

令和元年6月19日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02813

研究課題名(和文) 温帯性サンゴ骨格から検証する日本周辺の地球環境変動

研究課題名(英文) Global environmental change reconstruction based on coral skeletal records around Japanese Islands

研究代表者

鈴木 淳 (Suzuki, Atsushi)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・研究グループ長

研究者番号：60344199

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,400,000円

研究成果の概要(和文)：日本周辺海域ではサンゴの北上が進行するなど、地球温暖化による環境変動が顕在化している。そこで、亜熱帯海域については、明瞭な年輪を持つハマサンゴ属のサンゴ骨格を用い、本州南方など温帯域では、卓越する枝状群体のミドリイシ類の骨格について、水温計としての利用法を開発し、環境変遷の復元にあつた。ミドリイシ水温計開発には、水産分野の専門技術の助けにより、従来に比べ格段に良好な状態でサンゴを飼育して、精密な環境制御下で形成された骨格を用いて、気候プロキシの検討を行った。喜界島と小笠原諸島父島のサンゴ長尺試料の解析の結果は、Kubota et al. (2017)として公表した他、多数の論文が発表された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本周辺海域におけるサンゴの北上や海洋酸性化の進行など、地球温暖化現象の顕在化について具体的な検討を進めることができたことは、社会的な意義が大きいと考えている。本課題に関して、産業技術総合研究所のホームページにて下記の「プレスリリース」及び「主な研究成果」を行なった：2017年1月19日「サンゴの骨格形成の高精度な可視化に成功」、2017年8月21日「サンゴが記録した人為起源二酸化炭素の大気放出による海洋酸性化の履歴」、2018年2月21日「海洋環境の情報が正しく記録された化石サンゴを見分ける手法を開発」、2018年6月8日「サンゴの骨格成長に寄与する共生藻の役割を解明」。

研究成果の概要(英文)：Global warming causes serious harm to the Earth's environment. A more sophisticated and accurate climate model can be developed by reconstructing climatic change since the Industrial Revolution. Coral skeletons are an important archive of past climate changes, and advances in the ability to read sea surface temperature and salinity in the coral record have been made by applying state-of-the-art technology. Coral skeletal climatology has been successfully applied to characterize both the recent global warming trend in the western Pacific, and it has also been used to investigate biological and environmental issues such as ocean acidification (Kubota et al., 2017). Nevertheless, aspects of coral skeletal climatology still need clarification, including the basic mechanism by which seawater temperature is recorded in coral skeletons, and further research on biomineralization will improve predictions of the future responses of marine calcifying organisms to ocean acidification.

研究分野：生物地球化学

キーワード：地球温暖化 サンゴ礁 サンゴ 海洋酸性化 同位体比

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

熱帯・亜熱帯域の200年以上成長を続ける塊状ハマサンゴの骨格は明瞭な年輪を持ち、高時間解像度(約1~2週間)の海洋環境復元が可能な材料である。炭酸塩骨格の酸素同位体比や Sr/Ca 比は水温の良好な指標(プロキシ)であり、近年の温暖化傾向の解明やエルニーニョ・南方振動現象(ENSO)に大きな寄与があった。研究代表者が参加した研究チームは、鮮新世中期の温暖期にも現在とほぼ同様のエルニーニョ現象が起きていたことを、化石サンゴ記録から明らかにした(Watanabe, Suzuki, et al., 2011Nature)。今後の地球温暖化が進行しても、いわゆる「永続的エルニーニョ」状態にはならず、現在と同様の ENSO 変動が存在することが強く示唆された。主にハマサンゴ骨格を材料とする気候復元研究は、「サンゴ骨格気候学」と呼ばれ、ハマサンゴが多産する熱帯から亜熱帯海域で多くの成果を挙げている。

