

オホーツク海南西沿岸域における 水塊構造と一次生産（レビュー）

梅田 晴子

1. はじめに

高橋（1996）はオホーツク海沿岸域の豊富な水産資源とそれを支える高いあるいは効率的な生物生産性について着目し、その働きを解明するためのオホーツク海研究活動の緊急性を提唱していた。その後、アムール・オホーツク海研究プロジェクトにより、アムール川から外洋まで、陸と外洋とをつなぐ物質輸送とそれに立脚する生態システムに関する研究が進められた（白岩，2012）。しかし、日本ではオホーツク海南西沿岸域において、その海の豊かさが高く評価されてはいるものの、水塊構造や海氷の消長など物理的特性やその変動の研究が先行し、生物生産性に関する知見は現在も数えるほどしかない。

オホーツク海南西沿岸域において、その豊かな生物生産を維持する特有の環境要因を挙げるとすれば、まずは生物生産の基礎となる一次生産に大きく関わる季節的な海氷の影響と複雑な水塊構造であろう。そこで本稿では、まず、水塊構造に関する研究報告を紹介し、次いで近年のオホーツク海南西沿岸域における一次生産と海氷等の海洋環境の関連を扱った研究を紹介する。

2. 水塊構造の季節変動

オホーツク海南西域の水塊を大別すると、宗谷暖流水水塊、オホーツク海表層低塩分水、中冷水の3つに分類される。宗谷暖流水水塊とは、対馬暖流の末流が宗谷海峡を通過してオホーツク海に入り、北海道の北東海岸に沿って南東に流れる周りの水塊よりも高塩分（33.6 PSU 以上）の水塊である（青田，1979；Takizawa，1982）。オホーツク海表層低塩分水とは、

塩分濃度 32.5 PSU 以下の低塩分の表層水を指す。この水塊はシベリア大陸からの陸水の流入と融氷のため低塩分であり、この水塊により、オホーツク海の水塊構造が著しい層重状態を示す（青田，1979）。中冷水は、水温が 0°C 以下、塩分が宗谷暖流水水塊とオホーツク表層低塩分水の中間を示す水塊を指す。中冷水は、冬期間に冷却された表層水が海氷の生成による塩分増加に伴い沈降してできた水塊である（青田，1979）。

夏～秋季のオホーツク海南西沿岸域は宗谷暖流水の影響下にあり、沖合域には表層のオホーツク海表層低塩分水や中冷水（冬季表層水）などの亜寒帯性水塊が存在する（青田，1979；渡辺，1989）。水温は年間を通じて 4°C 以上で、真夏には 18°C 近くにものぼる。

11 月中～下旬になると水塊交代が起こる。宗谷暖流水水塊は沿岸表層から姿を消し、水深 100～150 m の海底付近に残る（青田，1979）。表層は宗谷暖流水に代わって、沖合に存在していたオホーツク海低塩分水によって覆われる（渡辺，1989）。

3 月の海明け直後の表層では、冬季に弱まった宗谷暖流水である宗谷暖流前駆水（春先の水温低下によって密度が増した宗谷暖流水）が距岸約 13 km まで分布する（青田，1979；渡辺，1989）。またその沖合には沿岸と平行に中冷水が出現する（青田，1979）。図 1 には紋別沖（オホーツク海南西沿岸域）の 3 月における宗谷暖流前駆水および中冷水の鉛直分布を示した。

6 月になると、距岸約 18 km までは沿岸水、距岸 18～30 km までは宗谷暖流が流れる。さらにその沖合

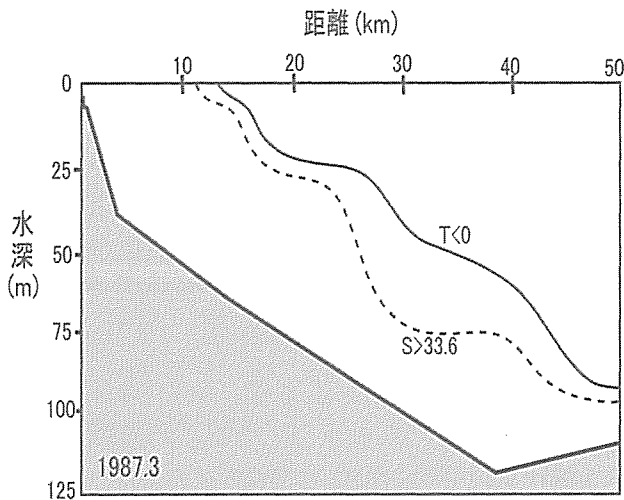


図1 1987年3月の紋別沖（オホーツク海南西沿岸域）における水塊の鉛直分布。破線の塩分33.6 PSU以深は宗谷暖流前駆水を、実線の水温 0°C 以浅は中冷水を示す（渡辺（1989）を改変）。

