

4 広域藻場調査の教師・検証用データの取得

3章の広域調査で藻場分布を推定する際に必要となる教師や検証用のデータを取得する現地調査の方法として（1）潜水調査と（2）船上調査について説明する。

（1）潜水調査

潜水調査で藻場を直接観察することで広域調査の教師・検証データを取得できる。専門的な技術が必要で安全上バディ潜水（2名潜水）となり、調査範囲も限られるが、海藻を最も近くで観察できる手法として古くから用いられてきた。

必要な調査機材

- ・潜水用具（①フード、②マスク＋スノーケル、⑤手袋、⑦ダイビングナイフ、⑧ウェットスーツ、⑨マリンスーツ、⑩フィン、⑪ウェイトベルト、⑫レギュレーター、⑬BCD、⑭空気ボンベ）
（図4-(1)-1.）
- ・③方形枠（50cm、1m角など）
- ・④プラスチック版＋耐水紙＋鉛筆
- ・⑥カメラ＋防水ハウジング
- ・測量ロープ（50～200m）と浮き＋ひも＋おもり（ライン調査の際）
- ・ハンディGPSやGPS付き魚探
- ・小型船（水深が浅い藻場を調査するため1トン未満の船外機船が適している）



図4-(1)-1. 潜水調査に必要な機材

調査計画の立案

- ・調査点の設定

広域調査の教師データおよび検証データとして、どれくらいの調査点が必要か調査前に決めておく。画像解析で藻場分布を推定する場合、多くの論文で教師・検証用データとして画像当たり各30点（合計60点）以上を取得している[3, 11, 12, 18, 19]。また、音響測量でも30点以上取得している[4, 6]。

調査点はカシミール3Dなどを用いて広域調査を行う範囲内に設定する（P.14のコラム3）。その緯度経度ファイル(gpxファイル)をハンディGPSなどに入れて、現場で利用する

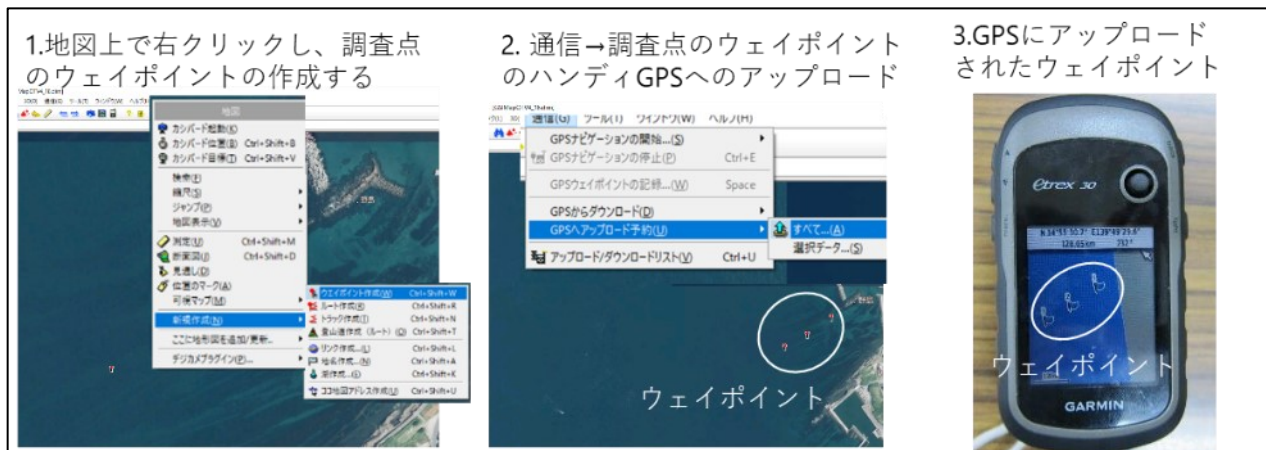


図4-(1)-2 カシミール3Dによる調査ポイントの設定とGPSへのアップロード

と便利である（図 4-(1)-2）。また、Google Earthでも調査点を設定し、kmlファイルとして保存できるが、ハンディGPSで使用するにはkmlファイルからGPXファイルに変換してGPSに取り込む必要がある（P.14のコラム3）。

・記録項目

調査前にどのような項目を記録するか決め、データの記録用紙を作成しておく。日付、地点（緯度経度）、時刻、水深、海藻分類（褐藻、緑藻、紅藻）ごとや海藻種ごとの被度、底質の状況（岩盤、岩、礫、砂など）を記録する（表 4-(1)-1）。このような表を耐水紙に印刷し、プラスチック板などに張り付けて潜水中の記録に用いると便利である。

表 4-(1)-1 潜水調査のときに用いる耐水紙に印刷する記録野帳の例

調査日	調査場所																																																																																																																																																																																								
地点名													GPSポイント名													時間													水深													海藻種 (被度%)																																																													底質 (被度%)																																																													備考											
GPSポイント名													時間													水深													海藻種 (被度%)																																																														底質 (被度%)																																																														備考																						
時間													水深													海藻種 (被度%)																																																															底質 (被度%)																																																															備考																																	
水深													海藻種 (被度%)																																																																底質 (被度%)																																																																備考																																												
海藻種 (被度%)																																																																	底質 (被度%)																																																																	備考																																																							
																																																				底質 (被度%)																																																																	備考																																																																				
																																							底質 (被度%)																																																																	備考																																																																																	
																										底質 (被度%)																																																																	備考																																																																																														
													底質 (被度%)																																																																	備考																																																																																																											
底質 (被度%)																																																																	備考																																																																																																																								
																																																				備考																																																																																																																																					
																																							備考																																																																																																																																																		
																										備考																																																																																																																																																															
													備考																																																																																																																																																																												
備考																																																																																																																																																																																									

調査の実施方法

・ポイント調査

広域調査の範囲内で前もって決めた地点か、現場の海上で設定し、GPSに記録した地点で、方形枠を置き、その中に含まれる海藻分類（大型海藻か小型海藻）や海藻種ごとの被度、底質などを記録する（図 4-(1)-4）。方形枠を置いた状態の写真を真上から撮影しておけば、調査後に海藻と被度を確認することができる。音響測量や衛星画像・航空写真で藻場分布を推定する場合、海藻の種まで判別できることは少なく、粗い海藻分類のデータでも多地点で教師・検証データを取得した方が良い場合もある。また、海藻がある地点だけでなく、生えていない裸地や砂地の地点の教師・検証データも重要である。各点での水中作業を、地点名、時刻、水深の記録と方形枠内の海藻のカメラ撮影だけにし、調査後に写真から海藻を判別する方が多くの地点のデータを取得できる。この手法をとる場合は、写真から各地点がわかるように工夫が必要である（例、ダイビングスレートに地点番号を書いて方形枠と一緒に撮影するなど）（図 4-(1)-4）。また、水深が3m以下で水面から藻場が見える場所ではタンクなしでスノーケリングした方が効率的であり、漁港などの防波堤そばの藻場なら陸上から観察して現地データの数を増やすこともできる。

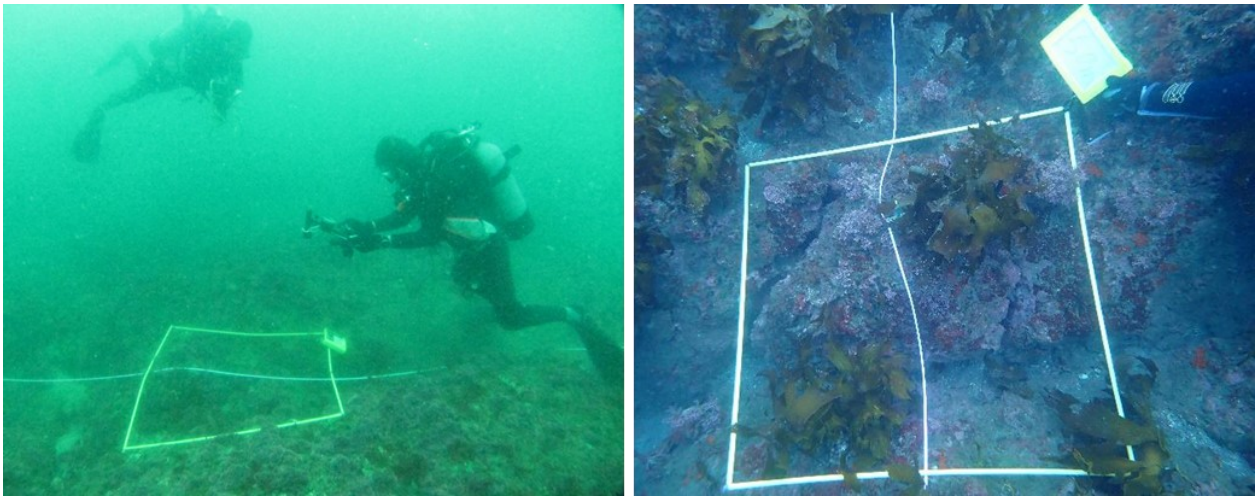


図 4-(1)-4 藻場の潜水調査の様子と方形枠内の海藻の撮影

・ライン調査

この手法では複数点でより効率よく藻場を調べることができる（図 4-(1)-5）。目的に合わせて岸沖方向の水深帯ごとや岸と水平方向にラインの始点と終点に浮きとおもりつけて海中に沈め、調査ラインを作る。海面上からラインの始点と終点の浮きを目印に緯度経度を GPS で記録し、ラインの初めの位置からその距離ごとに方形枠を置いて記録する。ラインの途中の位置の緯度経度は始点からの距離を基に算出できる。ポイント調査と同様に、水中作業を地点名、時刻、水深の記録と方形枠を置いた状態の写真撮影だけにすれば、効率よく調査できる。

