

太平洋海水中の全炭酸の ^{14}C 濃度の測定と海洋深層水の循環

坪田博行*, 中村俊夫**, 小野田伸一***

*) 広島大学総合科学部, 〒730 広島市中区東千田町, **) 名古屋大学アイソトープ総合センター, ***) 名古屋大学理学部地球科学科, 〒464 名古屋市千種区不老町

1. はじめに

1960年代以降, 科学技術の発達に伴って海洋学は急速に発展を遂げてきた. 1970年代には国際海洋研究10年計画(IDOE: International Decade of Oceanographic Exploration)が進められた. その計画の一部として, 米国のGEOSECS(Geochemical Ocean Section Study)プロジェクトが1967-1980年に行われ, 大西洋, 太平洋およびインド洋などにおける海洋水中の各種化学成分や主要元素の同位体組成の水平および垂直分布が測定された. この研究では, 三大海洋の各観測点で水深別に総計2000以上に及ぶ海水が採取され, その溶存全炭酸の ^{14}C 濃度の測定が行われた. その結果, 海洋物理学者ストーンメル[1]が理論的に予測した海洋深層水の循環様式が, 海水の ^{14}C 年代と矛盾しない事が明かとなった[2].

太平洋GEOSECS(1973-1974)に約5年先だって, 1968-1969年に東大海洋研白鷲丸の太平洋航海[3]で採取された海水中の溶存全炭酸の ^{14}C 濃度の測定を最近になって行った. ここでは, 測定結果の概要について, さらに1950年以降に行われた核兵器実験によって生成された人工 ^{14}C の海水への移行に関する検討結果やGEOSECSの結果との比較について報告する.

2. 試料と測定

東京大学海洋研究所のKH-68-4航海(Southern Cross Cruise)で, 約5リットルの海水が採取された. 海水試料は, 採水後直ちに船上で処理され, 抽出された溶存全炭酸は炭酸ストロンチウム(SrCO_3)として保存された[3]. 採水は西部太平洋域で, 西経170度に沿って北緯30度から南緯70度までの13測点で, 海水表面から海底まで約10層で行われた. これらの海域では, 同時に海水中の各種化学成分が定量された[3].

今回, 約20年間保存されていた SrCO_3 試料について, 7地点ぶんの約80個の試料の ^{14}C 濃度($\Delta^{14}\text{C}$, ‰)[4]を名古屋大学アイソトープ総合センターに設置されているタンデトロン加速器質量分析計を用いて測定した. 試料調製に際しては, 炭素にして約15 mgの SrCO_3 を真空中で熱分解して CO_2 を回収する方法を開発した. この方式は, 従来の方法に比べて所要時間が約1/4に短縮される. 炭酸塩試料の調製方法およびタンデトロン分析計による ^{14}C 濃度測定については, 文献5,6を参照されたい.

3. 結果および考察3-1. ^{14}C の垂直分布

西経170度に沿って, 北緯 $30^\circ, 9^\circ$, 南緯 6° (図1-a), 南緯 $23^\circ, 42^\circ, 54^\circ, 69^\circ$ (図1-b)の7地点での海水中溶存全炭酸の $\Delta^{14}\text{C}$ の垂直分布を図1に示す. $\Delta^{14}\text{C}$ の深度

