

令和2年度 資源・漁獲情報ネットワーク構築事業 報告書

大課題名：資源環境情報ネットワーク

海域名(中課題名)：資源環境情報の新規取得、測器等の実証

小課題1：日本周辺海域の植物プランクトン群集組成モニタリング

【参画機関】

水産研究・教育機構 水産資源研究所

水産研究・教育機構 水産技術研究所

【対象魚種】

日本近海で漁獲される資源評価対象魚種全般

【対象漁業】

【実施計画】

小課題1：日本周辺海域の植物プランクトン群集組成モニタリング

- ・光学センサー（多波長励起蛍光光度計）による植物プランクトン群集組成の観測について、計算アルゴリズムの改善による精度向上を目指す。
- ・定線における多波長励起蛍光光度計によるモニタリングを継続する。
- ・植物色素分析や顕微鏡観察から植物プランクトン分類群毎のバイオマスを明らかにする。
- ・環境ゲノムデータの収集と解析課題にサンプルとデータを提供する。
- ・親潮域における一次生産力の周年モニタリングを実施し、衛星データから推定される海域毎の一次生産力を植物分類群毎に按分する推定式を開発する。

【今年度の成果】

- ・多波長励起蛍光光度計の測定結果から植物プランクトンの群集構造を詳細に算出するアルゴリズムを作成した。
- ・多波長励起蛍光光度計により、オホーツク海・親潮域・対馬暖流域および黒潮域で鉛直的に詳細な植物プランクトン群集組成を得た。
- ・オホーツク海・親潮・黒潮・対馬暖流・亜熱帯海域で顕微鏡観察および色素分析による植物プランクトンの群集構造把握を進め、分類群毎のバイオマスを得た。
- ・現場観測による一次生産を測定し、衛星データを用いた一次生産力推定アルゴリズムを高精度化した。

【事業期間全体の成果】

- ・多波長励起蛍光光度計の測定結果から植物プランクトンの群集構造を詳細に算出するプログラムを作成した
- ・日本周辺海域における植物プランクトン群集組成の時空間的な変動が明らかになった
- ・植物プランクトン群集組成の観測の省力化を進め、我が国周辺海域のモニタリングに目処を立てた

【実施概要】

小課題1：日本周辺海域の植物プランクトン群集組成モニタリング

植物プランクトンは群集レベルで生理的な特徴が異なり、同じ量でも群集の違いが水産資源を含む上位の海洋生態系の変化を生じさせる。植物プランクトン群集組成の把握には、形態観察や植物色素などのバイオマーカーを用いるが、専門性が高く、低コストでかつ客観的なデータをモニタリングし続けることが難しい。したがって、本課題では簡便で迅速かつ継続可能な日本近海の植物プランクトン群集監視システム網の開発を主目的とし、水産研究・教育機構が維持観測するオホーツク海（N・Sライン）、親潮および親潮・黒潮混合域（Aライン）、黒潮（Oライン）、日本海（SIライン）、石垣島周辺（浦底湾）の定線観測網（図1）を利用して、I) 光学式センサー（多波長励起蛍光光度計）による植物プランクトン群集組成把握のモニタリング手法の開発、II) 四季を通じた植物プランクトン群集組成およびバイオマスの推定、III) 本課題の観測と同時に環境ゲノム課題遂行のための試料収集とデータ提供をおこなった。

I) 石垣島周辺を除いた定線観測で、多波長励起蛍光光度計3台による季節的な観測を継続した（表1）。多波長励起蛍光光度計はJFE advantech社製のMulti-Exciterを使用した。Multi-Exciterは375・400・420・435・470・505・525・570・590 nmの9種類の励起光を順に照射し、それぞれの波長に対して生じる蛍光強度を測定する。海水中の植物プランクトンは群集ごとに、励起光に対する応答が異なるため、その違いから群集組成を得ることができる。観測は2020年4月から12月では日本海で14点、オホーツク海で17点、親潮および混合域で184点、黒潮域の6点の計221点でおこなった。取得したデータについては、専用のソフトでバイナリーからCSV形式に変換したのち、R言語作成したプログラムにより、測点毎のデータの切り出しと光値から植物プランクトン群集組成への変換を行えるようにした。まず、測点毎のデータの切り出しについては、多波長励起蛍光光度計に付属している圧力計を用い、2 m以深の状態が120秒以上継続する場合を観測点とした。2 m以深という閾値については水深1 mではセンサーが陸上にある場合でも度々記録され、実際の観測点以外も抽出されてしまうためである。これらのデータの切り出しから、野帳に記入された観測と対応可能なデータが得られた。次に、蛍光値から群集組成への換算については、培養株データからの換算を検討していたが、緑藻類の過大評価と珪藻類の過小評価が解決しな

