

北極海バロー沖の低気圧性暖水渦における

二重拡散型多重貫入構造

○川口悠介・西野茂人・藤原周（海洋研究開発機構）、
竹田大樹（海洋研究開発機構・東京学芸大学）、奥村慎也・徳長航（日本海洋事業）

西部北極海では傾圧渦など中規模擾乱が陸棚-海盆間の水塊交換に重要な役割を担っている。過去の観測から、北極海の渦活動は統計的にその9割以上が高気圧性（時計回り）の渦が占めると言われている（Hunkins & Manley 1987; Pleuddemann & Krishfield 2007; Zhao et al. 2014）。実際に、過去の「みらい」北極航海で観測した中規模渦の多くが高気圧性であった（Kawaguchi et al. 2012; 2016）。北極海における低気圧渦の観測例は Padman et al. (1990) が有名である。Padman et al. は、多年氷下の北部カナダ海盆域で氷上キャンプを行い（AIWEX 観測）、そこで遭遇した低気圧渦の力学構造や熱輸送過程、内部波など小・中規模な物理構造について調査を実施した。その結果、渦内の内部波とそれに伴う乱流混合はごく微弱であると結論づけている。

「みらい」北極航海 MR15-03 では Barrow 溪谷の沖合い海域において、希少性の高い、低気圧性の傾圧渦に遭遇し観測を行った（図1）。本航海では、①9月15-17日と②9月19-21日にそれぞれ約2日間、船を停船させ、船の直下を通過する渦の物理構造を調査した（図2）。また、9月22-23日には渦北部をV字に横切る断面集中観測を敢行し、渦内部の立体的な空間構造の把握に成功した。観測項目は、船舶搭載型の流速計（S-ADCP）と水温・塩分（CTD）、微細構造観測（TurboMAP）による調査が主体となる。乱流観測では512Hzの流速シアと水温勾配データを2秒間隔に区分し、鉛直約1mスケールの乱流エネルギー散逸率 ϵ と熱勾配消散率 χ 、そして乱流熱フラックスを算出した。また、当観測では、ドローク式GPSブイを用いることで渦の移動速度や経路についても同時に調査を行った。

低気圧渦は、30-70m深のコア領域にチャクチ海由来の温暖な水塊を包含し、その直下に、ドーム型の等密度面に関する強い流れを有していた。渦周辺に見られる海洋微細構造の特徴は、高水温層縁辺の楔状の多重貫入層（インターリーピング）である（図2）。楔状の貫入構造は、渦内の温暖な夏期水が周囲の冷水塊と水平的に接することで生じたと解釈できる（Kawaguchi et al. 2014）。渦周辺の二重拡散層では、安定度 $R_\rho (= \alpha T_z / \beta S_z)$ とスパイス $(= \alpha T_z + \beta S_z)$ の歪曲率の解析から、空間的に連続した傘状の層構造を検出した（図）。この深度帯では、微細構造による熱散逸率 χ が $0(10^{-7} \text{ K}^2\text{s}^{-1})$ に及び、鉛直熱フラックスは約 20 Wm^{-2} に達していた。乱流エネルギー散逸率 ϵ もまた傘状の等密度面におおよそ沿った極大 $(0(10^{-8} \text{ Wkg}^{-1}))$ を示したことから、各密度境界面の間で鉛直的に1-5m程度の対流活動が連続的に発生していたと考えられる。また、この二重拡散貫入層において植物プラクトンの極大が観測され、二重拡散による定常的な栄養塩の鉛直循環があり、生物生産の活性化につながったと考えられる。

