

# 東京湾スケールの流動が京浜運河に 与える影響評価

IMPACT STATEMENT THAT FLOW OF TOKYO BAY SCALE  
GIVES KEIHIN CANAL

堀松大志<sup>1</sup>・中山恵介<sup>2</sup>・岡田知也<sup>3</sup>・古川恵太<sup>3</sup>・緩目淑範<sup>4</sup>

Daishi Horimatsu, Keisuke Nakayama, Tomoya Okada, Keita Furukawa and Yoshinori Yonome

<sup>1</sup>正会員 工修 いであ株式会社東北支店 水圏グループ (〒980-6016 宮城県仙台市青葉区)

<sup>2</sup>正会員 工博 北見工業大学工学部 社会環境工学科 (〒090-8507 北海道北見市公園町165番地)

<sup>3</sup>正会員 工博 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋研究部 (〒090-8507 神奈川県横須賀市)

<sup>4</sup>正会員 工修 北見工業大学工学部 社会環境工学科 (〒090-8507 北海道北見市公園町165番地)

This paper describes the spatial scaling effect on water quality in Kehin Canal. In Tokyo Bay, deterioration of water quality has been demonstrated, such as the loss of network of bivalves due to the development of coastal regions and red tide. The development in coastal regions has extended canal and has made complicated network in Kehin Canal, which has resulted degradation of water quality. Since the developed canal is located close to residential area, it has been needed to improve water quality. Therefore, in order to restore sustainable nature based on network of bivalves, we need to understand mass transport in Kehin Canal and also mass exchange due to spatial scaling effect between Kehin Canal and Tokyo Bay. This study thus aims to clarify mass transport between Kehin Canal and Tokyo Bay by using field experiment results and three-dimensional numerical computational model, ELCOM&CAEDYM. As a result, network of mass transport around the head of Tokyo Bay was found to exist.

*Key Words: Canal network, DO concentration, mass transport, Kehin Canal, Tokyo Bay, numerical computation*

## 1. はじめに

東京湾におけるアサリの存在量が激減しており、主としてアサリの主要な生息場所である干潟や浅場の埋め立てによる消失<sup>1),2)</sup>とそれに伴う浮遊幼生のネットワークの欠如が原因としてあげられている。東京湾では20世紀の間に干潟や浅場の90%が埋め立てられ<sup>3)</sup>、現在自然に近い状態で残っているのはごくわずかである。そのため、東京湾におけるアサリの存在量の回復のためには沿岸域における干潟の再生、保全が有効であると考えられる。また、小規模なものが網状に広がる運河は親水性が高い領域であると言え、周辺に干潟のような一般市民が憩いを得られるようなアピールポイントを増やしていくことが海辺の自然再生に対する意識を啓発する上で効果的であると考えられており、埋立地周辺に人口干潟を造成するといった自然再生事業が行われている。

しかし、東京湾沿岸域に見られるような複雑なネットワーク構造を持つ運河網において多様な生態系システムを取り戻すためには、湾内の水質<sup>4),5),6),7)</sup>が運河に与える影響の把握が必要である。そこで本

