

機関番号：12701  
 研究種目：基盤研究(B)  
 研究期間：2007 ～ 2010  
 課題番号：19360220  
 研究課題名(和文) 浚渫窪地の環境影響の解明と新しい環境マネジメント手法の提案  
 研究課題名(英文) Study on impact of dredged pit on coastal environment and its environmental management methodology  
 研究代表者  
 佐々木 淳 ( SASAKI JUN )  
 横浜国立大学・工学研究院・教授  
 研究者番号：50292884

研究成果の概要(和文)：東京湾をはじめとする内湾に存在する浚渫窪地では、無酸素水塊や硫化物の発生による無生物海底の出現や、この水塊の湧昇に伴う干潟や浅場への悪影響が懸念されている。本研究では浚渫窪地の硫化物動態等に関する現地観測を実施し、これらの現象を精密に再現可能な数値モデルを開発し、浚渫窪地が周辺環境に与える影響を評価すると同時に、沖合水の導水等による浚渫窪地の環境改善方策について検討し、有効と考えられるマネジメント手法を示した。

研究成果の概要(英文)：Appearance of anoxia and hydrogen sulfide in dredged pits causing mortality of benthic animals is considered as one of the most serious water quality problems in polluted bays. Adverse impacts on marine environments in shallows and tidal flats due to upwelling of anoxic waters are also of great concern. In this study, we performed field measurements and numerical modeling of anoxia and hydrogen sulfide processes. Using the model, we elucidated the impacts of dredged pits on surrounding environments and developed an effective management methodology on the basis of application of water duct technology.

#### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2008年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2009年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
総計	15,200,000	4,560,000	19,760,000

研究分野：土木工学

科研費の分科・細目：水工学

キーワード：海岸工学，沿岸環境，内湾，数値モデル，現地観測，硫化物

#### 1. 研究開始当初の背景

東京湾や三河湾をはじめとする大都市に隣接した内湾域には、埋立のための土砂を採掘した跡である浚渫窪地が点在している。規模の大きな浚渫窪地は元の海底から 20m 以上も掘り下げられ、水平スケールは 2km を超える巨大な穴を形成している。そのため浚渫窪地は著しい滞留海域となっており、初春から

晩秋まで恒常的に大規模な無酸素水塊が存在する劣悪な環境にあり、しばしば青潮の発生源として認識されている。一方、近年の環境再生の機運の高まりを受けて、東京湾においては浚渫窪地が青潮の元凶であるとの前提にたつて、これの埋め戻しに関する検討が始まるなど、浚渫窪地がにわかに脚光を浴びるようになった。今年に入ってから NHK や

読売新聞をはじめとしたマスメディアでもしばしば取りあげられるに至っている。それらの論調は浚渫窪地が青潮の主因であり、その埋め戻しによって青潮被害は軽微になるというものであるが、青潮発生時における浚渫窪地水塊の湧昇過程を最初に観測した佐々木ら（1996）がその論拠となっている。ところが佐々木（1997）が指摘しているように、夏季の浚渫窪地には強い密度成層が形成されており、台風時でも容易には湧昇せず、成層期の湧昇は沖合からの高密度水の侵入による押し出しに限られ、その場合でも湧昇規模は相対的に小さいと推察される。よって、青潮の浚渫窪地主因説の論拠は極めて弱く、論調の端緒に影響を与えた申請者としても責任を痛感している。青潮の浚渫窪地主因説に立って公共事業として窪地の埋め戻しがなされ、それにも係わらず青潮の発生状況に大きな変化が見られないとなれば、内湾環境再生分野に対する信頼の失墜は計り知れない。

昨今、科学技術の社会貢献が強く求められている。科学技術者を含め、世論の論調がこのように大きく偏る主因は青潮の発生過程を必ずしも十分に解明できていないことにある。申請者らが以前に青潮問題を検討してから10年近くが経つが、この間の観測や数値計算の技術革新はめざましい。これらと本課題で取り組む技術開発とを併せて総動員し、現在展開されている浚渫窪地に関する論調に対し、誰もが理解できる確度の高い客観的な科学的知見を早急に提示することが極めて重要であると考えられる。

