

## 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25年 6月 7日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22760371

研究課題名（和文）

浅水空間の創出における適地選定法と効用評価の包括的アプローチ

研究課題名（英文）

Comprehensive approach for selection of suitable sites and valuation of utility in plans to create tidal flats

研究代表者

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

研究成果の概要（和文）：本研究では、浅水空間に創出される干潟・浅場の陸海双方への影響を包括的に評価するため、流動水質モデルと応用一般均衡モデルを同時に時間進行させ、海域における環境影響と環境規制に伴う陸域における経済学的影響を同時に評価する手法を構築した。この手法の構築により、人工干潟の造成を行い、造成前水質の維持が可能な範囲で陸域からの流入負荷の規制を緩和した場合、緩和される水質総量規制が大きな経済効果をもたらすことが示された。

研究成果の概要（英文）：Three dimensional water quality model and Computable General Equilibrium(CGE) model are combined to assess environmental and economic impact comprehensively. This new system simulates three dimensional distributions of various variables in water quality model and the production volume of multiple industries in CGE mode in parallel for decades. When mudflats are constructed and the previous water quality is maintained, the relaxation of total volume control from a coastal land area brings a large economic effect.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：沿岸域の水理・環境

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：干潟、浅場、環境影響評価、流動水質モデル、応用一般均衡モデル、大阪湾、経済評価

### 1. 研究開始当初の背景

浅場や干潟といった浅水空間についての本邦での研究は、浅場の水質浄化機能や物質収支、あるいは生物相・量を中心に行われている。研究代表者らも湾奥部の富栄養・貧酸素状態の水域における海浜・干潟の調査や干

潟を考慮した流動モデルの開発、浅水域の底質のモデル化と再現を行ってきた。これらの研究の中で、沿岸域の物質循環において最も重要なことの一つは、デトリタス（粒子態有機物）を水深の大きいところに沈降させないことであることが示唆されている。異常な一

次生産とそれに伴う貧酸素化の年間変動のループを断ち切るためには、底質の改良や浚渫窪地の埋め戻しなどより増殖するプランクトンを「落とさない」装置、つまり浅水域が必要である。これまで沿岸域における干潟や浅場の評価は、その水質浄化機能をはじめとする様々な機能そのものを評価する目的で、多く実施されてきた。しかし、そのような機能評価の観点に立った上で、内湾全体に及ぼす影響や内湾での適正配置を検討する手法については十分ではない。

その上、浅水空間を実際に造成しようとする、施策を実施するための科学的な根拠だけではなく、優先的に実施されるべき施策であることを示さなければならない。沿岸域は、陸域の人間活動の吐き口、(産業・人間活動を動脈としてみた場合の)陸から海への静脈の出口あるいは腎臓としての役割であった。しかしこれからは、漁業生産、海産バイオマスの利用、アメニティの享受などまさに多様な生態系サービスによる海から陸への動脈を強化し、石油や水産物などの資源高騰など外的要因にも耐えうる地力があり、魅力のある都市づくりが必要である。そのために、沿岸域の環境改善について、従来型の環境改善策の経済評価にとどまらず、環境改善が社会構造に与えるインパクトの評価を行い、公益性を明示する手法の開発が重要であると言える。

## 2. 研究の目的

浅水空間の計画から実現までの包括的評価手法の構築を目指すため、以下を研究目的とする。

(1)浅水空間の機能評価においては、浅場や干潟の生物化学的あるいは生態学的機能の定量化ではなく、海水と浅場空間の底質間(水底間)の物質交換に着目した窒素・リン・硫黄・酸素の物質循環について、実験及びモデルの構築により解明する。また、このとき、流動および水質シミュレーションへの観測データの利用法についても検討する。

(2)浅水空間の適正配置法の検討においては、昭和30年代からの地形改変および流入負荷量の変化を踏まえて、長期的な水質予測モデルを構築し、各時代・各水域において浅水空間を配置した場合の効果について適切な評価が可能なモデルを構築する。

