

# 尼崎港内運河における環境修復の取組み 閘門・水門を利用した流況制御・水質改善実験

STUDY OF ENVIRONMENTAL RESTORATION TECHNOLOGIES FOR THE  
CANAL IN AMAGASAKI PORT  
EXPERIMENT ON CURRENT CONTROL AND WATER PURIFICATION USE  
AMAGASAKI LOCK GATE

中西 敬<sup>1</sup>・上月康則<sup>2</sup>・森 紗綾香<sup>3</sup>・川井浩史<sup>4</sup>・辻 博和<sup>5</sup>・上嶋英機<sup>6</sup>  
Takashi NAKANISHI, Yasunori KOZUKI, Sayaka MORI, Hiroshi KAWAI, Hirokazu TSUJI and  
Hideki UESHIMA

<sup>1</sup>正会員 博(工学) 総合科学(株) 海城環境部 (〒540-0024 大阪市中央区南新町1-4-8)

<sup>2</sup>正会員 工博 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

<sup>3</sup>非会員 徳島大学大学院 先端技術科学教育部 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

<sup>4</sup>非会員 理博 神戸大学 内海城環境境域研究センター (〒657-8501 神戸市六甲台町1-1)

<sup>5</sup>正会員 農博 社団法人底質浄化協会 (〒104-0041 東京都中央区新富町1-12-7)

<sup>6</sup>正会員 工博 広島工業大学大学院 環境学研究科 (〒731-5193 広島市佐伯区三宅2-1-1)

In Osaka Bay reclamation has taken place in a variety of forms. Reclamation has made narrow water area where water dose not exchange. And large mount of waste water that discharged into such area decline water quality. On the other hand such area is very important place because people can come in contact with the sea.

We made study of environmental restoration technologies for such narrow water area. We made experiment on current control and water purification in Amagasaki canal and made restoration plan.

**Key Words :** Canal, Environmental Restoration, Water purification, Current control, Ecosystem

## 1. 目的

大阪湾では、埋立地と背後地の間に運河や水路状の水域が残され、航路として利用されてきた。このような水域の多くは海水の交換が悪く、陸からの負荷により水質・底質が悪化している。また、赤潮の発生、透明度の低下が親水性を著しく低下させている。さらに1年のうち半分近い期間にわたり底層で貧酸素状態が発生し、生物の生息を阻害している。一方、このような水域は都市臨海部の貴重な水辺であり、親水空間としての利用価値を高めるため、水質改善が危急の課題となっている。

本研究では、大阪湾奥部に位置する尼崎港内の運河を対象に、現地調査に基づく環境診断を行うとともに流況制御等の実証実験を行い、それらの結果を踏まえ、運河の環境改善のための作業仮説（以下シナリオと記す）を立案した。また、運河再生事業化のための考え方を整理した。

