

機関番号：18001

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20510027

研究課題名(和文) 大気二酸化炭素の増大と表面海水の酸性化によるサンゴ石灰化への影響

研究課題名(英文) Surface ocean acidification with increasing atmospheric carbon dioxide and its effects on coral calcification

研究代表者

大出 茂 (OHDE SHIGERU)

琉球大学・理学部・教授

研究者番号：20117568

研究成果の概要(和文)：大気二酸化炭素濃度の増大に伴うサンゴの石灰化の応答に関する研究を平成18年度から継続し行った。サンゴの石灰化に対する海水のpHの影響について定量的なデータを得るため、pHを変化させた海水中でサンゴ飼育実験を行った。海水のpHを変化させると炭酸塩の化学平衡からその海水のアラゴナイト(炭酸カルシウム)に対する飽和度( $\Omega$ )を変化させることになる。クサビライシとハマサンゴ試料をpHを変えた3、4種の海水中で飼育し、石灰化速度を測定した。その結果、サンゴの石灰化速度( $R$ )と海水のアラゴナイトに対する飽和度( $\Omega$ )の間には、 $R = k(\Omega - 1)$ の関係が成立することが明らかになった( $k$ ：速度定数)。したがって、これらサンゴの石灰化機構は1次反応に規定される。1800年ころの大気二酸化炭素(280 ppm)と海水のアルカリ度(2.3 mmol/kg)(pHの推定値は8.3)から19世紀の海水のアラゴナイトに対する飽和度は4.5とモデル計算される。 $\Omega = 4.5$ のときのサンゴ石灰化率( $G$ )を100%とすると、上式は一般式として、 $G(\%) = 100(\Omega - 1)/(4.5 - 1)$ となる。2008年( $\text{CO}_2 = 380$  ppm, pH=8.20)、2100年( $\text{CO}_2 = 540$  ppm, pH=8.07)の $\Omega$ 値はそれぞれ3.8および3.0と計算される。上式に各 $\Omega$ 値を代入すると、 $G$ 値はそれぞれ80%(2008年)、57%(2100年)と計算できる。このような化学シミュレーションに照らして、サンゴ石灰化速度は産業革命以前に比べて現在は約20%減少しており、2100年には約40%以上減少する可能性がある。さらに、沖縄のサンゴ礁の石灰化速度を観測した結果、 $\Omega$ の二次反応である可能性が明らかになった。したがって、サンゴ礁での石灰化に対する海洋酸性化の影響はかなり大きいことが示唆される。過去から未来への地球環境変動の予測をこの研究で試みた。

研究成果の概要(英文)：Global warming related with excess emission of carbon dioxide is a burning issue for the world's environments nowadays. Due to fossil fuel burning, atmospheric carbon dioxide is predicted to be double (560 ppm) of pre-industrial period in 2065 and 700 ppm in 2100. Such an increase is reducing surface oceanic pH and carbonate ion concentrations, and thus the degree of calcium carbonate (aragonite crystal) saturation ( $\Omega = [\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]/K$ ), where  $K$  is the stoichiometric solubility product for aragonite. Since  $[\text{Ca}^{2+}]$  is constant in seawater, changes in seawater  $[\text{CO}_3^{2-}]$  could proportionally make changes in seawater  $\Omega$ . Corals use  $\text{CO}_3^{2-}$  from seawater to precipitate  $\text{CaCO}_3$  (calcification) in their skeletons as the reaction,  $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ . Changes in seawater  $[\text{CO}_3^{2-}]$  possibly affects coral calcification rate. We evaluate the effects of seawater  $\Omega$  on coral calcification associated with elevated atmospheric carbon dioxide. From the culture experiment data, we could conclude that coral calcification is possibly controlled by an inorganic precipitation law ( $R = k(\Omega - 1)^n$ ), where  $R$  is the precipitation rate,  $k$  is the rate constant and  $n$  is the empirical-reaction order. In order to figure out the changes in calcification rate with increasing carbon dioxide in future, the rates are normalized ( $G$  in %) to the rate at  $\Omega$  of 4.6, the value for  $\Omega$  during the pre-industrial period ( $\text{CO}_2 = 280$  ppm). When we use the first-order model ( $n = 1$ ), the model gives a relationship as follows:  $G = (\Omega - 1)100/(4.6 - 1) = 27.8(\Omega - 1)$ , for coral calcification. If atmospheric  $\text{CO}_2$  increases from ~280 ppm in 1800 to ~560 ppm in 2065 and to ~700 ppm in 2100, seawater  $\Omega$  is predicted to decrease from 4.6 to 2.9 and 2.5, respectively. Using the model equation, coral calcification is predicted to decline ~47% and

