

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

APPLICATION OF OBJECT-ORIENTED ENVIRONMENTAL HYDRODYNAMIC MODEL INTO
TOKYO BAY

北見工業大学 ○学生員 片山 幸明 (Hideaki Katayama)

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)

1. はじめに

東京湾は、背後地や臨海部に膨大な人口集積を抱える閉鎖性内湾である。強い日射や河川からの淡水の流入によって成層が発達し、成層により鉛直方向の物質輸送が抑制される。それに加え、これまでの周辺地域の開発によって与えられてきた栄養塩等の負荷が、湾央、湾奥の底層における有機物の堆積を促し富栄養化を進行させている。それらに起因して貧酸素水塊が発生し易い状態にあり、赤潮や風などの外力によって青潮が引き起こされ、湾内に生息する生物・植物といった生態系、水質環境に大きな影響を与えている。そのため湾内において、どのように物質輸送が行われているかを把握する事は多様な生態系、健全な水質環境を取り戻すために必要不可欠である。

水圏環境における物質輸送を解明していく上で、環境流体解析等の数値解析手法は、現地観測と共に重要な役割を担っている。水文・水資源の分野において用いられるのは、主に環境流体解析モデルであり、その対象の多様さ、境界条件の複雑さからコードの拡張や改変が頻繁に求められている。加えて、手続き型言語を主体として記述されているため、相互に関係し合う命令の羅列として関連付ける必要があり、一部の修正のために広範囲にわたるコード改変の可能性が高くなっている。これらの問題点は、今後予想されるニーズに対応する際に大きな障害と成りうる。

これまでの研究¹⁾で、オブジェクト指向言語に着目し、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。オブジェクト指向言語プログラミングでは、各機能 (Module) は独立して維持されるため、Module の入れ替えが容易であり、再利用可能なコードの作成が可能であ

る。そのようなオブジェクト指向の利点を組み込むことにより、環境流体解析を対象として、オブジェクト指向型モデルであるFantom3D が新谷によって研究・開発されている。そこで本研究では、湾内における物質輸送の解明を目的としてFantom3D を用いた再現計算を行った。また、東京湾広域環境調査の実地データと計算結果を比較し、モデルの再現性・有用性についての検討を行った。

2. オブジェクト指向に基づく設計

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。よって個々の対象 (オブジェクト) がどのようなものであり、それはどのような機能を持っているかという観点からの記述を行う必要がある。そのため、ユーザーはオブジェクト及び、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。実際のオブジェクトの設計は、クラス (class) を設定し、要件を満足するクラスが構築できれば、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。つまり、合理的なクラスを構築することによって、コードの再利用性、拡張性を高めることができる。

Fantom3Dでは、オブジェクト指向言語の中で、最も拡張性と高速化が期待できるC++言語を選択している。クラスは計算領域を一つの基本となるオブジェクト (Domain オブジェクト) と考えて定義されている。その結果、湖のような単体の水域を、一つのDomain オブジェクトとして設定することもでき、湖から川を経て海という連結した水域を考えて、複数のDomain オブジェクトとして設定することもできる。複数のDomain を利用する際には、Domain

間の接続関係を規定するDomain manager オブジェクト別途を定義し、自動的にDomain 間の境界条件の交換や更新を行う仕組みになっている。本研究では、河川の淡水流入を境界条件オブジェクトによって再現した。具体的には、考慮したい河川の数だけ動的にオブジェクトを生成し、初期化時に位置、及び流量・塩分・水温データファイルを個々に指定した。また、いくつかのDomain をまとめたField オブジェクトを設定し、Field毎に時間ステップを変えて計算を行うことも可能である。

各Domain オブジェクトは、複数の物理量オブジェクト（運動量、圧力、水温等）を保有し、また、それぞれの物理量オブジェクトは独自に境界条件オブジェクトを所有している。物理量の移流・拡散を含め、外力（順圧・傾圧力、風応力、コリオリ力等）に関しても個々にオブジェクト化してDomain オブジェクトへの作用素としてモデル化しており、これによってスキーム等の変更のみで、オブジェクトをまるごと交換することが可能となっている。生成されたオブジェクト群は、各々が保有する変数と処理を独自に管理するため、ユーザーはオブジェクト単位で構成を考えればよい

