

(15) 内湾域における海辺の水環境の制御

WATER QUALITY CONTROL OF COASTAL AND LITTORAL ZONES IN BAYS

堀江 毅・細川 恭史・合田 良実・橋川 隆・名取 眞
Takeshi HORIE・Yasusi HOSOKAWA・Yoshimi GODA・Takashi HASHIKAWA・Makoto NATORI

ABSTRACT; The coastal sea should correspond its water quality to the purpose of civilian utilization. The bay area including water front and water surface is utilized as not always the residential/office area but the recreational/sports field. Economical counter-measures are discussed to improve the water quality in littoral zones. Water mass and surface area is still large and water always flows due to the tidal effect. Then, the utilization of the abundant natural energy such as tide, wave and biological activities is surveyed. We propose some of the novel facilities to regulate the water flow or to promote the degradation of the organic pollutants. The conceptual design of the regional system composed of these elemental facilities is also tried through the case studies at the typical eutrophic inner bays. Accumulation of the improvement of the small area will give some development in water quality of the whole bay.

KEYWORDS; littoral zone, water quality, natural energy, case study, area design, waterfront

1. はじめに

都市部への人口集中、過密化の進行の一方で、沿岸域への志向が強まり、とくに、内湾沿岸部にこの傾向が著しい。周辺の海域はほとんど例外なく、水質、底質が悪化しており、海本来のもつ資質を十分に活用できる状態にはない。このため、海域の利用目的に応じた修復または創造を行う必要がある。本研究においては、内湾部の水質、底質の汚濁の進行した海域に対し、市民の近づける海辺環境創造を目指し、東京湾および三河湾の自然条件、社会条件を当てはめたケーススタディを通じて、実現の可能性が高いと思われる技術、方策について提案する。

海域の環境改善は、領域が広大であることから、顕著な効果をあげるためには大規模な対策を施す必要があり、このため莫大な費用を要する。建設費に加えて、維持費、操作費を要するものが多い。こうした問題を解決するため、①潮位、潮流、波、風のような自然エネルギーを活用すること、②生物の浄化作用を活用すること、③施設の多機能化を図ること、④比較的小規模な領域から快適空間の創造にとりかかること、⑤それが周辺海域の水質底質を悪化させる方向には作用しないこと、⑥海域利用を考えた環境改善、創造を目指すこと、などを基本方針とした対策案について検討する。

海水浄化対策として、潮汐の干満を利用した水流制御システム、人工竹笹、接触酸化池などによる浄化、浚渫、覆砂、人工干潟、人工海浜の造成、導水、覆砂、人工フィルター、砂濾過、河川水の浄化または流路

* 港湾技術研究所 Port & Harbour Res. Inst., ** 横浜国立大学 Yokohama National Univ.,
*** 運輸省港湾局 Port & Harbour Bureau, Ministry of Trans., **** シーブルーテクノロジー
研究委員会 Sea-Blue Technology Project Team.

変更, アオサの漂着対策, みお筋, 覆砂, 人工海浜の造成, 青潮防止方策, 外洋清浄水の波エネルギー利用による導水などをとり上げる。

2. 海域環境改善の要望

近年, わが国では, 物質的な豊かさが進行する中で, 心の豊かさを求める声が一段と高まってきている。生活の力点も, この十年間, 食住についてはやや低下気味であるのに対し, レジャーや余暇を重視する傾向が高まっている。海辺においては多くの人が海水浴, 潮干狩り, 釣り, キャンプなどをすることを望んでいる。20才代においては, ヨット, サーフィン, ウインドサーフィン, アクアラング, 水上スキーなどに人気がある¹⁾。一方, 地方部においては, 地域振興のために海洋空間を海洋性レクリエーション関係, 漁業関係の利用に期待している傾向が強い。ところが, 都市周辺の人の近づきやすい海辺の多くは, ゴミが散乱している, 海水が汚濁している, 混雑している, 緑が少ない, スポーツのための施設が少ないなど, 市民の海辺に対する不満は大きい。東京湾, 大阪湾, 伊勢・三河湾などの湾奥部はいずれも海水が停滞しやすく, ゴミが散乱して汚濁が著しい。このため, 海域の現況とその利用に応じた海域の環境改善目標を立てる必要がある。

