

平成 28 年 6 月 27 日現在

機関番号：18001

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25740004

研究課題名(和文) 海洋酸性化によるサンゴの種間および種内での影響比較

研究課題名(英文) Inter -species and intra-species variation of coral response to Ocean Acidification

研究代表者

栗原 晴子 (Kurihara, Haruko)

琉球大学・理学部・助教

研究者番号：40397568

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、1. 沖縄列島沿岸に生息する異なる6種類のサンゴ種での酸性化応答を定量的に評価し、種間での酸性化耐性の違いを明らかにした。2. ココビミドリインサンゴを用いて種内での異なる地域個体群においても酸性化耐性に違いがあることを解明し、3. 酸性化に対する応答が異なる個体群間において石灰化関連遺伝子およびpH調整遺伝子の発現量の違いがあることをはじめて明らかにした。これら結果から、酸性化の進行に伴い、サンゴの群集組成が大きく変化する可能性が示唆された一方で、サンゴ種によっては、酸性化環境に適応可能な種も存在することが示唆された。

研究成果の概要(英文)：In this study 1. We conduct experimental studies using 6 different tropical reef building coral species and clear the intra-species response variation of corals to Ocean Acidification. Additionally, 2. We clear that the coral *Acropora digitifera* have a strong intra-species tolerance variation to the ocean acidification, and 3. The tolerance variation of *A. digitifera* was suggested to be related on the genetic expression of calcification related genes such as Ca-ATPase. From these results it is suggested that Ocean Acidification will cause both decrease on coral growth and change on coral community structure. Meanwhile, we clear for the first time that some coral species potentially are able to adapt in the future Ocean acidified environment.

研究分野：海洋生態、海洋環境

キーワード：海洋酸性化 サンゴ 種内変異 石灰化関連遺伝子 サンゴ礁 種間変異

## 1. 研究開始当初の背景

大気CO<sub>2</sub>濃度の増加に伴う海水中のCO<sub>2</sub>濃度の増加は、海水のpHおよび炭酸カルシウム飽和度の低下（海洋酸性化）を引き起こす（IPCC2007）。これまで、一般的にサンゴなどの石灰化生物の石灰化速度は、海水中の炭酸カルシウム飽和度の低下と共に減少すると報告されてきたため（Kleypas et al. 2005）、海洋酸性化の進行に従ってサンゴの成長やサンゴ礁の炭酸カルシウムの生産は、一律に低下するものと予測されてきた（Hough-Guldborg et al. 2008）。

しかし近年、様々なサンゴ種を高CO<sub>2</sub>濃度海水（低pH海水）に曝した際、サンゴ体内のpHの低下度合いは、種によって異なる結果が示され、種間によって体内pHの調整能力に違いがある可能性が指摘された（McCulloch et al. 2012）。また研究代表者は昨年度、熱帯/亜熱帯域に広く生息するサンゴの1種であるコユビミドリイシ（*Acropora digitifera*）を様々なCO<sub>2</sub>濃度の海水で飼育した結果、これまでの研究とは異なり炭酸カルシウム飽和度と石灰化速度の間には相関が見られず、本種が酸性化の影響を全く受けない可能性を始めて示した（Takahashi & Kurihara 2012）。これらの結果から、これまでの予測とは異なり、海洋酸性化に対するサンゴの石灰化応答、さらには耐性能は種によって大きく異なる可能性が考えられる。さらに予備的研究より、異なる2個体群のコユビミドリイシを用いて酸性化影響を評価した結果、酸性化の影響を受ける個体群と受けない個体群があることが示唆された。この結果からは、同一種内のサンゴでも、個体群間で酸性化への耐性能が異なる可能性が考えられ、これはサンゴが酸