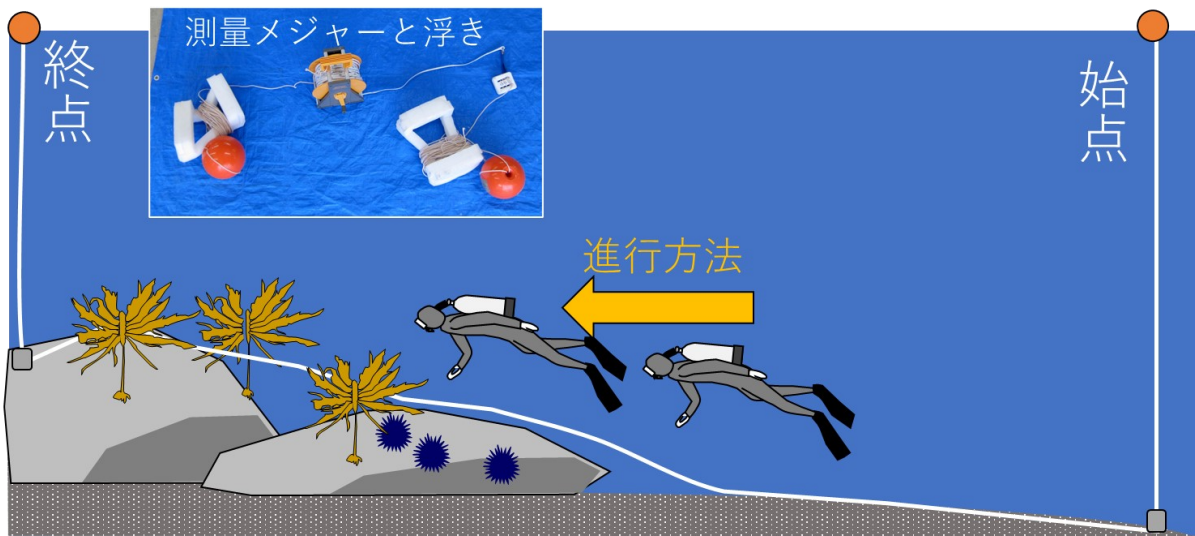


図 4-(1)-5 潜水によるライン調査の模式図と使用する測量メジャーと浮き

・海藻の景観被度について

広域調査の教師・検証用のデータを取得する場合は、海底に方形枠を置いて上から見た海藻が占める面積の割合を景観被度として記録する（図 4-(1)-6）。被度の値は個人差が出るため、モニタリング開始時に調査参加者で同じ場所を見て、個人差を少なくすることが必要である。目視だと誤差があるため、被度 20%単位の記録で十分である。

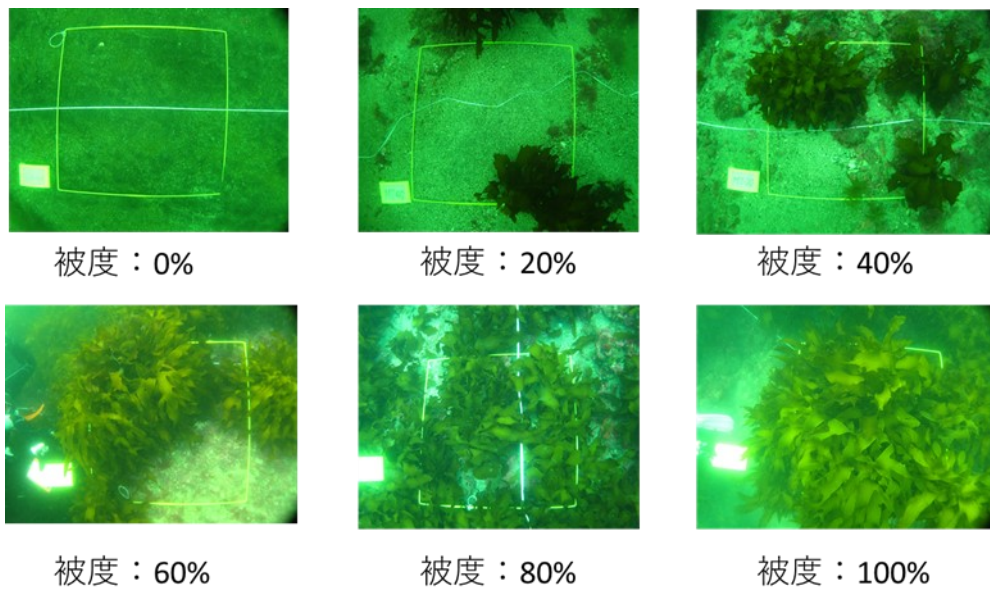


図 4-(1)-6 方形枠内の海藻（カジメ）の景観被度

調査結果の取りまとめ

潜水調査で記録したデータ（表 4-(1)-1）はそのままエクセルなどに記入する。その後、GIS ソフトなどに取り込んで使うためにはデータの成型が必要になる。データの成型の形式は、一番上の行に入力する項目の名前を入れ、その下にデータを打ち込んでいく形が良く用いられる（表 4-(1)-2）。このデータをエクセルの CSV 形式のファイルで保存すれば、GIS ソフトに読み込むことができる（P19. の図 3-(2)-6 参照）

表 4-(1)-2 GIS に取り込むための調査データの形式

入力項目名

ライン	記録者	日付	時刻	スレート名	地点	緯度	経度	水深(m)	カジメ	ウミウチワ類	サンゴ藻	テングサ類	底質
L2	XXX	2019/7/24	13:12	0	L2-09	XXX	XXX	6.2	25	0	50	1	岩盤
L2	XXX	2019/7/24	13:15	20	L2-10	XXX	XXX	6.3	10	0	50	1	岩盤
L2	XXX	2019/7/24	13:18	40	L2-11	XXX	XXX	7.3	10	0	50	1	岩盤
L2	XXX	2019/7/24	13:22	60	L2-12	XXX	XXX	8.5	0	0	0	0	砂/礫
L2	XXX	2019/7/24	13:24	80	L2-13	XXX	XXX	8.7	25	0	30	1	砂/岩盤
L2	XXX	2019/7/24	13:27	100	L2-14	XXX	XXX	7.8	25	0	50	1	岩盤
L2	XXX	2019/7/24	13:30	120	L2-15	XXX	XXX	8.0	25	0	50	1	岩盤
L2	XXX	2019/7/24	13:34	140	L2-16	XXX	XXX	7.5	75	0	20	1	岩盤
L2	XXX	2019/7/24	13:37	160	L2-17	XXX	XXX	8.5	90	0	1	1	岩盤
L2	XXX	2019/7/24	13:43	180	L2-18	XXX	XXX	7.0	10	0	75	1	岩盤
L2	XXX	2019/7/24	13:47	200	L2-19	XXX	XXX	8.0	25	0	50	10	岩盤
L3	XXX	2019/7/24	13:12	0	L3-09	XXX	XXX	8.3	40	0	25	0	岩、砂
L3	XXX	2019/7/24	13:15	20	L3-10	XXX	XXX	9.5	0	0	0	0	砂地
L3	XXX	2019/7/24	13:17	40	L3-11	XXX	XXX	9.5	0	0	0	0	砂地
L3	XXX	2019/7/24	13:20	60	L3-12	XXX	XXX	9.7	0	0	0	0	砂地
L3	XXX	2019/7/24	13:22	80	L3-13	XXX	XXX	9.7	0	0	0	0	砂地

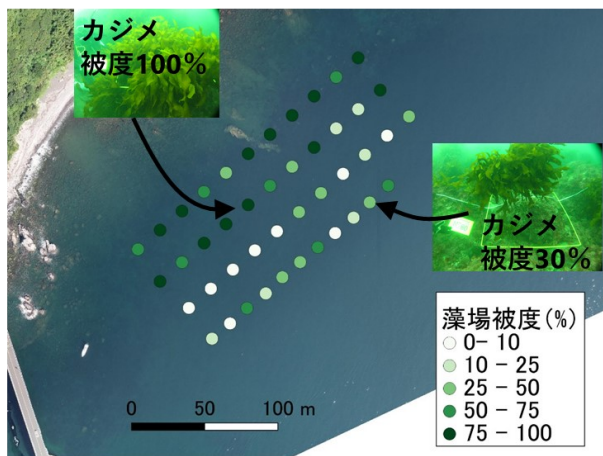
データ

調査の実施例

・カジメ場における潜水のライン調査

実施例として、2019年7月23日～25日に神奈川県真鶴町沿岸の2地点において潜水によるライン調査を行った[35]。岩大橋側において200mのラインを4本（44調査点）、真鶴側において200mのラインを5本（52調査点）水中に設定し、そのライン上で20mごとに1m×1mのコドラートを置いて写真を撮影し、海藻種、その被度、底質を記録した。このデータを表4-(1)-2の形式で整理し、GISソフトに読み込んで海藻の被度を表示させると図4-(1)-7のようになり、大まかにどのあたりに藻場があるのかわかる。このデータをドローン画像や音響測量、衛星写真による藻場把握の教師や検証用に利用できる。