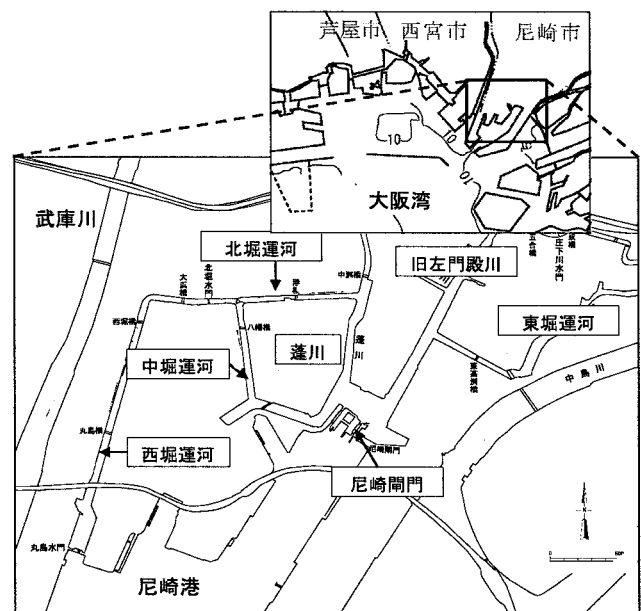


図-1 位置図

## 2. 研究の枠組み

### (1) 研究フロー

本研究では、尼崎港内並びに運河において詳細な現地調査を行い、その結果に基づく環境診断を行うとともに、水質改善技術を複数案抽出した。その中から、尼崎閘門・北堀水門（以下、閘水門と記す）を用いた流況制御による水質改善策を選び、実証実験を行った。また、他の主体が実施したエアレーション等の現地実験、数値シミュレーション、港内における既存の実験結果<sup>1)～3)</sup>を踏まえ、水質改善のためのシナリオを作成するとともに運河再生事業化のための考え方を整理した。

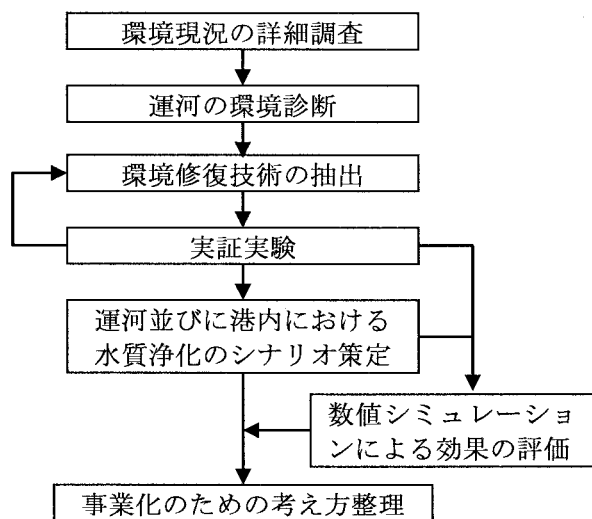


図-2 研究フロー

### (2) 現地調査の概要

尼崎港内及び運河内の23地点において（図-2）、水質、底質の調査を行うとともに、有機懸濁物の沈降・堆積、底質からの栄養塩の溶出、酸素の生産・消費等の物質循環に関する実験を行った。さらに、運河内の10横断測線において（図-3）、ADCPを用いて断面流速を測定した。なお、これらの調査は、運河内の海水がほとんど動かない状態の平成18年9月2日と、後述する流況制御実験を行った同年9月8日の閘水門の操作前後に実施した。主な調査項目を表-1に示す。

