

塩淡水二成層を形成する汽水湖沼における塩水流出機構を考慮した 長期界面変動予測手法の適用性 ―網走湖を例にして―

中央大学大学院 学生会員 ○星野 成美
富山大学 正会員 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は、網走川を介して塩水が湖内に流入する汽水湖沼である(図-1)。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、湖内の塩・淡水の鉛直混合が起りにくく、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、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し、青潮が発生する。網走湖では、1990年頃から青潮が発生しており、湖内に生息する生物を死滅させる被害を生じさせている。網走湖における青潮発生について、桑島ら¹⁾は、塩淡水境界面上昇が1つの要因であると指摘している。そこで網走湖では、塩淡水境界面上昇する冬期の海水流入を防ぐため、網走川の河口から約7 km隔てた位置に網走川大曲堰が設置され、塩淡水境界層制御が行われている。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、青潮発生頻度は低下している²⁾。しかし、塩淡水境界面の下降に伴い、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、青潮発生抑制と、網走湖の生態系保全の双方を満たす塩淡水境界層制御のための界面変動予測が求められている。

池永ら³⁾によって、界面変動予測のための数値モデルを用いた、1997年までの塩淡水境界層水位の数値計算が行われており、本モデルは長期的な界面挙動を良好に再現できることが示されている。本研究は、データが蓄積されたこれ以降の期間において、本モデルを用いて塩淡水境界層水位の再現計算を行い、モデルの適用性について検討するものである。さらに、堰の有無について塩淡水境界層水位を比較することにより、塩淡水境界層制御の効果について検証する。

2. 計算手法

本研究では、山田ら³⁾によって提案された、塩淡水境界面の長期変動予測モデルを用いて、1995年から2017年までの塩淡水境界層水位の再現計算をおこなった。図-2は本モデルの模式図である。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た。また湖内は強固な二成層を形成することから、淡水層と塩水層を分離しモデリングを行った。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塩・淡水層にそれぞれ適用すると、上層厚(h_t)

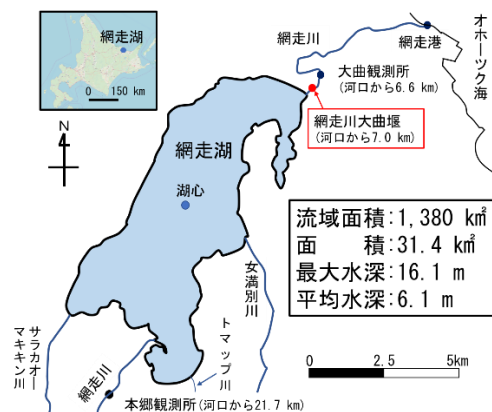


図-1 網走湖の概要

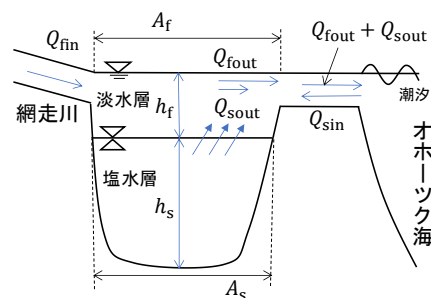


図-2 長期界面変動予測モデルの模式図

)と下層厚(h_s)に関する連立常微分方程式を得る。

$$A_t \frac{dh_t}{dt} = Q_{fin} - Q_{fout} \quad (1)$$

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

ここに、 h_t :上層淡水層厚[m]、 h_s :下層塩水層厚[m]、 $A_t(h_t, h_s)$: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、網走湖上流河川からの流入量 Q_{fin} および網走港の潮位の時系列である。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により推定した河道流量 Q を用いて、以下のように設定した。

・順流時 ($Q \geq 0$)

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

・逆流時 ($Q < 0$)

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

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

キーワード 網走湖, 汽水湖沼, 塩淡水境界, 塩水流出機構, 青潮

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部 TEL:03-3817-1805

計算時間間隔は1時間とし、式(1)、(2)について4次のRunge-Kutta法により計算を行った。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⁾。1つは成層不安定により塩水が上層淡水と混合した状態で流出する「連行型」、もう1つは塩水が混合せずに湖出口に吸い上げられるように流出する「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。連行型での塩水の流出量は、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。式に含まれる2つのパラメータ Γ 、 C_E については、実測結果と比較しながら最適値を同定するものとした。