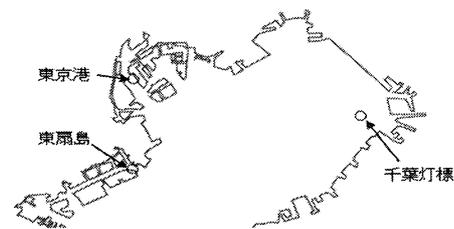


図-1 観測地点

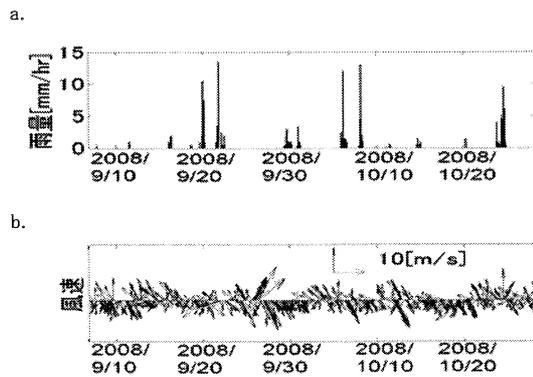


図-2: 2008年9月~10月の雨量と風のデータ

(a)雨量データ

(b)風データ

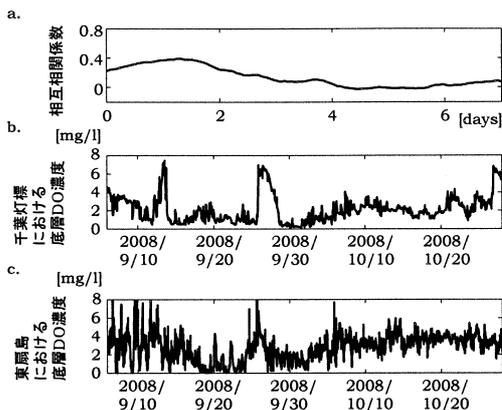


図-3：東扇島と千葉灯標における底層DO濃度の30分間隔データ(2008年秋)  
 (a) 相互相関係数  
 (b) 千葉灯標における底層DO濃度  
 (c) 東扇島における底層DO濃度

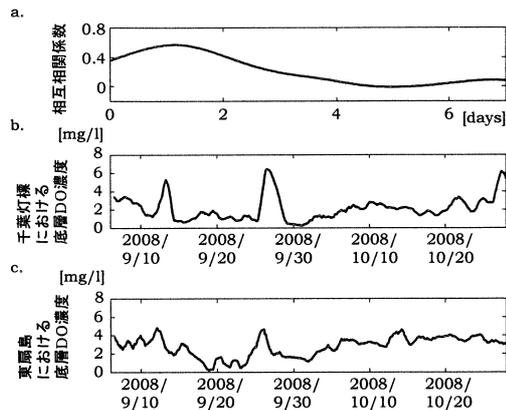


図-5：東扇島と千葉灯標における底層DO濃度の24時間移動平均(2008年秋)  
 (a) 相互相関係数  
 (b) 千葉灯標における底層DO濃度  
 (c) 東扇島における底層DO濃度

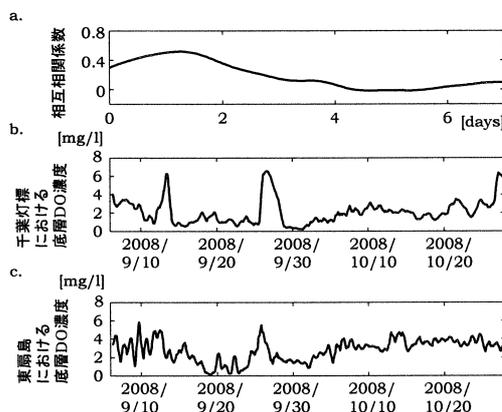


図-4：東扇島と千葉灯標における底層DO濃度の12時間移動平均(2008年秋)  
 (a) 相互相関係数  
 (b) 千葉灯標における底層DO濃度  
 (c) 東扇島における底層DO濃度

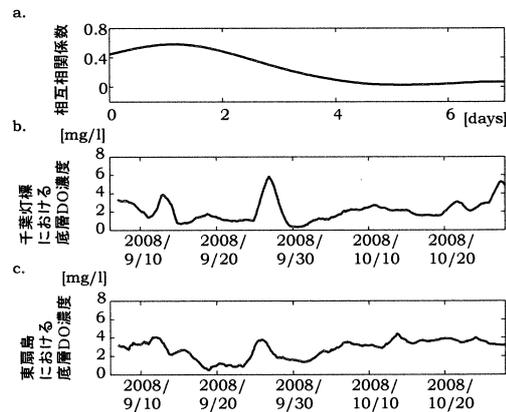


図-6：東扇島と千葉灯標における底層DO濃度の48時間移動平均(2008年秋)  
 (a) 相互相関係数  
 (b) 千葉灯標における底層DO濃度  
 (c) 東扇島における底層DO濃度

