

令和 5 年 6 月 18 日現在

機関番号：25101

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K13649

研究課題名(和文) なぜイシサンゴは深海で多様化できたのか 骨格構造で解き明かす深海適応史

研究課題名(英文) Adaptation to deeper water environments in scleractinian corals

研究代表者

徳田 悠希 (TOKUDA, YUKI)

公立鳥取環境大学・環境学部・准教授

研究者番号：30779765

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：現在、海洋酸性化によるイシサンゴ類への影響が問題となっているが、実際には骨格が溶解するような深海環境においても強固な骨格を形成し多様化に成功している。本研究の目的は、これまで無機物質として研究がなされてきたイシサンゴ骨格を、無機物と有機物の複合材料としての観点から再検討し、骨格構造とその機能を深海適応の観点から明らかにすることである。本研究では、これまで無機物質として研究がなされてきたイシサンゴ骨格を、無機物と有機物の複合材料としての観点から再検討し、詳細な骨格構造とその機能を深海適応の観点から明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の目的は、これまで無機物質として研究がなされてきたイシサンゴ骨格を、無機物と有機物の複合材料としての観点から再検討し、骨格構造とその機能を深海適応の観点から明らかにした。深海環境は一般に捕食圧が小さく、原始的な生物群の避難所であると考えられているが、実際は深海環境への適応に大きな障壁が存在することを実証し、イシサンゴの深海での多様化に骨格微細構造の進化が重要であることを明らかにした。今後、地球温暖化による深海域の海洋酸性化の拡大に対し、本研究の知見が非常に重要となる。

研究成果の概要(英文)：Ocean acidification leads to coral reef damage and/or loss. However, azooxanthellate scleractinian corals harbor in deeper water with low aragonite saturation environments. In this study, I reevaluated coral skeletons, which have been traditionally studied as inorganic materials, from the perspective of a composite material consisting of inorganic and organic components. We also revealed the three-dimensionally microskeletal structures with distribution of organic matter of the corals and its function to adapt to deep water environments.

研究分野：古生物学

キーワード：サンゴ 進化 骨格微細構造 海洋酸性化

### 1. 研究開始当初の背景

イシサンゴは地球温暖化に伴う海洋酸性化の進行により、炭酸カルシウム骨格を形成できなくなり、危機的なダメージを受けることが予想されている(Hoegh-Guldberg et al., 2007, Science)。その一方で、深海では少なくとも始新世以降約 5500 万年間にわたり炭酸カルシウムが溶解する環境が存続している(Pälike et al., 2012, Nature)。しかし実際には、そのような環境においても、炭酸カルシウム骨格を形成する多様な生物が生息してきた。イシサンゴも例外ではなく、現生種および化石種を含めた全イシサンゴ類(約 6000 種)のうち、約半分は共生藻を持たず深海域や冷水域に生息する無藻性のサンゴから構成され、その最大生息深度も水深 6500m におよぶ(Cairns, 2007)。さらに、一部の深海イシサンゴの飼育実験では、酸性化海水で成長速度が上昇することが明らかとなっている(Form and Riebesell 2012, Glob. Chang. Biol.)。しかし、骨格が溶解するような苛酷な深海環境下でどのように骨格を形成し、溶解しないよう維持しているのか、そのメカニズムはほとんど分かっていない。深海のイシサンゴは、造礁性のイシサンゴと異なり、その骨格中に有機物が非常に豊富に含まれ、骨格に明瞭な色彩を有するものが多数存在する。このようなサンゴでは、骨格が非常に薄いにもかかわらず、力学的に強固であり、また、炭酸塩溶解速度が大きな深海環境においても骨格の溶解がほとんど生じていない(Tokuda et al., 2010)。そこで、本研究は深海イシサンゴ骨格を構成するアラゴナイト結晶の構造と骨格内有機物に注目し、骨格の微細構造の進化がイシサンゴの深海適応に及ぼした影響を解明する。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、これまで無機物質として研究がなされてきたイシサンゴ骨格を、無機物と有機物の複合材料としての観点から再検討し、骨格構造とその機能を深海適応の観点から明らかにすることである。深海環境は一般に捕食圧が小さく、原始的な生物群の避難所であると考えられているが、実際は深海環境への適応に大きな障壁が存在することを実証し、古海洋の炭酸塩飽和度の変化と深海イシサンゴの多様化現象の関係を明らかにしたい。このように、骨格生物の形態進化に全く新しい視点でアプローチできる点に高い独自性がある。さらに、本研究は、これまで解明されていないサンゴ骨格のミクロレベルでの進化が生じる理由を理解できるだけでなく、「炭酸カルシウム結晶構造の制御」、「骨格内有機物の役割」を考慮した「骨格形成メカニズムの解明」につながる。このような深海での骨格形成を理解することで、現在問題となっている海洋酸性化に対するイシサンゴの中長期的な適応可能性を予測できる。さらに骨格内有機物の化学構造を決定し、骨格内での有機物量を定量化する手法を開発することで、イシサンゴ骨格の同位体比や微量元素を用いた古環境解析をより高精度に実現でき、さらには特定の骨格内有機物を用いた新たな古環境解析手法の確立のための基盤情報を提供できる。このように、本研究が遂行されれば、古生物学・分析化学・材料工学が融合した地球生命史を解明する学際的分野の創成・発展につながる。

### 3. 研究の方法

本研究では、多様な骨格微細構造と高い骨格内有機物含有量を示す深海性イシサンゴのセンスガイ科を検討試料として、系統ごとに(1)骨格微細構造の把握、(2)骨格内有機物の化学構造の特定と定量化、(3)骨格微細構造と骨格内有機物分布の重ね合わせ、(4)骨格微細構造ごとの材料強度と、酸性海水への溶解性に関する物性試験を実施し、微視的な骨格の「かたち」と「機能」を理解する。そして、得られた結果を統合し、系統解析結果に重ね合わせ、深海性イシサンゴにおける骨格微細構造の適応進化史を解明する