(3)公益性の評価においては、陸域の社会経済に及ぼす影響を明らかにするため、動学的応用一般均衡モデルの構築を行う。

(5)以上の方法で、取りまとめられる事業実現に向けてのスキームを整理し、浅水空間創出に当たっての包括的評価手法を提案する。

## 3. 研究の方法

### (1)汚濁した底質の水質に与える影響解析

底泥からの栄養塩溶出量の推定についてはこれまで、湾奥の有機物が多く堆積し、貧酸素化の影響を受けやすい底泥を対象とすることが多いことから、全湾規模の底質調査を行った。対象領域は大阪湾とした。

また、底質モデルについては研究代表者らがこれまで大阪市内河川河口部や大阪湾浚渫窪地の底泥を対象に適用した底質モデルを適用し、溶出速度の推定を行った。この底質モデルは Wijsman et al.(2002)および Fossing et al.(2004)により構築されたものであり、底泥内の有機物の分解過程を詳細にモデル化したものであるが、このモデルに新たに、リン酸態リンの同粒子への吸脱着機構を組み合わせることで、底泥内のリン酸態リン分布の再現性を向上させた。

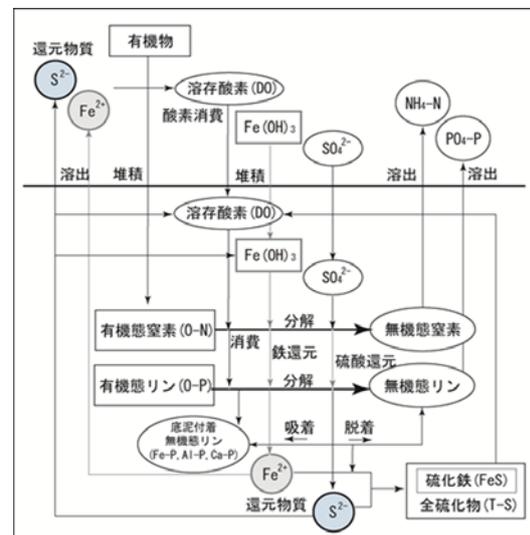


図-1 本研究で用いた底質モデルの概要図

### (2)現地データの同化手法に関する研究

大阪湾では、2010年4月より流速、水温、塩分、溶存酸素濃度、クロロフィルaおよび気象データの定点自動観測が行われるようになった。閉鎖性内湾における流動水質予測において、現地データを十分に活用することは最優先の事項であり、本検討でもその有効活用について検討を行った。具体的には、オープンソースの海洋モデリングシステム ROMS (Regional Ocean Modeling System) を用いて、4次元変分法による、観測された水温および塩分の鉛直分布のデータ同化を行い、それが水質予測に及ぼす影響を予測した。この検討は、底層における水質の再現性には、密度成層の再現性の確保が大きな役割を果たすことから、まずは密度成層の再現性を確保し、その再現性向上が水質予測に及ぼす影響を把握することを主眼としている。

(3)干潟の適正配置法の検討に必要な流動水質シミュレーションの開発

干潟が内湾の水質環境に及ぼす影響の評価には、長期の水質予測が必要である。また、場所や時期についても考慮されるためには、地形や水質、流入負荷の変化に追従できる長期予測水質モデルが必要である。そこで本研究では流動水質モデル EFDC (Environmental Fluid Dynamics Code, Hamrick, 1992, 1996) を用い、長期予測を行うこととした。水質モデルはチェサピーク湾水質モデル (CE-QUAL-IC) を基にした 21 の状態変数を持つモデルであり、状態変数の数は異なるものの、米国環境保護庁が開発している WASP5 とほぼ同等のものである (USEPA, 2013)。図-2 に水質モデルの構造を示す。

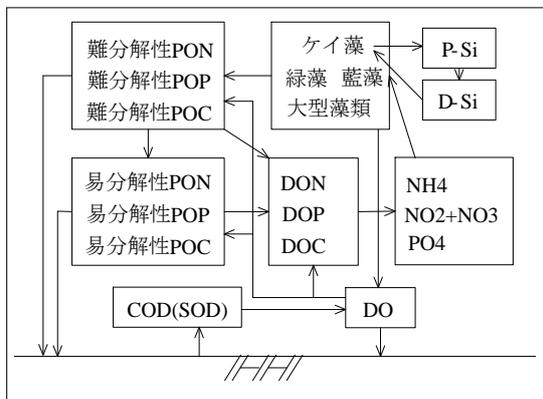


図-2 EFDC に組み込まれた水質モデルの概要図

ここでも再現対象領域は大阪湾とし、1950年～2000年までの長期の流動水質再現計算を行った。流入負荷は後述する産業連関解析および原単位法から算出される近畿2府4県の企業及び家計からの推定流入負荷量と西田ら (2012) による現地観測に基づく総流入負荷量の推定から勘案し、経年変化を持つよう再設定した。また、気象条件、開境界条件については簡便のため経年変化を与えず、周年変動のみを考慮した。また、内湾における水質の長期的変化には港湾施設の整備に伴う閉鎖性の強い水域の増大が大きな影響を及ぼしてきたことから、埋め立てによる海岸線の変遷を考慮している。

(4)陸域の社会経済への影響を明らかにするための応用一般均衡モデルの構築

干潟・浅場などの新たな造成が陸域の社会経済におよぼす影響の評価は、これまで非常に困難であった。海域環境は陸域経済の発展

に対して一方的に影響を受ける立場であったこともその一因に挙げられる。しかし、干潟・浅場の水質浄化機能や生態系保全機能に経済成長期の早期から着目していれば、干潟・浅場を保全し、その能力を維持・利用しつつ、排出負荷規制を緩和できる可能性もあったはずである。つまり、干潟・浅場の造成に伴う陸域経済への影響評価は、造成による排出負荷規制の緩和量とそれに伴う生産量の増加により代替的に評価することができる。そこで、陸域の企業及び家計への波及効果を検討できる応用一般均衡モデルを構築し、排出負荷規制と経済成長の関係を明らかにした。

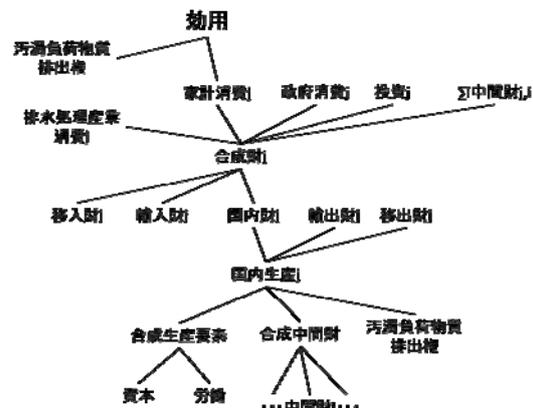


図-3 応用一般均衡モデルの概要図

本研究で構築した応用一般均衡モデルを図-3に示す。本研究で構築した応用一般均衡においては、生産要素と中間投入財と汚濁負荷物質を排出するために必要な排出権を用いて各企業が生産活動を行う。国内生産財を輸出・移出のために、国内財・移出財・輸出財に変形する。そして、国内財と移入財・輸入財を用いて、この地域で消費する域内財を生産する。域内生産された域内財の量と各主体で消費される財の量は、市場均衡条件で結びつけられる。また、家計は各企業で生産された域内財と汚濁負荷物質を排出するための排出権を購入して効用を得るものとする。家計や企業は市場において財や生産要素の取引を行い、その需要量と供給量が一致するように価格が決定する。ここでは、どの主体も自らが価格決定できない完全競争市場を想定する。企業の種類は15分類とし、家計や各企業が汚濁負荷を排出するために排出権なるものを購入する際に、支払う財や生産要素を用いて生産を行う排水処理産業を仮定する。さらに政府行動と投資・貯蓄、域外との取引による開放経済を導入する。また、域内の経済活動が域外に影響を与えない、小国経済を仮定する。

長期の影響を評価するため、本研究では逐次型動学モデルを採用した。逐次型動学モデ

ルは、各期、前期末資本ストックを所与とする静学均衡モデルの枠組みで解かれ、同時に決定される貯蓄・投資に基づいて期末の資本ストックが計算され、次期の計算に移行する。キャリブレーションに使用するデータは、1951年～2005年の近畿地域産業連関表から作成した社会会計表を用いる。以上のようなモデルを用いて、1951年～2005年までの長期計算を行った。検討ケースの一例として、汚濁負荷量について、

i) 現行規制

ii) 総 COD 排出量を 10%削減する規制

iii) 総 COD 排出量を 20%削減する規制

iv) 総 COD 排出量を 30%削減する規制

の規制を行った場合の域内 GDP に及ぼす影響を算定した。また、(3)で構築したモデルと連動したシミュレーションを行い、海域の環境基準を基に、排出規制をかけた場合の陸域への影響評価を行った。

