

# オホーツク沿岸潟湖における 汽水環境の維持機構と水理条件への応答特性

駒井 克昭<sup>1</sup>・篠原 健人<sup>2</sup>・内田 悠介<sup>3</sup>・園田 武<sup>4</sup>・松田 烈至<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 北見工業大学 工学部社会環境系 (〒090-8507 北海道北見市公園町165)

E-mail: komai@mail.kitami-it.ac.jp

<sup>2</sup>戸田建設株式会社 札幌支店土木工部 (〒060-0033 北海道札幌市中央区北3条東2丁目)

<sup>3</sup>博士前期課程 北見工業大学大学院工学研究科 (〒090-8507 北海道北見市公園町165)

E-mail: m2052200024@std.kitami-it.ac.jp (Corresponding Author)

<sup>4</sup>東京農業大学 生物産業学部海洋水産学科 (〒099-2493 北海道網走市八坂196)

<sup>5</sup>博士後期課程 鳥取大学大学院連合農学研究科 (〒680-8553 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101)

汽水域の水産有用種にとって重要と考えられている塩分を制約条件として懸濁物質と鉄に拡張した概念モデルを用いて、藻琴湖とシブノツナイ湖における諸過程の寄与の大きさを検討した。概念モデルにおいては、潟湖における流入河川水の滞留、懸濁物の沈降・再懸濁、溶存物質の溶出、および生物的な取り込みを考慮した。モデルによる解析の結果、藻琴湖では流域の土地利用に畑地が多く、土砂流入が大きいいため沈降と再懸濁の寄与が比較的に大きいと考えられた。感度解析の結果、シブノツナイ湖の汽水環境は河川改修や気候変動による流量変化、湖内の地形変化、および湖口の閉塞等に対して脆弱であることが示された。

**Key Words :** lagoon, hydraulic residence time, iron, conceptual model, brakishwater clams

## 1. はじめに

陸域由来の栄養塩や腐植物質と結合した鉄の供給は磯焼けの抑止など豊かな海洋環境の醸成に効果がある<sup>1)</sup>。一方、河川改修や農地造成、農薬の散布など、流域での人為的な開発・汚染が漁場環境に影響を及ぼしていることが明らかになりつつある<sup>2)</sup>。オホーツク沿岸域に存在する潟湖は、マガキやヤマトシジミ（以下、シジミと略す）などの養殖の他、サケ、シラウオ、ワカサギなどの貴重な漁場となっている。シブノツナイ湖と藻琴湖はシジミの養殖で利用されている<sup>3)</sup>が、近年では藻琴湖においてシジミの再生産が難しくなっている<sup>4)</sup>。再生産の制限要因としては繁殖期である夏季の水温と塩分が重要である<sup>5)</sup>ことから、物理環境として海水交換や湖水の滞留時間の管理も重要となる。松田ら<sup>7)</sup>は室内実験による殻長別アンモニア毒性実験から、酪農の盛んな北海道においてしばしば見られる流域由来のアンモニアがシジミの生残に及ぼす影響を見出ししている。一方、ろ過食者であるシジミのエサとなる植物プランクトンにとって硝酸塩、リン酸塩、鉄、亜鉛などの微量元素が必須元素であり、そのうち鉄は植物プランクトンの光合成・呼吸系における電子伝達、硝酸・亜硝酸還元、光合成色素の合成など生命活動の中心的役割を担っている<sup>8)10)</sup>。しかし、自然水中の好氣的かつ中性pH下の鉄は、溶解度が低く

難溶性の水酸化鉄となり沈殿除去され、一部の沿岸域や海洋では植物プランクトンの生長制限栄養素となっている<sup>11)</sup>。オホーツク海沿岸においても周辺流域により供給される鉄および腐植物質は、生態系を支える重要な要素の一つだと考えられるが、わが国屈指の自然環境と広大な農地からなる背後地と複雑な流動場を有するオホーツク沿岸に点在する海跡湖の存在により鉄の供給過程は未解明な部分が多い。以上のことから、潟湖での水産資源を保全するには流域由来物質の負荷管理とともに適切な塩分の維持が重要である。本研究では水質の観測値に基づく基礎的な検討を行うため、塩分を変数とするボックスモデルに種々の要素モデルを組み合わせることで懸濁物濃度 (SS) と鉄に適用できるように拡張し、シブノツナイ湖と藻琴湖の2つの潟湖の塩分、SS、鉄の循環過程とその維持機構、および影響要因を明らかにした。

