

令和 4 年 6 月 2 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04056

研究課題名(和文) 急激な温暖化に対する深海生物の応答の研究：ベーリング海の底生有孔虫の解析

研究課題名(英文) Study of the response of deep-sea organisms to rapid warming: analysis of benthic foraminifera in the Bering Sea.

研究代表者

大串 健一 (Ohkushi, Ken'ichi)

神戸大学・人間発達環境学研究科・教授

研究者番号：10312802

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、太平洋北部に位置するベーリング海に生息する底生有孔虫群集を研究した。海底堆積物中に保存される底生有孔虫化石を調べて、過去6万年間の気候変動に伴う群集変動とその気候変動への応答を解析した。6万年間前から2万年前は、現在の温暖な環境とは異なり寒冷であり北米大陸に巨大氷床が存在した最終氷期にあたる。底生有孔虫は、水深1000m付近の海底に生息していたと考えられ、水温4℃以下の冷たい中深層水の影響下であったと推定される。この深度は現在、溶存酸素極小層が発達しているが、最終氷期には現在よりも著しく酸素が欠乏していたイベントが数千年スケールで繰り返し起こっていたことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ベーリング海の底生有孔虫化石群集の研究により、最終氷期の現在よりも寒冷な時代には北部北太平洋の水深1000mの深海底において数百年スケールで溶存酸素濃度が著しく変動しており、現在の酸素濃度よりもさらに低下する酸素欠イベントが繰り返し発生していたことが明らかになった。その変動は、北極圏の大気変動に何らかの関連性を示唆しており、北極圏の大気変動と北太平洋間の気候のテレコネクションのメカニズム解明に向けた基礎研究として意義のある研究成果である。さらに、北海道東方沖の海底コアの研究では、最終氷期の急激な温暖化と共に親潮水域の中層水域でも貧酸素水塊が浅い水深にまで拡大したことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Benthic foraminifera had been studied in the Bering Sea, located in the northern North Pacific Ocean. Especially a response of benthic foraminiferal assemblages to climate change was investigated over the past 60,000 years from marine sediments. The subarctic North Pacific climate from 60,000 to 20,000 years ago was cold, unlike the present warm environment, and was the last glacial period when huge ice sheets grew and collapsed repeatedly in North America. Benthic foraminifera has inhabited the seafloor around a depth of 1000m, where they were under the influence of cold mid-depth water with a temperature of 4°C or lower. Although this depth is currently covered with a minimum dissolved oxygen layer, it is clear that oxygen-depletion events during the last glacial period were repeated with interstadial events on a scale of several millennia.

研究分野：古生物学

キーワード：底生有孔虫 ベーリング海 最終氷期 溶存酸素極少層

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在のベーリング海では水深約 500 m~1500 m に溶存酸素極小層 (OMZ) が存在し、その中心層の酸素量は 20 μ mol/kg まで低下する。この酸素量は大型底生生物の生存可能な臨界値以下であり、比較的貧酸素に耐性のある底生有孔虫群集であっても影響を受け、貧酸素に耐性のある種のみが生存可能となる。温暖化により貧酸素水塊の拡大を予測するためには、過去の温暖化時の貧酸素水塊の環境情報が役に立つ。底生有孔虫群集は過去の貧酸素環境の微弱な濃度変動を高感度で検出することができる生物指標であり、少量の堆積物から解析が可能である。

最終氷期に繰り返し起きた急激な温暖化事件は、ダンスガード・オシュガー (DO) イベントと呼ばれている。この最終氷期の不安定な気候変動イベントは、グリーンランド氷床の古気温記録から発見された (Dansgaard et al., 1993)。DO イベントに相当する急激な温暖化の時期はインタースタジアル (亜間氷期) と呼ばれている。この亜間氷期にはグリーンランド中央部において平均気温が数十年で 5~8 度急激に上昇したと推定されている。この DO イベントは最終氷期の開始する頃から最終氷期の終わる 1 万 2 千年前までに 1450 年前後の間隔で繰り返し起こったとされている。この急激な気温上昇の原因は、北大西洋を取り囲む大陸で成長した氷床の突発的崩壊と、その後の北大西洋北部への暖流の流入があると考えられているが、その実体はいまだに未解明である。北部北大西洋に端を発したローカルな現象であるなら、東アジアや太平洋沿岸域への影響は小さいように思われるが、DO イベントは、日本海やアメリカ西海岸カリフォルニア州に面する東太平洋中緯度域からも明瞭に認識されており、北太平洋中緯度沿岸域にまで影響が及んでいた。このイベントに関連して、北太平洋における貧酸素水塊の広がりとそのに生息する深海生物への影響の詳細は明らかになっていない。

