

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 8日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360236

研究課題名（和文）

大阪湾流域圏の物質輸送に及ぼす複合循環系の影響解析と健全化策の提案

研究課題名（英文）

Analysis of Influence of Complex Water System on Material Cycle in the Osaka Bay Basin and Proposal for Improvement in Water Environment

研究代表者

西田 修三（NISHIDA SYUUZOU）

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：40172663

研究成果の概要（和文）：大阪湾流域圏における物質輸送の実態を明らかにするために、出水時を含めた河川水質調査を実施するとともに、上下水道統計資料の収集・分析と上下水道の水質調査も実施した。その結果、過去30年の間にCOD、リンともに流入負荷量は半減したが、栄養塩バランスが大きく変化していた。大阪湾への総負荷量の約40%に及ぶ栄養塩負荷が寝屋川（大阪市内河川）から集中的に流入し、湾奥部の水質悪化の要因となっていた。また、出水時の河川負荷増大とともにCSOによるNH₄-N負荷の流入も大きなインパクトを与えていた。将来予測計算の結果は、今後の下水道整備による有機汚濁改善の効果は小さいことを示していた。

研究成果の概要（英文）：To obtain a closer estimate of a amount of inflow loads, field surveys including rainy day surveys were carried out in rivers and sewerage treatment plants. The inflow load from the Neya River sub-basin showed largest amount, about 40 % of total inflow load to Osaka Bay. Inflow loads due to floods and CSOs have a significant impact on nutrient cycle in the bay. Numerical results showed that future improvement of treated water quality was not effective in the reduction of organic pollution.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
総計	9,200,000	2,760,000	11,960,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：大阪湾，流域圏，流入負荷，物質輸送，栄養塩，上下水道，シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

内湾沿岸域の物質循環系と生態系は、陸域からの水と物質の供給により、その系の健全性を維持している。特に生態系維持の根底をなす栄養塩の供給は、集水域からの流水によ

ってなされる。しかし、この水・物質の自然循環系を形成している流域圏において、近年、上下水道の整備や環境維持水の導水など、人工的(人為的)な循環系が形成・発達し、土地被覆状況や地形・地質によって決定される自

然循環系だけではなく、自然系と人工系による複合循環系によって内湾流域圏の水・物質循環が決定されるようになってきた。例えば、大阪湾に注ぐ寝屋川では、隣接する淀川からの導水と流入排水により、その流出流量は流域降水量の2倍以上の水量を示し、もはや流域を対象とした解析ではその物質循環と下流・沿岸域への影響を捉えることはできなくなっている。

筆者らは、淀川流域を対象に流域下水道の整備が、河川流域ひいては沿岸海域の水環境に及ぼす影響について、分布型流域モデルと沿岸低次生態系モデルを用いて解析を行ってきた。その結果、近年の下水道の整備と高度化により淀川ではBODが半減し大きな水質改善がなされたものの、大阪湾奥部の沿岸海域においては処理排水の集中流入により水質と底質の改善が進まず、赤潮や青潮の発生原因ともなっていることが明らかとなった。しかし、その一方で大阪湾の南海域や一部養殖海域では栄養塩の枯渇現象が生じるなど、湾内の栄養塩バランスが崩れ、大きな環境勾配を有するに至っていることも明らかとなった。

最近、新たな有害プランクトンの発生やノリの色落ち現象に関わる大型珪藻類の発生など、海域における適応種の変化も報告されている。これらの現象には人工循環系を含めた複合循環系による物質動態が大きく関わっているものと考えられる。そのため、大阪湾の水環境の再生には、陸域負荷(全窒素、全リン、COD)の量的削減による富栄養化対策だけではなく、質的要素(栄養塩構成比や有機物組成など)を考慮した対策と、複合循環系として捉えた大阪湾流域圏の物質動態の定量的評価が必要不可欠であると考えられる。

