

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 9 月 1 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25340004

研究課題名(和文) サンゴ礁における酸素動態把握のための培養実験及びモデリング研究

研究課題名(英文) Oxygen dynamics in coral reefs revealed using in-situ incubation experiments and modelling approach

研究代表者

渡邊 敦 (Watanabe, Atsushi)

東京工業大学・環境・社会理工学院・助教

研究者番号：00378001

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：サンゴ礁一次生産者が生成する気泡を現場飼育実験により調べた。造礁サンゴ類は殆ど気泡を発生しなかったが、海草類は多量の気泡を発生した。海草が発生した気泡の組成を調べたところ、純酸素では無く窒素やアルゴンも含んでいた。酸素の三種安定同位体比分析から、酸素には光合成起源のシグナルが残っていることが分かった。窒素やアルゴンがどのようなメカニズムで気泡中に取り込まれたのかは解明できなかった。気泡発生量と海草バイオマス間の関係が分かったため、サンゴ礁酸素動態モデルからリーフ規模での気泡発生量を見積もることが可能になった。

研究成果の概要(英文)：Bubbles made by coral reef primary producers were examined using in-situ incubation method. Reef-building corals did not make significant amount of bubbles, while seagrasses made large amounts of bubbles. The bubbles made by seagrasses include not only oxygen but nitrogen and argon as well. From the triple oxygen isotope measurements, signals from photosynthesis were still remained in the oxygen. We were not able to understand thee mechanism in which nitrogen and argon were incorporated in the bubbles. From the reef-scale oxygen dynamics model, we can evaluate bubble formation in coral reef environments.

研究分野：生物地球化学

キーワード：酸素動態 安定同位体比 サンゴ 培養実験 モデル解析 一次生産者

### 1. 研究開始当初の背景

沿岸生態系は一般に、隣接する陸域で発生する様々な局所的負荷(富栄養化、土壌流入等)と広範囲に働く全球的負荷(温暖化、海面上昇等)の板挟みに会い、劣化の進行が顕著である。こうした劣化に関わる環境因子と沿岸生態系の持つ機能の関係を理解することは急務であり、特に基盤の機能である一次生産の応答を正しく把握する必要がある。

申請者はこれまでの研究で、様々な負荷に対する応答がいち早く顕在化しているサンゴ礁生態系において、一次生産に伴う二酸化炭素や酸素の動態を観測してきた。これら現場観測において日中、しばしば酸素の飽和度が200%近くまで上昇し、酸素と思われる気泡が水中で発生し水面を通して大気に抜けて行く現象を観察した。この気泡形成に伴う大気への気体輸送(ガス交換)は、溶存酸素を用いた一次生産の定量的把握に疑問を投げかけるが、(1)気泡の発生量や正確な組成、とりわけ酸素同位体組成に関してはほとんど明らかにされていないのが現状であった。

もう一点、サンゴ礁における酸素動態の評価を難しくさせているのが、サンゴ類等の底生生物の呼吸に伴う酸素同位体分別である。酸素濃度に加え、その同位体組成を測定することにより、マスバランスを連立方程式化することができること、今世紀になって確立したO<sub>2</sub>態での測定手法によって、分析が簡略化したこともあり、水域生態系の溶存酸素の挙動を調べる上で、酸素同位体は強力かつ不可欠なツールになりつつある。一般に外洋のプランクトンやバクテリアによる酸素消費においては同位体的に軽い酸素が選択的に利用され重い酸素が水中に残るのに対し、貧酸素環境下にある堆積物内における酸素消費過程においては、酸素消費速度に対して分子拡散による下方への酸素輸送速度が下回る、いわゆる拡散律速が生じ、この場合消費による同位体分別は伴わないことが知られている。申請者による予察的な研究により、サンゴ礁において外洋とは異なる同位体分別係数が得られており、この原因として、サンゴ礁を形成する造礁サンゴ類は枝状や卓状、塊状等の様々な形状を持つことから、(2)サンゴの形状によっては酸素が拡散律速になり同位体分別効果に影響を及ぼすと推察されるが、こうした知見は殆ど得られていないのが現状であった。

### 2. 研究の目的

サンゴ礁では日中、しばしば酸素が過飽和になり気泡化する現象が見られるが、その発生量や元素・同位体組成に関しては未知な部分が多い。また夜間のサンゴ類による呼吸は、拡散律速により形状に依存した同位体分別を引き起こすと考えられるが、このサンゴ形状と同位体分別の関係も知見に乏しかった。本研究では、大気への流出入による同位体組成の変化の影響を除くため、気体に対して閉鎖的な培養チャンバーを作成し、様々な形状

の造礁サンゴを用いた培養実験を行うことで、明条件での過飽和気泡の組成・量の把握、暗条件での呼吸時の酸素同位体分別効果を測定することを目的とした。また得られた結果を既存のサンゴ礁物質循環モデルに同位体を含めた酸素コンパートメントとして加え観測データと同化することにより、礁スケールでの酸素動態の定量評価を目指した。

### 3. 研究の方法

研究はサンゴ礁一次生産者を用いた現場飼育実験および酸素動態観測、および酸素動態のモデル解析より構成される。一次生産者として当初は形状の異なる造礁サンゴ類を検討していたが、試行実験の結果、サンゴ類が殆ど気泡を発生しないこと、海草類による気泡発生が顕著であることが分かった為、海草類を酸素発生実験では主対象とすることとした。発生する気泡の採取は、密閉容器上部に溜まる気泡をスキューバダイビングによりガスタイトシリンドリジを使ってサンプリングすることとした。この方法によりコンタミなくガスを採取することができた。暗呼吸量時の同位体分別計測には枝状ミドリイシと塊状ハマサンゴを用いることとした。モデル解析の検証に必要な現場での酸素動態データは、共同研究者等によりサンゴ礁流動モデルが完成している石垣島・白保サンゴ礁において多地点で取得した。

