

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21740362

研究課題名（和文）

海洋の気候変動復元に向けたサンゴ骨格クロスデーティング法の開発

研究課題名（英文）

Cross-dating methods of coral annual bands for reconstructing oceanic climate change

研究代表者

森本 真紀 (MORIMOTO MAKI)

名古屋大学・環境学研究科・研究員

研究者番号：30377999

研究成果の概要（和文）：複数のサンゴ骨格試料の気候復元記録を繋ぎ合わせてより長い期間の編年を作成する手法について取り組んだ。琉球列島の石西礁湖で採取した完新世の化石サンゴ群体について、放射性炭素年代測定、年輪計数、酸素同位体比測定を行い、複数試料の年代の重なりから、400年以上の連続した復元記録が得られる可能性を示した。さらに、より簡便で迅速な酸素同位体比分析法を目指し、ガスベンチ付質量分析計を用いる測定法について、分析精度や時間、サンゴ試料に適した分析条件を検討した。

研究成果の概要（英文）：A cross-dating method for coral skeletons was examined by connecting plural reconstructed paleoclimate records to make their chronology longer. Holocene fossil corals were collected from Sekisei lagoon, Ryukyu, Japan, and their radiocarbon ages were determined, annual bands were counted, and oxygen isotope ratios were measured. These results indicate that more than 400-year paleoclimate record will be obtained from overlapped chronologies of some coral samples. Besides, to make oxygen isotope analysis simpler and quicker, the precision, analysis time and optimum conditions for coral samples were examined for GasBench/isotope ratio mass spectrometry.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：サンゴ骨格・年輪・年代決定・酸素同位体比

1. 研究開始当初の背景

今世紀に予測される急激な地球温暖化に関して様々な研究と対策が進められているが、数10年～数100年スケールでの気候変動に大きな影響を及ぼす、大気・海洋間の相互作用やその気候システムへの応答を解明するためには、大気と海洋それぞれの環境の過去数100年～数1000年間の変動の情報が

重要な役割を果たす。しかしながら、過去数100年間の気候変動復元において、気象観測記録や古文書、木の年輪、氷床の年縞分析などの中高緯度陸上の記録の多さと比較して海洋の記録は少なかった [参考：Mann, ME (2007) Climate over the past two millenia, Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 35, 111-136]。また、現在から100年以上前にさかのぼる気

象観測記録は少ないので地質試料の解析による復元記録が用いられるが、試料の時間分解能の限界から、気象観測記録と比較しやすい月一季節単位での解析は困難であった。過去、現在、未来の気候変動を考える上で海洋の環境変動を高時間分解能で高精度に復元することは、気候変動メカニズムの解明に新たな視点を与え、予測精度を向上させるものである。

近年、造礁サンゴ骨格年輪の酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$)、ストロンチウム・カルシウム比 (Sr/Ca 比) などの高時間分解能での高精度分析に基づいた、過去数 10—数 100 年間の週一年単位での海洋環境復元が進められてきた [参考: Grottoli and Earkin (2007) A review of modern coral $\delta^{18}\text{O}$ and $\Delta^{14}\text{C}$ proxy records, *Earth-Science Reviews*, 81, 67-91]。サンゴは気象観測記録や古環境記録の少ない低・中緯度海洋に広く分布し、過去の気候変動 (水温や塩分の変化) を長期間に及び定量的に復元できる可能性を持つ有望な指標である。しかし、1つのサンゴ群体の生息年数が最大でも 300—400 年程度であり、木の年輪分析のように様々な年代の多数の試料が陸上で比較的容易に探索できるわけではない。また、年輪計数と比較して、 $\delta^{18}\text{O}$ や Sr/Ca 比の分析には時間がかかることから、これまでサンゴを用いて 400 年を超える気候変動を復元した例は少なかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、従来行われてきた海洋の環境変動復元に、陸上では木の年輪解析で用いられてきた「クロスデーティング法」の概念を新たに導入することで、復元期間を過去へ拡大する手法の開発をおこなうことである。具体的には、生息年代の異なるサンゴ年輪化石を採集し、サンゴ年輪編年 (年輪形態観察や $\delta^{18}\text{O}$ 分析) と ^{14}C 年代をもとに結び合わせてより長い期間の編年を作成するものである。すなわち木の年輪分析のように 1 群体の年数をこえて記録を過去にのぼすことを目指すものである。この新たな長期編年の作成の方法を導入することで、サンゴ 1 群体 (数 10—300 年間の記録) では復元できなかった長期間の環境変動復元を可能として、海洋の高精度の環境変動復元という新たな研究の方向性を築くものである。