2. 研究の目的

本研究では、ベーリング海の水深 1000m 付近の海底から得られた柱状海底堆積物試料中の底生有孔虫群集を 350 年の高時間分解能で解析し、貧酸素指標種の増減から急激な温暖化に伴う溶存酸素量の変化を明らかにする。底生有孔虫群集の産出頻度データから過去約 62,000 年間のベーリング海の海底酸素濃度の定性的変動を復元し、最終氷期に起こった DO イベントの急激な気候変動と深海底の環境変動の関連性を検討する。貧酸素指標種の % データを DO イベントと比較した。さらに、温暖化に伴う北太平洋外洋への影響も検討するため、北海道東方沖親潮水域の底生有孔虫群集について更新世最末期 (最終退氷期) から完新世にかけての変動も解析し、溶存酸素極少層の上層の溶存酸素濃度変動の復元も試みた。

3. 研究の方法

分析に用いたベーリング海の海底コアは、海洋地球研究船「みらい」MR06-04 航海により、ベーリング海北部漸深海帯の水深 1,002 m から採取した 1 本の海底コア PC23A である。堆積物試料は、深度方向に 2.2cm 間隔で連続的に分割されており、その試料を真空凍結乾燥処理し、深度により等間隔になるように試料を選定し、分析試料とした。得られた有孔虫群集の深度変化データは、先行研究に基づく放射性炭素年代データに基づいて時系列データにした。分析した海底コア PC23A は、コア長 17.6m、試料数は約 120 試料である。底生有孔虫の群集組成は、グリーンランド氷床コアの酸素同位体比 (Dansgaard et al., 1993) との比較検討を行い、DO イベントとの対比を試みた。

次に、本研究で分析した北海道沖の海底堆積物コアは、北海道苫小牧沖 (北緯 42° 08.53' , 東経 141° 42.03') の水深 777 m から採取された全長 17.6 m のピストンコア MR04-06 PC1 である。分析試料は、2.2 cm 間隔で分割したものを使用した。有孔虫分析は、同定された主要種を生息する酸素レベルに基づいて、酸素が豊富な環境下で生息する Oxidic 種、酸素が少なくても生息できる Suboxic 種、酸素が著しく欠乏しても生息できる Dysoxic 種、酸素指標外の Other 種の 4 つのグループに分類した。

4. 研究成果

ベーリング海の底生有孔虫群集を解析した結果、最終氷期には数百年スケールで著しい群集変動が繰り返し起こっていたことが明らかとなった。その変動は、インタースタジアルの急激な温暖化する層準付近で底生有孔虫群集の酸素指標種の著しい変動が確認された。得られた研究成果は、研究期間終了後の年内に公表論文としてまとめる予定である。このため本報告中での具体的な記述は割愛する。

次に、北海道沖海底コアの結果について概説する。LG 期の前半では、Other 種が大半を占め、Suboxic 種が約 20% を占めていた。LG 期後半には、Oxidic 種が全体の 20% を占め、Other 種は減少した。B/A 期前半では、Dysoxic 種が急増し、全体の大半を占め、Suboxic 種はわずかに増加したが、Oxidic 種は大幅に減少した。B/A 期後半には、Suboxic 種が増加する一方で、Dysoxic 種や Other 種が急激に減少した。YD 期では、Oxidic 種が急増して全体の大半を占めるようになったが、Other 種は減少した。PB 期前半では、Other 種が再び増加し、Dysoxic 種が再び産出した。PB 期後半には Suboxic 種が全体の大半を占めたが、Other 種と Dysoxic 種は減少した。完新世では、

