

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)

2021年に北太平洋亜寒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 年代に観測された値と比較した結果、過去約 30 年間北太平洋亜寒帯域では炭素 14 の鉛直分布に大きな変化は見られなかった。このような小さな時間変化は、南半球の高緯度海域及び赤道海域でも観測されており、海洋表層からその内部に移行する核実験起源炭素 14 の多くの部分が、亜熱帯海域に蓄積されていることを示唆している。

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な不可欠である。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、2021 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「みらい」研究航海 MR21-04 において、北太平洋亜寒帯域東経 157 度から西経 156 度までの北緯 47 度線上の 3 点(Stn. 34, 40, 56)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

2021年に得られた炭素14の鉛直分布を、1990年代(Key et al., 2015)、および2014年の値と比較した。その結果、北太平洋亜寒帯では1990年代から2021年間の約30年間で、炭素14の鉛直分布に大きな変化は見られなかった。このことは、同じく高緯度である南極海のインド洋セクションにおいて2012年に得られた観測結果(採択課題2015A-F04)、また2017年のMR16-09のStn. 10, 13の観測結果(採択課題2020A-F01)とよく似ている。サーモクライン層(表層～深度1000m)では、 $\Delta^{14}\text{C}$ は0～30から-200‰程度まで深さとともに徐々に減少し、深度約1000m以深ではその値は約-200～-250‰で鉛直的な変化が乏しかった。このような鉛直分布は、サーモクライン層への核実験起源炭素14の侵入と、核実験起源炭素14をほとんど含まない深・底層水の湧昇の2つで概ね説明できる。北太平洋亜寒帯において核実験起源炭素14の濃度が変化していないことは、一義的には深・底層水の湧昇による希釈効果と大気海洋間気体交換による大気から供給がほぼ釣り合っていることを示唆している。このような核実験起源炭素14の経時変化は、南半球高緯度海域及び赤道海域でも観測されている(Kumamoto et al., 2013)。これらの結果は、海洋表層からその内部に移行する核実験起源炭素14の多くの部分が、亜熱帯海域に蓄積されているという結果(Kumamoto et al., 2011)と整合的である。

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.