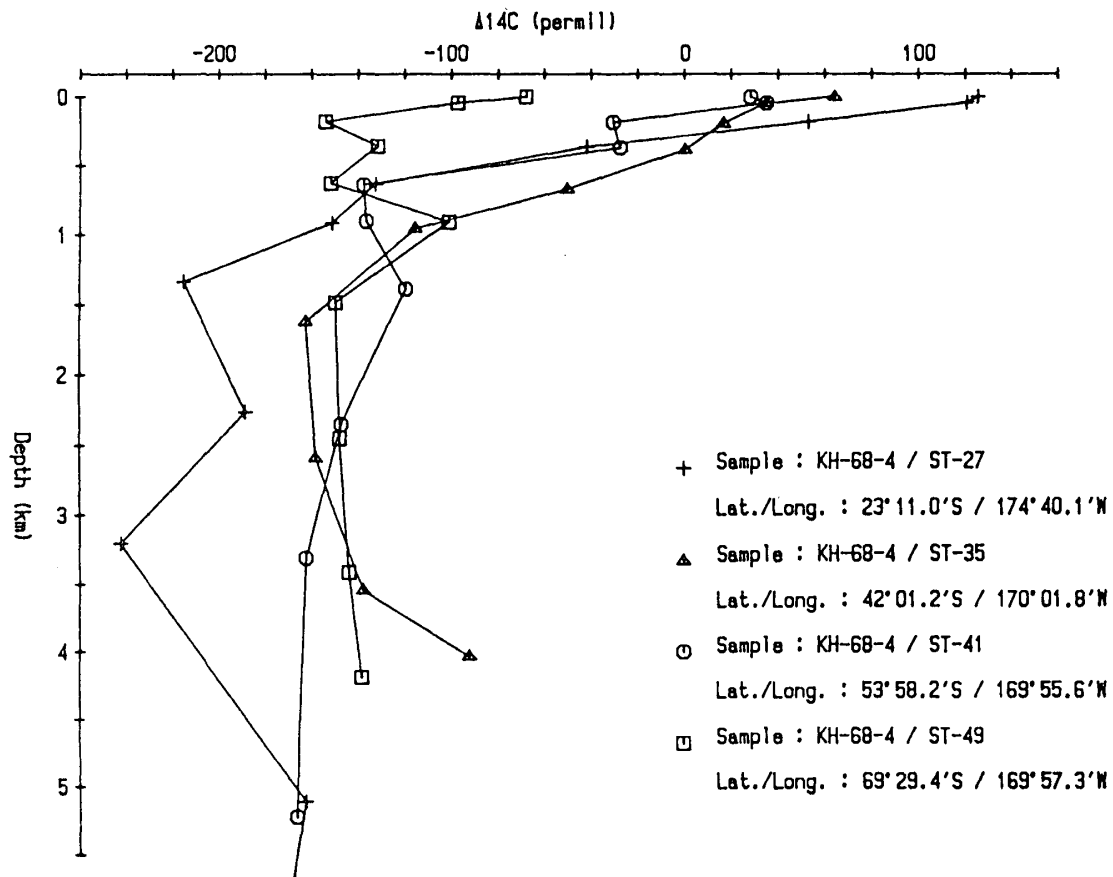
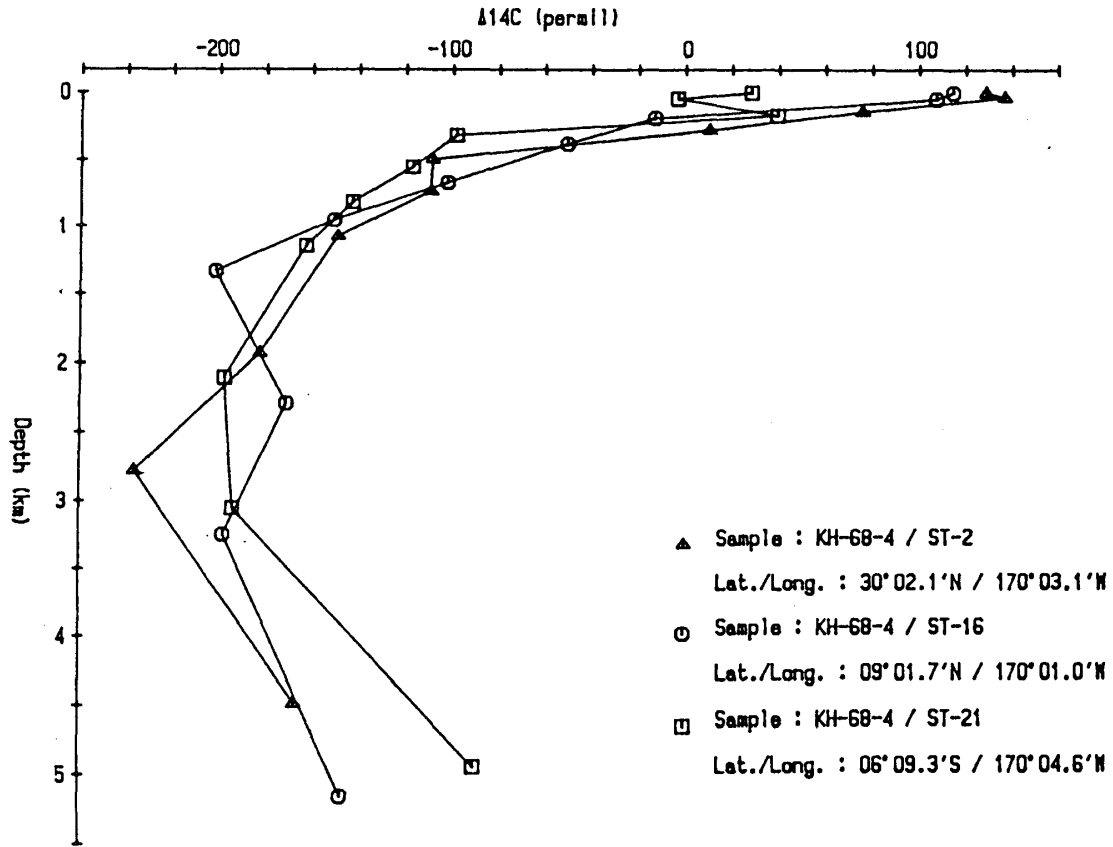