~58% by 2065 and 2100, respectively. We suggest that coral calcification is closely coupled to CO<sub>2</sub> in seawater and seawater Ω, and declined coral calcification is predicted near future when atmospheric CO<sub>2</sub> further increases.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究代表者の専門分野：海洋環境化学

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：二酸化炭素、海洋酸性化、サンゴ、石灰化、pH、アラゴナイト、飽和度

1. 研究開始当初の背景

(1) 大気中の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) は地球表層における炭素循環 (特に光合成) にとって重要な物質であり、また CO<sub>2</sub> は赤外線を吸収するので大気の温暖化をもたらす。大気 CO<sub>2</sub> 濃度は化石燃料の燃焼によって 19 世紀はじめの 280ppm から 380ppm に増加した。さらに、2100 年にその濃度は 540ppm に達すると予測されている (IPCC, 2001)。大気中の二酸化炭素がこのまま増えると、その影響は地球温暖化 (表面海水温度の上昇) ばかりではなく、表層海水の水素イオン濃度の増加 (pH の低下、正確には中性化が正しいが、本研究では海水の酸性化と呼ぶことにする) をもたらす。その結果、炭酸カルシウムの殻をもった海洋生物の石灰化をさまたげ、海の生態系に深刻な影響を与える恐れがある。

現在の表面海水の pH は ~8.2 (NBS スケールの観測値) である。また、大気-海水の炭酸系化学平衡から、pH=8.20 (25 度、1 気圧下、アルカリ度=2.30 mmol/kg、CO<sub>2</sub>=380 ppm) と計算できる。理論上、CO<sub>2</sub> 濃度変化に対する、アルカリ度の変化は理論的に無視できるので、1800 年の CO<sub>2</sub>=280 ppm、2100 年の CO<sub>2</sub>=540 ppm と仮定し、アルカリ度=2.30 mmol/kg を使って、過去と未来の pH が計算できる。その結果、1800 年の pH は 8.30、2100 年の pH は 8.07 と計算できる (Morse and Mackenzie, 1990 平衡定数データを使用し計算した)。人間活動の結果、大気に放出された CO<sub>2</sub> の 1/3-1/2 は海水に溶け込んでおり、これまでと同様の人間活動が続く、CO<sub>2</sub> が大気中へ放出された場合には、上記計算が示すように、表面海水の pH が下がり、海成炭酸塩生物の石灰化速度に影響を与える可能性がある。そこで、大気二酸化炭素濃度の増大に伴う海水 pH の低下が海成炭酸塩 (サンゴ) の石灰化に与える影響に関する研究を計画した。

(2) 大気二酸化炭素濃度の増加はサンゴ礁海水の温度上昇および pH の低下 (酸性側へのシフト) を伴うとの考えから、サンゴ骨格 (アラゴナイト結晶) 中に含まれる微量元素および同位体分析を行ってサンゴが生息していた海の環境 (温度、pH など) 指標となる元素、同位体を検索することが考えられた。サンゴ骨格中のホウ素同位体比は、pH 指標として使える可能性がある (大出ら、1999)。また、サンゴ骨格中ウランおよびフッ素、ホウ素、硫酸塩 (陰イオン) がサンゴが生息していた海水の炭酸イオン (pH とリンク) に規定される可能性があり、サンゴ骨格中の陰イオンと海水 pH の関係は、まったく研究例がなく、可能性を秘めた研究課題であった。本研究の 1 つの目的はサンゴ骨格の化学、同位体分析からサンゴが生息していた海水の pH を推定することである。今はもう存在しない太古の海の pH を知ることは、私にとって夢の一つであった。その夢を一步、現実近づけたのがホウ素同位体である。

2. 研究の目的

大気 CO<sub>2</sub> 濃度の増大に伴う海水 pH の低下がサンゴの石灰化に与える影響について定量的なデータを提出することが本研究の目的である。海水の pH が変化すると、炭酸塩の化学平衡からその海水のアラゴナイト (炭酸カルシウム) に対する飽和度 (Ω) を変化させることになる。サンゴが生息している海水の pH が低下し、飽和度が低下すると、それに伴ってサンゴ石灰化速度が低下することが無機化学 (速度論) 的見地から予想できる。すでに、Gattuso et al. (1998) など 2、3 例のサンゴ飼育実験が行わ

