

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：11601

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2011～2013

課題番号：23221003

研究課題名(和文)比較可能性がとれた海水中栄養塩濃度の全球分布及び総量に関する研究

研究課題名(英文) A study on inventory and distribution of nutrient in seawater together with higher comparability

研究代表者

青山 道夫 (AOYAMA, Michio)

福島大学・環境放射能研究所・特任教授

研究者番号：80343896

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 59,600,000円、(間接経費) 11,910,000円

研究成果の概要(和文)：海洋での栄養塩の正確な空間分布を明らかにするための基礎となるデータセット作成を行った。栄養塩標準を用い分析の不確かさが0.2%より良い測点間の比較可能性が確保されている航海を6航海行うとともに複数のデータセットから栄養塩データが存在している航海を抽出した。これらのデータから、栄養塩標準を使用し比較可能性が明示的に確保されている航海を基準として、全球243点で交点での解析をおこない栄養塩濃度を補正した後、さらに当初の予定にはなかった溶存酸素量のデータについても栄養塩データを同様な処理を行い、深度面で整合性のある0.5度メッシュ、平均50m厚み136層の格子点データセットを作成した。

研究成果の概要(英文)：We create a dataset which is the basic dataset to draw more accurate spatial distribution of nutrients in global ocean. During the study period we conducted 6 cruises in which reference material of nutrients in seawater was used, precision of nutrients analyses is better than 0.2% and station-station comparability was ensured. We also collected all of the cruises in which nutrients data were available. We did crossover analyses at 243 crossovers where our cruises were reference to decide factors to adjust nutrients concentration obtained in other cruises. In addition we included dissolved oxygen as an additional parameter of the dataset. Finally, we got the dataset of 0.5 deg. by 0.5 deg. mesh, 136 layers up to 6500 meters depth for nitrate, phosphate, silicate and dissolved oxygen, respectively.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学、環境動態解析

キーワード：化学海洋 環境計測 地球温暖化

1. 研究開始当初の背景

(1) 海水中の栄養塩についてその測定結果のコンパリティ(比較可能性)を確保することは、海洋学や地球温暖化の研究にとって基礎的基盤的な事項である。それを担保するための栄養塩標準についての開発の必要性はすでに国際的な規模でたびたび指摘されてきた(IOC-IAEA-UNEP, 1995等)が実現できず、IPCC2007でも指摘されたように過去の栄養塩データのコンパリティ(比較可能性)を確保することは困難であった。最近の全海洋での120の地点での解析では1990年台から最近まで行われたWOCEおよびCLIVAR観測で得られた栄養塩についてさえもプラスマイナス10%以上に及ぶ系統的な差が見出されている。従って、過去の栄養塩データに基づく栄養塩の分布や窒素やリンの海水中総量の見積もりには大きな不確かさがあるといわざるを得ない。それは、現在の気候予測モデルの初期値として使用されている栄養塩濃度の分布についてのデータセットには過去の観測の比較可能性が低いことに起因する大きな不確かさを含んでいるということを示している。

2. 研究の目的

(1) 本研究では上記の問題を解決し、海洋環境における地球化学研究や地球温暖化研究の根幹をなす海水中の炭酸系物質濃度、栄養塩濃度、溶存酸素量の測定の国際的なコンパリティ(比較可能性)を確保し、コンパリティがとれた海水中栄養塩濃度の全球観測および国際栄養塩スケールの確立をおこなうことで、海洋内部での栄養塩総量とその分布の正確な見積もりを行うことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 海洋での栄養塩の正確な空間分布を明らかにするために、栄養塩標準を使用していない過去の30航海以上のデータを、栄養塩標準を使用したCLIVAR計画10航海および本課題により栄養塩標準を使用し行うCLIVAR計画6航海との交点から評価し補正することにより、全海洋で比較可能性が確保された栄養塩データセットを作成する。それをベースに緯度経度各0.5度、深度方向136層の格子点データセットを作成し、3%程度の不確かさを持つ空間分布の作成をめざす。さらに、過去には深度面でのデータセットしか作成されていなかったが、本課題では深度面と整合性のある密度面でのデータセット作成も行う。上記で作成された栄養塩データセットから海洋での窒素、リン、けい素の不確かさを持つ総量の正確な推定と窒素リン比の正確な空間分布の作成を行う。