図1. 太平洋 (170° W) の海水中溶存全炭酸の $\Delta^{14}\text{C}$ の垂直分布およびその緯度依存性.

依存性を概観すると、表面海水は大気との CO_2 交換により ^{14}C 濃度は高い。すなわち、核兵器実験起源の ^{14}C の影響を受けて[7]、 $\Delta^{14}\text{C}$ は0%。以上の値になっている（核実験以前の海水炭酸の $\Delta^{14}\text{C}$ は、化石燃料の使用による ^{14}C 濃度の薄めの効果、いわゆるSuess効果により約-50%。であったとされている[8,9]）。 $\Delta^{14}\text{C}$ は、表面海水の混合や拡散により水深が増加すると共に漸次減少し、1500-3000mの深度で最小となり、さらに水深が増すと逆に増加する。この最深部の底層水は、遠く北大西洋のグリーンランド沖で形成された北大西洋深層水（ $\Delta^{14}\text{C}$ はほぼ表面海水のそれを示す）が南下し、南極海へ達し（一部南極海で形成された深層水も加えて）、ニュージーランド東岸を通して、はるばると西部太平洋を北上して来た水塊である。北太平洋の水深1500-3500mの海水は $\Delta^{14}\text{C}$ 年代が最も古く、海洋深層水の大循環の最終段階に至ったものと解釈されている。

3-2. 表面水の $\Delta^{14}\text{C}$ の緯度依存性

西経170度線上の15地点における表面海水中の溶存全炭酸の $\Delta^{14}\text{C}$ を図2に示す。 $\Delta^{14}\text{C}$ は人工 ^{14}C の影響を受けており、最大値130%（ 9°N - 30°N ）を呈している。 $\Delta^{14}\text{C}$ は赤道域（ 5°N - 10°S ）で低く、 15°S - 50°S で高く、 50°S から 69°S では直線的に減少している。この結果は、赤道付近や南極海には ^{14}C 濃度の低い深層水の湧昇流が、また亜熱帯還流域や中緯度域には大気との炭素交換を行った ^{14}C 濃度の高い表面水の沈降流が存在している事と調和的である。

3-3. $\Delta^{14}\text{C}$ の二次元分布

西経170度線上で南北断面に $\Delta^{14}\text{C}$ の等値線を図3に示す。測定点の数が限られており分解能が悪いが、水深2000-4000mの深層水の $\Delta^{14}\text{C}$ が南から北へと向かうに従って、明らかに低くなっている。 20°S 以北での水深2000-3000mの水塊（ $\Delta^{14}\text{C}$ が-200%以下）は年代が最も古く、海水循環の最終段階のものである。