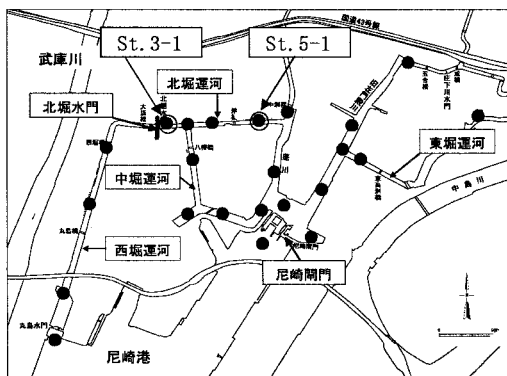


図-2 水質・底質調査地点

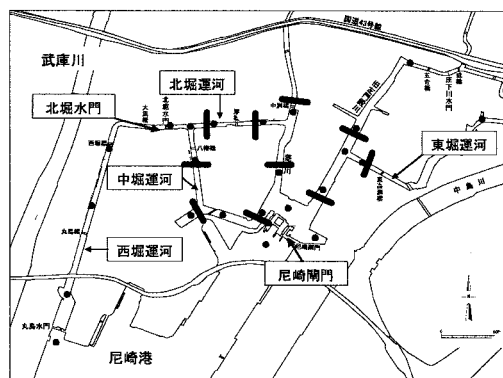


図-3 断面流速調査測線

表-1 主な調査項目

| 区分   |      | 項目                                                                                                                                                    |
|------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 流れ   | 機器測定 | ADCPによる断面流速測定                                                                                                                                         |
|      | 水質   | 水温、塩分、DO、透明度、クロロフィルa、濁度、光量子等                                                                                                                          |
|      | 採水分析 | DOC、NH <sub>4</sub> -N、NO <sub>2</sub> -N、NO <sub>3</sub> -N、PO <sub>4</sub> -P等                                                                      |
| 底質   | 採取分析 | 強熱減量、AVS、T-N、T-P、NH <sub>4</sub> -N、NO <sub>2</sub> -N、NO <sub>3</sub> -N、PO <sub>4</sub> -P等                                                         |
| 物質循環 | 現地実験 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・海水中の有機物の生産分解（明暗ビン試験）</li> <li>・有機懸濁物の沈降堆積（セジメントトラップ）</li> <li>・底質による酸素消費実験</li> <li>・底質からの栄養塩の溶出実験</li> </ul> |

## 3. 環境診断

現地調査の結果、以下の事項が明らかになった。

### (1) 水質

水深約2m付近に躍層が存在し、鉛直混合が極めて生じにくい。表層の塩分は20PSU程度である。2m以浅が好気的環境（DO：10mg/lの過飽和状態）、2m以深が嫌気的環境（3mでほぼ無酸素状態）となっている（図-4）。

表層のCODはおおよそ7mg/lと高く、環境基準C類型基準値8 mg/lをкаろうじて満たしている。

### (2) 流れ

各断面における通常時の平均流速が数cm/s以下であり、ほとんど流れが無い（図-8、図中操作前）。

### (3) 底質

全硫化物等の濃度が非常に高く「有機汚泥指標による底泥の除去基準（案）、S60年運輸省三建」に照らして除去すべきと判断される箇所が多地点で見られた。

### (4) 付着生物

護岸では、水深2.0m以浅の範囲に多量のイガイ、フジツボ、カンザシゴカイが付着し、盛んに懸濁物を摂取している。それ以深は貧酸素の影響で付着生物がほとんど生息していない。

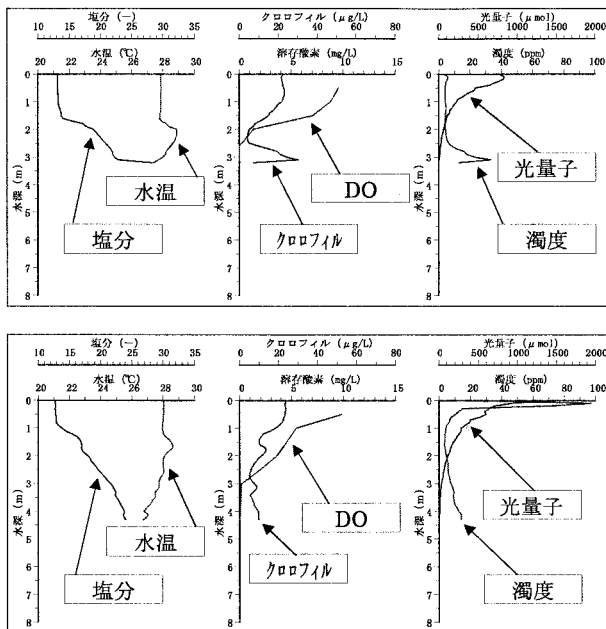


図-4 水質の鉛直分布 (上: st. 3-1, 下: st. 5-1)

#### (5) 物質循環

表層では、植物プランクトンの過大な基礎生産により有機物が生産されるとともに酸素が供給され、過飽和状態となる。基礎生産された有機物の約1/3が沈降し、海底に堆積する。有機物は懸濁状態で分解されにくく、残りの2/3が懸濁を続けるか、もしくは付着生物に摂餌吸収される。底層では有機物の分解に伴い酸素が消費され、貧酸素～無酸素状態となる。窒素並びに酸素を指標として物質循環を表すと図-5のようになる。

