

溶存酸素濃度からみた
日本海深層海水循環の詳細および経年変化
村山 晴美

＜はじめに＞

日本海は、外海とつながる 4 つの海峡が 150m 以浅でありながら、最大水深は 3700m におよぶ半閉鎖的な海域である。冬季、日本海北部では冷却及び季節風の影響により密度を増した表面海水の沈み込みが起こっている (Sudo, 1986)。日本海は、平均滞留時間が約 100 年と見積もられており (Gamo and Horibe, 1986; Watanabe and Tsunogai, 1991; Yanagi, 2002; Hatta and Zhang, 2006)、世界の海洋のおよそ「10 分の 1」という短期間で循環しており、世界海洋大循環のミニチュア版と捉えることができる。日本海には、表層に対馬暖流水、その下に均一な性質を持つ日本海固有水 (Nitani, 1972) が存在しており、Hatta and Zhang (2006) は、日本海盆の日本固有水には沈み込み海水 (Subducted Water) が頻繁に到達する層: 活性移流層 (水深 200~2000m) が存在することを指摘し、沈み込み海水は深層循環の原動力であることが考えられた。本研究では溶存酸素 (Dissolved Oxygen: DO) を用いて、観測ゾーンにおける各年の移流水の存在を検証した。また、今まであまり明らかではなかった活性移流層における約 10 年間の沈み込み海水量 (Volume of Subducted Water : VSW) を、DO を用いて算出し、さらに熱フラックス (J-OFURO) を用いて気候変化との関係、特に日本海盆の活性移流層における VSW の実態とその経年変化を明らかにすることを目的とした。

＜観測及び解析＞

海洋観測及び試料採取は 1998 年に学術研究船「白鳳丸」、2001 年、2003 年、2005 年に学術研究船「淡青丸」、2007 年に長崎大学附属練習船「長崎丸」にて行った。観測では CTD (Conductivity-Temperature-Depth) とニスキン採水器を装着し、行った。アーマードケーブル (リアル通信) によって水温・圧力・電気伝導度を連続測定しながら各層で採水し、測定項目ごとに分取した後、船上及び研究室で分析した。解析に用いたデータは CTD 観測データ及び、ニスキン採水器で得られた海水の塩分 (± 0.001) と DO ($\pm 1 \mu\text{mol kg}^{-1}$) である。また、他の日本海航海及びデータベースから海域を考慮して抽出し、約 300 測点・複数項目を観測データ解析に用いた*)。

＜結果及び考察＞

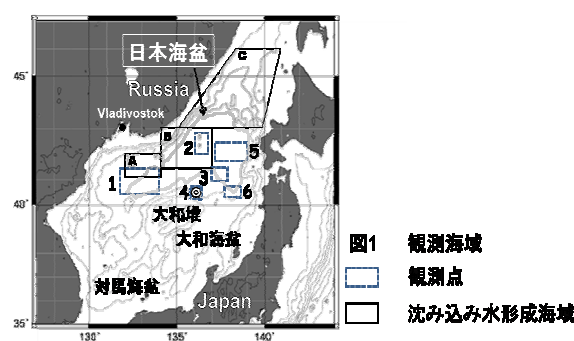
日本海では、しばしば上層よりも下層において高い DO 濃度が観測される。一般的に DO は海洋表面から供給され、光の届かない層 (無光層: 水深約 200m 以深) においてバクテリア等による有機物の分解によって時間と共に消費されるため、下層ほど DO 濃度は低い。日本海で前述のような DO 濃度鉛直分布が得られるのは、表層由来の沈み込み海水が研究海域へ移流してきたためと考えられる。よっ

て DO は沈み込み海水の良い指標になる。さらに、数年間に及ぶ DO データを比較する際は、バクテリアによる消費 ($-0.4\mu\text{molkg}^{-1}\text{year}^{-1}$: Chen et al., 1999) と Oscillation ($\pm 0.46\mu\text{molkg}^{-1}\text{year}^{-1}$: Watanabe et al., 2003) の補正を行った。また、渦や湧昇の影響がある測点は除いて解析を行った。本研究では 1. 観測ゾーンにおける各年の移流水の存在を検証 2. 各年における VSW の算出とその考察についてそれぞれ議論していく。

1. 日本海における沈み込み海水に関する検証：日本海の深層海水循環を議論する上で、まず各観測ゾーンにおける移流水の存在の有無、即ち DO 濃度の月変化に着目した。もし観測ゾーンに沈み込み海水が到達しているならば、DO 濃度は観測時期によって変化するはずである。本研究では、過去の観測回数が多い 4 つのゾーン (Zone. 1, 3, 4, 6) において、沈み込み海水が形成されるエリア***) からの距離と深層海流の速度 ($< 5\text{cm s}^{-1}$: Takematsu et al., 1999) を考慮し、月変化を評価した。その結果、検証したすべてのゾーンで沈み込み海水が存在し、DO 濃度に変化がみられ、月変化の要因は沈み込み海水の移流であると考えられた。また、沈み込み海水形成エリアからの距離が近いほど、DO の変化量は大きく、VSW の移流量が大きいことが分かった。

2. 日本海海水柱では沈み込み海水が移流してきた場合、DO 濃度は増加し、その増加量は VSW に比例すると考えられる。本研究では、各観測点海水柱での DO 積算量と全観測点中の DO 積算量最小値 (日本海盆における最も古い海水) との差を VSW として算出した。その結果、各観測ゾーンの水塊 (水温・塩分などで特徴づけられる海水の塊) によって、供給状況が異なることが分かった。また、沈み込み海水の移流が頻繁である観測ゾーンにおける VSW は、年によって変化することが分かった。VSW は、冬季の気象条件に強く依存すると指摘されている (Kawamura et al., 1998)。そこで、これまで報告されている 3 つの沈み込み海水形成エリアにおいて、海面熱フラックス (潜熱 + 顕熱) の冬季積算値 (12 ~ 2 月) を求め、VSW との関係性を考察した。その結果、季節変化が顕著である Zone. 3、4 の VSW は、特にエリア C の熱フラックスと高い相関が得られた。

以上の結果から、VSW は海面熱フラックスと正相関の関係にあること、また熱フラックスと VSW の相関係数より、各観測ゾーンの沈み込み海水の形成エリアを推測することができた。また、今後、気候変化によって、海洋の深層循環が変化や停滞といった影響を受けることが示唆された。



*) Chen et al., 1999; Talley et al., 2006; Kang et al., 2004; Kim et al., 2004; Lynne Talley, <http://www.uscd.edu/JCMC/>, http://www.jodc.go.jp/index_j.html

**) Sudo, 1987; Nihori, 1972; Gamo and Horibe, 1983; Martin et al., 1992; Senjyu et al., 2002; Kim et al., 2002; Talley et al., 2003