

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

APPLICATION OF THE ADAPTIVE MANAGEMENT TECHNIQUE TO CREATURE'S LIVING PLACE IN THE CITY BRACKISH WATER REGION

柵瀬信夫¹・加藤智康²・枝広茂樹³・小林英樹⁴・古川恵太⁵

Nobuo SAKURAI, Tomoyasu KATOU, Shigeki EDAHIRO,
Hideki KOBAYASHI and Keita FURUKAWA

¹正会員 農博 鹿島建設株式会社 環境本部 (〒163-1029 東京都新宿区西新宿3-7-1新宿パークタワー
29階)

²三井不動産レジデンシャル株式会社 (〒103-0022 東京都中央区日本橋室町3丁目20号)

³独立法人都市再生機構 神奈川地域支社 (〒220-6110 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-3-3)

⁴東京都港湾局 港湾整備部 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿二丁目8-1)

⁵正会員 工博 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋研究部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-
1)

An adaptive management technique was applied to creation of creature's living place in the municipal river estuary as well as in canal where various creatures lived in formerly. A terrace type embankment which was formed with tide pool and tide land was constructed for Tokyo Bay revival. The adaptive management consists with three phases. Phase 1 is site characterization and goal setting, phase 2 is site rebuilding, and phase 3 is evaluation and management. This study elucidates that necessity of systematization of citizen participation for the evaluation and management, necessity of development of environmental improvement technology including site experiment, as well as necessity of arrangement of crucial points in the mechanism.

Key Words : *Adaptive management, estuary, terrace type, embankment*

1. はじめに

都市再生本部の第3次決定「大都市圏における都市環境インフラの再生」、国土交通省、海上保安庁の「全国海の再生プロジェクト」等において、海域における環境改善対策の推進、干潟・藻場といった生物生息場の保全・再生・創出が謳われている。そして、東京湾においては、2003年3月に「東京湾再生のための行動計画」をまとめ、「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」という目標を掲げている。

こうした政策を背景に実施された、全国都市再生モデル調査“海の生き物の棲み処(すみか)づくり”においては、多様な生き物が生活する身近な運河や都市河川河口部の汽水域を対象に自然再生の基本となる場の復活が提言されるとともに、種々の課題が指摘された。

こうした課題を解決していくために、生き物の棲み処づくりの「手法開発」とともに、「仕組みの構

築」が不可欠である。本論文では、東京都港区芝浦運河と横浜市 MM21 帷子川河口部で整備される「生き物の棲み処」の機能を持った、新しい形態の護岸造成に係る経緯・経過と期待される成果を報告し、順応的管理手法の適用による都市汽水域における生き物の棲み処づくりについて検討することを目的とした。

2. 検討方法

自然再生に向けた取り組み手法としての順応的管理では、場の理解や社会的ニーズ等に基づく包括的な目標設定を行うレベル1、実現可能なメニューを設定し具体的な行動計画を策定するレベル2、目標達成基準による管理を行うレベル3といった多重構造の実施が提言されている¹⁾。

そこで、テラス護岸における潮溜まり干潟の造成といった新たな構造での「生き物の棲み処づくり」の事業が実施されている、東京都港区芝浦四丁目南

地区西側護岸（以下芝浦と称す）運河と横浜市MM21 中央地区帷子川河口部西側護岸（以下帷子川河口部と称す）の2つの事例について経緯・経過・決定事項を順応的管理のレベル1, 2, 3 に対応させ整理し検討した。

3. レベル1 環境計画

(1) 場の理解（表-1）

明治以降、芝浦地区・帷子川河口部とも港湾施設として整備され、それを基点に埋立で行われ、倉庫や鉄道用地として使用された。しかし、近年の社会動向の変化や施設の再編に伴って、既存施設の撤去や移転が行われた。この動きの中で残された大規模な土地は、駅に近く便利で利用価値が高いことから、商業や住宅用地としての再開発が起こり、現在都市再生の流れに沿って大規模な開発が進められている。

