

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2011～2014

課題番号：23405002

研究課題名(和文) 熱帯多島海域における大気降水由来窒素負荷と海洋酸性化に対する炭素循環の応答

研究課題名(英文) Responses of biogeochemical carbon cycle to regional environmental changes in tropical archipelago of the Philippines

研究代表者

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：複雑な海岸地形を有するフィリピンの特徴的な沿岸海域において、多様な空間スケールにおける海洋化学的観測を実施し、大気からの環境負荷と、それが陸域影響(河川・地下水流入)や沿岸部における養殖漁業等の人為負荷と組み合わせることによる複合効果とを、特に海洋物理学的特性と関連した海洋酸性化の促進・緩和という観点から評価した。また降雨成分の分析により窒素の越境汚染の潜在的影響について検証した。さらに造礁サンゴとその初期発生過程における海洋酸性化影響を評価するために、フィリピン大学の臨海実験所に屋外操作実験施設を構築し、現地の代表的なサンゴ種を用いて酸性化応答の実験的評価を実施した。

研究成果の概要(英文)：Chemical oceanographic observation on ocean acidification and monitoring of atmospheric nitrogen deposition were conducted in coastal marine ecosystems of the Philippines at various spatial scales to clarify multiple influence of environmental alterations at the global (elevation of atmospheric CO<sub>2</sub>), regional (transboundary nitrogen pollution), and local (terrestrial freshwater loading, submerged groundwater discharge, and aquaculture activities) scales. In addition, to evaluate global and local environmental stresses on indigenous reef coral species, an outdoor manipulation experimental system was set up at Bolinao Marine Laboratory (northern Luzon) and carried out some model experiments to monitor ecophysiological and developmental responses of corals to ocean acidification.

研究分野：海洋生物地球化学

キーワード：海洋酸性化応答 サンゴ礁 降水 大気沈着物 二酸化炭素分圧 操作実験 安定同位体比 物質循環

### 1. 研究開始当初の背景

フィリピンを含むコーラル・トライアングル海域は、自然条件に恵まれた世界で最も生物多様性の高い海洋生態系であるが、近年の海洋酸性化や越境汚染など、大気圏を經由する環境変動の伝播により、遠く離れた地域での人間活動の影響を受けるようになっていく。また同海域沿岸部での人口増加圧力により水産活動や汚染水排出等の局所的環境負荷も顕著となっており、これらの多様な時空間スケールを持つ環境変化要因の複合的影響を適切に評価することが急務となっている。しかしながら特にグローバル、リージョナルなスケールでの環境ストレスの伝播や生物応答を現場で観測する手法は限られており、また体系化が進んでいない状況にあった。

フィリピン多島海域は大小さまざまな島々と開放度の異なる沿岸海域とから構成され、物理的環境条件が極めて多様である。本研究はこのような地域特性を生かして、グローバル・リージョナル・ローカルな環境負荷の伝播と複合化のプロセスを比較研究することを構想したものである。

また、カウンターパートのフィリピン大学の研究者たちからの要望により、当初の企画にはなかった、酸性化ストレス応答の実験的な解明という要素を2年目から研究事業に含めた。

### 2. 研究の目的

本研究では大気圏から海域へ広域的に負荷される環境因子としてCO<sub>2</sub>、淡水(降雨)、大気沈着物窒素を選び、それらの沿岸海洋環境に及ぼす影響を海洋化学的観測によってモニタリングするとともに、その時空間動態と生態系構成生物の応答が、海域の物理的条件(地形、海流、潮汐等)によってどのように制御されているかを解明することを目的とした。また、養殖漁業等の人為環境負荷の強いサイトを調査地に加えることにより、大気圏からの広域的環境負荷と局所的な物質負荷との複合効果を評価することをも視野に入れて計画を立案した。

生物側の応答については当初は生物移植実験を主要な手法としてアプローチする計画であったが、相手国側研究者の要望と、移植実験に関する許諾請求に想定外の時間を要したことから、現地の臨海実験施設を利用した屋外水槽環境操作実験を併用することにした。現場移植実験・環境操作実験とも、補助事業期間内に技術的に確立し、各項目に少なくとも1回ずつの本実験を実施することができたが、再現性の確認や季節変化の検証に十分なデータの取得を期間内に終えることができなかった。

