

水工学シリーズ 10-B-4

閉鎖性内湾域における生態系の
再生・管理のためのデータ活用

国土交通省 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

古川 恵太

土木学会
水工学委員会・海岸工学委員会

2010年8月

閉鎖性内湾域における生態系の再生・管理のためのデータ活用

Strategic Data Handling for Ecosystem Restoration and Management in Enclosed Bay

古川 恵太

Keita FURUKAWA

§ 1. はじめに

従来、海域環境のデータは、専門家が研究や事業監視のため、専門技術を駆使してモニタリングを行い、その結果を肅々と蓄積していくこと自体が目的であるといったイメージがあったことは否めない。

しかし、それは、海域環境データの利活用のモニタリングの一面だけを捉えたものである。本来、海域環境のデータは、環境再生の包括的な目標の実現のために、水質・底質・生態系といった様々な環境要素や、時間的・空間的な広がりをもった場について、その特性・メカニズム解明に必要な情報を、適切な形で提供できるように、過去、現在、未来の情報を包括的に抽出するシステムの中で活用されるべきものである。すなわち、海域環境データは、そうしたモニタリングシステムの中において、環境データベース、現地観測（モニタリング）、数値モデルと不可分に利活用できることが求められている。

本稿においては、様々なスケール・視点からの海洋環境の捉え方（2章）、貧酸素水塊の把握などを対象とした閉鎖性内湾域における戦略的なデータ整備（3章）、生物生息環境を中心とした生態系の再生・管理のためのデータ取得（4章）について示すことで、閉鎖性内湾域における生態系の再生・管理のためのデータ活用について論じたい。

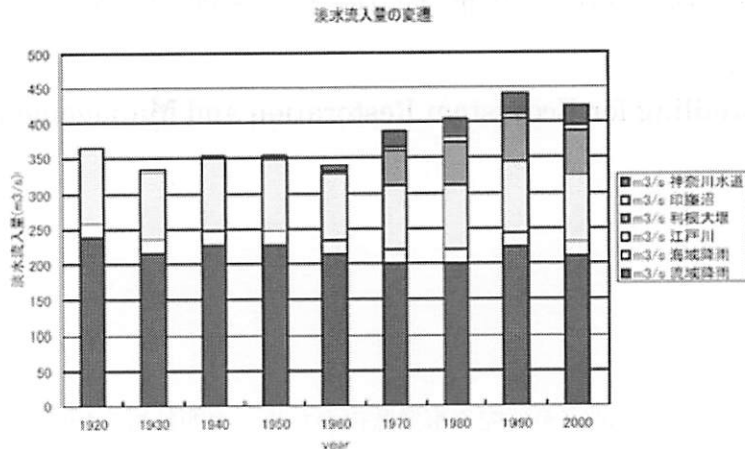
§ 2. 様々なスケール・視点からの場の理解

閉鎖性内湾の環境保全、再生、創出のためには、様々なスケール・視点からの場の理解に基づく目標設定が不可欠である。ここでは、東京湾を例として、その水循環や生態系など保全、再生、創出を目指す場合の環境データの取得について、流域圏、生態系ネットワーク、生き物の棲み処という視点から示す。

2.1 流域圏という視点

陸上に降った雨が、分水嶺から河川水や地下水として関東平野を流下し、東京湾に注ぎ込む。そうした水の流れを中心に考えることで、東京湾を取り囲む大きな流域圏という領域が定義される。流下する水は、その途中で林野から各種元素を享受するとともに、人に利用され、さらなる有機物や栄養塩を引き受ける。一部は下水道を通り処理された後、再び河川などを通して海域に流入する。そうした負荷が東京湾の循環や水質に影響を与えていることは容易に想像できる。

例えば、東京湾に流入する淡水の量を、陸への降雨によるもの、流域外から流入するもの、海域への降雨によるものを加えて求め、こうした流域圏からの影響を推定してみる。1920年から前後10年間の平均を行い、10年毎の平均淡水供給量として整理したものが図-2.1である。1960年代から1990年代にかけて、約100m³/sの流入量の増加がみられる。こうした淡水流入量の増加は、湾内のエスチュアリー循環を強化する等の影響を与え、結果として湾内の海水交換率に影響を与えている。塩分分布を元にした推計では、1947年から1974年の平均の滞留時間は、夏30日、冬90日であったが、2002年には、夏20日、冬40日と計算された¹⁾。



図－2. 1 流域圏より東京湾に流入する淡水の量の変遷（東京湾に流入する淡水の量を、陸への降雨によるもの、流域外から流入するもの、海域への降雨によるものを加え、1920 年から前後 10 年間の平均を行い、10 年毎の平均淡水供給量として整理した）

この例は、東京湾という場を理解するうえで、東京湾がそれを取り巻く場と接する境界を通した相互作用（場との相互作用）と、そこで生活・活動する人間との相互作用（人との相互作用）の2つを考えることの重要性が示されている。場との相互作用については、海陸の境界ばかりでなく、湾口を通した外洋水の貫入や、大気との熱の供給・放射、底質からの溶出・蓄積などが考えられ、あらゆる境界から影響が伝播してくる状況を考慮に入れる必要があるということである。また、人との相互作用については、先の例で人から環境への影響が淡水流入量という視点から示されたが、その淡水に溶け込んだ栄養塩が人間の健康、自然環境に影響が出るレベルまで海域の環境を悪化させたために、流入負荷の規制がなされ、1980 年代に窒素で日 350t を越えていた負荷が 2000 年代には 220t に減少したとの推算もなされている²⁾。これは、自然が人間の活動に影響を与えた例であり、人もまた、その活動を環境に規定されている面を持っているということである。

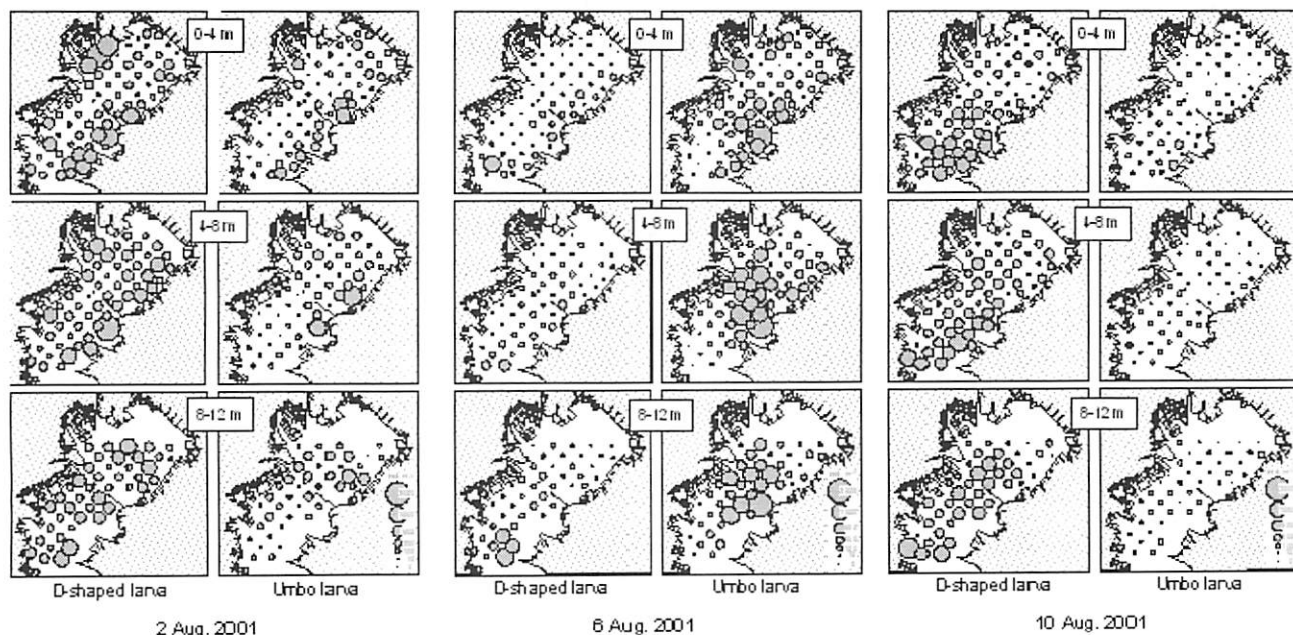
2.2 生態系ネットワークという視点

アサリ (*Ruditapes philippinarum*) は日本各地の干潟や浅場に生息する代表的な食用二枚貝であり、濾過食者としての高い海水浄化能力により、環境改善の面からも着目される種である。しかし、アサリの資源量は全国的にも、東京湾でも激減しており、その主な原因は、外来種との競合、乱獲、水質環境の変化、生息場の消失・劣化等とともに、アサリの浮遊幼生の行き来による生息場間のつながり（生態系ネットワーク）の欠落や分断も生態系の劣化の一因でないかと考えられている²⁾。

