

宍道湖・中海における数値計算が流動場の再現計算に与える影響の把握

東京都市大学大学院 学生会員 ○池田香澄
 東京都市大学 正会員 田中陽二

1. 序論

島根県および鳥取県に位置する中海・宍道湖(図-1)は、日本における有数の汽水湖の一つである。汽水湖は、淡水と海水が混合していることから、淡水湖に見られない塩分耐性生物など多種多様な生態系を形成する。また一般に汽水湖では海水が遡上することより、水位変動や塩分成層が見られるなどの水理的特徴を有しており、独特の水質を示すことが知られている。

宍道湖・中海は連結系汽水湖と言われる特殊な湖沼であり、流動や水質は両湖で互いに影響し合い変化することから複雑な構造を成しているとされる。最大水深はそれぞれ 6m, 12m 程度の比較的浅い水域だが底層水の貧酸素化が近年では見られ、生物被害が発生するなどの問題を抱えている。水質悪化に応じて様々な施策が実行される中、依然として改善の効果はもたらされていない。

これまでに宍道湖・中海に関する研究は数多くなされており、石飛ら¹⁾では両湖における水理、水質、生態系などの知見を総合的にまとめ、現状の問題や未解明な点を列挙した。その中で、両湖における流動構造の多くは未解明である点が挙げられた。また、数値計算による流況や水質の予測は有効な手段である事が述べられた。福岡ら²⁾は数値モデルにより両湖を対象とする流況再現を行い米子湾の解析からモデルの評価を行った。国土交通省³⁾や溝山ら⁴⁾も同様に両湖における数値計算を行い、流況再現の結果からモデルの評価を行った。その結果、数値モデルの再現性向上が課題として残された。

本研究では数値モデルを用いて宍道湖・中海における数値計算を実施し、両湖内の流況再現を長期的に行い、メッシュサイズが再現性に与える影響について考察することを目的とした。

