

浅い汽水湖における塩水流動解析*

東北大学 工学部建築・社会環境工学科 田中 美香
 東北大学 大学院工学研究科 梅田 信
 東北大学 大学院工学研究科 田中 仁
 首都大学東京 都市環境学部 新谷 哲也

1. はじめに

河川の最下流部に位置する感潮域および汽水湖は、潮汐や河川流量などの要因によって、それぞれ特有な水環境を持つ上に、塩分条件の時空間変動も大きいという複雑な特徴を持つ水域である。また自然的なものだけではなく、その河川の集水域に存在する都市や農地などからの人為的な要因により排出される有機物や栄養塩類も豊富であるため、汽水湖での生物生産も活発であることが多い。しかしながらこのような反面、水質の汚染や貧酸素水貧の発生により、環境が悪化した事例も多く知られている。このような汽水湖の水環境の変化については、淡水と塩水の流動特性が大きく影響するため、適切な管理や環境の保全に、水理学的な知見を蓄積することが重要であると考えられており、近年多くの研究が行われている。そこで本研究では、浅い汽水湖である岩木川水系の十三湖を対象とした流動解析について検討した。

2. 研究対象地域

本研究では青森県北西部に位置する十三湖を研究対象地域とする。十三湖は岩木川下流部にある流域面積 18.06 km² の汽水湖であり、集水面積 2.544km²、最大水深が約 2m の浅い汽水湖である。十三湖の平面形状を図 1 に示す。一級河川である岩木川からの淡水流入と、十三湖と日本海を繋ぐ水戸口から流入する海水が、十三湖の汽水環境を左右する。十三湖への流入河川は、岩木川、山田川、鳥谷川などがあるが、岩木川が全集水面積の 78% を占める。また十三湖はヤマトシジミの名産地としても知られており、青森県の漁業の一角を担っている。しかしその漁獲量は経年的に大きく変動し、ヤマトシジミの漁獲量の減少も懸念されている。

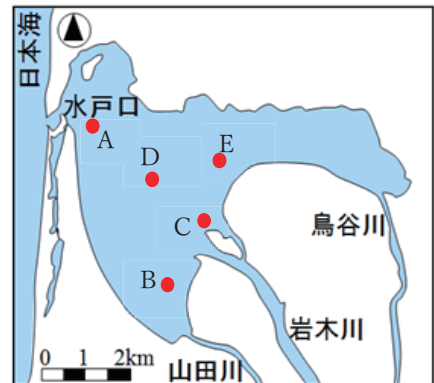


図1 十三湖の平面図と観測地点

*Analysis of salinity flow in a shallow brackish lake by Mika Tanaka, Makoto Umeda, Hitoshi Tanaka and Tetsuya Shintani

3. 解析方法

流動解析は、新谷ら(2009)などにより開発された環境流体シミュレーター **Fantom3D** を用いる。支配方程式は、三次元の連続式と運動方程式、およびスカラー(水温、塩分、乱流特性量)の輸送方程式であるが、運動方程式は静水圧近似およびブジネスク近似を施したものとなっている。これらはそれぞれ(1)~(5)として以下に示す。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

ここで、 u , v , w はそれぞれ x , y , z 方向の流速である。 x , y 方向の運動方程式はそれぞれ

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \gamma \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} g \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \gamma \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} g \quad (3)$$

である。ここで、 ρ :水の密度、 γ :渦動粘性係数、 p :圧力である。鉛直方向には静水圧近似を適用し、

$$p = \int_{z_b}^{z_s} \rho g dz \quad (4)$$

としている。また、スカラーの輸送方程式は次のような形となる。

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + u \frac{\partial \phi}{\partial x} + v \frac{\partial \phi}{\partial y} + w \frac{\partial \phi}{\partial z} = K \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \right) + S \quad (5)$$

ここで、 ϕ :塩分および水温、乱流のスカラー量、 K :拡散係数、 S :生成項である。

また乱流モデルとしては、二方程式乱流モデルである **GLS(Generic Length Scale)**モデルを適用している。離散化に関しては、流速および水温と塩分の移流には、3次精度の **ULTIMATE-QUICKEST**法を用いて、精度を確保している。

計算格子間隔は、水平方向を **200m** とし、鉛直方向を **0.1m** とした。また時間間隔は **10 秒** とした。十三湖の湖底地形には、国土交通省が **2012 年** に実施した深浅測量結果を用いて作成した。

計算対象の水文・気象条件は、**2008 年** の夏季とした。これは、既往研究(小西ら, **2009**)により、十三湖内において、塩分と水温の詳細な現地観測が行われており、その成果を活用することができるためである。本研究で使用した水文条件のうち、湖水位および河川(岩木川)からの流量時系列については図 3 に示した。海水および淡水の流入出が行われる水戸口・岩木川河口では、流量・水温・塩分濃度をそれぞれの境界条件として与えた。