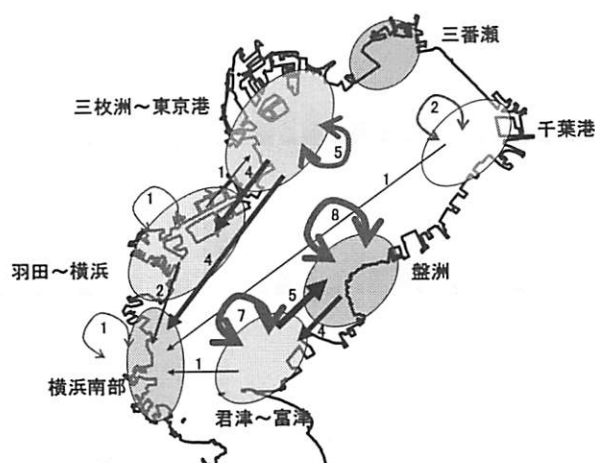
このように、生態系ネットワークは、生き物の量と多様性を確保するために重要な機構の一つと考えられている。その実態を把握するために東京湾におけるアサリ浮遊幼生による干潟間の連携や、海域における移流過程を実証する試みが行われた。2001 年 8 月の結果から、孵化後間もないと考えられる殻長 100 μm 以下の幼生は、盤洲、富津、三枚洲～羽田、横浜そして市原周辺の海域に多く分布し、自然の干潟や浅場だけではなく、港湾域もアサリ幼生の供給場所として機能していることが推定された（図－2. 2）。

また、その後、同じ個体群と考えられる個体群の出現密度の水平分布を比較した結果、分布の中心は羽田～三枚洲および盤洲周辺の海域から、湾中央部に移っていることが明らかとなった。当該の日の東京湾では、強い北風により引き起こされた湧昇フロントが湾中央部に観察されたことから、アサリ浮遊幼生の水平分布には物理的な収束機構が作用していることも示唆されている^{3, 4)}。こうした観測結果を数値計算で再現することにより、東京湾の各海域間のネットワークの強さを推定したところ、富津～木更津間の強い相互方向の

ネットワークと、東京ー川崎ー横浜を北から南につなぐ一方向のネットワークの存在が確認された(図ー2. 3) ⁵⁾.



図ー2. 2 2001年8月に観測されたアサリ浮遊幼生の分布(上層・中層・下層, 小型幼生・殻張期幼生)



図ー2. 3 数値計算で推定されたアサリ浮遊幼生のネットワークの例(矢印の数値は, 2001年8月の状況を再現した数値計算から推定された浮遊幼生の移流量の目安を表す)

相互方向のネットワークでは, ある生息地に異変が起こっても, もう一方からの供給により回復されるといふ, 一種の回復力(resilience)が期待できる. 一方, 一方向(非可逆的)のネットワークでは, 上流側の生息地に異変が起こるとその影響は下流側の生息地に及び, 脆弱性を秘めたネットワークであると推定される. そこで, 「東京湾の再生のための行動計画」においては, この一方向のネットワークしか持たない場や, ネットワークのつながりが弱いと判断された千葉ー東京ー横浜を結ぶ広い海域が重点領域として選択されている. これは, 場の理解に対応した行動計画の設定がなされたひとつの例である.

こうした生態系ネットワークを通して海域の環境を把握することは, 海域の環境を局所的・瞬間的な水質や物理環境だけで判断するだけでなく, 周囲との連関や連続した時間の中で生物の中に蓄積される環境条件の情報を読み解くという意味をもつ. 今後, 場の理解の方向性のひとつとして着目されるべきであるし, その評価手法の開発は急務であると考えている.

2.3 生き物の棲み処という視点

環境を生物によって評価する試みとして、指標生物による海底環境区分⁶⁾や、7都県市首脳会議環境問題対策委員会水質改善部会の提唱した「東京湾における底生生物等による底質評価方法」⁷⁾がある。後者については、東京湾における底質の環境評価区分を5段階に分け、底生生物の総出現種類数など4項目で評点をつけ、評点の合計で底質環境を評価する方法である。生物を指標とすることにより、場の特性が物理化学特性値としてだけでなく、感覚的に理解できることが利点である。

東京湾再生のための自然再生事業の適地選定に利用できる基礎的資料の作成を目的として、東京湾内湾域の14箇所の護岸において同一時期、同一手法で調査を行い、空間的な生物分布特性の解明を試みた調査結果を紹介する⁸⁾。なお、今回調査対象とした護岸は、外力条件を揃えるために全て直立護岸とし、港外もしくは港外に近い場所に位置する場所から選定した。2006年3月、9月に行った結果をまとめると、図-2.4に示すような付着生物の水平分布が得られている。種類数の分布は、3月、9月いずれも比較的水質が悪いG4~G6付近に極小値を持ち、付着動物については種類数の変動は見られなかった。付着植物については、9月は3月と比べて全体的に種類数が減少していた。これは、付着動物は、水質の長期的な空間的分布特性に大きく依存し、夏の貧酸素水塊や冬季風浪によるかく乱等に制限され、水質悪化・かく乱に強い生物が優先する等の棲み分けがされており、時間的な環境変動による変化が小さかったためと推察される（多様性が低いレベルでの安定）。一方、付着植物については、冬季の透明度の高い水質条件などにより3月に種類数を増大させるものの、その後の水質変動（夏季の透明度低下や貧酸素水塊の襲来等）や、生活史による影響を受け、その生息範囲・種数が季節的に変動する状況にあると推察された。

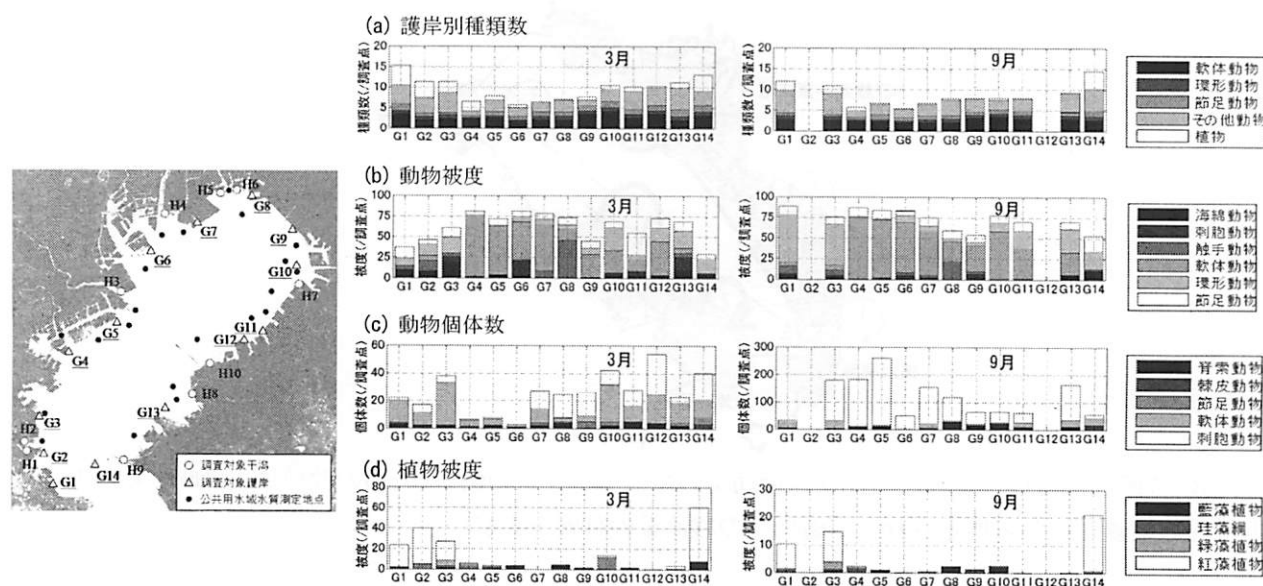


図-2.4 東京湾をとりまく護岸に付着する場所別、季節別の生物の状況

(2006年3月、9月調査：a) 付着生物種類数、b) 付着動物の被度、c) 付着動物の個体数 d) 付着植物の被度)

こうした結果を元に、「環境の空間的な分布特性は加入を支配し、時間的な変動特性は生き残りを支配している」と大胆な仮説を立てるとすれば、東京湾をマクロな視点で見たとき「動物・植物ともに、現在の東京湾の環境において加入・生息が可能である。しかし、動物は空間的な変動特性の影響を受け、低い多様性レベルで安定して存在し、植物は季節毎の環境変動・生活史に対応した増減を繰り返している。従って、局所的であっても、周年通して環境条件が満足される場を作ることが付着生物の多様性を高める方法として有効

である」というような評価が考えられる。科学的な仮説立案としては乱暴な論理であるが、こうした評価を与えることで、行動計画への指針（どこで、どんな自然再生をすべきか）が得られるのである。土木工学的な自然再生・管理を進めるためには、こうした評価・理由付けが不可欠である。もちろん、こうした評価は事業の中で検証していかなければならないし、検証結果を真摯に受け止め柔軟に事業を実施・変更するシステムが必要である。事業手法として定着しつつある「順応的管理」は、まさに行動計画策定の根拠として採用された仮説を、継続的なモニタリングの中で、その真偽を確かめながら自然再生を進めていくという管理手法を手順化したものである。

生物についての知見を漏れなく明らかにすることは大変難しい。生き物の棲み処という視点で海域の環境を把握するためには、不確定要素・仮定が多く入っていることを理解すべきであり、それを明らかにする調査・研究の努力を怠ってはならない。それと同時に、得られた知識を汎用化・一般化した仮説に集約し、順応的管理で確認しながら場の理解と行動計画の実施を同時に進行させるやり方（順応的管理）への理解も求めたい。