2. 研究方法

本研究では、数値モデル STOC-LT (伊勢湾シミュレーター) を用いた。本モデルは田中ら⁴⁾⁵⁾により開発さ

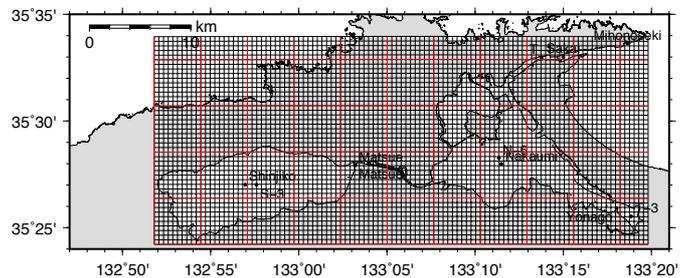


図-1 計算メッシュ (case A) および比較地点

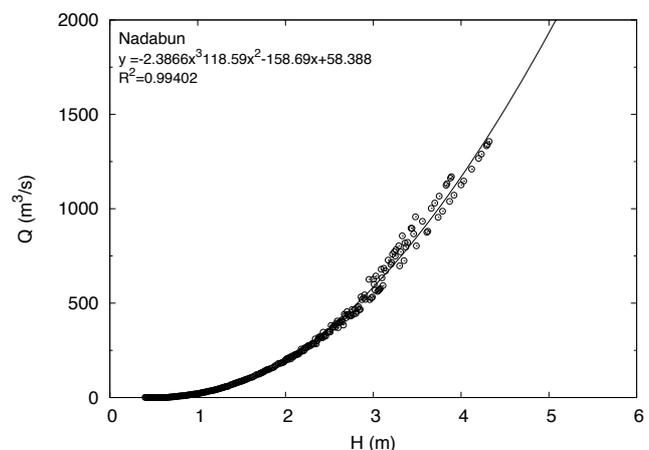


図-2 灘分水位観測所における H-Q 曲線

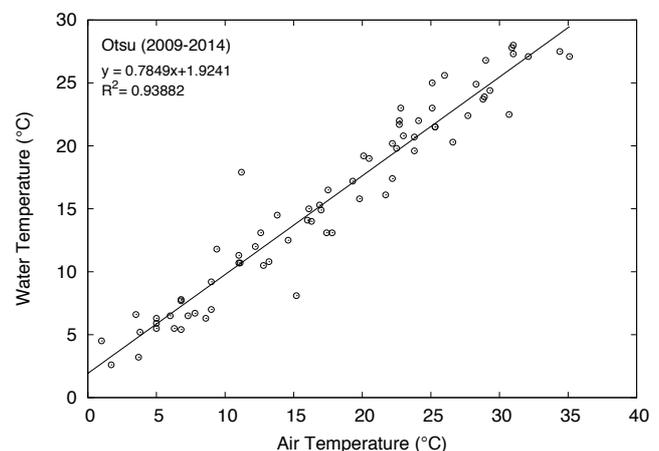


図-3 大津水質観測所における気温-水温関係

れた 3 次元流動モデルである。水平分割は 400m 正方形格子 (case A) および 200m 正方形格子 (case B) の 2 種のサイズを設定した (図-1)。鉛直方向については両 case とともに 34 層にメッシュ分割して計算を行った。計算条件は、期間を 2013 年の 1 年間と想定しており、助

表-1 計算条件一覧

| 項目 | 設定方法 |
|----------|--|
| 計算期間 | 2013年1月1日～12月31日 |
| 計算領域 格子 | 水平：400m 正方格子 (106×43) , 200m 正方格子 (212×90) 鉛直：全34層 (5, 1, 0.5, 0, -0.5, -1, -1.5, -2, -2.5, -3, -3.5, -4, -4.5, -5, -5.5, -6, -6.5, -7, -7.5, -8, -8.5, -9, -9.5, -10, -10.5, -11, -11.5, -12, -12.5, -13, -14, -15, -20, -30, -40 [m]) |
| 河川水 流入河川 | 1河川 (斐伊川) |
| 流量 | 国交省 水文水質データベースより灘分観測所における H-Q 曲線を元に与えた (図-2) . |
| 水温・塩分 | 国交省 水文水質データベースより大津観測所データを与えた. |
| 外洋水 潮位 | 国交省 水文水質データベースより美保関観測所データを元に与えた. |
| 水温・塩分 | 海保庁 JODC の泊村定地水温データを, 塩分は一定値 33 を与えた. |
| 気象場 | 気象庁 松江气象台における観測値を一時間毎に一樣に与えた. |

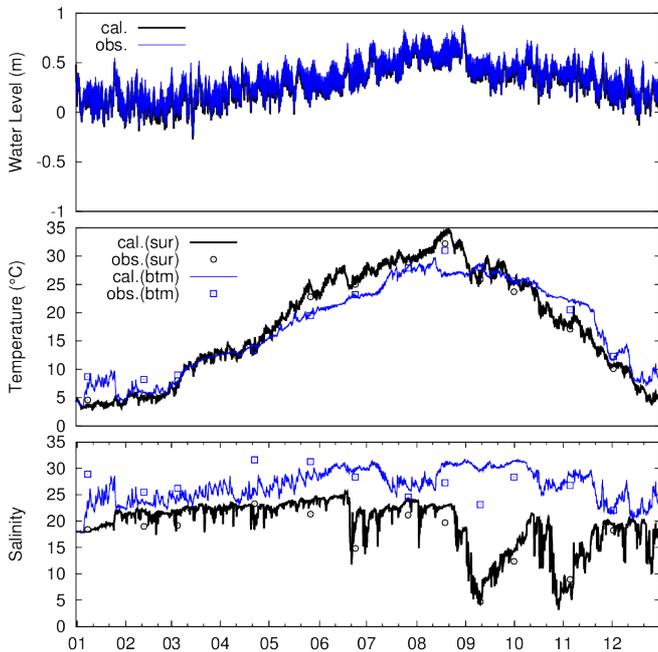


図-4 中海中心における計算結果の時系列変化 (case A, 上から水位, 水温, 塩分)

