

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19560525

研究課題名（和文）

マルチスケール効果を考慮したエスチュアリーでの粒状物質巻上、輸送、沈降過程の解明

研究課題名（英文）

Study on re-suspension, transport, and settlement processes of particulate matter in an estuarine environment under multi-scale effects

研究代表者

古川 恵太 (KEITA FURUKAWA)

国土技術政策総合研究所・沿岸海洋研究部・海洋環境研究室長

研究者番号：00356031

研究成果の概要（和文）：

本研究では、運河網におけるマルチスケール効果を考慮した粒状物質の輸送過程の解明を目的とし、対象とする運河網は複雑な形状をしたエスチュアリーであると考え、もっとも都市化した領域を含んだ場所として東京湾奥部東京港および周辺の運河域を対象とし、網状に張り巡らされた水路における流れの把握、発生起源、エネルギーの伝達等について観測および3次元数値モデルを利用し検討した。マルチスケール効果を考慮した粒状物質の輸送過程に関して、多項目水質計を利用し、運河部における水質の空間分布・時間変化の測定を行うとともに、解析手法の提案を含め検討した。その結果、東扇島、千葉灯標、東京港の3地点において計測された塩分またはDO値の時系列解析により、東京湾と運河の水質が互いに影響を与えている可能性が示された。また、3次元数値モデルによる流動状況の可視化を行ったところ、千葉灯標における水質の変化が東京港および東扇島の水質に大きく影響を与えていることが予想される結果となった。その一方で、東京湾奥に位置する芝浦運河および東雲運河内の貧酸素水塊は、東京西航路とは密接な関係があるが、内湾部の貧酸素水塊の直接的な影響を受けていないと考えられる観測結果が得られた。淡水供給の影響が強く、強い成層が形成される運河部の水環境を考えるに際しては、同じ成層構造を持った水域の範囲はどこであるかの視点が重要であることが示された。

研究成果の概要（英文）：

This study aims to clarify the mechanisms of mass transport in a network of canal around Tokyo Bay by taking into account multi-scale effect on flow field, which is considered one of the most complicated network systems in Japan. In the analysis, three-dimensional numerical computation and vertically integrated two-dimensional numerical computation models were applied in order to reveal energy transfer and mass transport in a stratified flow field. In the field observation, salinity and dissolved oxygen were measured with the interval of 10 min for a few months at several stations, such as Higashi-Ogijima, Chiba-Tohyo and Tokyo Port, which reveals that water quality in Chiba-Tohyo influences in Tokyo Port and Higashi-Ogijima. On the other hand, field observation regarding dissolved oxygen demonstrated that anoxia in canal does not have any relation with that in the bay head because of the discontinuity of stratification effect. Therefore, it is found to be necessary to evaluate the structure of stratification in order to clarify the influential region when you analyze mass transport in multi-scale stratified flow field.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	0	1,400,000

2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,400,000	600,000	4,000,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工水理学

キーワード：成層場，ネットワーク，乱れ，物質輸送，貧酸素水塊

1. 研究開始当初の背景

エスチュアリーは、淡水と海水が混合するため、淡水や海水起源の水生生物や植物が混在しており、非常に生物多様性が高い領域であると言える。しかし、利便性の観点から、周辺地域での町の発達、都市化が顕著であり、急速な開発により多くの重要な生態系システムが破壊されてきている。生態系システムの破壊は水質環境の悪化を生み出すため、緊急に食い止めなくてはならない問題であり、一般的に開発が進んだエスチュアリーには網状に発達した水路（運河）が存在するため、特にその運河網における環境破壊を改善することが重要であると言える。

そこで、エスチュアリーにおける生態系破壊の抑制のための基礎的な研究として、我々は網状に発達した運河におけるマルチスケール効果を考慮した粒状物質巻上、輸送、沈降過程を解明することを試みる。エスチュアリーへの物質、栄養塩の供給は、一般的に河川起源のものが多く、河川からは砂、シルト、粘土、粒状栄養塩（リンなど）が供給される。栄養塩が生態系に与える影響はもちろんのこと、砂、シルト、粘土などの粒子は、エスチュアリーに沈降堆積することにより、そこに生息する水生生物、例えば二枚貝等の生息環境に大きな影響を与える。そのため、粒状物質を対象として研究を行う場合、粒径が大きく異なるという特徴を考慮したマルチスケール（多粒径）での検討が必要であると考えられる。本研究では、特に生態系の多様性の損失が大きく、網状に発達した運河の典型的な場として、東京港周辺をターゲットとする。

