

令和4年度
海洋酸性化適応プロジェクト
報告書

2023年5月

NPO 法人 里海づくり研究会議

目 次

I. 背景および目的	5
1 背景.....	5
2 本プロジェクトの目的.....	7
3 本プロジェクトのこれまでの成果.....	8
II. 調査対象海域	13
III. 対象海域ごとの調査方法および結果	15
A 岡山県備前市日生町地先.....	15
A.1 海洋観測.....	15
A.1.1 定点連続観測.....	15
A.1.2 定点定期観測および採水分析.....	24
A.2 マガキ浮遊幼生の観測.....	50
A.3 日生におけるアマモ場分布および現存量調.....	55
B 宮城県南三陸町志津川湾.....	74
B.1 海洋観測.....	74
B.1.1 定点連続観測.....	74
B.1.2 定点定期観測および採水分析.....	80
B.2 カキ浮遊幼生の観測.....	91
C 広島県廿日市地先における海洋観測.....	93

C.1 定点連続観測.....	93
C.2 定期観測.....	96
C.3 まとめと考察.....	98
D. 豊後水道における海洋観測.....	102
D.1 定点連続観測.....	103
E. 岡山県笠岡市北木島地先における海洋観測.....	112
IV. 5 海域 7 箇所の調査結果の総括とまとめ.....	114
V. 海洋酸性化に関する意識調査.....	125
1. 海洋酸性化に関するヒアリング調査.....	125
2. カキ養殖漁業者に対する海洋酸性化に関するアンケート調査.....	139
VI. 世界における海洋酸性化・	
沿岸酸性化の現状と対策.....	167
1. 世界的な海洋酸性化の実態.....	167
1.1 海洋酸性化(OA)と沿岸酸性化(CA).....	167
1.2 OA がもたらす化学的、生物学的、社会経済的影響.....	169
1.3 日本における OA 事情と今後の研究ニーズ.....	172
2. 目的.....	173
3. 調査方法.....	173
3.1 OA 関連文献のレビューとまとめ.....	173

3.2	OA が日本のカキ養殖に与える影響に関する現地調査.....	173
4.	結 果.....	178
4.1	OA 影響に関する既存の知識と研究ギャップ.....	178
4.2	OA と他の海洋問題の複雑な多因子的影響.....	180
4.3	世界における海洋酸性化(OA)適応策.....	182
4.4	日本のカキ養殖に対する OA の潜在的脅威.....	187
5.	考 察.....	196
5.1	グローバルな視点から見た今後の OA 研究の必要性.....	196
5.2	日本産カキ養殖による OA への影響.....	196
5.3	今後の展望.....	204
VII	要 約.....	207
	参考文献.....	219

I. 背景および目的

1. 背景

1.1 気候変動がもたらす脅威

気象庁によれば、温室効果ガス世界資料センター(WDCGG)の解析による2020年の世界の二酸化炭素の平均濃度は、前年と比べて2.5ppm増えて413.2ppmとなっており、工業化以前の1750年の平均的な値とされる278ppmと比べて49%増加しているという(気象庁, 2022)。世界気象機関(WMO:World Meteorological Organization)が2021年8月31日、報告書を発表し、1970~2019年の50年間で気候変動や異常気象、または水の危険に関連する災害などを背景に、干ばつや洪水といった気象災害が5倍に増えたと警告した。この間に報告された1万1000件を超える気象災害で200万人以上が死亡し、経済的な損失は3兆6400億ドル(約400兆円)にのぼったとしている。経済的損失は1970年代から2010年代にかけて7倍に増加、気象災害に起因し、被害要因は増加している。ペッテリ・ターラス WMO 事務局長は、「気候変動の結果として、天候、気候、水問題の極端な事象が増加、世界の多くの地域でより頻繁かつ深刻化する」と指摘した(防災新聞, 2022)。

2019年の夏、Elsevier社よりPredicting Future Ocean(Cisneros-Montemayor, A. M., W. W. L. Cheng and Y. Ota (Eds.)), (2019)という本が出版された。これは、2011~2019年まで9年間で費やし、世界の17の大学が協力連携して、人為起源CO₂の過剰排出を原因とする地球規模の気候変動が、「海にどのような影響を及ぼすか」を研究予測した日本財団ネレウスプログラムの成果をとりまとめたもので、49章、554ページにも及ぶ大著である。ネレウスプログラムの統括リーダーであり、人類学者で海洋政策の専門家であるワシントン大学 太田義孝教授が、その中から16章を翻訳し、2021年8月下旬に「海洋の未来」(アンドレス シスネロス=モンテマヨール, ウィリアム チェン, 太田義孝:編著, 太田義孝:翻訳, 2021))として出版した。その内容はかなりショッキングなものである。地球規模で起こっている気候変動が海に与える影響は、海水温の上昇や海面上昇、海洋酸性化、海中の溶存酸素(DO)濃度の低下といった直接的な変化とともに2次的で累積的な影響によってますます増加する。その変化への生物学的な適応や漁業者の動向は、異常熱波など突発的な打撃によって不可逆的な事態に陥るといふ。石炭の燃焼や金工業に起因するメチル水銀汚染の問題にも警鐘を鳴らす。水産資源は個体群単位で高緯度海域に移動し、漁獲枠の割当量や公平性の認識に関する政策上の問題が生ずるとし、企業の社会的責任(CSR)や譲渡可能個別漁獲割当(ITQ)制度などの解決策がこの公平性を脅かすと論じている。そして、「未来の海は、気候変動の影響により持続可能な海ではなくなる」という結論を導き出し、そのうえで「格差の海」に向かうにあたって「再分配」と「社会公正」の重要性を強調する。「格差の海」に立ち向かうべく、2019年に日本財団ネクスプログラムが発足され、ワシントン大学を中心に世界の20の大学が連携し、すべての人が豊かで美しい海に抱かれるために、「海の未来の予測から踏み出し、海の未来から格差を取り除く方向に舵を切る」という言葉で、この本は締めくくられている。

1.2 身近な海の異変

我が国沿岸、津々浦々の浜で、未曾有の異変が相次いでいる。北海道や東北でサンマ、サケ、スルメイカが獲れなくなった。2021年4月、水産庁は「不漁問題に関する検討会」を設置し、これらの不漁要因を分析した。そのとりまとめ(不漁問題に関する検討会, 2021)の中で、地球温暖化等により今後とも3魚種以外で不漁が発生する可能性も否定できないとしている。瀬戸内海中部でも、カレイ類やアイナメ等の北方系の魚介類が激減し、キジハタ等の南方系魚介類が増加しているが、その他にも様々な異常が散見される(田中, 2021)。2020年からは「足切れ」マダコが市場に出回り始め、ある漁協では、1日に水揚げされたマダコのうち「足切れ」が4割以上を占めた。昔から一潮百匁(375g)と言われるほど成長が速いマダコも、飽食状態を維持することで脱皮ごとに成長するガザミも、キジハタやカサゴ、ナマコ等も大きくなならない。ヒラメは大きな個体ほど薄っぺらい。アナゴは痩せていて腹を割いても胃は空っぽ、漁師達は海底に餌になる生き物がいないと口を揃える。2018年からウミホタルが建網にかかった魚を食べるようになり、売り物にならない魚が増え始めた。2019年から流し網にかかったサワラの腹部にハマトビムシが食い付くようになった。貧栄養化が進行しているにもかかわらず、局所的なオカメブクやナミダボヤの異常増殖、アナアオサの大量発生などの富栄養化の現象が散見される。底びき網漁師によれば2018年頃からコガイ(ホトギスガイ群落)の分布域が拡大しており、潜水器漁師によればホトギスガイが異常に足糸を伸ばし絡み合って広範囲に絨毯を敷き詰めたように海底を覆い、その下でナミガイ等の二枚貝類が死んでいるという。最近の異変の多くは、人為起源CO₂の過剰排出が引き起こす地球温暖化に伴う海水温の上昇と考えられるが、瀬戸内海等の閉鎖水域では、これに貧栄養化、富栄養化時代の負の遺産である難分解性有機物に起因する恒常的な底質悪化(Yamamoto *et al.*, 2021)などの原因が加わり、さらに複雑な様相を呈する。

もうひとつのCO₂問題“海洋酸性化”は、今後の大きな脅威である。地球温暖化と海洋酸性化は、いずれも人為起源CO₂の過剰排出が主たる原因である全球的な現象として捉えられる(藤井, 芳村, 小埜, 2021)。海水中のCO₂濃度の増加は炭酸イオン(CO₃²⁻)濃度の減少をもたらすので、炭酸イオンを利用して炭酸カルシウムや炭酸マグネシウムの殻や骨格を形成するプランクトン、サンゴ、貝類、甲殻類、棘皮動物など石灰化生物の生存が脅かされることが強く懸念され、これには産業上重要な魚介類も多く含まれる。貝類は幼生時に数日程度の短い期間でも高CO₂環境に晒されると、死亡率や奇形率が増加することが室内実験によって示されており(Onitsuka *et al.*, 2018)、海洋酸性化に脆弱であると考えられる。石灰化生物の中には、すでに地球温暖化による海水温上昇の影響を深刻に受けているものが存在する。つまりこれらの生物は、地球温暖化と海洋酸性化という、人為起源がもたらす“双子の現象”の影響をダブルで受けることになる。海洋酸性化と海水温上昇が日本近海のサンゴ礁に及ぼし得る観光・レクリエーションに関する経済的損失の今世紀末までの積算値は6兆7,000億円程度と見積もられ、海洋酸性化が日本近海の海面漁業・養殖業に及ぼす経済損失の積算値は、海面漁業で3,000億円~1兆2,000億円程度、養殖業で2,000~8,000億円程度と見積もられている(藤井

賢彦,2020).

2 本プロジェクトの目的

アメリカ西海岸のピュージェット湾では、プランクトン等の死骸が分解される際に発生するCO₂が海底から湧昇して表層近くが酸性化し、ワシントン州とオレゴン州の養殖施設でカキ幼生が大量死する事態が2005年から起きている(Feely *et al.*,2008). これまで日本を含む世界各国の研究機関によって北極海や北西太平洋などで継続的な観測が実施され、海洋酸性化の進行が確認されており、飼育実験等により海洋酸性化が海生生物に影響を及ぼすことも明らかにされてきた(Onitsuka *et al.*,2018). しかしながら、我が国沿岸における海洋酸性化の現状についての研究は十分とはいえない。そこで、2020年度にスタートしたのが「日本財団 海洋酸性化適応プロジェクト」である。カキ養殖に焦点を当て、最もリスクを負う漁業現場のアクションに繋げるためのリサーチである。このプロジェクトの特徴は、我が国で初めて漁業への影響に軸足を置き、最もリスクを負うであろう貝類養殖、特にカキ養殖に焦点を絞ってスタートしたことである。そして、二つ目の特徴は、漁業現場からの視点を重視し、地元漁協、漁業団体、地域の法人組織、民間企業が連携し、北海道大学、水産研究・教育機構、JAMSTEC等の国内研究機関など、20を超える多様な主体がネットワークを形成してプロジェクトを駆動している点である。前述のネクサスプログラムとも連携し、海洋酸性化に関する先行研究に高い実績を持つワシントン大学の協力を得ながら取り組んでいる。初動体制でのモデル海域としては、我が国を代表するカキ養殖産地から、岡山県備前市日生町海域、宮城県南三陸町志津川湾を選定した。この両者は地理的条件及び気候条件等がまったく異なり、それぞれの海域特性を把握するため、淡水供給源、藻場または海藻養殖場、カキ種場(カキ採苗場)、沖合の4カ所に観測点を設けた。これが本プロジェクトの三つ目の特徴である。目的は、効率的な海洋酸性化モニタリング手法を構築し、分野横断的ネットワーク(科学・政策・利害関係者)の基礎を確立するとともに、適応策に関する世界的な知見を収集整理して検証し、日本沿岸における効果的な適応策と実践体制の提案である。具体的目指すべき成果として、次の三つの目標を掲げた。

① 状況把握とモニタリング

:我が国沿岸における海洋酸性化の進行状況の把握、pH・アルカリ度等の観測方法の簡素化による汎用性のある海洋酸性化モニタリング技術の開発、地域の特性に応じた持続可能なモニタリング実施体制の提案など

② 適応策の提案

:海洋酸性化に関する事例と適応策に関する世界的なリサーチによる知見の収集整理と海洋酸性化の現状と対策に関する分析、海洋酸性化進行度に応じた評価レベルの構築とレベルに応じた適応策の提案、観測と数値モデリングの併用によるカキ養殖にとって危険水準に達する年代の推定と回避するための適応策の提案

③ 海洋酸性化に関するアウトリーチ活動の展開

: 漁業者・漁業団体・漁業界との双方向型アウトリーチ活動、一般国民に対する意識啓発

3 本プロジェクトにおける令和3年度(2021年度)までの成果

3.1 現地における海洋観測結果

定期観測は日生、志津川のそれぞれ4観測点について、2020年8月から2021年12月まで、それぞれ月1~2回の頻度で船舶を用いて、実施した。観測項目は深度、水温、塩分、クロロフィル、溶存酸素(dissolved oxygen; DO)、pH、全アルカリ度(total alkalinity; TA)、溶存無機炭素(dissolved inorganic carbon; DIC)、栄養塩(硝酸塩(NO₃)、亜硝酸塩(NO₂)、アンモニウム塩(NH₄)、リン酸塩(PO₄)、ケイ酸塩(Si)) (志津川ではSiの観測は非実施)である。

水温、塩分とpHについては、それぞれ連続測定が可能な測器を日生、志津川のそれぞれ4観測点の水深1m付近に設置して連続観測した。連続観測の期間は2020年8月から現在まで1時間ごとにデータ取得を継続している。1ヶ月に1~2回、測器に付着した生物の除去等の清掃を行い、2~3ヶ月に1回、データの回収と電池交換、測器の校正のために測器の回収を行った。今回のとりまとめは、日生では2020年8月29日から2021年12月24日までのデータを、志津川では2020年8月6日から2021年12月23日までのデータを用いた。また、2021年6月からは、DO計と濁度クロロフィル計をそれぞれ1定点(H-2、S-2)に追加設置した。

炭酸カルシウムの一形態であるアラゴナイトの飽和度(Ω_{arag})は、pHと共に海洋酸性化を評価する重要な指標である。 Ω_{arag} は、水温、塩分、pHに加えてTA、DIC、海水中のCO₂濃度のうちいずれか1つの値を測定し、計算式によって算出した。

A. 岡山県備前市日生町

pHは、すべての観測点において観測期間中に大きく変動しており、夏季に低下し、冬季に上昇する季節変動とともに、降雨後の顕著な低下が認められた。降雨後のpH低下の程度は観測点によって異なり、沖合に比べて沿岸寄りで低下した。2020年9月にはpHの急激な低下が見られ、カキ種場に位置する観測点(H-2: 淡水の影響を受ける)で7.41と最低値を記録した。

Ω_{arag} は、沿岸域に近づくほどが低下する傾向が認められ、また昼間は植物プランクトンによる光合成によって上昇し、夜間は生物の呼吸によって低下する日周変動を示した。国際的にマガキ幼生の正常発達に影響が出始めるとされる閾値($\Omega_{\text{arag}} = 1.5$; Waldbusser *et al.*, 2015)を下回ったのは、淡水供給源(H-1)で2020年9月と2021年4月・7月、カキ種場(H-2)で2020年9月・10月、2021年3月・7月、アマモ場周辺で2020年9月であり、沖合(H-4)では観測期間を通して下回ることはなかった。マガキの産卵時期と重なる7月、9月、10月に、現在のマガキ養殖へ影響を与える危険水準を局所的に下回る場合があったことが明らかになった。 Ω_{arag} が大きく低下した2020年9月にはカキ種場(H-2; 淡水の影響を受ける)において最低値(0.8)が観測され、閾値($\Omega_{\text{arag}} = 1.5$)を下回る期間が半月にも達した。

B. 宮城県南三陸町志津川湾

pHは、すべての観測点において観測期間中に大きく変動しており、夏季に減少し、冬季に増加する季節変動を示した。また、降雨後の pH の局所的な低下が観測され、観測点によって低下の程度が異なった。pH の局所的な低下が発生した 2021 年 7 月は河口域(S-1)において最低値を示したが、同様に局所的な低下が発生した 2021 年 8 月では沖合に位置するワカメ養殖場(S-3)で最低値を示した。

Ω_{arag} は観測期間中に大きく変動し、夏季に上昇し、冬季に低下する季節変動が見られた。pH と同様、降雨後の局所的な Ω_{arag} の低下が発生し、全ての観測点において観測期間中の最低値を示した。沿岸域に近い 3 観測点は沖合に比べ、局所的な Ω_{arag} の低下の頻度が多く、より低い値が確認された。pH と同様に、 Ω_{arag} の最低値は沿岸に近い河口部(S-1)やカキ種場(S-2)ではなく、2021 年 8 月のワカメ養殖場(S-3)における 1.4 であった。マガキの閾値 ($\Omega_{\text{arag}} = 1.5$)を下回る Ω_{arag} は S-3 のマガキの産卵時期と重なる 2021 年 8 月でのみ観測され、継続時間は 4 時間であった。日周変動は志津川でも日生と同様に観測され、昼間は光合成によって上昇し、夜間は生物の呼吸によって低下する日周変動を示した。

C. 広島県廿日市市

備前市日生町における 2020 年 9 月観測で閾値 ($\Omega_{\text{arag}} = 1.5$)を下回る期間が半月も継続していたことが明らかになり、さらにこの Ω_{arag} の低下には淡水の流入が大きく寄与していることが示唆されたため、淡水の影響が特に強い広島県廿日市市沿岸の 1 観測点を選定し 2021 年 6 月から新たに観測に着手した。

Ω_{arag} が閾値 ($\Omega_{\text{arag}} = 1.5$)を下回る期間が、6 月末から 11 月上旬まで断続的に現れ、中でも 8 月中旬～下旬には 1.0 を大きく割り込んだ。この観測点では pH に加えて DO (溶存酸素)の観測も導入したところ、DO の激しい変動を示し、低い時には酸素飽和度が 40%まで低下し、また、pH の変動と溶存酸素の変動はよく対応していた。

廿日市市の観測点は特に岸に近く、河川の影響を受けやすい所を選んで設置しているので、ここで得られた観測結果は広島湾の状況を代表するものではなく、あくまでも陸水の強く受けた場合の海域の酸性化状況を示したものと理解すべきである。

3.2 プランクトンネットによるカキ浮遊幼生の観測

マガキの受精卵は、50 μm 内外の球形で、胞胚期になって卵膜を破って水中に出て浮遊生活を始め、トロコフォア幼生、ベリジャー幼生を経て、2～3 日後には 70～80 μm の大きさの D 型幼生となる。カキ養殖漁家は、二枚貝類のラーバが多く出現する 6 月下旬～8月上旬にかけて、アンボ期幼生に生長した段階でホタテ板に付着させて天然種苗として養殖生産に供する。

岡山県備前市日生町地先及び宮城県南三陸町志津川湾において、海洋酸性化の進行による二枚貝浮遊幼生の形態異常発生の有無を確認するため、それぞれ複数の観測点を設けて、2020 年および 2021 年の 6～9 月にかけてそれぞれ北原式プランクトンネットによってサンプルを採取し、光学顕微鏡を用いた顕鏡観察により確認した。

プランクトンネットはそれぞれの観測点において海底まで降ろした後、垂直曳き 1 回でサ

ンプルを採集した。サンプルは海水とともにサンプル瓶に入れ中性ホルマリンで固定してから持ち帰り顕鏡観察に供した。形態異常発生の有無は、既往知見にある二枚貝幼生の形態異常の実例と目視観察により比較して確認した。

A. 備前市日生町

北原式プランクトンネットは目合い $50\ \mu\text{m}$ のものを用いた。2020 年度については、日生町漁協が地先海域 10 観測点で 2020 年 7 月 4 日～同年 8 月 31 日にかけて 48 日間採水を行い計 370 検体、西隣に位置する邑久町漁協が地先海域 6 観測点で 2020 年 7 月 11 日～9 月 9 日にかけて 55 日間採水を行い 244 検体について顕鏡観察したが、形態異常と思われる浮遊幼生は認められなかった。

2021 年度については、日生町漁協が地先海域 10 観測点で 2021 年 6 月 21 日～同年 8 月 24 日にかけて 34 日間採水を行い計 277 検体、西隣に位置する邑久町漁協が地先海域 6 観測点で 2020 年 7 月 2 日～8 月 30 日にかけて 45 日間採水を行い 156 検体について顕鏡観察したが、形態異常と思われる浮遊幼生は認められなかった。また、2020 年 9 月下旬に Ω_{arag} 及び pH が著しく低下した日生町地先のカキ種場に当たる観測点 H-2 直近の 3 箇所において、9 月 21 日～同年 10 月 1 日までの 5 日間同様に採水し 15 検体について顕鏡観察したが、形態異常と思われる浮遊幼生は認められなかった。

B. 宮城県南三陸町志津川湾

宮城県気仙沼水産試験場が、志津川湾内 10 観測点において、2020 年は 7 月 27 日、8 月 3 日、8 月 11 日、8 月 17 日、8 月 24 日、9 月 2 日の計 6 回、2021 年は 7 月 26 日、8 月 2 日、8 月 11 日、8 月 16 日、8 月 23 日、8 月 30 日、9 月 6 日の計 7 回実施した。目合い $100\ \mu\text{m}$ の北原式プランクトンネットを用いて鉛直曳きで 200 リットルの海水を濾過し、採集されたマガキ幼生をサイズ別に検鏡した。いずれの調査においても形態異常の個体は視認されなかった。

3.3 数値モデリング

日生、志津川湾における海洋環境の現状再現と将来予測を行うために、領域海洋循環モデル Regional Ocean Modeling System (ROMS)-Agrif (Penven *et al.*, 2006) に基づいて開発された海洋物理・生物化学モデル CROCO (Jullien *et al.*, 2019) を両海域に適用した。CROCO の大きな特徴は、高解像度のシミュレーションが可能であることと、大気や波浪、海底地形など様々な相互作用の計算が可能なこと、海洋生態系モデルである Pelagic Interaction Scheme for Carbon and Ecosystem Studies (PISCES; Aumont *et al.*, 2003) を結合することによって物理過程だけでなく生物化学過程も計算することが可能である。

海洋物理・生物化学統合モデル CROCO (Jullien *et al.*, 2019)を用いて、現在再現と将来予測を行った。将来予測は RCP(代表的濃度経路)8.5(高位参照)シナリオと RCP2.6(低位安定化)シナリオに基づいて今世紀半ばと今世紀末について行った。

連続観測の結果から、降雨後の酸性化指標の値が、局所的にマガキ幼生にとっての危険水準に達する可能性があることが分かった。また、今世紀末の酸性化指標は RCP8.5

シナリオでは危険水準に達する頻度と強度が上昇することが示された。一方、RCP2.6 シナリオでは危険水準を回避できると予測された。また、海洋酸性化指標の現在再現結果と今世紀半ばの RCP8.5 シナリオ下での将来予測結果を用いてマガキ生産量・生産額への影響を予測した。

以上より、酸性化に対応するためには、緩和策として CO₂排出の大幅削減を行った上で、地域の海洋酸性化の進行度合いに応じた段階的な適応策の導入が必要と結論付けられた。

3.4 海洋酸性化に関するアウトリーチ活動

ワシントン大学とともに、カキ養殖業者のヒアリング調査フォーマットを作成し、岡山県においてカキ養殖業を営む 40 名を対象に、海洋酸性化の認知度や将来的な脅威、対応策等についてヒアリング調査を実施した。現在、データを整理解析中である。

3.5 考察とまとめ

2020 年 6 月～2021 年 12 月まで約 1 年半余りの調査と観測の結果、3つの海域すべてにおいて、カキ浮遊幼生が悪影響を受けると世界的に認識されている酸性化レベルに短期間ながら達する現象が複数回にわたって確認された。「人為起源 CO₂による酸性化」は日本の沿岸全体で進行していることが過去の研究(Ishizu et al. 2019 等)により明らかになっているが、これに加えて、「現在や過去の水質汚染に起因する酸性化」や「陸水の影響による短期的な pH 変動」が、今回観測された短期の酸性化現象を引き起こしていると考えられる。

2020 及び 2021 年度に、備前市日生町地先において、カキ浮遊幼生の出現期間を中心に、カキ浮遊幼生が悪影響を受ける酸性化レベルに達していた期間を含め、広範囲にわたって継続的かつ高頻度にカキ浮遊幼生の観測を実施したが、異常形態のカキ浮遊幼生は 1 個体も確認されず、斃死などの直接的な被害は確認されなかった。南三陸町においても同様の結果であった。また、廿日市市においては、カキ浮遊幼生の観測は実施していないものの、採苗期間中に酸性化レベルが影響の出る程度に低下していたにもかかわらず、採苗実績は良好であった。また、現在の廿日市市の観測点は、広島湾の状況を代表するデータではないことも重要な視点である。

上記のことから、カキ浮遊幼生が悪影響を受ける酸性化レベルになっていたことが確認されたものの、少なくとも現時点においては、漁業に被害を及ぼすまでには至っていないと判断された。この要因には次のことが考えられた。

- ① 悪影響を受ける酸性化レベルに達した時期または海域が、採苗時期または採苗場所と合致しなかった。
- ② カキ浮遊幼生は塩分の低下により遊泳能力が下がり沈降することが知られている。カキ浮遊幼生が表層低塩分水の下に移動することにより、その結果として酸性化水を回避した可能性がある。
- ④ カキ浮遊幼生が悪影響を受けると世界的に認識されている酸性化レベル ($\Omega_{\text{arag}} = 1.5$) は、アメリカ西岸において検証され用いられている閾値であり、水温や塩分等、海洋環境が異なる我が国沿岸に適合しない可能性が、本プロジェクトの観測結果から示

唆された。我が国の沿岸環境、我が国のマガキに適した閾値として、その見直しが必要である可能性がある。

II. 調査対象海域

本プロジェクトの対象海域として、初年度の 2020 年度に、マガキ養殖の盛んな沿岸域のうち、それぞれ地理的条件及び気候条件等がまったく異なる 2 海域、岡山県備前市日生地先海域 と宮城県南三陸町志津川湾を選定した(図 1)。岡山県と宮城県のマガキ養殖生産額の合計は国内全体のマガキ養殖生産額の約 2 割を占めている(農林水産省ウェブサイト)。

備前市日生町における 2020 年 9 月の観測で閾値($\Omega_{\text{arag}} = 1.5$)を下回る期間が半月も継続していたことが明らかになり、さらにこの Ω_{arag} の低下には淡水の流入が大きく寄与していることが示唆されたため、我が国トップの生産地である広島湾にあって淡水の影響が特に強い広島県廿日市市沿岸の 1 観測点を選定し 2021 年 6 月から新たに観測に着手した。

2022 年 6 月からは、ここ数年に亘りカキ殻が薄くなっているとのカキ養殖業者から訴えがあった笠岡市北木島地先の 1 定点、瀬戸内海を代表する大きな水道部のひとつで、地形や流況の複雑さから同一海域内に様々な環境特性を有し、カキ養殖、アコヤガイ養殖、魚類養殖など多様な漁場となっている豊後水道 3 定点が新たに加わり、調査対象海域は 5 海域となった(図 1)。