め、多波長励起蛍光光度計と同時観測で収集した、植物色素から計算した植物プランクトン群集組成とその時の多波長励起蛍光光度計の蛍光値から植物プランクトン群集組成を計算するようにアルゴリズムを変更した。また、データ数が多いこと、多波長励起蛍光光度計から情報を得られる深度、水温によって植物プランクトン群集組成が異なることから、多波長励起蛍光光度計の観測水深±25 mおよび水温±5° Cのデータを換算の際の参照データとすることとした。その結果、各海域で時空間的に特徴のある植物プランクトン群集組成の変動が認められた。例えば、黒潮域では、夏季表層で原核緑藻を含む藍藻類が卓越する一方で、冬季（1月）・春季（3月）には珪藻類が卓越するという、これまで定性的に捉えられてきた植物プランクトン群集組成の変動が定量的に認められた（図 2）。親潮および親潮・黒潮混合域（A ライン）においても季節性が認められ、特に 5 月の沿岸域では珪藻類の優占度が 75%を超えていた（図 3）。また、親潮に位置する沿岸域と混合域に位置する沖合域では特に 10 月の群集組成に大きな違いが認められた。同じく日本海では、4 月には珪藻類が多く、2019 年 9 月には藍藻類の寄与が高くなった。しかし、2020 年 9 月の観測では沖合は珪藻類が多く、植物プランクトン群集組成が年々変動する可能性が示唆される（図 4）。これと、色素法による従来の植物プランクトン群集組成の結果と比較する（図 5）と、比較的よく合致しており、多波長励起蛍光光度計による群集推定が従来のモニタリング手法の代替とできる可能性を示している。

II) 四季を通じた植物プランクトン群集組成およびバイオマスの推定には、多波長励起蛍光光度計だけでなく、通常の海洋観測で用いられるプランクトンを濾過捕集したのちそこに含まれる植物色素を抽出し、高速液体クロマトグラフィーで定量し求める推定方法（以後、色素法）と海水に固定液を入れ生成した沈殿物の顕微鏡観察からの推定方法（以後、検鏡法）を各海域のルーチンとし、他にも担当者の専門性を鑑みながら行った。色素法については、指標色素を定量したのち CHEMTAX 法を適用し、検鏡法については専門機関によって種同定および計数され、それぞれ植物プランクトン群集組成が得られる。オホーツク海では 5・8 月の 2 航海、親潮・黒潮混合域では 5・7・10 月および 1・3 月（予定）の 5 航海、日本海では 4・6・9 月および 2 月（予定）の 4 航海で、黒潮域では 4 月航海は新型コロナウイルス感染拡大の影響で中止になったが、8・11 月および 1 月（予定）の 3 航海で観測した。石垣島周辺では、1 点ではほぼ毎月の観測を他 2 点で年 4 回の観測をおこなった。得られた試料は分析済み、もしくは年度内に分析が終了する予定である。各観測域で 10 検体以上の試料を収集でき、季節性を明らかにする上で十分な試料数が得られている（表 1、図 5）。一方で、検鏡法によるデータセットを作成し、Jaccard の類似度指数（出現／非出現の指標）を用いて群集の相同性を解析したところ、同定を依頼した機関ごとにクラスターが形成された（図 6）。色素法の結果について同様の解析を行ったところ、海域ごとのクラスターは形成されず、検鏡法によるデータの客観性に疑問が生じた。

III) 環境ゲノム課題で分析するための海水中懸濁物の濾過捕集試料およびプランクトンネットを利用したプランクトンの冷凍試料およびエタノール固定試料を観測時に収集した(表1)。また、検鏡法によるデータについて、すでに分析が終了したものをデータベース化し、小課題内で共有した。また、親潮域およびオホーツク海域における一次生産速度を炭素同位体添加培養実験から算出するとともに、そのデータを利用して人工衛星により取得可能な海面のクロロフィル濃度および水温を利用した計算について既存のアルゴリズムの改良を進めた。更にオホーツク海域の3点において、一次生産速度観測と同じ測点・同深度の海水を用いて植物色素分析を行い、植物分類群組成比を求める事により、植物分類群毎の一次生産速度の見積もりを実施した(図7)。この結果、春季オホーツク海の沿岸部ではクリプト藻類と珪藻類、沖合部ではクリプト藻類と緑藻類が一次生産に最も大きく寄与していることが示唆された。一次生産の結果生成される有機物の溶存態・粒子態比率や粒子態有機物の粒径は植物分類群ごとに異なっているため、分類群別一次生産速度は一次生産で得られた有機物の生態系内での配分経路を考える上で重要な情報となる。

