

京都大学大学院 学生員 足立 敏之

京都大学工学部 正 員 岩佐 義朗

" " 井上 和也

1. はじめに：近年、海洋・湖沼あるいは貯水池における物質などの滞留・拡散が環境問題と関連して重視されるようになっている。本報は、琵琶湖南湖を対象として、このような問題について数値シミュレーションを実施した結果で、前報¹⁾までに導かれた湖流の分布をもとに、仮想的に投入されたトレーサーの拡散計算を行ない、南湖における拡散と巨視的にみたトレーサーの滞留特性について考察しようとしたものである。前報では、恒流・環流および静振といった空間スケールの比較的大きい湖流の特性について考察を行ない、とくに環流の発生やその回転方向といった基本的な特徴に、風向がきわめて大きな影響を与えることを見出した。図-2は、平水時の湖流の特性を示した例で、北よりの風向では湖流の南下する流れは東岸に偏り、西岸には北上する流れが現れ、全体として時計回りの環流が形成されているのに対し、南よりの風向では南下する流れは西岸に偏るとともに東岸に北上する流れが発生し反時計回りの環流が形成されている。このような特徴は吹送流が東岸が比較的浅く、西岸が比較的深いという湖底地形の影響を受けた結果とみなされる。このような風向により変化する湖流の特徴は、滞留および拡散の特性に大きい影響を与えるものと予想される。

2. 基礎式および差分式：ここでは前報と同様に二次元一層モデルを適用するものとし、その基礎式としては拡散物質の濃度が水深方向にほぼ一様と見て、さらに拡散物質の湖底への沈降あるいは湖底からのまきあげを考慮しないという仮定のもとに、物質の保存則を表わす基礎式を水深方向に積分した次式を用いる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = K_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2}$$

ここで $C = \int_0^z c dz = \bar{c} (h + z)$ (C ：拡散物質の濃度、 $\bar{c}$ ：水深方向に平均された濃度)である。また K_x および K_y は拡散係数で、南湖における種々の

観測より推定された値の下限値である $K_x = K_y = 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$ を、ここでは試算的に用いることとする。数値計算にあたっては、multi-levelの staggered-scheme による差分法によることにし、つぎの差分式を用いた。(図-3)

$$\frac{C_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^{n+1} - C_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^n}{\Delta t} = -U_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^n \frac{C_{i+\frac{3}{2},j+\frac{1}{2}}^n - C_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^n}{\Delta x} - V_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^n \frac{C_{i+\frac{1}{2},j+\frac{3}{2}}^n - C_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}}^n}{\Delta y} + K_x \frac{C_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^n - 2C_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^n + C_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^n}{(\Delta x)^2} + K_y \frac{C_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^n - 2C_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}}^n + C_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}}^n}{(\Delta y)^2}$$

拡散の計算においては差分化の影響や流速分布の状況に応じて計算の途中で $C < 0$ が現れることが知られているが、これは物理的には意味がないのでそのような場合には直ちに $C = 0$ とすることとした。さらに、拡散物質の総量が初期のそれに等しくなるように各計算ステップごとに補正を加えている。

境界条件としては、湖岸においては $\frac{\partial C}{\partial n} = 0$ (n ：湖岸に立てた法線)とする鏡像の原理を用いている。また北端では北湖における濃度をつねに0とし、南端では濃度が

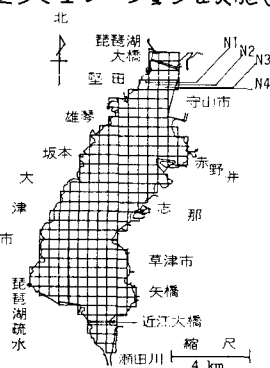


図-1

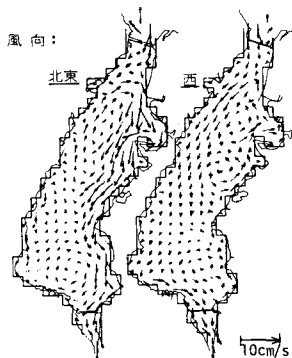


図-2

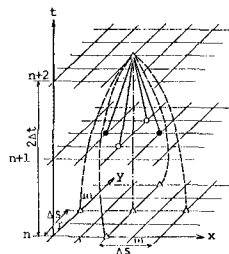


図-3

直線的に変化するとした。なお疏水取水口では、取水による物質の流出フラックスを考慮することとした。

3. 濃度分布の変化：南湖の拡散特性を知るため、図-1のN1～N4の点に拡散物質としてのトレーサーを一樣な濃度（1とする）で投入した場合を想定し、その平面的な濃度分布の時間的変化を求めた。湖流は定常状態にあるものとし、南湖における卓越風向である北東および西の風向の場合の湖流（図-2）を用いて計算を行なった。

