

東シナ海の影響を受ける日本海 対馬暖流域の栄養塩環境

児玉武稔（資源環境部・生物生産グループ）



日本海対馬暖流域の特徴的な栄養塩分布構造を把握し、その形成過程を考察することで、対馬暖流が運ぶ栄養塩の重要性を明らかにしました

【はじめに】

栄養塩とは、植物の生育に必要とされる元素（必須元素）を含む無機塩類を指し、陸上植物にとっては窒素（N）、リン（P）、カリウム（K）を含む塩類が代表的で、いわゆる「肥料」である。海水中ではカリウムは常に高い濃度で存在するため、窒素とリンが植物の生長・増殖の必須元素となる。さらに、海洋での生物生産に最も影響力をもつ植物プランクトンである珪藻は、ケイ酸質の殻をもつことから、その増殖にはケイ素（Si）が必須である。したがって、窒素、リン、ケイ素という3元素を含む無機塩類、すなわち、硝酸塩、亜硝酸塩、アンモニウム塩、リン酸塩、ケイ酸塩が海洋の栄養塩として扱われ、植物プランクトンの変動要因として20世紀初頭から研究されてきた。海洋における栄養塩の一般的な鉛直分布は、光が強い表面付近では植物プランクトンに利用されるために濃度が低く、光が届かない深層では植物プランクトンによる利用が抑制される一方で、有機物の分解・溶解から栄養塩が再生されるため濃度が高くなっている。また、深層から表層へは混合など物理現象を介して供給される。

本研究では夏季日本海南部の栄養塩濃度の水平的・鉛直的分布についての特徴と、その特徴の成因を明らかにするために、対馬暖流域で観測を行った。

【調査方法】

2013、2014年6～10月に日本海の対馬暖流域で行った6航海において合計97点で観測した（図1）。深度ごとの水温・塩分を測定するCTDセンサーに、溶存酸素センサーと植物プランクトン量の多少を示すクロロフィル蛍光センサーを加えて、水温、塩分、溶存酸素濃度、植物プランクトン量（クロロフィル蛍光）の鉛直分布を得た。栄養塩濃度測定用の海水は10～200mの12層で採取後、冷凍で持ち帰り、陸上研究室で硝酸塩、リン酸塩、ケイ酸塩を測定した。

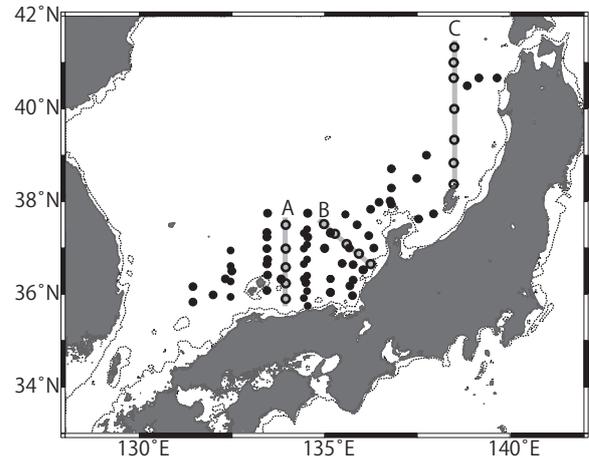


図1 本研究で栄養塩測定を行った観測点（●および○）灰色線（A、B、C）で示した観測点（○）の測定項目の鉛直分布を図2、3で示す。破線は100mの等深線を示す。

【観測結果】

得られた代表的な測線の結果（ラインA、B、C）を図2、3に示す。図2では上から、水温、塩分、見かけの酸素消費量、植物プランクトン量の鉛直分布を示している。ここで、見かけの酸素消費量とは、水温、塩分で規定される、圧力が1気圧の時の飽和酸素濃度から現場の酸素濃度の差をとった値である。植物プランクトンの光合成により酸素が供給されるため実際の消費量と必ずしも一致しないので「見かけ」と呼ばれているが、その海域で植物プランクトンの光合成（栄養塩消費・酸素供給）と有機物分解（栄養塩供給・酸素消費）のどちらが優位かを判断する目安となる。図2をみると、ラインC上の北緯40度以北の3測点を除いて、水深22~127mの垂表層で塩分が局所的に高くなる塩分極大が見られ、見かけの酸素消費量の極大と一致している。