3-4. $\Delta^{14}\text{C}$ の経年変化

KH-68-4(1968-1969)と太平洋GEOSECS(1973-1974)で測定された $\Delta^{14}\text{C}$ を比較すると、年を経るにつれて人工 ^{14}C の影響が表面から深い地点へと拡大している事が明かとなった（図は省略する）。

4. おわりに

深層海水の新旧を論ずる場合、溶存酸素量の多少がその目安とされてきたが、溶存全炭酸の ^{14}C 濃度がより直接的であると思われる。また、人工 ^{14}C は表面海水からも供給されているため、海水の垂直方向の混合や拡散の程度を調べるのに適している。さらに、最近では、加速器質量分析計を用いて、海水中の溶存有機炭素の測定も行われている[10]。

5リットルの海水に含まれる無機炭酸の量は炭素にして約140 mgと少ない。従って今回の試料は、従来の放射能測定法では精度よく ^{14}C 濃度を測定することはほとんど困難であった。今回その約1/10の試料を用いてタンデロン分析計で $\Delta^{14}\text{C}$ を測定したのである。今後、海水の循環や海水中の無機炭酸や有機炭素の移動をさらに詳細に調べようとする場合、少量の炭素試料で ^{14}C 濃度測定が行えるタンデロン加速器質量分析計の活用が大いに期待される。

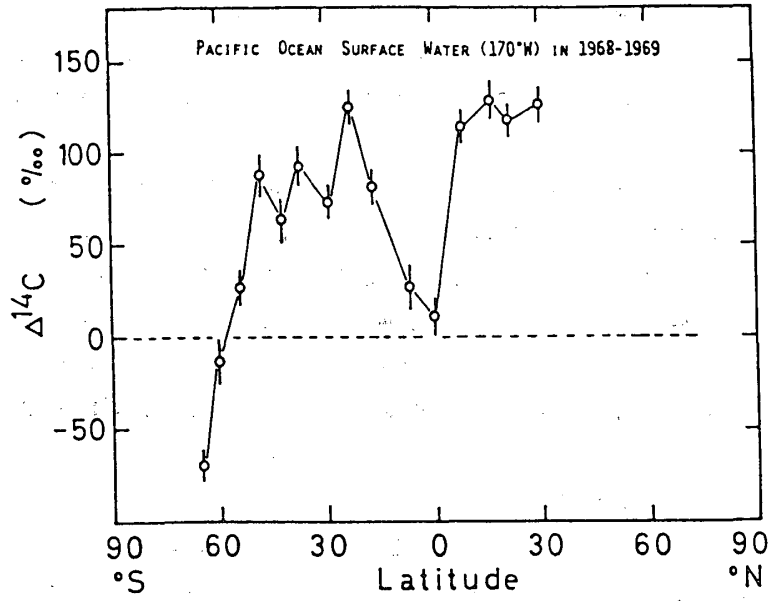


図2. 太平洋 (170° W) の表面海水中溶存全炭酸の $\Delta^{14}\text{C}$ の緯度依存性.

