

学 位 論 文 題 名

Study on seawater circulation in the western North Pacific
and its marginal sea in the viewpoint of distribution
of radiocarbon in seawater

（海水中の放射性炭素分布から見た西部北太平洋と
その縁辺海の海水循環に関する研究）

学位論文内容の要旨

海水中に溶存態として存在する放射性炭素（以下、 ^{14}C ）は、主に海洋表面を通じて大気中二酸化炭素によってもたらされ、海水とともに流動し、時間の経過とともにその存在量を減少させる（半減期 5730 年）ため、海水循環、特に深層水循環のトレーサー（追跡子）として有効である。一方、1950 年代以降の核実験等による人為的な ^{14}C が環境中に大量に放出された。この核実験由来の ^{14}C は、過去 50 年間の大気-海洋間の二酸化炭素ガス交換、あるいは海洋表層から中層域での海水循環に情報を与えるトレーサーとしての役割を持つ。本研究では、西部北太平洋海域及びその縁辺海において広範な ^{14}C の測定を行い、当該海域の海水循環機構を化学的に検証した。

本研究では、多数の試料を効率よく、かつ高精度で分析及び解析するために、海水中の ^{14}C 測定法として加速器質量分析装置（AMS）を採用した。AMS 法は、従来法である β カウンティング法に比べ、測定精度で若干劣るものの、試料の絶対量、計測時間など多数の試料を効率よく測定するには最も優れた方法である。日本原子力研究所むつ事業所は、1997 年に AMS を設置し、測定の最適条件等を検討して現行の世界最高水準である測定精度（繰り返し精度）、0.2% 以下を達成した。標準試料による確度の確認では概ね良好の結果を得たが、バックグランド値が他の研究機関に比べて高い値（試料年齢にして約 5 万年前）を示した。しかし、海水の循環は、深層水循環でも 2 千年程度であり、本研究遂行には支障はない。

西部北太平洋海域、東経 165 度上における詳細な 1990 年代初頭の ^{14}C 鉛直分布を明らかにした。Broecker ら（1995）の方法を用いて天然由来及び核実験由来の ^{14}C

に分割して解析すると、極前線を越えた北緯 40 度以北では密度 $27.2\sigma_\theta$ 以上の深層水中に核実験由来の ^{14}C が存在するが、北緯 40 度以南には存在しない。さらに 1973 年に採水された GEOSECS の結果と比較すると、この 20 年余に北緯 15 度以北で核実験由来の ^{14}C が 20-30% 増加していた。これを各緯度帯で比較すると、中層における増加分に対応しており、亜熱帯域中層に蓄積されているよう見える。これは亜寒帯域の中深層にまで溶け込んだ核実験由来の ^{14}C が、北太平洋中層水に取り込まれ南下し、亜熱帯域中層に運ばれていることを示している。また本研究で得られた深層水（密度 $27.2\sigma_\theta$ 以上と仮定）中の ^{14}C を基に、「海水の年齢」を算出した。最も古い海水は北緯 35-40 度の水深 2000-2500m に存在し、約 2000 年と見積もられた。赤道域深層では約 1500 年であり、当該海域では鉛直方向の混合に比べ、水平方向の移流が格段に大きいことが検証された。

1997 年、IAEA-MEL（国際原子力機関-海洋環境研究所）が実施した南西部北太平洋海域における海洋放射能調査に参加し、GEOSECS における観測点と同一の 3 地点において ^{14}C 測定を行った。水柱に含まれる核実験由来の ^{14}C 存在量を 1973 年時と 1997 年時で比較した結果、全ての観測点で 30% 程度ずつ増加していることが分かった。詳細に解析すると、密度 $26.2\sigma_\theta$ 以下の表層水では減少、逆に $26.2-26.8\sigma_\theta$ の中層水では増加していることが明らかとなり、上述の結果を支持するものであった。

太平洋の縁辺海であるオホーツク海と太平洋の主要な海水交換の場と推測されているブッソール海峡周辺において ^{14}C を測定した。 ^{14}C と密度の鉛直断面を比較するとよく一致していたが、ブッソール海峡では、水深 0-400m でほぼ同一の濃度を示し、表層-亜表層間で激しい上下混合の様子が観測された。この結果は、潮汐混合の影響ではないかと推測している。さらに密度 $27.3\sigma_\theta$ 以下の海水について核実験由来の ^{14}C 存在量を太平洋とオホーツク海で比較した結果、オホーツク海の方が有意に多いことが明らかになった。この事実は、両者間の海水特性の相違を表しており、海峡周辺の激しい上下混合によって太平洋-オホーツク海間の海水交換が本質的には小さいということを示唆しているのかもしれない。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	角 皆 静 男
副 査	教 授	垂 木 新一郎
副 査	助教授	田 中 教 幸
副 査	助教授	渡 辺 豊
副 査	教 授	若 土 正 暁 (北大低温科学研究所)
副 査	教 授	蒲 生 俊 敬 (北大大学院理学研究科)
副 査	研究主幹	渡 邊 修 一 (海洋科学技術センター)