次項に、調査対象海域ごとに調査結果をとりまとめた。



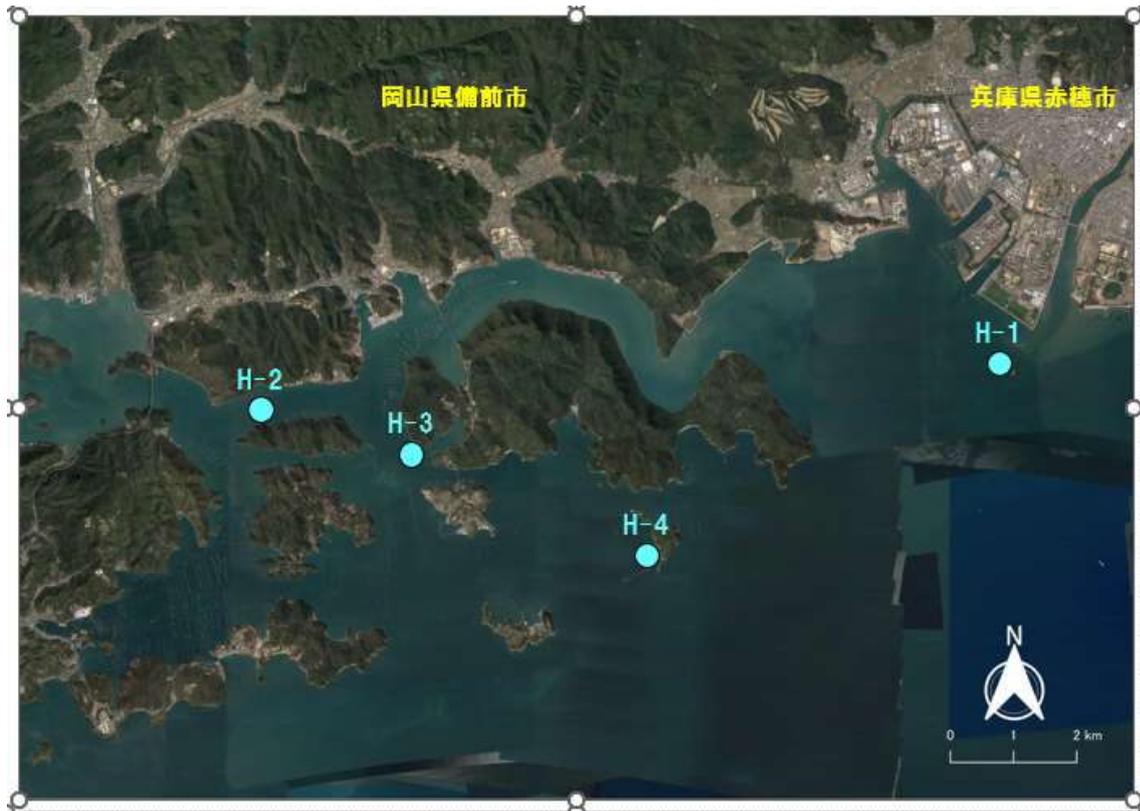
図 1. 2022 年度 海洋酸性化適応プロジェクト対象海域

Ⅲ. 対象海域ごとの調査方法および結果

A 岡山県備前市日生町地先(以下、日生)

A.1 海洋観測

日生海域に、Stn.H-1: 淡水供給源近傍、Stn.H-2: カキ採苗場、Stn.3: アマモ場近傍、Stn.4: 沖合(日生海域の標準的な水質)の4定点を設けた(図A-1)。それぞれの観測定点の選定には、地元漁業関係者の意見を行うとともに、流況など既存データなどを参考とした。



図A.1 日生における観測定点 Stn.H-1～Stn.H-4

A.1.1 定点連続観測

(1) 観測方法

日生地先海域の4定点すべてに①、②、Stn.H-2のみに③、④を係留設置し、2022年4月～2023年3月まで連続観測を継続した(表A-1-1、図A-1-1、A1-2、A1-3)。すべての観測機器は1カ月に1～2回、付着した生物の除去等の清掃と2～3カ月に1回のデータ回収を行うとともに、②については2～3カ月に1回程度の頻度で人工海水を用いたセンサーの校正作業を行った。また、すべての観測機器は、3ヶ月に1回を目安に電池を交換した(表A-エラー! 指定したスタイルは使われていません。2)。

- ① ワイパー式メモリー水温塩分計 INFINITY-CTW ACTW-USB (JFE アドバンテック株)
- ② 海水用pHセンサーSPS-14 (紀本電子工業株)

③ ワイパー式メモリークロロフィル濁度計 INFINITY-ACW2-USB (JFE アドバンテック株)

④ ワイパー式メモリー DO 計 INFINITY-AROW2-USB (JFE アドバンテック株)

表 A.1.3 定点連続観測の方法

項目	方法	数量
・水温 ・塩分	<ul style="list-style-type: none"> ■ ワイパー式メモリー水温塩分計 (ACTW-USB, JFE アドバンテック) を海面下 1m の位置に固定し, 10 分間隔の 5 秒間計測を 1 年間連続で実施した。 ■ ワイパー式メモリー水温塩分計は, 灯標筏から吊り下げたロープまたは海底から立ち上げたブイ付きロープに結束バンドを用いて固定した(図 A.エラー! 指定したスタイルは使われていません。, 図)。 ■ ワイパー式メモリー水温塩分計のセンサー部に付着する生物等は, 採水等の実施日に船上に引き揚げて歯ブラシ等を用いて除去した。 	1 層 × 4 地点 (H-1~4)
・pH	<ul style="list-style-type: none"> ■ 海水用 pH センサー (SPS-14, 紀本電子工業) を海面下 1m の位置に固定し, 60 分間隔の 5 秒間計測を 1 年間連続で実施した。 ■ 海水用 pH センサーは, 灯標筏から吊り下げたロープまたは海底から立ち上げたブイ付きロープに結束バンドを用いて固定した(図 A.エラー! 指定したスタイルは使われていません。, 図)。 ■ 海水用 pH センサーの電極に付着する生物等は, 採水等の実施日に船上に引き揚げて歯ブラシ等を用いて除去した。 	1 層 × 4 地点 (H-1~4)
・DO	<ul style="list-style-type: none"> ■ ワイパー式メモリー溶存酸素計 (AROW2-USB) を海面下 1m の位置に固定し, 10 分間隔の 5 秒間計測を 1 年間連続で実施した。 ■ ワイパー式メモリー溶存酸素計は, 灯標筏から吊り下げたロープに結束バンドを用いて固定した(図)。 ■ ワイパー式メモリー溶存酸素計のセンサー部に付着する生物等は, 採水等の実施日に船上に引き揚げて歯ブラシ等を用いて除去した。 	1 層 × 1 地点 (H-2)
・クロロフィル ・濁度	<ul style="list-style-type: none"> ■ ワイパー式メモリークロロフィル濁度計 (ACW2-USB) を海面下 1m の位置に固定し, 10 分間隔の 5 秒間計測を 1 年間連続で実施した。 ■ ワイパー式メモリークロロフィル濁度計は, 灯標筏から吊り下げたロープに結束バンドを用いて固定した(図)。 ■ ワイパー式メモリークロロフィル濁度計のセンサー部に付着する生物等は, 採水等の実施日に船上に引き揚げて歯ブラシ等を用いて除去した。 	1 層 × 1 地点 (H-2)

調査項目	調査方法	調査定点
◆水温 ◆塩分	水温・塩分計を海面下1mに固定して10分間隔の5秒間計測を令和2年8月から実施中	H-1(ブイ付きロープに固定) H-2~4(灯標筏から垂下したロープに固定)
◆pH	pH計を海面下1mに固定して60分間隔の5秒間計測を令和2年8月から実施中	H-1(ブイ付きロープに固定) H-2~4(灯標筏から垂下したロープに固定)
◆クロロフィル ◆濁度 ◆DO	クロロフィル・濁度計, DO計を海面下1mに固定して10分間隔の5秒間計測を令和3年6月から実施中	H-2(灯標筏から垂下したロープに固定)



図 A.エラー! 指定したスタイルは使われていません。各定点における観測機器の係留設置方法

【定点連続観測】

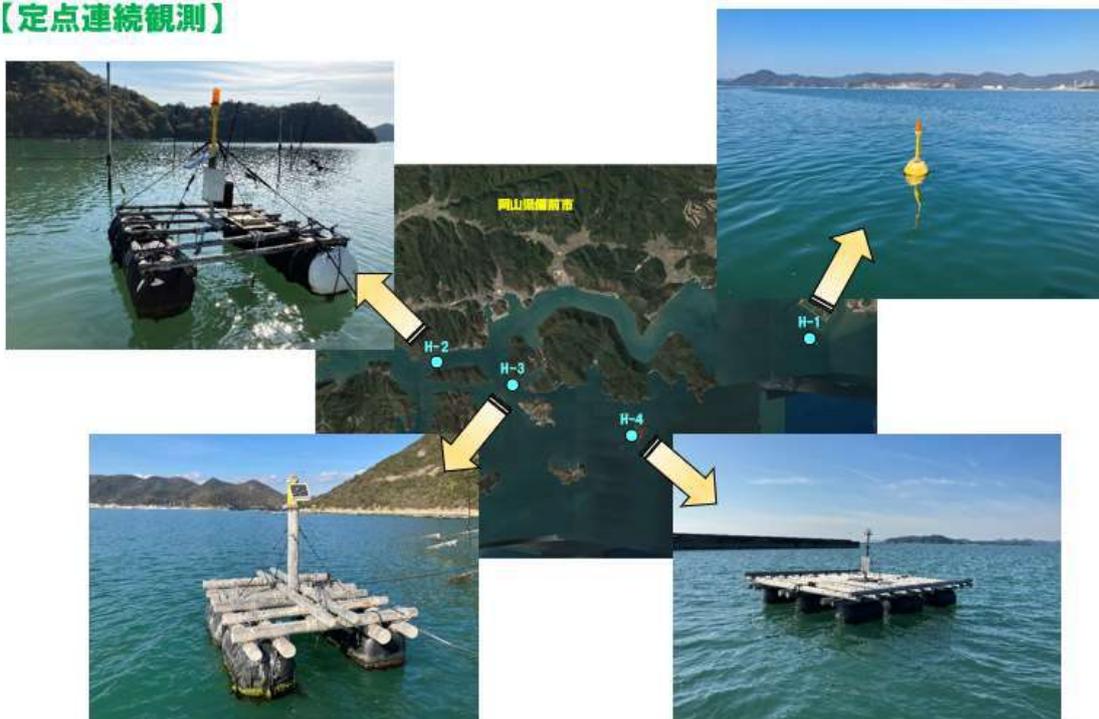


図 A.1.2 各定点(Stn.H-2~4)における観測機器設置状況

地点名	緯度	経度	水深 (C.D.L. m)	観測機器の固定方法
H-1	34° 43′ 15.16″	134° 22′ 51.45″	-5m 程度	海底から立ち上げたブイ付 ロープに固定(図 A.エラー! 指定したスタイルは 使われていません。)
H-2	34° 42′ 45.63″	134° 14′ 55.24″	-4m 程度	灯標筏から吊り下げたロー プに固定(図)
H-3	34° 42′ 34.46″	134° 16′ 36.02″	-3m 程度	
H-4	34° 41′ 34.93″	134° 19′ 08.41″	-9m 程度	



図 A.1.3. 定点連続観測を実施した位置

(2) 観測結果

2022年4月1月～2023年3月の間、Stn.H-1～4において、水温、塩分、pHの経時
的变化を連続観測した。

また、Stn.H-2のみ、陸水とそれに伴う有機物の流入に起因すると考えら得る pH の低
下が顕著であったため、同じく2022年4月1月～2023年3月の間、DO、クロロフィル、
濁度を連続観測した。

ア. 水温(図 A.1.4)

2022年1月～2023年3月の水温は、H-1で5.654～30.980℃、H-2で5.099～
32.262℃、地点H-3で6.193～31.644℃、H-4で6.608～30.711℃であった。最低値、
最高値は両方ともにH-2で記録された。

H-2・3の水温は、2022年3～8月の期間ではH-4より高い値で推移したが、2022年
1～2月、2022年9月～2023年2月の期間では逆の結果となった。

イ. 塩分(図 A.1.5)

2022年1月～2023年3月の塩分は、H-1で24.541～32.195、地点H-2で26.109
～31.888、H-3で27.858～32.039、H-4で27.771～32.167であった。最低値と最高値
は両方ともH-1で記録された。

H-1～3の塩分は、調査期間を通じて地点H-4より低い値で推移した。こうした傾向は特に地点H-1で顕著であった。

表 A.1.2 観測機器の設置・回収・清掃の実施日

実施日	観測機器の設置	観測機器の回収	観測機器の清掃
2022年4月4日		● 全観測機器を回収、 電池交換、センサー 校正	
2022年4月20日	● 全観測機器を設置		
2022年4月28日			●
2022年5月25日			●
2022年6月29日			●
2022年7月12日			●
2022年8月5日		● 全観測機器を回収、 電池交換、センサー 校正	
2022年8月12日	● 全観測機器を設置		
2022年9月9日		● 台風の接近が予想さ れたため、H-1～3の水 温塩分計とpHセンサ ーを回収	●
2022年9月22日	● H-1～3の水温塩分 計とpHセンサーを設 置		●
2022年10月4日			●
2022年10月20日			●
2022年11月7日		● 全観測機器を回収、 電池交換、センサー 校正	
2022年11月21日	● 全観測機器を設置		
2022年12月5日			●
2023年2月6日			●
2023年3月3日		● 全観測機器を回収、 電池交換、センサー 校正	
2023年4月3日	● H-2・3の水温塩分計 とpHセンサー、H-2 の溶存酸素計とクロ ロフィル濁度計を設 置		

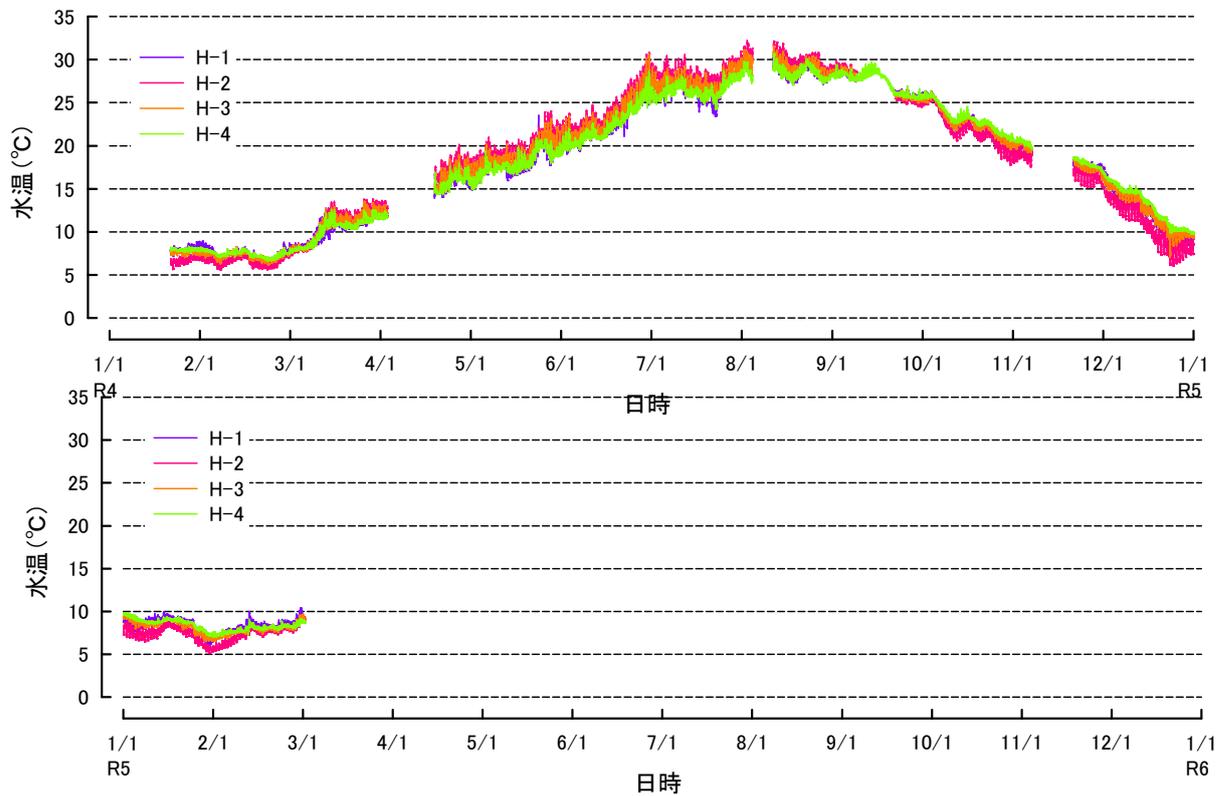


図 A.1.4 2022 年 1 月～2023 年 3 月における地点 H-1～4 の水温の経時変化

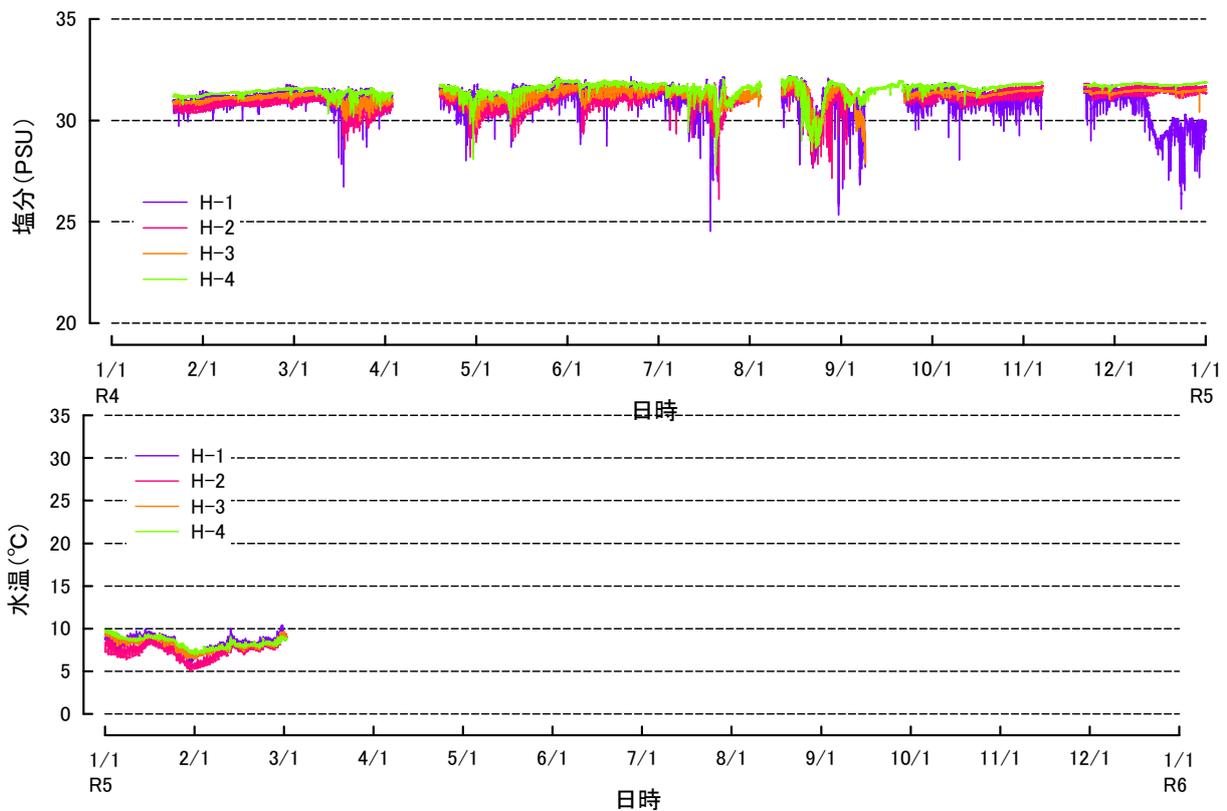


図 A.1.5 2022 年 1 月～2023 年 3 月における H-1～4 の塩分の経時変化

ウ. pH(図 A.1.6)

2022年1月～2023年3月のpHは、H-1で7.362～8.395(ガラス電極破損時の測定値は除く)、H-2で7.381～8.370、H-3で7.496～8.259、H-4で7.577～8.261であった。最低値と最高値は両方ともにH-1で記録された。

H-3のpHは、2022年1～8月の期間では地点H-4より低い値で推移したが、2022年12月～2023年2月の期間では逆の結果となった。

地点H-2・3では、pHの値が8未満となる期間が長かった。

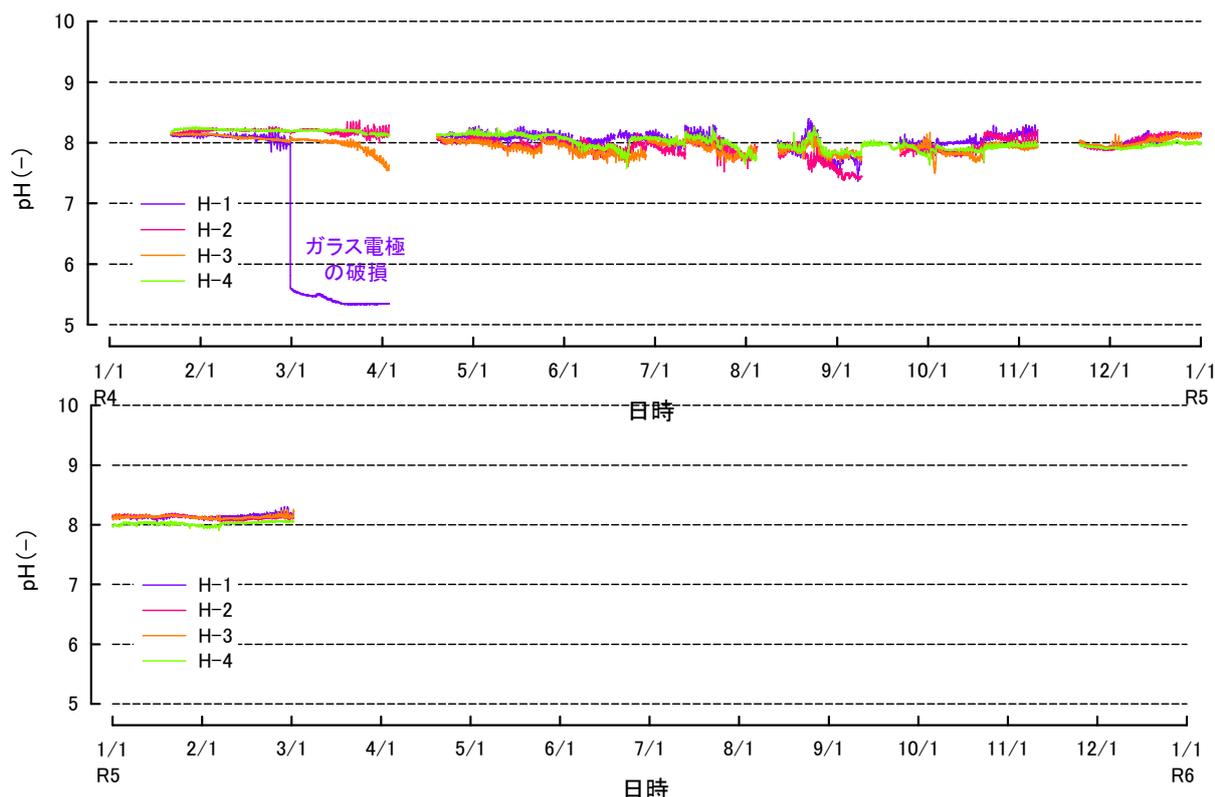


図 A.1.6 2022年1月～2023年3月におけるH-1～4のpHの経時変化

エ. DO(図 A.1.7)

2022年1月～2023年3月における地点H-2のDOは4.752～13.315mg/Lであり、冬季に高く、夏季に低い値を示した。

地点H-2のDOは、2022年10月の上旬～中旬にかけて急激に上昇した。クロロフィルも同様な反応を示したことから、上述のDOの上昇は植物プランクトンの影響であると考えられる。

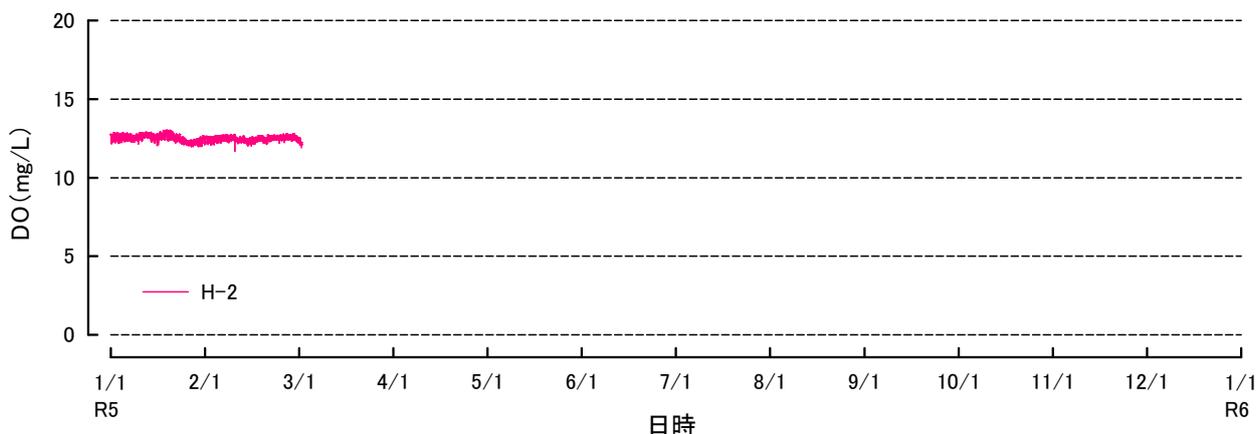
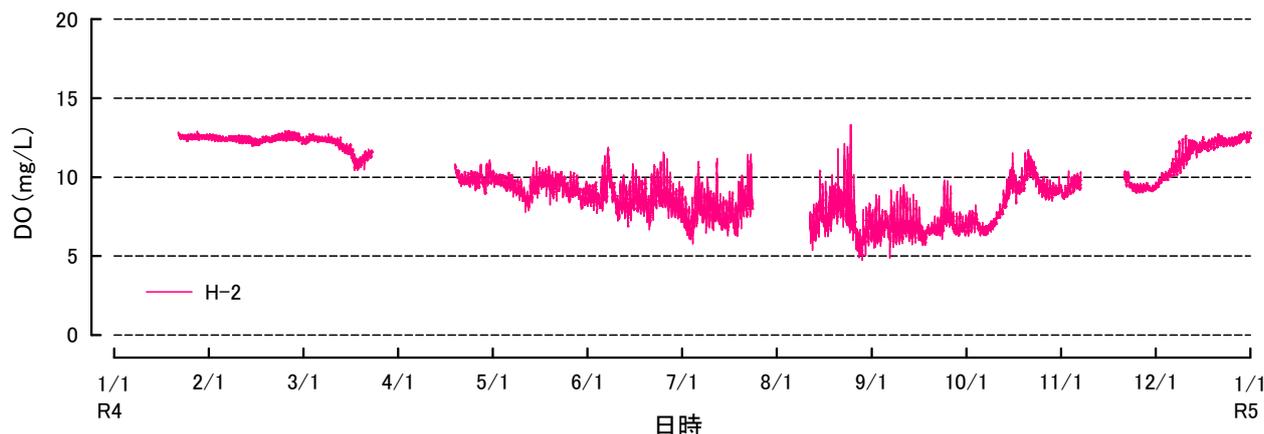