#### (5) 包括的評価手法の適用

大阪湾奥部の淀川河口に 75ha、大和川河口に 150ha の人工干潟を 1980 年～1990 年に造成することを想定し、評価期間を造成後 10 年とした。海域における水質改善効果および陸域における経済損失の推定の両者ともに 1990 年から 10 年間の計算を実施する。この間、干潟の効果は懸濁態有機炭素・窒素・リンの除去量として織り込む。また、干潟の除去量は計算期間中変化しないものとした。そして COD を評価対象とし、干潟を造成しない場合と造成した場合の COD 改善効果を、地点において評価し、同様の効果を発揮する水質総量規制を、同様に水質シミュレーションにより推定する。次に、応用一般均衡モデルを用いて、水質総量規制による経済損失額を推定する。推定した規制を実施した場合の効果は干潟を造成した場合と同じであるが、干潟の造成を行った場合にはこの損失額は生じないものであるため、算定された損失額は、干潟造成事業の（造成を行う環境、経済状況により容易に変化する）経済価値であると考えられる。そして、算定した干潟造成事業の経済価値を、干潟造成の事業費の総額と比較することで、干潟造成事業の評価を行う。

### 4. 研究成果

#### (1) 汚濁した底質の水質に与える影響解析

底質モデルについては既存モデルに対し、リンの吸脱着の機構を追加している。現地調査の結果と合わせて、栄養塩の溶出速度についてモデル化を行った。図-4 に湾内数地点におけるリンの溶出速度を示す。この機構を加えたことによりリンの溶出速度が大きくな

り、同時に追加した生物による攪乱効果と比べても、その違いが顕著となっている。この底質モデルを追加した水質-底質モデルを用いて水質再現計算を行った結果、特に閉鎖性の強い神戸港、堺泉北港において、貧酸素化・無酸素化が進んでいることを再現することができた。

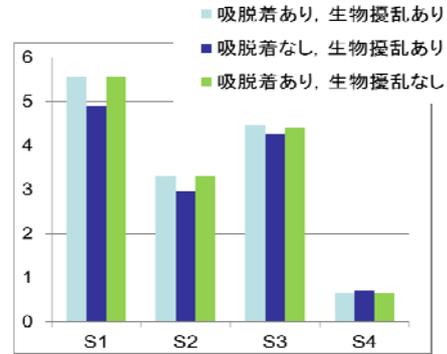


図-4 底泥内の各機構を改良した場合のリン溶出速度の変化

#### (2) 現地データの同化手法に関する研究

図-5 に観測データを同化に用いてない地点における塩分の鉛直分布について、データ同化を行った場合、行わない場合を示す。線で示すのは別観測による値である。本研究では同化方法として、4次元変分同化法(4D-Var)を用いており、4D-Varによるデータ同化は同化対象となる観測データがない地点においても、塩分鉛直分布が良く再現されていることが分かる。

また、同時に計算を行った水質計算において

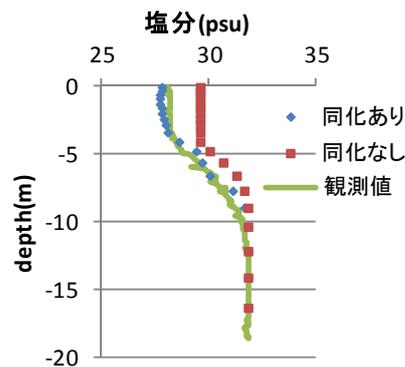


図-5 塩分鉛直分布に及ぼす同化の効果

も、水質項目の再現性向上の効果が認められた。図-6には湾奥の横断線における DO (溶存酸素濃度) の断面分布を示す。この分布は 6 日間の同化計算を行った後の分布である。水温・塩分データの同化を行った結果、塩分成層が強化され、DO の上層から供給量が抑制されるとともに、塩分成層の水深が変化し

たことにより、底層の貧酸素水塊（図に示す灰色部）の厚さが厚くなっている地点があることが分かる。本研究のような包括的評価の手法開発においても、物理場の再現性向上といった基礎的な面からの検討の積み上げが重要であることが示唆された。

