

GIS による水系環境評価への流れの数値解析の応用

北海道東海大学 正会員 ○畑中勝守*

北海道東海大学 鈴木充夫*

北海道東海大学 正会員 谷野賢二**

1. はじめに

大規模酪農地域を抱える北海道では、酪農による汚濁物質（糞尿等）の周辺水系への流出にともなう水質変化等の環境問題が懸念されており、特に水質の悪化に起因する漁業資源への悪影響が懸念されている。こうした環境変化を調査し評価するためには「農業」「環境」「漁業」といった連関を総合的に判断するための学際的な研究が必要となり、このため、筆者らは GIS（地理情報システム）を利用した評価システムを開発することを目的に、土木、農業、漁業、情報、生物、社会科学など多分野にわたる研究者で構成された学際的な共同研究を実施している。本報告ではこの研究のうち、特に酪農地域周辺水系における水質変化予測のための数値解析とその GIS への応用について報告する。なお、研究対象としては、北海道網走支庁におけるサロマ湖を解析対象地域として取り上げ、流れの数値解析と汚濁物質拡散の数値解析結果を中心に報告するものである。

2. 数値解析と結果の考察

水系環境評価のための水質変化予測の解析例として、サロマ湖における汚濁物質拡散の数値解析を実施した。数値解析は、まず湖内の定常的な 2 次元流れを解析し、解析した流れをもとに同じく 2 次元移流拡散問題を解析するという手順で行った。また、数値解析に必要な座標データや水深データは GIS データベースから作成され、数値解析結果を再び GIS にフィードバックすることを念頭に解析を実施した。以下に、その詳細を示す。

2.1. 湖内の定常流れ数値解析

サロマ湖は日本第 3 位の広さを持つ海跡湖であり、2 箇所がオホーツク海とつながり、およそ 7 つの中小規模河川が流入している。湖は、ほぼ東西に 22km、南北に 13km、水深 20m ほどの規模であるため、小規

模な河川からの流入は湖内の流れにほとんど影響せず、もっぱら潮汐による残差流が支配的であると考えられる。このため、図 1 に示すように、比較的大きな河川である佐呂間別川からの流入を流入境界とし、海に面した 2 箇所に水位変動量を境界条件として与え、支配方程式に非定常浅水長波方程式を、数値解析手法に有限要素法をもとにした手法¹⁾を用いて解析を行った。なお、オホーツク海側の境界条件としては、(1)式の潮汐による主要 4 分潮の重ね合わせによる潮位を与えるものとし、振幅、周期は表 1 のように与えた。

$$h_b = \sum_{m=1}^2 a_m \sin \frac{2p}{T_m} t \quad (1)$$

表 1 海側境界条件の緒言

分潮	振幅(a_m) m	周期(T_m) hr.
M_2+S_2	0.2	12
K_1+O_1	0.4	6

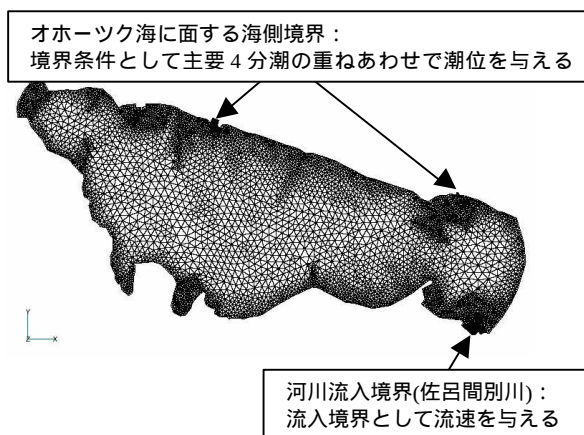


図 1 サロマ湖の流れ解析領域図と境界条件

流れ解析では、実時間で 10 日分の計算を行い、最後の 4 日分の解析結果を平均して定常的な流れ場（潮汐残差流のような流れ場）を求めた。図 2 に計算から得られた流れ場の流線と渦度の分布図を示す。この結果からわかるように、サロマ湖では潮汐による二つの大きな循環が見られ、平常時においては河川流入の流れへ

* 教育開発研究センター総合教育系、** 工学部海洋環境学科

キーワード：GIS、汚濁物質拡散、流れの数値解析、有限要素法

連絡先：〒005-8601 札幌市南区南沢 5 条 1 丁目 1 - 1 電話：011-571-5111、FAX：011-571-7879

の影響は非常に小さいと考えられる。また、計算による流速は海側の境界付近で満干潮時に最大3.5m/sほどの大きさがあるものの、湖内の流速はおおむね数 cm/s ～十数 cm/s 程度の非常に緩やかな流れになっており、現地の平常時のそれと良く一致した結果となった。

