

1. 研究目標及び研究成果の概要

課 題 名 : 閉鎖性湾域における外的環境変動が内湾環境に及ぼす影響と応答機構の解明に関する研究

研究機関名 : 港湾空港技術研究所

任期付研究員氏名 : 野村 宗弘

【研究目標】

閉鎖性湾域への河川からの流入負荷、内部生産、底層環境への物質輸送の定量化を行う。すなわち河川水の流入、赤潮、底層の貧酸素化のプロセスを簡易な生態系モデルを通じて表現することにより局所的な赤潮の発生の状況について検証を行う。次に湾域の広域的な水質の長期連続観測を行うと同時に最新の観測技術である短波海洋レーダを用いて湾内の広域的な流況を把握する。これら水質・流れ場の観測データを活用する形で湾内全域の流況モデルを構築後、青潮発生メカニズムの解明、赤潮の発生・青潮の影響水域についての検討を行う。さらに今後造成の機会が増えると予想される浅海域や干潟による水質浄化機能を効果的に発揮させるためにも干潟における栄養塩などの収支についての現象解明を行う。最終的には、上記モデル群と統合することにより、湾内の水質改善に寄与できる造成干潟等の配置に関する評価を目指す。

【研究成果】

閉鎖性湾域において人間活動による生態系に対する影響をモニタリングし、評価・予測する技術で重要な鍵となるのが、物質を運び、影響を伝播させている流れである。内湾域には、様々な規模の流れが存在し、物質をトラップしたり、湧昇や沈降を促進したりするなど、沿岸環境の重要な支配要因の一つとなっている。内湾環境を議論する上で重要な環境因子である流れ場の現状の把握がまず重要なテーマとなる。そこで内湾域の環境を総合的に捉えるために、海洋短波レーダ、超音波ドップラー式流速計といった最新の海洋観測機器を用いて東京湾における海水流動を観測し、湾内全域の流動場の計測を行った。

次に東京湾の夏期において海上観測ならびに長期連続係留観測などの現地観測を実施し、湾奥部における水質特性を整理するとともに、塩分(晴天時、降雨時といった外的環境変動)に対する栄養塩やクロロフィルaなどの各水質指標の依存性について示した。これら現地観測データを用いて、藻類量の増加現象(赤潮状態)について空間分布が評価できる生態系モデルを構築した。

さらに湾内への水質浄化の波及効果を考えた場合、干潟域を直接覆う水塊および隣接海域との相互作用を把握することは、今後、干潟造成の効果の予測やその最適な配置を議論する上でも重要な課題とされる。すなわち隣接する海域も含めて広域的な観点から物質循環の解明を目指していくことが必要とされる。ここでは、潮間帯ならびに沖合といった干潟の岸沖方向での観測を実施するとともに現地での栄養塩収支実験を通じて、潮汐に伴う直上水の時間的・空間的な水質特性について整理した。

2. 研究実施計画

課題名： 閉鎖性湾域における外的環境変動が内湾環境に及ぼす影響と応答機構の
解明に関する研究
研究機関名： 港湾空港技術研究所
任期付研究員氏名： 野村 宗弘

①研究の意義・目的・必要性

我が国の沿岸域は、近代日本の都市活動や産業活動に対して様々な場を提供してきた。いまや、高密度で広範囲の様々な利用が錯綜し、社会的なコンフリクトを招く結果となっている。そこで総合的な内湾環境管理の社会要請が強まってきている。平成11年6月の環境影響評価法の制定後、沿岸域開発に対する環境影響緩和を目指した代償措置の技術開発が議論されるようになった。この中で、大規模な公共事業は環境アセスメントが義務づけられるとともに、環境への影響をできる限り小さくすることが義務づけられている。こうした法律施行の背景には、公共事業の実施に環境配慮を強く求められているという社会トレンドがあり、それへの対応が急務となっている。