研究の対象地域は、亜熱帯北西太平洋に位置する琉球列島の石垣島である。亜熱帯北西太平洋は ENSO、アジアモンスーン変動の影響が顕著に表れる海域で、海洋学的、気候学的に重要である。さらに、琉球列島は造礁サンゴが生育できる北限に近く、熱帯海域と比較すると表層水温の年較差が 5—10°C と大きいことからサンゴ骨格の $\delta^{18}\text{O}$ 変動幅が大きく、サンゴ骨格クロスデーティング法を作成

しやすいと考えられるため選定した。

サンゴ年輪編年の主要な指標として $\delta^{18}\text{O}$ 値の季節変化や年々変動パターンを用いるが、数 100 年の年輪を持つサンゴ 1 群体について月単位の時間分解能で分析した場合、数 1000 試料の $\delta^{18}\text{O}$ 測定が必要であり、従来多く用いられてきた炭酸塩分析装置付質量分析法では測定に 1 年—数年かかることもあった。そのため、複数のサンゴ群体記録を用いた長期間の環境変動復元には、分析手法の簡便化と分析時間の短縮が必要であった。そこで本研究では、より簡便で迅速な測定を目的として、ガスベンチ付質量分析計を用いる測定法について、分析精度やサンゴ試料に適した分析条件についての検討も行った。

3. 研究の方法

本研究ではまず、琉球列島の石垣島 (沖縄県) において、現生試料を含む完新世における多様な年代のサンゴ試料の採集をおこなった。それぞれのサンゴ試料のおよその年代を ^{14}C 測定により決定し、さらに計数した年輪数と合わせて、クロスデーティングに適した試料の選別をおこなった。次に、 $\delta^{18}\text{O}$ 値のより簡便で迅速な測定を目的として、ガスベンチ付質量分析計による測定法について、分析精度やサンゴ試料に適した分析条件についての検討を行った。各試料の月単位での $\delta^{18}\text{O}$ 分析をおこない、 $\delta^{18}\text{O}$ 曲線の相互関係から結び合わせの可否について検討した。

平成 21 年度夏季に、沖縄県石垣島西方のサンゴ礁 (石西礁湖) において現地調査を行い、サンゴ礁の海底のボーリング作業によって、化石サンゴ 4 群体の骨格のコアを採取した。石垣島においては研究協力者 (名古屋大学環境学研究科・阿部理助教) によって、現在から約 500 年前までの年輪を持つ現生サンゴ試料と西暦約 800—1200 年 (約 400 年間) の年輪をもつサンゴ群体 2 試料が既に採取されている。この 2 試料の年代の間を繋ぐサンゴ試料の採取は本研究で目指す成果の 1 つであった。それぞれのコア試料を切断して平板試料を作成し、軟 X 線写真を撮影して年輪形態の観察と計数を行った。

本研究と以前に採集した全サンゴ試料について、コアの頂部と底部について ^{14}C 年代測定を行った。さらに必要に応じてより詳細な年代決定に用いるため、中間部についても ^{14}C を測定した。切断と洗浄については名古屋大学環境学研究科において行い、試料のグラファイト化とタンデム型加速器質量分析装置による ^{14}C 測定は日本原子力研究開発機構・東濃地科学センターに依頼した。

サンゴの多数試料の $\delta^{18}\text{O}$ 測定に向けた取り組みについて、ガスベンチ付質量分析計を用いる測定法について、総合地球環境学研究所において様々な条件下でのテスト測定を

行い、分析精度や時間について従来法と比較し、サンゴ試料に適する手法か否か検討した。得られた試料の年代と年輪計数から選別された、生息年代の重なっている可能性のあるサンゴ試料について、それぞれ数10年ずつの $\delta^{18}\text{O}$ 季節変化を分析し、年代の繋ぎ合わせについて検討した。

4. 研究成果

琉球列島の石西礁湖において現地調査をおこない、サンゴ礁の海底におけるボーリング作業によって、年代不明の化石サンゴ4群体の骨格のコア8本(コア長40–250cm)を採取した。採取したサンゴ骨格試料について ^{14}C 年代測定をおこない、それぞれ約650年前、1400年前、2100年前、2300年前の年代が得られた。特に、1400年前の年代の群体(「SEK5032」)は、石垣島沿岸から採取した既存の2群体(「TON01」「TON00」)と生息年代が重なっていることから、クロスデーティングが適応出来る可能性が高いことが明らかになった。