一方、海洋酸性化解析技術と環境操作実験技術(ハードウェアの一部を含む)を相手国側の大学院生等若手研究者に移転し、本研究事業終了後も相手国側で独自の研究を進展

させることができるように配慮した。

### 3. 研究の方法

海洋化学的観測については、Bolinao (Luzon 島)、Puerto Galera (Mindoro 島)、Banate Bay (Panay 島)、Laguindingan (Mindanao 島)の4箇所において、年2回(通常3月と9月)に小型船を利用した観測と採水を行った。また期間中(2012年4~5月)にアメリカ合衆国の観測船R/V Roger Revelleが実施したLuzon島東部海域の調査航海に乗船して、陸域からの淡水流入負荷に黒潮が及ぼす広域的な影響について観測調査を行った。

炭酸系精密分析とpCO<sub>2</sub>連続モニタリングの手法を用いて海洋酸性化現象の時空間動態を調査するとともに、海水や溶存無機炭素、懸濁態有機物、硝酸イオン等の同位体比マルチトレーサー法を応用して降雨と陸域からの環境負荷を多角的に追跡した。

大気沈着物のモニタリングに関しては、Bolinao, Banate Bay, Laguindinganの海岸部に雨量計と降雨採集装置を設置して、2~4年間にわたり降水量と大気沈着物の連続観測を行った。また並行して、調査対象海域に流入する河川水・地下水の調査を各地域で雨季と乾季に1回ずつ行った。水の酸素・水素安定同位体比、全炭酸濃度と安定同位体比、栄養塩濃度、pH、常量イオン濃度、全窒素・全リン濃度、硝酸の窒素・酸素安定同位体比等の分析を実施した。

生物移植実験による環境変動応答の調査はBolinaoとPueruto Galeraにおいて、サンゴと二枚貝を材料として実施した。対照区と高負荷海域において同一種の生物試料を採集し、相互に移植して半年間の応答を観察した。実験は雨季と乾季を含むように実施された。実験生物は重量変化の他、体組織中の炭素・窒素含量、安定同位体比、脂質含量、脂肪酸組成等の分析に供された。最終年度には、海草藻場がサンゴに対する酸性化影響を緩和させることを検証するための移植実験を企画し、予備実験を実施した。

環境操作実験のための屋外水槽設備をBolinaoのフィリピン大学臨海実験所に構築した。同実験所の屋外水槽に、本事業経費で調達したガス分圧制御機構を装備することにより、天然光条件下で各種の酸性化シナリオに応じたCO<sub>2</sub>分圧を保ってサンゴ等の生物を継続的に飼育できる装置を構築した。この装置を使い、現地に生息するサンゴの主要種を飼育して経過を観察し、酸性化応答の種間変異および季節間変異を調べた。また、サンゴの初期発生段階における生残率、定着率に海洋酸性化が及ぼす影響を検証する実験も行った。これらに加え、具体的成果を得るに至らなかったものの、最終年度には海草による酸性化緩和効果の検証を目的としたタンDEM型の環境制御水槽を構築し、現地に生育する海草中型種と枝状サンゴを用いて予備実験を実施した(学会発表)。

#### 4. 研究成果

多岐にわたる成果が得られているが、紙面の制約上、ここでは5点の成果のみをトピック的に紹介する。

##### 4-1. ルソン島東部海域における淡水負荷に対する黒潮流路の影響（学会発表）:

ルソン島東部海域は黒潮源流域にあたり、北赤道海流から分流した黒潮が北方向に流れている。2012年4,5月にこの海域の表層水の面的観測を行ったところ、黒潮流路の西側（ルソン島側）で表層水のpHが特異的に低いことが判明した（図1: CDは黒潮西側、ADとKRは東側、NKとKFCは黒潮流路上の表層水）。このことは、ルソン島周辺での降水とルソン島からの陸水の供給による海洋酸性化の促進効果が、黒潮の存在によって局限されていることを示している。また黒潮西側に比して東側では淡水供給量に対する蒸発量の比率が明瞭に高いことが、水の安定同位体比と塩分との関係から示唆された。