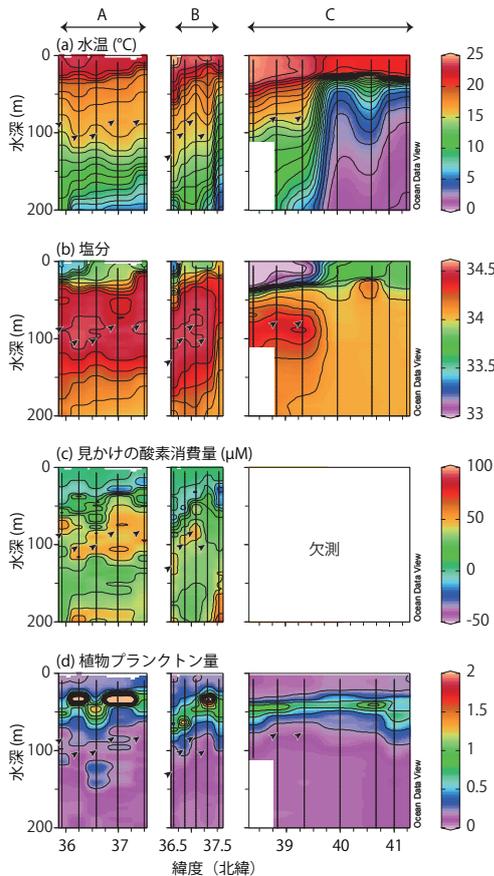


図2 A-C線上における (a) 水温、(b) 塩分、(c) 見かけの酸素消費量、(d) 植物プランクトン量の鉛直分布
 図中縦線は観測した位置を、矢印は図3で示すケイ酸塩極大層を示す。

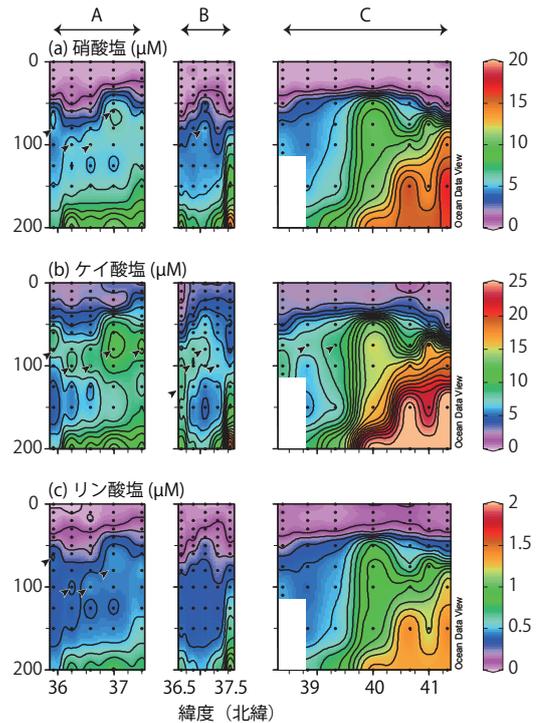


図3 A-C線上における (a) 硝酸塩、(b) ケイ酸塩、(c) リン酸塩濃度
 図中黒点は栄養塩濃度を測定した位置を、矢印は栄養塩極大層を示す。

栄養塩濃度は、水深10mで硝酸塩・リン酸塩は枯渇しており、ほとんどの測点で濃度を検出することはできなかったが、ケイ酸塩については表面でも0.6~6.5μM程度余剰していた（図3）。これは、ケイ酸塩が珪藻を中心としたケイ素の殻を持つ植物プランクトンにしか利用されない一方で、硝酸塩やリン酸塩は他の植物プランクトンによって、より低濃度まで利用されるためである。栄養塩濃度は20~125m以深から水深とともに増加していたが、多くの測点で塩分極大とほぼ一致する水深域で栄養塩極大、そのすぐ下層で栄養塩極小が見られた（図2、3）。この極大・極小構造はケイ酸塩でよりはっきり認められ（97観測点中71測点で確認）、リン酸塩では明確ではなかった（同6測点で確認）。その理由として、リン酸塩の濃度はケイ酸塩の10分の1以下であるが、測定精度はあまり変わらないため、極大・極小構造が検出されにくいと考えられる。この塩分と栄養塩の極大・極小構造が認められる測点は、隠岐周辺海域から青森沖まで約1000kmにわたって断続的に広がっていた。

