

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19（共通）

## 科学研究費助成事業

## 研究成果報告書



令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H03414

研究課題名（和文）過去の長期的な環境変化が動植物プランクトンの多様性に及ぼす影響解明

研究課題名（英文）The influence of past long-term environmental change on the diversity of phytoplankton and zooplankton

研究代表者

奥村 裕（Okumura, Yutaka）

国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産資源研究所(塩釜)・主任研究員

研究者番号：80371805

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,200,000 円

研究成果の概要（和文）：底泥柱状試料などを用いたDNA解析により植物プランクトンを網羅的に同定することで過去約2000年間にわたる環境変化と植物プランクトン多様性の関係を明らかにした。1900年以降など気温が高いとされる年代は他の年代に比べ植物プランクトン群集の多様性が高く、珪藻が優占しており、逆に気温が低いとされる1600年代は多様性が低く珪藻以外の藻類が優占していた。長期的な気温変動と植物プランクトン群集の多様性や優占種の変遷は連動傾向にあり、珪藻が優占している現在の植物プランクトン群集構造は中緯度沿岸域における温暖化の影響なのかもしれない。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球上の一次生産の約50%を占めるとされる植物プランクトン群集は、熱帯から極域まで海洋の至る所に生息している。植物プランクトン群集は様々なモデル計算より地球温暖化などの自然環境変化により分布や生産力などが影響を受けると予測されているが、実際に植物プランクトンの多様性が変化するかよくわかっていない。今回東北沿岸における底泥柱状試料などの解析を行ったが、今後、熱帯域～極域における広範囲の柱状コア中の植物プランクトン群集解析を実施し、種々のモデルにできれば、地球温暖化が植物プランクトン多様性に及ぼす影響の予測精度を向上できると考える。

研究成果の概要（英文）：The relationship between environmental changes and phytoplankton diversity over the past 2,000 years was clarified by comprehensive identification of phytoplankton using DNA analysis of sediments. Phytoplankton assemblages were more diverse and dominated by diatoms after 1900, when temperatures were considered to be high. While, phytoplankton assemblages were less diverse and dominated by algae other than diatoms in the 1600s, when temperatures were considered low. Long-term temperature fluctuations and changes in phytoplankton diversity and dominant species tend to be linked, and the current phytoplankton community structure dominated by diatoms may be the result of global warming.

研究分野：沿岸環境学

キーワード：植物プランクトン 環境DNA 長期変動

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化により 2100 年には温度が約 6℃ 上昇するといった報告もあり、生物への影響予測が頻繁に行われている。地球上の約 7 割を占める海洋では、陸上植物(森林など)にほぼ匹敵する基礎生産力を持つ植物プランクトンに対し温暖化影響が予測されている。影響として、1)熱帯域の植物プランクトンは生息可能温度の上限に近いため、2℃ 上昇すれば多様性が 1/3 に低下する。2)海洋で成層化が進行すれば底層からの栄養供給が減るため、少ない栄養塩で生息できる小型種に優占種が変化する。3)一方、極域では光制限が緩和されるため生物量が微増する、などと考えられている。しかし、あくまで環境変化による影響が大きいと考えられる熱帯や極域における予測であり、変異による温度耐性の獲得などは考慮されていないことから、実際の影響が予測通りになるのか定かでない。長期的な気候変動によりプランクトンの多様性はどのように変化するのだろうか。

### 2. 研究の目的

本研究では沖合に比べ堆積速度が速い東北沿岸で柱状採泥を行い、放射性炭素年代などを測定することで、堆積層ごとに柱状泥の堆積年代を明かにする。また、論文や統計資料から過去の気候変動や富栄養化など人為起源による長期的な影響の有無を把握する。次世代 DNA シーケンサーにより堆積層ごとのプランクトン組成を明かにすることで、過去の気候変化が人為的な影響が東北沿岸域に生息するプランクトンの多様性に及ぼした影響を明らかにすることを目的とする。