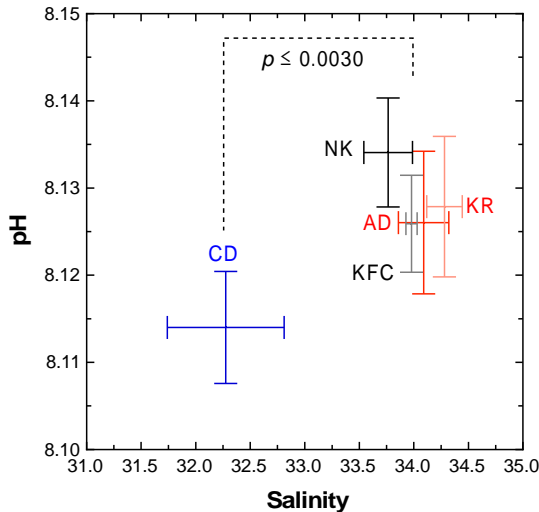


図1. ルソン島東部海域(14°-20°N, 121°-126°E)の表層海水のpHと塩分の関係。

黒潮はその東側・西側の海水を巻き込みながら形成されているにもかかわらず、そのpHは両者の中間ではなく、どちら側にもやや高い値を示した（図1のNK）。このことは黒潮の中に海洋酸性化に拮抗する何らかの生物地球化学的プロセス（純一次生産等）が働いている可能性を示唆する。

##### 4-2. 大気由来窒素の降水量に見られる地理的・季節的傾向（学会発表）:

降水の調査地のうち最も北に位置するBolinaoでは降水量に顕著な季節変化が見られた。日本の冬季に当たる月が降水量の少ない乾季になるが、乾季に降雨があった場合、日本の冬季の雨と同様に高いd値(deuterium excess)を示し、越境汚染の影響とみられるやや高い窒素濃度が検出された。しかし、約400km北の八重山地方で冬季に見られる降雨に比べると、越境汚染の影響は軽微であった。

中部の調査地であるBanateと南部のLaguindinganでは乾季と雨季が北部ほどは明瞭でなく、d値の季節変化も小さかった。これらの地方では越境汚染の影響はほとんどなく、降雨による海面への窒素供給は少ないものと評価された。越境汚染による大気由来反応性窒素のフィリピンへの影響を図式化すると図2のようになる。

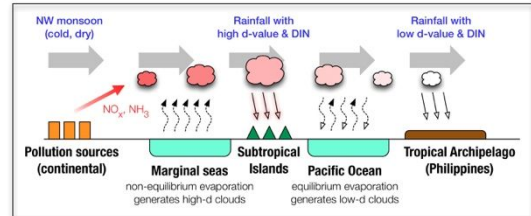


図2. 中国大陸からの越境汚染物質の亜熱帯・熱帯海域への輸送過程を表す模式図。

フィリピン北部の乾季の降雨はd値で見ると東シナ海の水蒸気の痕跡を残している。またこの地域は台風の襲来が多く、たびたび豪雨に見舞われるが、台風に伴う降雨では酸素・水素同位体比が緯度から予想される値に比べてかなり低く、結果的に年間の降雨の荷重平均値としての酸素・水素同位体比もそれぞれ $-8.0 \pm 0.3\text{‰}$ 、 $-52.6 \pm 2.4\text{‰}$ とかなり低い値を示した。

##### 4-3. 養殖漁業による富栄養化と海草藻場の代謝が海洋酸性化に及ぼす局所的効果（学会発表）:

Bolinao周辺の閉鎖性海域では活発な栽培漁業（生け簀を用いたサバヒーの養殖）が行われており、過剰な餌の投与に起因する高度な富栄養化が問題となっている。一方、同海域の外洋に面した浅海域には広大かつ高密度の熱帯性海草藻場が広がっている。こうした浅海域特有の人工・天然の構造は局所的な海洋酸性化促進・緩和効果をもたらす可能性があることから、それを実証するため、養殖漁業海域と海草藻場のそれぞれにpHロガーを設置して長期的な酸性化傾向のモニタリングを実施した（図3）。

Monthly record of pH at two CCMS sites (Dry season, April 2014)