3. 快適化の条件

快適な海辺の環境を創生するためには, 環境要素, 環境指標, 目標値を設定する必要がある。表-1はその一例を示したものである。環境要素を測定する項目は, 要素によっては多項目に及ぶ。たとえば, 水質においては透明度以外にもCOD, 栄養塩濃度, 溶存酸素, 塩分, 水温, PH, …である。これらのうち, 透明度は一見して明かであり, その測定も容易である。また, 透明度を上げること自体, 間接的には栄養塩濃度を低下させること, 底層の溶存酸素を上げること, などに関連する。目標値は利用のしかたに応じて定めればよく, たとえば, 「水にふれる」と「海を見る」とは当然異なる値でよい。各環境要素は人が感覚に依って感じとることのできるものであり, 快適性には個人差がともなう。表-1の目標値はこの点を考慮してとりあえず設定したものである。

4. 快適化, 環境創造のための技術

海辺の快適化, 環境創造を図るためには, 表-1に記述された環境要素のうち, 対象領域においてその条件が満たされていないものについて適当な浄化技術を導入する必要がある。たとえば, 水質浄化の場合, 透明度を上げるため, 汚濁の発生源を抑える, 他からの流入を防止する, 汚濁物質を除去する, 拡散, 希釈を促進する, 沈降させる, 分解を促進する, などの方法が考えられる。これを前述の表-1の項目に沿って整理すると表-2のようになる。

表-1 快適化の指標

環境要素	指標	目標値	
		快適性のレベル	目標値
水質	透明度	ふれる	2m以上
		みえる	1m以上
底質	粒度組成	ふれる	0.074~2mm (砂の場合)
		みえる	
地形	勾配	ふれる	1/20以下
		みえる	
流れ	流速	ふれる	20cm/s 以下
		みえる	
波	波高	ふれる	50cm以下
		みえる	
		きく	
におい	臭気	かぐ	磯の香り
音	音の種類	きく	海の声
生物	生物の多様性	ふれる	D.O 6mg/l 以上
		みえる	
油・ゴミなど	油・ゴミなどがないこと	ふれる	油・ゴミなどをなくす。
		みえる	
		かぐ	
景観	景観構成	みえる	周辺の景観と調和させる。
水辺への近づきやすさ	人が水辺に近づけること	みえる	みれる配置の整備
			歩ける配置の整備
保護・保全	環境の保護・保全	みえる	環境の保護・保全
		きく	
		ふれる	
		かぐ	

表-2 海域環境改善，創造のための原理と適用技術

環境要素	指標	海域環境改善の原理		適用技術	環境要素	指標	海域環境改善の原理		適用技術	
水質	発生防止	底質からの栄養類溶出を防ぎ、プランクトンの発生を防ぐ。	土砂鉋物の散布 浚渫 覆砂 エアレーター	流れ	流速	加速	流れを加速	作れい湧昇流堤 グチ構造物		
			トレンチ 作れい			減速	減速し静穏化	突堤・離岸堤 消波構造物潜堤		
		底質の巻き上がり を防ぎ、濁りを なくす				変向	流向を変える	導流堤		
	流入防止	河川・隣接海域 からの浮遊懸濁 物質の流入を防 ぐ	リビング・フィ ルター 汚濁防止膜 人工ラグーン	波	波高	増大	波高を高くする	海底地形の改変 集れん堤		
		とる	浮遊懸濁物質を 水中からとる			低下	波高を低くする	海底地形の改変 消波構造物		
	希釈・拡散	きれいな水の導水 により汚れを薄 めたり装置・施 設により汚れを 散らす	導水 導流堤	臭い	臭気	悪臭の発生を防ぐ		悪臭の遮蔽		
		沈降	浮遊懸濁物質を 沈降させる			粘土鉋物の散布 人工リビングフ ィルター 凝集沈降剤 人工竹笹	悪臭をなくす	吸収・吸引装置		
	希釈する						各種芳香剤			
	拡散する			送風						
	分散	有機懸濁物質を 分解する	人工海浜・干潟 バクテリア剤 礫間接触酸化	音	種類	音をつくる		海の音づくり		
騒音を防ぐ		防音								
底質	粒度組成	とる・加る	好ましくない底質 をとる 好ましい底質を 加える	生物	多様性	酸素供給		エアバブルカーテン 酸素供給剤		
			拡散			吹き飛ばしたり 拡散させる	導水 砕波の利用	生息場	人工瀬・堆 人工魚礁	
									人工ラグーン 人工砂浜・干潟	
		人工リーフ 藻場・海中林								
		固化	固化剤などで固 める			圧密・脱水 固化剤注入	油・ゴミなど	防ぐ	流入を防ぐ	汚濁防止膜 オイルフェンス
		砕く	砕いたり、耕す			耕耘		とる	集めてとる	アオサの収集と 除去 吸着材・清掃船 海浜清掃機
	分解	分解する	バクテリア剤 酸素供給剤 ペントスの利用	景観	良い景観をつくる					
	勾配	緩傾斜化	アクセス	アクセス	海を見れる様にする		視界の確保			
		安定化		海辺まで近づける様にする		親水性護岸				

5. 海辺の水環境制御法

海辺の水環境の制御法は、対象となる海域の自然条件、社会条件、および利用方法によって決める。したがって、具体的な条件を当てはめない限り定量的な検討が難しい。このため本文においては、海水の汚濁が進行している、環境改善により新たな利用が生まれる、市民や自治体からのニーズが高い、他の地域にも適用できる汎用性がある、水質浄化に対し、生物や自然エネルギーの利用ができる、などの点を考慮して表-3に示すように、東京湾、三河湾に着目した5海域のケーススタディを実施した。

東京湾においては、湾奥運河域の東雲水門から東雲運河の出口までの約2kmの区間、46haの有明地区と、横浜港内メモリアルパーク前面の15ha領域を対象とした。

一方、三河湾においては、特徴的な技術の導入ができる、市民のニーズが高い、事業の波瀾効果がおおきい、などの理由をもとに、蒲郡竹島地区、同大塚地区、および田原地区の自然条件、社会条件をあてはめてみた。

有明地区においては、上流部の東雲水門を閉鎖し、下流部は人工竹笹により閉塞して閉鎖域を確保する。上げ潮時に下流端の人工竹笹により浄化後、水路を通して上流部に放水する。人工竹笹では、凝集剤を用いない場合はSS、O-P、CODとともに除去率20%とし、PAC、ポリマーなどの凝集剤を用いる場合は25%、さらに、水路において生物膜を利用した二次処理を行う場合にはSS、O-P、CODとともに除去率33%とした。また、内部は覆砂をし、中央部付近に可動堰を設け、内部に人工の潮汐干満をとり入れた。このような環境改善により、職住接近型都市空間に海のもつ快適性を導入し、親水空間と都市空間の調和を図ることとした。

横浜地区においては、港湾内にあつて、大岡川河口部、メモリアルパーク前面の約13ha水域を対象とする。大岡川については、河川水浄化をする場合、河川水を浄化しないで流路変更により対象域に流入させない場合を検討する。さらに、港内側のCOD濃度の低い底層水をポンプにて導水する。対象領域の出入り口となる北側および西側には人工リビングフィルターを設置してSS、COD、Pの除去を行う。また、内部は覆砂および砂濾過を施す。本地区においては、楽しめる海、ふれあいの海、遊べる海を目指した都会的親水空間の創出を狙っている。

三河湾竹島地区は、この地区のシンボルである竹島を中心とした既存の観光地である。ここではアオサによる悪臭防止および青潮の侵入防止を中心課題とする。このため、造流堤、みお筋、風車式起流装置などによりその対策に当たる。

同湾大塚地区においては、面積約30haの閉鎖水域を創造し、潮汐の干満を利用して取水し、礫間接触酸化により海水を浄化後内部に導水する。利用後の海水は再びスクリーン、礫間接触酸化池で浄化後、潮汐の干満を利用して外部に放出する。内部では、人工海浜、人工干潟、海底覆砂による浄化効果をも期待する。

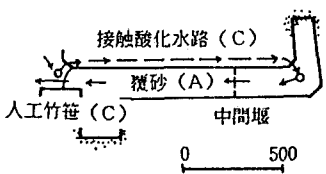
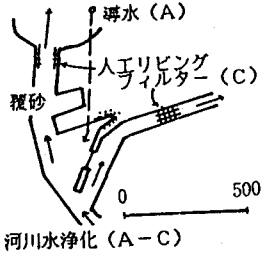
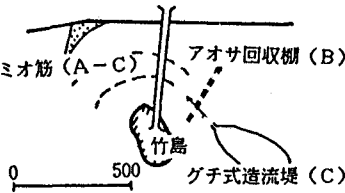
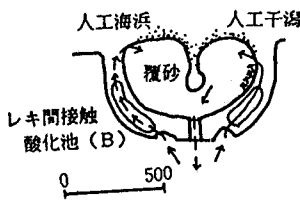
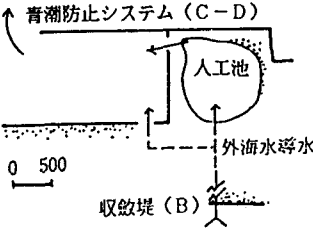
同湾田原地区においては、収れん堤により遠州灘の清浄水を取水し、渥美半島をトンネルにて横断し、田原地区人工池内に導水する。人工池では人工海浜、ダイビングスポット、遊歩道、海洋レクリエーション施設、緑地、公園などを造成する。

6. 海辺の水環境制御の実現の条件

(1) 目標達成度（シミュレーションによる検討）

5. で述べた各ケーススタディにおける水域環境制御により、それぞれの利用目的に応じた水質底質環境が確保できるかどうかは重要な問題である。このことを確認するには、野外試験、室内実験等も考えられるが、ここでは富栄養化予測モデルとして開発した数値モデルによるシミュレーションによった。予測対象としては、海水の流れ、海水の循環、交換量、水質（COD、DO、 PO_4 -P、O-P）、浮遊物の漂流とした。流れ、水質モデルとも2次元2層モデルを用い、流れは、平均潮（すなわちM₂潮）時のものを対象とした。一方、水質は、最も悪化すると考えられる夏場7、8、9月の平均的条件で扱った。

表-3 海辺の水環境制御法に関するケーススタディ

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 直立護岸 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

有明地区における予測結果では、CODを最大30%程度低下させることができ、透明度は1.8m程度まで回復できる見通しがついた。これは、「水に親しむ」水質としては十分であり、D0の上昇により生物の回復が見込まれる。また、対象域外へ悪影響を及ぼすことはないと思われる。

横浜地区に対する予測結果では、大岡川の河川水を浄化するケースが最も効果が大で、上層CODを現況の6mg/lから4mg/lにまで低下させ得ることが予測できる。「水にふれる」、「水に親しむ」ための水質を確保することができる。大岡川の流路変更により流入が遮断される領域は浄化されるけれども、新たな流路となる水域の水質は当初より悪化するため適切でない。

竹島地区については、アオサの漂着防止と青潮対策である。アオサについては、造流堤、アオサ回収棚により、この地区に付着するであろうアオサの約80%が回収しうることが予測された。青潮については、青潮発生時に展開される浮沈式防止膜により西側から侵入する底層貧酸素水は抑制できることが予測された。

大塚地区においては、水域を閉鎖して取水した海水を浄化し、利用した海水を再び浄化して放水する方法である。磯間接触酸化、覆砂、砂浜、干潟の浄化効果を算入すると、CODは2mg/l以下、D0 7.5mg/l以上にまで浄化することができ、海水浴が可能な水域が確保できることが予測された。

田原地区については、遠州灘から清浄水を導水し、利用後三河湾に放水するものである。水質は取水の水質そのものが確保される。利用による水質低下を極力抑える必要がある。夏の利用のピーク時に遠州灘の波が常時ある程度高いことが要求される。

(2) 適用技術の開発

5. のケーススタディに適用した浄化のための各工法は必ずしも全てが現段階において実用化されているわけではない。表-3の技術欄において記号A~Bを付したものは現状での技術レベルで対応可能である。浚渫、覆砂、導水、河川水浄化、青潮防止膜、海水循環システムなどは実用可能であるけれども、人工竹笹、接触酸化池、人工リビングフィルター、造流堤、外洋水導水システムなどは現状においてはアイデア段階であって、基礎的な技術開発を要するもの(D)、ないしは、室内実験、現地実験による技術開発を要するもの(B~C)である。これらの技術開発を早急に行う必要がある。

(3) 事業費の捻出

前述の各計画に対する事業費の概算額を環境改善費と利用施設費とに分けて表-3に示されている。利用施設については、利用に伴う利益で賄う、つまり受益者負担をベースとする。一方、環境改善施設費は、採算ベースにのらないものであり、事業主体が投資する。たとえば、有明地区の例で環境改善施設費は89億円と見込まれている。いま、6~9月のサマーシーズン集中型の利用を仮定し、ピーク時1人/100m²/日とすると、年間利用者数112万人となり、10年償還で考えると利用者1人当りの投資額は800円程度となる。他の4地区についてもほぼ同程度の投資額となる。

7. おわりに

最後に、本調査の実施およびとりまとめ作業は、シーブルー・テクノロジー研究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²⁾。これらの作業の遂行に当たっては、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、東京水産大学水産学科丸山俊朗助教授、日本大学理工学部近藤健雄助教授の適切な指導と温かい励ましの言葉に支えられた。ここに深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 総理府広報室：国民生活に関する世論調査，昭和61年5月。
- 2) シーブルーテクノロジー研究委員会：快適な海域環境に向けてーシーブルー計画ー，1989.3。