本研究は、閉鎖性湾域の富栄養化対策を検討する上で基本をなすものであるが、湾内の流れは密度流・吹送流などが複合し、外海からの影響も受けて極めて複雑である。この中で非保存系物質である栄養塩、溶存酸素やCODの挙動を把握することは極めて困難である。閉鎖性湾域における水質改善の具体的な方策は幾つか想定することができるが、それらの方策が現実の湾内水塊の中で工学的に有効であるかどうかを判断するためには、実際の現象を正しく把握する必要がある。本研究では、陸域からの負荷が湾内に及ぼす影響を評価するとともに湾内での栄養塩循環を把握し、健全な湾内環境維持のための方向を探る。

近年、沿岸域の観測技術の目覚ましい向上が見られている。数km²の表層流速を観測する機器が開発されつつあり、水温・塩分などの連続観測が長期間にわたり可能となってきた。生化学的な現象と物理学的な条件や因子との関連を特に意識し、こうした知識の融合により、内湾域の物質循環、特に沿岸域における物質循環機構の解明を図り、内湾環境の構造を把握しようとするものである。こうした知識に裏打ちされることによって、内湾の継続的利用という社会要請に答えられるようになるものと思われる。

②研究計画・内容(方法も含む)

内湾の環境変動は、外海、陸域、気象を境界として決定付けられている。各々が大きく要因を占めているが、本研究では陸域からの流入負荷が内湾に及ぼす影響について検討する。湾内で特に問題とされている貧酸素水塊は、湾内が成層化され鉛直循環が乏しくなる夏季の底層において形成される。その原因として、航路浚渫跡地など地形的な要因がいわれるが、その他にも海域表層から底層に供給される有機物負荷の影響が大きいと考える。この有機物は、河川から直接供給されるものよりも窒素やリンなどの栄養塩類をもとに内部生産されたものの割合が大きいとされる。湾内に流入する栄養塩類は、流入河川からのものが支配的であり、河川流量あるいは季節により栄養塩流入量は変化する。特に降雨時の流入量は、平常時の数十倍から数百倍であり内湾の有機物生産に与える影響は大きい。こうした降雨時には、植物プランクトンが異常増殖した赤潮状態となり、数日後に沈降・分解し、底層の貧酸素化を招くといわれている。しかし、これら一連の過程が数時間もしくは数日間レベル

で生じるのかといった時間的スケール、湾内のどこで生じているのかといった空間的スケールについては、詳細に議論された例がない。また、貧酸素水塊の消長についても同様のことがいえる。そのためには、平常時、降雨時、降雨後に広域な水質観測を行うとともに現場観測と数値計算を併用してモデル解析を進める必要がある。具体的には、湾奥部の定点において水質の短期的な反応を理解するための集中観測を実施する。特に沈降物質に着目し、表層からの物質輸送を定量的に評価することにより、底層環境への栄養塩、溶存酸素フラックスの把握を行う。集中観測では栄養塩などについても連続モニタリングできるような多層水深での自動連続採水が可能な手法を検討する。こうした降雨に伴う河川からの流入負荷の増加は、底層の貧酸素化に大きく寄与していると考えられ、河川由来の外部負荷との因果関係を明らかにすることが、短期的に変化する内湾環境変動を解明する一つの重要な課題といえる。これら集中観測を軸とした生物・化学的な議論に加え、同時に行う広域的な評価を通して局地的な観測結果の理解を深めることを可能とする。そのためにも、これら局所的な観測だけではなく、湾全域を見据えた議論のための広域的かつ連続的な観測が必要となる。

そこで湾内の流況を詳細に把握するために、内湾水塊構造の規定要因を生成する地形に着目し、湾口部、渦流域、水道部、航路、湾内狭窄部に水温・塩分の連続観測ができるセンサーを投下するとともに表層流が測定できる短波海洋レーダを用いた観測を行う。また、流動の鉛直構造把握のため超音波ドップラー流速計なども並行して現場に設置する。こうした大規模な観測網による精緻な観測と数値モデルを適用することにより、湾内における3次元的な水塊の移動、特に外洋水の差込現象、河川水の表層流出の機構を把握することが出来る。加えて、先に明らかにされた栄養塩フラックスを湾域レベルまで拡張することにより、赤潮の発生・青潮の影響水域の検討を行う。

