港湾環境における付着生物群集の捉え方

古川 恵太*

* 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

How is sessile organisms' community treated in port and harbour environment?

Keita Furukawa

¹⁾ Marine and Coastal Department, National Institute for Land and Infrastructure Management, 3-1-1, Nagase, Yokosuka 239-0826, Japan

* corresponding author: K. F., email : furukawa-k92y2@ysk.nilim.go.jp.,

(Accepted April 5, 2006)

Abstract

Sessile organisms have been thought as related on material deterioration of port and harbour structures. Thus, prevention of sessile organisms is one of main objectives for research and development in this area. Success of macro algae transplantation on mild slope sea wall surrounding Kansai International Airport changed the situation drastically. "Sea Blue Project" and "Eco-Port Policy" followed by "Ecosystem Restoration Work" promotes implementation of symbiosis with ecosystem in port and harbour environment. Multi objective restoration of macro algae habitats, break water design for coral habitat recruitment, and environment assessment using sessile organisms as a indicator are now a new R/D target.

Key words: coastal environment, ecosystem restoration, eco-system network, adaptive management

要 旨

港湾環境における付着生物は、港湾構造物（防波堤や護岸、栈橋等）の材料の劣化に関係があるものとして、それを付着させない技術開発等が行われてきた。その状況の転機となったのが、関西国際空港の緩傾斜護岸で行われた藻場造成である。その後、シーブルー事業やエコポート政策、自然再生事業等が進められ、生態系との共生のための生物生息場の創出を命題として、藻場再生への多角的な取り組みや、サンゴ着生を目指した防波堤設計や移築技術の開発、さらには、付着生物を指標とした場の評価法の開発などに取り組んできた。

はじめに

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、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。

シーブルー事業においては、適用可能な個別技術の開発とその適用が議論された。覆砂による水質改善（図-1）は、主なメニューとして、各地で適用された。新たな基盤を海底につくりだす覆砂は、砂地盤を生息場とする底生生物の生息基盤としても有効に働くことが事業実施において確認されていた。

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、改善されてきた水質環境の中に、生物の生息場を造成することで自然生態系の「機能の強化」を目指すという理念が示された（運輸省港湾

んどない干潟におけるヨシ移植実験（鹿島・大成）、竹、石などの自然素材による干潟地形安定工法の実験（鹿島・大成）、造成干潟の上に浚渫泥を充填したミニ泥干潟を設置し浚渫土砂を利用した泥干潟の性能を調べる実験（五洋）、礫、玉石、混合土などの各種材料で置換した干潟の地形変動や生物定着を調べる実験（東洋）、造成干潟の地先浅海部におけるアマモ造成実験（東洋）を図-4に示すように配置し、実施することとした。

図-4 調査ゾーン確定案（2004年3月 実験開始時）

（3）調査結果

造成後の圧密沈下は、予め生分解性シート上に設置した沈下版を用いてモニタリングされた。ほぼ予測どおり干潟部全域で圧密沈下が進行している。

覆差厚のデータには、潮上帯において覆砂厚が大幅に減少している領域が見られる。これは、生分解性シートの沈下量は少ないものの台風等の影響で地形が大きく浸食された結果と考えられる。また、中潮帯においては、覆差厚が保たれたまま、沈下が進行している様子が観察されている。

2004年には多くの台風の襲来により干潟上で有義波高38cmが記録された。地盤高のデータを見ると、HWL以上の潮上帯が浸食され、沈下などの影響によりLWL以下の潮下帯が増加している様子が示されている。結果として、潮間帯の面積は、ほぼ一定で変化していない状況である。

底生生物については、造成当初ほとんど観察されていなかった。造成6ヵ月後の2004年9月には、図-5に示すように、潮下帯で50種程度の出現が観察され、潮間帯上部に向かって種数が減少しているという、水深毎の定着様相の変化が観察された。