## 2. 研究手法

### (1) 現地観測と水質分析

調査水域は北海道東部のオホーツク海沿岸に位置するシブノツナイ湖と藻琴湖 (図-1) および流入河川である。最大水深はそれぞれ1.2 mと4.7 mである。前者の流域のうち約75%が森林を占めているが、後者では森林は約

50%であり、約30%は畑地である。調査日はシブノツナイ湖では2018年6月21日、7月14日、8月22日、藻琴湖では2018年6月27日、7月11日、8月22日である。図-1に示す各調査地点の表層で塩分、水温を測定するとともに100 mLを採水し、速やかに全鉄(TFe)と蛍光強度を分析した。TFeは1,10-フェナントロリン吸光光度法を用いて測定した。蛍光強度のサンプルは孔径0.7 μmのメンブレンフィルター(Advantec製, DF/F)を用いて濾過を行った。腐植物質の一種であるフルボ酸様物質は、蛍光分光光度計(日本分光, FP-6200)を用いてEm/Exが430 nm/320 nmのピーク位置<sup>14)</sup>(F<sub>1</sub>)の相対蛍光強度で濃度を評価した。ブランク値は蒸留水のデータとし、水のラマン光を基準に相対蛍光強度を求めた<sup>15)</sup>。

(2) 概念モデルによる湖内の物質循環の推定

水質管理や自然・人為的要因の影響評価を行う上で、塩分を与条件としたボックスモデルは解析解が得られることから感度解析に好都合である。同種概念に基づく河川水のflashing time<sup>16)</sup>は水域の平衡状態が仮定できる場合に流域由来の湖内における物質の滞留時間にも適用可能である。すなわち、溶出による増加率、沈降による減少率、および水生生物による消費率を考慮すると以下のように定式化できる。

$$\frac{(c_s - c_l)V}{T} = F_A + F_D + F_S + F_R + F_G + \varepsilon \quad (1)$$

ここに、 $T$  : 滞留時間、 $c_s$  : 海水中の物質濃度、 $c_l$  : 湖中の物質濃度、 $V$  : 湖の体積、 $F_A$  : 河川水と海水の移流フラックス、 $F_R$  : 溶出によるフラックス、 $F_D$  : 凝集・沈降によるフラックス、 $F_S$  : 堆積物の再懸濁フラックス、 $F_G$  : 水生生物による消費フラックス、 $\varepsilon$  : その他(誤差)のフラックスである。 $\varepsilon$ には出水や生物の消長等に伴う非平衡な現象による影響、成層期の鉛直方向の水質変化、朔望周期の潮位変化に伴う海水の侵入、等のボックス内の水質が均一でないときの誤差が含まれる。物理的な移流フラックス $F_A$ は、

$$F_A = \sum_{n=1}^N (c_s - c_{Rn})Q_{Rn} \quad (2)$$

ここに、 $c_{Rn}$  : 河川nの河川水中の物質濃度、 $Q_{Rn}$  : 河川nの流量である。シブノツナイ湖の場合は $N=2$ で $n=1, 2$ がNS-in, SB-in、藻琴湖の場合は $N=1$ で $n=1$ がML-inの河川に対応する。本研究では塩分、SS、および全鉄についてこれらのモデル式を適用した。

式(1)を塩分に適用する場合、保存量と考え、 $F_R$ 、 $F_D$ 、 $F_S$ 、 $F_G$ 、 $\varepsilon$ はすべてゼロと近似し、河川水の塩分 $c_{Rn}$ についてもゼロと近似できる。このとき、塩分についての式から滞留時間は以下のように表せる。