【図表など】

表1 2020年度(2020年末時点)の各観測域での観測状況および試料採集状況

海域名	観測月	多波長蛍光光度計 測点数	検鏡法試料数	色素法試料数	メタゲノム用試料数	メタゲノム用ネット 測点数	その他の項目
オホーツク	6・9	17	16	16	16	16	基礎生産 フィコエリスリン
親潮・混合域	5・10	184	82	52	55	55	フィコエリスリン
日本海	4・6・9	14	28	49	28	14	0
黒潮	9・11・1	9	17	83	57	40	0
石垣周辺	4・5・6・7・8・ 9・10・11・12	0	45	30	15	3	0

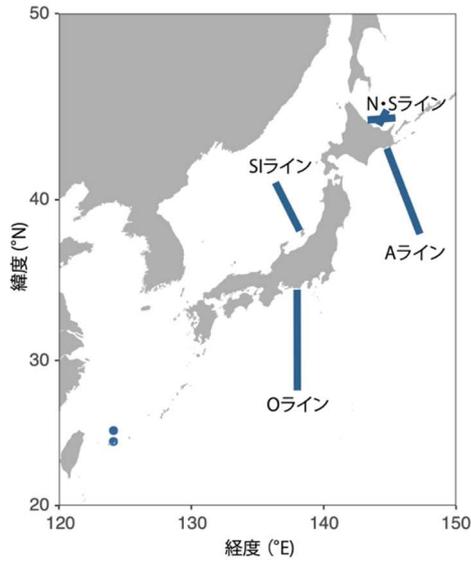


図1 本課題においてルーチン的に実施した観測定線・定点の分布。