4. 研究成果

(1) 研究目的の一番目である「海洋での栄養塩の正確な空間分布を明らかにする。」た

めの基礎となるデータセット作成した。またデータ処理のためのツールの開発と陸上での国際共同実験を行い、栄養塩データの比較可能性の程度を検討した。データセット作成のために、栄養塩標準を用い一部の航海を除き分析の不確かさが0.2%より小さく、測点間の比較可能性が確保されている航海を6航海(北極海1航海、北大西洋2航海、北太平洋2航海、南大洋1航海)を本研究課題として行った。それらを図1中に赤で示す。

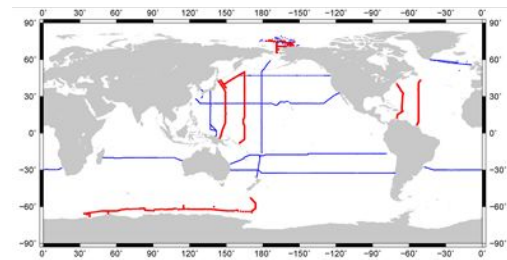


図1 赤：本研究での航海 青：過去数年間で栄養塩標準を用いた航海

また、栄養塩標準が使用可能となった2003年以降に行われてきた、本研究課題開始以前に課題代表者および国際的な研究協力網による栄養塩標準を用いた比較可能性が確保されていた11航海を図1に青で示す。これらの計17航海が今回の研究の基礎となったデータである。

さらに、複数のデータベース(CCHDO, WGHC, CARINA, PACIFICA, 気象庁)から栄養塩データが存在している航海を抽出し、本科研費で作成したデータベースに組み込んだ。これらは予測された比較可能性の程度に応じて6つのカテゴリに分類し扱っている。例として硝酸塩について扱ったデータ数を下記に示す。また、図2にその地理的分布を示す。

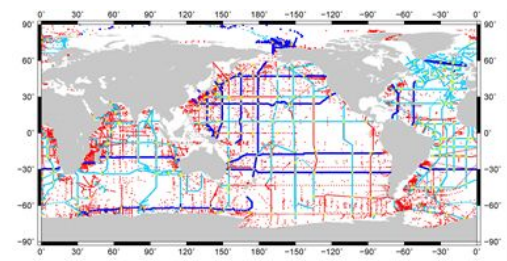
カテゴリ	航海数	鉛直分布の数	図2中の色
1*	30	2392	青
2**	104	8857	水色
3+	1394	18845	赤

*: 2003-2013 出典 本研究、CCHDO

** : 1981-2008 出典 CCHDO, CARINA

+ : 1925-2008 出典 CCHDO, WGHC

PACIFICA, 気象庁



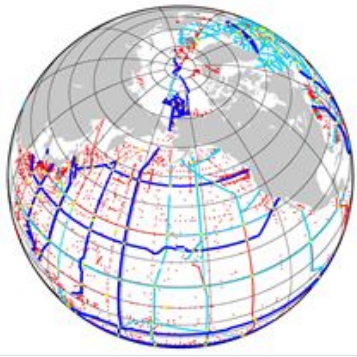


図 2 作成したデータセットの空間分布 右の図は北極海での分布をしめすための図である。

青：カテゴリ 1 水色：カテゴリ 2 赤：カテゴリ 3 以上

これらのデータをカテゴリ 1 の栄養塩標準を使用し比較可能性が明示的に確保されている航海を基準として、全球 243 点で交点（図 2 中黄色でマーク）での解析をおこない、各パラメーター毎に得られている栄養塩濃度を補正し、カテゴリ 1 の航海で得られている栄養塩濃度と比較可能性を明示的に確保された値とするためのファクターを計算した。