岩大橋側（44点）



真鶴側（52点）

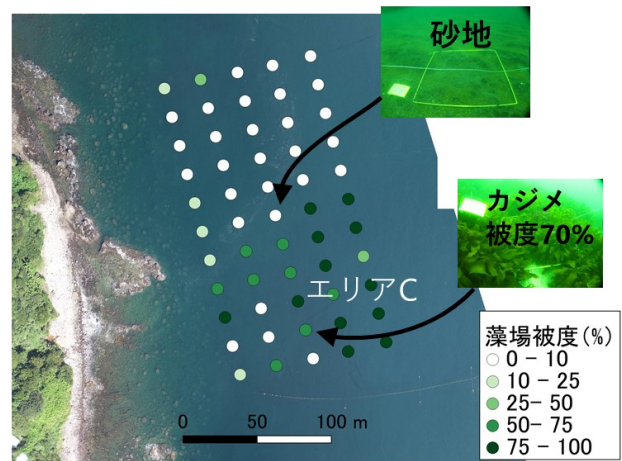


図 4-(1)-7. 潜水によるライン調査点の藻場の被度の分布（2019年7月）。背景写真は2019年9月に撮影したドローン空撮によるもの。

(2) 船上調査

船上調査では地先の地点やライン上の海底を目視やカメラで観察することで広域の藻場調査の教師・検証用のデータを取得できる。一方、この調査では潜水調査よりもかなり広範囲（80km, 160 km）の海岸線を調査した事例もある[36, 37]。箱メガネは古くから用いられてきたが、最近は水中カメラや水中ドローンの利用も多い。

調査機材

- ・箱メガネ（図 4-(2)-1a)
- ・ケーブル水中カメラ（4-(2)-1b)
- ・水中ドローン（4-(2)-1c)
- ・ハンディ GPS（防水パックがあると便利）または GPS 付き魚群探知機等（図 4-(2)-1a)
- ・測深計（図 4-(2)-1a）または測深ロープ
- ・野帳と筆記用具
- ・小型船（藻場は概して水深が浅いため、1 トン未満の船外機船が適している）

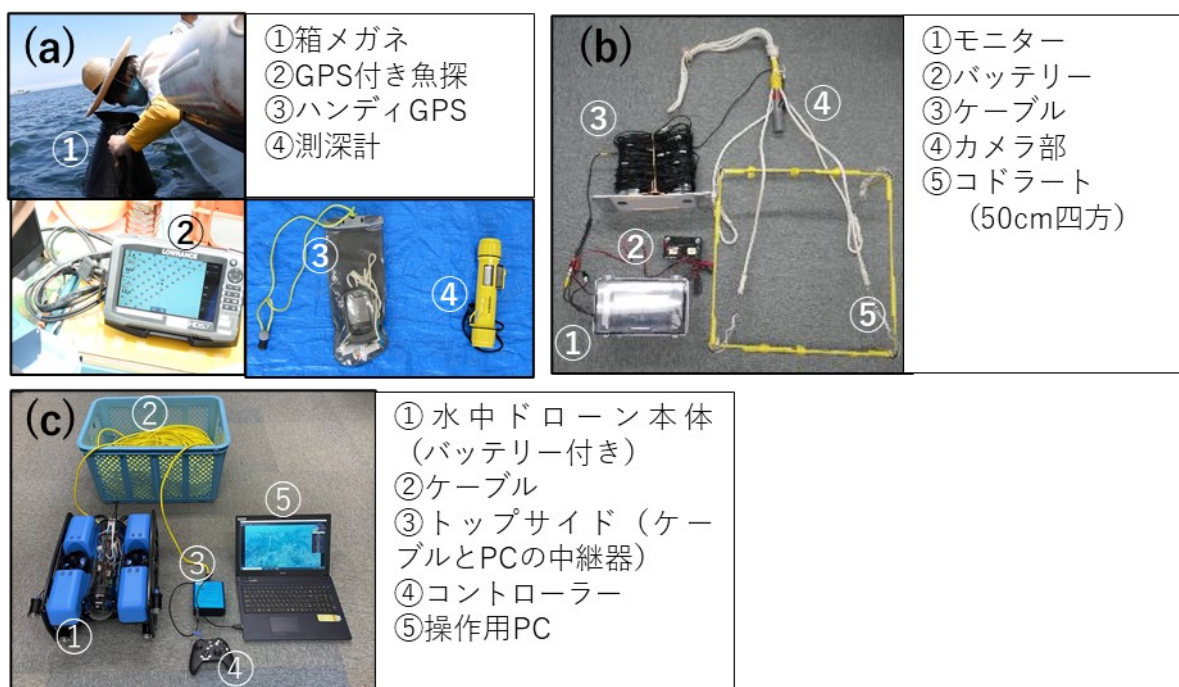


図 4-(2)-1 船上調査の際に (a) 共通に用いる機材、(b) 水中カメラの機材、(c) 水中ドローンの機材

・箱メガネ及びケーブル水中カメラ

箱メガネは予備調査や下見にも便利なため、船上調査の際には常に持っていくとよい(図 4-(2)-1a)。ケーブル水中カメラでは、箱メガネよりも深い水深や水面が多少濁っている状況でも調査ができる(図 4-(2)-1b)。

ケーブル水中ビデオカメラの購入に当たっては解像度、データの保存方法、ケーブル長について注意する。解像度の低い機種は低価格であるが、海藻の種によっては判別することが難しくなるので、適切な解像度の機種を選択する(図 4-(2)-2b の解像度は 1920×1080 のフル HD)。船上での調査中に静止画を撮影するのは労力がかかるため、動画撮影のほうが好ましい。ケーブル長は、潮流でカメラ部分が流されることを考慮して、調査水深より余裕を持たせる。

- ・水中ドローン

水中ドローンは、遠隔操作により水中を移動し観測等を行う機器である（図 4-(2)-1c）。ケーブルによって船上ユニットと繋がれている。ROV (Remotely operated vehicle) の名称でも知られる。近年、様々な水中ドローンが各社から発売され、予算と用途に応じて選択できるようになった。ただし機種によっては操作性や耐久性に難があることも考えられるので、十分な比較検討が望ましい。ここに紹介する BlueROV2 を始めとして、機材一式がコンパクトな機種も多く、1 トン弱の船外機船で調査を行うことができ、岩礁性藻場が分布する水深や浅い暗礁がある海域に適している（図 4-(2)-2c）。

なお、機種によってはオプションでトランスポンダを装備でき、調査船の GPS 位置情報を元に水中ドローンの正確な位置情報が得られる。またソナーを装備すれば数十メートル先の岩礁や人工礁を探知できる。

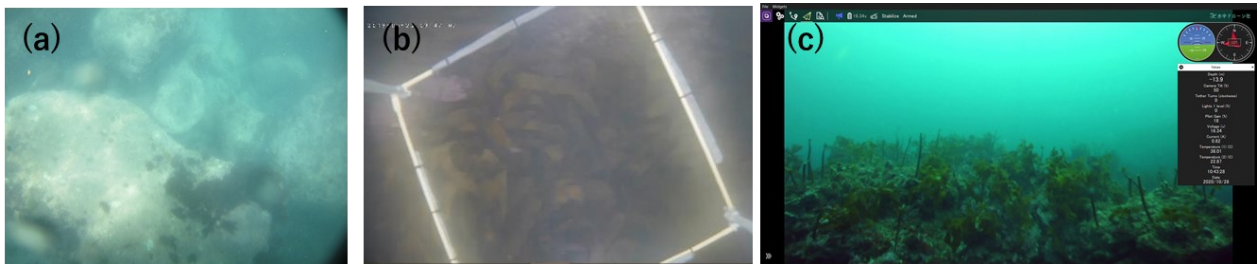


図 4-(2)-2 (a) 箱メガネ、(b) 水中カメラ、(c) 水中ドローンの景色

- ・GPS

広域調査の教師・検証データの取得を目的とした船上調査では GPS の利用は必須である。ハンディ GPS がよく利用されるが、GPS 付き魚探（振動子は付けなくてもよい）は画面が大きく操船者が調査点を確認しながら操船できる（図 4-(2)-1a）。

- ・測深機

船上から調査海域の水深を把握できるため、ポータブル測深計があると便利である（図 4-(2)-1a）。なお、魚探を用いても測深可能（この場合は振動子が必要）で、連続的に海底地形を把握できる。

調査計画の立案

- ・調査点

潜水調査と同様に広域調査の教師データおよび検証データとしてどれくらいの調査点を調べるか調査前に決めておく。多くの研究で藻場の画像解析や音響測量では教師・検証用に各 30 点（合計 60 点）以上を取得している[3, 11, 12, 18, 19]。

調査点は潜水調査と同様にカシミール 3D や Google Earth などで広域調査を行う範囲内に設定する。その緯度経度ファイル(gpx ファイル)をハンディ GPS などに入れて、現場で利用すると便利である（図 4-(2)-3）。

