

# 二次元単層モデルによる湖山池湖流の数値解析 Numerical Study of Water Motion in Lake Koyama by Using the Two-dimensional One-layer Model

齋 幸治\*・原田昌佳\*\*・吉田 勲\*\*  
Kouji Sai, Masayosi Harada and Isao Yosida

## 1. はじめに

湖山池は鳥取県東部に位置し、現在では富栄養化が進んでいる。このような有機汚濁の進んだ閉鎖性水域の改善や保全を考えるにあたり、水質要素の輸送過程を支配する湖流の流動特性を把握することはきわめて重要である。水域内の流動特性や物質の移流分散過程は、模型実験や数値計算などを通じて明らかにされるが、湖山池を対象としたこのような研究報告は少ないようである。そこで湖山池における水質輸送システムの解明に関わる基礎的研究として、二次元単層モデルによる湖山池湖流の流動特性を検討した。ここでは外力として風のみの場合を考えた。

## 2. 計算方法

平均湖面上に原点をとり、東向きに  $x$  軸、北向きに  $y$  軸、鉛直上向きに  $z$  軸とする右手系の直交座標系(水面  $z = \zeta$ , 湖底  $z = -h$ )を考えたとき、二次元単層モデルの基礎方程式は **Table 1** 中の式(1)~(3)で与えられる。ここで、基礎式中の流速  $U, V$  はそれぞれ  $x, y$  成分の水深平均流速であり、式(4)で定義される。ここで、 $h$  は水深、 $\zeta$  は水位変化であり、湖面における風の摩擦応力  $\tau_s$ , 水底摩擦応力  $\tau_b$  はそれぞれ同表中の式(5),(6)で与えた。

式(1)~(3)の数値解法として、比較的安定した解が得られる ADI 法を採用した<sup>1)</sup>。水深  $h$  と未知変量  $u, v, \zeta$  を **Fig. 1** に示すスタッガード格子に配置させ、基礎式(1)~(3)を差分近似した。格子間隔は  $\Delta x = \Delta y = 100\text{m}$  とし、計

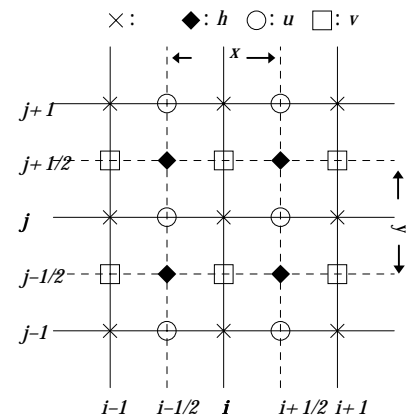


Fig. 1 Staggered-grid

Table 1 Governing Equations in the two-dimensional one-layer Model

<p>・連続の式</p> $\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \{(\zeta+h)U\} + \frac{\partial}{\partial y} \{(\zeta+h)V\} = 0$ <p>・運動方程式(x軸方向)</p> $\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = fV - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{1}{\zeta+h} (\tau_x(\zeta) - \tau_x(-h))$ <p>・運動方程式(y軸方向)</p> $\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -fU - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{1}{\zeta+h} (\tau_y(\zeta) - \tau_y(-h))$ <p>・U, Vの定義</p> $U = \frac{1}{\zeta+h} \int_{-h}^{\zeta} u dz \quad V = \frac{1}{\zeta+h} \int_{-h}^{\zeta} v dz$ <p>・風の摩擦応力 <math>\tau_s</math></p> $\tau_x(\zeta) = \gamma_a^2 \rho_a W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad \tau_y(\zeta) = \gamma_a^2 \rho_a W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$ <p>・水底摩擦応力 <math>\tau_b</math></p> $\tau_x(-h) = \gamma_b^2 \rho U \sqrt{U^2 + V^2} - \beta \tau_x(\zeta) \quad \tau_y(-h) = \gamma_b^2 \rho V \sqrt{U^2 + V^2} - \beta \tau_y(\zeta)$	<p>(1) 連続の式, 運動方程式に関するパラメータ <math>f</math>: コリオリ係数 <math>f = 2\omega \sin(\phi\pi/180)</math></p> <p>(2) <math>\omega</math>: 地球の自転の角速度 <math>\omega = 2\pi/(24 \times 60 \times 60)</math></p> <p>(3) <math>\phi</math>: 緯度 <math>\phi = 35.5</math> <math>\rho</math>: 水の密度 (<math>\text{g/cm}^3</math>) 1.0</p> <p>・水面摩擦応力, 水底摩擦応力に関するパラメータ <math>\rho_a</math>: 空気の密度 (<math>\text{g/cm}^3</math>) <math>1.2 \times 10^{-3}</math></p> <p>(4) <math>\gamma_a^2</math>: 風の摩擦抵抗係数 0.0013 <math>\gamma_b^2</math>: 水底摩擦応力 <math>\alpha (= \rho \gamma_b^2) = 0.0026</math> <math>\beta</math>: 係数 1.0 <math>W_x, W_y</math>: 湖面上風速の <math>x, y</math> 成分 (m/s)</p>
---	---

\*鳥取大学大学院農学研究科, Graduate School of Agriculture, Tottori University, \*\*鳥取大学農学部, Faculty of Agriculture, Tottori University, キーワード: 湖流, 二次元単層モデル, ADI 法

算領域および水深分布を Fig. 2 に示す . 計算タイムステップ  $\Delta t$  は C.F.L. 条件を考慮して  $\Delta t = 10s$  とした . 初期条件は全格子点で  $u = v = \zeta = 0$  とした . また境界条件は , 湖岸を横切る流速成分をゼロとする閉境界で与え , 流出入河川の影響は考慮しない . 本研究では基礎方程式中の移流項の影響も考慮したため , 数値誤差に伴う計算の不安定が生じた . そのため , 5 分毎に計算値の平滑化を行い , 計算の安定化を図った <sup>2)</sup> .

### 3 . 結果と考察

2002 年 5 月から 11 月までの湖山池三津における風向風速の連続観測によると , 西から北よりの風が卓越していた . そこで , 西風と北風の 2 ケースについて計算を行い , 風向の違いによる湖流の流動パターンを検討した . 風速はともに , 実測値から得た平均風速 2.8m/s とし , 計算領域に一樣に吹くと仮定した . 2 ケースともに , 各格子点上の  $u, v$  および  $\zeta$  の値は , 計算開始約 15 時間後に定常状態に達した . この時の流速ベクトルを Fig. 3 , 4 に示す . Fig. 3 の風向が西の場合では , 南岸付近に風向と同じ向きの流れ ( 以下 , 順流 ) が生じ , 北岸付近に風向と逆方向きの流れ ( 以下 , 逆流 ) が生じており , 沿岸付近に沿った反時計回りの環流が形成されている . Fig. 4 の風向が北の場合では , 東岸と西岸付近にそれぞれ順流が生じ , 池中央の南岸から北岸に向かって逆流が生じており , 東部では時計回りの環流 , 西部では反時計回りの環流が形成されている . 以上から , 風向により , 発生する水平循環流のパターンが異なることがわかる . 順流と逆流はそれぞれ , 水面に作用するせん断応力によって引き起こされる吹送流と , 風の吹き寄せに伴う水面勾配によって引き起こされる傾斜流に起因している . 吹送流の水深平均流速は , 浅水域で大きく , 深水域で小さい . 一方 , 傾斜流の水深平均流速は , 水深による流速の差は吹送流に比べ小さい . このような二つの流れが水平循環流を形成させる <sup>3)</sup> . Fig. 3 , 4 に見られる流動パターンは , Fig. 2 に示すような湖盆形状と水平循環流の発生機構を十分に反映した結果といえる .

### 4 . おわりに

二次元単層モデルによる湖山池湖流解析の結果 , 西風の場合 , 沿岸付近に沿った広い範囲での反時計回りの環流 , 北風の場合 , 池東部では時計回りの , 西部では反時計回りの環流が形成されることが分かった . 今後 , 水平循環流に加えて , 鉛直循環流の影響も考慮した湖流の三次元的な解析を進めていく必要がある .

参考文献 1) 金子ら (1975): ADI 法による潮流汚染拡散の数値計算 , 港湾技術研究所報告 , 14(1) , pp.3 ~ 57 . 2) 今里ら (1971): びわ湖の水の流動に関する数値実験的研究 , 京大防災研究所年報 , 14 , pp.2 ~ 13 . 3) 岩佐編 (1990): 湖沼工学 , 山海堂 , pp.96 ~ 139 .

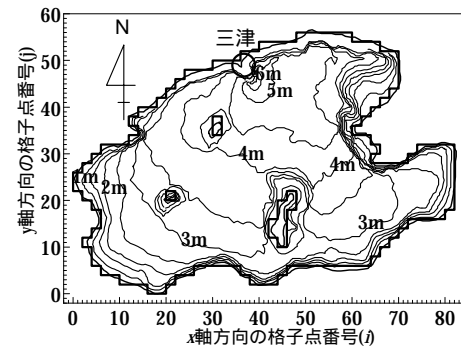


Fig. 2 Computational domain and bottom topography

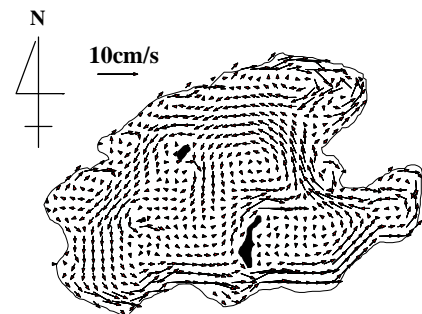


Fig. 3 Horizontal distribution of wind driven lake currents in case of uniform west wind with the constant speed of 2.8m/s

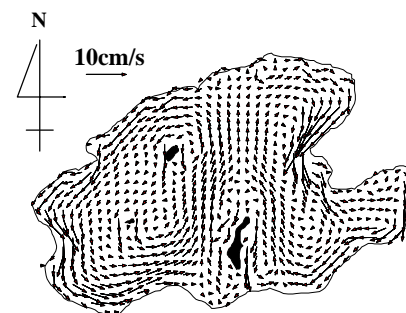


Fig. 4 Horizontal distribution of wind driven lake currents in case of uniform north wind with the constant speed of 2.8m/s