

II-251 霞ヶ浦における流れの数値シミュレーション

○筑波大学理工学研究科 学生員 多田栄作
 ESCAP 正員 三宅敏之
 筑波大学 副学長 正員 権貝博美

1. はじめに

水深の浅い湖において、吹送流その他の流れによってアオコなどが運搬されることが明らかになっているので、潮流を把握することが湖における汚濁物質の拡散を予測するうえで重要な因子となる。本研究では、水位勾配から鉛直方向の流速分布を与える連続型のモデルを導入し、専用シミュレータとして並列計算機PAX-64Jを用いて、初めに霞ヶ浦解析の予備的な知見を得るため霞ヶ浦に代表される大規模湖沼を対象としたモデル湖沼について解析を行ない、次に実際の湖・霞ヶ浦を対象として潮流の数値シミュレーションを行なった。

2. 連続型モデルの基礎方程式

連続型モデルは、鉛直方向の流速を求める際にも鉛直方向に差分格子をとって計算することなく、鉛直方向の任意の点における流速を計算できることが特徴である。さて基礎方程式は、連続の式と線形化された拡散方程式において定常的な流れを考え、平面的スケールに比べて水深が浅く鉛直方向の流れが小さいものとして以下の3式とした。

1) 水の連続式 $\nabla \cdot V + W_z = 0 \dots\dots\dots (1)$

2) 線形化された拡散方程式 $-1/\rho \nabla P + K_z \nabla_{zz} = 0 \dots\dots\dots (2)$

$-g - 1/\rho P_z = 0 \dots\dots\dots (3)$

境界条件は、湖面において $T = \alpha \nabla_z \dots\dots\dots (4)$

したがって、流速に関する基礎式は、 $V = (g(Z - \hat{h}) \nabla \eta) / 2K_z + T(Z + h) / \alpha \dots\dots (5)$

水位に関しては、 $\eta_t = -\nabla \cdot Q \dots\dots\dots (6)$

ここに、 t は時間、 Z は静水面から鉛直上向きにとった座標で、これらを添え字として用いた場合は偏微分を表わすものとする。 $\nabla (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ は水面内の直交座標系 (x, y) による微分演算子、 $V(u, v)$ および W はそれぞれ流速の水平および鉛直方向成分、 $T(\tau_x, \tau_y)$ は水平方向のせん断力、 $Q(Q_x, Q_y)$ は水平方向の線流量、 K_z は渦動粘性係数、 α は風の乱れと潮流の乱れとを関係付けるパラメータ、 P は圧力、 h は平均水深、 η は水位、 ρ は密度、 g は重力の加速度である。

3. 諸定数の取り扱い

潮流の基礎式は(5)、(6)である。これらの式により流速の鉛直分布が与えられるが、 K_z と α が未知数として含まれている。本研究では、1983年8月に建設省土木研究所により霞ヶ浦で実施された潮流の大規模観測で得られた潮流の鉛直分布と計算結果とが一致するように、 $K_z = 0.15m^2/sec$ 、 $\alpha = 0.015m/sec$ と決定し計算を行なった。

4. モデル湖沼に関する解析

連続型モデルの潮流計算における妥当性を検討するため図1のようなモデル湖沼を対象とし、各点を32台のPUを持つPAXに割りあてた。尚、図からも明らかのように各PUが鉛直方向にも計算を担当する。

5. 連続モデルの霞ヶ浦への適用

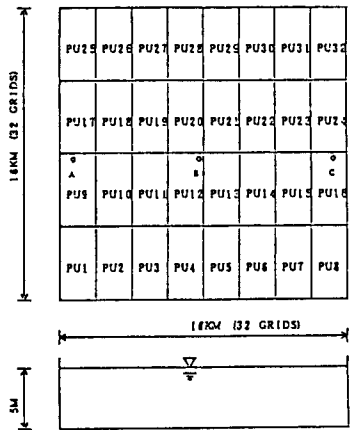


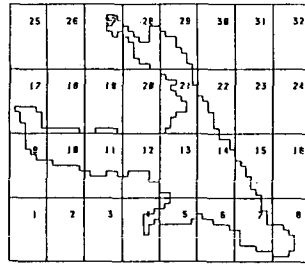
図1 モデル湖沼とPUの計算分担領域

陸地を多く含む形で、霞ヶ浦の地形を図2のように各PUに直接mappingする方法、及び図3のように各PU

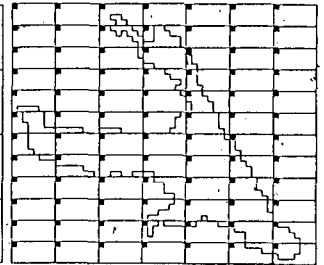
の仕事の負荷ができるだけ均一になるように modular mapping の方法をとって数値シミュレーションを行なった。

6. 計算手順

- 1) HOST側で地形条件を読み込み、各PUに割りあてる。
- 2) 水位 η 及び流速 V の初期値を与える。
(但し、時間ステップを $(1/2) \Delta T$ ずらす。)
- 3) 各PUの境界上の η 、 h の値を上下左右のPUに転送する。
- 4) 風を与えて流速を計算する。
- 5) 3) で計算した V の値を用いて、水位 η を計算する。
- 6) 再び各PUの境界上の η の値を転送し、4) のプロセスに戻る。



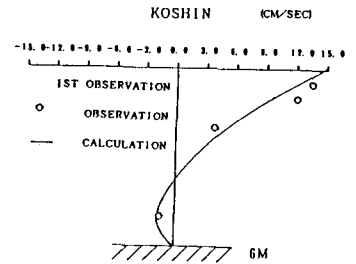
図Ⅱ direct mappingによるデータ転送



図Ⅲ modular mappingによるデータ転送

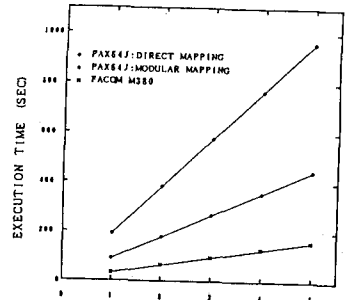
7. 結果

- 1) モデル湖沼について： 10m/sec の風を10時間与え、潮流が定常状態になった段階で検討した。その結果、他のモデルと同様に底勾配がない場合には鉛直方向の循環流がみられ、底勾配がある場合には水平方向の循環流がみられた。また計算効率、モデル湖沼を直接写像したため0.92と高く、計算時間も大型計算機FACOM M380の約5倍ほどであった。
- 2) 霞ヶ浦について： 前述の大規模観測時の潮流が定常状態であるものと仮定し、当日の気象条件を用いて計算を行ない検討した。その結果、図Ⅳから明らかのように計算値と観測値は概ね一致した分布を示している。



図Ⅳ 霞ヶ浦潮流の計算値と観測値の比較

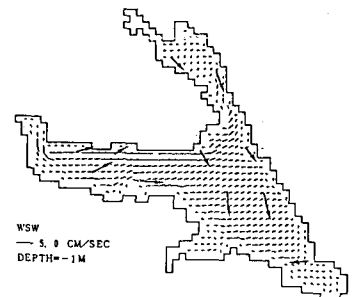
計算における並列化効率、modular mapping では約0.88、direct mapping では約0.41とデータの写像方法により効率が異なり、複雑な地形計算には modular mapping が適すと考えられる。さらに、PAX-64J の計算時間は、図ⅤのようにFACOM M380の約3倍という結果が得られた。これは演算時間のハードウェア比がそのまま出たと考えられる。尚、図Ⅵに一例として西南西から風が吹いた時の平面分布を示す。



図Ⅴ 霞ヶ浦潮流の計算時間

8. 結論

並列計算機PAX-64J を用いて、連続型の潮流三次元モデルをモデル湖沼に適用し連続型モデルの妥当性を検討した結果、以前他のモデルにより解析された結果とほぼ一致する結果が得られた。そこでこのモデルを霞ヶ浦に適用した結果、写像法により並列化効率が異なり、性能対価格費の観点から計算時間を評価すれば、PAX-64J の方が大型計算機に比べ約40倍優れたものとなった。そこで、モデル湖沼において物理時間が30日分の計算を行なったところ計算時間が約4時間となり、PAX-64J の実際的な3次元流体問題に対する専用シミュレータとしての優位性が明らかになった。



図Ⅵ 霞ヶ浦潮流の平面分布

9. 参考文献

- 1) 橋本宏他；霞ヶ浦における湖水の流動特性，第29回水理講演会論文集，1985年 2月
- 2) 星野力；PAX コンピュータ，オーム社，1985年