2. 研究の目的

大阪湾流域圏を対象に流域から海域まで一貫した物質循環解析に、上下水道等の人工(人為的)循環系を組み込み、水質要素のフロー解析による量的解析を行うとともに、質的解析(栄養塩構成比や有機物組成など)も行い、流域と海域の水質改善に果たしてきた人工循環系の役割と、物質循環・生態系保全の視点から捉えた水環境の健全化に及ぼす影響を評価する。

3. 研究の方法

流域圏に形成された自然系と人工系の循環系(複合循環系)に着目し、この循環系による物質輸送が、河川や沿岸海域の水環境に及ぼす影響を明らかにするものである。研究は主として、水質統計資料のデータベース化、栄養塩の動態把握のための現地観測、そして水環境への定量的影響評価と予測のためのシミュレーションより構成されている。以下

の項目について研究を進めた。

- (1) 栄養塩の動態モデルを組み込んだ分布型流域複合循環系モデルの構築
- (2) 統計資料と現地計測データを用いた上下水道や分水・導水による栄養塩フローの定量分析
- (3) 人工循環系の形成・発達による流域圏の物質循環の影響解析。
- (4) 流入負荷の低減と質的变化による沿岸海域の栄養塩循環と低次生態系への影響に関するデータ分析と再現計算
- (5) 高度処理の導入や環境維持水の導水など人工循環系の整備にともなう水環境変化の将来予測
- (6) 沿岸海域を含む流域圏の健全な水循環の構築に向けた複合循環系のシナリオ解析

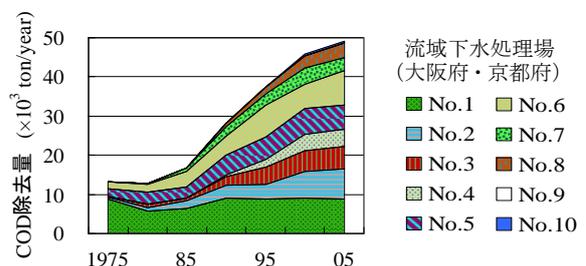


図-1 COD 負荷除去量の経年

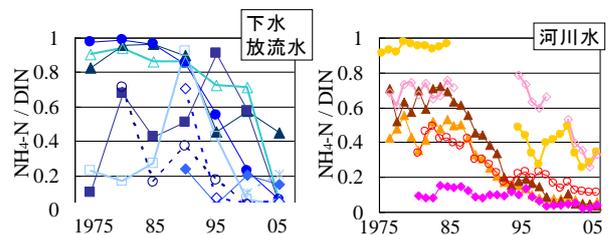


図-2 下水放流水および河川水の NH₄-N / DIN 比の変遷

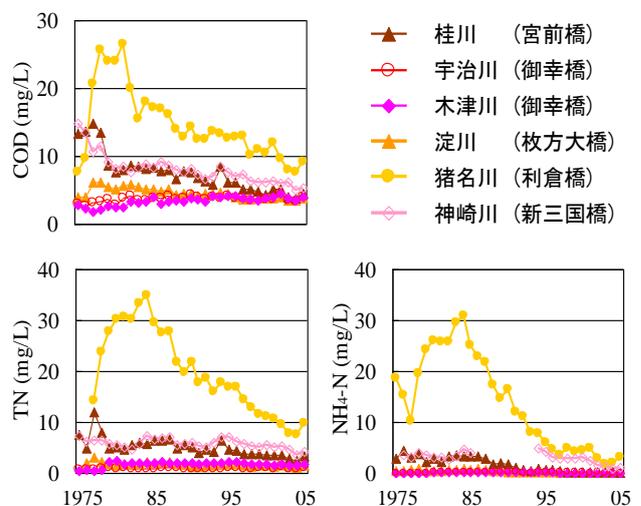


図-3 河川水質の変遷

4. 研究成果

(1) 下水道システムの整備と河川水質の変遷
 下水道システムの整備が淀川流域圏の水環境に及ぼした影響について、過去 30 年の資料分析、流域圏の水・物質循環シミュレーション、および現地調査により解析を行った。



