

平成 21 年 6 月 22 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18340180

研究課題名（和文）水槽飼育サンゴを用いた骨格環境指標の高精度化に関する研究

研究課題名（英文）Study on climate proxies in coral skeleton using cultured specimens

研究代表者

鈴木 淳（SUZUKI ATSUSHI）

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員

研究者番号：60344199

研究成果の概要：造礁サンゴ骨格は、月から週の時間分解能で熱帯および亜熱帯の浅海域の古気候・環境情報を保持しうる試料である。サンゴ骨格の酸素同位体比の変化は、基本的には海水温と海水の酸素同位体比（塩分に相関）を反映する。しかし、サンゴには骨格の酸素・炭素同位体比が平衡値からずれるという「生物学的効果（vital effect）」が認められ、これは石灰化反応に内在する反応速度論的同位体効果によるものと考えられている。本研究課題では、ハマサンゴ（*Porites australiensis*）を用いた 5 段階恒温サンゴ飼育実験を行い、にその骨格について、酸素同位体比および Sr/Ca 比等を分析し、骨格成長速度依存性を検討した。これらの化学組成に群体依存性が見出され、成長速度が速い群体ほど、酸素同位体比は高温を指標し、Sr/Ca 比は低温を指標する傾向が見られた。サンゴ記録から正確な古気候情報を読み出す場合には、成長速度の変化について注意が求められる。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	610000	183000	793000
2007年度	520000	156000	676000
2008年度	340000	102000	442000
年度			
総計	1470000	441000	1911000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・宇宙地球化学

キーワード：同位体、生物鉱化作用、酸素同位体比、海水温

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化に伴う気候変動について強い関心が集まる中、産業革命以降、海水温が長期的にどのように変化してきたかを明らかにすることは重要である。しかし、測器による水温観測記録は 1950年代以前になると急激に少なくなり、過去の ENSO（エルニーニョ・南方振動）などの気候変動の解析は著しく困難である。そこで、200年以上成長を続けるサンゴ骨格を用いた高時間解像度（約1～2週間）の海洋環境復元は、測器記録の代替として大きな期待を集めている。骨格の環境指標の中でも重要なのは「酸素同位体比（ $\delta^{18}\text{O}$ ）」と「ストロンチウム／カルシウム比（Sr/Ca比）」である。骨格の酸素同位体比は水温と塩分（正確には海水の酸素同位体組成）の双方に依存し（第1図）、Sr/Ca比は水温のみに依存する。したがって、骨格の Sr/Ca比から水温を推定し、骨格の酸素同位体比の変動から水温による変化分を差し引けば、その残差として海水の酸素同位体比組成の変化あるいは塩分の変化を知ることができる（McCulloch et al., 1994）。この方法は、 $\delta^{18}\text{O}$ -Sr/Ca比複合指標解析法（dual proxy method）と呼ばれて、最近、各地から長尺サンゴ試料への適用例が報告されてきている。

しかし、 $\delta^{18}\text{O}$ -Sr/Ca比複合指標解析法は、潜在的な問題点や誤差要因など基本的な特性についての理解がまだまだ十分ではない。特に懸念されるのは、(1) 正確なキャリブレーションの難しさ、(2) サンゴ成長速度が骨格組成へ与える影

響、(3) ハマサンゴ属内の種間変異および群体間変異、である。

2. 研究の目的

水温、塩分、光量等を制御した実験水槽で飼育したハマサンゴ属の骨格試料を用いて、次の検討を行う。

(1) 酸素同位体比および Sr/Ca 比の水温依存性を、種内変異等も考慮しつつ、高い精度で定式化する。

(2) 骨格の同位体比および元素濃度に見られる反応速度論的効果について、骨格成長に関わる環境条件や種内変異等の影響を検討し、定量的に評価する。

本研究は、イシサンゴ類のなかでも気候変動研究に多用されているハマサンゴを対象とする。この結果を応用して、気候復元に適したサンゴ試料の具体的な選定指針（水温復元にはどの水深のどの種のサンゴが最適か、など）を確立し、骨格成長速度の影響の補正方法の提案などを通じて、サンゴ骨格気候学の精度向上に貢献する。 $\delta^{18}\text{O}$ -Sr/Ca比複合指標解析法は、ENSOやモンスーン変動、地球温暖化に伴う海水温上昇の復元に今後も多用されると予想される。多くのサンゴ記録では過去200年間を通じて $\delta^{18}\text{O}$ 値の低下傾向が見られ、この原因を水温上昇と塩分低下に分別推定することが求められている。本研究で得られる関係式や推定の誤差要因に関する知見は、この解析の高精度化にも貢献すると期待される。

3. 研究の方法

5段階（21℃～29℃）の掛け流しの型の恒温水槽による *Porites australiensis* の3つの元群体から採取されたクローン群体を3個ずつ5段階の恒温水槽で飼育し、骨格化学組成およびその成長速度依存性について種内変異および群体間変異を評価した。ろ過海水を使用して、動物プランクトンや懸濁物摂取による骨格組成の影響を一律に除外した。飼育終了時に、サンゴ小群体は3つに分割し、それぞれ骨格化学組成分析、共生藻密度計測およびクロロフィル量測定に供した。また、飼育期間中、定期的に採水して水の酸素同位体比等を計測した。光条件は $250 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の昼夜12時間サイクルとした。また、同一環境下でも群体間で成長速度が大きく異なることが予想されるため、その原因探求のためにクロロフィル量等の生物学パラメータの計測も行い、骨格炭素同位体比と比較した。

さらに、「酸素・炭素同位体比の骨格成長速度依存性は光条件に依存する」という仮説の検討のために、光量を多段階に制御したサンゴ飼育実験を行った。*Porites* spp. を対象として、水温はすべて25℃とした。飼育実験の光量設定は、 $100 \sim 500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ の4段階として、従属栄養（光合成<呼吸）から独立栄養（光合成>呼吸）に移行する補償光強度周辺が評価できるような条件配置に工夫した。

4. 研究成果

サンゴの飼育に際しては、種を厳密に同定した群体を用い、環境条件比較実験には

クローン群体を用いるなど、生物学的解析を大幅に取り入れた点が本研究課題の特徴である。また、飼育中のサンゴのクロロフィル等の光合成色素量や共生藻の密度、光合成/呼吸速度などの代謝生理学的パラメータをモニターしつつ、その期間に形成された骨格の化学組成と比較にも力点を置いた。

約4ヶ月の飼育によって約3mmの骨格成長が認められ、同位体比および元素分析に十分な試料が得られた。飼育期間中の水中重量増加量は、遺伝子型によって有意な差が認められた。群体最表面部の骨格の酸素同位体比を分析したところ、同一温度区内の2つのクローン小群体間のバラツキは少なく、温度との関係式に高い相関係数が得られた。これは、クローン小群体を用いた実験の有用性を示すものであろう。3つのコロニーについて、温度と酸素同位体比の回帰式を求めたところ、コロニー毎に傾きと切片に有意な違いが認められた。骨格成長速度が大きいコロニーほど、酸素同位体比が小さくなる傾向が認められ、これは反応速度論的同位体効果の影響と考えられる。コロニー毎に温度と酸素同位体比の関係式が異なることから、群体間の酸素同位体比の比較は慎重に行わなければならないことが示唆される。

Sr/Ca比、Mg/Ca比に加え、U/Ca比等を分析し、骨格成長速度依存性を検討した。Sr/Ca比については、酸素同位体比にもられたものと同様の群体依存性が見出され、成長速度が速い群体ほどSr/Ca比が大きくなる傾向、すなわち低い水温

を指標する傾向が見られた。安定同位体比に加えて、元素濃度に見られる反応速度論的效果の生成メカニズムについてもモデル検討を試みた。

また、理論的な検討として、造礁サンゴを中心に酸素・炭素同位体比とその規定要因について文献調査を行った。石西礁のハマサンゴ群体のうち、水深が小さく成長速度が大きい群体は、骨格の酸素・炭素同位体比が逆相関関係を示すが、水深が大きく成長速度が小さい群体は、反応速度論的同位体効果が卓越した場合に生じる正相関関係が見られた。サンゴ骨格にこのような成長速度に依存した化学組成に反応速度論的同位体効果が見出されたことから、サンゴ記録から正確な古気候情報を読み出す場合は、細心の注意が求められる。

さらにハマサンゴ属サンゴについて「光量制御実験による酸素・炭素同位体比の成長速度依存性の解明」を検討した。飼育サンゴ骨格の分析結果には、光量の増加に伴い、酸素同位体比が減少する傾向が見られ、これは成長促進に伴う反応速度論的同位体効果によるものと解釈された。成長促進に伴い、同様の効果が炭素同位体比にも影響していると考えられるので、この効果分を差し引く補正を行うと、炭素同位体比の変化残差量に、光量依存性が認められた。このことは、炭素同位体比が光合成に規定されていることを示唆するものである。

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12件)

- ① Suzuki, A., Nakamura, T., Yamasaki, H., Minoshima, K., Kawahata, H. (2008) Influence of water flow on skeletal isotopic composition in the coral *Pocillopora damicornis*. *Coral Reefs*, 27, 209-218.
- ② Tsunoda, T., Kawahata, H., Suzuki, A., Minoshima, K., Shikazono, N. (2008) East Asian monsoon to El Niño/Southern Oscillation: A shift in the winter climate of Ishigaki Island accompanying the 1988/1989 regime shift, based on instrumental and coral records, *Geophysical Research Letters*, 35, L13708, doi:10.1029/2008GL033539.
- ③ Suzuki, A., Yokoyama, Y., Kan, H., Minoshima, K., Matsuzaki, H., Hamanaka, N., Kawahata, H. (2008) Identification of 1771 Meiwa Tsunami deposits using a combination of radiocarbon dating and oxygen isotope microprofiling of emerged massive *Porites* boulders. *Quaternary Geochronology*, 3, 226-234, doi:10.1016/j.quageo.2007.12.002.
- ④ Iwase, A., Sakai, K., Suzuki, A., van Woesik, R. (2008) Phototropic adjustment of the foliaceous coral *Echinopora lamellosa* in Palau. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 77, 672-678. doi:10.1016/j.ecss.2007.10.022
- ⑤ Omata, T., Suzuki, A., Sato, T., Minoshima,

- K., Nomaru, E., Murakami, A., Murayama, S., Kawahata, H., Maruyama, T. (2008) Effect of photosynthetic light dosage on carbon isotope composition in the coral skeleton: Long-term culture of *Porites* spp. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, 113, G02014, doi:10.1029/2007JG000431.
- ⑥ Gupta, L.P., Suzuki, A., Kawahata, H. (2007) Endolithic aspartic acid as a proxy of fluctuations in coral growth. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, 112, G01001, doi:10.1029/2006JG00024
- ⑦ Inoue, M., Suzuki, A., Nohara, M., Hibino, K., Kawahata, H. (2007) Empirical assessment of coral Sr/Ca and Mg/Ca ratios as climate proxies using colonies grown at different temperatures. *Geophysical Research Letters*, 34, L12611, 10.1029/2007GL029628.
- ⑧ Gupta, L.P., Suzuki, A., Kawahata, H. (2006) Aspartic acid concentrations in coral skeletons as recorders of past disturbances of metabolic rates. *Coral Reefs*, 25, 599-606.
- ⑨ Omata, T., Suzuki, A., Kawahata, H., Nojima, S., Minoshima, K., Hata, A. (2006) Oxygen and carbon stable isotope systematics in *Porites* coral near its latitudinal limit: The coral response to low-thermal temperature stress. *Global and Planetary Change*, 53, 137-146.

[学会発表] (計 7 件)

① 鈴木 淳, 中村 崇, 山崎秀雄, 蓑島佳代, 川幡穂高, 流れがサンゴ骨格の酸素・炭素同位体比に与える影響について 2007年度日本海洋学会秋季大会, 2007. 9. 27, 沖縄県西原町 (琉球大学)

② 鈴木 淳, 古賀奏子, 酒井一彦, 井上麻夕里, 川幡穂高, サンゴ骨格の酸素同位体比温度計の安定性に関する飼育実験による検討, 日本地球化学会, 2008. 9. 18 東京都 (東京大学)

[図書] (計 1 件)

① Suzuki, A., Gagan, M.K., Kan, H., Edward, A., Siringan, F. P. Yoneda, M., Kawahata, H. (2006) Coral records of the 1990s in the tropical northwest Pacific: ENSO, mass coral bleaching, and global warming. In: "Global Climate Change and Response of Carbon Cycle in the Equatorial Pacific and Indian Oceans and Adjacent Landmasses" (H. Kawahata and Y. Awaya ed.), Elsevier Oceanography Series, p.211-238.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ

<http://staff.aist.go.jp/a.suzuki>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 淳 (SUZUKI ATSUSHI)

産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員

研究者番号: 6034199

(2) 研究分担者

川幡 穂高 (KAWAHATA HODAKA)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科
研・教授

研究者番号： 20356851

酒井 一彦 (SAKAI KAZUHIKO)

琉球大学・熱帯生物圏研究センター・教授

研究者番号： 50153838

村上 明男 (MURAKAMI AKIO)

神戸大学・内海域環境教育研究センター・
准教授

研究者番号： 50304134

岡井 貴司 (OKAI TAKASHI)

産業技術総合研究所・地質情報研究部門・
主任研究員

研究者番号： 20356679

村山 昌平 (MURAYAMA SHOHEI)

産業技術総合研究所・環境管理技術研究部
門・主任研究員

研究者番号： 30222433