学 位 論 文 題 名

Study on seawater circulation in the western North Pacific and its marginal sea in the viewpoint of distribution of radiocarbon in seawater

(海水中の放射性炭素分布から見た西部北太平洋と
その縁辺海の海水循環に関する研究)

海水中に溶存態として存在する放射性炭素（以下、 ^{14}C ）は、主に海洋表面を通じて大気中二酸化炭素によってもたらされ、海水とともに流動し、時間の経過とともにその存在量を減少させる（半減期 5730 年）ため、海水循環、特に深層水循環のトレーサー（追跡子）として有効である。一方、1950 年代以降の核実験等による人為的な ^{14}C が環境中に大量に放出された。この核実験由来の ^{14}C は、過去 50 年間の大気-海洋間の二酸化炭素ガス交換、あるいは海洋表層から中層域での海水循環に情報を与えるトレーサーとしての役割を持つ。そこで申請者は、これまで観測がほとんど行われていない西部北太平洋海域及びその縁辺海において広範な ^{14}C の測定を行い、当該海域の海水循環機構を化学的に検証した。

多数の試料を効率よく、かつ高精度で分析及び解析するために、海水中の ^{14}C 測定法として近年開発された加速器質量分析装置（AMS）を採用した。AMS 法は、従来法である β カウンティング法に比べ、測定精度で若干劣るものの、試料の絶対量、計測時間など多数の試料を効率よく測定するには最も優れた方法である。日本原子力研究所むつ事業所は、1997 年に AMS を設置し、測定の最適条件等を検討して現行の世界最高水準である測定精度（繰り返し精度）、0.2% 以下を達成した。標準試料による確度の確認では概ね良好の結果を得たが、バックグラウンド値が他の研究機関に

比べて高い値（試料年齢にして約 5 万年前）を示した。しかし、海水の循環は、深層水循環でも 2 千年程度であり、本研究遂行には支障はないと判断される。

西部北太平洋海域、東経 165 度上における詳細な 1990 年代初頭の ^{14}C 鉛直分布を明らかにした。Broecker et al. (1995) の方法を用いて天然由来及び核実験由来の ^{14}C に分割して解析すると、極前線を越えた北緯 40 度以北では密度 $27.2\sigma_\theta$ 以上の深層水中に核実験由来の ^{14}C が存在するが、北緯 40 度以南には存在しない。さらに 1973 年に採水された GEOSECS の結果と比較すると、この 20 年余に北緯 15 度以北で核実験由来の ^{14}C が 20-30% 増加していた。これを各緯度帯で比較すると、中層における増加分に対応しており、亜熱帯域中層に蓄積されているよう見える。これは亜寒帯域の中深層にまで溶け込んだ核実験由来の ^{14}C が、北太平洋中層水に取り込まれ南下し、亜熱帯域中層に運ばれていることを示している。また本研究で得られた深層水中の ^{14}C をもとに、「海水の年齢」を算出した。最も古い海水は北緯 35-40 度の水深 2000-2500m に存在し、約 2000 年と見積もられた。赤道域深層では約 1500 年であり、当該海域では鉛直方向の混合に比べ、水平方向の移流が格段に大きいことが検証された。

1997 年、IAEA-MEL が実施した南西部北太平洋海域における海洋放射能調査に参加し、GEOSECS における観測点と同一の 3 地点において ^{14}C 測定を行った。水柱に含まれる核実験由来の ^{14}C 存在量を 1973 年時と 1997 年時で比較した結果、全ての観測点で 30% 程度ずつ増加していることが分かった。詳細に解析すると、密度 $26.2\sigma_\theta$ 以下の表層水では減少、逆に $26.2-26.8\sigma_\theta$ の中層水では増加していることが明らかとなり、上述の結果を支持するものであった。

太平洋の縁辺海であるオホーツク海と太平洋の主要な海水交換の場と推測されているブッソール海峡周辺において ^{14}C を測定した。 ^{14}C と密度の鉛直断面を比較するとよく一致していたが、ブッソール海峡では、水深 0-400m でほぼ同一の濃度を示し、表層-亜表層間で激しい上下混合の様子が観測された。この結果は、潮汐混合の影響ではないかと推測している。さらに密度 $27.3\sigma_\theta$ 以下の海水について核実験由来の ^{14}C 存在量を太平洋とオホーツク海で比較した結果、オホーツク海の方が有意に多いことが明らかになった。この事実は両者間の海水特性の相違を表しており、海峡周辺の激しい上下混合によって太平洋-オホーツク海間の海水交換が本質的には小さいかもしれないという結論を得た。

審査員一同は、これらの研究成果を高く評価した。また研究者として研鑽を重ねており、その研究に対する態度も誠実かつ熱心であることなども併せ、申請者が博士（地球環境科学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定した。