

塩淡水二成層を形成する汽水湖沼の界面長期変動予測手法の適用性に関する研究 —網走湖を例にして—

中央大学 学生会員 ○星野 成美

中央大学大学院 学生会員 小石 一宇

中央大学 フェロー会員 山田 正

1. はじめに

北海道北東部のオホーツク海沿岸に位置する網走湖では、1987年に初めて青潮が発生した。それ以来、ほぼ毎年のように青潮が発生しており、同湖沼に生息する生物を死滅させるといった被害を生じさせてきた。既往研究より、網走湖における青潮発生は、塩淡水境界面上昇が一つの要因であることが指摘されている¹⁾。そのため、塩淡水境界面が上昇する冬期の海水流入を防ぐ必要があり、網走川の河口から約7km隔てた位置に網走川大曲堰を設置し、塩淡水境界層制御をおこなっている。2006年に仮ゲートによる試験運転が開始されて以来、塩淡水境界面は下降し、青潮発生頻度が低くなっている²⁾。しかし、塩淡水境界面が下降し、表層塩分濃度が低下した結果、近年は網走湖に生息しているヤマトシジミの産卵確率が低い状況にある。このような新たな問題を踏まえ、青潮発生を抑制し、かつ網走湖の生態系保全どちらも満たす塩淡水境界層制御が求められる。

そこで本研究は、上述した塩淡水境界層制御をおこなうことを目的に、近年の塩淡水境界面の変動および界面変動予測のための数値モデルの適用性について検討した。

2. 対象湖沼の概要および計算手法

2-1. 対象湖沼の概要

図-1は網走湖の概要図である。同湖沼は、網走川下流部の感潮域に位置しており、網走川を介して塩水が湖内に流入する汽水湖沼である。塩水と淡水の密度差により、年間を通じて上層が淡水、下層が塩水の安定した強固な二層構造を成している。そのため、湖内の鉛直混合が起こりにくく、底層には無酸素水塊が形成される。融雪前や強風の多い秋期といった密度成層が緩やかになる時期に、網走湖に一定方向の風が吹き続けた場合には、無酸素水塊が表層に上昇することで青潮が発生する。

2-2. 計算手法

これまでに山田ら³⁾によって、網走湖塩淡水境界面の長期変動予測モデルが提案されている。本研究では、網走川大曲堰が本格運用された2014年から2017年までの4年間の塩淡水境界層水位の数値計算をおこなった。長期間における網走湖の塩淡水境界面の変動予測に対しては、風による影響を無視できるとし、また湖内は強固な二成層を形成することから、淡水層と塩水層は完全に分離してモデリングをおこなった。図-2は本モデルの模式図である。上・下流河川からの塩・淡水の流出入のみを考慮した連続式を淡水層と塩水層にそれぞれ適用すると、上層厚(h_f)と下層厚(h_s)に関する連立常微分方程式を得る。