$$T = \frac{(c_s - c_l)V}{\sum_{n=1}^N c_s Q_{Rn}} \quad (3)$$

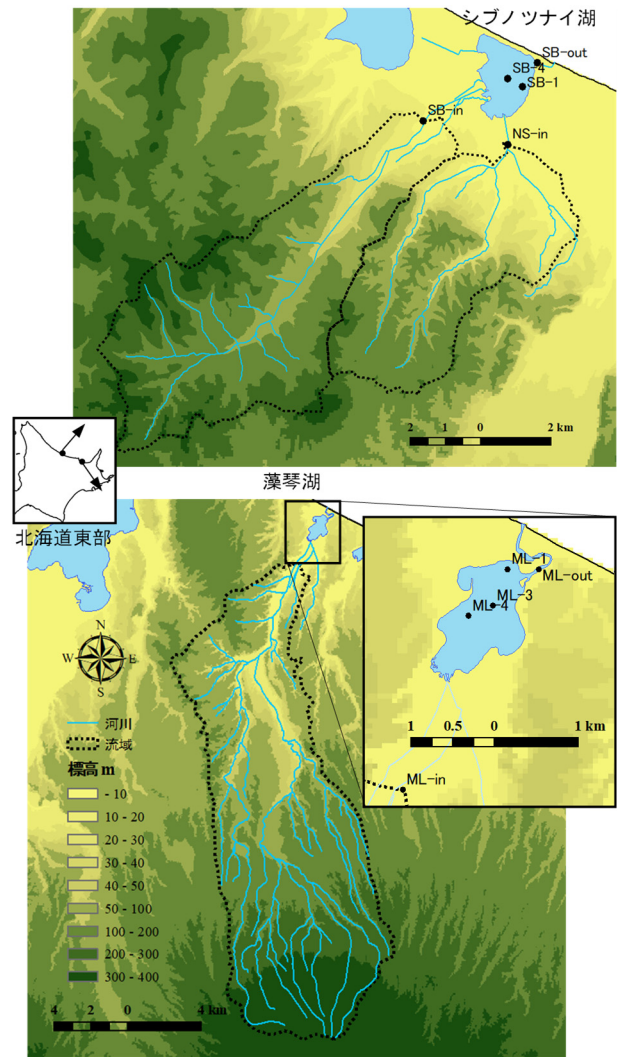


図-1 研究対象水域、流域<sup>11)12)</sup>、および調査地点

式(1)をSSに適用する場合、 $F_R$ と $\varepsilon$ はゼロとする。TFeについては、全てのフラックスを考慮する。

藻琴湖の水深は国土地理院の湖沼図(5万分の1)<sup>17)</sup>を読み取り、体積 $V$ を算出した。シブノツナイ湖は湖沼図がないため、各調査地点の水深データや、航空写真、隣接するコムケ湖の水深をもとにシブノツナイ湖の水深を求め、藻琴湖と同様に体積 $V$ を算出した。

a) 河川からの流入負荷の推定

シブノツナイ湖の流域の隣の流域には北海道開発局所管の湧別川の流量観測所(中湧別)<sup>18)</sup>があり、集水面積比を用いて流入河川(SB-inとNS-in)の流量を推定した。また、2019年10月4日~10日にかけてSB-inで流量観測を実施した結果から濃度-流量関係式(C-Q式)を作成し、月平均のSS負荷量を推定した。藻琴湖では流入河川(ML-in)に北海道オホーツク振興局所管の水位観測所(山里)<sup>19)</sup>があるため、水位-流量関係式(H-Q式)から流量を推定した。また、2020年11月21日から22日にかけて藻琴川において流量観測を実施した結果からC-Q式を作成して、月平均のSS負荷量を推定した。TFeの移流、

沈降, および再懸濁フラックスは, SSに関する各フラックスをもとに実測の単位SS当たりのTFeの含有率から推定した. ここに, 藻琴湖とシブノツナイ湖ではそれぞれ観測値 (3.6%と6.0%) を用いた.

**b) 沈降によるフラックス**

汽水域においては塩分による凝集効果により懸濁粒子が緩いフロックを形成するため, 粒子の沈降速度はStokes則による沈降速度よりも小さくなる. シブノツナイ湖では, 駒井ら<sup>20</sup>が提案した沈降実験を用いた手法によって現地で採取した懸濁粒子による沈降速度実験により沈降フラックス $F_D$ を求めた. 実験にはレーザー回折式粒度分布計(島津製作所製, SALD-2100)を用い, 濁度の測定には透過散乱光比較測定方式の濁度計(Lutron社製, TU-2016)を用いた. 藻琴湖では, 実測の底泥の有機成分と粒度分布値から, 以下のモデル式<sup>21</sup>)を用いて沈降速度分布を求めた.

$$w_f = \frac{g}{18\mu} (\rho_s - \rho_w) \left(\frac{D_f}{d_0}\right)^{D-3} D_f^2 \quad (4)$$

ここに,  $w_f$ : フロックの沈降速度,  $g$ : 重力加速度,  $\mu$ : 溶媒の粘性係数,  $\rho_s$ : 土粒子密度,  $\rho_w$ : 溶媒の密度,  $D_f$ : フロック径,  $d_0$ : 粒子の粒径,  $D$ : フラクタル次元, である.  $D$ は強熱減量(IL)とCN比の関数として与える.