研究では、東京都港区田町付近から横浜市鶴見区までに位置している京浜運河内にアサリの浮遊幼生ネットワークを再生するために、東扇島・東京港・千葉灯標において計測された塩分またはDO値の時系列解析および3次元数値モデルELCOM & CAEDYMを用いた流動状況の把握を行い、東京湾と運河内の水質の依存関係の検討を行うこととする。

## 2. 時系列解析

東京湾と運河内の水質変化の関係を評価するために東扇島、千葉灯標、東京港における塩分またはDO値の観測結果を利用して相互相関係数を計算した。観測地点を図-1に示す。観測データは2007年3月に東扇島付近、千葉灯標で観測されたものと2008年9月から10月にかけて東扇島付近、千葉灯標、東京港で観測されたデータを使用した。しかし、2007

年3月の千葉灯標のデータは15日以降がほとんど欠測だったため、本節では2008年9月から10月の観測結果について時系列解析を行うこととする。なお、東京湾の流動の主たる要因となると考えられる風のデータと河川流入量に影響する雨量データを図-2に示す。

はじめに東扇島付近と千葉灯標における底層DO値の20分間隔データとそれらの相互相関係数を図-3に示す。20分間隔では潮汐などの影響による周期の短い変動が見られるが、短周期の変動は遠距離を伝播するとは考えにくい。そのため、12時間、24時間、48時間の移動平均をとった時系列データと相互相関係数を計算した(図-4~6)。12時間の移動平均では潮汐による影響が残ったままであるが、24時間および48時間の移動平均では潮汐を含んだ短い周期の成分はほとんど見られなくなっている。本研究では、

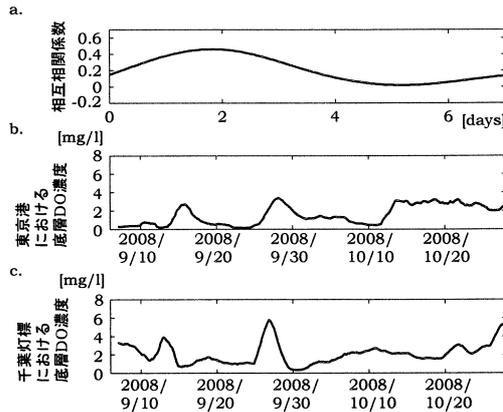


図-7：千葉灯標と東京港における底層DO濃度の24時間移動平均(2008年秋)  
 (a) 相互相関関数  
 (b) 東京港における底層DO濃度  
 (c) 千葉灯標における底層DO濃度

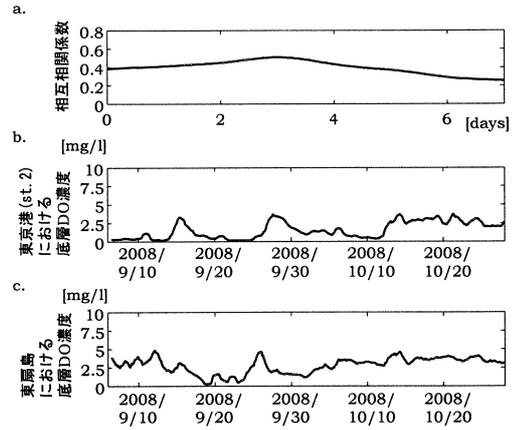


図-8：東扇島と東京港(st. 2)における底層DO濃度の24時間移動平均(2008年秋)  
 (a) 相互相関関数  
 (b) 東京港(st. 2)における底層DO濃度  
 (c) 東扇島における底層DO濃度

