

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 28 日現在

機関番号：33305

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24540500

研究課題名(和文)千年スケールの気候変動に対する造礁サンゴとサンゴ礁の時空分布変化

研究課題名(英文)Temporal and spatial variation of hermatypic coral assemblages and coral reefs in response to millennial-scale climate changes during the last glacial period

研究代表者

佐々木 圭一 (SASAKI, Keiichi)

金沢学院大学・基礎教育機構・准教授

研究者番号：50340021

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：最終氷期における千年スケールの急激な気候変動に対して、造礁サンゴやサンゴ礁の地理的分布がどのように変化してきたのか?この問いに答えるために、現在のサンゴ礁分布北限近くに位置する琉球列島喜界島において詳細な地質調査と浅層ボーリング掘削を行い、氷期のサンゴ礁とサンゴ群集に関する調査を行った。そして化石サンゴの高精度ウラン系列年代測定に基づき、4～7万年前には温帯域に特徴的なサンゴ種の割合を変化させながら、千年スケールの相対的海水準変動の影響を受けて断続的にサンゴ礁が形成されたことが明らかにされた。

研究成果の概要(英文)：To understand how hermatypic corals and coral reefs expanded/shrunk their geographical distribution in response to the millennial-scale climate changes, glacial coral reef deposits were surveyed by shallow drillings in Kikai Island of Ryukyu Islands, located near the northern limit of coral reefs. Lithologic and stratigraphic investigations of these reef deposits with high-precision U-series dating of fossil corals indicate that coral reefs were developed intermittently responding to millennial-scale relative sea level changes at 40-70 kyr B.P. Further, taxonomic studies demonstrated that different coral assemblages including coral species dominated in the modern temperate regions built these reefs.

研究分野：サンゴ礁地質学

 キーワード：造礁サンゴ サンゴ礁 サンゴ石灰岩 ウラン系列年代測定 海洋酸素同位体ステージ3～4 氷期
気候変動 喜界島

1. 研究開始当初の背景

急激な地球温暖化の影響で、低緯度域の陸上生物の分布域が、高緯度側に広がる現象は数多く報告されている。海洋生物でも造礁サンゴ（以下、サンゴ）の分布域が高緯度側へ拡大していることが、日本列島沿岸で確認・報告された (Yamano *et al.* 2011)。多様な生息環境を提供し、一次生産者として生態系を支えているサンゴの分布変化は、他の生物種への影響の大きさもあり、注目を集めた。

では、高緯度域へ進出したサンゴは、今後、サンゴ礁にまで発達するのであろうか？一方、かつてはどうであったのか？氷期-間氷期という世界的な気候変動に対して、サンゴ礁分布の緯度方向の変化が予想される。しかし、現在を含めた間氷期のサンゴ礁に関する研究が進む一方で、寒冷な氷期（低海水準期）の試料を得ることが難しく、その実態はほとんど解明されていない。この問題に対して「氷期-間氷期におけるサンゴ礁前線の移動」仮説の検証を目指した「COREF Project」が進められている (Iryu *et al.* 2006; 松田ほか 2014)。

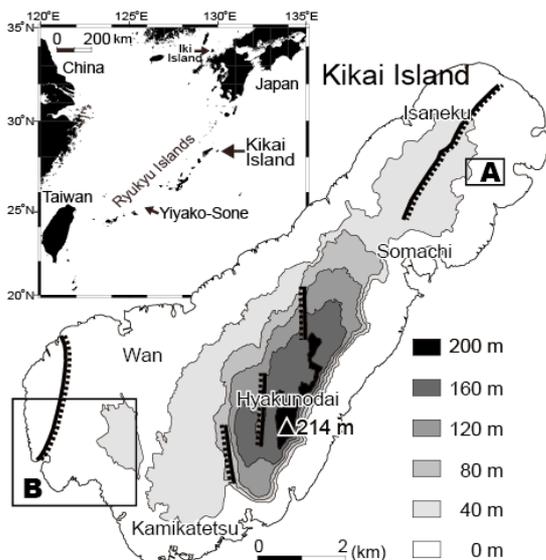


図1 喜界島の位置と調査エリア (南條ほか 2013)

