

放射性炭素による日本海底層水の起源推定

Estimation of source of the Japan Sea Bottom Water
using radiocarbon analysis

荒巻 能史

Takafumi ARAMAKI

独立行政法人国立環境研究所

タンデトロン施設を利用して、日本海盆東部域から大和海盆にかけて9つの観測点で $\Delta^{14}\text{C}$ 値の鉛直分布を得た。両海域の深層水（底層水）には10%程度の濃度差があり、両者の起源が異なる可能性が浮き彫りになった。

キーワード：放射性炭素，日本海，深層循環，環境変動，地球温暖化

1. 目的

日本海は、表層に暖流と寒流を持ち、独自に深層水を形成するなど、面積的には小さいものの外洋で見られる様々な地球規模での海洋現象が存在する世界でも希有な縁海であることから、ミニチュア大洋とも呼ばれ、海洋研究に格好の“実験場”を提供している。たとえば、日本海の深層海水は、外洋における海洋大循環のおおよそ20分の1程度の時間スケールで循環していると考えられているので、地球温暖化に対する環境影響の応答が早く、モデル等によって懸念されている「海洋大循環（深層循環）の停滞」、「海水温の上昇」、あるいは「海水の酸性化」などの物理環境的影響をいち早くキャッチできる可能性がある。しかしながら、政治的背景から日本海の環境に関する研究は皆無に等しく、海水流動過程、あるいは物質循環過程については、未だ十分な理解に至っていないのが現状である。そこで本研究課題では、化学海洋学的視点から日本海の深層における海水流動について詳細な解析を行うことを主な目的とし、まず放射性炭素の分析、および解析を利用して深層水（日本海底層水）の動態解明を行う。

2. 方法

2007年11月、北海道大学水産学部練習船・おしよろ丸による研究航海において、日本海盆東部域から大和海盆にかけて9つの観測点で鉛直的に合計90個の海水試料を得た。海水試料中の無機炭酸は、真空ガラスライン中で二酸化炭素ガスとして抽出（Aramaki *et al.*, 2000）され、その後、鉄粉末を触媒としてグラファイト（炭素）に還元（Kitagawa *et al.*, 1993）された。タンデトロン施設において、この試料グラファイトにセシウムビームを照射し、試料中の $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比、および $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比を計測（Aramaki *et al.*, 2000）した。得られた試料中の $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比は、Aramaki *et al.* (2001)に従って、 $\Delta^{14}\text{C}$ 値に換算した。

3. 研究成果

今回得られた $\Delta^{14}\text{C}$ 値の鉛直分布は、海域によらず表層から海底に向けて深度とともに指数関数的に減少しており、過去の研究（Kumamoto *et al.*, 1998; Aramaki *et al.*, 2007; Kumamoto *et al.*, 2008）とよく一致していた。今回注目した日本海底層水の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は、日本海盆東部海域で $-64.6\pm 5.7\%$ 、大和海盆海域で $-49.7\pm 4.4\%$ 、この境界域で $-54.6\pm 8.1\%$ であった。

4. 結論・考察

日本海底層水とは、水深2500m程度以深に広がる水温、および塩分の一様性で定義付けられる水塊（例えば、Gamo and Horibe, 1983）のことを指し、この水塊中の $\Delta^{14}\text{C}$ 値も一様な値を持つことが知られている（Aramaki *et al.*, 2007; Kumamoto *et al.*, 2008）。荒巻ら（2007）は、1998-2002年に実施した日本海全域における放射性炭素測定を用いた研究から、「日本海盆の東部域が西部域や他の海盆に比べて底層水の $\Delta^{14}\text{C}$ 値が約10%小さいこと」を明らかにしており、今回も同様の傾向が得られたことになる。特筆すべきはその $\Delta^{14}\text{C}$ 平均値で、今回得られた値は荒巻ら（2007）が報告した1998-2002年当時の値とほぼ同等である点である。この結果は、当該海域への新しい海水の流入が見かけ上ないことを示唆しているに他ならない。

