

【課題研究レポートの例： 2024年3月28日作成】

## サロマ湖の栄養物質と植物プランクトンの動態

芳村毅

北海道大学 大学院水産科学研究院 海洋生物資源科学部門

連絡先：〒060-0810 札幌市北区北10西5 北海道大学 環境科学院 A402

011-706-2324；yoshimura-t@fish.hokudai.ac.jp

★何でもお気軽にお問い合わせください★

### 1. はじめに

サロマ湖は北海道北東部のオホーツク海沿いに位置する汽水湖で、日本で3番目に大きな湖である。二つの湖口でオホーツク海とつながっていて海水交換が盛んであるため、分類上は汽水湖であるもののオホーツク海沿岸と変わらない塩分の海水で満たされている。サロマ湖はホタテガイ養殖発祥の地であり、湖内での成貝生産に加えて、オホーツク海の沿岸海域に放流するための稚貝生産の場となっており、北海道の漁業生産量の36%を占めるホタテガイの生産の要となっている(北海道データブック2023ウェブ)。

ホタテガイは海水中の微細な浮遊生物やそれらの死骸等の、海水中に粒子として存在する有機物をエサとして成長している。ホタテガイが捕捉できる有機物粒子はおおむね5 μm以上で200 μm程度までと考えられている(尾定, 2019)。これらエサとなる有機物粒子が海水中に十分な量で存在するとともに、適切な速度で新たに生産されていることが、ホタテガイが十分に成長できる環境として重要となる。海水中の有機物粒子は生物、非生物を含むさまざまな粒子で構成されるものの、植物プランクトンが主要な構成物となっている。このため、ホタテガイのエサ環境を理解するためには植物プランクトンの動態とともに、それを支配する栄養塩環境を評価する必要がある。

サロマ湖の環境調査において栄養塩は古くから調査対象となってきた。例えば Tada et al. (1993)は1986年～1988年にかけて湖内一地点で栄養塩濃度の季節変化を調査した。冬季の結氷下では、NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>濃度が10 μmol/L以上およびPO<sub>4</sub>濃度が1 μmol/L以上で、栄養塩は植物プランクトンの増殖が制限されない程度に十分な濃度である一方、解氷直後の4月には植物プランクトンの増殖によって栄養塩は利用されてしまい、11月頃まで低濃度の状態が続くことが報告されている。近年では、北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所が栄養塩の調査を継続しており、その一部のデータは三上ら(2019)によって報告されている。本レポートはエネルギー・環境・地質研究所による2018年の調査結果をもとに、サロマ湖の栄養塩と植物プランクトンの動態を解析した。

### 2. 調査方法

サロマ湖の調査は、2018年5月、7月、8月、10月に実施した。L1, L2, L3, L4, L5, L7, L8, L10, およびL12の9地点で実施された(図1)。水深は各地点で異なり、

L5 地点が約 18 m で最も深い。海水試料はバンドーン採水器を用いて、L7 地点を除き、鉛直的に複数の深度から採取された。栄養塩試料は 420 °C で加熱処理したガラス繊維ろ紙（ワットマン GF/F, 平均孔径 0.7  $\mu\text{m}$ ）でろ過した後分析まで保存した。NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub> は凍結保存された試料を用いて、SiO<sub>2</sub> は冷蔵保存された試料を用いて、栄養塩自動分析装置（ビーエルテック社製 QuAAtro2-HR）により分析した。本分析での定量下限値は NO<sub>3</sub> および NO<sub>2</sub> では 0.07  $\mu\text{mol/L}$ , NH<sub>4</sub> では 0.21  $\mu\text{mol/L}$ , PO<sub>4</sub> では 0.06  $\mu\text{mol/L}$ , SiO<sub>2</sub> では 0.18  $\mu\text{mol/L}$  であり、定量下限値未満の分析値はゼロとみなして図示した。植物プランクトン量の指標となるクロロフィル *a* (Chl-*a*) は植物プランクトン細胞を GF/F フィルター上に捕集し、メタノールで抽出して蛍光光度計で分析した。