一方で、BSE問題による世界的な肉離れや途上国の経済発展により、我が国の漁業資源の確保が困難となりつつある。この情勢は内湾漁業の重要性を益々高めるが、貧酸素や青潮はその最も深刻な阻害要因である。そこで本研究では浚渫窪地が青潮に及ぼす影響の解明を踏まえ、浚渫窪地に係わる環境マネジメントと浚渫窪地を活用した環境再生方策について併せて検討する。環境再生方策に選択肢を提示することで議論が極端に走ることを避け、コストベネフィットを踏まえて環境再生を推進していくことが最も重要であると考えられるためである。検討に際しては流砂系土砂管理の考え方、人工干潟の造成技術、マイクロバブルをはじめとする貧酸素水の有酸素化技術（佐々木ら、2003）、および深層水の取水技術等が確立されており、これらの要素技術を組み合わせた環境再生のためのシステム開発が望まれる。

## 2. 研究の目的

東京湾の浚渫窪地に着目し、その環境影響を定量的に明らかにし、科学的客観的に示すことを第一の目的とする。次にこの目的に対

する結論を踏まえ、浚渫窪地に係わる環境マネジメントおよび浚渫窪地を活用した環境再生手法について検討し、既存の要素技術を統合した新しい環境再生技術システムの提案を第二の目的とする。

### (1) 青潮の発生源および発生過程の解明

青潮の発生源は、浚渫窪地、航路筋、および湾奥中央の平場の無酸素水塊に分けられる。それぞれの水塊の青潮に対する寄与度を様々な条件下で定量的に明らかにすることが目的となる。従来は青潮発生直前における各水塊の硫化物量等の情報がほとんどなく、その結果、各水塊の青潮への寄与についてはほとんど検討が進んでおらず、発生した青潮がどこの水塊を起源としているのかははっきりしなかった。このことが根拠の乏しい青潮の浚渫窪地主因説を助長することとなった。そこで、それぞれの発生源の硫化物濃度を含む無酸素水塊の時系列挙動を把握すること、およびそれぞれの水塊の湧昇過程を定量性を持って明らかにすることが必要である。本研究ではそれぞれの水塊中の無酸素水塊の規模および硫化物濃度について、初春から晩秋までの時系列変化の推定法を検討し、現地データによる検証をへて、推定誤差の評価と共に提示することを目指す。一方、浚渫窪地や航路筋は内湾の空間スケールから見ると規模が小さく、急峻な地形を持つこともあって、湧昇過程のシミュレーション（いわゆる青潮シミュレーション）に数値計算技術上の困難さがあつた。本研究ではこれらの課題に取り組み、浚渫窪地や航路筋の水塊を起源とする青潮のシミュレーション技術を開発し、平場水塊の湧昇シミュレーションと併せて、青潮発生過程の数値再現を行う。また、青潮は年に複数回起こり、年によって発生規模が異なるなど、複雑な挙動を見せる。よって、客観的な評価を行うためには既往の多くの青潮事例について、発生規模や被害状況を定量的に把握し、それらの再現が同一のモデルで可能であることを示すことが研究結果の信頼確保に不可欠である。

### (b) 浚渫窪地の環境マネジメントの提案

東京湾の浚渫窪地の一部は既に建設残土の土捨て場として活用されており、他の研究グループでも窪地の埋め戻しが検討されている。しかしながら、浚渫窪地の埋め戻しには約1億 $m^3$ の土砂が必要なのに対し、東京湾流域のダム堆積土砂量は2,500万 $m^3$ 程度と推定されている。ダム堆積土砂は人工干潟の造成や海浜侵食対策としても有効活用が望まれることから、浚渫窪地の迅速な埋め戻しは相当に困難である。本研究では窪地の埋め戻しに代表される土砂を活用したマネジメントに加え、浚渫窪地の特長を生かした新しいマネジメント手法についても検討、提案す

ることを目的とする

### 3. 研究の方法

本研究では東京湾を具体的な対象とし、現地調査および数値計算を主な手法として検討を行った。本研究では硫化物に着目するため、まず、硫化物濃度の簡易な推定方法の確立を行った。次に同推定法を用いて硫化物を含む浚渫窪地のモニタリング手法を確立し、硫化物の動態を把握した。次に硫化物動態を含む生態系モデルの開発を行い、流動モデルと組み合わせて、硫化物動態の精密な再現を行った。本モデルを用い、観測された青潮の発生過程を再現することで、観測された青潮に対する、浚渫窪地、航路筋、および平場それぞれの寄与について検討を行った。最後に本モデルを用いた数値実験により、導水による浚渫窪地水の環境改善手法について検討を行った。以下ではそれぞれについて詳細を既述する。

