

三次元流動生態系モデルを用いた東京湾の流動再現計算

東京都市大学 学生会員 ○板谷 皓瑤
東京都市大学 正会員 田中 陽二

1.1. はじめに

東京湾は三浦半島と房総半島に囲まれた閉鎖性内湾である。その性質から海水の流出入に乏しく水質汚染が引き起こされやすい。河川からの流入水と底部に堆積する生物由来の有機化合物や、外洋から流入し留まり続ける密度の大きい海水の影響で富栄養化が起りやすいためとされる。

東京湾には江戸川をはじめとした大型河川が流れ込み、それぞれが広大な流域面積を有しているために栄養塩などの陸域負荷が高い。既往の研究¹⁾から潮汐及び海上風の影響を受けて湾奥部での水質汚染が進展することがわかっている。潮汐と気象場を計算に反映する事で、流動場における水質汚染の確認ができる。東京湾の流動場を再現すれば、河川水に関する陸域負荷の条件を操作する事で水質汚染の予測や負荷削減効果の検討が可能となる。

本研究は三次元流動生態系モデルによって東京湾の流動場を再現し、実際の観測値と比較を行い再現精度の評価を行った。潮汐と河川水流入、気象場の影響に基づいた東京湾の設定と数値計算モデルの最適化を行った。設定値などは類似の研究²⁾を参考した。

1.2. 流れのモデル

沿岸部の主な流れは潮汐が一周すると最終的に元の位置に戻るために輸送力の小さい潮流。表層の水塊が風に吹かれることで移動し、輸送力の大きい吹送流。塩分や温度の密度差によって引き起こされる密度流の三つである。これらの影響が密接に関連しているため、人間の思考実験では再現に限界がある。

流れのモデルとはニュートン力学の第二方程式が基となっており単純な式であるため格子に分割して計算することができる。モデルを使う目的の一つはコンピュータ上で計算領域や条件を簡単にして数値実験を行い、因果関係を解明するため。もう一つは問題解決の判断材料として影響評価や予測を行うためである。

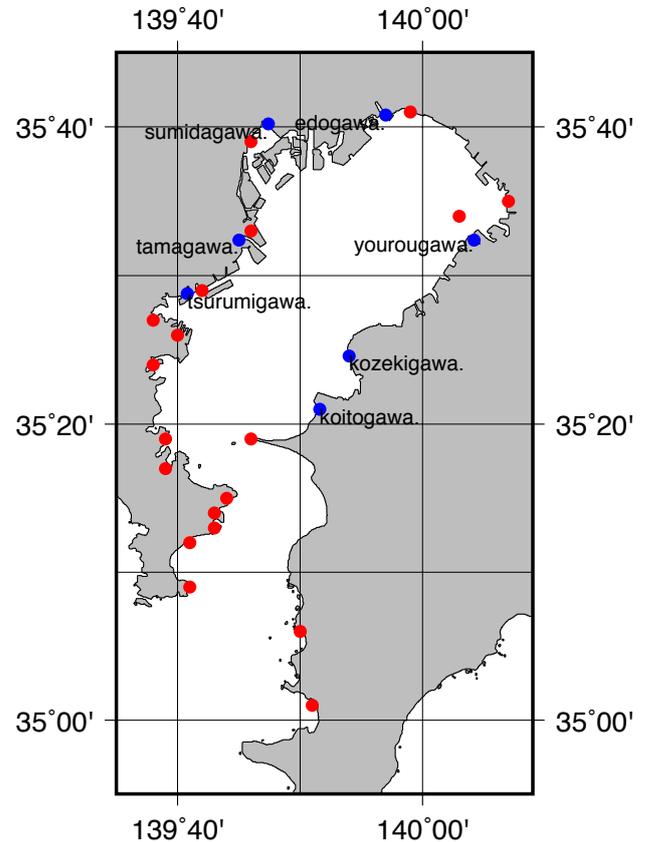


図-1 潮汐観測所と河口の座標

2. 研究方法

2.1. 研究手順

以下の手順で研究を進めた。(1) 800m と 1600m で二通りの計算メッシュを作成した。(2) 計算条件をモデル的に組み込み、補正値の最適化を行った。(3) 河川水の環境条件を適応させて実験計算を行った。

水深や海岸線は国土地理院より取得した東京湾の地形図と国土交通省関東地方整備局および日本海洋データセンターから取得した水深データを用いた。図-1 に計算に用いた潮汐観測所の座標と東京湾に面した河川の河口座標を示す。

