

印旛沼における湖水流動に伴う水質汚濁プロセスの解析 Analysis of water pollution process from water movement in the Inbanuma Lake

○佐藤 周太* , 久保成隆**
○SATO Shuta* , KUBO Naritaka**

1. はじめに 湖沼など閉鎖系水域における水質汚濁が進行している。水質汚濁は栄養塩類や有機物の濃度が上昇することによって進行する。この要因は、河川や流域からの流入による系外からの要因（外部要因）と、湖沼内での化学反応や生物反応などの系内での要因（内部要因）に分けられる。この内部要因と外部要因の影響を区分することは、有効な水質改善に向けた対策を考える上で重要であるが、それぞれの現象を区分することは難しい。このような問題に対し、数値シミュレーションは、これらの要因を擬似的に区分し、水質汚濁のプロセスの進行を詳細に再現できる可能性を有している。

2. 研究目的 本研究では、外的要因の影響を把握するため、流入河川や取水の影響によって複雑な流動が生じる湖沼における、河川からの汚濁物質の動態を把握することを目的とした。具体的には、河川流量の変化に伴う湖沼流動の変化が、水質汚濁プロセスに与える影響の解析である。

3. 研究対象地 研究対象地として、千葉県北東部に位置する印旛沼を選定した。印旛沼は面積約11.55km²、水深は平均して約1.7mである。湖沼においては水質汚濁が著しく進行している。沼は干拓によって、北印旛沼と西印旛沼に分けられ、この2つは捷水路によって接続されている。

4. 研究方法 湖沼の水質汚濁をシミュレーションするモデルを開発し、対象地への適用を図っていく。湖沼の特性から水質の変動分布は鉛直方向に対し平面方向が卓越していると考え、平面2次元モデルを選定した。開発したモデルは非定常流解析モデルと水質解析モデルから構成される。

4.1 非定常流解析モデル 支配方程式として、連続式(式1)と運動方程式(式2)を用い、これらを連立させて解いていく。差分スキームには、非線型方程式を2段階の陽差分によって解く2 STEP Lax-Wendroff Schemeを選定した。

4.2 水質解析モデル

移流拡散方程式 支配方程式として線型の移流拡散方程式(式3)を用いた。これを流動解析と同様に、2 STEP Lax-Wendroff Schemeによって解く。ここで、変動量は物質濃度 C と x - y 方向流速 U, V であるが、流速に流動解析で求めた値を代入した。なお、今回のモデルでは、湖沼流動による汚濁物質の拡がりを解析するという目的から、湖沼内での反応は起こらず、物質量は保存されるという仮定で計算を行っている。

要素計算 また、水質解析モデルでは、その物質を流入時期・流入経路という要素によって区分している。

移流拡散方程式は線型方程式であるため、各要素によって分割して計算することが可能である。また、各要素を重ね合わせることによってその格子点の

表-1 支配方程式

Table-1 Government equations

連続式	$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial VH}{\partial y} = 0$	(式 1)
運動方程式	$\frac{\partial UH}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(U^2 H) + \frac{\partial}{\partial y}(UVH) + gH \frac{\partial H}{\partial x} = gH(-S_f)$	(式 2)
移流拡散方程式	$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial UC}{\partial x} + \frac{\partial VC}{\partial y} = D_{xy} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right)$	(式 3)
濃度の要素計算	$C(x, y) = \sum_i C(x, y, i)$	(式 4)
<p>H : 水深 U, V : x, y 方向流速 n : マニング数 g : 重力定数 S_f : 底面摩擦応力 $C(x, y)$: ある地点の物質濃度 $C(x, y, i)$: 各要素の物質濃度</p>		

所属 : *市川市役所 Ichikawa City Office **東京農工大学大学院 Tokyo University of Agriculture and Technology
 キーワード : 水環境・水質、数値流体力学、環境影響評価

