

第4章 調査

4.1 一般

調査は、予備調査と現地調査から、藻場造成型漁港施設の藻場造成条件を特定するための情報を得ることを目的とする。

<解説>

(1) 調査フロー

藻場造成型漁港施設の藻場造成条件を特定するための調査は、図 4-1 に示された手順に従って行う。まず、対象漁港を中心に社会環境および自然環境に関する予備調査を行い、過去から現在まで藻場が存在しているかどうかを確認する。藻場の存在が確認された場合には、さらに詳細な現地調査を行う。現地調査によって藻場造成条件が特定できない場合には、簡易実験を通じて藻場形成の阻害要因を特定する。簡易実験の方法については、「磯焼け対策ガイドライン 第7章 B2. 要因を特定するための簡易な現地実験と調査」を参照するとよい。藻場造成条件の特定後は、対象種候補の抽出、海藻のタネの供給の必要性を検討し、必要な場合は供給方法を検討する。

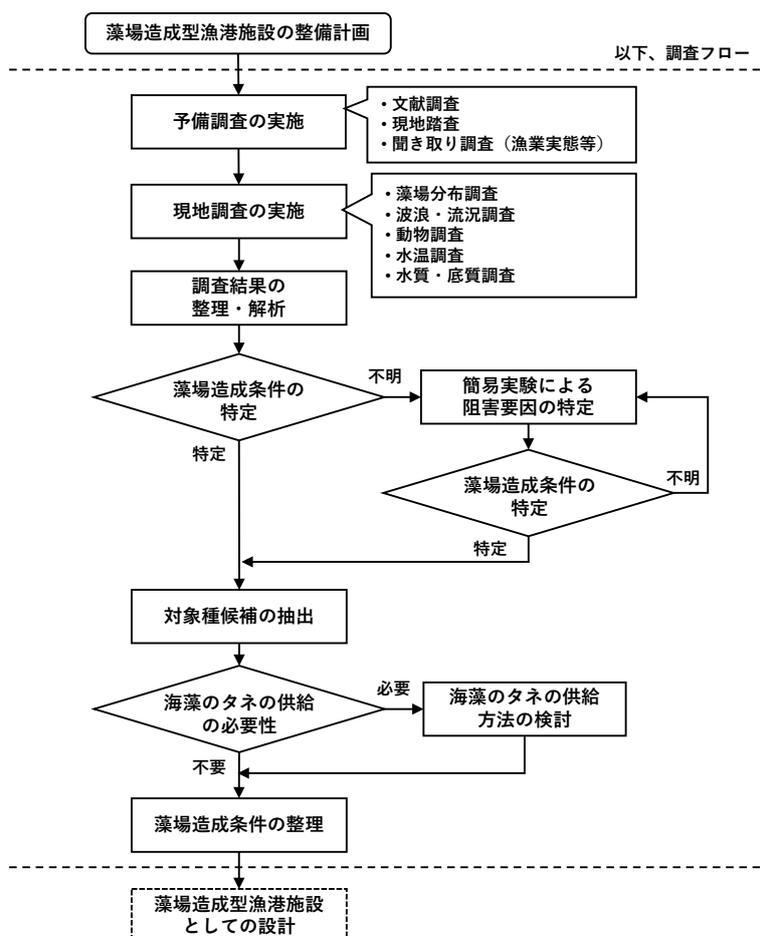


図 4-1 調査フロー

(2) 予備調査

1) 一般

予備調査は、文献調査、現地踏査、聞き取り調査を行い、現地調査の参考とする。調査では、調査海域における藻場に関する情報を既往文献やインターネット上から可能な範囲で収集整理するとともに、収集した情報をもとに、現地踏査による確認と記録を行う。また、漁業関係者からも収集可能な情報について聞き取りを行う。

2) 各調査項目の留意点

i) 文献調査

事前の情報収集では、調査海域における藻場を構成する主要な海藻・海草の種類、生育水深帯、生活史（成熟期、着生期、繁茂期、衰退期）、食害の状況について把握する。また、植食動物については、種類とその生態を、海藻の付着面を奪うカキ、イガイ等は、その水深帯や出現時期を確認する。

インターネット上には藻場に関する有益な情報が存在するので参考にするとよい。海上保安庁の「海しる（海洋状況表示システム）」では、「自然環境保全基礎調査」（環境省）の第5回（1993～1999）の藻場分布が表示できるようになっている（図 4-2）。

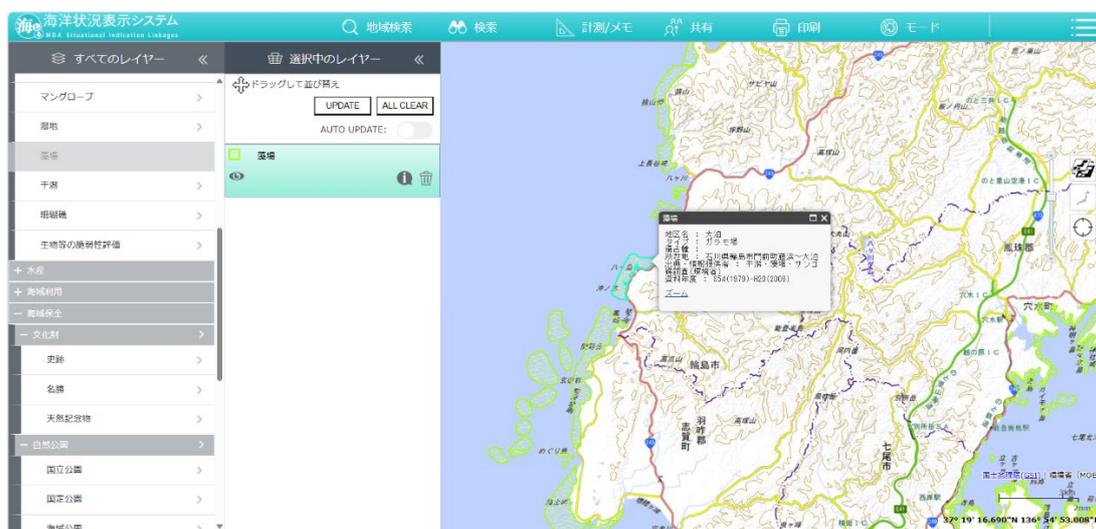


図 4-2 海しるの藻場分布表示（例）

また、「自然環境調査 Web-GIS」では、「自然環境保全基礎調査」の第4回（1988～1993）と第5回（1993～1999）の藻場分布が公開されており、これらのデータ（KML や Shape 形式）をダウンロードして利用できる。例えば、Google 社が無料で配布しているバーチャル地球儀ソフト「Google Earth Pro」を使って、藻場面積の計測、あるいは天然藻場の位置と対象漁港の位置関係から、調査範囲や調査地点の検討をすることができる。この他にも、水産多面的機能発揮対策事業の藻場保全活動の活動情報、国立研究開発法人水産研究・教育機構の二酸化炭素（CO₂）貯留量算定手法が公開されている（表 4-1）。

表 4-1 藻場に関する情報収集先

海しる(海洋状況表示システム)	https://www.msil.go.jp/msil/htm/topwindow.html
自然環境調査 Web-GIS	http://gis.biodic.go.jp/webgis/index.html
ひとつみ.jp	https://www.hitoumi.jp/contents/moba/
海藻・海藻藻場の CO ₂ 貯留量算定ガイドブック	https://www.fra.go.jp/home/kenkyushokai/press/pr2023/files/1101bluecarbon_guidebook.pdf
Google Earth Pro (Google 社)	https://www.google.com/intl/ja/earth/versions/

ii) 現地踏査

現地踏査では、海藻の繁茂期に陸上または船上から目視で対象漁港周辺の藻場の位置（例えば、泊地の岸壁、船揚げ場、消波ブロック、岩礁地帯、海岸に打ち上がっている海藻等）と、分布状況を撮影する。また、河川や排水口の位置、増殖場や養殖場の位置を記録し、対象漁港との位置関係を確認する。これらの情報は地図上に取りまとめ、全体が俯瞰できるように整理するとよい。

iii) 聞き取り調査（漁業実態等）

漁業関係者を対象に、周辺の藻場の分布や生育状況、磯場での漁業実態（アワビ・サザエ等の漁獲量の変化等）について聞き取りを行い、文献調査や現地踏査の補完資料とする。

(3) 現地調査

1) 一般

現地調査は、藻場調査と波浪・流況調査を基本とし、必要に応じて生物調査や水質・底質調査も組み合わせて実施する。調査では、藻場の存在する場所と存在しない場所を比較して藻場造成条件を特定する。また、得られたデータは、整備後の藻場造成機能の評価のために活用する。