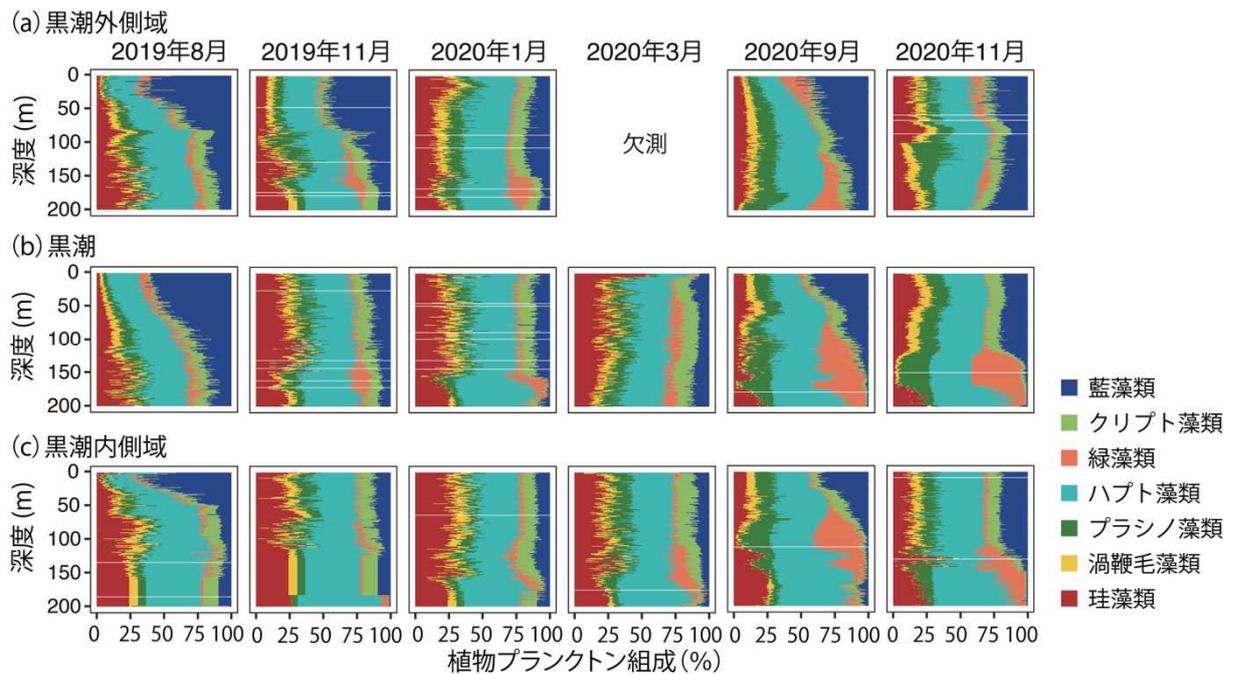


図2 多波長励起蛍光光度計を用いた黒潮周辺海域 (0 ライン) における植物プランクトン群集組成の季節的変動: (a) 黒潮外側域、(b) 黒潮域、(c) 黒潮内側域。観測を開始した2019年8月から2020年11月までの0ライン上での観測のみを抽出した。藍藻類の中には原核緑藻 (*Prochlorococcus*) を含む。2020年3月の黒潮外側域は欠測。

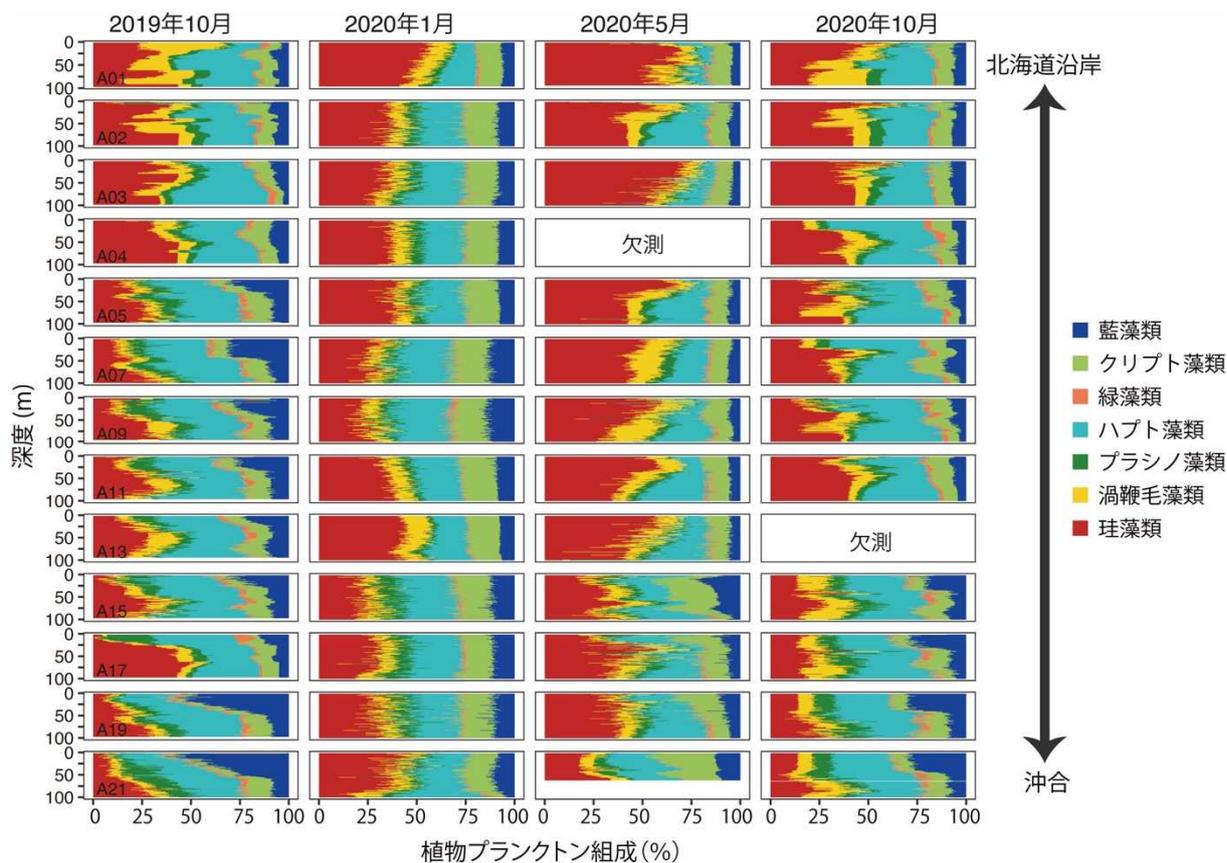


図3 多波長励起蛍光光度計の親潮および親潮・黒潮混合域(Aライン)における観測結果。上のほうが北海道沿岸域に近く、下に行くほど南下する。2020年5月の測点A04および2020年10月の測点A13は欠測。

