

学 位 論 文 題 名

北太平洋における人類活動起源炭素の分布に関する研究

学位論文内容の要旨

北太平洋は、人為起源炭素のリザーバとして非常に重要な海域の内の一つであるが、同海域で人為起源炭素の分布を解析するためには、同海域中の水柱中の炭酸系諸量（全炭酸、アルカリ度、pH）のデータセットは数量とも少なく、また精度も不十分である。

そこで本研究では、北太平洋の30°N線、165°E線、180°E線に沿った各測線上で、炭酸系諸量のそれぞれについて、高精度な測定法と標準化した手法による観測を行なった。これと同時に、観測された炭酸系諸量のデータから、水柱中の人為起源炭素の分布に関する情報を抽出するための解析法を確立し、上記の観測結果に適用して以下の成果を得た。

1. 北太平洋における現在の炭酸系諸量の分布について

(1) 30°N線に沿った経度方向の断面では、 $25.20 \leq \sigma_\theta < 26.00$ の広い密度帯でNTAが一定であること、pHが断面中で最小になる経度とNTCのそれが全く異なること等が新たな知見として得られた。

(2) 165°E線および180°E線に沿った緯度方向の断面では、シャツキーライズの南北で深層の各化学成分の濃度が不連続的に変化していること、39°N付近の中層にはその南北に較べて全炭酸濃度の低い水塊が存在すること、また165°Eと180°Eの断面では全炭酸の全体的な濃度分布に大きな違いがないことなどが新たな知見として得られた。

2. 北太平洋における最近21年間の全炭酸の濃度変化について

本研究によって1994年30°N線に沿って観測された炭酸系諸量のデータと、この測線付近で1973年に観測された炭酸系諸量のデータとを比較することによって、この21年間に海洋が人為起源炭素を吸収したことによる、全炭酸の濃度増加量を求めた。

二つのデータセットが測定している水塊の差に基づく見かけ上の全炭酸濃度の差を補正するため、塩分とAOUのデータを指標として、二つのデータセット間で最も水塊特性の似かよった測点同士を、各等密度面上で選び出し、このデータ対について全炭酸濃度を比較した。選別された各データ対の間にまだ残っている僅かな水塊特性の差は、データ対の間のAOUの差を用いて、もう一度補正を加えることで完全に除去した。

この解析の結果から得られた成果は以下の通りである。

1) $\sigma_\theta < 27.00$ の密度の海水中で、人為起源炭素に由来すると考えられる全炭酸濃度の増加が見られた。

2) $\sigma_\theta < 25.60$ の密度の海水中の平均的な21年間の全炭酸の増加量は、この期間中の大気中pCO₂の増加量から予想される理論的な全炭酸の増加量よりも僅かに大きな値を示した。

3) 170°W 以西の $25.60 \leq \sigma_\theta < 26.20$ の密度の海水は、それ以浅の海水よりやや小さな全炭酸の増加量を示したが、170°W 以東の同密度の海水は、それ以浅と同じく、大気中 $p\text{CO}_2$ の増加に対応する全炭酸の増加量を示した。このことは、この密度帯への人為起源炭素の輸送が、北太平洋亜熱帯域の東部で非常に効率よく行われていることを示す。

また、この密度帯における人為起源炭素の蓄積量の経度方向の違いは、過去の GCM によっては再現できておらず、今後 GCM の更なる改良が求められる。

4) この結果、この期間中における人為起源炭素の貫入深度が東西で大きく異なっているにも係らず、この 21 年間に 30°N 線の水柱中に蓄積された人為起源炭素の現存量は、東西方向でほぼ一定で、 150 gC/m^2 (または、 $7 \text{ gC/m}^2/\text{y}$) という大きな値を示した。これは Tsunogai et al. (1993) が北太平洋亜熱帯域西部で観測した値とほぼ等しく、北太平洋亜熱帯域のほぼ全域が、人為起源炭素の大きなリザーバになっていることを示すものである。

3. 北太平洋における産業革命以降の全人為起源炭素の分布について

北太平洋の水柱中に溶け込んでいる、産業革命以降の全人為起源炭素 (exTC) の分布は Chen (1982) などにより既に何度か試算されているが、従来の計算方法には幾つか問題が指摘されており、exTC が正しくはどのような分布をしているのかはよく分かっていない。そこで従来の exTC の計算法を以下の点について改良し、exTC の分布の再計算を試みた。

- ・従来の計算法では、初期条件として夏期の北太平洋の表面水の炭酸系諸量の分布を用いていた。これを、実際に北太平洋の各水塊が形成される冬期の分布を初期条件として用いるよう改めた。
- ・従来の計算法では、実際には南大洋から流出してくる深層水についても、初期条件として太平洋の表面水の値を用いていた。これを、深層水については北太平洋と独立に算出された初期条件を用いるように改めた。

この改良された解析法を本研究で観測された北太平洋の炭酸系データに適用し、以下の成果を得た。

1) 30°N 線上の断面では、exTC の貫入深度は 150°E-160°E で最大値 (1300-1200m) を示し、この後東に行くにつれて浅くなって 140°W 付近で 900m、東端では 600m である。

2) 中深層における exTC の等濃度線はポテンシャル密度の等密度線とほぼ平衡に分布しており、等密度面上の exTC 濃度の東西方向の変化は、 $25.60 \leq \sigma_\theta < 26.20$ の密度帯でも殆ど見られない。このことは第 2 章で扱ったここ 21 年間の人為起源炭素の分布と多少異なる。