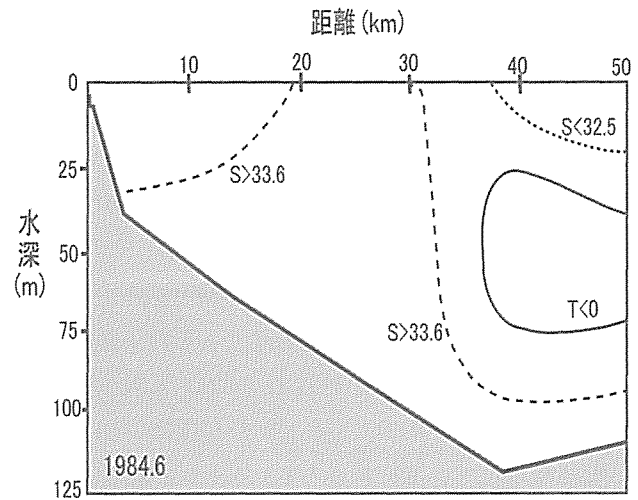


図2 1984年6月の紋別沖（オホーツク海南西沿岸域）における水塊の鉛直分布。破線の塩分33.6 PSU以深は宗谷暖流水、点線の塩分32.5 PSU以浅はオホーツク表層水、実線の水温 0°C 内はオホーツク中冷水を示す（渡辺（1989）を改変）。

の中層には中冷水が存在し、中冷水の上には低塩分のオホーツク表層水が分布する。この状態は10月まで維持される（青田，1979；渡辺，1989）。図2には紋別沖（オホーツク海南西沿岸域）の6月における宗谷暖流水、オホーツク表層水、および中冷水の鉛直分布を示した。

3. 春から秋季の一次生産

日本海の道北海域とオホーツク海の南西域のクロロフィル a 濃度の分布を比較すると、クロロフィル a 濃度の平均値が 1 mg/m^3 を超えるのは、日本海道北海域では3～4月のみであるのに対し、オホーツク海南西域では3～10月にかけての長期間でみられ、更に4月のブルーム（大増殖）時の最大値も大きい。このことは、オホーツク海南西域での植物プランクトン現存量が高いことを示している（渡辺，1989）。

Kasai et al. (2010) は、オホーツク海沿岸域と沖合域で実施したクロロフィル a の分布調査について報告している。それによると、沿岸域では宗谷暖流前駆水が4月頃から発達して宗谷暖流の勢力が増大し、4～5月の表層ではブルームと対応した高いクロロフィル a 濃度が観測される。夏季以降の沿岸域では水柱全体に宗谷暖流水が卓越するようになり、7月には栄養塩濃度が枯渇状態となる。栄養塩濃度の枯渇に伴いクロ

ロフィル a 濃度も低下し、10月には水柱内のクロロフィル a 濃度が 1 mg/m^3 以下になる。沖合域でも沿岸域同様に、4～5月の表層ではブルームに対応した高いクロロフィル a 濃度がみられる。しかし沖合域では春～秋季の長期間にわたり、表層にオホーツク由来の低塩分水塊、中層に低温の中冷水塊が存在し、特に表層水温が上昇する夏～秋季にはこれらの水塊の境界で顕著な水温躍層が形成される。このため、夏～秋季には躍層上の亜表層で顕著なクロロフィル a 極大がみられ、沿岸域とは異なり、春～秋季にかけての長期間、表層から亜表層にかけて高い植物プランクトン現存量が維持されている。

渡辺（1989）は、沖合においてクロロフィル a 濃度が混合水塊で高いことを示し、この理由を考察して、高濃度の栄養塩をもつ中冷水が表層付近まで浮上して宗谷暖流やオホーツク表層水と接触し、各水塊の境界に生成された混合水塊へ栄養塩の供給を行っているためだとしている。

堀井ら（1992）は、植物プランクトンである珪藻の細胞密度が渡辺（1989）やKasai et al. (2010) のクロロフィル a 濃度分布と同様の分布傾向を示すことを報告している。しかし、その群集構造は水塊で異なり、宗谷暖流系水塊やオホーツク表層水の植物プランクトン群集はシンプルで珪藻類が乏しいのに対して、

混合水塊における珪藻類の分布は種数も細胞数も多く、複雑な群集構造であった。

4. 冬から春季の一次生産

オホーツク海の冬季は、海水の結氷や北部から来遊する海水によって海域の大半が覆われる。そのため、この地域の漁業は船を岸に上げて休漁となる。このように冬季漁業を阻む海水ではあるが、その下部には冬の間アイスアルジーと呼ばれる微細藻類が繁茂して濃密な付着層を形成し、流氷期の有機物供給源として重要視されている。アイスアルジーは冬終盤にその増殖が顕著となり、春に海水が融解する際に海水中へ放出され、塊（アグリゲート）で沈降して動物プランクトンや底生動物の餌となる（田口, 1993）。さらに、海水中に放出された後も塩分躍層中に留まることができ、光と栄養塩の好環境下で短期的な大増殖（アイスエッジブルーム）を起こすとされ、海水域では重要視されている（例えば、Smith and Nelson, 1985）。