- ・記録項目

基本的な調査項目は潜水調査と同様で、地点名、時刻、水深、海藻の種類、種類ごとの被度、底質の

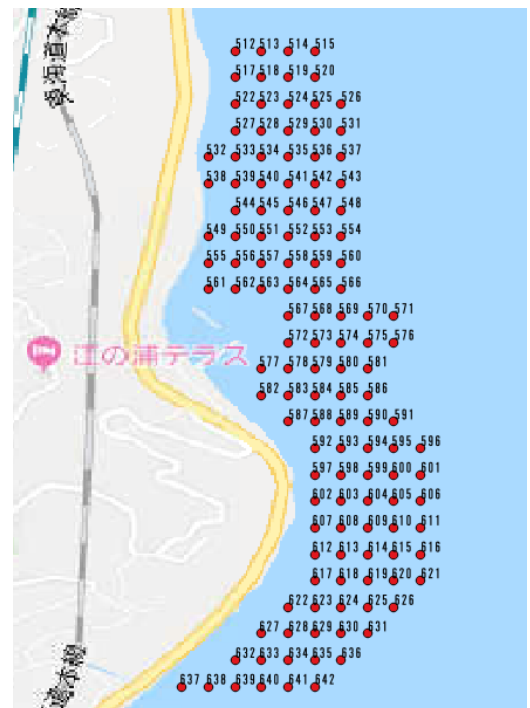


図 4-(2)-3 調査点の設定例

状況などである。同様に記録用紙（野帳）を用いてもよい（P. 35 の表 4-(1)-1）。

調査の実施方法

・箱メガネ・ケーブル水中カメラによるポイント調査

予め、調査対象海域に等間隔に調査点を設定し、箱メガネまたはケーブル水中カメラで藻場を観察する。野帳に水深や種名、被度等を記録するとともに、水中カメラの場合は映像を録画する。ただし、調査点が多数ある場合や船上で酔いやすいときは、地点名と時刻の記録だけを行い、録画した映像をもとに研究室で詳細な被度等を測定したほうが良い。この際、地点毎に地点番号を書いた紙などをカメラで映してから海藻を撮影すると、研究室で映像を見直した時に調査点がわかりやすい。

作業に要する人数は、最低計 3 名（船の操船 1 名、測深及びカメラの上げ下げ作業 1 名、ビデオ撮影及び野帳の記録 1 名）で、1 点あたり数分で観察できる（図 4-(2)-4）。カメラの上げ下げは岩にカメラが引っかかるときがあるので注意が必要である。小型船の場合、波高 1m ほどになると船上の機器などが波を被ることになるので、調査地の波高が 1 m 未満のときに調査する。

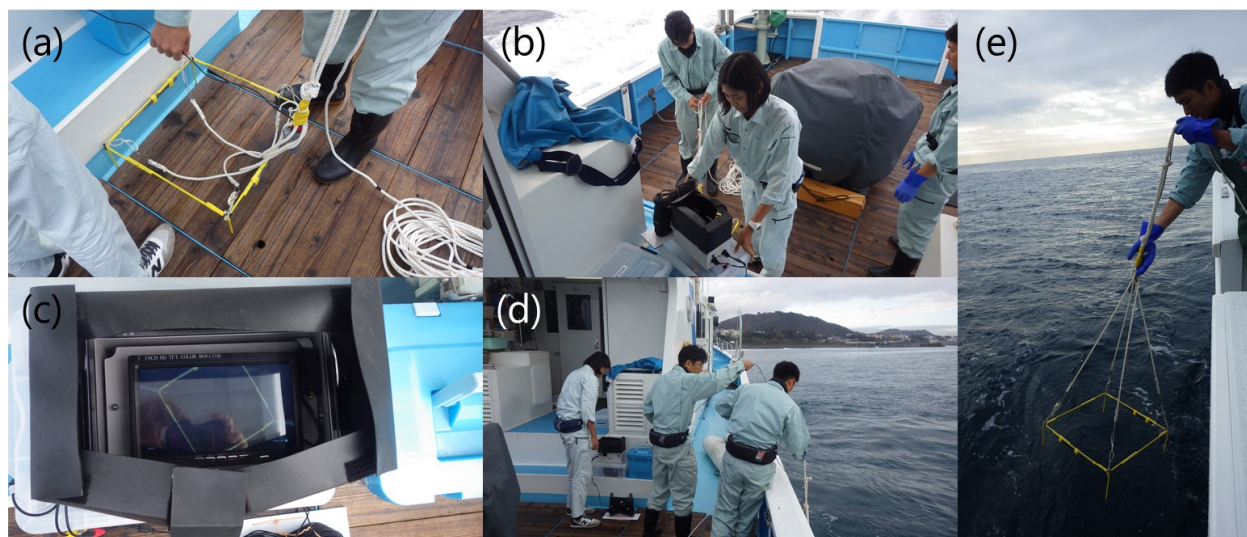


図 4-(2)-4 船上での水中カメラによる調査の様子（これは 19 トン船だが、1 トン以下の小型船で調査できる）. (a) コドラート、(b) 水中カメラのモニターの設置、(c) モニターの画像、(d) と (e) 海中にコドラートを降ろす様子

・水中ドローンによるライン調査

作業に要する人員は最低計 3 名（船の操船 1 名、水中ドローンのケーブル捌き作業 1 名、水中ドローンの操縦と記録 1 名）である（図 4-(2)-5）。水中ドローンに水中 GPS が付いていれば潜水中の正確な緯度経度がとれるが、なければその位置を推定できる工夫が必要である。ライン調査では調査海域に予めラインを設定し、始点と終点の GPS 位置情報を船上で取得し、ライン沿いに水中ドローンを動かし、藻場の映像を記録する（図 4-(2)-5）。ライン上に 5~10m おきなどに目印を付けて後からその位置の緯度経度を推定できるようにしておけば、正確な緯度経度と紐づけたデータを取得できる。また、船の位置情報を GPS でトラックすることで水中ドローンのおおよその位置も推定できるが、ケーブルの出し具合で船からのずれが生じるので注意が必要である。。

PC や外部モニターを用いる機種では、小型蓄電池で電源を供給する。直射日光下ではモニターが見えにくいので、暗箱や遮光幕等を用いると良い(図 4-(2)-6bc)。水中ドローンの操縦は習熟が必要であるとともに、操船者およびケーブル捌きを担当する者との、十分な意思疎通も欠かせない。ケーブルは水中ドローンの行動を

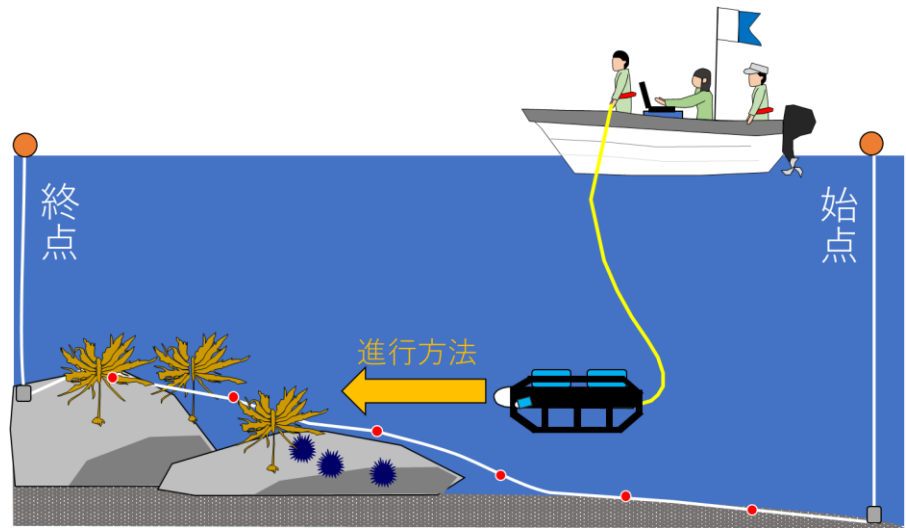


図 4-(2)-5 水中ドローンを用いたライン調査の模式図

妨げない程度に張った状態とする。弛むと水中拘束の原因となる(図 4-(2)-6b)。

藻場調査で想定されるトラブルとして、ケーブル及び水中ドローン本体の岩礁や海中投棄物への拘束、水中ドローンのスラスターへの海藻やロープ等の巻き込み、調査船のスクリューやサイドスラスターへのケーブルの巻き込み、本体の水密不良による漏水等が考えられる。また船上ユニットが防水でない機種では、海水や雨水で濡れると故障の原因となる。万一、水中拘束により戻れなくなった場合は、船上ユニットに繋がったケーブルを取り外し、ビニール袋等で接続部を密閉し、浮きを付けて船から離し海上の目印とする。その後速やかに潜水士により回収する。調査可能な波浪条件について、水中カメラと同様、調査地の波高が1m未満である。小型船の場合、波高1mほどになると船上の機器などが波を被ることになる。

