

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2011～2015

課題番号：23253001

研究課題名(和文) 太平洋における GEOTRACES 観測：微量元素・同位体の3次元分布と挙動の解明

研究課題名(英文) GEOTRACES program in the Pacific Ocean: studies on the 3-dimensional distribution and behavior of trace elements and isotopes

## 研究代表者

蒲生 俊敬 (GAMO, Toshitaka)

東京大学・大気海洋研究所・教授

研究者番号：70143550

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 39,500,000円

研究成果の概要(和文)：国際大型研究GEOTRACES計画の一環として、太平洋の広範な海域にわたって、微量元素と同位体に関する生物地球化学的研究を推進した。学術研究船白鳳丸のクリーン試料採取システムとクリーンルームを活用し、二つの長期航海(KH-12-4次航海およびKH-14-6次航海)を、それぞれ平成24年度と26年度に成功裡に実施した。前者では北太平洋亜寒帯域を横断、後者では南太平洋を南北に縦断する観測ラインを完遂し、合計50観測点において表面から海底まで海水中の鉄、亜鉛、銅などをはじめとする微量金属を計測した。得られたデータを逐次GEOTRACESデータセンターへ登録しつつある。

研究成果の概要(英文)：We have widely promoted marine biogeochemical studies of trace elements and their isotopes in the Pacific Ocean, as part of a large-scale international program GEOTRACES. By applying a clean sampling system and clean spaces on board R/V Hakuho Maru, two long cruises, KH-12-4 and KH-14-6, were successfully conducted along an east-west latitudinal section in the subarctic Pacific in 2012 and along a north-south longitudinal section in the south Pacific Ocean and the Antarctic Sea in 2014 to 2015, respectively. We occupied total 50 stations for the measurement of trace metals such as Fe, Zn, and Cu in seawater from surface to bottom. Obtained data have been registered to the GEOTRACES data centre.

研究分野：化学海洋学

キーワード：国際GEOTRACES計画 微量元素と同位体 海洋の生物地球化学 学術研究船 太平洋 クリーン採水

## 1. 研究開始当初の背景

本研究は、我が国が国際 GEOTRACES (海洋の微量元素・同位体による生物地球化学的研究)計画主導国として本格的にコミットするためのものである。すでに平成19年から22年までの4年計画で、科学研究費基盤研究A(海外学術研究)「微量元素と同位体に主眼をおくインド洋と日本海の縦断観測(GEOTRACES計画)」(研究代表者:蒲生俊敬)を成功裡に完遂したところであり、その実績をベースとして、さらにGEOTRACES計画を発展させるべく本基盤研究Aが企画・立案された。

GEOTRACES計画は、SCOR(Scientific Committee on Oceanic Research:海洋科学研究委員会)の支援を受けた海洋地球化学分野の国際研究プロジェクトである。平成15~16年度の計画策定期を経てサイエンスプランが取り纏められ、17年8月にSCORの大型海洋研究として認定された(我が国から、蒲生・張・小畑らがScience Steering Comm.など各種委員会委員を務めていた)。この頃の参加国は日米英仏独など15ヶ国で(現在では約35カ国が参加)各参加国はGEOTRACES規格のクリーン観測技法および国際相互検定をパスした分析法を用いて、全海洋を網羅した測線で観測を分担し、海水中の微量元素と同位体の動態解明にあたる。それらのデータはGEOTRACESデータセンターに集約され、全海洋の様々な研究に対し微量元素・同位体データの活用が促進される(国際webサイト <http://www.geotraces.org/>に、本計画の最新情報が記載されている)。

GEOTRACES計画で注目するのは、海水中の微量金属元素(Fe, Al, Zn, Mn, Cd, Cu),  $\delta^{15}\text{N}$ (硝酸),  $\delta^{13}\text{C}$ (全炭酸), 放射性同位体( $^{230}\text{Th}$ ,  $^{231}\text{Pa}$ ), Pb同位体, Nd同位体など(これらはGEOTRACESキーパラメーターと呼ばれる)で、これらの微量元素・同位体に関わる研究は、海洋科学分野の最もホットな領域として応用範囲を急速に広げつつあった。それは微量元素が、海洋環境における様々なプロセス(表層における一次生産、炭素循環と地球環境変動、海洋の循環・混合、古海洋復元のためのプロキシー形成過程など)ときわめて密接に関連しており、正確な微量元素情報の有る無しが、上記の各種研究の死命を制するためである。GEOTRACES計画の発足により、ようやく信頼性の高い微量元素・同位体データが全海洋にわたり少しずつ蓄積されるようにな