物質量が求められる。

4.3 計算条件 計算ステップ $\Delta T=2$ (sec)、拡散係数 $D_{xy}=2.5$ (m^2/s)とした。

地形条件 1/25000 数値地図(50m メッシュ)のDEMデータを参照し、標高が0mのメッシュを水域とした。ここで、計算精度を向上させるため、メッシュサイズを25mに細分化した。湖沼底標高は一定とし、勾配はないものと仮定した。

水理・水質条件 現地の流量観測データを各河川における境界条件として用いた。水質条件は降雨時の水質観測データからL-Q式を求め、河川流量から境界における濃度の算定を行った。

5. 結果 流量観測データをもとに非定常流と濁質濃度の分布を計算した。水質管理上、最も重要な地点である上水・工業用水取水地点(Fig. 2)の地点1について、解析結果を示す。流入河川による要素の区分を行った結果、流入汚濁物質濃度の高い河川からの影響より、観測点に近い河川からの影響を強く受ける傾向が見られた(Fig. 3)。流入時期による区分では降雨によって河川流量が多かった時期(計算開始後0~2日)の影響が他の時期の状況と比較し、長く残る傾向が見られた(Fig. 4)。

6. 結論と課題 平面2次元の非定常流解析モデルと水質汚濁シミュレーションモデルの開発を行った。これを複雑な湖沼流動が生じている印旛沼に適用し、湖沼流動とそれに伴う汚濁物質濃度の解析を行った。また、このモデルに汚濁物質の動態を詳細に解析するためのモジュールを追加した。これによって、汚濁物質の流入経路、流入時期を特定することが可能になった。この結果から水道水取水地点における汚濁物質濃度に対し、各河川が与える影響割合の評価を行った。今後の課題として、濃度分布は各河川の流入流量と濃度に強く依存していることから、これらのデータを現地観測によって取得し、モデルの実用性について検討を行っていく必要があると考えられる。

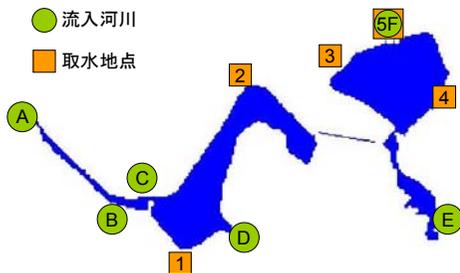


図-1 各河川流入点と取水地点

Fig.1 River inflow points and intake points

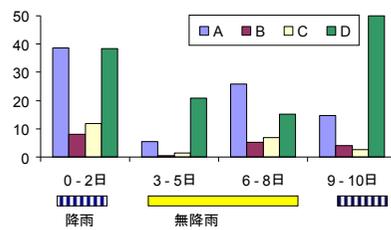


図-2 各河川からの流入負荷量(g/sec)

Fig-2 Pollutional load from each river

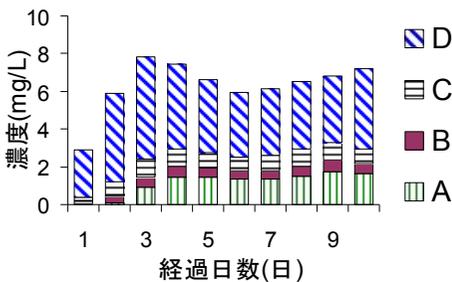


図-3 観測点における各河川からの汚濁負荷量

Fig-3 Pollutional load from each river

at the observation point 1

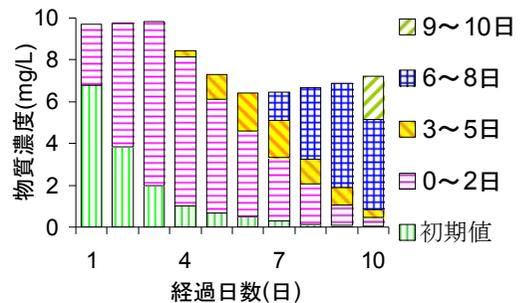


図-4 観測点における流入時期ごとの汚濁負荷量

Fig-4 Pollutional load from each period

at the observation point 1