この用地では、かつての船舶物流に用いた運河や水路が付随していた。そして、トラックなどの陸送が主体になった時点で運河や水路は置き忘れられ、汚いものの代名詞にもされた。しかし、近年地域住民を中心に、運河や水路の存在に気付き再考が始まり、運河や水路の活用が地域に付加価値が生じるかの検討が行われ、芝浦も帷子川の開発もその対象となっている。特に芝浦では東京都港湾局と運河に係る民間団体と地域住民との協働による運河と楽しんで知ってもらおう活動が行われている。

対象となる運河や水路の護岸の多くが老朽化が著しく、地震による崩壊を含め、浸水被害からの防護が必要になっている。特に温暖化に伴う海面上昇や気象・海象条件の変化による影響に備え防護水準を高めている。加えて、生物の生息環境の保全・再生に努め、水生生物に配慮した護岸構造を取り入れた改修も求められている²⁾。

表-1 レベル1. 環境計画

都市汽水域 場の理解		都市汽水域生物再生 目標理解	
芝浦	帷子川	芝浦	帷子川
運河内	河口部	運河護岸	公園護岸
住宅開発	公園造成	遊歩道利用者対応	公園利用者対応
新規護岸造成	新規護岸造成	学習施設	学習施設
老朽化護岸改修	老朽化護岸改修	周辺住民対応	市民対応
（情報）	（情報）	生物生息場所の 復活	生物生息場所の 復活
既存資料(少)	既存資料(多)	● 潮だまり等での 溶存酸素生産	● 潮だまり・干潟
現地調査	文献調査	目標生物種	目標生物種
↓	↓	マハゼ、ウナギ、 テナガエビ、ボラ、 ベンケイガニ類	マハゼ、ウナギ、 ボラ、アサリ、 砂ガニ類、ベンケイ ガニ類
運河構造	河口部構造		
水域特性	水域特性		
生息生物種	生息生物種		
歴史的価値	歴史的価値		
将来計画	将来計画		
立地条件	立地条件		
利用形態	利用形態		
費用対効果	費用対効果		
住民参加			
カニ引越作戦 実施 2006 年 3 月、5 月			

(2) 水域特性

芝浦の運河は、東京湾より一步奥に入った閉鎖性水域であり、南に位置する芝浦下水処理場からの下水処理水の流出が運河水と混合して表層は塩分量 10%以下の淡水に近い汽水で、低層は地先の東京港内水の影響を受ける塩分量 20~22%の汽水で構成されている。この運河の流動は、下水処理水流出と潮汐流とで組合って常に流れをつくっている。そして夏季に発生する赤潮による透明度の低い東京港内水は、芝浦運河の流れに抑制され運河内への流れ込みは起こらず、運河内は常に透明度が 1m 以上を保っている³⁾。

帷子川河口部は、帷子川流域で降水量が増加すると河川水の流下によって淡水化が一時的に起きるが、通常は低層に塩分量 28%以上の横浜港内水が、表面は河川水と混合した塩分量 10~12%以上の汽水で構成されている。

両者を比較すると、芝浦は低塩分の汽水域で、帷子川河口部は高塩分の汽水域に分けられる。このため、定着性の出現種に違いがある。

(3) 生息生物種

芝浦も帷子川河口部も埋立前は東京湾に直接面した海岸で、地先は江戸前と称する東京湾を代表する魚介類の漁場であった。両地点とも河口域で海水と河川水が混じる汽水域に当り、マハゼ、ウナギ、エビやゴカイ等の釣餌を対象とした漁業が行われていた^{4・5)}。現在もその名残として、両地点では季節になるとハゼ釣を楽しむ風景がある。

