

内湾沿岸における海域の高度な利用と水質改善計画

—自然の作用を活用したシーブルー計画—

Utilization of sea surface as environmental resources and water-quality-improvement program
along coastal area -- Application of natural actions to the Sea-Blue-Program --

シーブルー・テクノロジー研究委員会

合田良実^{..}, 橋川隆^{...}, 堀江毅^{....}, 名取眞^{.....}, 細川恭史^{.....}

by Research Com. of Sea-Blue-Technology, Y. GODA, T. HASIKAWA, T. HORIE, M. NATORI, Y. HOSOKAWA

For the promotion of the coastal area utilization, it is essential to improve water quality so as this area to give citizens more refreshment and better amenity. Planning-flow is discussed for the selection of the economical counter-measures along the coastal area. Case studies are also shown for the five different types of the coasts. Application of natural actions and natural energy are proposed to improve the amenity.

1. まえがき

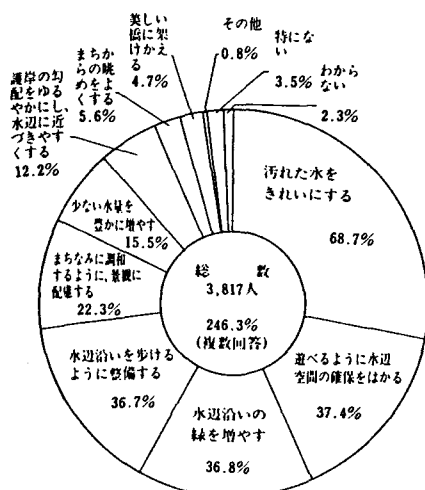
国民の価値観の変化やライフスタイルの変化を背景に、水辺へのアクセスに対する市民の強い希求が生じている。また、内湾の水際線の開発が急速に進みつつある。中村ら¹⁾は、東京湾を対象に湾岸開発と環境浄化について一つの構想を示している。ここでは、内湾沿岸の水域環境を利用のしかたと関係づけて考え、やや小規模な水面について水質改善の方策を提案している。検討に具体性をもたせるため、ケーススタディをおこなった。水辺の効用とより自然で海らしい海（青い海）に向けての環境創造とについて検討した一つの事例として報告したい。

2. 海辺への社会的要請

近年、ウオーターフロント開発として、臨海部が注目を浴びている。水辺の持つ魅力を活かしつつ、人が水辺に親しむことができる空間として利用しようとするものである。ウオーターフロント開発の特徴として以下の4点があげられる。1 総合的利用、2 親水性、3 情報化、4 民間資金の導入。親水性またはアクセスには、見る、触れる、泳ぐといったレベルが有り、それぞれの地域に応じた親水性の確保が望まれる。例えば、横浜市港湾局のアンケート調査によると、横浜港に対する市民の認識は、気楽に行ける、楽しめる、場でありまた空気がきれい、伸び伸びする、場であると同時に海の汚れが気になり、海のスポーツが楽しめない、というものであった。横浜港に対する要望では、生活必需品の市場造り、港への交通の便、等よりも、海の汚れの防止、が卓越していた。全国の港やその周辺の高齢者に出かけたときの不満について総理府の行った調査では、ゴミが散乱していた、海水が汚かった、という項目が多数を占めている。内閣総理大臣官房広報室が昭和6

キーワーズ；水質浄化，沿岸域，環境創造
.. 正会員 工博 横浜国立大学工学部教授
... 正会員 運輸省港湾局環境整備課長
.... 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所部長
..... 底質浄化協会
..... 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所
(239 横須賀市長瀬3-1-1)

3年に実施した「まちづくりと水辺空間整備に関する世論調査」によると、水辺づくりのために国や地方公共団体に期待することは、図ー1に示すように「汚れた水をきれいにする」が最多となっている。



図ー1 水辺づくりのために国や地方公共団体に期待すること

潤いのある生活に対する要請が増加していることがうかがえる。海辺の散策や眺望から、海洋性レクリエーション等まで海と結び付いた活動への期待が高まっている。しかし、実際の海辺は、多くの魅力を持ちながらも、汚濁が大きな問題となっており、散策や眺望という利用に対しても、環境の改善が要望されている場合もあることも分かる。

3. 海辺の環境改善計画の考え方

人々の期待に応じて海の魅力を取り戻し、海の快適さを引き出すためには、工夫をこらした海辺の環境改善が必要である。基本的方針を以下の5点にまとめた。

3.1 海の資質を活かすこと

海の海らしさを損なわないように考える。海の海らしさは、例えば、大量の水が存在すること、水面が広いこと、海水の比熱が大きいこと、塩分に富むこと、豊富な生物が生息すること、波や潮汐があること、等に起因する。海辺では伸び伸びする、という認識は、水面が広く視野が開けること、比熱が大きく大量の水があることによる清涼感が得られること、潮の香りがするこ

と、波の音が聞こえること、かもめが飛ぶことなどによりもたらされているのだろう。水質を浄化しても、それが人工的な塩水プールであっては、海らしさは減ってしまう。

3.2 海の魅力や快適さを意識的に作り出すこと

従来は、海の経済的価値が重視され、生産や物流の場としての利用が主であった。ここでは、海の環境資源としての価値を最大限に発揮できるような手助けを考える。計画的に環境を管理し、施設や装置も水質を浄化したりアクセスを促進するようにする。

3.3 海と陸との密接な関係を図ること 従来、沿岸は自然が厳しく人から遮断すべきものとして発想されてきた。そこで、防災面と調和を図りながらも、海がよく見え、水べに近付きやすくするように考える。人が海上に出て行きやすくなったり、海水を陸に引き込むなどの工夫も考えられる。

3.4 利用の仕方を考慮して環境を改善すること

水質指標は、元来、利用に対する阻害の程度を表示するものとして考えられてきた。ここでは、海域の利用の仕方を考慮して改善の程度や指標を考えてみる。眺める、という利用に対してはゴミがなく、悪臭もなく、周囲の景観も良いことが求められる。人間の五感を重視した指標の開発や利用が求められる。利用の仕方を考慮した環境改善とは、利用者を想定した環境改善を考えることでもある。環境改善における便益と負担の関係について、従来と異なり、かなり分かりやすくなる可能性もある。また、環境改善が逆に利用を促進するという複合効果も考えられる。従来の課題解決的なアプローチから、より創造的に、目標を設定しその解決手段を提示することが環境サイドから可能となる。

3.5 手段の組合せをはかること

海域の水質浄化や海辺の環境改善は、対象とする空間が大きいことや環境のレベルが高いことなどから技術的なむずかしさがある。陸上の下水や河川に比べて低濃度で、潮流により絶えず流され浄化対象水量の大きい海域では、自然の浄化作用の模倣や自然のエネルギーの活用が望まれる。自然の作用の活用による浄化は、速度が遅く広い面積がいるが、人為的なエネルギー供給に余り依存せず済み、さらに周辺に大きな影響を与えずに済む。防災施設など他の目的で設置された構造物を、その機能を保ちつつ利用する技術なども環境改善にとって開発が望まれる技術である。

4 目標設定と解決手段の提示のフロー

利用を考えた環境改善を沿岸水際線に適用するときの検討フローを、図-2に示す。図中には、簡単のため、フィードバックの線を省略してある。目標設定から解決手段の提示までのプロセスにはプロジェクトを作り出すための様々の工夫や科学的な検討調査が必要であるのは当然であるが、ここでは、企画創造型の環境改善のイメージを提示することと解決手段としての環境技術の現況把握とのためにとりあえずこのフローに従って検討を進めた。

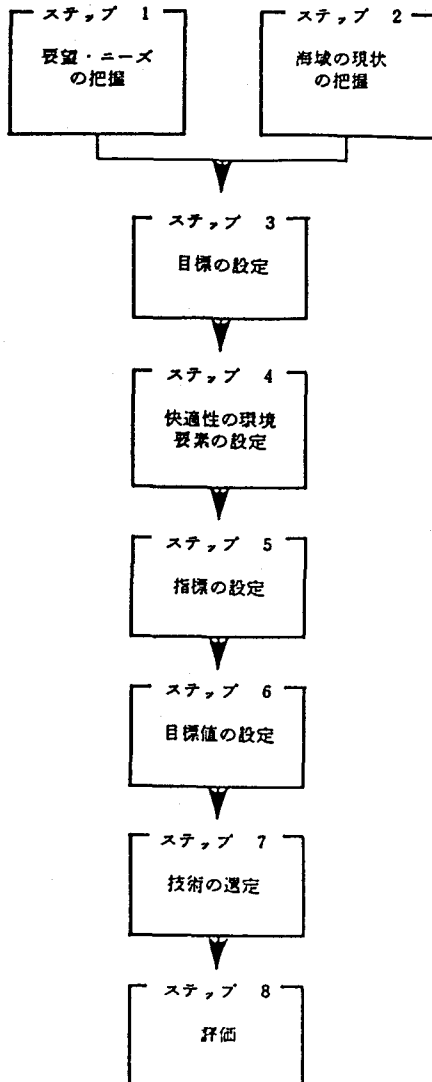


図-2 検討フロー

以下に、フロー上各ステップ毎の手順を概観してゆく。

(1) 対象海域水際線部に対する要望やニーズの実態を把握する。

(2) 海域の自然状態、背後地の社会条件、経済状況、海域環境などの現状や特性を把握する。

(3) 海域に対する願望をキャッチフレイズ（ことば）の形で意識化する（例、海水浴のできる海）。キャッチフレイズをさらに具体的な整備改善目標へと明確化するために、場所、広さ、利用対象者、年齢、性、利用内容などの特定も考えられる。

(4) 対象海域での快適性や利用上の阻害をよく表す環境要素を選び出し、さらに目標を明確にする。抽象的な感覚（広々とした空間等）に尺度や基準を与えにくいので、ここでは従来水質指標に底質、地形、流れなどを加えてなるべく感覚に関連づけて考えることとした。

(5) 選出された環境要素に対しさらに具体的に指標を与え、計測可能なものとする。感覚との関連から、水質に対しては透明度、地形に対しては海浜の勾配などを指標とした。

(6) 利用のレベルに応じ、対象海域での目標値を与える。利用のレベルとして、見る<触れる<泳ぐ<飲む といった階層分けをした。

(7) 具体化された目標を実現するための解決手段を選定する。解決の手段には、汚濁負荷源の負荷量削減や都市構造の改変なども考えられるが、ここでは特に水際部での水質浄化技術を中心に検討した。利用のポテンシャルの高い海域では、富栄養化による諸現象が水質を悪化させていることから、富栄養化による汚濁の機構（流れの淀み、有機物の腐敗、酸欠、プランクトン増殖...）を整理し浄化の原理毎（流れの促進、有機物除去、酸素供給、栄養削減...）に対策技術を分類した。

自然の営みを利用するために、水領域での生物の自然浄化作用をまとめ、浄化の場造りについて整理した。また、海に豊富に存在する自然エネルギー（波、潮汐、風...）と浄化への関係づけを試みた。

対策技術はいずれも一長一短があり、組み合わせることが多い。そこで、対策技術の特徴と組合せ方についても整理を試みた。

分類整理は、対策手段の選定の参考にはなるが、それのみでは選定ができない。技術熟度の低いものも

れのみでは選定ができない。技術熟度の低いものも含めて検討したが、海域毎に工夫がいる。

(8) 対策手段の内容は、海域のデザインとも関連し、また技術的な特性と地域の特性とがバランスのとれたものとなっている必要がある。実現可能性の観点から評価を行い、必要なステップへフィードバックする。

5. ケーススタディ

大筋の手順を4.に示したが、具体的な検討を行うため、東京湾沿岸2地点及び三河湾沿岸3地点の計5箇所を勝手に選びケーススタディを行った。自然条件や港湾計画等を参考にしたが、上位計画と整合のとれた現実性の高いものというわけではない。

5.1 東京湾有明地区

内湾運河部の例として、再開発構想のあるこの地区での可能性を検討してみた。職住近接型都市空間に海の持つ快適性を導入し親水空間と都市空間の調和を図るべく、「大都会のオアシスで人と水とが奏でる静と動とのシンフォニー」というキャッチフレーズを考えた。夏期水質は、COD4-6mg/lと非常に悪い。快適性向上のために、水質の浄化、水際線へのアクセスの向上、超高層住宅と調和のとれた修景を主要な要素とした。水質は、見るレベルから触れるレベルを目標とした。そのためCOD4mg/l以下DO(溶存酸素濃度)2mg/l以上を目標値とした。

周囲の建築物からの圧迫感をなくすためにも運河部の水面をなるべく残し、現水面の7割を確保することとした。また大きな樹林域となっている旧防波堤は水面内にそのまま残すこととした。また、水辺へ近づけるように緩い傾斜の人工干潟や人工海浜を配置すると共に、水辺や水面の上を歩けるように遊歩道や連絡橋を設けることとした。

水深は2mと浅く、底泥の水質への効果が大きい。そこで、浄化対策として、底泥のしゅんせつ除去と良質な砂による覆砂を考えた。又、対象水域は水質が著しく悪化した東京湾内湾と接しており、局所的な改善も汚濁水の侵入により効果発現ができない恐れがある。そこで、水門により、緩やかに対象海域を囲い込むこととした。利用できる自然エネルギーとしては、潮汐が主要である。潮汐による水位差を利用し、西側取水口から外海水を取り込み、運河沿い遊歩道地下の水路流下中に接触酸化法により有機

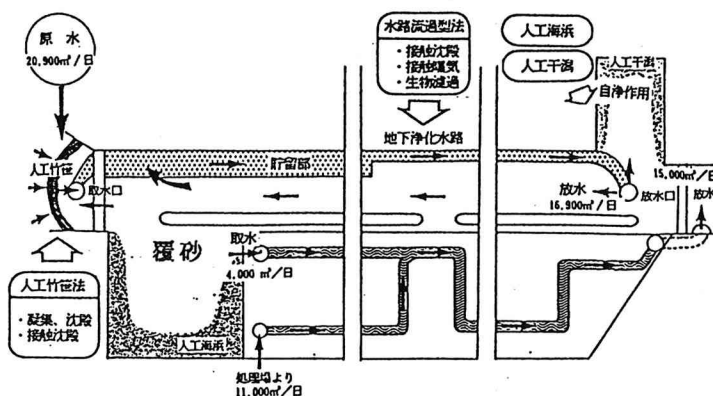
物を除去後、運河東側に放流する。中間堰を設け、運河東側部の水面にも潮汐による水位変動を起こし、人工干潟の生物生息を保証する。放流水は、対象水域を西にながれ、やがて水門から外海に戻る。取水口の外には、外海水の粒状物を除去するための人工竹笹を配し、取水水質の向上を図ることとした。浄化対策の配置を図-3に示す。人工竹笹を設置した取水口のイメージを、図-5に示す。

これらの対策工法の組合せ、及び効率の予測幅を考慮して水質改善効果の予測を数値モデルにより行った。浄化効率の知見は限られており、大まかな目安として比較された。対策工法がうまく働けば、運河部の奥部でもCOD3.2-3.5mg/l程度まで改善され夏期DOも2mg/lを超えるようになる。改善目標を達成できる見通しがついた。各浄化対策の概算工事費も算定している。

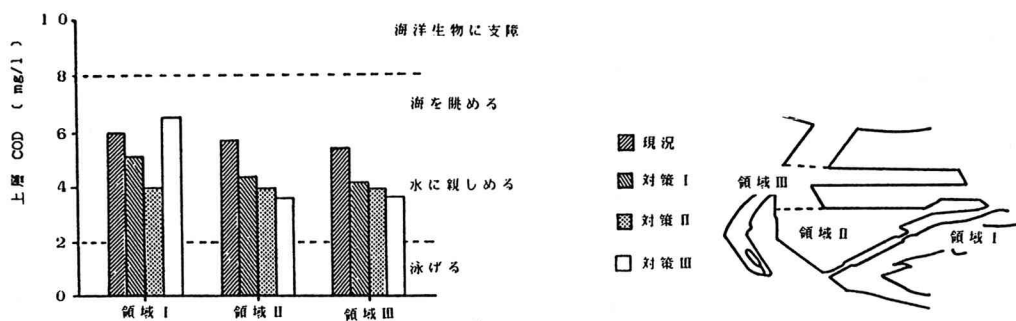
5.2 東京湾横浜内港地区

横浜港内向のうち、「みなとみらい21」メモリアルパーク地区前面水域を、内湾河口部の例として選んだ。背後に、流入汚濁負荷の高い大岡川を控え、周辺を埋立地や埠頭に囲まれた水域である。夏期COD5.0-6.5mg/lと高く、透明度も1.7mほどと思われる。MM21のなかでもまとまった水面として親水性の向上が期待されよう。「眺めのよい海」「海上イベントのできる海」「ヨット遊びのできる海」を整備すべく、「都会的親水空間の創出」を目標に設定した。水質を主要な環境要素とし、見るレベルから触れるレベルに改善することを目標とした。そのため、透明度2mの確保を改善目標値とした。水深が浅く底質の浄化が効果的と思われた。流入河川があり、水運の場としての利用や雨水排除の点から水域の締切はしないこととした。横浜港沖合いのやや深い水域では、底層水の水質がDOは低いものの透明度が高くCODも低く、この水を導水し酸素を加えた後対象水域に放流することとした。酸素添加は、人工滝や噴水などを利用する。外海に通じる2つの開口部には、護岸を利用し懸濁物の沈降促進のために繊維状のネットを展開することとした。さらに、比較のため、大岡川上流で河川水自体を砂濾過により浄化する方法も検討した。また、河川水の流路を変更し、対象海域の一部水路のみを通して外海へ放流する場合も考えてみた。

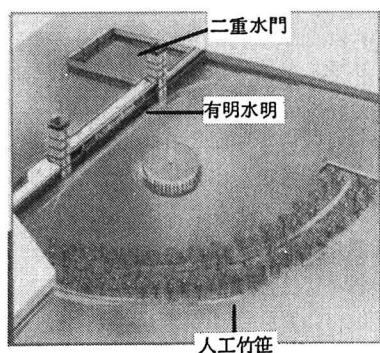
浄化効果を数値モデルを用いて予測してみた。対象水域での底質浄化、導水、ネットの展開等を施し



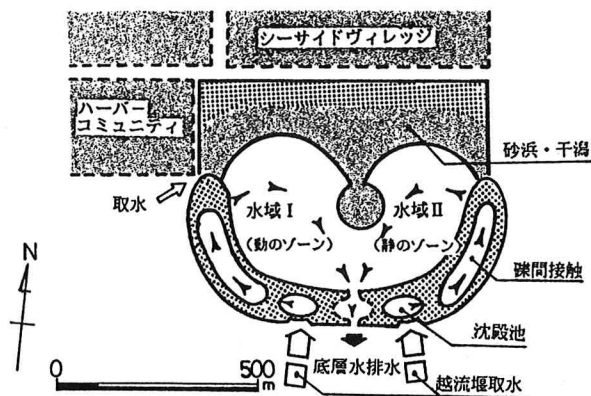
図一3 有明地区浄化対策フロー



図一4 横浜内港地区浄化対策組合せによる効果比較



図一5 有明地区取水口装置イメージ図



図一6 大塚地区水質改善施設と水循環

た場合をケース1とした。ケース1の対策に加えて、河川流路を変更した場合をケース3、流路は変えずに河川水を浄化した場合をケース2とした。対象水域を3分割し、各水域毎に現況と比較したのが、図-4である。流路変更は、河川水の流入水域での水質を現状より悪化させ、不都合が生じる。ケース1の場合でもCODで2割程度改善できることが分かった。この海域でのCODと透明度との関係式から、透明度を予測する。ケース1では、1.8-2.2m、さらにケース2では2.5m程度まで改善され、水に触れる程度の水質の確保が可能となる。

5.3 三河湾竹島地区

閉鎖性は強くありながらも観光地的要素も強い三河湾を選び、ここでは蒲郡市の竹島地区についてその自然条件を利用して検討した。三河湾は遠浅の海岸線と温暖な気候に恵まれ、海洋性レクリエーションの場として高いポテンシャルを持っている。三河湾全体としては、富栄養化の進行によるCODの増加や青潮の発生アオサの異常発生などの環境上の問題点がある。また、都市部での埋め立てにともなう水際線の人工護岸化と海面利用の過密混在が、利用に係わる問題となっている。

蒲郡市は都心からの交通の便がよく、竹島は蒲郡観光の拠点となっている。竹島にある八百富神社参拝や磯遊びが有名である。穏やかな海域で、水質もそれほど悪くない。海岸堤防により仕切られており海へ近づくにくい、海岸線に大量に打ち寄せられたアオサの腐敗臭がひどい、青潮が発生する等の問題がこの地区の水際線の魅力を大きく損なっている。そこで、竹島地区では、「きてちよーよ蒲郡」をキャッチフレーズにして、眺望の改善とアオサ青潮対策による観光の魅力増進を目標とした。磯遊びに必要な触れるレベルの水質はすでに満足している。沖合いからのアオサの侵入および青潮の侵入対策が課題となる。

眺望点の開発や、水際線に沿った遊歩道の設置により修景を改善する。覆砂による水質改善を図り近隣でのアオサの発生を少なくする。又、水流の制御により、一方向流を作り出し、この流れを利用してアオサの回収除去を図り青潮の侵入をふせぐこととした。この海域で利用できる自然エネルギーは、潮汐と風である。そこで、潮汐による水位変化を利用して、局所的に強い流れをつくりだす造流堤を設置することとした。作られた流れ場にアオサ回収用

の棚を並べ、浮遊アオサを回収することとした。こうした装置と共に、海域にミオ筋を張り、流れを整え、浮遊アオサを沖へと誘導することとした。

最もアオサが漂着しやすい南風の時の効果予測を数値計算により行った。周辺海域に浮遊マーカーを与え、マーカーの動きを計算した。アオサ回収装置での補足率を9割とすると、海域に存在したマーカーの6割程度が補足できた。海岸へ漂着するマーカーは、現況の漂着量に対して2割程度に減少した。流れの制御装置がうまく作用すれば、近隣の海岸に悪影響を与えることなく、アオサ腐敗臭はかなり改善できると考えられる。

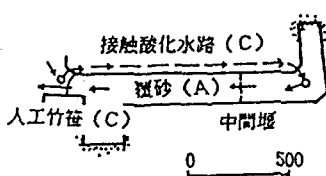
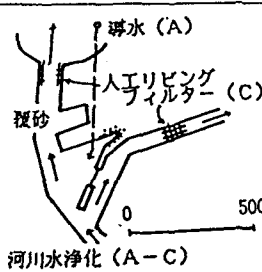
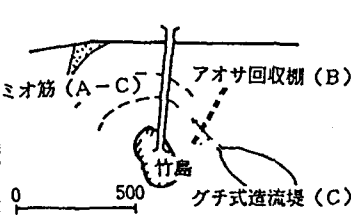
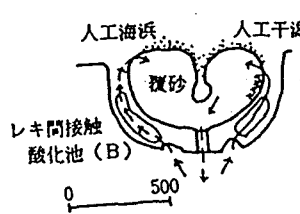
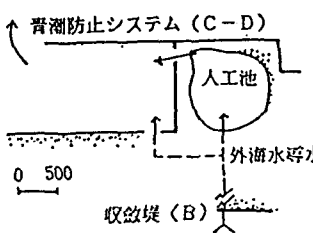
5.4 三河湾大塚地区

現在かなりきれいな海をさらに改善し海域利用のメニューを広げようとする例として、同じ蒲郡市で竹島地区の西隣の大塚地区について考えた。この地区は、海洋性レクリエーション基地の計画がある。ここでは、「人と海とのふれ合い」を基本理念に、泳げる海を作る、素足で歩ける海辺を作る、ことを目標とした。対象海域の水質は、現況でCOD 3mg/l程度であり、これを海水浴の基準値を考慮して2mg/lまで改善することを目標とした。

周辺水と水質が異なるため、目標水質の維持のため、必要海域を囲い込むこととした。囲い込まれた水域内への取水と排水といった水の循環に要する動力として、潮汐の干満を利用することとした。囲い込みに必要な外郭護岸は、幅を広くとり、遊歩道として利用するほか、れき間接触浄化池を設けることにする。潮汐作用により取り込まれた外海水は、外郭護岸内の浄化池を流れながら有機懸濁物を除去され対象水域に導かれる。干潮時には、外郭護岸底部より内外の水位差により内水が流出し、海水の交換が行われる。囲われた水面でも潮汐による水位変動が生ずる。水域は利用の仕方により特徴付けられた2海域に分割される。人工海浜、人工干潟、人工磯などを配し各種の利用が可能とされている。図-6に環境改善施設の配置と水の循環の概念を示す。

仮定の標準的な潮汐を与え、囲い込んだ水域との海水の出入りを検討してみた。平均潮では約7日で対象海域の水が交換される。れき間接触による浄化源単位を接触材の表面積当たり5g/d/m²等とし浄化池の必要諸元を求めた。外郭護岸は対象海域の底質を一部用いるなどの工夫をし、併せて海域の底質を浄化する。れき間接触浄化のみの場合、底質浄

表-1 ケーススタディのまとめ

地区	自然条件	『キャッチフレーズ』 (水質目標) 主要利用施設	水域環境制御施設システム (A~B:技術の熟度)	改善施設 面積 / 費用 (ha) (億円)	水質改善効果
有 明	湾奥運河部 停滞水域	『職住空間に海の 快適性を導入する』 (見る・ふれる) 人工干潟, 水上広場		83 / 89	COD (mg/l) 4~6.2 → 3.2~3.8 DO (mg/l) 1.4~7 → 3.3~8.8 透明度 (m) → 1.8
横 浜	湾奥停滞部 河口域	『都会的親水空間』 (見る・ふれる) 水上レストラン, 水上遊歩道		13 / 68	COD (mg/l) 5~6.5 → 4 DO (mg/l) 4~8 → 7.0 透明度 (m) → 1.8~2.5
竹 島	湾奥開放部 アオサ漂着	『きてちょーよ がまごうり』 (見る・ふれる) 潮干狩, 竹島八百富神社		60 / 35	漂着アオサの 8割を回収除去
大 塚	湾奥開放部 直立崖岸 海岸線	『きてちょーよ がまごうり』 (ふれる・泳ぐ) 人工海浜海水浴場, 人工磯		33 / 73	COD (mg/l) 3.4~4.9 → ~2 DO (mg/l) 6.1~9.6 → 7.5~ 透明度 (m) → 2.5~3
田 原	湾奥開放部 外洋水導入 が可能	『リゾートのメッカ たはら』 (ふれる・泳ぐ) 人工海浜, 人工池		790 / 220	COD (mg/l) 4~ → 2.7~3.6 DO (mg/l) ~4 → 6.5~7 透明度 (m) → 2~2.5

化の効果を考えた場合、さらに海域の人工干潟がうまく浄化効果を発現した場合などに分けて水質予測を行った。対象水域全てではないが、泳げるゾーンとして計画した海域では、泳ぐレベルにすることが可能であることが分かった。

