

II-260 網走湖における塩淡境界の長期変動モデルに関する研究

中央大学大学院 学生員 向山 公人 中央大学理工学部 正員 池永 均 山田 正
水資源開発公団 正員 大島 伸介 北見工業大学 正員 内島 邦秀

1.はじめに：著者らはこれまで潮汐と網走湖上流からの流入流量を用いて網走湖の塩淡境界位置の長期変動モデルを構築し、塩淡境界の実測値と比較及び将来予測を行ってきた¹⁾。また現地観測により網走湖の塩淡境界は洪水時や融雪期に低下する傾向がある。このとき塩淡境界は湖底に沿って這い上がり、下層の塩水は湖出口で上層の淡水と混合して流出する²⁾。本研究は観測結果より明らかとなった湖の流動特性を考慮した塩淡境界の長期変動モデルを提案し、観測結果と比較検討を行ったものである。

2. 塩淡境界の長期変動モデル

2.1 湖内の塩水流出：図2-1-1は観測結果²⁾より湖内の塩水流出をモデル化したものである。ここで用いる基礎式はA点、B点にBernoulliの定理を適用した(1)、(2)式である。 $V_{B1}=V_{B2}=0$ と近似して(3)、(4)式を得る。 $V_{A2}=0$ 、 $h=D$ とすると(5)式を得る。(5)式は湖内の塩水が流出する最小流速である。またA点での平均流速 V が(5)式より大きい時の塩水流出量は(4)、(6)式から求まる。ただし Δh は潮位と湖面水位の水面勾配から求まるものとし、 Q は水位流量関係式から求める。

2.2 長期変動モデルの構成：2.1の結果を用いて網走湖における塩淡境界の長期変動を再現するモデルを提案する。外的に与えるデータは湖上流からの淡水流入量(m^3/s)と外海の潮位である。(7)、(8)式は淡水と塩水の連続式である。(9)、(10)、(11)式はそれぞれ1975～1987年、1988～1990年、1991年以降の湖出口付近での水位流量関係式である。(12)式は湖出口の水位であり(13)式の ΔH は湖の水位と網走湖潮位との水位差である。ここで水位流量関係式が正であるとき順流(湖から外海へ向かう流れ)、負であるとき逆流とする。大潮時の観測結果より、逆流開始後から塩水が湖に到達する時間の平均値は5時間である。このことから逆流開始後5時間までは川の淡水が湖内に流入するとし、5時間以降は塩水が流入するとして流量を与える。順流においては湖内塩水の流出機構が二つ考えられる。一つは(5)式をしきい値とした吸い上げモデル、もう一つは流量 Q に対して r 分だけ塩分の連行があると考えた連行モデル¹⁾である。両モデルとも(7)、(8)式を連立させて淡水層厚と塩水層厚の20年間の経年変化を計算した。

2.3 現況(1975～1994年)の再現：図2-3-1、図2-3-2はそれぞれ吸い上げモデル、連行モデルの計算結果である。計算には1975～1994年までの外海の潮位と湖上流の日平均流量データを用いた。図中の観測値は文献より調べた値であり観測日時が年のみで記されていたため水深を水位に変換する際に年間の湖面水位変動が約1mであることから誤差棒の範囲を設定している。二つの図より1975年～1992年までの塩淡境界の経年変化の計算値は実測値とほぼ同様の傾向を示す。1992年以降では吸い上げモデルから得られた塩淡境界位置は上昇傾向であるのに対し、連行モデルでの塩淡境界位置は下降傾

