

沿岸域のワイスユースに資する技術開発

沿岸海洋研究部 海洋環境研究室 古川恵太

1. 港湾事業における環境への取り組み

1.1 シーブルー事業

1980年代、高度成長期以降に顕在化した有害物質による汚染等に対する規制を含めた公害対策が一段落したものの、富栄養化、赤潮の発生、悪臭、底層水の貧酸素化など有機物質による「汚濁」は改善されていない時代に、シーブルー計画は策定された（シーブルー・テクノロジー研究会，1989）。それは、個別具体のシーブルー・テクノロジーとして提唱される海水浄化技術を組み合わせて、利用形態に応じた清澄な水質環境を実現することを目的としたものである。

シーブルー事業を総括すると、環境修復を目指した個別政策の実施であったと位置づけられる。その目標は水質（透明度、COD）の回復であり、事業による環境の「改変」と「創造」による「環境改善」を目指していたと位置づけられる。そうした段階においては、局所的な現象解明に重点が置かれ、施策の個別評価のための技術開発が優先して行われた（図-1）。

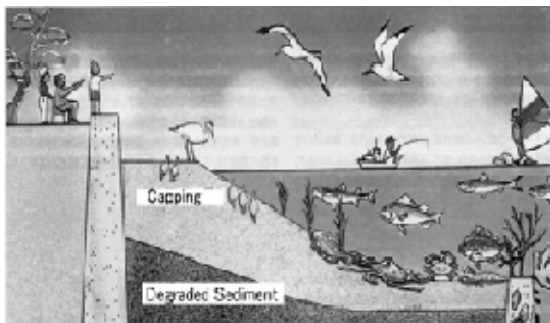


図-1：シーブルー事業のイメージ

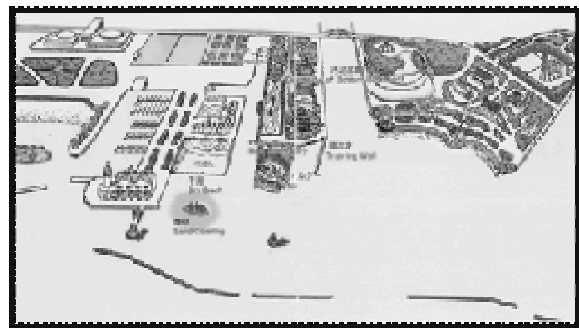


図-2：エコポート事業のイメージ

1.2 エコポート事業

1990年代に入り、運輸省はエコポート政策を策定した。エコポート政策においては、水質の「汚染」は少なくなっているものの、いまだ改善されない「汚濁」に対しての環境改善の方向性に関する理念が提示された（運輸省港湾局，1994）。それに合うように、各事業者が地域性を考慮して具体的方策を立案するという性能規定型の環境改善方策を導出することを目的としたものである。すなわち、自然生態系の「改変」・「創造」から一步踏み出した「機能の強化」を目指した大きな変化であったと位置付けられる。

こうした「機能の強化」を目標とするためには、機能の定量化をする必要があり、環境シミュレーションや生態系モデルの役割も、個別施策の評価から、施策による場の機能の

変化の評価や予測に重点がおかれるようになったと言える（図 - 2）。

1.3 自然再生事業

1999年12月に港湾審議会から経済・社会の変化に対応した港湾の整備・管理のあり方についての答申が出された。その中で物流面等ばかりでなく、自然環境・環境配慮等の面からも広域的視点の重要性がクローズアップされている。つまり、環境問題のマクロ化である。それと同時に、干潟や藻場といった生態系の創出を含む環境保全・創造のための生態系機能の評価や推定といったミクロ化された環境問題も重要な検討課題と指摘されている。

そうした背景を受け、国土交通省港湾局では『環境と共生する港湾（エコポート）を目指し、豊かな生態系を育む自然再生型事業を総合的に展開する』とした、港湾環境政策2001を発表した（港湾局、2001）。自然「再生」に向け、「強化」「創造」された生態系が機能し、自己回復力を発揮できるための管理手法、システムについて検討が始まったところである。

こうした検討は、政府全体の、2001年の環の国づくりの政府方針の発表、2002年の新・生物多様性国家戦略の策定、自然再生法の成立といった動きとも連動しているものである（図 - 3）。こうした取り組みは Ramsar によって COP3 で提唱されたワイズユース（Wise Use: 生態系を賢く利用していく取り組みの総称）の精神を実現化するものである。そして、ワイズユースは自然再生をもっとも重要な取り組みのひとつと位置付ける。

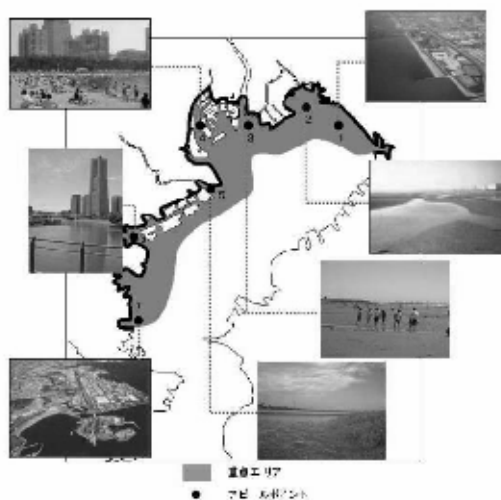


図 3：東京湾再生のイメージ（東京湾再生会議，2003 より）

2. ワイズユースを目指した自然再生のための目標設定

2.1 自然再生の定義

国内外における自然再生の定義について、国際航路会議および、自然再生推進法における検討例を以下に示す。

国際航路会議の例

欧州・米国を中心とする国際社会に向けて、外航・内航の港湾・航路整備についての技術指針を発信している国際航路会議の「湿地再生についての技術ガイドライン」の中では、表 - 1 のように、**改変・創造・改善・修復・強化・再生（狭義）・再生（広義）**（それぞれ原文は、Reclamation, Creation, Remediation, Rehabilitation, Enhancement, Regeneration, Restoration）が定義されており、再生は、これら人間活動による自然への働きかけすべてを含む上位概念として定義された（PIANC, 2003; 古川, 2002）。

この定義は、米国の陸軍工兵隊（WES：米国におけるミチゲーション技術の評価機関として研究・実務を行っている）における自然再生の定義や、湿地保全のための活動を行っているラムサール会議における定義と矛盾しないように、注意深く検討されたものである。ここで、特徴なのは、「改変：Reclamation」も「再生：Restoration」の中の一形態として位置付けられていることである。改変も修復や創造、再生といった一連の努力の線上にあり、ただ目標が異なるだけであるという位置付けとなっている。また、この表には、「保護」や「保存」、「保全」(Protection, Preservation, Conservation)に対応する言葉が入っていない。それは、再生が人間活動や関与を総括した概念として限定されていることを反映している。

表 - 1：自然再生にかかわる言葉の定義（PIANC, 2003 より作成）

湿地の環境を改善し、造りだし、変化させることを "Restoration" と呼び、以下のような活動を含む概念として用いる。	
Reclamation	人手により水域を平均水面以上の陸域に変えること（改変・改良）
Creation	人手によって湿地でない場所を湿地とすること（創造）
Remediation	汚染された湿地における汚染物質の浄化（改善）
Rehabilitation	損害を受け、制限されている生態系の機能を人手により修復すること（修復）
Enhancement	存在する湿地に対し、利用者にとっての価値を創り出すこと（強化）
Regeneration	かく乱後の自然の再成長（再生）
Restoration	上記概念を含む人間による生態系の持続性を回復させるための活動（再生）

こうした再生の概念を図で示すと、図 - 4 の様に示される。グループ I では、現状の環境条件から生態系の持続性の高い状態に変化させ、かつ、従来存在した生態系に類似したものを「再生」する「再生、強化、修復、改善」といった方向性を持つ。一方、グループ II では、現在の環境条件よりも生態系の持続性の高い状態を目指すものの、人的な管理などによりその回復力を助ける場合であり、従来存在した生態系と必ずしも一致しないものを「再生」する「改変、創造」といった方向性を持つ。こうした方向性には、どちらが優位であるといった序列は存在せず、目標の立て方（価値の付与の仕方）により、再生の方向性が変化するということを表している。

