

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2013～2015

課題番号：25257305

研究課題名(和文) コーラル・トライアングル超多島域におけるブルーカーボン動態と地球環境影響予測

研究課題名(英文) Blue carbon dynamics and global environmental impact prediction in coral triangle island-studded area

研究代表者

灘岡 和夫 (Nadaoka, Kazuo)

東京工業大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：70164481

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 37,300,000円

研究成果の概要(和文)：沿岸生態系の衰退に伴ってそこに蓄えているブルーカーボンが急速に失われつつある coral triangle 域のインドネシアとフィリピンを対象として国際共同研究を実施した。その結果、マングローブ林や海草藻場等からなるブルーカーボン生態系での炭酸系およびそれに関連する生態系・物質循環構造等の特徴を明らかにすることが出来た。さらに、海域・陸域・大気システム統合型炭酸系動態シミュレーションモデル等の開発やリモートセンシング画像解析等を行った。それらに基づいて、地球温暖化等のもとでの将来的な炭酸系特性の変化やブルーカーボン消失量の予測を可能とするための新たなモデルシステムを開発することに成功した。

研究成果の概要(英文)：Conducting international joint studies in Indonesia and Philippines, where blue carbon in coastal ecosystems has been rapidly decreasing due to degradation of the ecosystem, we could clarify carbon dynamics and associated ecosystem characteristics and material cycles in blue carbon ecosystems consisting of mangroves, seagrass and others in the joint study areas. We conducted also the development of various simulation models to analyze and predict blue carbon dynamics in an integrated atmosphere-land-ocean system, and remote sensing analyses. Based on all these results, we succeeded in developing a model system which would enable the future prediction of the changes in the carbon dynamics and the decrease in the blue carbon stock under global warming and other anthropogenic impacts.

研究分野：沿岸環境学、生態系保全学、海岸工学

キーワード：ブルーカーボン動態 コーラル・トライアングル 地球環境影響予測 沿岸生態系劣化 炭酸系計測

1. 研究開始当初の背景

2009年10月に発表された国連環境計画 (UNEP) の報告 (Nellemann ら編) 以降、海洋生態系の一次生産者 (プランクトン、海草藻場、マングローブ林など) が吸収・固定している炭素量、いわゆるブルーカーボンが大きな注目を集めてきている。それはブルーカーボンが地球上の生物による全炭素固定量の55%をも占めており、今後の地球温暖化緩和戦略を考える上でその適切な維持がきわめて重要になるためである。しかし、現実には、同報告書に述べられているように、沿岸生態系の劣化等によって世界のブルーカーボン量の2-7%が毎年失われつつあり、適切な追加対応策がとられないまま推移すれば、今後20年程度でその大半が失われる可能性がある。

本研究で対象とする coral triangle 海域 (Wallace, et al., 2000) は、インドネシアやフィリピンを中心とした東南アジアから西太平洋中部に至る熱帯域に位置する海域で、沿岸生態系における生物多様性が世界的に見て特に高いエリアである (Roberts, 2002)。そして、この海域に多く見られるマングローブ林や熱帯性海草藻場は単位面積あたりのブルーカーボン生産能力が極めて高いと推測されている。一方、これらの海域では、マングローブ林や藻場の伐採・埋め立て、隣接する陸域での森林伐採などによる表層土壌流出や農地等からの栄養塩の過剰流入といった様々な人為的環境負荷のため沿岸生態系の衰退がかなり深刻である。さらに、広域的な海水温上昇等のグローバルな環境負荷要因が上記のローカルな環境負荷要因に重畳する形で作用しており、これらの地域の沿岸生態系に今後さらに深刻な影響を与えるものと予想される。そのため、この海域での生態系、特に沿岸生態系の健全性の維持が、ブルーカーボンの消失を食い止め、ひいては地球温暖化対策に貢献し得ることを具体的な科学的根拠に基づいて示していくことが重要な課題となっている。

しかし現実には、この海域が、CO₂ 吸収 / 放出フラックス評価結果を示す全球マップでの大きな空白地帯の一つになっていることに象徴されるように、この海域での CO₂ 吸収 / 放出特性を支配する炭酸系動態の解明は大きく立ち遅れている。それは、基礎的な炭酸系観測データのみならず、関連する栄養塩データや安定同位体といったこの海域での物質循環の基本構造を把握するためのデータの蓄積がほとんど進んでいないことや、大気 - 海洋相互作用過程に加えて周辺陸域からの有機物流入等のファクターが存在すること、超多島複雑海域としての同海域の特徴がそこで物理・化学・生物過程の定量的な評価を困難にしていること、といった要因が存在するためである。

研究代表者の灘岡らは、これまでの数件の科研費や環境省地球環境研究総合推進費等

により coral triangle 海域での沿岸生態系保全に関わる研究課題に様々な角度から取り組んできており、H23年度に終了した科研基盤 A 海外学術調査では、炭酸系に関する予備的な調査を実施している。インドネシアとフィリピンの共同研究機関とは研究協力協定を締結しており、本研究課題について相手国 (特にインドネシア) からの強い共同研究要請を受けている。

本研究は、このような背景のもとに、これまでの研究成果を発展させる形で実施したものである。

2. 研究の目的

沿岸生態系における生物多様性が世界的に見て最も高いエリアであるにもかかわらず、様々な人為的負荷や地球温暖化などによる沿岸生態系の衰退が激しく、それに伴って、沿岸生態系が蓄えているブルーカーボンが急速に失われつつある coral triangle 域を対象として、炭酸系およびそれに関連する生態系・物質循環構造に関する本格的な国際共同観測を実施する。さらに、海域 - 陸域 - 大気システム統合型炭酸系動態シミュレーションモデル等の開発やリモートセンシング画像解析等を行い、同域における CO₂ 吸収 / 放出特性等を環境負荷や生態系の劣化状況等との関連性も含めて解明する。これらにより、地球温暖化のもとでの将来的な炭酸系特性の変化やブルーカーボン消失量の予測を可能とし、それに基づいて消失量を抑制するための保全策に関する学術面からの提言に繋げていくためのモデルシステムの開発を行う。

3. 研究の方法

インドネシア、フィリピンを共同研究相手国として、coral triangle 海域の炭酸系およびそれに関連する生態系・物質循環構造等に関する国際共同観測を、様々な海域・季節において実施する。また、coral triangle 海域における海域 - 陸域 - 大気システム統合型の炭酸系動態シミュレーションモデルを開発するとともに、沿岸浅海域での炭酸系動態 - 生態系モデルをリンクさせたモデル体系を構築する。それらに基づく解析と種々の現地調査、衛星画像解析等の結果により、複合ストレス下での生態系構成要素の劣化に伴ってブルーカーボンが消失していくプロセスを定量的に評価する。これらにより、いままで空白地帯であった coral triangle 海域の炭酸系特性の実態を明らかにするとともに、地球温暖化等での将来的な炭酸系特性変化やブルーカーボンの消失量予測を可能とし、それに基づいて消失量を抑制するための学術面からの保全策への提言に繋げていくためのモデルシステムの開発を行う。

4. 研究成果

- (1) マングローブ林に関する現地調査
マングローブ林に関係して、フィリピン・

パナイ島のバナテ湾、ネグロス島のビクトリアシティ近郊、ミンダナオ島のラギンディガン、インドネシア・スラウェシ島のラワ・アオパ国立公園、および国内比較サイトとしての沖縄・石垣島の吹通川河口周辺域、沖縄本島の漫湖干潟および億首川のマングローブで調査を実施し、各サイトで、樹高、直径、樹冠面積等を計測し、地上部および地下部の炭素貯蔵量を推定した。そしてこれらのサイトの多くで、土壌やリター、水の採取を行い有機物含量や炭素量を分析した。さらに、ラワ・アオパ国立公園と吹通川マングローブ林に関しては、土壌中の炭素蓄積量に影響を及ぼす生物擾乱に関する現地観測を行った。

(2) 海草藻場に関する現地調査

海草藻場に関しては、フィリピンのポリナオ等において、その生育状況のマッピングと物理化学的環境に関する調査を行い、両者の関連性を明らかにした。また、海草藻場と周辺浅海域におけるブルーカーボン動態の把握を進めるために、フィリピン沿岸域で採集した堆積物・海草試料の処理と分析を行った。また既存の分析データと文献資料に基づき東アジアからオセアニアにかけての海草藻場のブルーカーボン蓄積速度の概括的な評価を実施した。さらに、溶存無機炭酸の安定同位体比を用いてサンゴ礁とそれに隣接する海草藻場における炭素固定量を評価し比較するために、データ収集を進めるとともに、過去の研究事業で取得されているデータを整理して比較検討した。そして、フィリピンの海草藻場堆積物の有機炭素含量と物理特性（炭酸塩含有率、比表面積等）の分析を進め、それに基づき、ブルーカーボン隔離量の規定因子とその地域特性について解析を進めた。

(3) 堆積物へのブルーカーボン蓄積

堆積物へのブルーカーボンの蓄積メカニズムを解明するために比表面積測定装置を導入し、有機炭素蓄積量の比表面積に対する依存性を解析した結果、亜熱帯・熱帯の堆積物における蓄積メカニズムは従来から研究されている温帯の堆積物の場合とは異なる可能性が見いだされた。

(4) CO₂ 吸収・放出特性等の分析

炭酸系、ならびに関連する物理・化学・生物過程に関する観測をインドネシアとフィリピンにおいて実施した。インドネシアに関しては、広域海域特性に関する調査を行い、そのデータ解析結果から、人間活動や河川からの影響が顕著な海域（ジャワ海等）では、CO₂の放出海域になっていることを明らかにした。また、インドネシア・ケンダリ海域（Rawa Aopa Watumohai 国立公園）を対象に現地観測を実施し、国立公園内外のマングローブ林が保護されている場所、伐採され養殖地に交換された場所を対象に、土壌の流出状況の違いや栄養塩、炭酸系といった水質の違いを明らかにした。フィリピンについては、ポリナオでの過剰養殖に伴う栄養塩負荷と

CO₂ 放出 / 吸収特性の関係を雨季・乾季にわたり明らかにした。また、同海域でいまだに問題になっている魚の大量斃死の原因としても、過剰養殖に伴う栄養塩負荷と雨季の陸源負荷等が絡んでいることを解明した。

(5) リモートセンシング解析

ブルーカーボン生態系の主要構成要素である海草藻場、マングローブ等に関して、それらの動態に關与する陸域負荷（表層土壌、有機物、無機栄養塩等の負荷）に関するモデルの駆動に必要な周辺の陸域情報（地形、植生被覆、土地利用など）とともに、リモートセンシングによる広域マッピングをフィリピンを中心に実施した。また、マングローブ林や海草藻場の高解像度空中写真を撮影するために、マルチコプターを導入し、その応用可能性について検討した。

(6) モデルシステム開発

モデル開発に関しては、これまで開発してきたサンゴ礁生態系を対象とした物理・化学・生物過程統合モデルや陸源負荷評価モデルなどを発展させるとともに、マングローブや海草藻場等の重要なコンパートメントを含んだ形でのモデル体系を構築する検討を行った。

まず、サンゴ礁生態系のブルーカーボン動態モデルを開発・高度化するために、これまで開発を進めてきていたサンゴポリブモデル（Nakamura et al., 2013）にサンゴの白化モジュール等を組み込み、より多様な環境変化に対する動的応答過程を定量的に記述可能なモデルを開発することに成功した。このモデルを海水流動モデルと統合することにより、サンゴ礁生態系のリーフスケールでのブルーカーボン動態モデルへと高度化した。

