

高解像三次元流動モデルを用いた瀬戸内海における海水交換の解析

大阪大学大学院工学研究科 ○鹿島 千尋
大阪大学大学院工学研究科 中谷 祐介

1. はじめに

海水交換時間は、海域の物質輸送特性と物理的な浄化作用を示す基礎的指標である。そのため、水質管理施策の影響評価を目的としたモニタリングを実施する際、どれだけの期間継続すべきかを判断する材料となりうる。

水質汚濁が深刻化した瀬戸内海においては、古くより水理模型や数値モデルを用いた海水交換時間の解析が実施された¹⁻³⁾。しかしながら、これらは空間解像度の制限が大きい上、外洋変動や淡水流入量の考慮にも限界があり、瀬戸内海の流動構造および海水交換特性を十分に表現できていない可能性がある。

今日計算機の発達により、かつては計算負荷の制約から実施が困難であった高解像三次元モデルを用いた解析も、実現可能となった。そこで本研究では、高解像三次元流動モデルと Lagrange 粒子追跡を用いて、瀬戸内海の海水交換時間を定量化し、海水交換特性を解析した。

2. 方法

(1) 三次元流動モデルSCHISM

解析には、Zhang et al.⁴⁾が開発した非構造格子三次元流動モデルSCHISMを用いた。計算対象領域は瀬戸内海および太平洋とし（図-1）、瀬戸内海内の海水交換を精確に解析するために、瀬戸内海沿岸部および海峡部では、防波堤や海峡部の形状を精細に表現するよう格子辺長は約10 m～100 m程度で解像した。

(2) Lagrange粒子追跡

Lagrange粒子追跡では、流速場に応じた移流によってのみ粒子が輸送されると仮定した解析を行った。本研究では、2016年の各月1日に粒子を配置し、それぞれの月に対して2年間にわたる粒子の挙動を追跡する全12ケースの解析を実施した。粒子の初期配置

範囲は瀬戸内海内全域とし、水平方向に250 m、鉛直方向に2.5 m間隔で配置した。

海水交換時間の評価には、粒子の残存率（解析対象領域内に初期配置した粒子数に対する領域内に残存する粒子数の割合）を用いた。瀬戸内海全域および各湾灘の平均滞留時間は、Takeoka⁵⁾を参考に、粒子の残存率から求めた残余関数（対象領域内に存在する水量あるいは物質量の、初期量に対する割合の経時変化）を時間積分することで求めた。

3. 結果・考察

(1) 瀬戸内海全域および各湾灘の海水交換時間

解析の結果、瀬戸内海の海水が90%交換されるまでに約550日要し、平均滞留時間は約220日と求められた。既往研究にて、藤原²⁾は、90%が交換されるのに1.4年（511日）要し、平均滞留時間は6ヶ月（180日）としている。また村上³⁾は90%交換されるまでに19.3ヶ月（579日）要し、瀬戸内海の平均滞留時間は約200日としている。本研究では外洋変動や淡水流入を考慮した三次元流動シミュレーションを実施したが、得られた瀬戸内海全域の海水交換時間は、これら既往研究の値と概ね一致することが明らかになった。

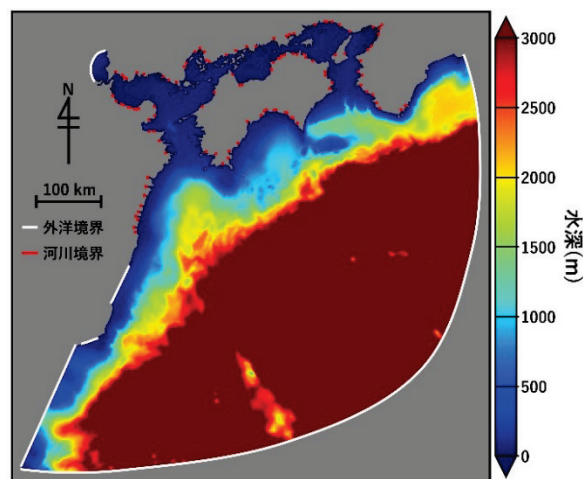


図-1 計算対象領域。

湾灘別でみると、伊予灘、周防灘、播磨灘で海水交換時間が長くなったが、面積および容積が大きいことが原因である。また既往研究にて、上嶋ら⁶⁾は水理模型を用いた海水交換実験によって、大阪湾の海水が50%交換されるのに1.7ヶ月、90%交換されるのに5.1ヶ月要したと報告している。これに比べて、本研究で得られた海水交換時間はいずれもやや短くなった。これは、上嶋ら⁶⁾の実験では河川からの淡水流入を考慮しておらず、鉛直循環流による海水交換量を過小評価していることが原因と考えられる。瀬戸内海において中小河川からの淡水流入が塩分分布に大きな影響を及ぼすことが知られているが⁷⁾、海水交換量にも無視できない影響を与えていた。