調査範囲は、整備予定箇所を中心に、周辺の藻場および整備による影響が懸念される範囲を含めるように設定する。水深方向の調査範囲は、海藻・海草の生育限界水深と整備予定箇所的水深帯を考慮して決定する。

調査全体の工程は、設計・施工の工程を考慮し、効率的かつ経済的に計画する。特に、調査前には漁業協同組合からの同意取得や、特別採捕許可や作業申請書の提出等、多くの準備作業が必要である。また、調査時期の気象条件、近隣工事や漁期等を考慮したスケジュール調整も求められる。

2) 各調査項目の留意点

i) 藻場分布調査

藻場は、調査海域によって濃密に分布する場合もあれば、パッチ状に広く分布する場合もある。藻場の分布範囲は、船上目視観察やドローン空撮、音響測量等を用いた調査により把握する。また、藻場の構成種・被度・底質の区分等は、一般的には潜水観察で把握するが、ドローン空撮等の画像解析から把握する方法もある(図 4-3)。ドローン空撮や音響測量を用いた調査手法については、「広域藻場モニタリングの手引き 3 広域藻場の調査方法」を参照されたい。

潜水観察では、ベルトトランセクト法で天然藻場の存在する場所(濃生、密生、疎生の場所)と存在しない場所、整備予定箇所を考慮して測線を設定する。

調査の時期・回数は、1年生の海藻・海草類の場合は、繁茂期に1回を、多年生の海藻・海草類の場合は、繁茂期と衰退期の2回に調査を実施するのが望ましい。ただし、コンブのように水産物となる種は、調査の時期および回数は、漁業者と調整して決定する。

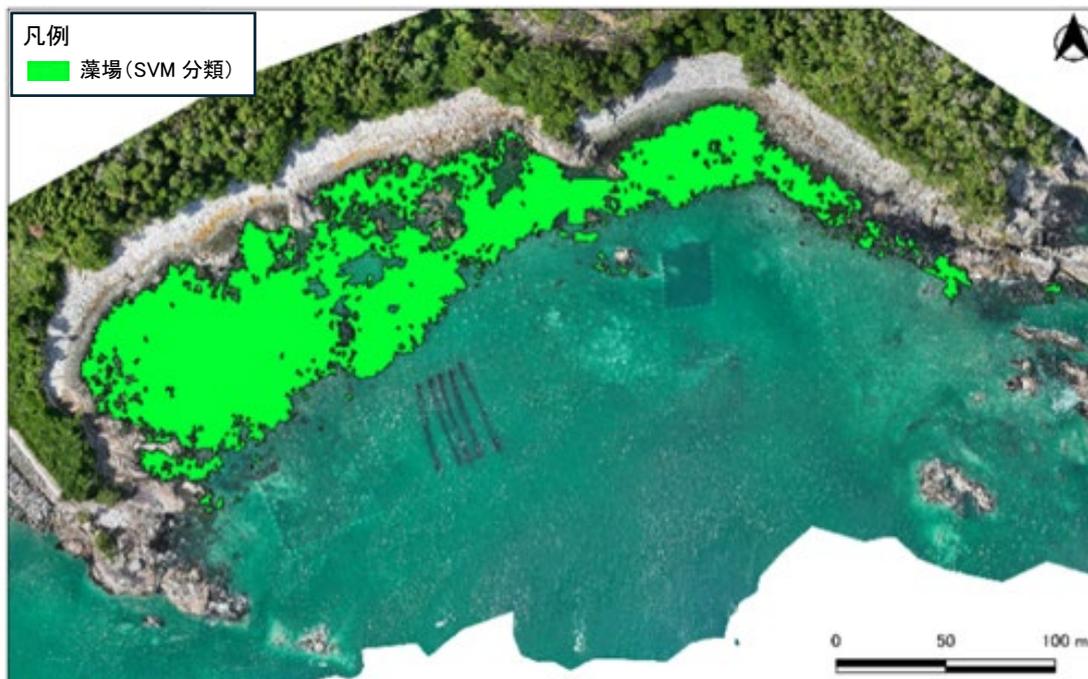


図 4-3 ドローン空撮による藻場分布の画像解析（例）

ii) 波浪・流況調査

波浪・流況調査は、藻場形成の阻害要因と密接に関係する重要な項目である。しかし、波浪・流れは、観測位置や時間により常に変化する。このため、観測時期・期間の設定が難しいこと、長期の観測は経費がかかるため、波浪観測所のデータを用いた数値計算から検討を行うとよい。ただし、波浪観測所が離れていたり、地形が複雑であったりする場合は、波浪観測を実施し、数値計算のデータとして活用する。

波浪・流れの観測は、地形に大きく左右されるため、調査海域内で同じ特性を示す範囲内毎に代表する観測地点を何点か設定する。

波高計の観測地点は、来襲する最頻度の波向き方向に向かって、反射・回折の影響を受けない水深 20m 付近の平坦な海底地形に設置する。波高計のタイプには、超音波式と水圧式に大別されるが、設置地点の波浪状況に応じて最適な機器を選定する。

流況の観測は、流速計を海中に固定して流れを観測する方法と、フロート等を追跡して流れを観測する方法がある。波による流れが支配する場所では、電磁流速計が用いられる。広範囲を多層連続的に観測する場合は、ADCP（ドップラー流向流速計）を調査船に装着して航行しながら観測する方法がある。これらについては、調査目的、海域の特性、地形および既設構造物の位置等を考慮して、最適な観測方法・機器を選定する。

調査の時期・回数は、予測する藻場形成の阻害要因と関連させて実施する。1 回の観測期間は、観測目的、予算等によっても異なるが、通常波浪では 30 日以上、流況は 15 日以上観測するとよい。

iii) 生物調査（植食動物、付着・競合生物）

本調査で扱う生物とは、植食動物の小型巻貝・ウニ・植食性魚類（アイゴ、イスズミ、ブダイ）と基質を競合する付着・競合生物（カキ・ヒバリガイモドキ・フジツボ、イガイ、サンゴ等）である。これらの分布範囲や生態について調査する。植食動物の生態については「磯焼け対策ガイドライン p36-59」を参照されたい。

植食性魚類の生息状況については、漁業者への聞き取りと、潜水調査による海藻の摂餌痕から魚種特定、あるいは海底にタイムラプスカメラ等を設置して食害評価実験をするとよい。タイムラプスカメラ等による食害評価実験の方法は「磯焼け対策ガイドライン p101」を参照されたい。

調査の時期・回数は、藻場分布調査と同時期に調査を実施する。植食動物の食害が懸念される場合は、ウニであれば春季、魚類であれば秋季に実施するとよい。

iv) 水温調査

近年、海水温上昇の傾向は長く続き、藻場への影響が懸念されることから、海水温上昇を考慮して藻場の造成条件を検討する必要がある。水温は、場所や観測時刻により常に変動するため、水温を連続的に観測する超小型・軽量の水温計（温度データロガー）を用いて観測する。調査の位置は、天然藻場の存在する場所と存在しない場所、整備予定箇所を考慮して設置する。観測期間は、海水温が上昇する春から水温が下がる秋まで実施することが望ましい。

v) 水質・底質調査

水質・底質の調査は、海藻・海草類の生育に影響する項目であるが、周辺に藻場が良好な状態で存在する場合は、水質・底質は良好と判断されるので調査を省いても差し支えない。

ただし、貧栄養化による窒素・リンの低下、あるいは排水口の影響による透明度の低下（懸濁物質 SS の上昇）、COD の増加による貧酸素化、浮泥の堆積、底質のヘドロ化等が懸念される場合は、天然藻場と整備予定箇所の水質・底質を調査し、整備予定箇所の海水交流の促進・覆砂・汚泥浚渫等、水質・底質の改善の方策を検討する必要がある。

調査の時期・回数は、海藻・海草類の生育に影響を与える時期に、調査目的に応じて複数回実施する。

4.2 調査結果の整理・解析

藻場分布と波浪・流れ等の調査項目との関連性を定量的に把握し、藻場造成条件を特定する。

<解説>

(1) 調査結果の整理について

各調査項目の一般的な結果の整理方法を以下に示す。

1) 藻場分布調査

藻場分布調査は、図 4-4 に示したように藻場・海藻種別に水平分布、垂直分布の分布図を作成し、調査海域の特徴を考察する。

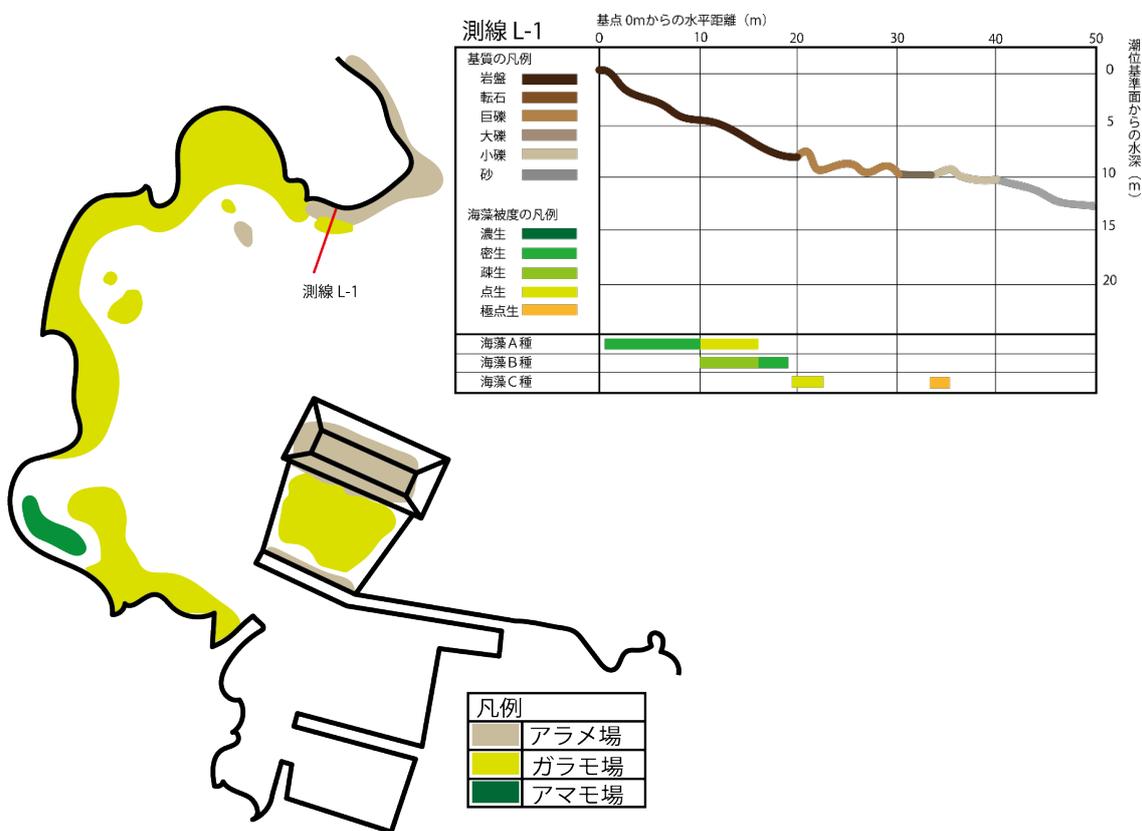


図 4-4 藻場分布調査結果の取りまとめ図 (例)

2) 波浪・流況調査

波浪・流況調査は、観測されたデータの処理後、時系列変化グラフ（図 4-5 参照）を作成するとともに、有義波の諸元（波高・周期・波向）を算定する。

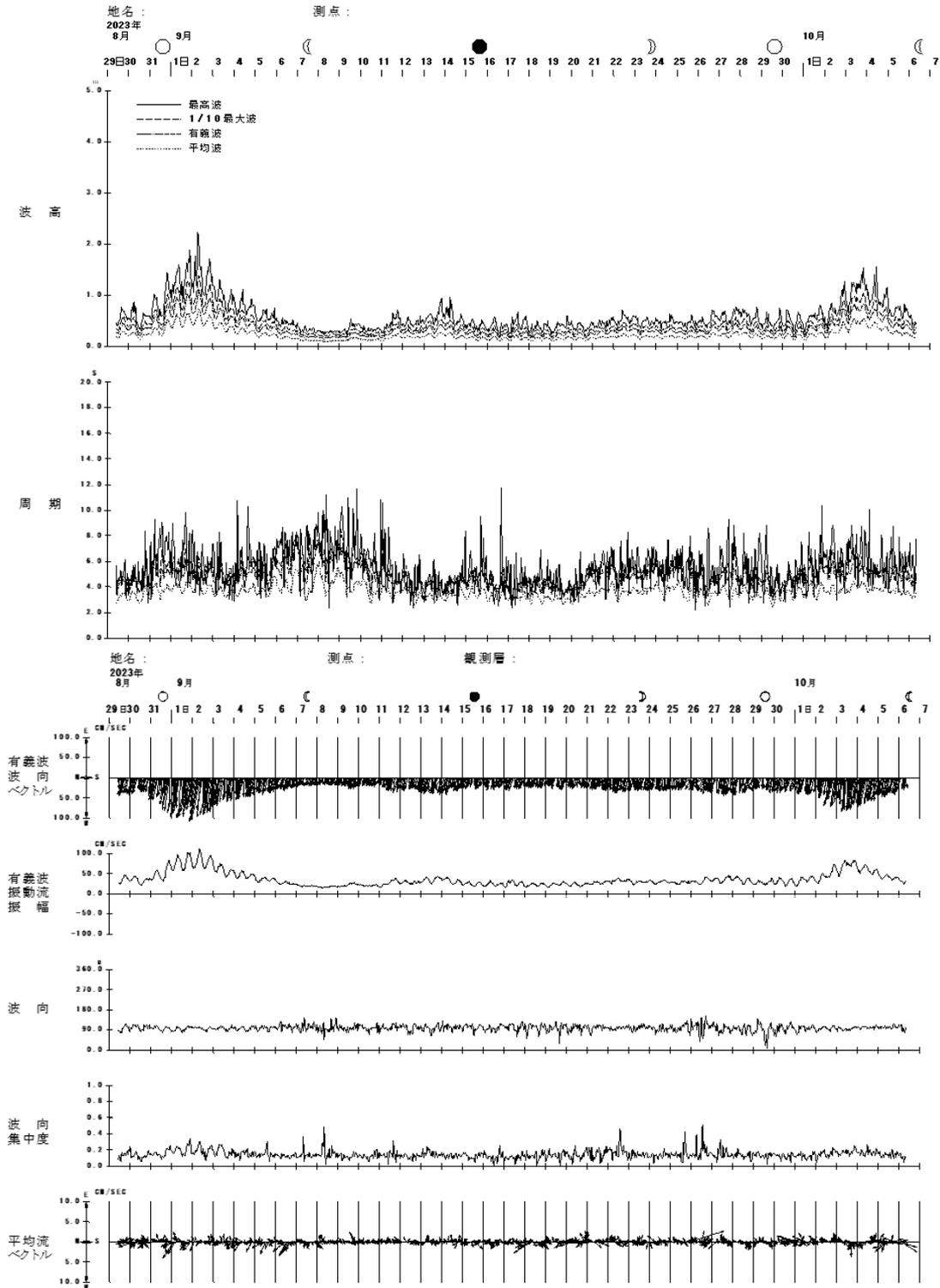


図 4-5 波浪・流況観測結果（例）

3) 生物調査（植食動物、付着・競合生物）

生物調査は、調査結果を種類別・地点別に、個体数あるいは湿重量を表（表 4-2 参照）に整理する。また、図 4-4 の藻場分布図に、主要となる底生生物の分布位置と個体数を書き加え、藻場分布との関係について考察する（図 4-6）。