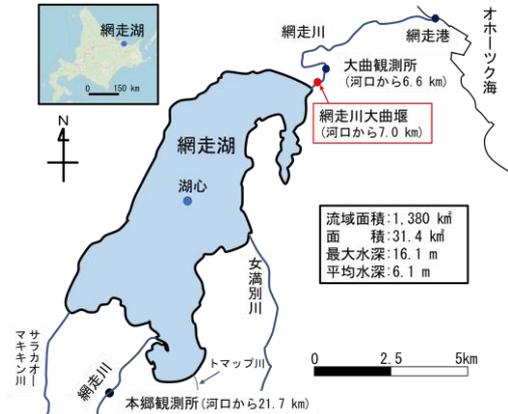


図-1 網走湖の概要

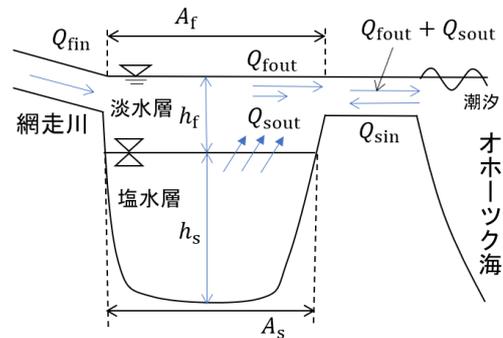


図-2 界面長期変動予測モデルの模式図

$$A_f \frac{dh_f}{dt} = Q_{fin} - Q_{fout} \quad (1)$$

$$A_s \frac{dh_s}{dt} = Q_{sin} - Q_{sout} \quad (2)$$

ここに、 h_f :湖上層の淡水層厚[m]、 h_s :湖下層の塩水層厚[m]、 $A_s(h_f, h_s)$:湖面積[m²]、 $A_s(h_s)$:界面の平面積[m²]、 Q_{fin} :上流河川からの淡水流入量[m³/s]、 Q_{fout} :湖淡水の流出量[m³/s]、 Q_{sin} :下流河川からの塩水流入量[m³/s]、 Q_{sout} :湖塩水の流出量[m³/s]である。

本モデルに用いる入力データは、網走湖に流入する流量時系列 Q_{fin} および、網走港の潮位時系列である。図-3は、2014年から2017年の網走湖への淡水流入量である。網走湖に流入する河川は、網走川の他にも女満別川、トマップ川、サラカオーマキキン川がある。それらからの淡水の流入を全て考慮するため、淡水流入量は網走川にある本郷観測所の流量を1.24倍した⁴⁾。本モデルの塩水流入量 Q_{sin} 、 Q_{sout} と淡水流出量 Q_{fout} は、湖出口である大曲観測所での水位流量曲線式で推定した河道流量 Q を用いて、以下のように設定した。

キーワード 網走湖, 汽水湖沼, 塩淡水二成層, 連行率, 青潮

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 TEL : 03-3817-1805 E-mail : a16.wx6g@g.chuo-u.ac.jp

・ 順流時 ($Q > 0$)

$$Q = Q_{\text{sout}} + Q_{\text{fout}} \quad (3)$$

・ 逆流時 ($Q < 0$)

$$Q = -Q_{\text{fout}} \quad (\text{逆流開始から 5 時間以内}) \quad (4)$$

$$Q = Q_{\text{sout}} \quad (\text{逆流開始から 5 時間以後}) \quad (5)$$

計算時間間隔は 1 時間とし、式(1), (2)について 4 次の Runge-Kutta 法により数値計算をおこなった。なお、過去の観測結果より、順流時における塩水の流出機構には 2 つの形態があることが明らかになっている⁴⁾。一つは塩水が淡水と混ざり、塩淡水境界が不明瞭となって湖外に出ていく「連行型」、もう一つは塩水が湖底に沿って湖出口方向に吸い上げられ、塩淡水境界が明瞭のまま流出する「吸い上げ型」である。連行型は年間を通じて起こるのに対し、吸い上げ型は出水期においてのみ集中的に起こる。本計算では常時起こり得る連行型のみ塩水流出機構を考えた。塩水の流出量は湖出口での流量に対して連行率 r の割合で流出するものとし、連行率 r は淡水層厚 h_f の増加に対して減少するとして式(6)のように置いた。

$$r = \Gamma \times \exp(-C_E \times h_f) \quad (6)$$

$$\begin{cases} Q_{\text{sout}} = r \times Q \\ Q_{\text{fout}} = (1-r) \times Q \end{cases} \quad (7)$$

表-1 は計算で用いた塩水流出量を決めるパラメータ Γ と C_E の値である。式(6)の形より、 Γ が大きいほど、また C_E が小さいほど連行率は大きくなり、塩淡水境界は下降することが分かる。塩淡水境界は冬期に上昇するという観測結果⁵⁾に合うように表のとおり設定した。

3. 計算結果

図-4 は、網走川上流域の 5 つの雨量観測所による月平均の流域平均降水量と湖心における湖水位と塩淡水境界層水位の計算値と実測値である。塩淡水境界面の計算値が夏期に下降、冬季に上昇するという季節変動を再現できており、実測値と計算値の適合性が良いことが分かる。本計算では、2015 年夏期の塩淡水境界面上昇は捉えられていない。

