

東京湾におけるオブジェクト指向型流体モデルの適用

THE OBJECT-ORIENTED ENVIRONMENTAL HYDRODYNAMIC MODEL'S
APPLICATION IN TOKYO BAY

北見工業大学	○学生員	尾形 尚紀	(Naoki Ogata)
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、後背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。強い日射や淡水の流入によって成層が発達し、鉛直方向の物質輸送が抑制され易い。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増加させ、結果として貧酸素水塊を発生し易い状態にある。それらが輸送されることによって生態系、水質循環に大きな影響を及ぼしている。そのため、湾内において、どの様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（詳しくは参考文献¹⁾を参照いただきたい）。例えば、東京湾においては、ELCOM等によって再現計算が行われており、国内外の大学や研究機関において、精度、信頼性、経済性向上を目的としてモデルの構築が行われ、検証と運用が精力的に進められてきた。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、FORTRANやC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¹⁾によって研究・開発されてきた。

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を用いた試験計算を行った。また、計算条件と計算結果を通じて、モデルの適用可能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¹⁾

オブジェクト指向プログラミング説明のため、以下、新谷¹⁾から要点のみ抜粋した。オブジェクト指向プログラミングの特徴は、オブジェクトを中心にプログラムを構築する所にある。人によって物事のとらえ方が異なることと同様に、何をオブジェクトとして定義するかは、ユーザーにおいて異なる。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。実際のオブジェクトの設計は、クラス（class）を設定し、適切なクラスが設計できれば、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。この点がオブジェクト指向の最も大きな利点の一つである。

本モデルでは、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。つまり、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しても良いし、湖から川を経て海といった連結した水域を考えて、複数のDomainオブジェクトとしても良い。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である。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、

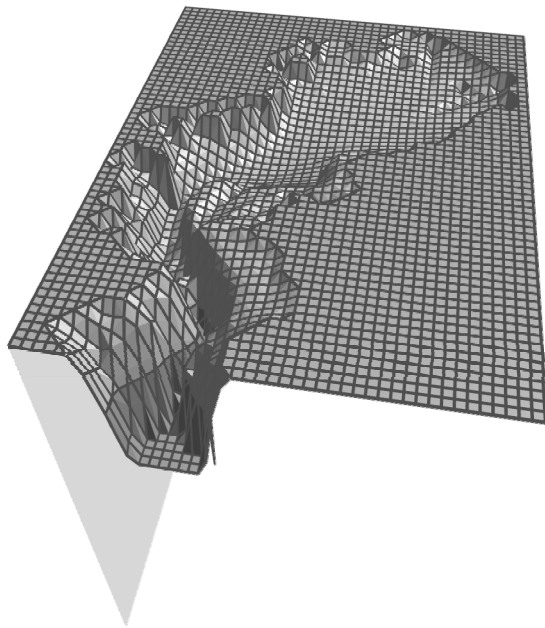


図-1: 東京湾の地形概念図 (3次元)

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。各オブジェクトにおいて、保有する変数と対応する関数を個々に管理するため、ユーザーはオブジェクト単位で考えることができ、それらを積み上げる積み木のようなプログラミングを可能とした。

3. 基礎方程式と東京湾の地形

(1) 基礎方程式の離散化と解法

基礎方程式は、非圧縮とブジネスク近似を施した3次元Navier-Stokes式である。計算格子は、セル中心に圧力とスカラー量、セル面に運動量を置くスタッガード格子とした。成層強度が強い水域の解析を主として考えているため、鉛直方向は常にデカルト座標 (z-coordinate) に基づいて離散化する。その他、詳細は参考文献¹⁾を参照いただきたい。

(2) 東京湾の地形とメッシュ

試験計算に行うにあたって、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 (図-1)。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1.1m、底層で7.7mと、底層につれて粗くなるよう合計51層で構成した。