4. 解析結果

各地点の塩分・水温の計算結果と、**2008 年** 夏季の塩分・水温の観測結果をそれぞれ図 4 と図 5 に比較した(図 4, 図 5)。比較した地点は塩分、水温の観測が小西ら(2009)で行われた **5 地点** である。すなわち図 1 に示した。それぞれ **A 地点**(標高**-2.2m**)、**B 地点**(標高**-0.5m**)、**C 地点**(標高**-0.5m**)、

D 地点(標高-1.5m), E 地点(標高-1.3m)である。また, 各地点での計算結果および観測結果の湖底からの高さは 5 地点においてそれぞれ 2.0m, 0.4m, 0.2m, 0.4m, 0.2m である。

塩分が流入する水戸口に最も近い地点 A では計算値は潮汐に対応して変動する塩分の様子をよく示し, と観測値とも近い変動を示した。その一方で水戸口から離れている他の 4 地点の計算結果については, 塩分が上下する挙動を示すことが出来た一方で, 計算時間が進むにつれ, 塩分濃度の絶対値が観測値と比較しても大幅に小さくなっている。本計算方法では, 水戸口からの海水流入の境界条件として, 連続式の補正により, 塩水フラックスを与える方法を採用している。そのため海水流入時の運動量や水戸口で生じている淡水層と塩水層の交差流が十分に表現されていない。その結果, 十三湖内への塩分流入量が不足する計算結果になってしまったと考えられる。この点については, 塩水が運動量を持つよう水戸口において与える条件を検討しなおす必要がある。水温については, 日週変動と数日単位の気象条件などの変化にともなう変動が計算結果において比較的よく再現することができた。今回得られた課題を含め, 今後はより詳細に十三湖の流動条件を検討していく。

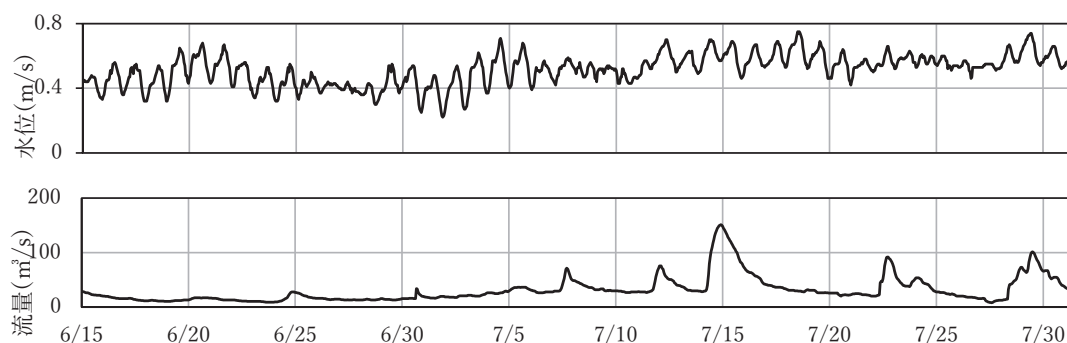


図3 水位及び流量(2008年度)

5. おわりに

本研究では十三湖内の詳細な流動解析を行うため, Fantom3D を用いて数値シミュレーションを行い, 既往研究で行われた観測結果との比較を行った。特に塩分と水温に着目し, 潮汐が湖内流動に与える影響を考察した。その結果, 潮汐によって細かく時間変動する特徴を捉えることが出来た。

