

## オホーツク海と北太平洋亜寒帯域をつなぐ熱塩／物質循環システムの実態解明

Elucidation of thermohaline/biogeochemical circulation systems connecting the Sea of Okhotsk with subarctic North Pacific Ocean

若土 正暁 (WAKATSUCHI MASAOKI)

北海道大学・名誉教授



### 研究の概要

オホーツク海から親潮域の豊かな水産資源を支える“奇跡ともいえる仕組み”を明らかにするため、オホーツク海と北太平洋をつなぐ熱塩／物質循環システムの実態解明を進めた。海氷生成に伴う高密度水形成の「せめぎ合い」の観点から、北太平洋スケールの熱塩循環構造が見出されるとともに、物質循環もその変動と強く結び付いていることが明らかとなった。

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：熱塩循環・物質循環・海氷生成・高密度水・環オホーツク海域

### 1. 研究開始当初の背景

南極周辺海域を起源とする全球的な子午面循環と同様、オホーツク海を起源とする北太平洋熱塩循環は、海氷生成に伴って排出されるブラインが表層水を重い高密度水(DSW)に変え、それが中層まで沈み込むことで駆動される。環オホーツク海域において、熱塩(中層)循環が植物プランクトン増殖に必須の「鉄分」を、アムール川河口の大陸棚から親潮・西部亜寒帯循環まで移送して高い生物生産力を生み出すという、熱塩循環と物質(鉄)循環が結合した絶妙なシステムの存在が、我々のこれまでの研究から指摘されていた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、オホーツク海から親潮域を世界でも稀にみる豊かな水産資源域にしているこの“奇跡ともいえる仕組み”の全体像を明らかにすることである。中でも最大の課題である、オホーツク海と北太平洋亜寒帯域をつなぐ熱塩／物質循環システムの実態の解明を目的とする。

### 3. 研究の方法

- ・共同研究機関であるロシア極東海洋気象研究所(FERHRI)所属の観測船を用いた、データ空白域であるオホーツク海東部および東カムチャツカ海流域の観測。
- ・FERHRIが管理するロシア経済水域内の未公表データを含む海洋データセット、および

定線観測資料、過去の観測のデータアーカイブなどのデータ解析。

- ・熱塩／物質循環システムのモデリング。

### 4. これまでの成果

#### 4.1 北太平洋熱塩循環

ロシア未公開データを含む大量のデータセットを解析し、50年間を超える長期のDSW塩濃度時系列の抽出に成功した。その結果、DSWが0.12psu/50年間の割合で低塩化しており、熱塩循環の弱화가明らかとなった。また、10年規模変動も顕著であった。この変動に対して最も重要な過程はアラスカ循環や西部亜寒帯循環から発し、ベーリング海を經由して、4~5年かけてオホーツク海北部に到達する、表層塩偏差の長距離伝搬であることを発見した(図1)。2011年に実施した、ロシア観測船を用いたオホーツク海南東部・東カムチャツカ海域での観測結果もこの伝搬経路を裏付けた。すなわち、亜寒帯循環における表層塩濃度偏差の長距離伝搬がDSWを変え、

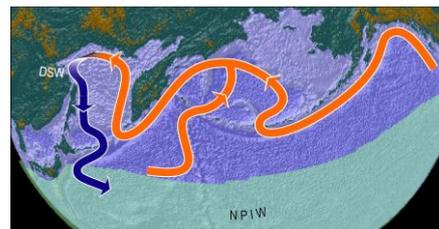


図1 本研究で得られた北太平洋熱塩循環像の模式図

それが沈み込んで最終的には中層循環の変動を引き起こすという、北太平洋を跨ぐ大規模な熱塩循環の三次元構造を、本研究は明らかにしたのである。

#### 4.2 北太平洋物質循環

オホーツク海大陸棚から北太平洋へ鉄などの物質を中層循環によって移送する「環オホーツク鉄供給システム」が太平洋海盆スケールの物質循環に及ぼす影響を把握するために、2011年のロシア船によるオホーツク海観測、さらに過去の広範囲の鉄や栄養塩のデータなどを統合し解析した。その結果、中層(300m付近)を移送されてきた鉄が、千島海峡の潮汐混合によって主要栄養塩と混合されて高い鉄分：栄養塩比の水塊を形成し、外洋域の3オーダー大きなフラックスで北太平洋表層へ供給されていることが明らかとなった(図2)。また、この水塊は親潮から西部亜寒帯循環にかけて広範囲に影響を及ぼし、東部アラスカ湾に比べて2~10倍の生物生産を春季に生じさせるなど、北太平洋スケールで生物地球化学的なパラメータの季節変動の大きさを規定していることを見出した。