性化環境に対して適応的応答を示す可能性を示唆する初めての知見である。

## 2. 研究の目的

大気CO<sub>2</sub>濃度の増加に伴う海洋酸性化はこれまでサンゴの石灰化速度および成長を一律に低下させるものとして、サンゴ礁への影響評価予測がなされて来た。しかし、最新の研究結果より、サンゴ種間、さらには同一種内でも個体群間で酸性化影響の受け方が異なる可能性が分かってきた。本研究課題では、海洋酸性化が沖縄列島サンゴ礁群集におよぼす影響の将来予測および、サンゴによる酸性化環境への適応能とそのメカニズムの解明を目的とし、以下3点を評価した。1. 沖縄列島沿岸に生息する複数のサンゴ種での酸性化応答の定量化と種間差、2. コユビミドリイシサンゴを用いて種内での酸性化応答の可塑性、および3. 酸性化に対する応答が異なる個体群間での石灰化関連遺伝子およびpH調整遺伝子の発現量の違い。

## 3. 研究の方法

### 実験 1. サンゴ種間における酸性化応答の比較

：沖縄本島沿岸より以下6種のサンゴ：コユビミドリイシ、ウスエダミドリイシ、エダコモンサンゴ、パリノコキクメイシ、ヤッコアミメサンゴ、ユビエダハマサンゴを各7-10個体群採集した。各個体群より約4cmのサンゴ片を9片ずつ切り出し土台に接着後、約1-2ヶ月間瀬底研究施設の屋外水槽で馴致した。馴致後、自然光下で異なる3つのCO<sub>2</sub>濃度にて1ヶ月間飼育した。飼育の前後で各サンゴ片の水中重量を測定し、終了後には表面積を測定し、石灰化速度を算出した。飼育期間中は水温、塩分、pH、光量、また1週間おきにアルカリ度を測定した。また飼育期間中に、アルカリ度-全炭酸法によりサンゴの光

合成速度，呼吸速度，明石灰化速度および暗石灰化速度を算出した。

**実験 2. コユビミドリイシサンゴ (*A. digitifera*) の種内での酸性化応答の比較：**沖縄本島より異なる2カ所(大度海岸および瀬底島)より，*A. digitifera* の複数群体から実験1同様にサンゴ片を作成し，異なる3つのCO<sub>2</sub>濃度にて1ヶ月間同時に飼育した。飼育期間中，サンゴの石灰化速度，光合成速度，呼吸速度，光合成活性を計測し，同種の異なる個体群間で酸性化に対する応答の違いの有無を検討した。

**実験 3. 予備的実験ならび実験 2 から，**大度海岸の群体は酸性化の影響を大きく受ける一方で，瀬底島の群体は酸性化の影響を全く受けないことが明らかになった。この結果を受けて，同種内での個体群間での酸性化応答の違いのメカニズム解明を目的に，各両群体のサンゴの石灰化関連遺伝子の発現量をqPCR法により検討した。酸性化耐性の高かった瀬底島のサンゴについては，骨格のBr同位体を計測することにより，骨格形成時の骨格形成部位母液のpHの算出を試みた。

#### 4. 研究成果

実験1の結果からは，各サンゴ種間での酸性化耐性には大きな種間差があることが明らかとなった。中でもアマメヤッコサンゴやパリノコキクメイシは極めて酸性化耐性が低く，産業革命時(炭酸カルシウム飽和度:4.6)に比較して，現在の石灰化速度は(炭酸カルシウム飽和度:3.1)既に約60%低下している可能性が示唆された。これまで，成長速度の比較的遅い種ほど酸性化耐性が高い可能性が指摘されてきたが，今回の結果をその仮説には反する結果となった。

実験2の結果からは，瀬底島のコユビミドリイシは酸性化の影響を全く受けない一方で，大度海岸のコユビミドリイシは酸性化と共に石灰化速度が低下することが示された。本

結果より，同種のサンゴでも，個体群によって酸性化耐性が異なる可能性が初めて明らかとなった。このことは，サンゴによっては，酸性化耐性に大きな変異差がある種が存在することが示唆され，酸性化環境にある程度適応する能力がある可能性が示唆された。