れた。しかし、サンゴ石灰化速度と飽和度 ( $\Omega$ ) の間には明瞭な関係は見出せなかった。私は彼らが実験に使用した人工海水 (化学組成) に問題があるように思える。したがって、本研究では、沖縄のサンゴ礁海水を使って、pH を酸とアルカリを添加し変化させた海水中でサンゴの飼育実験を実施したい。前述したように海水の pH を変化させると炭酸塩の化学平衡からその海水のアラゴナイト (炭酸カルシウム) に対する飽和度 ( $\Omega$ ) を変化させることになる。

また、沖縄では生きた石サンゴ (コブハマサンゴとクサビライシ) の試料を大学近くのサンゴ礁で採取することができる。pH を変えた数種の海水中でサンゴを飼育し、石灰化速度を測定し、サンゴの石灰化速度 (R) と海水のアラゴナイトに対する飽和度 ( $\Omega$ ) の間の関係を明らかにするのが本研究の目的である。サンゴ石灰化が無機化学的であれば、Mucci らの実験式、 $R = k(\Omega - 1)^n$  の関係が成立するはずである (k : 速度定数、n : 反応次数)。

1800 年ころの大気二酸化炭素 (280 ppm) と海水のアルカリ度 (2.3 mmol/kg) (pH の推定値は 8.3) から 19 世紀の海水のアラゴナイトに対する飽和度は 4.5 と計算される。 $\Omega = 4.5$  のときのサンゴ石灰化率 (G) を 100% とすると、上式は一般式として、 $G(\%) = 100(\Omega - 1)^n / (4.5 - 1)^n$  となる。2006 年 ( $\text{CO}_2 = 380$  ppm, pH=8.20)、2100 年 ( $\text{CO}_2 = 540$  ppm, pH=8.07) の  $\Omega$  値はそれぞれ 3.8 および 3.0 と計算される。サンゴ石灰化が 1 次反応であるとすれば、Mucci らの上式に  $n=1$  と各  $\Omega$  値を代入すると、G 値はそれぞれ 80% (2006 年)、57% (2100 年) と計算できる。したがって、このような化学シミュレーションに照らして、サンゴ石灰化速度は産業革命以前に比べて現在は約 20% 減少しており、2100 年には約 40% 以上減少する可能性があることが示唆される。本研究では、二酸化炭素、炭酸塩と海水 pH の関係を用いて過去から未来への地球環境変動を解説し、予測する試みに挑戦する。

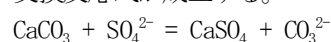
### 3. 研究の方法

大気二酸化炭素濃度の増加はサンゴ礁海水の pH の低下 (酸性側へのシフト) を伴うとの考えから、(1) サンゴ骨格 (アラゴナイト結晶) 中に含まれる微量元素および同位体分析を行ってサンゴが生息していた海の環境 (温度、pH など) 指標となる元素、同位体を検索した。さらに、(2) pH を変えた数種の海水を使ってサンゴを実験室で飼育し、石灰化速度を測定する。サンゴの石灰化速度 (R) と海水のアラゴナイトに対する飽和度 ( $\Omega$ ) の間の定量的データを提出

する。この 2 つの方法を使って本研究は実施された。

(1) 生きた石サンゴ (コブハマサンゴとクサビライシ) 試料を大学近くのサンゴ礁で採取し、琉球大学の研究室に設置したアクリル製水槽中で 2-3 ヶ月間、常温 (25°C) でサンゴを飼育した。次に、沖縄のサンゴ礁海水を使って、pH を酸 (塩酸) とアルカリ (水酸化ナトリウム) を添加し変化させた数種類の海水を使ってサンゴの飼育実験を 25°C で実施した。昼間は日光ランプを使用し、天然の照度にコントロールする。夜間は光りを遮断する。アクリル水槽中の海水を 3 時間ごとに採取し、アルカリ度と塩分を測定する。アルカリ度の減少から、昼間および夜間のサンゴ石灰化速度は計算された。海水の pH が変化すると、炭酸塩の化学平衡からその海水のアラゴナイト (炭酸カルシウム) に対する飽和度 ( $\Omega$ ) を変化させることになる。実験で使用した海水の飽和度 ( $\Omega$ ) を計算する。そして、 $\Omega$  値と水槽飼育実験で得られたサンゴの石灰化速度 (R) の間の関係をプロットし、無機化学的共沈実験でえられた Mucci らの実験式である  $R = k(\Omega - 1)^n$  の関係が成立するのかが確かめられた。