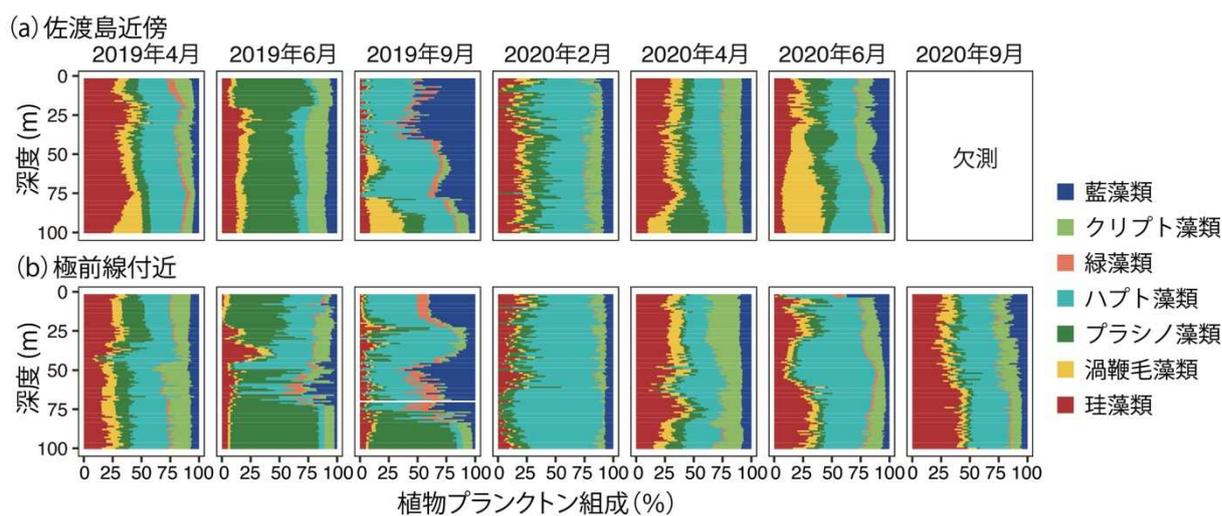


図4 多波長励起蛍光光度計を用いた日本海(SIライン)における植物プランクトン群集組成の季節的変動：(a) 佐渡近傍および(b) 極前線付近。藍藻類の中には原核緑藻(*Prochlorococcus*)を含む。2020年9月の佐渡近傍は欠測。

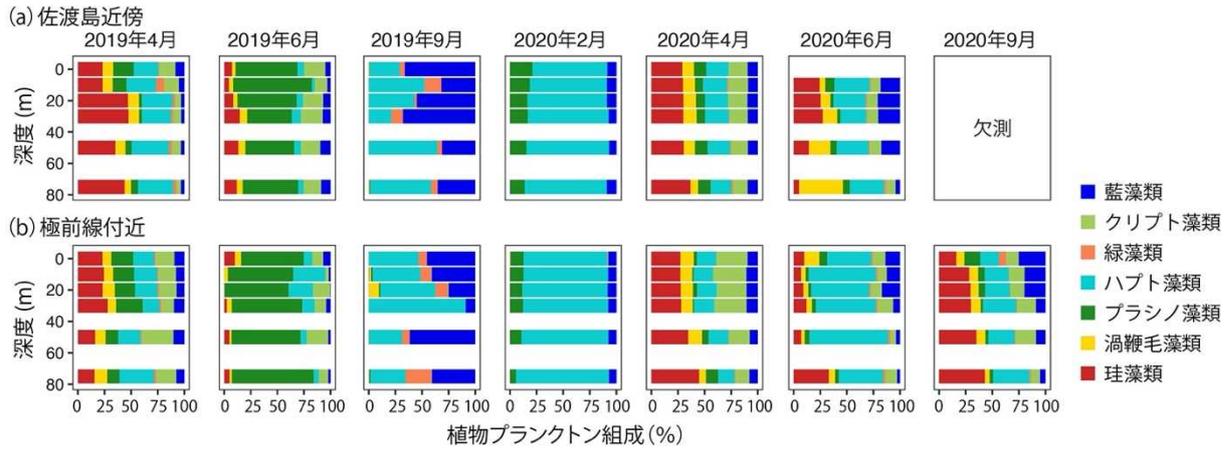


図5 色素法を用いた日本海 (SI ライン) における植物プランクトン群集組成の季節的変動: (a) 佐渡近傍および (b) 極前線付近。藍藻類の中には原核緑藻 (*Prochlorococcus*) を含む。2020年9月の佐渡近傍は欠測。

