制限や禁止の適用除外をうけるためには、あらかじめ知事から許可を受けることが必要であり、この許可を『特別採捕許可』という。

サンゴ断片採取による移植（無性生殖）や魚類等の水産資源の捕獲調査等を実施する場合、特別採捕許可の申請手続き等が必要となる場合がある。

(2) 申請手続き

特別採捕許可に当たっては、漁業調整規則に基づき特別採捕許可申請書を提出し、県知事から許可を得るとともに採捕結果を報告しなければならない。また、採捕の目的が試験研究等であることはもとより、申請者が関係法令等を遵守すること、採捕しようとする水産動物の数量、採捕期間、採捕の区域、使用漁具の規模・数量が採捕の目的から考えて適切であること、申請に係る採捕が採捕を実施する水域やその周辺での水産動物の生息に著しく悪影響を与える恐れのないこと、及び、地元漁業関係者等への周知及び了承を得ること等が課されることとなる。

(3) 特別採捕に係る規則・法令（抜粋）

漁業調整規則とは、漁業法及び水産資源保護法に基づき、漁業調整や水産資源の保護培養等のために都道府県ごとに定められた規則であり、当該都道府県の管轄する海面等で水産動植物を採捕する漁業者や遊漁者などに適用される。漁具・漁法、採捕禁止区域、魚種ごとの採捕禁止期間、体長制限等の様々な規制が定められている。

漁業調整規則の内容は都道府県によって異なる。例えば、沖縄県漁業調整規則では、第33条第2項で「造礁さんご類（腔腸動物のうち石さんご目、ひどろさんご目、やぎ目、くださんご目をいう。）は、これを採捕してはならない。」として、造礁サンゴの採捕は周年禁止とされている。また、同規則の第41条においては「試験研究等の適用除外」設けており、特別採捕許可を得るためには申請して知事の許可を得ることが必要とされている。造礁サンゴ類に関する漁業調整規則の記載例を以下に示す。

■ 沖縄県漁業調整規則

(禁止期間)

第 33 条 (略)

- 2 かめ類が放産した卵及び造礁さんご類（刺胞動物のうち、いしさんご目、あなさんごもどき目、やぎ目、くださんご科、あおさんご目をいう。）はこれを採捕してはならない。
- 3 前 2 項の規定に違反して採捕した水産動植物又はその製品は所持し、又は販売してはならない。

(試験研究等の適用除外)

第 41 条 この規則のうち水産動植物の種類若しくは大きさ又は水産動植物の採捕の期間若しくは区域又は使用する漁具若しくは漁法についての制限又は禁止に関する規定は、試験研究、教育実習又は増養殖用の種苗（種卵を含む。）の供給（自給を含む。）（以下本条において「試験研究等」という。）のための水産動植物の採捕について知事の許可を受けた者が行う当該試験研究等については、適用しない。

- 2 前項の許可を受けようとする者は、第 10 号様式による申請書を知事に提出しなければならない。
- 3 知事は、前項の許可をしたときは、第 11 号様式による許可証を交付する。
- 4 知事は、第 1 項の許可をするに当たり、制限又は条件を付けることがある。
- 5 第 1 項の許可を受けた者は、当該許可に係る試験研究等の終了後遅滞なく、その経過を知事に報告しなければならない。

沖縄県法規集より：http://www3.e-reikinet.jp/okinawa-ken/dlw_reiki/reiki.html

■ 東京都漁業調整規則

(禁止区域)

第三十八条の二 小笠原村地先海面内の次に掲げる海域内においては、造礁さんご類(腔腸動物のうち石さんご目、ひどろさんご目及びくださんごをいう。以下同じ。)、いせえび(第五号の海域において採捕する場合を除く。)、しやこがい、すいじがい、くもがい、たからがい、ほらがい、なまこ及びうにを採捕してはならない。

(略)

(遊漁者等の水産動物の採捕の禁止)

第四十四条の二 漁業者が第七条第一号イ若しくはロに規定する漁業の許可を受けて漁業を営む場合又は試験研究のために採捕する場合を除き、次に掲げる水産動物を採捕してはならない。

- 一 あおうみがめ
- 二 造礁さんご類(小笠原村地先海面におけるものに限る。)

東京都例規集データベースより：http://www.reiki.metro.tokyo.jp/reiki_menu.htm

東京都漁業調整規則

(禁止区域)

第三十八条の二 小笠原村地先海面内の次に掲げる海域内においては、造礁さんご類(腔腸動物のうち石さんご目、ひどろさんご目及びくださんごをいう。以下同じ。)、いせえび(第五号の海域において採捕する場合を除く。)、しやこがい、すいじがい、くもがい、たからがい、ほらがい、なまこ及びうにを採捕してはならない。

(略)

(遊漁者等の水産動物の採捕の禁止)

第四十四条の二 漁業者が第七条第一号イ若しくはロに規定する漁業の許可を受けて漁業を営む場合又は試験研究のために採捕する場合を除き、次に掲げる水産動物を採捕してはならない。

- 一 あおうみがめ
- 二 造礁さんご類(小笠原村地先海面におけるものに限る。)

東京都例規集データベースより : http://www.reiki.metro.tokyo.jp/reiki_menu.html

引用文献

- 池間健晴・松永恒雄・山野博哉（2003） リモートセンシングによる慶良間列島サンゴ礁観測. みどりいし, 14, 11-15
- 片山悦治郎・本田謙一・米澤泰雄・安藤亘・朝倉邦友・不動雅之（2016） 水中ビデオ画像を用いたサンゴ被度解析. 日本サンゴ礁学会第19回大会講演集, 20
- 片山美可・森田太一・鈴木久美子・米澤泰雄・片山悦治郎・山野博哉・安藤 亘・西崎孝之・渡辺則人（2014） サンゴの分布拡大のための時系列な高分解能衛星画像を用いた沖ノ鳥島のサンゴの把握. 日本リモートセンシング学会第56回学術講演会論文集, 93-94
- 片山美可・森田太一・鈴木久美子・米澤泰雄・片山悦治郎・山野博哉・安藤 亘・西崎孝之・渡辺則人（2014） 高分解能衛星画像を用いた沖ノ鳥島サンゴ被度変化の特性. 日本リモートセンシング学会第57回学術講演会論文集, 107-108
- Landis JR, Koch GG （1977） The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, 33, 159-174
- ルイ ソチエー・作野裕司（2008） 衛星 Terra/ASTER データを使った吉名干潟における藻場モニタリング. 水工学論文集, 52, 1381-1386
- Lyzenga DR（1978） Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. Applied Optics, 17, 379-383