### 4. 研究成果

サンゴ礁の主要一次生産者である造礁サンゴ類、海草類を用いて実験をおこなったところ、サンゴ類は気泡を発生せず、海草類は多くの気泡を発生することが分かった。気泡の組成を分析した結果、予想に反し純酸素ではなく、酸素に加え窒素やアルゴンも含む気体であった。酸素の3種安定同位体比分析から、酸素には光合成起源のシグナルが残っていることが分かった。ただ窒素やアルゴンがどのようなメカニズムで気泡中に取り込まれたのかについては解明できなかった。本研究により気泡発生量と海草のバイオマスの関係が得られたため、既に開発済みのサンゴ礁規模の酸素動態モデルに、過飽和になって気泡化する酸素量を組み込める見通しが立った。ただし水温や光量等の環境要因が気泡発生量に及ぼす影響は未解明の為、モデルの一般化には更なる実験データの蓄積が必要である。暗条件での呼吸量はサンゴの表面積・バイオマスに比例することが分かった。ただしサンゴ形状と酸素安定同位体比との関係は明瞭なものが得られなかった。

### 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4件)

Nakamura T., Nadaoka K., Watanabe A. (2013): A coral poly model of

photosynthesis, respiration and calcification incorporating a transcellular ion transport mechanism. Coral Reefs, 32, 779-794. DOI: 10.1007/s00338-013-1032-2 ( 査読あり )

Yamamoto S., Kayanne H., Tokoro T., Kuwae T., Watanabe A. (2015): Total alkalinity flux in coral reefs estimated from eddy covariance and sediment pore-water profiles. Limnology and Oceanography, 60, 229-241. DOI: 10.1002/Lno.10018 ( 査読あり )

Keedakkadan H.R., Abe O. (2015): Cryogenic separation of an oxygen-argon mixture in natural air samples for the determination of isotope and molecular ratios. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 29, 775-781. ( 査読あり )

Ferrara C.M., Miyajima T., Watanabe A., Umezawa Y., Morimoto N., San Diego-McGlone M.L., Nadaoka K. (2016): Variation in oxygen isotope ratio of dissolved orthophosphate induced by uptake process in natural coral holobionts. Coral Reefs, DOI 10.1007/s00338-015-1378-8 ( 査読あり )

[ 学会発表 ] ( 計 7 件 )

Nakamura T., Nadaoka K., Watanabe A.: A coral polyp model of photosynthesis, respiration and calcification incorporating a transcellular ion transport mechanism. Ocean acidification in Coral Reefs- bridging gaps between field to laboratory studies. 2013 年 9 月 30 日 ~ 10 月 1 日 . 東京大学本郷キャンパス ( 東京都文京区 )

Watanabe A., Nakamura T., Nadaoka K., Yamamoto T., Miyajima T.: Spatiotemporal variations in CO<sub>2</sub> flux and carbonate system parameters in a fringing reef simulated using newly developed models. Ocean acidification in Coral Reefs- bridging gaps between field to laboratory studies. 2013 年 9 月 30 日 ~ 10 月 1 日 . 東京大学本郷キャンパス ( 東京都文京区 )

中村隆志、灘岡和夫、渡邊敦、宮島利宏、渡邊剛：サンゴ骨格に記録される炭素同位体比の vital effect の実態解明に向けたサンゴポリプモデルの開発 . 日本地球惑星科学連合 2013 年大会 ( 招待講演 ) 2013 年 5 月 19 ~ 5 月 24 日 . 幕張メッセ ( 千葉県千葉市 )

Watanabe A., Nakamura T., Nadaoka K., Nakano Y.: Nutrient dynamics in relation to ecosystem production in coral reefs

studied using a benthic chamber. The 3<sup>rd</sup> Asia Pacific Coral Reef Symposium. 2014 年 6 月 23 日 ~ 27 日 . 台湾・Kenting

Keedakkadan H.R., Abe O.: Cryogenic separation of oxygen-argon mixture in natural air samples for isotopic and molecular ratios and its application to determine equilibrium isotope fractionation during gas exchange between air and water. International Symposium on Isotopomers, Tokyo, 2014 年 7 月

渡邊敦、中村隆志、灘岡和夫、宮島利宏、茅根創：石西礁湖周辺海域における海洋酸性化の現状と炭酸系動態 . 日本サンゴ礁学会第 17 回大会、2014 年 11 月 28 日、高知県高知市

Ferrera M. Charissa、渡邊敦、灘岡和夫、梅澤有、森本直子、中村隆志、宮島利宏：造礁サンゴによるリンの取込が溶存態リン酸の酸素安定同位体比に与える効果 . 日本地球惑星科学連合 2015 年大会、2015 年 5 月 27 日、千葉県千葉市

[ 図書 ] ( 計 0 件 )

[ 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

6 . 研究組織  
(1) 研究代表者  
渡邊 敦 ( Watanabe, Atsushi )  
東京工業大学・環境・社会理工学院・助教  
研究者番号：00378001

(2) 研究分担者

阿部 理 (Abe, Osamu)  
名古屋大学・環境学研究科・助教  
研究者番号：00293720

(3)連携研究者  
宮島 利宏 (Miyajima Toshihiro)  
東京大学・大気海洋研究所・助教  
研究者番号：20311631

(4)研究協力者  
( )