潮汐の影響も完全に無視するために、48時間の移動平均を用いて解析を行うこととした。

図-6の千葉灯標と東扇島の底層DO値を見ると、両者の時系列データに東扇島から千葉灯標への影響伝搬を示す位相がみとれる。そこで相互相関係数を見ると約1日のところでピークが現れた(図-6(a))。このことから東扇島のDO濃度変化の影響が千葉灯標へ1日で伝播している可能性が示された。同様に2008年9月から10月の千葉灯標と東京港における底層DO値の48時間移動平均データとそれらの相互相関係数(図-7)を見ると千葉灯標のDO濃度変化が東京港へと2日で伝播している可能性が示され、東扇島付近と東京港におけるデータ(図-8)を見ると東扇島付近のDO濃度変化が3日で東京港へと伝播している可能性が示された。

以上のことから、2008年9月から10月において東扇島の水質変化が千葉灯標、東京港の順に伝播している可能性が示された。

なお、前述の通り東扇島付近と千葉灯標の2007年3月における千葉灯標の観測データは3月15日以降ほとんどが欠測であり、相互相関をとることが不可能なため、3次元数値モデルによる計算結果を代用し、相互相関をとることとした。

### 3. モデルの再現性

本研究では3次元数値モデルELCOM & CAEDYMを用いて計算を行った。このモデルは流動モデルであるELCOM(Estuary and Lake Computer Model)と生態系モデルであるCAEDYM(Computational Aquatic Ecosystem Dynamics Model)の2つのモデルで構成されている。ELCOMの特徴としては静水圧近似された3次元NS方程式の利用、時間ステップを大きくとるために用いられている水表面に対する陰解法、滑らかな海底地形を考慮するための境界条件の取り込み、移流項に対するUltimate Quickest Schemeの使用、

1次元の乱流クロージャーモデルによる鉛直方向の混合の表現、デカルト座標に対応したレベルモデルの適用による数値拡散の抑制等が挙げられる<sup>8)</sup>。CAEDYMは変数として112の項目を設定でき、少なくともDO、NH<sub>4</sub>、NO<sub>3</sub>、PO<sub>4</sub>、吸光度係数、有機体で懸濁態・溶存態の炭素、窒素、リン、プランクトンの12の項目を考慮して計算を行うことができる<sup>9)</sup>。本研究ではその12項目を用いて計算を行った。期間は運河内の観測データのある2007年3月および2008年9月から10月とした。

東京湾全体を水平方向に1kmの等間隔メッシュを45×60与え、鉛直方向には71メッシュを与えた。運河内の水深が約14mであることから鉛直方向には水深20mまで0.5mメッシュ、水深20m以降は水深が深くなるにつれメッシュが大きくなるように設定した。河川は荒川、江戸川、多摩川、鶴見川を考慮し、流量は貯留関数により与えた。気象条件は東京のAMeDASにより観測された値を使用した。湾外との境界における潮汐は布良における潮位データを用い、境界の水質については2003年の同時期の観測結果を用いた。結果の検討のために観測データとの比較を行うこととした。ただし、東扇島付近では小さい空間スケールの変動成分が大きいため、全体の計算との比較は直接できないため、本論文では千葉灯標と東京港の結果のみの比較を行うとした。

計算結果と観測データの比較を図-9に示す。高周波での変動成分を除き計算結果と観測データはよく一致していた。以上のことから、ELCOM & CAEDYMは東京湾のDO濃度を良好に再現出来ることが分かった。