図-4 大阪湾流域の区分

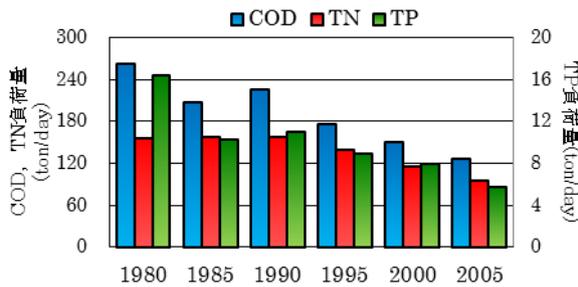


図-5 流入負荷の経年変化

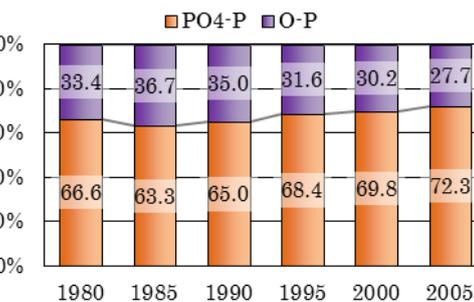
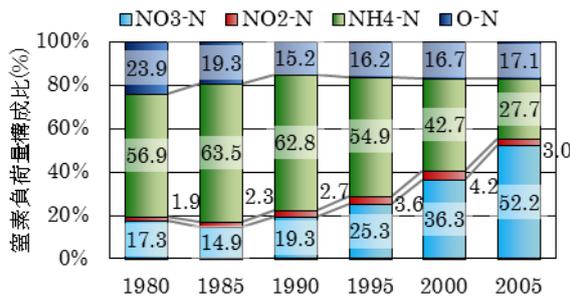


図-6 窒素・リン負荷構成比の経年変化

得られた主たる結果は以下のとおりである (図-1~図-3)。

- ①大阪府、京都府に存在する 10 箇所の流域下水処理場における 2005 年の負荷除去率は、COD, SS は約 90%に達しているが、TN は 70%程度に止まっていた。また、10 処理場における総 COD 除去量は、大阪湾に流入する COD 負荷量の約 80%に相当する量であった。
- ②下水処理場放流水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が減少し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が増加した結果、河川水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度も減少し、過去 30 年間に大きな水質バランスの変化が生じていた。
- ③1970 年から 2000 年にかけての河川水質の改善には、下水道普及率の向上とともに処理場放流水質の向上が大きく寄与していた。
- ④下水処理場の放流処理水は $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が高く $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は低い、降雨時の放流雨水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は高く、河川への大きな $\text{NH}_4\text{-N}$ 供給源となっていた。

(2) 陸域からの流入負荷の変遷

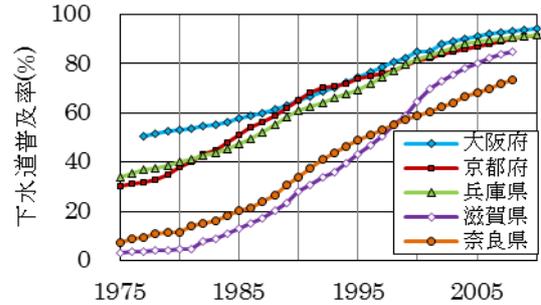


図-7 下水道普及率の経年変化

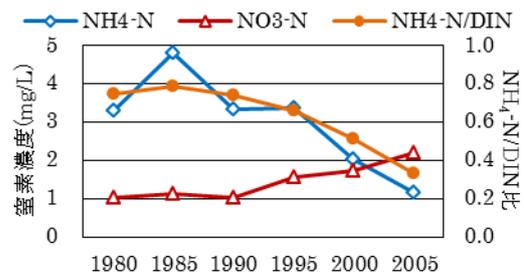


図-8 流入負荷の $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度と $\text{NH}_4\text{-N}/\text{DIN}$ 比の経年変化