(2) 海水交換特性の解析

図-2に粒子追跡開始30日後の粒子残存率と月平均通過流量を示す。瀬戸内海全域の粒子残存率と、豊後水道および紀伊水道での正味の通過流量の増減には、明瞭な関係性はみられなかった。例えば、冬季においては季節風の影響で、瀬戸内海内部の東向きの流れが強化され、通過流量が増加したが、粒子残存率は低下しなかった。これは、通過流量の増減の影響は隣接海域との海水交換の強化にとどまり、瀬戸内海外への直接的な粒子の流出には至らなかったことが原因と考えられる。

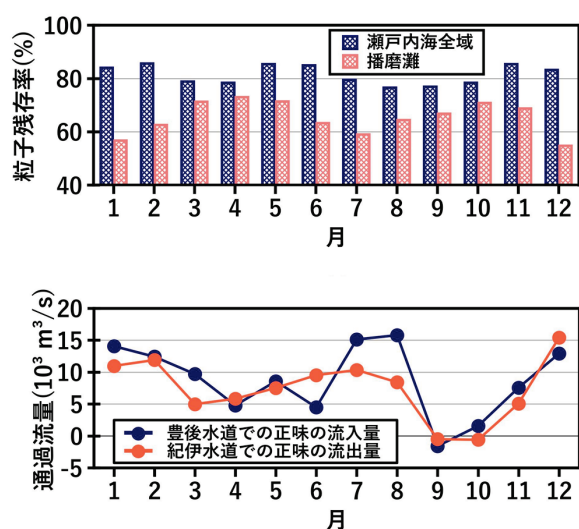


図-2 粒子追跡開始30日後の粒子残存率と月平均通過流量

一方、播磨灘の粒子残存率は通過流量の増減に応じて変化していた。特に、冬季には季節風の影響で通過流量が増加し、粒子残存率が低下した。この傾向は東部に開口部を持たない大阪湾、紀伊水道を除く燧灘以東の多くの湾灘でみられた。このことから、冬季の季節風による東向きの流れは該当海域の物質循環にも寄与しているものと考えられる。

4. まとめ

- 1) 瀬戸内海全域海水交換時間を求めた結果、90%が交換されるのに約550日要し、平均滞留時間が約220日であることが明らかになった。
- 2) 海水交換特性を解析した結果、通過流量の増減と粒子残存率には明瞭な関係がみられなかった。一方、湾灘別にみると、冬季には東向きの流れが強化されることで粒子残存率が低下した。

謝辞：本研究では、大阪大学 D3 センターの大規模計算機を利用した。GPV-MSM データは京都大学生存圏研究所生存圏データベースより、MOVE/MRI.COM-JPN Dataset はデータ統合解析システム DIAS より収集した。本研究の一部は、JSPS 科研費 (23KJ1430) および環境省・(独) 環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (JPMEERF24S12302) を受けて実施した。ここに記し深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 上嶋英機, 橋本英資, 山崎宗広, 宝田盛康: 瀬戸内海水と外洋水の海水交換-瀬戸内海水理模型による海水交換実験-, 海岸工学講演会論文集, 32, 742-746, 1985.
- 2) 藤原建紀: 瀬戸内海水と外洋水との海水交換, 海と空, 59(1), pp.7-17, 1983.
- 3) 村上和男: 数値計算による瀬戸内海の潮汐・潮流計算と海水交換について, 海洋調査技術, 14(2), 2-11, 2002.
- 4) Zhang, Y., Ye, F., Stanev, E. V. and Grashorn, S.: Seam-less cross-scale modeling with SCHISM, Ocean Modelling, 102, 64-81, 2016.
- 5) 武岡英隆: 沿岸海域の海水交換, 沿岸海洋研究ノート, 21(2), 169-182, 1984.
- 6) 上嶋英機, 橋本英資, 山崎宗広, 宝田盛康: 瀬戸内海の海水交換機構-ラグランジュの手法による水理模型実験, 海岸工学講演会論文集, 31, 665-669, 1984.
- 7) 東博紀, 佐藤嘉展, 吉成浩志, 牧秀明, 越川海, 金谷弦, 内山雄介: 瀬戸内海における中小河川からの淡水流入量と流動シミュレーションの再現性への影響, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 74(2), I_1135-I_1140, 2018.