3. 東京湾における適用

(1) 解析適対象範囲

解析対象範囲は、図1に示す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。最深部の深さは、剣崎と洲崎を結ぶ線付近で水深100kmとした。

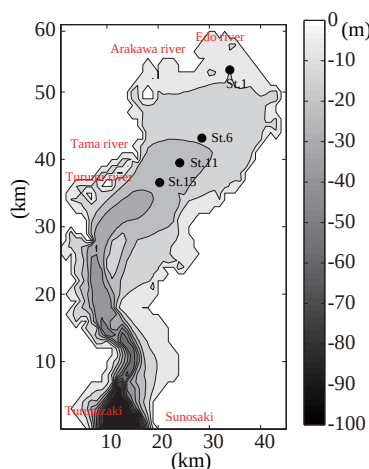


図1 解析対象範囲

(2) 設定条件

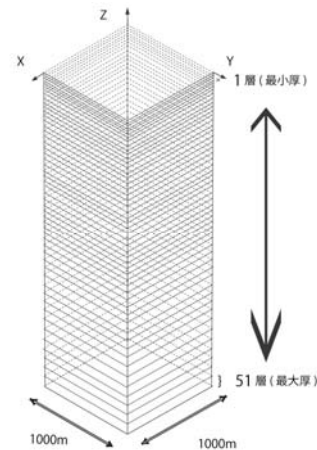


図2 鉛直方向分割の概略

a. 東京湾の地形とメッシュ

試験計算を行うにあたって、関東の房総半島と三浦半島に囲まれた内湾・河口域である東京湾の地形を与える。東京湾の湾口で最大水深は約100mとした。今回は湾全体を均等に4分割し、連結した複数のDomainとして領域を設定した。各Domainにおける水平方向のメッシュ（グリッド）幅を1000m×1000m、メッシュ数を25×33個とし、鉛直方向のメッシュ幅は上層で1.06m、底層で3.39mと、底層につれて粗くなるよう合計51層で構成した。

b. 計算期間

計算期間は2003年5月1日午前0時から同年の7月31日までの3ヶ月間で行った。

c. 気象条件

気象条件については風向、風速、気温、日射量、相対湿度を東京のAMeDAS観測所における観測値を一律に1時間間隔で与えた。

d. 河川流量

河川流量は東京湾に流入する河川として、荒川、江戸川、多摩川、鶴見川の4つの河川を考慮した(図1)。また設定流量は既定流量に、降雨強度から推定した流量を加えることにより出水の影響を考慮した。降雨強度は考慮した4つの河川流域の平均値を用いた。河川流量データの推定は線形の貯留関数モデルを用いて行い、1時間間隔の河川流入量をそれぞれ与えた。

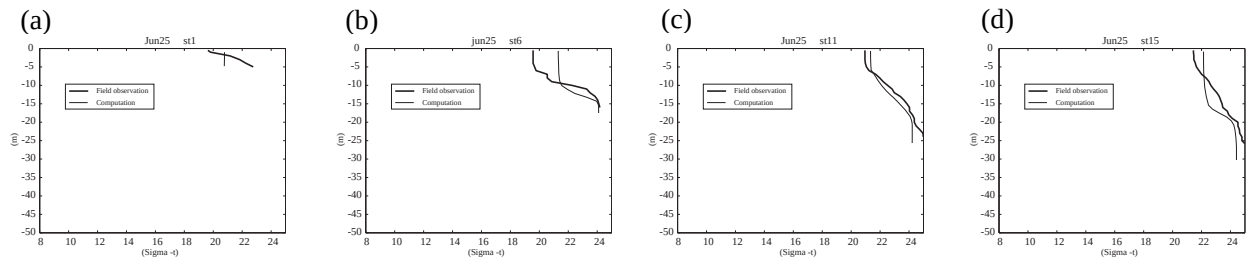


図3 LESでの密度鉛直分布(6月)