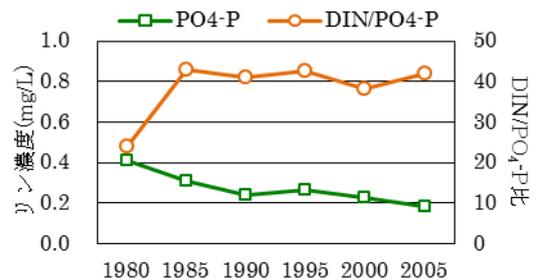


図-9 流入負荷の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度と $\text{DIN}/\text{PO}_4\text{-P}$ 比の経年変化

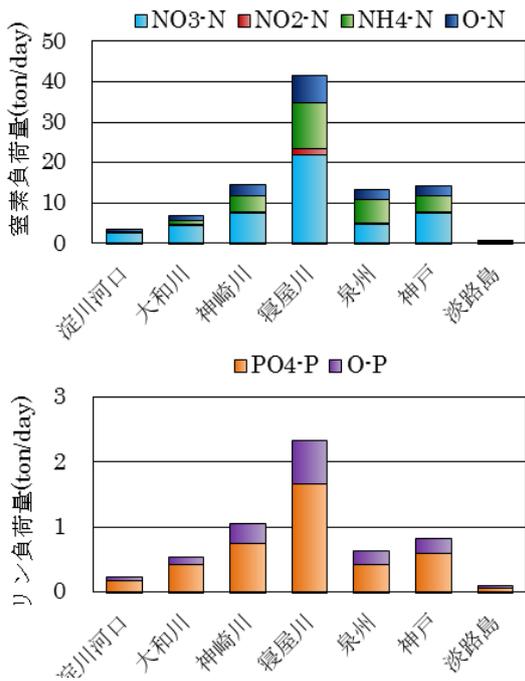


図-10 各流域からの河口流出負荷量 (2005年度)

大阪湾への流入負荷量の変遷と特性を定量的に把握するとともに、主要河川において出水時を含めた栄養塩フラックスの現地調査を実施し、大阪湾に流入する陸域負荷の実態を明らかにした。得られた主たる知見は以下とおりである (図-4～図-10)。

①2005年度における COD, TN, TP 流入負荷量は、それぞれ約 126ton/day, 約 95ton/day, 約 5.7ton/day と算定され、1980～2005年度までの 25年間で COD, TN, TP 負荷はそれぞれ約 50%, 40%, 65%削減された。

②1980～1990年度に O-N が減少し、1990年度以降は NH₄-N の減少と NO₃-N の増加が見られ、NH₄-N/DIN 比はこの 25年で 0.8 から 0.3 まで大きく減少した。また、DIN/PO₄-P 比は 1985年度に 25 から 40 まで大きく増加した。これまでの環境施策により、流入負荷の総量が削減されただけでなく、負荷の構成比にも大きな変化が生じた。

③淀川は最大の流域面積を有するが、取水や導水により河口流量がきわめて少なく、TN に関しては大阪湾に流入する平水負荷量の約 4%であった。一方、寝屋川流域 (大阪市内河川) からの流入負荷量は全体の約 40%を占めていた。なお、淀川の河川代表点である枚方地点での 2005年度の TN 負荷量は、大阪湾への総流入負荷の約 20%であった。

④寝屋川流域の A 処理区で CSO 調査を行った結果、CSO 負荷量は晴天日平均流入負荷量を上回り、晴天日平均放流負荷量に対しては窒素で約 3 倍、リンで約 7 倍に及んだ。CSO 負荷の構成は、窒素では NH₄-N と O-N が 90%以上、リンでは O-P が 80%以上を占めていた。