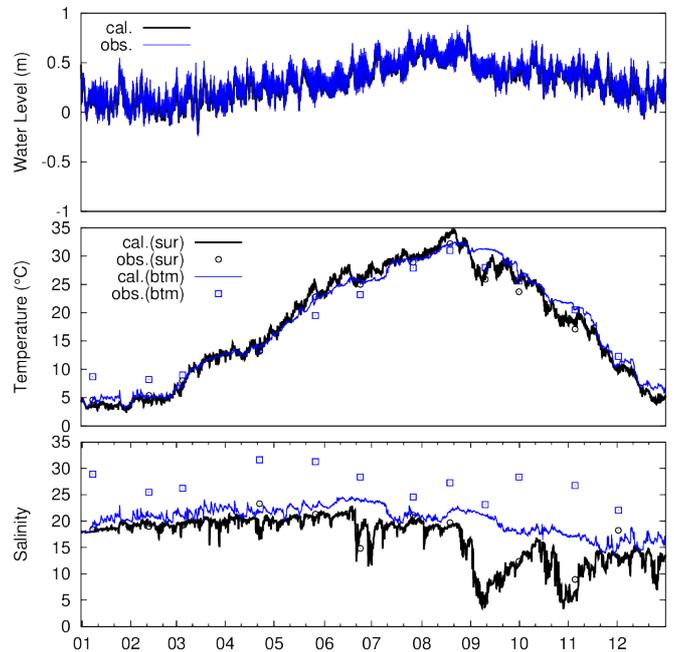


図-5 中海中心における計算結果の時系列変化 (case B, 上から水位, 水温, 塩分)

走期間は設けていない (表-1).

河川境界条件は, 宍道湖の主要な流入河川である斐伊川のみを考慮し, 観測値を元に計算へ与えた. 河川流量は H-Q 曲線を求め, 水位より計算することで 1 時間毎に与えている. H-Q 曲線には 2009 年から 2013 年までの灘分における水位流量観測所データを使用し, 最小二乗法を用いて関係式を算出した (図-2). 水温も同様に, 2009 年から 2014 年までの大津水質観測所データを用い, 気温-水温関係式を元に 1 時間毎に計算へ与えている (図-3).

外洋の境界条件では, 美保関の水位観測値を元に

潮汐を, 泊村における定地観測データを元に水温を与えた. 塩分は一定値を設定している. 気象場は, 松江气象台における観測値を領域一様に 1 時間毎に計算へ与えた. また, 水温および塩分の初期値は, 宍道湖・中海における 1 月平均値を求め, 全水域に一様に設定した.

3. 結果

計算結果の検証として観測値との時系列変化比較を各 case で行った (図-4, 図-5). なお, 観測値は国土交通省水文水質データベースの月に 1 度の観測データを用いており, 宍道湖湖心, 松江, 中海, 境

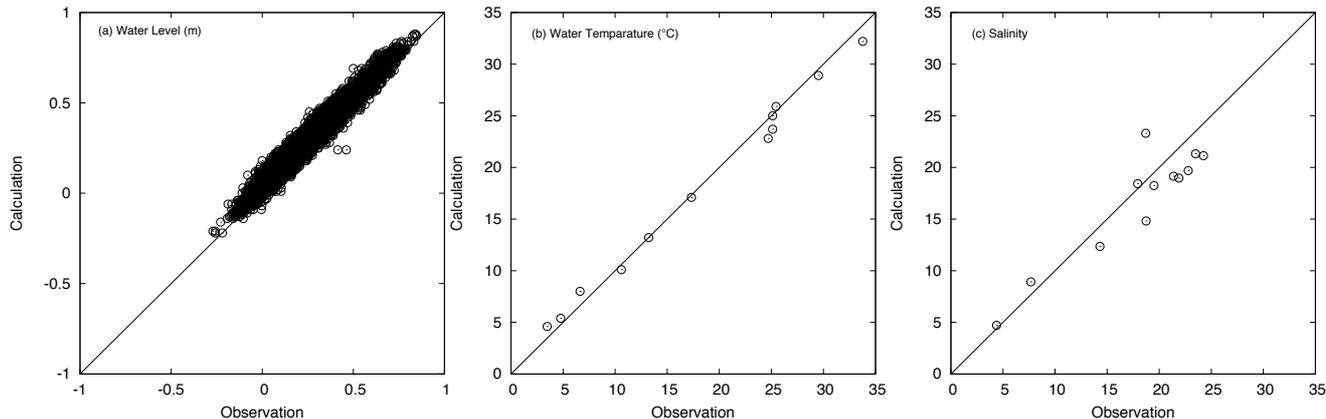


図-6 中海中心における計算値と観測値の比較 (case A, (a)水位, (b)表層水温, (c)表層塩分)