#### 4. 研究成果

現在、海洋酸性化によるイシサンゴ類への影響が問題となっているが、実際には骨格が溶解するような深海環境においても強固な骨格を形成し多様化に成功している。本研究の目的は、これまで無機物質として研究がなされてきたイシサンゴ骨格を、無機物と有機物の複合材料としての観点から再検討し、骨格構造とその機能を深海適応の観点から明らかにすることである。そこで、本研究では、無藻性イシサンゴ類の3次元的な骨格微細構造の解明を目指し、*Flabellum* 属サンゴの骨格微細構造に着目し蛍光実体顕微鏡と走査型電子顕微鏡による観察を行った。その結果、*Flabellum*(*Flabellum*)亜属と *Flabellum*(*Ulocyathus*) 亜属では、骨格微細構造が大きく異なっていることが明らかとなった。また、蛍光実体顕微鏡観察により、骨格中の有機物の分布を検討し *Flabellum* 属の骨格においては、Thickening Deposits 部分に有機物が濃集していることが明らかとなった。この検討結果を踏まえ、*Flabellum* 属のイシサンゴ骨格内の有機物を抽出し、有機層および水層にそれぞれ含まれる有機物をカラムを用いて分離した。その結果、蛍光色素を含め複数の有機物の分離に成功した。これらの有機物についてNMRを用いて同定を行った。さらに、無藻性イシサンゴの深海環境への適応を検討するため、奄美大島周辺海域における無藻性イシサンゴの多様性と分布について、生息場の海洋環境データと共に解析した。その結果、無藻性イシサンゴの分布にアラゴナイト飽和度が大きな影響を与えていた。また、特定の数種においては、アラゴナイト飽和度が1以下の環境にも生息していることが明らかとなった。そのような環境への適応を、骨格微細構造の観点から今後検討していく必要がある。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 SUZUKI Yoshiaki, ITAKI Takuya, KATAYAMA Hajime, KANEKO Naotomo, YAMASAKI Makoto, TOKUDA Yuki, SENTOKU Asuka	4. 巻 73
2. 論文標題 Submarine sediment distribution and its controlling factors around the Takarajima Island and the Suwanosejima Island	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN	6. 最初と最後の頁 275-299
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.9795/bullgsj.73.5-6_275	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Sentoku Asuka, Shimizu Keisuke, Naka Tsubasa, Tokuda Yuki	4. 巻 12
2. 論文標題 Dimorphic life cycle through transverse division in burrowing hard coral <i>Deltocyathoides orientalis</i>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 9359
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-13347-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Sentoku Asuka, Tokuda Yuki	4. 巻 39
2. 論文標題 New Records of Azooxanthellate Scleractinian Corals (Cnidaria: Anthozoa) from Sagami Bay and Suruga Bay, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Zoological Science	6. 最初と最後の頁 52-61
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2108/zs210056	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ishiwa Takeshige, Tokuda Yuki, Itaki Takuya, Sasaki Satoshi, Suganuma Yusuke, Yamasaki Shintaro	4. 巻 28
2. 論文標題 Bathymetry data and water column profiles in the shallow waters of Langhovde in L?tzow-Holm Bay, East Antarctica	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100650
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.polar.2021.100650	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Tokuda Yuki、Ezaki Yoichi	4. 巻 24
2. 論文標題 Microskeletal Structures Suggest Taxonomic Distinction between Subgenera of Azooxanthellate Scleractinian Flabellum	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Paleontological Research	6. 最初と最後の頁 261-275
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2517/2019PR021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 山口麻菜, 徳田悠希, 千徳明日香, 江崎洋一, 板木拓也, 兼子尚知, 片山肇, 杉崎彩子, 鈴木淳
2. 発表標題 奄美大島周辺海域における無藻性イシサンゴの多様性と分布様式の解明
3. 学会等名 日本古生物学会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石輪健樹, 菅沼悠介, 奥野淳一, 徳田悠希, 香月興太, 田村亨, 板木拓也, 佐々木聡史
2. 発表標題 GIAモデルと堆積物試料分析による最終間氷期以降の東南極氷床変動史の復元
3. 学会等名 日本地質学会第128年学術大会 名古屋大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 徳田悠希・石黒泰弘・江崎洋一・千徳明日香
2. 発表標題 Truncatoflabellum gardineri 骨格に認められる破損・修復痕を用いた 沖合軟底質上でのイシサンゴの捕食圧の解明
3. 学会等名 日本古生物学会2018年年会, 東北大学
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 千徳明日香・G. E. Webb・徳田悠希
2. 発表標題 深海性イシサンゴの無性生殖様式と微細構造観察
3. 学会等名 日本地質学会第125年学術学会，北海道大学
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 同前 万由子・徳田 悠希・江崎 洋一・千徳 明日香・鈴木 淳・池原 研・片山 肇・板木 拓也
2. 発表標題 山陰沖の日本海における無藻性イシサンゴの構成と分布
3. 学会等名 日本サンゴ礁学会 第21回大会，琉球大学
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 同前 万由子・徳田 悠希・江崎 洋一・鈴木 淳・池原 研・片山 肇・板木 拓也
2. 発表標題 日本海でのイシサンゴの分布制限要因は水温である - 山陰沖イシサンゴ相の成立過程の解明 -
3. 学会等名 日本古生物学会2018年年会，東北大学
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------