

令和4年度伊藤光昌氏記念学術助成金(研究助成)成果報告書

研究課題番号	R4-R2
研究課題名	海洋における溶存態および粒子態微量金属元素の分布および粒子除去プロセスの解明
研究代表者	小畑 元
所属・職 (または学年)	東京大学大気海洋研究所・教授
研究分担者氏名	乙坂 重嘉
所属・職	東京大学大気海洋研究所・准教授

研究目的

海洋生態系を維持するための重要なメカニズムの一つとして、植物プランクトンにとっての必須栄養塩である海水中の微量金属元素の生物地球化学的循環過程を解明する。まず太平洋・インド洋において海水中の溶存態微量金属元素、特に鉄・銅・亜鉛・マンガンについて、鉛直断面分布を明らかにする。さらに西部北太平洋においては、溶存態・全可溶態の分布を調べ、反応性粒子態の微量金属元素分布を明らかにする。一方、微量金属元素の除去過程の定量的な評価を行うため、天然放射性核種であるラジウム-228とトリウム-228間の非平衡を利用し、粒子除去フラックスを空間的に明らかにしていく。海洋内部での循環に重要な役割を果たす粒子除去プロセスに着目し、微量金属元素の分布を支配する要因を解明していく。

方法

試料：北太平洋における海水中の微量金属元素分布を明らかにするため、白鳳丸 KH-22-7 次研究航海を実施した(図1, 赤印が今年度の観測点)。赤道域から北緯44度の亜寒帯域までの鉛直採水を実施した。繊維索ケーブルにCTD多重採水システムを接続し、クリーン洗浄したニススキナーX採水器を24本搭載した。採取した溶存態用試料はクリーンエリアで加圧濾過(孔径0.2 μ mフィルター)し、酸添加して保存した。一方、全可溶態用試料は未濾過のまま酸添加した。試料はいずれも東京大学大気海洋研究所で保管し、分析の準備中である。

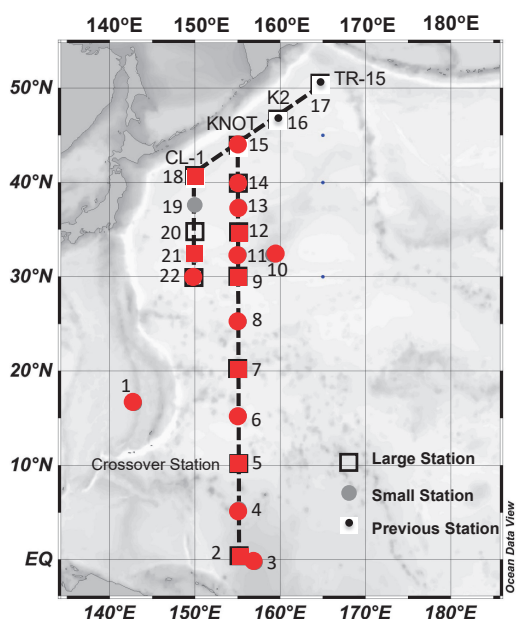


図1

備中である。一方、溶存態のラジウム-228とトリウム-228測定用の試料は大量採水器を用いて採取した。船上で濾過した後、マンガン酸化物被覆ファイバーで核種を濃集した。ファイバーは大気海洋研究所に持ち帰り、遅延同時係数式ラドンカウンターおよびガンマ線検出器により計測中である。

分析法：インド洋の溶存態微量金属元素分布を明らかにするため、白鳳丸 KH-18-6 次インド洋航海(図2)においてすでに採取済みの海水試料を分析した。大気海洋研究所内のクリーンルームにおいてキレート樹脂カラムで微量金属元素を濃縮・分離し、高分解能誘導結合プラズマ質量分析

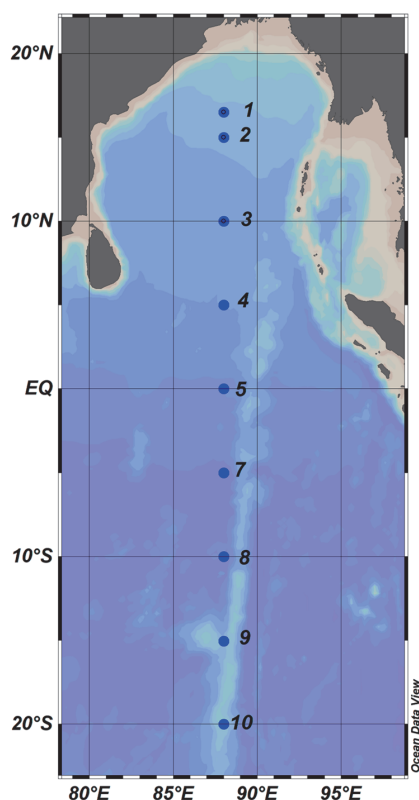


図 2

表 1. キレート樹脂濃縮および高分解能 ICP 質量分析法による操作ブランク値と検出限界

測定元素	n	操作ブランク値 (nmol/kg) average ± SD	検出限界 (nmol/kg)
Fe	8	0.05 ± 0.003	0.009
Mn	8	0.003 ± 0.001	0.003
Pb	8	0.00024 ± 0.00008	0.0002
Cd	8	0.0018 ± 0.0007	0.002
Cu	8	0.04 ± 0.02	0.06
Zn	8	0.02 ± 0.01	0.03