(2) 3-5、ホウ素同位体以外の元素、特に陰イオンが古 pH メータとして使用できるか検討した。たとえば硫酸イオンを例にすると、つぎのイオン交換反応式が成立する。



平衡定数、 $K = [\text{CaSO}_4][\text{CO}_3^{2-}] / [\text{CaCO}_3][\text{SO}_4^{2-}]$  変型すると  $[\text{CaSO}_4] / [\text{CaCO}_3] = K[\text{SO}_4^{2-}] / [\text{CO}_3^{2-}]$  海水中の  $[\text{SO}_4^{2-}]$  は保存成分であるので、定数とすると、炭酸塩中の硫酸塩含量はその沈澱を生成した母液中の  $[\text{CO}_3^{2-}]$  によってコントロールされる。 $[\text{CO}_3^{2-}]$  は pH とリンクしたパラメータであるので、化学平衡論的には  $\text{CaCO}_3$  中  $\text{CO}_3^{2-}$  と  $\text{SO}_4^{2-}$  が置換すれば、 $\text{SO}_4^{2-}$  は古 pH の情報を提供できる可能性がある。さらに、陰イオンであるホウ酸イオン、フッ化物イオンなどについても検討した。

### 4. 研究成果

(1) 大気二酸化炭素濃度の増加はサンゴ礁海水の pH の低下 (酸性側へのシフト) を伴うとの考えから、サンゴ骨格 (アラゴナイト結晶) 中に含まれる微量元素を分析し、サンゴが生息していた海水の pH 指標となる微量元素を検索した。その結果、サンゴ骨

格中に陰イオンとして存在するフッ素およびホウ素はサンゴが生息していた海水の炭酸イオンおよび炭酸水素イオン (pH とリンク) に規定されることを明らかにした。すなわち、サンゴ骨格アラレ石 ( $\text{CaCO}_3$ ) 結晶中の炭酸イオン ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) 1 個が 2 個のフッ化物イオン ( $\text{F}^-$ ) と置換するイオン交換モデルを提出し、イオン交換モデルからサンゴ骨格中のフッ素含量は海水中の炭酸イオン濃度に対して反比例の関係を持つことを理論的に推定した。そこで、世界各地 (タイ、フィリピン、ポナペ、沖縄など) から採取したハマサンゴ骨格中のフッ素を分析した。その結果、サンゴ骨格中の  $\text{F}/\text{Ca}$  とサンゴ礁海水中の炭酸イオン濃度 (水質データを使った化学平衡計算値) の間には明確な反比例の関係が認められた。理論と実験が一致したので、サンゴ中のフッ素はイオン交換によって、サンゴ骨格中の炭酸イオンと置換し、海水中の炭酸イオンに規定されるという結論が得られた。また、イオン交換モデルを使って、サンゴ骨格中のホウ素は海水の炭酸水素イオンに規定されることを同様に示した。そこで、サンゴ骨格中のフッ素とホウ素は海水中の炭酸イオンと炭酸水素イオンがそれぞれ規定因子であると結論した。サンゴ骨格中のフッ素およびホウ素含量のデータからサンゴが生息していた海水中の炭酸イオンおよび炭酸水素イオン濃度ばかりではなく、海水の炭酸系化学平衡から海水の pH を計算できることを示した本研究は意義がある。サンゴ骨格の微量元素分析から海水の pH を推定できるとした本研究の成果は、過去、現在から未来への大気海洋の二酸化炭素に関連した地球環境変動を予測する基礎的研究として貢献すると思われる。サンゴ骨格中の硫酸塩およびホウ素同位体についてはさらに研究中であり今後の成果が期待される。

(2) サンゴの石灰化に対する海水の pH の影響について定量的なデータを得るため、pH を変化させた海水中でサンゴ飼育実験を行った。海水の pH が低下し、飽和度 ( $\Omega$ ) が低下すると、それに伴ってサンゴ石灰化速度が低下することが無機化学 (速度論) 的見地から予想できる。すでに、サンゴ飼育実験が Gattuso et al. (1998) によって行われたが、サンゴ石灰化速度と飽和度 ( $\Omega$ ) の間には明瞭な関係は見出せなかった。私は彼らが実験に使用した人工海水 (化学組成) に問題があるように思える。本研究では、沖縄のサンゴ礁海水を使って、pH を酸 ( $\text{HCl}$ ) とアルカリ ( $\text{NaOH}$ ) を添加し変化させた海水中でサンゴの飼育実験を実施した。また、沖縄では生きた石サンゴ (コブ

