

学 位 論 文 題 名

Meridional Transport of the North Pacific Intermediate Water across 37°N Line based on the Objective Analysis of Lowered Acoustic Doppler Current Profiler Data

(LADCP データの客観解析に基づく 37°N 線を横切る北太平洋中層水の南北流量)

学位論文内容の要旨

北太平洋亜熱帯循環域周辺の水深 300--700m、ポテンシャル密度で表すと $26.8\sigma_\theta$ 付近には、明確な塩分極小水が存在する。これは北太平洋中層水(NPIW)と呼ばれている。これまでの研究より、NPIW は本州東方沖に位置する、親潮前線と黒潮続流に挟まれた黒潮・親潮・混合水域周辺にて、高温度・高塩分の黒潮水と低温度・低塩分の親潮水が主に等密度面混合して形成され、黒潮続流によって東へ移流される事で亜熱帯循環域に分布していくと考えられている。

過去に得られたデータを全て使用し、平均化して作成された気候値データによると、混合水域における NPIW 密度層での塩分平面分布は、親潮前線から黒潮続流に南下するにつれて値が大きくなっていく。これは、混合水域の NPIW は、親潮前線を東西広域に渡って越えて南下してきた親潮水と、黒潮続流から北上してきた黒潮水が混合して形成されている事を示唆する。一方、気候値データではなく、短期間領域限定高解像度集中観測データによる混合水域の NPIW 密度層での塩分平面分布上では、親潮水が本州沿岸付近を南下、直接黒潮続流に到達して続流中の黒潮水と混合し NPIW を形成している状況を示す場合がある。そして黒潮続流中の NPIW の 1 部は混合水域特有の中規模力学場の影響を受けて北上し、混合水域の NPIW を形成している可能性を示唆する。すなわち、混合水域に分布する NPIW の起源となる親潮水は、親潮前線を越えて南下してくるのか、黒潮続流から北上してくるのか、今だによくわかっていない。

そこで本研究では亜熱帯循環領域北西部に位置する混合水域に分布する NPIW の形成過程を明らかにする事を目的として、混合水域を東西広域に横切る観測線・37°N 線上を通過する NPIW の客観的南北流量を計算した。

使用データは、1998 年 7 月に東北区水産研究所調査船「若鷹丸」によって観測された 37°N 線 141--180°E 間の CTD-RMS 及び Lowered Acoustic Doppler Current Profiler (LADCP) による絶対流速値である。また、37°N 線上の NPIW は黒潮水と親潮水が等密度面混合した水であると仮定し、その混合比、更には流量の黒潮水・親潮水各成分を求める為に、1998 年 5--6 月に中央水産研究所調査船「蒼鷹丸」によって得られた CTD データより導出された純粋黒潮水・親潮水それぞれの温位—塩分プロファイルも使用した。

流量計算時には、より正確な値を導出する為、地衡流無流面での流速を LADCP データを用いて導出した「調整地衡流速」を使用した。更に統計的客観性を高める為、最適内挿法(客観解析法)を、調整地衡流を含む流量導出時に必要な全パラメータに対して各等密度面上水平

方向(東西方向)に適用し、推定流量と空間内挿誤差流量も導出した。以下から結果を示す。

NPIW の密度層である $26.6\text{--}27.5\sigma_\theta$ 層において、シャツキー海嶺より西側($141\text{--}157^\circ\text{E}$)では北上傾向 ($12.0\pm 4.6\text{ Sv}$)、東側 ($157\text{--}179.5^\circ\text{E}$)では南下傾向 ($4.4\pm 3.6\text{ Sv}$) となった。それぞれの領域において、推定流量と誤差流量の規模を比較すると、シャツキー海嶺より西側での北上流量は有意な傾向であると考えられる。比較の為、 1500 dbar 基準の地衡流を用いて流量を計算すると、 $141\text{--}180^\circ\text{E}$ 全域に渡って緩やかながら北上傾向となり、シャツキー海嶺を境に傾向が変わる事はなかった。この事は、LADCP による直接流速値を用いて導出した調整地衡流速を使用する事の重要性を示す。