操作ブランク値はキレート樹脂を通過させ、紫外線照射した海水に対して求めた。検出限界は操作ブランク値の標準偏差の 3 倍とした。

計 (HR-ICP-MS) により測定を行った (Kondo et al., 2016)。操作ブランク値と検出限界は表 1 の通りであった。

結果

本年度実施した白鳳丸 KH-22-7 次研究航海で得られた試料については現在、分析準備中である。ここでは東部インド洋で得られた結果 (図 3) を示す。溶存態のカドミウム、銅、亜鉛はいずれも表層で濃度が低く、深層に向けて濃度が増加する

栄養塩型の鉛直分布を示した。カドミウムはリン酸塩と、銅、亜鉛はケイ酸と似た特徴を示した。

一方、マンガン、鉛は除去型の鉛直分布を示した。マンガンについては、ベンガル湾北部の中層と底層で濃度が急速に増加するのが特徴的であった。一方、鉛については、北半球の表層で濃度が高く、大気を通じた人為起源エアロゾルの供給を反映していると考えられた。また、南極底層水 (AABW) の影響が強い深層では、非常に低濃度になっている点が特徴的であった。

溶存態の鉄は基本的に栄養塩型鉛直分布を示すが、ベンガル湾北部ではマンガンに似た特徴も示した。溶存態鉄の挙動を解析する時、栄養塩のように水中で再生する画分と外部供給される画分 (Fe^*) を区別することがある (例えば Nishioka et al. (2011))。

ここで、

$$Fe^* = [dFe]_{\text{observed}} - [PO_4^{3-}]_{\text{observed}} \times R_{FeP}$$

と定義する。

$[dFe]_{\text{observed}}$, $[PO_4^{3-}]_{\text{observed}}$ は本研究で測定された海水中的鉄、リン酸塩の濃度を示す。 R_{FeP} は生物起源粒子から再生される鉄とリン酸塩の濃度比を示す。ここではリン酸塩と鉄濃度が良い相関関係を示した Station 9 (15°S) の 100-1000 m 深度の値 R_{FeP} (0.17 nM/ μ M) を用いた。その結果を図 4 に示した。ベンガル湾北部の中層と底層から水平輸送された鉄の特徴が明確に示されている。一方、北緯 5 度の深層 2500 m 付近にも Fe^* の極大が見られるが、その供給源についてはまだ特定できていない段階である。今後、さらに研究を進めていく必要がある。本結果は Marine Chemistry 誌に原著論文として掲載されている (Ikhsani et al., 2023)。

本年、北太平洋西部で得られた海水試料についても分析を進めている。溶存態・全可溶態微量金属元素の分析を進めるとともに、天然放射性核種の結果が得られつつある。これらの結果を取りまとめ、粒子除去フラックスを空間的に明らかにしていく。