表-2 各 case での水位の RMSE 一覧 (単位: cm)

| 地点 | case A (400m) | case B (200m) |
|-------|---------------|---------------|
| 中海中心 | 5.42 | 5.26 |
| 宍道湖湖心 | 7.22 | 7.15 |
| 境水道 | 5.06 | 4.87 |
| 松江 | 10.17 | 9.20 |

表-3 各 case での水温の RMSE 一覧 (単位: °C)

| 地点 | case A (400m) | | case B (200m) | |
|-------|---------------|------|---------------|------|
| | 表層 | 底層 | 表層 | 底層 |
| 中海中心 | 1.02 | 2.60 | 1.18 | 2.98 |
| 宍道湖湖心 | 0.833 | 4.10 | 1.11 | 4.09 |
| 境水道 | 1.24 | 2.26 | 1.50 | 3.56 |
| 松江 | 0.71 | 3.72 | 0.97 | 3.62 |

表-2 各 case での塩分の RMSE 一覧 (単位: -)

| 地点 | case A (400m) | | case B (200m) | |
|-------|---------------|------|---------------|------|
| | 表層 | 底層 | 表層 | 底層 |
| 中海中心 | 1.44 | 3.73 | 2.15 | 7.49 |
| 宍道湖湖心 | 0.86 | 3.58 | 1.14 | 3.66 |
| 境水道 | 2.34 | 1.54 | 2.33 | 1.58 |
| 松江 | 9.90 | 14.4 | 1.14 | 4.59 |

水道の4地点について比較した。

水位変化については両 case ともに観測値を良好に再現しており、全水域において潮汐振動を精度良く計算していた。同様に表層水温でも高水温期と底水温期を十分に再現する事が出来ていた。しかし、全層塩分および底層水温では両 case ともに全地点で観測値との差が大きく見られる結果となっていた。特に境水道や松江などの急激に地形の狭くなる水域連結部において、観測値との誤差が大きくなることが

示された。

両 case の差異について比較を行うと、メッシュサイズの小さい case B の方で再現性は悪く、サイズの大きな条件の case A では多少の整合性が見られる結果となっていた。一般に、メッシュサイズの小さい条件ほど精度の高い計算となると考えられているが、定説に反して大きなメッシュサイズの方に有用性が見られた。以上の結果を踏まえ、計算精度の向上策を考察する。

4. 考察

4.1 水平メッシュサイズの比較検討

case A と case B の再現精度について検証を行う。計算値と観測値の比較(図-6)より両 case において誤差がばらついて見られたため、各指標の二乗平均誤差 (RMSE) を取り定量的に考察をする。水位、水温および塩分の各 case における RMSE 一覧を表-2, 表-3, 表-4 に示し、比較を行った。

水位においては case B の方で誤差が少ない事が示されており、case A と case B との RMSE 差は 0.1~1.0cm 程度となっていた。一方で、水温、塩分においては概ね case A での誤差が少なく、境水道や松江の塩分のみ case B の方で誤差が少ない事が示された。両 case の RMSE 差はそれぞれ 0.1~0.4°C, 0.3~9.7 程度となっていた。

塩分を除き、メッシュサイズによる case 差はほぼ無く大きなメッシュでの計算精度が高いことから、水平分割に関しては細かいほど有効な結果が得られるとは限らない事が示唆された。しかし、case 差の大きかった塩分においては、湖心では case A で、水域連結部では case B で RMSE が小さくなっている。