ハマサンゴとクサビライシ) の試料を大学近くのサンゴ礁で採取した。

サンゴ試料を pH を変えた海水中で飼育し、アルカリ度減少法を使って石灰化速度を測定した結果、夜間はほとんど石灰化が観察できなかった。しかし、昼間蛍光灯下ではサンゴの石灰化速度 ( $c$ ) と飽和度 ( $\Omega$ ) の間には、 $c = a\Omega + b$  ( $R^2 = 0.749 - 0.985$ 、 $a$  と  $b$  は定数) のよい相関が見いだされた。サンゴの大きさ、健康状態などの違いによって生じるそれぞれの石灰化速度 ( $c$ ) のデータを比較するために、次の規格化方法を用いた。1800 年の  $p\text{CO}_2$  を 280 ppm とし  $\Omega$  を計算すると、 $\Omega = 4.5$  が得られる。 $\Omega$  値が 4.5 の時の各サンゴ石灰化速度を  $G$  とし上式 ( $c = a\Omega + b$ ) に代入し、 $c$  値を得る。

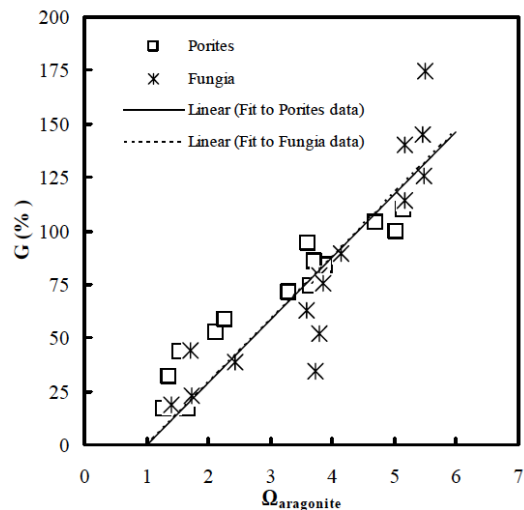


図 1 ハマサンゴとクサビライシの石灰化率と海水のアラゴナイトに対する飽和度 (ハマサンゴの  $R^2$  値 0.766、クサビライシの  $R^2$  値 0.811)

その値を 100% とする。すなわち  $\Omega = 4.5$  のとき、 $G = 100$  として、すべての実験データを規格化した。そのような方法で得られたデータをプロットしたのが図 1 である。サンゴの石灰化率 ( $G$ ) と海水のアラゴナイトに対する飽和度 ( $\Omega$ ) の間には、図 1 の回帰直線 ( $R^2 = 0.811$  と  $0.766$ ) に示すように、 $G = k(\Omega - 1)$  の関係がみられる ( $k$ : 速度定数)。したがって、これらサンゴの石灰化機構を 1 次反応とみなすことができ、上式は、一般式として  $G(\%) = 100(\Omega - 1)/(4.5 - 1)$  となる。2006 年 ( $\text{CO}_2 = 380$  ppm,  $\text{pH} = 8.20$ )、2100 年 ( $\text{CO}_2 = 540$  ppm,  $\text{pH} = 8.07$ ) の  $\Omega$  値はそれぞれ 3.8 および 3.0 と計算される。上式に各  $\Omega$  値を代入すると、 $G$  値はそれぞれ 78% (2006 年)、56% (2100 年) と計算できる。このような化学シミュレーションに照らして、サンゴ石灰化速度は産

業革命以前に比べて現在は22%減少しており、2100年には44%減少する可能性があることが示唆される。将来、表層海水がさらに酸性化した時に造礁サンゴなどの石灰化に深刻な影響を及ぼす可能性が本研究から予測される。二酸化炭素とpHを規定した海水中でのサンゴ飼育実験は、過去から未来への地球環境変動を解説、予測する可能性を秘めている。

#### 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6件)

① Tanaka, K. and Ohde, S. (2010) Fluoride in coral aragonite related to seawater carbonate. *Geochemical Journal*, 44, 371-378 (査読有)