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

吸い上げ型では、湖心部と湖出口部の2点間の淡水部と塩水部にそれぞれベルヌーイの定理を適用し、淡水と塩水の流出速度を求め、塩水流出量を算定する。

網走川大曲堰は、例年塩淡水界面が上昇する1月から3月に運用しており、逆流時に標高+0.2 m越流させる方式を採用している。過去の試験運転からその場合の流量阻止率は75 %程度となることが明らかにされている⁹⁾ため、本計算では、堰がある場合、2006年以降の塩水流入量にこの値を乗じて塩水流入の制御を表現した。

3. 計算結果

図-3は1995年から2017年の網走湖上流域の平均降水量と上流河川からの淡水流入量、湖水位および塩淡水境界層水位の計算値と実測値を示したものである。連行型の塩水流出機構のみを考慮した場合でも塩淡水境界層水位の経年変動を捉えられている。出水期の急激な界面下降が再現可能な吸い上げ型を合わせた結合モデルでは、1998年頃に代表されるような連行型のみでは捉えきれなかった界面下降の挙動が再現でき、より実測値に近い値になっている。

図-4は堰による塩水位遡上制御を行った場合と行わなかった場合の塩淡水境界層水位を比較した結果である。塩水遡上制御をした場合、塩淡水境界層水位は1割程度(約0.5 m)低くなった。この結果から、本計算で堰を設置したことによる塩淡水境界層水位の制御が表現できた。網走湖の湖心が水深16 mであるのに対し、この50 cmはわずかな効果とも思えるが、ヤマトシジミの生息地付近が塩淡水境界位置となるため、わずかな変動がヤマトシジミの成長に影響を与えられとされる。さらに、実際に青潮の発生頻度も低くなっていることから、この差は重大だといえる。

4. まとめ

本研究では、北海道の網走湖を例として、青潮発生を抑制し、かつ網走湖の生態系も保全するような塩淡水境界層制御のための界面変動予測を行うことを目的に、界面変動予測モデルを用いて、1995年から2017年の期間の網走湖湖心における塩淡水境界層水位を計算し、モデルの適用性についての検討を行った。得られた知見は以下の通りである。

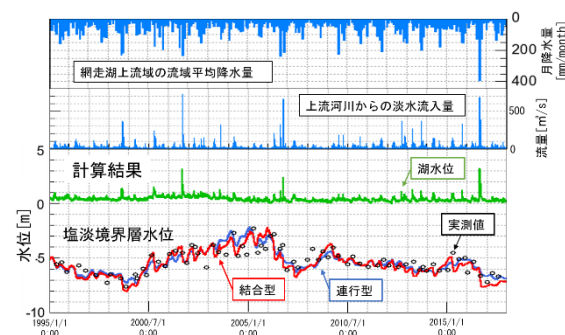


図-3 網走川上流域の流域平均降水量と湖心における湖水位と塩淡水境界層水位の計算値と実測値



図-4 堰の有無による塩淡水境界層水位の比較

(1) 塩水流出機構として、連行型と吸い上げ型をどちらも考慮した場合、計算値は塩淡水境界層水位の経年変動に加えて界面の急激な下降も捉えることができ、実測値との適合性が良いことが分かった。

(2) 堰による塩水遡上制御を行わなかった場合、塩淡水境界面は約0.5 m高い位置で推移する。

本研究において、堰設置後の期間の塩淡水境界面の長期変動予測モデルの適用性が確認でき、このモデルを用いた塩淡水境界層水位の長期変動予測の可能性が示唆された。今後は、網走湖において青潮の発生抑制と、生態系保全のどちらも満たす塩淡水境界層制御のための界面変動予測を行う予定である。また、流出量の連続式のみで界面変動を表現する本モデルは、水域の特性に応じて最適な連行率のパラメータを設定することで、他の水域への適用も推察される。今後は他の水域に本モデルを適用させることで、本モデルの汎用性を検証していく。

参考文献

- 1) 栗島知哉, 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.
- 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一大曲堰建設影響評価と運用計画一, 2013.
- 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.
- 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.
- 5) 網走湖水環境改善施策検討委員会: 網走湖水環境改善施策検討 最終報告書, 2010.