図 A.1.7 2022 年 1 月～2023 年 3 月における H-2 の DO の経時変化

オ. クロロフィル(図 A.1.8)

2022 年 1 月～2023 年 3 月における地点 H-2 のクロロフィルは $0.150\sim 219.498\ \mu\text{g/L}$ であり、冬季に低く、夏季に高い値を示した。

なお、調査期間中に出現したクロロフィルのスパイク状の高い値は、センサーの汚れ等に伴うノイズ(異常値)であると考えられる。

カ. 濁度(図 A.1.9)

2022 年 1 月～2023 年 3 月における地点 H-2 の濁度は $0.350\sim 1,309.120\text{FTU}$ であった。

なお、調査期間中に出現した濁度のスパイク状の高い値は、センサーの汚れ等に伴うノイズ(異常値)であると考えられた。

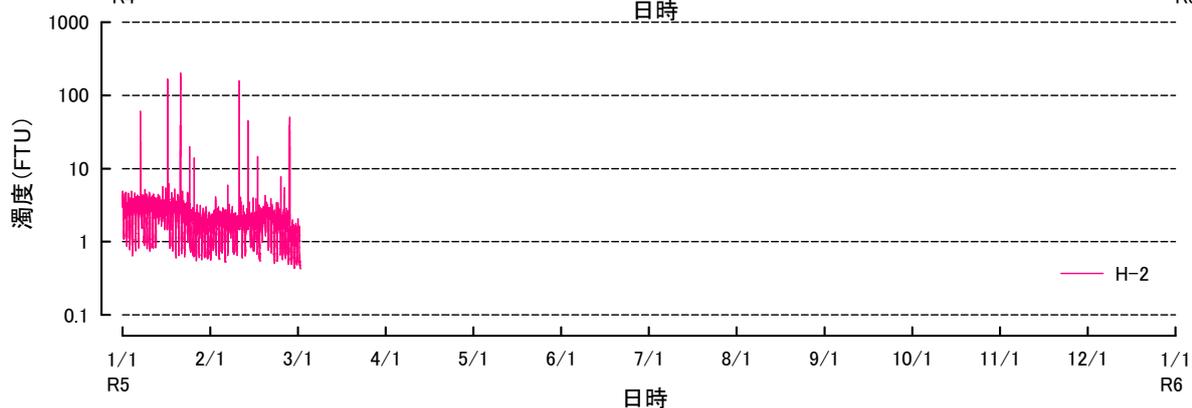
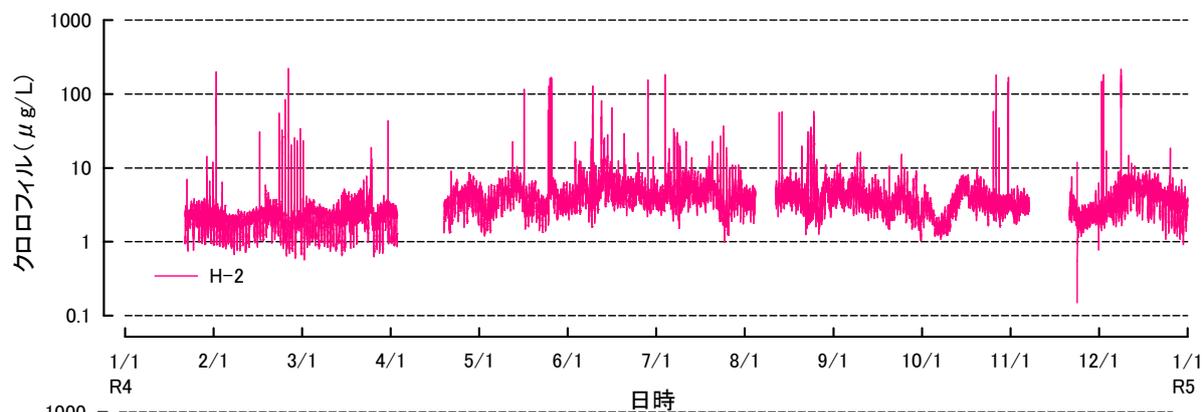


図 A.1.8 2022 年 1 月～2023 年 3 月における H-2 のクロロフィルの経時変化

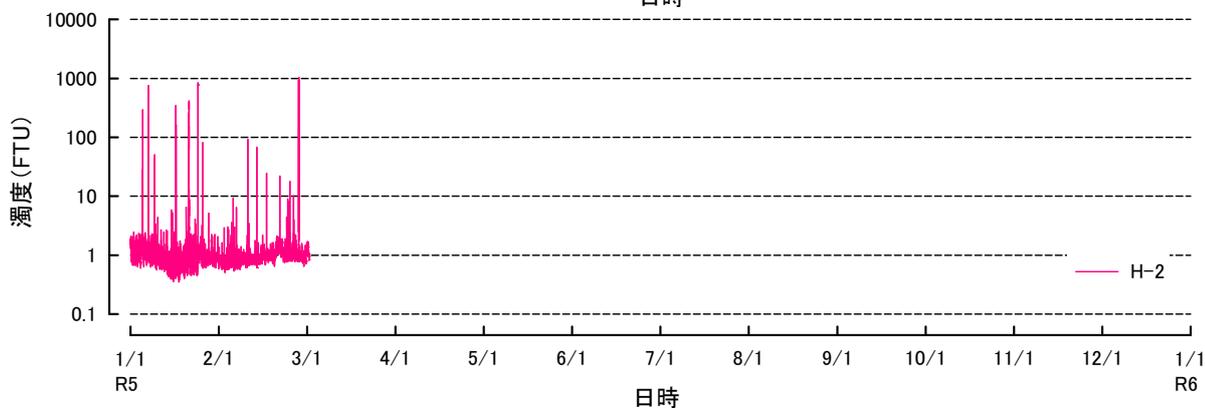
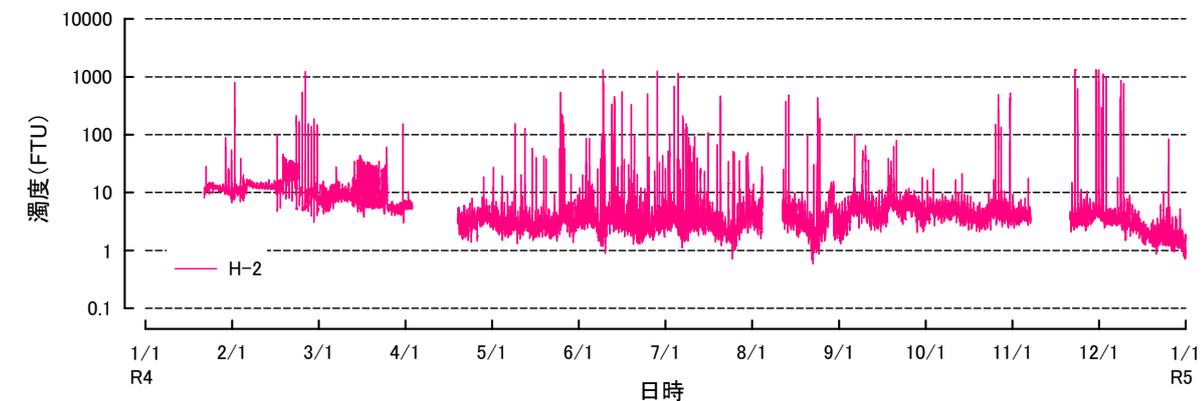


図 A.1.9 2022 年 1 月～2023 年 3 月における H-2 の濁度の経時変化

A.1.2 定点定期観測および採水分析

(1) 観測方法

2022年4月～2023年3月まで、4定点(図A.1.10)において、毎月1～2回、多項目水質計により水質を現地測定する(表1)。観測頻度は、2022年6～10月は毎月2回、その他は月に1回とする。多項目水質計は、(株)エイト日本技術開発が所有する YSI EX02 (YSI/NANOTECH Inc.)を使用することとし、T, S, Chl, DO, pHを測定して解析し、定点ごとの海域特性や季節変化等を把握した。

また、定点観測に併せて毎月1～2回、表層(1.0m)と底層(海底面上1.0m)で採水し、分析用サンプルとして国立研究開発法人 JAMSTEC に発送し分析に供した。採水方法等は p.29-30「酸性化モニタリングのサンプルの採水方法と保存方法」に従った。

JAMSTEC においては、滴定法など標準手法を用いて塩分(S)、溶存態無機炭素(DIC)、全アルカリ度(A_T)を分析し、これらの数値からアラゴナイト飽和度(Ω_a)を算定し求める。また、測定された A_T とDICを用いて、現場で計測されたpHの事後校正を行った。なお、栄養塩の分析については、岡山県水産研究所において行った。



定点	緯度	経度	水深 (C.D.L. m)	備考
H-1	34° 43′ 15.16″	134° 22′ 51.45″	-5m 程度	河口域
H-2	34° 42′ 45.63″	134° 14′ 55.24″	-4m 程度	カキ幼生の採取場所近傍
H-3	34° 42′ 34.46″	134° 16′ 36.02″	-3m 程度	アマモ場近傍
H-4	34° 41′ 34.93″	134° 19′ 08.41″	-9m 程度	外洋域

図 A.1.10 採水場所

表 A.1.3 定期観測および採水方法

項目	方法	数量
・pH ・塩分 ・アルカリ度 ・栄養塩類	<ul style="list-style-type: none"> ■ ニスキン採水器 (Model-1010, General Oceanics 社) を用いて、海面下 1.0m(表層)と海底上 1.0m(底層)で海水を採取し(エラー! 参照元が見つかりません。), 各海水で共洗した容器に收容したものを水質試料とし、氷を入れたクーラー内で冷蔵して分析室に持ち帰った。 ■ アルカリ度の水質試料には塩化水銀を 10μL 添加し、pH, 塩分の水質試料とともに JAMSTEC へ冷蔵で送付した ■ 栄養塩類の水質試料は岡山県農林水産総合センター水産研究所へ冷蔵で送付した。 	2 層 × 4 地点 (H-1 ~ 4) × 15 回
・水温 ・塩分 ・pH ・DO ・濁度 ・クロロフィル	<ul style="list-style-type: none"> ■ 多項目水質計 (EXO2, YSI) を毎秒 10cm の速度で船上から垂下し、水温、塩分、pH、DO、濁度及びクロロフィルを水深別 (0.1m 間隔) に計測した(エラー! 参照元が見つかりません。) 	全層 × 4 地点 (H-1 ~ 4) × 15 回
	■	

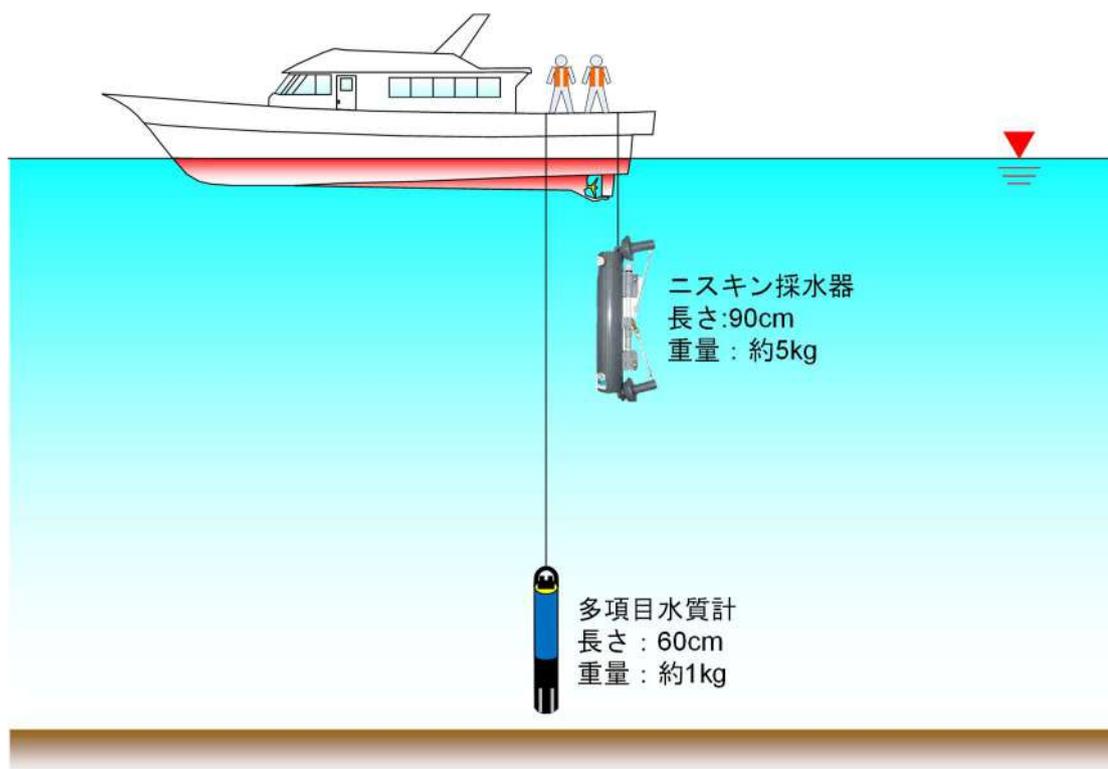


図 A.1.10 定期観測および採水方法のイメージ

表 A.1.4 定期観測および採水実施日と天候・気温

採水等の実施日		天気概況	気温		
			平均 (°C)	最高 (°C)	最低 (°C)
第 1 回	令和 4 年 4 月 28 日	晴	16.4	23.3	11.5
第 2 回	令和 4 年 5 月 25 日	晴	22.2	26.3	18.4
第 3 回	令和 4 年 6 月 29 日	晴	27.7	33.9	22.5
第 4 回	令和 4 年 7 月 12 日	曇	26.1	30.4	22.5
第 5 回	令和 4 年 8 月 5 日	晴	27.3	32.1	24.5
第 6 回	令和 4 年 8 月 12 日	曇	29.7	34.6	26.2
第 7 回	令和 4 年 9 月 9 日	曇	26.0	30.1	22.8
第 8 回	令和 4 年 9 月 22 日	曇	21.1	25.5	16.4
第 9 回	令和 4 年 10 月 4 日	曇	24.6	31.0	19.2
第 10 回	令和 4 年 10 月 20 日	晴	14.5	22.3	8.8
第 11 回	令和 4 年 11 月 7 日	晴	13.2	19.7	8.3
第 12 回	令和 4 年 12 月 5 日	曇	8.5	12.9	4.7
第 13 回	令和 5 年 2 月 6 日	曇	3.5	9.7	-3.4
第 14 回	令和 5 年 3 月 3 日	晴	4.7	11.5	-1.7
第 15 回	令和 5 年 4 月 3 日	晴	11.7	18.7	4.1

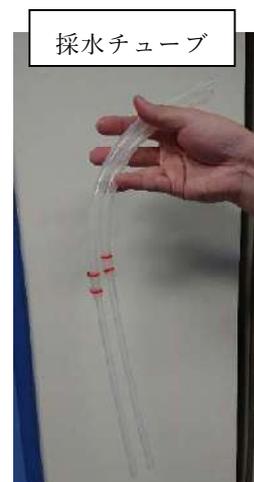
注: 1) 気温は、虫明地上気象観測所の測定値である。

「酸性化モニタリングのサンプルの採水方法と保存方法」

溶存無機炭素(DIC)・全アルカリ度(TA)の採水

使用器具：採水チューブ、ガラス瓶 2 本(DIC 用 125ml、TA 用 100ml)、シール

1. まず、ボトルに貼ってある番号を、日付や測点に一致するように、採水野帳に記入をお願いいたします。
2. ニスキン採水器を 3 回共洗います。同時に採水チューブも洗う。
3. 気体成分のため、一番初めに採取してください。採水チューブをニスキンボトルの排水口に差し、チューブの中の空気をしごき出しながら、数秒海水を流し、流水を指で止める。
4. ガラス瓶のゴムキャップを取る。ガラス瓶を傾け、流水を止めているチューブの先をガラス瓶の底まで入れ、ゆっくり海水を注ぎ、泡立たないように入れる。
5. そのまま、ゆっくり指を離しながら海水を流し入れ、瓶からあふれて出てきたら、そのまま **20 秒以上**溢れ出させる。その際、チューブの先に泡が着かないように、軽く回す。また、瓶から溢れ出てくる海水でゴムキャップを洗う。
6. 20 秒以上オーバーフローさせた後、瓶の底にあるチューブの先を、流水を止めながら、引き上げる。チューブの先が水面ぎりぎりのところで、流水を止める。そのあと、ゴムキャップで閉める。
7. 海水サンプルを採取したガラス瓶は、青いプラスチック箱に戻し、日光が当たらないようにする。可能であれば、冷暗所に保存してください。



採水チューブ



ガラス瓶

以下のサンプル固定の手順は、実験室で行ってください。採水で時間が無いときは、採水が一段落したら行って下さい。

使用器具：マイクロピペット (0.1ml と 5 ml)、飽和塩化水銀、ゴムキャップ、アルミキャップ、バイアル瓶締機、手袋

8. 手袋を付ける。それぞれのマイクロピペットに 5ml と 1 ml のチップを取り付ける。
9. サンプル瓶のゴムキャップを開け、瓶の口近くからマイクロピペットで 2ml 海水を吸い取り、ビーカーなどに捨てる。そのあと、液面より少し下にチップの先を入れ、飽和塩化水銀を 0.1ml 添加する。空気が入らないように気を付ける。
10. 少し小さいゴムキャップとアルミキャップをガラス瓶に取付け、バイアル瓶締機でグイッと密閉する。
11. サンプル瓶は、破損防止のため、可能な限り冷蔵庫で保存する。



バイアル瓶締

塩分の採水

使用器具：250ml 茶褐色瓶 1本、内キャップ、清水

1. まず、ボトルに貼ってある番号を、日付や測点に一致するように、採水野帳に記入をお願いいたします。
2. DIC・TA サンプルを採水した後、残ったニスキン採水器の海水を使ってください。
3. 瓶に海水が残っている場合は、まず捨てる。採水チューブを取り外し、バケツを傾けて、海水を流す。
4. 瓶に海水で3回共洗いを行い、肩口まで（約8割）入れる。
5. 内キャップを海水で洗い、軽く締めて、黒いネジロキャップでギュッとキツく閉める。
6. その後、実験室で、清水で瓶全体を洗い、海水を落として、逆さに向けて、青プラコンに入れる。サンプルが凍ると割れるので、冷凍しない程度の場所で保存する。

栄養塩の採水

使用器具：スピッツ管（2本）、試験管立て、アルミ製ユニパック

1. まず、ボトルに貼ってある番号を、日付や測点に一致するように、採水野帳に記入をお願いいたします。
2. DIC・TA サンプル、塩分を採水した後、残ったニスキン採水器の海水を使ってください。
3. 海水を流す。スピッツ管を空ける。
4. 3回共洗いを行い、約8割入れて、キャップを洗って、閉じる。
5. 実験室に帰ってきたら、ミリQか清水でスピッツ管全体を洗い、試験管立てに立てて、冷凍する。
6. 後日、冷凍したスピッツ管をアルミ製ユニパックに入れて、アンモニアのコンタミネーションを防ぐため、冷凍庫で保管する。

3ヶ月に1回ほど、繰返し精度の確認のため、すべてのサンプルを2倍取ってください。

サンプルが貯まりましたら、DIC・TA サンプルは冷蔵で、塩分は常温（冬以外）または冷蔵で、栄養塩は冷凍で、海洋研究開発機構むつ研究所に送ってください。

(2) 定期観測結果

定期観測実施日ごとに、水温、塩分、pH、DO、濁度及びクロロフィルの鉛直プロファイルエラー！参照元が見つかりません。A.1.11～エラー！参照元が見つかりません。A.1.28 に示した。

ア. 水温

2022年4月28日、6月29日、8月5日におけるH-2の水温の鉛直プロファイルでは、水深1.5～2.5m付近に躍層が形成されていた。躍層は、2022年6月29日と同年8月5日におけるH-3の水温の鉛直プロファイルでも同様に認められた。

イ. 塩分

H-1の水深1m未満の塩分は、2022年4月4日、4月28日、8月5日、9月22日及び10月4日には他定点のそれに比べて低い値を示した。

ウ. pH

水深1.5～2.5m付近に水温躍層が認められた2022年6月29日と8月5日におけるH-2のpHの鉛直プロファイルでは、水深1.5～2.5m付近でpHの値が急激に低下する傾向が認められた。

エ. DO

水深1.5～2.5m付近に水温躍層が認められた2022年6月29日と同年8月5日におけるH-2のDOの鉛直プロファイルでは、水深1.5～2.5m付近でDOの値が急激に低下する傾向が認められた。

オ. 濁度

2022年4月28日、5月25日、6月29日、7月12日、8月5日、8月12日、9月9日及び同年9月22日におけるH-2の濁度は、同一水深の場合には他定点のそれに比べて高い値を示した。H-2、3の濁度は、2022年5月25日、6月29日、7月12日、8月5日、8月12日、9月9日及び9月22日には海底上1m付近で急激に上昇した。こうした海底付近の高濁度層は、2022年6月29日、7月12日及び9月9日のH-4、8月5日のH-1の濁度の鉛直プロファイルでも同様に認められた。