現在、琉球列島から本州にかけて約400種のサンゴが分布し、その数は高緯度に向かって減少する。サンゴ群集としては八重山～奄美諸島の「熱帯サンゴ礁型」と種子島～紀伊半島の「温帯非サンゴ礁型」、さらに北の「高緯度型」に区分される (Veron 1992)。そこで『現在の「熱帯型」サンゴ群集の分布する北限近くでは、氷期に「温帯型」サンゴが分布していた』という仮説を立て、急速な隆起運動により海洋酸素同位体ステージ MIS-3～4の化石サンゴ礁（4万～7万年前）が陸上に分布する中琉球喜界島をフィールドにして、化石サンゴ礁およびサンゴ群集に関する調査を行ってきた。その結果、氷期 (MIS-4～3)の喜界島には、サンゴ礁地形が不明瞭で層厚の薄い貧弱なサンゴ礁（分布が不連

続）が「温帯型」サンゴを含みながら形成されたことが明らかになってきた (Sasaki *et al.* 2004; 2012)。

2. 研究の目的

『「熱帯サンゴ礁型」群集の分布北限近くでは、氷期に「温帯型」サンゴが分布していた』仮説について予想通りの成果が得られつつある一方で、喜界島北東部 (図1-A)の限られた露頭データ (ボーリング掘削試料含む)のみに基づいていることや、MIS-4～3における千年スケールの急激な気候変動 (Dansgaard-Oeschger サイクル)との対比といった新たな課題が明確になった。

本研究では「千年スケールの気候変動が顕著な MIS-4～3 で、サンゴ礁やサンゴ群集にどのような変化があったのか？」を主要テーマとして、喜界島に分布する MIS-4～3の化石サンゴ礁を対象に (1) 喜界島全域にわたるサンゴ礁堆積ユニットの認定、(2) 各ユニットを構成する化石サンゴ群集の調査、(3) 千年スケールの変動を検討するには精度が不十分な従来のα線測定ウラン系列法に替わる高精度ウラン系列年代測定を行う。また比較のために、喜界島より北の老岐島における現生「温帯型」サンゴ群集と、逆に南の宮古曾根における海底地形に関する調査に参加した。そして、それらの成果を総合して「千年スケールの気候変動に対する造礁サンゴとサンゴ礁の時空分布変化」の解明を目指している。



図2 喜界島における土地改良に伴う露頭風景

3. 研究の方法

上記 (1)～(3) について、以下の方法で研究を実施した。

(1) 中琉球喜界島に分布する MIS-4～3の化石サンゴ礁は上部更新統琉球層群の湾層に含まれる。しかし、露出が限られて湾層自体の詳細な層序が確立されていない。しかし近年の土地改良に伴い島南西部を中心に新たな露頭が大規模に露出している (図1-Bおよび2)。そのため、まず露頭調査を中心に湾層の岩相層序を組立てた上で、化石サンゴ礁を構成するサンゴ石灰岩について、より詳細な層位学的調査を行った。さらに、浅層ボーリング掘削を行い連続する柱状試料を採集した (株ジオアクトに委託; 図3)。掘削した柱状試料は実験室に持ち帰り、岩石カッターで半割の上、石灰岩の観察・記載を行った。また、熊本大学との共同研究で、石灰岩基質部の酸素・炭素同位体比測定を行い、過

去の地表露出面認定を行った（南條ほか 2013）。



図3 喜界島北東部からボーリング掘削した柱状試料の写真（南條ほか 2013）

(2) 化石サンゴ群集調査のために、上記柱状試料と併せて、露頭での観察・スケッチおよび試料採集をして化石サンゴ種の同定を行った。なおサンゴの同定には、杉原薫博士（国立環境研究所）の指導を仰いだ。