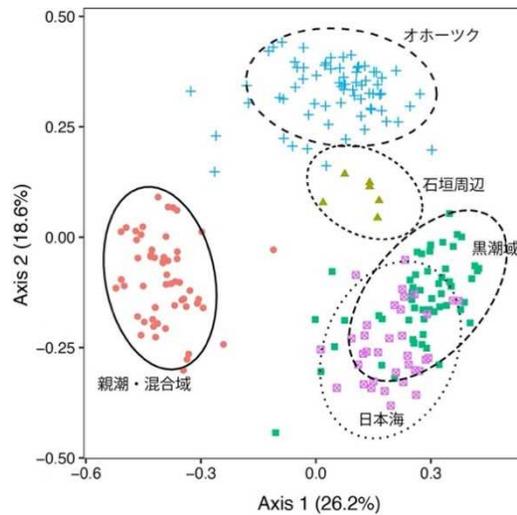


図6 検鏡法を用いた植物プランクトン群集組成の相同性。各点の色と形が海域の違いを示す。楕円は95%信頼楕円。各海域で同定をした機関は異なるが、日本海と黒潮域については同じ機関によって同定されている。

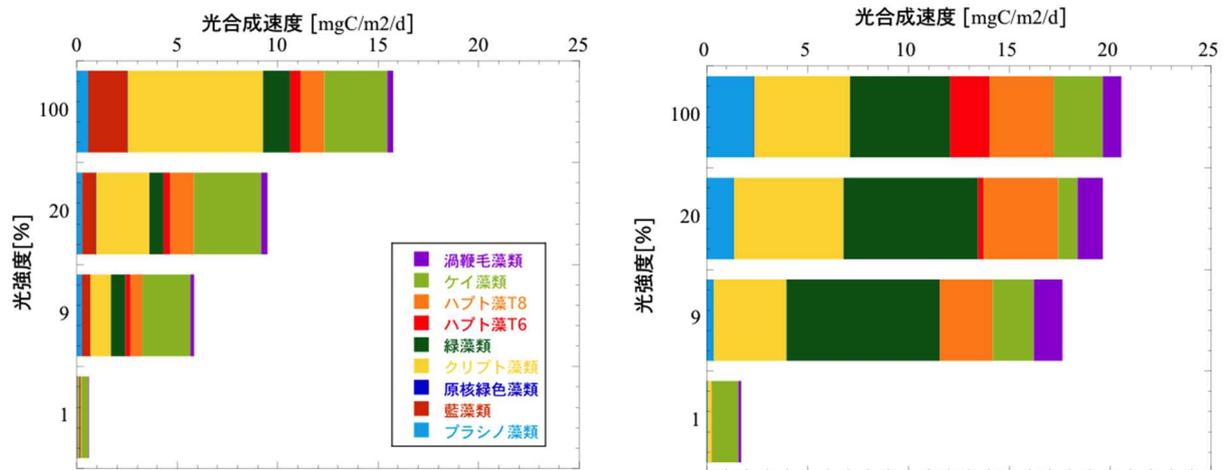


図 7 色素法を用いた、オホーツク海沿岸域における植物分類群組成別一次生産力の推定値 ($\text{mgC}/\text{m}^2/\text{d}$)。縦軸は光深度 (海表面に対する相対強度) を示す。左図は 2019 年 6 月測点 P1 (北緯 44 度 18 分、東経 143 度)、右図は 2020 年 6 月測点 N4 (北緯 45 度 30 分、東経 141 度 25 分) における観測値。

【実施に当たっての問題点】

- ・特になし

【資源調査評価事業に受け渡す事項】

- ・資源調査評価事業の調査で得られたクロロフィル *a* 濃度（植物プランクトン現存量）の測定結果
- ・資源調査評価事業の調査点におけるおおよそ水深 1m おきの植物プランクトン群集組成

【成果の発表】

- ・特になし