カ. クロロフィル

2022年4月28日、5月25日、6月29日及び7月12日におけるH-2のクロロフィルは、同一水深の場合には他定点のそれに比べて高い値を示した。

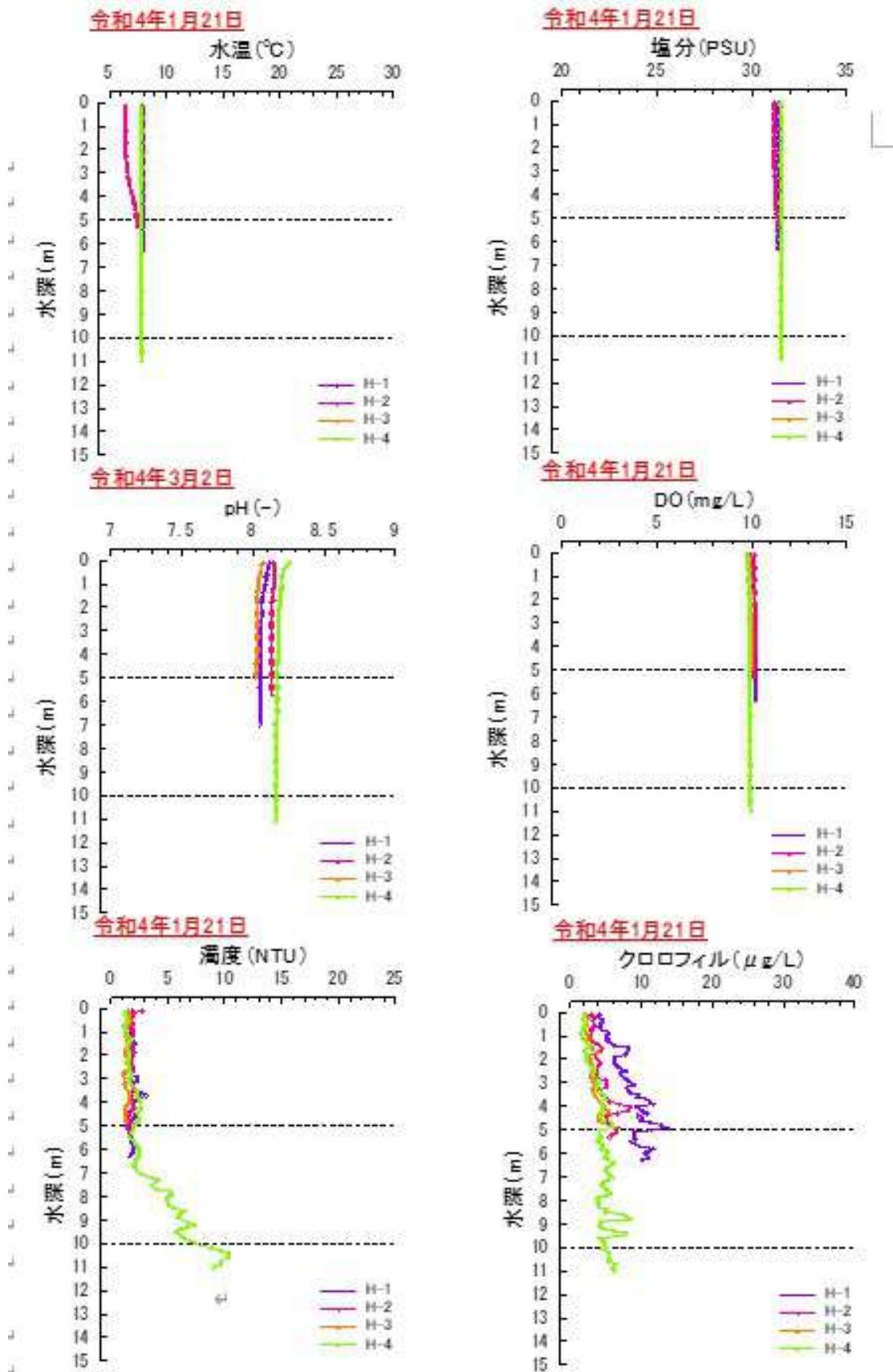


図 A.1.11 2022年1月21日における4定点の鉛直プロフィール

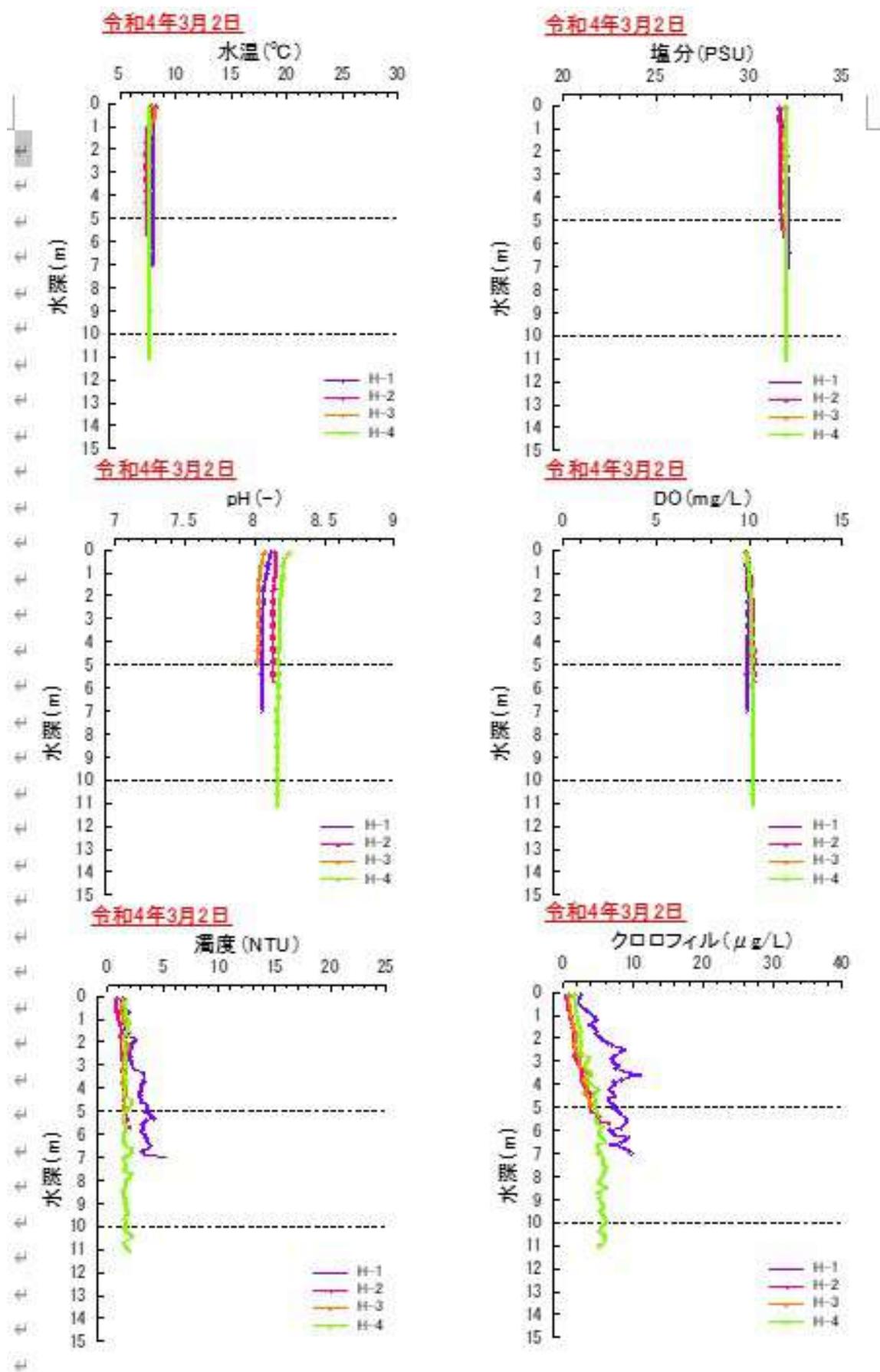


図 A.1.12 2022年3月2日における4定点の鉛直プロファイル

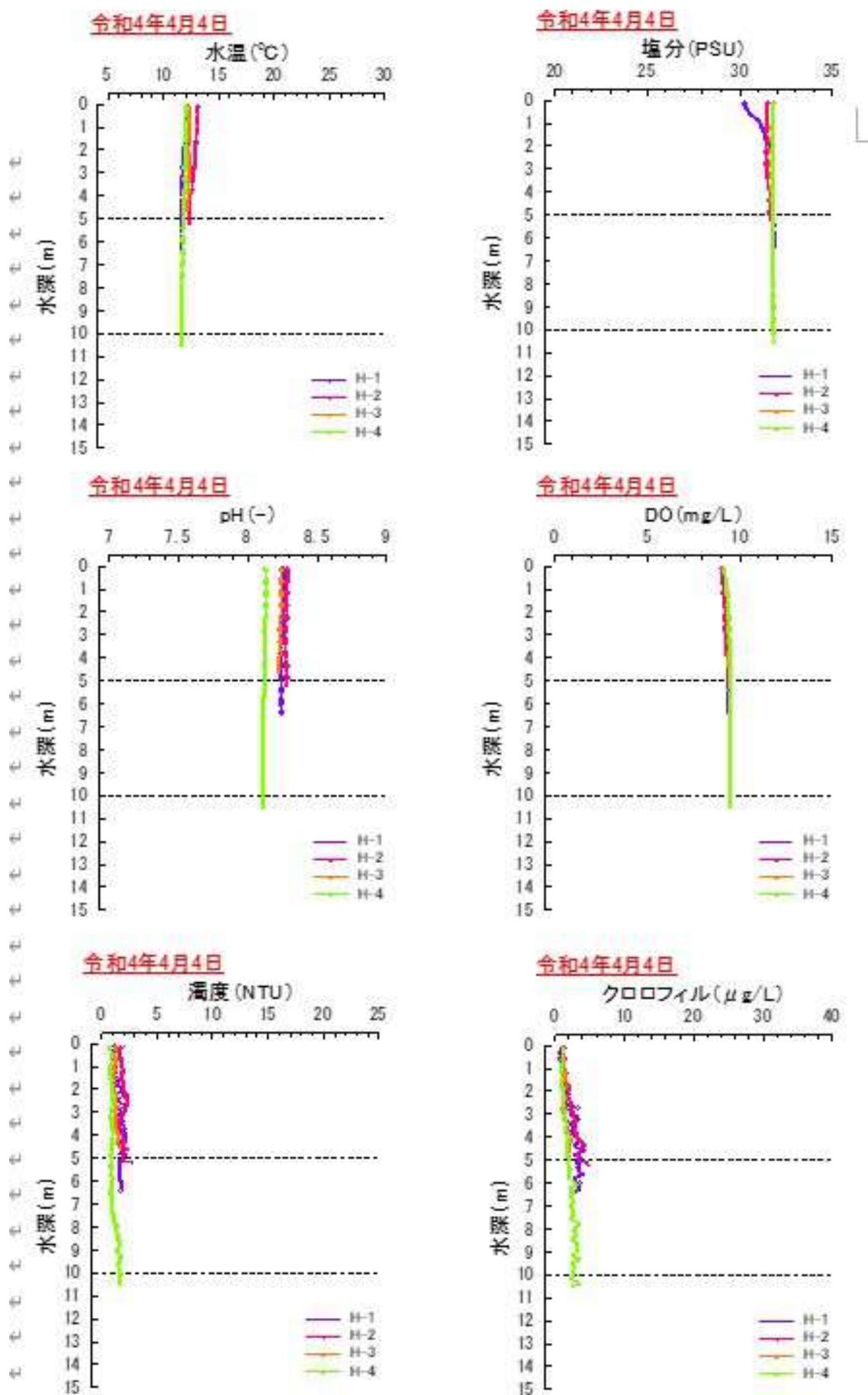


図 A.1.13 2022年4月4日における4定点の鉛直プロファイル

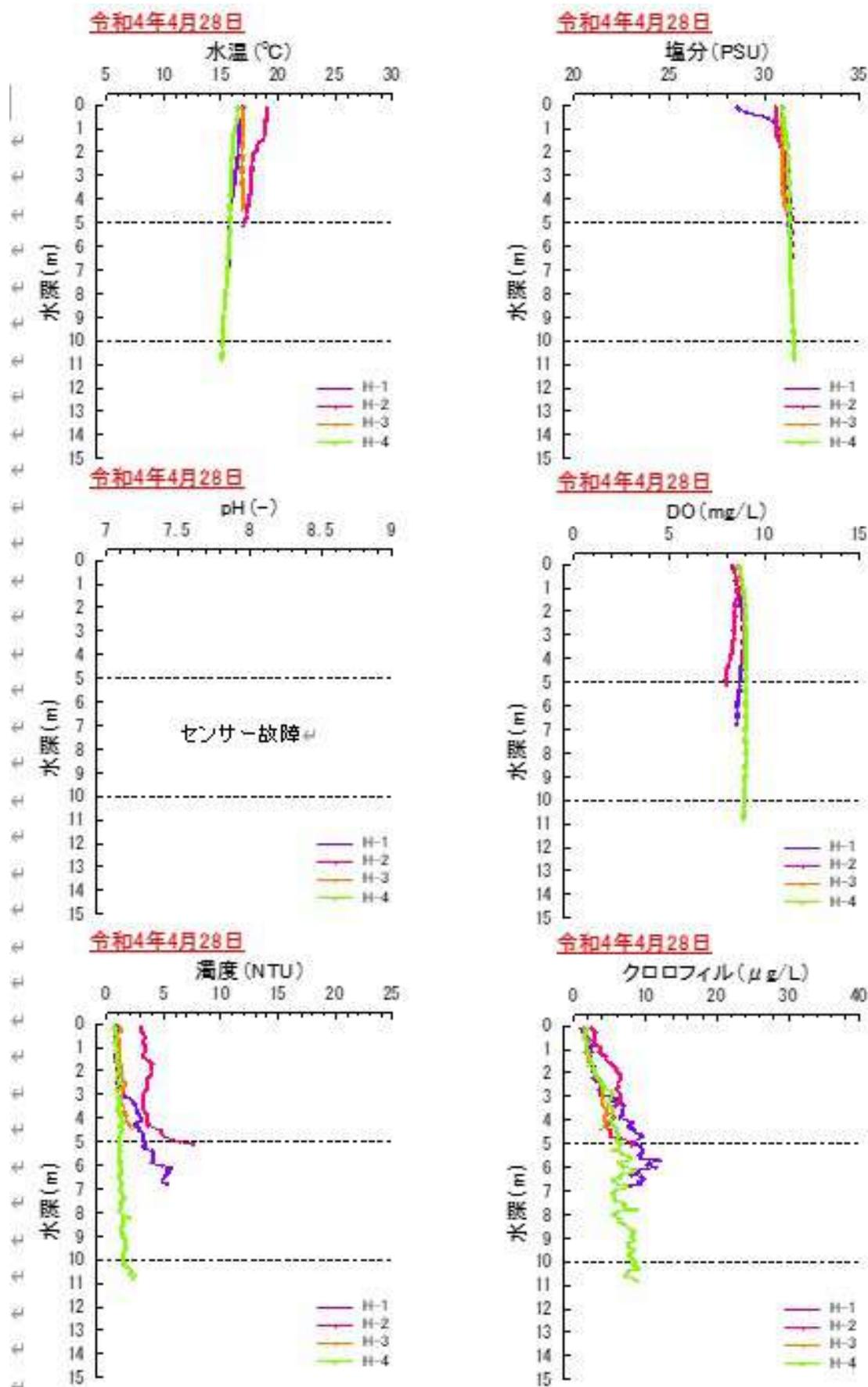


図 A.1.14 2022 年 4 月 28 日における 4 定点の鉛直プロファイル

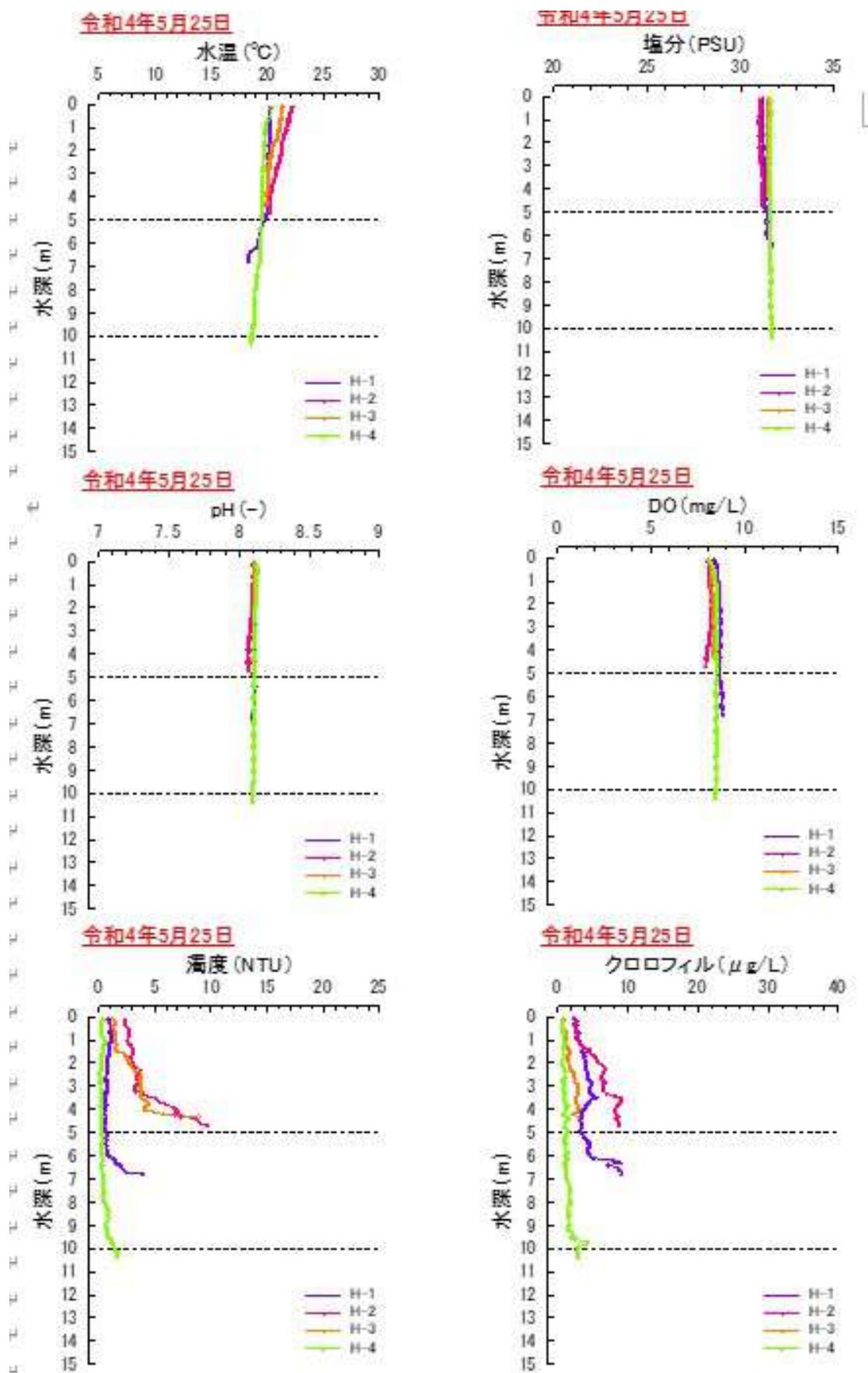


図 A.1.15 2022年5月25日における4定点の鉛直プロファイル

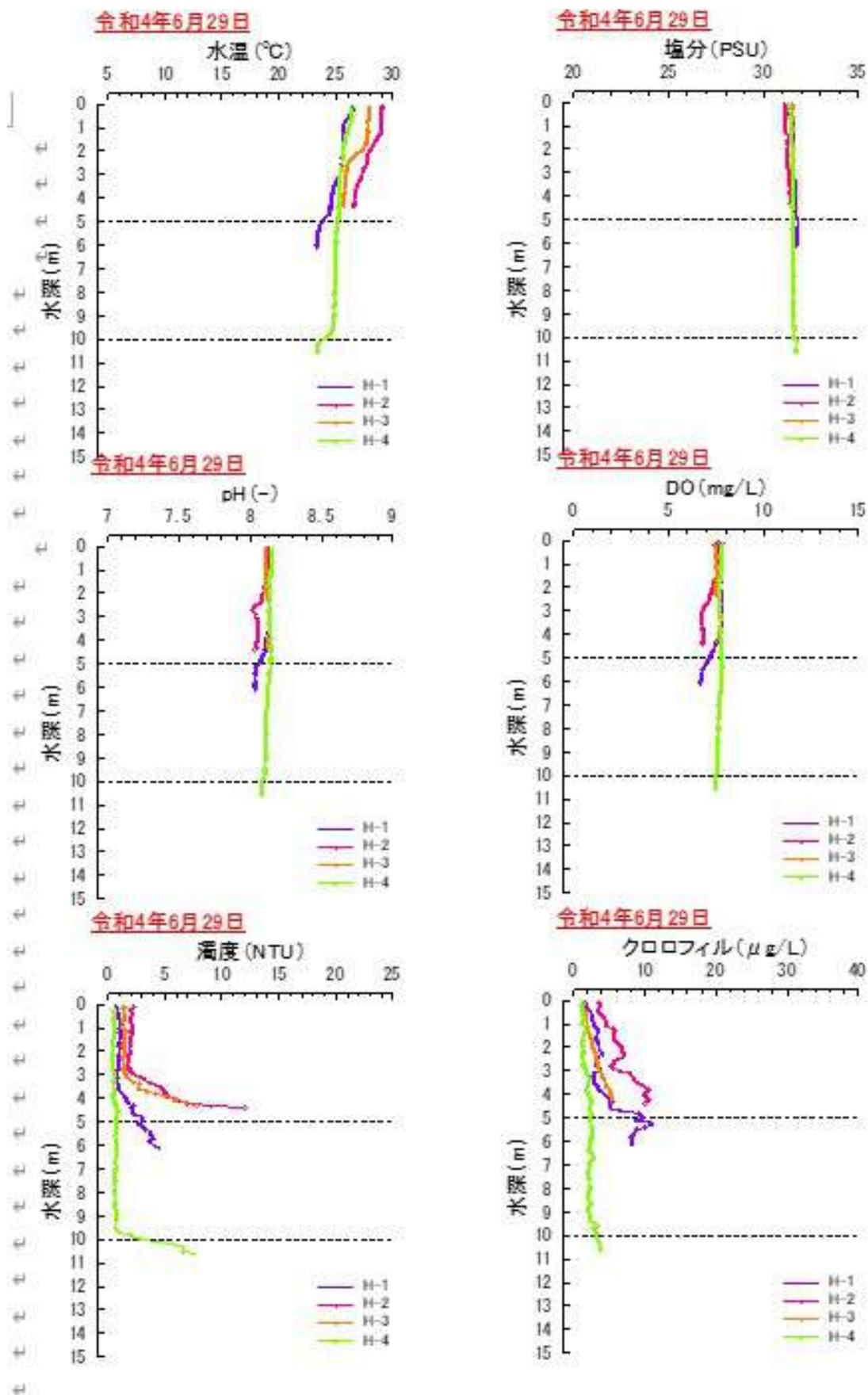


図 A.1.16 2022 年 6 月 29 日における 4 定点の鉛直プロファイル

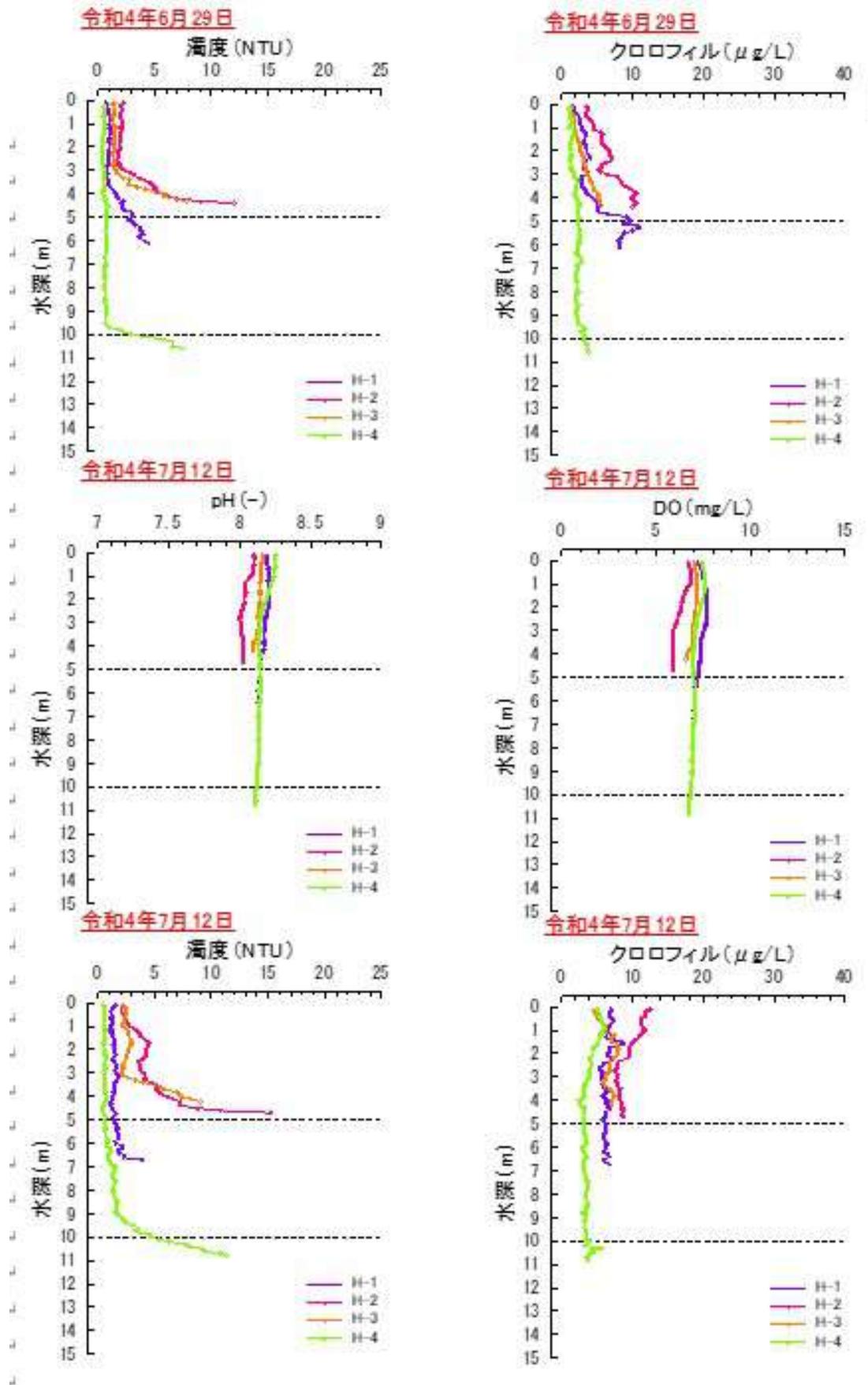


図 A.1.17 2022年7月12日における4定点の鉛直プロファイル

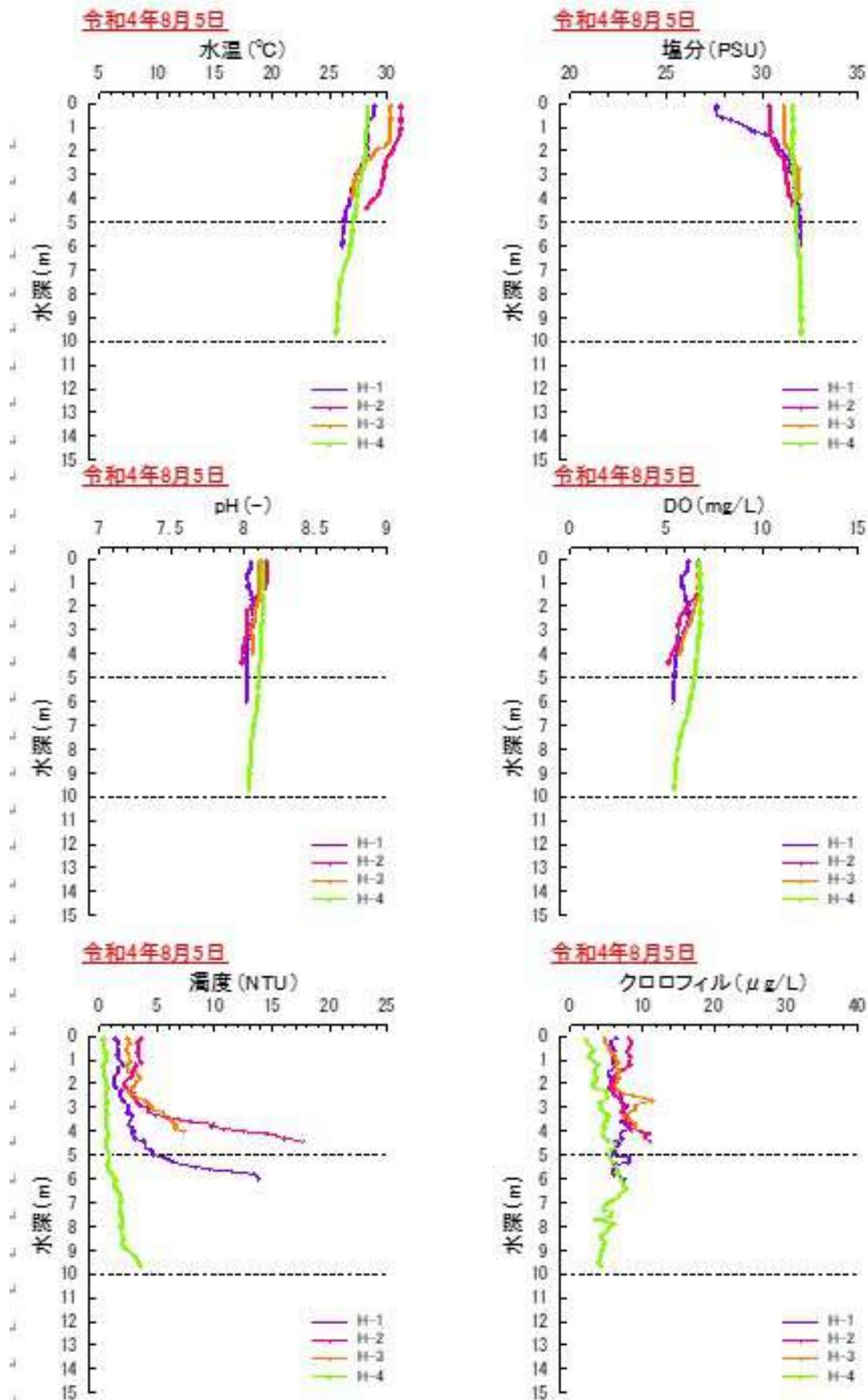


図 A.1.18 2022年8月5日における4定点の鉛直プロファイル

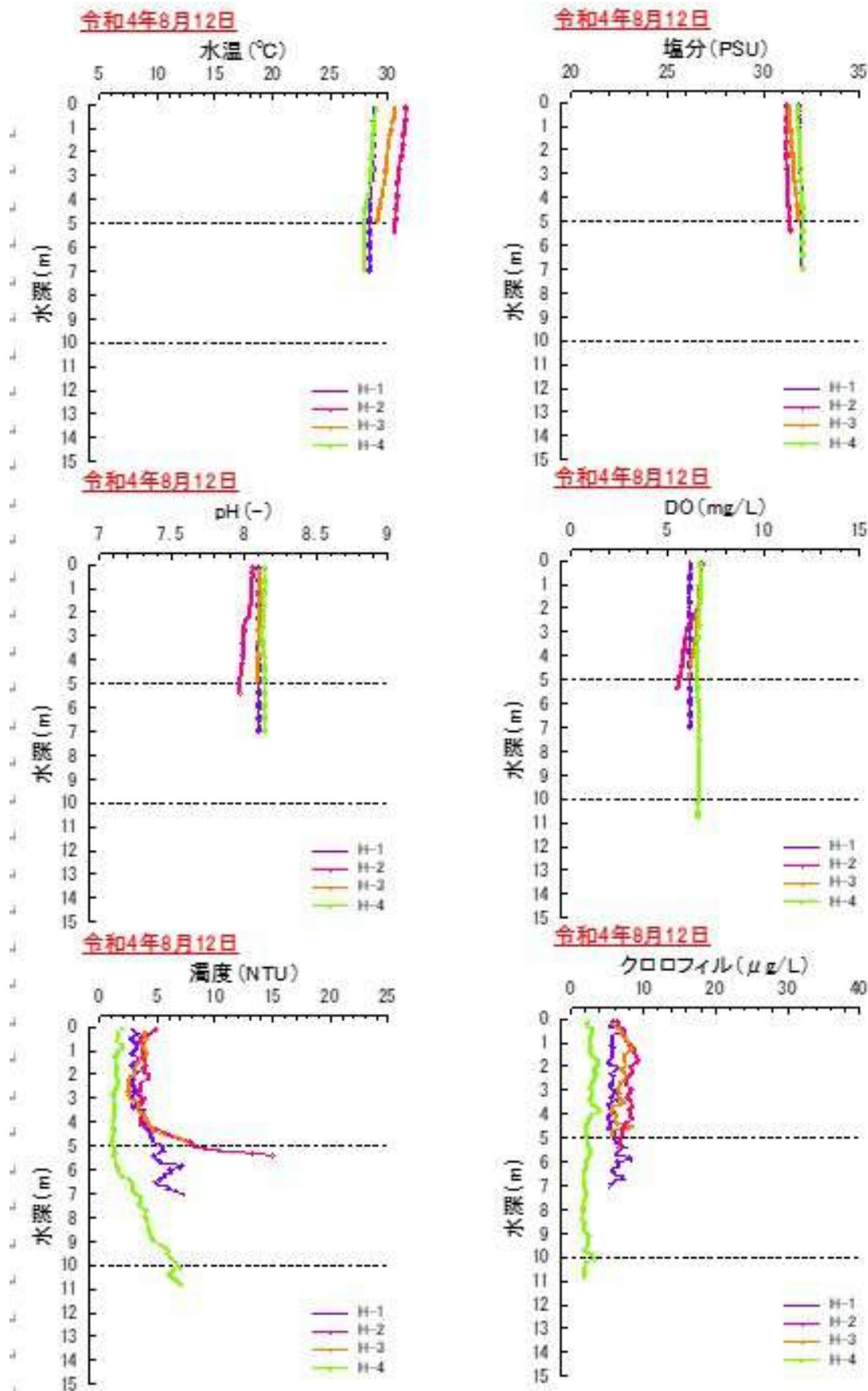


図 A.1.19 2022年8月12日における4定点の鉛直プロファイル

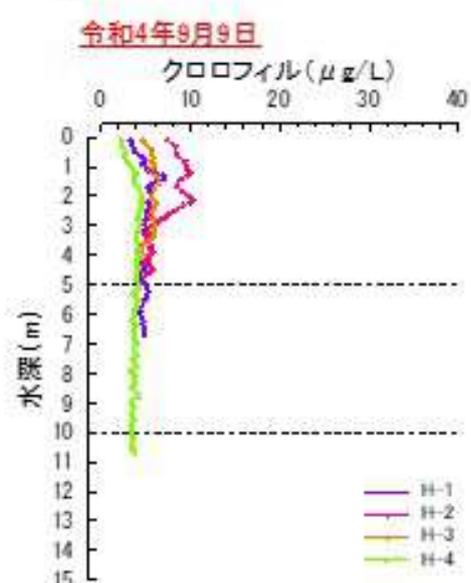
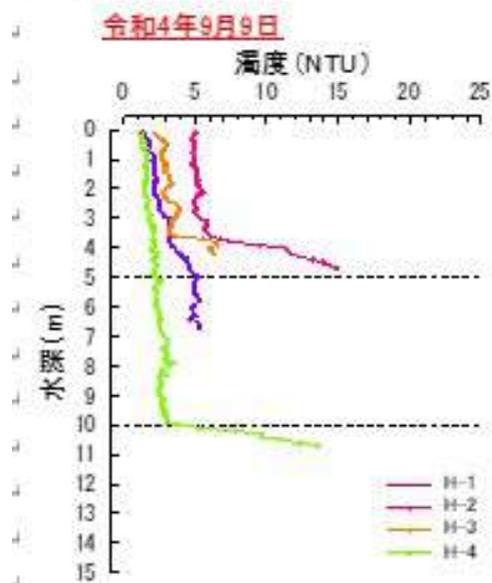
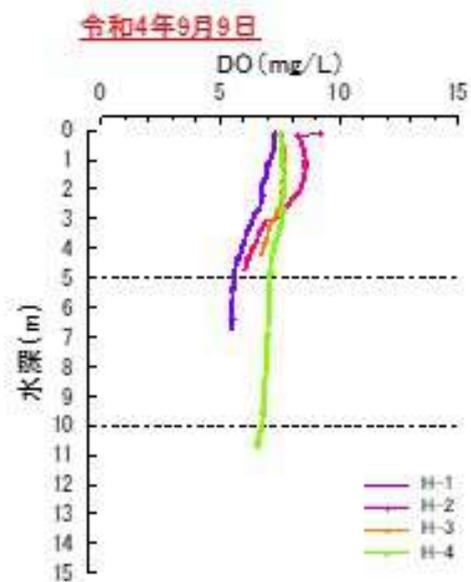
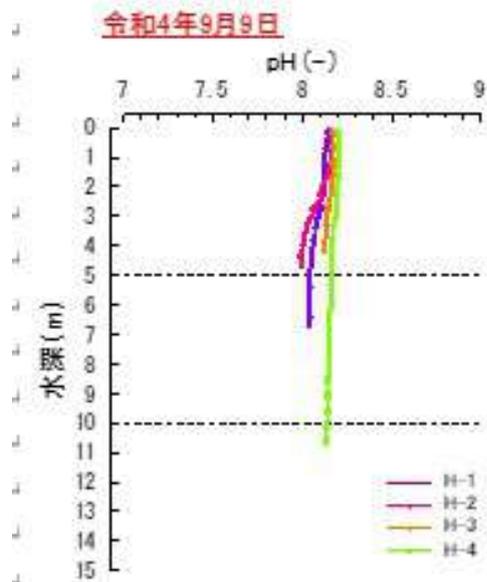
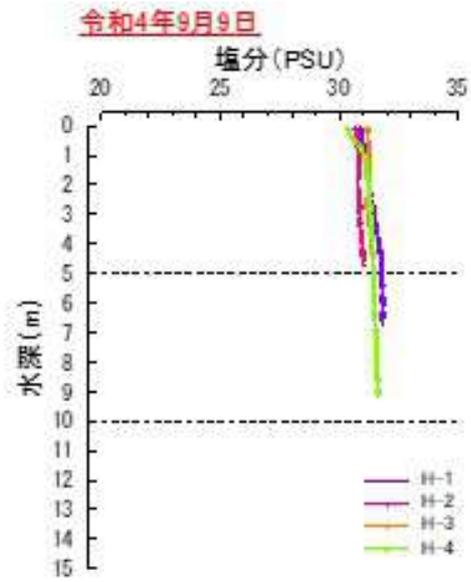
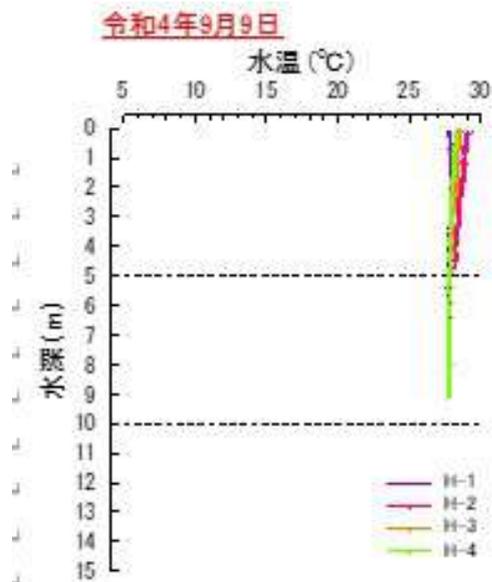