得られたファクターはほぼ 1.00 ± 0.12 (硝酸塩の場合) となり、陸上での国際共同実験で評価された比較可能性の程度と一致した。この得られたファクターを使用し、データベース上で栄養塩濃度を補正した後に、深度面および密度面での整合性のある 0.5 度メッシュ、平均 50m 厚み 136 層の格子点データセット (Global Nutrient Dataset 2010, GND10 と称することとした) を作成した。このために、ETOPO2 (2 分メッシュ水深データセット) を用いて、0.5 度毎の面積と 136 層について層毎に体積のデータセットを作成した。得られた格子点データセットの濃度に対応する体積を乗じて各グリッド毎の硝酸塩等のモル数をもとめ、それらを海域毎に積算し、海洋での窒素、りん、けい素の総量の珪酸および窒素とりん酸の比について空間分布を作成した。また、全海洋を積算した結果を表 1 に示す。

表 1 Total amount in global ocean:Unit Pg

	WOA09 Pg	WGHC Pg	GND10 Pg
Nitrate	570	590	573+-x
Phosphate	88.3	90.5	89.0+-x
Silicate	3330	3380	3300
D0	7250	7240	7180+-x

Nitrate in literatures

Sarmiento and Gruber (2009) 541PgN

Wada and Hattori (1991) 570PgN

この表から明らかなように、過去に公表された現在の海洋大循環モデルによるさまざまな

研究の初期値となっている WOA05, WGHC 等の総量に近い値ではあるが差異も見られる。特徴的なことは硝酸塩が小さく見積もられ、リン酸塩が大きく見積もられている。また、硝酸塩の量について過去の文献値である 541PgN (Sarmiento and Gruber, 2009) や 570 PgN (Wada and Hattori, 1991) と比べると大きな値となっている。また 2000m 以深での N/P 比 (モル比) の分布は、WOA05 が 14.6 に中央値を示していたのに対し、GND10 では 14.3 に中央値を示すとともに尖度が大きくなっている。このことは過去の格子点データセットが比較可能性が低いデータセットから生成されたのに対し、GND10 は比較可能性が確保されたデータセットから生成され、より現実に近い格子点データセットとなったことを示唆している。

得られたファクターについても、過去に行われた GLODAP, CARINA, PACIFICA 等の炭酸系データのシンセシス作業のときに得られた栄養塩データの補正ファクターと、今回得られたファクターを比較検討した。

研究目標の 3 番目の課題である海洋内部での人為起源の CO₂ 蓄積量を正確に見積もるための準備を行った。すでに炭酸系物質の測定では事実上の世界標準があり、全炭酸とアルカリ度についてはすでに国際的なコンパラビリティ (比較可能性) がとれたデータが存在しているため、今回得られようとしている比較可能性が確保された補正された栄養塩濃度のデータセットに対して、全炭酸とアルカリ度を統合し、解析のための予備的データセットの作成を完了した。

当初の予定にはなかったが溶存酸素量のデータについても栄養塩データ同様な処理を行い、データベースに組み込んでいる。これにより、海洋での炭素：窒素：りん：酸素 (C:N:P:O) 比の挙動の検討も可能となった。

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 2 件)

Aoyama, M., H. Ota, M. Kimura, T. Kitao, H. Mitsuda, A. Murata and K. Sato, Current Status of Homogeneity and Stability of the Reference Materials for Nutrients in Seawater, Analytical Science, 査読有、28 巻、2012、911-916
https://www.jstage.jst.go.jp/article/analsci/28/9/28_911/_pdf

Hydes D., Aoyama M., Aminot Alain, Bakker K, Becker S, Coverly S, Daniel Anne, Dickson A., Grosso O, Kerouel Roger, Van Ooijen J, Sato K, Tanhua T, Woodward M, Zhang J 2012. Determination of dissolved

nutrients (N, P, Si) in seawater with high precision and inter-comparability using gas-segmented continuous flow analysers. In: The GO-SHIP Repeat Hydrography Manual: A Collection of Expert Reports and guidelines. IOCCP Report No 14, ICPO Publication Series No. 134, version 1, 2010 (UNESCO/IOC). ISBN978-4-903944-07-4
http://www.go-ship.org/Manual/Hydes_et_al_Nutrients.pdf

