

学 位 論 文 題 名

クロロフルオロカーボンを用いた
北太平洋中層水に関する研究

学位論文内容の要旨

地球温暖化問題については、主要な原因と考えられている人間活動に伴い放出される二酸化炭素の挙動の解明と対応が国際的に重要な課題となっている。そのため、放出された二酸化炭素の巨大なリザーバーである海洋の吸収能力と吸収メカニズムなどについて解明するため、海表面の大気・海水中の二酸化炭素分圧や水質、様々な気象・海象データ、さらには生物などを測定して気象学、海洋学、生物地球化学および海洋地質学的な情報の収集がなされている。そして、さらに海洋における炭素循環メカニズムのモデルを構築し、観測データと合わせることでより大気中二酸化炭素濃度の調節に関する海洋の役割を評価する試みもまた進められている。

1990年のIPCCの報告 (Houghton *et al.* 1990)によると、大気中へと放出されるCO₂量のうち $1.6 \pm 1.4 \text{ GtCyr}^{-1}$ ($1 \text{ Gt} = 10^{15} \text{ g}$)の行方が現在不明となっている。これは非常に大きなものであるため、Missing Sinkと呼ばれている。最近、Tsunogai *et al.* (1993)は、北太平洋中層水の形成が大気中のCO₂の除去に大きな役割を果たしている、と述べた。これは、北太平洋中層水が形成されていると考えられている西部北太平洋域は、冬季には大気-海洋間での気体交換が活発に行われる荒天が長く続く海域だからである。そこで、本研究では西部北太平洋域により多くの観測点を設け、数10年規模での海洋の現象を評価するのに適したクロロフルオロカーボン(CFCs、トリクロロフルオロカーボン(CFC-11)とジクロロジフルオロカーボン(CFC-12))を化学トレーサーとして用い、CO₂のMissing Sinkとして期待される北太平洋中層水の形成過程についての知見を得ることを目的とした。

そのため、本研究では、CFCsを高精度に測定するためのCFCs測定システムを作製した。もともと海水中のCFCsは、現在の工業製品のほとんどすべての生産に使用され、それが大気圏を経由して海洋へと溶入したものである。CFCsの海水への溶解度は極めて低いので、わずかな大気の混入や試料水と接触する様々な器具類からの汚染の影響を大きく受けてしまう。本研究で作製したCFCs測定システムは

CFCs の低温吸着性を利用した Bullister and Weiss(1988)をもとに作製した。これを用いることにより、CFC-11 および CFC-12 について 4 あるいは 2 pmol/kg 程度の表面海水試料をおよそ 0.2% の繰り返し精度で、また、150ppt (10^{-12}) 程度の標準ガス試料を CFC-11 で 0.7%、CFC-12 で 0.9% の繰り返し精度で測定できるようになった。

しかし、試料海水を得るための採水装置については、これまで十分な検討がなされていなかった。一般に海洋観測で用いられているニスキン採水器では、それに使用されている o-リングや内壁からの CFCs の拡散や、排水開始後の採水器上部空気口からの大気の進入によって試水が汚染を受けることがすでに報告されて、10 リットルあるいはそれ以上のニスキン採水器の使用が提唱されている。しかし、10 リットルやそれ以上大型のニスキン採水器を装着できる大型のロゼットサンプラーは、特定の観測船でしか用いることができない。そこで比較的小型の観測船でも使用が可能で、操作が簡便な、無汚染採水器の作製を試みた。作製した装置は、試料吸引部と試料保存部からできている。試料吸引部は、プラスチック製シリリングとステンレス製押しばね、そしてこれらを覆う塩化ビニルパイプからなる。押しばねは、ロゼットシステムのトリッパーに、ニスキン採水器の上ぶたからでている引きひもとともひっかけることで縮められる。そして、目的とする深度でニスキン採水器のふたが閉まるのと同時に押しばねが開放され、プラスチックシリリングのシリンドーが引かれ、試水が吸引される仕組みである。一方試料保存部は、両端にルアーロック型の 3 方活栓がついた長さ約 50 cm の真鍮製の管 (25 cc) である。試料管の両端には長さ 20 cm、内径 2 mm の管を取付け、これと 2 組の吸引部のシリリングがポリエチレン製チューブでつながっている。この細い管を用いることにより試料導入後の試料と外界の水との拡散混合を防ぐことができる。また、1 試料に対して、試料吸引部を 2 つ用いるので、約 3 倍量の試水が試料管を通るので試料管内部の洗浄が十分にできる。試料吸引部は機械バンドで、また、試料保存部はゴムバンドでニスキン採水器に固定して用いた。作製した採水装置を、実際に北太平洋水に応用した結果、同時に得られた 1.7 リッターニスキン採水器から得られた試料の CFC-11 と CFC-12 の測定値よりも有意に低い測定値が得られた。また、水深 1500 m からは、検出限界以下の測定値も得られた。さらに、試料回収後、8 時間程度であれば、充分試料の保存が可能であることもわかった。