$$D = 3 - 2 \frac{IL}{IL + K} \quad (5)$$

$$K = 0.797(CN_{ratio} - 6.625) \quad (6)$$

ここに, ILは湖心部での実測値, CN比は既往の文献値<sup>22</sup>)を用いた.  $w_f$ を用いると式(1)の沈降によるフラックスは以下のように表せる.

$$F_D = c_{ss} A_l \int_{D_{fmin}}^{D_{fmax}} w_f(D_f) P(D_f) dD_f \quad (7)$$

ここに,  $c_{ss}$ : 懸濁物濃度あるいはそれに含まれる物質濃度,  $A_l$ : 湖の底面積,  $P(D_f)$ :  $D_f$ 毎の頻度, である.  $P(D_f)$ はレーザー回折式粒度分布計で測定した値あるいは文献値<sup>23</sup>)を用いる.

**c) 再懸濁によるフラックス**

式(3)から河川水の滞留時間が求まり, 式(7)から沈降フラックス $F_D$ が求まるので, SSに関する式(1)にそれらを代入することで式(1)の再懸濁によるフラックス $F_S$ を推定可能である.

**d) 溶出によるフラックス**

河川により沿岸域に供給された鉄の一部は水中の酸素と結びつき, 不溶性の水酸化鉄となり析出・沈殿するが, 溶存鉄として再度底質から溶出する. 式(1)の底泥からの溶出フラックス $F_R$ は以下のモデル式<sup>22</sup>)を適用する.

$$F_R = \gamma \tanh \frac{C_{OX}}{O_{2BW}} \quad (8)$$

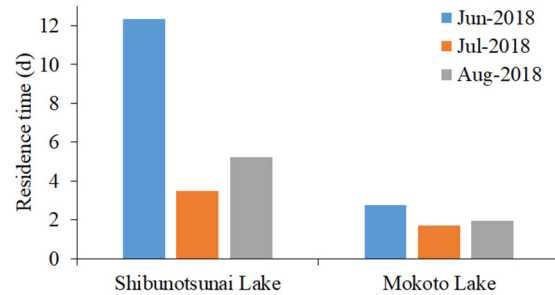


図-2 滞留時間

ここに,  $\gamma$ : 河口から十分に離れた安定した場所における最大フラックス (=9.5 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>),  $C_{OX}$ : 堆積物の炭素酸化速度,  $O_{2BW}$ : 底層水の溶存酸素濃度である. 本研究では現地水域は比較的的好気条件下にあり, すでに底泥は酸化された状態にあると考えられることから,  $O_{2BW}$ には湖水の実測値(DO=10 mg/L)と $C_{OX}$ は16.8 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>を用いた.

**e) 生物による消費フラックス**

藻琴湖とシブノツナイ湖はシジミの養殖に利用されている. シジミは水中の植物プランクトンを濾過摂食していることから, 単位重量当たりの濾過量と現地のSS濃度, および漁獲量<sup>4</sup>)から湖全体でのシジミによるSS消費フラックス $F_G$ を計算する. 文献<sup>25</sup>)によると, シジミ1g当たりの濾過量は0.2 × 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/sであるため, SS濃度と漁獲量を用いると, シジミのSS消費フラックス $F_G$ は以下の式から求められる.

$$F_G = 0.2 \times 10^{-3} \times c_l \times M \quad (9)$$

ここに,  $F_G$ : シジミによるSS消費フラックス(mg/s),  $c_l$ : 湖水のSS濃度(mg/m<sup>3</sup>),  $M$ : 漁獲量(g)である. 2018年のシジミの漁獲量は藻琴湖とシブノツナイ湖でそれぞれ7.4 tと6.4 tである. TFeに関する $F_G$ はTFeとSSの相関関係(R<sup>2</sup>=0.67)から推定した.

**3. 潟湖の諸過程に関する水理的要因の検証**

**(1) 塩分を用いた滞留時間**

図-2は塩分の収支式から求めた河川水の滞留時間を示している. 藻琴湖は1.7~2.7日であるのに対し, シブノツナイ湖は3.5~12日と滞留時間が長い. なお, 水深が浅いものの成層が発達し湖内の塩分が小さく見積もられた場合には,  $T$ が過大に評価される可能性がある.