[学会発表](計 22 件)

青山道夫、栄養塩標準を使った航海を基準とした全球栄養塩データ同化の結果：栄養塩総量と分布について（最終報告）日本海洋学会、2014年3月30日、東京
光田均、木村宗人、北尾隆、太田秀和、内田裕、村田昌彦、青山道夫、海水標準物質の開発と今後の取組み、日本海洋学会、2014年3月30日、東京
佐藤憲一郎、鎌田稔、有井康博、榎正憲、林えれな、浜中純子、村田昌彦、青山道夫、「みらい」CLIVAR航海における栄養塩標準の利用と比較可能性の確保、日本海洋学会、2014年3月30日、東京
Becker, S.M., Schuller, D., Miller, M., M. Aoyama, Sato, K., COMPARABILITY OF NUTRIENTS FROM US CLIVAR EXPEDITION AND USE OF REFERENCE MATERIALS FOR NUTRIENTS IN SEAWATER, 2014 OCEAN SCIENCES MEETING, 2014年2月26日、ハワイ
Aoyama, M., GLOBAL NUTRIENTS DATASET 2013, 2014 OCEAN SCIENCES MEETING, 2014年2月26日、ハワイ
西野茂人、菊地隆、平譚享、川合美千代、青山道夫 (2013), 「チャクチ海の生物学的ホットスポットにおける物理・化学環境」, 2013年度日本海洋学会春季大会, 東京, 日本
Aoyama, M. (2012), Activity summary of SGONS, 2012 RMNS I/C study and future, INSS Workshop 12-15 Nov 2012, held at NIOZ, the Netherlands in Collaboration with PML. 11月12日, テクセル, オランダ
村田昌彦 (2012), 海洋環境変動研究における栄養塩高精度測定の必要性, オートアナライザーシンポジウム, 6月29日, 東京, 日本
小椋恒夫, 青山道夫 (2012), 酸素量および栄養塩のシンセシス結果, 2012年度日本海洋学会春季大会, 3月30日, つくば市, 日本
中野俊也, 永井直樹, 中村哲也, 延与和敬, 北川隆洋, 高谷祐介, 梅田

振一郎, 北村知之, 小嶋 惇, 石井雅男, 青山道夫, 笹野大輔, 小杉如央 (2012), 気象庁 WHP-P9・P13 revisit航海における観測結果, 2012年度日本海洋学会春季大会, 3月30日, つくば市, 日本
青山道夫 (2012), 「栄養塩国際スケールシステム」パネルの設立申請およびA20/22航海での栄養塩標準の使用について, 2012年度日本海洋学会春季大会, 3月30日, つくば市, 日本
佐藤憲一郎, 鎌田稔, 榎正憲, 有井康博, 村田昌彦, 青山道夫, 「みらい」MR11-08航海栄養塩測定速報RMNSを用いた2005年P10ラインとの比較, 2012年度日本海洋学会春季大会, 3月30日, つくば市, 日本
北川隆洋, 藤原弘行, 岩野園城, 永井直樹, 中野俊也, 青山道夫 (2012), 気象庁WHP-P13再観測-栄養塩分析の不確かさ-, 2012年度日本海洋学会春季大会, 3月27日, つくば市, 日本
梅田振一郎, 高谷祐介, 永井直樹, 榎原良介, 日比野祥, 小河原秀水, 中野俊也, 青山道夫 (2012), 気象庁WHP-P13再観測-溶存酸素量測定について-, 2012年度日本海洋学会春季大会, 3月27日, つくば市, 日本
芳村毅, Sharp JH, 青山道夫, 太田秀和, 光田均 (2011), 溶存有機リン・窒素・炭素の分析のための標準物質の開発, 2011年度日本海洋学会秋季大会, 9月28日, 春日市, 日本
Aoyama, M. (2011), Results of global stability tests, Joint IOC-ICES Study Group on Nutrient Standards (SGONS), Second Meeting, 2月27日, ラホヤ, アメリカ
Aoyama, M. (2011), Towards developing an International Nutrients Scale System (INSS) using RMNS solutions, Joint IOC-ICES Study Group on Nutrient Standards (SGONS), Second Meeting, 2月27日, ラホヤ, アメリカ
Yoshimura, T., J. H. Sharp, M. Aoyama and H. Ota (2011), Developing Reference Materials for Dissolved Organic Matter Analysis, ICAS2011 (IUPAC International Congress on Analytical Sciences), 5月26日, 京都, 日本
Murata, A., H. Mitsuda, H. Ota and M. Aoyama (2011), Development of Non-toxic Reference Material for Oceanic Inorganic Carbonate System Parameters, ICAS2011 (IUPAC International Congress on Analytical Sciences), 5月26日, 京都, 日本
Aoyama, M., H. Ota, M. Kimura, T.