(3) 露頭調査およびボーリング掘削により保存状態の良い化石サンゴ骨格を採集し、国立台湾大学 HISPEC 研究室においてマルチコレクター ICP 質量分析計 (MC-ICP-MS) を用いたウランおよびトリウム同位体分析および年代推定を行った (Sasaki *et al.* 2015)。

4. 研究成果

従来の研究では、喜界島北東部（図1-A）を中心に MIS-4~3 の化石サンゴ礁に関する研究が行われてきた。本研究では、それらの成果に加えて、島南西部（図1-B）の露頭調査を行い、以下の様な成果が得られた。

(1) 喜界島の湾層に関して、島北東部および南西部で共通して、下位の単体サンゴ化石を含む細粒碎屑性石灰岩からロドリス石灰岩、最上位にサンゴ石灰岩が発達するシーケンスが確認された。特に南西部ではロドリス石灰岩の直下から特徴的な太枝状コケムシの密集層を発見した。またロドリス石灰岩に含まれる保存状態の良い腕足動物殻については、同位体および微量元素分析に基づく古水温などの復元を目指す研究に用いられた（滝澤ほか 2016）。

化石サンゴ礁を構成するサンゴ石灰岩については、これまで島北東部を中心に調査されてきた5万および5.5万年前のサンゴ礁が南西部にも分布することが示された。これは、その年代に不連続とはいえ、少なくとも喜界島全域にサンゴ礁が発達していたことを意味する。そして5万年前のサンゴ礁から掘削された柱状試料について、基質部分の酸素・炭素同位体比から過去の地表露出面を認定することで、4つの堆積ユニットから構成されることが明らかになった（図4；南條ほか 2013）。

(2) 各サンゴ礁堆積ユニットについて、化石サンゴ群集の調査を行った結果、「温帯型」サンゴの割合が異なり、特に、5.5万年前

のサンゴ礁でその値が高いことが明らかになった。そのサンゴ群集は老岐島の現生群集とは異なり、南九州から種子島に相当する古環境を示唆する。

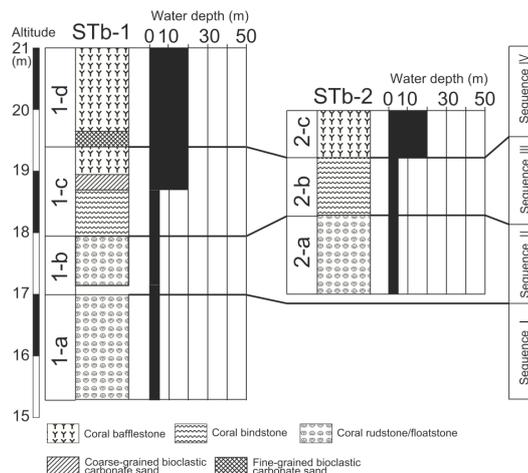


図4 喜界島北東部からボーリング掘削した柱状試料の柱状図と、地表露出面に基づく堆積ユニット区分（南條ほか 2013）

(3) 現地調査で採集された保存状態の良いサンゴ化石から、19個の高精度ウラン系列年代を得ることができた。それぞれのウラン及びトリウム同位体組成からは信頼度の高い年代値であると判断され、年代誤差 (2σ) も 0.5%以下と、サンゴ礁ユニットを区別するための十分な年代精度を示す。特に5万年前のサンゴ礁を構成する上部3ユニット（南條ほか 2013）から、54,200~50,500年前の年代が得られたことから、千年スケールの相対的海水準変動に対応してサンゴ礁が断続的に成長したと考えられる。

以上の成果は、千年スケールの気候変動に対するサンゴやサンゴ礁の直接的な変化を示すまでに至らないものの、少なくとも氷期 (MIS-3~4) において、サンゴ礁域北限近くの喜界島ではサンゴ群集を変化させながら、断続的にサンゴ礁が形成されていたことを示唆する。