### 2. 研究の目的

日本周辺海域では、サンゴの北上が進行するなど、地球温暖化の影響による環境変動が顕在化している。サンゴ骨格に注目して、過去100~200年間の変動を詳細に復元・検討を行なう。亜熱帯海域については、明瞭な年輪を持つハマサンゴ属のサンゴ骨格を用い、本州南方など温帯域では、卓越する枝状群体のミドリイシ類の骨格について、水温計としての利用法を開発し、環境変遷の復元にあたる。ミドリイシ水温計開発には、水産分野の専門技術の助けにより、従来に比べ格段に良好な状態でサンゴを飼育して、精密な環境制御下で形成された骨格を用いて、気候プロキシの検討を行い、気候変動研究の確度・精度向上を図る。

### 3. 研究の方法

亜熱帯および温帯性サンゴを対象に、精密環境制御飼育実験により得られた骨格試料について、水温指標である酸素同位体比と Sr/Ca 比を測定し、水温依存性の種間変異、分類群間変異を検討する。海洋酸性化影響評価実験で育成された骨格については、特に炭素同位体比の挙動に注目し、石灰化メカニズムの種間、分類群間の多様性を考察する。温帯性ミドリイシ類の5段階恒温水温飼育実験試料、25 における6段階の二酸化炭素分圧で生育した温帯性サンゴの試料について、分析を実施する。また、これらのサンゴ・貝試料の間接指標について、化石試料を扱う場合の検討を行なう。初生的なあられ石から方解石への続成作用により各間接指標が受ける影響の程度について、顕微ラマン分光計測法や紫外線照射下のルミネッセンス像を活用して検討する。

### 4. 研究成果

5段階(13~29)の調温水の掛け流しによる恒温水温を用いた温帯性ミドリイシ類の飼育実験が、新潟県柏崎市の海洋生物環境研究所において実施されており、研究課題の初年度は、この骨格分析から着手した。対象生物を養生水温23°Cから、1日1のゆっくりとした昇温/降温による馴化が行なわれた。サンゴ類の光条件は、250  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の昼夜12時間サイクルとして、対象生物へのストレスは十分に低いと考えられる。約6週間の飼育によって、スギノキミドリイシ (*Acropora muricata*) などの温帯サンゴ類でも約8%の骨格重量の増加が認められ、同位体比および元素分析に十分な試料が得られた。この試料について、骨格の酸素同位体比及び Sr/Ca 比に、明瞭な温度依存性が認められた。これらは、温帯性サンゴの水温計としての高い利用可能性を示すものである。

研究課題の第2年目は、新潟県柏崎市の海洋生物環境研究所・実証試験場及び縄県本部町の琉球大学熱帯生物圏研究センター瀬底研究施設における飼育実験で得られた温帯性ミドリイシ類およびハマサンゴ類の骨格試料について、温度指標とされる骨格の酸素同位体比や Sr/Ca 比が、海水の炭酸系パラメータや成長速度に影響するかどうかを検討した。飼育期間中、定期採水試料について、水の酸素同位体比等を計測した。骨格の酸素同位体比や Sr/Ca 比は、温度に関して明瞭な応答を示すが、炭酸系パラメータへの依存性は認められなかった。また、海水の炭素同位体比と有孔虫やサンゴ、その他の炭酸塩骨格の炭素同位体比の関係に注目した解析を進めた。海洋酸性化実験では、二酸化炭素分圧の増加に伴い、添加する二酸化炭素分圧の影響で、海水の溶存無機炭素の炭素同位体比が大きく低下する。有孔虫では、殻の炭素同位体比に海水の炭素同位体比への同調性に大きな差異があることが見出された。これは、石灰化機構の違いを示唆する。

研究課題の第3年目は、化石試料を扱う場合の検討を主として実施した。サンゴ骨格を構成する初生的なあられ石から方解石への続成作用により各間接指標が受ける影響の程度について、熱ルミネッセンス評価法を活用して検討した。現生サンゴの骨格はアラレ石からなるが、化石サンゴでは骨格の一部が方解石に変質している。その変質度が少ないほど、より多くの過去の海洋情報を留めている。そのため、変質度をいかに高精度に見極めるかが課題であった。熱ルミネッセンス評価法は、フーリエ変換型スペクトロメーターを用いて、サンゴの骨格内に含まれる微量元素であるマンガンからの発光を測定して評価する方法で、マンガンの発光の波長がアラレ石と方解石で大きく異なることを利用している。この評価法は従来法に比べ検出感度が高く、従来法では1~2%以上の変質度しか判別できない

