

塩水池「明神池」における混入物質濃度の変動

宇部短期大学
山口大学工学部正○松本治彦
正 羽田野袈義義宇部短期大学
山口大学工学部合屋晏秀
正 斉藤隆

1. はじめに

山口県萩市にある明神池は、国の天然記念物に指定（1924年）されている塩水池である（図1）。この池は、池の西側にある笠山火山の噴火後に、海の一部がせき止められてできたとされている。天然記念物に指定された当時、池には周囲の岩塊の隙間を通じて外海水が出入りし、池水は透明であった。しかし、池周辺の開発が進むにつれて海水の出入りは少なくなり、水質汚濁の傾向が現れてきた。また1984年に観測した水位には特異な現象が見られる。その現象は、外海と池との水位を比較すると、通水路から最も離れた奥の池の位相が外海に最も近く、振幅も他の2つの池よりも大きいことである。このことから通水路以外に奥の池と外海を結ぶ地下水流が水位変動に大きな影響をもつことが明かになった¹⁾。

本研究では、水質調査に加えて流動観測を行ない、淡水系の水の出入りや水路を通じた外海水の動き、さらにこの動きにともなった池内の水温および混入物質濃度の変動を調べ、汚濁化の長期化する原因について検討する。また簡単化したモデルを設定して、混入物質濃度変化の予測方程式を検討する。

2. 調査結果

図2は1987年7月27日の満潮時と干潮時における各測点での窒素の形態別濃度を示す。図や他の水質をみると、下げ潮から干潮にかけて中の池の表層水が奥の池に流入し、逆に上げ潮から満潮にかけて奥の池の表層水が中の池に流入していると推定される。また、奥の池の水に占める無機態の窒素濃度やリン濃度は、夕なぎ港表層水の濃度と比べて非常に高く、大池内で植物プランクトンの増殖に必要な栄養塩が主に奥の池方向から補給されているとみられる。次に図3は大池と夕なぎ港を結ぶ暗渠内での断面平均の水温、塩分および流速の経時変化の測定結果である。図よりこの測点では感潮河川と同様に上げ潮時には上下混合した水が池方向に流れ、下げ潮時には逆に水温や塩分の成層化した水が外海方向に流れている様子がわかる。

3. 混入物質濃度の予測モデル

池の水収支式と流量の評価については、著者等がすでに明かにしている。その中で、水の動きを図4のようにモデル化して池内水位を規定する方程式を提案している¹⁾。

$S_a \frac{dZ_a}{dt} = Q_{ea} - Q_{ab}$ (1) $S_b \frac{dZ_b}{dt} = Q_{ab} - Q_{bs}$ (2) ここで、 Z_a, Z_b は池AとBの水位、 S_a, S_b は池AとBの水表面積、 Q_{ea} , Q_{ab} および Q_{bs} は各々境界から池Aへ、池Aから池Bへ、池Bから外海への流量、

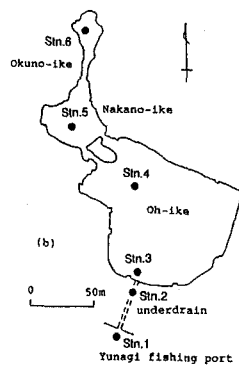


図1 明神池の測点

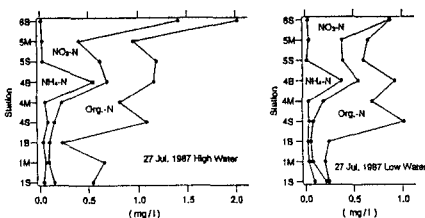


図2 各測点での窒素の形態別濃度

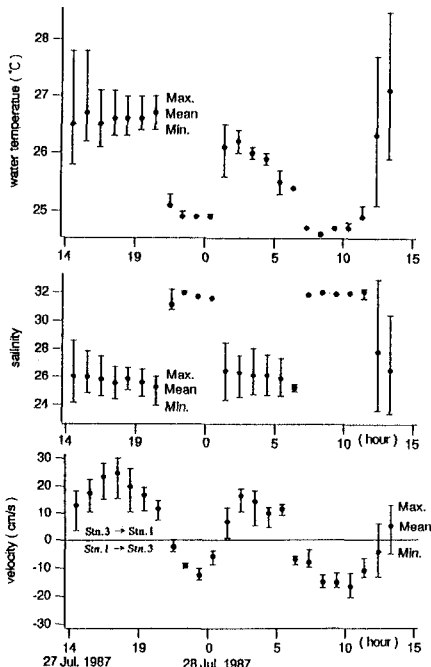


図3 Stn.2での水温、塩分および流速の経時変化

t は時間である。

次に、混入物質のうち、池内の生物的、化学的作用により分解、合成がおこりにくい、いわゆる保存性の高い物質の濃度を予測することを考える。今、A 池とB 池の最低水位をそれぞれ Z_{am} , Z_{bm} とすると A 池とB 池の水の体積 V_a , V_b は次のように近似することができる。

$$V_a(t) = S_a(Z_a(t) - Z_{am}) + V_{a0} \quad (3) \quad V_b(t) = S_b(Z_b(t) - Z_{bm}) + V_{b0} \quad (4)$$

ここで V_{a0}, V_{b0} は Z_{am}, Z_{bm} 以深の各池の容積である。式(1), (2), (3), (4) から両池内の任意の混入物質の収支式は次式となる。

$$\frac{d}{dt}(C_a V_a) = \begin{cases} C_e Q_{ea} - C_a Q_{ab} & (Q_{ea} \geq 0, Q_{ab} \geq 0) \\ C_a Q_{ea} - C_a Q_{ab} & (Q_{ea} < 0, Q_{ab} \geq 0) \\ C_a Q_{ea} - C_b Q_{ab} & (Q_{ea} < 0, Q_{ab} < 0) \\ C_e Q_{ea} - C_b Q_{ab} & (Q_{ea} \geq 0, Q_{ab} < 0) \end{cases} \quad (5)$$

$$\frac{d}{dt}(C_b V_b) = \begin{cases} C_a Q_{ab} - C_b Q_{bs} & (Q_{ab} \geq 0, Q_{bs} \geq 0) \\ C_b Q_{ab} - C_b Q_{bs} & (Q_{ab} < 0, Q_{bs} \geq 0) \\ C_b Q_{ab} - C_s Q_{bs} & (Q_{ab} < 0, Q_{bs} < 0) \\ C_a Q_{ab} - C_s Q_{bs} & (Q_{ab} \geq 0, Q_{bs} < 0) \end{cases} \quad (6)$$

ここで、 C_e , C_a , C_b および C_s は、任意の混入物質のそれぞれ地下水、池A、池B および外海における濃度である。

なお、 C_e と C_s は簡単のため一定としている。

また、式(5) および (6) の左辺はそれぞれ次のように変形される。

$$\frac{d}{dt}(C_a V_a) = C_a S_a \frac{dZ_a}{dt} + V_a \frac{dC_a}{dt}$$

$$\frac{d}{dt}(C_b V_b) = C_b S_b \frac{dZ_b}{dt} + V_b \frac{dC_b}{dt}$$

したがって式(1)と(5)および式(2)と(6)よりそれぞれ次式(7)および(8)が得られる。

$$V_a \frac{dC_a}{dt} = \begin{cases} (C_e - C_a) Q_{ea} & (Q_{ea} \geq 0, Q_{ab} \geq 0) \\ 0 & (Q_{ea} < 0, Q_{ab} \geq 0) \\ (C_a - C_b) Q_{ab} & (Q_{ea} < 0, Q_{ab} < 0) \\ (C_e - C_a) Q_{ea} - (C_b - C_a) Q_{ab} & (Q_{ea} \geq 0, Q_{ab} < 0) \end{cases} \quad (7)$$

$$V_b \frac{dC_b}{dt} = \begin{cases} (C_a - C_b) Q_{ab} & (Q_{ab} \geq 0, Q_{bs} \geq 0) \\ 0 & (Q_{ab} < 0, Q_{bs} \geq 0) \\ (C_b - C_s) Q_{bs} & (Q_{ab} < 0, Q_{bs} < 0) \\ (C_a - C_b) Q_{ab} - (C_s - C_b) Q_{bs} & (Q_{ab} \geq 0, Q_{bs} < 0) \end{cases} \quad (8)$$

これらが両池内における保存性混入物質の濃度を規定する方程式である。計算手順として、まず式(1)および(2)より両池の水位と連結流量を計算し、これらの結果を式(7)および(8)に代入して両池内の混入物質濃度を求める。

4. 計算結果の検討

上記の計算にはルンゲクッタ法を用いた。図5は上記の計算による「亜硝酸態窒素+硝酸態窒素+有機態窒素」の水質指標の計算結果を時間変化として示している。この図から半月後には実測値（満潮：0.858mg/l, 干潮：0.761mg/l）に近い値を示しており、前節の水質予測モデルの妥当性を示唆している。

参考文献

- 1) 松本治彦, 羽田野袈裟義, 斎藤隆 (1992) 外海と連結された湖沼の水位変動, 水工学論文集, 36, 599-604.

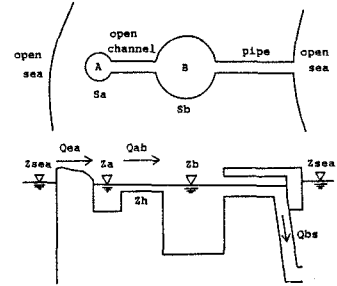


図4 モデル池

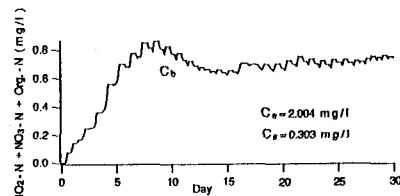


図5 [NO₂-N + NO₃-N + Org. N] の計算値の経時変化