$26.6\text{--}27.5\sigma_\theta$ 層において、温位と塩分から求まる親潮水混合比の経度分布を見ると、 $141\text{--}150^\circ\text{E}$ 間では局所的に激しく変化していた。これは黒潮水と親潮水があまり混合していない事を示す。一方 $150\text{--}180^\circ\text{E}$ 間では比較的良く混合しており、混合比分布は $27.0\text{--}27.1\sigma_\theta$ 層を中心にして上層と下層で線対称構造となった。この事より、 $26.6\text{--}27.0\sigma_\theta$ 層と $27.0\text{--}27.5\sigma_\theta$ 層では NPIW の形成過程が異なる可能性が示唆された。ここで前者を上層 NPIW($26.6\text{--}27.0\sigma_\theta$)、後者を下層 NPIW($27.0\text{--}27.5\sigma_\theta$)と区別する。上層・下層それぞれの平均親潮水混合比の値は約 0.4 であった。

北上傾向領域であるシャツキー海嶺より西側($141\text{--}157^\circ\text{E}$)に注目する。上層 NPIW ($26.6\text{--}27.0\sigma_\theta$)では北上流量は $4.1\pm 1.2\text{ Sv}$ (黒潮水 $3.0\pm 0.7\text{ Sv}$ ・親潮水 $1.1\pm 0.5\text{ Sv}$)となり、推定流量から求まるフラックスとしての親潮水混合比は $1.1/4.1\approx 0.27$ となった。一方、温位と塩分から求まる上層 NPIW の存在量としての親潮水混合比は、 37°N 線上では先述した通り 0.4 となり、更に気候値塩分データより見積もられる 37°N 以北の混合水域の上層 NPIW の親潮水混合比も約 0.4 となった。ここで北を親潮前線、南を 37°N 線、東を 157°E 線で囲まれた混合水域のボックスを考える。 157°E 線からは先述した親潮水混合比 0.4 のよく混合した NPIW が東へ流出していると仮定すると、ボックス内の存在量としての親潮水混合比を 0.4 に維持する為には、約 1 Sv の親潮水が親潮前線を越えて南下しなければいけない。従って 37°N より北側・シャツキー海嶺より西側の上層 NPIW は、黒潮続流から北上してきたと考えられる黒潮水と親潮水に加えて、親潮前線を越えて南下してきた親潮水も混合して形成されているという事が、少なくともこの観測期間においては示唆された。

同様の考え方を下層 NPIW ($27.0\text{--}27.5\sigma_\theta$)にも適用する。北上流量は $7.9\pm 3.4\text{ Sv}$ (黒潮水 $4.7\pm 1.9\text{ Sv}$ ・親潮水 $3.2\pm 1.5\text{ Sv}$) となり、推定流量から求まるフラックスとしての親潮水混合比は $3.2/7.9\approx 0.41$ となった。上層 NPIW の場合と同じボックスを考え、同様に 157°E 線から親潮水混合比 0.4 のよく混合した NPIW が東へ流出していると仮定すると、既に 37°N 線から北上してくるフラックスとしての親潮水混合比約 0.4 と、ボックス内の存在量としての親潮水混合比 0.4 がつり合っているので、新たな親潮水の供給は必要無い。従って 37°N より北側・シャツキー海嶺より西側の下層 NPIW は、黒潮続流中の NPIW の 1 部が北上して形成・維持されている可能性が示唆された。

シャツキー海嶺より西側では何故北上流量傾向になるのであろうか？表層でのエクマン流による南下流量を補う為、西岸付近の中層で北上流量が発生している可能性がある。また、黒潮続流はシャツキー海嶺で分岐する事が知られており、北に分岐した黒潮続流が 37°N 線を横切る事で卓越した北上流量が発生した可能性も、今回の観測では示唆された。

シャツキー海嶺より東側では南下流量傾向が示されたが、規模が誤差流量と同程度なので一概に南下傾向だとは判断できない。すなわち北上・南下どちらの傾向が卓越しているのか今回の観測では判断できない。誤差流量が大きくなった理由の 1 つとして、複雑な南北方向の流速場変化が考えられる。シャツキー海嶺より東側では海底地形が比較的複雑に変化しているので、それに対応するように(渦位を保存するように)流速場も複雑に変化しているのかもしれない。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	池 田 元 美
副 査	教 授	久保川 厚
副 査	助教授	大 島 慶一郎
副 査	助教授	山 中 康 裕
副 査	教 授	安 田 一 郎 (東京大学大学院理学系研究科)
副 査	教 授	河 野 時 廣 (北海道東海大学)

学 位 論 文 題 名

Meridional Transport of the North Pacific Intermediate Water across 37°N Line based on the Objective Analysis of Lowered Acoustic Doppler Current Profiler Data