これまで干潟や藻場の水質浄化に関する研究事例は、数多く報告されているが、今後これらの研究テーマを取りまとめ、浅海域が内湾域にどの程度寄与しているのか、影響する水塊の規模や程度を評価していく必要がある。このような広域的な物質輸送の理解が進めば、今後、閉鎖性湾域における水質改善に向けて、干潟や藻場を人工的に造成する際、場の持つ能力を十分発揮できるような配置問題についても言及したい。

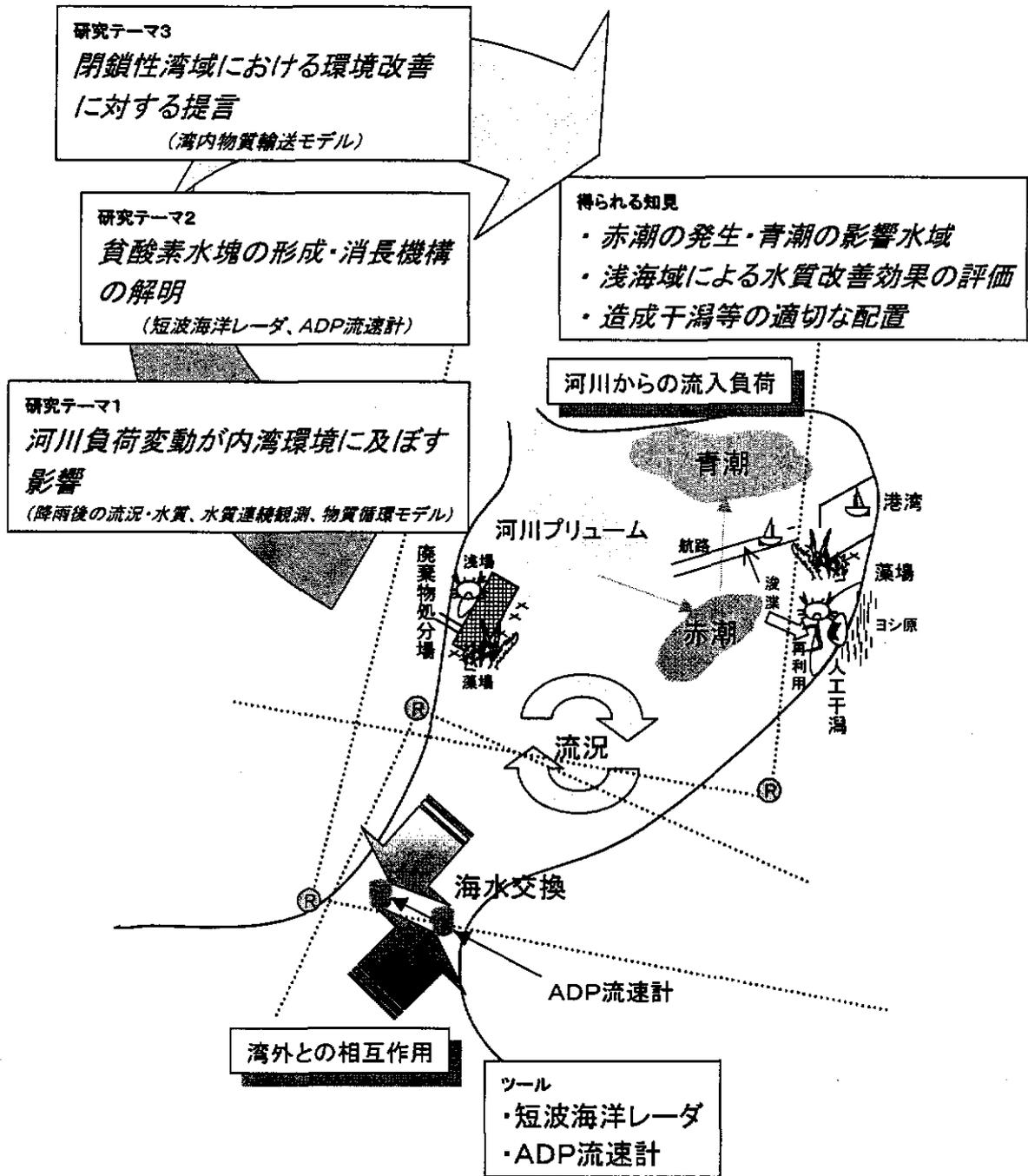
③研究の目標

閉鎖性湾域への河川からの流入負荷、内部生産、底層環境への物質輸送の定量化を行う。すなわち河川水の流入、赤潮、底層の貧酸素化のプロセスを簡易な生態系モデルを通じて表現することにより局所的な赤潮の発生の状況について検証を行う。