豪雨時には大量の淡水が湖に流入し、淡水層厚が増加するため、図-5 は、塩淡水境界層水深（水面から塩淡水境界面までの距離）の計算値と実測値を比較している。塩淡水境界層水深に着目すると、2016 年 8 月に上陸した台風がもたらした記録的豪雨によって、上流から多量の淡水が湖に流入したため、塩淡水境界層水深が増加していることがわかる。計算値は水深の増加傾向を概ね捉えることができおり、本モデルでは豪雨時の塩淡水境界層水深の変動を再現することができるが可能であることを示唆している。

塩淡水境界水位・水深いずれに着目しても、連行型の流出形態のみを考慮した本計算では、融雪出水期における塩淡水境界面上昇は過小評価している。これについては、出水期に起こる吸い上げ型の塩水流出機構を考慮することでモデルの適合性が向上するものと考えられる。

4. まとめ・考察

大曲堰が本格運用された 2014 年から 2017 年までの 4 年間において、塩水の流出機構として連行型のみを考慮したモデルを用いて網走湖湖心における塩淡水境界層

表-1 連行率のパラメータ

	塩淡水境界面	Γ	C_E
夏期(4~10月)	下降	0.10	0.15
冬期(11~3月)	上昇	0.01	0.50

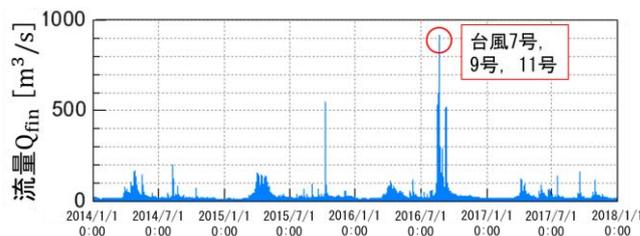


図-3 網走湖への淡水流入量

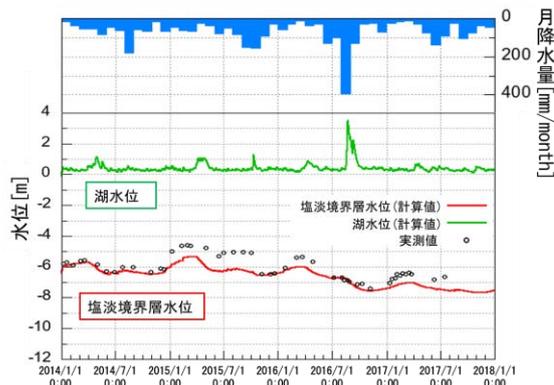


図-4 網走川上流域の流域平均降水量と湖心における湖水位と塩淡水境界層水位の計算値と実測値

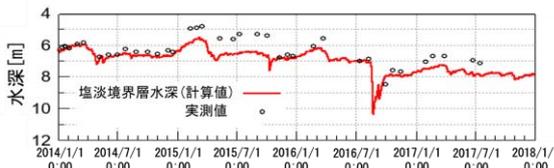


図-5 湖心における塩淡水境界層水深の計算値と実測値

水位及び水深の数値計算をおこなった。夏期と冬期で連行率のパラメータを変化させた結果、計算値と実測値の適合性が良いことが分かった。今後は、更なるモデルの適合性を高めるために、吸い上げ型の塩水流出機構も組み合わせたモデルで計算を行う予定である。

参考文献

- 1) 柴島知哉, 高橋克人, 宮島滋近, 平野道夫, 山田正: 塩淡水二成層を形成している網走湖の塩水流出入に関する研究, 水工学論文集, 第 37 巻, 1993 年 2 月
- 2) 坂井一浩, 相澤哲也, 藤田宏勝: 網走湖水環境改善事業について—大曲堰建設影響評価と運用計画—, 平成 25 年度
- 3) 池永均, 向山公人, 大島伸介, 山田正: 塩淡水二成層を形成する汽水湖沼の長期的な界面変動予測手法の開発, 土木学会論文集, No.628/II-48, 77-96, 1999.8
- 4) 池永均, 山田正, 向山公人, 大島伸介, 内島邦秀: 網走湖の塩水化の機構と塩淡水二成層の長期変動特性に関する研究, 土木学会論文集, No.600/II-44, 85-104, 1998.8
- 5) 池永均, 山田正, 内島邦秀, 向山公人, 平野道夫, 井出康朗: 網走湖における吹送流の発生と成層界面の挙動に関する研究, 水工学論文集, 第 41 巻, 1997.2