ったが、本基盤研究の開始当初(平成23年頃)は、太平洋における研究はまだ散発的にすぎず、環太平洋海洋国によるGEOTRACES観測への期待が高まっていた。

上述したように、先行した基盤研究Aによって、学術研究船白鳳丸(海洋研究開発機構)とそのクリーン観測設備の活用が図られ、国際GEOTRACES計画参入への口火が切られていた。すなわち平成20年度にインド洋のアラビア海から南極海に至る南北縦断航海、平成21年度に日本海の縦断航海を、それぞれ国際GEOTRACES観測として成功裡に実施していた。

このような成果を背景に、平成22年8月には、第21期日本学術会議地球惑星科学委員会SCOR分科会のもとにGEOTRACES小委員会(委員長:蒲生)が設置され、国際対応の窓口も整備された。まさに我が国にとって、平成23年度はいよいよ本格的にGEOTRACES計画へ参入するタイミングにあった。本基盤研究により、我が国の研究グループによる太平洋のGEOTRACES観測が本格的に開始されることになる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、国際GEOTRACES計画において策定されている太平洋の研究航海測線のうち、北太平洋および西太平洋における我が国の分担測線での観測を完遂し、その研究成果を世界に公表することである。

平成19年6月に米国ホノルルで開催された太平洋におけるGEOTRACES航海計画策定会議(GEOTRACES Pacific Basin Planning Workshop, 蒲生・張・宗林・天川が出席)において、我が国はGEOTRACES計画主導国の1つとして、北太平洋(北緯47度ライン)東西横断観測(経度5度毎に測点数約20)、および西太平洋南北縦断観測(北太平洋から南極海までの測点数約30)を実施する意志を表明し加盟国の賛同を得た。本基盤研究の目的は、国内で唯一クリーン観測装備を有し海外での評価も高い学術研究船白鳳丸を引き続き活用して、これら2大観測ラインに沿った観測研究とデータ解析を、平成23~27年度の5年間をかけて完遂することである。そのために、平成23, 24, 及び26年度の3回にわたる白鳳丸による長期航海を計画した。

### 3. 研究の方法

国際GEOTRACES計画と連携し、海洋の微量元素と同位体に関わる生物地球化学的調査研究を推進する。具体的には、5年間の研究期間を通じて行う調査研究は、以下の2系列i), ii)に大別される。

i) 海外フィールド調査研究：太平洋を横断及び縦断する2大測線（後出の図1、2を参照）での観測を実施し、世界初の高精度断面データを取得する。またこれらの主測線以外にも、GEOTRACES計画に関連する海域（特に日本近海）において、観測とクリーン海水試料の採取を行う。

観測には白鳳丸に装備されたチタン製アーマードケーブルと、内面をテフロンコートした12-LニスキンX型採水器によるクリーン各層採水を活用する。必要に応じて250-L型大量採水システムも用いる。微量元素・同位体分析は、それらの存在状態（溶解態・コロイド態・粒子態）にも留意しつつ、海洋表層から海底直上に至るまで30～40層にわたり実施する。海水中の懸濁粒子物質は現場濾過装置を用いて別途採取する。また、比較のため海底堆積物および大気試料も採取する。1.で述べたキーパラメーターのほか、白金族元素、ランタノイド、アクチノイド（天然及び人工放射性核種）、希ガス等も含め濃度と同位体比を、国内外GEOTRACES計画関連研究者の総力を挙げて共同分析し、それらの分布と挙動を詳細にマッピングする。なお全炭酸・アルカリ度・栄養塩など主要成分と水温・塩分など物理パラメーターも同時に計測する。

得られたデータを適宜組み合わせ、時空間変動を詳細に解析し、各微量元素の供給源、除去過程、海洋内での循環メカニズム、地球環境変化（global change）との関わりを明らかにする。また、同海域における過去データ（GEOSECSデータ、WOCEデータ、過去の白鳳丸データ）との比較による時系列研究、および他の海域（太平洋東部・大西洋）で並行して実施される他国主宰のGEOTRACES航海データとの比較研究を推進する。

ii) 国際対応・発信：観測航海の成果を迅速に世界に公表するとともに、GEOTRACES共同研究者によって全海洋から着々と蓄積されつつある微量元素・同

位体の統合データ解析に主導的役割を果たす。活発な情報交換の場（国際シンポジウム、ワークショップなど）を通じて研究最前線をキープする。SCOR関連では、SCOR総会（または執行理事会）、GEOTRACES科学推進委員会、同データ管理委員会に代表を派遣し、我が国の活動状況を報告するとともに、最新情報の収集に努める。さらに毎年、または隔年に実施される国際会議（Goldschmidt国際会議、AOGS (Asia Oceania Geosciences Society) 国際会議、Ocean Sciences Meeting など）に適宜研究者を派遣し、研究成果の発表と情報交換を活発に行う。

