

サンゴ骨格 (Porites sp.) 中の微量元素を用いた 石垣島轟川周辺海域における海洋環境の復元

Reconstruction of marine environments around Todoroki River in Ishigaki Island using trace elements of coral skeletons

石川 大策¹, 井上 麻夕里¹, 鈴木 淳^{2*}, 渡邊 剛³, 川幡 穂高¹, 山野 博哉⁴

ISHIKAWA, Daisaku¹, INOUE, Mayuri¹, SUZUKI, Atsushi^{2*}, WATANABE, Tsuyoshi³, KAWAHATA, hodaka¹, YAMANO, Hiroya⁴

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 産業技術総合研究所地質情報研究部門, ³ 北海道大学大学院理学研究院, ⁴ 国立環境研究所
¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo, ² Geological Survey of Japan, AIST, ³ Faculty of Science, Hokkaido University, ⁴ National Institute for Environmental Studies

1. はじめに

サンゴ礁は、最も生産性の高い生態系の一つであり、多様な生物の生息環境となっている

る。しかし、近年人間活動に伴うサンゴ礁環境の悪化が問題となっており、特に沿岸域について、河川を通じ流域より様々な環境負荷を受けることが危惧されている。年輪を形成する Porites 属サンゴは海水中の濃度に応じて微量元素を骨格中に取り込むために、サンゴ骨格は河口環境における優れた環境指標になると考えられている。そこで本研究では、河川流域環境の変化に対応したサンゴ礁環境の変遷について明らかにすることを目的とし、サンゴ骨格中微量元素濃度の測定を行った。

2. 試料と方法

沖縄県石垣島白保海岸轟川河口周辺海域において、サンゴ骨格サンプルの採取を行った空間分布を明らかにするために、河口から外洋に向かって直線的に短尺コア 5 本 (S1, S2, S3, S4, S5) のサンプリングを行った。また、時系列変化を明らかにするために、長尺コア 2 本 (L1, L2) を採取し、サンゴ年輪に垂直に粉末化し、サブサンプルを作成した。ICP-MS (誘導結合プラズマ質量分析法) によってマンガン (Mn)、バリウム (Ba) など 11 元素、ICP-AES (誘導結合プラズマ発光分光分析) によって鉄 (Fe) を含む 2 元素の測定を行った。サンゴ骨格中微量元素濃度測定にあたり、試料採取および実験時におけるコンタミネーションを除くため、および元素のサンゴ骨格への結合の強さについて検討し、元素の骨格中での存在状態について明らかにするためには、化学的な洗浄を行うことが有効とされている。本研究では、サンゴ骨格試料に酸などによる洗浄を繰り返し行い、各段階における濃度の比較も行った。

3. 結果と考察

先行研究ではサンゴ骨格中の Ba 濃度は海水への陸水の指標、Mn および Fe 濃度は土壌

流出の指標となり得ることが指摘されているが、本研究における Fe, Mn および Ba 濃度の測定からは、以下のことが明らかになった。

未洗浄サンプルと洗浄を加えた短尺コア 5 点の比較から、海水中において懸濁態として存在する鉄、溶存態の Ba、溶存態と懸濁態の両方で存在する Mn がそれぞれサンゴ骨格に取り込まれていることが明らかになった。L1 コアによる時系列変化の復元から、サンゴ骨格中の Ba と Mn 濃度は年周期変動を示し、その変動が降水量の変動に対応していることが示された。一方、Fe 濃度は Mn と同様に先行研究にて土壌流出の指標と位置付けられているにも関わらず、L1 コアにおいては年周期変動を示さなかった。これはサンゴによる Fe と Mn の取り込み方の違いが原因であると考えられる。本海域において、サンゴは Fe を主に懸濁粒子の状態に取り込んでいると考えられるため、Fe の濃度は河川によって運搬される土壌流出のみでなく、堆積物の再懸濁にも影響を受けていることが考えられる。より長尺である L2 コアから求めた時系列変化 (Fig. 3) において、Ba および降水量は一定の変動幅をとっているのにも関わらず、Mn および Fe の濃度は、およそ 1980 年代後半から上昇傾向が見られ、1990 年代に最大となり、その後減少に転ずる変動を示した。これは土地改良事業による赤土の流出およびその後の環境保全活動による流出状況の改善に対比すると考えられる。