すなわち、「開発」（改変や創造）と「再生」は、決して対立概念ではないことが示されているとともに、「再生」と「保護」「保存」が人間活動という切り口からは、異なる概念であることが示されている。

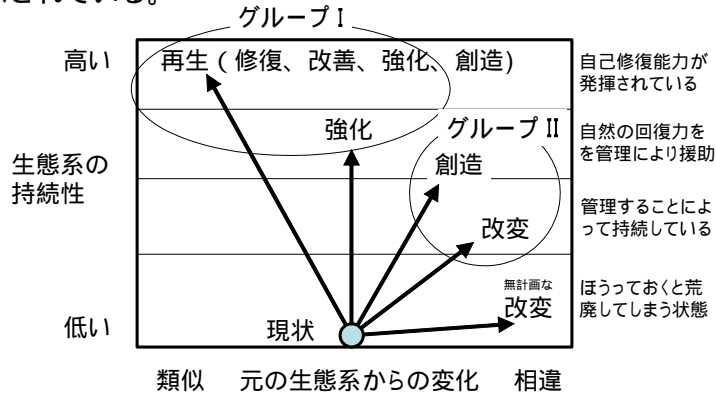


図 - 4：自然再生の概念図（国際航路会議の例）

自然再生推進法の例

平成 15 年 1 月に自然再生推進法が施行され、同年 4 月に自然再生基本方針が出された。この中で、自然再生の定義がなされており、

「自然再生」とは、過去に損なわれた生態系その他の自然環境を取り戻すことを目的として、関係行政機関、関係地方公共団体、地域住民、特定非営利活動法人、自然環境に関し専門的知識を有する者等の地域の多様な主体が参加して、河川、湿原、干潟、藻場、里山、里地、森林その他の自然環境を保全し、再生し、若しくは創出し、又はその状態を維持管理することをいう。

（自然再生推進法、第 2 条から抄録）

と記述されている。特徴的であるのは、前出の定義と比較して、「保全」や「維持管理」を含めたより広範囲な定義となっている一方で、目的が「過去に損なわれた生態系その他の自然環境を取り戻す」とことと限定されていることである。自然再生推進法による定義を図 - 4 の形式に直したものが図 - 5 である。図 - 4 で言うところのグループ I が目標となっている。

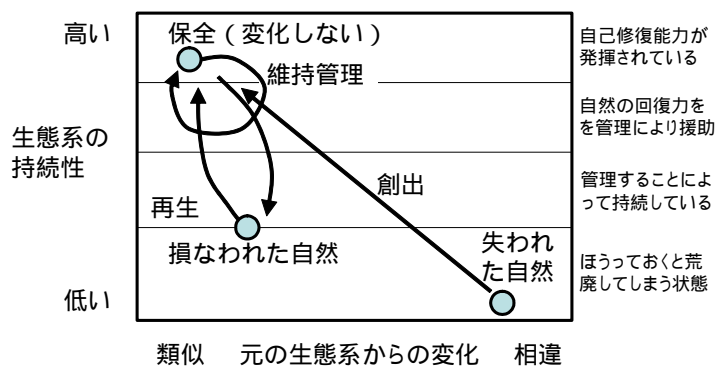


図 - 5：自然再生の概念図（自然再生推進法の例）

ただし、自然再生基本方針においては、「自然再生の方向性を考える際には、地域の自然環境の特性や社会経済活動等、地域における自然を取り巻く状況をよく踏まえるとともに、これらの社会経済活動などと地域における自然再生とが十分な連携を保って進められることが必要」であることが示されており、目標のグループ II への拡張もありうるとも解釈できる。どのような自然再生の定義となるのかは、今後の事業の適用例の積み重ねにより明確になっていくのかもしれない。