国内においても、日本海洋学会、日本地球化学会、日本地球惑星科学連合などにおける成果発表、国内websiteからの情報発信など行う。さらに日本学術会議地球惑星科学委員会SCOR分科会GEOTRACES小委員会を通じて評価を受け、研究体制の維持・発展に努める。

### 4. 研究成果

以下に年度ごとに要約して示す。

#### (1) 平成23年度

学術研究船白鳳丸によるKH-11-7次航海（7月16日～8月4日）において、北西太平洋の東経165度線に沿う北緯50度から30度までの海域を集中的に精査した。また東北地方太平洋沖地震（平成23年3月11日）の直後にあたることから、当初の予定航路を一部変更し本州東方海域においても微量元素・同位体の分布状況を緊急調査した。引き続き、白鳳丸KH-11-10次航海（23年12月1日～24年1月25日）に参加し、太平洋熱帯～亜熱帯海域において同様にクリーン観測と試料採取を実施した。

これらのフィールド調査と並行して、IUPAC International Congress on Analytical Sciences 2011（5月、京都）、GEOTRACES科学推進委員会（9月、厦門、中国）、SCOR/InterRidge第135作業部会（10月、杭州、中国）、PICES年次総会（10月、ハバロフスク、ロシア）等で、また国内では、日本地球化学会年会（9月、札幌）および日本海洋学会秋季大会（9月、福岡）で研究成果報告を行った。

24年3月8、9日に、東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会「白鳳丸クリーン観

測による微量元素・同位体研究の現状と展望 (GEOTRACES計画)」を主催し、インドのGEOTRACES研究者も交えて活発な議論を行い、本研究の学術的深化と研究協力体制の構築を進めた。

(2) 平成24年度

白鳳丸KH-12-3次航海(7月6日~8月14日)に参加し、北西太平洋におけるGEOTRACES観測、特に海水中の鉄(II)を重点的に分析した。次いで白鳳丸KH-12-4次GEOTRACES航海(図1参照。8月23日~10月2日)を主宰し、北緯47度線に沿って北太平洋亜寒帯域の東西横断観測を実施した。なお、東北地方太平洋沖地震(平成23年3月11日)の1年6ヶ月後の海洋モニタリングとして、本州東方海域においても試料を採取した。

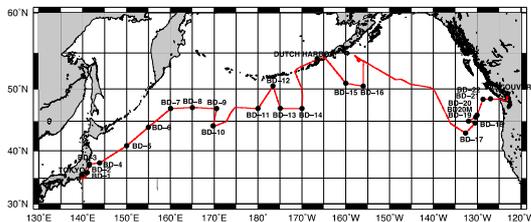


図1 白鳳丸KH-12-4次航海の航跡図

国際的成果発表と意見交換を引き続き活発に行い、国際連携体制の強化を図った。第1回日韓海洋地球科学シンポジウム(4月、ソウル、韓国)、PICES/CREAMS Advisory Panel会議(5月、ヨス、韓国)、Goldschmidt Conference(6月、モントリオール、カナダ)におけるGEOTRACESセッションなどである。

第22期日本学術会議地球惑星科学委員会SCOR分科会の下にGEOTRACES小委員会を再設置した(委員長:蒲生)。平成25年3月24日に第1回委員会を東京海洋大学において開催し、GEOTRACES計画に関する国内研究連絡体制を充実させた。

(3) 平成25年度

GEOTRACES計画に関わる下記の3航海に参加した。白鳳丸KH-13-4次航海レグ3, 4(7月21日~8月14日)においてインド洋アンダマン海を、KH-13-7次航海(26年1月1日~21日)において南太平洋をそれぞれ調査した。さらに、新学術研究船「新青丸」の習熟航海KS-13-T3航海(10月31日~11月5日)に参加し、同船のクリーン観測

システムの船上テストを行うと共に日本海溝および相模湾で試料採取を実施した。

AOGS年会(6月、プリズペン(豪))、Goldschmidt Conference(8月、フローレンス(伊))、GEOTRACES標準・相互検定委員会(5月、ストックホルム(スウェーデン))および9月、ブレイムファーベン(独))、SCOR執行理事会(11月、ウェリントン(ニュージーランド))およびOcean Sciences Meeting(26年2月、ホノルル(米))などで成果報告し、原著論文を執筆・公表した。

東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会「海洋の微量元素・同位体に関する観測研究の進捗と新たな展開」(26年3月13~14日、柏)を主催し、GEOTRACES計画関連の研究報告18件と、それらに関わる討論を実施した(その成果は、「号外海洋」(海洋出版)の特集号として出版した)。また3月14日に日本学術会議地球惑星科学委員会SCOR分科会GEOTRACES小委員会を開催し、国内のGEOTRACES研究実施状況の評価を受け、将来計画の構築を進めた。

(4) 平成26年度

学術研究船白鳳丸による2回の長期航海(KH-14-3次航海(6月23日~8月11日、北太平洋・北極海)およびKH-14-6次航海(26年12月2日~27年2月26日、南太平洋・南極海、図2参照)を成功裡に実施し、試料採取と化学分析を順調に進めた。

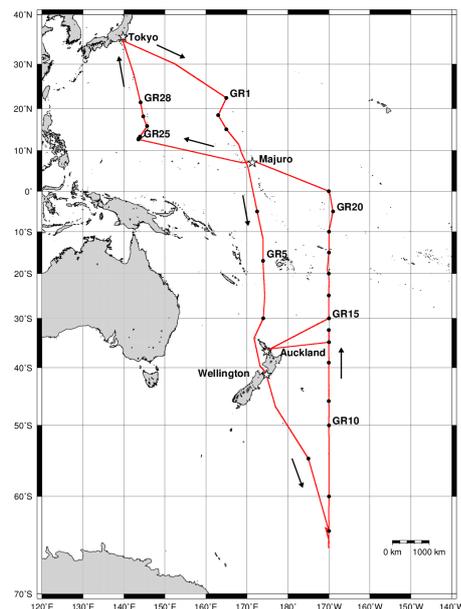


図2 白鳳丸 KH-14-6 次航海の航跡図

国際的な情報交換として、SCOR総会(9月、プレーメン(独))、GEOTRACESデータ管理委員会(10月、ケープタウン(南ア))、GEOTRACES研究推進委員会(10月、ケープタウン(南ア))に代表者を派遣し、我が国の研究進捗状況を紹介し意見交換を行った。また研究成果発表を、Goldschmidt Conference(6月、サクラメント(米))、AOGS年会(7月、札幌)、日本地球化学会年会(9月、富山)などの国内外の学会等で実施し、原著論文を執筆・公表した。

(5)平成27年度

西太平洋縁辺域のデータを補強するため、学術研究船新青丸KS-15-6次航海(6月25日～7月6日、東シナ海)および白鳳丸KH-15-3次航海(10月14日～11月4日、東シナ海)を実施した。

国際GEOTRACES計画データ管理委員会(7月、トゥールーズ(仏))および同計画科学推進委員会(7月、開催地同じ)に代表委員を派遣し、GEOTRACES計画との連携を深めた。またSCOR執行理事会(12月、ゴア(インド))においてGEOTRACES計画実施状況を報告するとともに、各国委員との意見交換を行った。

国内外での研究成果報告を活発に実施した。SCOR作業部会No.139ワークショップ(4月、クロアチア)で2件、分析化学討論会(5月、山梨大学)で1件(招待講演)、Goldschmidt Conference(8月、プラハ)で3件、日本地球化学会年会(9月、横浜国大)で2件、Ocean Sciences Meeting(28年2月、ニューオーリンズ(米))で3件、高知大学海洋コアセンター共同利用成果報告会(28年3月、高知)で1件、および日本海洋学会春季大会(3月、東京大学)で3件の研究発表を行った。平行して原著論文を執筆・公表した。

本基盤研究の最終成果取り纏めとして、東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会「GEOTRACES計画エンジン全開：太平洋・インド洋における微量元素・同位体の生物地球化学研究の進展」を28年3月28～29日に大気海洋研究所(柏)で実施した。成果発表23件とこれらに関する活発な議論が展開された。この研究集会の報告書を「号外海洋」(海洋出版)の特別号として出版予定である。なお、3月29日には23期

日本学術会議地球惑星科学委員会SCOR分科会GEOTRACES小委員会を同時開催し、GEOTRACES計画の現状評価と将来計画策定について意見交換を行った。

#### 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 21件)

Lee, J-M., Boyle, E. A., Gamo, T., Obata, H., Norisuye, K., and Echegoyen, Y. (2015): Impact of anthropogenic Pb and ocean circulation on the recent distribution of Pb isotopes in the Indian Ocean. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 170, 126-144. 査読有.

