

## 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<sup>1</sup>, 鈴木 淳<sup>2\*</sup>, 中村 崇<sup>3</sup>, 荒岡 大輔<sup>1</sup>, 岩瀬 晃啓<sup>3</sup>, 岡井 貴司<sup>2</sup>, 井口 亮<sup>3</sup>, 酒井 一彦<sup>3</sup>, 川幡 穂高<sup>1</sup>

HAYASHI, Erika<sup>1</sup>, SUZUKI, Atsushi<sup>2\*</sup>, NAKAMURA, Takashi<sup>3</sup>, ARAOKA, Daisuke<sup>1</sup>, Akihiro Iwase<sup>3</sup>, OKAI, Takashi<sup>2</sup>, Akira Iguchi<sup>3</sup>, Kazuhiko Sakai<sup>3</sup>, KAWAHATA, hodaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所, <sup>3</sup> 琉球大学

<sup>1</sup>ORI, UT, <sup>2</sup>AIST, <sup>3</sup>University 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<sup>1\*</sup>, 灘岡 和夫<sup>1</sup>, 渡邊 敦<sup>1</sup>

NAKAMURA, Takashi<sup>1\*</sup>, NADAOKA, Kazuo<sup>1</sup>, WATANABE, Atsushi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東工大・院・情報理工

<sup>1</sup> Tokyo 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 CO<sub>2</sub> 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 Ca<sup>2+</sup> を石灰化母液に能動輸送すると共に 2H<sup>+</sup> 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 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 濃度に依存する関数として表現され、腔腸内の HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 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<sup>1\*</sup>, Adi N.S. Utomo<sup>2</sup>  
Ivonne Milichristi Radjawane<sup>1\*</sup>, Adi N.S. Utomo<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>Faculty of Earth Sciences and Technology, Institute of Technology Bandung, <sup>2</sup>Oceanographic 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<sup>1\*</sup>, 丸山 正<sup>1</sup>, 鈴木 貞男<sup>2</sup>, William C. PHOEL<sup>3</sup>, 長尾 正之<sup>4</sup>

FURUSHIMA, Yasuo<sup>1\*</sup>, Tadashi Maruyama<sup>1</sup>, Sadao Suzuki<sup>2</sup>, William C. PHOEL<sup>3</sup>, NAGAO, Masayuki<sup>4</sup>

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

<sup>1</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JA), <sup>2</sup>Oceanographic Research Engineering (O.R.E.), <sup>3</sup>Undersea Research Foundation International, Inc., <sup>4</sup>National 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