次に湾域の広域的な水質の長期連続観測を行うと同時に最新の観測技術である短波海洋レーダを用いて湾内の広域的な流況を把握する。これら水質・流れ場の観測データを活用する形で湾内全域の流況モデルを構築後、青潮発生メカニズムの解明、赤潮の発生・青潮の影響水域についての検討を行う。

さらに今後造成の機会が増えると予想される浅海域や干潟による水質浄化機能を効果的に発揮させるためにも干潟における栄養塩などの収支についての現象解明を行う。最終的には、上記モデル群と統合することにより、湾内の水質改善に寄与できる造成干潟等の配置に関する評価を目指す。

④ポンチ絵(研究概要)



3. 所要経費の推移

課 題 名 : 閉鎖性湾域における外的環境変動が内湾環境に及ぼす影響と応答機構の
解明に関する研究

研 究 機 関 名 : 港湾空港技術研究所

任 期 付 研 究 員 氏 名 : 野村 宗弘

(単位:百万円)

11年度	12年度	13年度	合計
15	13	14	42

4. 研究成果

課 題 名 : 閉鎖性湾域における外的環境変動が内湾環境に及ぼす影響と応答機構の
解明に関する研究
研究機関名 : 港湾空港技術研究所
任期付研究員氏名 : 野村 宗弘

①研究成果

閉鎖性湾域において人間活動による生態系に対する影響をモニタリングし、評価・予測する技術で重要な鍵となるのが、物質を運び、影響を伝播させている流れである。内湾域には、様々な規模の流れが存在し、物質をトラップしたり、湧昇や沈降を促進したりするなど、沿岸環境の重要な支配要因の一つとなっている。内湾環境を議論する上で重要な環境因子である流れ場の現状の把握がまず重要なテーマとなる。そこで内湾域の環境を総合的に捉えるために、海洋短波レーダ、超音波ドップラー式流速計といった最新の海洋観測機器を用いて東京湾における海水流動を観測し、湾内全域の流動場の計測を行った。

1) 海洋短波レーダは十分な交差角を得られる領域において、高精度に表面流速を測定する方法であることが示された。また、2つのレーダが交差していない領域においても、有効な流速データを得るための新たな解析方法を提案し、画的に測定領域を拡大することが可能となった。

2) 観測結果を通しては、湾口部、湾奥部の流動の様子を長期間にわたり高密度・高精度に測定することにより、様々な流動構造が発見され、特に湾奥部に存在する循環流、湾口部に存在する地形性の渦流動に関しては、それ自身の構造や海水交換に寄与する過程が検討された。

3) 海洋レーダ観測により、成層期における東京湾湾奥部の表層水流況の様子が確認され、出水時等の流れの状況が明らかとなった。さらに湾奥部で淡水塊が循環し、沿岸環境を支配している可能性が示唆できた。

次に東京湾の夏期において海上観測ならびに長期連続係留観測などの現地観測を実施し、湾奥部における水質特性を整理するとともに、塩分(晴天時、降雨時といった外的環境変動)に対する栄養塩やクロロフィルaなどの各水質指標の依存性について示した。これら現地観測データを用いて、藻類量の増加現象(赤潮状態)について空間分布が評価できる生態系モデルを構築した。

1) 湾奥の栄養塩と塩分は相関が強かった。溶存態窒素、全窒素および全リンは塩分の増加に伴い減少するが、リン酸態リンは塩分の増加に伴い減少と増加の2つの傾向を持った。リン酸態リンと塩分の関係を東京側と千葉側に水域分けすると、東京側ではリンは塩分の増加に伴い減少、千葉側では減少傾向を示した。

2) 湾奥のChl-aを塩分に対して整理すると、塩分18~20付近で個体数のピークを示した。また、珪藻、渦鞭毛藻、大型動物プランクトンおよび微小動物プランクトンに対しても塩分20付近で個体数のピークを示した。

