

次に、調査船を用いた珪藻類の調査では、珪藻の細胞数は7月のオホーツク海沿岸域と9月の太平洋沿岸域のそれぞれ2地点と1地点で 10^3 cells/mL を下回ったが、おおむね 10^3 cells/mL を上回った(図 11)。また、大津漁港、十勝港で実施したモニタリングでは、どちらの港湾も常に珪藻類が一定数以上出現し、渦鞭毛藻類が珪藻類を上回るケースはなかった(図 12)。初夏と秋に渦鞭毛藻の増加フェイズが観察されたが、同時に珪藻も増加し、これにより渦鞭毛藻の増加が頭打ちとなっているように見えた。渦鞭毛藻の増加は珪藻が 10^3 cells/mL を下回るときにみられた。赤潮発生目安 ($<10^3$ cells/mL) を下回る頻度は特に十勝港で高いことがわかった。以上のことから、1) で *K. selliformis* 赤潮を形成させる条件として珪藻細胞数の減少が考察されたが、本年の調査からもそれを支持する結果が得られた。

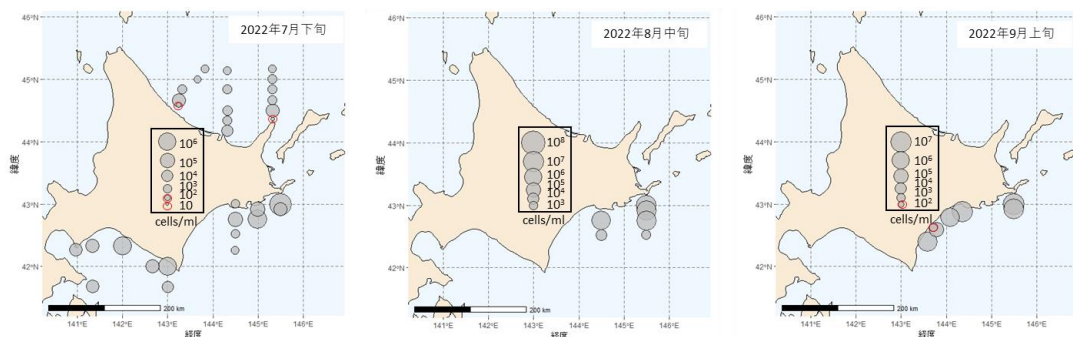


図 11 北海道の沖合域における珪藻類の出現状況。0m 層と 10m 層のうち細胞数が多いものをプロットした。*K.selliformis* はすべての点で出現しなかった。

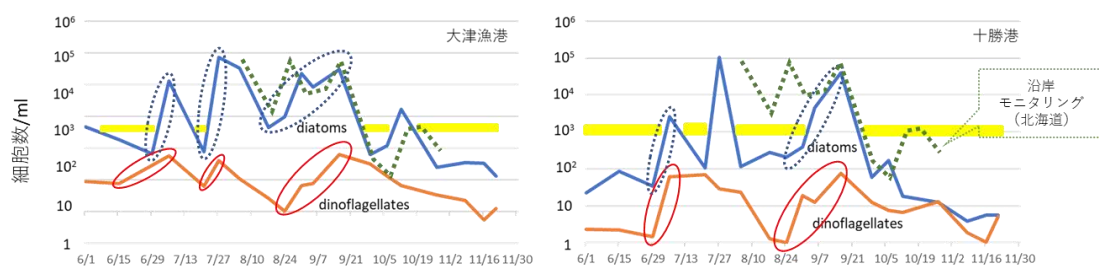


図 12 大津漁港と十勝港における珪藻と渦鞭毛藻の細胞数変化。青線：珪藻、オレンジ線：渦鞭毛藻、赤楕円：渦鞭毛藻が増加したタイミング、青点線：珪藻が増加したタイミング、緑破線：沿岸域の値（沿岸モニタリング、北海道）、黄色線：赤潮発生目安の珪藻密度 (10^3 cells/mL) を示す。

K. selliformis 赤潮の持続メカニズム

次に道東沿岸流を構成する水塊がもともと持つ窒素量について、2022 年夏季の調査結果から検討する。栄養塩などの環境調査を 2022 年 7 月から 9 月にかけて計 3 回、図 2 に示す根室沖の AN ラインにおいて実施した。いずれの調査においても、等密度線の深度は沿

岸に近づくにつれて深くなり、岸を右手にみて流れる沿岸境界流の構造を表しており、ANラインが道東沿岸流中に配置できていることを確認した。また、栄養塩の分析地点としたAN4地点では、塩分は海面から海底まで、7月と8月の調査では33.0~33.4の範囲内にあり、この水塊は宗谷暖流変質水であると判断された。ただし、9月の調査ではAN4地点の深度40m以浅の塩分が33.5となっており、黒潮系北上暖水の影響を受けていることが考えられた。このように、夏季の道東沿岸では、宗谷暖流変質水が道東沿岸流として流れており、このような状況は2021年の赤潮が発生した時にも同様に認められている。

AN4地点におけるDIN、クロロフィルa濃度の鉛直分布を図13に示す。いずれの観測においても、DINとクロロフィルa濃度の関係は深度25mを境に逆転し、この深度より上(下)層ではDINは低(高)く、クロロフィルa濃度は高(低)い。すなわち、上層では植物プランクトンの増殖による栄養塩の消費が示唆される。

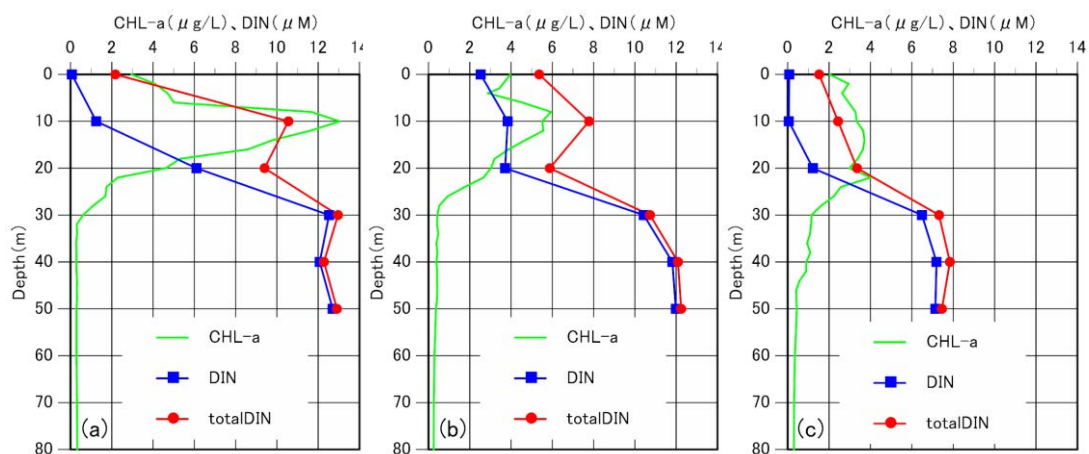


図13 根室沖AN4地点におけるクロロフィルa濃度、DIN、クロロフィルa濃度から換算した窒素濃度とDINとの和の鉛直分布。(a) 2022年7月26日 (b) 2022年8月17日 (c) 2022年9月2日観測。プランクトンにより消費された窒素量はクロロフィルa濃度の10倍と仮定した。

前述したように、道東沿岸流を構成する水塊がもともと持つ栄養塩量は、水中のDINと植物プランクトンの増殖により消費された窒素量との和で求められる。そこで両者の和(totalDIN)を計算し、その結果を図13に示す。ここで、植物プランクトンにより消費された窒素量はクロロフィルa濃度の10倍と仮定した。その結果、水塊がもともと持つ表層のDINは、海面から深度20mまでのDINの平均値とすると、7月から順に $7.4\mu\text{M}$ 、 $6.3\mu\text{M}$ 、 $2.4\mu\text{M}$ となる。9月のDINが他の月のそれよりも低くなっているが、前述したように9月には黒潮系北上暖水の影響が考えられる。このことを考慮すると、宗谷暖流変質水がもともと持つDINは約 $7\mu\text{M}$ と推察される。以上のことから、道東沿岸流を構成する宗谷暖流変質水がもともと持つ栄養塩量は夏季においても枯渇することではなく、ある程度高いことが判明した。この表層のDIN値 $7\mu\text{M}$ を用いて、1)で赤潮により消費され

た窒素量を求めた海域（図 5 参照）のもともと持つ窒素量を（3）式により計算した。

$$\text{窒素量} = \text{Area} \times \text{Depth} \times \text{DIN} \quad (3)$$

その結果、海域がもともと持つ窒素量は 6,164 トンとなり、この窒素量は先に示した赤潮形成により消費された窒素量 3,145 トンよりも多い。したがって、道東沿岸流が流れる海域では、2021 年の大規模赤潮を形成するだけのポテンシャルを潜在的に持っていたと判断される。

それでは、道東沿岸流を構成する水塊が持つ栄養塩により、*K. selliformis* はどの程度まで増殖が可能なのであろうか？ 前述したように、宗谷暖流変質水がもともと持つ DIN は約 $7 \mu\text{M}$ と推察された。*K. selliformis* のミニマムセルクオータを 17.6 pmol/cell と仮定すると、*K. selliformis* は、DIN が $7 \mu\text{M}$ の場合では 397 cells/mL まで増殖可能となる。また、図 13 から DIN は多い時で $10 \mu\text{M}$ に達しているので、この場合では *K. selliformis* は 568 cells/mL まで増殖可能となる。すなわち、*K. selliformis* は 500 cells/mL 程度までは、道東沿岸流を構成する水塊の栄養塩により増殖可能と考えられる。しかし、実際には数千細胞/mL の *K. selliformis* の出現が確認されており（図 3 参照）、この場合の窒素消費量は数十 μM に上る。栄養塩の豊かな親潮域といえどもそれだけの窒素量は沖合の表層には無い。*K. mikimotoi* は鉛直移動し、その距離は数十 m と考えられている。*K. selliformis* の鉛直移動に関しては現在試験中であるが、数千細胞/mL の高密度化は、同種が表層付近に能動的に集中分布するということを仮定すれば、十分に形成しうるものと考えられる。この仮定が正しいとすると、表層に集中分布するという *K. selliformis* の特性は、海産生物によってはよりへい死リスクを高める要因になっていると考えられる。

最後に河川水の影響について検討する。2022 年 9 月 1～2 日にかけて AN、AK、AB、AO、AT ライン上の観測定点において CTD 観測、栄養塩分析のための海面採水を実施した。各ラインにおける塩分の鉛直断面を図 14 に示す。なお、塩分 32 以下から成層が強くなっていることから、塩分 32 以下を河川水の影響が強い水塊とみなし図には陰影で強調した。AN ラインを除いた全てのラインにおいて、塩分 32 以下の水塊が分布していることがわかる。各ラインの一番沿岸寄りの観測点を距岸約 2.5 マイルに設定したので、河川水の影響は岸から 4～5 マイル沖まで及ぶことがわかった。また、塩分 32 以下の水塊が分布する深度はどの海域においても深度 5m 以浅であった。

次に各ラインにおける海面の DIN を図 15 に示す。沿岸寄りの定点では AN1 地点を除いて河川水の影響がみられたが、DIN は AO ラインを除き高くなることは無かった。AO ラインにおける海面の DIN は AO0 で $66 \mu\text{M}$ 、AO1 で $168 \mu\text{M}$ であった。*K. selliformis* のミニマムセルクオータを 17.6 pmol/cell と仮定すると、計算上は AO0 では $3,750 \text{ cells/mL}$ 、AO1 では $9,545 \text{ cells/mL}$ まで増殖可能である。前述したように、*K. selliformis* は海域の栄養塩により 500 cells/mL までは増殖可能と考えられ、表層付近に集中分布した場合には、