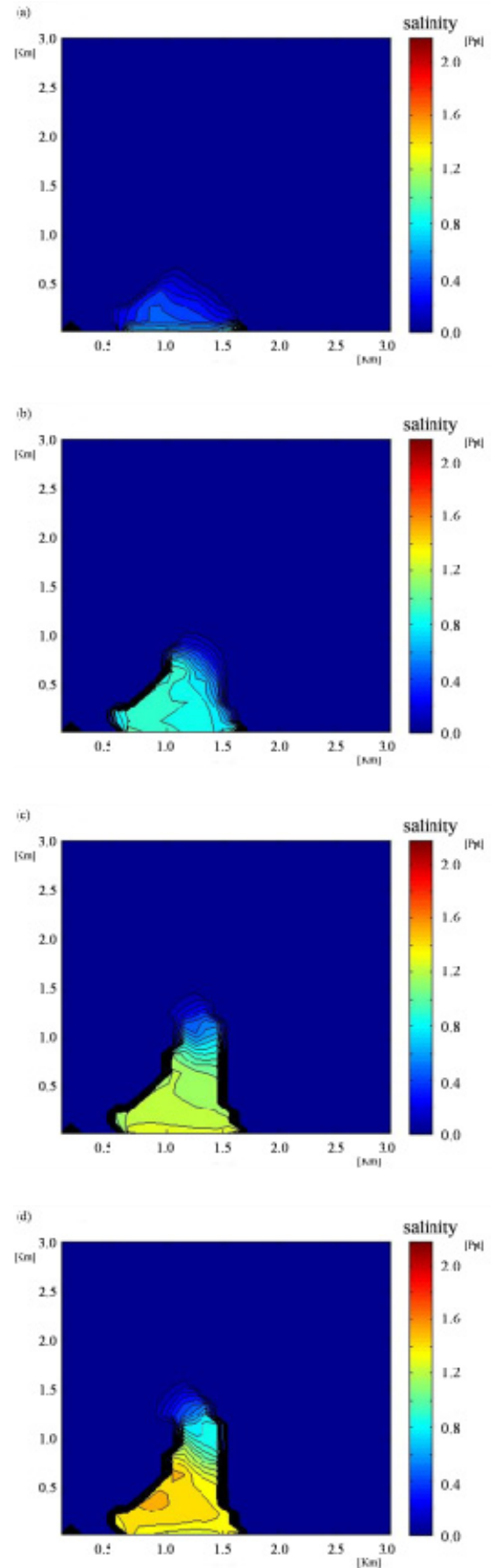


図-2 計算結果 (コリオリなし)。
水深約 25m における塩分の水平コンタ図

(a) 6 時間後の塩分濃度の変化。 (b) 12 時間後の塩分濃度の変化。
(c) 18 時間後の塩分濃度変化。 (d) 24 時間後の塩分濃度変化。

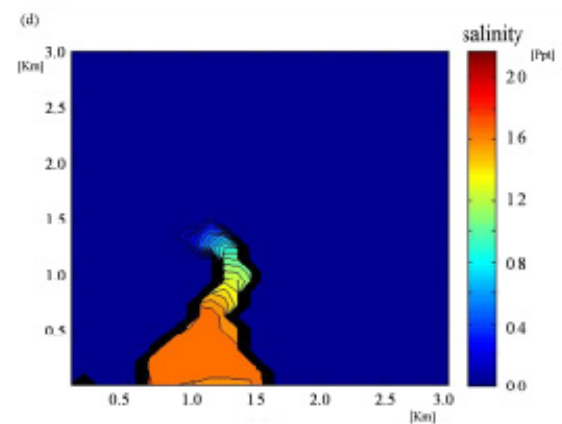
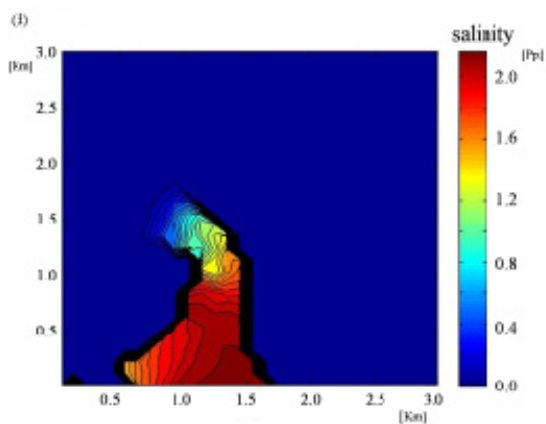
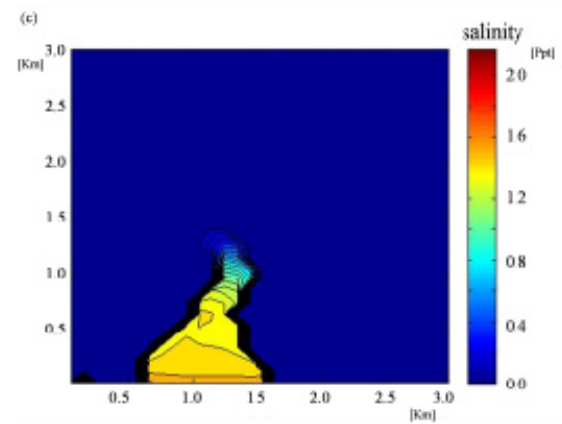
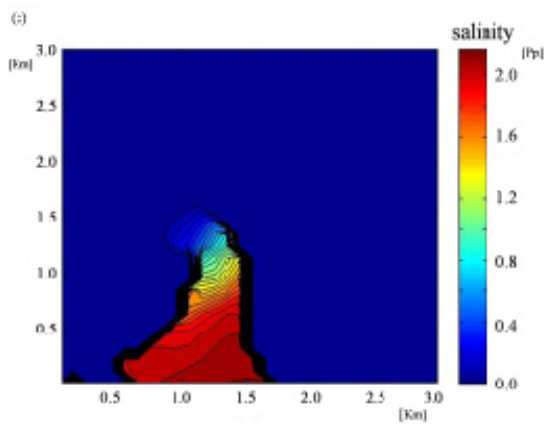
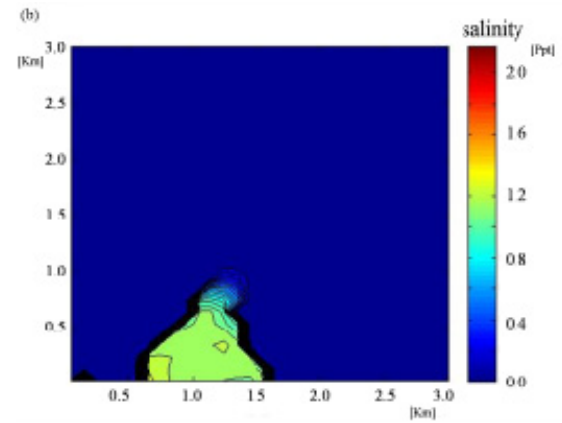