Suboxic 種が最も多く、Oxic 種や Other 種も産出したが、Dysoxic 種はほとんど産出しなかった。

本研究では、本コア近くのより水深の深い場所から採取した 2 つのコアの既存研究の結果と比較した。この結果、急激に温暖化した B/A 期に水深 1 km 以浅の PC1 と MD01-2409 で Dysoxic 種が急増し、より水深の深い PC4 では顕著な増加はみられなかった。これは、急激な温暖化に伴う酸素欠乏が水深 1300 m より浅い深度で顕著に起こったことを示唆している。また、MD01-2409 は PC1 より、Dysoxic 種の産出期間が長く、産出率も高かった。さらに、MD01-2409 では、ラミナ層が記録されており、貧酸素種の産出のタイミングと対応する。ラミナ層は、生物の生息が厳しい無酸素に近い深刻な酸素欠乏状態の下で、生物擾乱が少ないことによって形成されたと考えられる。そのため、MD01-2409 では PC1 と比較して Dysoxic 種の産出率が高く、ラミナ層を形成しているという結果から、水深 1 km 付近で最も深刻な酸素欠乏が起こっていたと考えられる。加えて、この海域の現代の OMZ の深度分布は水深 1 km 付近であり、Dysoxic 種はほとんど産出しない。そのため、B/A 期の Dysoxic 種の産出から OMZ の上限はこれよりも拡大（浅化）していたと推測される。一方で、本研究結果を見る限り、OMZ の下限変動は、温暖化による影響が小さいと考えられる。

本研究の成果として、B/A 期に水深 777 m まで OMZ が浅い方に拡大し、強化していたことが新たに判明した。さらに水深 777 m の酸素欠乏の著しさから判断すると、OMZ は水深 777 m よりもさらに浅い水深にまで広がっていたと考えられる。

本研究により、DO イベントと共にベーリング海の深海底においても酸素濃度の変動を伴う環境変動が顕著に起こっていたことが明らかとなった。さらに、北海道沖では最終退氷期の急激な温暖化により OMZ の水深が上層に拡大することが明らかとなった。このことは、地球温暖化により北太平洋では、環太平洋沿岸域で貧酸素水塊が拡大する可能性を示唆している。

本研究成果により、深海底の急激な酸素濃度の変動要因の解明や大気と深海底の環境変動のタイミングの高精度対比のために、さらに深海生物の種多様度の変動要因の解明のためにさらなる研究の必要性がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1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 Sakai Keisuke, Ohkushi Ken'ichi, Shibahara Akihiko	4. 巻 41
2. 論文標題 Biotic response of benthic foraminifera to OMZ variations in the northwestern Pacific since the last deglaciation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geo-Marine Letters	6. 最初と最後の頁 5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00367-020-00671-7	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 酒井恵祐, 大串健一	4. 巻 71
2. 論文標題 有孔虫分析からみた北西太平洋の海洋貧酸素化 最終氷期から完新世にかけて	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 号外地球	6. 最初と最後の頁 112-117
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 酒井恵祐, 大串健一, 芝原暁彦
2. 発表標題 完新世の底生有孔虫群集による北西太平洋のOMZの変動記録および将来予測に向けた研究
3. 学会等名 日本古生物学会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井恵祐, 大串健一, 芝原暁彦
2. 発表標題 北西太平洋の溶存酸素極小層の時空間変動モデル構築に向けた予察的研究
3. 学会等名 国際火山噴火史情報研究集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keisuke Sakai, Ken'ichi Ohkushi, Akihiko Shibahara
2. 発表標題 Analysis from Benthic foraminifera populations of expansion and intensify of the northwestern Pacific oxygen minimum zone during the last deglaciation
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井恵祐, 大串健一, 芝原暁彦
2. 発表標題 北海道, 苫小牧沖における最終退氷期以降の底生有孔虫群集と溶存酸素極小層(OMZ)の変動
3. 学会等名 日本地球化学会第67回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井恵祐, 大串健一, 芝原暁彦
2. 発表標題 最終退氷期以降の北西太平洋における底生有孔虫のOMZ変動に対する生物応答
3. 学会等名 日本第四紀学会2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井恵祐・大串健一・芝原暁彦
2. 発表標題 有孔虫分析により明らかになった最終退氷期における北西太平洋の溶存酸素極小層(OMZ)の拡大
3. 学会等名 日本古生物学会 第169回例会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井恵祐・大串健一・芝原暁彦
2. 発表標題 北海道苫小牧沖海底堆積物の底生有孔虫群集から明らかになった Bolling / Allerod温暖期の急激な海底貧酸素化
3. 学会等名 国際火山噴火史情報研究集会 EHAI 2019-2
4. 発表年 2020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

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