日本海では、近年の温暖化の影響で底層水の新たな形成が過去数十年間に渡り停滞している可能性が指摘されている (Gamo, 1999)。したがって今回の結果は、この可能性を強く支持する観測結果である。一方、Senjyu *et al.* (2002) は、比較的厳冬であった 2000-2001 年シーズン、ロシア・ウラジオストック沖合の日本海盆西部域において、新たな底層水形成の観測に成功した。Kumamoto *et al.* (2008) は、日本海深層に設置された流速計の解析に基づく深層循環像 (Senjyu *et al.*, 2005) を参考に、ウラジオストック沖合で新たに形成した底層水が大和海盆に到達するには 3-6 年を要すると結論づけた。しかしながら、今回の結果では新たな底層水形成から 6 年以上が経過しているものの、その $\Delta^{14}\text{C}$ 値に増加傾向は見られなかった。これは、日本海の深層循環が理論的な推測よりもゆっくりとした流れであるか、あるいは荒巻ら (2007) が推測したように、当該海域の底層水の起源がウラジオストック沖合ではない、のいずれかの結果であろう。今回の $\Delta^{14}\text{C}$ 測定結果のみから結論を出すことは難しいが、東部日本海盆と大和海盆の深層循環に大きなギャップがあることは確実である。今回、その境界域の $\Delta^{14}\text{C}$ 値をはじめて明らかにしたが、その値がちょうど中間にあたる ($-54.6 \pm 8.1\%$) ことから、トリチウムやフロンなど、短い時間スケールの海水循環トレーサーと組み合わせて解析することによって、このギャップのプロセスを解明することが可能だろう。

5. 引用(参照)文献等

- Aramaki, T., T. Mizushima, Y. Mizutani, T. Yamamoto, O. Togawa, S. Kabuto, T. Kuji, A. Gottang, M. Klein and D.J.W. Mous, The AMS facility at the Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, B172, 18-23 (2000).
- Aramaki, T., T. Mizushima, T. Kuji, P.P. Povinec and O. Togawa, Distribution of radiocarbon in the southwestern North Pacific, *Radiocarbon*, 43, 857-868 (2001).
- Aramaki, T., T. Senjyu, O. Togawa, S. Otsuka, T. Suzuki, T. Kitamura, H. Amano and Y.N. Volkov, Circulation in the northern Japan Sea studied chiefly with radiocarbon, *Radiocarbon*, 49, 915-924 (2007).
- 荒巻能史, 外川織彦, 乙坂重嘉, 鈴木崇史, 千手智晴, 皆川昌幸, 日本海における放射性炭素の分布と深層循環, 2007 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集(2007).
- Gomo, T., Global warming may have slowed down the deep conveyor belt of a marginal sea of the northwestern Pacific: Japan Sea, *Geophysical Research Letters*, 26, 3141-3144 (1999).
- Gamo, T. and Y. Horibe, Abyssal circulation in the Japan Sea, *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, 39, 220-230 (1983).
- Kitagawa, H. T. Masuzawa, T. Nakamura, and E. Matsumoto, A batch preparation method of graphite targets with low background for AMS ^{14}C measurements, *Radiocarbon*, 35, 295-300 (1993).
- Kumamoto, Y., M. Yoneda, Y. Shibata, H. Kume, A. Tanaka, T. Uehiro, M. Morita and K. Shitashima, Direct observation of the rapid turnover of the Japan Sea bottom water by means of AMS radiocarbon measurement, *Geophysical Research Letters*, 25, 651-654 (1998).
- Kumamoto, Y., T. Aramaki, S. Watanabe, M. Yoneda, Y. Shibata, O. Togawa, M. Morita and K. Shitashima, Temporal changes of radiocarbon in the Japan Sea Bottom Water, *Journal of Oceanography*, 64, 429-441 (2008).
- Senjyu, T., T. Aramaki, S. Otsuka, O. Togawa, M. Danchenkov, E. Karasev and Yu. Volkov, Renewal of the bottom water after the winter 2000-2001 may spin-up the thermohaline circulation in the Japan Sea, *Geophysical Research Letters*, 29, 10.1029/2001GL014093 (2002).
- Senjyu, T., H.-R. Shin, J.-H. Yoon, Z. Nagano, H.-S. An, S.-K. Byun, and C.-K. Lee, Deep flow field in the Japan/East Sea as deduced from direct current measurements, *Deep-Sea Research II*, 52, 1726-1741 (2005).