3) 数値計算の結果から東京側は淡水からの栄養塩供給が主であり、千葉側は底層から溶出した栄養塩の湧昇が主であることが示された。

4) 静水圧モデルを用いた計算では、流入河川水の湾内での挙動を精度良く解くことができず、水平方向に過剰に拡がった結果となった。また、静水圧モデルでは成層化したときに鉛直混合が過小評価され、千葉側の湧昇を表現できなかった。静水圧モデルでは、湾奥の塩分およびChl-aは、低塩分、高

濃度 Chl-a に見積もられる傾向があった。

5) 水理的構造が複雑な河口沿岸の水域においては、簡易な生態系モデルに対しても非静水圧モデルを使った方が高精度な計算結果が得られた。

さらに湾内への水質浄化の波及効果を考えた場合、干潟域を直接覆う水塊および隣接海域との相互作用を把握することは、今後、干潟造成の効果の予測やその最適な配置を議論する上でも重要な課題とされる。すなわち隣接する海域も含めて広域的な観点から物質循環の解明を目指していくことが必要とされる。ここでは、潮間帯ならびに沖合といった干潟の岸沖方向での観測を実施するとともに現地での栄養塩収支実験を通じて、潮汐に伴う直上水の時間的・空間的な水質特性について整理した。

1) 潮間帯における観測から、冠水時に DO, pH および有機態窒素・リンは、沖側で高く、岸側で低くなった。DIN, $PO_4\text{-P}$ は逆の分布となる結果が得られた。下げ潮時には岸沖方向に水質勾配を持った水塊が潮汐に応じて移流するため、定点観測においては DIN, $PO_4\text{-P}$ 濃度が増加することが分かった。

2) 干潟からの窒素・リン収支を解析した。その結果、TN, TP については、夜間に干潟から放出、昼間では吸収となった。また、昼夜を問わず、沖合からは有機態窒素・リンの流入、干潟からは無機態窒素・リンの流出の傾向が明らかとなった。ただし、干出時間帯が日昼か夜間かによって栄養塩収支が影響されることが示唆された。

3) 上げ潮初期段階において汀線付近での巻き上げ、一時的な底泥からの溶出フラックスの増加が干潟域の水質分布に影響を及ぼしている可能性があり、それらを定量化する必要性が示された。

4) 干潟汀線水の水質特性として、上げ潮に伴う巻き上げや一時的な溶出量の増加により藻類に代表される懸濁物や無機栄養塩が時間経過とともに徐々に蓄積しながら、岸に近づくことが確認され、このことが岸沖方向の濃度勾配を形成する要因の一つとして示された。さらに汀線水の濃度は天候に影響を受ける可能性が分かった。

② 波及効果、発展方向、改善点等

任期付研究員として、中心に実施した干潟の水質浄化に関する研究テーマについて述べる。

広域的・連続的というキーワードの下に干潟直上水の水質変動の現象解明、強いては干潟の水質浄化機能の評価を試みた。無機態栄養塩について、特に上げ潮初期段階において直上水中に放出が生じていることが示されたが、その原因としては現時点では未解明であり、本稿で提唱した一時的な溶出フラックスの増大の他にも巻き上げの効果、直上水の流速の考慮や底生生物の寄与などが考えられる。今後、各々の寄与分を明らかにするとともに、特に干出した干潟泥面中での無機栄養塩の蓄積速度や冠水直後に一時的に増加すると予想される溶出フラックスの定量的把握を干出時間帯(昼間・夜間)の違いや干出時間の長さについてのパラメータ化に向けて現地データの蓄積が必要と思われる。以上の検討を通じて干潟浄化能力の算定に向けた汎用性手法の確立が可能になるものと期待される。また、この水質変動の詳細な機構は、沖合から流入してくる有機物の取り込み(捕食や沈降)、光合成に伴う栄養塩類の吸収など、二枚貝、付着藻類や微生物をはじめとする生物化学的な作用が大きく効いており、これらの役割を整理することも大きな課題の一つといえる。