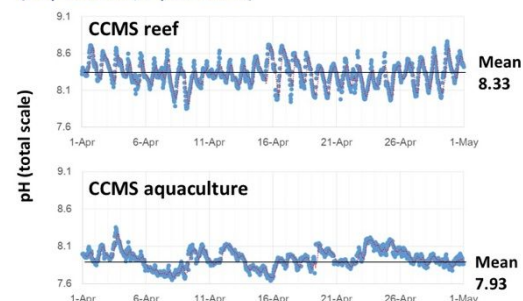


図3. Bolinao沿岸の海草藻場(上)と養殖漁業海域(下)での乾季における海洋表層水pHの長時間変動傾向

この海域の同じ季節における外洋域表層水の pH は平均 8.06 であるが、海草藻場における平均 pH はこれよりかなり高く、8.33 となっていた。これは海草の一次生産により  $pCO_2$  が低下したためであり、海草藻場が生態系レベルで顕著な酸性化緩和機能を有していることを立証している。

それに対して養殖海域では平均の pH は外洋より低く、7.93 となっていた。これは栽培漁業において外部から絶えず投与される餌料が呼吸・分解により  $CO_2$  に変えられるために  $pCO_2$  が上昇したためと考えられる。このように養殖漁業には局所的な酸性化促進効果があることが分かる。養殖海域がある湾奥部と外洋との間に海草藻場が存在して、外洋より pH が高くなった表層水が養殖海域の海水の原水となっていることを考慮すると、上記の結果は、養殖漁業による酸性化促進効果は、海草藻場の酸性化緩和機能を打ち消して上回っていることを明らかにしている。

#### 4-4. 人為的な環境変化による栄養塩バランスの変化(雑誌発表、学会発表):

図3では、海草藻場では光合成と呼吸に伴う  $pCO_2$  の日周変動が顕著に見られるのに対して、養殖海域ではこのような変動が大幅に弱体化していることが分かる。言い換えると、養殖海域では顕著な富栄養化が進行しているものの、その高い栄養塩供給が必ずしも高い一次生産(光合成)に結びついていないことになる。

養殖漁業が海洋環境に与える影響を更に調査したところ、この海域においては栄養塩のバランスがリン過剰・窒素欠乏の傾向にあり、しかもその傾向が養殖漁業の展開以来、年々強まっていることが明らかになった(図4)。この栄養制限状態がこの海域における生産性の相対的な低さの原因となっている可能性がある。一方、陸域で採取される河水や地下水は大気降下物や畜産等の汚染源のため高濃度の硝酸塩を含んでいた。このような窒素過多の陸水が、乾季明けにしばしば見られる大降雨時にリン過剰の海域に急激に流入することが引き金となって、有毒藻類を含む植物プランクトンの大規模なブルームが起こり、さらにブルームの崩壊に伴う貧酸素化が追い打ちをかけて、養殖魚の大量斃死を引き起こしているメカニズムが推察された。

海草藻場の分布に関する長期比較調査の結果によると、養殖漁業海域内では養殖漁業の普及前に比べて海草藻場が顕著に消失していることが分かっている。一方、外洋に面した海域では藻場の変化は顕著ではない。二枚貝を使った移植実験の結果によると、養殖漁業海域で生産された植物プランクトンに由来する浮遊粒子が海草藻場に流入して、二枚貝等の懸濁物食者に利用されていることが示唆された。懸濁物食者によって排泄された栄養塩類は海草藻場の一次生産を支持し

ていると考えられる。このことは、海草藻場における局所的な酸性化緩和効果と、養殖海域における局所的な促進効果とは、必ずしも独立のものではなく、部分的な依存関係がある可能性を示唆している。