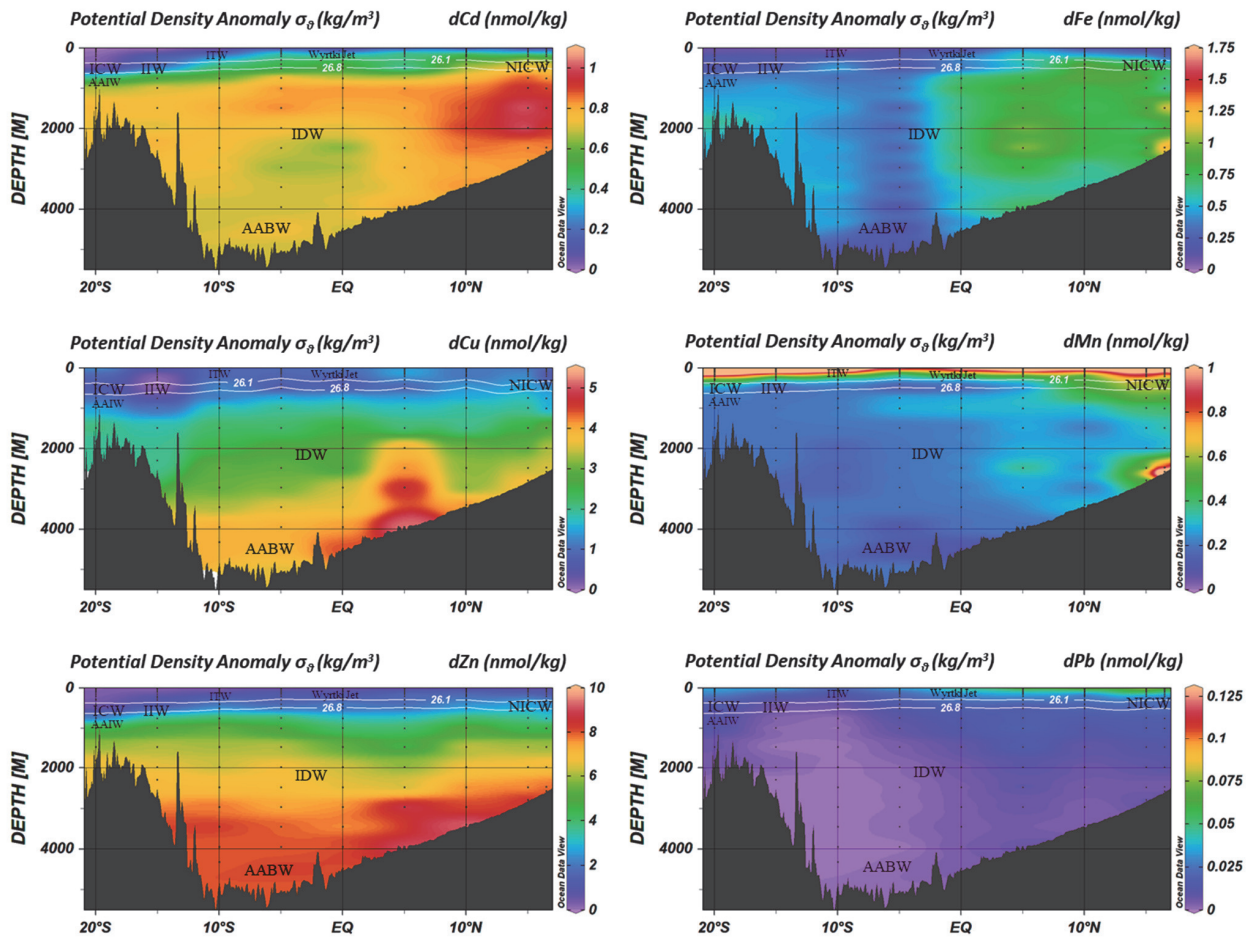


图 3

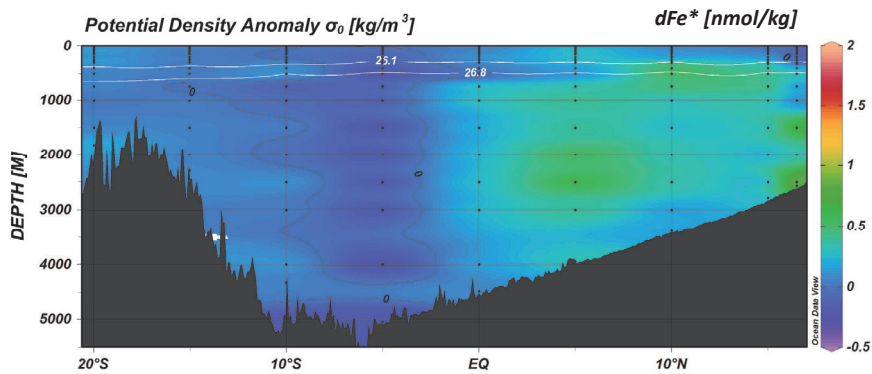


图 4

引用文献

Ikhsani, I. Y., K. H. Wong, H. Ogawa and H. Obata, 2023. Dissolved trace metals (Fe, Mn, Pb, Cd, Cu, and Zn) in the eastern Indian Ocean. *Marine Chemistry*, 248, 104208.

Kondo, Y., H. Obata, N. Hioki, A. Ooki, S. Nishino, T. Kikuchi, K. Kuma, 2016. Transport of trace metals (Mn, Fe, Ni, Zn and Cd) in the western Arctic Ocean (Chukchi Sea and

Canada Basin) in late summer 2012. *Deep-Sea Research-I*, 116, 236–252.

Nishioka, J., T. Ono, H. Saito, K. Sakaoka, and T. Yoshimura, 2011. Oceanic iron supply mechanisms which support the spring diatom bloom in the Oyashio region, western subarctic Pacific. *Journal of Geophysical Research* 116 (C2): C02021.