(a)St.1 (b)St.6 (c)St.11 (d)St.15

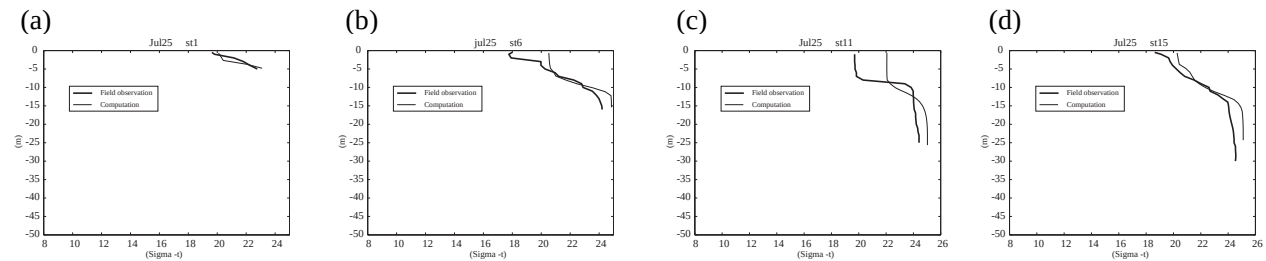


図4 LESでの密度鉛直分布(7月)

(a)St.1 (b)St.6 (c)St.11 (d)St.15

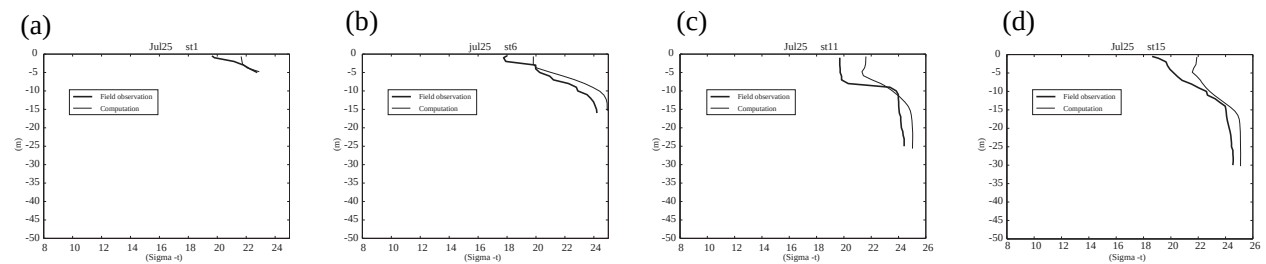


図5 MYでの密度鉛直分布(7月)

(a)St.1 (b)St.6 (c)St.11 (d)St.15

(3) 計算結果と検討

計算結果の再現性を検証するため、図1に示す4つの地点 St.1, St.6, St.11, St.15 での実地データと計算データとの比較を行った。その結果として鉛直方向の乱流モデルとして Large Eddy Simulation (以後 LES と表記)を使用した密度鉛直分布(図3, 図4)を示す。同様に Mellor-Yamada level2.5, (Blumberg&Mellor, 1987)を使用した密度鉛直分布(図5)を示す。また、次頁に7月における塩分濃度の鉛直分布(図6)と水平分布(図7)を示す。密度鉛直分布ならびに次頁に記す図6において水深10m付近に見られる成層の影響などモデルの再現性を確認することができた。しかし、表層部分において実地データと計算結果には差が見られる。これは、潮汐振幅を考慮するために、メッシュを鉛直分割した層(図2)の表層での設定厚を厚く取らざるを得なかったために生じたのではないかと考えられる。

続いて、鉛直方向の乱流モデルを LES から MY へと変更した。コントロールファイルを修正することで、モデルを容易に改変する事が出来、有用性の高さを確認することができた。