オホーツク海南西沿岸域においても、海水域が後退するにつれ、光環境の回復と融氷による塩分躍層が形成される。これにより、まず氷縁域でブルームが起これ、引き続き開氷域全体でブルームが起これることが衛星海色データから明らかになっている（Mustapha and Saitoh, 2007）。しかし、流氷下部のアイスアルジーと流氷下の水柱の植物プランクトンの種組成を比較した葛西・小埜（2012）の研究では、アイスアルジーとして卓越する羽状目珪藻は水柱ではそれ程多くなく、海明け後のブルームで優占する種類も羽状目珪藻ではなく中心目珪藻であることが報告されている。このため、アイスアルジーは海水期の有機物供給源としては重要であるが、オホーツク海のブルームへの寄与はそれ程高くない可能性があるとし唆している。

南極のウエッデル海においても、葛西・小埜（2012）と同様に、アイスアルジーと水中でブルームを起こす

脚注) 流速プロファイラー (ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler): 水中に超音波を発信して、ドップラー変調を受けた反射音の周波数を解析することにより、一定の深度における海流の流れる方向・速さを測定する装置。海洋観測では係留式もよく用いられる。

植物プランクトンの種が異なるとの報告がある (Riebesell et al., 1991)。彼らの調査で観測されたアイスアルジーは、解氷時にアグリゲートとして迅速に底層へ沈降している。オホーツク海においても、アイスアルジーはブルームの種という役割より、主に有機物の鉛直輸送として底層の生物生産に貢献していると考えられる。

5. 最後に

高橋（1996）がオホーツク海研究の重要性と緊急性を説いて20年近くが経つ。海流のメカニズムを解明していくために必要な流速プロファイラー (ADCP; 脚注) 等を用いた継続的な海洋データや、生物生産のメカニズムを解明していくために必要な植物プランクトン・動物プランクトンデータの取得は、現在も容易というわけではないようだ。

その要因として、海水域という観測が難しい海域であることだけでなく、領海の問題や、漁協・研究機関でのテリトリー意識などの問題によって、研究目的に適した海域での調査や継続的な観測の実施が難しい状況にあることが挙げられるだろう。これにより、オホーツク海の研究は、現在も他海域に比べて遅れているのが現状であり、非常に残念なことでもある。しかし、各研究・調査機関による定点観測や、紋別市にある展望塔オホーツクタワーでのモニタリングデータは着実に蓄積されており、また、科学技術の発展に伴い魚探や衛星海色モニタリング等の技術が発達し、これまで観測不可能だった海域での観測が可能になったことも事実である。今後、アムール・オホーツクプロジェクトのように、国際的な共同研究が更に増えていくことを願っている。

引用文献

- 青田昌秋. 1979. オホーツク海・北海道沿岸海域の海況変動. 沿岸海洋研究ノート, 17: 1-11.
- 堀井貴志・田村真樹・大槻知寛. 1992. 1989年3月におけるオホーツク海北海道沿岸の海況と珪藻類分布. 北水試研報, 39: 11-19.
- Kasai, H., Nakano Y., Ono T. and Tsuda, A. 2010. Seasonal change of oceanographic conditions and Chlorophyll *a* vertical distribution in the Southwestern Okhotsk Sea during the non-iced season. *J. Oceanogr.*, 66: 13-26.
- 葛西広海・小埜恒夫. 2012. 水産総合研究センターによるオホーツク海南西部の海洋環境調査. 月刊海洋, 44: 524-530.
- Mustapha, M. A. and Saitoh, S. 2007. Observations of sea ice interannual variations and spring bloom occurrences at the

Japanese scallop farming area in the Okhotsk Sea using satellite imageries. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 77: 577–588.

Riebesell, U., Schloss, I. and Smetacek, V. 1991. Aggregation of algae released from melting sea ice: implications for seeding and sedimentation. *Polar Biology*, 11: 239–248.

白岩孝行. 2012. アムール・オホーツクプロジェクト: 概要と成果. *海洋と生物*, 198: 3–9.

Smith, W. O. and Nelson, D. M. 1985. Phytoplankton bloom produced by a receding ice edge in the Ross Sea: spatial

coherence with the density field. *Science*, 227: 163–166.

田口 哲. 1993. アイスアルジーの生産と沈降. *沿岸海洋研究ノート*, 31: 3–16.

高橋正征. 1996. 海洋生態系動態の見地からのオホーツク海研究の必要性と緊急性. *月刊海洋*, 28: 534–537.

Takizawa, T. 1982. Characteristics of the Soya Warm Current in the Okhotsk Sea. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 38: 281–292.

渡辺智視. 1989. 道北海域における海洋環境特性. *水産海洋研究*, 53: 47–52.