

Adelie Depression における乱流混合と二重拡散対流の定量評価

○平野大輔、北出裕二郎

(東京海洋大学大学院 海洋科学技術研究科)

キーワード: 南極底層水、乱流混合、二重拡散対流、Adelie Depression

1.はじめに

南極底層水(AABW: Antarctic Bottom Water)は、南極大陸周辺の特定の海域で、大気による海面冷却や海水形成における brine rejection 等を通じて形成される(Gordon and Tchernia, 1972; Williams et al., 2008)。形成された AABW は隣接する海盆に流入し、その後全球深層海洋へと広がっていく。AABW の形成及びその循環は、熱の全球南北再分配に影響を及ぼすことから、地球規模の気候変動の重要な要素である(Orsi et al., 2002; Jacobs, 2004)。その AABW の形成海域として、Weddell Sea, Ross Sea, Adelie Land Coast が知られている。Adelie Land Coast で形成される AABW は、ALBW (Adelie Land Bottom Water)と呼ばれ、Adelie Land 沖の 142°~147°E に位置する Adelie Depression の Shelf Water が起源であると考えられている(Fukamachi et al., 2000; Williams et al., 2008)。Williams et al. (2008)は、Adelie Depression における長期間の係留観測から、低温・高塩な Shelf Water の流量を見積もることにより、ALBW の生成量を 0.4~2.0Sv ($1\text{Sv}=10^6\text{m}^3\text{s}^{-1}$)と推定した。しかしながら、ALBW 形成に関わる混合過程については検討しておらず、ALBW の生成量及びその形成過程を定量的に解明したとは言い難い。そこで、ALBW の生成量を混合過程(乱流・二重拡散対流)の定量評価から推定する第一歩として、Adelie Depression 近傍における乱流及び二重拡散対流による混合強度を評価し、この海域における混合過程の定量的特徴について検討した。

2.観測

2008年1月26日から2月20日にかけて、東京海洋大学研究練習船海鷹丸により、南大洋インド洋セクターに位置する Adelie Land 沖において、CTD 観測及び LADCP (Lowered Acoustic Doppler Current Profiler) 観測を実施した(Fig.1)。本観測は、日本・オーストラリア・フランスの共同研究である CEAMARK (Collaborative East Antarctic Marine Census)プロジェクトの一部として実施されたものである。観測に用いた CTD は Sea-Bird 社の SBE911plus であり、水温、電気伝導度の精度はそれぞれ 0.001°C、0.0003S/m (塩分に換算して 0.002PSU)である。流向流速は RDI 社の LADCP を用いて測定し、インバース法により変換したデータを解析に使用した。

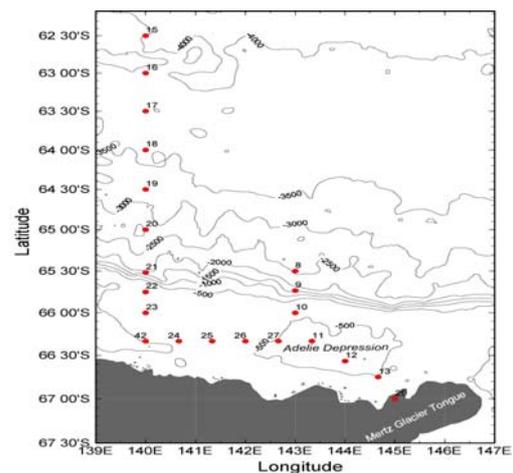


Fig.1 観測海域の海底地形及び CTD、LADCP 観測点. 等深線の単位は m.