(LADCP データの客観解析に基づく 37° N 線を
横切る北太平洋中層水の南北流量)

北太平洋亜熱帯循環域周辺の水深 300--700m、 $26.8\sigma_\theta$ 付近には、明確な塩分極小水で特徴づけられる北太平洋中層水 (NPIW) が存在する。NPIW は本州東方沖の、黒潮・親潮・混合水域周辺にて、高温・高塩分の黒潮水と低温・低塩分の親潮水が等密度面混合して形成され、黒潮統流によって亜熱帯循環域に分布していくと考えられている。しかしながら、混合水域の NPIW の起源となる親潮水は、東西広域に亘って親潮前線を越えて南下してくるのか、それとも、本州沿岸付近で黒潮統流中に潜り込んだ親潮水の一部が北上してくるのかは未だによくわかっていない。これは主に混合水域における南北流速の絶対値が不明であることと、この海域が中規模スケールの渦により激しく変化することによる。

この混合水域におけるNPIWの形成過程に関するより確かな描像を得るために、申請者は、1998年7月に行われた混合水域に属する 37° N 線上・本州沿岸から180° E 間の東北区水産研究所の観測航海に参加し、その観測により得られたLowered Doppler Current Profiler (LADCP) による流速データとCTDによる水温・塩分のデータを解析した。LADCPは最近開発された流速を直接計る測器であるが、内部重力波等の短周期成分を含む。他方、伝統的な手法である密度場を用いた地衡流計算では、準定常的な流速分布を求めることができるが、その絶対値は分からない。そこで、LADCPによる流れの鉛直プロファイルを用いて絶対的な南北地衡流量 (調整地衡流量) を計算した。

次に、中規模渦の卓越するこの海域で離散的に取られた観測データから計算された結果の信頼性(誤差範囲)を明確にするために、調整地衡流、塩分、水温に最適内挿法を施した。このようにして作成されたデータと黒潮水と親潮水の代表的な水温・塩分分布を用い、経度・密度断面での親潮水の占める割合と、親潮水、黒潮水、それぞれの南北輸送量の東西分布を求めた。これにより、NPIWの密度層である $26.6\text{--}27.5\sigma\theta$ における南北流量は、シャツキー海嶺の西側($141\text{--}157^\circ\text{E}$)では北向き($12.0 \pm 4.6\text{ Sv}$)、東側($157\text{--}179.5^\circ\text{E}$)では南向き($4.4 \pm 3.6\text{ Sv}$)となっていることが示された。西側での北上流量は、客観的に見積もられた誤差よりも十分に大きく、有意であると考えられる。また、親潮水比率の分布よりこの層は上部と下部に分離でき、シャツキー海嶺の西側では、上部NPIWに対応する密度層($26.6\text{--}27.0\sigma\theta$)での北上流量は $4.1 \pm 1.2\text{ Sv}$ (黒潮水 $3.0 \pm 0.7\text{ Sv}$ ・親潮水 $1.1 \pm 0.5\text{ Sv}$)となった。さらに、このような流れが定常的に存在すると仮定した場合には、NPIWの親潮水比率が0.4であることより、 37°N 以北・ 157°E 以西の混合水域の上部NPIWの形成に際して、親潮前線を越えて南下する親潮水の供給が必要である事が示唆された。一方、下部NPIWに対応する密度層($27.0\text{--}27.5\sigma\theta$)では北上流量は $7.9 \pm 3.4\text{ Sv}$ (黒潮水 $4.7 \pm 1.9\text{ Sv}$ ・親潮水 $3.2 \pm 1.5\text{ Sv}$)となり、下部NPIWは黒潮統流中の親潮系の水の一部が北上して形成される、つまり、親潮前線を越えて南下する親潮水の供給は必要ではない事が示唆された。

混合水域のシャツキー海嶺西側での有意な北上流は、新しい測器であるLADCPを用いた調整地衡流の計算並びに最適内挿法による客観的な解析によりはじめて得られたものである。また、一回の観測であるので、長い時間スケールで見たときに親潮水と黒潮水の混合水域での収支が本研究で得られたものと同じになるという保証はないが、親潮水を含む海水が 37°N 線を越えて北上すること、並びに、下部NPIWにおいては沖合で親潮前線を越えて南下する親潮水の供給は必ずしも必要ではないという結果は、今後のこの海域の研究に有意義な示唆を与えるものである。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また、研究に対する態度も誠実かつ熱心であること、大学院課程における研鑽や取得単位なども併せ、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。