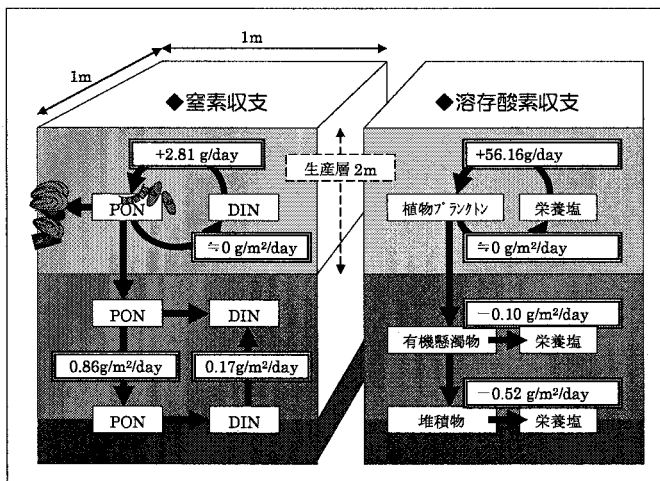


図-5 物質循環 (左: 窒素収支, 右: 酸素収支)

## 4. 実証実験

運河内の海水交換を高めることを目的に、潮汐の干満の差を利用し、開門と水門の操作により運河内に一方向の流れを発生させる実験を行った。

### (1) 実験の概要

通常は運河内の水位が、開門及び北堀水門並びに排水機場のポンプによって管理水位 (OP+1.1m) 以下に保たれている。そのため、外側 (外潮位) が管理水位よりも下がった時点で開門と北堀水門を開放し内側の水位 (内水位) を下げ、外潮位が管理水位に近づいた時点で開門・水門を閉じるという操作が行われている。

今回の実験では、外潮位が管理水位を下回った時点で開門を開放し、最干時に開門を閉鎖するとともに北堀水門を開放、その後外潮位が上昇し管理水位に近づいた時点で北堀水門を閉鎖するという操作を行った (図-6)。

外潮位が下がらずに開門・水門の開閉がなされない状態が続いた9月1日に事前の水質の状態を調査し、その後9月2日から8日にかけて開水門の操作を行い、8日に図-7に示す地点で操作前後の水質調査を行った。

なお、開門は観音開きの全開タイプで、北堀水門はゲートが上下し運河の底層が開閉するタイプであることから、その操作によって出入りする海水の層と深さが異なる。

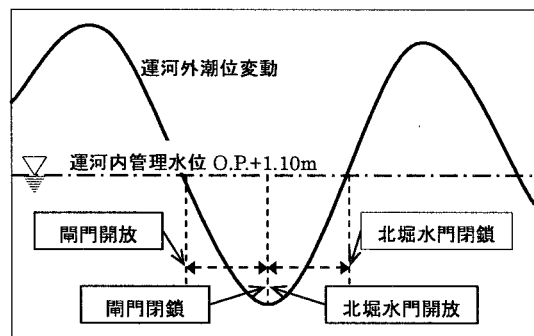


図-6 開水門操作の概要

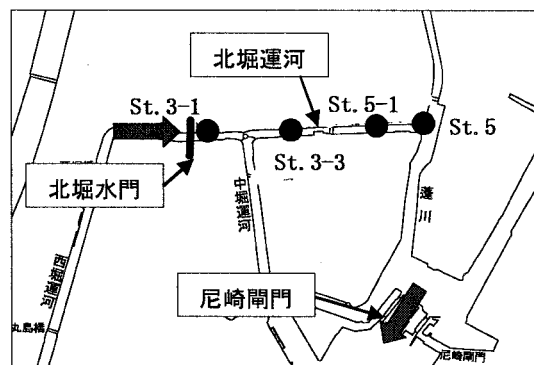


図-7 尼崎開門、北堀水門の位置関係と海水の出入り並びに水質調査地点

## (2) 実験結果

実験結果を以下に示す。

開水門操作の前後でADCPを用いて流況の測定を行ったが、北堀水門の直近で顕著な流れが生じたものの、その他の断面では大きくても10cm程度の流速変化となった(図-8)。

開水門操作の結果、北堀運河の水位が約20cm程度変化し、それに応じた水量が、開門から流出し北堀水門から流入した。北堀水門からは水門の構造上底層からの流入が生じるため、それに起因する鉛直混合が生じ、北堀運河の半分程度までその影響が及んだものと推察された(図-9, 10)。その結果、底層のDOが上昇することが分かった(図-9, 10)。なお、開門からは表層の流出たなるため、鉛直方向での混合は生じなかったと推測される。

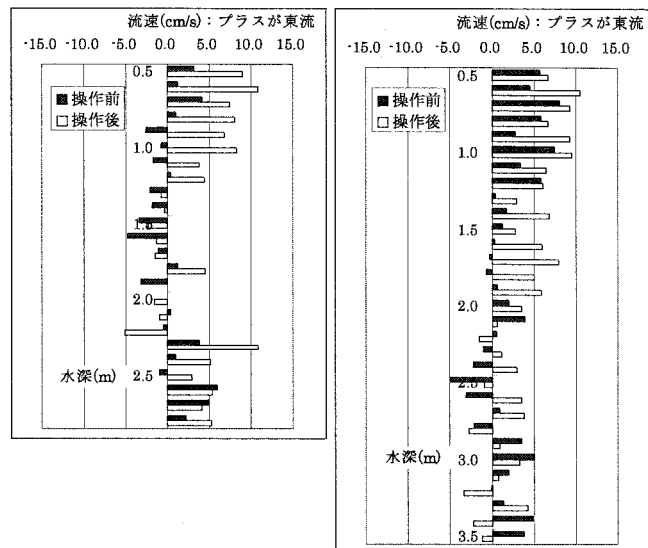


図-8 水門操作前後の流速(運河中央部の平均)  
(左: st.3-1, 右: st.5-1)

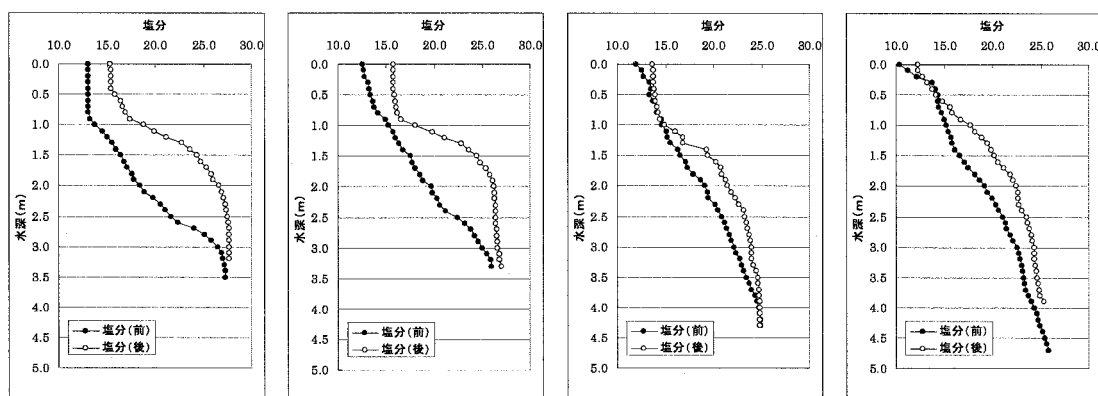


図-9 開水門操作前後の塩分の分布(左からst.3-1, st.3-3, st.5-1, st.5)

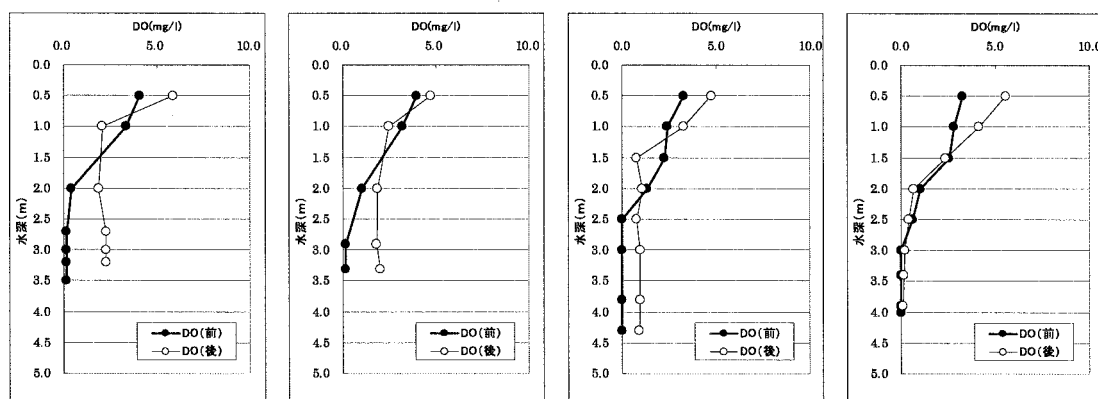


図-10 開水門操作前後のDOの分布(左からst.3-1, st.3-3, st.5-1, st.5)

## 5. 環境改善のシナリオ

### (1) 物質の悪循環と好循環

環境の現状を概念図で示すと図-11(左)のような「環境質が低下する悪循環」が生じていると表現できる。一方、目指すべき状態は図-11(右)に示

した「環境改善の好循環」となる。環境改善を進めるためには、対象となる場における物質循環構造を把握し、その循環を好転させるための方法を探し出すことが肝要となる。ここでは、現地調査並びに実証実験の結果から『流れを起こすこと』と『DOの供給』を組み合わせることがポイントと考え、次のような環境改善のシナリオを策定した。

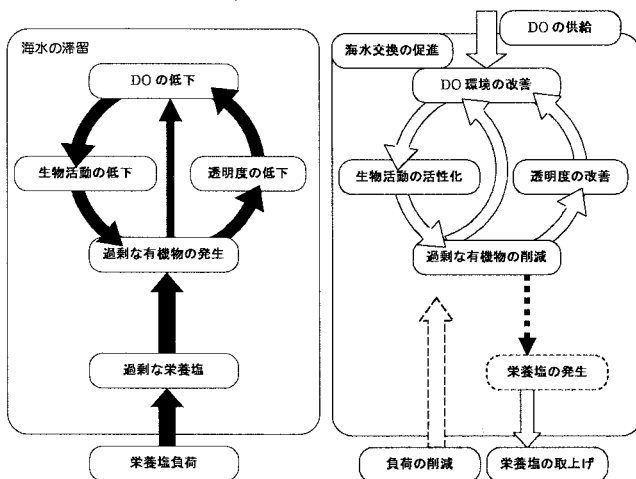


図-11 物質循環の悪循環と好循環（左：環境質が低下する悪循環構造, 右：環境改善の好循環構造）

## (2) 環境改善のシナリオ

環境改善のシナリオを以下に、また物質循環好転の概念図を図-12に示した。

- ① 開水門の操作により流れを起こし、海水の鉛直混合を促進する。
- ② 北堀水門付近でエアレーションを行い、導入水のDO濃度を高める。
- ③ DO濃度を高めた海水を動かすことによって、-2.0m以深の水深帯をできるだけ好氣的に保ち、付着生物が生息できる基盤（護岸）の面積を増やす。
- ④ 好氣的水深にエコシステム護岸<sup>2)</sup>などの柵を設け、沈降する有機物を受け止め底生生物によって摂取分解することにより、海底への堆積量を削減する。
- ⑤ 好氣的水深にイガイ、フジツボ等が付着する基盤を設置し、付着生物の生息空間を増やす。
- ⑥ 表層（-0.5m）に柵を設けヨシを植えつけることによって、栄養塩を吸収固定する。
- ⑦ 浅場（±0～-2.0m）を設け、アサリ・シジミが生息できる環境を整え、内部で生産される有機物を摂餌分解する。
- ⑧ これらにより、北堀運河の水質浄化を進めるとともに、開水門の操作によって生じる流れで水質改善効果を周辺に広げる。

なお、このようなシナリオが成り立つためには、水中の有機物を取上げることが不可欠である。さらに、取上げた有機物を有効に利用する仕組みが必要である。例えば、取り上げた植物や貝を用いた堆肥化を進め、堆肥を港湾緑地等の肥料として用いることにより、陸と海をつなぐ循環系を創出するなどの方策がある。