2. 研究の目的

粒状物質は、流れにより移流・拡散されていることから、最初に把握しなくてはならない項目として、網状に発達した運河の周辺を含むエスチュアリーの流れ場がある。エスチュアリーの流れは、海洋からの塩水供給、河川からの淡水供給、日射による熱収支により形成される成層が支配している。成層が強くなると、上層と下層において、全く流れの方

向、拡散の程度が異なる水塊が発生するため、単純な鉛直積分型の長波近似された方程式では流れの再現が不可能となる（例えば分散関係が出てくるような流れ）。そのため、流れを再現するためには、成層の効果を考慮できる多層モデル、もしくは3次元モデルが必要となる。そこで本研究では、これまでに沿岸域の流動の再現に適用し、検証が行われてきた多層モデル（中山ら：計算工学論文集，2003）、3次元モデル（Okada&Nakayama：JEE-ASCE，2006；Nakayama：International Journal for Numerical Methods in Fluids，2006；Nakayamaら：Estuarine, Coast and Shelf Science，2005；Hodesら：Limnology&Oceanography，2000；Lavalら：Limnology&Oceanography，2003；Lavalら：JHE-ASCE，2003）などを用い、波の効果などを考慮することによりどのように流れが変化するかを確認する。また、有機物の存在により発生する貧酸素水塊の発生・消滅機構についても解明を行う。

3. 研究の方法

超音波のエコー形状を利用して、底層に堆積した粒状物質の推定を行うことが出来る測定器（岡田ら：海岸工学論文集，2005；Wolanski (Ed.)：Springer, 2005）を用い、東京港周辺における詳細な底泥の含水比測定を行った。含水比計測と同時に、含水比から粒径を推定するための採泥も行い、多点での検証、キャリブレーションも行った。

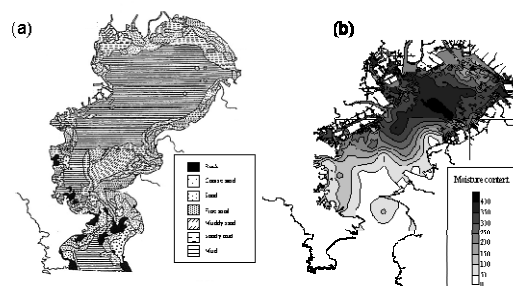


図-1：東京湾における堆積粒状物質の推定結果
a) 1950年代の測定例、b) 本成果

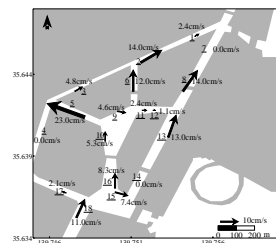
現地計測において得られる結果を用いて、数値モデルによる再現計算を行い、現象の把握を試みた。まず、これまでも東京港に適用し、適当な結果 (Satoh : ICEM2006, 2006) が得られている ELCOM を利用した流れ場の再現を行った。その際、他の検証の場として、分担者が研究の中心としている北海道の現地も解析対象とした。

さらに、計算速度向上のため、2層モデルによる高精度な流れ場の再現を試みた。2層モデルは、他の3次元モデルとは大きく性質が異なるものであるが、理論における検討を行う際に重要な成分ごとの結果を示すことが出来、2層モデルでの再現性が検証されることにより、理論的な理解を飛躍的に進めることが可能となるためである。

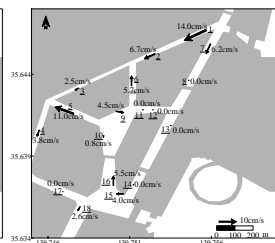
4. 研究成果

基礎調査として、運河における流動調査のため、NPO 等の方々と協力し、カヌーおよび浮き子を利用した観測を行った。その結果、運河網内では、運河網外からの塩水の侵入、陸域からの淡水の供給により、平水時には強い成層場が形成されており、小さな空間スケール、つまり各水路におけるエスチュアリー循環の発生を確認することが出来た。そのエスチュアリー循環は、潮汐によっても大きく影響を受けていることも分かった。