表 4-2 底生生物の観察結果一覧（例）

番号	測線調査（動物） 調査日：令和6年4月18日				測線 L-1																			
					起点からの距離(m)																			
					0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	90~100										
					水深(m)	-3.9 ~ -3.5	-3.5 ~ -3.3	-3.3 ~ -3.5	-3.5 ~ -3.7	-3.7 ~ -4.0	-4.0 ~ -3.6	-3.6 ~ -3.9	-3.9 ~ -4.3	-4.3 ~ -4.2	-4.2 ~ -4.6									
					砂層厚(cm) 注2	-	-	15	10	15	-	-	-	-	-									
				底質 注3																				
				被度 注4・個体数 注5																				
1	動物	尋常海綿	硬海綿	パンカイメン	オオパンカイメン		+	+																
2		花虫	ウミトサカ	チチミトサカ	トゲトサカ属	+	+	+																
3				ウミトサカ	ユビノウトサカ		+	+																
4			イシサンゴ	ミドリイシ	ミドリイシ属		+	+																
5				ハマサンゴ	ニホンアワサンゴ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
6		腹足	古腹足	ニシキウズガイ	ギンタカハマ	(2)		(5)	(1)											(1)				
7				サザエ	サザエ	(1)		(2)												(1)				
8			盤足	ソデボラ	マガキガイ			(2)	(1)	(2)														
9		頭足	八腕形	マダコ	マダコ			(1)		(1)														
10		多毛	ケヤリムシ	カンザシゴカイ	カンザシゴカイ科												+	+		+				
11		軟甲	十脚	-	ヤドカリ類	(1)		(2)												(1)				
12		ウミユリ	ウミシダ	クシウミシダ	ニッポンウミシダ																			
13		ヒトデ	マヒトデ	マヒトデ	ヤツデヒトデ			(5)	(6)				(6)											
14		ウニ	ガンガゼ	ガンガゼ	ガンガゼ	(4)	(8)	(11)	(14)	(10)	(18)	(4)	(6)	(5)	(3)									
15			ホンウニ	ナガウニ	ムラサキウニ	(1)		(2)						(1)										
16			楯手	シカクナマコ	アカマナマコ				(1)												(1)			
17			ホヤ	マメボヤ	ウスボヤ	ウスボヤ科			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
1	魚類	硬骨魚	スズキ	タイ	マダイ								(2)	(2)										
2					タカノハダイ	タカノハダイ																		
3					ベラ	ホンベラ			(4)	(4)														
4					ブダイ	ブダイ			(3)	(5)	(6)													

注1) 水深は東京湾中等潮位(T.P.)を基準面とした。

注2) 砂層厚は、底質の半分以上を砂が占めていた観察範囲内の代表的な場所で計測した。

注3) 底質欄は割合が多い順に記した。底質の区分は以下の通り。

大礫：等身大～人頭大 中礫：人頭大～こぶし大 小礫：こぶし大～米粒大 砂：米粒大以下

注4) 表中の数値は各調査地点における被度(%)を示す。また、“+”は被度5%未満であることを示す。

注5) カッコ内の数値は各調査地点における計数可能な動物の個体数(個体/20 m²)を示す。

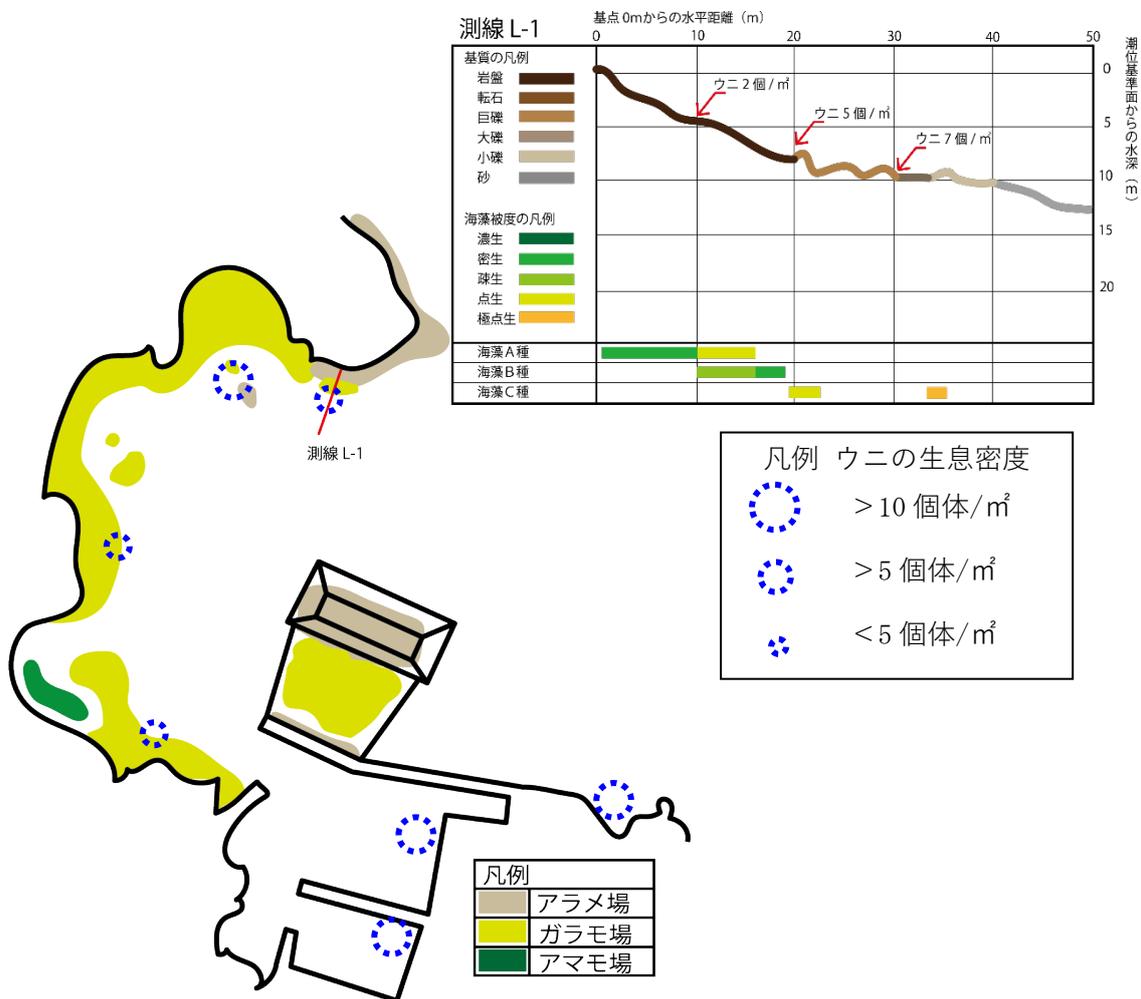


図 4-6 藻場分布とウニの個体数との関係の図化 (例)