化石として残存する珪藻など一部の分類群は堆積年代が既知の柱状泥を用いた長期的な変動解析が行われているが、強固な殻を持たない植物プランクトン分類群は堆積泥中に残存しないため、全体の多様性を把握することはできない。生物は、温暖化により小型化すると考えられているが、大型の珪藻から小型のラン藻やピコ真核プランクトンへ遷移があったとしても従来の方法では把握できなかった。また、温暖化などの気候変動により植物プランクトンが生息可能な水温範囲を超え多様性が減少したとしても、一部の分類群しか同定出来ない従来の解析方法では多様性の減少を把握できなかった。

一方、数万年程度であればリボソームをコードする(18S rRNA)遺伝子は堆積泥中に残存するため、次世代シーケンサーにより海底泥中の塩基配列を調べることが可能になった。また、複数の解析ソフトを使うことで、18S rRNA 遺伝子以外の葉緑体(PsbA)遺伝子についても、種同定から多様性解析まで一連の解析を行うことが可能となった。今回、堆積速度の速い沿岸域で採泥することで、外洋域に比べ堆積年代に関し高分解能の試料を得る。プランクトンを対象に次世代シーケンサーで解析することで、多様性解析をするのに十分な配列数を得ることができ、過去の長期的な環境変化とプランクトンの多様性の関係を明かにできる。

### 3. 研究の方法

#### 1)柱状泥の採取と津波など物理環境変化の観察

外洋は堆積速度が遅く、わずかな深度で急激に堆積年代が変化するため解像度の高い試料は採取できない。一方、堆積速度の速い沿岸では水深が浅いため大型観測船は使用できずダイバー潜水により採泥することが多い。そのため、長いコアをとることが難しかった。今回、閉鎖性内湾の長面浦で海上に筏を組み 5m 程度の柱状コア数本を採取する。泥は研究室に持ち帰り、堆積層ごとの性状を観察する。撮影など終えた後、層別に柱状コアを分割する。表層付近については 137Cs を測定することで、震災(場合によっては 1940 年台)以降の堆積年代を把握する。中下層においては一定間隔の堆積層について放射性炭素により堆積年代を測定する。最下層については 137Cs を測定することで、試料採取時におけるコンタミを排除する(採泥の際に表層泥を巻き込むことで本来検出されるはずのない 137Cs が最下層から検出されることがあり、137Cs の検出層を除去することで表層泥の混入を回避できる)。

東北沿岸域は 2011 年の津波により影響を受けた。対象海域は閉鎖性湾ではあるため、各々の堆積層について粒子組成を調べることで、粒子組成と堆積年代から過去の津波痕跡についても明かにする。

#### 2)長期的な気候変動測定

過去の文献記録を基に、国内における気温の長期変動、東北沿岸における人口や水田面積の変動とプランクトン組成の遷移について関係性を明かにする。

#### 3)次世代シーケンサーによるプランクトンの多様性解析とクロロフィル a(Chl a)量

堆積泥ごとに DNA の抽出・精製を行い、植物プランクトン(PsbA 遺伝子)や真核生物(18S rRNA 遺伝子)を対象に PCR で増幅し、その後、次世代シーケンサー(NGS)で分析する。得られたデータはフリーソフトの Tax-collector により対象遺伝子用のデータベースを作成し、解析ソフト QIIME により種の同定や多様性解析(α、β)を行う。また、嫌気状態では色素の分解が遅いこと

を利用して、植物プランクトン量を把握するため、各堆積層の色素分析も HPLC により実施する。

#### 4) 広範囲における状態の把握

自ら採泥した試料以外にも、過去に東北沿岸などで採取された柱状泥を譲り受け、解析に使用する。表層泥についても DNA シーケンスを行うことで、現在の出現状況を把握する。