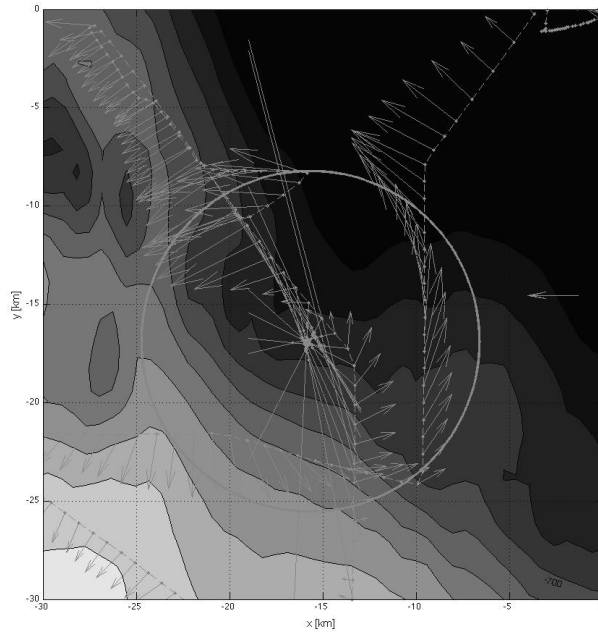


図 1: 「みらい」による低気圧性渦の流速調査 (9月18日)。矢印付きのラインが船の航行経路と、航路上で鉛直平均された水平流速。背景色は深度を示す (黒色ほど深い)。同心円は渦の最大流速となる位置を示し、多重交差する直線群は渦の中心を推定するために航路上の水平流速から引いた接線である。

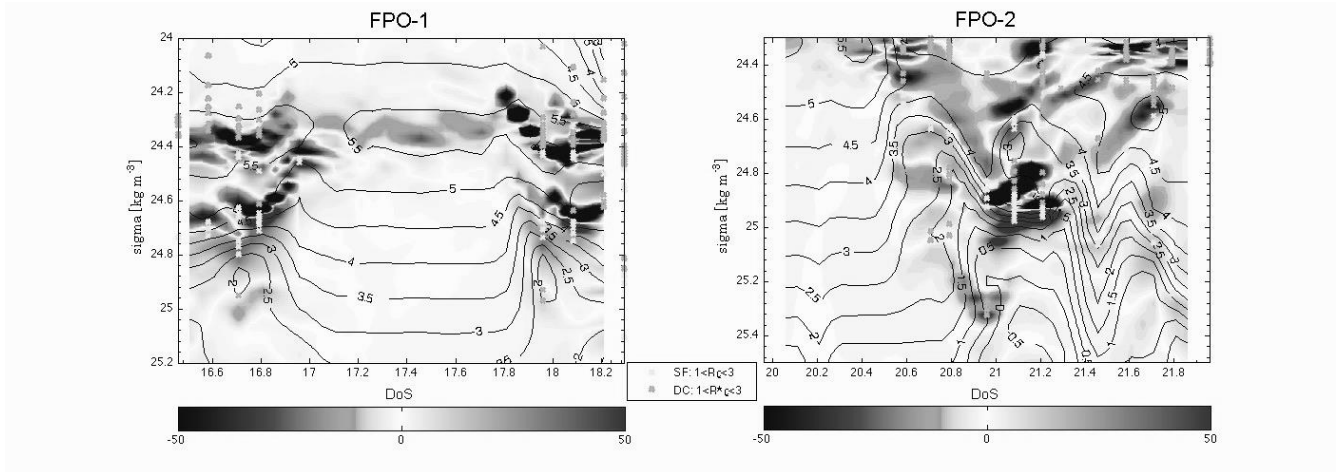


図 2 低気圧渦の中心と縁辺域の境界 (フロント) で発生する二重拡散型のインターリーピング構造 (左が 2015 年 9 月の定点観測①、右が定点観測②)。等値線はポテンシャル水温を示し、横軸は 2015 年 9 月の日付を、縦軸はポテンシャル密度 σ_θ (kg m^{-3}) を示している。変数はスパイス歪み率 $\tau_{\sigma\theta}$ ($\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$) で、ソルトフィンガー型対流と拡散型対流が交互に発生している。ドットは鉛直二重拡散が高確率で発生する深度を示している (安定度: $1 \leq R_\rho \leq 3$)。