それと併行して、「大気・陸域・海域システム統合型」モデル体系の開発を進めた。そして、多重ネスティング海流モデルに陸源負荷モデルをカップリングさせた海域・陸域カップリングモデルに、炭酸系動態モジュールを組み込んだ低次生態系モデルを組み込むことで、炭酸系動態統合モデルシステムを完成させた。これにより河川から流出した栄養塩による海域の植物プランクトンの増殖や、有機物の海域への拡散および中深層への輸送や分解、それに伴う海水のCO₂分圧の変化などが計算可能となった。

また、マングローブ生態系のブルーカーボン動態を解析・予測するために、陸上植物の植生モデル（SEIB-DGVM）に塩分耐性モジュール、台風の影響評価、マングローブ独自の成長パラメータ等を導入し改良を加えることで、マングローブ植生動態モデルの開発に成功した。これは、マングローブ中の炭素のみならず、土壌に堆積した炭素蓄積量も評価できるモデル体系となっている。さらに、土壌の炭素蓄積量が生物擾乱の影響を強く受けることから、生物擾乱をモデル化することでブルーカーボン動態モデルの高度化を進めた。

さらに、マングローブとともにブルーカーボン生態系を構成する主要要素の一つである海草藻場に関して、複合環境ストレス下での成長・衰退を定量的に評価可能な海草藻場動態モデルを、SAV モデルをベースに開発することに成功した。

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 17 件)

Ferrera, C.M., Watanabe, A., Miyajima, T., San Diego-McGlone, M.L., N., Morimoto, 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(1), 237-248. (査読有)

Kartadikaria, A. R., Watanabe, A., Nadaoka, K., Adi, N. S., Prayitno, H. B., Suharsono, S., Muchtar, M., Triyulianti, I., Setiawan, A., Suratno, S., Khasanah, E. N. (2015): CO₂Sink/Source Characteristics in the Tropical Indonesian Seas, Journal of Geophysical Research: Oceans, 120(12), 7842-7856. DOI:10.1002/2015JC010925 (査読有)

Ferrera, C.M., Miyajima, T., Watanabe, A., Umezawa, Y., Morimoto, N., San Diego-McGlone, M.L., Nadaoka, K. (2015): Variation in oxygen isotope ratio of dissolved orthophosphate induced by uptake process in natural coral holobionts, Coral Reefs, 1-14. DOI 10.1007/s00338-015-1378-8 (査読有)

Collin, A., Nadaoka, K. and Bernardo, L.C.(2015):Mapping the Socio-Economic and Ecological Resilience of Japanese Coral Reefscapes across a Decade, ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2015, 4, 900-927, doi:10.3390/ijgi4020900 (査読有)

Kangkuso Analuddin, Jamili, Andi Septiana, Rasas Raya, Idin Sahidin, Usman Rianse, Saban Rahim, Alfirman, Sahadev Sharma & Kazuo Nadaoka (2015) : Allometric model and aboveground biomass of Lumnitzera racemosa Willd. forest in Rawa Aopa Watumohai National Park, Southeast Sulawesi, Indonesia, Forest Science and Technology, 12(1), 43-50; DOI:10.1080/21580103.2015.1034191(査

読有)

Eugene, C.H., Nadaoka, K., Ariel, C.B., Emitterio, C.H.(2015) : Hydrodynamic investigation of a shallow tropical lake environment (Laguna Lake, Philippines) and associated implications for eutrophic vulnerability, ASEAN Engineering Journal, Part C, Vol.4, No.1, ISSN2286-8150, 48-62, February 2015 (査読有)

Collin, A., K. Nadaoka and T. Nakamura(2014): Mapping VHR Water Depth, Seabed and Land Cover Using Google Earth Data, ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2014, Vol.3(4), pp.1157-1179; doi:10.3390/ijgi3041157 (査読有)

Tanaka, Y., G.A. Go, A. Watanabe, T. Miyajima, M. Nakaoka, W.H. Uy, K. Nadaoka, S. Watanabe and M.D. Fortes (2014): 17-year change in species composition of mixed seagrass beds around Santiago Island, Bolinao, the northwestern Philippines, Marine Pollution Bulletin. 2014, vol.88, 81-85; doi:10.1016/j.marpolbul.2014.09.024 (査読有)

Sharma, S., Yasuoka, J., Nakamura, T., Watanabe, A., Nadaoka, K. (2014): The Role of Hydroperiod, Soil Moisture and Distance from the River Mouth on Soil Organic Matter in Fukido Mangrove Forest, Proc. of the Intl. Conf. on Advances in Applied Science and Environmental Engineering- ASEE 2014. doi: 10.15224/978-1-62348-004-0-10 (査読有)

Nakamura, T., K. Nadaoka and A. Watanabe (2013): A coral polyp model of photosynthesis, respiration and calcification incorporating a transcellular ion transport mechanism, Coral Reefs, Vol.32, pp.779-794, DOI:10.1007/s00338-013-1032-2(査読有)

[学会発表](計 59 件)

Ferrera Charissa、宮島利宏、San Diego-McGlone Maria Lourdes、森本直子、梅澤有、Herrera Eugene、土屋匠、吉開仁哉、灘岡和夫、渡邊敦 (2016) : リン酸の酸素安定同位体比を含む生物地球化学的指標を用いたフィリピン・ポリナオおよびアング沿岸の養殖海域における継続的な富栄養化状態の原因解明、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、千葉市(幕張メッセ)、2016 年 5 月 24 日(口頭)

宮島利宏、森本直子、田中泰章、渡邊敦、

中村隆志、山本高大、瀬岡和夫：サンゴ礁生態系における懸濁粒子・沈降粒子の炭素・窒素安定同位体比時空間分布、日本地球惑星科学連合 2016 年大会，千葉市（幕張メッセ），2016 年 5 月 24 日（口頭）

Ferrera, C., A. Watanabe, T. Miyajima, Y. Umezawa, N. Morimoto, K. Nadaoka: Dynamics of the uptake of nitrate and phosphate of three coral species in the subtropical and tropical Western Pacific following nutrient enrichment. APCRS 2014, June 2014, Taiwan (Poster)

中村隆志，瀬岡和夫，渡邊敦，宮島利宏，渡邊剛(2013)：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，千葉県千葉市（幕張メッセ），2013 年 5 月 19 日～24 日（口頭・招待講演）

瀬岡和夫(2013):沿岸生物多様性研究におけるメタシステム・アプローチの必要性と可能性，第 16 回日本サンゴ礁学会，沖縄科学技術大学院大学，2013 年 12 月 15 日（招待講演）

Kartadikaria, A.R., A. Watanabe, K. Nadaoka, H.B. Prayitno, N.S. Adi, M. Muchtar, Suharsono, I. Triyulianti, and A. Setiawan (2013): CO2 Sink/ Source Characteristics in the Tropical Indonesian Seas, Indian Ocean and Pacific, 18-21 June 2013, Nusa Dua, Bali, Indonesia(口頭)

〔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

瀬岡 和夫 (NADAOKA KAZUO)
東京工業大学・大学院情報理工学研究科・教授
研究者番号：70164481

(2)研究分担者

中村 隆志 (NAKAMURA TAKASHI)
東京工業大学・情報理工学(系)研究科・講師
研究者番号：20513641

渡邊 敦 (WATANABE ATSUSHI)
東京工業大学・情報理工学(系)研究科・助教
研究者番号：00378001

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

(3)連携研究者

()

研究者番号：