

学 位 論 文 題 名

Studies on estimation of the amount
of air bubble injection using dissolved Nitrogen,
Argon and Oxygen in the oceanic subsurface layer

(海洋亜表層における溶存窒素, アルゴン, 酸素を用いた
気泡貫入量の見積もりに関する研究)

学位論文内容の要旨

IPCC climate change 2001 (Houghton et al., 2001) では、人為起源大気二酸化炭素の増加により地球の平均気温が今世紀末に 1.4℃-5.8℃ 上昇する可能性を報告している。Sarmient et al. (1998) はモデル計算により、将来地球温暖化により海洋の水塊形成量が減少する可能性を示唆している。また、1970 年代から 1990 年代までの CFCs や溶存酸素、栄養塩の観測値から、北太平洋では水塊形成量が減少している可能性が報告されている (e.g., Watanabe et al., 2001; Ono et al., 2001)。このように、地球温暖化によって海洋が変化する可能性があり、それは大気-海洋間の相互作用を通して起こる。しかしながら、大気-海洋間の相互作用の過程や変化についての詳細な情報は未だ得られていない。本研究では、大気-海洋間の相互作用の過程や変化の指標として、海洋亜表層中の溶存窒素、アルゴン及び酸素に注目した。窒素とアルゴンは海洋中で不活性であり、その濃度は大気-海洋間の気体交換によってのみ決まる。すなわち、窒素とアルゴンは、海洋亜表層の各水塊が形成された時の気象状況を反映している。さらに、強い荒天時に起こる気泡の貫入量を求めることが出来れば、気象と大気-海洋間の気体交換との関係をより明確に出来る可能性がある。しかし、この変化を捉えるために十分な精度を持つ分析装置は開発されていなかった。

そこで、本研究では、まず過去の研究 (Gamo and Horibe, 1980; Nakayama et al., 2002) に大幅な改良を加え、海洋中の溶存窒素とアルゴンを高精度かつ高速で分析可能な装置を開発した。主な改良点は、(I) Air-Trap システムの設置、(II) N₂-Ar Trap の設置、(III) CO₂ バックフラッシュシステムの設置、(IV) バルブ操作の自動化 である。改良の結果、分析精度は窒素が 0.04%、アルゴンが 0.05%、酸素が 0.02% となり、過去の研究より一桁高い精度を実現した。本装置を用い、2005 年に北西部北太平洋における窒素、アルゴンの表層から深層 (3000 m) までの鉛直濃度分布を初めて見積もった。その結果、窒素の濃度範囲は 535.61 – 601.90 $\mu\text{mol/kg}$ 、飽和度の範囲は 98.13 – 104.20 %、アルゴンの濃度範囲は 14.423 – 16.162 $\mu\text{mol/kg}$ 、飽和度の範囲は 96.79 – 102.19 % であり、各水塊で異なる値を示した。さらに、本研究では窒素、アルゴン濃度とその飽和度を用い、気泡の貫入量を求める方法を提案した。その結果、気泡の貫入量の範囲は 20 – 52 $\mu\text{mol/kg}$ であり、各水塊で大きく異なっていた。これにより、気泡の貫入量は、大気-海洋間の相互作用の過程や変化の指標に

なりうることが示唆された。また、この方法により、水塊形成時の酸素の濃度及び飽和度を推定することができ、その範囲はそれぞれ、 $311-334\text{ }\mu\text{mol/kg}$ 、 $96.3-101.8\%$ であった。一般的に、海洋亜表層の人為起源二酸化炭素の見積もりでは、水塊形成時の酸素濃度が飽和であるという仮定のもとに計算されているが、その値は再評価する必要がある。同様に、水塊形成時のCFCの飽和度を推定することができ、その範囲は $92-98\%$ であった。一般的に、CFC年代決定法は水塊形成時の酸素濃度が飽和であるという仮定のもとに計算されているが、その値についても再評価する必要がある。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 乗 木 新 一 郎

副 査 教 授 吉 川 久 幸

副 査 助 教 授 渡 辺 豊

副 査 教 授 蒲 生 俊 敬 (東京大学海洋研究所)

副 査 室 長 小 埜 恒 夫 (独立行政法人水産科学総合研究センター北海道区
水産研究所・亜寒帯海洋
環境部・生物環境研究室)

学 位 論 文 題 名

Studies on estimation of the amount of air bubble injection using dissolved Nitrogen, Argon and Oxygen in the oceanic subsurface layer

(海洋亜表層における溶存窒素, アルゴン, 酸素を用いた
気泡貫入量の見積もりに関する研究)