#### (1) 現地調査

2007年から2010年のそれぞれ夏季を中心に、浚渫窪地、航路筋、および湾奥中央平場における現地調査を実施した。まず、東京湾内で最大の規模である幕張沖の浚渫窪地を対象とした深浅測量を実施し、浚渫窪地の詳細な地形を把握した。

現地調査は年度による差異もあるが、概ね図1に示す調査点において、多項目水質計による水質鉛直分布測定と採水による硫化物測定を行った。調査点には従来データのほとんど存在しない、航路筋が含まれることから、これまで不明であった、青潮に対する浚渫窪地と航路筋それぞれの影響について検討できるように設計した。

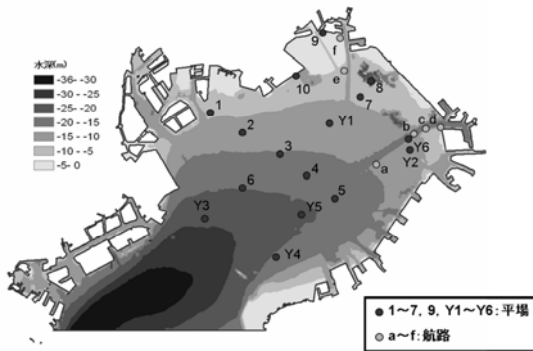


図1 現地調査地点。

#### (2) 硫化物濃度の簡易推定法の開発

硫化物濃度の測定には採水による化学分析が必要であり、大変コストがかかることから、モニタリングを実施していくことは容易ではない。そこで本研究では硫化物濃度分布をできるだけ簡易に推定する方法について検討した。

既往の知見として、硫化物濃度は pH と相関が高いことが知られていた。本研究で実施した調査結果からもこのことが裏付けられたが、非常にばらつきが大きかった。一方、調査日測点別に硫化物濃度と pH の関係を見たところ、両者は概ね一つの曲線上に乗ることが明らかとなり、硫化物濃度は pH のべき乗の関数で表現できることが分かった。調査結果の各ケースについて検討したところ、硫化物濃度が 0 となる、すなわち酸化還元電位 (ORP) がほぼ 0 となる点での pH 値で硫化物濃度が 0 となるように切片を決定し、べき乗の値については底層 1 点における pH と硫化物濃度の実測値から決定する方法を提案した。図2に本推定法による硫化物濃度と実測値の比較を示すが、両者はよく一致することが分かる。本手法では、底層 1 点における硫化物濃度の実測値が必要となるが、その他の深度については提案した関数式を用い、pH から硫化物濃度を推定することが可能となり、硫化物濃度の詳細な鉛直プロファイルを簡便に得ることができるようになった。ただし、調査点における鉛直水塊構造が単純ではない、例えば、外海水が侵入し、浚渫窪地内の水塊と平場上の水塊が異なる場合には適用できないといった制限があることも明らかとなった。

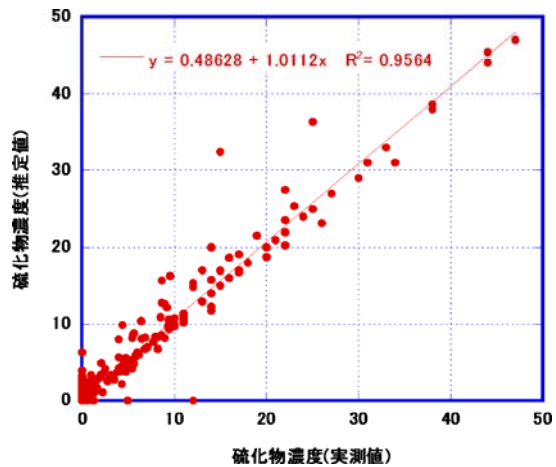


図2 硫化物濃度の推定値と実測値の比較

#### (3) 数値モデルの開発

DHI の MIKE3 を採用し、流動場の精密な再現を行えるようにした。さらに MIKE Ecolab 上において硫化物動態を含む水質モデルを開発した。モデル開発に際しては、硫化物濃度を含む水質の現地調査結果を活用し、それらの再現性向上を指針として改良を繰り返した。また、流動モデルにおいては静水圧モデルと非静水圧モデルの比較も行い、本研究の検討範囲においては静水圧モデルにおいても良好な再現性を有することを確認した。