図6および図7において、河川流入箇所から湾口に向けて密度が高くなっていることが確認できる。しかし、図7の(b)では他の図と比べ淡水の影響が強く見られる。これは他の図での風が南から約8mに対して、図7の(b)では東から約5mの風であったため、あまり淡水の拡がりを阻害しなかったためであると考えられる。また、東方向に等密度線が密になっていることから推測できる。上記より風向が密度に与える影響が大きいことが確認できた。

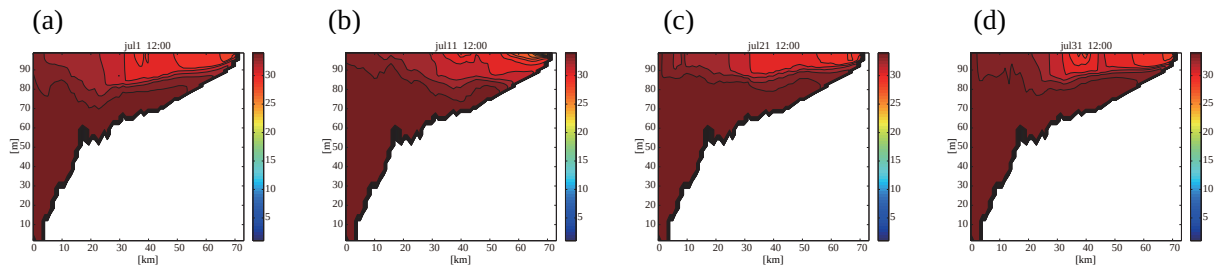


図6 塩分濃度の鉛直分布 (7月)

(a)1日 (b)11日 (c)21日 (d)31日

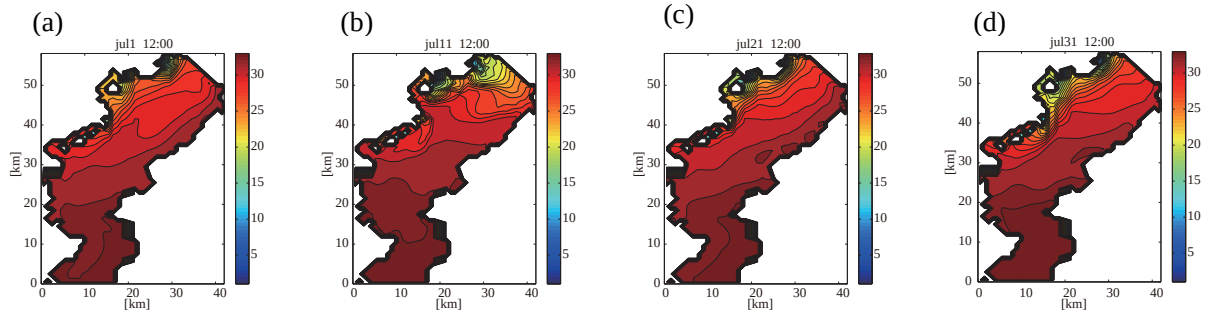


図7 塩分濃度の水平分布 (7月)

(a)1日 (b)11日 (c)21日 (d)31日

4. 結論

本研究では、湾内における物質輸送の解明を目的とし、Fantom3Dを用いて東京湾にモデルを適用させて、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、実地データを良好に再現はすることができ、成層の良好な再現性の確認することができた。
- (2) 東京湾におけるオブジェクト指向型環境流体モデル (Fantom3D) の有用性を確認することができた

謝辞

科学研究費基盤 (C) の助成を受けて実施されました。記して感謝の意を表します。

参考文献：

- 1) 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，2008。
- 2) 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，in print，2010。
- 3) 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, in print, 2010.

- 4) Shintani T. and K. Nakayama : An object-oriented approach to environmental fluid modelling, The 21st International Symposium on Transport Phenomena, 2010.
- 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., 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.
- 7) 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.
- 8) 丸谷靖幸，中山恵介，堀松大志，鰐目淑範，米元光明：網走湖における密度界面に対する風応力と河川流入の影響評価，水工学論文集，第54巻，pp. 1393-1398，2010。