

湖における流れの数値解析の二、三の考察

京都大学工学部 正 員 岩佐 義朗 京都大学大学院 学生員○若林 誠
 京都大学大学院 学生員 申 輝華 水資源開発公団 正 員 木下 昌樹

1. はじめに：筆者らは、これまで湖沼の流れを差分法によって数値解析する方法のうち、特に水深方向に静水圧分布を仮定した三次元解析について、効率と安定性の面からいくつかの検討を行っている。本報では、時間差分のとり方、および本報で扱うような流れでは最も影響の大きい圧力項におけるbarotropicな成分の計算法に注目し、時間差分については、Leap-frog法¹⁾およびAdams-Bashforth法を用い、barotropicな成分の計算法にはimplicitな解法およびexplicitな解法を適用し、それぞれの特徴を計算を実施した結果によって比較、検討する。なお、計算の対象としたのは琵琶湖北湖である。

2. 基礎式：本報では、従来より用いられてきた基礎式¹⁾を用い、これら基礎式を時間差分については、

$$\text{*Leap-frog法} \quad : \frac{X^{n+2} - X^n}{2\Delta t} = F^{(n+1,n)}$$

$$\text{*Adams-Bashforth法} : \frac{X^{n+1} - X^n}{\Delta t} = 1.5F^{(n)} - 0.5F^{(n-1)}$$

の2つの方法、圧力項におけるbarotropicな成分については、圧力および水位をつぎのように表わして、

$$\bar{p}_{i+1/2,j+1/2}^k = \rho_0 g \bar{\zeta} - \sum_{m=1}^{k-1} \Delta \rho_{i+1/2,j+1/2}^{m+1/2,n+1} \Delta z_{i+1/2,j+1/2}^{m+1/2,n+1} g$$

$$\bar{\zeta} = (1-\theta)\zeta^n + \theta\zeta^{n+2}$$

表1

	時間差分	Barotropic成分	Δt
CASE 1	Leap-frog	implicit	600
CASE 2	Adams-Bashforth	implicit	600
CASE 3	Adams-Bashforth	explicit	20

$\theta=0.75$ を採ったimplicitな解法および $\theta=0$ と採ってexplicitとした解の2つを考え、それぞれを組み合わせる表1の3ケースを比較した。

3. 計算条件：計算を行うにあたっての各種の条件は以下のようなものである。初期条件として湖を基準水位(T.P.+84.5m)で静止させ、鉛直方向の水温分布を水平面内には一様に与えた。また外力として計算開始から12時間にわたって5.0m/secの南西の風を吹かせた。渦動粘性係数 A_h, A_v および渦動拡散係数 K_h, K_v には、

$$A_h = 30.0 \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$K_h = 10.0 \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$A_v = 1.0 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sec}$$

$$K_v = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$$

を与えた。移流項の上流差分の程度をしめすパラメータ θ には $\theta_h = \theta_v = 1.0$ を与えた。計算時間は15日間(360時間)とした。なお、計算の実行にあたっては京都大学大型計算機センターのベクトル・プロセッサ-FACOM VP-400Eを使用し、一部比較のためFACOM M-780/130を使用した。

4. 計算結果：まず、時間差分に注目して比較した

CASE1とCASE2では、結果は以下のようにほぼ同様である。

*水位変動：図1より、風の吹き出し直後および風の停止直後のそれぞれ約3時間にわたって静振の発生がみられる。北湖の北端と南端において逆位相になっており、これに対し東西方向は同位相になっていることより、この静振は北湖長軸方向に発生していることがわかる。これらの静振は振幅が最大のところでも1.5mm程度ときわめて小さい。

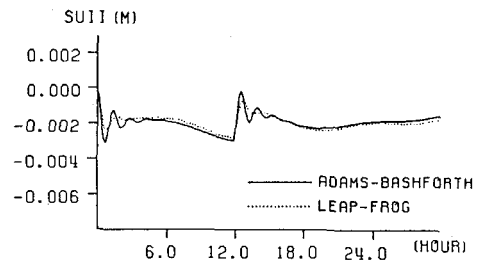


図1 水位変動図 (CASE 1, 2)

Yoshiaki IWASA, Makoto WAKABAYASHI, Huihua SHEN, Masaki KINOSHITA

* 躍層付近（第9層）の水温変動：風が吹いている間は風下側躍層付近の水温が上昇し（躍層面が低下し）、一方、風上側の躍層付近では水温が下がっており（躍層面が上昇し）、長軸方向に躍層面が表面とは逆位相の風下側に低下する傾斜を形成していることがわかる。また図2より、風が停止した後この傾斜した躍層面が反時計回りに回転している様子がわかる。図3より、水温は50～60時間の周期で変動していることがわかる。振幅は湖岸に近いほどおおきく中央部に近づくにつれて小さくなり、位相は各点それぞれずれている様子がみられる。これらより内部ケルビン波²⁾の発生が考えられる。北湖において理論的に求めたこの計算の場合の内部ケルビン波の周期は55.1時間であり水温変動の周期とはほぼ一致することから、躍層面の反時計回りの回転および水温変動は内部ケルビン波によるものと考えられる。

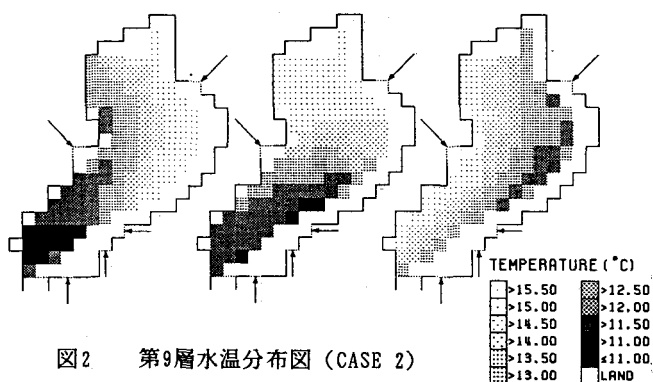


図2 第9層水温分布図 (CASE 2)

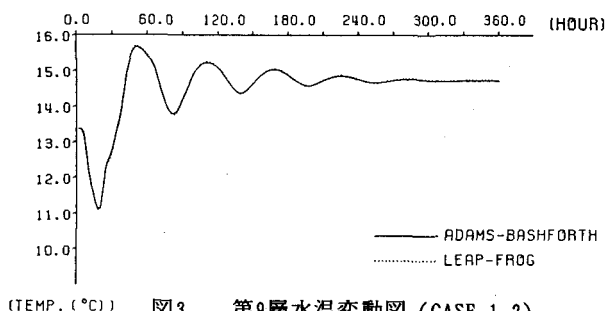


図3 第9層水温変動図 (CASE 1, 2)

* 流速の変動：表層の流速ベクトル図より、流向は時間の経過とともに時計回りに回転している様子がみられる。この流速変動の周期21時間は、運動方程式においてCoriolis項のみを考慮に入れて求めた周期20.4時間とはほぼ一致することより、この流速の時計回りの回転はCoriolis力によって励起された慣性周期の運動と考えられる。

* 所要計算時間：15日間の計算に費やしたcpu-timeは、CASE1では132秒、CASE2では117秒であった。この計算時間差は、CASE1では計算の安定を図るため松野の方法をとり入れているため6ステップごとに1ステップ余分に計算を行わなければならないためである。

次にCASE1とCASE2の結果はほぼ同じであったので、所要時間がわずかながら小さいCASE2(Adams-Bashforth法)を採用し、CASE2とCASE3の比較を行った。CASE2とCASE3の結果のちがいは、CASE3において静振が長時間にわたって現われる以外に大きな差異はなかった。所要計算時間は、CASE3ではC. F. L. 条件により時間ステップを制限されるため2528秒と膨大な時間を必要とする。

5. おわりに：本報により、今回とりあげた3ケースの中ではCASE2が計算時間の面からみてもっとも有利な手法であることがわかった。今後さらに各種の方法によって比較、検討をすすめたい。

- <参考文献> 1) 岩佐 義明、井上 和也、劉 樹坤、阿部 徹：琵琶湖湖流の三次元的な解析、京都大学防災研究所年報、第26号 B-2別刷、昭和58年4月、pp. 531-542.
- 2) Csanady, G. T. : Hydrodynamics of Large Lake, Annual Rev. of Fluid Mech., Vol. 7, 1975, pp. 357-386