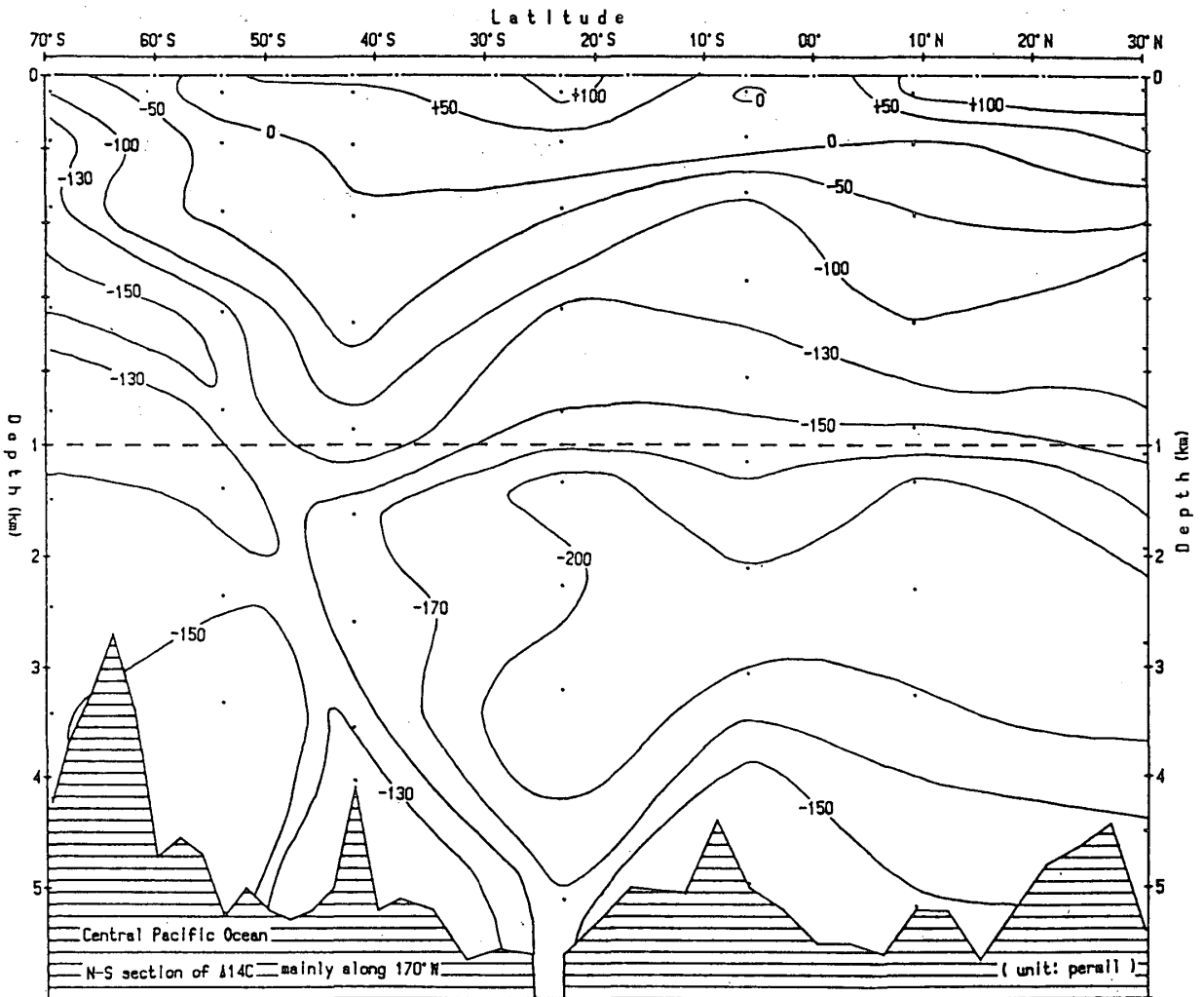


図3. 太平洋 (170° W) における南北断面での $\Delta^{14}\text{C}$ の等値線.

参考文献

- [1] Stommel, H., Deep-Sea Res., 5 (1958) 80.
- [2] Ostlund, H.G. & Stuiver, M., Radiocarbon, 22 (1980) 25-53.
- [3] Horibe, Y.,(ed.), Preliminary report of the Hakuho Maru cruise KH-68-4, Ocean Research Institute, Univ. of Tokyo, (1970) p170.
- [4] 中村俊夫, 中井信之, 気象研究ノート, 160 (1987) 67-81.
- [5] 中井信之, 中村俊夫, Radioisotopes, 32 (1983) 645-655.
- [6] Nakamura, T., et al., Jpn. J. App. Phys., 24 (1985) 1716-1723.
- [7] 中村俊夫ほか, 地球化学, 21 (1987) 7-12.
- [8] Nozaki, Y., et al., Geophys. Res. Lett., 5 (1978) 825-828.
- [9] Siegenthaler, U., Carbon dioxide: its natural cycle and anthropogenic perturbation. (Buat-Menard, P., ed), The role of air-sea exchange in geochemical cycling. (1986) 209-248, D.Reidel Pub., Holland.
- [10] Williams, P.M. & Druffel E.R.M., Radiocarbon in dissolved organic carbon in the Central North Pacific Ocean. (to be published in Nature).