§ 3. 閉鎖性内湾域における戦略的なデータ整備（貧酸素水塊）

東京湾をはじめ、大阪湾、伊勢湾などでは 1970 年代から体系的なモニタリング調査が行われてきた。これらデータの解析により、各内湾は共通した機構によって水質変動していることが明らかになってきている。各内湾は、外海の花況変動の影響を強く受けて短期的に変動する。例えば、東京湾では大規模な中層貧酸素水塊がしばしば発生する。また、陸域からの汚濁負荷量の長期的な減少により、東京湾の東南部海域では「貧栄養化」が起き出している。現在の負荷量は、東京湾の貧酸素化が始まった 1960 年代中ごろの負荷量に近づきつつある。陸からの負荷が減ると、川から入る栄養塩が減り再生循環する範囲が狭くなって貧栄養化し、ノリの色落ちや磯焼け、アサリなどの餌不足等が懸念される。青潮は単に無酸素水が表面に来ただけではなくて、深掘り跡の無酸素水からできているらしいということもわかってきた。重要なのはモニタリングデータと科学の進歩の協調である。

貧酸素水塊は、1960 年以降人為的要因による富栄養化の進行により、日本を始め、メキシコ湾、米国東海岸、ヨーロッパ沿岸などにおいて、急激に広がっている。貧酸素水塊の発生域は、人間の活動地域とほぼ一致しており、発生箇所は世界で約 400 箇所以上、面積にして約 245,000km² 以上になると報告されている (Diaz&Rosenberg)⁹⁾。

一方、東京湾では、後背地に約 2,700 万人の人口を抱え、都市活動の負荷による富栄養化により、夏季から秋季に広範囲で貧酸素水塊が発達し、ベントスや魚類等の生態系に大きな影響を及ぼしている（例えば、柿野¹⁰⁾、風呂田¹¹⁾、石井¹²⁾、石井・加藤¹³⁾、古川ら¹⁴⁾、Toba ら¹⁵⁾）。このような状況を鑑み、東京湾再生推進会議では、『快適に水遊びができ、多くの生物が生息する、親しみやすく美しい「海」を取り戻し、首都圏にふさわしい「東京湾」を創出する」と言う目標のもと、陸域対策と海域対策と共に東京湾におけるモニタリングの実施を柱とする行動計画が策定されている。その一施策として、2008 年(平成 20 年)7 月 2 日に、東京湾全体の溶存酸素（以下、DO）濃度の把握を主目的として、第 1 回東京湾水質一斉調査（以下、一斉調査）が実施された。こうした調査は、最近多くなってきたもので戦略的かつ効果的なデータ取得方法として期待されている。

3.1 総合環境調査

東京湾における既往の平面 DO 濃度分布調査として、公共用水域調査¹⁶⁾、千葉県水産総合研究センターなどによる貧酸素水塊速報¹⁷⁾が実施されている。これらの調査結果を用いた、安藤ら^{18, 19)}、石井ら²⁰⁾の研究により、東京湾の秋・冬季における水温の上昇傾向とそれに伴う貧酸素水塊の長期化や解消時期の遅れ、1980 年以降からの貧酸素水域の増加、冬季の東京湾奥における貧酸素水塊の発生などが明らかにされて

ニタリングデータを用いて、DO 濃度の鉛直分布を推定する手法の検討を紹介する³³⁾。

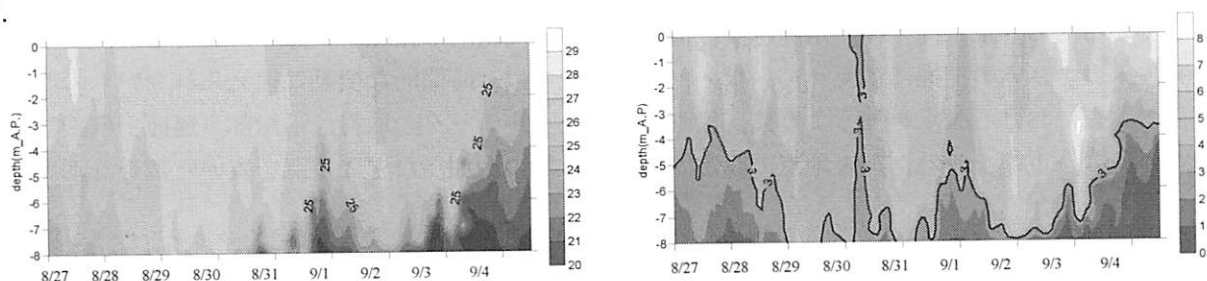
東京灯標で観測された水温および DO 濃度の鉛直分布の連続データを使用した。東京灯標は、東京湾の湾奥の東京港側で、羽田沖約 4km、荒川・江戸川沖約 10km に位置する（図－3．2）。データの測定期間は、平成 19 年 8 月 27 日 0 時から 9 月 4 日 12 時までの 8.5 日間である。測定には自動昇降式多項目水質計（ワイエスアイ・ナノテック社製 6600V2）を用いた。測定時刻は毎正時、測定水深は水面下 0.5m から底面直上 1.0m まで 0.5m 間隔とした。測定地点の平均水深はおよそ 10m である。



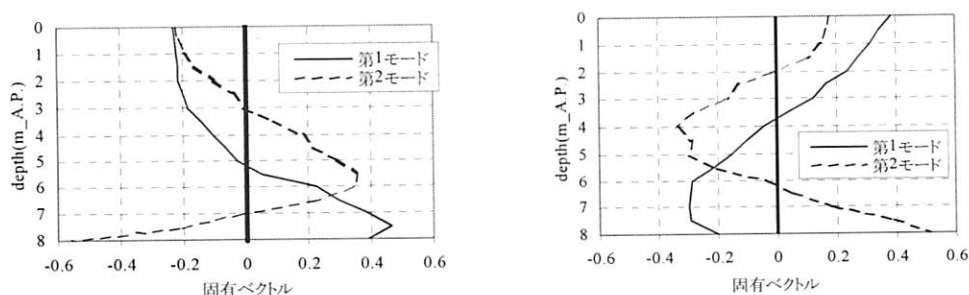
図－3．2 東京灯標および千葉灯標の位置図

貧酸素水塊（DO 濃度が 3mg/l 以下とする）の層厚は、8 月 27、28 日には約 3～4m、29 日には一旦解消し 0m、30 日には表層に達しており 8m、31 日には再び解消し 0m、9 月 1 日には 2m、2 日には再び解消し 0m、9 月 3 日から徐々に発達し 4 日には 4m だった。このように、測定水域の貧酸素水塊の層厚は数日スケールで変動していた。水温の時間変動は DO 濃度の時間変動に類似していた（図－3．3）。各時刻における水温と DO 濃度の相関係数の平均値は 0.94 だった。

DO 濃度の固有ベクトル分布は、水温の固有ベクトル分布の対称に近い形状（正負を入れ替えた形状）となっていた（図－3．4）。また、この水温の固有ベクトルの第 1・2 モードは共に、密度の鉛直分布から得られる代表的な内部モードの形状に類似しており、固有ベクトル分布と密度分布には関連があるように見られた。



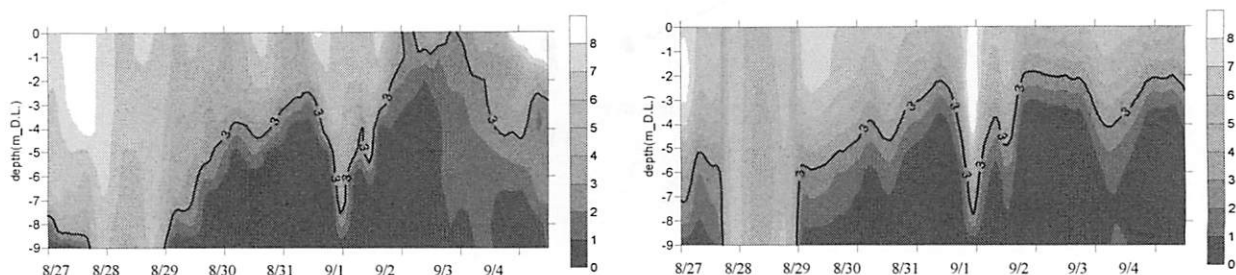
図－3．3 (左図)水温(℃)、(右図)DO 濃度(mg/l)の鉛直分布の時間変化(実線は 3mg/l を示す)



図－3．4 各モードの固有ベクトルの鉛直分布（左図：水温、右図：DO 濃度）

各時刻の表層と底層の水温および DO 濃度が[0-1]となるような規格化を行い、規格化された水温の鉛直分布の勾配および 2 次曲率が、規格化された DO 濃度の鉛直分布の勾配および 2 次曲率に等しいと仮定し、DO 濃度の鉛直分布の推定する手法を考案した。

千葉灯標で測定されている水温から DO を推定した結果、貧酸素水塊が発達している期間において、各時刻における水深毎の実測 DO 濃度と再現 DO 濃度に対する両者の相関係数の時間平均値は 0.76, 両者の差の時間平均値および標準偏差は 0.7 ± 0.6 mg/l であり、貧酸素水塊厚さの時間変動は良く一致していた（図－3. 5）。