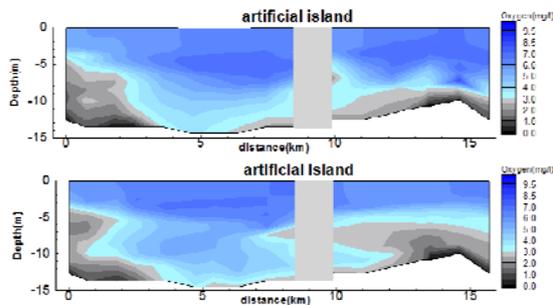


図-6 DO横断面分布  
(上：同化なし、下：同化あり)

(3)干潟の適正配置法の検討に必要な流動水質シミュレーションの開発

1950年からの2010年までの60年間の長期水質計算結果の一例として、図-8に湾東部の一地点における表層におけるCODの経年変化を示す。線は計算結果を、点は観測結果を示している。全体の傾向および数値の再現性は良好である。最も流入負荷の大きい1970年に海域のCOD濃度も高くなり、その後規制によりCOD濃度が減少している傾向が再現されている。

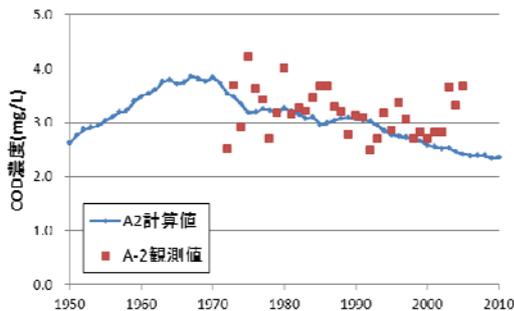


図-7 表層におけるCODの経年変化

(4)陸域の社会経済への影響を明らかにするための応用一般均衡モデルの構築

3. (4)で示した各シナリオにより排出規制を実施した場合の近畿地域の実質総生産の推移を図-8に示す。1960年～1970年にかけて総COD排出量を30%削減した際に、実質総生産額は1970年の単年で約0.5%の損失であり、約3500億円の損失が生じる。1970年の排出負荷が最も大きいのにに対し、1963年に生産額変化率が一番低下するのは、1963

年の総生産額と1970年の総生産額を比較すると、1970年の方が大きいので、割合にすると1963年の方が大きい値を示しているためである。

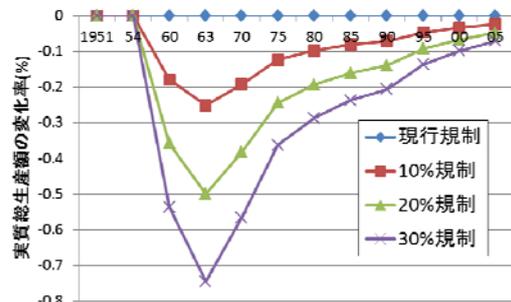


図-8 各シナリオにおける単年ごとの実質総生産額の変化率(%)

また、湾奥部の基準点の表層CODが5mg/lを超えないよう排出規制をかけた場合の近畿地域実質生産額の変化を図-10に示す。手法2は一度基準値を超えた場合はその規制排出負荷量をもとの後変更しない場合、手法1は、海域のCODに基準以上に改善が認められた場合、排出負荷量の規制を緩和する場合を示す。手法1の場合、COD排出規制を実施した場合は2005年時単年度における実質生産額の変化は約427億円と算出された。この結果から、規制が始まった30年先においても、その影響は大きく残っていることも算定することができた。また、手法1と手法2とでは、2005年時における影響は実質生産額の変化額と等価変分を合計して約26億円の差が生じる。これはつまり、海域の環境に連動させて、積極的に排出規制を変化させれば、約15haの人工干潟を造成も可能であるということを示している。