図 A.1.20 2022年9月9日における4定点の鉛直プロファイル

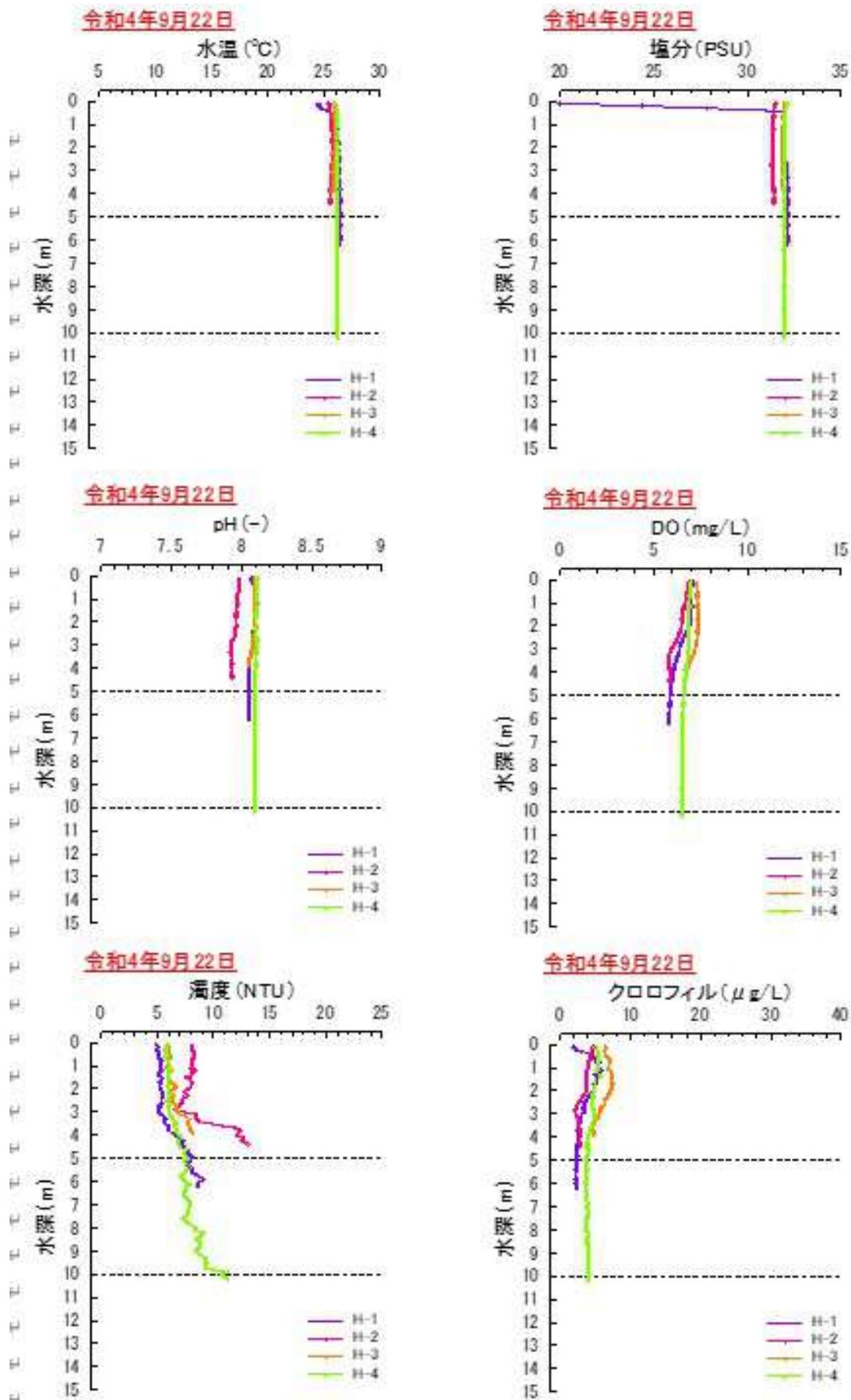


図 A.1.21 2022年9月22日における4定点の鉛直プロファイル

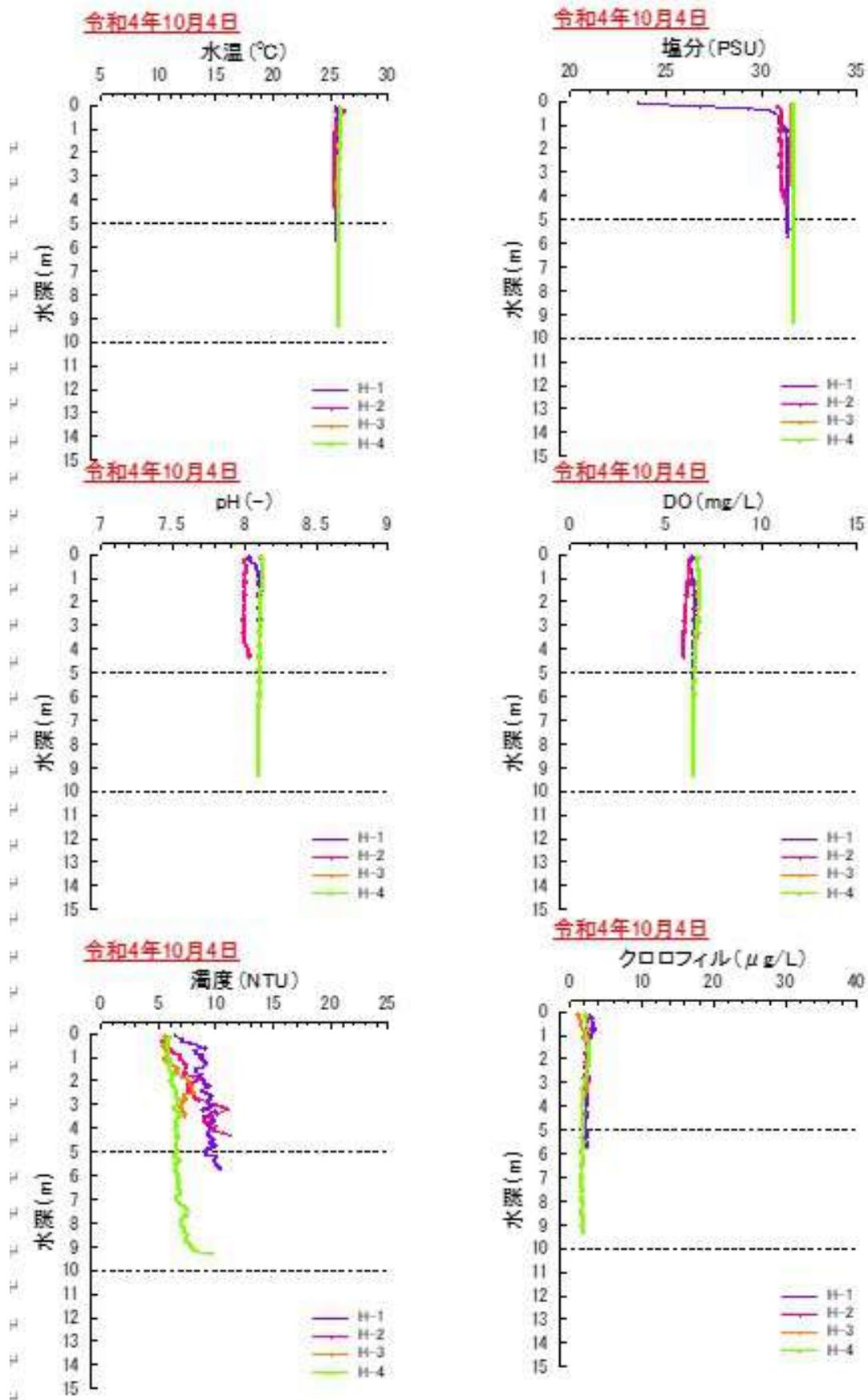


図 A.1.22 2022 年 10 月 4 日における 4 定点の鉛直プロファイル

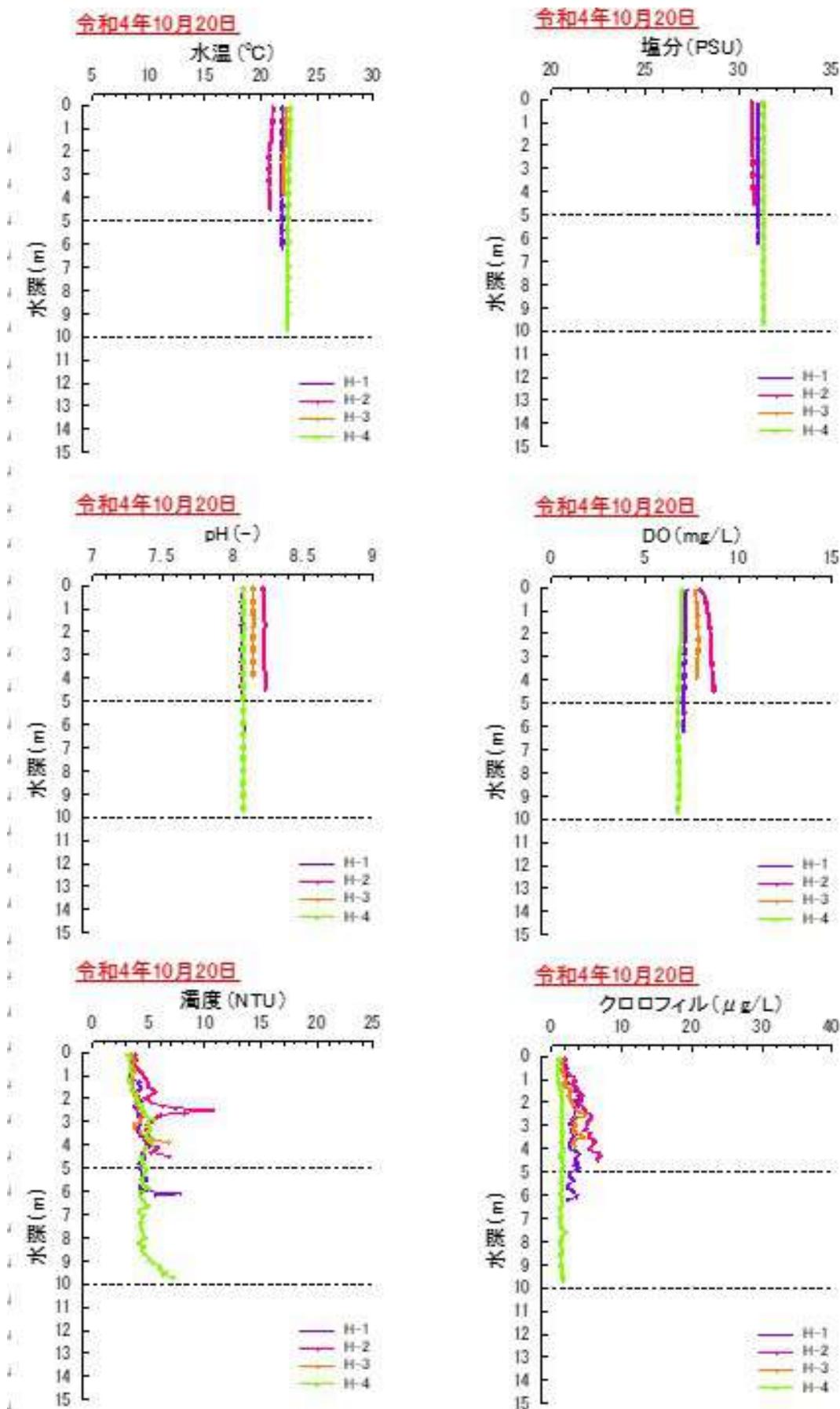


図 A.1.23 2022年10月20日における4定点の鉛直プロファイル

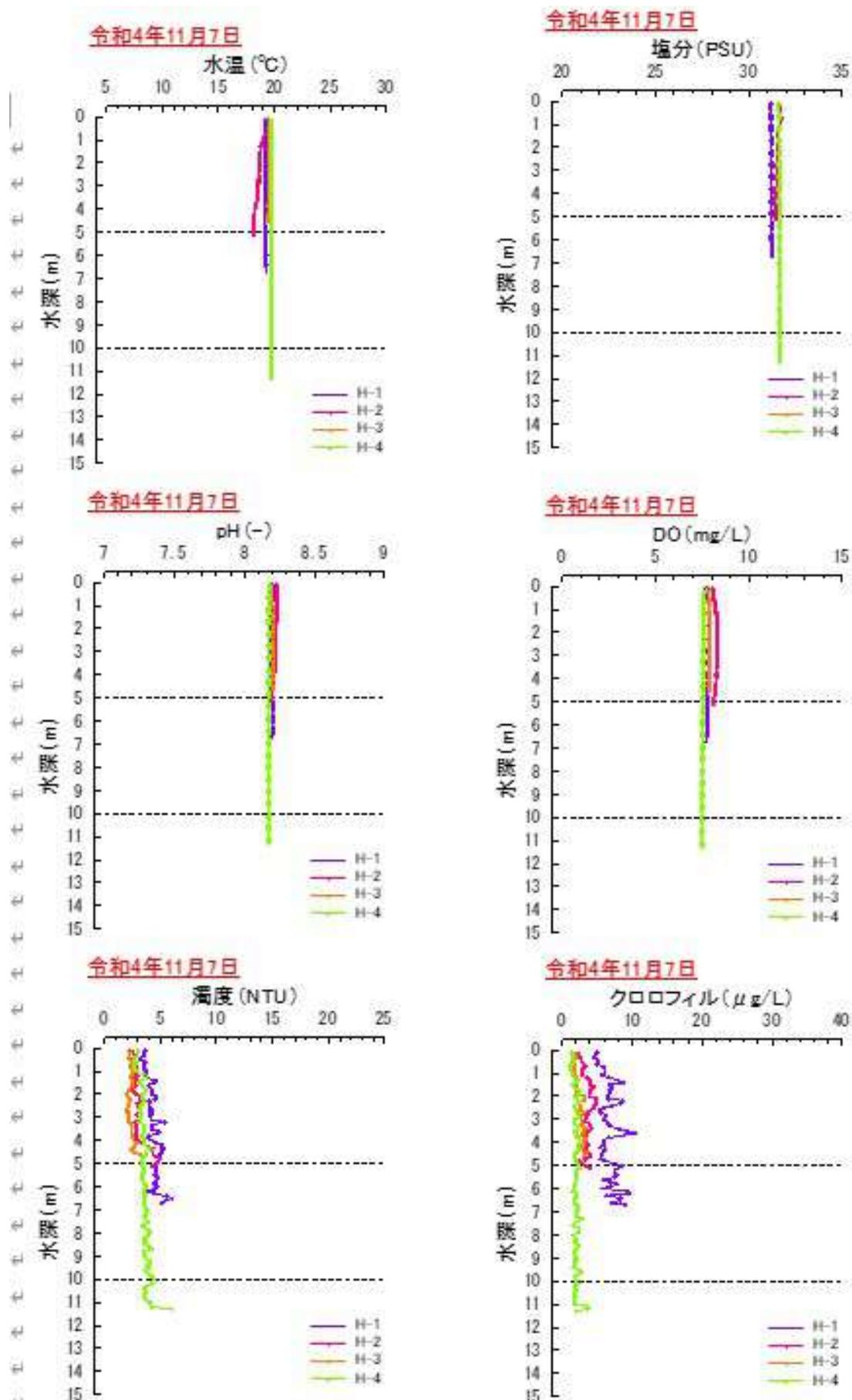


図 A.1.24 2022年11月7日における4定点の鉛直プロファイル

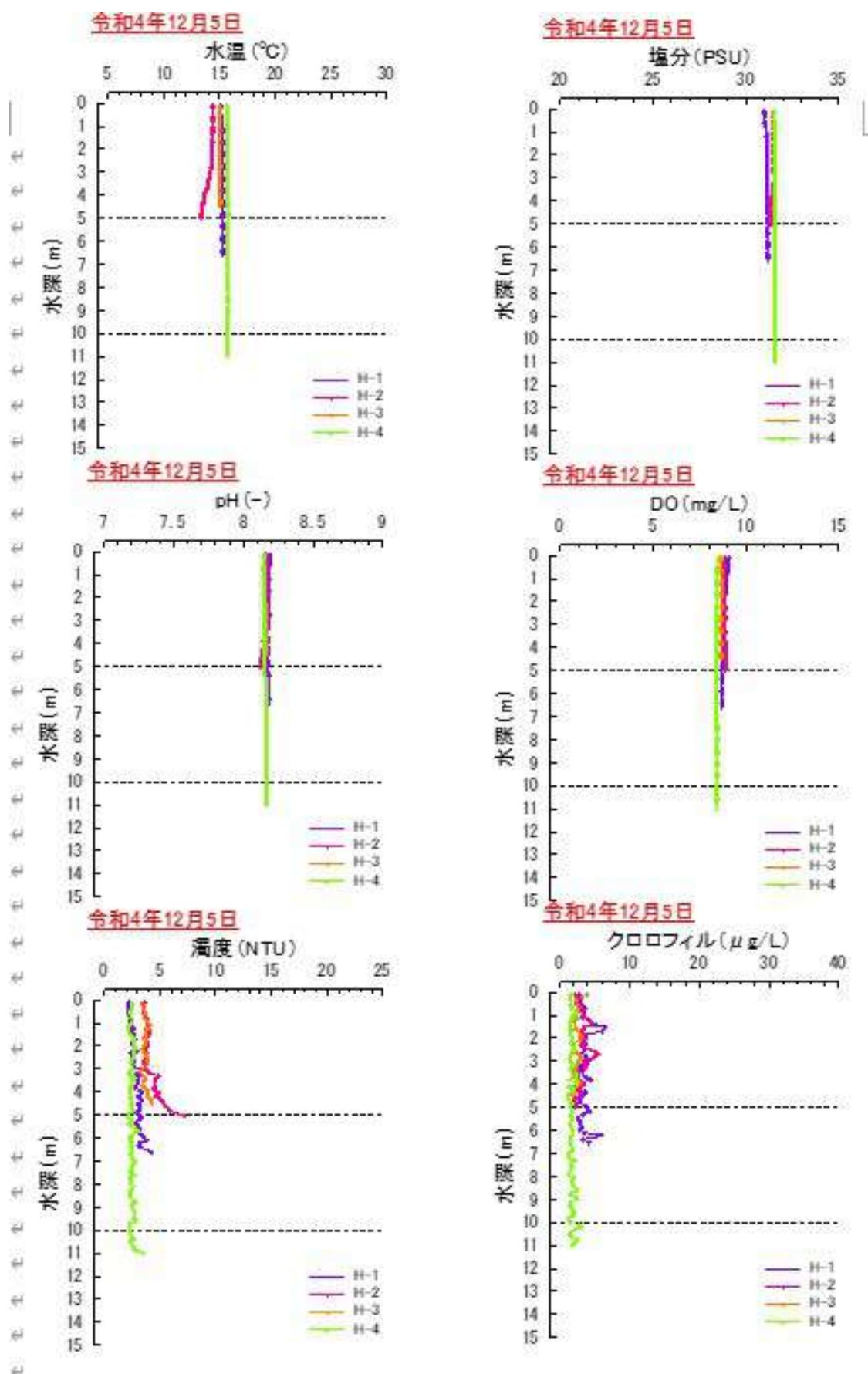


図 A.1.25 2022年12月5日における4定点の鉛直プロファイル

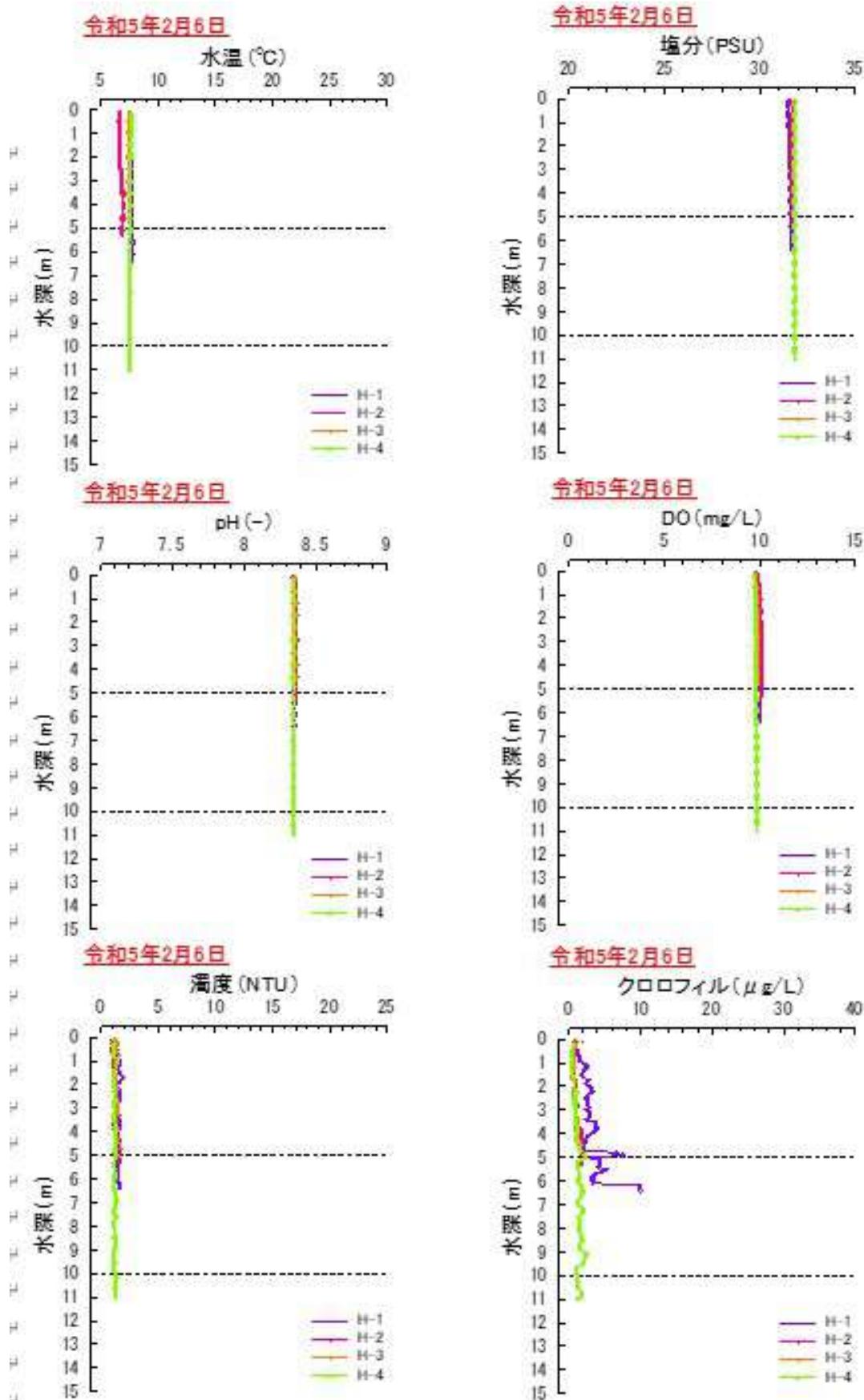


図 A.1.26 2023年2月6日における4定点の鉛直プロファイル

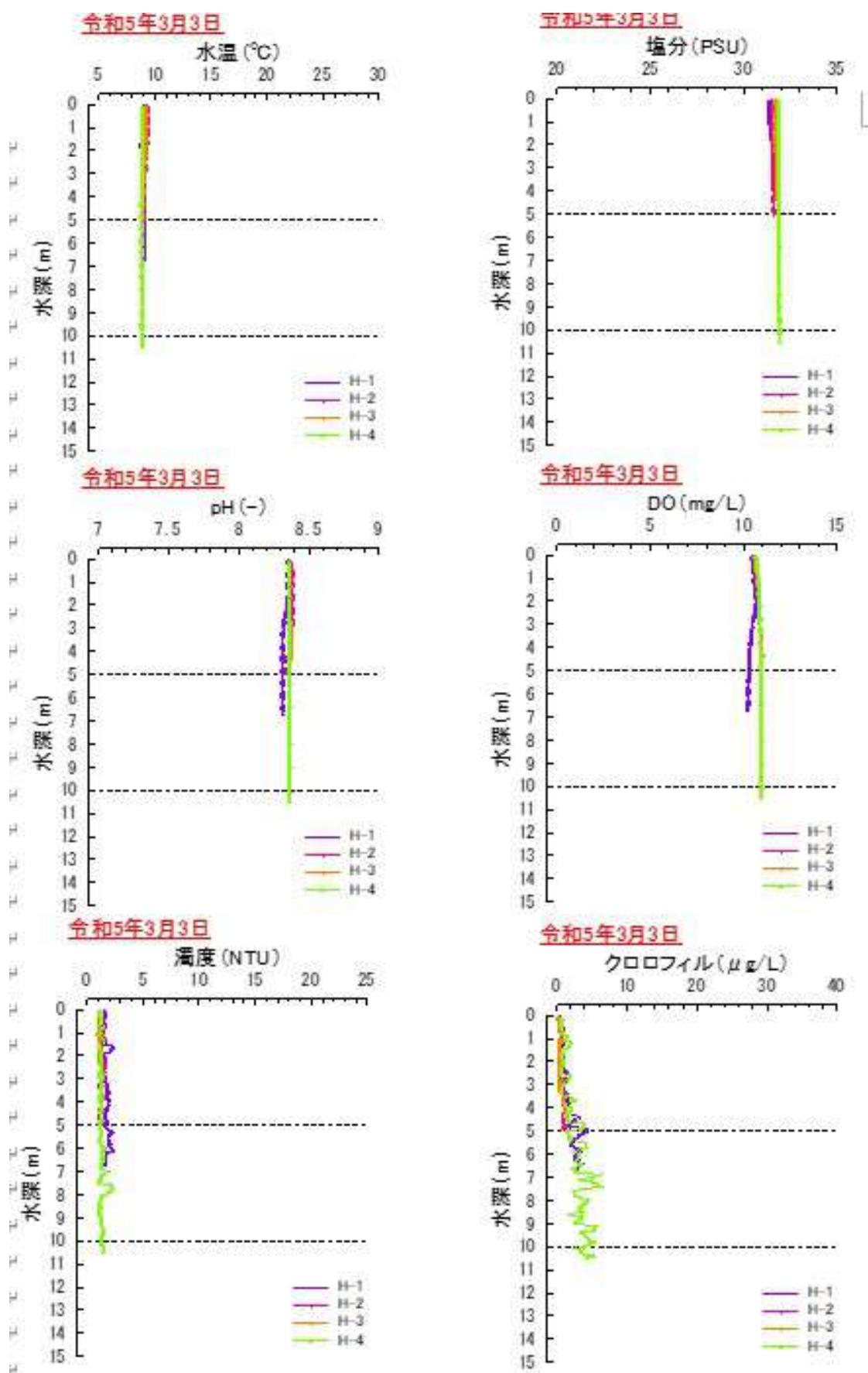


図 A.1.27 2023年3月3日における4定点の鉛直プロフィール

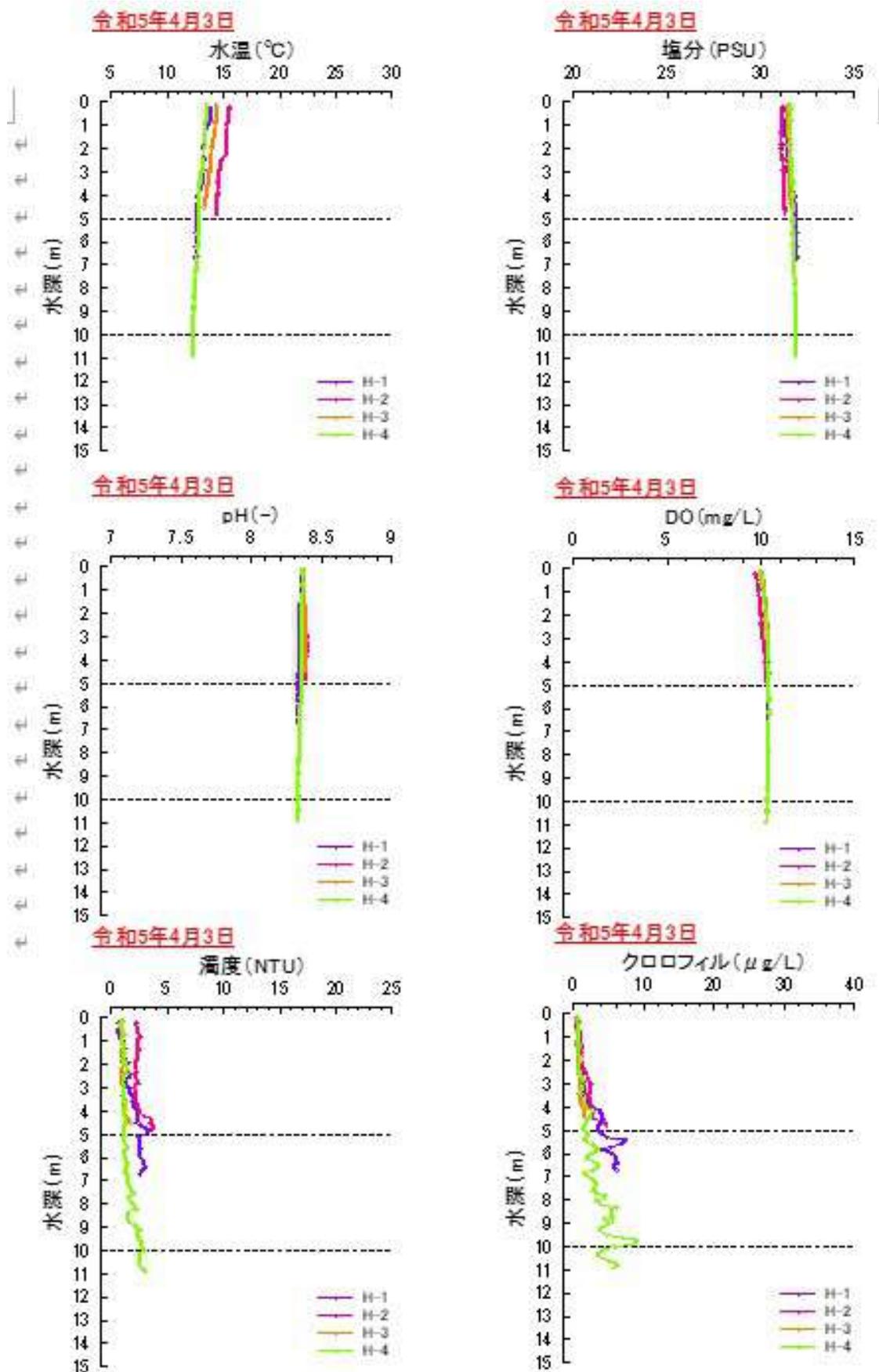


図 A.1.28 2023年4月3日における4定点の鉛直プロフィール

(3) 採水サンプルの分析結果

ア. 栄養塩類

〈NO₃-N+NO₂-N〉

NO₃-N+NO₂-N の表層の分析値は、地点 H-1 で 0.020～8.138 μ mol/L, 地点 H-2 で 0.022～4.308 μ mol/L, 地点 H-3 で 0.018～6.081 μ mol/L, 地点 H-4 で 0.001～7.062 μ mol/L であった。最低値は地点 H-4, 最高値は地点 H-1 で記録した。

NO₃-N+NO₂-N の底層の分析値は、地点 H-1 で 0.007～5.395 μ mol/L, 地点 H-2 で 0.032～4.145 μ mol/L, 地点 H-3 で 0.010～5.177 μ mol/L, 地点 H-4 で 0.002～7.165 μ mol/L であった。最低値と最高値は両方とも地点 H-4 で記録した。

〈NH₄-N〉

NH₄-N の表層の分析値は、地点 H-1 で 0.052～4.753 μ mol/L, 地点 H-2 で 0.040～5.851 μ mol/L, 地点 H-3 で 0.010～1.145 μ mol/L, 地点 H-4 で 0.010～0.783 μ mol/L であった。最低値は地点 H-3・4, 最高値は地点 H-2 で記録した。

NH₄-N の底層の分析値は、地点 H-1 で 0.056～3.592 μ mol/L, 地点 H-2 で 0.001～8.231 μ mol/L, 地点 H-3 で 0.019～1.198 μ mol/L, 地点 H-4 で 0.032～1.751 μ mol/L であった。最低値と最高値は両方とも地点 H-2 で記録した。

〈PO₄-P〉

PO₄-P の表層の分析値は、地点 H-1 で 0.029～0.756 μ mol/L, 地点 H-2 で 0.040～0.861 μ mol/L, 地点 H-3 で 0.039～0.632 μ mol/L, 地点 H-4 で 0.006～0.739 μ mol/L であった。最低値は地点 H-4, 最高値は地点 H-2 で記録した。