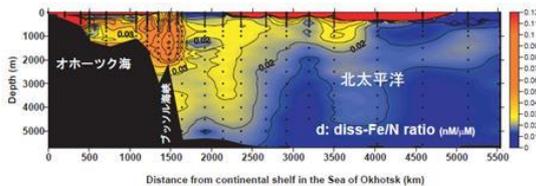


図2 オホーツク海西部および北太平洋の東経155度ラインにおける鉄濃度：窒素比の鉛直分布

#### 4.3 熱塩循環と物質循環の結合システム

このような物質循環は、DSWを通して熱塩循環の変動と密接に結合している。DSWに吸収されたオホーツク海中層の人為的二酸化炭素の長期変動を解析したところ、1993年から2006年にかけて等密度面 $27.0\sigma_\theta$ より浅い深度では人為的二酸化炭素が16%増加したが、一方で $27.0\sigma_\theta$ より深い深度では28%減少し、水柱全体では14%減少していることを見出した。これは物質循環のふるまいと熱塩循環の浅化・弱化がよく対応していることを示す発見である。

また、千島海峡など急峻な地形と潮汐の相互作用によって生じる混合も物質循環と熱塩循環を結合させるものであり(図2)、その強度を詳細な観測により定量的に明らかにした。また、内部潮汐波の碎波から乱流へと至る新たな遷移過程を数値実験により明らかにした。

このようなDSW形成や潮汐混合など、オホーツク海特有な物理過程を組み込んだ物質循環モデルを開発し、鉄を熱塩循環によって移送する「環オホーツク鉄供給システム」の再現に成功した。今後、これらを統合し鉄供

給システムの実態を解明したい。

#### 5. 今後の計画

- ・ 2011年に実施した観測のデータ解析、ロシア海洋データ解析、北太平洋高解像度海洋モデルを進めることにより、北太平洋における熱塩循環の変動要因を解明する。
- ・ オホーツク海から親潮域にかけての物質循環データと鉄循環モデルを用いることで、環オホーツク海域における熱塩循環と物質循環が結合したシステムの実態を解明する。
- ・ 北太平洋高解像度海洋モデルに鉄化学モデルを導入し、高解像度化した物質循環シミュレーションを実施する。また、鉄のソースとしても一つの重要海域と考えられているカムチャツカ半島東方海域における共同観測の準備を進めている。以上より、北太平洋スケールの熱塩/物質循環結合システムの解明が期待される。

#### 6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

Ono, K., K. I. Ohshima, M. Wakatsuchi (他3名): Distribution of vertical diffusivity in the Bussol' Strait: A mixing hot spot in the North Pacific, *Deep-Sea Research I*, 79, 62-73, 2013.

Watanabe, Y. W., J. Nishioka, T. Nakatsuka: Decadal time evolution of oceanic uptake of anthropogenic carbon in the Sea of Okhotsk, *Geophysical Research Letters*, 40, 1-5, doi: 10.1002/grl.50113, 2013.

Ohshima, K. I., Y. Fukamachi, G. D. Williams, M. Wakatsuchi (他9人): Antarctic Bottom Water production by intense sea-ice formation in the Cape Darnley Polynya, *Nature Geoscience*, doi:10.1038/ngeo1738, 2013.

若土正暁: 海洋大循環を支える南極からの冷たい水の大量流出, *パリティ*(特集: 物理科学、この1年), 26, 65-67, 2011.

Nishioka, J., (他4人): The annual cycle of surface iron and the source of iron supporting the spring diatom bloom in the Oyashio region, western subarctic pacific, *Journal of Geophysical Research-Ocean*, 116, C02021, doi: 10.1029/2010JC006321, 2011.

Fukamachi, Y., K. I. Ohshima, M. Wakatsuchi (他2名): Sea-ice drift characteristics revealed by measurement of acoustic Doppler current profiler and ice-profiling sonar off Hokkaido in the Sea of Okhotsk, *Annals of Glaciology*, 52, 1-8, 2011.

Fukamachi, Y., M. Wakatsuchi (他5人): Strong export of Antarctic Bottom Water east of the Kerguelen plateau, *Nature Geoscience*, 3, 327-331, 2010.

ホームページ等

<http://wwwoc.lowtem.hokudai.ac.jp/>