図-5 底生生物の種類分布（2004年9月、種類数/m²）

また、前浜北部では、平坦な地盤で一部泥分の多い場所や干出時の潮溜りなどが観察されている。一方、前浜南部ではLWLからHWLへと続く連続的な地形となっている。北部は日和見種（*Musculista senhousia*、*Prionospio pulchra*、*Capitella* sp. 等）を中心とする多くの個体数（約 $2 \times 10^4/\text{m}^2$ ）と少ない種類数（約20）で特徴付けられる場であり、南部の少ない個体数（約 $4 \times 10^3/\text{m}^2$ ）と多くの種類数（約40）を示す対照的な場となっている。

民間共同研究グループによる実験においても、それぞれ地形安定化、生物定着の視点からの評価に向けて順調にデータを集積しつつある。

例えば、鹿島建設・大成建設による地形安定化実験区においては、当初全体的な侵食傾向が想定されていたが、実際には、州の形成や移動も含め局所的な堆積傾向も観測されている。そうした状況に鑑み、実験観察期間の延長や、対象調査地点の増設等により傾向の把握に努めている。ヨシ原の造成については、淡水供給方法の違いによる育成速度を観察し、平成15年5月に移植したヨシが8月まで順調に成長したことを確認した。しかし、2004年8-9月の重なる台風と高潮により海水の浸水を受け、現在は地下茎を残して次の成長期の観察を待っているとところである。

五洋建設により実験されているミニ泥干潟実験においては、泥分90%以上の浚渫土砂を干潟表面に利用しても生物が生息できる空間を造成できることが確かめられた。ただし、設置位置としては乾燥を防ぐことも考慮し、MWL以下の設置が望ましいこと、また、強度が増加しないことから人が直接立ち入らないサンクチュアリとしての利用が有効であることなどが定量的に示された。今後、保水性や泥分率の変化による影響を調査予定である。

東洋建設による混合土・礫エリアでの実験においては、精密な地盤計測により、圧密沈下、台風などのイベントによる底質移動、生分解性シート下の浚渫土の流動化などいくつかの要因が、時間的に変化しながら作用している様子が捉えられた。また、播種シートおよび移植によるアマモ場造成を2004年11月に実施し、その経過観察を行っている（古川ら、2005）。

熊本港親水緑地公園、野鳥の池

（1）実験場所と目的

熊本県によって熊本新港の埋立地に造成された「熊本港親水緑地公園、野鳥の池（以下野鳥の池）」は、有明海の浚渫土を用いて建設された熊本港北東角を掘り込んで造成した干潟である（平成14年10月竣工）。図-6に示すように、野鳥の池は石積護岸によって外海と隔てられ、4つの通水管（直径1.0m）により潮汐の干満に応じて海水が自由に出入りしている。地盤勾配は周りの干潟域（約1/600）よりも急勾配な約1/36であり、含泥率は約70%を占める泥質干潟である。

この野鳥の池において、熊本大学沿岸域環境科学教育研究センターが環境変動の調査を実施しており、その成果を用いて、国総研では干潟としての機能の発現、その管理手法などを共同で検討させていただいている。本項

図-6 野鳥の池の概略図

では、その調査結果の概略を紹介する(森本ら、2005)。

(2) 観測の概要

野鳥の池内には、常に海水が溜まっている亜潮間帯が存在しており、水深は干潮時(水面DL+3.0m)で平均0.3mである。また比較対照地として、野鳥の池の東側約30mに位置する①、②地点(DL+2.4m)(以下「比較対照干潟」と略す)を設けた。潮間帯では、目盛付きの杭を地盤高0.5m間隔で亜潮間帯内のDL+2.5mからH.W.Lの4.5mまで、A・Bラインの2測線計10地点を設置している。調査内容は、各々の杭において、地形の定点観測、地盤の強度を測るコーン貫入試験、柱状試料を採泥し粒度分析、含水比、CODsed、強熱減量、硫化物含有率、ORP、pHについて底質調査を行った。通水口③の出入口St.1と亜潮間帯St.2においてpH、DO、導電率、塩分、水温、濁度、水深などについて水質の連続観測、図中の潮間帯の△の地点では巣穴観測も行った。