2.2. 計算メッシュの作成

東京湾全域を平方格子で区切り 800m と 1600m の二通りで区分けした。海岸線と重ね合わせて陸と海を判別し、海側に水深を補完することで計算に使用する

るメッシュを作成した。河川流入計算で不自然な流入にならないよう東京湾に流入する河川の河口部を1メッシュ分掘り込むことで配慮を行っている。

2.3. 計算条件

今回の計算に用いた数値モデルは田中ら³⁾が開発した伊勢湾シミュレーターである。従来の計算モデルよりも計算時間の短縮がなされた非静水圧3次元流動モデルであり、用いられている運動方程式を(1)式に示す。計算を行った期間と条件を表-1に示す。

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} = -\frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} - \varepsilon_{ijk} f_j u_k - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + g_i + \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ v_e \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right\} \quad (1)$$

表-1 計算条件

項目	設定方法
計算期間	2010年1月1日～12月31日
場所	東京湾内湾部
計算格子	水平方向 800m 平方格子 鉛直方向 全30層
計算間隔	60s
環境負荷	なし

2.4. 河川の流量

鈴木が行った研究²⁾を参考に東京湾へ注ぐ主要6河川における2010年以降の流量を推定した。国土交通省水文水質データベースより2005年から2009年までを基準に連続5年分の水位と流量データから水位-流量曲線を推定した。荒川大芦橋は基準期間の連続した観測データが得られず、1995年から1999年までの連続5年分を使用した。鈴木の研究では二瓶ら³⁾の研究から隅田川を荒川の0.6倍、中川を江戸川の0.55倍としていたため、本研究でも同様とした。図-2から図-5までに江戸川野田、荒川大芦橋、多摩川石原、鶴見川亀の子橋の水位流量曲線を示す。