② Hossain, M. S., Wijaya, A. R., Tanaka, K., Ohde, S. (2010) Environmental effects on the stable carbon and oxygen isotopic compositions and skeletal density banding pattern of *Porites* coral from Khang Khao Island, Thailand. *African Journal of Biotechnology*, 9, 5373-5382 (査読有)

③ 漢那直也, 田中健太郎, 小野朋典, 大出茂 (2010) 宝石サンゴ骨格への海水中のフッ化物イオンの共沈. *日本海水学会誌*, 64, 225-228 (査読有)

④ Tanaka, K., Ohde, S., Sakaguchi, A., McLeod C. W. and Cox, A., G. (2010) Pb/Ca in Thailand coral determined by LA-ICP-MS: Anthropogenic Pb input of river run-off into a coral reef from urbanized areas. *Water Air Soil Pollut.*, 211, 211-218 (査読有)

⑤ Bogan, R. A. J., Ohde, S., Arakaki, T., Mori, I., McLeod, C. W. (2009) Changes in Rainwater pH associated with increasing atmospheric carbon dioxide after the industrial revolution. *Water Air Soil Pollut.*, 196, 263-27 (査読有)

⑥ Hossain, M. S., Ohde, S., Tanaka, K., Sirirattanachai, S., Snidvongs, A. (2008) Oxygen isotope composition in *Porites* coral from the Northern Gulf of Thailand: an implication for its skeletal growth. *Bull. Soc. Sea Water Sci., Jpn.*, 62, 112-113 (査読有)

[学会発表] (計10件)

① 田中健太郎, 大出茂, LA-ICP-MSによるサンゴ骨格中の重金属含量の定量: タイ湾サンゴ礁への重金属流出のモニタリング, 日本サンゴ礁学会第13回大会, 茨城県つくば市, 2010年12月3日

② 田中健太郎, 大出茂, サンゴ骨格中のホウ素含量を規定する因子について, 日本サンゴ礁学会第13回大会, 茨城県つくば市, 2010年12月2日

③ 田中健太郎, 大出茂, 海成炭酸塩中のホウ素の即発ガンマ線分析, 原子力機構施設利用一般共同研究成果報告会, 茨城県東海村, 2010年8月24日

④ 田中健太郎, 大出茂, サンゴ骨格中のハロゲン元素の放射化分析, 原子力機構施設利用一般共同研究成果報告会, 茨城県東海村, 2010年8月24日

⑤ 田中健太郎, 大出茂, 藤岡義三, 深海サンゴのフッ素含量と海水中の炭酸イオン濃度の関係について, 日本サンゴ礁学会第12回大会, 沖縄県本部町, 2009年11月29日

⑥ 田中健太郎, 大出茂, LA-ICP-MSによるサンゴ骨格中の鉛含量の測定: 河川からタイ湾への鉛流出について, 日本サンゴ礁学会第12回大会, 沖縄県本部町, 2009年11月27日

⑦ 大出茂, 田中健太郎, 表面海水の酸性化に伴うサンゴ石灰化への影響, 日本地球化学会第56回年会, 広島大学, 2009年9月17日

⑧ 田中健太郎, 大出茂, サンゴ骨格中のフッ素含量を規定する因子, 日本地球化学会第56回年会, 広島大学, 2009年9月16日

⑨ Ohde S., Tanaka K. and Wijaya A. R., Metal contents in coral skeletons from Okinawa and Thailand determined by ICP-MS. Third Asia-Pacific Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, Tsukuba, November 18, 2008

⑩ Tanaka K., Ohde S., Sakaguchi A., McLeod C., Cox A., Pb/Ca in Thailand corals determined by LA-ICP-MS: Anthropogenic Pb input into coral reefs from urbanized areas, Bangkok. Third Asia-Pacific Winter Conference on Plasma Spectrochemistry, Tsukuba, November 18, 2008

[図書] (計2件)

① Ohde, S., Tanaka K. (2010) Anthropogenic surface ocean acidification with increasing atmospheric carbon dioxide and its impact on coral calcification. In Davin T. B. and Brannet A. P., Ed. *Coral Reefs: Biology, Threats and Restoration* (Chapter 4), pp. 77-92, Nova Sci. Pub., NY

② Ohde, S. (2010) Funafuti. In Hopley, D. (ed.) *Encyclopedia of Modern Coral Reefs*, pp. 446-449, Springer

[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   なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大出 茂 (OHDE SHIGERU)  
琉球大学・理学部・教授  
研究者番号：20117568

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし