

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2012～2016

課題番号：24121003

研究課題名(和文)海洋生元素地理の高精度観測からの新海洋区系

研究課題名(英文)New Ocean Provinces from the Geography of Biogenic Elements

研究代表者

齊藤 宏明(SAITO, HIROAKI)

東京大学・大気海洋研究所・教授

研究者番号：30371793

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 63,000,000円

研究成果の概要(和文)：太平洋全域に及ぶ調査航海を実施し、生態系サービスの量と機能を決定する主要素であり海洋区系の基盤となる生元素の分布様式を、従来より高感度・高解像度で把握した。栄養塩、溶存態有機リン、溶存腐食物質、pH、アルカリ度等の分布図を得ると共に、それらの分布特性を基にした新たな海洋区系を提案した。また炭酸系についてはデータベース解析を加え、温暖化や酸性化に伴う経年変化特性も明らかにした。また、一般化加法モデルを用い、得られたデータに他課題からの海洋物理データ等を加えることにより、魚類分布等海洋ガバナンスに必要な様々な海洋生態系サービスに関するパラメータの分布を得ることが可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：We carried out research cruises covering over the Pacific Ocean and examined the distribution of biogenic elements by means of newly developed high sensitivity methods which is one of the main factors controlling quantity and function of ecosystem services. We obtained maps of nutrients, dissolved organic phosphate, dissolved humic substances, pH, alkalinity, and other forms of biogenic elements. New ocean provinces of the Pacific Ocean are proposed based on the geography of biogenic elements. For parameters of carbonate system, we carried out database analysis and showed the interannual variability with proceeding of global warming and ocean acidification. Using the obtained data of biogenic elements and physical oceanographic parameters, we also make it possible to estimate various parameters on marine ecosystem services such as distribution of fisheries target species by means of generalized additive model.

研究分野：生物海洋学

キーワード：生元素 太平洋 生態系 炭酸系 栄養塩 溶存腐食物質 生態系サービス 地理

1. 研究開始当初の背景

人類が海洋から得る恵み、すなわち生態系サービス、は海洋の物質循環の産物であり、特に生物生産に不可欠な炭素、窒素、リン等生元素の分布様式がサービスの量と機能を決定する主要素である。海洋物理構造は生元素の分布に最も大きな影響を与える要因であり、また生元素の分布とあわせて海域に独特な生物相を形成する。海洋において海流系、生元素分布、生物相は陸上における気候区、土壌帯、植物帯に相当すると云える。海洋は、特に海流系と生物相に準拠して熱帯、亜熱帯、亜寒帯、極域に区分され、この古典的区分が現在に至るまで長く用いられてきた。Longhurst(1998)は人工衛星による植物プランクトン分布に海洋物理、栄養塩・生物分布等の知見を加えることにより、沿岸域も含めて海洋を51の海区に分類し、その特徴を記述した。しかしながら、外洋域における区分は概ね従来の区分を踏襲した上での細分化に留まった。

本研究課題担当者らが行った海洋の生元素分布やその生物相に及ぼす影響に関する研究により、従来の海洋区分とは大きく異なる生元素分布とそれに対応した生物相が見られることが明らかになってきた。これは我々が新たに開発しまたは改良した高精度生元素分析技術や生物相把握技術等によって浮かび上がったものである。また、海洋における生元素分布が生物相に与える影響は極めて大きく、従来亜熱帯域とされていた海域の内部において、従来法では感知できないほどの僅かな生元素濃度の違いが、まったく異なる植物相、動物相の違いを生む。これらのことは、高精度生元素分析法を基に生元素地理を刷新すれば、物理構造や生物相の情報を合わせて新たな海洋区分が確立されることを意味する。この新海洋区系は、海洋区系毎の社会的価値把握と持続的な海洋利用の合意形成のための基盤となる知見となる。

2. 研究の目的

最先端の、または新たに開発した分析技術を用い、太平洋において生元素の化学形態毎の濃度を高精度・高解像度で測定する。得られたデータから、生元素の濃度、濃度比、存在形態(有機態か無機態か、溶存態か粒状態、粒子サイズ等)毎の分布地図を新たに作成し、海洋の生元素地理を確立し、それを基に新しい海洋区系を提案する。さらに、他研究課題で得られる海洋物理構造等生元素地理に影響を与える要素の観測結果も用い、得られた成果を統合して解析し、生元素分布とその特徴を明らかにし、海洋ガバナンスに有用な情報の提供や政策オプション提言に貢献する。