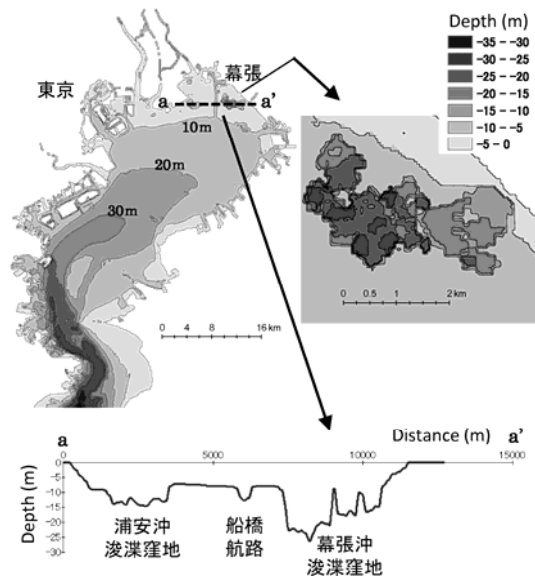


図3 東京湾および幕張沖浚渫窪地の水深分布

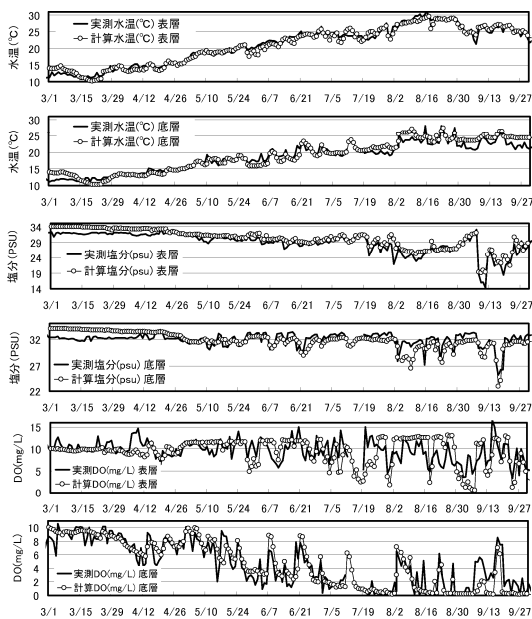


図4 上層および下層の水温，塩分，溶存酸素濃度の実測値と計算値の比較によるモデルの検証

#### 4. 研究成果

東京湾奥部に点在する浚渫窪地のうち，最大のものである幕張沖浚渫窪地は水平スケールが4km，最大水深が30mに達する巨大なものである(図3)．この窪地では初春から初冬まで大規模な無酸素水塊が存在し，青潮の主要な発生源の一つともなっている．既述のように硫化物濃度の簡易推定法を確立し，浚渫地や航路における硫化物総量の推定法を確立した．さらに硫化物総量のモニタリングを実施し，青潮の発生日との比較を通して，浚渫窪地水塊の青潮への影響を定量的に評価することができるようになった．

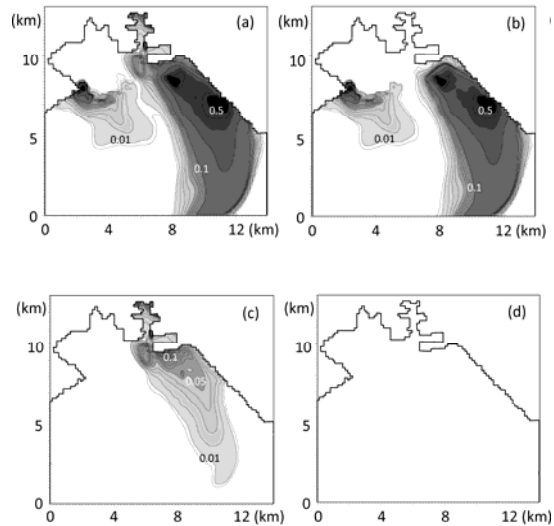


図5 青潮時の表層における硫化物濃度分布計算結果．(a) 浚渫窪地+航路+平場，(b) 浚渫窪地のみ，(c) 航路のみ，(d) 平場のみ，をそれぞれ硫化物起源とした場合．

