

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：15301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12135

研究課題名（和文）人間活動が支配する新しい地球環境時代の開始とその評価に向けて

研究課題名（英文）Research on the onset and assessment of the new era of the Earth's environment dominated by human activities

研究代表者

井上 麻夕里（Inoue, Mayuri）

岡山大学・環境生命自然科学学域・教授

研究者番号：20451891

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：フィリピンおよびインドネシア多島海より採取されたサンゴ骨格コア試料中の化学成分を分析することで、各地域の海洋環境の変動を詳細に復元した。酸素同位体比およびストロンチウム・カルシウム比から、塩分と海水温の2つを復元し、炭素同位体比とウラン・カルシウム比からは人為起源二酸化炭素の影響について評価した。その結果、西太平洋域では1976年以降に人為起源温暖化の影響を強く受けて、夏季の温暖化が顕著であることを明らかにした。一方で、インドネシア多島海における温暖化の影響はより複雑で、多島海内の場所によってもその反応が様々であることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

この研究からも分かるように、現在では人為的要因による二酸化炭素放出に伴う温暖化が、自然の気候変動を圧倒し支配的になっている様子が伺えた。いかに人為起源による二酸化炭素放出を抑えることが本来の地球環境システムの安定化にとって重要であるかについて、科学的に発信できた点は社会的意義があると考えられる。また、熱帯から亜熱帯域においては、海水温と塩分の変動が様ではなく、それぞれの支配要因が異なっており複雑であること、インドネシア多島海の複雑性を再認識するデータを提示できた点は学術的意義があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：By analyzing the chemical composition of coral skeletal core samples collected from the Philippine and Indonesian archipelagos, detailed reconstructions of variations in marine environments in each region were conducted. By examining oxygen isotope ratios and strontium-calcium ratios, salinity and sea water temperature were reconstructed. Evaluations were also conducted to assess the impact of anthropogenic carbon dioxide using carbon isotope ratios and uranium-calcium ratios. As a result, it was revealed that the Western Pacific region has been significantly affected by anthropogenic warming since 1976, with notable warming observed in the summer. On the other hand, the impact of warming in the Indonesian archipelago is more complex, with varying responses observed depending on the location within the archipelago.

研究分野：古気候・古環境学

キーワード：サンゴ骨格 海水温 塩分 温暖化 西太平洋 火山噴火

1. 研究開始当初の背景

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) でも科学的な証拠に基づいて報告されているように、現在、人為起源による地球温暖化が進行しており、温暖化に伴う異常気象なども報告されている。2015年に合意されたパリ協定では、「2020年以降の世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2°Cより十分低く保ち、1.5°Cに抑える努力をする」ことが長期目標の一つとして掲げられている。実際に平均気温の上昇が2°Cを超えると、これまでの地球システムのフィードバック効果が暴走し、Hothouse Earthに陥ることが予測されている (Steffen et al., 2018, PNAS)。最近の研究では、過去2000年間の全球的な気候変動を解析したところ、小氷期のようないくつかの過去の温暖化/寒冷化イベントは決して同時かつ全球的に起きているわけではないことが示された。ただし、唯一の例外が現在の温暖化であり、20世紀には全球同時に温暖化が進行していることが明らかにされた (Neukom et al., 2019, Nature)。しかし、もっとピンポイントで何年からこのように全球同時的に温暖化するようになったのか、また、本当に局所的な場所においてもこのような全球的な傾向が支配的であるのか、といった隅々に渡るような検証はまだ行われていない。

2. 研究の目的

本研究ではフィリピンおよびインドネシア多島海より採取された複数のサンゴ骨格試料の様々な化学分析に基づき、温暖化を含めた人間活動の影響の有無の検証、また影響がある場合、いつからどのように人為起源の環境変動が進行してきたかを明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、フィリピン・ルソン島沖、インドネシア・ジャワ海に位置するセリブ島およびバリ島より既に採取済みのハマサンゴ骨格コア試料を研究対象試料とした。ハマサンゴは骨格密度の違いから明瞭な年輪を観察することができるので、その年輪を数えることで正確な年代軸を入れることができ、古気候・古環境復元の研究に多用されている。この中でもフィリピンのサンゴ骨格試料は長尺であり、約220年間の記録が保持されており、セリブは70年、バリは50年の記録を有している。これらのサンゴ骨格試料について、本研究では、海水温および塩分の指標となる酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) と海水温のみの良い指標となるストロンチウム・カルシウム比 (Sr/Ca比) を月単位の高時間分解能で測定した。また、フィリピンの試料については鉛同位体比の測定も一部実施し、セリブの試料については炭酸系の指標とされているウラン・カルシウム比 (U/Ca比) も測定した。