DOI:10.1016/j.gca.2015.08.013

Gamo, T., Okamura, K., Hatanaka, H., Hasumoto, H., Komatsu, D., Chinen, M., Mori, M., Tanaka, J., Hirota, A., Tsunogai, U., Tamaki, K. (2015): Hydrothermal plumes in the Gulf of Aden, as characterized by light transmission, Mn, Fe, CH<sub>4</sub> and δ<sup>13</sup>C-CH<sub>4</sub> anomalies. *Deep-Sea Research II.*, 121, 62-70. 査読有.

DOI: 10.1016/j.dsr2.2015.06.004

Kim, T-J., Obata, H., Kondo, Y., Ogawa, H., Gamo, T. (2015): Distribution and speciation of dissolved zinc in the western North Pacific and its adjacent seas. *Marine Chemistry*, 173, 330-341. 査読有.

DOI: 10.1016/j.marchem.2014.10.016

Suzuki, A., Obata, H., Okubo, A., Gamo, T. (2014): Precise determination of dissolved platinum in seawater of the Japan Sea, the Sea of Okhotsk, and the western North Pacific. *Marine Chemistry*, 166, 114-121. 査読有.

DOI: 10.1016/j.marchem.2014.10.003

Amakawa, H., Tazoe, H., Obata, H., Gamo, T., Sano, Y., and Shen, C-C. (2013): Neodymium isotopic composition and concentration in the Southwest Pacific Ocean. *Geochemical Journal*, 47, 409-422. 査読有.

<http://doi.org/10.2343/geochemj.2.0260>

[学会発表](計 67件)

Norisuye, K., Hori, E., Nakagawa, M., Obata, H., Kondo, Y., Gamo, T., Vertical distribution of lead and bismuth in the Japan Trench. Goldschmidt Conference, Aug. 16-21, 2015, Plague Congress Centre, プラハ (チェコ).

蒲生 俊敬、GEOTRACES計画による全海洋の微量元素分布の解明、分析化学討論会(招待講演)、2015.5.23~5.24、山梨大学(山梨県・甲府市)。

Kim, T., Kondo, Y., Obata, H., Gamo, T., Distribution and speciation of dissolved zinc in the northwestern Pacific and its adjacent seas. Ocean Sciences Meeting, Feb. 23-28, 2014, Hawaii Convention Center, ホノルル(アメリカ合衆国)

Obata, H., Takahashi, S., Gamo, T., Nishioka, J., Distribution of iron (II) in the Northwestern Pacific. Goldschmidt Conference, Aug. 25-30, 2013, Firenze Fiera congress centre, フローレンス(イタリア)

Gamo, T., Chemical Oceanography of the Japan Sea, a Unique Marginal Sea in the Northwestern Pacific, Asia Oceania Geosciences Society Conference 2013(招待講演), 2013年06月24日~2013年06月28日, Brisbane Convention & Exhibition Centre. プリスベーン(オーストラリア)

[図書](計 7件)

蒲生 俊敬(著) 講談社、日本海その深層で起こっていること、2016、204

蒲生 俊敬(共著) 玉川大学出版部、フィールド科学の入り口[海の底深くを探る] 2015、166-185

蒲生 俊敬(編著) 講談社、海洋地球化学、2014、262

蒲生 俊敬、中山 典子、天川 裕史(共著)、丸善出版、同位体環境分析、2013、169-194

蒲生 俊敬・海老原 充(共編)、朝倉書店、地球と宇宙の化学事典、2012、479

[その他]

ホームページ等

国際GEOTRACES計画:

<http://www.geotraces.org>

国内GEOTRACES計画:

<http://www.jodc.go.jp/geotraces/index.htm>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

蒲生 俊敬(GAMO, Toshitaka)  
東京大学・大気海洋研究所・教授  
研究者番号: 70143550

### (2) 研究分担者

小畑 元(OBATA, Hajime)  
東京大学・大気海洋研究所・准教授  
研究者番号: 90334309

天川 裕史(AMAKAWA, Hiroshi)(平25年度以降は研究協力者)  
東京大学・大気海洋研究所・特任研究員(平24年度まで)  
国立研究開発法人・海洋研究開発機構・研究員(平25年度以降)  
研究者番号: 60260519

### (3) 連携研究者

宗林 由樹(SOHRIN, Yoshiki)  
京都大学・化学研究所・教授  
研究者番号: 50197000

張 勁(ZHANG, Jing)  
富山大学・大学院理工学研究部・教授  
研究者番号: 20301822

村山 雅史(MURAYAMA, Masafumi)  
高知大学・海洋コア総合研究センター・教授  
研究者番号: 50261350

則末 和宏(NORISUYE, Kazuhiro)  
京都大学・化学研究所・助教  
新潟大学・理学部・准教授  
研究者番号: 50335220

### (4) 研究協力者

勢田 明大(SETA, Akihiro)