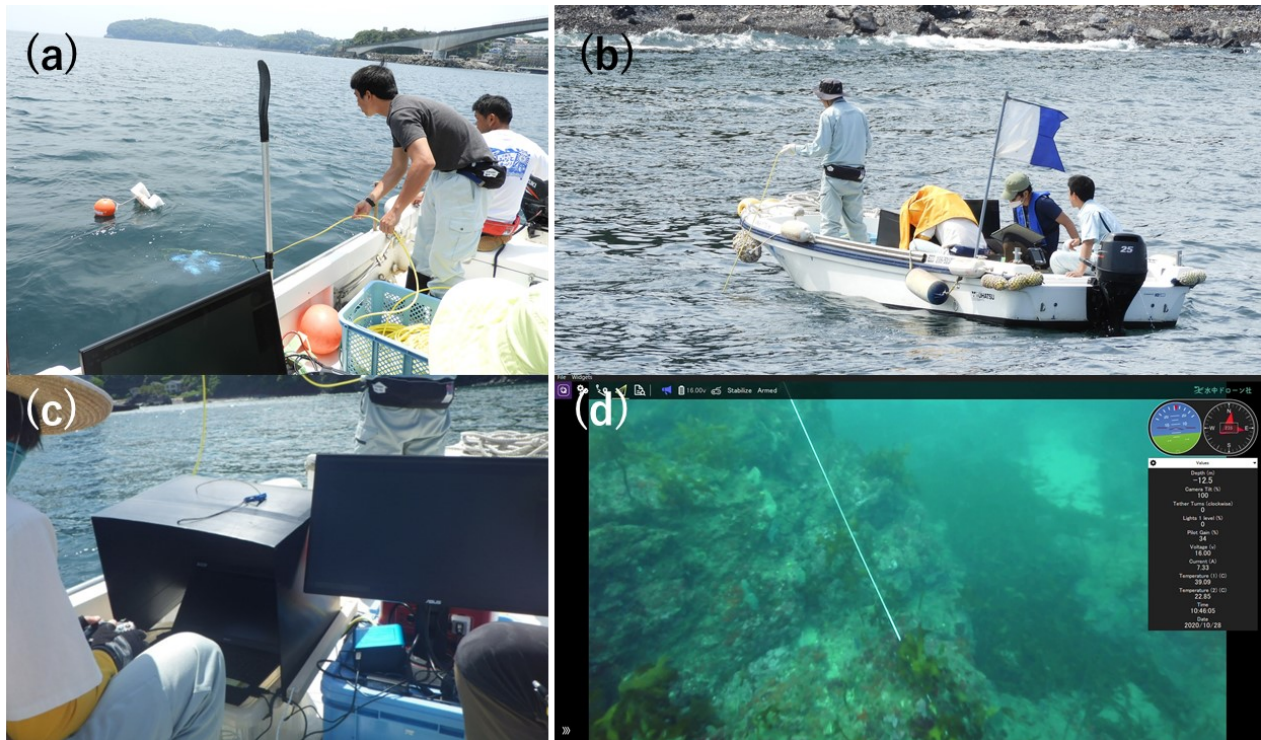


図 4-(2)-6 船外機船(0.7トン)を用いた水中ドローン調査の様子。(a) 調査ラインの始点から水中ドローンを投入する様子、(b) 調査中の船上(モニターを見るためにカップを遮光幕として利用)、(c) 船上で水中ドローンを操作する様子、(d) 水中ドローンの潜水中の映像

【コラム 7】 水中ドローンと潜水で撮影した画像の比較

潜水観察や水中カメラ調査では海藻被度を真上から評価するが、水中ドローンの調査ではライン上を水平方向に進みながら撮影する。そのため、取得した海藻の見え方が異なる可能性がある。そこで水中ドローンと潜水で同等の海藻の被度が取得できるか検証するために、神奈川県真鶴町沿岸のカジメ場を両手法で観察した。この際に水中ドローンでは潜水時の撮影と近づけるためにできる限り下向きで撮影した。

潜水調査と水中ドローンで撮影した画像（各 n=7）を比較したところ、撮影方向や角度の違いはあるが生育していたカジメ及びサンゴ藻で同等の被度を算出できた（褐藻：正答率 7/7=100%、紅藻：正答率 7/7=100%）。そのため、水中ドローンによる撮影でも潜水調査と同等のデータが取得できると考えられた。ただし、水中ドローンのカメラをなるべく下に向けることが必要と考えられた。

表. 潜水調査と水中ドローンによる海藻被度判別の比較

カジメ	水中ドローンでの被度区分0-20%	水中ドローンでの被度区分20-40%
潜水での被度区分0-20%	5	0
潜水での被度区分20-40%	0	2

サンゴ藻	水中ドローンでの被度区分0-20%	水中ドローンでの被度区分20-40%
潜水での被度区分0-20%	7	0
潜水での被度区分20-40%	0	0

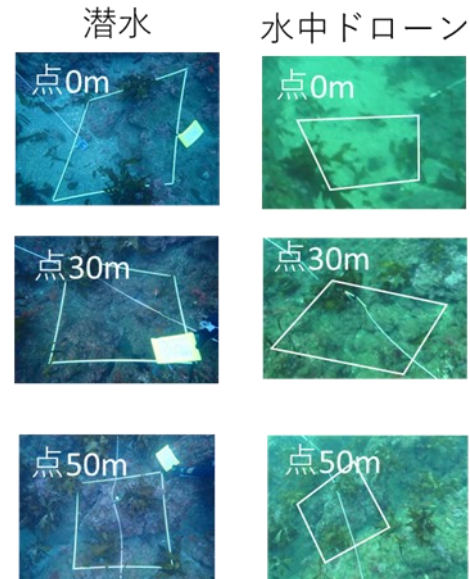


図. 潜水調査と水中ドローンで撮影した画像の比較

調査結果の取りまとめ

- ・箱メガネ・ケーブル水中カメラによるポイント調査

潜水調査と同様に、データの成型の形式は、一番上の行に入力する項目名である地点、緯度、経度、海藻の被度、底質などを入れ、その下にデータを打ち込んでいく形が良く用いられる（P. 37 の表 4-(1)-2）。これをエクセルの csv ファイルで保存することで、GIS で読み込んで地図上にプロットできる（P. 19 の図 3-(2)-6）。

- ・水中ドローンによるライン調査

得られる画像（動画）データは、ダイバーによる潜水調査や箱メガネ・水中ケーブルカメラ調査に準じて取りまとめればよい（P. 37 の表 4-(1)-2）。水中 GPS により位置情報を取得できる機種であれば付属 PC 等に収録された位置情報を、映像と合わせて記録できる。図 4-(2)-7 に藻場調査で得た画像の一例を示す。カジメ群落の状況だけでなく、アイゴがカジメを摂食する様子なども観察できる。

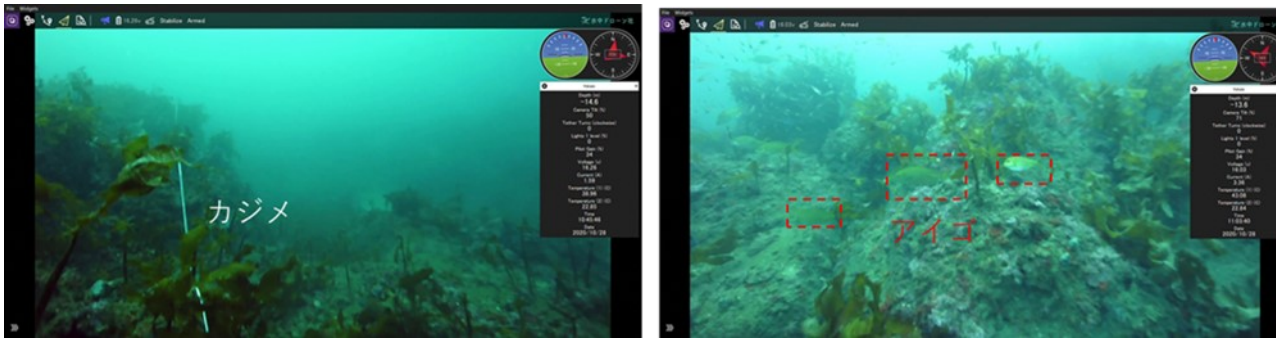


図 4-(2)-7 藻場調査時の水中ドローンの画像. 左画像ではラインとカジメが映っており、右画像ではカジメを摂食するアイゴが撮影されている.

・水中ドローンによる現地データの大量取得

水中ドローンの撮影動画と GPS の緯度経度を基に大量に現地データを取得する方法について紹介する (図 4-(2)-8、P. 57 の参考資料)。まず、(1) 通常通り、水中ドローンでライン調査を行い、藻場を撮影する。次に、(2) 撮影した動画を研究室に持ち帰り、数秒おきの静止画に切り出す。(3) この静止画を基に目視また画像解析により海藻を分類し、被度を算出する。(4) 魚探などの GPS の緯度経度の取得時刻と水中ドローンの静止画の時刻のずれを調整することで、緯度経度と紐づけた海藻の被度のデータが作成できる。ただし、船上の GPS の緯度経度を基にした場合、水中ドローンの実際の位置と数 m から十数 m のずれが生じる。この場合、藻場の縁辺 (エッジ) などでデータを取ると影響が大きい (実際には藻場がない場所で藻場があるといった結果やその逆になりやすい) ので、調査ラインをなるべく藻場の中心近くにするなど工夫した方が良い。

1 水中ドローンによる動画撮影



2 動画を静止画に切り出し



3 静止画から藻場を判別



4 緯度経度と紐づけてデータ作成

GPSから 水中ドローンから

日付	緯度	経度	時間	水深 (m)	カジメ (%)	褐藻 (%)	緑藻 (%)	紅藻 (%)
2020.6.	35.163366	139.143693	13:38:06	8	0	10	0	20
2020.6.	35.163352	139.143675	13:38:10	8.3	5	10	0	25
2020.6.	35.163352	139.143684	13:38:42	7.6	0	0	0	10
2020.6.	35.163306	139.143723	13:39:42	8.8	0	0	0	5
2020.6.	35.163573	139.143797	13:40:06	8.5	0	0	0	10
2020.6.	35.163588	139.143783	13:40:10	8.6	5	5	0	20
2020.6.	35.163595	139.143783	13:40:11					
2020.6.	35.163602	139.143783	13:40:11					
2020.6.	35.163617	139.143792	13:40:21					
2020.6.	35.163617	139.143792	13:40:21					
2020.6.	35.163595	139.143803	13:40:31					
2020.6.	35.163543	139.143774	13:40:31					
2020.6.	35.163536	139.143753	13:40:31					
2020.6.	35.163757	139.143765	13:43:11					
2020.6.	35.163742	139.143756	13:43:11					
2020.6.	35.163375	139.143756	13:44:21					
2020.6.	35.16361	139.14377	13:44:27					
2020.6.	35.163551	139.143611	13:45:11					

時刻の紐づけ

	時刻	時刻
ROV PC 時計	11:07:27	
腕時計	11:08:06	10:55:14
Lowrance		13:24:27
時間差	0:00:39	2:29:13