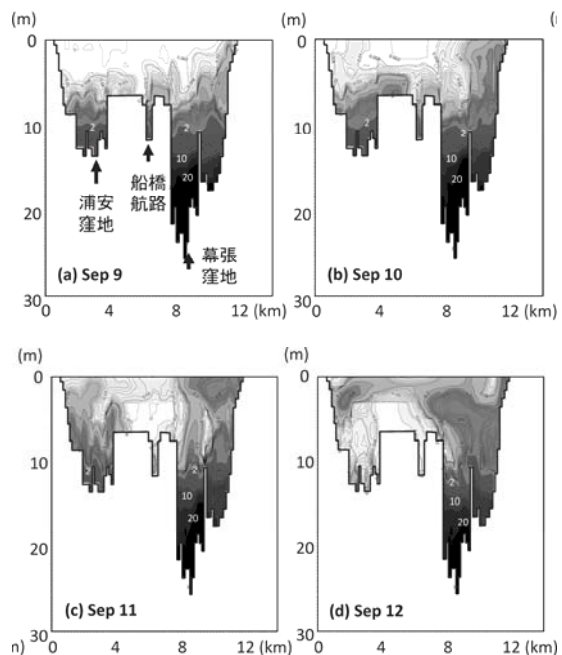


図6 青潮発生時の鉛直断面における硫化物濃度分布時系列の計算結果．

一方，プロセスの忠実な再現を志向した数値シミュレーションモデルの開発を行った．準3次元の流動モデルに硫化物過程を含む3次元水質モデルを構築して結合し，時々刻々

の気象場や湾口潮位，河川流量を境界条件として与えることで周年再現計算を行い，現地調査結果と比較することでモデルの妥当性を検証した（図4）．さらに小領域の詳細な計算を行うためのネスティング計算を導入し，浚渫窪地およびその周辺を含む計算領域において，詳細な青潮再現計算を行えるようにした．

2008年9月初旬に発生した青潮を対象とし，硫化物動態を含む青潮再現計算を行った結果，このときの青潮の発生源としては幕張沖浚渫窪地が主要なものであるが，船橋港およびその周辺で発生した青潮については，船橋航路筋に存在した硫化物の寄与が支配的であることが明らかとなった（図5，図6）．一方，本研究の期間においては比較的規模の大きな青潮の後には台風による攪乱が生じる等したため，大きな被害をもたらす青潮の発生は無かった模様である．平場における調査でも大規模な硫化物の発生は把握できず，今回検討対象とした青潮については浚渫窪地水塊の湧昇が最も支配的であったものと考えられる．ただし，大規模な青潮については平場の寄与が推定されるが，これについては継続的にモニタリングして行く必要がある．

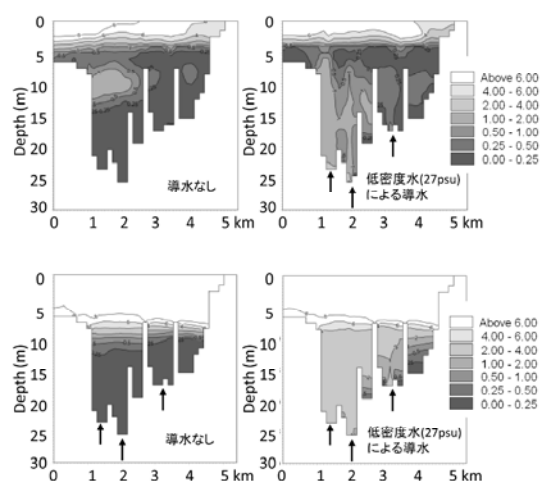


図7 浚渫窪地における，導水なしおよび低密度水の導水による13日後（上段）および28日後（下段）における溶存酸素濃度鉛直断面分布計算値

さらに本モデルを用いて，導水技術による浚渫窪地内の無酸素水塊の改善手法に関する検討を実施した．密度が小さく十分な酸素を含む表層水を浚渫窪地底層に送水することにより，底層に酸素を送り込むと同時に，浮力投入による循環流を促進することで無酸素水塊の効率的な改善が可能であることを明らかにした（図6）．