マハゼは1年で成魚になる成長の早い魚である。春、卵から孵化した稚魚は河口内や運河や水路の干潟・河川敷・護岸前に低潮時に形成される潮溜りに入って活発な摂餌を行い成長し、初夏には体長 8~10 cm になって釣対象となる。そして、成長するにつれて、徐々に地先の深みに移動し、冬に産卵をして一生を終わる。冬、ウナギ稚魚シラスウナギは沖合から河口に接岸し、汽水域に入って春から夏にかけて潮溜りや石積護岸の隙間で生活し、活発に摂餌をして成長する。両種とも摂餌対象として潮溜りや石積に生活するカニ、エビやその幼生、砂泥中のゴカイ等を餌にし、ウナギはハゼの稚魚も餌にし、カニ・エビを要にした食物連鎖が形成されている⁶⁾。

そこで、護岸改修工事前に周辺の生物調査を行った。その結果、芝浦ではマハゼ・ウナギ・ボラ・スズギ・マルタ・タガヤシ・テナガエビ・ベンケイガニ類・ゴカイ類などが観察できた。帷子川河口でも、芝浦と同様の汽水域を代表する魚介類であったが、塩分濃度が海水に近い値を示すことで、アサリ、ムラサキイガイ・カキ・フジツボ等の芝浦では出現しない種が出現した。

(4) 水域生物再生の目標設定

2004 年芝浦では、開発に当って事業者・地域住民・行政関係者の協議会にて運河に囲まれた開発予

定地の一部護岸に生物共生型を設置することを決定し、芝浦四丁目南地区西側護岸がその対象となった。開発予定地全体の護岸上は、遊歩道にすることで利用者が運河を楽しめること、地域住民・学校関係者の学習の場として活用できることを基本にした。そして生物共生の目標生物種を調査結果からマハゼ・ウナギ・ボラ・テナガエビ・ベンケイガニ類を選定し、その生活場所の確保が求められた。

帷子川河口部では、事業者が計画している汐入の水際公園の河川側護岸として位置づけられ、公園利用者が公園と護岸とを楽しむためのもので、訪れる市民を対象にした学習施設として研究者や海の再生に協力するNPOが参画して事業者と検討を行い、ここでの目標生物種を調査結果から現状で生息しているマハゼ・ウナギ・ベンケイガニ類とアサリ・砂ガニ類を選定した。

4. レベル2 基本的な行動計画

(1) 場の復活(表-2)

東京湾内では、食物連鎖を基本に、その上位にある種を対象にした順応的管理に準じた環境改善施設造成が行われている。例えば、国交省(旧建設省)によって江戸川放水路のトビハゼ人工干潟造成⁷⁾、東京都港湾局による有明北埋立事業でのマハゼ・ウナギの生息場所創出としてのカニ護岸や汐入があり⁶⁾、両者とも創出による効果が示されている^{8・9)}。

これら前例を参考に、芝浦と帷子川河口部の両水域で生息するマハゼ・ウナギを目標にして、両種が生息できる場所の創出として潮だまりと干潟を持つ護岸を計画した。この計画は都市の運河や水路での生物共生や再生に適していると評されたテラス型護岸¹⁰⁾であり、東京都港湾局が水生生物に配慮した護岸として提示している直立式ミニ干潟整備例²⁾に倣ったものである。

(2) 護岸計画

計画の基本型は自立式鋼管矢板護岸で、護岸前面に平均潮位に近い高さのテーブル状のテラスを設け、そこに芝浦では実証実験として2つの潮だまり(4m×8m)と割栗石を敷いた平面を設けた(図-1)。帷子川河口部では、3つの潮だまりと山砂を敷いた干潟を計画した。両者とも東京都港湾局と神奈川県的设计基準に沿って指導と助言を受けて設計を行った。

潮だまりは、芝浦では掘り込み式で、帷子川河口部では石積の立ち上げ式にした。両者とも潮だまりの側面や底面に増殖する藻類の光合成による酸素生産が潮だまりの溶存酸素量を増加させること、エビ・カニ等の餌料確保とエビ・カニの幼生を餌にするマハゼやウナギの育成場所を提供し、春から夏にかけては低潮によって独立した潮だまり水は太陽の直