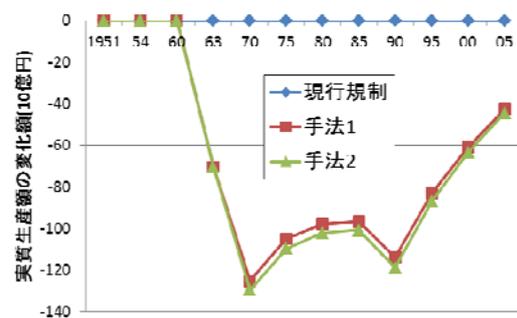


図-9 湾奥部CODを5mg/lとする規制をかけた場合の実質生産額の変化額

(5)包括的評価手法の適用

干潟を造成した場合、造成しない場合の評価地点におけるCOD、T-N、T-Pおよび、各

項目の差の10年間平均値を表-1に示す。結果、干潟を造成しない場合と比べて、対象とした3点の平均値として、CODが0.04 mg/l、T-Nが0.002 mg/l、T-Pが0.0002 mg/l減少した。これと同様の効果を発揮する水質総量規制を推定するために、まず3.(3)に示したモデルにより10~30%の6ケースの水質総量規制を実施した場合の水質変化予測を行った。同じく対象とした3点のCOD濃度の改善量の10年間平均値を用いて、近似直線を求めた。想定した干潟と同等の効果を持つ総量規制は1990~1999年COD排出量を18.7%削減する規制であると推定される。そして、18.7%の規制を実施した際の経済損失額を応用一般均衡モデルで算定した結果、近畿地域における生産額の損失は、10年間で4780億円となった。

表-1 干潟を造成した場合、しない場合のCOD、T-N、T-Pおよびその減少量(mg/l)

		神戸沖	堺沖	湾央部
COD	干潟なし	3.152	2.235	1.382
	干潟あり	3.135	2.140	1.373
	減少量	0.017	0.095	0.008
T-N	干潟なし	0.7695	0.5819	0.3716
	干潟あり	0.7688	0.5776	0.3714
	減少量	0.0007	0.0043	0.0003
T-P	干潟なし	0.0732	0.0669	0.0496
	干潟あり	0.0731	0.0664	0.0495
	減少量	0.0001	0.0005	0.0001

干潟の造成費および維持費の検討に際しては、経済産業省関東経済産業局(2007)によって整理された干潟・浅場造成等の事業費の値を用いた。これらの値から、造成費を(1億5000万円/ha)、維持費を(1)干潟の監視、調査費等(5億円/年)、(2)干潟の保全・改良工事費用等(40億円/年)、年間割引率を4%とし、合計額を算出した。造成および維持の総額は1990年における貨幣価値で最大約809億円となった。想定した干潟の造成・維持費用は、推定された経済価値に比して小さいと言える結果になった。干潟の劣化の影響を考慮していないことなどにより、推定された干潟の経済価値が正確な値を示していない可能性も考えられるため、その点について今後更なる検討が必要である。しかし、沿岸海域・陸域の双方の変化を面的に評価しようとする手法はほとんど例がなく、今後、このような評価法についてより詳細な検討がなされるべきである。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① 入江政安、辻陽平、岡田輝久、西田修三、

4次元変分法を用いた水温・塩分定点観測データの同化法に関する検討、土木学会論文集B3(海洋開発)、査読有、Vol. 68、No. 4、(2012)、pp. I\_1007-I\_1012

- ② 入江政安、西田修三、辻陽平、岡田輝久、4次元変分データ同化法を用いた密度分布と水質の再現性向上、土木学会論文集B2(海岸工学)、査読有、Vol. 68、No. 2、(2012)、pp. I\_446-I\_450.

〔学会発表〕(計4件)

- ① 井田洋介、加藤秀一、入江政安、西田修三、流動水質モデルと経済モデルを用いた干潟造成事業の経済学的評価に関する検討、平成25年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集、II-25、2013. 6. 8、大阪市立大学
- ② 岡田輝久、入江政安、西田修三、沿岸海洋モデリングシステムROMSへの改良底質モデルの適用、平成24年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集、II-12、2012. 6. 9、神戸市立工業高等専門学校
- ③ Irie, M., S. Nishida, K. Teranaka, Y. Tsuji and Y. Nakatani, Modeling of Anoxic Mineralization Processes in the Sediments of Eutrophic Littoral Regions of Osaka Bay, Proceedings of the Twenty-first (2011) International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE 2011), pp. 879-886, 2011年06月、ハワイ
- ④ 加藤秀一、入江政安、田淵貴久、近畿地方における経済成長に水質総量規制の及ぼす影響の環境経済学的評価、平成23年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集、VII-7、2011. 6. 12、関西大学

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

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