

# 論文内容の要旨

論文題目 Study of deep ocean circulations in the North Pacific using lowered acoustic Doppler current profiler (LADCP)

(降下式音響ドップラー流速計(LADCP)を用いた北太平洋の深層循環の研究)

氏名 小 牧 加 奈 絵

## 1. はじめに

北太平洋には、南極周極流から分岐した深層循環流が、南太平洋を経由して西岸沿いに流入している。この深層循環流は、北大西洋起源の北大西洋深層水の特徴をもつ下部南極周極水を運び、3500m 以深を流れている (図1左)。その上層の約 2000-3500m 深 (深層上部) を、やはり南極周極流から分岐した深層循環流が、上部南極周極水を運びながら南太平洋を反時計回りに循環して北太平洋の西岸に流入している (図1右)。ここでは、前者を下部深層循環流、後者を上部深層循環流と呼ぶ。下部深層循環流は北東太平洋海盆に流入し、そこに集まった下部南極周極水は、北太平洋北東部で酸素を消費しケイ酸塩を得て北太平洋深層水となって深層上部を南方および西方に広がる (図1右)。このように、深層循環は、北太平洋でオーバーターンして地球規模の循環を形成しており、熱などの輸送を通して地球環境に大きな影響を与えていると考えられている。

その深層循環を理解するには、正確な循環の流路や流量を知る必要がある。下部深層循環流の流路は、南極域から北緯約 35 度までの北西太平洋海域については比較的よく調べられているが、それより北方の海域および北東太平洋海盆についてはわからない点が多い。本研究では、LADCP を使って北太平洋の深層循環流を調べた。LADCP は音波を海中に発射し、海流に流されている物質に当たって反射してきた音波の周波数のドップラーシフトから流速を測定する測器である。Conductivity temperature depth profiler (CTD) のフレームにつけ、CTD とともに船から昇降させて流速を連続的に測定することができる。しかし、これまでのデータ処理方法では、深層や中緯度域では流速に大きな誤差が生じる。本研究では、LADCP で測る流速と音波の反射強度データの関係を調べ、反射強度をパラメータとして使って流速を補正する方法を考案した。さらに、反射強度データが水塊分析に利用できることを示した。そして、北太平洋で観測した LADCP 流速と反射強度データにこれらの方法を使い、深層循環流の流路と流速分布を明らかにした。

## 2. LADCP による流速データの補正方法

LADCP データで流速を評価するための標準的な方法は、データに有意な誤差のないことを前提としており、反射強度の落ちる深層までのキャストでは良い結果を出さない。そこで、本章では、LADCP を海底近くまで降ろしてとった流速データを補正する方法を提案した。まず LADCP データによる流速の鉛直シアを解析し、鉛直シアの上下キャストでの差 (誤差の指標) が音波の反射強度と相関の高いことを示した。このように、反射強度が流速シアの誤差の大小を表すこと

から、流速シアの補正に反射強度を使用した。この点が、本方法の特徴である。手順は次の通りである。低品質データを除去し、流速シアを積分して流速の鉛直分布を求め、100 ~ 800 dbar 深の船底 ADCP 流速に合わせる。その流速が LADCP 海底流速（ボトムトラック流速）に合うように、反射強度と誤差の関係をを用いて流速シアを補正する。この方法は、海底までの LADCP キャストの全深度で反射強度が比較的高い（本解析では 75 dB 以上）場合に有効である。流速値には  $1 \sim 2 \text{ cm s}^{-1}$  の誤差を含むが、ケイ酸塩の分布と矛盾しない深層流が得られた。

### 3. LADCP による反射強度の空間特性、動物プランクトンや粒子との関係、そして水塊分析への適用方法

LADCP で計測する音波の反射強度が、深層では、北緯 35 度以北の亜寒帯域で大きく、北緯 30 度以南の亜熱帯域で小さく、赤道近くで増大するという緯度依存性をもつことを示し（図 2）、反射強度の緯度による違いは沈降粒子の量の違いによることを示唆した。反射強度の各緯度での平均からの偏差は、下部南極周極水では小さく、溶存酸素と相反する特性を示した。さらに、反射強度偏差は北太平洋中層水でも小さく、これらの水塊のトレーサーとして使用できる可能性が示された。特に、北太平洋の深層下部に流入してくる下部南極周極水は、周囲の水との混合によって溶存酸素や塩分などの水塊特性がぼやけているので、反射強度偏差が小さい（つまり、音波を反射する物質を少ししかもたない）という特徴は、水塊特性を表す一つの要素として水塊分析に大いに役立つ。