射によって暖められ、水温上昇が生き物の成育促進を高める働きを目標にした。

現在、生物共生とか親水性を代表する護岸は、一般的に石材を用いた緩傾斜護岸である。しかし、潮間帯内に設置した緩傾斜護岸と直立護岸とを比較すると、緩傾斜護岸は生き物が少ない^{11・12)}。その要因として、緩傾斜の石積が、外部環境の変化を強く受ける構造が生き物に住みにくい状態を作り出している(図-2)。この事実をふまえ、前述の有明北埋立事業の護岸の全てが直立したことも参考に、テラスの背後の護岸擁壁は直立を採用し、芝浦では有明北で実績のあるカニパネルを用い、加えて、このパネルは背後の建物と同色に景観配慮も計画した。帷子川河口部でも直立で模様型枠での施工とした。

テラスの護岸擁壁上部は、芝浦も帷子川河口とも遊歩道と公園の一部として通路を設置し、利用者が安全に環境改善事業の状況を認識できる構造にした。

(2) 護岸施工

芝浦では2005年2月に着工し、2006年12月に全体工事が完了した(写真-1)。この内、テラス部分の潮だまり等は2006年3月に完成し、潮の満ち引きにしょうじて生き物が入り始めた。背後の擁壁のカニパネルの設置は2006年4月末に終わった。施工地に隣接した護岸造成では、そこに生息している

表-2 レベル2. 具体的な行動計画

場の復活 潮だまり干潟テラス護岸 (環境改善技術)	
芝浦	帷子川
護岸前面延長 200m	護岸前面延長 80m
テラス型護岸	テラス型護岸
●敷設材(平面部) 割栗石	●敷設材(干潟部) 山砂、大型石設置
●掘り込み式 潮だまり 干潟	●立上げ式 潮だまり
テラス位置 平均水面上方	テラス位置 平均水面上方
●護岸壁面カニパネル 使用 後背地建物と同色調 (レンガ色)	●護岸壁面模様型枠 使用 コンクリート白色
遊歩道と一体	公園の一部に
完成	計画進行中
●潮だまりは東京都港湾局有明北埋立護岸造成で汐入として実績有り。 カニパネルも同様	

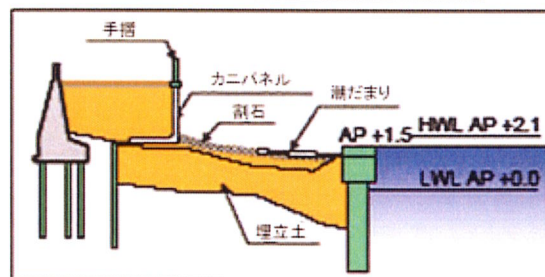


図-1 芝浦のテラス型護岸断面図

クロベンケイガニを保護して新しい護岸に引越す活動が東京都港湾局と運河に係る民間団体と地域住民によって 2006 年 3 月に行われ、護岸が完成しカニの生息条件が整った 5 月に保護飼育していたカニ達を地域の小学生がカニパネルと潮だまりに放流した。これ以降潮だまりは自然環境下におかれた。

帷子川河口部では、2003 年に護岸本体工事が着工され上部のテラス部分は 2006 年 12 月に完成した。完成後、締切鋼板が撤去され、河川と一体となって潮だまりに水が入り、2 週間程で設置した転石に藻類が増殖し始め、干潟の砂は徐々に濃い色に変化し始めた。施工中、テラス後背擁壁に設置された石材は、緩傾斜護岸と同様の積み方が行われていたが、前述した緩傾斜護岸での問題である石材表面の高温化を、研究者と事業者の現地調査で確認したため、施工した一部を省いて、石材は転石状態にする変更を行った（写真-2）。



全景（低潮時は2つの潮だまり）



高潮時



低潮時



高潮時の潮だまり



低潮時の潮だまり

写真-1 芝浦テラス型護岸

5. レベル3 目標達成基準による管理

(1) 評価（表-3）

芝浦では、潮だまりが完成し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 月の調査では、芝浦小学校の総合学習として小学生が参加し、目標生物のマハゼやウナギを採集し、その他ボラ・テナガエビ・カニ等も生きたまま触れ、運河での生き物の営みを体験した。調査の結果は（図-3）に示す通り、目標生物が確認できた。9 月の調査では、マハゼ・ウナギとも 7 月より大きく、潮だまりで成長していることが認められた。調査は採集した生き物を生物体に影響を与えない方法で体長測定を行い、生きたまま再び潮