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 7件）

- ① 松田博貴・町山栄章・荒井晃作・井上卓彦・佐々木圭一・吉津 憲・三納正美・井龍康文・杉原 薫・藤田和彦・山田 努・中森 亨 (2012) 浅海性炭酸塩堆積物に基づく氷期の琉球列島北部の海洋環境-氷期にサンゴ礁はあったのか?-。月刊地球, v. 34, p. 363-372
- ② 南條貴志・佐々木圭一・松田博貴 (2013) 炭素・酸素同位体組成に基づく地表露出

面から復元する約 62~52 ka の海水準変動. 地質学雑誌, v. 119, p. 155-170. doi:10.5575/geosoc.2012.0079

- ③ Arai, K., Machiyama, H., Chiyonobu, S., Matsuda, H., Sasaki, K., Humblet, M. and Iryu, Y. (2014) Subsidence of the Miyako-Sone submarine carbonate platform, east of Miyako-jima Island, northwestern Pacific Ocean. *Island Arc*, v. 23, p. 1-15. doi:10.1111/iar.12051
- ④ Sakaguchi, A., Nomura, T., Steier, P., Golser, R., Sasaki, K., Watanabe, T., Nakakuki, T., Takahashi, Y., Yamano, H. (2015) Temporal and vertical distributions of anthropogenic ²³⁶U in the Japan Sea using a coral core and seawater samples. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 121, p. 4-13. doi: 10.1002/2015JC011109.
- ⑤ Arai, K., Matsuda, H., Sasaki, K., Machiyama, H., Yamaguchi, T., Inoue, T., Sato, T., Takayanagi, H., Iryu, Y. (2016) A newly discovered submerged reef on the Miyako-Sone platform, Ryukyu Island Arc, Northwestern Pacific. *Marine Geology*, v. 373, p. 49-54. doi:10.1016/j.margeo.2016.01.007
- ⑥ 佐々木 圭一 (2016) 喜界島のサンゴ礁段丘 -1998 年以降の成果と今後の課題-. 号外海洋, No. 56, p. 9-15
- ⑦ 滝澤 護・高柳栄子・山本鋼志・佐々木 圭一・井龍康文 (2016) 続成作用による腕足動物殻の初生的化学組成の保持・改変の判定基準の見直し. 号外海洋, No. 56, p. 27-35

[学会発表] (計 4 件)

- ① Sasaki, K., Nanjo, T., Matsuda, H., Sugihara, K. 「Interstadial coral reef developments between 62 and 52 ka in Kikai Island, central Ryukyus of Japan」2012 年 08 月 05 日~10 日, 34th International Geological Congress (Brisbane Convention and Exhibition Centre, Queensland, Australia)
- ② Sasaki, K., Nanjo, T., Matsuda, H., Sugihara, K., Hasegawa, N. 「 Interstadial coral reef developments between 62 and 52 ka in Kikai Island, central Ryukyus of Japan」2014 年 03 月 25 日~27 日,

International Joint workshop on Coral reef environmental earth sciences (北海道大学理学部, 札幌市)

- ③ 滝澤護・高柳栄子・山本鋼志・佐々木 圭一・井龍康文「喜界島の上部更新統より産する *Kikaithyris hanzawai* の炭素・酸素同位体組成および微量金属濃度の個体差」2015 年 5 月 24 日~28 日, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会 (幕張メッセ, 千葉市)
- ④ Sasaki, K., Watanabe, T., Nakaya, R., Shen, C.-C., Nanjo, T., Matsuda, H., Sugihara, K., Watanabe, T. 「Preliminary results of MC-ICP-MS U-series dating of 50-ka coral reef in Kikai Island, central Ryukyus of Japan」2015 年 8 月 23 日~24 日, KIKAI international symposium for coral reef sciences 2015 (喜界町中央公民館, 鹿児島県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐々木 圭一 (SASAKI, Keiichi)
金沢学院大学・基礎教育機構・准教授
研究者番号: 50340021