Kitao, H. Mitsuda, A. Murata and K. Sato (2011), Present Homogeneity and Stability of Reference Materials for Nutrients in Seawater, ICAS2011 (IUPAC International Congress on Analytical Sciences), 5月26日, 京都, 日本

⑳ Mitsuda, H., M. Kimura, T. Kitao, H. Ota, R. Ishii, Y. Takeda, A. Torao, H. Uchida, A. Murata and M. Aoyama (2011), Production of a Reference Material for Nutrients in Seawater and Current, ICAS2011 (IUPAC International Congress on Analytical Sciences), 5月26日, 京都, 日本

㉑ Aoyama, M. and D. Hydes (2011), INSS endorsement by IAPSO & IOC, Joint IOC-ICES Study Group on Nutrient Standards (SGONS), Second Meeting, 2月28日, ラホヤ, アメリカ

〔図書〕(計 1 件)

浅島誠、林正彦編集、青山道夫他、丸善出版、平成 25・26 年 環境年表、2013、454

〔産業財産権〕

出願状況(計 なし 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 なし 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

http://www.mri-jma.go.jp/Dep/ge/kake_nhi_nut-sjis.html
http://www.mri-jma.go.jp/Dep/ge/ge_report/INSS_sjis.html
http://www.mri-jma.go.jp/Dep/ge/ge_report/2010SGONSmeeting/index.html
http://www.mri-jma.go.jp/Dep/ge/kake_nhi_nut-sjis.html

http://www.mri-jma.go.jp/Dep/ge/ge_report/INSS_sjis.html

http://www.mri-jma.go.jp/Dep/ge/ge_report/2010SGONSmeeting/index.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

青山 道夫 (AOYAMA, Michio)
福島大学・環境放射能研究所・特任教授
研究者番号：80343896

(2) 研究分担者

村田 昌彦 (MURATA, Akihiko)
独立行政法人海洋研究開発機構・チームリーダー
研究者番号：60359156

(3) 連携研究者

芳村 毅 (YOSHIMURA, Takeshi)
財団法人電力中央研究所・環境科学研究所・主任研究員
研究者番号：20371536

日置 昭治 (HIOKI, Akiharu)
独立行政法人産業技術総合研究所・計測標準研究部門 無機分析科 無機標準研究室・無機標準研究室室長
研究者番号：20357833

内田 裕 (CHIDA, Hiroshi)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・技術研究主任
研究者番号：00359150

ハイド デイビット (Hydes David)
気象庁気象研究所・地球化学研究部・客員研究員
研究者番号：60537083

ディクソン アンドリュー (Dickson Andrew)
気象庁気象研究所・地球化学研究部・客員研究員
研究者番号：70537084

小杉 如央 (KOSUGI, Naohiro)
気象庁気象研究所・地球化学研究部・研究官
研究者番号：20553168