4. 研究成果

(1) フィリピンのサンゴ骨格記録

フィリピンのサンゴ骨格からは、1766~2002年までの海水温と塩分の記録を復元した。その結果、海水温と塩分には数年~数十年規模の変動が見られ、特に海水温の変動はエルニーニョ・南方振動 (ENSO) の影響を受けつつも、主には太平洋十年規模変動 (PDV) の影響を強く受けて変動していることが示唆された。また、19世紀~20世紀初頭にかけて、何度か寒冷化が起きており、これがインドネシアおよびフィリピン地域の火山噴火に伴う寒冷化である可能性が示された。このような ENSO や PDV、火山噴火等の自然要因の気候変動について、先行して報告されている西太平洋のサンゴ記録では、今回のフィリピンとは異なる変動パターンが示されており、海水温の反応は複雑であることが分かる。それに対して、1976年以降は全球の海水温変動を含め、人為的要因による温暖化に対して西太平洋熱帯域が一様に温暖化していることが明らかになった。また、特にこの期間は夏の温暖化が冬に比べ顕著であることも示された (図1)。

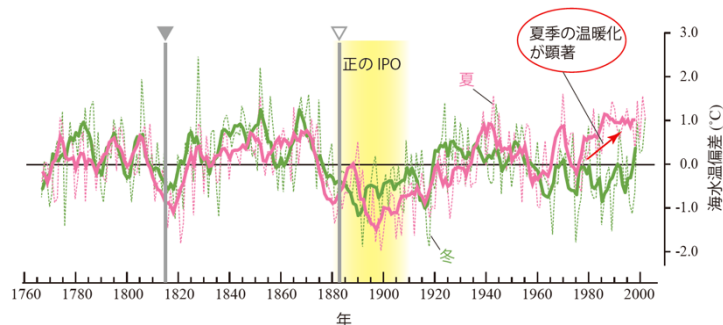


図1: サンゴ記録から復元した夏と冬の海水温偏差の時系列変動。点線は1年毎のデータを、実線は5年間の移動平均をとったものである。灰色の三角は1815年のタンボラ火山、白抜き三角は1883年のクラカタウ火山の大規模噴火が起きた年を示している。また、太平洋数十年規模変動 (IPO) に関連した寒冷化が見られた年代は黄色の背景で示している。

(2) セリブ島のサンゴ骨格記録

セリブのサンゴ骨格について測定した Sr/Ca 比および $\delta^{18}\text{O}$ のデータから塩分復元を行い気候変動との関係について解析したところ、復元記録から 1950 年代半ばにレジームシフト様の急激な温暖化と、高塩分環境への変化が見られた。そして、このレジームシフトを境に海水温はインド洋よりも太平洋の気候変動の影響を強く受けるよう変化した一方で、塩分と気候変動には明瞭な関係がみられなかった。

(3) バリ島のサンゴ骨格記録

バリ島のサンゴ骨格から復元した海水温と塩分変動に気候変動との明瞭な関係は見られなかった。セリブの記録との比較から、北西モンスーン (12-2 月) にはインドネシア通過流 (ITF) の流路であるロンボク海峡にジャワ海から低塩分水が運ばれていることが示唆された。この低塩分水は ITF 表層の輸送を妨げ、インド洋への熱輸送などを変化させることが知られている。また温暖・高塩分/寒冷・低塩分状態を経年スケールで経験しており、モンスーンが駆動する低塩分水の寄与などが影響している可能性が示された。

(4) セリブ島とバリ島の炭素同位体比とウラン・カルシウム比の測定の結果、セリブのサンゴ記録では、特に 1970 年以降、人為起源 CO_2 が原因であるソース効果および酸性化の傾向が示されたが、バリ島のサンゴ記録では確認されなかった。このことから、複雑な海洋環境であるインドネシア多島海内においては、人為起源 CO_2 の影響が異なっている可能性が示唆された。

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 3件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Genda A, Ikehara M, Suzuki A, Arman A and Inoue M	4. 巻 4
2. 論文標題 Sea Surface Temperature and Salinity in Lombok Strait Reconstructed From Coral Sr/Ca and 180, 1962-2012.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Climate	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fclim.2022.918273	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 A. Genda, M. Ikehara, A. Suzuki, W. S. Hantoro, M. Inoue	4. 巻 56
2. 論文標題 Unique behavior of marine conditions in the Java Sea reconstructed from a 70 yr coral 180 and Sr/Ca record from the Seribu Islands, Indonesia	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geochemical Journal	6. 最初と最後の頁 e1-e7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2343/geochemj.GJ22007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Inoue M., Fukushima A., Chihara M., Genda A., Ikehara M., Okai T., Kawahata H., Siringan F. P., Suzuki A.	4. 巻 38
2. 論文標題 Natural and Anthropogenic Climate Variability Signals in a 237 Year Long Coral Record From the Philippines	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Paleoceanography and Paleoclimatology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022PA004540	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 該当する

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 33)源田 亜衣、Arman Ali、池原 実、鈴木 淳、井上 麻夕里
2. 発表標題 Variations of sea surface temperature and salinity using coral Sr/Ca and 180 in the Java Sea and the Lombok Strait.
3. 学会等名 2021年度日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2021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
---------	---------