**(2) SSを用いた凝集・沈降, および再懸濁過程**

先述した通り, SSに関して式(1)は,  $F_A$ ,  $F_D$ ,  $F_S$ ,  $F_G$ が影響することから, 再懸濁 $F_S$ は以下のように表せる.

$$F_S = \frac{(c_s - c_l)V}{T} - F_A - F_D - F_G \quad (10)$$

なお、正の $F_S$ は沈殿を表している。

図-3はSSに関する諸過程のフラックスの比較を示している。シブノツナイ湖に比べて藻琴湖では流域が大きく、また、流域の畑地が多いため、河川流量の季節変化に伴う土砂流入がSSの収支に大きな影響を及ぼしていることが分かる。藻琴湖の過去の地形変化から推定される土砂流入量<sup>26)27)</sup>は2,100 m<sup>3</sup>/y (=約431 kg/h)であるが、粗粒分を含む堆積土砂ベースの土砂量であること、沈砂池による土砂流入の防止対策が行われる前の地形変化が含まれていること、および成層の影響が含まれていることを考慮すると、図-3に示す6月の正味の沈降フラックス(=沈降フラックス $F_D$ +再懸濁フラックス $F_S$ )=183 kg/h)がやや小さめなのは妥当な結果である。7月と8月においては出水の影響により上流より流入したSSが沈殿したことが影響しているため、大幅に沈殿分が過小評価されている。これは河川からのSSの流入量を見積もる際のSS濃度を見積もる濃度-流量関係式(C-Q式)が実際に7月と8月に生じた出水に比べて規模の小さい出水時の観測結果から求められていることや出水によって平衡状態になかったためと考えられる。このため、以下の考察からは藻琴湖の7月と8月は除く。

#### 4. 潟湖での鉄収支と変動要因の分析

##### (1) シジミによる消費率 $F_G$ の検証

各湖でのシジミの再生産の状況が異なることから、各湖で養殖されているシジミから直接に鉄含有量を測定することで検証を行った。まず、各湖のシジミを2個体ずつを乾燥させ、次に硝酸による開放湿式加熱酸分解することで溶液化し(図-4)、2(1)と同様にTFeを測定することで、シジミの単位湿潤重量当たりの鉄含有量 $K$ を求めた。藻琴湖とシブノツナイ湖の $K$ はそれぞれ0.12 mg/gと0.18 mg/gであり、わずかに藻琴湖の方が高かった。この値から、シジミによる消費フラックス $F_G'$ を試算する。

$$F_G' = \frac{K \times M}{t} \quad (11)$$

ここに、 $t$ :各湖でのシジミの生育期間である。式(11)によると、藻琴湖とシブノツナイ湖でそれぞれ0.10 g/hと0.13 g/hとなった。同様に濾水量に基づく式(9)から求められたTFeの消費フラックス $F_G$ はそれぞれ6.5 kg/hと5.6 kg/hであったことから、式(9)は過大評価といえる。これは式(9)では濾過した懸濁物に含まれる鉄分のシジミによる収率を1.0と仮定した場合に相当するためと考えられ、実際にはシジミに吸収される正味の鉄成分は少ないと考えられる。このため、TFeの収支への寄与は非常に小さ

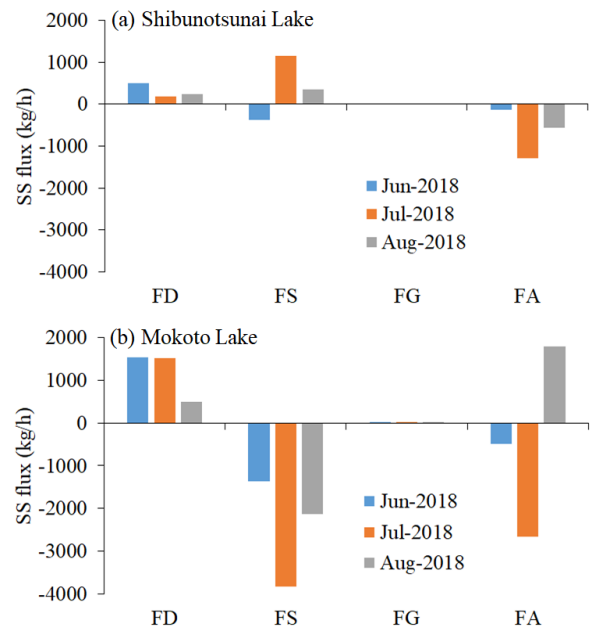


図-3 SSに関する諸過程のフラックスの比較

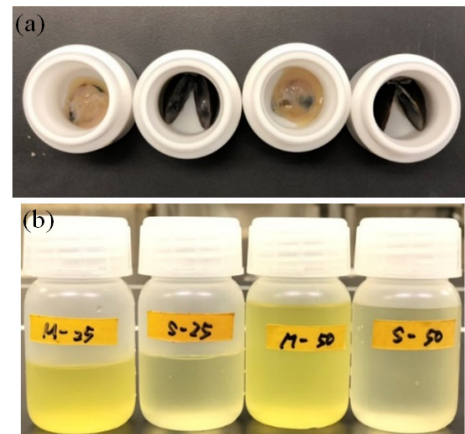


図-4 乾燥前のシジミ(a), 定容したサンプル(b)

