

平成 21 年 6 月 30 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2006 ～ 2008
 課題番号：18740331
 研究課題名 (和文) 浅海成炭酸塩堆積物における微小領域分析に基づく環境記録解読法の構築とその応用
 研究課題名 (英文) Establishment of paleo-environmental proxy based on micro-scale analyses in shallow-water carbonates
 研究代表者
 坂井 三郎 (SAKAI SABURO)
 独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部変動研究センター・技術研究副主任
 研究者番号：90359175

研究成果の概要：サンゴ礁域の環境記録を直接記録していると予測されるサンゴ礁性堆積物に着目し、低マグネシウム方解石殻をもつ浮遊性有孔虫の酸素同位体比および微量元素の保存性を検討した結果、陸水性続成作用を被った炭酸塩岩中においても、殻内有機膜 (POM) と呼ばれる初生の殻内部構造が保存され、浮遊性有孔虫殻の酸素同位体比および Mg/Ca には初生値が保存されており、古環境指標として有効であることがわかった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,600,000	0	1,600,000
2007 年度	1,000,000	0	1,000,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,400,000	240,000	3,640,000

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：浅海性炭酸塩堆積物、酸素同位体比、微量元素、古海洋

1. 研究開始当初の背景

北西太平洋縁辺に位置する琉球列島には、南半球のグレートバリアリーフと並んで、太平洋熱帯域に匹敵する高い多様性を有するサンゴ礁が広がっている。これらのサンゴ礁は、氷期・間氷期サイクルが 4 万年周期から 10 万年周期へと変化する Mid-Pleistocene revolution (MPR: 約 80 万年前)以降、西赤道太平洋域に広がる暖水塊 (Western Pacific Warm Pool) がサンゴ礁発達に適した水温に上昇したことにより、その形成が開始もしくは拡大し、現在に至ったという仮説が提唱されている。両海域のサンゴ礁の成立・拡大の原因と考えられる海洋表層の温暖化が定量的なデータから支持されれば、約 80 万年前頃に "Warm pool" が西太平洋全域で拡大し、これに呼応して亜熱帯

域のサンゴ礁が成立・拡大したことが検証できるが、それを裏付ける“直接的”かつ“定量的”な海洋表層環境 (氷期と間氷期のサイクル・水温) についての古海洋学的な研究例は、見当たらない。その大きな要因は、サンゴ礁域の海洋環境を直接記録していると予測される浅海性炭酸塩堆積物が、海水準変動によって容易に陸上に干出し、陸水性続成作用を被るため、堆積時の環境情報が改変されることにある。また、陸水性続成作用により炭酸塩堆積物は固結して微化石粒子などを摘出できないことも要因の一つであった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、琉球列島及びグレートバリアリーフに広がるサンゴ礁とその周辺堆積物が、第四紀中期のどのタイミングで、ど

のような海洋表層環境（特に水温）の変動が原因でサンゴ礁の成立・拡大が促されたのか、微化石におけるマイクロメートル単位の微小領域解析によって検証することにある。

3. 研究の方法

これまでの研究で系統的なデータ（微化石年代・酸素同位体層序・海水準変動）が揃っている沖縄県伊良部島およびその島棚（南琉球弧）の琉球層群のコア試料 CR-13・CR-14と同海域の現世海底表層堆積物を題材にして、（1）高精度マイクロミルシステムによる浮遊性有孔虫殻の $\delta^{18}\text{O}$ ・ $\delta^{13}\text{C}$ を実施する。実施にあたっては、浮遊性有孔虫 *Globigerinoides ruber*（殻サイズ 250-355 μm ）を拾いだし、一個体ずつ樹脂に封入する。その後、各成長段階の殻構造が観察できるように切片を作成し、それらの試料について切削を行った。（2）ICP-MS および EPMA による Mg/Ca を用いた環境記録解読法を構築する。まず、*Globigerinoides ruber*（殻サイズ 250-355 μm ）を拾いだし、深海底コアの場合と同様の方法で前処理を行い、ICP-MS による Mg/Ca のデータを取得した。それとは別に、上記（1）の方法で *Globigerinoides ruber* の切片を作成して、各成長段階の殻について EPMA によるスポット分析を行い、Mg/Ca のデータを取得した。

次に、構築した環境記録解読法によって CR-13 コアから特徴的な氷期・間氷期の堆積物中の $\delta^{18}\text{O}$ ・ $\delta^{13}\text{C}$ ・Mg/Ca (EPMA) のデータを抽出し、サンゴ礁堆積物の発達本格化した南琉球弧海域の第四紀中期の海洋表層環境の変遷を定量的に議論した。

4. 研究成果

今回の研究で、陸水性続成作用を被っている場合でも、低マグネシウム方解石（鉱物学的に安定）の殻を持つ浮遊性有孔虫の酸素・炭素同位体比（ $\delta^{18}\text{O}$ ・ $\delta^{13}\text{C}$ ）には“初生値”が保存されている事が判明した（図1）。同時に、固結した浅海性炭酸塩岩やそれに含まれる化石粒子から $\delta^{18}\text{O}$ ・ $\delta^{13}\text{C}$ 記録を抽出する手段として、高精度マイクロミルシステムを開発した（図2）。