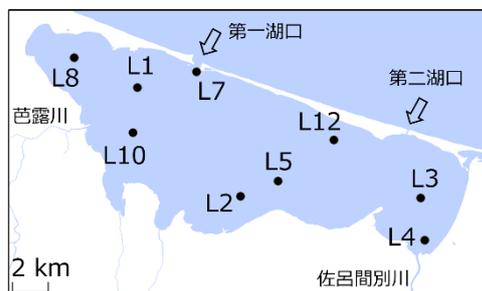


図 1. サロマ湖の採水調査地点。L7 は表面水のみを、それ以外では表面から湖底近傍まで鉛直的に採水した。地図は国土地理院ウェブサイトで作成した。

### 3. 物理環境

2018 年に調査した 9 地点の表面水のデータでは、水温の地点間の違いは小さい一方で、塩分の水平分布には偏りがあった（図 2）。もっとも特徴的なのは、L4 地点の塩分が他の地点よりも低かったことである。L4 地点は佐呂間別川の河口近くに位置しているため（図 1）、流入する河川水の影響を受けていたと考えられる。L4 の近傍に位置する L3 地点でも塩分が低下していた傾向があり、サロマ湖東側は河川水の影響を受けやすいことがわかる。同様に、西側の L8, L10, L1 地点において塩分が低下した場合は、芭露川の河口が近いことに起因した可能性がある。佐呂間別川および芭露川の栄養塩濃度は湖水よりも高いため（三上ら, 2019）、河川水の供給によって塩分が低下している場合は栄養塩濃度への影響にも注目する必要がある。

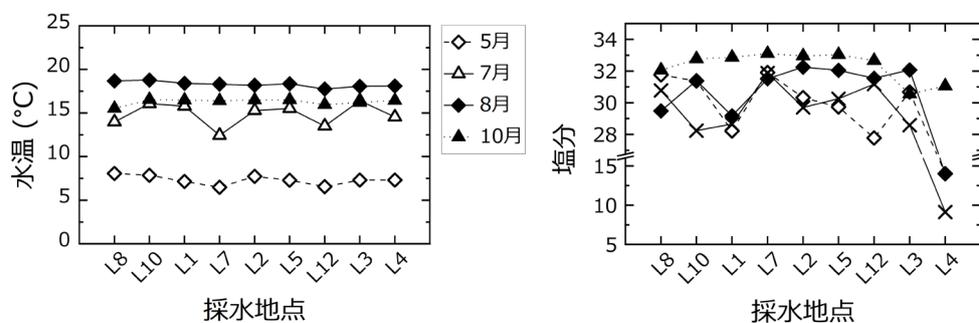


図 2. サロマ湖表面水の水温（左）および塩分の水平分布（右）。採水地点は西から東にかけて位置する順に並べた。

次に、海表面から湖底までの海水（水柱と呼ばれる）の物理環境を図示すると、水温・塩分が鉛直的に勾配を持っていたことがわかる（図 3）。サロマ湖西側の最深部である L5 では、水温は 5 月、8 月、10 月では鉛直的な変化が小さいものの、7 月には深度 5 m 以浅にそれ以深よりも温かい水の層が存在した。鉛直的に水温が大きく変化する層を水温躍層と呼ぶ。躍層が存在する場合、その上下の層の水は混合しづらい環境となっており、水柱が成層化していることになる。一方、塩分はどの季節でも深度が浅いほど低塩分となっていた。L5 では 5 月～8 月は深度 4 m 付近に塩分躍層がみられ、成層化した環境だった。10 月は鉛直的な混合が進み、水温・塩分が鉛直的に均一な状況に近づいていた。これらの物理環境の特徴は、柴沼ら（1995）による 1988 年～1991 年にかけての調査結果と合致している。サロマ湖水の特性は二つの湖口から流入するオホーツク海の沿岸水の影響が大きいと捉えられている。そして、気象条件により湖に流入する河川水量が変化することで、表層水の特性が季節変動および年変動していると考えられる。すなわち、サロマ湖水の水温・塩分は、オホーツク海の沿岸水の流入に伴って変化しつつ、春季から夏季には河川水の流入が沿岸水よりも低塩分な表層水を形成し、深度 5 m 以浅に躍層が発達する。秋季以降は気温の影響による表面水温の低下に起因する水柱の鉛直的な混合が進み、全層の水質が均一化していく。これらの物理環境の変動を考慮しながら栄養塩濃度の変化を理解していく必要がある。

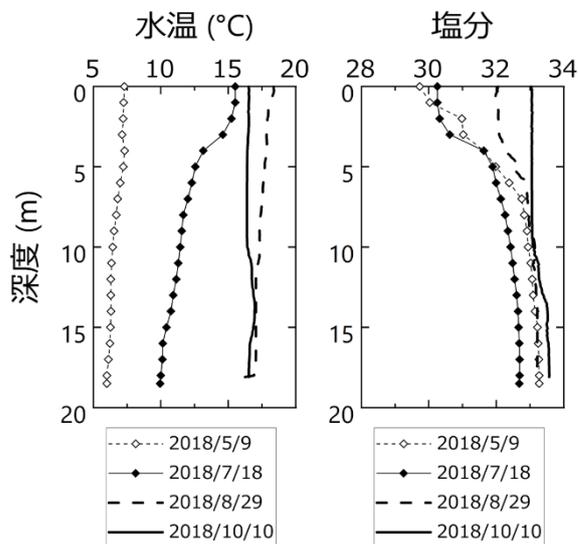


図 3. L5 地点での水温および塩分の鉛直分布の季節変化。

#### 4. 栄養塩および Chl-*a*

##### 4-1. 水平的な変化

表面水中の栄養塩および Chl-*a* 濃度の水平分布を調べると、西低東高の傾向がみえた（図 4）。表面水の NO<sub>2</sub> および NH<sub>4</sub> 濃度は定量下限値未満であることがほとんどだったため、図 4 には NO<sub>3</sub>、PO<sub>4</sub>、SiO<sub>2</sub> を示した。L4 を除く地点では NO<sub>3</sub> 濃度は 7 月～8 月に、PO<sub>4</sub> 濃度は 5 月～8 月に定量下限値未満が多く、表層水では窒素とリンがほぼ枯渇

した状態が長く維持されていた。SiO<sub>2</sub>も7月～8月には低濃度となっていた。Chl-*a*濃度は3 μg/L以上であることが多かった。オホーツク海の沿岸水のChl-*a*濃度は春季の植物プランクトン大増殖時期以外では1 μg/L以下が多い(塩本ら, 2018)ことと比較すると、サロマ湖は植物プランクトン量が比較的多い状態が維持されており、それらの増殖が栄養塩を使い尽くしていたと考えられる。これらの栄養塩の状況はTada et al. (1993)が報告した1986年～1988年の結果と類似していた。一方、L4地点は全調査日で他地点よりも栄養塩濃度が高く、Chl-*a*濃度も高かった。L4の表層では佐呂間別川からの河川水流入が塩分を低下させたと同時に栄養塩濃度を増加させ、結果として植物プランクトンの増殖を促進していたと考えられる。佐呂間別川や芭露川の河川水中の栄養塩濃度は湖水よりもNO<sub>3</sub>で2桁～3桁、PO<sub>4</sub>で1桁高いのが普通であるため(三上ら, 2019)、河川水流入は栄養塩環境を大きく変化させていたことがわかる。L4近傍のL3や、さらにL12地点でも栄養塩とChl-*a*濃度が比較的高い傾向がみられ、サロマ湖東側の表面水では佐呂間別川から栄養塩が供給され、植物プランクトン量が高く維持されていたと考えられる。ただし、セクション3で記述したように、サロマ湖では季節的に水柱の成層化の有無があり、春季から夏季には表層と底層が形成されて両者間で水が混合しづらくなる。次で記述するように、季節的に表層と底層で栄養塩濃度が大きく異なる場合があり、水柱全体での栄養塩およびChl-*a*量の水平的な分布は別に考える必要がある。

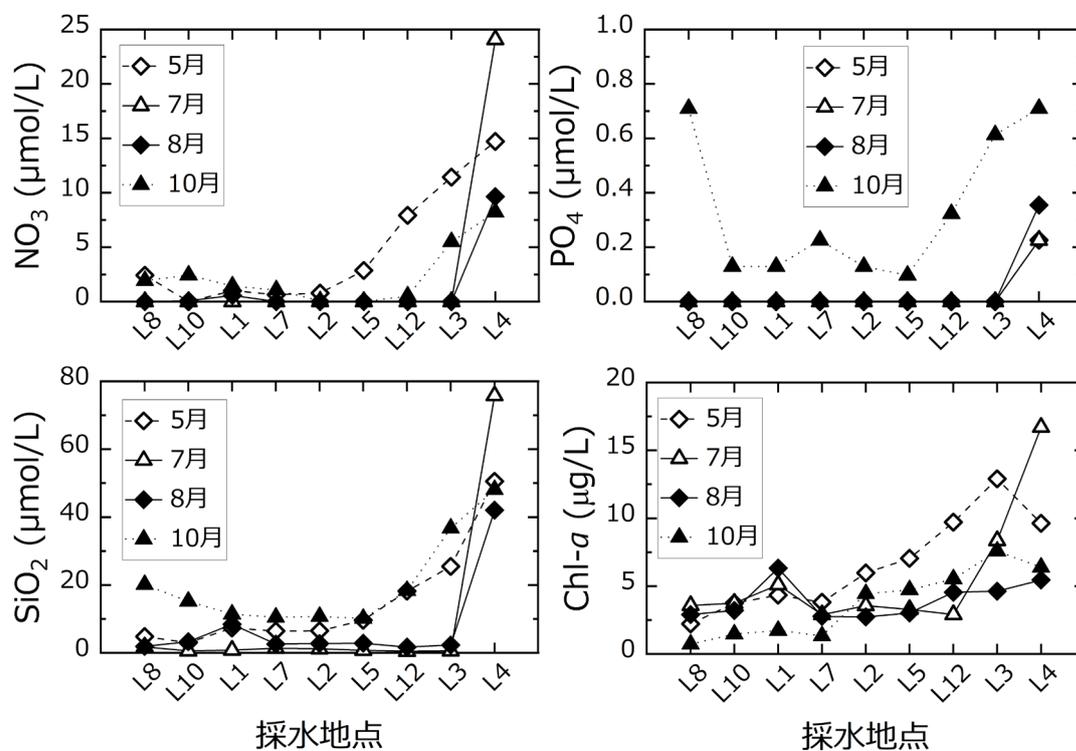


図4. 表面水の栄養塩およびChl-*a*濃度の水平分布。採水地点は西から東にかけて位置する順に並べた。

#### 4-2. 鉛直的な変化

次に、水柱の栄養塩と Chl-*a* 濃度の分布をみると、季節毎に鉛直分布の特徴が変化していたことがわかる（図 5）。L5 地点の NO<sub>3</sub> 濃度は原則的に全層で低く、河川水が供給されて表面水の塩分が低下した際に NO<sub>3</sub> 濃度が上昇していた。NH<sub>4</sub> 濃度は 0 m および 5 m では低く、夏季から秋季にかけて底層で上昇した。PO<sub>4</sub> と SiO<sub>2</sub> 濃度も夏季から秋季に底層で上昇したが、0 m および 5 m でも同様に上昇する場合があった。夏季から秋季の時期は溶存酸素濃度が底層内で湖底に向かって低下しており、栄養塩濃度の上昇は湖底付近での有機物の分解・溶解により生成されたものと推測される。底層での有機物分解に伴う栄養塩の再生は深度 15 m 以深で顕著だったように見える。これに加えて、表層に河川水が付加された場合は河川水中の各栄養塩濃度に応じて湖水の栄養塩濃度が上昇していたと考えられる。セクション 3 で確認した物理環境の季節変化からは、夏季に底層で蓄積した栄養塩は、秋季の鉛直混合により表層を含めた全層に供給されていたはずであるが、このような典型的な調査結果は得られなかった。栄養塩の供給（底層での再生）と消費（植物プランクトンによる利用）が密接に関連していた結果と思われる。ただし、実際には Chl-*a* 濃度が秋季に明確に上昇する様子は観測できなかった。すなわち、本研究での年間 4 回の調査では、栄養塩濃度の変化と植物プランクトン量の変化を直接的に結びつける調査結果を得ることはできなかった。湖内の栄養塩濃度は、湖内での再生、河川からの供給、オホーツク海の沿岸水との間での流出入で変化するとともに、植物プランクトンによる消費の影響も受け、多くのプロセスの複合結果を観測していることになる。年間の調査回数を増やすことで、栄養塩と Chl-*a* 濃度のより詳細な動態を把握することが可能となるだろう。

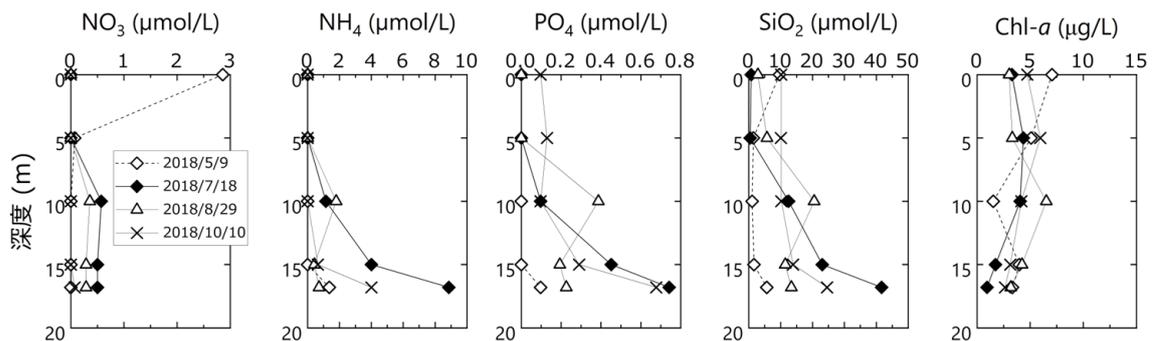


図 5. L5 地点での栄養塩と Chl-*a* 濃度の鉛直分布の季節変化。

#### 5. おわりに

佐呂間別川からの栄養塩の供給が確認できるサロマ湖東側に加えて、L5 地点をはじめサロマ湖西側において、NO<sub>3</sub> が枯渇していても植物プランクトン量が比較的高く維持されていることは、ホタテガイのエサ環境としては好ましい状況である。ただし、植物

プランクトンの増殖を支えている栄養源を本レポートでみてきた  $\text{NO}_3$  のような栄養塩だけからは説明できないかもしれない。植物プランクトンが利用可能とされる尿素などの溶存態有機窒素の挙動や、濃度の増加として検出できていない栄養塩供給プロセスを明らかにする必要がある。地球温暖化の着実な進行がサロマ湖の環境を変化させることは不可避であるものの、サロマ湖の栄養物質動態の理解をより深化させることは、サロマ湖の持続的なホタテガイ養殖に貢献すると考えられ、さらなる発展的な調査が期待される。

## 引用文献

- 1) 尾定 誠. 「カキ・ホタテガイの科学」朝倉書店. 2019.
- 2) Tada K, Kurata M, Nishihama Y. Seasonal changes of chlorophyll *a* and nutrients in Lake Saroma. *Bulletin of Plankton Society of Japan*. 1993; 39: 163–165.
- 3) 三上英敏, 五十嵐聖貴, 阪口耕一. サロマ湖における流域と湖底からの栄養塩供給について. *環境科学研究センター所報* 2019; 8: 33–54.
- 4) 柴沼成一郎, 梶原昌弘, 三宅秀男. サロマ湖における水塊変動. *水産海洋研究* 1995; 59: 1–9.
- 5) 塩本明弘, 藤本康孝, 三村尚哉, 佐々木章裕, 糸井大地, 今里翔真. 北海道オホーツク海沿岸域におけるクロロフィル *a* と環境要因の季節変動について. *日本水産学会誌* 2018; 84: 241–53.