

東京湾の生態系モデル開発に向けたパーシャルセルの適用

Application of partialcell for development of ecosystem model into Tokyo bay

北見工業大学	○学生員	木下 直貴	(Naoki Kishita)
北見工業大学	正 員	中山 恵介	(Keisuke Nakayama)
首都大学東京	正 員	新谷 哲也	(Tetsuya Shintani)
北見工業大学	学生員	丸谷 靖幸	(Yasuyuki Maruya)

1. はじめに

東京湾は周辺に膨大な人口集積を抱えている閉鎖性内湾であり、強い日射、淡水の流入による成層の発達に伴い、鉛直方向の物質輸送が抑制され、底泥が酸素を消費するため底層付近に貧酸素水塊が発生する。また、後背地や臨海部での開発、生活排水などによる栄養塩等の負荷が大きく、湾中央、湾奥底層に有機物が堆積することにより貧酸素水塊が発生し易く、風などの外力が働くとその大きさに応じて貧酸素水塊が水面付近まで輸送され、湾内の生態系に多大な影響を与える。したがって、貧酸素水塊の発生・輸送・消費過程を理解することは、東京湾の生態系保全のために必要不可欠である¹⁾。

現地観測では、時間と手間がかかるため数値解析手法の精度を良くすることにより素早く解析でき、様々な分野に活躍を期待できる。そのため環境流体解析等の数値解析手法を用いて水圏環境における物質輸送を解明していくことは重要である。水環境では主に環境流体モデルが用いられており、考えるべき要素の多様さ、境界条件の複雑さなどに伴う、コードの拡張や改変が頻繁に求められるが、数値解析モデルのプログラム変更による影響が広範囲に及び、改良・修正が困難となる傾向にあるため、今後のニーズに対する障害に成り得ることが懸念される。

そのため、過去の研究においてオブジェクト指向に基づいたプログラミングが提案されている^{2),3)}。オブジェクト指向言語プログラミングでは、各機能が独立しているため変更による他への連鎖の心配はなく、再利用可能なコードが作成できる。本研究で利用しているオブジェクト指向型環境流体モデル“Fantom3D”では、これまでデカルト座標を利用して地形が再現されていたため、鉛直方向のメッシュサイズが粗い場所では、急激な鉛直流速が発生していた可能性がある。そこで本研究では、東京湾を対象とし、オブジェクト指向型プログラミングの特徴を利用し、粗い鉛直メッシュサイズでも滑らかな地形の再現が可能であるパーシャルセルを導入し、その適用性の検討を行うことを目的とする。

2. オブジェクト指向型環境流体モデル“Fantom3D”とパーシャルセル

(1) オブジェクト指向プログラム

オブジェクト指向プログラミングは、オブジェクトを中心にプログラムを構築する所にあるという特徴を持つ。実際のオブジェクトの設計は、クラス(class)を設定

するが、そのクラスが適切に設計できれば、同一機能もしくは類似のオブジェクトを自由に複製・継承して再利用することができる。そのため設計者によってオブジェクトの定義が異なる問題が解消でき、ユーザーはオブジェクト、オブジェクト間の相互作用を設計することで目的を達成する事が出来る。つまり、合理的なクラスを構築することにより、コードの再利用性、拡張性を高めることができる。

(2) “Fantom3D”とは

本研究では、首都大学東京の新谷によって作成された、オブジェクト指向型環境流体モデル“Fantom3D”を使用した。“Fantom3D”の特徴として、計算領域の分割による並列計算が容易である点、様々な計算スキームの切り替えが容易である点などが挙げられる。詳細については参考文献をご参照頂きたい^{2),3)}。“Fantom3D”は湖沼や沿岸域などの実現現象の再現計算のみではなく、実験室スケールの現象を再現することが可能なモデルであり、これまでに網走湖、東京湾、釧路川などにおいて良好な再現性を得られていることが報告されている^{4),5),6),7),8),9)}。