6. 謝辞

本研究は, JSPS 科研費 16H02363 (代表: 風間総), 17H04585 (代表: 峠嘉哉) の助成を受けて実施された。記して謝意を表す。

7. 参考文献

新谷哲也, 中山恵介: 環境流体解析を目的としたオブジェクト指向型流体モデルの開発と検証, 水工学論文集, 第 53 巻, 2009 年 2 月。

梅田信, 田中仁, 小西絵里子, 佐々木幹夫: 十三湖における塩分と溶存酸素の変動に関する観測と分析, 海岸工学論文集, 第 55 巻, 2008 年。

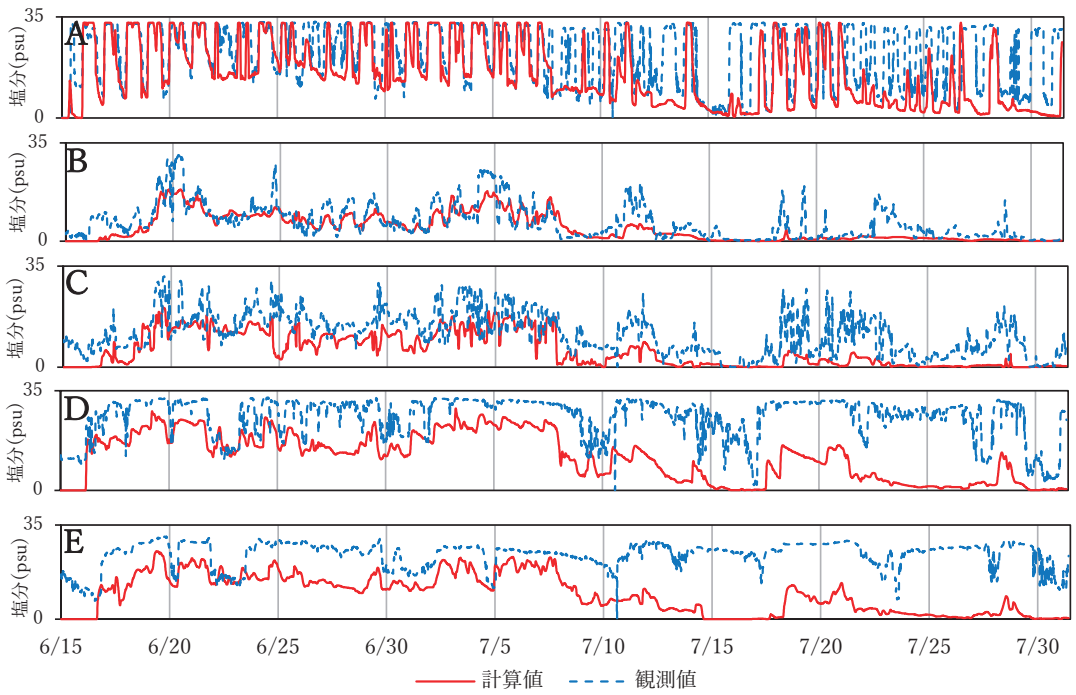


図4 各観測地点における塩分変動

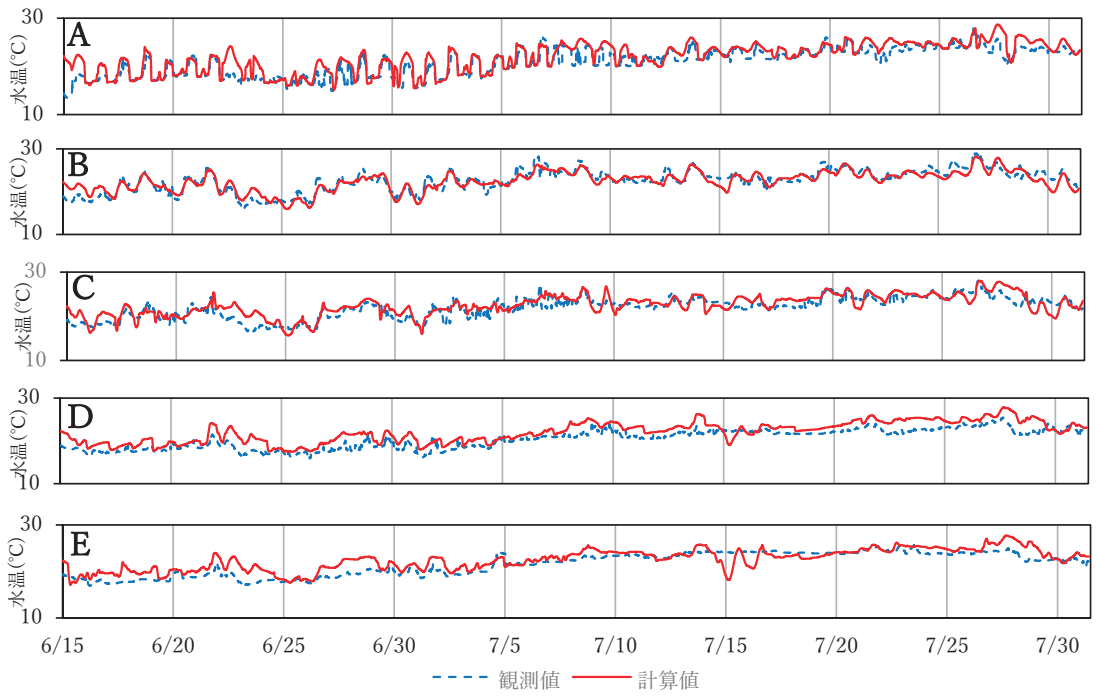


図5 各観測地点における水温変動