図－3. 5 DO 濃度 (mg/l) の鉛直分布の時間変化 (左図：実測，右図：再現) (実線は 3mg/l を示す)

このように考案された水温の鉛直分布の連続観測データから DO 濃度の鉛直分布を推定する手法は、限定的ではあるが、湾内での連続観測モニタリングの効率的な運用に向けての一方策として適用の可能性が示された。これらの結果は、湾内環境把握に伴うモニタリング運用コストの削減、および、運用システムメンテナンス作業等の効率化を検討する上で、有効な資料になると考えられる。今後、本推定手法の精度向上や実際のモニタリングの効率的運用へ向け、長期的・季節的な変動への推定手法の確認、複雑な密度構造の場への適用等が検討課題である。

3.3 水質一斉調査

これまでの調査では、空間的に沿岸近くや航路等のデータ、及び湾内多地点の鉛直分布データによる情報が不足しているため、東京湾全体の水際線や浅海域における局所的な循環メカニズムを含む包括的な貧酸素水塊の発生メカニズムの把握には至っていない。一斉調査では、時間的な変動は捉えられないものの、上述した既往の調査における欠点を補うように、鉛直プロファイルデータの取得、沿岸部、運河・航路部を含む調査地点の配置、重複を避けた調査地点の設定、調査地点数の増加、などに重点を置いた調査計画がたてられた。

この一斉調査のデータを用いて、東京湾の貧酸素水塊の空間分布特性を示すと共に、水際線や浅海域における貧酸素水化の規模や空間特性を示す新たな指標を提案し、東京湾における包括的な貧酸素水塊の発生メカニズム解明への第一歩とすることを目的とする研究が行われた。なお、貧酸素水塊の定義として、柳³⁴⁾は、生物への影響と海中での化学反応を考慮し、DO 濃度 3.6mg/L 以下、0.036mg/L 以上を貧酸素水塊と提案し、古谷³⁵⁾は、底生生物の正常生息域下限を DO 濃度 3mg/L 以下とするなど、対象項目の違いより閾値が考えられるが、本論では貧酸素水塊を DO 濃度が 3mg/L 以下と定義し、以後の解析を行った。

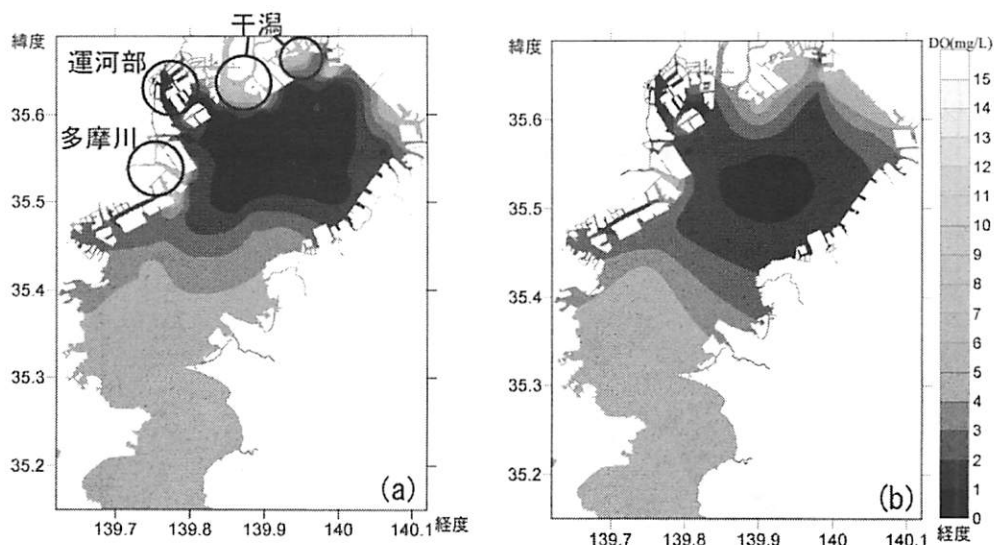
第 1 回東京湾水質一斉調査は、全 46 機関・団体が参加し、調査地点数は海域において計 222 地点、陸域（主に河川域）において計 281 地点、合計 568 地点において実施された（図－3. 6）。海域調査地点は、従来の公共用水域調査地点に新規の調査地点を加えて構成されており、また、陸域調査地点は公共用水域調査地点のみで構成された。



図－3. 6 東京湾水質一斉調査全調査地点（海域:計 222 地点，河川:計 281 地点，合計 568 地点）

海域における新規の調査地点では，海面下 0.5m から海底上 1.0m まで鉛直方向に 1.0m 毎に，各水質項目の鉛直プロファイルデータが取得された．なお，公共用水域観測では，表層，中層および底層の最大で 3 層分の各水質項目データが観測された．個別のモニタリング機関における調査方法，調査期間，調査機器等についての詳細は，東京湾環境情報センターWEB サイト^{3.5)}に登録されている．また，陸域における一次解析結果は，東京湾環境マップ Vol.3^{3.6)}に示されている．

観測結果のデータは，前出の東京湾環境情報センターWEB サイトから入手可能である．2008 年 7 月 2 日に観測が実施されたデータを，解析の対象とし，各観測項目における単位や観測水深に対する基準の統一など，データの標準化を行ったのち，データノイズやデータ異常値の除去を行い，同時データとして利用可能な計 119 地点分の観測データを整理した（図－3. 7）．



図－3. 7 底層における DO の平面分布 (a)左図：水質一斉調査点での計 119 地点より作図，(b)右図：公共用水域調査での計 47 地点より作図

貧酸素化の進行の度合いを示す指標として，密度分布を参考に決定した海底から成層界面までの厚さと貧酸素水塊上端までの厚さの割合を示す C_h (式(3. 1)) を考案した^{3.8)}．

$$C_h = \frac{Z_{DO3mg/L}}{Z_d} \quad (3.1)$$

ここで、 Z_d は海底から成層界面までの厚さ、 $Z_{DO3mg/L}$ は海底からDOが3mg/Lとなる厚さを示す。なお Z_d は、海底から水温と塩分より算出した密度の鉛直方向における最大変化点までの厚さとした。 C_h を図示すると、貧酸素水塊の厚さに対する指標となっており、東京港を含む多摩川河口沖左岸側周辺を中心とする範囲において、貧酸素化の進行が進んでいたことが推察される(図-3.8)。

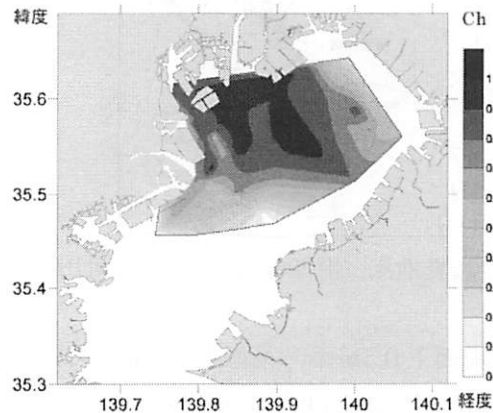


図-3.8 貧酸素化の進行の度合いを示す指標 C_h の平面分布

3.4 環境データの利活用のためのデータベースの構築

環境データを専門家だけのものでなく、様々な立場の人たちが有効に活用し、再利用していくことが重要である。特にそうしたデータを適切な形で蓄積・提供できるように、海域環境データの持つ構造を検討し、それを記録するためのフォーマットを準備することが大切である。これが、海域環境データの標準化という試みであり、先進的な検討が関東地方整備局を中心に行われ、東京湾環境情報センター(<http://www.tbeic.go.jp/>)から海域環境のデータ構造を規定した CML (Coastal and Estuarine Markup Language) やそのデータについての情報(メタ・データ)を規定した OOMP (Oceanographic Observation Metadata Profile) などが公開されている。以下に、港湾環境の公開データベースを列挙する。

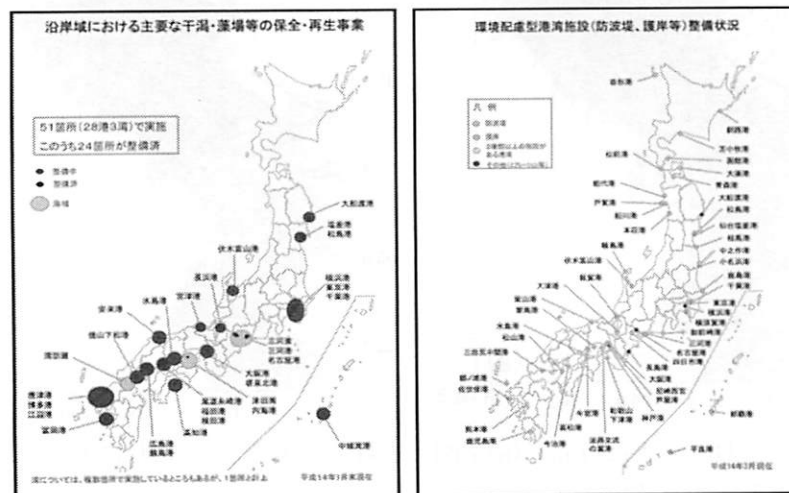


図-3.9 海域環境情報提供システムによる環境再生施策の実施状況の表示例

エコポート・データベースステーション

「海域環境情報提供システム」 <http://www.mlit.go.jp/kowan/ecoport/index.htm>

国土交通省港湾局では、海域環境に関するデータおよび、環境施策・技術開発・環境関連基礎知識・環境用語等を公開している。特にデータについては、統計処理した上で公開することで、事業実施状況の全体像などがつかみやすいように配慮されている（図－３．９）。関連するサイトとリンクを行うことで総合的な海域環境に関するデータ提供を目指していることも特徴である。