上に述べた、CFCs 測定システムおよび CFCs 測定用海水試料採水装置を用い、西部北太平洋域の 75 測点において CFCs の観測を行い、以下のような結果を得た。

①得られた CFCs の南北断面図は、深くなるに従い、また南に向かうに従って CFCs 濃度が減少する様子を示した。これは、低温の表面水が北の海域から貫入し、亜寒帯から亜熱帯へと広がっている様子を表すものである。

②各測点での水柱における CFCs の存在量を見ると、20° N における存在量は 30° N における存在量のおよそ 70 % になっていた。165° E と 145° E の同緯度での

CFCs の存在量を比較するとより東側の 165° E でやや小さくなっていた。これは、この海域において東向きのかかなり速い流れが存在することを示すものかもしれない。

③ 26.4 、 26.6 、 26.8 、 27.0 および $27.2 \sigma_{\theta}$ における各等密度面上の CFC-11 の濃度と大気中 CFC-11 濃度、ポテンシャル温度および塩分から計算される飽和度からは、各密度面における CFC-11 の濃度および飽和度の極大が 40° N 付近の極前線周辺に存在していた。すなわち、より最近形成された中層水が存在していた。また、 $26.8 \sigma_{\theta}$ 以深で急激に飽和度は減少していた。

④ CFC-11/CFC-12 比にもとづく CFC 年代（その水が表面に存在していた時期）からは、CFC-11 の飽和度の極大が存在していたあたりで大気中の CFC-11/CFC-12 比が一定となった 1975 年以降に形成された水が存在していた。

③④より $26.6 \sigma_{\theta}$ よりも上層の中層水は、古い水と混合することなく冬季に表面の冷却により形成され、 $26.8 \sigma_{\theta}$ より下層の中層水は、CFCs を含まない充分古い水を鉛直的に混合することによって形成されと考えられる。言い換えれば、より下層の中層水はその形成時にすでに、CFCs や CO_2 について薄められていることになる。このことは、Tsunogai *et al.* (1993) が見積もったこの海域における CO_2 の増加速度よりも大気から海洋への移行速度が大きいことになり、この海域で形成されと考えられる北太平洋中層水の CO_2 の Missing Sink としての可能性をさらに強く支持するものといえよう。

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

クロロフルオロカーボンを用いた

北太平洋中層水に関する研究

地球温暖化問題については、主要因とされている二酸化炭素の挙動の解明と対応が国際的に重要な課題となっている。そのため、放出された CO_2 の巨大なリザーバーである海洋の吸収能力と吸収メカニズムなどについて解明するため、さまざまな情報の収集がなされている。そして、さらに海洋における炭素循環メカニズムのモデルを構築し、観測データと合わせることにより大気中 CO_2 濃度の調節に関する海洋の役割を評価する試みもまた進められている。