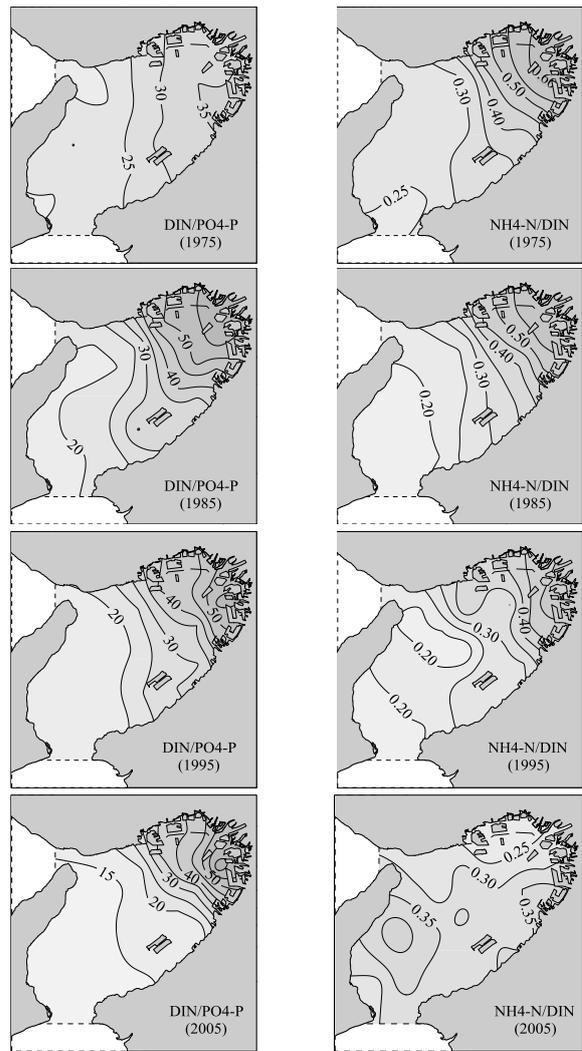


図-11 海域表層における栄養塩バランスの変遷

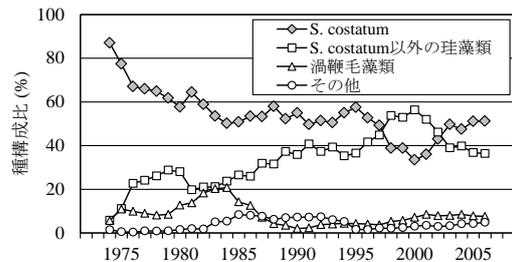


図-12 湾東部の植物プランクトン種構成比の変遷

(3) 海域環境の変化 (図-11～図-12)

海域観測資料を基に、陸域負荷の変化が海域環境に及ぼした影響について考察を行った。さらに、雨天時負荷を含めた陸域負荷の実態を明らかにするとともに、今後の下水道整備による負荷削減効果について評価を行った。得られた主たる結果は以下とおりである。

①長期にわたる人為的な負荷削減は、陸域から供給される栄養塩のバランスを変化させ、

湾奥部海域の水質構造と生態系の変質を引き起こした可能性が示唆された。

②大阪湾への年間陸域負荷量は、気象状況により T-N, T-P についてそれぞれ約±10%, ±20%の変動幅を有していた。また、総陸域負荷量に占める出水負荷の割合は、それぞれ7~23%, 14~42%と極めて大きいことが示された。