海の研究・学習に使える情報が発見できるサポーター制度の導入

「東北沿岸域環境情報センター」 <http://tohokukankyoweb.pa.thr.mlit.go.jp/>

東北地方整備局は、沿岸域の環境に興味があるすべての市民・企業・研究機関で、自らセンターを通じてサポーターが協力し、センターを積極的に利用していく仕組みとして“サポーター制度”という制度を運用している。

環境情報の管理・流通を促進させる Web システム、データの標準化の先進事例

「東京湾環境情報センター」 <http://www.tbeic.go.jp/>

関東地方整備局は、データの標準化の一環として、データの検索を助けるクリアリングハウスの開発を行いました。この仕組みは、他の地方整備局のデータベースに継承されている。

大阪湾の環境情報をつなぐ絆、環境変化のメカニズムの把握

「大阪湾環境データベース」 <http://kouwan.pa.kkr.mlit.go.jp/kankyo-db/>

大阪湾の再生のためには、関係機関等が、同湾の環境の状況や環境変化のメカニズムなどを把握し、調査研究・技術開発を行いつつ、また、市民の理解も得たうえで、広域のかつ密に連携して様々な施策を計画的に実施していくことが重要である。

多くの機関が環境調査を実施した結果得られたデータを有効に相互活用するためには、近畿地方整備局は、当局及び大阪湾周辺の自治体・他省庁等が所有する大阪湾の環境に関する調査データを、一元化及び共有化を図ることで、市民や各機関、各種団体等が容易に情報を活用できる大阪湾環境データベースを作成した（図－３．１０）。



図－３．１０ 大阪湾環境データベースの概要

瀬戸内海の水環境修復の実現を目指した水環境修復の情報公開

「瀬戸内海環境情報センター」 <http://seto-eicweb.pa.cgr.mlit.go.jp/index.asp>

中国地方整備局では、水環境修復に関する情報の公開・共有化を通じて、瀬戸内海の水環境修復に係わる主体の連携を促進し、実際の取り組みを効率的かつ効果的に進めることを目指して、水環境情報の流通ネットワークの中心となる「瀬戸内海環境情報センター」を設置・運営している。

瀬戸内海環境情報センターでは、他海域の海域環境データベースと共通の仕様のクリアリングハウスを構

策し、環境情報の公開・共有化を推進しているほか、干潟・藻場面積等、重要性の高い環境情報については、一般の人にもわかりやすい図表を提供し、そのダウンロードを可能にするとともに、類似情報を紹介するなど、利便性の向上に務めている。

豊穡なる海よふたび、数値データの図化の工夫

「有明・八代海環境情報システム」 http://www.ariake-yatsushiro-system.jp/ay_kankyo/index.html

九州地方整備局の「有明・八代海環境情報システム」では、①「海輝」により取得された観測データを視覚的にみることができる「海域調査観測情報」、②短波海洋レーダにて観測した「有明海表層流況・波浪観測情報」③有明海・八代海の調査・研究情報の所在を収録した「クリアリングシステム」、④環境学習の一教材としての「海域環境学習」、⑤意見交換していただく場所として「コミュニケーション」、の5つの項目にて情報発信を行っている。

日本海をもっと身近に

「日本海沿岸の環境」 <http://www3.pa.hrr.mlit.go.jp/nihonkaikankyo/>

「北陸沿岸の環境」 <http://www3.pa.hrr.mlit.go.jp/hokurikukankyo/>

北陸地方整備局が作成した「日本海沿岸の環境」・「北陸沿岸の環境」は、主に管内の各府県を対象として、日本海をとりまく自然環境や社会状況のデータを集めて紹介しているデータベースである。また、環境学習コーナーとして、日本海のみなどの概要や歴史のほか、主に北陸地方整備局で最近取り組んでいる環境教育、その他イベント等についても紹介しており、日本海がより身近な存在になってもらえることを願って運用されている。

海の天気予報を目指して

こうした環境データベースを拡張すべく、海域環境データをそのまま示すのではなく、2次的に加工して、一般利用者にわかりやすい情報に転化する技術の開発などが今後の課題である。風向や流れの構造から、海岸毎に水辺のゴミの集積の度合いを推定したり、体感温度を推定しての散歩のお勧め度を示したりといったようなことも、技術的には可能であり、熟度を高めていくことで、海の天気予報や海の健康診断といったコンテンツを開発することも可能と思われる（図－3. 11）。



図－3. 11 海域の濁りや海陸風の情報を用いた散策オススメ度をマップ化の例

そうした予報・評価を助けるためには数値シミュレーションと観測データの取得・配信システムとの統合が一つのカギとなる。現在、各地方整備局で湾域シミュレータの開発や将来予測を目的とした水質シミュレーションなどが実施・準備されている。

海洋レーダやモニタリングポストの流れのデータは、環境情報以外の用途として、安全確保や経済効率の向上といった視点からの活用方策（泊地・航路・作業区域における流れ・波の情報の提供、海流・潮流の向きに配慮した経済航路の検討）も有望な利活用方法である。

§ 4. 生態系の再生・管理のためのデータ取得（生物生息環境）

干潟・藻場・サンゴ礁など海域における重要な生態系の再生・管理手法については、産学官民など多様な主体が取り組み、現在ではパイロットプロジェクトとして、研究プロジェクトとして、また個別技術開発として様々な技術が開発されている³⁾⁹⁾。国総研でも、都市臨海部に干潟を取り戻すプロジェクトの一環として、阪南 2 区における干潟創造実験、東京湾の新芝浦運河に面した芝浦アイランドの護岸における生物の棲み処づくりを推進している。こうした生態系の再生・管理のためには生息生物そのものや生物生息環境のモニタリングが不可欠である。

4.1 阪南 2 区における干潟創造実験

大阪府港湾局が実施している岸和田市沖合の埋立事業において、2004 年 2 月に総面積 5.4 ha の干潟が造成された。この阪南 2 区造成干潟において、2003 年度より産官学の共同研究プロジェクト「都市臨海部に干潟を取り戻すプロジェクト（阪南 2 区干潟創造実験）」が進められている。このプロジェクトは、市民が親しめる干潟を都市臨海部に再生しえることを実証するために、干潟、海草・海藻場、ヨシ原が持つ海水浄化機能や生物生息機能等を再生・強化する自然再生技術の確立を目指したものである^{40, 41)}。

造成された干潟の状況や各実験の特性を勘案し、図-4. 1 に示すように配置し、実施することとした。

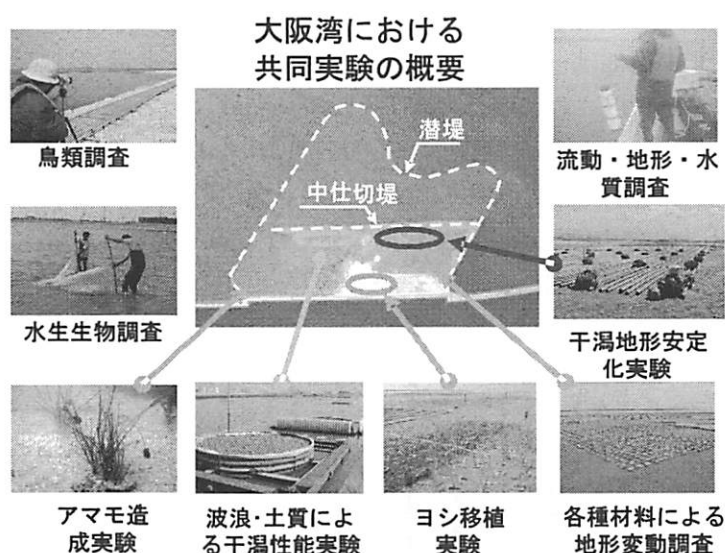


図-4. 1 産官学の共同研究プロジェクト「阪南 2 区干潟創造実験」で実施された様々な現況把握、地形安定化工法、生物生息促進工法の調査・研究メニューの概要

干潟全域を対象として貧酸素水塊の発生や波浪・流れ・水質などの干潟環境の基礎調査（国総研）、干潟を取り巻く物質循環の調査（大阪市立大）、侵食・堆積・地盤沈下などの干潟地形の変化過程の調査（堺 L N G、大阪市立大、国総研）、干潟で出現する幼稚魚、エビ・カニなどの水生生物調査（大阪府立水試）、日本野鳥の会の協力による干潟に飛来する鳥類の調査（大阪府港湾局）を実施することとした。また、民間共同研究

グループでは、干潟地形の安定化、干潟土壌の最適化、生物の多様化など干潟造成技術の高度化に関する技術開発を行うため、河川水の供給がほとんどない干潟におけるヨシ移植実験（鹿島建設・大成建設）、竹、石などの自然素材による干潟地形安定工法の実験（鹿島建設・大成建設）、造成干潟の上に浚渫泥を充填したミニ泥干潟を設置し浚渫土砂を利用した泥干潟の性能を調べる実験（五洋建設）、礫、玉石、混合土などの各種材料で置換した干潟の地形変動や生物定着を調べる実験（東洋建設）、造成干潟の地先浅海部におけるアマモ造成実験（東洋建設）を配した。

造成干潟は、中仕切り堤により浅海部と干潟部に分けられ、浅海部の水深がおよそ DL-3m程度、干潟部は北端部の DL+2m 程度を最高位とし、南側に向けて DL-1m まで連続して降下する場となっている。造成当初より、想定された圧密沈下の進行とともに、台風の襲来による地形の浸食などを受けた（図-4. 2）。

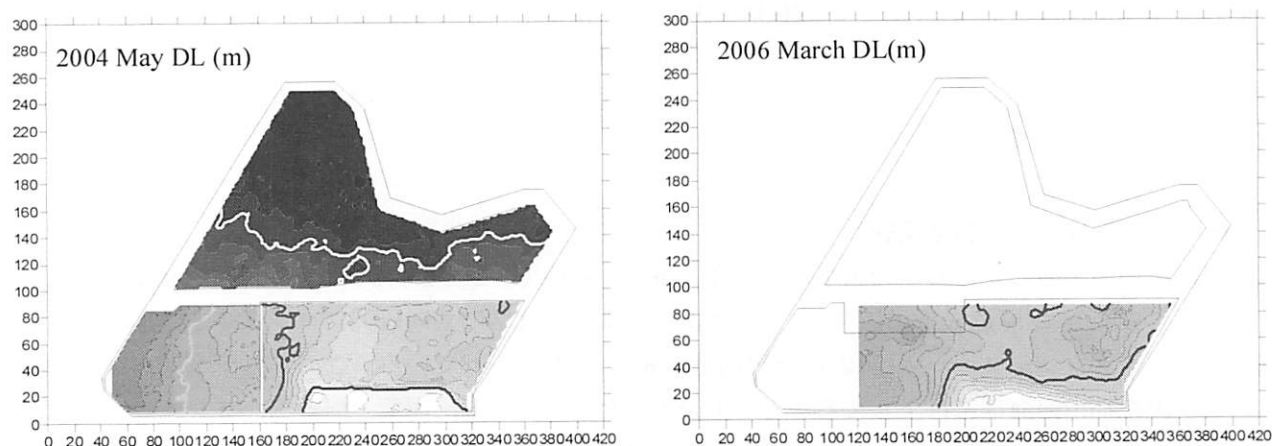


図-4. 2 阪南2区造成干潟の地形変化（左：2004年5月造成当初，右：2006年3月）

そうした地形変化の結果、干潟部は一定の潮間帯面積を保ちながら、北部では平坦な地盤で一部泥分の多い場所や干出時の潮溜りなどが形成され、南部では LWL から HWL へと続く連続的な地形が形成された。この、北部の潮溜まりを中心とする領域は、当初、日和見種（*Musculista senhousia*, *Prionospio pulchra*, *Capitella* sp. 等）を中心とする多くの個体数（約 $2 \times 10^4/m^2$ ）と少ない種類数（約 20）で特徴付けられる場となった。その後、種数は増加し、南部の領域同様の生物群が見られる場となり、テラス型干潟と名づけられた。タイドプール付きのテラス型干潟は、都市臨海部における自然再生（干潟創出）における場所的制約を打破するひとつのメニューとなりえる可能性があり、注目されている（図-4. 3）⁴²⁾。

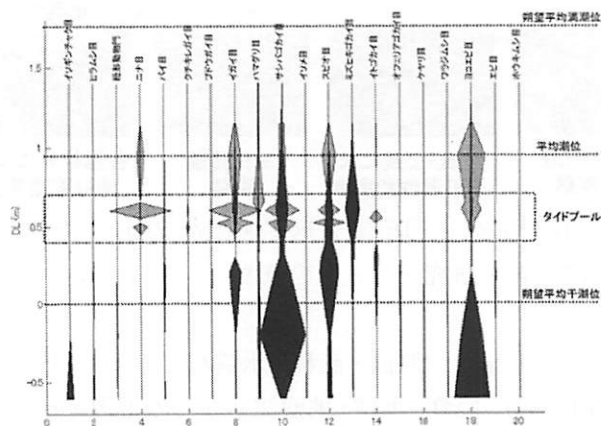
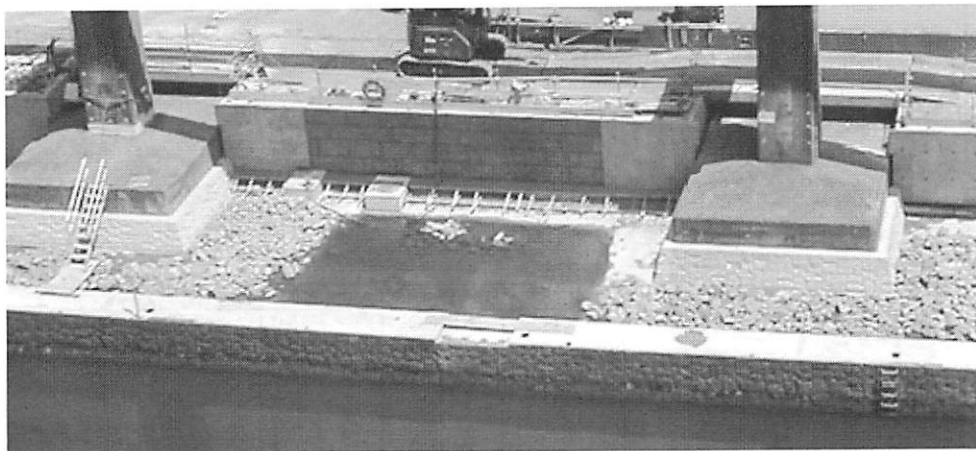


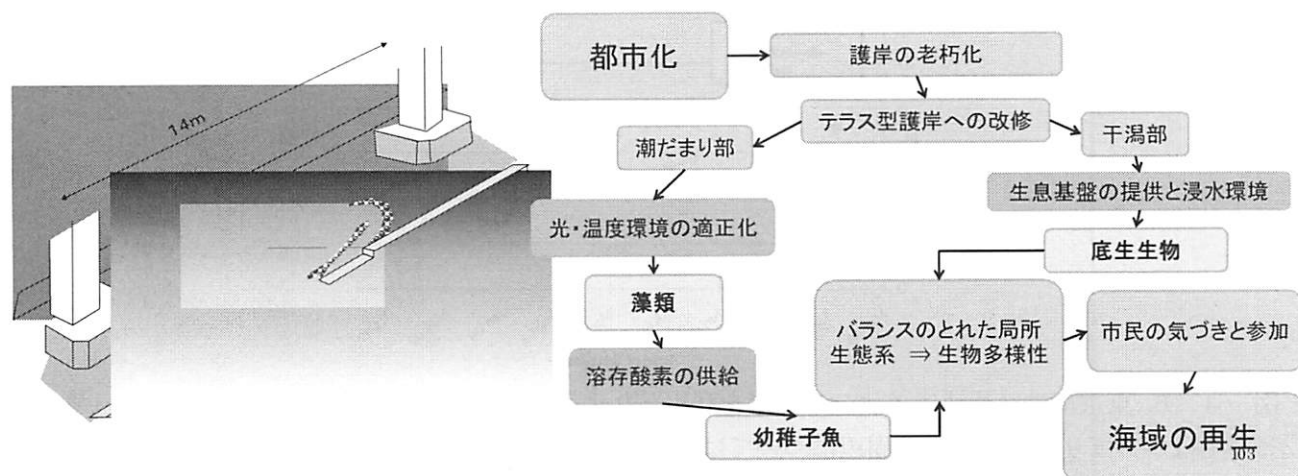
図-4. 3 阪南2区におけるテラス型干潟（黒）および、勾配型干潟（グレー）における標高別底生生物分布（個体数）の比較

4.2 芝浦アイランドの護岸における生物の棲み処づくり

そうした潮溜まりの実証実験として、国総研、東京都港湾局、港区芝浦港南地区総合支所、運河ルネッサンス協議会等が連携し、東京都港区芝浦アイランドにおいて、潮溜りを活用した干潟を軸とする生き物の棲み処づくりの実験が開始された。これは、まさに土木工学的な場づくりのアプローチであり、生物生息の場として幼稚魚の彙集効果とベントス・底生藻類の定着場としての効果を期待しているものである（写真－４．１，図－４．４）。



写真－４．１ 東京都港区芝浦アイランド護岸を利用したテラス型干潟（国総研，東京都港湾局，港区芝浦港南地区総合支所，運河ルネッサンス協議会等が連携し，生物生息の場として幼稚魚の彙集効果とベントス・底生藻類の定着場としての効果を期待した潮溜まりの実証実験である）

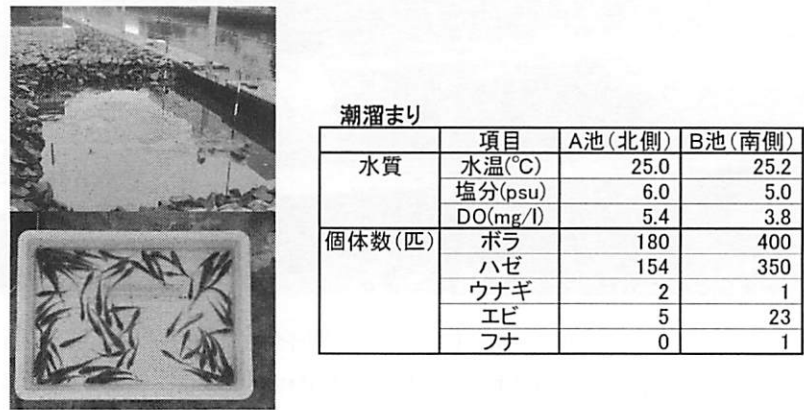


図－４．４ 東京都港区芝浦アイランド護岸を利用したテラス型干潟の概念モデル（潮溜まりの幼稚魚の彙集効果と干潟部のベントス・底生藻類の定着場としての効果が期待されている）

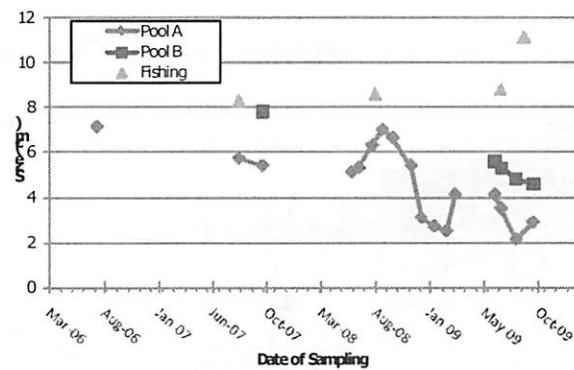
当該護岸は、2005年2月に着工し、2006年12月に全体工事が完了した。この内、テラス部分の潮だまり等は2006年3月に完成し、潮の満ち引きに応じて生き物が入り始めた。潮だまり完成後、生き物が入り始めたことを2006年5月に確認した。7月と9月には低潮時独立した潮だまりの水を全て抜いて目標生物の生息調査を行った。7月の調査結果は図－４．５に示す通りであり、多くの幼稚魚が確認できた。9月の調査では、マハゼ・ウナギとも7月より大きく、潮だまり近辺で成長していることが推察された。マハゼの全長について、潮だまり内と周囲の運河部での大きさを比較した結果を図－４．６に示す。潮だまり内のマ

ハゼの全長が初夏から夏に向けて大きくなった後、秋に向けて体長が小さくなっている。これは、マハゼが成長するにつれて潮だまりを出て周囲の運河部に移動していることと、新たな稚仔魚の加入を反映していると推定され、確かに、周囲のマハゼの全長がそれに対応して大きくなっていることが確認された。局所的な生態系ネットワークが成立していることが推察される。また、ベントスの優先種としてヤマトカワゴカイの生息密度の変遷を図－4．7に示す。冬季には減耗するものの、初夏の加入とその後の減耗といった周期性が確認される。ヤマトカワゴカイは、いわゆるバチヌケと呼ばれる巣穴から雌雄のゴカイが抜け出し遊泳することで産卵行動が行われる、これにより周囲の浅場・生息地とのネットワークが形成されていることが推察される。

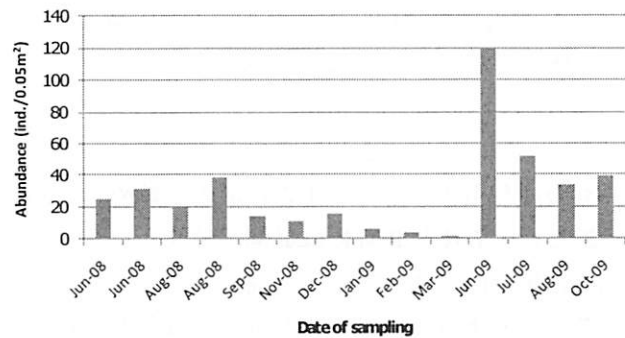
さらに、潮だまりの機能として、酸素生産の機能を確認するため、冠水時の運河水と干出し潮だまり水が独立した時の溶存酸素、水温、塩分の測定を行った結果、潮だまりで酸素生産が行われていることが確認された^{4 3)}。



図－4．5 東京都港区芝浦アイランド護岸を利用したテラス型干潟における稚子魚の生息状況



図－4．6 東京都港区芝浦アイランド護岸を利用したテラス型干潟におけるマハゼの成長状況（池A，Bについてはかいぼり調査の結果，周辺については釣り調査の結果）

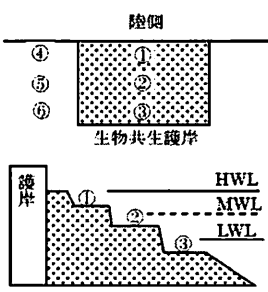
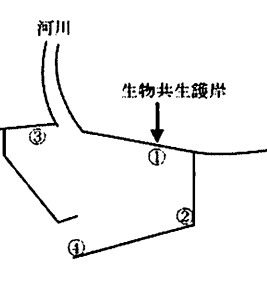
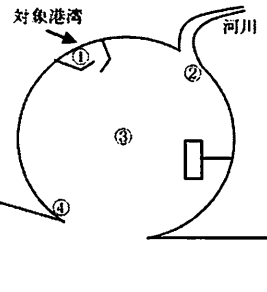


図－4．7 東京都港区芝浦アイランド護岸を利用したテラス型干潟におけるゴカイの生息数の変遷

このような場作りが「生き物の棲み処づくり」として認知されていくためには、目標の明確化、具体的な行動計画の策定に合わせて、目標達成基準による管理という取り組みが必要である。特に、場作りの結果として影響を受ける生物の生息状況などを評価指標に取り入れることで、よりわかり易い目標達成基準となり、場作りの手法開発が進むのではないかと期待している。そのためにも、場作りの基盤である土木工学と生息生物および生物生息環境の評価に関する知見を擁する水産学・生物学との連携が重要な鍵となる。

市民協働型の管理・モニタリングにおいては、連続的な水質観測など補完的な観測と連動させながら、精度を確保していくことが大切である。また、順応的管理を明示的に取り入れるためには、空間スケール毎（構造物（断面）・港（平面配置）・湾（流域））、モニタリングフェーズ毎（初期（1 年目）・中期（3 年まで）・長期（その後））に、水質・底質（地形を含む）・生物・生態系についての調査項目を配する重層的な計画となるよう工夫すること肝要である（表－4. 1）。

表 4. 1 重層的モニタリングの計画例

	構造物スケール	港スケール	湾スケール
着眼点	構造物の局所生態系の形成 生物による場の利用	港湾周辺から見た局所滞留、汽水域（淡水・海水混合）環境の形成、生態系ネットワーク	湾全体から見た淡水流入・海水交換といった大きなスケールの現象
調査項目	水質（水温・塩分・DO・濁り・水中照度）の時間変化・鉛直分布 底質（地形・粒径・有機物・栄養塩）の局所分布 プランクトン・ベントス・大型生物の生息状況	水質（水温・塩分・DO）の鉛直分布 底質（粒径・有機物）の局所分布 プランクトン・ベントスの生息状況	水質（水温・塩分・DO）の季節変動 底質（粒径）の空間分布
測点配置	①～③対象構造物の異なる水深帯 ④～⑥近隣で同じ水深帯 各3点（例えば、HWL～MWLで1点、MWL～LWLで1点、LWL以深で1点） 	①対象構造物 ②同じ水深の構造物 ③港の奥または淡水環境に近い場所 ④港口部 	①対象港湾 ②近隣の河口部等の自然海岸 ③湾奥部 ④湾口部 
測定頻度	水質は連続～毎月 底質・生物は毎月～季節	水質は毎月～季節 底質・生物は季節～年毎	水質は季節～年平均 底質は毎年～数年毎

§ 5. おわりに

場の理解に基づき包括的な目標を策定し、開発された手法を適用して自然再生を進めるにあたっては、自然環境だけでなく、社会条件も含め広い視野での場の理解が必要である。流域圏や生態系ネットワーク、生物の棲み処といったスケールの異なる場を理解することにより、対象となる事象をとりまく背景の環境、またその事象に含まれる個別プロセスの環境への理解がすすみ、環境のメカニズムへの考察が進む。

そうしたマクロな環境メカニズムを把握し、解明するために網羅的、連続的、同時的なデータ取得を行う必要があり、それぞれ、総合環境調査、モニタリングポスト、水質一斉調査などにより実現化されている。さらには、得られたデータを登録、管理するシステムとしてのデータベースの果たす役割は決して少なくな

い。データベースは単に情報を保管するためだけのものではなく、必要な場合に利用可能な形でユーザに情報を伝達するという使命を持っている。また、その情報伝達の仕組みはコミュニケーションツールとしての活用の可能性が予見されている。

生態系（生息生物、生物生息環境）についてのデータ取得においては、様々な視点からの生息生物のデータおよび、生物生息環境の取得と、そのデータを評価につなげるための工夫が必要である。その際に、生物データは、ある生物の存在自体が、多くの環境データの包括的な情報となっていることがある。例えば、ハゼが生息しているということは、ハゼが好む底質があり、多くの餌となる生物が存在し、ハゼの生活史を完結させられる生態系ネットワークが存在していることを示しているのである。