図-4(a)は風向がNEの場合についてトレーサー投入後24, 72および240時間後の濃度分布を示したものであり、図-4(b)は風向がWの場合の同様の結果である。風向がNEの場合湖流図からも予想されるように、トレーサーは東岸に偏った強い南下流に伴われて流下しており、西岸の方には達していないことおよび時間が相当地経過したあとでも赤野井湾およびその沖で比較的高い濃度が続き、これが環流の影響とみられることが特徴としてあげられよう。一方、風向がWの場合南下する流れは西岸に偏ってはいるがその強さは比較的小さいため、トレーサーは西岸に偏ることなく全域に広がる傾向を示している。また時間がかなり経過しても北端の方に高い濃度を示す部分があり、これも環流の影響とみなされる。以上より、トレーサーの分布には、南下する流れによる移流と拡散の効果とが複合して現れ、湖流の分布に応じて複雑な様相を呈しながら変化することが予想される。

4. 滞留特性：3と同様にN1～N4の点にトレーサーを投入した場合の瀬田川・疏水および北湖へ流出する拡散物質のフラックスと、その積算値および南湖内の滞留量の変化を、それぞれNE, Wの風向に対して示したのが図-5である。ここで北湖への流出フラックスおよびその積算値は実際上0であったため省略されている。この図は北端に投入されたトレーサーが、南端である瀬田川にどのように到達し、また南湖内に残留するかをみたもので、南湖における滞留特性を巨視的に表わしたものと見える。まずこの図より、風向がNEの場合には瀬田川への流出フラックスは投入後12～18日で最大値に達するがその後の減少が早く、28日以後はほとんど0となっているのが分る。つまり投入後30日程度以降では瀬田川への排出がほとんど行われず、その結果滞留量の減少がきわめて緩やかになっている。これは図-4(a)からもうかがえるように、トレーサーが環流に捕捉された結果と思われる。一方、風向がWの場合、瀬田川への流出はNEの場合ほど早く投入後32日程度で最大値に達しているが、その値もNEの場合ほど大きくない。しかしその後も流出フラックスは急激に減少することはないので、滞留量は徐々にではあるがNEの場合より早く減少している。図-4(b)にみられるように、風向がWの場合トレーサーはかなり一様に分布する傾向を示しており、その結果瀬田川の排出が持続するものとみなされる。

南湖における滞留・拡散に関しては、奥湖資料がほとんどないため計算値の比較が行なえず、計算も定常な場に限らざるをえなかったが、計算結果では濃度分布は湖流からほぼ予測しうる結果となり、滞留特性も湖流によって異なることが分った。湖流は、風の影響を強く受けておりこれらの結果から、湖流だけでなく物質の滞留・拡散も含めた南湖の水理にとって、風が重要な因子であると結論されよう。参考文献：1) 岩佐・磯久村田、第32回年講 II-244, 1977 / 2) 堀口、第16回海講, 1969。

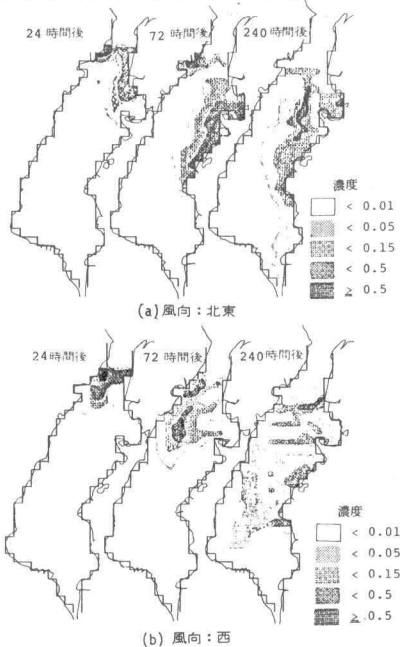


図-4

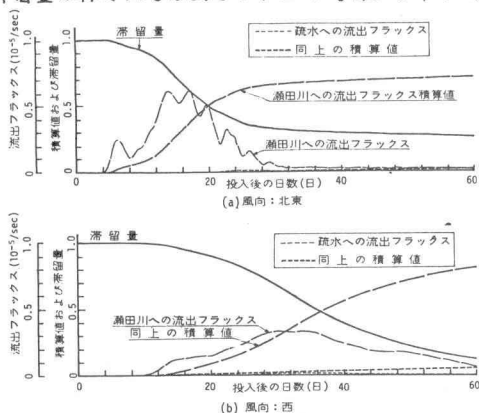


図-5