4) 水温調査、水質・底質調査

水温調査は地点別にグラフに整理する（図 4-7）。

水質・底質調査は、調査項目・地点別に観測値を表（表 4-3、表 4-4）に整理し、「水産用水基準（(公社) 日本水産資源保護協会）」と比較する。

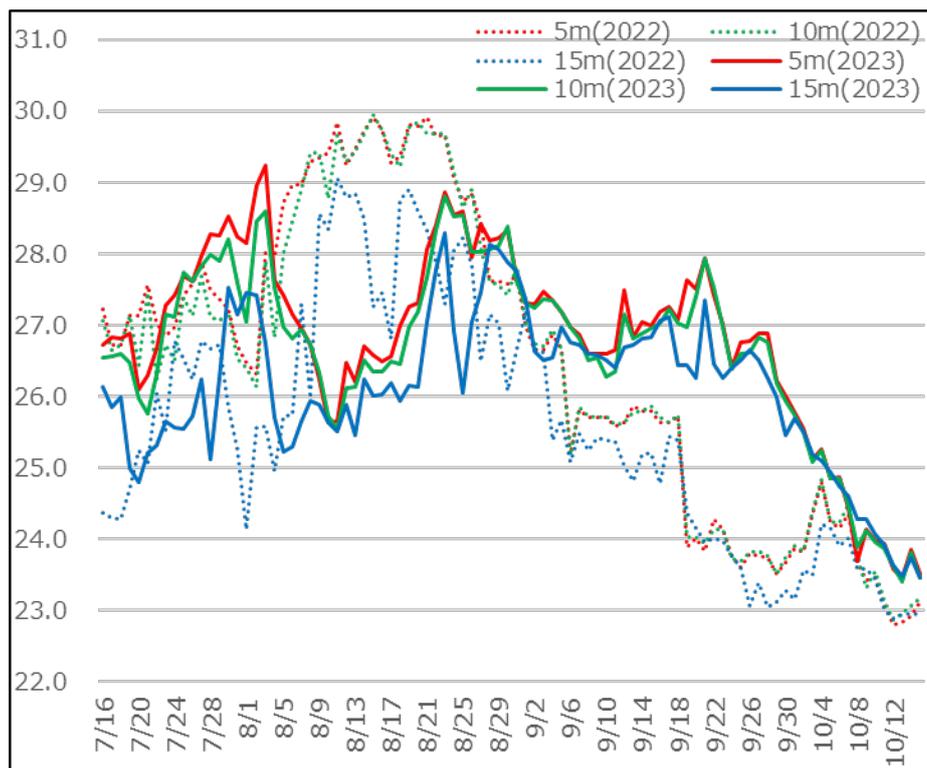


図 4-7 水温の経時変化グラフ（例）

表 4-3 水質調査結果（例）

調査項目	測点		
	St.A	St.B	St.C
水深(m)	15.3	20	18
透明度(m)	8.4	7.2	7.4
水温(°C)	24.3	22.7	23.9
塩分(-)	33.8	34.2	33.8
DO(mg/l)	7.9	4.7	7.7
CODOH(mg/l)	0.9	3.7	0.9
全窒素 T-N(mg/l)	0.19	0.22	0.18
全リン T-P(mg/l)	0.019	0.026	0.020

表 4-4 底質調査結果 (例)

調査項目		測点		
		St.A	St.B	St.C
水深(m)		15.3	20	18
泥温(°C)		15.1	15.0	14.7
色		灰	黒灰	灰
におい		なし	あり	なし
外観		砂・シルト	シルト	貝殻混
粒 度 組 成	粗礫(%)	0.0	0.0	0.0
	中礫(%)	0.3	0.6	2.9
	細礫(%)	0.2	1.0	3.0
	粗砂(%)	0.32	1.6	7.6
	中砂(%)	2.2	6.0	30.8
	細砂(%)	31.4	11.9	25.5
	シルト(%)	43.8	52.6	17.6
	粘土(%)	21.8	26.3	12.6
COD(mg/g)		9.23	22.02	8.11
全窒素 T-N(mg/g)		0.83	1.71	0.15
全リン T-P(mg/g)		0.47	0.50	0.27
全硫化物 T-S(mg/g)		0.06	0.37	0.15
強熱減量 IL		4.52	7.03	3.63

5) 藻場造成条件の特定

調査結果を整理・分析し、藻場造成に必要な条件を特定して、それを設計条件に反映させる。

表 4-5 藻場造成に必要な条件一覧

藻場造成条件
<p>①対象種の条件</p> <ul style="list-style-type: none"> 対象種は周辺海域の優占種とする。 ただし、海水温上昇を考慮し周辺海域の高温耐性種も対象候補とする。
<p>②生育水深帯の条件</p> <ul style="list-style-type: none"> 基盤の高さを対象種の生育水深帯に設置する。
<p>③生育水温帯の条件</p> <ul style="list-style-type: none"> 対象種の生育水温帯を確保する。
<p>④食害防止の条件（※食害を確認した場合）</p> <ul style="list-style-type: none"> 植食動物の種類と生態を把握し、生息しにくい構造と管理体制を確保する。 <ul style="list-style-type: none"> 藻類の幼胚期等のウニの食害が藻場形成に影響する時期にウニの摂餌率を低下させる流速（0.4m/s以上）となる基盤の高さを設定する。 ウニが移動しにくい砂地へ砂の移動の影響を受けない高さのある安定したコンクリートブロック等を設置する。 植食性魚類のねぐらとなる空間を作らない。 植食動物の除去等ができる実施体制を確保する。
<p>⑤付着・競合生物の軽減条件（※付着・競合生物を確認した場合）</p> <ul style="list-style-type: none"> 対象種の成熟時期前に、基質の投入、あるいは基盤表面の刷新作業ができる実施体制を確保することで、付着・競合生物の付着を軽減する（岩礁性藻場）。
<p>⑥光量条件（※懸濁物（SS）が多かった場合）</p> <ul style="list-style-type: none"> 対象種の生育に必要な光量を確保する。 浮泥が堆積しないように、基盤の高さを浅くする等して流動を増加させる。
<p>⑦底質の移動、堆積条件（※砂の移動を確認した場合）</p> <ul style="list-style-type: none"> 砂の堆積等に伴う埋没が起こらない高さのある基盤を設置する（岩礁性藻場）。 底質移動に伴う流出、埋没が起きないように消波構造物もしくは導流堤を設置する（アマモ場）。
<p>⑧浮泥の堆積防止（※浮泥の堆積を確認した場合）</p> <ul style="list-style-type: none"> 浮泥の起源となる位置から、離れた場所に基盤を設置する。 浮泥が堆積しないように、基盤の高さを浅くする等して流動を増加させる。
<p>⑨海藻のタネの着生条件</p> <ul style="list-style-type: none"> コンブ・アラメ類は、大量にタネを放出するので、定着できる基盤を設置する。 ホンダワラ類のタネは、斜面や垂直面への着生が困難なことから平坦部の多い基盤を設置する。
<p>⑩海藻のタネ不足</p> <ul style="list-style-type: none"> 以前に比べて、藻場の衰退・減少が懸念される場合は、母藻移植やスポアバッグの設置など人為的に海藻のタネを供給する。（詳細は、「磯焼け対策ガイドライン 第7章 D4.海藻のタネの供給」参照）。
<p>⑪栄養塩不足</p> <ul style="list-style-type: none"> 基盤の高さを浅くするなどして流速を増加させ、栄養塩フラックスを確保する。 施肥を試みる。ただし、人為的な栄養塩濃度の制御の試みは、技術的課題が残されているので、過去の磯焼け対策で行われてきた事例等を参考にする（詳細は、「磯焼け対策ガイドライン 第7章 D7.磯焼け対策手法」および「磯焼け対策における施肥に関する技術資料」を参照）。

6) 対象種候補の抽出

藻場分布調査に基づき、周辺海域で優占する種を対象とする。ただし、将来の海水温上昇を考慮し、周辺に自生する高温耐性種も候補に含める。また、地元から要望のある海藻種については、藻場造成の条件に適合する場合に限り、対象として検討する。

7) 海藻のタネの供給の必要性

対象種候補の海藻について近隣に天然藻場がない、流れ藻の経路上に造成地がないなどタネ不足が懸念される場合は、タネを供給することで藻場の早期造成が可能となる。そのため、天然藻場の位置や波浪・流況調査を基に、タネ供給の必要性を検討する。

8) 海藻のタネの供給方法の検討

海藻のタネの供給方法には、成熟した母藻を移植する「母藻利用」と、母藻から採取したタネを種糸などに着生させて、種苗として移植する「種苗利用」がある。海藻の種類や現地の状況に応じて適切な方法を選択する。詳細は「磯焼け対策ガイドライン 第7章 D4. 海藻のタネの供給」を参照するとよい。