### 4. 2007年3月の数値計算と観測結果による時系列解析

2007年3月における東扇島の塩分濃度の観測データと千葉灯標の塩分濃度の計算結果とそれらの相互

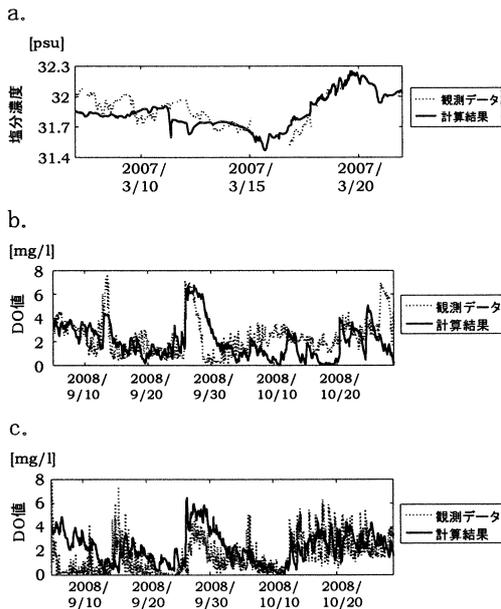


図-9：観測データと計算結果の比較

- (a) 2007年3月の千葉灯標における表層塩分濃度
- (b) 2008年9月～10月の千葉灯標における底層DO濃度
- (c) 2008年9月～10月の東京港における底層DO濃度

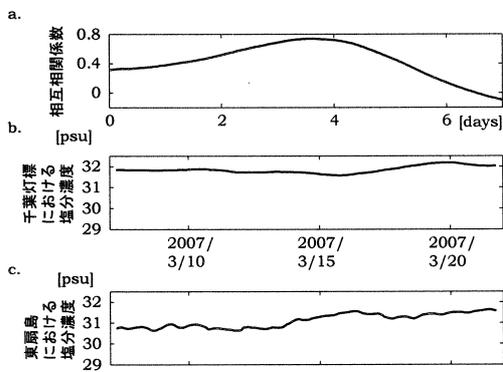


図-10：東扇島と千葉灯標における塩分濃度の48時間移動平均(2007年春)

- (a) 相互相関係数
- (b) 千葉灯標における塩分濃度
- (c) 東扇島における塩分濃度

相関係数を図-10に示す。相互相関係数のピークは3~4日で現れており、東扇島での水質変化の影響が千葉灯標まで3~4日で伝播している可能性が示された。

### 5. 数値計算による検証

第2節で2008年秋において東扇島から千葉灯標を経由して東京港への水質の伝搬の可能性が示されたが、伝搬の存在の有無を検討するために3次元数値モデルによる検証を行った。モデル上で東扇島、千葉灯標、東京港のそれぞれにトレーサーを濃度1.0