③現行の下水道整備施策の整備目標が達成された場合、窒素に関しては大幅な削減が予想されるのに対し、COD とリンについては今後大きな削減効果は期待できない。

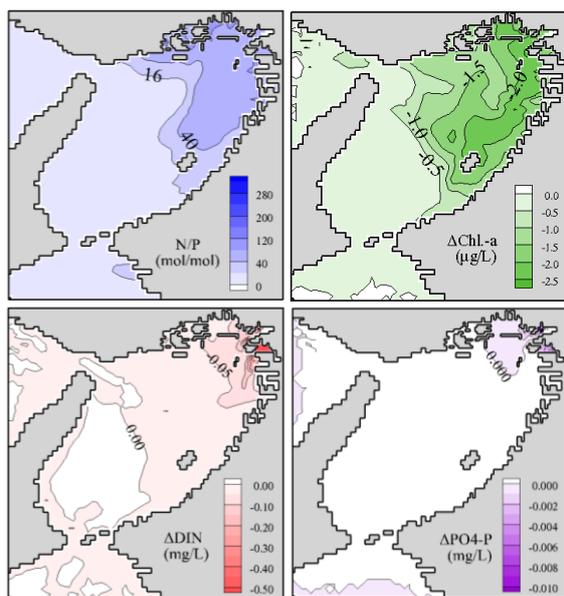


図-13 シナリオ A の解析結果

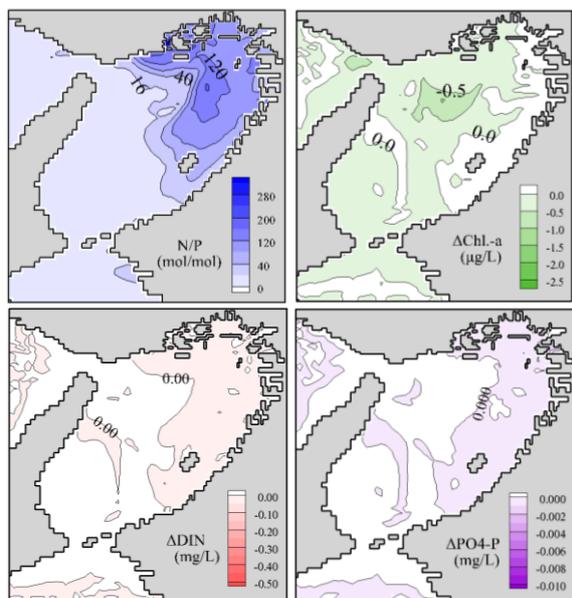


図-14 シナリオ B の解析結果

(4) 物質循環の管理方策の検討

底泥や外洋から供給される栄養塩量の変動が比較的小さい冬季を対象に、三次元数値シミュレーションにより海域の流動・水質場を再現するとともに、海域の物質循環管理に向けた陸域負荷の人為的制御策を提案し、その効果を検証した。得られた主たる結果は以下とおりである (図-13~図-14)。

①陸域負荷の変化に対する湾内水質の応答性について、三次元数値モデルを用いて解析したところ、今後の下水道整備(シナリオA)は湾東部における有機汚濁の改善にはあまり寄与しない結果が得られた。また、一方的な負荷削減は、海域の栄養塩バランスを変化させる可能性が示唆され、今後さらに慎重な検討が必要と考えられた。

②数値シミュレーションの結果、神戸港-淡路島間に位置する下水処理場からの窒素負荷の増大(シナリオB)は、湾西部海域の基礎生産力の向上にほとんど寄与しない結果が得られた。湾西部の水質環境には沖ノ瀬環流による拡散希釈効果が支配的であり、人為的な陸域負荷制御によって湾スケールの基礎生産力を向上させることは難しいと考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)すべて査読有

- ① 西田修三, 今岡知武: 淀川流域における複合循環系のケイ素輸送特性, 土木学会論文集 B1 (水工学), vol.68, 2012, pp.649-654
- ② 中谷祐介, 川住亮太, 西田修三: 大阪湾の物質循環管理に向けた陸域負荷の人為的制御に関する数値実験, 土木学会論文集 B1 (水工学), vol.68, 2012, pp.1621-1626
- ③ 中谷祐介, 今岡知武, 西田修三: 淀川・大和川における水質モニタリング指標を用いた物質輸送量の推定, 水工学論文集, vol.55, 2011, pp.1339-1444
- ④ 西田修三, 佐藤健太, 中谷祐介: 安定同位体比を用いた大阪湾および周辺海域における水塊特性の解析, 土木学会論文, B2 (海岸工学), vol. 67, 2011, pp.866-870
- ⑤ 西田修三, 前田瑛美, 今岡知武: 淀川水系の出水特性と物質輸送の解析, 河川技術論文集, vol.16, 2010, pp.317-322
- ⑥ 入江政安, 西田修三, 他 5 名: 硫化水素の発生・溶出に着目した水底質モデルによる貧酸素水塊の動態解析, 海岸工学論文集, vol.66, 2010, pp.1066-1070
- ⑦ 中谷祐介, 西田修三, 森川知波: 大阪湾における有機懸濁物質の沈降分解過程に伴う栄養塩の鉛直輸送, 海岸工学論文集,

