

海水のネオジウム同位体を用いた東南極沿岸の水塊の特性評価

Characterizing Water Masses off the East Antarctic Coast Using Neodymium Isotopes

所属機関：高知大学 代表研究者氏名：小坂 由紀子
研究期間：2022年10月1日～2023年3月31日
滞在研究機関：Department of Earth Sciences, University of Delaware,
Newark, DE 19716, United States
共同研究者等：Asst. Prof. Chandranath Basak

In the global ocean circulation, the Antarctic Ocean (the Southern Ocean) is one of the major deep-water forming regions along with the North Atlantic Ocean. Oceanographic observations and chemical analysis of seawater there are important for understanding heat and mass transport, however, the Southern Ocean is a difficult area to observe due to rough weather and sea ice. Data for the Antarctic coastal region are particularly scarce. We determined neodymium (Nd) isotopic composition profile of the 12 stations in the Indian sector of the Southern Ocean including off Cape Darnley. The Nd isotopic composition of the Cape Darnley bottom water was $\epsilon_{Nd} = \sim -11$, confirming a distribution of advection from offshore Cape Darnley to the west. We plan to determine representative values of Nd isotopic compositions and their concentrations for each water mass and analyze whether the obtained Nd isotopic ratio data can be explained by the mixing of each water mass.

研究目的

全球規模の海洋循環において、南極海は北大西洋と並ぶ主要な深層水形成域のひとつである。そこでの海洋観測と海水の化学分析は熱や物質の移動を把握する上で重要であるが、南極海は荒天や海氷のため観測が困難な海域であり、特に南極沿岸域はデータの空白域が多い。そこで本研究では、東南極沿岸を対象に海水のネオジウム (Nd) 同位体分析を行い、その空間分布から水塊ごとの特性を評価することを目的とした。

Nd 同位体比は、現代だけでなく過去の海洋環境を知ることができるトレーサーである。溶存態の Nd は海水中で半保存的に挙動するため、その空間分布は水塊の移動と混合を把握するために用いられている。海水の Nd 同位体比は、堆積物中の魚歯/骨片化石や鉄-マンガン酸化物、深海サンゴなどに記録されており、堆積/形成年代を測定したうえで分析することで、過去の底層海水の Nd 同位体比の変遷を復元することができる。その解析には、現代の海水の Nd 同位体比の空間分布の把握が不可欠である。

研究経過

海水試料は学術研究船白鳳丸による KH-20-1 次航海で 12 地点から採取した 115 試料を対象とした (Fig. 1)。採取地点は、南極周辺の主要な深層水形成域として 2013 年に報告されたケープダンレー沖の東西をカバーしている (Ohshima, 2020; Ohshima et al., 2013)。Nd 同位体分析の他に、その解析のために海水中の希土類元素の定量分析に取り組んだ。

海水試料は採取水深ごとに 5~10 L 採取し、船上で孔径 0.2 μm のフィルターでろ過した後、 $\text{pH}=2$ になるように高純度塩酸を添加した。最初に希土類元素分析用に少量分取し、残りを Nd 同位体比分析用とした。Nd 同位体比分析用の試料に対しては、Sep-Pak C18 カートリッジを用いて希土類元素を濃縮・抽出した。蒸発乾固したのち、溶離液で溶解し、Eichrom 製 TRU Resin および Ln Resin を充填したカラムを用いて、試料から Nd を単離した。単離した Nd は ICP-MS (誘導結合プラズマ型質量分析計) で濃度を定量したのちに、Pennsylvania State University

と、Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University のマルチコレクター ICP-MS で同位体分析を行った。希土類元素分析用の試料は、更に少量を分取してスパイク溶液を添加し、カラム分離をしてから ICP-MS で定量分析を行う。

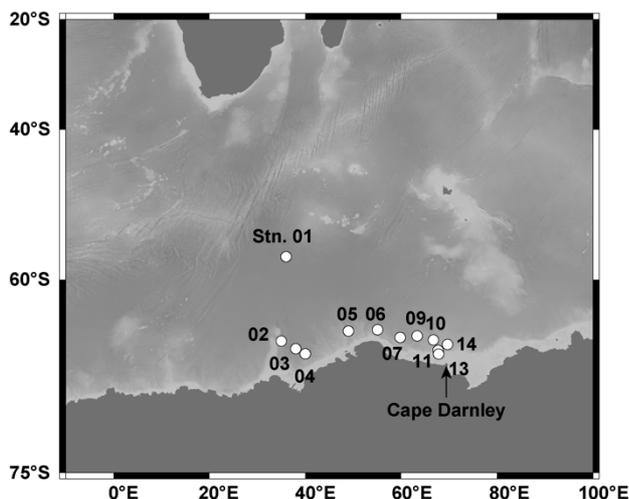


Fig. 1. Sampling location during KH-20-1 on the Japanese research vessel Hakuho Maru

現時点では、112 試料の Nd 同位体比分析が完了しており、1 試料は試料量が少なく測定できなかった。残りの 2 試料は前処理が完了してすぐ測定できる状態である。また、希土類元素の定量分析用試料はカラムによる濃縮、分離操作のため試料の秤量とスパイク添加が完了している状態である。当初は全ての分析を終わらせてから帰国する予定だったが、体調不良のため作業できない期間が 2 週間ほどあり、計画通り進めることができなかった。このため、残りの分析は共同研究者である Basak 博士が実施する予定である。