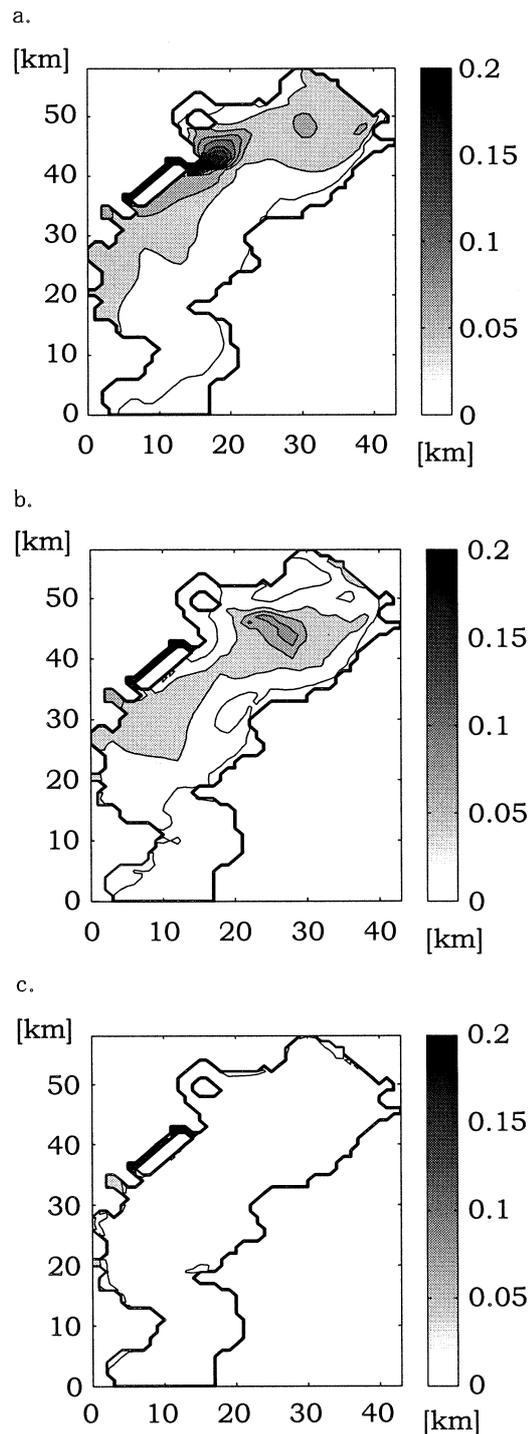


図-11：東扇島にトレーサーを濃度1.0で

与え続けた時の各層のトレーサー濃度

- (a) 10月11日の水面付近におけるトレーサー濃度
- (b) 10月11日の水深5mにおけるトレーサー濃度
- (c) 10月11日の底層におけるトレーサー濃度

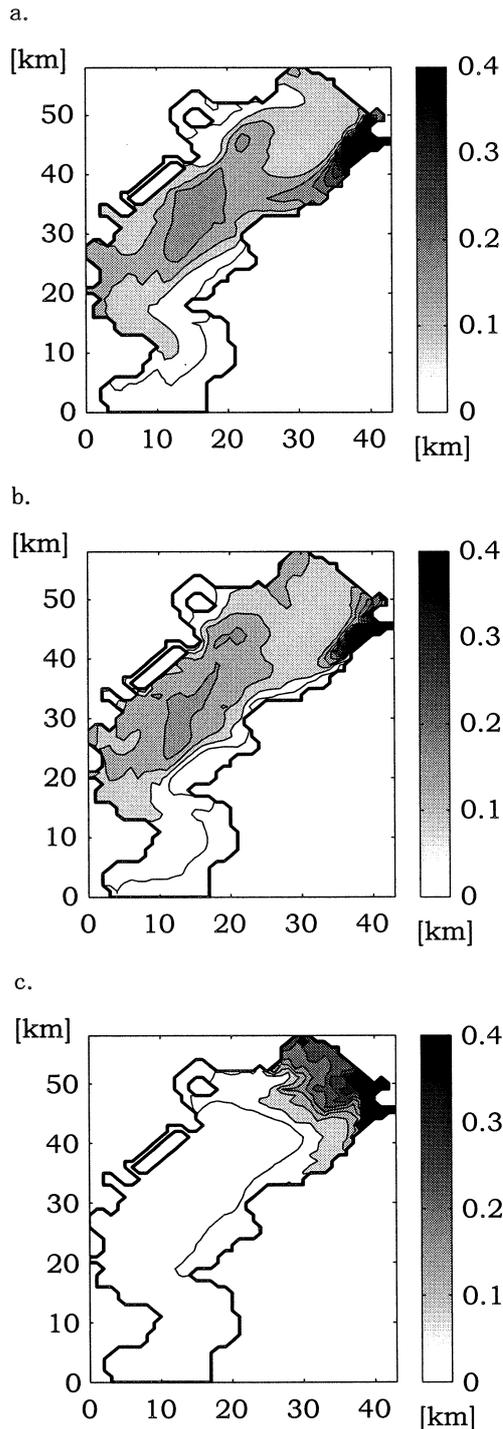


図-12：千葉灯標にトレーサーを濃度1.0で  
与え続けた時の各層のトレーサー濃度  
(a) 10月4日の水面付近における  
トレーサー濃度  
(b) 10月4日の水深5mにおける  
トレーサー濃度  
(c) 9月27日の底層における  
トレーサー濃度

