

炭素 14 を用いた海洋表層・深層間の海水混合速度の推定

Estimate of the exchange rate of surface and deep waters by means of radiocarbon

熊本 雄一郎¹⁾

Yuichiro KUMAMOTO

¹⁾ 国立研究開発法人海洋研究開発機構

(概要)

2022年に北太平洋亜熱帯域で得られた海水試料中炭素 14 を測定し、海洋表面から海底直上までの鉛直分布を得た。それらを 1990 年代と 2010 年代に観測された値と比較した結果、下部サーモクライン層(深度約 500m~1000m)では、1990 年代から 2010 年代にかけては炭素 14 が増加した一方(Kumamoto et al., 2013)、2010 年代から 2022 年の間はその濃度変化が明瞭ではなかった。その結果、2010 年代から 2022 年の間は、核実験起源炭素 14 の鉛直積算量も減少していた。この結果は、西部北太平洋の亜熱帯域に蓄積された炭素 14 は、2010 年代以降に他の海域に移行していることを示唆するものである。

キーワード : 炭素 14、北太平洋亜寒帯域、大気・海洋間ガス交換

1. 目的

炭素 14 は、半減期 5730 年の放射性核種である。宇宙線と大気中窒素ガスとの反応によって生成される炭素 14(天然起源炭素 14)は、地球表層圏における炭素循環のトレーサとして利用されてきた。一方、1950~60 年代を中心に核実験によって大気中に大量に放出された炭素 14 は、天然起源炭素 14 の分布を攪乱する一方で、過去数十年間の炭素循環を研究するための新たなトレーサとなった。化石燃料の燃焼などによって大気中に放出された二酸化炭素(CO₂)ガスがどの程度海洋に吸収されているのかを見積もることは、今後の地球温暖化予測研究に必要不可欠である。2000 年代以降の温暖化の停滞(ハイエイタス)の原因は特定されていないが、CO₂ ガス交換を含む大気・海洋間の相互作用が影響していることはほぼ確実である。海水中 CO₂ 濃度は生物化学的な要因でも変動するために、その増加分から推定された海水中 CO₂ の増加量には大きな不確かさが含まれる。一方、炭素 14 比(¹⁴C/¹²C)は生物化学的な要因による変動が小さいため、CO₂ 増加量を把握するための有用なプロキシとなる。従来はフロンガス(クロロフルオロカーボン類)がそのプロキシとして用いられてきたが、¹²CO₂ と ¹⁴CO₂ には物理・化学的な特性の違いがほとんどないという点が、トレーサとしての炭素 14 の利点である。従来の研究では、全海洋規模の海洋中核実験起源炭素 14 の総量と、大気中のその総量とを比較することで、大気・海洋間の CO₂ ガスの交換量が推定されてきた。別の言い方をすれば、これは大気から海洋へ核実験起源炭素 14 の移行量を把握することとほぼ同義であった。一方 1990 年代以降、大気中の核実験起源炭素 14 濃度は、海洋表層のそれとほぼ同じレベルまで低下し、大気・海洋間の炭素 14 の正味のフラックスは減少した。その結果、1990 年代以降海洋表層の炭素 14 濃度は、大気・海洋間の気体交換よりも、炭素 14 濃度が相対的に低い深層水と濃度の高い表層水の混合の速さによって支配されるようになった。この海洋表層・深層間の海水混合過程は、海洋における人為起源 CO₂ の分布を支配する主要な要因のひとつである。すなわち、海洋の核実験起源炭素 14 の分布を把握することで、大気・海洋間 CO₂ 交換量の空間変動を把握することが可能となる。海洋研究開発機構(以下、海洋機構という)は、1999 年以降、海洋地球観測船「みらい」を用いて、主に太平洋、インド洋、南大洋において海盆横縦断型の観測を行ってきた。その中で炭素 14 分析用海水を採取し、測定データを得てきた。本研究においては、さらに炭素 14 データを蓄積し解析を進めることで、各海盆における海洋表層・深層間の海水混合速度を推定することを目的とする。

2. 方法

海水試料は、2022 年 7-8 月に実施された国立研究開発法人海洋研究開発機構「白鳳丸」研究航海 KH-22-7 において、西部北太平洋亜熱帯域北緯 20 度から 35 度までの東経 155 度線上の 3 点(Stn.5, 7,

12)で採取した。海水試料は、表面水から海底直上まで鉛直的に採取された。航海終了後、国立研究開発法人海洋研究開発機構むつ研究所において、海水試料から二酸化炭素ガスを抽出・精製し、さらに加速器質量分析に供するためにグラファイト化した。加速器質量分析は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構タンデロン施設で実施した。

3. 結果及び考察

2022年に得られた炭素14の鉛直分布を、1990年代(Key et al., 2015)及び2010年代の結果と比較した。その結果、1990年代、2010年代、2022年と経年につれて、上部サーモクライン層(表層～深度約500m)で炭素14が減少していることがわかった。一方、下部サーモクライン層(深度約500m～1000m)では、1990年代から2010年代にかけては炭素14が増加した一方(Kumamoto et al., 2013)、2010年代から2022年の間はその濃度変化が明瞭ではなかった。その結果、2010年代から2022年の間は、核実験起源炭素14の鉛直積算量も減少していた。大気中の核実験起源炭素14は、気体交換によって海洋表層に移行し、移流・拡散によって、水深数百mから約千mの海洋中層に広がっている(Kumamoto et al., 2011)。今回西部北太平洋亜熱帯域で得られた炭素14濃度の時間変動も、これらの原因によるものと思われる。すなわち、大気中の核実験起源炭素14濃度は漸減しているため、大気から海洋へのフラックスは小さくなっている一方で、海洋に移行した核実験起源炭素14は次第に海洋内部に拡散している。サーモクライン層では高緯度から低緯度への子午線面循環が卓越していることが知られているが、今回得られた亜熱帯域での下部サーモクラインでは炭素14が増加していないという結果は、西部北太平洋の亜熱帯域に蓄積された炭素14は、2010年代以降に他の海域に移行していることを示唆するものである。

4. 引用(参照)文献等

- Key, R.M., A. Olsen, S. van Heuven, S. K. Lauvset, A. Velo, X. Lin, C. Schirnick, A. Kozyr, T. Tanhua, M. Hoppema, S. Jutterström, R. Steinfeldt, E. Jeansson, M. Ishi, F. F. Perez, T. Suzuki, Global Ocean Data Analysis Project, Version 2 (GLODAPv2), ORNL/CDIAC-162, ND-P093. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee. doi: 10.3334/CDIAC/OTG.NDP093_GLODAPv2 (2015).
- Kumamoto, Y., Murata, A., Watanabe, S., Fukasawa, M. (2011) Temporal and spatial variations in bomb-produced radiocarbon along BEAGLE2003 lines—Revisits of WHP P06, A10, and I03/I04 in the Southern Hemisphere Oceans, *Progress in Oceanography* 89, 49–60.
- Kumamoto, Y., Murata, A., Kawano, T., Watanabe, S., Fukasawa, M. (2013) Decadal changes in bomb-produced radiocarbon in the Pacific Ocean from the 1990s to 2000s, *Radiocarbon* 55, 1641–1650.