PO₄-P の底層の分析値は、地点 H-1 で 0.041～0.694 μ mol/L, 地点 H-2 で 0.063～1.043 μ mol/L, 地点 H-3 で 0.044～0.635 μ mol/L, 地点 H-4 で 0.076～0.739 μ mol/L であった。最低値は地点 H-1, 最高値は地点 H-2 で記録した。

〈SiO₂-Si〉

SiO₂-Si の表層の分析値は、地点 H-1 で 0.588～51.489 μ mol/L, 地点 H-2 で 0.044～56.592 μ mol/L, 地点 H-3 で 0.057～41.288 μ mol/L, 地点 H-4 で 0.010～25.941 μ mol/L であった。最低値は地点 H-4, 最高値は地点 H-2 で記録した。

SiO₂-Si の底層の分析値は、地点 H-1 で 0.740～36.295 μ mol/L, 地点 H-2 で 0.053～52.197 μ mol/L, 地点 H-3 で 0.039～32.245 μ mol/L, 地点 H-4 で 0.091～49.438 μ mol/L であった。最低値は地点 H-3, 最高値は地点 H-2 で記録した。

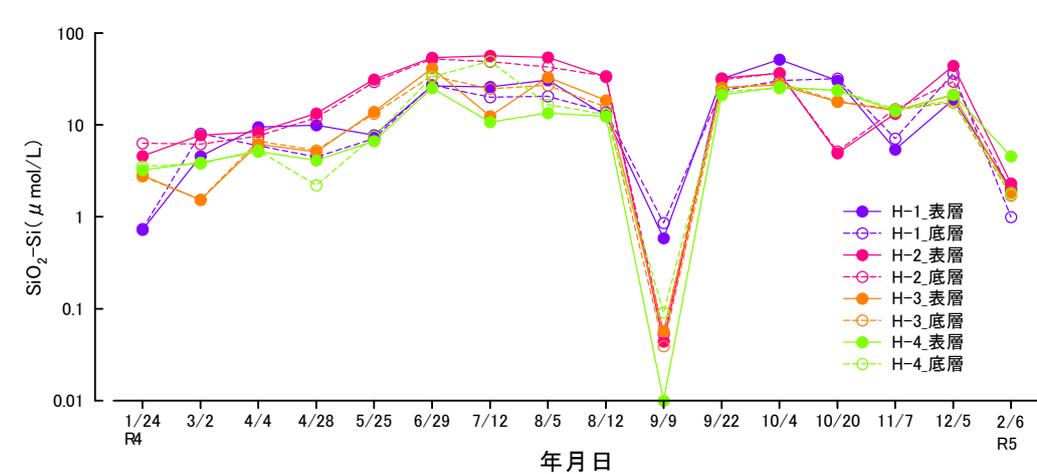
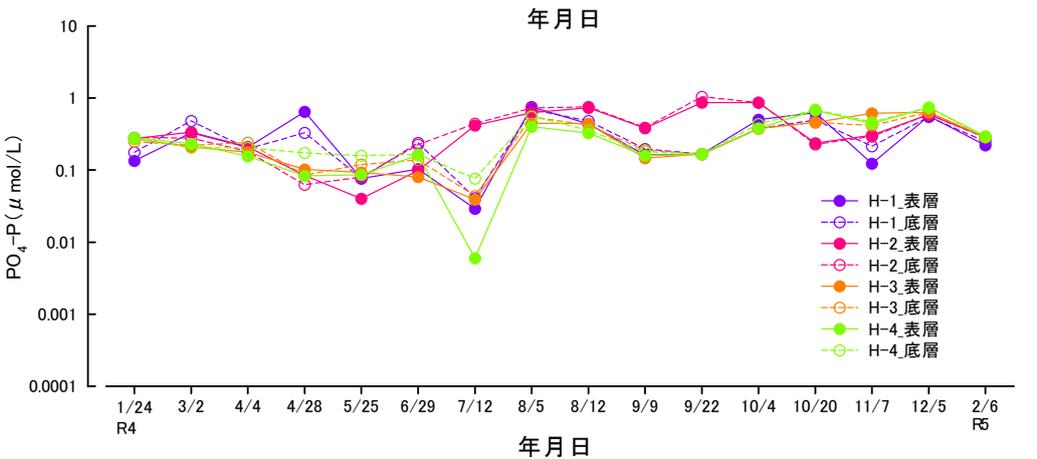
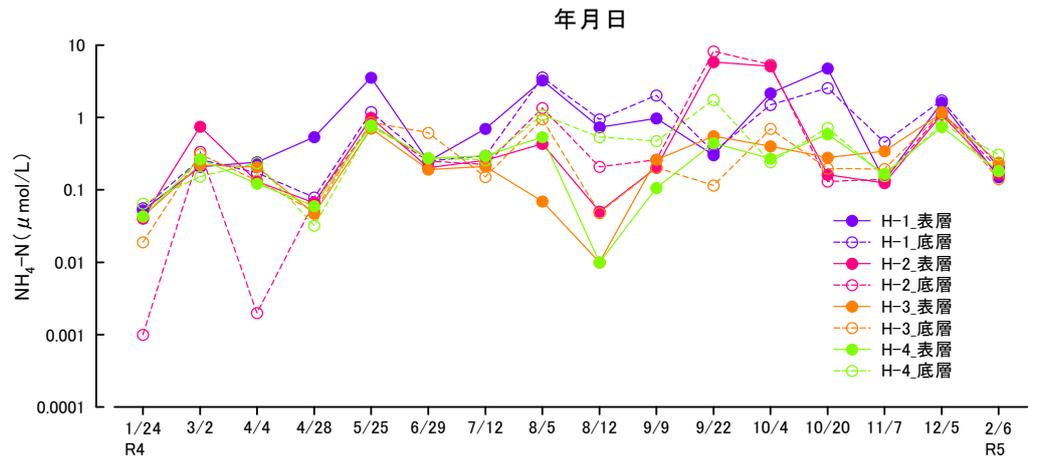
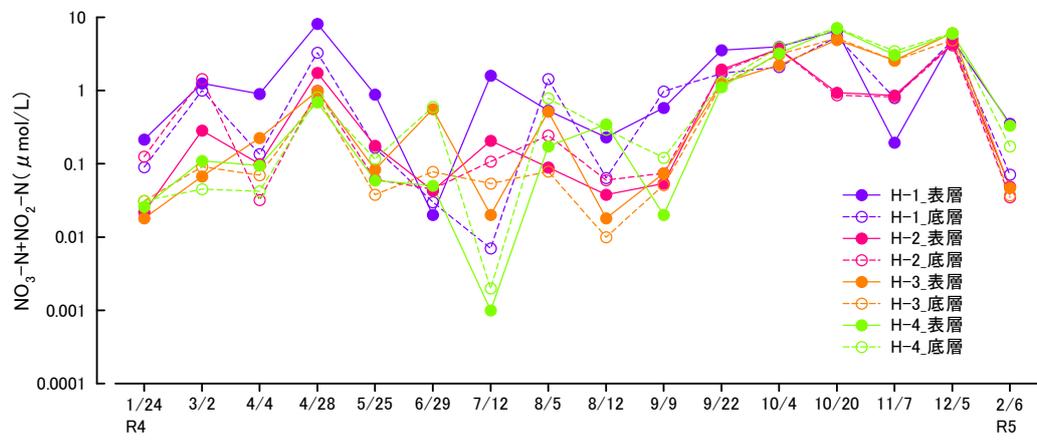


図 A.1.29 採水サンプルの採水層別の栄養塩類の分析結果

A.2 マガキ浮遊幼生の観測

(1) 観測方法

マガキの受精卵は、 50μ 内外の球形で、胞胚期になって卵膜を破って水中に出て浮遊生活を始め、トロコフォア幼生、ベリジャー幼生を経て、2～3日後には $70\sim 80\mu$ の大きさのD型幼生となる。カキ養殖漁家は、二枚貝類のラーバが多く出現する6月下旬～8月上旬にかけて、アンボ期幼生に生長した段階でホタテ板に付着させて天然種苗として養殖生産に供する。

岡山県備前市日生町地先16定点において、海洋酸性化の進行による二枚貝浮遊幼生の形態異常発生の有無を確認するため、2020年6～9月にかけて北原式プランクトンネットによってサンプルを採取し、光学顕微鏡により顕鏡し確認した。プランクトンネットはそれぞれの定点において海底まで降ろした後、垂直曳き1回で採集し、サンプルは海水とともにサンプル瓶に入れ中性ホルマリンで固定してから持ち帰り顕鏡観察に供した。形態異常発生の有無は、**図 A.2.2～4**の既往知見にある二枚貝幼生の形態異常の実例と目視観察により比較して確認した。

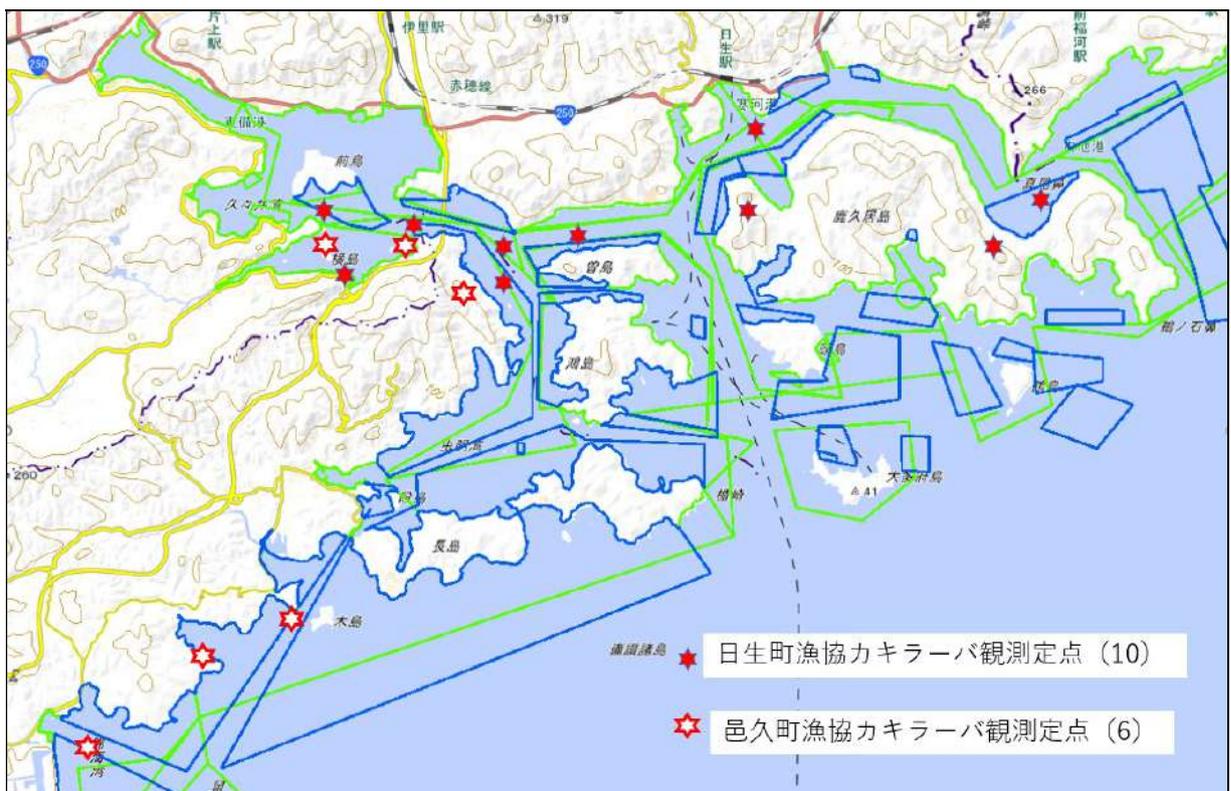


図 A.2.1 備前市日生町地先におけるマガキ浮遊幼生観測定点

(1) 観測結果

日生町漁協が地先海域 10 定点で 2022 年 7 月 4 日～同年 9 月 8 日にかけて 70 日間採水を行い計 608 検体(目合い 50 μ m)、西隣に位置する邑久町漁協が地先海域 6 定点で 2022 年 7 月 11 日～9 月 9 日にかけて 67 日間採水を行い 244 検体(目合い 100 μ m)について顕鏡観察したが、異常形態と思われる浮遊幼生は認められなかった。