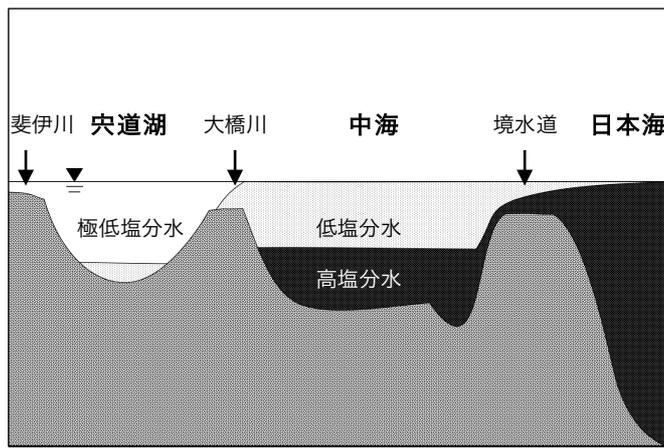


図-7 中海・宍道湖の断面図（石飛ら¹⁾を改変）

特に松江では、小さなメッシュでの精度が高くなっている傾向が顕著に現れた。松江は大橋川上に位置し、狭小地形かつ宍道湖中海との水深差が大きくなっている。そのため、大きなメッシュサイズで精密に地形を表現できているとは言い難く、高精度な計算を行うには細かい地形表現をする工夫が必要だと推測された。具体的には、狭小地形部のみ細かいメッシュサイズを設定する事や、緩やかな地形変化となるよう調整する事が改善策として挙げられる。この事から、流動場再現に水平メッシュサイズは大きな影響を与えないが、狭小地形の表現には工夫が必要とされることが言える。

4.2 鉛直分割に関する検討

前節を踏まえ、宍道湖あるいは大橋川まで塩分が十分に遡上していない事が考えられた。実際に計算結果の時系列変化では、宍道湖の塩分が徐々に現象する傾向や中海底層の塩分が十分に再現されていない傾向が見られた。宍道湖・中海水域は水平方向と同様に鉛直方向の地形変化が急激であり、塩分の鉛直方向の変化も著しく大きい(図-7)。本研究では中海最深部である水深13mまでは50cm毎に分割して再現計算を行っている。しかし鉛直分割が粗いため、日本海側より流入する塩分や中海水の底層塩分を十分に計算出来ず、大橋川への塩分遡上が見られなかったと考えられる。以上より、鉛直方向の分割について最適条件を再検討する必要があると挙げられた。

5. 結論

本研究では、数値モデル STOC-LT を用いて宍道湖・中海における数値計算を実施し、流動場の再現

計算を行った。以下の知見が得られた。

- (1) 計算結果では、水位・表層水温において良好な再現結果が得られ、塩分および底層水温においては不十分な結果となった。特に、境水道や松江などの水域連結部においては顕著であった。
- (2) 水平方向のメッシュサイズによる計算精度の差異についてはほとんど見られなかった。ただし、狭小地形部においてはメッシュサイズを細かくする事や緩やかな地形変化をさせるなどの対策が必要とされた。
- (3) 宍道湖および中海の塩分状態を精度良く表現するためには、水域連結部を考慮し鉛直方向特に細かくする必要がある、最適な鉛直分割の条件を検討する必要がある、

謝辞

島根県からは受託研究費をいただくとともに、宍道湖の観測データをいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 石飛裕・神谷宏・山室真澄 (2014): 中海宍道湖の科学—水理・水質・生態系—. ハーベスト出版, 203p.
- 2) 福岡捷二・松本直也・溝山勇・山根伸之 (1995): 汽水湖における閉鎖性水域の流動観測と流動モデルの適合性, 水工学論文集, 第39巻, pp.243 - 248.
- 3) 国土交通省湖沼技術研究会 (2007): 湖沼における水理・水質管理の技術, pp.247 - 321.
- 4) 溝山勇・大屋敬之・福岡捷二 (2011): 連結系汽水湖における流動気候と長期流動シミュレーション, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.67, No.3, pp.101-120.
- 5) 田中陽二・鈴木高二朗 (2010): 密度流・湧昇流の計算を目的とした三次元沿岸域流動モデルの開発について, 港湾空港技術研究所報告, Vol.49, No.1, pp.3-25.
- 6) 田中陽二・鈴木高二朗 (2011): 微生物ループを考慮した浮遊生態系モデルの構築, 港湾空港技術研究所報告, vol.50, No.2, pp.42-63.