

令和7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	R7-R4
研究課題名	北太平洋亜寒帯およびベーリング海における微量金属元素の分布および輸送プロセスの解明
研究代表者氏名	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〉

海洋一次生産を担う植物プランクトンの生育にとって必須の栄養元素の供給及び循環プロセスを把握することは重要である。例えば北太平洋亜寒帯およびベーリング海海盆域は表層で硝酸塩・リン酸塩が消費しつくされていない高栄養塩・低クロロフィル (HNLC) 海域であり、微量必須栄養元素である鉄が一次生産の制限因子になっている (Tsuda et al., 2003; Aguilar-Islas et al., 2007)。一方、珪藻の鉄取り込みに関わる銅、炭酸脱水酵素に含まれる亜鉛、光合成に関わるマンガンも一次生産に影響を与える (Morel et al. 2020)。これらの海洋一次生産に重要な微量必須栄養元素の生物地球化学的循環プロセスを解明することを目標の一つとして国際 GEOTRACES 計画が推進され、様々な成果が挙げられている (Anderson, 2020)。しかし、ベーリング海および北太平洋亜寒帯においては、GEOTRACES 航海はまだ十分に行われていない。

また、海水中の微量元素の循環プロセスにはまだ不明な点が多く残されている。例えば、微量金属元素の沿岸堆積物からの輸送プロセスの定量的な評価は十分に行われていない。この輸送プロセスの研究に対しては、ラジウム-228 (半減期 5.75 年) の分布と微量金属元素の分布を比較し、水平方向や鉛直方向への輸送フラックスを求める方法が開発されている (例えば Amakawa et al., 2000; Ikhsani et al., 2023)。

本研究では、ベーリング海および北太平洋亜寒

帯の海水中の溶存態および全可溶態微量金属元素の濃度分布を明らかにする。一方、海水中に存在する天然放射性核種である Ra-228 を分析し、その分布を空間的に明らかにしていく。これらの分布を比較することにより、表層における水平輸送プロセスや水深 1000 m から表層混合層までの鉛直輸送プロセスを定量化する。

〈方法〉

試料

ベーリング海および北太平洋亜寒帯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-25-3 次研究航海を実施した (図 1)。繊維索ケーブルに CTD 多筒採水システムを接続し、クリーン洗浄したニスキン-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 μm 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。一方、溶存態のラジウム-228 測定用の試料は現場濾過器に取り付けた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、ガンマ線検出器により計測する。

分析法

大気海洋研究所内のクリーンスペース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計 (HR-

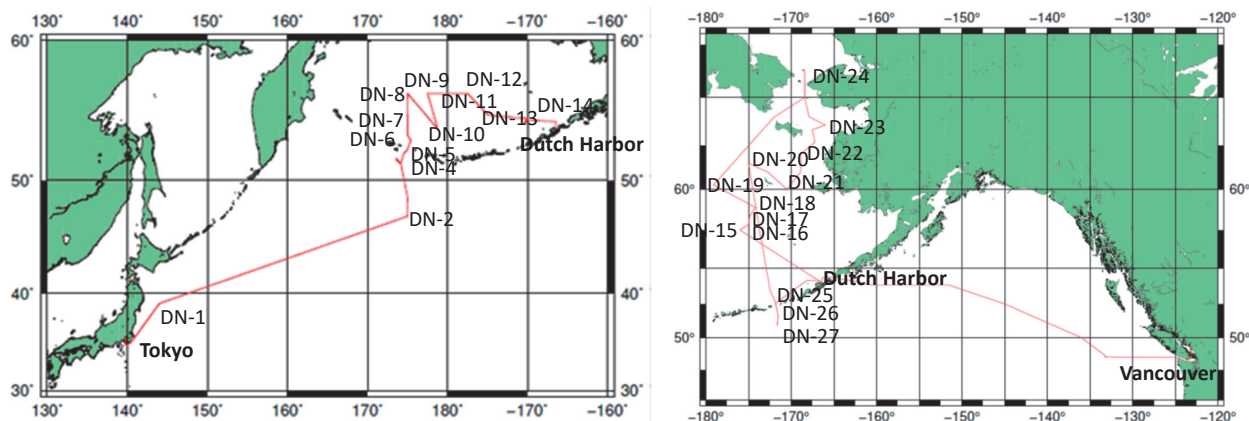


図1 白鳳丸 KH-25-3 次研究航海の航跡図

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)	検出限界 (nmol/kg)
		average ± SD	
Fe	10	0.045 ± 0.011	0.033
Mn	8	0.006 ± 0.002	0.006
Pb	8	0.0008 ± 0.0002	0.0006
Co	8	0.0013 ± 0.0003	0.0009
Cu	8	0.041 ± 0.003	0.009
Zn	8	0.049 ± 0.008	0.02

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。

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

〈結果〉

ここではアリューシャン海溝 (DN-4) で得られた結果 (図2) を示す。溶存態の鉄、銅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。

一方、マンガン、コバルトは除去型の鉛直分布を示した。マンガンについては、表層から濃度が減少するが、水深 3000 m, 5000 m 付近で濃度極大を示すとともに、底層に向けて濃度が増加する傾向が見られた。一方、コバルトについては、表層で濃度が高く、水深 5000 m 付近でマンガンと同様に極大を示した。底層での濃度増加は観測されなかった。