5. 5 三河湾田原地区

広域の水質改善を検討する場所として、三河湾の渥美半島側に位置する田原地区を選んだ。滞在型リゾート地として注目を浴びており、延長約1 kmの仁崎海岸を持っている。この海岸に沿って沖合い500 m程度までの海域を、現況水質COD 3-4 mg/l から泳げるレベル2 mg/l 以下に下げることが目標にする。

水域が広く水量も大きいので、半島の南側の遠州灘より清澄水を導水することを考えた。遠州灘の水質は、CODで1-1.5 mg/l 程度である。半島幅約7 kmを横断して外海水を導くために、遠州灘の波のエネルギーを利用することとした。夏期の波浪特性などから、波を集める収れん堤を考えた。集められた外海水は遡上し貯水池に貯留され、水位差により半島横断トンネルを北に流れる。三河湾側では隣接した埋立地内の人工池に一旦放水し、様々な利用の後、海岸前面に放流される。導流堤を設け、外海水が海岸線に沿って流れるようにする。塩分濃度、COD濃度の変化を数値計算で予測した。COD 1.5 mg/l 程度に改善され、塩分差は生物生態に影響を与えるほどではなかった。うまく導水ができれば、目標が達成できることが分かった。対象水域以外の海域や、三河湾全体への影響については、見積っていない。

6. まとめ

6. 1 ケーススタディのまとめ 5箇所のケーススタディをまとめて、表-1に示す。様々の自然条件でも海域の利用を考慮した水質改善が有効であると思われる。自然の作用を努めて活用したときの環境改善施設費用についても試算できた。環境改善費用は、予想されたことではあるが、対象水域が広いほど、水質が悪いほどかさむ傾向がある。今後、利用に対する経費の負担のあり方も含め、費用から利用目標や規模へのフィードバックの仕方を考える必要がある。

6. 2 水質改善技術のまとめ ケーススタディでは、技術の開発熟度の低いものも含めて検討してき

た。表-1で、Aは熟度の高いもの、B、Cは今後の開発が必要なもの、Dはアイデア段階のものをさす。様々の技術が総合的に必要だが、特に付着生物による海水の浄化技術、波や潮汐による海水の流れ制御技術、既存の防災施設に付加できる浄化技術の開発が望まれることが分かった。又、下水道との役割分担といった観点からの検討も必要だろう。

6. 3 湾域全体の浄化との関係 いずれのケーススタディでも、対象海域に隣接した海域を汚すことなく浄化する目途が示された。こうした努力をつなげるにより、湾全体の浄化にも寄与できる可能性がある。湾全体のなかでの水質上の位置付等、水際線部と内湾全域との関係について検討する必要がある。

最後に、本調査の実施及び取りまとめ作業は、シーブルー・テクノロジー研究委員会の若手メンバーを主体としたワーキンググループが中心となって行った⁶⁾。作業に当たって、東海大学海洋学部酒匂敏次教授、東京大学農学部清水誠教授、東京水産大学丸山俊郎助教授、日本大学理工学部近藤健雄助教授のご指導を受けた。ここに深く感謝致します。

参考文献

- 1) 中村英夫ら；一つの東京湾開発構想，土木計画学研究・講演集，1987
- 2) 小笹博昭ら；ウオーターフロントの再生 座談会・土木技術者への期待，土木学会誌，1988-8
- 3) 横浜市港湾局；横浜港に関する市民意識調査 親しまれる港を目指して，1986
- 4) 内閣総理大臣官房広報室；世論調査報告報告書 海辺ニーズに関する世論調査，1988
- 5) 総理府広報室；まちづくりと水辺空間整備，月刊世論調査，vol. 20-12，1988
- 6) シーブルー・テクノロジー研究委員会；快適な海域環境の創造にむけて シーブルー計画，1989
- 7) 合田良実ら；海域の利用と調和のとれた沿岸環境改善方策の提案，第36回海岸工学講演会，1989