いことが予想される。以降の解析では、式(11)から求めた消費フラックスを使用する。

##### (2) 鉄に関する諸過程の比較

図-5は6月の鉄に関する諸過程のフラックスの比較を示している。SSと同様に、移流と凝集・沈殿、および再懸濁の循環が鉄の主な過程であり、両湖ともにフラックスのオーダーは近い。また、溶出の寄与は非常に小さい。シブノツナイ湖に比べて藻琴湖では鉄の移流フラックス $F_A$ が大きい。全フラックスに対する $F_A$ の大きさを $F_A / \sum |F|$ で表すと藻琴湖とシブノツナイ湖でそれぞれ0.31と0.12である。これは藻琴湖では流域が大きく、また畑地面積が約30%と大きいいため、流域からの鉄の流入が大きいことが考えられる。

##### (3) フルボ酸様物質が鉄収支に及ぼす影響

フルボ酸が存在すると、鉄と錯体を形成してフルボ酸鉄となる。このフルボ酸鉄は溶存態として存在し、化学

的反応性が高く、植物プランクトンにとって利用しやすい形態である。腐植物質は、周辺の湿地帯や森林域から供給され、水域を移動する過程で鉄と結びつき沿岸域や海洋に運ばれる<sup>10)</sup>。そのため鉄以外にも腐植物質の動態は水域の一次生産にとって重要である。図-6はシブノツナイ湖と藻琴湖におけるフルボ酸様物質の相対蛍光強度とTFeの比較を示している。藻琴湖では移流によるフラックス $F_A$ が相対的に大きいためTFe濃度は高いが、フルボ酸様物質の濃度はシブノツナイ湖の方が高いため、鉄の可溶性が高く生物利用しやすいことが推測される。一方、藻琴湖ではシジミの鉄の含有率が高いことから浮遊性の微細藻類に加えてコロイド状のフルボ酸鉄を経由して鉄を吸収していることが考えられた。

(4) 水理条件が汽水環境に及ぼす影響

先の結果から、移流フラックス $F_A$ の大きさの違いが潟湖内の鉄収支に大きな影響を及ぼしていることが考えられた。図-7は出水の影響の小さい6月を基準にして河川流量（6月の河川流量の±4%）と滞留時間（6月の滞留時間の±4%）の変化を与えた場合の水質（z、塩分）の変化を示している。感度解析の結果、藻琴湖に比べてシブノツナイ湖では流量と滞留時間の変化に対する水質（z）への影響（zの変動幅）が大きい。シブノツナイ湖ではもとより塩分が低く、河川改修や気候変動による流量変化や潟湖内の地形変化、および湖口の閉塞に対して湖内の汽水環境は脆弱であることがわかった。

5. おわりに

- 1) 塩分を保存物質として扱ったボックスモデルにSSに関する諸過程に関するサブモデルを組み込むことで多変数のボックスモデルによる解析を行い、SSを含む水理的要因に関する諸過程を解析的に推定するモデルを構築した。さらにそれを利用して鉄に関する物理的、化学的、生物的な諸過程を組み込むことで鉄に関するボックスモデルを構築した。
- 2) 鉄に関するモデル解析の結果、藻琴湖の移流、沈降、再懸濁フラックスが相対的に大きいことが分かった。また、モデルの感度解析によると、シブノツナイ湖では流量と滞留時間の変化が水質に及ぼす影響が大きく、河川改修や気候変動による流量変化や潟湖内の地形変化、および湖口の閉塞に対して湖内の汽水環境は脆弱であることが分かった。