## 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22件）

- ①. Sasaki, J., Komatsu, Y., Matsumaru, R. and Wiyono, R. U. A. Unstructured model investigation of 2004 Indian Ocean Tsunami inundation in Banda Aceh, Indonesia, J. Coastal Res., SI64, 5pp., 2011.
- ②. 武田将英・松澤圭祐・佐々木淳・津田宗男・松田信彦. 成層水域における下層への土砂投入に伴う濁りの拡散特性. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 66, No. 1, 946-950, 2010.
- ③. Kasem, T. H. M. A. ・佐々木 淳. 潜堤上波動場を対象とした WENO・Level Set 法に基づく気液混相流モデルの開発. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 66, No. 1, 36-40, 2010.
- ④. Kasem, T. H. M. A. and Sasaki, J. Multiphase modeling of wave propagation over submerged obstacles using WENO and Level Set methods. Coastal Engineering J., 52(3), 235-259, 2010.
- ⑤. 佐々木 淳. 海外における閉鎖性海域の環境改善の取り組み～ボストン湾を例として～. 海洋開発論文集, 26, 7-12, 2010.
- ⑥. Sasaki, J., Kanayama, S., Nakase, K., and Kino, S. Effective application of mechanical circulator for reducing hypoxia in an estuarine trench. Coastal Eng. J., 51(4), 309-339, 2009.
- ⑦. Sasaki, J. and Yoshimoto, Y. Field and numerical study on water quality processes in dredged trenches of Tokyo Bay. Proc. Int. Symp. Engineering, Energy and Environment, 22-27, 2009.
- ⑧. 市岡志保・佐々木 淳・吉本侑矢・下迫健一郎・木村俊介. 航路と浚渫窪地に着目した硫化物動態と青潮影響に関する考察. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), B2-65, No. 1, 1041-1045, 2009.
- ⑨. 吉本侑矢・佐々木 淳・下迫健一郎・木村俊介. 浚渫窪地における導水を用いた貧酸素改善に関する検討. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), B2-65, No. 1, 1176-1180, 2009.
- ⑩. Sasaki, J., Sato, Y., Rasmeemasuang, T. and Shibayama, T. On the mechanism of organic-rich sediment accumulation at the head of Tokyo Bay. Proc. of 5th Int. Conf. on Asian and Pacific Coasts, 2, 67-74, 2009.
- ⑪. Sasaki, J., Kawamoto, S., Yoshimoto Y., Ishii, M. and Kakino, J. Evaluation of the amount of hydrogen sulfide in a dredged trench of Tokyo Bay. J. Coastal Res., SI56, 890-894, 2009.
- ⑫. 前田周作・佐々木 淳. アサリと有機物

分解速度に着目した干潟・浅場環境の比較評価手法の開発. 海岸工学論文集, 55, 1156-1160, 2008.

⑬. Rasmeeasmuang, T. and Sasaki, J. Modeling of mud accumulation and bed characteristics in Tokyo Bay, Coastal Engineering Journal, 50(3), pp. 277-308, 2008.

⑭. 市岡志保・佐々木 淳・吉本侑矢・松坂省一・有路隆一・諸星一信. 東京湾奥部の浚渫窪地における硫化物量の簡易推定手法の提案. 海洋開発論文集, Vol. 24, pp. 669-674, 2008.

⑮. 東 将司・佐々木 淳. 東京湾三番瀬におけるカキ礁生態系の環境機能評価, 海洋開発論文集, Vol. 24, pp.801-806, 2008.

⑯. 佐々木 淳・川本慎哉・吉本侑矢・石井光廣・柿野 純. 東京湾の青潮に及ぼす平場と浚渫窪地水塊の影響評価. 海岸工学論文集, Vol. 54, pp. 1041-1045, 2007.

⑰. 佐々木 淳・佐藤雄太・Thamnoon Rasmeeasmuang・柴山知也. 東京湾奥中央部における軟泥の形成要因に関する一考察. 海岸工学論文集, Vol. 54, pp. 1046-1050, 2007.

[学会発表] (計 21 件)

①. Sasaki, J. Application of unstructured grid model to tsunami wave propagation and inundation covering a wide range of spatial resolution, 9th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures, 基調講演, 2010年11月30日, イラン・テヘラン.

②. Sasaki, J. Numerical models for coastal and eco-hydraulic engineering, International Workshop on Ocean Environment Modeling, 2010年10月21日, 基調講演, インドネシア・バンドン.

③. 佐々木 淳. 海外における閉鎖性海域の環境改善の取り組み～ボストン湾を例として～, 土木学会海洋開発シンポジウム特別セッション, 招待講演, 2010年6月24日, 鹿児島市.

④. Sasaki, J. Engineering strategy for managing water quality in polluted estuarine embayment focusing on dredged trenches, The 1st International Seminar on Sustainable Infrastructure and Built Environment in Developing Countries, 2009年11月2日, 招待講演, インドネシア・バンドン.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐々木 淳 (SASAKI JUN)  
横浜国立大学・工学研究院・教授

研究者番号 : 50292884

### (2) 研究分担者

柴山 知也 (SHIBAYAMA TOMOYA)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号 : 40143391

(H21-H22 : 他機関へ異動のため, 分担者から削除)

高木 泰士 (TAKAGI HIROSHI)

独立行政法人国際協力機構

研究者番号 : 00422585

(H20-H22 : 他機関へ異動のため, 分担者から削除)

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号 :