(3) 調査結果

調査の結果と考察 野鳥の池の地形変動は、通水開始後約6ヶ月で亜潮間帯と水際で約10cmの堆積が見られ、約2年で25~30cmの堆積が進行している(図-7)。底質の硫化物は比較対照干潟と池内亜潮間帯で存在が確認されたが、池内潮間帯ではほとんど確認されなかった。これは潮間帯が、潮汐や生物などによって常に好気的環境を維持されたことによるものと考えられる。亜潮間帯では-20cmの層で大幅な増加傾向が見られた。これは、底質の堆積により嫌気的な環境が維持され、増加していったものと考えられる。生物においては、出現数・個体数

図-7 野鳥の池の地形変動

図-8 生物の出現種類数

とも初期の遷移課程を脱し、周囲の干潟同様の季節変動を示す段階に到達したと考えられるデータが観測されている(図-8)。また、地盤高による生物の棲み分けがなされており、多様な干潟環境が連続的に形成されつつあることが確認できるが、比較対照区とは異なる生物相となっている。

現在では、こうした場を持続的に管理していくための鍵となるプロセスの解明を進めるとともに、環境の維持管理手法について検討を進めている。

海辺の自然再生のための計画立案と管理技術に関する研究 東京湾におけるアサリプロジェクト

(1) 研究の目的

アサリ (*Ruditapes philippinarum*) は日本各地の干潟や浅場に生息する代表的な食用二枚貝であり、近年では、濾過食者としての高い海水浄化能力により、環境改善の面からも同種の重要性は高まっている。しかし、アサリの資源量は全国的に激減しており、その主な原因として、東京湾では、外来種との競合、乱獲、水質環境の変化等とともに、アサリの主要な生息場所である干潟や浅場の埋め立てによる消失が挙げられている。

その他に、直接的に生息場がなくなるばかりでなく、浮遊幼生の行き来による生息場間のつながり(生態系ネットワーク)や、ヨシ原-干潟-も場といった複合的な生態系の連続性・多様性の欠落や分断も生態系の劣化の一因でないかと考えられている(国土交通省・環境省、2002)。

このように、生態系ネットワークは、生き物の量と多様性を確保するために重要な機構の一つと考えられている。その実態を把握するために東京湾におけるアサリ浮遊幼生による干潟間の連携や、海域における移流過程を実証する「アサリプロジェクト」の目的である。

(2) 研究の方法

アサリは、図-9に示すように孵化後しばらくの間浮遊生活を送る。この間、アサリの幼生は潮汐流などにより湾内を運ばれ、10日から2週間といわれる浮遊生活の後、適当な干潟に着床し、底生生活に入ると言われている。そうした幼生の移流拡散を「生態系ネットワーク」の例として実証するためには、まず海域における幼生の時空間的に密な観測を行うとともに、採集された幼生を正確に分類し計数する必要がある。そこで、アサリ浮遊

図-9 アサリの生活史

幼生の移流経路を解明するための基礎データを得ることを目的として、東京湾に約3.5kmの間隔で設けた65の測定点で、幼生の出現密度を2001年8月と10月にそれぞれ4日毎の日程で計3回測定した（粕谷ら，2003a, b）。アサリ幼生の同定は、免疫学的手法を用いた染色法により、効率的かつ高精度に行われた（浜口ら，2003）。

（3）研究の成果

2回の観測により同様の結果が得られているので、特に8月の観測について解説する。

8月の観測時の幼生の最大出現密度は、D型幼生では2510個体/㎡、殻頂期幼生では2725個体/㎡であった。殻長頻度分布の経時変化から、東京湾におけるアサリ浮遊幼生の殻長成長速度は1日当たり12～15μm、浮遊期間はおよそ10日間と推定された（図-10）。

孵化後間もないと考えられる殻長100μm以下の幼生は、盤洲、富津、三枚洲～羽田、横浜そして市原周辺の海域に多く分布したことから、これらの海域がアサリ幼生の発生源と考えられ、自然の干潟や浅場だけではなく、港湾域もアサリ幼生の供給場所として機能していることが推定された。

同じ個体群と考えられる8月2日に優占した殻長110μmの個体群と、8月6日に優占した殻長160～170μmの個体群の出現密度の水平分布を比較した結果、分布の中

図-10 アサリ浮遊幼生の観測結果（2001年8月、左：幼生の空間分布、上から小型幼生、大型幼生、大型幼生、右：サンプリングされた個体の大きさ分布）

心は羽田～三枚洲および盤洲周辺の海域から、湾中央部に移っていることが明らかとなった。8月6日の東京湾では、強い北風により引き起こされた湧昇フロントが湾中央部に観察されたことから、アサリ浮遊幼生の水平分布には物理的な収束機構が作用していることが示唆されている。

以上により、アサリ浮遊幼生から見た「生態系ネットワーク」が湾内に存在すること、その発生源は自然干潟だけでなく港湾域にもある可能性等が示された。こうしたネットワークの実態を研究することを通して、生物の生息をその場の局所的な環境だけでなく、広域・長期にわたる生活史を通して把握する試みが始まっている。

東京港一京浜運河周辺における生物生息場の成立要因に関する研究

（1）調査の目的

アサリプロジェクトによっても示されたように、自然海浜や干潟以外にも、港湾や運河部などが幼生の供給源となったり、生物生息の場として機能したりしている可能性が示唆されている。もし、それが本当であれば、生態系ネットワークの拠点を増やすために、港湾や運河部における海浜公園などの整備が活用できることとなり、そうした整備が単にその場所での局所的な自然再生だけでなく、湾全体の自然再生に寄与するということと言える。

そうした可能性を探るために、港湾や水路部を汽水域として捉え、その環境変動の様子を観測、モデル化し、そこに棲む生物の分布の様子と対比させることで、生物生息場としての成立要因を探ることが本研究の目的である。

（2）調査の概要

調査は、東京港奥部の芝浦運河～京浜運河を中心として行った。2005年9月には、運河部の浅場を中心として生物生息状況を把握するために、運河内13地点において、粒度組成、含水率、TOC、T-N、T-P、全硫化物、COD、強熱減量、マクロベントス（種の同定、個体数、湿重量）、アサリの着底稚貝数（200μm以上の個体数、湿重量）等

図-11 東京港一京浜運河周辺における底生生息状況（個体数/㎡）と代表的な場（A：芝浦アイランド周辺、B：大井ふ頭中央海浜公園、C：大森ふるさとの浜辺再生事業）

を把握した(図-11)。また、2006年2月には、運河部における水深や底質を詳細に検討するために、ソーナー調査を実施し、底質の空間的な分布の把握に努めた(岡田ら, 2005)。

こうして得られる環境条件は、瞬間値であるので、平均的な場やその変動を把握するために、運河部における水温塩分の変化をモデル化した。モデルには、西豪州大学で開発されたELCOMを用いることとした。

(3) 調査の結果

図-11に示すように、運河部には多くの底生生物が生息していた。その数は7500-0個体/㎡と大きく変動しており、特に、Bで示される大井ふ頭中央海浜公園を中心とする場所では、アサリを含む多くの生物の生息が確認された。これは、この地点の塩分濃度が比較的高く、内湾の影響を受けつつも、海水交換速度が遅いことにより、幼生の分散や流出が妨げられ、運河内でのネットワーク的な繋がりにより生物生息が助けられている可能性が考えられている。

運河内は上下に成層しており、上下層で塩分分布が大きく異なるが、空間的に場を把握するために、ELCOMで計算された領域内の水深平均の塩分濃度の分布を示す(図-12)。前出の大井ふ頭中央海浜公園では、塩分濃度の高いこと、その北側・南側にあたる地点(図-11の地点A, C)においては、塩分濃度が低いことなどが計算されている。こうした環境の勾配は、内湾からの海水交換の他、内水の排除、下水放流、発電のための取水・放水など多くの影響を受けて成立している。塩分の低い領域においては、アサリの生息限界を下回る塩分濃度も観測されており、生物の棲み分けが起こっていることが示唆されている。