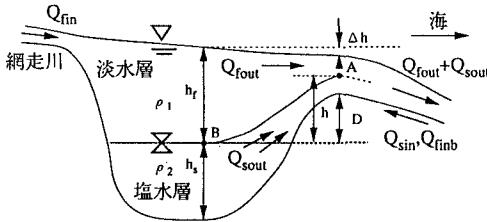


図2-1-1 湖内の塩水流出の模式図

$\frac{v_{B1}^2}{2g} + \frac{P_{B1}}{\rho_1 g} = \frac{v_{A1}^2}{2g} + h + \frac{P_{A1}}{\rho_1 g}$	(1)	逆流時 ($Q < 0$) $Q_{sout} = 0, Q_{fout} = 0$
$\frac{v_{B2}^2}{2g} + \frac{P_{B2}}{\rho_2 g} = \frac{v_{A2}^2}{2g} + h + \frac{P_{A2}}{\rho_2 g}$	(2)	逆流開始から5時間以内 $Q_{sout} = 0, Q_{fout} = Q$
$v_{A1} = \sqrt{2g\Delta h}$	(3)	逆流開始から5時間以降 $Q_{sout} = Q, Q_{fout} = 0$
$v_{A2} = \sqrt{2g\left(\left(\frac{\rho_1}{\rho_2} - 1\right)h + \frac{\rho_1}{\rho_2}\Delta h\right)}$	(4)	順流時 ($Q \geq 0$) $Q_{sout} = 0, Q_{fout} = 0$
$v_{A1} = \sqrt{2g\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} D} = v_c$	(5)	1) 吸い上げモデル $v_c > \frac{Q}{A}$
$B(h_f - h - \Delta h)v_{A1} + B(h - D)v_{A2} = Q$	(6)	$Q_{sout} = 0, Q_{fout} = Q$
$A_1 \frac{dh_f}{dt} = Q_{fin} - Q_{fout} + Q_{finb}$	(7)	$v_c < \frac{Q}{A}$
$A_2 \frac{dh_s}{dt} = Q_{sin} - Q_{fout}$	(8)	$Q_{sout} = B(h_f - h - \Delta h)v_{A2}$
$Q = 4.84(G+1.69)^3 \tanh(6.13\Delta H - 0.17)$	(9)	$Q_{fout} = B(h - D)v_{A1}$
$Q = 8.96(G+1.38)^3 \tanh(5.21\Delta H - 0.03)$	(10)	2) 連行モデル
$Q = 1.47(G+2.76)^3 \tanh(4.71\Delta H - 0.20)$	(11)	$Q_{sout} = rQ, Q_{fout} = (1-r)Q$
$G = h_f + h_s - 16.1 - \Delta h$	(12)	$r = \gamma \exp(-CE \times h_f)$
$\Delta H = G - h_s$	(13)	

向にある。観測結果と比較すると吸い上げモデルの方が連行モデルより現況をよく表している。

2.4 観測値を用いた将来予測：図2-4-1、図2-4-2はそれぞれ吸い上げモデル、連行モデルで塩淡境界位置の将来予測を行った結果である。ここでは1975～1994年の湖上流からの流量と潮位の経年変化が1995年以降も繰り返すものと仮定した。実線は2.3のモデルの条件で計算した結果であり破線は冬期の逆流時の流量を $0\text{m}^3/\text{s}$ とした結果である。実線の計算結果は1995年から数年間を除いて図2-3-1、図2-3-2ともほぼ同様の結果となる。破線の計算結果より冬期の逆流時の流量を $0\text{m}^3/\text{s}$ とすると塩淡境界の上昇は吸い上げモデルでは最大2m、連行モデルで計算すると最大3m抑制されることがわかる。