考察

採水器の下部にセットされた CTD (Conductivity Temperature Depth profiler) で観測された水温、塩分、圧力 (深度) のデータから中立密度を算出した。既存研究による各水塊のパラメータ (Garcia-Solsona et al., 2014; Haine et al., 1998; Lee et al., 2015; Stichel et al., 2012) に基づくと、観測された海水は南極表層水、冬季水、周極深層水、南極底層水の 4 つの水塊に分類される。表層水は地点による水温・塩分のばらつきが大きい。水深 100 m 前後に存在する冬季水はポテンシャル水温が最も低い水塊である。研究対象海域の冬季水は $\epsilon_{Nd} = -9.0$ 前後であった。周極深層水と

南極底層水については、海域に分けて考察する。

St. 01 は本研究の対象地点のなかで最も北側に位置する。荒天により観測時間を十分にとることができなかったため、水深 1000 m までしか観測ができなかった。近傍の地点を対象とした研究では、水深 2000 m 以浅に存在する周極深層水が南極周極流によって均質化されており、 $\epsilon_{Nd} = -8.7$ 前後になっていることが報告されている (Amakawa et al., 2019; Carter et al., 2012)。本研究の St. 01 についても、水深 1000 m のデータ以外は Amakawa et al. (2019)、Garcia-Solsona et al. (2014)、Stichel et al. (2012) の報告値と概ね整合的であった。St. 01 の水深 1000 m の Nd 同位体比はそれ以浅のデータに比べて高く、その傾向は近傍の S4 の 1677 m での報告値 $\epsilon_{Nd} = -7.0$ と類似している。S4 における周囲より同位体比の高い Nd の供給源は、大西洋中央海嶺であると考えられており (Garcia-Solsona et al., 2014)、本研究の St. 01 の水深 1000 m も同様の影響を受けている可能性が示唆された。

分析結果に基づく、ケープダンレーより西側に位置する複数の地点・水深で、周囲の海水より同位体比の高い水塊が水深 10–2500 m に点在しているようだが、分析誤差が大きく、その上下の水深のデータは同位体比が低いため、今後のデータの解析での扱いについて慎重に判断していきたいと考えている。

研究対象地点の東端の St. 14 では、ケープダンレーより東側にあるアメリー棚氷で形成された、より希釈されていないケープダンレー底層水が観測された。観測地点内で最も希釈されていないケープダンレー底層水は $\epsilon_{Nd} = \sim -11$ であり、Nd 同位体比からもケープダンレー岬より西部の底層に広範囲に分布していることが確認できた。南極周極流は西から東へ流れるが、南極沿岸では沿岸流が東から西に流れており、それに沿った分布を示している。南極底層水のグローバル値 $\epsilon_{Nd} = -8.0$ (Garcia-Solsona et al., 2014) よりもケープダンレー底層水の Nd 同位体比は低かった。これは、東南極沿岸を構成する古い岩石の風化によって同位体比の低い Nd が供給されており、それが深層水形成の際にとりこまれていることを反映していると考えられる。

今後はそれぞれの水塊の Nd 同位体比の代表値とその濃度を決定し、得られた Nd 同位体比データが各水塊の混合で説明できるかどうかについて解析を進める予定である。

参考文献

- Amakawa, H., Yu, T.L., Tazoe, H., Obata, H., Gamo, T., Sano, Y., Shen, C.C., Suzuki, K., 2019. Neodymium concentration and isotopic composition distributions in the southwestern Indian Ocean and the Indian sector of the Southern Ocean. *Chem. Geol.* 511, 190–203. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.01.007>
- Carter, P., Vance, D., Hillenbrand, C.D., Smith, J.A., Shoosmith, D.R., 2012. The neodymium isotopic composition of waters masses in the eastern Pacific sector of the Southern Ocean. *Geochim. Cosmochim. Acta* 79, 41–59. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2011.11.034>
- Garcia-Solsona, E., Jeandel, C., Labatut, M., Lacan, F., Vance, D., Chavagnac, V., Pradoux, C., 2014. Rare earth elements and Nd isotopes tracing water mass mixing and particle-seawater interactions in the SE Atlantic. *Geochim. Cosmochim. Acta* 125, 351–372. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2013.10.009>
- Haine, T.W.N., Watson, A.J., Liddicoat, M.I., Dickson, R.R., 1998. The flow of Antarctic bottom water to the southwest Indian Ocean estimated using CFCs. *J. Geophys. Res.* 103, 27637–27653.
- Lee, J.M., Boyle, E.A., Gamo, T., Obata, H., Norisuye, K., Echegoyen, Y., 2015. Impact of anthropogenic Pb and ocean circulation on the recent distribution of Pb isotopes in the Indian Ocean. *Geochim. Cosmochim. Acta* 170, 126–144. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2015.08.013>
- Ohshima, K.I., 2020. KH-20-1 Cruise Report. R/V Hakuho-maru.
- Ohshima, K.I., Fukamachi, Y., Williams, G.D., Nihashi, S., Roquet, F., Kitade, Y., Tamura, T., Hirano, D., Herraiz-Borreguero, L., Field, I., Hindell, M., Aoki, S., Wakatsuchi, M., 2013. Antarctic Bottom Water production by intense sea-ice formation in the Cape Darnley polynya. *Nat. Geosci.* 6, 235–240. <https://doi.org/10.1038/ngeo1738>
- Stichel, T., Frank, M., Rickli, J., Haley, B.A., 2012. The hafnium and neodymium isotope composition of seawater in the Atlantic sector of the Southern Ocean. *Earth Planet. Sci. Lett.* 317–318, 282–294. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.11.025>

研究の発表

口頭発表、誌上発表 現時点でなし