で与え続けることで流動状況の可視化を行い、水面付近、水深5m、底層における流動を見ることとした。

東扇島に濃度1.0のトレーサーを与え続けたケースでは多くの場合、エスチュアリー循環のため東扇島の物質は湾外へ輸送されていく傾向にあったが、南風が卓越する場合には、水面付近、水深5mともトレーサーの千葉灯標方面への伝搬が確認でき、特に10月11日に多く伝播していた(図-11(a)(b))。これは南風が卓越した時に、エクマン輸送により北東への物質輸送が卓越したためと考えられる。底層については大きな動きは見られなかった。このことから東扇島表層、中層の水が千葉灯標まで輸送されていることが示された。

千葉灯標に濃度1.0のトレーサーを与え続けたケースでは水面付近および水深5mともにトレーサーは主に千葉側の岸に沿って湾口へ向かっている傾向にあったが、南東からの風が卓越したとき、特に10月3～5日にはトレーサーの濃度のピークが東扇島から東京港周辺で現れていた(図-12(a)(b))。底層においては東京港の方へ移動する様子が多く確認され、特に9月下旬に顕著であった(図-12(c))。これらは南東の風が卓越した時に、エクマン輸送の影響により東京湾の湾奥北岸に沿って物質が東京港まで反時計回りに輸送されたためと考えられる。このことから湾奥中・底層の水が東京港へ輸送されることが示された。

東京港に濃度1.0のトレーサーを与え続けたケースでは水面付近において千葉灯標への大きな輸送が数回確認された(図-13(a))、水深5mでは木更津方面への輸送が特に10月11～12日や10月28日に顕著に確認された(図-13(b))。底層では大きな動きは見られなかった(図-13(c))。

以上のことから、エスチュアリー循環によりトレーサーは湾奥から湾口へと輸送される傾向も見受けられたが、南風が卓越することでエスチュアリー循環の抑制と、エクマン輸送により、東京湾奥の水面付近では東扇島・東京港→千葉灯標→湾口へ、水深5mでは東扇島→千葉灯標→東京港→木更津への水の輸送が存在することが示された。底層では千葉灯標→東京港の輸送は見られたが、東扇島→千葉灯標への大きな輸送は確認できなかった。第2節の時系列解析では底層DO値の観測データより東扇島→千葉灯標→東京港の輸送の存在が予測されたが、本論文で取り扱った実測データは東扇島では水深1.5m、千葉灯標では水深10m、東京港では水深4mで観測されたものであるため、数値計算によるトレーサー輸送は底層より、水深5mの方が観測結果との傾向が一致したと思われる。