さらに、低マグネシウム方解石殻の微量元素の保存性を検討した結果、陸水性続成作用を被った炭酸塩岩中においても、浮遊性有孔虫殻には、殻内有機膜（POM）と呼ばれる初生の殻内部構造が保存されており、浮遊性有孔虫殻の Mg/Ca には初生値が保存されている可能性が確認できた（図3）。ただし、Mg/Ca を分析する際には、従来の ICP-MS による測定法では、浮遊性有孔虫殻の殻（内）表面に付着した Mg を含んだ微細な続成生成物の影響を被るのに対して、樹脂に封入した浮遊性有孔虫殻の断面を観察しながら、EPMA（X線マイクロアナライザ）を用いた殻内部のスポット分析による Mg/Ca 測

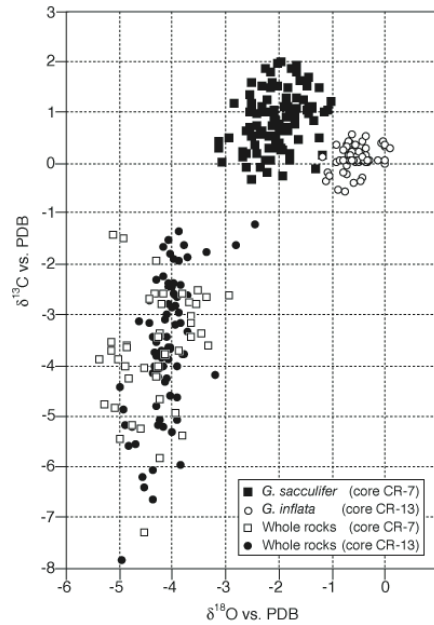


図1. 第四系琉球層群の全岩分析と浮遊性有孔虫殻の測定結果. 低 Mg 方解石の殻をもつ浮遊性有孔虫殻は変質しないで初期の同位体情報を保存している. 一方、全岩試料の結果は完全に陸水性続成作用を被っていることを示している

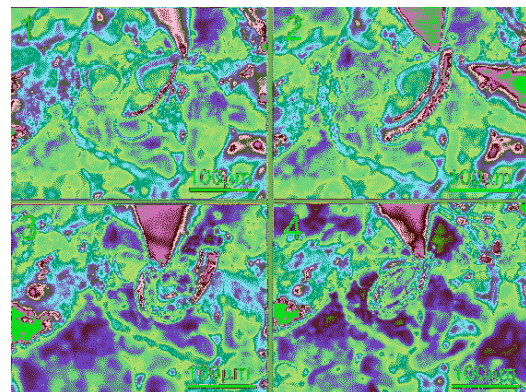


図2. 第四系琉球層群の浮遊性有孔虫殻の切削例. 1, 2) 切削する殻の周辺の基質部分を除去, 3) 殻の部分のみが確実に切削されている, 4) 殻を完全に切削した結果. 切削により得られた粉末試料は回収して質量分析計により酸素・炭素同位体比の測定を実施. 高精度マイクロミルシステムは固結した炭酸塩岩から選択的に初期情報を抽出する方法として有効であることがわかる

定法が有効であることが明らかとなった。

EPMA の予察的な結果として、産出した水温は第四紀中期の温暖化を示唆していた（約 1.5°C）。これらの事実は、浅海性炭酸塩堆積物（岩）を用いて、サンゴ礁域の $\delta^{18}\text{O}$ （氷期・間氷期サイクル）と Mg/Ca（古水温プロキシ）を同時に抽出できることを意味しており、サンゴ礁域の炭酸塩堆積物（岩）の安定同位体比・微量元素を用いた定量的な古海洋研究の可能性を大きく進

展させることができた。

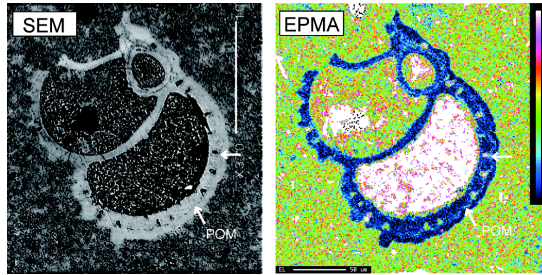


図3. 第四系琉球層群中の浮遊性有孔虫殻の琉球層群中の浮遊性有孔虫 *Globigerinoides ruber* の SEM 画像と EPMA マッピングの結果. 殻内有機膜 (POM) が保存されていることがわかる. 低Mg方解石の殻組成を反映した EPMA マッピングの結果となっている.