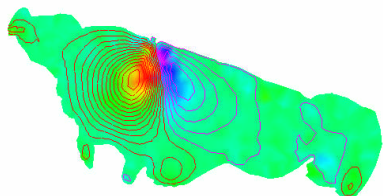


図2 サロマ湖の潮汐残差流の流線と速度分布図

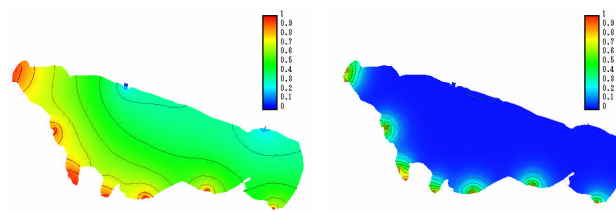
2.2. 汚濁物質移流拡散解析

先に求めたサロマ湖内の定常的な流れ場をもとに、汚濁物質の移流拡散解析を実施した。この解析では2次元非定常移流拡散方程式を基礎方程式に解析を行うこととしたが、対象とする汚濁物質の物理特性である拡散係数が未知であるため、次のように無次元化された方程式²⁾を支配方程式とした。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u_i \frac{\partial C}{\partial x_i} = Sc \frac{\partial^2 C}{\partial x_i^2} \quad (2)$$

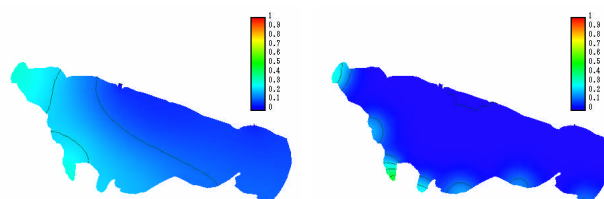
ここに C は無次元濃度、 u_i は無次元流速、 x_i は無次元座標である。また、 Sc はシュミット (Schmidt) 数と呼ばれる無次元量であり、物質の拡散係数と流体の動粘性係数の比で定義される量である。(例えば流体を水、拡散物質を食塩とした場合には Sc は 10^3 のオーダーになる。)本解析では、拡散解析の対象となる物質の物理定数が不明であることから、 Sc を 100 と 1,000 の二つのケースに分けて解析を行った。また、解析の境界条件として海側の二つの境界では汚濁物質濃度をゼロとし、7つの河川において無次元濃度を定常的に1として与える場合 (Case 1: 生活排水の流入のような定常的な汚濁物質の流入を想定した場合) と河川からの流入物質濃度が時間的に変化する場合 (Case 2: 降雨時に一時的に流入濃度が変化することを想定した場合) の二つのケースを想定した解析をそれぞれ行った。図3および4にそれぞれのケースにおける定常状態の濃度分布図を示す。図3からわかるように、生活排水のように汚濁物質が定常的に同じ濃度で流入する場合には、 Sc が 100 のような拡散しやすい物質の場合、湖内に汚濁物質が広がるという深刻な事態が起こりうる可能性があるが、 $Sc=1,000$ のような拡散しにくい物質

の場合には、河川近傍に濃度の高いところが集中し、湖内のほとんどの部分には広まらないことが解る。



(a) $Sc=100$ の場合 (b) $Sc=1,000$ の場合

図3 Case 1の解析結果 (濃度分布図)



(a) $Sc=100$ の場合 (b) $Sc=1,000$ の場合

図4 Case 2の解析結果 (濃度分布図)

また、図4のような降雨により汚濁物質濃度が一時的に増加しやがてゼロになる場合には、 Sc の違いによる多少の変化は見られるものの、おおむね物質は湖岸近傍にとどまり湖内全域には拡散しないことがわかる。なお、以上により計算された結果はGISデータベースにフィードバックするものであり、湖内の数箇所を実施された水質検査の結果と比較することにより、どのような物質がどの程度拡散しているかの予測を立てることができるが、紙面の都合上、これらについては本報告では割愛する。

3. おわりに

GISを利用した水系環境評価のための流れの数値解析について報告した。現段階ではGISへの応用を念頭に解析してはいるものの、他の検討項目との連携 (例えば数値解析結果と漁業資源への関連) は十分であるとは言えず、これらは今後の課題であると考えている。

謝辞

本研究は、財団法人北海道科学・産業技術振興財団の平成12年度研究開発支援事業の支援を受けた。記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) K.Hatanaka et. al, in Proc. of 4th Japan-US Sympo. on FEM in Large Scale Comp. F. Dynamics, pp.195-198. 1998
- 2) 二之宮他、パソコンによる水環境流れ解析、朝倉書店