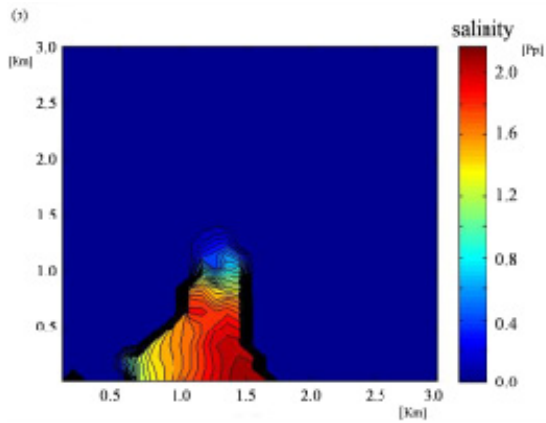
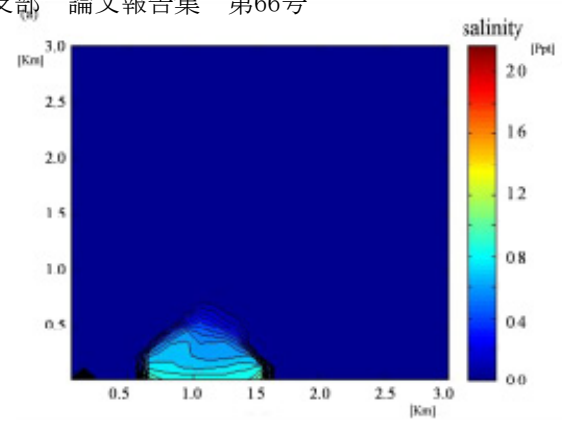
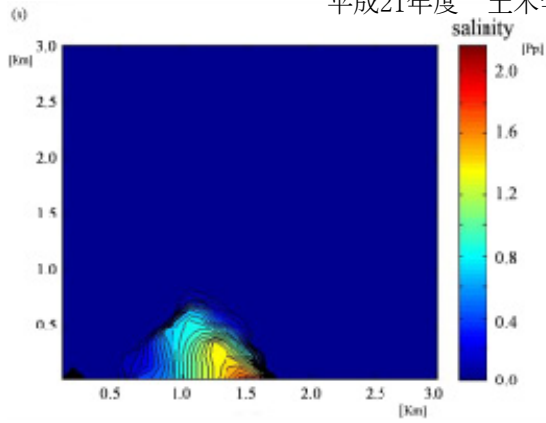


図-3 計算結果（コリオリあり）．

水深約 25m における塩分の水平コンタ図．

図-4 計算結果（コリオリなし）．

水深約 45m における塩分の水平コンタ図．

(a) 6 時間後の塩分濃度の変化． (b) 12 時間後の塩分濃度の変化． (a) 6 時間後の塩分濃度の変化． (b) 12 時間後の塩分濃度の変化．
(c) 18 時間後の塩分濃度変化． (d) 24 時間後の塩分濃度変化． (c) 18 時間後の塩分濃度変化． (d) 24 時間後の塩分濃度変化．