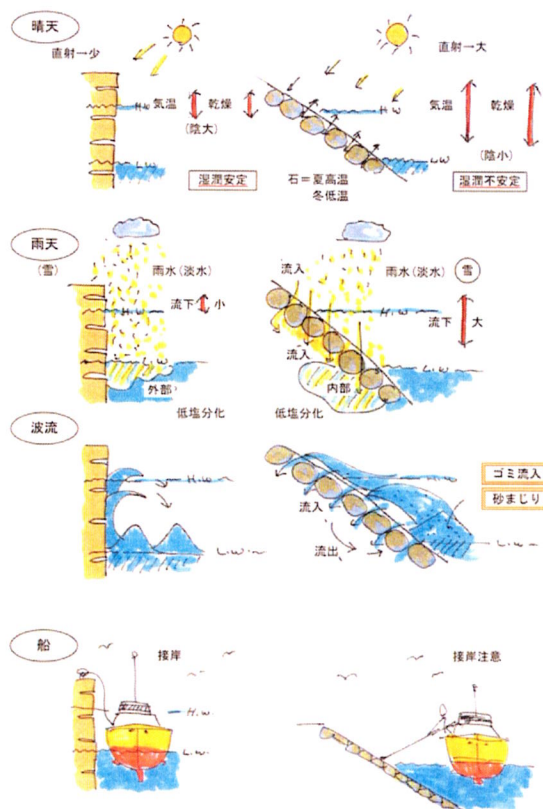
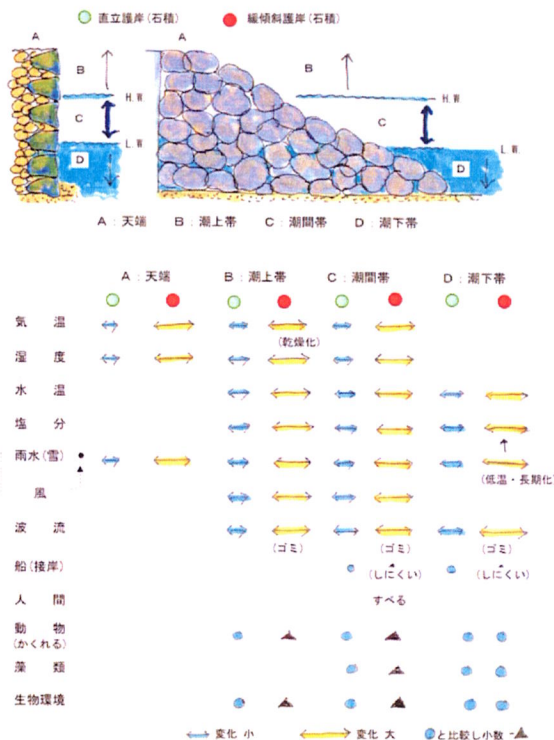


図-2 直立・緩傾斜護岸の生物生息条件比較
だまりへ戻し、次の調査の対象とした。

潮だまりの機能は、酸素生産を確認するため、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、塩分の測定を行い、潮だまりで酸素生産が行われていることを確認した（図-4）。そして藻類の現存量と酸素生産に関しては、2007 年 8 月から 10 月の期間、毎日測定を行い、その動態を検討している。



高潮時

低潮時



潮だまりと干潟

写真-2 帷子川河口部テラス型護岸

潮だまりのコンクリート床は9月の調査までは無処理で、その後実験として山砂を10cm厚さに敷き砂床とした。2つの潮だまりの内、ひとつは、干出時も常に水が満たされている状況でもうひとつは、大きな低潮時には砂床が干出する干潟状態を創り両者の生き物生息の継続的な観察を行っている（写真-3）。