9) 藻場造成条件の整理

予備調査や現地調査、簡易実験で得られた結果をもとに特定した藻場造成条件、および必要に応じて検討した海藻のタネの供給方法について整理する。

(2) 流動環境の評価

藻場造成条件の特定（表 4-5 参照）において、④のウニと流動環境については、底面波浪流速を用いて岩礁性藻場を評価する方法で、⑦のアマモの生育と砂の移動の関係については、シールズ数 ψ を用いてアマモ場を評価する方法¹⁾が有効である。

以下に、数値計算による底面波浪流速場と、シールズ数を用いた流動環境の評価手法を解説する。

1) 流動環境を評価する際に用いる波について

天然藻場は、激しい波浪時には海藻の剥離、基質の転倒、砂礫による摩耗等で消失することがある。一方、波が小さい場合には、植食動物による食害や浮泥の堆積が原因で消失する可能性もある。このため、藻場形成に影響を及ぼす流動環境として、底面波浪流速を把握する。

底面波浪流速を算出する際の波は、通常の漁港・漁場の施設の設計に用いる波ではなく、周辺の天然藻場を含む沿岸の波浪情報を基に設定する。

沿岸の波浪情報は、港湾、漁港、気象庁、海上保安庁、大学などで観測されており、特に全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス：NOWPHAS）が充実している。ナウファスでは、有義波や周期帯波浪、潮位、毎分の沖平均水面などのリアルタイムデータを提供しており、78地点（2019年4月時点）で定常観測が行われ、そのデータはWeb上で公開されている。また、気象庁も波浪情報を提供している。

波浪条件の設定では、海藻の剥離が発生する可能性がある場合には最大有義波を、波が小さい時の植食動物による食害については平均有義波を用いる。潮位には平均水面（M. W. L）を、波向きには最頻度の波向きを採用する。

表 4-6 沿岸の波浪情報の入手先

名称(組織名)	アドレス(URL)
ナウファス	https://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/index.html
気象庁	https://www.jma.go.jp/bosai/map.html#5/38.565/135/&contents=wave

2) 波浪・流速の計算方法

i) 底面波浪流速の算定

底面波浪流速は、海藻・海草類の生長や藻食動物の摂餌に影響する。海底面の底面波浪流速の計算方法は、波浪場の数値計算から算定する方法と換算沖波と浅水変形による手計算から算定する方法がある。

① 波浪場の数値計算による方法

広範囲を面的に把握する場合は、波浪場の数値計算結果から、底面波浪流速を求めるのが適している。波浪場の数値計算手法については、多くの数値モデルが提案されており（表 4-7）、その適用範囲に留意して、対象海域に適した計算モデルを選択する必要がある。浅海の外郭施設に作用する波を算定する場合は、エネルギー平衡方程式を用いることができるが、港内施設に作用する波を算定する場合は、外郭施設による遮蔽の影響を加味する必要があるため回折系モデルを用いる必要がある。

表 4-7 代表的な波浪場の解析モデルの概要²⁾

波の不規則性および多方向性ならびに各種変形現象 代表的な波浪変形解析モデル	浅水変形	屈折	回折	多重反射	砕波	多方向性	不規則性	特記事項
エネルギー平衡方程式	◎	◎	▽	×	○	◎	◎	・定常状態の解析法 ・一次反射は考慮可能
高山の方法	×	×	◎	◎	×	◎	◎	・定常状態の解析法 ・水深を一定とした簡便法
非定常緩勾配方程式 数値波動解析法	◎	◎	◎	◎	○	○	○	・規則波の時系列解析法 ・不規則性および多方向性は、成分波重ね合わせ法とした場合
非定常緩勾配不規則 波動方程式	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	・多方向不規則波の時系列解析法
ブシネスク方程式	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	・多方向不規則波の時系列解析法 ・弱非線形性および弱分散性を考慮

◎: 基本形で適用可能 ○: 応用形で一般的適用可能 ×: 適用不可能

▽: 基本理論では考慮されていないが実用上可能

② 浅水変形を考慮した手計算による方法

浅水変形については、「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2023 年版 第 2 編 3.5 水深による波の変形の算定」を参照する。浅水変形の計算より得られた波高 (H)、周期 (T)、水深 (h) から、微小振幅波理論を用いて(式 4.1)、(式 4.2)により底面波浪流速 (u) を算定する。

$$u = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{h}} \quad \text{長波} \quad \left(\frac{h}{L} < \frac{1}{25}\right) \quad \text{-----} \quad \text{(式 4.1)}$$

$$u = \frac{\pi H}{T} \sin h \frac{2\pi h}{L} \quad \text{浅海波} \quad \left(\frac{1}{2} > \frac{h}{L} > \frac{1}{25}\right) \quad \text{-----} \quad \text{(式 4.2)}$$

ここに、 L : 波長 (m)、 H : 波高 (m)、 T : 周期 (s)、 h : 水深 (m)、 g : 重力加速度 (m/s^2)、 u : 底面波浪流速 (m/s)

ii) 流れの算定

流れ(潮流・海浜流)が、海藻・海草類の孢子・種子等の流出・輸送の問題となる場合には、天然藻場と整備予定箇所を含む範囲に対して、流れを評価する。海浜流は、波浪場の計算結果を用いて計算することが可能である。

iii) シールズ数の算定

シールズ数 ψ とは、砂の移動形態が分類可能な無次元パラメータで、漂砂では通常良く用いられており、(式 4.3)により算定する。

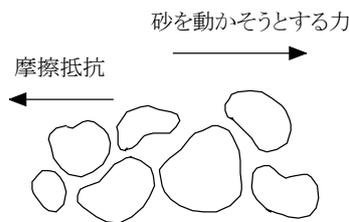


図 4-8 シールズ数 ψ のイメージ

$$\psi = \frac{\text{砂を動かそうとする力}}{\text{摩擦抵抗}} = \frac{1}{2} \frac{\rho f u^2}{(\rho_s - \rho) g d} \quad \text{-----} \quad \text{(式 4.3)}$$

ここに、 ρ : 海水の密度、 ρ_s : 底質粒子の密度、 g : 重力加速度 (m/s^2)、 d : 底質の粒径 (mm)、 u : 底面波浪流速 (m/s)、 f : 摩擦係数

なお、シールズ数を算定する際、摩擦係数 (f) の評価方法が様々提案されており、同じ外力条件であっても評価方法によって算定結果が異なることがあるので注意する。代表的な摩擦係数 (f) の評価方法を次頁の「(参考) シールズ数を算定する際の摩擦係数 (f)」に示した。

(参考) シールズ数を算定する際の摩擦係数 (f)

シールズ数の算定にあたって、特に重要となるのは摩擦係数 (f) の評価方法である。摩擦係数 (f) の評価方法には、様々提案されており、同じ外力条件であってもどの方法を採用するかによって、算定結果が異なることがあるので注意する。

代表的な摩擦係数 (f) 評価方法を以下に示す。

1) 波のみ - 摩擦係数: f_w ($w = wave$)

Jonsson(1963)³⁾

- ・ 波のみによる評価はこれで十分である。
- ・ 流れ(海浜流、潮流等)が存在する場合は、過小評価となる恐れある。

2) 波・流れ共存場 - 摩擦係数: f_{cw} ($c = current, w = wave$)

アマモ場は浅海域に存在するため、実際には波だけでなく海浜流*等の影響も強く受ける。また、瀬戸内海などの風波より潮流が卓越する場所では流れの影響が無視できない。

田中・首藤(1980)⁴⁾

- ・ 任意の交差角**を有する波・流れ共存場でも算定が可能。
- ・ 繰り返し計算をするため、計算時間が長い。

田中・Sana (1996)⁵⁾

- ・ 任意の交差角を有する波・流れ共存場でも算定が可能。
- ・ 繰り返し計算が不要なため、計算時間が短い。
- ・ 層流～乱流 (流れの状態) の遷移域での精度が良好。

