

京都大学工学部 正員 井上 和也

" " 岩佐 義朗

新日本製鉄 " 片山 猛

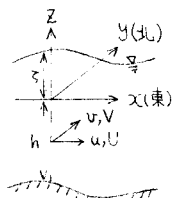
1. はじめに：本報は琵琶湖南湖（湖面積 57.9 km²，貯水量 2.12 億 m³，平均水深 3.66 m）における恒流，環流および静振などの比較的空間スケールの大きい流れを数値シミュレーションするためのモデルの設定について考察したものである。このような平面的な振りを有する場の流体運動に関する従来の研究で用いられたモデルは、水深方向の水温変化などによる密度の変化および水深方向の流速の方向の変化のそれぞれを考慮するかしないかによって大別されよう。琵琶湖南湖についての過去の観測結果によれば、南湖北部において、北湖の内部静振の南湖への侵入や、南・北湖の密度流的な交流の認められることがあるが、これらの現象は比較的局所的なものともみられる上、またその発生の頻度も少ないとみなされるので、南湖全域の湖流を考える最初のモデルとしては水深方向の密度変化は考慮しなくてよいであろう。つぎに、流速の方向の変化は、過去の観測において南湖の北端では、内部静振や密度流的交流が発生している場合に表層と下層で流向が逆転している例を除いて、ほとんど認められていない。南湖の内部については、観測資料が乏しいため判断しにくい、比較的水深が浅いことからここでは流向の変化は無視しうるものと考えたことにした。

2. 基礎式：以上の前提から、湖流の数学的モデルは、つぎの 2 次元 1 層モデルで表わされる。

$$\text{運動方程式：} \quad \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} UM + \frac{\partial}{\partial y} VM = -g(h+z) \frac{\partial \zeta}{\partial x} + fN + \frac{1}{P} \{ \tau_x(s) - \tau_x(b) \} \dots (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} VM + \frac{\partial}{\partial y} VN = -g(h+z) \frac{\partial \zeta}{\partial y} - fM + \frac{1}{P} \{ \tau_y(s) - \tau_y(b) \} \dots (2)$$

$$\text{連続式：} \quad \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \dots (3)$$



図・1

ここで、記号は図・1に示されるとおりで、 z ：基準面から水面までの高さ、 M, N ：それぞれ x および y 方向の流量フラックスで、 $M = U(h+z) = \int_h^z u \, dz$ etc, f ：Coriolis の因子 ($f = 2\omega \sin \varphi$, ω ：自転の角速度, φ ：緯度), $\tau_{x,y}(s)$ ：水表面に作用するせん断応力の x, y 方向成分, $\tau_{x,y}(b)$ ：湖底でのせん断応力である。(1)および(2)式の誘導においては、まず圧力は静水圧分布と仮定されており、またせん断応力については上記以外はすべて無視されている。さらに、 $u' = u - U$ etc. とするとき、 $\int_h^z u' u' \, dz$ etc. の項もすべて無視されている。

さて、従来の 1 層モデルによる計算では、非線型項は省略されることが多く、また考慮されても対象とする領域の一部分に対してであった。¹⁾ 流れの変化の大きい所でこれらの項を省略することは適切でなく、南湖についていえば瀬田川へ流入する部分（図・2参照）がそれに相当しよう。しかし、計算の簡便を図るため、ここでは従来の研究にならい、非線型項をすべて無視することにした。その結果、(1), (2)式はそれぞれつぎのようになる。

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -g(h+z) \frac{\partial \zeta}{\partial x} + A_x \dots (4), \quad \frac{\partial N}{\partial t} = -g(h+z) \frac{\partial \zeta}{\partial y} + A_y \dots (5)$$

ただし、 A_x, A_y は Coriolis の項とせん断応力の項とをまとめたものである。

3. 境界条件およびせん断応力の表示：対象とした領域は、図・2に示されるとおりで、琵琶湖大橋のやや北から瀬田川へ流入する近江大橋のやや南までである。したがって、考えるべき境界は、湖岸、北端および南端の 3 種類であり、それぞれについてつぎの境界条件を設定した。まず湖岸については、計算される範囲内の水位の変化によっては汀線は移動しないものとし、したがって湖岸に直角な方向の流量フラックスは 0 になるとする。

(ただし、琵琶湖疎水取水口については、取水流量にみあう流量フラックスがあるとする。)北端においては、堅田において連続観測されている水位を与え、一方南端については瀬田川の流量(洗堰の放流量+宇治川発電所取水総量)を与えることにした。

せん断応力の表示については、慣用されている次式を用いることにした。

$$\tau_x(s) = \delta_a^2 \rho_a W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}, \quad \tau_x(b) = \delta_b^2 \rho U \sqrt{U^2 + V^2} - \beta \tau_x(s) \quad \dots (6)$$

ここで、 W_x, W_y : 風速のx, y方向成分、 ρ_a : 空気の密度、 ρ : 水の密度、

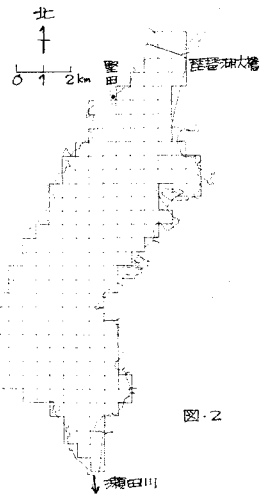
$\delta_a^2, \delta_b^2, \beta$: 係数である。風については、南湖周辺のいくつかの点で観測が行な

われており、それらの結果から堅田での観測資料によって南湖全域の風を代表さ

せうと考えられるので、堅田の観測された風が南湖全域に一樣に吹くものとし

た。また、 $\delta_a^2, \delta_b^2, \beta$ の値については、従来用いられている、 $\delta_a^2 = 1.3 \times 10^{-3}$,

$\delta_b^2 = 2.6 \times 10^{-3}$, $\beta = 1$ とすることにした。



図・2

4. 基礎式の差分化: (3), (4)および(5)式を差分法によって解くことにし、その方法として今里の差分式を用いることにした。すなわち、南湖を図・2のように500m間隔の正方向格子に分割し、 i, j をそれぞれx, y方向の格子点番号とすると、つぎのように差分する。(Δs: 格子間隔, Δt: 時間間隔で30秒とした。)

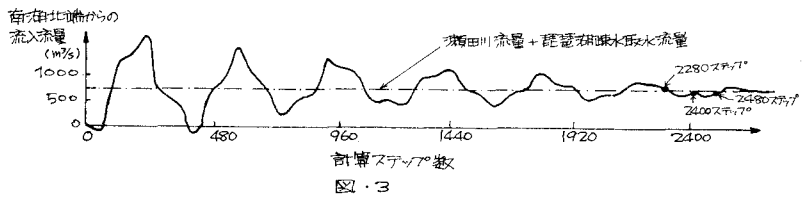
$$(4) \text{式: } \frac{M_{i,j}^{n+2} - M_{i,j}^n}{2\Delta t} = -g \frac{\{(h+\zeta)_{i,j}^{n+1} + (h+\zeta)_{i,j-1}^{n+1}\}}{2} \frac{\zeta_{i,j}^{n+1} - \zeta_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta s} + A_{x,i,j} \quad \dots (7)$$

$$(5) \text{式: } \frac{N_{i,j}^{n+2} - N_{i,j}^n}{2\Delta t} = -g \frac{\{(h+\zeta)_{i,j}^{n+1} + (h+\zeta)_{i,j-1}^{n+1}\}}{2} \frac{\zeta_{i,j}^{n+1} - \zeta_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta s} + A_{y,i,j} \quad \dots (8)$$

$$(3) \text{式: } \frac{\zeta_{i,j}^{n+2} - \zeta_{i,j}^{n+1}}{2\Delta t} = -\frac{M_{i,j}^{n+2} - M_{i,j}^{n+1}}{\Delta s} - \frac{N_{i,j}^{n+2} - N_{i,j}^{n+1}}{\Delta s} \quad \dots (9)$$

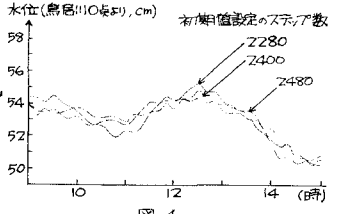
5. 初期条件の設定: 初期条件は従来水面が全領域で水平として設定されることが多かったようである。しかし、南湖についてはほとんど常時瀬田川への流出があり、それにみあう流量が南湖北端より流入しているものとみられる。したがって初期条件として、M, Nを設定する計算が必要とされる。その方法として、本報では、まず出発値として全領域で水位を等しく、またM, Nを0と設定し、つぎに境界条件を計算開始時刻に固定したまま非定常な計算を進め北端からの流入流量が瀬田川への流出流量にほぼ等しくなるのを計算上の初期状態とみなした。

図・3は昭和51年9月17日9時(瀬田川流量+琵琶湖疎水取水流量712 m³/s)に初期条件を設定したときの例である。この設定法は一意的でなく、いくつかのStep数で同様の状態が現れるが、異なるStep数で初期値を設定した後の計算結果を、点233(図・2)の水位変化によって比較したのが図・4で、ほとんど差のない変化を示している。ただし、この方法は境界条件や風の時間的変化の小さいときに適用されるべきであろう。



図・3

最後に資料収集等に御配慮をいただいた建設省琵琶湖工事事務所ならびに水資源公団琵琶湖開発建設部の各位に謝意を表します。



図・4

文献: 1) 日野幹雄: 数値解析の応用と基礎(伊藤剛編)アテネ出版 1971, 2) 今里哲久ら: 京大防災研年報 14B, 1971.