3. 結果

3.1. 潮汐計算結果

表-1に示す計算条件で潮汐に関するパラメータを調整するための計算を8回実行した。計算結果に調和

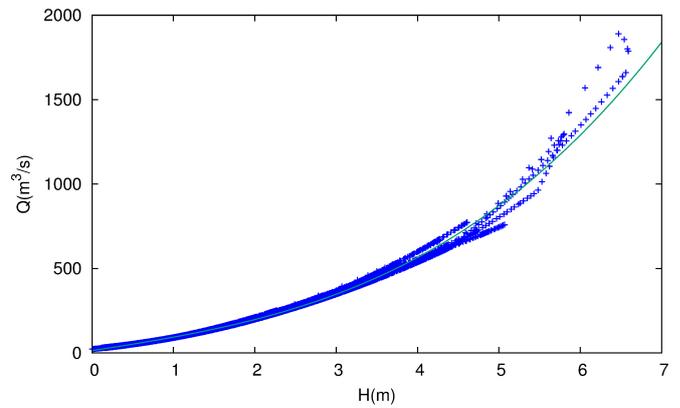


図-2 水位流量曲線 江戸川野田

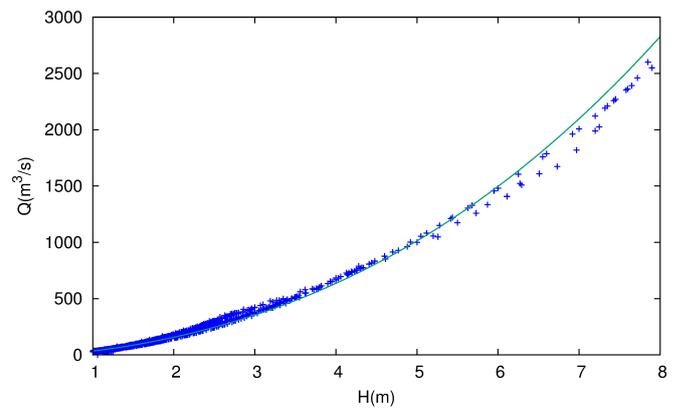


図-3 水位流量曲線 荒川大芦橋

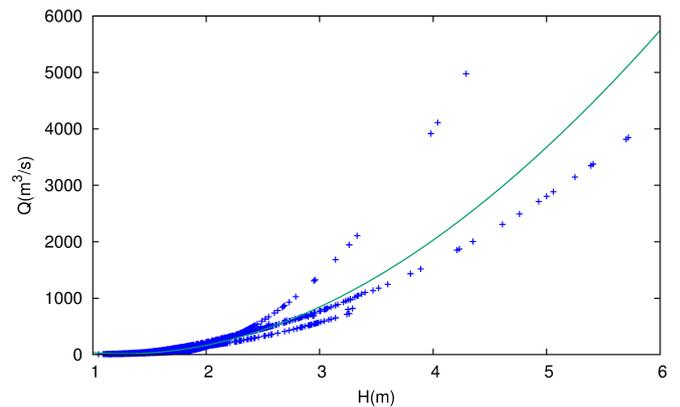


図-4 水位流量曲線 多摩川石原

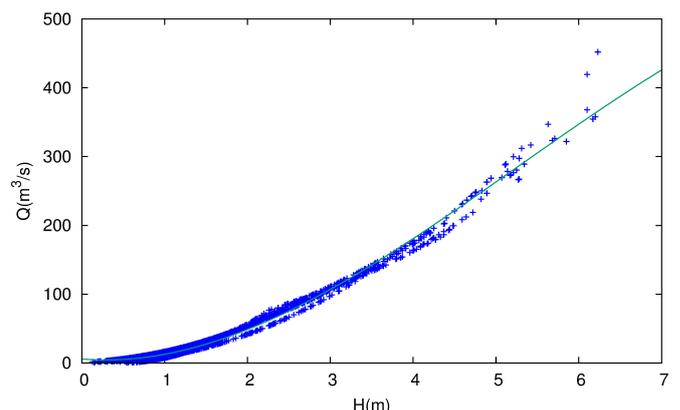


図-5 水位流量曲線 鶴見川亀の子橋

分解を行い、各観測所における計算値と実測値（海上保安庁計測⁴⁾）を比較して誤差を修正した。第1計算と第8回計算を二乗平均平方根誤差によって評価しながら比較を行うと振幅は2.221から1.009に収束し、位相は47.594から1.483とまで収束した。二乗平均平方根誤差では評価値が0に近いほど実測値と近づくため、初期計算に比べてより正しい計算値を算出できるようになったと言える。第8計算における実測-計算のグラフを図-6 図-7 に示す。

第八計算時点で潮汐に関する再現性が良好であると判断し、表層における計算データから流動ベクトルの図を作成した。2010年の年間を通じた潮汐残差流動ベクトルを図-8 に示す。図からは湾奥部では広い範囲に年間を通じた流動変化がほとんどないか打ち消しあっている事が判る。湾中央部から湾内水が逆流して滞留している範囲までくるとまた湾奥部に戻っていくのが判る。湾中央部から湾奥部へは逆流する流れと湾口へと移動する流れによって大きく循環が発生している。海峡部では富津岬を始めとする地形の変化に沿って流動が変化し、外洋からの流入が

内湾からの流出と打ち消し合っている。湾口部では外洋水が内湾に向けて侵入する流れが見受けられる事から複雑な流れが形成されている様子が判る。

3.2. 河川流入気象計算結果

表-1 の計算条件に一級河川の平均流量、気象データを加えて計算を行った。日照条件を与える事から水温の変化を計算項目に追加している。潮汐計算と同様に、表層における計算データをもとに東京湾の瞬間流動ベクトルを図-9 に示した。湾奥部では左回りの流動場が見られ、流動変化の乏しい箇所は解消されている。湾中央部では湾奥部に逆流する流れが解消され、湾口部に向かって行く様子が見られる。湾口部では東向き流動が主となり、複雑な流れも解消されている。河川流入による大きな流動の変化は見られず、内湾部から外湾部に向けて図-8 にみられたベクトル変化を緩やかにした流れが観察できる。