3) 波・流れ共存場 (摩擦係数: f_{cw} を算定せず、波・流れのシールズ数を別々に算定する方法)

丸山ら (1987)⁶⁾

- ・ 波・流れの交差角を考慮しない。
- ・ 波単独でのシールズ数の算定の中で、Jonsson (1963) の摩擦係数による ψ の最大値を 0.5 倍しているため、最大値による評価値よりやや小さい値をとる。
- ・ 算定方法は簡便である。

※海浜流とは、波の存在によって生ずる流れで、砕波帯などの波が急激に変化するところで顕著となる。汀線と平行に流れる沿岸流や沖向きの離岸流などがある。

※※波と流れの交差角は、波向線と流向線のなす角度である。波の進行方向と流れの進行方向が等しくなる (図中 $\alpha = 90^\circ$) と、相乗効果により波と流れによる影響が強くなる。

(3) 計算結果の評価

1) 岩礁性藻場の底面波浪流速を用いた評価方法

基本的には以下の手順に従い、最終的には、この結果から設計条件を抽出する。図 4-9 に数値計算による場合および手計算による場合の評価フローを示した。

【検討手順】

- ① 整備予定箇所および周辺の天然藻場を含む範囲の平面水深データを作成する。
- ② 波浪の諸元を決定する（月あるいは四季別最大有義波・平均有義波）。
- ③ 水深データおよび波浪の諸元を用いて、波浪場の数値計算から底面波浪流速場を求める。あるいは、換算沖波と浅水変形による手計算から底面波浪流速を求める。
- ④ ③で計算した底面波浪流速の平面分布と藻場分布を重ね合わせ、天然藻場の底面波浪流速を評価する。なお、ウニの食害が藻場形成の阻害要因となる場合には、春先から初夏にかけて下記のウニの摂餌限界流速を参考にするとよい⁷⁾。
- ⑤ ④の評価結果から、代表地点の月別底面波浪流速をグラフ化し、整備予定箇所に再現する波浪条件を検討する。
- ⑥ 以上から、天然藻場の流速場から設計条件を決定し、整備予定箇所でこの条件を再現できるように高さを調整する。

【コラム 4-①】 ウニの摂餌限界流速

ウニの摂餌は水温だけでなく海水の動きにも影響される。Kawamata (1998) の水槽実験⁸⁾では、キタムラサキウニの摂餌限界流速が 0.4m/s であることが確認された。これは、ウニが摂餌時に基質から管足を外し、不安定な体勢になるため、限界を超える流速では剥がれ落ちる。このため、波動流速が 0.4m/s を超える頻度が高い場所では、磯焼けが起きにくいと考えられる。種による差はあるが、基本的なメカニズムは同様とされる。

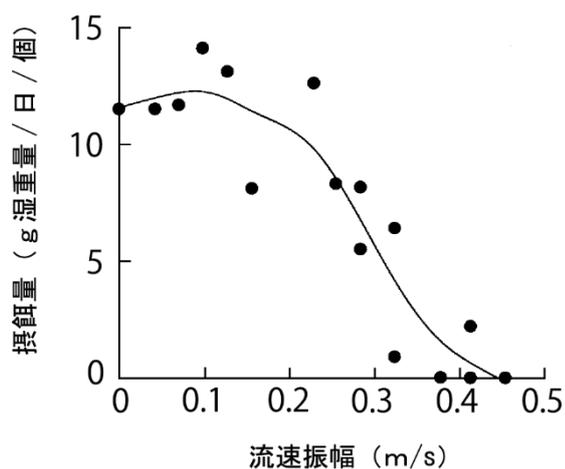


図 振動流中でのキタムラサキウニ大型個体（殻径 80mm）によるコンブ摂餌量
（餌：大きさ 30×10cm の水に戻した乾燥コンブ）

【数値計算による場合】

【手計算による場合】

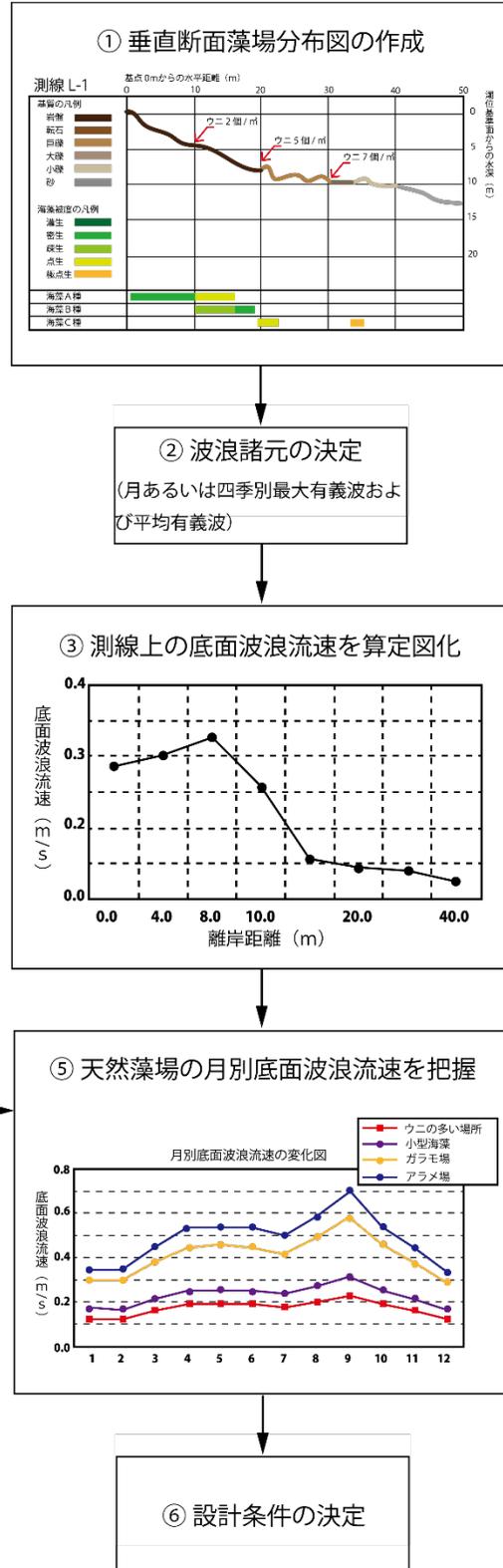
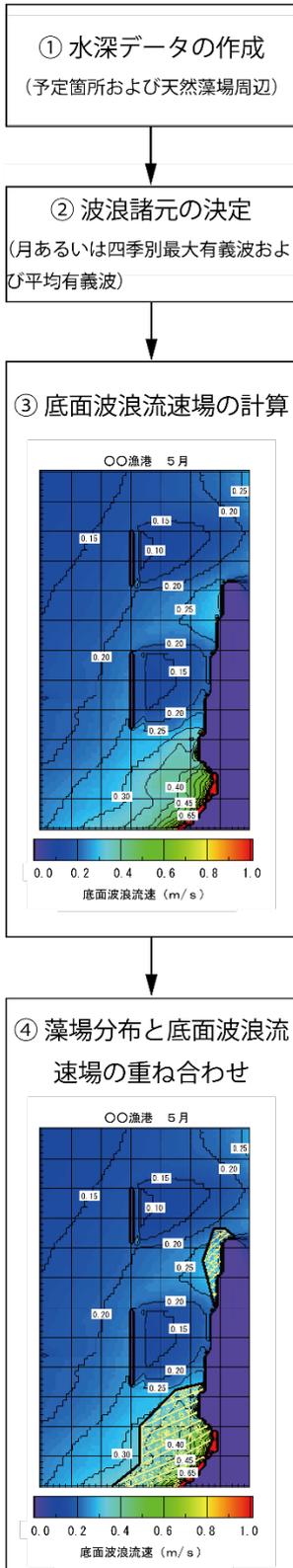