かったが、今回開発した技術はより微小な変質度も判別できるため、信頼性の高い海洋情報を持つ化石サンゴの選定が可能となり、過去の海洋環境を解明する研究の推進に貢献できる。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 17 件)

- (1) Sekizawa, A., Uechi, H., Iguchi, A., Nakamura, T., Kumagai, N.H., Suzuki, A., Sakai, K., Nojiri, Y. (2017) Intraspecific variations in responses to ocean acidification in two branching coral species. *Marine Pollution Bulletin*, 122, 282-287, doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.06.061
- (2) Cyronak, T., Andersson, A.J., Suzuki, A., (25 人省略, 28 人中 25 番目) et al. (2018) Taking the metabolic pulse of the world's coral reefs. *PLoS ONE*, 13(1), e0190872.
- (3) 鈴木 淳(2017) サンゴ骨格に基づく気候及び海洋環境の研究(海洋化学学術賞(石橋賞)受賞記念論文) *海洋化学研究*, 72-89(査読無).
- (4) Takada, N., Suzuki, A., Ishii, H., Hironaka, K., Hironiwa, T. (2017) Thermoluminescence of coral skeletons: a high-sensitivity proxy of diagenetic alteration of aragonite. *Scientific Reports*, 7, 17969, doi: 10.1038/s41598-017-18269-y
- (5) Nakamura, T., Iguchi, A., Suzuki, A., Sakai, K., Nojiri, Y. (2017) Effects of acidified seawater on calcification, photosynthetic efficiencies, and the recovery processes from strong light exposure in coral *Stylophora pistillata*. *Marine Ecology*, 38, e12444, 10.1111/maec.12444
- (6) Iwasaki, S., Inoue, M., Suzuki, A., Sasaki, O., Kano, H., Iguchi, A., Sakai, K., Kawahata, H. (2016) The role of symbiotic algae in the formation of the coral polyp skeleton: 3-D morphological study based on X-ray microcomputed tomography. *Geochemistry, Geophysics. Geosystems*, 17, doi:10.1002/2016GC006536.
- (7) Kavousi, J., Tanaka, Y., Nishida, K., Suzuki, A., Nojiri, Y., Nakamura, T. (2016) Colony-specific calcification and mortality under ocean acidification in the branching coral *Montipora digitata*. *Marine Environmental Research*, 119, 161-165 doi:10.1016/j.marenvres.2016.05.025
- (8) Maeda, A., Fujita, K., Horikawa, K., Suzuki, A., Yoshimura, T., Tamenori, Y., Kawahata, H. (2017) Evaluation of oxygen isotope and Mg/Ca ratios in high magnesium calcite from benthic foraminifera as a proxy for water temperature. *Journal of Geophysical Research*, 122, 185-199, doi:10.1002/2016JG003587
- (9) Hirabayashi, S., Yokoyama, Y., Suzuki, A., Miyairi, Y., Aze, T. (2017) Short-term fluctuations in regional radiocarbon reservoir age recorded in coral skeletons from the Ryukyu Islands in the north-western Pacific. *Journal of Quaternary Science*, 32, 1-6, doi:10.1002/jqs.2923
- (10) Ohno, Y., Iguchi, A., Shinzato, C., Inoue, M., Suzuki, A., Sakai, K., Nakamura, T. (2017) An aposymbiotic primary coral polyp counteracts acidification by active pH regulation. *Scientific Reports*, 7, 40324, doi:10.1038/srep40324
- (11) Ohno, Y., Iguchi, A., Shinzato, C., Gushi, M., Inoue, M., Suzuki, A., Sakai, K. (2017) Calcification process dynamics in coral primary polyps as observed using a calcein incubation method. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 9, 289-294, doi: 10.1016/j.bbrep.2017.01.006
- (12) Takagi, H., Moriya, K., Ishimura, T., Suzuki, A., Kawahata, H., Hirano, H. (2016) Individual migration pathways of modern planktic foraminifers: chamber-by-chamber assessment of stable isotopes *Paleontological Research*, 20(3), 268-284, doi:10.2517/2015PR036
- (13) Yoshimura, T., Tamenori, Y., Suzuki, A., Kawahata, H., Iwasaki, N., Hasegawa, H., Nguyen, L. T., Kuroyanagi, A., Yamazaki, T., Kuroda, J., Ohkouchi, N. (2017) Altrivalent substitution of sodium for calcium in biogenic calcite and aragonite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 202, 21-38, doi: 10.1016/j.gca.2016.12.003
- (14) Tanaka, Y., Grottoli, A. G., Matsui, Y., Suzuki, A., Sakai, K. (2015) Partitioning of nitrogen sources to algal endosymbionts of corals with long-term <sup>15</sup>N-labelling and a mixing model. *Ecological Modelling*, 309-310, 163-169, doi: 10.1016/j.ecolmodel.2015.04.017
- (15) Nishida, K., Suzuki, A., Isono, R., Hayashi, M., Watanabe, Y., Yamamoto, Y., Irie, T., Nojiri, Y., Mori, C., Sato, M., Sato, K., Sasaki, T. (2015) Thermal dependency of shell growth, microstructure, and stable isotopes in laboratory-reared *Scapharca broughtonii* (Mollusca: Bivalvia). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 16, 2395-2408, doi:10.1002/2014GC005634
- (16) Yoshimura, T., Tamenori, Y., Takahashi, O., Nguyen, L.T., Hasegawa, H., Iwasaki, N., Kuroyanagi, A., Suzuki, A., Kawahata, H. (2015) Mg coordination in biogenic carbonates constrained by theoretical and experimental XANES. *Earth and Planetary Science Letters*, 421, 68-74, doi:10.1016/j.epsl.2015.03.048
- (17) Yoshimura, T., Izumida, H., Nakashima, R., Ishimura, T., Shikazono, N., Kawahata, H., Suzuki, A. (2015) Stable carbon isotope values in dissolved inorganic carbon of ambient waters and shell carbonate of the freshwater pearl mussel (*Hyriopsis* sp.). *Journal of Paleolimnology*, 54, 37-51, doi:10.1007/s10933-015-9834-6