帷子川河口部の潮だまりと干潟護岸は、2006年12月に完成したため、現状では生物調査は実施されていない。しかし、現場での観察では、潮だまりにボラ稚魚が確認され、砂床には小さな穴が多数あり、生き物の活動は認められた。本格的な調査は2007年4月以降の予定になっている。

生物の目標達成基準は、芝浦では専門家以外でも評価しやすい生物にし、造成直後のため出現の有無と個体数とした。設定した目標生物の特性は、食物連鎖上の上位にある。そのため生息場の状況が変化し、連鎖下位の生物群の生息に適性を欠き、現存量が減少すると、目標生物の出現・個体数が左右される。このため、本来の達成基準の設定には、3～5年間の観察・調査資料を基に㎡当たり個体数、成長、肥満度などの定量的な基準が必要になる。

それは、場の環境条件も同じで、例えば芝浦・帷子川河口部に造成した潮だまり・干潟で生物と環境条件の達成基準を達しない状況が生じ、調査で原因が砂底の嫌気化にあった場合、その対策として砂底を耕すなどの場の再生が、生物と環境条件の順応的管理になる。

(2) 管理（表-3）

施工期間は、施工者が工事区間の管理を行ってい

た。芝浦では、テラス部分が完成し約10ヶ月間漂着するゴミを回収したが、週に1回程度2～3個のゴミで、大量のゴミの漂着は見られなかった。また掘り込み式の潮だまりと低潮で干出した割栗石部分を含めたテラス上のゴミは、高潮で冠水すると浮上し他へ流れ出る状況も観察した。計画前、潮だまりにゴミが集積するとの意見があったが、その状況はなかった。本護岸の南側に施工された石積の緩傾斜護岸では、石積の間の目地にゴミが入り常に除去する必要がある。

表-3 レベル3.目標達成基準による管理

評価と管理 システム化	
芝浦	帷子川
評価	
2006年7～10月 潮だまり、干潟機能調査 2006年7、9月 潮だまり生息生物 住民参加調査	2006年12月に 工事完了 2007年4月に生物 調査予定
マハゼ・ウナギ・ボラ・テナガエビ・カニ類の生息 環境	
2007年度継続 調査予定	
新規護岸造成 老朽化護岸改修	新規護岸造成 老朽化護岸改修
管理	
学習施設に関する安全性対応 ゴミなどの清掃対応 施設運営管理等に関する住民、NPO、行政との 協働事業等の検討(進行中)	公園全体の施設運営管理などに関する市民、NPO、行政との 協働事業等の検討(進行中)
2006年 芝浦運河 海の顔・川の 顔・水質・流速調査	

現在、護岸は行政に移管された。今後の管理・利用は行政の主導で地域やNPO等が協力し行う方向になる。そのためにもルールづくりが必要になっている。そして目標生物種を定めているので、これを対象にした評価を加え、その結果を組み込んだ全体の管理システム化を確立する必要がある。

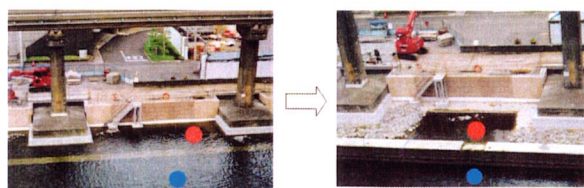
帷子川河口部のテラス護岸は後背の公園と一体で、両者の管理システムの確立が公園造成の条件に入っている。公園の計画に当たって、第一歩が管理システムで、地域の住民代表、学校関係者、行政担当者、NPO、研究者と開発事業者が2006年10月から検討会を開催し、公園の意義から、利用形態やそれに対応する汐入など海に触れる構造の検討と意見交換が行われ、基本計画が決定された。現状では完成したテラス護岸での学習会が2007年4月に予定され、その活動主体はNPOで、今後清掃等の日常的な管理はここを利用するNPOが実施する予定となっている。ただ、まだ工事が継続しているため、安全上の問題から、施工者ならびに開発事業者との協議と協働で実施される。