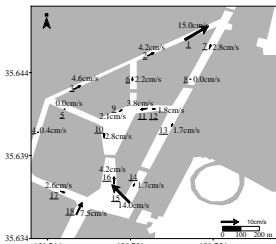
a) 上げ潮上層



b) 上げ潮下層



c) 下げ潮上層



d) 下げ潮下層

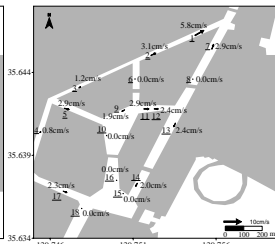


図-2 : 運河網における流動の計測結果

それらの影響を詳細に検討するために、運河網における流動再現を行った。再現計算には、3次元生態系モデル ELCOM&CAEDYM が利用された。流動の再現を主目的として解析を行ったので、生態系に関する部分のモデルのスイッチはオフにして再現計算を行った。その際、運河網に対して境界条件を与えなくてはならない。そのため、まず、東京湾全体にお

ける生態系までを含めた再現計算を行い、その検証を行った。計算では、2003年5月から8月を対象とした。計算結果の検証には、国土技術政策総合研究所により月に1~2度行われた観測データを利用した。その結果、D0濃度の再現計算までを含めて、良好な結果を得ることが出来た。

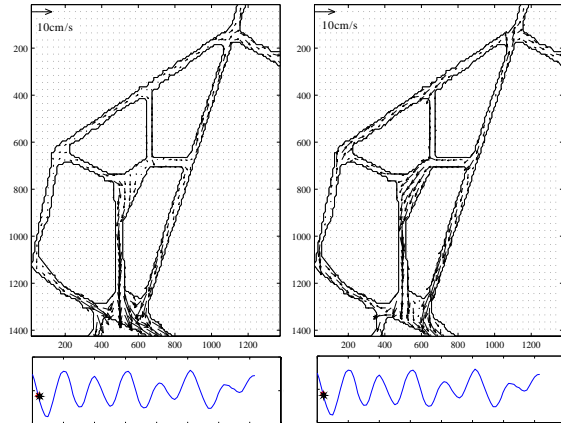


Fig. a Ebb tide, Upper layer

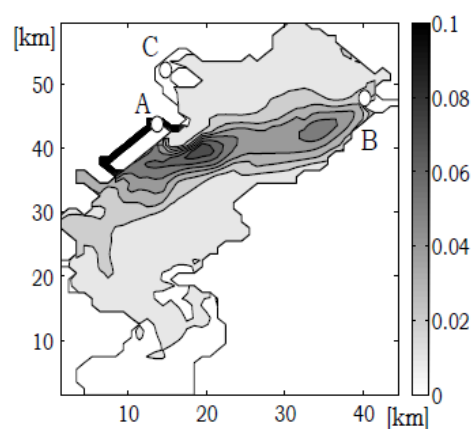
Fig. b Ebb tide, Lower layer

図-3 : ELCOM&CAEDYM による運河網における流動の計算結果

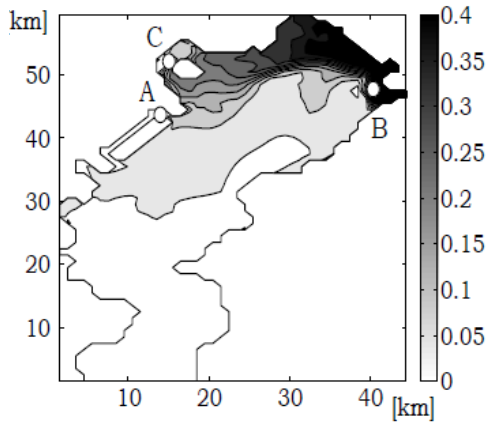
一方で、2層モデルの高精度な流れ場の再現において、これまでに再現が困難であった一様流れと波の共存による干渉を再現することが出来た。これにより、計算の高速化が可能であることが示された。