この年代が近い3群体について、コアの最上部と最下部など骨格年輪が計数できる部分について、より詳細な ^{14}C 年代測定をおこなった。「TON01」群体の最下部で 1490 ± 50 年、「TON00」群体の最上部が 1445 ± 35 年、最下部が 1535 ± 35 年、「SEK5032」群体の中央部で 1235 ± 40 年の ^{14}C 年代が得られた。また、軟X線写真の年輪計数からそれぞれの群体が、少なくとも297年、137年、215年の年輪を持っていることが明らかになった。得られた年代と年輪数より、「TON01」の下部と「TON00」の上部、またこれら2群体と「SEK5032」の生息年代の一部が重なっている可能性が明らかになった。

異なる種類や地域の環境変動復元記録の年代の比較を行うには、測定した年代を暦年代に較正する必要がある。さらに海洋の試料については、それぞれの海域に応じた海洋リザーバー年代の補正を行う必要がある。本研究では、石垣島南岸で採取された現生サンゴの分析から、455年分の年輪(AD2003–AD1549)を持つこと、AD1554年の部分の年輪の ^{14}C 年代が 720 ± 60 年であることから、この海域の海洋リザーバー年代が405年であることを明らかにした。この年代を化石サンゴ試料の ^{14}C 年代結果に適用し、「TON01」群体は西暦で950–1150年、「TON00」は920–990年、「SEK5032」は790–1200年を含む試料であることが示された。

サンゴの多数試料の $\delta^{18}\text{O}$ 測定を目指し、ガスベンチ付質量分析計を用いる測定法について様々な条件での測定を行い、最適な測定条件や分析精度、時間について検討した。試料の反応に用いるリン酸について、使用量や精製法、反応管への注入時の環境について

調べた。反応管内の大気を置換するヘリウムガスについて、置換に十分な最短時間を決定した。反応に用いる試料量の多少による δ 値の変化(Linearity)が、サンゴ骨格の $\delta^{18}\text{O}$ 変動を復元するには大きいことが明らかになったが、補正を行うことにより解決されることを示した。標準試料の繰り返し測定による本手法の分析精度を、従来法(炭酸塩分析装置付質量分析計)と比較した。その結果、分析精度が2倍程度劣るもののサンゴ骨格の $\delta^{18}\text{O}$ 変動を復元するには充分であること、手法がより簡便であり、分析時間が1/2以下であることから、サンゴの多数試料の $\delta^{18}\text{O}$ 測定に適用できることを明らかにした。

この手法を用いて「TON01」「SEK5032」試料のそれぞれ70年、30年分の酸素同位体比季節変化を分析し、西暦970年前後において両試料の年代が重なっている可能性が明らかになった。今後、この方法を年代の少しずつ異なる化石試料に適用することによって、琉球列島海域での過去1000年以上に渡る長期の酸素同位体比曲線が作成され、過去の海洋環境変動の解明に繋がると考える。これまでは海洋における暦年代軸を持った17世紀以前を対象とした復元例はほとんどなかった。暦年代軸をもつことは、極域の氷床コアや陸上の木の年輪、湖沼堆積物年縞など同じく暦年代軸をもつ気候変動復元の結果と直接比較検討できることを意味している。この比較は、地球規模の気候変動、大気・陸域・海洋の気候変動の違いを検討するにあたって必要不可欠な基礎データを与えるものである。さらに週一月単位の高い分解能で復元を行うことによって、過去の気候変動を調べる上で重要な季節変動の経年変化などの情報が提示できるものである。この方法の成果は、サンゴ骨格年輪に着目した気候変動復元の応用範囲を著しく拡大させ、海洋環境の変動に新たな有効な情報を与えることが期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

(1) Morimoto, M., K. Kawanobe, O. Abe, T. Kawai, T. Kawamura, and K. Shirasawa (2010), Under-ice salinity and stable isotope distribution of Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, northern Japan, *Hydrological Processes*, 24 (7), 904–916, doi: 10.1002/hyp.7532. 査読有.

(2) Abe, O., S. Agata, M. Morimoto, M. Abe, K. Yoshimura, T. Hiyama, and N. Yoshida (2009), A 6.5-year continuous record of

sea surface salinity and seawater isotopic composition at Harbour of Ishigaki Island, southwest Japan, Isotopes in Environmental and Health Studies, 45 (3), 247-258. 査読有.

〔学会発表〕(計1件)

Abe, O., M. Morimoto, K. Yamada, N. Yoshida, Clumped isotope thermometry in coral skeletons, 2nd international workshop on clumped isotopes (第2回国際クランプトアイソトープワークショップ), Imperial College London, United Kingdom, 2011年8月10日.

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
森本 真紀 (MORIMOTO MAKI)
名古屋大学・大学院環境学研究科・研究員
研究者番号：30377999
- (2) 研究分担者：なし
- (3) 連携研究者：なし
- (4) 連携研究者
阿部 理 (ABE OSAMU)
名古屋大学・大学院環境学研究科・助教
研究者番号：00293720