[学会発表] (計 10 件)

Suzuki, A. (2017) Keynote: Coral based approaches for paleoclimate studies, future ocean environment assessment, and disaster research. 14th International Symposium on Biomineralization, October 12, 2017, Tsukuba [招待講演]

Kawahata, H., Suzuki, A. (2017) Different responses of biomineralization to ocean acidification. 14th International Symposium on Biomineralization, October 12, 2017, Tsukuba.

鈴木 淳, 海洋酸性化現象のサンゴ及びサンゴ礁生態系への影響. 日本第四紀学会 2017 年大会 [招待講演]

鈴木 淳, サンゴ骨格に基づく気候及び海洋環境の研究(第32回海洋化学学術賞受賞講演). 第32回石橋雅義先生記念講演会, 公益財団法人海洋化学研究所, 2017年4月22日, 京都. [招待講演]

鈴木 淳, 酒井一彦, 林 正裕, 山本雄三, 太田雄貴, 井口 亮, 井上麻夕里, 菅 浩伸, 野尻幸宏 (2017) 海洋酸性化現象が浅海の付着生物の加入定着に与える影響評価実験. 日本海洋学会 2017 年度秋季大会

宮城愛夏, 善岡祐輝, 井口 亮, 山城秀之, 酒井一彦, 林 正裕, 鈴木 淳, 野尻幸宏 (2017) 海洋酸性化が付着生物の加入定着に及ぼす影響評価実験. 2017 年度日本サンゴ礁学会大会.