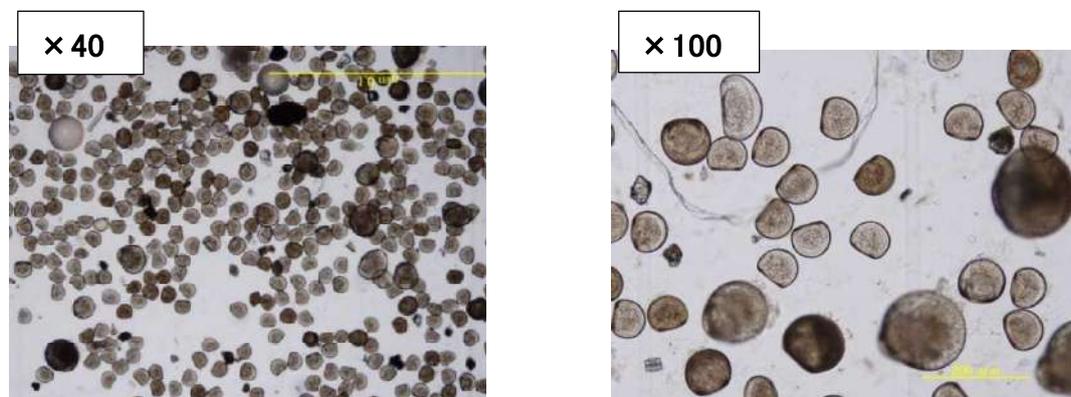
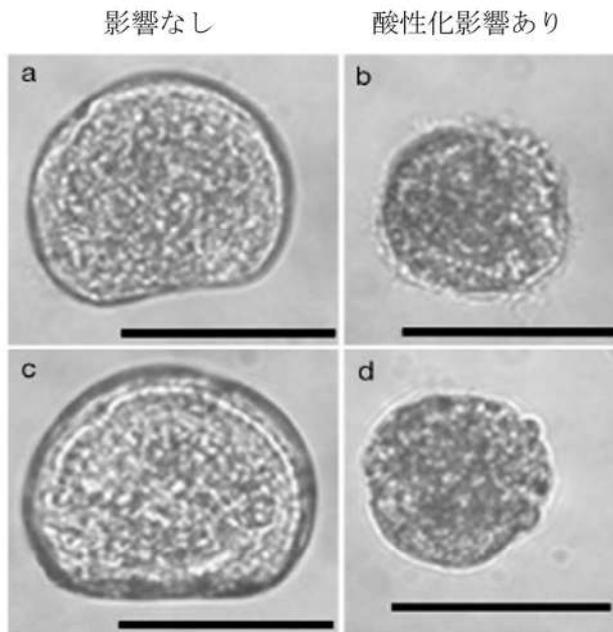


表 A.2.1 日生における 2022 年度マガキ浮遊幼生観測状況

実施機関	ネット目合い	観測定点数	観測期間	観測日数	検体数
日生町漁協	50 μ m	10	2023.7.4～9.8	70	608
邑久町漁協	100 μ m	6	2022.7.1～9.10	67	302
計	—	—	—	—	910

また、大雨のあった翌日 7 月 20 日 9:30 前後に、主要なマガキ採苗場である Stn.H-2 周辺において、北原式プランクトンネット(目合い 50 μ m)により任意の 20m ラインを 5 本曳いてマガキ浮遊幼生の採集を試み、持ち帰って顕微鏡観察したが、まったく視認されなかった。



ワシントン大学、Terrie Klingbein教授から提供された光学顕微鏡写真。右側のb, dが酸性化の影響を受けた幼生

詳細が不明であるが、スケールは、0.05-0.1 mmを表していると考えられる。

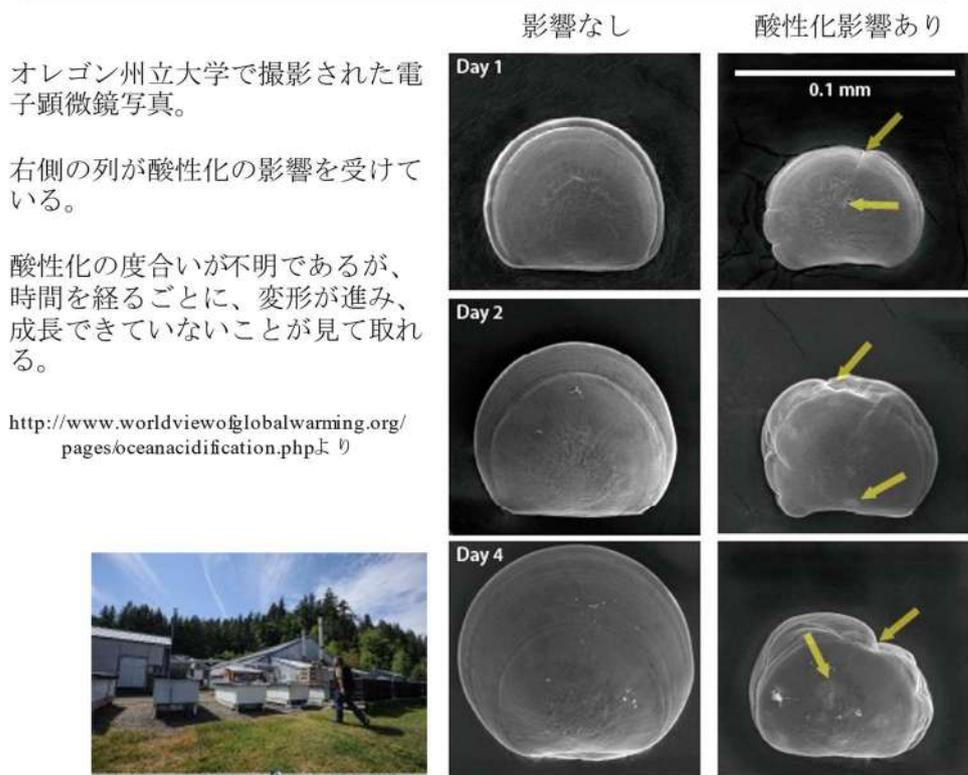


図 A.2.2 酸性化により影響を受けたカキ浮遊幼生の画像—その 1—



RESEARCH NOTE

A SIMPLIFICATION THE BIVALVE EMBRYOGENESIS AND
LARVAL DEVELOPMENT BIOASSAY METHOD FOR
WATER QUALITY ASSESSMENT

E. HIS*, M. N. L. SEAMAN* and R. BEIRAS

IFREMER, Quai du Commandant Silhouette, 33120 Arcachon, France and *Institut für Meereskunde,
24105 Kiel, Germany

(First received February 1995; accepted in revised form July 1996)

His et.al 1997に示されたカキの幼生の変形形態

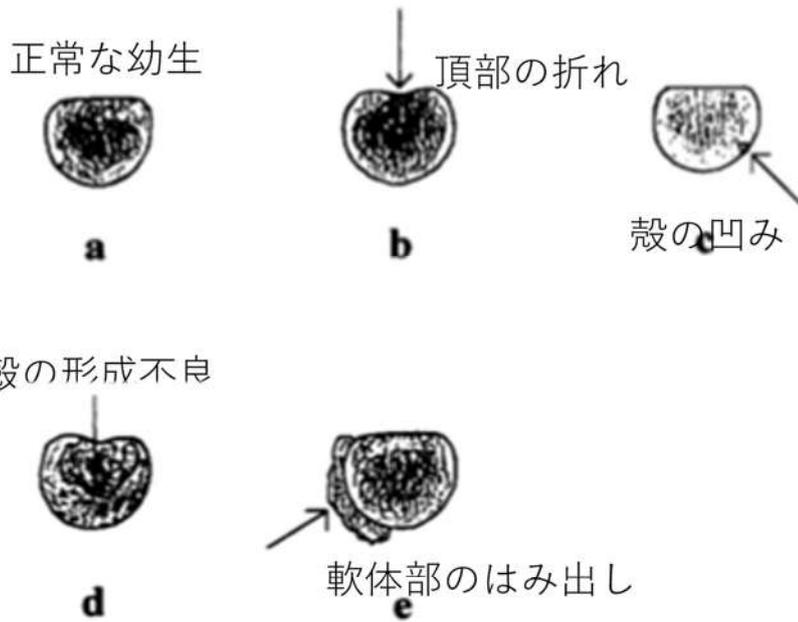


Fig. 1. The different abnormalities observed in D-larvae of oysters, *Crassostrea gigas*: (a) normal larva; (b) convex hinge; (c) indented shell margin; (d) incomplete shell; (e) protruding mantle.

図 A.2.3 酸性化により影響を受けたカキ浮遊幼生の画像—その 2—

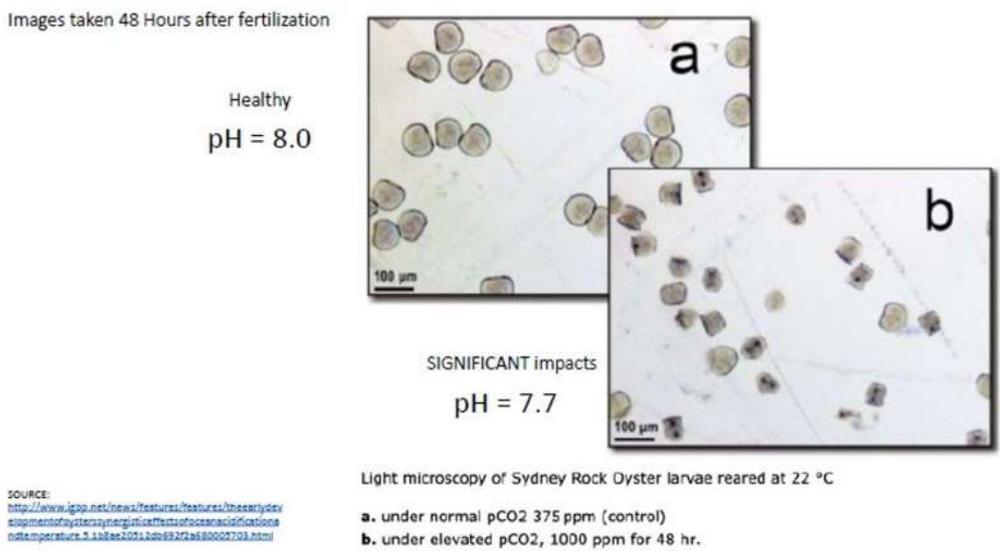
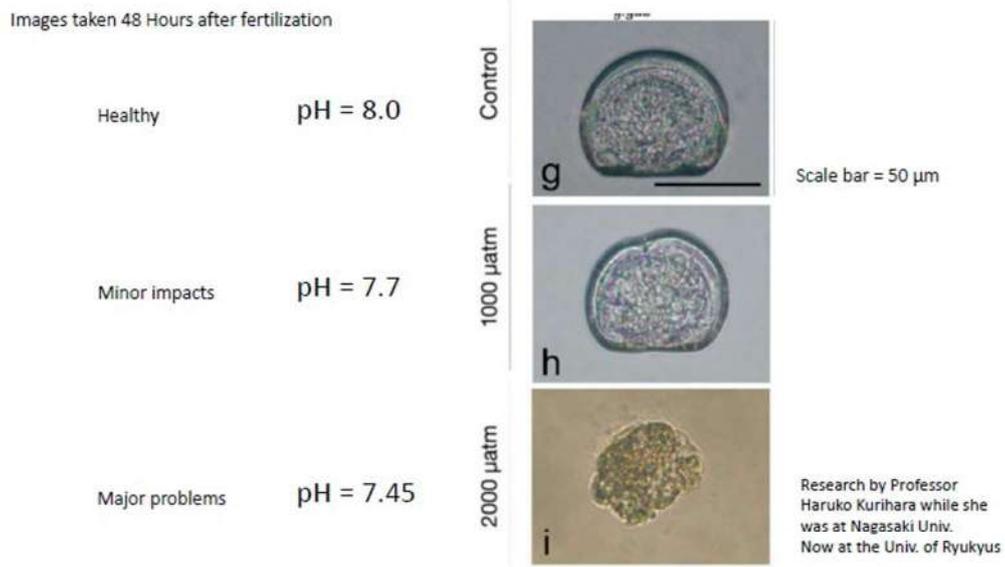


図 A.2.4 酸性化により影響を受けたカキ浮遊幼生の画像—その 3—

A.3 日生におけるアマモ場分布および現存量調査

A.3.1 日生におけるアマモ場分布状況

(1) 調査方法

衛星画像を用いた画像解析技術による藻場分布図の作成

衛星画像解析技術を活用した藻場分布調査については、従来の手法と比較して、低コストで実施できる利点がある。衛星画像を用いた手法では、藻場・アマモ場の分布を正確に把握することができる。また、解像度 50cm 程度の高解像度衛星画像を使用することで、より詳細な情報を得ることができる。

全国の海区を対象に、解析結果に基づき、当該海区の藻場に関する知見（既往文献、過去の基礎調査の結果、有識者へのヒアリング結果）等を参考に、技術者の判読を加えて藻場の分布域を抽出し GIS データとして整備している。ただし、これらのデータは 2018～2020 年の調査状況から作成されたものであり、リアルタイム性が低い上に、その繁茂範囲は実範囲より広範となっている。

使用する衛星画像について

衛星画像による観測では、QuickBird や IKONOS などの高分解能衛星が藻場分布域あるいはサンゴ礁域の観測にも広く利用され、大きな成果を上げている。表 1 に示されるように、人工衛星は様々な種類のものがあげられる。WorldView-2 衛星は、最新の観測センサを搭載した衛星であることから、QuickBird や IKONOS などの衛星にない新たな波長帯を含み、8 バンドによる多波長観測が実現されている。この衛星では、従来利用されていた可視から近赤外域の4つの観測チャンネルに加えて、Coastal バンドと呼ばれる 400-450nm 波長帯の観測チャンネルなどが加えられ、8バンドでの観測機能を持つようになっており、多チャンネル観測による新たな成果が期待されている。

図 1 に使用した撮影範囲および撮影時期を示し、図 2 に実際の撮影画像（背景は国土地理院発行の基盤情報地図）を示す。

人工衛星画像による藻場分布図の作成

本業務では図 3 の手順に沿って藻場分布図を作成した。以下、実際の手順に沿って解説する。

① 画像選定・取得

前述の通り、WorldView2 より撮影された画像を使用した。なお、本画像は幾何補正済みの製品を取得し、基盤地図情報の海岸線データ等を参考に位置ずれの補正を行った。

② マスク処理

基盤地図情報の水域データを使用し、本業務にて対象となる水域をクリップすることにより、陸域等のマスクを行った。なお、陸域に関して近赤外線画像を使用し水陸判定を行う手法もあるが、本業務では行っていない。

③ 放射量補正

衛星画像から海底特性の情報を得るために、Lyzenga(1981)が提唱した水柱放射量補正手法により水深の影響を除き、底質指標 BI(BottomIndex)を算出した。BI は、以下の式で表すことができる。

$$BI_{i,j} = \ln(L_i - L_{deep,i}) - K_{ij} \ln(L_j - L_{deep,j})$$

L_i : バンド i の放射輝度値

$L_{deep,i}$: バンド i の水深が大きく最も暗いピクセルにおける放射輝度値

K_{ij} : バンド i と j の消散係数比

画像ピクセルのデジタル値を、各バンド固有の係数で乗じることにより放射輝度値 (L_i) に変換する。

- i. 水深が十分に深く画像内の最も暗いピクセル値 ($L_{deep,i}$) を大気ノイズ成分として差し引く暗画素法により大気補正を行い、自然対数値 ($\ln(L_i - L_{deep,i})$) にする。
- ii. 底質が同じで水深が異なるピクセルの自然対数値の 2 バンドの散布図から、回帰直線の傾きである水柱消散係数比 (K_{ij}) が算出される。
- iii. 上記の式に代入することにより、 $BI_{i,j}$ を算出する。

④ 補正画像 (BI 分布図) の作成

前述の放射量補正により求められた BI 値を基に分布図を作成する。表 3 に算出した BI 分布図を示す。なお、本業務では、回帰精度が比較的高かった Green バンドと Yellow バンドを採用した。

⑤ 画像分類

現地で実測した調査データをもとにトレーニングデータを作成し、画像分類を行う。調査データはポリゴンデータにし、その領域に当てはまる補正画像のピクセル値を抽出し、トレーニングデータとしている。補正画像と調査データを重ね合わせた図を図 4 に示す。なお、トレーニングデータは 6px/枚とし、396 枚のデータを取得した。

これらのトレーニングデータを使ってディープラーニングにより全体画像の各ピクセル値の分類を行う。

⑥ 藻場分布図作成

前述の画像分類手法により、藻場分布作成を行った。(図 5 参照) 各ポリゴンに分類クラスが付与されているため、藻場と判断されないクラスを削除後、さらに、藻場に明るい専門技術者による衛星画像、底質指標画像の目視判読を行って藻場以外の不要なポリゴンを個々に削除する必要がある。

表 1—主な衛星データの仕様

衛星	センサ	バンド		空間分解能	観測幅	観測頻度	運用期間	運用国	備考
		観測波長	数						
ALOS-2	PALSAR-2	合成開口レーダ(L)	1	1~100 m	25~490 km	14日	JAXA	日本	フル偏波観測が可能
ASDARO-1	OPS	パンクロ	1	0.5 m	10 km	3日~	パソコ	日本	
		可視-近赤外	6	2 m					
ASDARO-2	X SAR	合成開口レーダ(X)	1	1~16 m	10~50 km	1日(緊急時日本域)	NEC(NEDO/METI)	日本	2偏波(HH/VV)
GCOM-C	SGLI-VNR	可視・近赤外	13	250~1000 m	1150 km	2~3日	JAXA	日本	SGLI-VNRは偏波観測も含む
		短波長赤外・熱赤外	6	250~1000 m	1400 km				
GCOM-W	AMSR2	マイクロ波放射計	6	5~50 km	1450 km		JAXA	日本	
GOSAT	TANSO-FTS	近赤外-熱赤外	4	瞬時視野角約10.5 km	約160 km	3日	NIES, JAXA, MOE	日本	温室効果ガスの観測
		可視-短波長赤外	4	0.5~1.5 km	約1000 km				
GOSAT-2	TANSO-FTS-2	近赤外-熱赤外	5	瞬時視野角約9.7 km	約160 km	6日	NIES, JAXA, MOE	日本	温室効果ガスの観測
		可視-短波長赤外	10	0.46~0.92 km	約1000 km				
Himawari-8	AHI	可視-熱赤外	16	500~5000 m	60 km	10分~	JMA	日本	静止衛星
Terra	ASTER	可視近赤外	3	15 m	60 km	16日	METI	日本	
		短波長赤外	6	30 m					
		熱赤外	5	90 m					
		可視-熱赤外	36	250~1000 m					
TRMM	PR	降水レーダ	1	4.3 km	2230 km	2~9日	JAXA	日本	
Aqua	MODIS	可視-熱赤外	36	250~1000 m	215 km		NASA	アメリカ	
GeoEye-1	GIS	パンクロ	1	0.41 m	2230 km	2~9日	Maxar	アメリカ	
		可視-近赤外	4	1.64 m	15.2 km				
GPM	GMI	マイクロ波放射計	8	周波数に依存	885 km		NASA	アメリカ	
		DPR	二周波降水レーダ	2	5 km	125~245 km		JAXA	日本
QuickBird	BGIS-2000	パンクロ	1	0.65 m	16.8 km	3.5日以下	Maxar	アメリカ	
		可視-近赤外	4	2.62 m					
WorldView-2	WV110	パンクロ	1	0.46 m	16.4 km	3.7日以下	Maxar	アメリカ	
		可視-近赤外	8	1.84 m					
WorldView-3	WV110	パンクロ	1	0.31 m	13.1 km	4.5日以下	Maxar	アメリカ	
		可視-近赤外	8	1.24 m					
		短波長赤外	8	3.70 m					
Dove		可視-近赤外	4	3.7 m	24 km		Planet Labs	アメリカ	
NOAA	AMSU	マイクロ波放射計	20	周波数に依存	1650 km	1日	NOAA, U KSA	アメリカ、英国	
Rapid Eye	REIS	可視-近赤外	5	6.5 m	77 km		Planet Labs	アメリカ	
SkySat-1~15	SkySat	パンクロ	1	0.72 m	6.6 km	5.5日以下	Planet Labs	アメリカ	
		可視-近赤外	4	1.0 m					
Landsat-1	MSS	可視-近赤外	4	80 m	185 km	4~5日	Planet Labs	アメリカ	
Landsat-2	MSS	可視-近赤外	4	80 m	185 km	16日	USGS, NASA	アメリカ	
Landsat-3	MSS	可視-近赤外	4	80 m	185 km	16日	USGS, NASA	アメリカ	
Landsat-4	MSS	可視-近赤外	4	80 m	185 km	16日	USGS, NASA	アメリカ	
		TM	可視-熱赤外	7					
Landsat-5	MSS	可視-近赤外	4	80 m	185 km	16日	USGS, NASA	アメリカ	
		TM	可視-熱赤外	7					
Landsat-6	ETM	パンクロ	1	15 m	185 km	16日	USGS, NASA	アメリカ	
		可視-熱赤外	7	30~120 m					
Landsat-7	ETM +	パンクロ	1	15 m	185 km	16日	USGS, NASA	アメリカ	
		可視-熱赤外	7	30~60 m					
Landsat-8	OLI	パンクロ	1	15 m	185 km	16日	USGS, NASA	アメリカ	
		可視-短波長赤外	8	30 m					
		TIRS	熱赤外	2					
Pleiades-1A/1B	HIRI	パンクロ	1	0.5 m	20 km	1日以上	CNES	ヨーロッパ	
		可視-近赤外	4	2.0 m					
Sentinel-1A/1B	SAR-C	合成開口レーダ(C)	1	4x5~25x80 m2	80~400 km	観測モードに依存	ESA, EC	ヨーロッパ	2偏波観測が可能
Sentinel-2A' 2B	MSI	可視-短波長赤外	13	10~60 m	290 km	10日	ESA, EC	ヨーロッパ	
SPOT-6	NAOMI	パンクロ	1	1.5 m	60 km	3日以下	Airbus DS	フランス	
		可視-近赤外	4	6 m					
SPOT-7	NAOMI	パンクロ	1	1.5 m	60 km	3日以下	Airbus DS	フランス	
		可視-近赤外	4	6 m					
ICEYE X4/X5		合成開口レーダ(X)	1	3 m	5x5 km2	1日	"C EYE	フィンランド	

表 2—本業務に使用した衛星画像の仕様

衛星名称	WorldView-2
分解能	パンクロ 0.46m マルチスペクトル 1.84m
観測波長帯	Coastal400-450nm Blue450-510nm Green510-580nm Yellow585-625nm Red630-690nm RedEdge705-745nm NIR1 770-895nm NIR2 860-1,040nm
運用	2010 年～
単価	5,800 円/k㎡



図 1—撮影範囲および撮影時期

表 3—BI 分布図の比較



図 2—使用衛星画像 (World View2) トゥルーカラー

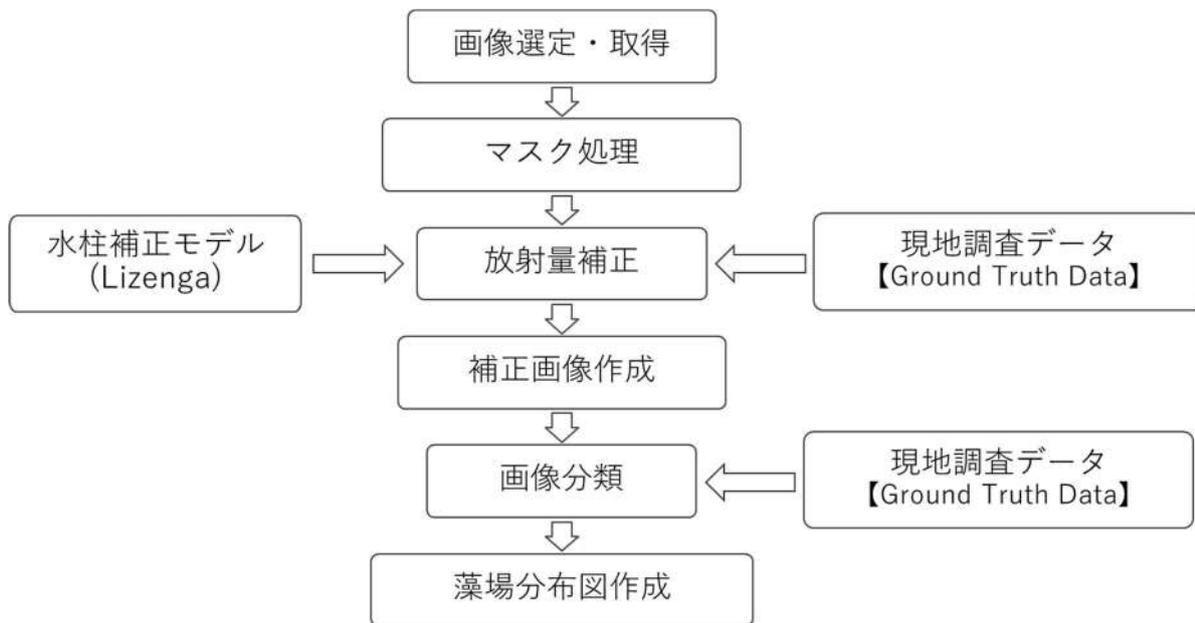
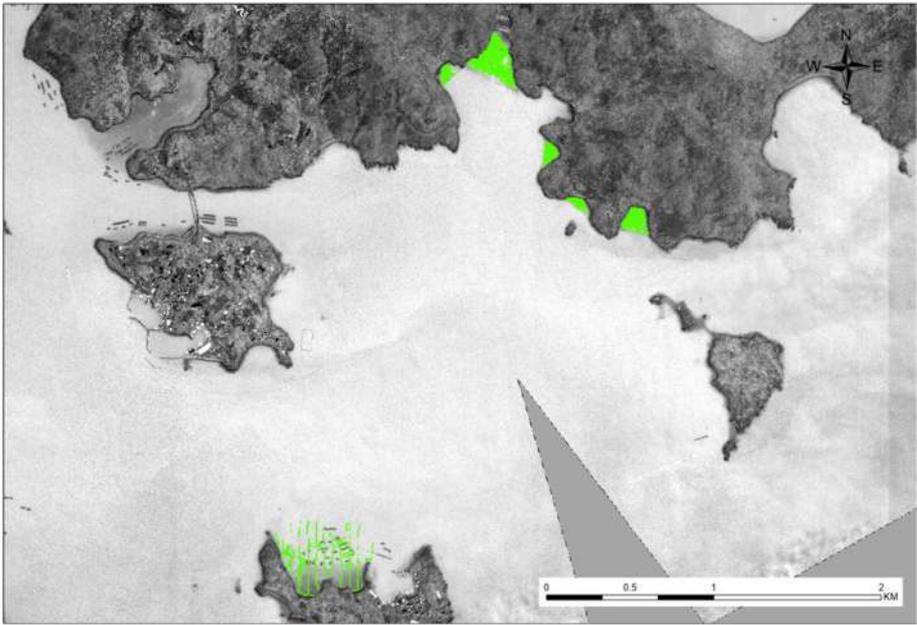
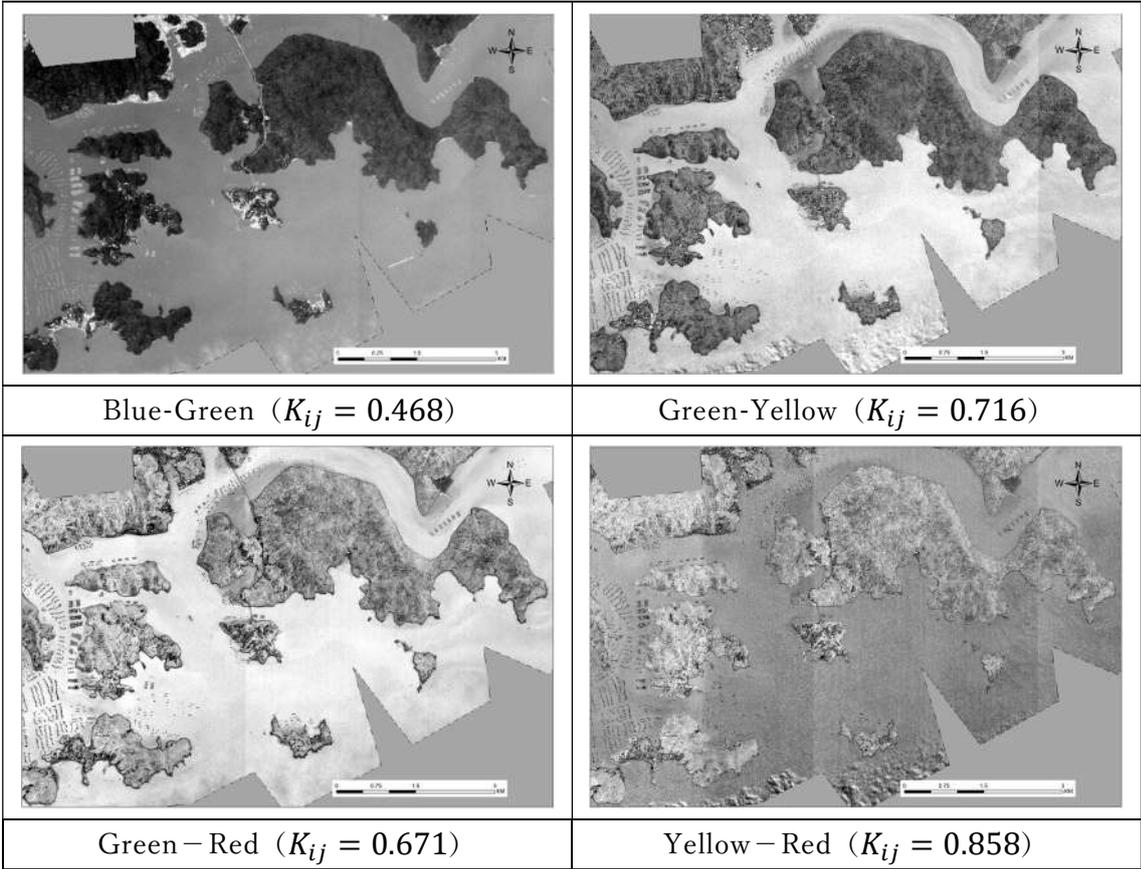