(3) パーシャルセルについて

a. パーシャルセル

領域の境界の表現はメッシュで行うため、複雑な形状を高精度に表現するためにはメッシュ数を増加させ、メッシュサイズを細かくしなければならない。それに伴い、計算時間の増加という問題が発生する。そこで、直線直交格子を用い、計算精度に問題が発生しない手法としてパーシャルセルが注目されている¹⁰⁾。これまで“Fantom3D”では地形などの境界条件を階段状に近似していたが、それ以上に精度を向上させる近似法をパーシャルセル法といい、“Fantom3D”に新たに組み込まれた。そこで本研究では、再現計算の精度の程度を確認することでパーシャルセルの有用性についての検討を行った。

b. パーシャルセル有り無しの違い

パーシャルセルの有りでどのような変化が生じるのか確認するため、単純な地形での試験計算を行った。計算領域は水平方向のメッシュサイズを幅1000m×1000m、メッシュ数40×1個、鉛直方向をメッシュ数5個の1mの等間隔メッシュとして単体のDomainオブジェクトで領域を設定した。またパーシャルセルの効果を簡単に比較するためコリオリ力を考慮せず、計算開始直後東から西方向(図上の右から左)へ10m/sの風を一定値として与え続けることで、パーシャルセル有り無

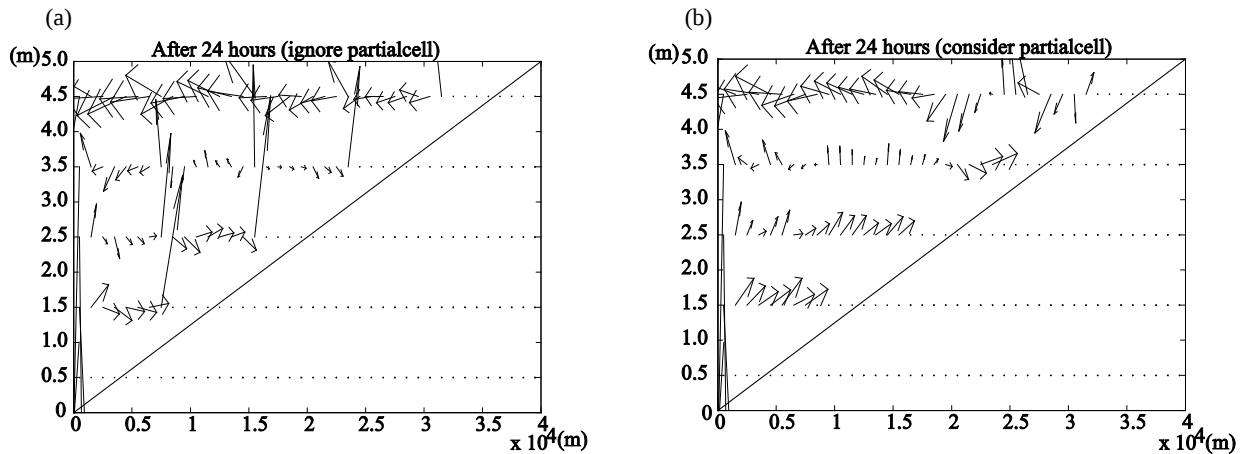


図-1 単純な地形によるパーシャルセルの試験計算結果. (a)パーシャルセル無し, (b)パーシャルセル有り.
(ベクトルを見やすくするため縦軸の比を 1000 倍している)