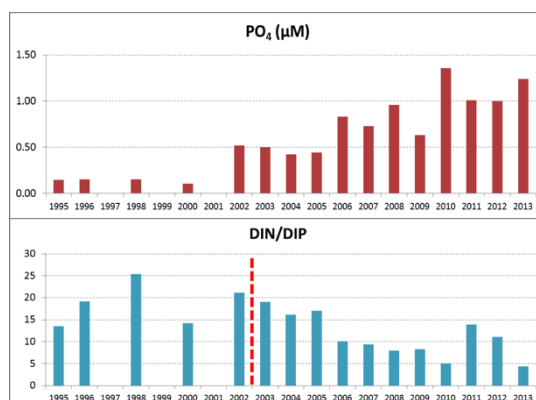


図4. Bolinao 養殖海域における溶存無機リンの濃度(上)と溶存無機窒素/リン比(下)の年平均値の経年変動。1990年代から養殖漁業が活性化し、2002年(赤の破線)から規制が実施されているが、リンの濃度は増え続けている。

別の人為的な環境変化として、自然を利用した防災対策という名目のもとに、浅海域の海草藻場にマングローブを植林する事業が東南アジアの各地で行われている。本研究の調査地の中では Mindanao 島の Laguindingan がこの事例に該当する。この海域における栄養塩類の詳細分布を調査したところ、植林されたマングローブには、養殖漁業の場合とはちょうど反対の効果が見られることが分かった(図5)。

マングローブの植林があるところでリンの濃度が低く、図に示していないが硝酸態窒素の濃度が高くなっており、その結果、溶存無機窒素/リン比が極端に高まっていることが分かる。これは、マングローブからの豊富な有機炭素の供給と、底質の無酸素化により、生物学的窒素固定が進みやすい条件が整い、窒素固定により供給された窒素が年月を経て堆積物中に蓄積され、徐々に分解無機化されて海水中に溶出している結果とみられる。

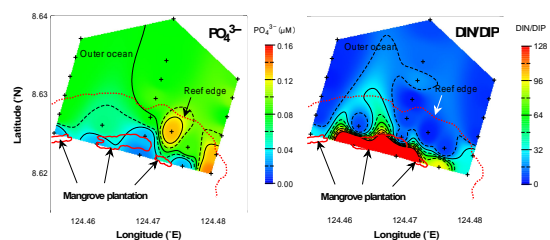


図5. マングローブの植林があるサンゴ礁海域である Laguindingan における溶存無機リン(左)と溶存無機窒素/リン比(右)の平面分布。

これらの例のように、生物活性のポテンシャルが高い熱帯浅海域では、人為的な物理化学環境の改変に対して生物地球化学のプロセスが鋭敏に反応し、栄養塩バランスの乱れが発生しやすいことがわかる。



#### 4-5. 環境操作実験による酸性化応答評価(学会発表):

海洋酸性化はサンゴのような石灰化生物の成長速度をしばしば顕著に低下させることが知られており、その致命的な影響は特に石灰化生物の初期発生の段階で見られることが報じられている。このことから、Bolinao沿岸海域に生息する代表的なサンゴ種を材料として、その初期発生過程における形態形成・生残率・幼生定着率に海洋酸性化が及ぼす影響を実験的に調査した。

調査した項目の中では *Acropora tenuis* と呼ばれるサンゴの幼生定着率だけが、pHの低下による有意な影響を受けた(図6)。

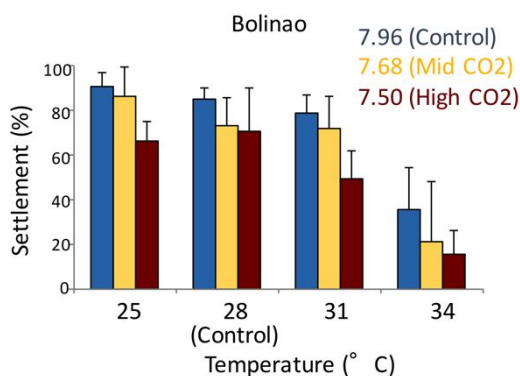


図6. Bolinao 海域で採集された造礁サンゴ *Acropora tenuis* の幼生定着率に見られる酸性化(低 pH)と温暖化(高水温)の影響

しかしながら同属の *A. millepora* や *A. digitifera* においてはこのような傾向は見られず、また3種とも、幼生の形態形成や生残率には酸性化の影響が有意には検出されなかった。これに対して水温上昇の影響は、どの種のどの項目においても概ね有意な低下傾向として検出された。

Bolinao の養殖海域には現在では造礁サンゴはごく局所的にしか生育していないが、養殖漁業が始まる前は広く浅海底に生育していたことが知られている。しかし上記の実験結果は、少なくとも材料とした3種に関する限り、グローバルあるいは局所的な海洋酸性化はサンゴの衰退要因として必ずしも重要なものではないことを示唆している。

#### 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 3件)

Ferrera CM, Watanabe A, Miyajima T, San Diego-McGlone ML, Morimoto N, Umezawa Y, Herrera E, Tsuchiya T, Yoshikai M, Nadaoka K (2016) Phosphorus as a driver of nitrogen limitation and sustained eutrophic conditions in Bolinao and Anda, Philippines, a mariculture impacted tropical coastal area. Marine Pollution Bulletin 105:237-248, doi:

10.1016/j.marpolbul.2016.02.025

Tanaka Y, Go GA, Watanabe A, Miyajima T, Nakaoka M, Uy WH, Nadaoka K, Watanabe S, Fortes MD (2014) 17-year change in species composition of mixed seagrass beds around Santiago Island, Bolinao, the northwestern Philippines. Marine Pollution Bulletin 88: 81-85, doi:

10.1016/j.marpolbul.2014.09.024

Watanabe A, Yamamoto T, Nadaoka K, Maeda Y, Miyajima T, Tanaka Y (2012) Spatio-temporal variations of CO<sub>2</sub> flux in a fringing reef simulated with a newly developed carbonate system dynamics model. Coral Reefs 32: 239-254, doi: 10.1007/s00338-012-0964-2

[学会発表](計 15件)

Ferrera CM, Miyajima T, Watanabe A, Umezawa Y, San Diego-McGlone ML, Morimoto N, Nadaoka K: Tracing the sources and evaluating the cycling of phosphate using  $\delta^{18}O_p$  in a eutrophic tropical mariculture area. Goldschmidt Conference 2016 (2016年6月、横浜市)

Watanabe A, Miyajima T, Villanoy C, San Diego-McGlone ML, Gordon AL: Spatial distribution of oxygen and hydrogen isotope ratios of seawater in the nascent Kuroshio and Lamon Bay. 日本地球惑星科学連合 2016年大会(2016年5月24日、千葉市) 森本直子、梅澤有、渡邊敦, San Diego-McGlone ML, Ferrera CM, Regino GL, 灘岡和夫、宮島利宏: 沿岸域における陸起源物質動態: 水、DIC、POM 安定同位体比による評価. 日本地球惑星科学連合 2016年大会(2016年5月24日、千葉市)

渡邊敦、宮島利宏、栗原晴子、San Diego-McGlone ML, Herrera E, 灘岡和夫: フィリピン・ボリナオ沿岸海域における養殖活動に伴う局所的海洋酸性化. 日本地球惑星科学連合 2015年大会(2015年5月27日、千葉市)

森本直子、梅澤有、田中義幸、Regino GL, 渡邊敦、San Diego-McGlone ML, 宮島利宏: Propagation of suspended matter from aquacultures as traced by stable C and N isotope ratios of bivalves. 日本地球惑星科学連合 2015年大会(2015年5月27日、千葉市)

Miyajima T, Morimoto N, Watanabe A, Ferrera CM, Umezawa Y, Nadaoka K, San Diego-McGlone ML, Siringan F, Kurihara H, Herrera E, Blanco AC: Nutrient behavior in some eutrophicated coastal environments in the Philippines and significance of periodical water quality monitoring associated with the CCMS. 2<sup>nd</sup> Asia-Pacific Regional Symposium on Coastal Ecosystem

Conservation and Adaptive Management  
(2015年1月29日、フィリピン・ケソン市)

Watanabe A, Kurihara H, Miyajima T,  
Nadaoka K, San Diego-McGlone ML,  
Monponbanua GR, Mendoza GG, Lagumen  
MCT, Herrera E, Hernandez B, Morimoto N,  
Umezawa Y, Yamamoto T, Villanueva RD:  
Carbonate Chemistry in Coastal Ecosystems  
in the Philippines and Comparison with  
Other Areas of Subtropical-Tropical Seas.  
2<sup>nd</sup> Asia-Pacific Regional Symposium on  
Coastal Ecosystem Conservation and  
Adaptive Management(2015年1月29日、  
フィリピン・ケソン市)

Kurihara H, Tanaka Y, Miyajima T, Yorisue  
T, Watanabe A, Mendoza GG, San  
Diego-McGlone ML: Impacts of climate  
change on seagrass-coral ecosystem:  
Assessing the possible alleviation of ocean  
acidification impacts on corals by sea grass.  
2<sup>nd</sup> Asia-Pacific Regional Symposium on  
Coastal Ecosystem Conservation and  
Adaptive Management(2015年1月29日、  
フィリピン・ケソン市)

Morimoto N, Umezawa Y, Watanabe A, San  
Diego-McGlone ML, Regino GL, Reffera  
CM, Mancenido DL, Garcia M, Mendoza  
GG, Nadaoka K, Miyajima T: POM  
dynamics in the coastal areas of the  
Philippines: under multiple exogenous  
sources. 2<sup>nd</sup> Asia-Pacific Regional  
Symposium on Coastal Ecosystem  
Conservation and Adaptive Management  
(2015年1月29日、フィリピン・ケソン市)

Baria MVB, Kurihara H, Villanueva R,  
Watanabe A, Miyajima T, San  
Diego-McGlone ML, Harii S: Latitudinal  
effects of ocean warming and acidification  
on the early stage of corals. 第17回日本サ  
ンゴ礁学会大会(2014年11月27日、高  
知市)

Miyajima T: Nutrient sources and export  
production in coral reefs: A case study.  
International Workshop of Ocean  
Acidification in Coral Reefs(2013年6月  
26日、東京都文京区)

Miyajima T, Watanabe A, Nakamura T,  
Morimoto N, Nadaoka K: Use of the isotope  
ratio of dissolved inorganic carbon for  
investigating the carbon cycle of coral reef  
ecosystems. 日本地球惑星科学連合2013  
年大会(2013年5月13日、千葉市)

Watanabe A: Local stressors and CO<sub>2</sub> system  
dynamics in some coastal areas of the  
Philippines. 1<sup>st</sup> Regional Symposium on  
Coastal Ecosystem Conservation and  
Adaptive Management(2012年11月7日、  
フィリピン・ケソン市)

Miyajima T: Seasonal and regional  
variability in nutrient inputs to sea surface by  
precipitation. 1<sup>st</sup> Regional Symposium on  
Coastal Ecosystem Conservation and  
Adaptive Management(2012年11月7日、  
フィリピン・ケソン市)

渡邊敦: フィリピン国の沿岸生態系にお  
ける地域的環境負荷と炭酸系動態. 第15  
回日本サンゴ礁学会大会(2012年11月  
23日、東京都文京区)

〔図書〕(計 2件)

Miyajima T, Morimoto N, Nakamura T,  
Yamamoto T, Watanabe A, Nadaoka K:  
Atmospheric Deposition of Reactive  
Nitrogen as a Regional-Scale Eutrophication  
Stress on the Coral Reef Ecosystem. In:  
Kayanne H (ed.) Coral Reef Science:  
Strategy for Ecosystem Symbiosis and  
Coexistence with Humans under Multiple  
Stresses. Springer (in press)  
Yamano H, Hata H, Miyajima T, Nozaki K,  
Kato K, Negishi A, Tamura M, Kayanne H  
(2014) Water circulation in a fringing reef  
and implications for coral distribution and  
resilience. In: Nakano S, Yahara T,  
Nakashizuka T (eds.) The biodiversity  
observation network in the Asia-Pacific  
region: Integrative observations and  
assessments of Asian biodiversity. Springer,  
pp.275-293.

〔産業財産権〕

- 出願状況(計 0件)
- 取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等: 該当なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

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

### (2) 研究分担者

渡邊 敦 (WATABNABE, Atsushi)  
東京工業大学・環境・社会理工学院・助教  
研究者番号: 00378001

### (3) 連携研究者

灘岡 和夫 (NADAOKA, Kazuo)  
東京工業大学・環境・社会理工学院・教授  
研究者番号: 70164481

### (4) 連携研究者

梅澤 有 (UMEZAWA, Yu)  
長崎大学・水産学部・准教授  
研究者番号: 50442538