キーワード: サンゴ骨格, 微量元素, 赤土

Keywords: coral skeleton, trace elements, red soil

長期飼育実験による骨格成長速度がサンゴ骨格の地球化学指標に及ぼす影響の検討 Growth-rate influences on coral geochemical proxies tested by a long-term culture experiment

林 恵里香¹, 鈴木 淳^{2*}, 中村 崇³, 荒岡 大輔¹, 岩瀬 晃啓³, 岡井 貴司², 井口 亮³, 酒井 一彦³, 川幡 穂高¹

HAYASHI, Erika¹, SUZUKI, Atsushi^{2*}, NAKAMURA, Takashi³, ARAOKA, Daisuke¹, Akihiro Iwase³, OKAI, Takashi², Akira Iguchi³, Kazuhiko Sakai³, KAWAHATA, hodaka¹

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 産業技術総合研究所, ³ 琉球大学

¹ORI, UT, ²AIST, ³University of the Ryukyus

サンゴ骨格はこれまで熱帯・亜熱帯域の過去の海水温を復元するために数多く利用されてきた。塊状のサンゴには樹木と同様に年輪が刻まれるため、サンゴ骨格中の酸素同位体比や Sr/Ca 比、炭素同位体比を分析することで当時の水温、塩分、日射量などを復元できると考えられるが、これら間接指標の規定因子については異論も多い。サンゴの水温指標には、生物学的効果、成長速度、炭酸イオン効果などが影響し、例えば骨格の成長速度が 5mm/yr を下回ると正確な水温を記録しないという報告もある。一方、骨格中の炭素同位体比は日射量やサンゴの産卵と関係しているとする報告もあるが、影響因子は特定されていない。そこで、本研究では環境条件を精密に計測した屋外水槽で飼育した *Porites australiensis* (ハマサンゴ、古気候復元で利用される種) の骨格中の酸素・炭素同位体比および Sr/Ca 比を分析し、成長速度と酸素同位体比および Sr/Ca 比の関係、炭素同位体比の変動要因について検討する。

キーワード: サンゴ, 気候, 酸素同位体比, Sr/Ca 比

Keywords: Coral, Climate, Oxygen isotope ratio, Sr/Ca ratio

Trans-calcification メカニズムを組み込んだ造礁サンゴの光合成・石灰化の内部モデル

A coral internal model on photosynthesis and calcification processes incorporating trans-calcification mechanism

中村 隆志^{1*}, 灘岡 和夫¹, 渡邊 敦¹

NAKAMURA, Takashi^{1*}, NADAOKA, Kazuo¹, WATANABE, Atsushi¹

¹ 東工大・院・情報理工

¹Tokyo Tech.

サンゴ礁生態系は地球温暖化や人為的な栄養塩負荷など、常に様々な環境変化の中にさらされている。造礁サンゴがこのような変化に対してどのように応答するかを知ることは、将来の環境変化に対するサンゴ礁生態系の応答を予測する上で非常に重要である。特に、近年の大気 CO₂ 濃度の上昇に伴う海洋酸性化によって海水のアラゴナイト飽和度が低下することでサンゴの石灰化への影響が懸念されている。しかし、サンゴ内部で行われている光合成や石灰化のプロセスは非常に複雑であり、それらの環境に対する応答を予測することは簡単ではない。これらの問題を解決するには、サンゴの生体内のプロセスを再現した光合成や石灰化の内部モデルを構築することが有効な手段となり得る。

サンゴの石灰化には trans-calcification メカニズム (McConnaughey, 1994) が働いていると考えられている。これは、カルシウム ATPアーゼ (Ca-ATPase) が腔腸から Ca²⁺ を石灰化母液に能動輸送すると共に 2H⁺ を石灰化母液から除去して石灰化を促進させるとするメカニズムである。本研究で構築した内部モデルでは、この trans-calcification モデルを基に、サンゴの周囲の海水、腔腸内、石灰化母液の全炭酸やアルカリ度の収支を、物質移動や光合成、呼吸、石灰化、Ca-ATPase による能動輸送などによるフラックスを計算することでモデル化を行っている。光合成速度は主に光と腔腸内の HCO₃⁻ 濃度に依存する関数として表現され、腔腸内の HCO₃⁻ 濃度は腔腸内の全炭酸とアルカリ度から平衡計算で求められる。呼吸速度は光合成生産物の注入速度と貯蔵されている有機物の濃度に依存する関数で表現した。また、石灰化速度は石灰化母液のアラゴナイト過飽和度に比例する形で表現した。なお、石灰化母液のアラゴナイト飽和度は、石灰化母液の全炭酸とアルカリ度から計算される。