3) 30°N 線上の人為起源炭素の現存量の分布は、180°E 以西、180°E-140°W、それ以東、の 3 つの区間ごとに大きく分かれ、それぞれ $386 \pm 56 \text{ gC/m}^2$, $337 \pm 39 \text{ gC/m}^2$, $250 \pm 56 \text{ gC/m}^2$ である。

4) 165°E 線上の断面では、表面水の exTC は水温によく対応して変化している。また中深層の分布は、30°N 線上と同様に等密度面上で大きな変化が無い。

5) 165°E 線上の exTC の現存量は、28°N では 418 gC/m^2 の非常に大きな値をとるが、緯度が上がるにつれて直線的に急激に減少し、43°N 以北では $75 \pm 13 \text{ gC/m}^2$ でしかない。

以上の結果は、北太平洋亜熱帯域の全域が人為起源炭素のリザーバとして非常に大きな役割を果たしていることを、観測結果から初めて定量的に裏付けたものである。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 角 皆 静 男
副 査 教 授 米 田 義 昭
副 査 教 授 松 永 勝 彦
副 査 教 授 乗 木 新 一 郎

学 位 論 文 題 名

北太平洋における人類活動起源炭素の分布に関する研究

北太平洋は、人為起源炭素のリザーバとして非常に重要な海域の一つであるが、これまで同海域の水中の炭酸系諸量のデータセットは殆どなかった。また、これまでの値は精度が悪くかつ解析法も不十分であり、これらを用いて海水中に溶存する人為起源炭素量の正確な見積もりはできなかった。そこで本研究では、北太平洋の広い海域において炭酸系諸量の高精度観測を行なった。同時に、観測された炭酸系諸量のデータから、人為起源炭素量を算出する解析法を確立して、この観測結果に応用した。得られた成果は、以下のようなものである。

1. 海水中全炭酸の高精度測定の方法を作り上げた。電量滴定法を応用して分析精度を 0.15%以下にすることができた。また標準物質の作成や国際的な相互検定の実施により、異なるデータセット同士の測定値の比較を高精度に行うことが可能になった。

2. 北太平洋の広い範囲で全炭酸の高精度観測を行い、現在の海洋中の全炭酸の分布を、微細構造も含めて明らかにした。

3. 本研究によって北太平洋中緯度域で 1994 年に観測された炭酸系諸量のデータと、同じ海域で 1973 年に観測された炭酸系諸量のデータとを比較することによって、海洋が人為起源炭素を吸収したことによる全炭酸の濃度速度を求める方法を確立した。また地理的に大きく異なる観測点のデータを比較する方法を考案したことで、従来より精度の高い増加量の見積もりが可能になった。この結果明らかになった新たな知見は以下のようなものである。

1) 北太平洋中緯度の水深 800-1000m より浅い海水中で、この 21 年間に平均 $150\text{gC}/\text{m}^2$ (または、 $7\text{gC}/\text{m}^2/\text{y}$) ほど全炭酸が増加していた。

2) 表層付近の海水中の 21 年間の平均的な全炭酸の増加速度は、この期間中の大気中二酸化炭素分圧の増加速度から予想される理論的な値とほぼ等しかった。

3) 北太平洋中緯度域の中層では、170°W 以東の方が、それ以西よりも全炭酸の増加速度が相対的に大きかった。

4) 全炭酸の増加が見られる深度は 170°W 以東の方がそれ以西よりも浅いが、3) の効果があるために、この 21 年間に 30°N 線の水柱中に蓄積された人為起源炭素の現存量は、東西方向で殆ど変化がなかった。

4. 得られた全炭酸の測定値と他のパラメータを組み合わせて、産業革命から現在に至るまでの期間に、海洋に蓄積された人為起源炭素の量を算出する方法を考え出した。これは従来から幾つかの方法が提案されているが、本研究で得られた高精度な観測値を用いる事により計算法を改良し、確からしい値を得ることができた。この結果明らかになった新たな知見は以下のようなものである。

1) 北太平洋中緯度域では、海水中に人為起源炭素が蓄積されている深度の下限は、西部が最も大きく、1200-1300m であった。この後東に行くにつれて浅くなったが、最も東でも水深 600m までは人為起源炭素の蓄積が見られた。

2) 北太平洋中緯度域に蓄積されている人為起源炭素の分布は、中深層では深さと共に減少するが、等密度面上ではほぼ一様であり、東西方向の変化がほとんど見られなかった。

3) 北太平洋中緯度域における人為起源炭素の蓄積量は、180°E 以西で最も大きく、 $386 \pm 56 \text{gC/m}^2$ で、それ以东を含めた北太平洋中緯度域の全域でも、平均で 330gC/m^2 程度であった。

4) 西部北太平洋の高緯度域では、人為起源炭素の蓄積量は $75 \pm 13 \text{gC/m}^2$ であり、中緯度域のほぼ 5 分の 1 であった。

以上の結果は、北太平洋亜熱帯域の全域が人為起源炭素のリザーバとして大きな役割を果たしていることを、観測結果から初めて定量的に裏付けたものであり、博士（水産学）の学位を授与するにふさわしいものと審査委員一同は認めた。