Haryanti, D., Iguchi, Am, Suzuki, A., Nojiri, Y., Sakai, K. (2017) Effects of ocean acidification on recruitment of the coral *Acropora digitifera*. European Coral Reef Symposium, 2017

Suzuki, A., Mori, C., Inoue, M., Okai, T., Isono, R., Hayashi, M., Yamamoto, Y., Suwa, R., Yamano, H., Nomura, K., Nojiri, Y., Kawahata, H. (2016) Temperature dependency of skeletal growth and compositions of temperate *Acropora* coral species around Japan. Goldschmidt 2016, 2016年6月26日～7月1日, パシフィ横浜(神奈川県横浜市)

Inoue, M., Gussone, N., Nakamura, T., Yokoyama, Y., Suzuki, A., Sakai, K., Kawahata, H. (2016) Assessing the roles of coral-algal symbiosis in coral calcification based on culture experiments using symbiont and aposymbiont primary polyps. Goldschmidt 2016, 2016年6月26日～7月1日, パシフィ横浜(神奈川県横浜市)

Kubota, K., Yokoyama, Y., Ishikawa, T., Suzuki, A., Ishii, M. (2016) Rapid decline in pH of coral calcification fluid due to incorporation of anthropogenic CO<sub>2</sub>. Goldschmidt 2016, 2016年6月26日～7月1日, パシフィ横浜(神奈川県横浜市)

(図書) (計0件)

(産業財産権)

出願状況 (計1件)

名称: 造礁サンゴ類の飼育方法および造礁サンゴ類の飼育装置

発明者: 鈴木 淳 (産総研) 渡邊 裕介 林 正裕 (海生研) ほか

権利者: 国立研究開発法人産業技術総合研究所・公益財団法人海洋生物環境研究所

種類: 新規共同出願

番号: 特願 2017-132847

出願年: 2017 年

国内外の別: 国内

取得状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

(その他)

ホームページ等: <https://staff.aist.go.jp/a.suzuki/home1.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: 新垣 誠司

ローマ字氏名: Seiji Arakaki

所属研究機関名: 九州大学

部局名: 理学研究院

職名:助教  
研究者番号(8桁):10452963

研究分担者氏名:林 正裕  
ローマ字氏名:Masahiro Hayashi  
所属研究機関名:公益財団法人海洋生物環境研究所  
部局名:実証試験場  
職名:研究員  
研究者番号(8桁):20444870

研究分担者氏名:酒井 一彦  
ローマ字氏名:Kazuhiko Sakai  
所属研究機関名:琉球大学  
部局名:熱帯生物圏研究センター  
職名:教授  
研究者番号(8桁):50153838

研究分担者氏名:井口 亮  
ローマ字氏名:Akira Iguchi  
所属研究機関名:沖縄工業高等専門学校  
部局名:生物資源工学科  
職名:助教  
研究者番号(8桁):50547502

研究分担者氏名:山野 博哉  
ローマ字氏名:Seiji Arakaki  
所属研究機関名:国立研究開発法人国立環境研究所  
部局名:生物・生態系環境研究センター  
職名:研究センター長  
研究者番号(8桁):60332243

研究分担者氏名:新垣 誠司  
ローマ字氏名:Seiji Arakaki  
所属研究機関名:国立研究開発法人産業技術総合研究所  
部局名:・材料・化学領域  
職名:主任研究員  
研究者番号(8桁):70357359

## (2)研究協力者

研究協力者氏名:岡井貴司  
ローマ字氏名:Takashi Okai

研究協力者氏名:石村豊穂  
ローマ字氏名:Toyoho Ishimura

研究協力者氏名:中村 崇  
ローマ字氏名:Takashi Nakamura

研究協力者氏名:井上麻夕里  
ローマ字氏名:Mayuri Inoue

研究協力者氏名:山本雄三  
ローマ字氏名:Yuzo Yamamoto

研究協力者氏名:渡邊裕介  
ローマ字氏名:Yusuke Watanabe

研究協力者氏名:長尾正之  
ローマ字氏名: Masayuki Nagao

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。