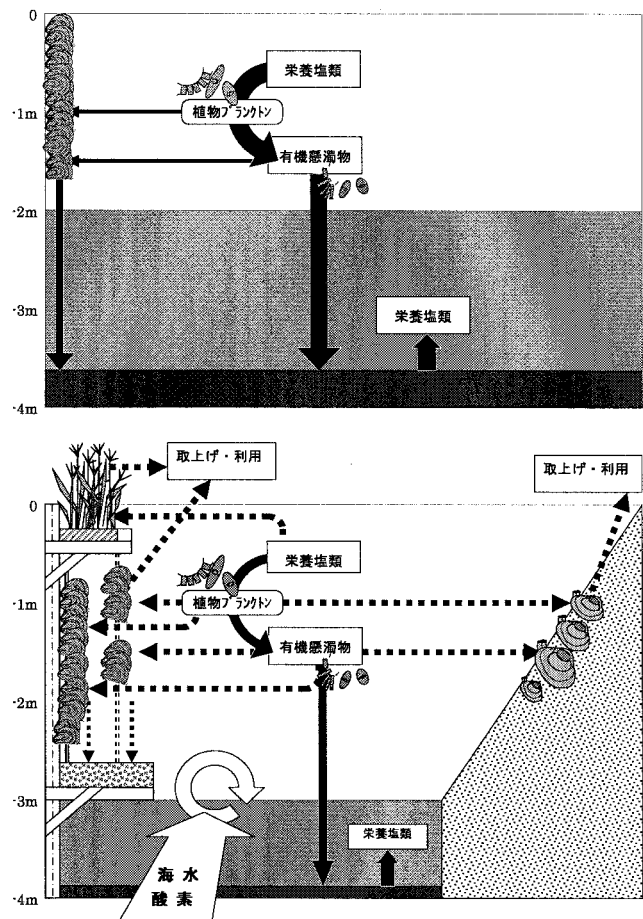


図-12 物質循環好転のイメージ（上図<sup>4)</sup>：改善前，下図：改善後）

## 6. 運河再生事業化のための考え方の整理

尼崎港内の運河において、運河再生事業を進めるための考え方を以下に整理した。

### (1) ゾーニングの必要性

運河の再生事業を進めるに当たっては、環境特性や利用特性を踏まえたゾーニングを行うとともに、重点ゾーンを設けるなどし、効率的に事業を進める必要がある。重点ゾーンを設けることによって、改善効果が現われやすくなり、事業による効果をなるべく早い段階で市民が理解することで、事業のサポーターを増やすことができる。

ここでは、水質や底質の状態、運河の利用状況等を踏まえ、図-13に示すゾーンを提案した。また、以下の理由から、西堀運河～北堀運河にかけての「Aゾーン」、「Bゾーン」を重点ゾーンとした。

- ・水質浄化施設が船舶航行の支障にならない。
- ・市民や企業の従業員の方等の目にふれやすく、市民の参画が比較的進みやすい。
- ・潮汐のエネルギーを用い、水門操作によって流れや鉛直混合を起こすことが可能である。