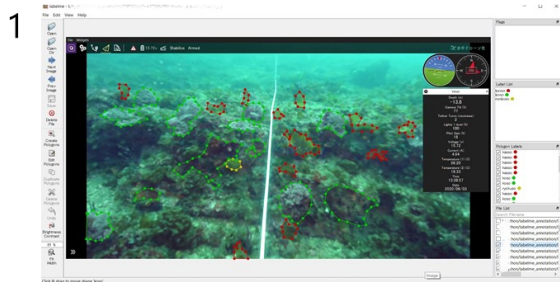
図 4-(2)-8 水中ドローンの撮影動画を用いたデータ取得方法

【コラム8】 深層学習による水中画像からの海藻判別

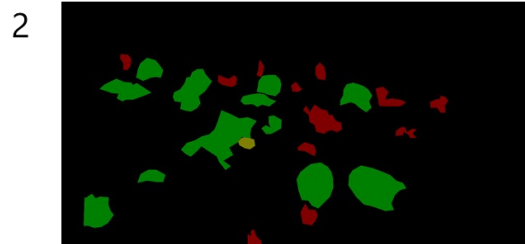
水中ドローンや潜水調査で撮影した画像は、通常、調査者などが目視で海藻の判別や被度の算出を行う。一方、画像が多いと作業量が膨大になるため、撮影画像から自動で海藻を判別し、被度が算出できるようになると作業の省力化につながる。そこで、水産基盤整備調査委託事業「藻場回復技術の高度化検討調査」では、水中ドローンの撮影画像と潜水時に撮影した画像を用いて深層学習による海藻の判別と被度の算出を試みた。

この手法の手順を下図に示す。まず、水中ドローンの映像から数秒おきに切り抜いた静止画または潜水時に撮影した画像を基に、アノテーションツール labelme[38]を用いて、静止画上の海藻の範囲を目視で指定し、各海藻門（褐藻、紅藻、緑藻）の区別を付与（アノテーション）した学習データを作成した。次に、labelmeで作成したアノテーション画像とアノテーション情報が格納されたファイル(.json)のデータセットを、Pythonスクリプトを用いてPascalVOC形式の画像データを変換した。そして、深層学習の完全畳み込みネットワークの一つであるU-Net[39]を用いて、地域ごとの画像データを教師として各地域の新規の静止画に対して海藻をセグメンテーション（画像内のどこにあるかを推定）した（手順の詳細はP.57の参考資料）。

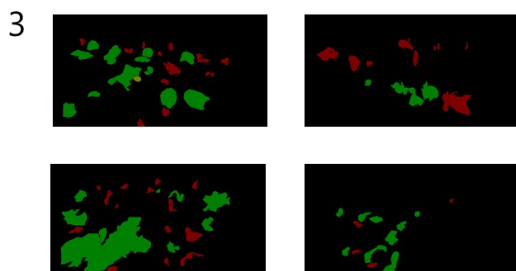
その結果、深層学習による藻場判別でも人間の目による判別と同程度の各海藻の被度が算出できた。ただし、現時点では地域ごとの結果であり、どこの地域の実用性の高い深層学習のモデルはできていない。また、撮影時の透明度などによる画像の違いの影響で毎回教師データの作成が必要である。より多くの教師データが収集できれば、様々な地域の写真から海藻の被度を算出できるシステムが構築できるだろう。



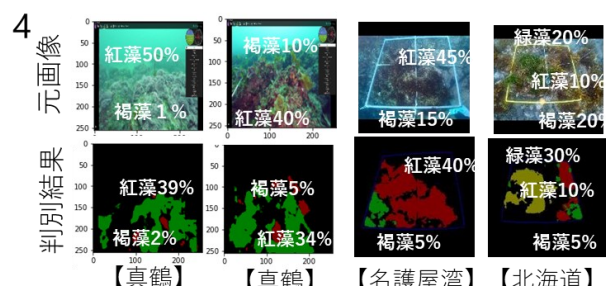
1 labelmeのアノテーション（海藻部分をなぞって学習データを作成）画面



2 深層学習の教師データとして利用するためにPascalVOCのデータセット形式に変換



3 複数の学習データセットを作成



4 深層学習の一つであるU-Net法により、新規の画像に対してセグメンテーション（藻場判別）
上段が元画像を人の目で算出した被度、下段が深層学習による算出した被度となっている。

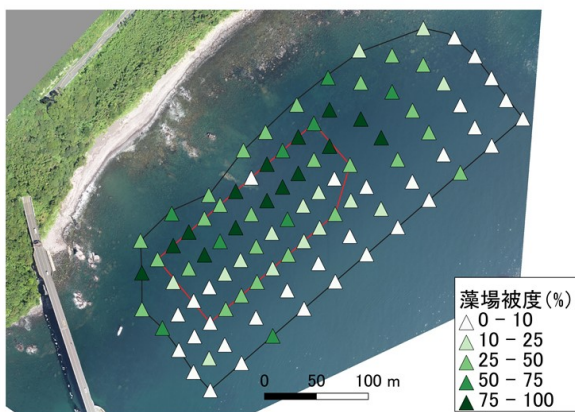
図 深層学習により水中画像から藻場の海藻分類（褐藻、緑藻、紅藻）と被度算出を行う手順

調査の実施例

・船上カメラによる調査

2019年の7月から9月の間に神奈川県の実鶴町沿岸の岩大橋側において約400mのラインを7本(97調査点)、真鶴側において約400mのラインを9本(113調査点)を設定し、水中カメラによる藻場調査を行った。そのライン上の20m距離ごとのポイントで水中カメラに取り付けた0.5m×0.5mの枠内の画像を撮影し、海藻種、その被度、底質を記録した。このデータをエクセルなどで表4-(1)-2の形式で整理し、CSV形式にしてGISソフトに読み込むことで海藻の被度を表示させた(図4-(2)-9)。この調査では潜水調査に比べて広い範囲をカバーでき、大まかな藻場(カジメ場)分布も把握できた。また、このデータは音響測量や空撮画像による藻場分布把握の教師や検証に利用できる。

岩大橋側 (97点)



真鶴側 (113点)

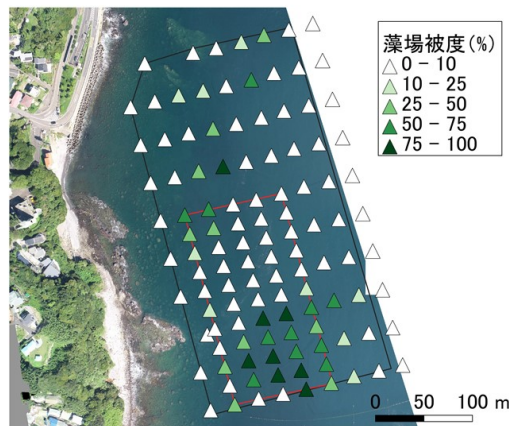


図4-(2)-9. 水中カメラを用いた調査の地点と観察されたカジメ(藻場)の被度(2019年7~9月; 赤枠は潜水調査の範囲)。背景写真は2019年9月に撮影したドローン空撮によるもの。

・水中ドローンによるライン調査

水中カメラ調査の翌年2020年の6月から9月の間に岩大橋側において300~400mのラインを3本設定し、水中ドローンによるライン調査を行った。ライン上では水中ドローンのカメラで動画を撮影した。その動画から静止画を数秒おきに抽出し、海藻種(カジメ、褐藻その他、緑藻、紅藻)、その被度、底質を記録した。船のGPSと静止画を時刻で紐づけて緯度経度をデータに割り当て、GISソフトに読み込んで海藻の被度を表示した(図4-(2)-10)。2019年に比べて磯焼けにより大きく藻場(カジメ場)の被度が減少していることがわかる。この手法では動画を撮影することで大量のデータを取得できるが、水中ドローンに水中GPSが付いていないため、実際の調査点には数メートルから十数メートルのずれが予想される。

岩大橋側 (247点)

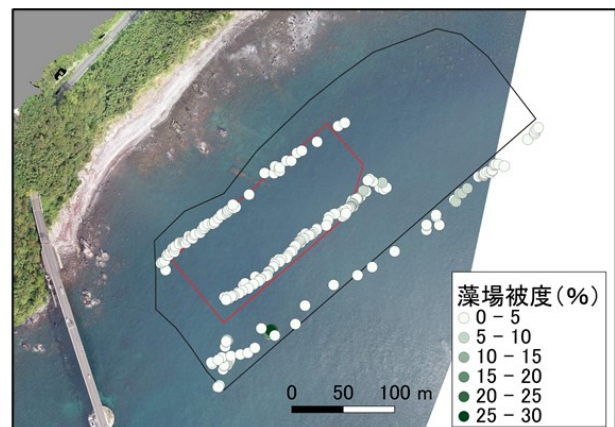


図4-(2)-10. 水中ドローンによる調査で観察されたカジメ被度(2020年6~9月)

【コラム9】潜水観察・船上調査による広域藻場の把握

この手引きでは潜水観察や船上調査は広域調査手法（ドローン空撮、音響測量、衛星画像、航空写真）の教師・検証データを取得する手法として紹介しているが、これらの手法でも広域に藻場を調査した事例がある。

Fujita et al. (2006)では富山県のテングサ群落を岸沖方向に横断する形でチェーンのラインを引き、潜水調査で群落の端の位置を記録することでその範囲を把握した(図1)。また、他にもハンディGPSを使って、藻場の縁辺に沿って移動し、逐次位置を押さえて記録することで藻場の広がり調べた事例もある(図2)。これらの手法でも地先の藻場の範囲と面積の経時変化を把握することができる。