実験3の結果から，酸性化耐性の高いコユビミドリイシでは，体内のpH調整に関わっているとされるCa-ATPaseの発現量が酸性化環境に曝された際，大きく上昇することが示された。Ca-ATPaseは，サンゴの石灰化形成部位内のpH調整に関わっていると考えられ，石灰化形成部位内のプロトンを外に排出することによって，pHを高く保つ機能があるとされている。そこで実際に瀬底島の本種のサンゴの石灰化形成部位内のpHが高く保たれているのかを確かめるため，酸性化環境で飼育されたサンゴ骨格のBr同位体を測定した結果，海水のpHが8.1から7.4に低下しても，母液内のpHは8.5から8.3に保たれていることが明らかになった。これら結果より，本種の瀬底島集団のサンゴは，酸性化環境においてもCa-ATPaseの活性を高く維持できることによって，石灰化形成部位のpHを高い状態で維持し，高い石灰化速度を保持できている可能性が示唆された。その一方でなぜこの集団にはそのような能力が備わっているのかについては，解明できていない。

本研究から，サンゴは種間，さらには種内でも酸性化に対する耐性が大きく異なることが明らかとなった。この結果から海洋酸性化は，サンゴの石灰化速度を低下させるだけでなく，サンゴの群集組成も大きく改変させる可能性が示唆された。一方で，耐性能の高い種や個体群のメカニズム解明することによって，酸性化応答の機構や，進化的機構，さらには保全を考える上での重要な知見が得られたと言える。一方で，今後異なる環境でのサンゴの酸性化応答の可塑性などをさらに明らかにしていくことが重要だと言え

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 5 件)

1. Baria M.V.B.B, Kurihara, H. Harii, S. (2015) Tolerance to elevated temperature and ocean acidification of the larvae of solitary corals *Fugia funites* (Linn. 1758) and *Lithophyllon (Fungia) repanda* (Dana 1846) *Zoological Science*, accepted
2. Tanaka, K., Holocomb, M., Takahashi, A., Kurihara, H., Asami, R., Shinjo, R., Sowa, K., Rankenburg, K., Watanabe, T., McCulloch, M. (2015) Response of *Acropora digitifera* to ocean acidification: constraints from  $^{11}\text{B}$ , Sr, Mg and Ba compositions of aragonitic skeletons cultured under variable seawater pH. *Coral Reefs*, accepted
3. Schutter, M., Nozawa, Y. Kurihara, H. (2015) The effect of elevated  $\text{CO}_2$  and increased temperature on in Vitro fertilization success and initial embryonic development of single male:female crosses of broad spawning corals at mid- and high-latitude locations. *Journal of Marine Science Engineering* 3, 216-239
4. Edmund, P.J., Steneck, R., Albright, A., Carpenter, R.C., Chui, A.P.Y., Fan, T.-Y., Harii, S., Kitano, H., Kurihara, H., Legendre, L., Mitarai, S., Muko, S., Nozawa, Y., Padilla-Gamino, J. Price, N.N., Sakai, S., Suzuki, G., van Oppen, M.J.H., Yarid, A., Gates, R.D. (2014) Geographic variation in long-term trajectories of change in coral recruitment: a global-to-local perspective. *Marine and Freshwater Research*, in press
5. Inoue, S., Kayanne, H., Yamamoto, S., Kurihara, H. (2013) Spatial community shift

from hard coral to soft corals in volcanically acidified water. *Nature Climate Change*.