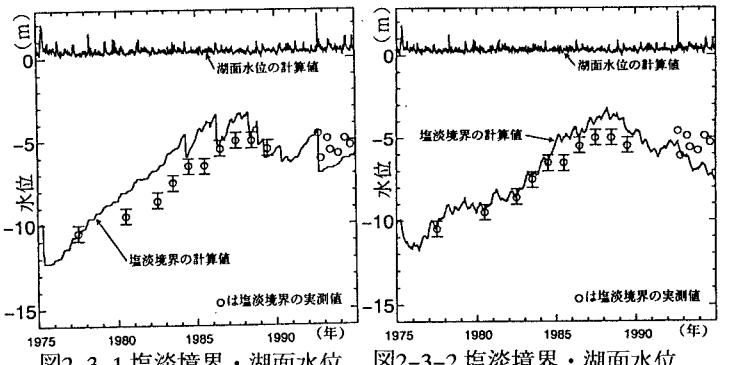


図2-3-1 塩淡境界・湖面水位の経年変化

図2-3-2 塩淡境界・湖面水位の経年変化

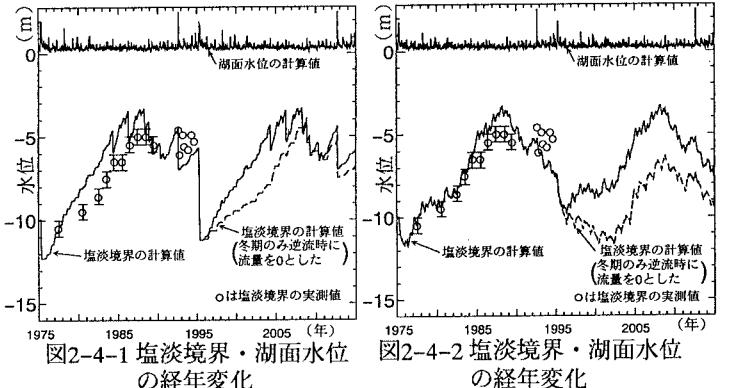


図2-4-1 塩淡境界・湖面水位の経年変化

図2-4-2 塩淡境界・湖面水位の経年変化

2.5 1925～1974年の降雨を用いた計算結果：

図2-5-1は吸い上げモデルで1925～1974年の降雨から流出解析により得られた流量を用いた計算結果である。なお流出解析には4段タンクモデルを用いた。タンクモデルのパラメータを1976～1985年の10年間の流量を再現するように設定した。この図より塩水は約13年で現在の塩淡境界位置である-5mまで上昇し塩淡境界の計算結果は観測値と大きく異なる。図2-5

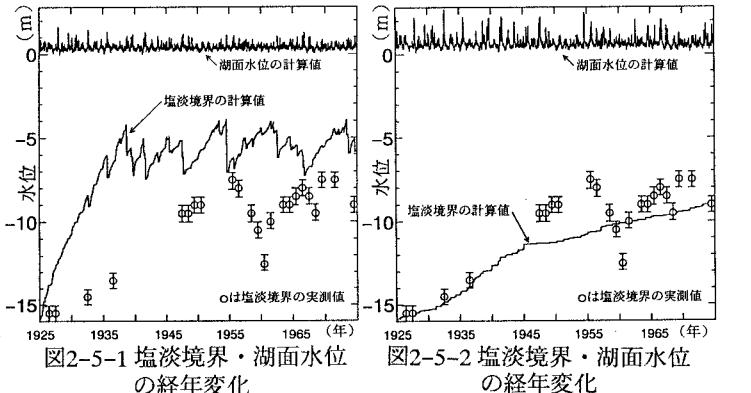


図2-5-1 塩淡境界・湖面水位の経年変化

図2-5-2 塩淡境界・湖面水位の経年変化

-2は吸い上げモデルで水位流量関係式から得られる流量を0.5倍としたときの計算結果である。この結果は観測値の長期的な変動範囲内に収まっている。これより1975年以前の網走湖下流の逆流時の流量は同一水位、水位差に対して現在より小さかったと考えられる。このことから現在よりも外海からの網走湖への逆流流量を小さくすると塩淡境界の上昇を抑制できるといえる。**3.まとめ：**1)網走湖における二つの塩淡境界の長期変動モデルは実測値をほぼ再現できた。2)冬期のみ逆流時の流量を $0\text{m}^3/\text{s}$ とすると外海からの塩水が網走湖内に流入しないため塩淡境界位置を低下させることができる。3)網走湖下流の逆流時の流量を現在より小さくすることにより塩淡境界位置の上昇を抑えることができる。**参考文献：**1)大島伸介・高橋克人・山田正：疑似降雨を用いた網走湖における塩淡境界長期変動に関する研究、第49回土木学会年次学術講演会講演概要集、pp. 448-449、1994。2)池永均・山田正・内島邦秀・大島伸介・向山公人・平野道夫・井出康郎・田村圭司：網走湖における塩淡二成層の形成と挙動に関する研究、水工学論文集第40卷、pp. 589-594、1996。