船上調査では徳島県の海岸線160kmで2007年と2017年に箱メガネで海域を観察し、藻場の種類と被度(%)を記録して10年間の藻場の変化を把握した事例がある[36](図3)。このように船上調査でもかなりの広範囲を調査し、藻場の面積を把握することができる。この調査結果から、徳島県の北部では藻場の変化が小さいが、水温上昇が大きい中部・南部ではアラム・カジメ場が減少し、テングサ場が増えていることが明らかになった。

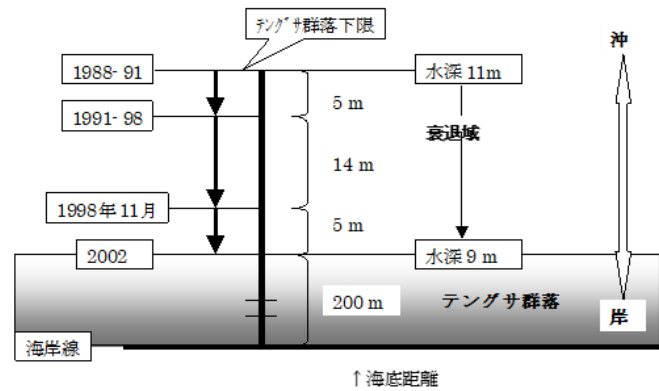


図1 テングサ群落衰退のモニタリング調査(富山県滑川市)[40]。群落の下限に目印として土嚢やステンレス製チェーンを置いている。



図2 ハンディGPSによる藻場範囲の計測と表示例。(a)藻場の輪郭を視認できる場合は、海面を泳ぎながら位置を記録する。(b)記録した位置データを用いて、経年的な藻場範囲の変化を表した例。

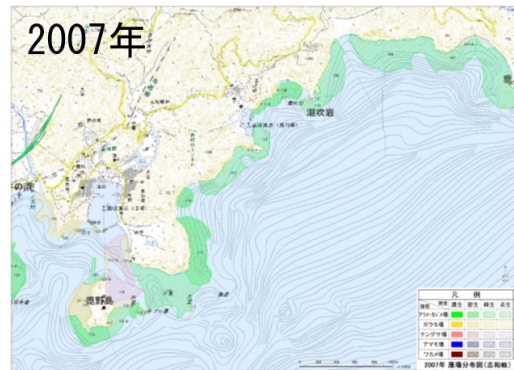


図3 2007年と2017年の徳島県志和岐地区の藻場分布([36]を改変)

5. 藻場調査手法の概要とコスト比較

これまで紹介した調査手法（図 5-(1)-1）の取得情報、調査範囲、コスト、時間について整理した。また、現地調査を委託した場合の費用の概算を示した。

(1) 藻場調査手法の特徴

潜水調査と船上調査は最も近くで海藻を観察でき、広域調査（ドローン空撮や音響測量、航空写真、衛星画像）の教師・検証用のデータを取得できる手法である

（図 5-(1)-1）。潜水調査の調査範囲は地先程度だが取得できる情報が最も多く、海藻の種や被度、底質、植食者の存在など周囲の環境まで把握できる（図 5-(1)-2）。船上調査では箱めがねや水中カメラ、水中ドローンを用いて、地先だけでなく広い範囲を調査した例（海岸線 80km~160 km）もある[36, 37]。海藻種の同定や海藻被度、底質の判定が可能だが、潜水に比べて同定できる海藻種が限られる。また、船が入れない浅瀬（1~2m）では調査ができない。

ドローン空撮、音響測量、航空写真及び衛星画像を用いた解析（図 5-(1)-1）では広域の藻場分布（藻場の有無や海藻の大きな分類）を把握できる。ドローン空撮では藻場有無の判別の正答率は比較的高いが、適用水深が温帯域で 10m 程度までである。一方、音響測量では浅瀬（1~2m）は船が入れないため調査できないが、水深 3m 程度から深場の藻場（水深 30m 以上も）まで調査できる。これらの手法の調査範囲は地先程度である（図 5-(1)-2）。一方、航空写真や人工衛星は市町村、都道府県や地方などの広範囲を一度に調査でき（図 5-(1)-2）、ドローンと同様に透明度がよければ水深 10m 程度までの藻場を判別できる。藻場判別の正答率はドローンよりも若干落ちる（60~85%）。通常、これらの広域調査で取得できる情報は藻場の有無だが、その海域に小数の海藻しか生育していない場合や詳細なデータが取れた場合は海藻の分類（褐藻、紅藻、緑藻など）や、被度の粗密がわかることもある。

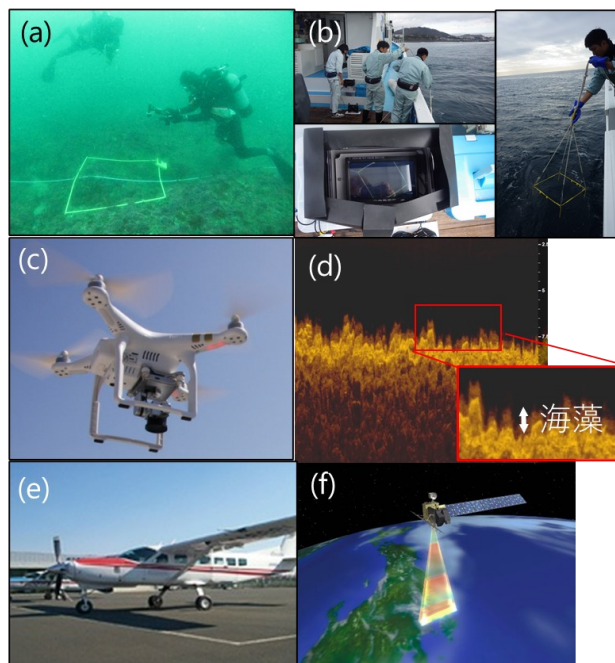


図 5-(1)-1. 藻場調査の各手法 (a) 潜水調査、(b) 船上調査、(c) ドローン空撮、(d) 音響測量、(e) 航空写真（国際航業株式会社運営解説サイト MoGIST より）、(f) 衛星画像（衛星だいち 提供：宇宙航空研究開発機構（JAXA））

一方、音響測量では浅瀬（1~2m）は船が入れないため調査できないが、水深 3m 程度から深場の藻場（水深 30m 以上も）まで調査できる。

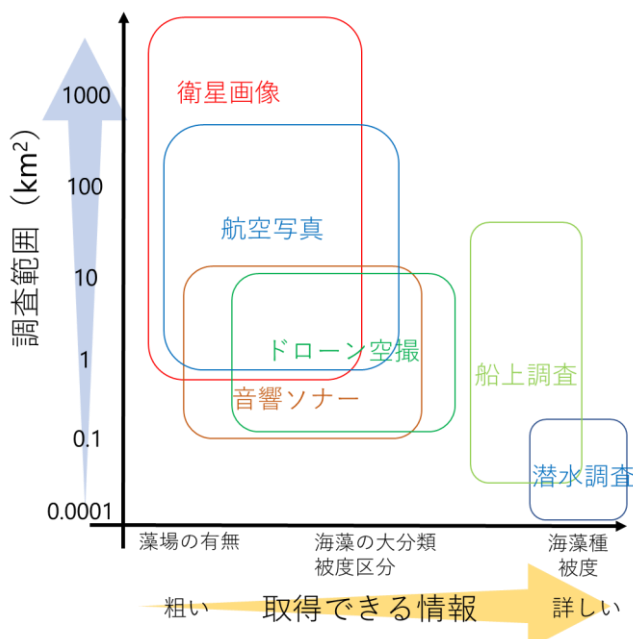


図 5-(1)-2. 調査方法の精度・取得可能情報と調査範囲の関係の簡易図

調査範囲と得られる対象項目や精度（正答率など）の関係を簡単に表すと、取得できる情報が詳細になるほど調査範囲が狭くなるトレードオフの関係にある（図 5-(1)-2）。そのため、どのような範囲を対象にするか、どれくらい細かい藻場の情報が必要か、利点と欠点を認識して調査手法を選択する必要がある。

既往事例を基に調査の対象項目、調査範囲、適用水深、コストなどを表に整理した（表 5-(1)-1）。コストは現有機器の有無、調査範囲や検討すべき内容等により変化するため、実際に調査を行う場合や委託する場合と異なることもあり注意してほしい。例えば、潜水や船上調査の場合は水深分布やその場の作業効率により、調査範囲が同じでも委託費用は大きく変動する。また、水中ドローンは潜水可能水深やバッテリーの駆動時間、水中 GPS の有無により値段が異なる。特に水中 GPS を付けると値段が高くなる。どのような仕様が必要か、よく吟味すること。