(個体数)

種名	潮だまり	ウナギ	マハゼ	ホラ	テナガエビ	他
7月27日	北	2	154	180	5	チチブ
	南	1	350	400	23	フナ チチブ
9月4日	北	0	54	140	2	タブミノ チチブ
	南	2	65	61	2	クチボソ チチブ

図-3 潮だまり生物調査結果



	07.00				14.00			
	水温(℃)	塩分(‰)	DO(mg/l)		水温(℃)	塩分(‰)	DO(mg/l)	
● 潮だまり	22.4	6.0	4.0	→	22.0	7.0	5.9	● 潮だまり
○ 水路表層					22.0	7.0	4.8	○ 水路表層
● 水路底層	20.4	24.0	3.8		20.3	25.0	3.9	● 水路底層

2007年5月28日

図-4 潮だまり溶存酸素測定結果



写真-3 低潮時のふたつの潮だまり 右は干潟状態に

6. おわりに

本件の新しいテラス型護岸の造成は、東京湾の代表的な漁獲対象種で、全国の汽水域の代表種でもあるマハゼ・ウナギの棲み処づくりを目的にした。この目的の背景は、地先水域での自給食糧資源の再生とその持続的な利用、さらに、地産地消の復活にある。本論文では都市汽水域のマハゼ・ウナギの棲み処づくりの2つの事業の経緯と経過を順応的管理のレベル1~3に対応させ示した。この結果から「仕組みの構築」に必要な論点の整理ができ、実証実験を含む環境改善技術の開発とその実施、事業評価と管理を含む市民参加協働などの仕組みづくりを含めたシステム化の必要が浮き彫りになった。また、この管理手法を円滑に実施するに当っては、現状の設計・施工・管理業務と分けて発注する形態に代って、近い将来科学的な調査に基づいた提案型での順応的管理を全て包括した形態の発注も必要となろう。

参考文献

- 1) 古川恵太, 加藤史訓, 小島治幸: 海洋環境施策における順応的管理の考え方, 海洋開発論文集, Vol. 21, pp. 67-72, 2005.
- 2) 東京都, 千葉県, 神奈川県: 東京湾沿岸海岸保全基本計画 東京都区間, pp. 1-66-71, 2-53-59, 2004.
- 3) 佐藤千鶴, 古川恵太, 岡田知也: 京浜運河における底生生物からみた自然再生の可能性, 海洋開発論文集 Vol. 22, pp. 211-216, 2006.
- 4) 東京内湾漁業興亡史刊行会: 東京都内湾漁業興亡史, pp. 107-144, 1971.
- 5) 神奈川県農政部: 崩壊する東京内湾漁業(神奈川県地先)の実態, 1958.
- 6) 柵瀬信夫: 江戸前ウナギ復活の試み, 日仏工業技術 50, 2, pp. 36-40, 2007.
- 7) 柵瀬信夫: 干潟の造成, 海岸の環境創造磯部雅彦編, 朝倉書店, pp. 40-73, 1994.
- 8) 柵瀬信夫, 金子謙一, 佐野郷美, 坂本和雄, 佐々木春喜: 江戸川放水路トビハゼ人工干潟の10年, 海洋開発論文集, Vol. 18, pp. 7-72, 2002.
- 9) 小林英樹: 東京湾湾奥部の自然環境の現状及び自然再生, 平成17年度第3回環境フォーラム港湾空間高度化環境研究センター, 2005.
- 10) 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トン生息に対する役割, 海洋開発論文集, Vol. 22, pp. 661-666, 2006.
- 11) 柵瀬信夫, 林文慶, 石井浩, 龍修一郎: ハウステンボス石積護岸が生き物にやさしい要因を探る. 知新, Vol. 6, pp. 14-19, 2000.
- 12) 柵瀬信夫, 林文慶, 越川義功, 内川隆夫, 唐木裕志: 環境保全・修復材-コンクリート護岸パネルの試み, 海洋開発論文集 Vol. 17, pp. 153-158, 2001.