謝辞：本研究の粒度分析は北見工業大学共用設備センターの装置を利用して実施した。また、現地調査と実験は網走漁協、湧別漁協、および紋別漁協の協力を得て実施

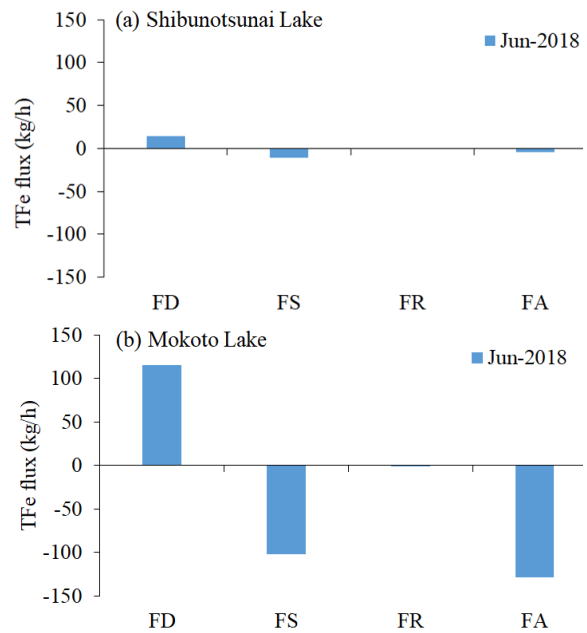


図-5 TFeに関する諸過程のフラックスの比較

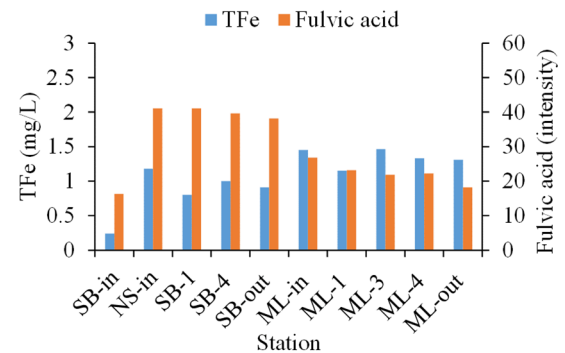


図-6 フルボ酸様物質とTFeの比較

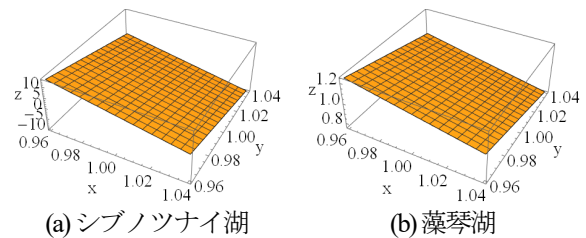


図-7 水質の感度解析結果 (x, y, zはそれぞれ河川流量、滞留時間、塩分を6月の値で無次元化した値)

した。流入河川のデータは北海道開発局と北海道オホーツク振興局による観測データを利用した。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 水産庁漁港漁場整備部：磯焼け対策における施肥に関する技術資料，2015。
- 2) 中村幹雄：わが国の水産業「やまとしじみ」，<http://www.fish-jfrc.jp/02/pdf/pamphlet/094.pdf>（最終閲覧日：2021年1月6日）
- 3) Yamamuro, M., Komuro, T., Kamiya, H., Kato, T., Hasegawa, H., & Kameda, Y.: Neonicotinoids disrupt aquatic food