## 6. 結論

東扇島、千葉灯標、東京港における観測結果の時系列解析および数値モデルにおける流動の把握を行い、

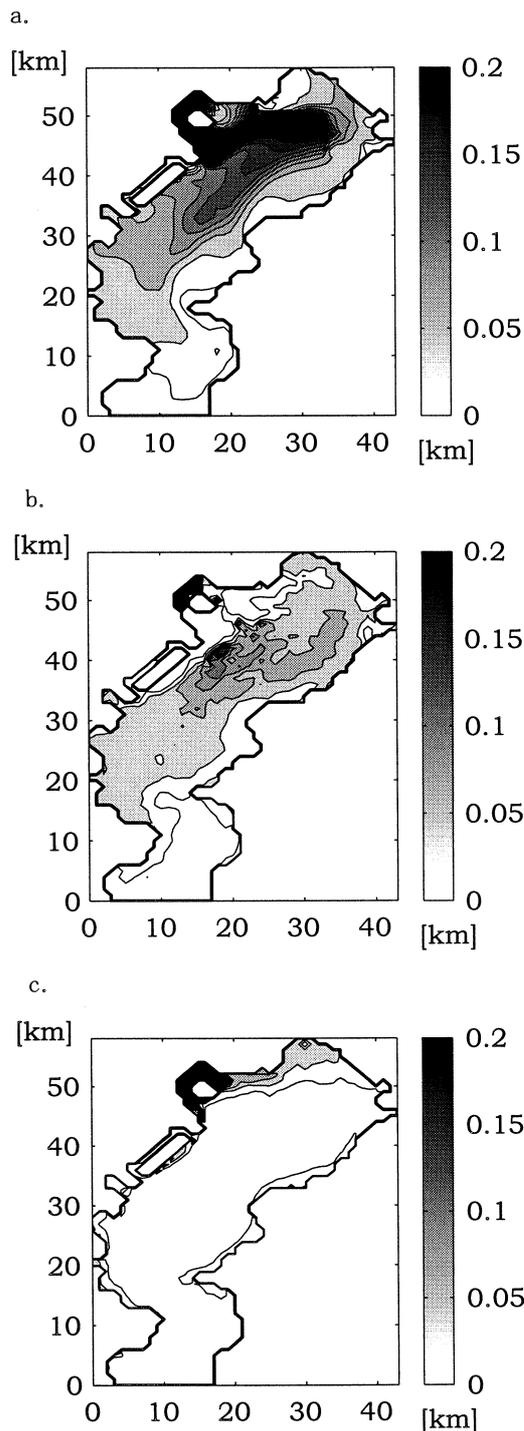


図-13：東京港にトレーサーを濃度1.0で  
与え続けた時の各層のトレーサー濃度  
(a) 9月24日の水面付近における  
トレーサー濃度  
(b) 10月12日の水深5mにおける  
トレーサー濃度  
(c) 10月16日の底層における  
トレーサー濃度

以下のような結論を得た。

(1) 2008年秋の東扇島、千葉灯標、東京港の底層DO値の観測結果の相互相関をとったところ、水質変化の影響が東扇島から千葉灯標へと1日で、千葉灯標から東京港へと1~2日で影響を与えている可能性が示された。

(2) 2007年春の東扇島、千葉灯標の表層塩分の観測結果の相互相関をとったところ、東扇島の水質変化が3~4日で千葉灯標のDO濃度に影響を与えている可能性が示された。

(3) 2008年秋において水質変化の影響が伝搬しているか否かを検証するために3次元数値モデルによる流動状況の把握を行ったところ、南風が卓越した時にエスチュアリー循環の抑制とエクマン輸送により、東京湾奥の水面付近では東扇島・東京港→千葉灯標→湾口へ、水深5mにおいて東扇島→千葉灯標→東京港→木更津方面への流動が存在していることがわかった。

#### 謝辞

本論文において使用した日本海洋データベース様には千葉灯標の観測データを提供いただいた。ここに謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 柿野純：アサリ漁業を取り巻く近年の動向，水産工学，29，pp.31-39，1992.
- 2) 鳥羽光晴：千葉県のアサリ漁業の現状，日本ベントス学会，57，pp.145-150，2002.
- 3) 風呂田利夫：東京湾の干潟と生態学的機能，海洋と生物，129号，pp. 308-314，2000.
- 4) 佐々木淳，磯辺雅彦，渡辺晃，五明美智男：東京湾における青潮の発生規模に関する考察，海岸工学論文集，43 卷，pp.1111-1115，1996.
- 5) 塚田 光博，三村 信男，鈴木 雅晴：東京湾における貧酸素水塊の形成・停滞・消滅過程のシミュレーション，海岸工学論文集 第44卷，pp. 1086-1090，1997.
- 6) 鈴木雅晴，三村信男，塚田光博：3次元生態系・水質モデルによる東京湾の水質改善予測，海岸工学論文集，第46卷，pp.1011-1015，1999.
- 7) 佐々木淳，磯部雅彦，藤本英樹：東京湾における青潮簡易予測手法の開発，海岸工学論文集，第46卷，pp.1006-1010，1999.
- 8) 佐藤千鶴，古川恵太，中山恵介：芝浦運河 海の顔・川の顔調査，海洋開発論文集，第23卷，pp.763-768，2007.
- 9) Hipsey, M. R., Romero, J. R., Antenucci, J.P. and Hamilton, D. P.: COMPUTATIONAL AQUATIC ECOSYSTEM DYNAMICS MODEL CAEDYM v2: user manual, WP1387.1 MH, Centre for Water Research, The University of Western Australia, 2006.