DOI:10.1038/NCLIMATE1855

〔学会発表〕(計 13 件)

1. 栗原晴子, 安田直子, Judith Wouters (2015) 沿岸域における海洋酸性化 . 2016 年度春季大会日本海洋学会、東京 2016 年 3 月 14-18 シンポジウム[地球温暖化に関する分野横断の海洋研究] 見延庄士郎、伊藤進一、河宮未知生, 栗原晴子主催、東京大学
2. 栗原晴子 (2015) サンゴと海洋酸性化 . 2015 年度に本付着生物学会シンポジウム「付着する快晴生物達の分類と生態」, 東京. 2014 年 10 月 2-3 招待講演、東京大学
3. Maria Vanessa B. Baria, Haruko Kurihara, Ronald Villanueva, Atsushi Watanabe, Toshihiro Miyajima, Maria Lourdes San Diego-McGlone, Saki Harii (2014) Latitudinal variation on the effects of ocean warming and acidification on the early life stage of corals 第 17 回大会日本サンゴ礁学会 2014 年 11 月 27-12 月 1 日 口頭発表、高知城ホール
4. 栗原晴子, 高橋 麻美, 村上 由香, Judith Wouters, 安田 直子 (2014) 酸性化に対するサンゴ応答の多様性 第 17 回大会日本サンゴ礁学会 2014 年 11 月 27-12 月 1 日 口頭発表、高知城ホール
5. Judith Wouters, Haruko Kurihara (2014) Long-term ocean acidification study on *Acropora digitifera* from 2 sites in Okinawa, The 3<sup>rd</sup> Asia-Pacific Coral Reef Symposium Taiwan 23-27 June 2014 口頭発表
6. 栗原晴子 (2014) 海洋酸性化が沿岸生物ならびに生態系に及ぼす影響 日本海洋

- 学会 シンポジウム 3月26-30 東京 口頭発表、東京海洋大学
7. Haruko Kurihara (2014) Biological data of Ocean Acidification. Technical meeting on Management of Biological Data Related to Ocean Acidification, 2014 年 4 月 22-23 Monaco, 招待講演
  8. 栗原晴子 (2013) 海洋酸性化がサンゴ群集の多様性および生産性に及ぼす影響. 日本地球惑星科学連合大会 2013 年 5 月 19-24 口頭発表、幕張メッセ
  9. Miriam Schutter, Haruko Kurihara, Yoko Nozawa (2013) Coral reproduction in the face of climate change: the effect of temperature and pCO<sub>2</sub> on fertilization success of different broadcast-spawning coral species. Mexico 口頭発表
  10. Haruko Kurihara (2013) Another threat to coral reefs ~Ocean acidification~. Japan-Australia Marine Forum “Coral Reefs and Global Change” Tokyo, Japan 2013 13 July 招待講演、政策研究院大学
  11. Haruko Kurihara (2013) Impacts of Ocean acidification on Coral Reef Organisms. Workshop of Ocean Acidification in Coral Reefs-Bringing gaps between field and laboratory studies. Tokyo, 2013 Japan 29 Sep -3 Oct 招待講演、東京大学
  12. Haruko Kurihara (2013) Biological and ecosystem impacts of ocean acidification. KIOST Annual forum, Korea 2013 June 11-12 招待講演
  13. Judith Wouters, Camile Paxton, Haruko Kurihara (2013) Long-term ocean acidification study on Acropora digitifera from 2 sites in Okinawa. サンゴ礁学会, 沖縄. 2013 年 12 月 12-15 ポスター発表、OIST

〔図書〕(計 3 件)

1. Secretariat of the Conservation on Biological Diversity (2014) An Updated Synthesis of the Impacts of Ocean Acidification on Marine Biodiversity. Eds Hennige JMR, Williamson P. Montreal, Technical Series 75, 99pp. Lead Author.
2. 栗原晴子 (2013) ベントス II (棘皮動物、甲殻類など)に対する海洋酸性化影響 海洋と生物 207: 332-337
3. 栗原晴子 (2013) 海洋酸性化が海洋生態系に及ぼす影響 海洋と生物 207: 356-365

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 出願年月日：  
 国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 取得年月日：  
 国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等  
<http://harukoku.sakura.ne.jp/kuriharalab/homu.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栗原晴子 (Kurihara Haruko)  
 琉球大学・理学部・海洋自然学科・助教  
 研究者番号：40397568

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：

(4) 研究協力者

( )