### 4. 北太平洋における深層循環の流路と構造

LADCP でとった流速と反射強度のデータを使って北太平洋の深層循環流を調べた。メラネシア海盆ソロモン海膨の北東斜面を通る上部深層循環流は、水深約 3500m の斜面上を流れる 100km 以上の幅をもつ反流によって西側と東側の二つの流速コアに分けられ、それぞれ水深約 3000m と 4000m の斜面上に位置していた。反流の運ぶ海水の反射強度は非常に強く、赤道域から運ばれてきたことを示唆している。これらの観測結果は、東カロリン海盆南端の東向き赤道深層流が、反射強度の高い赤道域の海水を運びながら海底斜面に沿ってメラネシア海盆を反流として流れていたことを示唆している。

また、亜寒帯域では、天皇海山列のメインギャップ ( $39^{\circ}\text{N}$ ,  $170^{\circ}\text{E}$ ) を通る東向き深層流の存在が係留測流によって知られている。メインギャップの中央部でとった CTD/LADCP データによると、深さ 5400m で最大流速  $10 \text{ cm s}^{-1}$  をもつ東向き流が存在し、そこでの海水は、メインギャップ以南の深層水と同様に、高酸素、低反射強度で特徴づけられる。この観測結果により、深層循環の東側分枝流にのって北太平洋を北上してきた下部南極周極水の一部がメインギャップを通過して北東太平洋海盆に流入することが結論された。さらに、北東太平洋海盆での CTD/LADCP 観測により、流入した深層循環流がヘス海膨の北側斜面に沿ってほぼ  $38^{\circ}\text{N}$  を東向きに流れることが示された。こうして、下部南極周極水が北東太平洋海盆に流入するひとつの経路が明らかになった（図 3）。

図 1：右図は、太平洋深さ約 4000m の溶存酸素 ( $\text{ml l}^{-1}$ ) と下部深層循環流の流路（矢印）。左図は、深さ約 3000m の溶存酸素 ( $\text{ml l}^{-1}$ ) と上部深層循環流の推定流路（青矢印）と北太平洋深層水の広がり（赤矢印）。

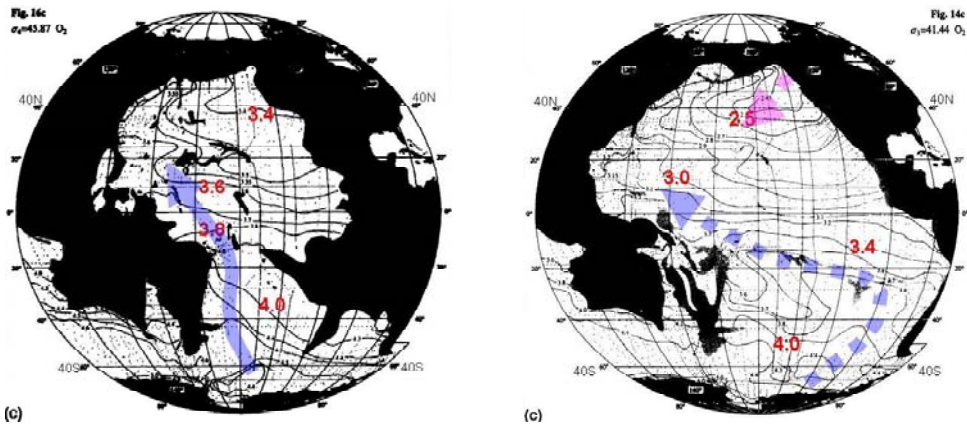


図 2 : 北太平洋における LADCP 観測得られた深さ 3000 dbar の反射強度の値 (dB) の緯度分布. グレー線は、平均値を示す.

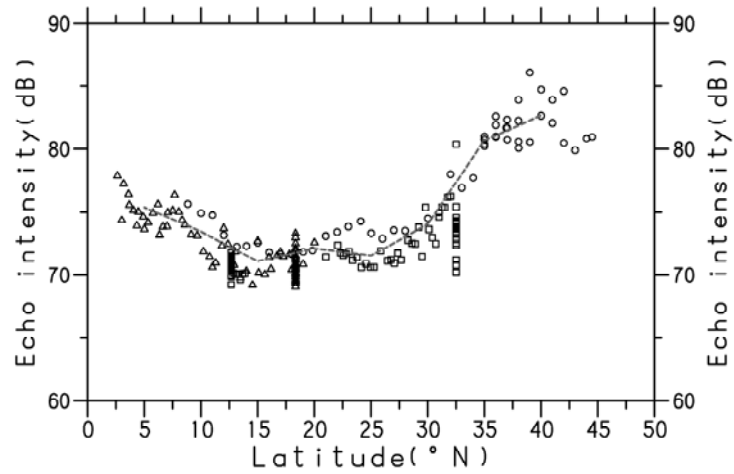


図 3 : 北太平洋深層の流路の模式図. 赤は、本研究の LADCP 流速と反射強度データの解析から明らかになった流路. 黒とオレンジは先行研究による流路を示し、オレンジの流路は本研究の反射強度データからも新たに確かめられた.