3.結果

3.1.水塊分布の特徴

表層には低温・低塩の AASW (Antarctic Surface Water; $\sigma_t < 27.6$, $-1.84 < \sigma_s < 2.0$, $S > 34.0$)、底層には AABW ($\sigma_2 > 37.16$, $-1.7 < \sigma < 0.0$, $34.65 < S < 34.72$)、その中間の密度帯には高温・高塩の MCDW (Modified Circumpolar Deep Water; $\sigma_t > 27.6$, $\sigma_2 < 37.16$, $\sigma < 1.8$, $S < 34.7$)が分布していた。また、低温・高塩の SW (Shelf Water; $\sigma_2 > 37.16$, $\sigma < -1.7$, $S < 34.72$)は Adelie Depression 内のみ分布しており、他の測点には分布していなかった。

3.2.流速場の特徴

LADCP 観測で得られた流向流速データを用いて流速場の特徴を調べた。最大流速は、Adelie Sill に位置する Sta.24 の海底近傍において約 40cm/s の西向きの流れが観測された。また、Adelie Depression では、Sta.11 を中心として南向きの depression への inflow が、Sta.25 を中心として北向きの depression からの outflow が存在し、時計回りの循環の存在を示していた(Fig.2)。この循環のパターンは、係留観測の結果から Williams et al. (2008)が、モデルの結果から Marsland et al. (2004)が示したものと一致していた。さらに、depression への inflow 領域では、MCDW の貫入を示唆する水温極大層が存在していたのに対し、outflow 領域には存在していなかった。このことから、depression 内における MCDW の分布と上記の循環パターンが密接に関わっていると考えられた。

3.3.混合過程の定量評価

Adelie Depression における混合過程を定量的に評価するために、乱流拡散係数 K_V と二重拡散対流による熱と塩分の拡散係数を評価した。一般的に、 K_V の推定は乱流プロファイラーを用いた乱流観測によってなされる。より簡便な手法として、CTD 観測から得られる密度記録より密度逆転を抽出し、密度逆転の鉛直スケールである Thorpe スケール(Thorpe, 1977)と鉛直渦の代表スケールであ

る Ozmidov スケール(Ozmidov, 1965)との関係を用いて K_V を推定する手法が提案されている(Dillon, 1982)。本研究では、この手法を用いて 100dbar 平均の K_V を評価した。その結果、Adelie Depression、陸棚上、大陸斜面域において、 K_V が大きな値を示す層では $K_V \sim O(10^{-4}) \sim O(10^{-2})$ ($m^2 s^{-1}$)であった。海底近傍や大陸斜面域において、 K_V が大きな値を示す層が多く分布していたことから、境界混合の存在が示唆された。

二重拡散対流による熱と塩分の拡散係数の評価は、Diffusive 型対流に対しては Kelly (1990)、Finger 型対流に対しては Schmitt (1981)に示されたパラメタリゼーションを用いた。Adelie Depression や陸棚上では、二重拡散対流が活発である層 ($75 < |Tu| < 90$)はほとんど分布しておらず、二重拡散対流と比較すると乱流混合が卓越していると考えられた。一方、大陸斜面域の 500dbar 以浅では Diffusive 型が、500dbar 以深では Finger 型対流が活発である層が多数分布していた。大陸斜面域では境界混合が示唆されたものの、AABW が大陸斜面に沿って沈み込む過程において、二重拡散対流が重要な役割を果たす可能性が考えられた。

今後の課題としては、乱流や二重拡散対流による混合に伴う熱塩フラックスを推定し、種々の水塊形成をより定量的に評価する必要があると考えられた。

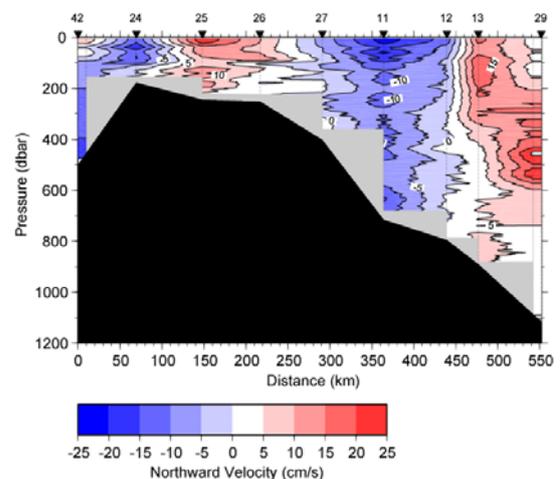


Fig.2 Adelie Depression における南北流速の鉛直断面図(赤:北向き、青:南向き)。