IPCC climate change 2001 (Houghton et al., 2001) では、人為起源大気二酸化炭素の増加により地球の平均気温が今世紀末に 1.4°C – 5.8°C 上昇する可能性を報告している。Sarmient et al. (1998) はモデル計算により、将来地球温暖化により海洋の水塊形成量が減少する可能性を示唆している。また、1970 年代から 1990 年代までの CFCs (クロロフルオロカーボン類) や溶存酸素、栄養塩の観測値から、北太平洋では水塊形成量が減少している可能性が報告されている (e. g., Watanabe et al., 2001; Ono et al., 2001)。このように、地球温暖化によって海洋が変化する可能性があり、それは大気–海洋間の相互作用を通して起こる。しかしながら、大気–海洋間の相互作用の過程や変化についての詳細な情報は未だ得られていない。そこで、申請者は、大気–海洋間の相互作用の過程や変化の指標として、海洋亜表層中の溶存窒素、アルゴン及び酸素に注目した。窒素とアルゴンは海洋中で不活性であり、その濃度は大気–海洋間の気体交換によってのみ決まる。すなわち、窒素とアルゴンは、海洋亜表層の各水塊が形成された時の気象状況を反映している。さらに、強い荒天時に起こる気泡の貫入量を求めることが出来れば、気象と大気–海洋間の気体交換との関係をより明確に出来る可能性がある。しかし、この変化を捉えるために十分な精度を持つ分析装置は開発されていなかった。

申請者は、まず過去の研究 (Gamo and Horibe, 1980; Nakayama et al., 2002) に大幅な改良を加え、海洋中の溶存窒素とアルゴンを高精度かつ高速で分析可能な装置を開発した。主な改良点は、(I) Air-Trap システムの設置による窒素、アルゴン、酸素の濃縮、(II) N_2 - CO_2 Trap システムの設置による試料導入量の倍増、(III) CO_2 バックフラッシュシステムの設置による窒素濃度の正確な定量、(IV) バルブ操作の自動化による正確で確実な操作、である。改良の結果、分析精度は窒素が 0.04%、アルゴンが 0.05%、酸素が 0.02% となり、過去の研究より一桁高い精度を実現した。また、分析に要する時間は一試料あたり 10 分であり、分析の高速化が実現した。

本装置を用い、2005 年に北西部北太平洋における窒素、アルゴンの表層から深層 (~3000 m) までの鉛直濃度分布を初めて明らかにした。その結果、窒素の濃度範囲は 535.61 - 601.90 $\mu\text{mol/kg}$ 、飽和度の範囲は 98.13 - 104.20 %、アルゴンの濃度範囲は 14.423 - 16.162 $\mu\text{mol/kg}$ 、飽和度の範囲は 96.79 - 102.19 % であり、亜表層では、アルゴンに比べて窒素の飽和度が高いという新しい知見を得た。さらに、1000 m から 3000 m の間でも飽和度は一定ではなく、各水塊で異なる値を示した。

申請者は次に、窒素、アルゴン濃度とその飽和度との関係の 2 つの式を連立で解くことによる、気泡の貫入量を求める方法を提案した。その結果、気泡の貫入量は表層 (0-100m) で 20 - 52 $\mu\text{mol/kg}$ 、中層 (100-300m) で 20 - 51 $\mu\text{mol/kg}$ 、中暖層水 (300-1000m) で 26 - 43 $\mu\text{mol/kg}$ 、深層 (1000-3000m) で 24 - 41 $\mu\text{mol/kg}$ であり、各層で大きく異なっていた。すなわち、気泡の貫入量は、大気-海洋間の相互作用の過程や変化の指標になりうることを示唆された。

提案された方法により、水塊形成時における窒素とアルゴンに加えて、他の気体の濃度及び飽和度を推定することが可能である。申請者は、海洋中で有機物の分解等の指標として用いられる酸素について濃度及び飽和度を推定し、その範囲をそれぞれ、311 - 334 $\mu\text{mol/kg}$ 、96.3 - 101.8 % と見積もった。一般的に、海洋亜表層の人為起源二酸化炭素吸収量の見積もりでは、水塊形成時の酸素濃度が飽和であるという仮定のもとに計算されているが、この方法を用いると人為起源二酸化炭素吸収量が最大で約 10 $\mu\text{mol/kg}$ 過小評価となることを示した。将来的に、窒素、アルゴンの時空間分布を求め、この方法により人為起源二酸化炭素吸収量を再評価する必要があるとした。さらに申請者は、海洋亜表層の水塊年齢の見積もりに用いられる CFCs についても水塊形成時の飽和度を推定し、その範囲が 92-98% であることを示した。一般的に、CFCs 年齢決定法は水塊形成時に濃度が飽和であるという仮定のもとに計算されているが、この方法を用いると従来法の結果に比べて水塊年齢が最大で 8 年若くなり、これまでの知見を再評価する必要があることを提示した。

審査員一同はこれらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院博士課程における研鑽や修得単位などもあわせ、申請者が博士 (地球環境科学) の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。