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4件)

- ① 渡邊 剛, 岨 康輝, 白井厚太郎, 石村豊穂, 坂井三郎, 横山一己, 角皆 潤, 佐野有司, シャコガイ殻の同位体比, 微量元素分析-シャコガイ殻は日単位の環境変動を記録しているのか-. 月刊地球, 30, 316-321, 2008, 査読有.
- ② Kano, A., Ferdelman, T.M., Pierre Henri, J., Ishikawa T., Kawagoe, N., Takashima, C., Kakizaki, Y., Abe K., Sakai, S., Browning E.L., Li, X., and IODP Exp. 307 Scientists, Age constraints of the origin and growth history of a deep-water coral mound in the northeast Atlantic drilled during Integrated Ocean Drilling Program Expedition 307. *Geology*, 35, 1051-1054; doi: 10.1130/G23917A.1, 2007, 査読有.
- ③ Sakai, S. and Jige, M., Characterization of magnetic particles and magnetostratigraphic dating of shallow-water carbonates from the Ryukyu Islands, northwestern Pacific. *The Island Arc*, 15, 468-475, 2006, 査読有.
- ④ 坂井三郎, 第四系浅海性炭酸塩堆積物における酸素・炭素同位体比を用いた古海洋研究の可能性. 地球化学, 40, 195-207, 2006, 査読有.

[学会発表] (計13件)

- ① Fujita, K., Sea-level rise in the Pleistocene sequence off Tahiti (French Polynesia) inferred from larger foraminiferal results: IODP 310, Tahiti Sea-level Expedition. 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 2008.5.25.
- ② 藤田和彦, タヒチ島沖海底コアの大型有孔

虫群集解析による更新世海面変動の復元. 日本微化石研究集会, 北海道大学, 2008.3.4.

- ③ Sakai, S., Origin, growth history and glacial-interglacial responses of a cold-water coral mound in NE Atlantic: Results from O-isotope and Sr isotope stratigraphy in IODP Expedition 307. *AGU Fall Meeting*, San Francisco, 2007.12.10.
- ④ Watanabe, Y., Comparison of Meteorological data and stable isotope time series from an Indonesian stalagmite. *AGU Fall Meeting*, San Francisco, 2007.12.10.
- ⑤ Watanabe, Y., Carbon and oxygen isotope compositions of a stalagmite from Ciawitali Cave, West Java, Indonesia, *International Conference on Quaternary Environmental Changes and Humans in Asia and the Western Pacific*, Tsukuba, Japan, 2007.11.17.
- ⑥ Tagami, T., A paleoclimate study of Asian equatorial regions using Indonesian speleothems: an overview, *International Conference on Quaternary Environmental Changes and Humans in Asia and the Western Pacific*, Tsukuba, Japan, 2007.11.16.
- ⑦ Fujita, K., Paleoenvironments of Unit 2 (Pleistocene sequence) inferred from larger foraminiferal results. IODP Expedition 310, the 2nd Post Cruise Meeting, Tahiti, 2007.11.15.
- ⑧ 渡邊裕美子, 鍾乳石を用いた古気候解析-インドネシア・西ジャワの例-. 日本地球化学会, 岡山大学, 2007.9.19.
- ⑨ 渡邊裕美子, インドネシアの鍾乳石を用いた古気候変動解析, 京都大学 21 世紀 COE プログラム「活地球圏の変動解明」別府シンポジウム 2007, 大分・別府, 2007.9.9.
- ⑩ 北村晃寿, 成長線解析と酸素同位体比分析に基づく海底洞窟に生息する“異常に大きな”二枚貝 *Glossocardia obesa* の成長速度. 日本古生物学会 2007 年大会, 大阪市立大学, 2007.6.29.
- ⑪ Sakai, S., Perspectives in geochemical analyses and paleoceanography of Quaternary shallow-water carbonates -Example from the Ryukyu Group-. The 1st International Workshop on the COREF Project, Okinawa-jima, Japan, 2007.1.17.
- ⑫ Sakai, S., Micromilling technique applied to foraminifer tests for sample preparation of geochemical analysis. Abst. International Symposium on Foraminifers., Natal, 2006.10.11.
- ⑬ Sakai, S., The oxygen isotope stratigraphy from IODP Expedition 307, Challenger Mound in the Porcupine Seabight off western Ireland. Abst. 17th Int. Sed. Congress, Fukuoka,

2006.8.29.

〔産業財産権〕

○出願状況（計1件）

名称：粉粒体回収装置

発明者：坂井三郎

権利者：海洋研究開発機構

種類：特許

番号：特願 2007-146385

出願年月日：2007年6月1日

国内外の別：国内

○取得状況（計1件）

名称：マイクロミリングシステムの制御方法

発明者：坂井三郎，高安克己，D.L.Dettman

権利者：海洋研究開発機構，島根大学

種類：特許

番号：特許第 4203860 号

取得年月日 2008年10月24日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

上記特許に関わる高精度マイクロミル装置

の実用化による製品「GEOMILL326」のWebペ

ージ：<http://g326.com/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂井 三郎 (SAKAI SABURO)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部

変動研究センター・技術研究副主任

研究者番号：90359175

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし