

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 8日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21340166

研究課題名（和文）造礁サンゴの骨格形成と環境情報を記録するメカニズムに関する研究

研究課題名（英文）Study on coral calcification and signal recording ability of coral climate proxies

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・研究グループ長

研究者番号：60344199

研究成果の概要（和文）：

サンゴの炭酸塩骨格の化学組成は、古気候を推定する間接指標として広く用いられている。しかし、その記録プロセスには生物が介在するため、これまで十分に考慮されてこなかった環境生物間相互作用に起因する「推定の不安定性」が存在する。本研究では、長期飼育サンゴについて、酸素同位体比および Sr/Ca 比の気候指標としての安定性を検証した。また、琉球列島石垣島のサンゴ記録から復元された 20 世紀初期の海洋変動について考察した。

研究成果の概要（英文）：

Corals are rich archives of climatic changes in tropical seas covering from the recent to distant past. The isotope and elemental compositions of coral skeletons reflect physicochemical parameters of the ambient seawater. In this study, we examine the magnitude of growth-rate influence on coral oxygen and carbon isotope and Sr/Ca ratios in a long-term common-garden culture experiment of *Porites australiensis* corals. This project involved paleoclimate analyses of coral skeletal records. Coral proxy records from Ogasawara and Ishigaki revealed several coupled phenomena during the early 20th century in the northwestern subtropical Pacific.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2010年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2011年度	2,600,000	780,000	3,380,000
総計	11,400,000	3,420,000	14,820,000

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：サンゴ、水温、骨格、同位体、種内変異、代替指標

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。2007年に公表された気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第一部会の第4次報告書では、これまでで初めて「古気候

（Paleoclimate）」の章が作成され、数十年から氷期間氷期スケールまでの気候変動に関わる知見のレビューが行われた。この中で、熱帯・亜熱帯域の200年以上成長を続けるサンゴ骨格（第1図）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、サンゴ骨格の酸素同位体比など

間接指標を用いた研究成果が数多く引用された。ENSO（エルニーニョ・南方振動）が完新世中期に減衰していた事実や、最近 200 年間の海水温がそれ以前に比べて明瞭に高い状態にあることを明確に証明してみせたのは、サンゴ骨格研究の成果の代表例である。

地球温暖化予測の高度化に向けて、今後もサンゴ骨格研究の必要性は一層高くなるであろう。また、IPCC第4次報告書によると、気候モデルによって亜熱帯域では降水量の減少が予測されているが、その確度は高くない。水温と合わせて、降水量と関係が深い過去の塩分変動を復元することは急務である。この期待に応えることができるのは、サンゴ骨格の $\delta^{18}\text{O}$ -Sr/Ca比複合指標法（dual proxy method）である。骨格の酸素同位体比（ $\delta^{18}\text{O}$ ）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、ストロンチウム／カルシウム比（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組成の変化あるいは塩分の変化を知ることができる。IPCCの第5次報告書は2012年頃に公表の予定である。この間、 $\delta^{18}\text{O}$ -Sr/Ca比複合指標法による気候変動解析を推進し、その結果を第5次報告書に反映させていくべきと考えられる。

2. 研究の目的

「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）」および「炭素同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ ）」の3つのサンゴ骨格の間接指標の挙動解明を目的として、生物学的手法と地球化学的な分析を駆使した総合的な研究を実施する。さらに、産業技術総合研究所が過去10年間にわたり系統的に収集してきた長尺サンゴ試料を最大限に活用しつつ、サンゴ骨格気候学の新展開を拓きたい。最終年度までの達成目標を以下に示す。

(1) $\delta^{18}\text{O}$ -Sr/Ca比複合指標法の精度および適用限界を、サンゴの精密水槽飼育実験から解明する。

(2) 石垣島・小笠原・フィリピンなどから採取されているサンゴ骨格長尺試料に $\delta^{18}\text{O}$ -Sr/Ca比複合指標法を適用し、150～200年間の水温と塩分の変動を分離して精密に復元する。

(3) 精密水槽飼育実験から得られた知見を、気候復元に適したサンゴ試料の具体的な選定指針としてまとめる。特に種が不明なハマサンゴ化石を用いる際のガイドラインを作成する。

3. 研究の方法

(1) ハマサンゴを用いた精密水槽飼育実験
ハマサンゴ (*Porites australiensis*) を対象に水槽飼育実験に重点を置き、生理学的・分子生物学的検討を行なったサンゴ群体の骨格試料について間接指標を測定し、環境パラメータとの関係を定式化することを試みた。琉球大学熱帯生物圏研究センター瀬底研究施設（沖縄県瀬底島）の屋外水槽を用いて、近傍のサンゴ礁から採取された複数のハマサンゴ (*Porites australiensis*) 群体を1.5 cm角の立方体状に切断し、約6年に及ぶ長期飼育実験を行い、骨格の成長速度および骨格の酸素同位体比、Sr/Ca比の変動と水槽で実測された水温等の環境パラメータとの精密対比を行なった。酸素同位体比は、独自に開発された前処理装置を用いて二酸化炭素ガスの精製濃縮を行い、質量分析計（Micromass社 Isoprime）で同位体比を計測した。Sr/Ca比は、同じく産業技術総合研究所所有 ICP 発光分光分析計（ThermoElectron社 IRIS Advantage）を用いて定量した。

(2) 長尺サンゴ骨格記録の解析

産業技術総合研究所では、国内外の研究機関と共同で現在までに、フィリピン3地点、インドネシア Seribu 諸島、ミクロネシア、琉球列島石垣島、小笠原諸島父島より、現生サンゴ骨格の長尺柱状試料を採取した。これらのサンゴ柱状試料の採取には水中エアドリルおよびエンジンドリルを用いた。試料採取地点は、東アジアから東南アジアを経て、インド洋に及び、アジアモンスーン変動および ENSO 変動の長期的変動を解析するのに適している。現在までの酸素同位体比の低時間分解能（ <2 ヶ月）での分析状況を第7図に示した。本研究課題では、1950年以前の海洋の水温塩分変動を復元するために、分析未了区間について分析を進めた。酸素・炭素の安定同位体比の測定には、産業技術総合研究所所有の Micromass 社製質量分析計 OPTIMA を、また、Sr/Ca比の測定には、同じく産業技術総合研究所所有 ICP 発光分光分析計を使用した。平成22年度は小笠原・父島、平成23年度は石垣島、平成24年度はインドネシア・フィリピンの試料を重点的に分析、解析した。

4. 研究成果

(1) ハマサンゴを用いた精密水槽飼育実験
 同一水槽内の同一環境下で飼育にも関わらず、6年間の飼育期間の後、群体の直径は約2 cm から 10 cm まで大きな群体差が見られた。これらの群体の成長軸に沿う酸素同位体比および Sr/Ca 比には、明瞭な年周変化が認められた。すべての群体で、採取前に比べ、切断後 2-3 年に渡る成長速度の低減が認められ、その後、成長速度の回復と安定が見られた。酸素同位体比は、この切断後の成長速度低下時に増大する傾向が認められたが、Sr/Ca 比の変動は一定であった。これは、サンゴの健康状態あるいは代謝状態の変化により成長速度に変化が生じた際に、酸素同位体比は Sr/Ca 比よりも敏感に影響を受けることを示す。飼育期間後半の成長速度安定期では、群体間の大きな成長速度の差 (約 2-10 mm/y) にも関わらず、酸素同位体比および Sr/Ca 比ともに群体間の変異は小さく、気候指標としての安定性が示唆される。

(2) 長尺サンゴ骨格記録の解析

日本周辺の北西太平洋域における長尺サンゴ研究は、海外と比較してまだまだ立ち遅れている。本研究課題の一環として、琉球列島の石垣島 (24° N, 124° E) と小笠原諸島の父島 (27° N, 135° E) についてそれぞれ 100 年を越える長尺ハマサンゴ柱状試料の化学分析を行ない、解析を進めた (図 1)。

太平洋ではレジームシフトと呼ばれる気候状態の急変が起きることが知られており、南琉球では 1988/1989 年のイベントが顕著である。このレジームシフト以前では、石垣島サンゴ礁浅部の冬の水温は、シベリア高気圧の吹き出しに敏感で、季節風の強さを表すモンスーン指数 (イルクーツクと根室の気圧差) とよい相関がみられた。また、石垣島のサンゴ骨格の冬の酸素同位体比は専ら水温に規定されていて、酸素同位体比から復元された冬季最低水温も 1971-1987 年にかけて冬の季節風の強さを表すモンスーン指数とよい相関を示した。これに対し、レジームシフト以後の石垣島の水温は、モンスーン指数との相関が低下した。そして、モンスーン指数よりも南方変動指数 (SOI) との対応が見られるようになってきた。亜熱帯域に区分されていた石垣島の熱帯化ともいべき現象で、興味深い。

また、このサンゴ試料の 1900 年近傍には低水温期の存在が認められた。1902 年 1 月は冬のシベリア高気圧の勢力が強かった冬として

記録されており、旧日本陸軍の八甲田山雪中行軍遭難事件では 194 名が犠牲となった。

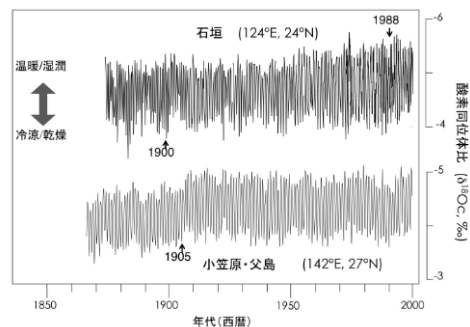


図 1 琉球列島石垣島と小笠原諸島父島から採取されたサンゴ骨格の酸素同位体比記録。1-2ヶ月の時間分解能を持ち、水温等の季節変動が復元できる。石垣島サンゴの 1900 年頃の低水温期、1988/89 年のレジームシフト、そして父島サンゴの 1905 年頃の塩分シフトについては、矢印を付した。

一方、小笠原サンゴ記録を用いた約 130 年間に渡る水温と塩分の復元は、北西太平洋域における複合指標法の最初の本格的な適用例である。また、このサンゴ試料については、Sr/Ca 比同様に水温の良好な指標とされる U/Ca 比も分析された。酸素同位体比と Sr/Ca 比あるいは U/Ca 比の 2 通りの組み合わせによる水温と塩分の復元結果はよく一致したことは、このサンゴ記録の信頼性が高いことを示唆する。復元された水温については、太平洋数十年変動との対応がみられた。より興味深いのは、1905-1910 年頃に塩分に急激な低下傾向が認められたことである。推定される塩分の変化はおよそ 1 であり、大きさの妥当性については問題が残るが、約 130 年間のサンゴ記録の中で最も顕著な変化である。この期間の骨格に続成変質などの兆候は認められなかった。小笠原における 20 世紀初頭の塩分低下の原因としては、当時の偏西風の減衰による小笠原高気圧の弱化に伴う蒸発量の減少などが想定され、石垣島のサンゴ記録にみられた低温イベントとの関係も興味深い。

(3) 今後の研究展開

本研究課題の課題代表者は、主要な研究分担者と共に研究計画最終年度前年度の応募を行なって、基盤研究 (A) (一般) (H24-H26) に応募し、採択された。平成 24 年度からは、「造礁サンゴ骨格による気候変

動解析の新展開」を推進する。

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 16 件)

- ① Gagan, M.K., Dunbar, G.B., Suzuki, A. (2012) The effect of skeletal mass accumulation in *Porites* on coral Sr/Ca and $\delta^{18}\text{O}$ paleothermometry. *Paleoceanography*, 査読有, 27, PA1203, doi:10.1029/2011PA002215
- ② Inoue, M., Suwa, R., Suzuki, A., Sakai, K., Kawahata, H. (2011) Effects of seawater pH on growth and skeletal U/Ca ratios of *Acropora digitifera* coral polyps. *Geophysical Research Letters*, 査読有, 38, L12809, doi:10.1029/2011GL047786
- ③ Hikami, M., Ushie, H., Irie, T., Fujita, K., Kuroyanagi, A., Sakai, K., Nojiri, Y., Suzuki, A., Kawahata, H. (2011) Contrasting calcification responses to ocean acidification between two reef foraminifers harboring different algal symbionts, *Geophysical Research Letters*, 査読有, 38, doi: 10.1029/2011GL048501
- ④ Izumida, H., Yoshimura, T., Suzuki, A., Nakashima, R., Ishimura, T., Yasuhara, M., Inamura, A., Shikazono, N., Kawahata, H. (2011) Biological and water chemistry controls on Sr/Ca, Ba/Ca, Mg/Ca and $\delta^{18}\text{O}$ profiles in freshwater pearl mussel *Hyriopsis* sp. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 査読有, doi:10.1016/j.palaeo.2011.06.014
- ⑤ Fujita, K., Hikami, M., Suzuki, A., Kuroyanagi, A., Sakai, K., Kawahata, H., Nojiri, Y. (2011) Effects of ocean acidification on calcification of symbiont-bearing reef foraminifers. *Biogeosciences*, 査読有, 8, 2089-2098, doi:10.5194/bg-8-2089-2011
- ⑥ Watanabe, T., Suzuki, A., Minobe, S., Kawashima, T. Kameo, K., Minoshima, K., Aguilar, Y. M., Wani, R., Kawahata, H., Sowa, K., Nagai, T., and Kase, T. (2011) Permanent El Nino during the Pliocene warm period not supported by coral evidence. *Nature*, 査読有, 471, 209-211, doi:10.1038/nature09777
- ⑦ Yokoyama, Y., Suzuki, A., Siringan, F., Maeda, Y., Abe-Ouchi, A., Ohgaito, R., Kawahata, H., and Matsuzaki, H. (2011) Mid-Holocene palaeoceanography of the northern South China Sea using coupled fossil-modern coral and Atmosphere-Ocean GCM model. *Geophysical Research Letters*, 査読有, 38, 10.1029/2010GL044231
- ⑧ Inoue, M., Yokoyama, Y., Harada, M., Suzuki, A., Kawahata, H., Matsuzaki, H., Iryu, Y. (2010) Trace element variations in fossil corals from Tahiti collected by IODP Expedition 310: Reconstruction of marine environments during the last deglaciation (15 to 9 ka). *Marine Geology*, 査読有, 271, 303-306.
- ⑨ Mishima, M., Suzuki, A., Nagao, M., Ishimura, T., Inoue, M., Kawahata, H. (2010) Abrupt shift toward cooler condition in the earliest 20th century detected in a 165 year coral record from Ishigaki Island, southwestern Japan. *Geophysical Research Letters*, 査読有, 37, doi:10.1029/2010GL043451
- ⑩ Felis, T., Suzuki, A., Kuhnert, H., Rambu, N., Kawahata, H. (2010) Pacific Decadal Oscillation documented in a coral record of North Pacific winter temperature since 1873. *Geophysical Research Letters*, 37, 査読有, doi:10.1029/2010GL043572
- ⑪ Araoka, D., Inoue, M., Suzuki, A., Yokoyama, Y., Edwards, R. L., Cheng, H., Matsuzaki, H., Kan, H., Shikazono, N., Kawahata, H. (2010) Historic 1771 Meiwa tsunami confirmed by high-resolution U/Th dating of massive *Porites* coral boulders at Ishigaki Island in the Ryukyus, Japan, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 査読有, 11, Q06014, doi: 10.1029/2009GC002893
- ⑫ Felis, T., Suzuki, A., Kuhnert, H., Dima, M., Lohmann, G., Kawahata, H. (2009) Subtropical coral reveals abrupt early 20th century freshening in the western North Pacific Ocean. *Geology*, 査読有, 37, 527-530, doi: 10.1130/G25581A.1
- ⑬ Mishima, M., Kawahata, H., Suzuki, A., Inoue, M., Okai, T., Omura, A. (2009) Reconstruction of the East China Sea paleoenvironment at 16 ka by comparison of fossil and modern Faviidae corals from the Ryukyus, southwestern Japan. *Journal of Quaternary Science*, 査読有, doi:10.1002/jqs.1268
- ⑭ Yoshimura, T., Nakashima, R., Suzuki, A., Tomioka, N., Kawahata, H. (2009) Oxygen and carbon isotope records of cultured freshwater pearl mussel *Hyriopsis* sp. shell from Lake Kasumigaura, Japan *Journal of Paleolimnology*, 査読有, doi: 10.1007/s10933-009-9341-8

[学会発表] (計 8 件)

- ① 林恵里香, 中村 崇, 井口 亮, 岩瀬 晃啓, 酒井一彦, 鈴木 淳, 岡井貴司, 川幡徳高, 長期飼育ハマサンゴを用いた骨格成長速度が気候指標に与える影

響の検討. 日本地球化学会第 58 回年会,
2011 年 9 月 14 日, 札幌市.

- ② Hayashi, E., Suzuki, A., Ishimura, T.,
Nakamura, T., Iguchi, A., Sakai, K., Iwase,
A., Kawahata, H. Growth-rate influences on
coral climate proxies tested by multiple clone
culture experiment. 日本地球惑星科学連合
2011 年度連合大会, 2011 年 5 月 25 日, 千
葉市.

[その他]

ホームページ等

http://staff.aist.go.jp/a.suzuki/index_jpn.html

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・研究グループ長
研究者番号: 60344199

(2) 研究分担者

井上 麻夕里 (INOUE MAYURI)
東京大学・海洋研究所・助教
研究者番号: 20451891
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
加藤亜記 (KATO AKI)
広島大学・大学院生物圏科学研究科・助教
研究者番号: 00452962

(3) 連携研究者

岡井 貴司 (OKAI TAKASHI)
産業技術総合研究所・地質情報研究部門・
研究グループ長
研究者番号: 20356679
川幡穂高 (KAWAHATA HODAKA)
東京大学・海洋研究所・教授
研究者番号: 20356851
村山 昌平 (MURAYAMA SYOHEI)
産業技術総合研究所・環境管理技術研究部
門・研究グループ長
研究者番号: 30222433