- webs and decrease fishery yields, *Science*, Vol. 366(6465), pp.620-623, 2019.
- 4) 北海道立総合研究機構水産研究本部：平成30年度道総研さけます・内水面水産試験場事業報告書, 2019.
  - 5) 網走市：網走の水産を学ぼう, <https://www.city.abashiri.hokkaido.jp/380suisangyo/>(最終閲覧日：2021年1月6日)
  - 6) Baba, K., Tada, M., Kawajiri, T. Kuwahara, Y.: Effects of temperature and salinity on spawning of the brackish water bivalve *Corbicula japonica* in Lake Abashiri, Hokkaido, Japan. *Marine Ecology Progress Series*, Vol.180, pp.213-221, 1999.
  - 7) 松田烈至, 園田武：汽水性二枚貝ヤマトシジミの成長に応じたアンモニア耐性の変化, 第54回日本水環境学会年会, 2020.
  - 8) 松田烈至, 園田武, 駒井克昭：流域由来物質がヤマトシジミ *Corbicula japonica* の生息地及び生理耐性に及ぼす影響, 汽水域合同研究発表会, 2020.
  - 9) 武田重信：海洋生態系を支える植物プランクトン生産の制御要因を探る, <http://ocean.fs.a.u-tokyo.ac.jp/forpublic6.html> (最終閲覧日：2021年1月6日).
  - 10) 夏池真史：自然水中における鉄の化学種と生物利用性—鉄と有機物の動態からみる森・川・海のつながり—, 水環境学会誌, Vol. 39, No. 6, pp. 197-210, 2016.
  - 11) 今岡亮：腐植物質の化学的性質が鉄との錯形成に及ぼす影響, 土木学会論文集G(環境), Vol.68, No.7, pp. III\_525-III\_533, 2012.
  - 12) 国土地理院：基盤地図情報ダウンロードサービス <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>(最終閲覧日：2019年3月13日)
  - 13) 国土交通省国土政策局国土情報課：国土数値情報ダウンロードサービス <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>(最終閲覧日：2019年3月13日)
  - 14) Nagao, S., Matsunaga, T., Suzuki, Y., Ueno, T., and Amano, H.: Characteristics of humic substances in the Kuji River waters as determined by high-performance size exclusion chromatography with fluorescence detection, *Water Research*, 37, pp. 4159-4170, 2003.
  - 15) Lawaetz, A. J. and Stedmon, C. A.: Fluorescence intensity calibration using the Raman scatter peak of water, *Applied Spectroscopy*, Vol. 63, No.8, 2009.
  - 16) Dyer K. R.: *Estuaries, A physical introduction*, Second Edition, John Wiley & Sons, 1997.
  - 17) 国土交通省国土地理院：調査実施湖沼一覧 <https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/koshouchousa-list.html> (最終閲覧日：2019年1月31日).
  - 18) 国土交通省気象庁：過去の気象データ検索 <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (最終閲覧日：2019年1月31日).
  - 19) 国土交通省水管理・国土保全局：テレメータ水位, [http://i.river.go.jp/\\_p02-\\_p/ktm1201020/](http://i.river.go.jp/_p02-_p/ktm1201020/)(最終閲覧日：2021年1月6日).
  - 20) 駒井克昭, 日比野忠史, 中下慎也, 戸塚優平, 伊藤立誠, 丸谷靖幸, 中山恵介：汽水湖における有機泥の沈降速度の推定と界面特性に関する考察, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.70, No.4, I\_1585-I\_1590, 2014.
  - 21) 西村尚哉, Touch Narong, 駒井克昭, 日比野忠史：有機性状を考慮した有機懸濁物質の沈降速度のモデル化, 海岸工学論文集, Vol.56, pp.1151-1155, 2009.
  - 22) 李元山, 中尾繁：北海道汽水湖群の底生動物群集, 特に群衆系列と環境との関係, 北海道大学水産学部研究彙報, Vol.36, No.1, pp.12-27, 1985.
  - 23) 早川博：海跡湖に注ぐ河川流域の土砂動態に関する研究(3), 北海道河川財団研究所紀要 (XVIII), 2007.
  - 24) Dale A. W., Nickelsen L., Scholz F., Hensen C., Oschlies A., Wallmann K.: A revised global estimate of dissolved iron fluxes from marine sediments, *Global Biogeochemical cycles*, Vol. 29(5), pp.691-707, 2015.
  - 25) 野中一臣, 伊奈良平, 大杉圭：ヤマトシジミの復活をめざして—佐鳴湖の浄化への挑戦—, 日本河川協会, 第六回日本水大賞, pp.111-125, 2004.
  - 26) 田中真也, 二本松寿, 佐藤昌行：藻琴湖流域の水環境保全と農業の果たすべき役割, 第49回北海道開発局, 技術研究発表論文, 2006.
  - 27) 北海道オホーツク総合振興局：藻琴川河川改修工事技術検討会, 2017.

(Received February 4, 2021)

(Accepted April 23, 2021)

## STABILITY OF BRACKISH ENVIRONMENT AND IMPACT ASSESSMENT TO HYDRAULIC CONDITION IN LAGOON AT COAST OF THE SEA OF OKHOTSK

Katsuaki KOMAI, Kento SHINOHARA, Yusuke UCHIDA, Takeshi SONODA and Retsushi MATSUDA

Using a conceptual model with salt as a constraint, being considered to be important for the spawning of brackishwater clams, as well as suspended substances and iron, various conditions in Mokoto Lake and Shibunotsunai Lake that differ in the state of reproduction of brackishwater clams, the magnitude of the contribution of the physicochemical process was examined. In the model, the retention of inflowing river water in the lagoon, sedimentation/resuspension, elution of iron, and biological uptake were considered. Since the inflow of sediment in Mokoto Lake due to a large basin and broad farmland, the contribution of sedimentation and resuspension is considered to be relatively large. As a result of sensitivity analysis, Shibunotsunai Lake has a large impact on water quality due to changes in flow rate and residence time, and is vulnerable to river improvement and changes in lake topography.