続いて、運河網への適用を行った。その際、運河網における境界条件の与え方が重要であり、数分から10分程度の位相であるが、位相差を与えないと運河網における物質輸送に関わる残差流などの検討を行うことが出来ないことが明らかになった。また、その結果、東扇島、千葉灯標、東京港の3地点において計測された塩分またはD0値の時系列解析により、東京湾と運河の水質が互いに影響を与えている可能性が示された。

a) 東扇島からの流れ



b) 千葉灯標からの流れ



c) 東京港からの流れ

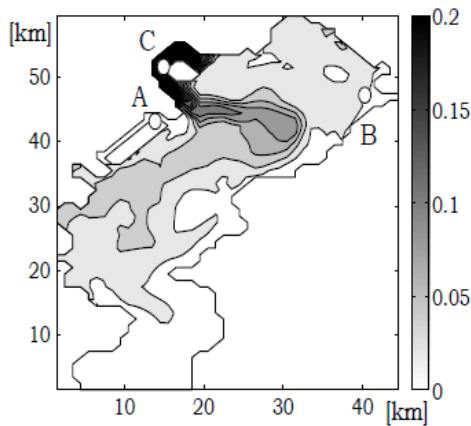


図-4：東京湾奥～運河網における3次元流動計算

さらに、3次元数値モデルによる流動状況の可視化を行ったところ、千葉灯標における水質の変化が東京港および東扇島の水質に大きく影響を与えていることが予想される結果となった。その一方で、東京湾奥に位置する芝浦運河および東雲運河内の貧酸素水塊は、東京西航路とは密接な関係があるが、内湾部の貧酸素水塊の直接的な影響を受けていないと考えられる観測結果が得られた。

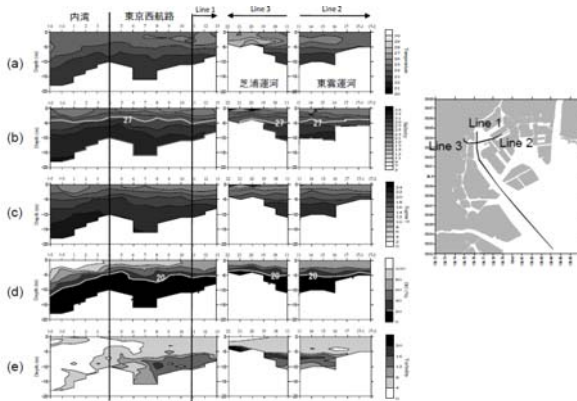


図-5：2008年9月16日の各水質項目の縦断分布。
(a) 水温, (b) 塩分, (c) σ_t , (d) DO濃度, (e) 濁度

淡水供給の影響が強く、強い成層が形成される運河部の水環境を考えるに際しては、同じ成層構造を持った水域の範囲はどこであるかの視点が重要であることが示された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計10件)

- (1) Satoh C., K. Nakayama and K. Furukawa, Contributions of Wind and River Effects on Recovery of Dissolved Oxygen Concentration in Tokyo Bay, 査読あり, *Estuarine, Coast and Shelf Science*, in revision, 2010.
- (2) Nakayama K., M. Sivapalan, C. Sato and K. Furukawa, Stochastic Characterization of the Onset of and Recovery from Anoxia in Tokyo Bay, Japan: Derived Distribution Analysis Based on “Strong Wind” Events, 査読あり, *Water Resources Research*, in revision, 2010.
- (3) 堀松大志, 中山恵介, 岡田知也, 古川恵太, 鵜目淑, 東京湾スケールの流動が京浜運河に与える影響評価, 海洋開発論文集, 査読あり, 第25巻, pp. 1041-1046, 2009.

[学会発表] (計5件)

- (1) 尾形尚紀, 中山恵介, 新谷哲也, 東京湾におけるオブジェクト指向型流体モデルの適用, 土木学会北海道支部論文報告集, 査読なし, B-42, 2010.
- (2) 佐久間慎雄, 中山恵介, 柿沼太郎, 新谷哲也, 網走川において風波が塩水浸入に及ぼす影響評価, 土木学会北海道支部論文報告集, 査読なし, B-52, 2010.
- (3) 趙卓維, 中山恵介, 強風イベントが東京湾の湾奥底層のDO濃度に及ぼす影響評価, 土木学会北海道支部論文報告集, 査読なし, B-22, 2009.

[図書] (計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古川 恵太 (KEITA FURUKAWA)
国土技術政策総合研究所・沿岸海洋研究部・海洋環境研究室長
研究者番号：00356031

(2) 研究分担者

中山 恵介 (KEISUKE NAKAYAMA)
北見工業大学・土木開発工学科・教授
研究者番号：60271649