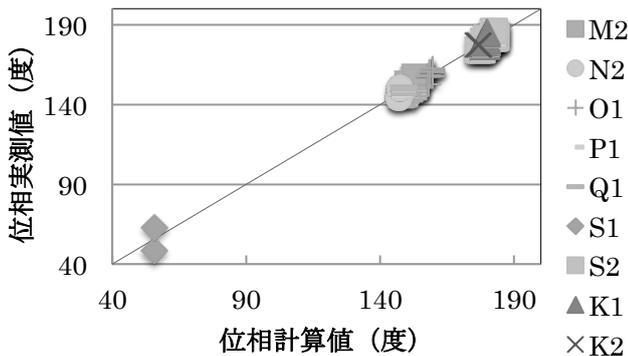


図-6 調整した位相の検証

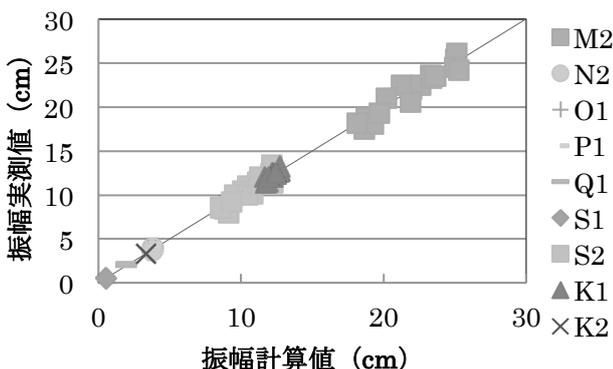


図-7 調整した振幅の検証

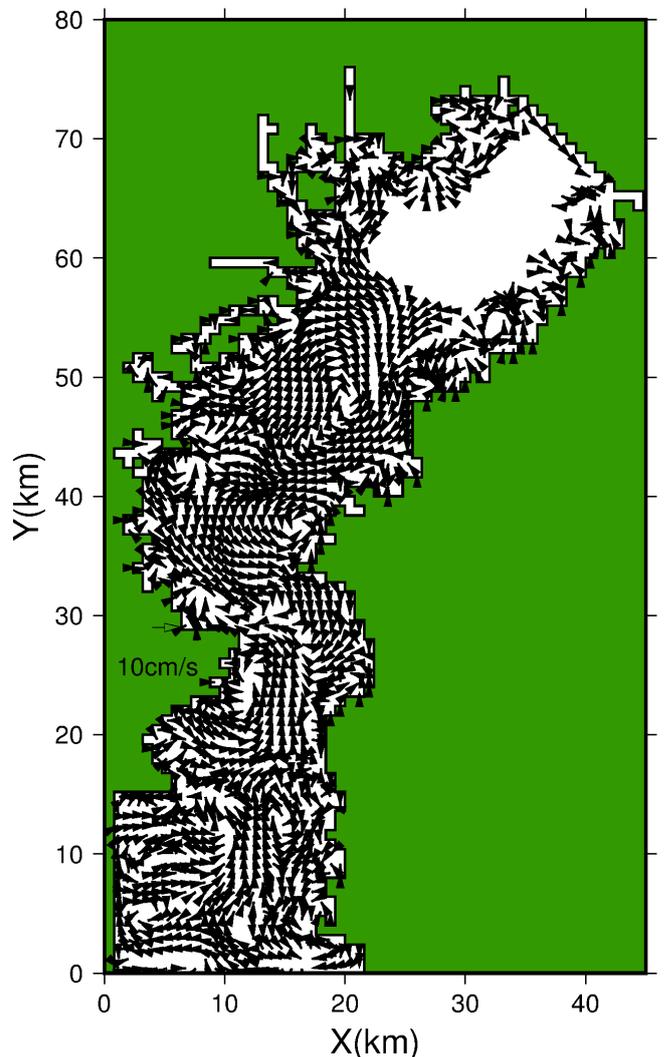


図-8 800m メッシュ潮汐残差流速分布図

河川流入を反映させた事で彫り込まれた河川メッシュにも通水している様子が確認できる。

4. 考察

図-8 の潮汐残渣流から、湾奥部では潮汐による流動変化がほとんど打ち消しあっていることが判る。江戸川からの流入はあるものの、隅田川からの流入と打ち消し合って長期的にはほとんど変動が起きなくなっていると示唆される。図-9 に見られる湾奥部の流れは気象場条件を加えたことで輸送力の大きい吹送流が表層の流動に影響を及ぼしていると考えられる。残渣流データを参照して流動場を図示した場合、図-9 に見られる湾外へと向かう流動傾向は見られず全領域において湾奥部へと逆流する様子が見られた。表層における流動場は気象による影響が強い事が見受けられ、湾内水の挙動は河川流入と潮汐よりも気象の影響が関連していると推測できる。計算の再現度を確認するために東京湾自動観測データから浦安沖の比較を行ったところ、水温の計算結果は0度を基準に一定振幅を示し、塩分濃度も実測値との相関は得られなかった。