表 5-(1)-1. 藻場調査手法の特徴とコストの整理

調査種類	調査名	対象項目と判別精度	調査範囲	水深	コスト事例	調査時間
現地調査	潜水調査	種判別、被度、底質、植食動物	地先 (<1km ²)	0-30m	自前：10~20万円（潜水機材購入） 委託：10万円/日（現地調査補助） 1650万円/km ² （現地調査）	~30地点/2人・日 （10点/40-60分） 3ライン/2人・日 （200mライン/40-60分）
現地調査	船上調査（箱メガネ、水中カメラ）	種・属判別、被度、底質	地先~県 (~50km ²)	3-40m	自前：10万円（水中カメラ購入） 委託：280万円+190万円/0.1km ² （現地調査+解析）	20~30地点/時間
現地調査	船上調査（水中ドローン）	種・属判別、被度、底質、植食動物	地先~県 (~50km ²)	3-150m	自前：10~400万円（水中ドローン購入） 委託：180万円+220万円/0.1km ² （現地調査+解析）	20~300地点/時間
広域調査（地先）	音響測量	藻場の有無、草丈、形状の異なるもの 74~92%	地先 (0.03~12km ²)	3-100m	自前：20~40万円（魚探購入） 委託：300万円+190万円/0.1km ² （調査+解析で藻場判別）	1.5-4km ² /4-9時間
広域調査（地先）	ドローン空撮	藻場有無、被度区分、大まかな分類 70~90%	地先 (0.004~5km ²)	0-10m	自前：5~40万円（ドローン購入） 委託：180万円+240万円/0.1km ² （撮影+画像解析で藻場判別）	撮影：0.3-0.5km ² /30分
広域調査	航空写真	藻場有無、被度区分、大まかな分類 65~85%	市町村、県 (~600km ²)	0-10m	委託：550万円/133km ² （撮影+オルソ画像作成） 1530万円/270km ² （撮影+画像解析で藻場判別）	撮影：13-554km ² /6時間
広域調査	衛星画像	藻場有無、被度区分、大まかな分類 60~85%	市町村、県、地方 (1 km ² ~)	0-10m	自前：無料~20万円/25km ² （画像入手） 委託：300万円/30km ² （画像取得+画像解析で藻場判別） 3350万円/6600km ² （現地調査+画像取得+画像解析で藻場判別）	無料画像はすぐDL 画像購入の場合は約1週間~10日間で納品

(2) 調査手法のコスト比較

神奈川県真鶴町地先の岩大橋と真鶴港近くの 2 地点（図 5-(2)-1）で潜水、水中カメラ、水中ドローン、音響測量、ドローン空撮による調査を行った（図 5-(2)-2）。下記に調査の内容と委託した場合の費用の概算方法を示す。

調査の内容

・潜水

両地点で海中に調査ラインを引いてライン上で 20m おきに方形枠を置き、その中の海藻種と被度を記録する（P. 38 に詳細あり）。

・水中カメラ（船上調査）

両地点内で調査ポイントを設定し、そのポイント上で水中カメラを降ろし、海藻種と被度を記録する（P46. に詳細あり）。

・水中ドローン（船上調査）

両地点で海中に調査ラインを引いてライン上で動画を撮影し、その動画から静止画を切り出し、中の海藻種と被度を記録する。調査中に GPS でトラックし、動画の静止画と緯度経度を紐づけられるようにする（P46 に詳細あり）。

・音響測量

両地点で GPS により調査測線を設定し、測線上で魚群探知機により音響測量して、そのダウンスキャン画像を用いて藻場分布を推定する（P. 23 に詳細あり）。

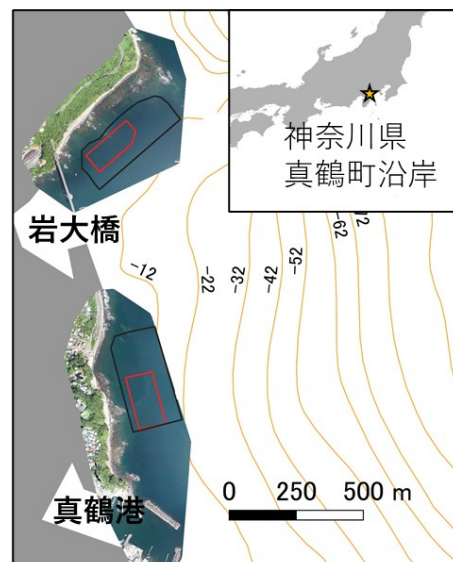


図 5-(2)-1. 神奈川県真鶴町沿岸の岩大橋側と真鶴側の調査範囲（赤枠が潜水調査の範囲と黒枠が他調査の範囲）

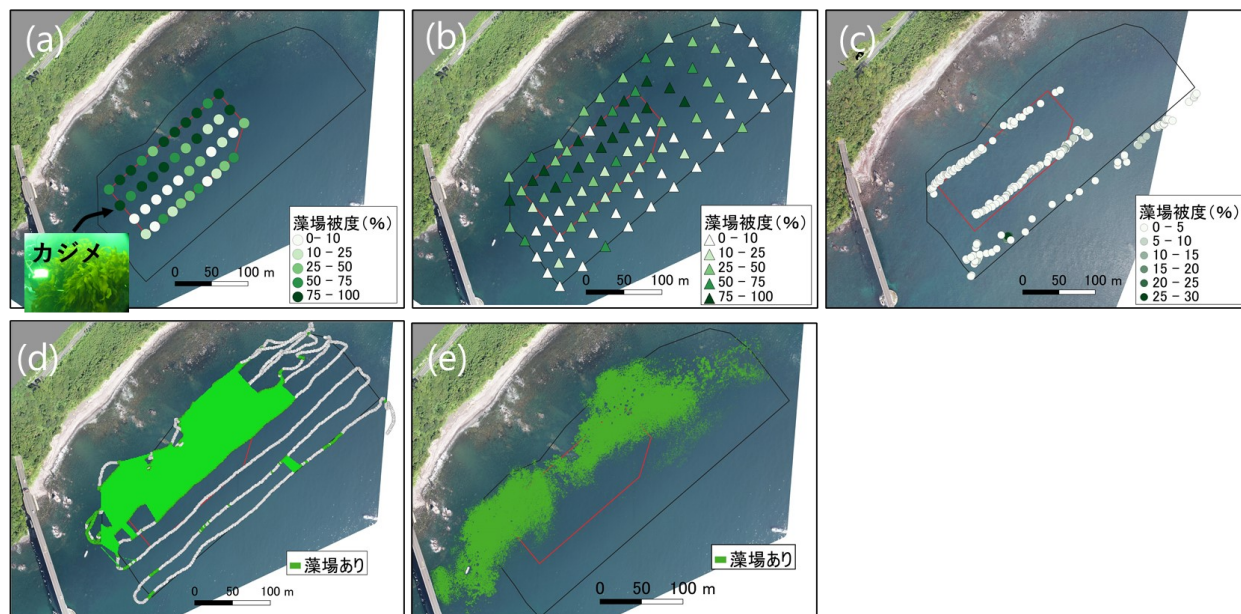


図 5-(2)-2. (a)潜水調査、(b)船上カメラ調査、(c)水中ドローンで取得した藻場データ、(d)音響測量及び (e) ドローン空撮により推定された藻場分布（a, b, d, e は 2019 年、c は 2020 年の調査結果）

- ・ドローン空撮

両地点で高度 300mからドローン空撮を行い、その画像を用いて藻場分布を推定する (P. 10 に詳細あり)。

測量費用 (解析費用は除く) の概算

上記の調査をすべて民間委託する場合の見積もりを基に、測量費用については調査努力量あたりの換算式を作成した。各調査を委託する場合の費用 (税抜き) = 測量 + 測量準備・成果品 + 諸経費となっており、調査を委託する際の目安を計算できる。数値は中央値と最小値-最大値で示している。ただし、調査地までの旅費については会社の場所により変わるため除いている。また、音響測量とドローン空撮については教師・検証用の現地データ取得の費用は入っていないので、別途現地データが必要となる。

- ・潜水観察

測量 : 399 円 (318-870 円/m) × ライン長 (m)

測量準備・成果品 : 70 万円 (66-71 万円)

諸経費 : 0.81 (0.73-0.82) × (測量 + 測量準備・成果品)

- ・水中カメラ (船上調査)

測量 : 0.3 万円 (0.2-0.5 万円/点) × 調査点数

測量準備・成果品 : 70 万円 (28-71 万円)

諸経費 : 0.81 (0.73-0.82) × (測量 + 測量準備・成果品)

- ・水中ドローン (船上調査)

測量 : 31.8 万円 (21.0-35.5 万円/km) × ライン長

測量準備・成果品 : 36.6 万円 (12.3-59.0 万円)

諸経費 : 0.82 (0.82-0.90) × (測量 + 測量準備・成果品)

- ・音響測量

測量 : 4.3 万円 (1.0-5.6 万円/km) × ライン長 (km) + 27 万円 (24-74 万円)

測量準備・成果品 : 127 万円 (70-160 万円)

諸経費 : 0.73 (0.69-0.80) × (測量 + 測量準備・成果品)

- ・ドローン空撮

測量 : 354 万円 (340-393 万円/km²) × 面積 (km²) + 5 万円 (0.4-11.9 万円)

測量準備・成果品 : 71 万円 (49-74 万円)

諸経費 : 0.73 (0.71-0.85) × (測量 + 測量準備・成果品)

各調査の取得情報、調査点数、現地調査時間、民間委託した場合の調査 (測量) 費用と解析 (設計) 費用について表 5-(2)-1 に整理した。

表 5-(2)-1. 調査により取得可能な情報、調査時間（左が岩大橋側、右が真鶴側、準備の時間などは除く）、委託費用（税抜き）（中央値と最値-最大値）

手法	取得情報	調査点数 (/10ha)	調査時間 (分/ha)	民間委託の調査費用 (10haあたり)	民間委託の解析 費用
潜水調査	種判別・被度	270	164, 180	558万円 (494-893万円)	176万円 (155-189万円)
水中カメラ	種判別・被度	270	29, 29	281万円 (267-298万円)	189万円 (141-232万円)
水中ドローン	海藻分類（褐藻、紅藻、緑藻）・被度	397	36, 42	177万円 (96-225万円)	224万円 (200-271万円)
音響測量	藻場の有無	-	15, 21	298万円 (270-475万円)	189万円 (174-214万円)
ドローン空撮	藻場の有無	-	7, 7	181万円 (176-277万円)	237万円 (172-309万円)