### 4. 研究成果

#### 1) 長面浦

津波により湾口付近に大きな影響を受けた閉鎖性内湾の宮城県長面浦において、水深が異なる湾央、湾奥の2観測点で海上に組んだやぐらから柱状コアを2本ずつ採泥した。試料は目視観察後、クロロフィル濃度、放射性セシウム、放射性炭素安定同位体（AMS）粒径分布、次世代シーケンサーによる 18SrDNA のアンプリコンのシーケンスなどの各種分析を行った。目視観察や湾央の粒度分布測定より、湾央は砂質、湾奥は泥質と観測点により堆積状況が異なることを把握した。湾央で採取した堆積泥の層別クロロフィル濃度から東日本大震災による津波直後の植物プランクトンと考えられるクロロフィル極大を検出した。一方、貧酸素が観察される湾奥では表層から下層まで一定量のクロロフィルが残存していた。底泥や貝片中の AMS 分析から東日本大震災より前の津波痕跡と推察される堆積層を検出し、採取した柱状試料の堆積履歴を把握した。表層泥から放射性セシウムを検出したことで湾央試料については震災後堆積泥であることを裏付けた。2011 年 3 月の津波による堆積層とともに、湾奥下層から採取した貝片の放射性炭素年代測定により、享徳地震（1454 年）と推察される津波痕跡が見つかった。

クロロフィルが残存していた湾奥試料について層別に底泥から DNA を抽出し、18SrDNA のアンプリコンシーケンスを行い、ソフトにより真核微生物の出現種を同定したところ、植物プランクトンが優占していた。植物プランクトンの種類により、細胞数あたりのコピー数が異なるため必ずしも計数データとは一致しないが、植物プランクトンの中では渦鞭毛藻のアレキサンドリウム属が堆積時期に関わらず優占しており、次いで珪藻が優占していた。植物プランクトンの群集組成は過去の津波時も劇的な変化は観察されず、アレキサンドリウム属が増殖した可能性が推察された。ただし、過去の津波後にアレキサンドリウム属が優占した要因として、他の開放型湾とは異なり、潟湖という独特の地形が影響し、湾内外の海水交換が制限され湾外からの影響を受けにくかったためと推察した。また、層別試料について貝形虫の観察も行いデータを蓄積した。

#### 2) 女川湾

女川湾柱状泥（約 50cm）について、貝片など多く検出された 30cm 前後の堆積層を中心に詳細な放射性炭素年代測定を行った。貝片が多く観察された堆積層は主に 700 年～900 年代となっており、一部堆積の逆転が観察された。そのため、貞観地震（869 年）の津波痕跡と推察した。一方、それ以外の 10cm～50cm については、堆積深度と年代に相関関係が認められ、紀元前 100 年頃～1600 年頃まできれいに堆積していることを確認した。柱状コアのアルケノン分析より年代ごとに値の変動はあるが 300～600 年頃は水温が高く、700 年～1600 年頃は水温が低かった可能性が推察され、過去の水温履歴についておおそ把握することができた。層別の柱状泥から DNA を抽出し、PsbA（葉緑体）遺伝子を対象とした PCR 産物の次世代シーケンサーによる解析では、現在の東北沿岸における優占種である珪藻ではなく別の分類群が優占しており、女川湾では過去に現在と異なる植物プランクトンの群集構造であった可能性が推察された。また、長面浦底泥試料の 18S rDNA 遺伝子を対象とした遺伝子解析では、植物プランクトン以外の生物があまり検出できなかったことから、COI 遺伝子を対象とした解析用データベースを作成し、次世代シーケンサーにより底泥から抽出した DNA を用い COI 遺伝子を解析する手法を構築した。植物プランクトンより高次の生物を検出できたが、検出された種数がかなり少なかった。

#### 3) 大船渡湾

大船渡湾の柱状試料について、上層はセシウム 137（<sup>137</sup>Cs）の測定を下層は放射性炭素年代測定を行った。堆積層は境界部分を除き大きく2層に分けられ、<sup>137</sup>Cs が検出された上層は 2011 年の東日本大震災の、放射性炭素年代により下層は享徳地震（1454 年）の奥州大津波の津波堆積と推察した。層別の柱状泥から DNA を抽出し、PsbA（葉緑体）遺伝子を対象とした PCR 産物の次世代シーケンサーによる解析（NGS）では、2011 年の堆積層には珪藻が、享徳地震の堆積層には珪藻以外の植物プランクトンが優占していた。植物プランクトン群集の長期的な変動傾向について、前年の女川湾と同様の結果が得られた。