北太平洋中層水が形成されていると考えられている西部北太平洋域は、冬季には大気-海洋間での気体交換が活発に行われる荒天が長く続く海域だからであり、大気中 CO_2 大きな除去源として期待される。そこで、本研究では西部北太平洋域により多くの観測点を設け、クロロフルオロカーボン (CFCs, (CFC-11 と CFC-12)) を化学トレーサーとして用い、 CO_2 の除去源として期待される北太平洋中層水の形成過程についての知見を得ることを目的とした。

そのため、本研究では、CFCs を高精度に測定するための CFCs 測定システムを作製した。海水中の CFCs は、現在の工業製品のほとんどすべての生産に使用され、それが大気圏を経由して海洋へと溶入したものである。CFCs の海水への溶解度は極めて低いので、わずかな大気の混入や試料水と接触する様々な器具類からの汚染の影響を大きく受けてしまう。本研究で作製した CFCs 測定システムは CFCs の低温吸着性を利用した Bullister and Weiss(1988)をもとに作製した。これを用いることにより、CFC-11 および CFC-12 について 4 あるいは 2 pmol/kg 程度の表面海水試料をおよそ 0.2% の繰り返し精度で、また、150ppt (10^{-12}) 程度の標準ガス試料を CFC-11 で 0.7%、CFC-12 で 0.9% の繰り返し精度で測定できるようになった。

しかし、試料海水を得るための採水装置については、これまで十分な検討がなされていなかった。一般に海洋観測で用いられているニスキン採水器では、それに使用されている o-リングや内壁からの CFCs の拡散や、排水開始後の採水器上部空気口からの大気の進入によって試水が汚染を受けることがすでに報告されて、

10 リットルあるいはそれ以上のニスキン採水器の使用が提唱されている。しかし、10 リットルやそれ以上大型のニスキン採水器を装着できる大型のロゼットサンプラーは、特定の観測船でしか用いることができない。そこで比較的小型の観測船でも使用が可能で、操作が簡便な、無汚染採水器の開発、作製を行った。作製した採水装置を、実際に北太平洋水に応用した結果、同時に得られた 1.7 リッターニスキン採水器から得られた試料の CFC-11 と CFC-12 の測定値よりも有意に低い測定値が得られた。また、水深 1500 m からは、検出限界以下の測定値も得られた。さらに、試料回収後、8 時間程度であれば、充分試料の保存が可能であることもわかった。

上に述べた、CFCs 測定システムおよび CFCs 測定用海水試料採水装置を用い、西部北太平洋域の 75 測点において CFCs の観測を行い、以下のような結果を得た。

①得られた CFCs の南北断面図は、深くなるに従い、また南に向かうに従って CFCs 濃度が減少する様子を示した。これは、低温の表面水が北の海域から貫入し、亜寒帯から亜熱帯へと拡がっている様子を表すものである。

②各測点での水柱における CFCs の存在量を見ると、 20° N においては 30° N のおよそ 70% になっていた。 165° E と 145° E の同緯度での CFCs の存在量を比較するとより東側の 165° E でやや小さくなっていた。これは、この海域において東向きのかかなり速い流れが存在することを示すものかもしれない。

③ 26.4、26.6、26.8、27.0 および 27.2 σ_{θ} における各等密度面上の CFC-11 の濃度と大気中 CFC-11 濃度から計算される飽和度の分布を見ると極大が 40° N 付近の極前線周辺に存在していた。すなわち、より最近形成された中層水が存在していた。また、26.8 σ_{θ} 以深で急激に飽和度は減少していた。

④ CFC-11/CFC-12 比にもとづく CFC 年代からは、CFC-11 の飽和度の極大が存在していたあたりに 1975 年以降に形成された水が存在していた。

③④より 26.6 σ_{θ} よりも上層の中層水は、古い水と混合することなく冬季に表面の冷却により形成され、26.8 σ_{θ} より下層の中層水は、充分古い水を鉛直的に混合することによって形成され则认为られる。

以上の成果は、北太平洋中層水に関する新たな知見を加えた。よって、博士（水産学）を受けるのにふさわしいものと審査員一同は認めた。