図 3—藻場分布図作成手順

2 バンド組み合わせによる BI 分布図の比較



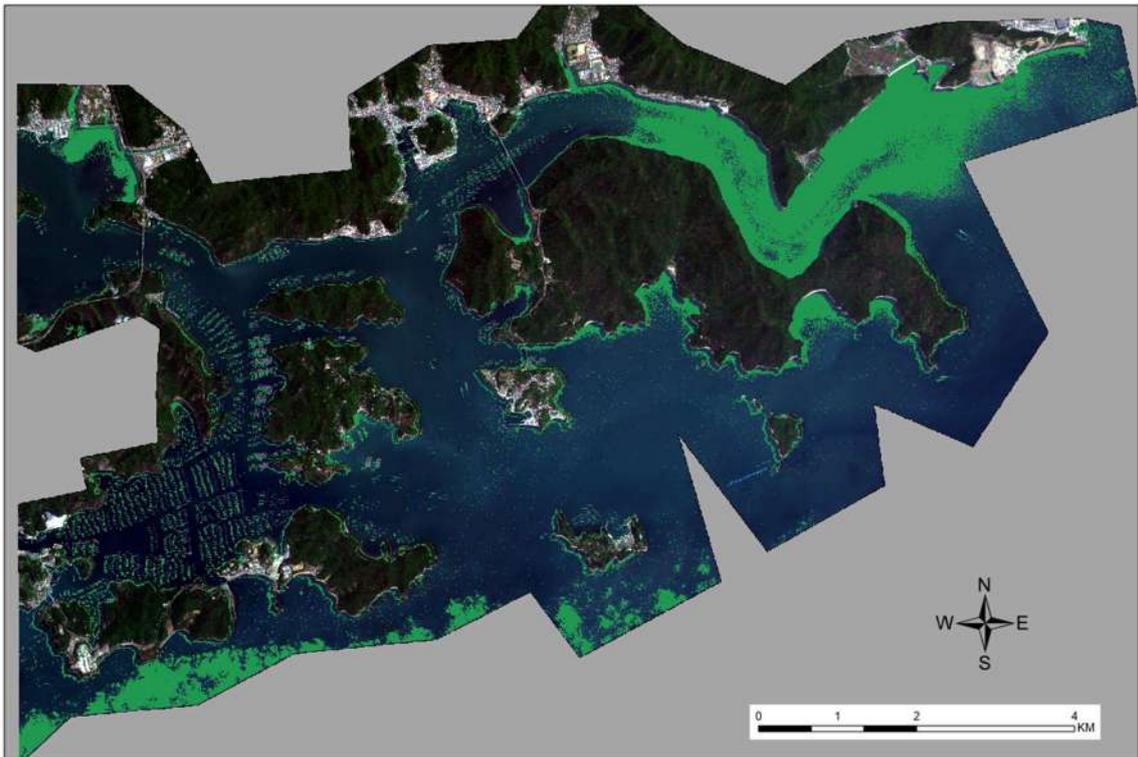
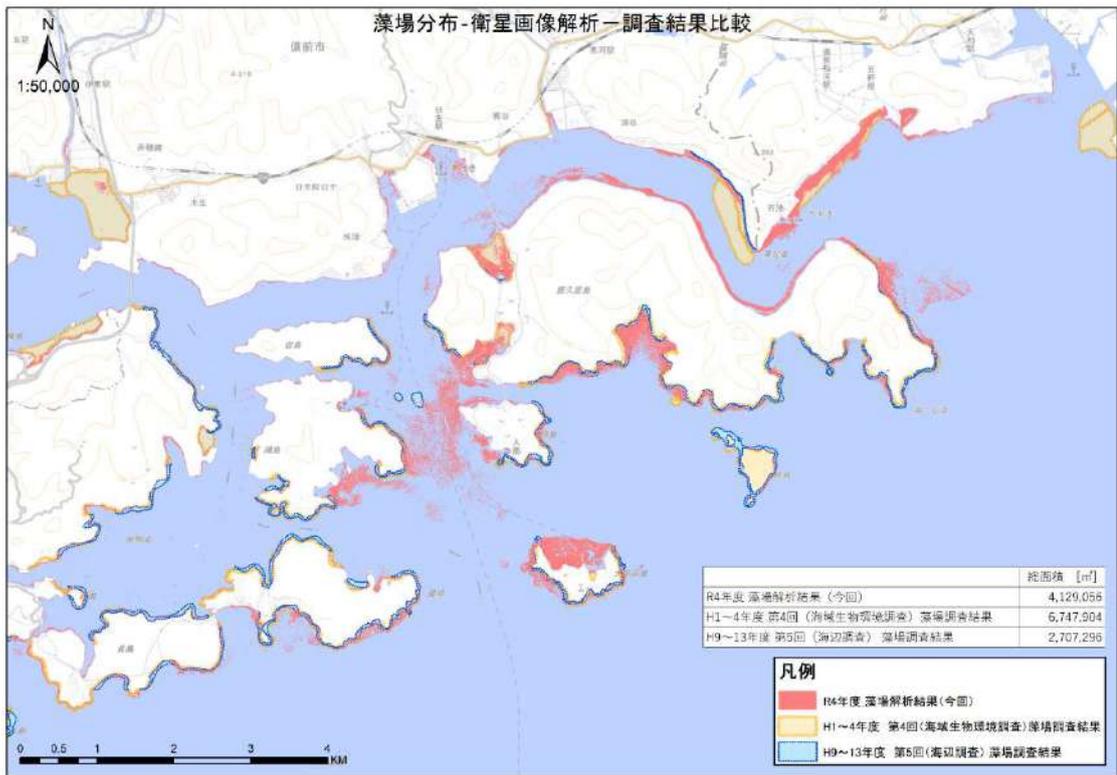
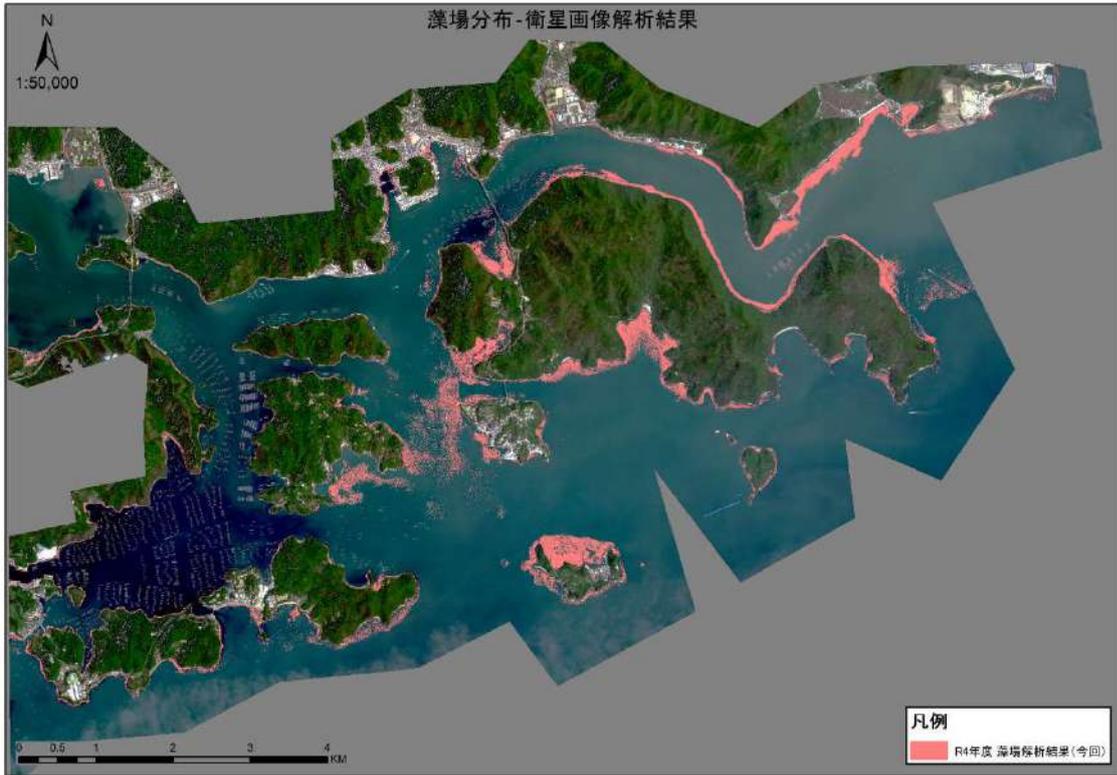


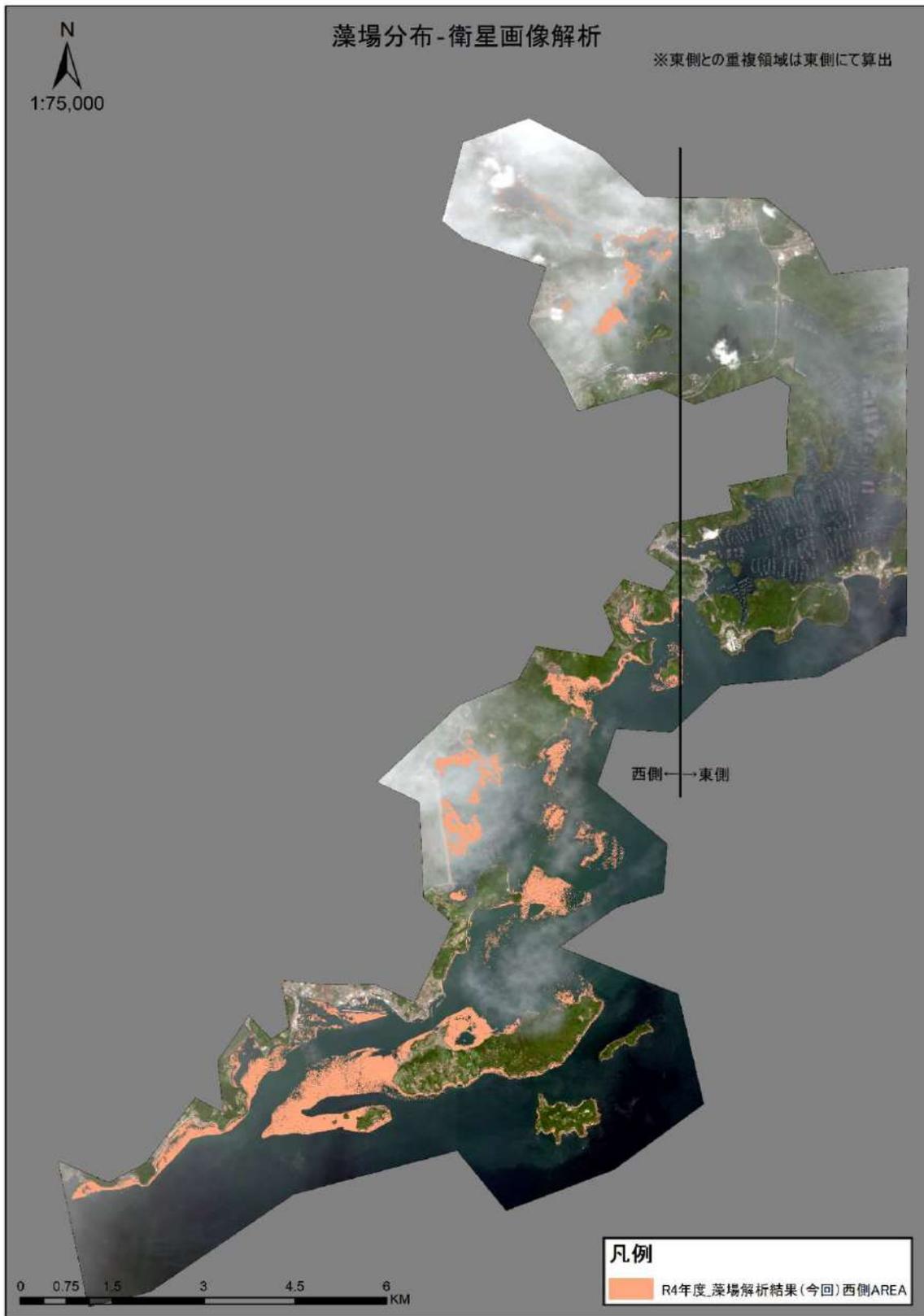
図 5—分類結果（藻場分布図） 分布位置は緑色で着色

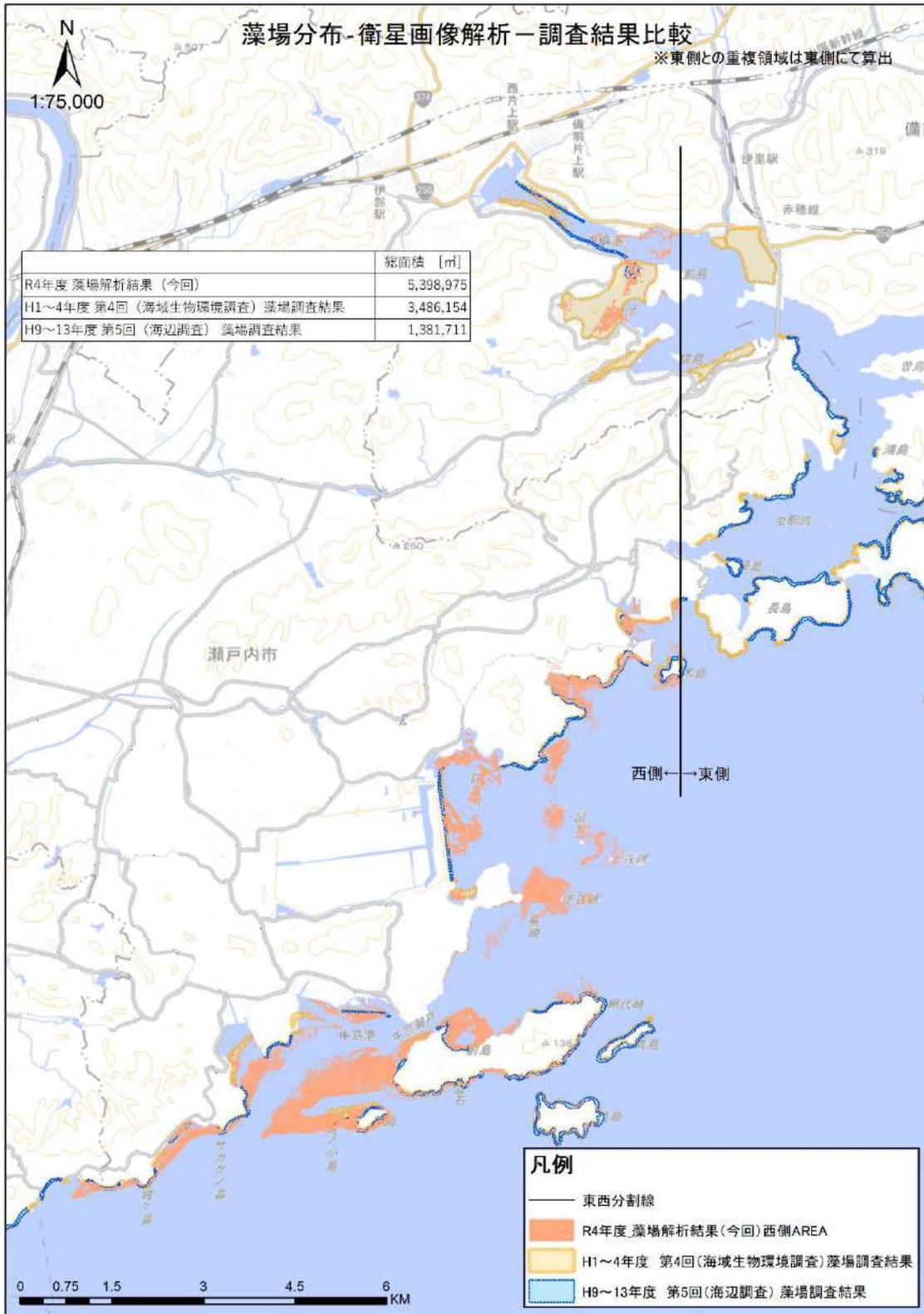
(2) 調査結果

- アマモ場だけでなく、ガラモ場の分布範囲も含んでいます。今回構築した AI では、アマモ場とガラモ場を区別することはできなかった。
- 東側の領域に比べ、西側の領域の解析精度は悪いと考えられる。その理由としては、衛星画像に雲が多くかかっていたこと、AI を学習させるデータが無かったこと、等が挙げられる。
- 今回の解析では、衛星画像の画素ごとに藻場が分布しているかどうかを AI に判別させている。このため、藻場有の領域が点群状で表されている。









A.3.1 日生におけるアマモ現存量調査

(1) 調査方法

アマモ現存量調査の内容は表 A.1.3 に示すとおりである。

表 エラー! 指定したスタイルは使われていません。4 アマモ現存量調査の方法

項目	方法	数量
アマモ現存量	<ul style="list-style-type: none">■ 調査地点の海底に方形枠(0.5m×0.5m)を設置し、枠内に存するアマモ(栄養株、生殖株)を地下茎とともに採取し、網袋内に収容したものを草体試料とした(図.1)。■ 分析室に持ち帰った草体試料は、水道水で洗浄して泥等を除去した後、電子天秤を使用して湿重量を計測した。	26 地点

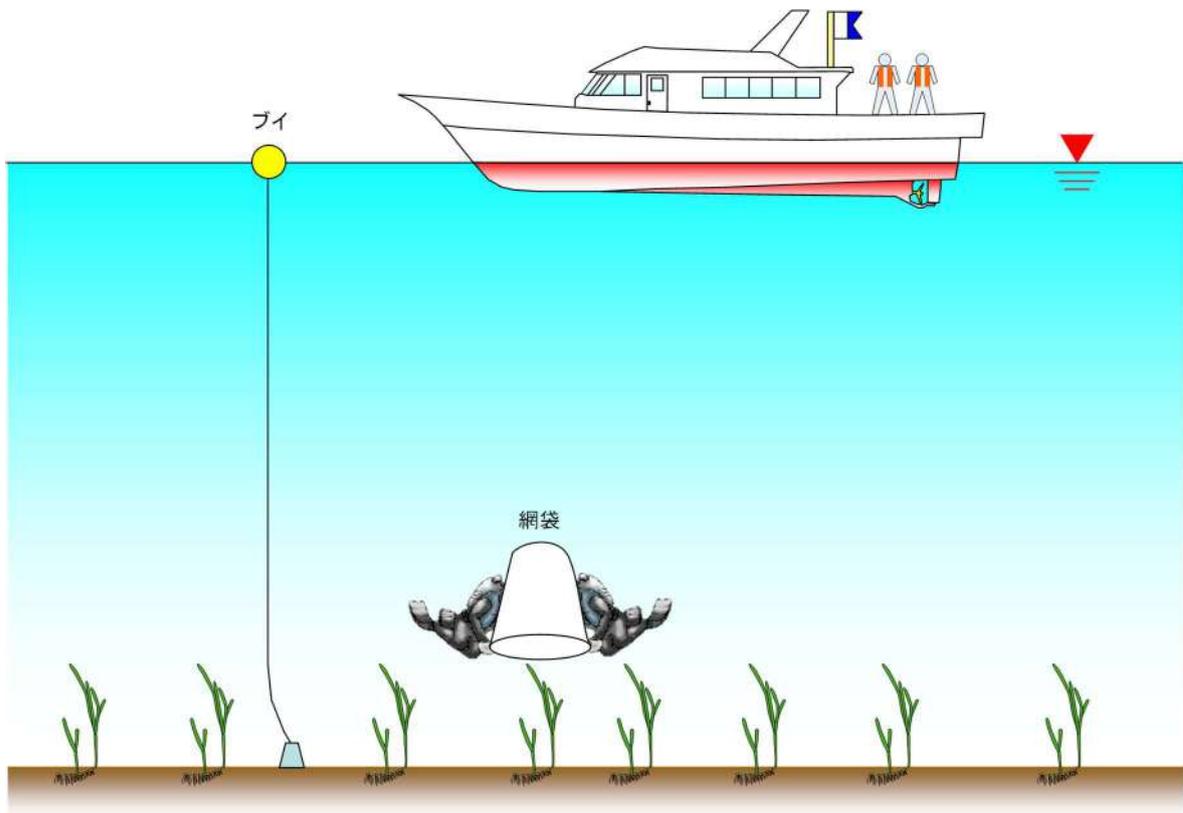


図.1 アマモ採取の概念図

(1) 地点

アマモ採取を実施した地点は図 2～6 に示した図 6。

(2) 時期

アマモ採取は、西泊・奥泊・まほろば下・首切島前面・水ノ浦工区、現寺湾及び大多府島北岸の地点では令和 4 年 6 月 23・24 日、片上湾と鴻島の地点では令和 4 年 7 月 1 日に実施した。



地理院地図(電子国土Web)

図2 西泊・奥泊・まほろば下・首切島前面・水ノ浦工区においてアマモ採取を実施した地点



地理院地図(電子国土Web)

図3 現寺湾においてアマモ採取を実施した地点



地理院地図(電子国土Web)

図4 大多府島北岸においてアマモ採取を実施した地点



地理院地図(電子国土Web)

図5 片上湾においてアマモ採取を実施した地点



地理院地図(電子国土Web)

図6 鴻島においてアマモ採取を実施した地点

地点名	緯度	経度
西泊工区_①	34° 42' 46.09"	134° 18' 07.58"
西泊工区_②	34° 42' 45.77"	134° 18' 07.95"
西泊工区_③	34° 42' 45.42"	134° 18' 08.34"
奥泊工区_①	34° 42' 48.60"	134° 18' 17.69"
奥泊工区_②	34° 42' 47.52"	134° 18' 17.05"
奥泊工区_③	34° 42' 46.45"	134° 18' 16.41"
まほろば下工区_①	34° 42' 29.32"	134° 18' 33.29"
まほろば下工区_②	34° 42' 29.40"	134° 18' 32.53"
まほろば下工区_③	34° 42' 29.49"	134° 18' 31.77"
首切島前面工区_①	34° 42' 20.11"	134° 18' 39.67"
首切島前面工区_②	34° 42' 19.77"	134° 18' 39.36"
首切島前面工区_③	34° 42' 19.42"	134° 18' 39.04"
水ノ浦工区_①	34° 42' 17.60"	134° 18' 52.88"
水ノ浦工区_②	34° 42' 16.49"	134° 18' 52.53"
水ノ浦工区_③	34° 42' 15.32"	134° 18' 52.16"
現寺湾_①	34° 42' 37.81"	134° 16' 54.88"
現寺湾_②	34° 42' 37.47"	134° 16' 56.49"
現寺湾_③	34° 42' 37.15"	134° 16' 58.08"
大多府島北岸_①	34° 41' 08.14"	134° 17' 39.33"
大多府島北岸_②	34° 41' 10.39"	134° 17' 39.36"
大多府島北岸_③	34° 41' 12.85"	134° 17' 39.40"
片上湾_①	34° 43' 23.18"	134° 13' 35.90"
鴻島_①	34° 41' 38.94"	134° 15' 08.01"
鴻島_②	34° 41' 28.27"	134° 15' 08.50"
鴻島_③	34° 42' 13.40"	134° 15' 46.20"
鴻島_④	34° 42' 14.66"	134° 15' 48.12"

WGS-84

(2) 調査結果

各地点で採取したアマモの現存量を表5に示した。

各地点で採取したアマモの現存量は40.9～277.6g/0.25 m²(平均157.8g/0.25 m²)であった。

表5 各地点で採取したアマモの現存量

地点名	アマモの現存量 (g/0.25 m ²)
西泊工区_①	173.0
西泊工区_②	131.1
西泊工区_③	108.0
奥泊工区_①	189.4
奥泊工区_②	142.6
奥泊工区_③	251.2
まほろば下工区_①	186.0
まほろば下工区_②	75.6
まほろば下工区_③	97.9
首切島前面工区_①	220.5
首切島前面工区_②	166.7
首切島前面工区_③	162.9
水ノ浦工区_①	108.2
水ノ浦工区_②	241.4
水ノ浦工区_③	271.0
現寺湾_①	91.6
現寺湾_②	136.3
現寺湾_③	147.3
大多府島北岸_①	277.6
大多府島北岸_②	163.2
大多府島北岸_③	40.9
片上湾_①	92.0
鴻島_①	75.1
鴻島_②	130.6
鴻島_③	266.3
鴻島_④	157.3
平均	157.8



西泊工区_①



西泊工区_②



西泊工区_③



奥泊工区_①



奥泊工区_②



奥泊工区_③



まほろば下工区_①



まほろば下工区_②



まほろば下工区_③



首切島前面工区_①



首切島前面工区_②



首切島前面工区_③



水ノ浦工区_①



水ノ浦工区_②



水ノ浦工区_③



現寺湾_①



現寺湾_②



現寺湾_③



大多府島北岸_①



大多府島北岸_②



大多府島北岸_③



片上湾_①



鴻島_①



鴻島_②



鴻島_③



鴻島_④