3. 研究の方法

従来、生元素種や化学形態ごとにばらばらに行われていた分析を、本課題の研究担当者

が調査航海に共に乗船して同時に得られるようにした。すなわち、1) 栄養塩・溶存有機物の高感度分析手法および連続分析手法を開発し、従来法より高精度で栄養塩・溶存有機物の時空間分布特性を把握し、2) 粒状態のリン、ケイ素の高感度分析手法を開発し、従来法による粒状炭素・窒素と合わせて粒状有機物の時空間分布様式を把握し、3) 炭酸系および酸素の連続分析手法を改良すると共に、データベースの整備・解析により、炭酸系・酸素の時空間分布を把握した。

これらの手法で得られたデータを基に新しい海洋区系を提案する。さらに、他研究課題で得られる海洋物理構造等生元素地理に影響を与える要素の観測結果も用い、様々な海洋生態系サービスに関するパラメータの推定を試み、海洋ガバナンスや政策決定オプションの提案に貢献する。

4. 研究成果

生元素の化学種・形態別の地理分布を、従来よりもはるかに高精度で把握することができた。栄養塩については、従来、その濃度分布はリニアスケールで記述され、おおむね100 nM以下は検出限界以下とされてきた。本研究により、検出限界3 nM(硝酸塩、亜硝酸塩、リン酸塩)~11 nM(ケイ酸)で測定可能となったため、栄養塩の地理分布を最大5桁の範囲でログスケールで記述することが可能となった。ログスケールの栄養塩濃度をログスケールで記述した分布図は、従来のリニアスケールでの分布図とは大きく異なり、我々の海洋像を大きく変えるものである。特に従来均一な栄養塩枯渇域とされてきた亜熱帯海域が、3つ以上の海域に区分されることは重要な発見である。さらに、高感度吸光分析法は、亜熱帯域における極めて低濃度の粒状生元素濃度および溶存態有機リンの分析を可能とした。粒状リン、生物源ケイ素、溶存態有機リンについては世界で最高精度で広範囲をカバーする分布図が得られた。また従来生元素循環においてほとんど顧みられることのなかった動物プランクトンが生元素の貯蔵や循環に重要な役割を担っていることを明らかにし、亜熱帯太平洋の生元素循環に関する理解を大きく転換させた。

有色溶存有機物については、腐植様蛍光物質を対象とした現場型蛍光センサーを外洋域に世界で初めて適用し、適切な補正および校正、平滑化を行う事により、腐植様蛍光物質の高解像度分布の評価が可能となった。さらに3次元励起蛍光光度法に統計学的手法であるParallel Factor Analysisを組み合わせた方法により蛍光性溶存有機物の質的評価を行った結果、2つの腐植様蛍光成分、2つのタンパク質様蛍光成分の把握が可能となった。腐植様蛍光成分およびタンパク質様蛍光成分の量的および質的な地理的分布から、(1) 腐植様蛍光成分の総存在量は明確な緯度変化を示す事、タンパ

ク質様蛍光成分の総存在量は明確な緯度変化を示さない事、(2) 腐植様蛍光成分の比(組成)、タンパク質様蛍光成分(組成)はバラツキが大きいものの、緯度変化を示す事、が明らかとなった。また、蛍光性溶存有機物の質的パラメータ(全溶存有機物組成と関連するタンパク質様蛍光と腐植様蛍光の比、光化学的反応性の指標である腐植様蛍光組成、生物学的反応性の指標であるタンパク質様蛍光組成)を用いたクラスター解析により、太平洋を5つの海区に分ける事ができた。

炭酸系に関しては、北太平洋海洋科学機関の活動を通じて、世界の研究者と協力し、太平洋の炭酸系パラメータや関連する物理・生物地球化学の観測パラメータのデータベース PACIFICA を作成して公開した。このデータベースに基づいて、太平洋広域の各等密度面上における酸素濃度、栄養塩濃度、ポテンシャルアルカリ度、全炭酸濃度、 N^* など、さまざまな生物地球化学パラメータの水平分布を描写し、それらの分布特性を知ることができた。さらに、国際海洋炭素観測連携プロジェクトにおいて、PACIFICA を活用して全海洋規模のデータベース GLODAPv2 を作成した。このデータベースおよび観測結果を併せて用いた解析を行った。その中で、海洋表層の全アルカリ度分布を把握し、それに基づき太平洋を5つの海区に区分した。さらに、表層 CO_2 の季節変化特性に基づき、太平洋を13の海洋区に区分し、1990年~2009年の CO_2 分圧や CO_2 フラックスの分布を月ごとに評価した。更に、 CO_2 の季節変化や長期変化、溶存酸素の長期変化、海洋酸性化の生態系への影響を理解するために有効なアラゴナイト飽和指数の分布と季節変動特性を明らかにした。