我々は、こうしたデータを取得していく努力を継続しなければならないとともに、必要なデータを効率よく取得・管理するために、データの必要な理由（データの取得目的）の設定、個別データ取得手法の適用、得られたデータに基づく取得方法の改良といった順応的かつシステムティックな取り組みを考案し、実践していくことが求められている。

参考文献

- 1) 高尾敏幸・岡田知也・中山恵介・古川恵太：2002年東京湾広域環境調査に基づく東京湾の滞留時間の季節変化, 国総研資料, 169: 1-78 (2004).
- 2) 国土交通省港湾局・環境省自然環境局：干潟ネットワークの再生に向けて, 国立印刷局, 2002.
- 3) 粕谷智之・浜口昌巳・古川恵太・日向博文：夏季東京湾におけるアサリ (*Ruditapes philippinarum*) 浮遊幼生の出現密度の時空間変動, 国土技術政策総合研究所報告, 8: 1-13 (2003).
- 4) 粕谷智之・浜口昌巳・古川恵太・日向博文：秋季東京湾におけるアサリ (*Ruditapes philippinarum*) 浮遊幼生の出現密度の時空間変動, 国土技術政策総合研究所報告, 12: 1-12 (2003).
- 5) 日向博文・戸簾幸嗣：東京湾におけるアサリ浮遊幼生の移流過程の数値計算, 水産総合研究センター研究報告 2004: 55-62 (2004).
- 6) 風呂田利夫：東京湾の環境回復への提言 東京湾内湾底生動物の生き残りと繁栄, 沿岸海洋研究ノート, 28 (2): 160-169 (1991).
- 7) 東京都環境局環境評価部広域監視課：東京都内湾の水環境, 環境資料第 133 号, 2001.
- 8) 五十嵐学・古川恵太：東京湾沿岸域における付着生物および底生生物の空間分布特性, 海洋開発論文集, 23: 459-464, 2007.
- 9) Robert J. Diaz and Rutger Rosenberg: Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems, *Science* 321, 926 (2008), 2008.
- 10) 柿野純：東京湾奥部における貝類への死事例特に貧酸素水の影響について, 水産土木, 23, pp.41-47, 1986.
- 11) 風呂田利夫：東京湾内湾底生動物の生き残りと繁栄, 沿岸海洋研究ノート, 28, pp.160-169, 1991.
- 12) 石井光廣：東京湾におけるマコガレイの分布・移動, 千葉水試研報, 50, pp.31-36, 1992.
- 13) 石井光廣, 加藤正人：東京湾の貧酸素水塊分布と底びき網漁業によるスズキ漁獲位置の関係, 千葉県研研報, No.4, pp.7-15, 2005.
- 14) 古川恵太, 中山恵介, 水尾寛己：2003年東京湾に発生した繊毛虫 *Mesodinium rubrum* による赤潮と水生生物の大量死の連関に関する調査事例, 沿岸域学会誌, Vol.18, No.4, pp.67-77, 2006.
- 15) Mitsuharu Toba, Tomoyuki Kosemura, Hiroshi Yamakawa, Yoshio Sugiura and Yutaka Kobayashi: Field and laboratory observations on the hypoxic impact on survival and distribution of short-necked clam *Ruditapes philippinarum* larvae in Tokyo Bay, central Japan, *Plankton and Benthos Research*, Vol. 3, No. 3, pp.165-173, 2008.

- 1 6) 国立環境研究所：環境数値データベース，公共用水域の水質測定結果，
<http://www.nies.go.jp/index-j.html>，2008.
- 1 7) 千葉県水産総合研究センター：貧酸素水塊速報，
<http://www.pref.chiba.lg.jp/laboratory/fisheries/index.html>，2008.
- 1 8) 安藤晴夫，柏木宣久，二宮勝幸，小倉久子，山崎正夫：東京湾における水温の長期変動傾向について，
海の研究，12(4)，pp.407-413，2003.
- 1 9) 安藤晴夫，柏木宣久，二宮勝幸，小倉久子，川井利雄：1980 年以降の東京湾の水質汚濁状況の変遷に
ついて-公共用水域水質測定データによる東京湾水質の長期変動解析-，東京都環境科学研究所年報
2005，pp.141-150，2005.
- 2 0) 石井光廣，長谷川健一，柿野純：千葉県データセットから見た東京湾における水質の長期変動，水産海
洋学会誌，72(3)，pp.189-199，2008.
- 2 1) 有路隆一，田中陽二，諸星一信，松坂省一，鈴木高二朗：横浜川崎地区京浜運河における水質の現状
調査，海洋開発論文集，第 24 巻，pp.627-632，2008.
- 2 2) 鈴木高二朗，磯部雅彦，諸星一信：流況・水質の長期連続データから見た東京湾口と湾奥の関係につ
いて，海岸工学論文集，第 55 巻，pp.1076-1080，2008.
- 2 3) 田中陽二，有路隆一，諸星一信，鈴木信昭，松坂省一，鈴木高二朗：東京湾における底層水塊の流動
と千葉浚渫溜地に与える影響，海岸工学論文集，第 55 巻，pp.1031-1035，2008.
- 2 4) 藤原建紀，高橋鉄哉，山田佳昭，兼子昭夫：東京湾の貧酸素水塊に外洋の海況変動がおよぼす影響，海
の研究，Vol.9，No.6，pp.303-313，2000.
- 2 5) 八木宏，Tanuspong POKAVANICH・安井進，灘岡和夫，有路隆一，松坂省一，鈴木信昭，諸星一信，
小田遼子，二瓶康雄：東京湾湾口部の湧昇現象に伴う湾内貧酸素水塊の中層化とその解消過程，海岸
工学論文集，第 55 巻，pp.1081-1085，2008.
- 2 6) 中辻啓二，尹鐘星，湯浅泰三，村岡浩爾：東京湾における吹送密度流と青潮発生機構との関連性，海岸
工学論文集，第 42 巻，pp.1066-1070，1995.
- 2 7) 佐々木淳：東京湾湾奥水塊の湧昇現象と青潮への影響，海岸工学論文集，第 44 巻，pp.1101-1105，1997.
- 2 8) 鯉淵幸生，磯部雅彦：2004 年の東京湾西岸横浜港周辺における青潮の発生要因，海岸工学論文集，
pp.896-900，2005.
- 2 9) 八木宏，江連伸明，井瀬肇，Tanuspong POKAVANICH，灘岡和夫，諸星一信，古土井健，有路隆一，
森重輝政，小林聡：東京湾羽田周辺水域における貧酸素水塊と懸濁物質の時空間変動特性，海岸工学
論文集，第 54 巻，pp.1036-1040，2007
- 3 0) 八木宏，Tanuspong POKAVANICH，井瀬肇，灘岡和夫，有路隆一，古土井健，下司弘之，古殿太郎，
大野幸正：冬季東京湾多摩川河口沖海域への湾外系洲水波及と河口域への影響について，海岸工学論
文集，第 55 巻，pp.1086-1090，2008.
- 3 1) 藤原建紀：CO₂分圧の推定，第 10 回東京湾シンポジウム報告書，2009.
- 3 2) 山尾理：東京湾奥部における底層溶存酸素濃度の時間変化（2003 年-2005 年），海洋情報部技報，海
洋情報部技報，Vol. 24，pp.116-126，2006.
- 3 3) 工藤圭太・古川恵太・岡田知也：内湾域環境における連続モニタリング手法の効率化に関する基礎的
研究，国土技術政策総合研究所報告，35 号，17p.，2008
- 3 4) 柳哲雄：シンポジウム「貧酸素水塊」のまとめ，沿岸海洋研究ノート，第 26 巻，第 2 号，pp.141-145，
1989.
- 3 5) 古谷純一：東京湾奥部において底生生物が受ける貧酸素の影響，月刊 海洋 東京湾の海洋環境・貧酸素
水塊，1999.

- 36) 国土交通省：東京湾環境情報センター，<http://www.tbeic.go.jp/index2.html>，2008.
- 37) 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：東京湾環境マップ Vol.3,2009.
- 38) 堀江岳人・古川恵太・岡田知也：東京湾水質一斉調査から見た貧酸素水塊の空間分布特性について，海洋開発論文集，Vol. 25, pp. 545-550, 2009
- 39) 国土技術政策総合研究所・アマモサミット・プレワークショップ 2006 組織委員会：海辺の自然再生に向けて 干潟・藻場・サンゴ礁の再生技術，Web 公開資料，<http://www.meic.go.jp/>，2007.
- 40) 上野成三：大阪湾再生への取り組み事例 ―都市臨海部に干潟を取り戻すプロジェクト（阪南2区干潟創造実験）―，雑誌港湾，2005年4月号，26-27 (2005).
- 41) 古川恵太・岡田知也・東島義郎・橋本浩一：阪南2区における造成干潟実験 ―都市臨海部に干潟を取り戻すプロジェクト―，海洋開発論文集，21, 659-664 (2005).
- 42) 岡田知也・古川恵太：テラス型干潟におけるタイドプールのベントス生息に対する役割，海洋開発論文集，22, 661-666 (2006).
- 43) 柵瀬信夫・加藤智康・枝広茂樹・小林英樹・古川恵太：都市汽水域の生き物の棲み処づくりにおける順応的管理手法の適用，海洋開発論文集，23, 印刷中，2007.