#### 4) 表層泥

宮城県～岩手県沿岸で採取された表層泥の NGS 解析では、観測点により出現割合の変動はあるが、基本的にどの湾においても珪藻が優占していた。珪藻は現在の東北沿岸における優占分類群と考えられており、裏づける結果となった。東北沿岸では、過去～現在にかけて植物プランクトンの群集構造が変化し、現在珪藻が優占していると推察した。

#### 4) その他

東北地方の植物プランクトン群集と比較するため、堆積年代が既知の東京湾柱状泥（1970-2005

年堆積)を調べたところ、珪藻の割合が平均 52%であり、下層ほど低くなる傾向にあった。東北地方と同様の傾向であった。

大規模調査でなければ、古い堆積泥を採取することが難しい。そこで、岩手県船越湾そばで採取した陸上津波堆積物(最深層は 5,000 年以上前に堆積)を調べたところ、陸上植物(プランクトン)とともに堆積層の一部から海産珪藻のスケルトネマ、タラシオシラや、ラフィド藻のヘテロシグマなどが検出された。ただし、下層は抽出した DNA 量も少なく、植物プランクトンの群集構造は把握できなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Okumura Yutaka, Matsuoka Hiromi, Arakawa Hisayuki, Tokanai Fuyuki, Suzuki Atsushi, Irizuki Toshiaki, Kajita Hiroto, Hara Motoyuki	4. 巻 87
2. 論文標題 The influence and impact of tsunamis on the microorganism assembly of Nagatsura-Ura Lagoon, Miyagi, northeastern Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fisheries Science	6. 最初と最後の頁 121 ~ 130
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12562-020-01472-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okumura Yutaka, Furutono Tarou, Ito Kinuko, Hara Motoyuki	4. 巻 194
2. 論文標題 Influence of submarine topography and sediment environment on microbial assemblages in a coastal lagoon in northeastern Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Marine Pollution Bulletin	6. 最初と最後の頁 115404 ~ 115404
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.marpolbul.2023.115404	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okumura Yutaka, Masuda Yoshio, Matsutani Minenosuke, Shiimoto Akihiro	4. 巻 9
2. 論文標題 Influence of oyster and seaweed cultivation facilities on coastal environment and eukaryote assemblages in Matsushima Bay, northeastern Honshu, Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fmars.2022.1022168	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 奥村 裕、金子健司、塩本明弘	
2. 発表標題 5) 植物プランクトン群集の震災影響や長期変動 - 底泥試料を中心に -	
3. 学会等名 日本水産学会	
4. 発表年 2021年	

1. 発表者名 奥村裕・坂本節子・増田義男・田邊徹・加賀新之助・渡邊志穂・平譚享・中野李南子・一見和彦・金子健司・原素之
2. 発表標題 2. 津波による貝毒原因プランクトンの大発生とその後
3. 学会等名 日本水産学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥村裕・坂本節子・藤田海音・増田義男・田邊徹
2. 発表標題 表層泥を用いたAlexandrium属の種同定に関する プレ・スクリーニング法の開発
3. 学会等名 日本水産学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥村裕・松岡裕美・門叶冬樹・荒川久幸・鈴木淳・入月俊明・原素之
2. 発表標題 宮城県長面浦における海底堆積物の鉛直分布
3. 学会等名 日本水産学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

#### 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	門叶 冬樹  (Tokanai Fuyuki)  (80323161)	山形大学・理学部・教授   (11501)	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	入月 俊明  (Irizuki Toshiaki)  (60262937)	島根大学・学術研究院環境システム科学系・教授   (15201)	
研究 分担者	荒川 久幸  (Arakawa Hisayuki)  (40242325)	東京海洋大学・学術研究院・教授   (12614)	
研究 分担者	松岡 裕美  (Matsuoka Hiromi)  (60222296)	高知大学・教育研究部自然科学系理工学部門・准教授   (16401)	
研究 分担者	鈴木 淳  (Suzuki Atsushi)  (60344199)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・研究グループ長   (82626)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	梶田 展人  (Kajita Hiroto)  (40931647)	弘前大学	

## 7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

## 8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------