【日本海の独自性】

本研究で認められた、栄養塩の極大・極小構造は、日本海と同様に狭い海峡に区切られている地中海や、対馬暖流と同じ暖流が流れている黒潮、メキシコ湾流域では報告されていない。また、表面直下の極小構造は、湧昇域である南太平洋熱帯域やカリフォルニア海流域で知られているが、これらの海域では表面の栄養塩濃度が高いことに起因しており、亜表層には出現しない。以上のことから、夏季日本海の200m以浅に見られた栄養塩極大・極小構造の出現は世界的に見ても独特な構造である。

【極大・極小構造の形成過程】

夏季日本海の栄養塩極大・極小構造がどのように形成されたのかについて考える。栄養塩は基本的に水深とともに増加しており、極大・極小構造は相対的に現れるものなので、極大もしくは極小を作る要因があれば極大・極小が形成される。

はじめに、極小を作る要因として、植物プランクトンによる栄養塩消費を検討した。しかし、その水深の植物プランクトン現存量はそれほど多くなく、見かけの酸素消費量は正であるため、光合成よりも有機物分解の方が優勢であり、栄養塩はむしろ供給されていることが示唆された。

次に、海流によって横方向に高栄養塩濃度の水が運ばれ、極大を作る可能性を検討した。前述したように、栄養塩極大層は塩分極大層とほぼ一致しており、日本海の高塩分水の起源は対馬暖流が運ぶ黒潮系水であることが知られているため、栄養塩極大の形成にも対馬暖流の寄与が大きいと考えられる。対馬暖流の上流域にあたる対馬海峡での過去の観測結果をみると、海底付近の水で最も塩分が高くなり、その水温は15℃程度と、今回認められた日本海の栄養塩極大の特徴と一致する。一般的に、海底にはプランクトンの死骸など有機物がたまり、それが分解されるので、酸素の消費をとまなう栄養塩の再生が起きる。黒潮系水は一般に高温・高塩・低栄養塩で知られているが、対馬海峡、さらにはその上流の東シナ海の浅い海域を通過する際に海底付近からの栄養塩供給を受

け、富栄養化している可能性が高い。

以上から、日本海の栄養塩極大層の水塊は、対馬暖流によって運ばれてきた対馬海峡の底層で富栄養化された黒潮系水に由来すると推察できる。

【生物への影響】

最後に、この栄養塩極大層が日本海の生物生産に与える影響について考える。栄養塩極大層は青森県沖まで断続的に続いているものの、日本海東部では構造が不明瞭であった。日本海全体で栄養塩極大層直上で植物プランクトンが最も多いため、対馬暖流による輸送の過程で栄養塩が徐々に植物プランクトンに消費されていると考えられた。また、夏季日本海の植物プランクトン量は太平洋の黒潮域と比較すると高く、生産性が高い。対馬海峡及び東シナ海陸棚付近で栄養塩が付加されることで、高い生物生産力を持っていると考えられた。

【おわりに】

本研究から日本海の栄養塩構造は、対馬暖流を介して対馬海峡や東シナ海の影響を強く受けていることがわかった。近年、東シナ海は、周辺国の開発の影響を強く受けて、リン酸塩の減少など海洋環境に様々な変化が生じていることが知られている。東シナ海的环境変化が日本海にどのような影響を与えているかについては、さらなる調査・研究が必要であるが、栄養塩は海洋生態系のベースとなることから、今後、海洋の生態系を通じた漁業資源への影響についても注意深く調査・研究を積み重ねていく必要があると考えている。