5. まとめ

東京湾の流動場再現のため、三次元流動生態系計算モデルに河川水の流入条件と気象データを与えた。自動観測所のデータを用いて計算値と実測値を比較し再現性を確認したが、環境値に関して相関は得られなかった。環境値の再現精度を向上させるためには詳細な陸域負荷の導入が必要であると示唆される。

参考文献

- 1) 八木宏, Tanuspong POKAVANICH, 安井進, 灘岡和夫, 有路降一, 松坂省一, 鈴木信昭, 諸星一信, 小田遼子, 二瓶泰雄: 東京湾湾口部の涌昇現象に伴う湾内貧酸素水塊の中層化とその解消過程. 海岸工学論文集 第 55 巻 (2008), pp88-90
- 2) 鈴木高二郎: 東京湾の海水交換と貧酸素化に及ぼす淡水流入と風の影響について. 港湾空港技術研究所資料 No1276 (2013) pp.50-52
- 3) 田中陽二, 鈴木高二郎: 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, Vol49 No.1(2010) pp.8-10

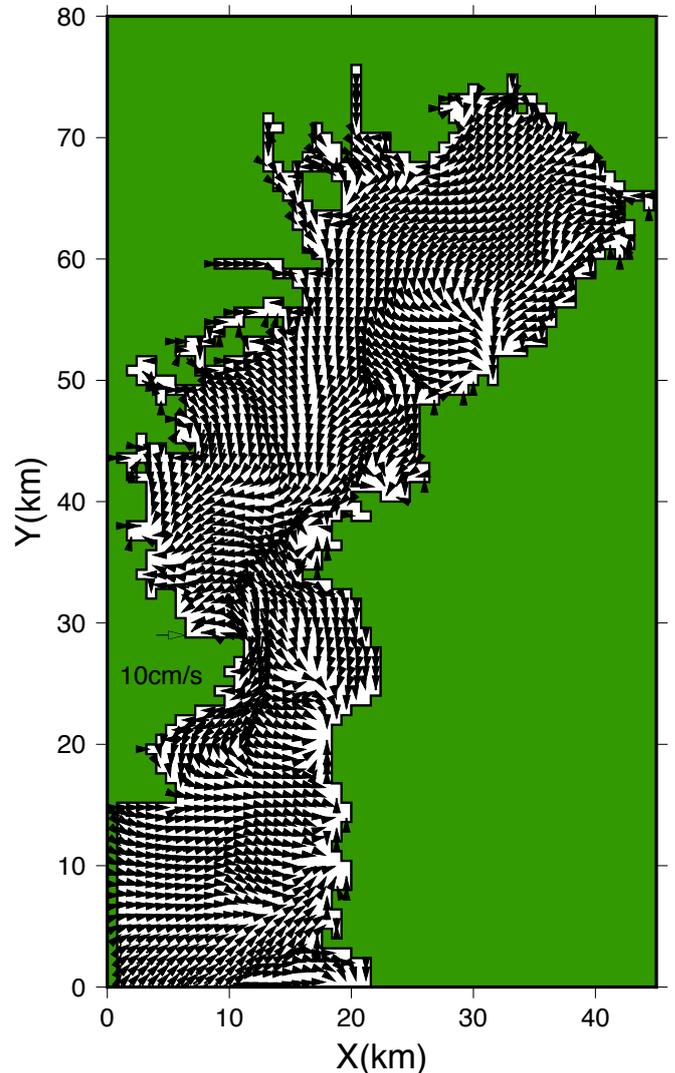


図-9 800m メッシュ流速分布図

- 4) 二瓶泰雄, 高村智之, 渡邊敬之: 東京湾主要流入河川における流量モニタリングの現状と課題. 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp1221-1225
- 5) 海上保安庁水路部: 日本沿岸潮汐調和定数表, 日本水路協会, 267p, 1993
- 6) 田中陽二, 中村由行, 鈴木高二郎, 井上徹教, 西村洋子: 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 (REPORT OF PARI), 第 50 巻 第 2 号, 50p, 2011
- 7) 海上保安庁水路部: 日本沿岸潮汐調和定数表, 日本水路協会, 267p, 1993
- 8) 東京都港湾局: <http://www.kouwan.metro.tokyo.jp>, 2015 年 10 月 08 日閲覧.
- 9) 国土交通省 水文水質データベース: <http://www1.river.go.jp>, 2015 年閲覧
- 10) 国土交通省 関東地方整備局: 東京湾水質連続観測情報: <http://www.tbeic.go.jp> / 2015 年閲覧