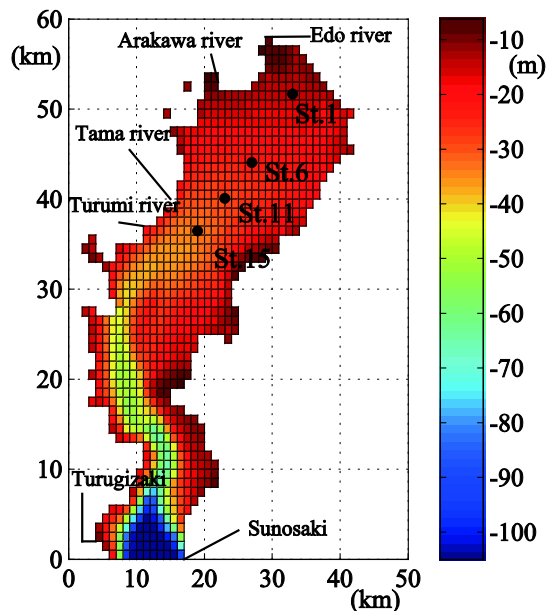


図-2 解析対象範囲

しの計算を 1 日間行った (図-1) . パーシャルセル無しの場合では階段状に地形が表され, 急激な鉛直流速が発生しているのに対し, パーシャルセル有りでは地形を滑らかに表現できていることが分かる. また, パーシャルセル有りでは, 全体的にベクトルの向きが安定している. この試験結果より東京湾にパーシャルセルを適用することで実現象に近い物質移動や流速ベクトルの再現が可能になり, 計算データの値が実地データの値により近付けることができると予想された. よって東京湾の計算ではパーシャルセルを有りとし, その結果による再現性などの検討を行った.

3. “Fantom3D”による東京湾におけるの再現性

(1) 東京湾における設定条件

a. 解析対象範囲

解析対象範囲は, 房総半島と三浦半島に囲まれた湾沿岸部の剣崎と洲崎を結ぶ線以北の東西 46.5km, 南北 73km の範囲である (図-2). 最深部の深さは, 剣崎と洲崎を結ぶ線付近で水深 100m とした.

b. 東京湾の地形とメッシュサイズ

今回はDomainオブジェクトをそれぞれ均等な大きさになるように4分割し, 連結させることで領域を設定した. 各 Domain の水平方向のメッシュサイズは, 幅 1000m×1000m, メッシュ数22×30個とした. また, 鉛直メッシュ数は90個とし, 上層を0.5m, 底層を3.0mと底層になるにつれて粗くなるように構成した.

c. 計算期間

計算期間は 2003 年 5 月 1 日から 3 ヶ月間行った.

d. 気象条件

気象条件は相対温度, 日射量, 風向き, 風速, 気温, 気圧, 雨量を東京の AMeDAS 観測所における観測値から 1 時間間隔で与えた.

e. 河川流量

東京湾への流入河川として, 鶴見川, 多摩川, 荒川, 江戸川の 4 つを考慮し, 設定流量を既定流量として, 降雨強度から推定した流量を加え, 出水の影響を設定した. また, 降雨強度は考慮した 4 つの河川流域の平均値を用いた. 河川流量の推定は線形の貯留関数モデルを用いて行い, それぞれに 1 時間間隔の河川流入量を与えた.

f. 乱流モデル

過去の研究より, Large Eddy Simulation (以下 LES) と Mellor-Yamada level2.5 を鉛直方向の乱流モデルとして利用することで, 東京湾の再現性の検証を行ったものが存在し, LES を利用した場合に再現性が高いことが報告されている¹¹⁾. そのため, 本研究においても乱流モデルに LES を利用した.