- ・浄化施設の効果を少なからず「Cゾーン」や「D1ゾーン」に及ぼすことができる。

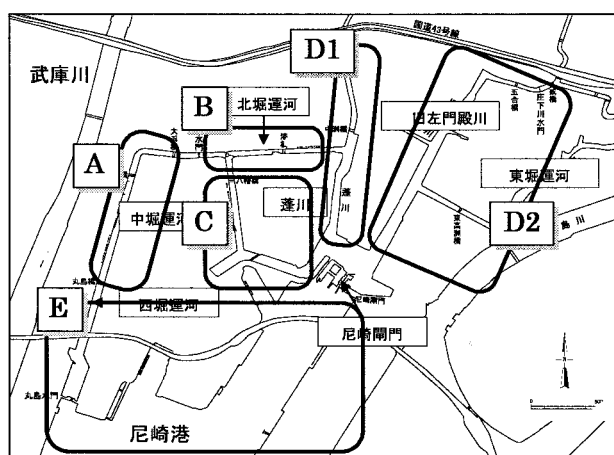


図-13 ゾーニング

## (2) 実証事業の実施と段階的拡大

シナリオを実現し事業へと結びつけるためには、技術の選定と併せて、組み合わせが重要である。海域における環境修復技術については、未確立な部分も多く、また、技術がどの地域でも同じ効果を発現するとは限らないことなどから、個別の実証実験が必要である。さらにそれらを組み合わせ、総体としての効果を検証するための実験事業が不可欠である。また、運河内で浄化を行うとともに、運河外（港内）での浄化についても検討し、運河を含めた港域での一体的な取組みを進める必要がある。

ここでは、微細気泡による DO 供給、棚などによる生物の生息基盤の創出、海藻による栄養塩の固定と回収等を組み合わせた実験事業を提案した。

## (3) モニタリング体制の確立

本格的に事業を拡大するに当たっては、実証事業のモニタリングとその結果の評価が不可欠である。近年、順応的な管理の重要性が指摘されるようになってきたものの、これまでの事業の枠組みの中ではモニタリングを位置づけることすらも難しく、その結果を踏まえて順応的に事業を行うことは今後の課題である。

ここでは、大学等の研究機関や企業、市民によるモニタリングの仕組みを提案した。

## 7. まとめ

現地での詳細調査に基づく環境診断を踏まえ、水門操作による流況制御実験を行った。その結果、海域環境の基本条件ともいえる流れ環境の制御によって、底層の DO をある程度改善できる目処が得られた。また、尼崎港内において実施された実験等の結

果を加味し、環境再生のためシナリオを策定した。

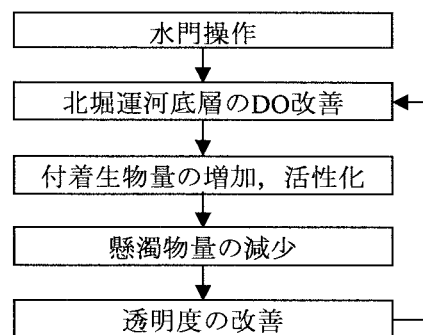


図-14 環境改善の連関（好循環）

シナリオは図-14 のような環境改善の連関として単純化できる。環境改善の連関を創出するためには、様々な技術を組合せて適用する必要がある、事業を本格的に実施する前の実験事業が欠かせない。

高度成長期には埋立ての対象であり、その結果環境が著しく悪化した水路状の海域・運河であるが、今改めて都市のインフラとして、その存在と価値が見直され、環境の修復・再生が進められつつある。運河の魅力を再生するに当たっては、さらなる水質の改善が不可欠である。我々は今後、市民やNPO、地元企業の参画を得て、まさに、民・産・官・学が一体となった尼崎運河の再生に取り組む所存である。皆さんからの意見、アドバイスがいただければ幸いである。

**謝辞：**本研究は、兵庫県による「尼崎シーブルー事業計画技術検討会」の結果をまとめたものであることを記すとともに、発表の機会をいただいた兵庫県県土整備部土木局港湾課に謝意を表します。併せて検討会において貴重な意見をいただいた同検討会委員、尼崎港管理事務所並びに兵庫県県土整備部土木局港湾課の関係各位に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 財団法人国際エメックスセンター：臨海部における環境回復・創造事業に関する調査報告書，2001。
- 2) 財団法人国際エメックスセンター：閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化研究開発成果報告書，平成 15 年度環境技術開発推進事業[実用化研究開発課題]，2004。
- 3) 上嶋英機・中西敬：閉鎖性海域における最適環境修復技術のパッケージ化，環境技術，VOL. 34，pp. 2-6，2005。
- 4) 中西敬：生物生産に係わる沿岸の環境修復技術，水産業における水圏環境保全と修復機能，恒星社厚生閣，水産学シリーズ 132，pp. 60-71，2001。