溶存態の鉄は基本的に栄養塩型鉛直分布を示すが、アリューシャン海溝ではマンガンにも似た特

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、

$$Fe^* = [dFe]_{\text{observed}} - AOU \times R_{Fe:AOU}$$

と定義する。

$[dFe]_{\text{observed}}$ は本研究で測定された海水中の溶存態鉄の濃度を示す。Apparent Oxygen Utilization (AOU) は見かけの酸素消費量であり、海水中の溶存酸素濃度から計算した。 $R_{Fe:AOU}$ は生物起源粒子から再生される鉄と AOU の濃度比を示す。その結果を図3に示した。水深 200 m 以深では溶存態 Fe と Fe* はほぼ並行な鉛直分布を示した。中層水など水平方向に輸送される鉄の影響を強く受けていることが明らかになった。海溝内部では全体的に鉄濃度は減少しているが、底層に向けてやや増加する傾向が観測された。これら

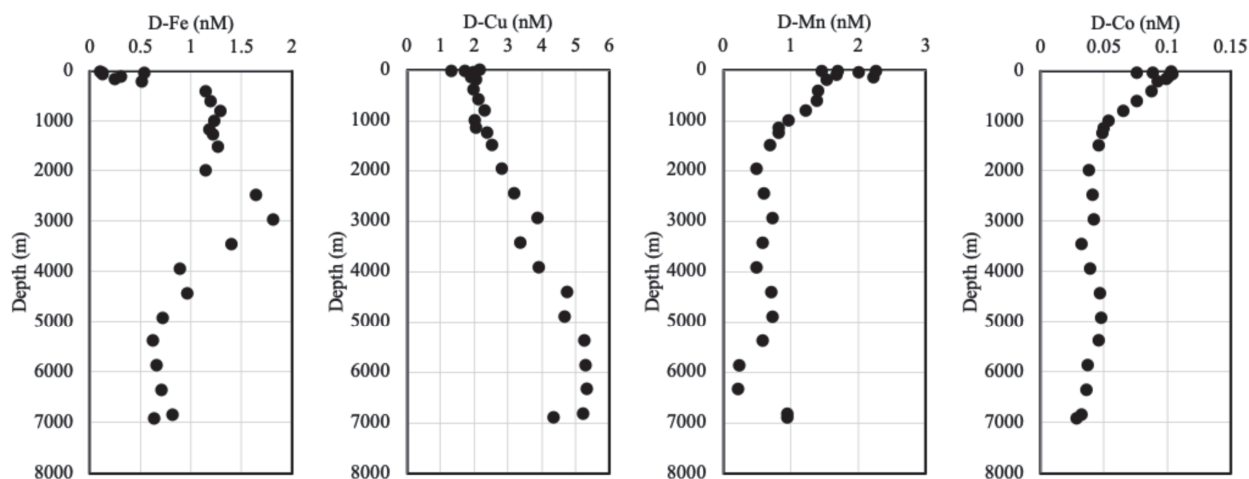


図2 アリューシャン海溝 (DN-4) における溶存態鉄, 銅, マンガン, コバルトの鉛直分布

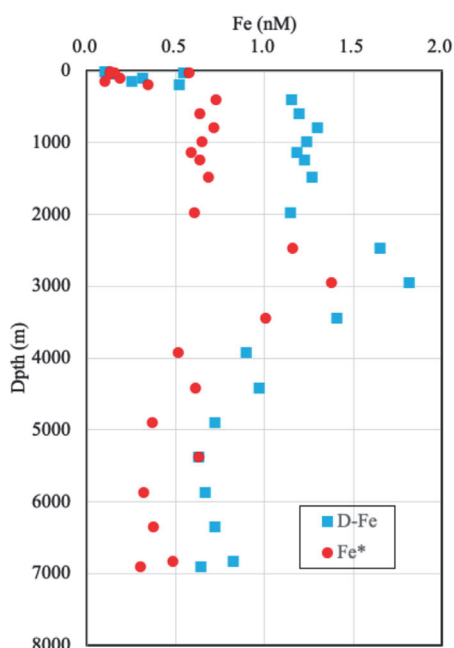


図3 アリューシャン海溝 (DN-4) における D-Fe と Fe* の鉛直分布

の分布は海溝域斜面の堆積物と海水の相互作用から強い影響を受けていると考えられる。今後、他の元素との比較によりさらに研究を進めていく。

現在、ベーリング海内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。微量金属元素の分布を明らかにし、天然放射性核種の挙動と併せて解析することにより、その生物地球化学的プロセスを解明していく。

〈引用文献〉

- Aguilar-Islas, A. M., M. P. Hurst, K. N. Buck, B. Sohst, G. J. Smith, M. C. Lohan, and K. W. Bruland, 2007. Micro- and macronutrients in the southeastern Bering Sea: Insight into iron-replete and iron-depleted regimes. *Progress in Oceanography* 73, 99–126.
- Amakawa, H., D. S. Alibo, and Y. Nozaki, 2000. Nd isotopic composition and REE pattern in the surface waters of the eastern Indian Ocean and its adjacent seas. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64, 1715–1727.
- Anderson, R. F., 2020. GEOTRACES: Accelerating research on the marine biogeochemical cycles of trace elements and their isotopes. *Annual Review of Marine Science* 12, 49–85.
- 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.
- Morel, F. M. M., P. J. Lam, and M. A. Saito, 2020. Trace metal substitution in marine phytoplankton. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 48, 491–517.
- 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.

Tsuda, A., S. Takeda, H. Saito, J. Nishioka, Y. Nojiri, I. Kudo, H. Kiyosawa, A. Shiimoto, K. Imai, T. Ono, A. Shimamoto, D. Tsumune, T.

Yoshimura, T. Aono, A. Hinuma, M. Kinugasa, K. Suzuki, Y. Sohrin, Y. Noiri, H. Tani, Y. Deguchi, N. Tsurushima, H. Ogawa, K. Fukami, K. Kuma, and T. Saino, 2003. A mesoscale iron enrichment in the western subarctic Pacific induces large centric diatom bloom. *Science* 300, 958–961.