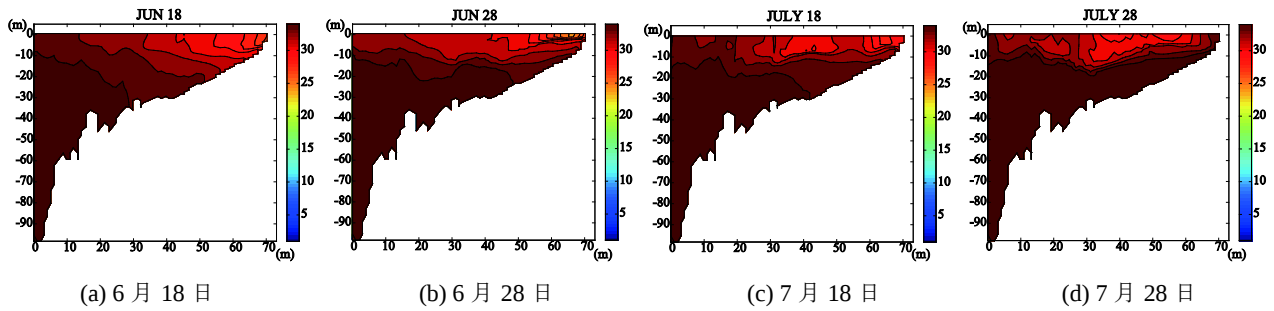


図-3 塩分濃度の鉛直分布

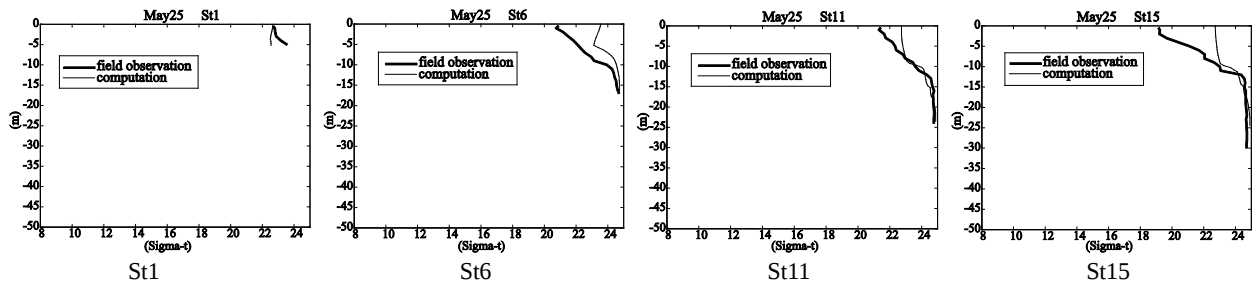


図-4 パーシャルセル有りでの密度鉛直分布の比較 (5月)

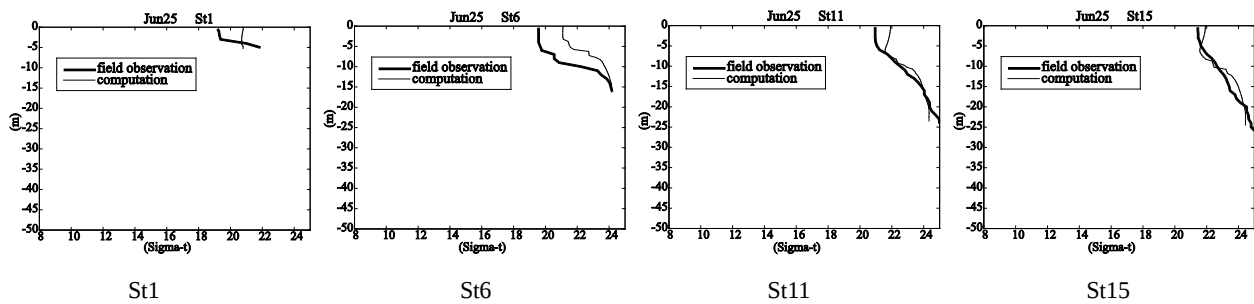


図-5 パーシャルセル有りでの密度鉛直分布の比較 (6月)

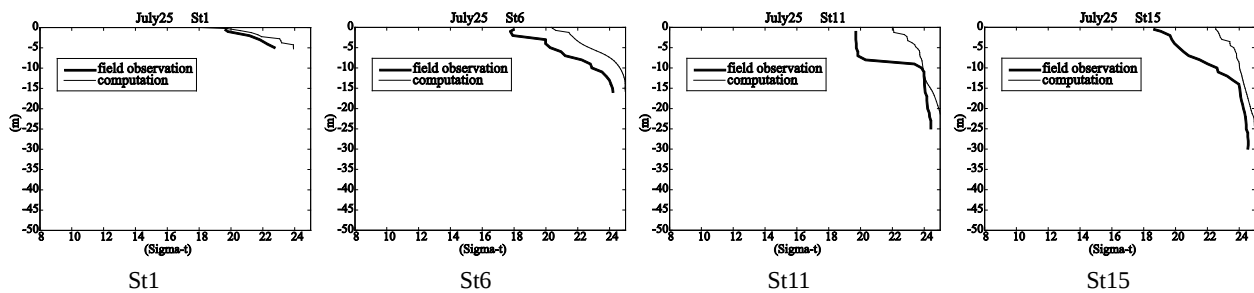


図-6 パーシャルセル有りでの密度鉛直分布の比較 (7月)