4. 東京湾における適用例

(1) 計算条件

水面における熱授受，風応力を考慮しない静水圧近似の計算として実行し，底面における境界条件はスリップ条件，計算の時間間隔は10秒の一定，1時間間隔のデータを保存するものとした．本計算では，テスト計算として，湾内の塩淡水層を無視（塩分濃度0.0ppt・水温30°）し，潮汐と湾外の条件（塩分濃度2.2ppt・水温30°）を与え続けた．また，コリオリを考慮する場合，考慮しない場合，どちらにおいても試験計算を行い，それぞれの時系列変化を比較した．

(2) 計算結果

水深約25m，45m毎におけるそれぞれの塩分濃度の水平分布の時系列変化を比較する．水深約25mにおいては，コリオリを考慮しない場合（図-2）は，塩分が湾奥に向かって，均一に一定の速度で輸送されていくのに対し，コリオリを考慮する場合（図-3）は，塩分が右側壁面に沿って輸送されていくのが分かる．水深約45mにおける塩分の水平分布の時系列変化（図-4と図-5）にも同様のことがいえる．また，コリオリを考慮した場合，右側の壁に沿って集中して進入してゆくため，コリオリなしのケースと比較すると，進入速度が速くなることが確認された．この現象は，通常発生する貫入現象にも同様にみられる現象であり，数値計算が良好に行われた結果を示すものであると考えられる．

5. 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．その結果，当然のことではあるが，コリオリの有無における再現結果の違いを確認することができ，その差の妥当性を示す事が出来た．

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モデルの開発と検証，水工論文集 第53巻，2009．

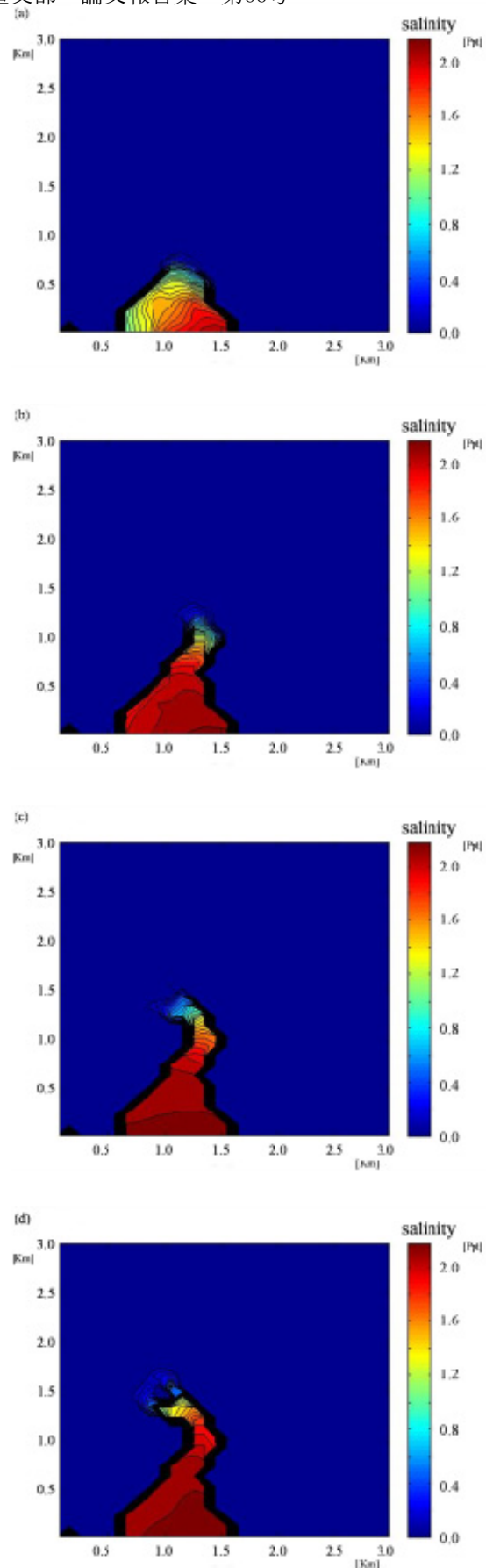


図-5 計算結果（コリオリあり）．

水深約45mにおける塩分の水平コンタ図．

- (a) 6時間後の塩分濃度の変化． (b) 12時間後の塩分濃度の変化．
(c) 18時間後の塩分濃度変化． (d) 24時間後の塩分濃度の変化．