この内部モデルのシミュレーションにより計算された光合成速度や石灰化速度は、実際に飼育実験で測定されたサンゴの光合成速度や石灰化速度を良く再現することが確認された。また、マイクロ pH 電極で計測された腔腸内や石灰化母液の pH の変動パターン (Al-Horani et al., 2003) も、このモデルで良く再現されることが確認された。このモデルで計算される石灰化速度のアラゴナイト飽和度に対する応答は、アラゴナイト飽和度に対して非線形で、ミカエリス・メンテン式に見られるような飽和関数に近い応答であった。これは、Langdon et al. (2005) らによって提示された線形の応答とは異なるが、Gattuso et al. (1999) や Marubini et al. (2008)、Anthony et al. (2011)、Inoue et al. (2011) らの飼育実験によって提示された関係性に非常に類似した結果となった。このモデルでは、石灰化速度は、直接的には石灰化母液のアラゴナイト飽和度に比例する形でモデル化を行っている。それにもかかわらず、サンゴの内部応答に trans-calcification メカニズムを組み込むことによって、飼育実験と類似した非線形の応答が得られた点は非常に興味深い。

この内部モデルは、サンゴの光合成や石灰化を良く再現していることから、この内部モデルに栄養塩などに関する内部動態モデルを組み込むことで、サンゴの成長や栄養塩負荷に対する応答などを記述できるモデルへのさらなる発展が期待される。さらには、その発展させた内部モデルを海洋の流動モデルや物質循環モデルと結合させることで、サンゴ礁域の生態系モデルとしての発展が期待される。また、この内部モデルは石灰化までの全炭酸のパスや反応速度、移動速度が細かく記載されているため、サンゴ骨格に記録される酸素・炭素安定同位体比の vital effect の理解やモデル化などへの応用も期待される。

キーワード: 造礁サンゴ, 内部モデル, 光合成, trans-calcification, 海洋酸性化

Keywords: hermatypic coral, coral internal model, photosynthesis, trans-calcification, ocean acidification

THE RELATIONSHIP OF OCEANOGRAPHIC PARAMETERS AND CORALS CONDITION IN WAKATOBI ISLANDS THE RELATIONSHIP OF OCEANOGRAPHIC PARAMETERS AND CORALS CONDITION IN WAKATOBI ISLANDS

Ivonne Milichristi Radjawane^{1*}, Adi N.S. Utomo²

Ivonne Milichristi Radjawane^{1*}, Adi N.S. Utomo²

¹Faculty of Earth Sciences and Technology, Institute of Technology Bandung, ²Oceanographic Study Program-ITB

¹Faculty of Earth Sciences and Technology, Institute of Technology Bandung, ²Oceanographic Study Program-ITB

This research aims to evaluate the relation of some oceanographic parameters to coral conditions in Wakatobi Islands. The evaluated parameters are temperature and salinity in water surface and in 30 m depth, and also chlorophyll-a concentration in surface. The correlation of those parameters with hard coral cover area is evaluated using correlation matrix. The data of hard coral cover area was acquired from COREMAP-LIPI program in 2001, 2005, 2006, 2007, and 2009, and from TNC-WWF joint-program in 2003. Parameter oceanographic data used here was obtained from NOAA-AVHRR satellite from 1990 to 2009, while chlorophyll-a data was obtained from Seawifs satellite from 2000 to 2009. Temperature and salinity data in 30 m depth and surface salinity are from Hycom model in 1992-2010.

Observation shows that surface temperature rises 1.80 degree Celcius while surface salinity rises 0.108 psu. There is negative correlation of hard coral cover with temperature and chlorophyll-a, which means that the higher the temperature or chlorophyll-a the lower the hard coral cover in that area. The change of temperature more that normal coral temperature (25 - 30 degree Celcius), makes zooxanthelae stress and makes the coral can not live. Whereas when chlorophyll-a have a high number, the sunlight will be partly blocked. The distribution of surface temperature and chlorophyll-a gives the indication of upwelling phenomenon on east monsoon session that acts as refuge for the coral to be in their normal temperature.

キーワード: hard coral cover, surface temperature, salinity, upwelling, wakatobi islands

Keywords: hard coral cover, surface temperature, salinity, upwelling, wakatobi islands

サンゴ蛍光撮影装置が捉えたサンゴの変化と深海生物調査への応用 Behavior of coral observed by Fluorescence Monitoring System camera and application to deep sea biological research

古島 靖夫^{1*}, 丸山 正¹, 鈴木 貞男², William C. PHOEL³, 長尾 正之⁴

FURUSHIMA, Yasuo^{1*}, Tadashi Maruyama¹, Sadao Suzuki², William C. PHOEL³, NAGAO, Masayuki⁴

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構, ²Oceanographic Research Engineering (O.R.E.), ³Undersea Research Foundation International, Inc., ⁴ 独立行政法人産業技術総合研究所

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JA), ²Oceanographic Research Engineering (O.R.E.), ³Undersea Research Foundation International, Inc., ⁴National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

一昨年の本大会において、我々は、時系列的にサンゴの蛍光画像と通常画像を撮影できる「サンゴ蛍光撮影装置」の開発について報告した。本報告では、「サンゴ蛍光撮影装置」を用いた実海域試験で得られたサンゴの蛍光画像の輝度情報と環境変動との対応、サンゴの通常画像から得られた巻貝によるサンゴの食害等について報告する。さらに、本装置に用いた撮影手法およびフィルターセットを用いて、深海生物の蛍光撮影も可能であることが最近分かった。ゆえに、サンゴ蛍光撮影装置の今後の展望についても併せて報告する。

「サンゴ蛍光撮影装置」は、2台のデジタルカメラとストロボライト、タイマーユニット、バッテリーユニットで構成されている。励起光としてストロボライト前面に蛍光フィルター (Fluorescence excitation filter: BE1, Naightsea LLC) を取り付け、蛍光撮影用のデジタルカメラのレンズ前面には、ブルーカットフィルター (Blue Block filter: Naightsea LLC) を取り付け、おおよそ 460 ~ 480nm の青色光で励起された緑色より長い波長域の蛍光が撮影できる。また、デジタルカメラの特性を生かし、高速のシャッタースピードと強い励起光により、昼夜を問わず蛍光撮影が可能になるよう調整した。本装置は、サンゴの蛍光蛋白質の変動と環境変動とを現場で同時にかつ経時的に捉えることが出来れば、サンゴの状態を時系列的に見ることができ、さらに画像を得ることによってサンゴ自身の変化を可視化することも併せて可能になる、という考えで「サンゴ蛍光撮影装置」の開発を行った。

本装置を用いた実海域 (石西礁湖) 試験において、昼夜を問わず 1 時間毎に対象としたサンゴの蛍光画像と通常画像を約 26 日間 (620 枚の画像) 連続して撮影することに成功した。実海域試験は、2010 年 8 月、10 月、2011 年 3 月に実施した。

2010 年 8 に得られたサンゴ蛍光画像から 1 個のポリプの蛍光輝度データを抽出した。同時に計測した水温、照度、流速の変化との関係を調べたところ、輝度と照度との間には、明瞭な関係が見られなかった。これは、昼間の蛍光画像が太陽光の影響を受けていない、すなわちストロボライトによる一定の光環境下で撮影が出来ていたことを示すと考えられた。また、輝度は、水温の上昇傾向と応答することが示唆された。さらに、2011 年 3 月撮影調査では、巻貝 (シロレイシガイダマシ類) によるサンゴの食害の様子が時々刻々観察できた。これらの結果について報告する。

なお、本研究は平成 21 年度科学研究費補助金 (基盤 C 一般: No.21580238) により実施された。

キーワード: サンゴ蛍光撮影装置, サンゴ蛍光画像, 蛍光輝度, 食害, 深海生物

Keywords: coral Fluorescence Monitoring System camera, coral fluorescence image, intensity of fluorescent image, feeding damage, deep sea organisms