図-11の地点A, Cに当たる部分においては、それぞれ、生物生息が報告されているが、今回の調査においては調査範囲から外れているために十分な検討が行えていない。今後、こうした場も含めた領域に調査範囲を広げ、上記

の棲み分けについての検討を進めていく予定である。

こうした生物生息場の成立条件を明らかにする調査と、生物生息場の造成手法の開発が同時に進むことで、生物生息場の保全・再生・創出計画に対して、具体的な検討が進んでいくことが期待される。付着生物を含む、より多くの生物分布、その生息条件についての情報の蓄積が必要である。

おわりに

港湾は生物生息の場として、その環境の保全、生息場の創出などが図られてきた。これからは、多様な生物が時々刻々と変化しながら生息する生態系として、具体的な生物(環境・保全)と人(開発・利用)の関係を柔軟に取り扱い、計画・施工するとともに、持続的な生態系の確立のために「順応的に管理していく」という視点を持って環境保全・再生・創出に取り組むことが重要である。

都市臨海部に干潟を取り戻すプロジェクトにおいては、実験・実証的に多様な場を作るための技術開発や順応的な管理のための評価指標や管理手法の開発を行っている。場づくりのアイデアを科学的に検証し、付着生物基盤の増加を促進するとともに、その評価を行い計画・施工・管理にフィードバックしていくことが大切である。

海辺の自然再生にむけた計画・管理の研究においては、生物の生息環境を生活史等も考慮して、生態系のネットワークや環境の変動といった視点から検討することが大切であると感じている。流動による生態系ネットワークの連結の把握や、汽水域における環境勾配の観測・モデル化などの研究を進めている。

このように、どのような生物が、いつ、どこにいいのか、どうしてそこにいるのか、どのような役割や群集を形成しているのかといった興味は、付着生物の生息基盤の候補となる場を多く抱えている港湾の分野においても大変高くなりつつある。新たな視点の導入や手法の開発、研究の成果を活用することで、港湾を含む海辺において人と自然のつながりの再生が促進されることを期待している。

参考文献

- 上野成三 (2005). 大阪湾再生への取り組み事例 ―都市臨海部に干潟を取り戻すプロジェクト(阪南2区干潟創造実験)―. 雑誌港湾, 2005年4月号.
- 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.
- 大阪府港湾局 (2004). 阪南港阪南2区に人工干潟が完成. 大阪府のみなと, 77号, 2004.
- 岡田知也ら (2005). 音響底質識別装置を用いた東京湾沿岸域の底質分布図の作成. 海洋開発論文集, Vol.21, p. 749-755.
- 粕谷智之ら (2003a). 夏季東京湾におけるアサリ (*Ruditapes philippinarum*) 浮遊幼生の出現密度の時空間変動. 国土技術政策総合研究所報告, No.8, 13p.
- 粕谷智之ら (2003b). 秋季東京湾におけるアサリ (*Ruditapes philippinarum*) 浮遊幼生の出現密度の時空間変動. 土技術政策総合研究所報告, No.12, 12p.
- 国土交通省・環境省 (2002). 東京湾の干潟の生態系再生研究

図-12 東京港-京浜運河周辺における塩分分布の予測例

- 会報告書. 国立印刷局, 117p.
- 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.
- 浜口昌巳ら (2003). 内湾・内海域におけるベントス幼生の分散・回帰: 東京湾におけるアサリを例に. 日本プランクトン学会報, 第51巻, 第2号, pp.120-125.
- 古川恵太 (2005). 港湾環境施策における順応的管理の適用性について. 雑誌港湾, 2005年4月号.
- 古川恵太ら (2005). 阪南2区における造成干潟実験 -都市臨海部に干潟を取り戻すプロジェクト-. 海洋開発論文集, Vol.21, pp.659-664.
- 森本剣太郎ら (2005). 熊本港野鳥の池における干潟造成後の環境の短期的な遷移過程に関する研究. 海洋開発論文集, Vol.21, pp.665-670.