さらに干潟流出水が沖合で光合成など再利用されて再び有機物の形で干潟内に流入してくるか、あるいは全く別の水塊が流入して来るかなど、我々が水質の浄化能力を期待する中で湾内に対する寄与、湾域のどの範囲までまたどの程度浄化されるのかが最も大きいとすれば、沖合と干潟との相互作用の関係を明確にすることが最終的な目標とされる。そのためにも観測点を沖合に延長するなど観測範囲を拡げての検討や数値計算による評価において本稿で指摘した冠水と干出を繰り返す干潟上での特異的な現象をモデル上考慮することが重要と思われる。

東京湾を閉鎖性湾域の対象として、湾内における水質特性・流れ場の把握、生態系モデルの開発、干潟の水質浄化能力の算定について各々の研究を実施してきた。今回、最終的な目標に掲げた浅海域による水質改善効果の評価および人工干潟などの適切な配置問題への提言までは十分言及できなかった。しかし、目標に向けての閉鎖性湾域の環境変動について幾つかの有益な情報が明らかになるとともに今後の課題も整理することができた。このように詳細な湾内の物質循環が解明され得る研究手法が確立され、次の目標である「人間活動による生態系への影響をモニタリングし、評価・予測する技術の開発」への糸口が見え始めたといえる。今後はこれら研究内容が統合され、湾内循環と個々の生態系との関連、湾内環境の総合的評価などに向けて研究が進展していくことを期待したい。

5. 研究成果公表等の状況

課 題 名 : 閉鎖性湾域における外的環境変動が内湾環境に及ぼす影響と応答機構の
解明に関する研究
 研究機関名 : 港湾空港技術研究所
 任期付研究員氏名 : 野村 宗弘

1. 研究発表等

(1) 研究発表件数

	原著論文による発表	左記以外の誌上発表	口頭発表	合 計
国内	4	3	8	15
国外	0	0	2	2
合計	4	3	10	17

注) 件数は既発表分及び投稿中のものを合計した数を記入

(2) 原著論文による発表の内訳

1) 国内[発表題名, 発表者名, 発表誌名等(雑誌名, 巻, 号, 頁, 年 等)]

(計 4 件)

1. 大潮・小潮期における湾外水の影響, 中山恵介・岡田知也・野村宗弘・日比野忠史・細川恭史・古川恵太, 海岸工学論文集, 47, 1, pp.421-425, 2000.
2. 東京湾の大潮—小潮期における残差流変動, 清水 学・柳 哲雄・野村宗弘・古川恵太, 海の研究, 10, 5, pp.413-422, 2001.
3. 東京湾湾奥における表層の植物プランクトンに対する底層栄養塩の影響, 岡田知也・中山恵介・野村宗弘・古川恵太, 海岸工学論文集, 48, 2, pp.1086-1090, 2001.
4. 盤洲干潟における潮汐に伴う水質変動に関する現地観測, 野村宗弘・中村由行, 水環境学会誌, 25, 4, pp.217-225, 2002.

2) 国外[発表題名, 発表者名, 発表誌名等(雑誌名, 巻, 号, 頁, 年 等)]

(計 0 件)

(3) 原著論文以外による発表の内訳

1) 国内[発表題名, 発表者名, 発表誌名等(雑誌名, 巻, 号, 頁, 年 等)]

(計 3 件)

1. 東京湾における密度構造の変化と流れ場—黒潮の流れと東京湾—, 日比野忠史・野村宗弘・岡田知也・古川恵太, 港研報告, 39, 1, pp.25-55, 2000.
2. 東京湾湾奥部におけるChl-a(植物プランクトン量)空間分布評価モデルに関する研究, 岡田知也・中山恵介・野村宗弘・寶田桂一・宮野 仁・古川恵太, 港研資料, No.1003, 2001.
3. 盤洲干潟における潮汐に伴う栄養塩収支に関する現地観測, 野村宗弘・小沼 晋・桑江朝比呂・

三好英一・中村由行, 港研資料, No.1023, 2002.

2) 国外[発表題名, 発表者名, 発表誌名等(雑誌名, 巻, 号, 頁, 年 等)]

(計 0 件)

2. 特許出願等[件名, 出願者氏名, 出願年月日, 特許番号 等]

(計 0 件)

3. 受賞等[件名, 受賞者氏名, 受賞年月日 等]

(計 0 件)