本研究で得られた形態別の生元素濃度データは、多くが世界最高精度であり、蛍光性溶存有機物等、太平洋外洋域の分布を初めて明らかにしたものも多い。しかしながら、プログラム期間中の調査航海で得られたデータであるため、観測空白域も多い。そこで、この高精度データを他のパラメータから一般化加法モデル(GAM)により推定することを試みた。その結果、前線域等で誤差の大きな地点があるものの、観測があった海域の再現性は高く、GAMが高精度硝酸塩分布の再現に有効であると判断できた。このことは、硝酸塩濃度を規定する主要因が物理機構であることを示唆している。

さらに、本研究で得られた様々なデータの、海洋ガバナンスへの応用を検討した。そこで、経済的価値が高く、かつ物理環境や生元素地理によってその分布や生産が影響されると考えられるマグロ類について、漁獲量の再現を試行した。その結果、GAMにより亜熱帯性のキハダの分布域や漁獲量が良く再現された。一方、ビンナガでは、分布域はおお

よそ再現できたが、漁獲量については必ずしも正確でなかった。ビンナガは季節回遊を行うため、月別の推定も試みたが、漁獲量についての再現性は低く、正確な推定にはビンナガの生理・生態を考慮したモデルとする必要があると考えられる。

本研究で得られた物理データおよび生元素地理データは、それ自体が海洋科学にとっての重要な新知見であるが、GAMを活用することによって様々なユーザーへのニーズに対応したパラメータの推定にも利用することが可能であり、海洋ガバナンスの基盤知見として活用することが期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計45件)

HASHIHAMA, F., S. SUWA and J. KANDA. 2017. Liquid waveguide spectrophotometric measurements of arsenate and particulate arsenic, as well as phosphate and particulate phosphorus, in seawater, *Journal of Oceanography*, doi:10.1007/s10872-017-0412-6. 査読有

ISHII, M., et al, 2014. Air-sea CO_2 flux in the Pacific Ocean for the period 1990-2009, *Biogeosciences*, 11, 709-734, doi:10.5194/bg-11-709-2014. 査読有.

YAMASHITA, Y., Y. NOSAKA, K. SUZUKI, H. OGAWA, K. TAKAHASHI and H. SAITO. 2013a. Photobleaching as a factor controlling spectral characteristics of chromophoric dissolved organic matter in open ocean. *Biogeosciences*, 10, 7207-7217, 査読有.

〔学会発表〕(計108件)

Ishii, M., Progress of Ocean Acidification in the western North Pacific, 温暖化・海洋酸性化の研究と対策に関する国際会議, 2017年1月、東京。(招待講演)

YAMASHITA, Y., F. HASHIHAMA, H. SAITO, H. FUKUDA, and H. OGAWA. 2016. Quantitative and qualitative distribution of fluorescent dissolved organic matter in the Pacific surface water. 招待講演, 18th International Conference of International Humic Substances Society, Kanazawa, Ishikawa, 2016年9月11-16日.

〔図書〕(計9件)

石井雅男 海洋の炭酸物質と栄養塩 蒲生俊敬編「海洋地球化学」, 講談社サイエンスフィック 53-77, 2014年, 査読無.

SAITO, H. 2016. Plankton Net. In: *Guideline of Ocean Observations Volume 6, Plankton and Benthos*, The Oceanographic

Society of Japan, ISBN 978-4-908553-27-1,
G601EN:001-009. 査読有

〔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

海洋生元素地理の高精度観測からの新海洋
区系

(<http://ocean.fs.a.u-tokyo.ac.jp/forpublic2.html>)

6. 研究組織

(1)研究代表者

齊藤宏明 (SAITO, Hiroaki)

東京大学・大気海洋研究所・教授

研究者番号：30371793

(2)研究分担者

石井雅男 (ISHII, Masao)

気象庁気象研究所・海洋・地球化学研究
部・室長

研究者番号：70354553

山下洋平 (YAMASHITA, Youhei)

北海道大学・地球環境科学研究院・准教授

研究者番号：50432224

橋濱史典 (HASHIHAMA, Fuminori)

東京海洋大学・学術研究院・助教

研究者番号：80535807

(3)連携研究者

竹村俊彦 (TAKEMURA, Toshihiko)

九州大学・応用力学研究所・教授

研究者番号：90343326