vol.65, 2009, pp.996-1000

- ⑧ Nishida, S., Nakatani, Y and Irie, M : Impact Analysis of Rainfall on Water Quality and Primary Production in Osaka Bay, Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering, vol.27, 2009, pp.49-58
- ⑨ 西田修三, 前田瑛美, 吉田淳貴, 長澤稔郎 : 淀川流域圏の水質の変遷と下水道システムの影響解析, 水工学論文集, vol.54, 2010, pp.1339-1344
- ⑩ 中谷祐介, 西田修三 : 淀川・大和川における出水時負荷特性と陸域流入負荷の評価, 水工学論文集, vol.54, 2010, pp.1615-1620

〔学会発表〕(計9件)

- ① Yusuke Nakatani, Shuzo Nishida and Masayasu Irie : Influence of Kuroshio Meandering on the Nutrient Transport to Osaka Bay, The 21st ISOPE Conference, 2011年6月24日, Hyatt Regency Maui (USA, ハワイ)
- ② Masayasu Irie, Shuzo Nishida, Kyosuke Teranaka, Yohei Tsuji and Yusuke Nakatani : Modeling of Anoxic Mineralization Processes in the Sediments of Eutrophic Littoral Regions of Osaka Bay, The 21st ISOPE Conference, 2011年6月24日, Hyatt Regency Maui (USA, ハワイ)
- ③ 川住亮太, 中谷祐介, 西田修三 : 陸域負荷の変遷と大阪湾水質への影響, 土木学会関西支部年次学術講演会, 2011年6月12日, 関西大学(吹田市)
- ④ 吉田淳貴, 西田修三 : 淀川流域圏における流出負荷量の把握と下水道システム改善施策の評価, 土木学会関西支部年次学術講演会, 2011年6月12日, 関西大学(吹田市)
- ⑤ Kenta Sato, Yusuke Nakatani and Shuzo Nishida : Influence of the Kuroshio meander on the water quality in the eastern part of the Seto Inland Sea, International Symposium on ISOTOPE ECOLOGY, 2010年11月2日, COOP Inn Kyoto (京都市)
- ⑥ 今岡知武, 前田瑛美, 西田修三 : 大規模出水時における淀川と上流三川の栄養塩負荷特性, 土木学会関西支部年次学術講演会, 2010年5月22日, 京都大学(京都市)
- ⑦ 佐藤健太, 中谷祐介, 西田修三 : 大阪湾及び周辺海域における水塊の起源推定, 土木学会関西支部年次学術講演会, 2010年5月22日, 京都大学(京都市)
- ⑧ 吉田淳基, 前田瑛美, 西田修三 : 神崎川

流域における下水処理場の高度処理導入に関する検討, 土木学会関西支部年次学術講演会, 2009年5月23日, 神戸市立高専(神戸市)

- ⑨ 中谷祐介, 森川知波, 西田修三 : 大阪湾奥部における有機懸濁物質の動態解析, 土木学会関西支部年次学術講演会, 2009年5月23日 神戸市立高専(神戸市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西田 修三 (NISHIDA SYUUZOU)
大阪大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号 : 40172663

(2) 研究分担者

入江 政安 (IRIE MASAYASU)
大阪大学・大学院工学研究科・講師
研究者番号 : 00379116