(2) 計算結果及び再現性に対する検討
塩分濃度の鉛直分布を図-3 に、実地データと計算データとの密度鉛直分布の5月、6月、7月においての比較をそれぞれ図-4、図-5、図-6 に示す。図-3 より河川流入箇所から淡水の影響が湾奥上層に拡大していることが確認できる。図-4、図-5、図-6 の全体から表層部では実地データと計算データに差が生じている。この原因としてヒートフラックスによる表層部での熱の伝

達が上手く再現されていない、または、本研究では貯留関数を利用することで河川流量を与えているため、表層での淡水と塩水の混合が小さいことが考えられる。そのため、可能性としてヒートフラックスや淡水の与え方に改善の必要があると考えられる。しかし、どの月でもSt11、St15の下層部では良好な結果を得ることができ、他地点において、計算データと実地データに差が生じているが形状は類似していることから、総合的に見てパー

シャルセルは有用性が高いと考えられた。

4.結論

本研究では，“Fantom3D”に新たに組み込まれたパーシャルセルの有用性の確認を目的とし，“Fantom3D”を用いて東京湾にモデルを適用させ，その適用可能性に関する検討を行った。以下に本研究で得られた結論を示す。

(1) 再現計算では，下層部では計算結果が実地データを適切に表現していたため，モデルの再現性が高いことを確認できた。

(2) 計算データと実地データとの比較により，パーシャルセルの有用性を確認できた。

参考文献：

- 1) Wolanski.(Ed.) : The Environment in Asia Pacific Harbors, Springer, 515pp., 2005.
- 2) 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，水工論文集 第 53 巻，pp.1267-1272，2009.
- 3) Shintani T. and K. Nakayama : An object-oriented approach to environmental fluid modelling, The 21st International Symposium on Transport Phenomena, 2010.
- 4) Maruya Y., K. Nakayama, T. Shintani and M. Yonemoto : Evaluation of entrainment velocity induced by wind stress in a two-layer system, Hydrological Research Letters, Vol. 4, pp.70-74, 2010, doi:10.3178/hrl.4.70.
- 5) 中山恵介，丸谷靖幸，新谷哲也，柿沼太郎，中内勲，米元光明：塩水遡上へ与えるストークスドリフトの影響評価，海岸工学論文集，第 57 巻，pp.326-330, 2010.
- 6) Nakayama K., T. Shintani, T. Kakinuma, Y. Maruya, Y. Yonome, M. Yonemoto and I. Nakauchi, : Influence of Stokes drift on salt wedge intrusion evaluated using fully-nonlinear and strongly dispersive wave equations, Proceedings of International Conference of Coastal Engineering, Vol. 32, currents.34, pp.1-6, 2010.
- 7) 中本篤嗣，新谷哲也，中山恵介，丸谷靖幸，石田哲也，法村賢一：海面上昇を考慮した釧路湿原への塩水遡上の影響評価，水工学論文集，第 55 巻，pp.1351-1356, 2011.
- 8) 中山恵介，角谷和成，新谷哲也，清水健司，福岡将太：東京湾を対象とした内部ケルビン波の発生と砕波に関する検討，海洋開発論文集，第 26 巻，pp.657-662, 2010.
- 9) Nakayama K., Y. Maruya, T. Shintani, K. Shimizu, Y. Yonome and M. Yonemoto : Influence of internal waves on interfacial level in Lake Abashiri, International Symposium on Ecohydraulics, pp.133-141, 2010.
- 10) 高橋易資，野村友和，石間経章，小保方富夫：直線直交格子を用いたパーシャルセル法による管内定常流の計算と PIV 計測による検証，日本機械学会論文集(B 編)，第 71 巻 706 号.(2005-6).
- 11) 片山幸明，中山恵介，新谷哲也：東京湾におけるオブジェクト指向型環境流体モデルの適用，平成 21 年度土木学会北海道支部論文報告集，第 66 号，B-42，2010.