自然再生のガイドライン

上記のように、自然再生を目指すための個別具体の目標は、それぞれの地域性、場の特殊性などを考慮して立てられるべきである。そのためには、予め決められた統一的な目標を設定するのではなく、目標設定のための前提条件が重要になってくる。例えば、国際航路会議の「湿地再生についての技術ガイドライン」においては、

- ・ 再生することの前に、まず保全する手立てがないか検討する
- ・ 常に流域圏のスケールを意識する
- ・ 長期的な管理が必要であることを認識する
- ・ 再生のプロセスには、地域住民、関係者の参画が不可欠である
- ・ 近隣、遠隔地への影響も考慮する
- ・ 順応的管理手法が有効である
- ・ 明確な目標設定、評価基準が必要である

などが、目標設定のためのガイドラインとして示された。そして、その実現の鍵となるプロセスとして、戦略的計画の立案と順応的管理の実現の重要性が指摘されたのである。

2.2 目標達成に必要な仕組み

(1) 包括的計画：Strategic Planning

包括的計画とは、今まで個別に状況把握、目標設定、行動計画、実施、維持管理が行われてきた事業実施の計画を改め、各段階を包括的に議論し、将来的に目指すべき目標、計画年次、必要な資源などの概要を示すものである。これを立案するためには、環境影響評価や自然科学研究の成果、関係者からの情報提供などを含めて幅広い条件を考慮する必要がある。

そのためには、状況把握、目標設定、行動計画、実施、維持管理（評価）、フィードバック等の段階的なアプローチの中で、下記のような配慮が必要とされている。

- a) 状況把握：現況の把握や戦略的環境影響評価（SEA）による目標設定への根拠提示
- b) 目標設定：環境の機能などを用いた指標により目標の定量化および、この目標について、達成の戦略、優先度、達成方法、関係機関の役割分担、計画や資源の配分についての合意形成

- c) 行動計画：影響予測や評価指標の確立、管理手法などと整合を取った詳細設計
- d) 実施：工事施工に伴う環境影響に配慮した施行
- e) 維持管理（評価）：定期的な維持管理の実施および各段階での現況判断を経て、最初の状況把握の段階にフィードバック

包括的計画においては、こうした過程を重視した計画立案を提唱しており、そのなかで、フィードバックの機構として有効視されているのが、順応的管理手法である。

（２）順応的管理：Adaptive Management

順応的管理とは、計画地だけでなく、他所への影響も含め、計画時に予想できなかった変化やコントロール不可能な状況が発生した場合において、最新の情報と最新の技術を適用し、必要な修正を行っていくことを目指した管理手法である。

順応的管理の一例として、図 - 6 のように、次の手順が提案されている（RAMSAR, 2003）。

- ・ 管理目標を設定する
- ・ 最新・最適の情報を用いて適切な管理手法を導入する
- ・ 目標が達成されているかどうかをモニタリングする
- ・ 目標が達成されていないならば、管理手法を修正する。必要であれば目標を修正する。

こうした手順は、あらかじめ決めた間隔で実行されるべきものであり、その期間は1 - 2年から5年程度と、様々なケースが考えられている。

こうした順応的管理を実施することにより、自然再生事業の実施者・管理者は、経験から学ぶこと、特性に影響する要因の変化に対応すること、管理手法を継続的に改善すること、管理が適性になされていることを示すことなどが可能となる。

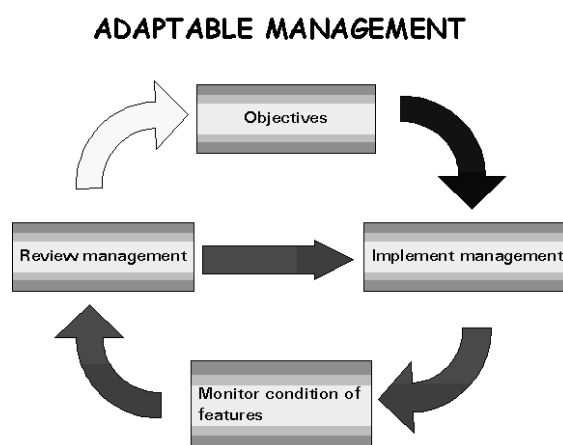


図 - 6 順応的管理の例（Ramsar, 2003 より）

3. 干潟の再生技術

3.1 目標設定

どのような干潟再生を目指すべきなのかを具体的に述べることは難しい。特に、「環境の価値」と「環境の機能」についての混乱を避けなければいけない。「環境の価値」とは、最終利用者（エンド・ユーザー）毎に定義される相対的なものであり、環境の機能によるものですが「機能」そのものではない。例えば、「干潟の海水浄化機能」を定量化し、その機能が最大になるような干潟を造ったとしても、海水浄化施設としての「価値」が最大になるとは限らないからである。

この目標を達成するためには、自然の機能を知る技術、自然の回復力を知る技術、環境の価値を評価する技術、生態系のあるべき姿をモニタリングする技術などを自然再生のシステムとして総合化することが必要である。また、実現のための手段として、前出の戦略的計画の立案や順応的管理手法の適用などが必要となってくると考えられる。

3.2 干潟のワイズユースのための技術開発

まず、東京湾で干潟を再生の目標の具体例として「アサリが棲める干潟を取り戻す」という「持続性の高い干潟」を目指すというシナリオを想定して検討してみる。アサリは、日本の食卓に欠かせない日本各地の干潟域に生息する漁貝類であるとともに、海水をろ過する作用があり、近年では環境改善の面からも着目されている生物である。また、アサリのすむ干潟は、潮干狩りなどのレジャーの面の利用からも優れた場となると考えられる。

現在、アサリの現存量は全国的に激減しており、かつて15万トン前後あった漁獲量は、2000年には4万トン前後にまで落ち込んでいると言われてる。その主な原因としては、生息場の喪失、環境の変化、競合種の加入、病気、乱獲などが挙げられており、特に、東京湾においては、埋め立てによって浅場・干潟が喪失したことや、周辺地形の変化や漁業形態の変化によって冬季の波浪が干潟に強く作用するようになったことなどが主な原因と考えられている。

したがって、東京湾などにおいては、新たな生息場を造成することや、生息場の環境条件の改善を行っていくことがアサリ生息場の再生に有効な手段となりえると予察される。しかし、どのような場を、どこに、どのくらい配置したらよいかという目標像については、明確な答えを持っていない。

(1) アサリプロジェクト

「どこに干潟を作ったらよいか」という問いかけに答えるために、湾内のアサリに着目して「生態系ネットワーク」の実証を目指した研究がアサリプロジェクトである。

アサリは、図-7に示されるように、アサリの生活史のごく初期の段階において、海

水を浮遊する期間がある。この間、遊泳力もほとんどないと考えられることから、海水流動により沿岸部を広範囲に移流・拡散されながら移動することが予想されていた。それは、生息場を広げる（発生した場所と異なる場所で定着する）努力でもあり、環境変動に対する自衛手段（元の生息場のアサリが何らかのダメージを受けて全滅しても、他の場所から再度幼生が供給され、アサリが復活する）とも考えられる。こうした生息場間の連携は「生態系ネットワーク」と呼ばれている。その存在の実証や様相の解明は、アサリのすむ干潟の再生のためには、不可欠のことと思える。

プロジェクトでは、図 - 8 に示されるような測点（湾内 65 点）で 4 日おきに 3 回、海水中の上中下層に存在する浮遊幼生の数・大きさを詳細に観測することや、アサリ幼生の浮遊状況を再現する数値予測システムの開発などが行われた。こうしたプロジェクトの実行には、水産学の分野で開発されていた 0.1mm 程度のアサリ幼生を選択的に染色するといった技術の適用や、広域の表層の流れをモニタリングする海洋短波レーダの利用、気象や河川、海洋の影響を加味して湾内の流動を予測するシステムの開発等が不可欠であった。こうした様々な周辺技術に支えられ、得られた成果は、

- (1) アサリの浮遊幼生は海域に広く分布しているとともに、湾内の流れ構造に強く支配されながら移流されている
- (2) アサリについて、発生から、海域に出て移流され、着底する直前までの生態系ネットワークが存在する
- (3) アサリ幼生は移流されていく過程で、顕著な捕食の影響を受ける
- (4) 短期的な流れを正確に再現することで、アサリ幼生の発生場所を推定するモデルを作ることができる
- (5) その発生場所として、従来の自然干潟やアサリ漁場の他に、西側の港湾域、河口域内に存在すると思われる生息場が大きな発生場所となっている可能性があるなどであった。

こうした成果を検討すると、「アサリの棲める干潟を再生するためには、自然干潟の保全とともに、湾西部における干潟や浅場の創造・再生が重要である。」と推察され、まさに、東京湾再生会議で自然再生の重点エリアとして指定されている湾北部から西部にかけての領域は、「アサリの棲める」といった目標においても重要なエリアであると言える。

（２）都市臨海部に干潟を取り戻すプロジェクト

平成 15 年度より、具体的に都市臨海部に干潟を取り戻すというシナリオ実現のためのプロジェクトを開始した。プロジェクトの研究目的は、個別技術を統合し、総合的技術開発が必要となる生態系の連携手法や、生物多様性の保全手法を確立することと、開発した技術を市民と合意形成をしつつ実現化していくシステムを構築することである。

すなわち、「どのような干潟を、どうやって再生していくのか」という問いかけに答えるための研究と位置付けられる。

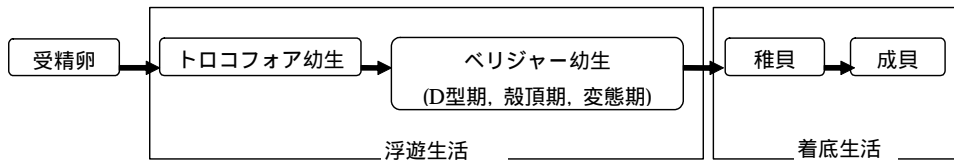


図 - 7 アサリの生活史（卵の発生から、浮遊、着底まで）

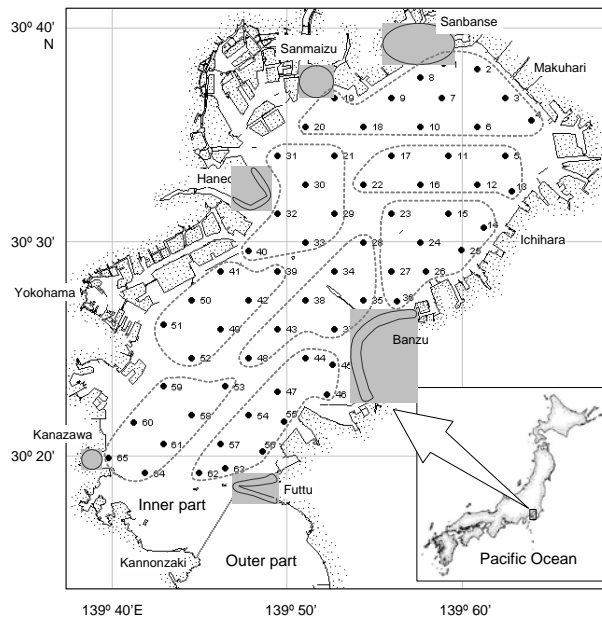


図 - 8 東京湾におけるアサリプロジェクトの観測点

自然再生事業を推進していく上で必要となる大規模実験の詳細な計画案の立案、関連研究者との連携を高めることをアウトプットとするために、大阪湾阪南2区における予備的実証実験の開始、情報交換・議論の場としての東京湾シンポジウムの継続開催などを予定している（図 - 9）。

4. おわりに

今後、港湾の環境修復事業は、「自然再生」という軸を中心に実施されていくことが期待されている。そのためには、自然再生の具体的な目標作り、事業を実施するためのシステム作りが重要であり、それらを総合化した包括的計画が必要となってきたと感じられる。自然再生には、ワイズユースという概念により明確な目標が設定されることが必要である。


さらに、そうしてしめされた明確な目標に対して関係者が合意をするためには、自然の回復力を知る技術、環境の価値を評価する技術、生態系のあるべき姿をモニタリングする技術などの個別の技術開発に加え、自然再生のシステムとして総合化するための技

術開発が研究者には求められていると感じている。

都市臨海部に干潟を取り戻すプロジェクト (阪南2区干潟創造共同実験)

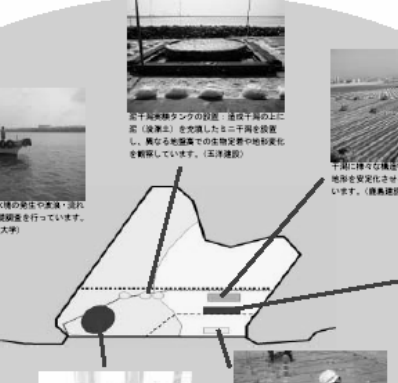
このプロジェクトでは、市民が親しめる干潟を都市臨海部に再生させることを実現するため、干潟、もれ、ヨシ原が持つ海水浄化機能や生物生態機能等を活用した海域環境の改善や豊かな生態系の回復のための自然再生技術の確立を目指しています。


阪南2区整備事業（下記参照）により造成された干潟において、国土交通省国土技術政策総合研究所が中心となって、近畿地方整備局、大阪府（港湾局・環境農林水産部）、独立行政法人港湾空港技術研究所、大阪市立大学、大阪府立水産試験場、民間共同研究グループ（鹿島建設・大成建設・五洋建設・東洋建設）による共同研究が実施されており、干潟の安定性に関する実験や、生物の定着に関する実験等が進められています。




実験のメニュー


干潟の安定性に関する実験 基礎の沈下のモニタリング 覆砂材料の変化（浚渫土+覆砂） 地形の安定化工法の実施の効果 ミニ泥干潟の造成	生物の定着に関する実験 定着生物のモニタリング ヨシ原の造成 アマモ構の造成 ミニ泥干潟への生物定着
--	---









不規則な形状で造成された干潟の基礎調査を行っています。（鹿島建設・大成建設・大阪市立大学）




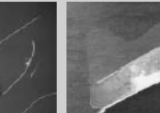
干潟に様々な植生を定着させることで、地形を安定化させる工法の開発を行っています。（鹿島建設・大成建設）




細粒完成状況、貝殻や玉石の設置、設置時の崩壊を安定させた砂浜づくり、地形変動・基礎調査を実施します。その際には、土壌で覆われた地形に造成した適合エリアもあります。（東洋建設）








干潟利用後の航空写真



アマモ移植は実験・次回の風割け作業などで造成実験を予定しています。写真は移植前の覆砂を室内で育てている様子です。他に移植シートによる移植も行います。（東洋建設）



ヨシの移植状況。基の干潟の水深の深い場所にヨシ原を造成する計画を行っています。（鹿島建設・大成建設）

図 - 9 都市臨海部に干潟を取り戻すプロジェクト（阪南2区干潟創造共同実験）

参考資料

運輸省港湾局(1994)：環境と共生する港湾 - エコポート -、大蔵省印刷局、87p.

国土交通省港湾局環境整備計画室（2001）：EcoPort 港湾環境政策 2001、政策パンフレット、11p.

シーブルー・テクノロジー研究委員会（1989）：シーブルー計画、シーブルー・テクノロジー研究委員会、239p.

日向博文（2002）：湾域全体でのアサリ浮遊幼生動態把握に基づく干潟再生戦略、沿岸環境関連学会連絡協議会、第9回ジョイントシンポジウム予稿集

古川恵太(2002)：港湾事業における自然再生の目標について、第4回汽水域セミナー、pp.56-61.

PIANC（2003）：Ecological and Engineering Guidelines for Wetlands Restoration, Report of PIANC-EnviCom WG7,（印刷中）

Ramsar(2003)：. The Ramsar Convention on Wetlands, <http://www.ramsar.org/>