図 4-9 底面波浪流速場の評価フロー

2) アマモ場のシールズ数を用いた評価方法

アマモ場のシールズ数を用いた評価は、底質の安定性の検討と、種子埋没条件の検討の二通りの検討を行う必要がある。前者の場合には、アマモの地下茎や芽が露出しないための条件を把握するために、後者の場合には、アマモが発芽するために種子が砂面下に埋没し、流失しない条件を把握するために、それぞれシールズ数を用いて評価する。アマモが安定して群落を形成するための限界シールズ数は、以下の値を参考値とする。

【アマモ場の限界シールズ数の参考値】

底質の安定： $\psi < 0.5$ 程度（月別最大有義波）

種子埋没条件： $0.1 < \psi < 0.2$ 程度（種子が埋没する時期の月別平均有義波）

上記の2通りの検討は、基本的には以下の手順で行い、最終的には設計条件とする。
図 4-10 に評価フローを示す。

【検討手順】

- ① 整備予定箇所および周辺のアマモ場を含む範囲の平面水深データを作成する。
- ② 波浪の諸元を決定する。（月あるいは四季別最大有義波・平均有義波）
- ③ 水深データおよび波浪の諸元を用いて、平面波浪場を計算する。ただし、整備予定箇所または現存するアマモ場が港内にある場合には、港口からの回折波や防波堤からの反射波を考慮できるモデルを利用する。
- ④ ③で計算された波浪場を用いて、平面海浜流場を計算する。
- ⑤ ③、④で計算された平面波浪場および平面海浜流場に加え、海域に適した摩擦係数（ f ）を設定してシールズ数の平面分布を計算する。
- ⑥ ⑤で計算したシールズ数の平面分布と現存するアマモ場を重ね合わせ、現存するアマモ場のシールズ数を評価する。
- ⑦ ⑥の結果から、アマモ場の代表的なシールズ数を抽出する。
- ⑧ 以上から、アマモ場の設計条件を決定し、整備予定箇所での条件を再現できるようにする。

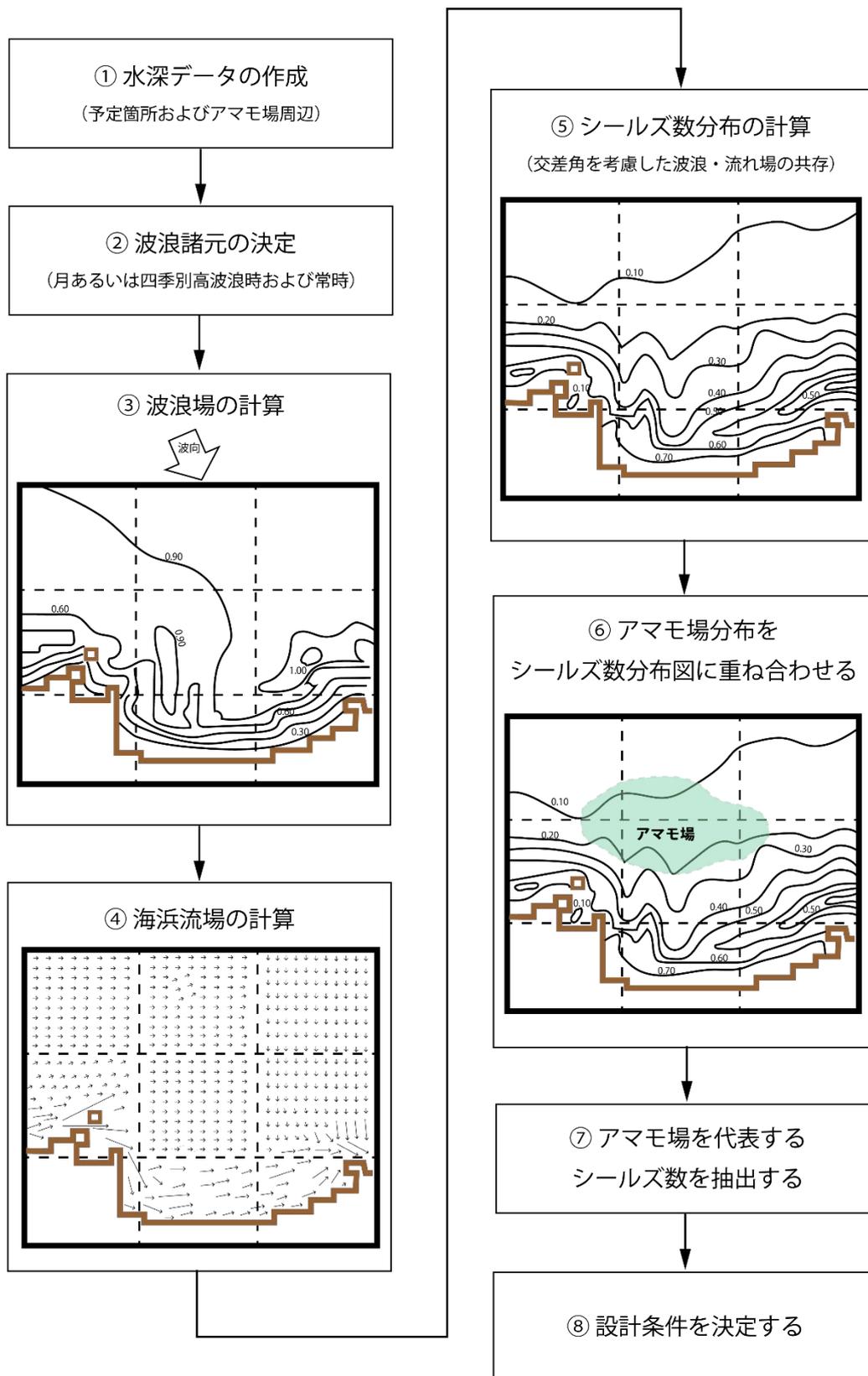


図 4-10 シールズ数の評価フロー

4.3 調査報告書の取りまとめ方

調査報告書は、藻場造成型漁港施設の藻場造成条件を決定するため、整合性の取れたデータを記載し、図表を用いてわかりやすく作成する。加えて、今後の設計とモニタリング調査において、留意すべき課題・問題点を明確にしておくことが重要である。

<解説>

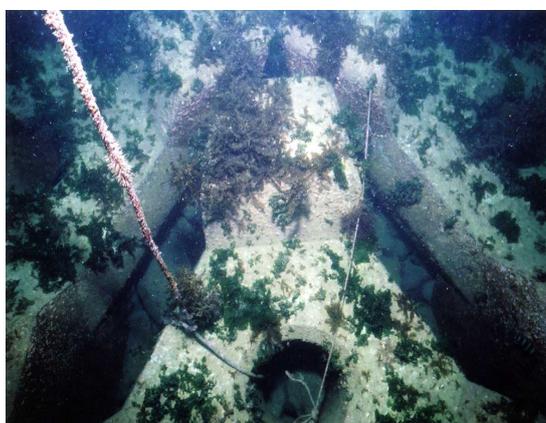
(1) 報告書の構成

本調査では、藻場造成型漁港施設の藻場造成条件の決定に資する情報をまとめる必要があるため、単に調査結果を報告するだけでなく、藻場造成に必要な条件を記載することが重要である。

また、調査報告書は、今後の設計やモニタリング調査等にも活かすため、必要とする情報を精査し、重要なデータをわかりやすくまとめておくことが重要である。

(2) 写真集の作成要領

写真集は、調査作業状況、観測機器、水中写真毎に整理する。また、写真の端には、調査日、調査状況説明、観測機器名等を記述する（写真 4-1）。水中写真は、測線番号、水深および写っている生物の種名を記述する。また、採取した生物は、種の同定が可能な程度の拡大した写真を貼付する。



測線調査
令和〇年〇月
測線 C
天端面 アカモク、ホンダワラ アナアオサ 景観被度26%

写真 4-1 写真整理（例）

(3) 動画の編集要領

動画は、測線や調査番号は、順番に並ぶように編集し、適宜、内容を説明するテロップを挿入する。また、撮影位置がわかる図面を報告書に添付するとよい。調査時の水上部の風景を撮影しておく、現場状況を把握するのに有効である。