造成した干潟の底生生物相の初期遷移および 好適地盤環境条件と微地形の効果

竹山 佳奈¹・佐々 真志²・中瀬 浩太³・牧野 武人⁴

¹正会員 五洋建設株式会社 環境事業部 (〒112-8576 東京都文京区後楽2丁目2番8号)

E-mail:Kana.A.Takeyama@mail.penta-ocean.co.jp.

²正会員 独法港湾空港技術研究所 地盤研究領域 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3丁目1番1号)

E-mail:sassa@ipc.pari.go.jp.

³正会員 五洋建設株式会社 環境事業部 (〒112-8576 東京都文京区後楽2丁目2番8号)

E-mail:Kouta.Nakase@mail.penta-ocean.co.jp

⁴正会員 国土交通省中国地方整備局 宇部港湾・空港整備事務所 (〒759-0204 山口県宇部市大字妻崎開作32-1)

E-mail:makino-t2eh@pa.cgr.mlit.go.jp

干潟造成事業は浚渫土処分だけではなく、アサリ等の漁場や自然再生の場の造成としても重要な役割を担っている。そのため、地形的安定性だけではなく生物相の変遷に関して、長期的なモニタリングを継続し、適切な評価や管理をおこなう必要がある。そこで、2008年に造成した大島干潟の底生生物の遷移状況について5年間調査を実施し、初期段階の生物相の遷移とその特徴、および地盤環境と分布について分析した。また、干潟の生物分布と地盤環境に関して、地盤内の水分動態を示すサクシオンや干潮時に保水性を有する湾に着目して評価をおこない、干潟の設計に必要な地盤環境条件の抽出を試みた。その結果、大島干潟の生態系は干潟地形形成5年後にも関わらず、100種以上の種が微地形やサクシオンに応じて出現する多様性の高い生物相が形成されていた。

Key Words : *benthos community, intertidal flat, suction, geoenvironment, micro-geomorphology*

1. はじめに

干潟は底質や水質浄化機能、アサリなど水産有用種の増殖場、生物多様性の豊かな自然再生の場としての機能や親水機能など多面的な機能を有する。干潟や藻場の重要性から、2012年9月に閣議決定された「生物多様性国家戦略2012」では、2016年度までに5,500 haの藻場干潟の保全・造成を目標に掲げている。瀬戸内海においても環境修復を目指す取り組みとして、「瀬戸内海環境修復計画」(中国地方整備局・水産庁漁港漁場整備部, 2005)が策定され、2005年以後20年間において失われた干潟・アマモ場の約6割の面積(約600 ha)を修復することを目標としている¹⁾。

干潟造成事業は浚渫土の処分としての役割と共に豊かな自然環境の創造の場として重要な役割を担っている。そのため、地形的な安定性だけではなくそこに形成される生物相に関してもモニタリングを実施し、適切な評価、管理を実施していく必要がある。また、造成干潟において底生生物の種類数が安定するまでに、造成後2～6年以上要するため、長期的な事後モニタリングの必要性が示

されている²⁾。しかしながら、生物相の変遷について干潟造成直後から継続した調査に関する報告は少ない。

そこで、山口県周南市大島地区に造成した大島干潟において、2008年の第一期整備区の覆砂直後から経年的に底生生物相の調査を実施し、造成後の干潟の生物相の変遷について明らかにするための調査を実施した。

干潟の設計では、生物の分布と関連する項目として主に覆砂材料の粒径、地盤高、勾配、波浪について検討されることが多い。それらに加えて地盤内の水分動態が、干出時の干潟の底生生物の分布に大きな影響を与える事が考えられる。干潟に生息する底生生物にとって巣穴形成や潜砂に代表される住活動は分布や生物群集を形成する上で重要な要因となっている³⁾。そのため、干潟地盤表層の土砂環境場を体系的に捉えうるモニタリング・評価手法として、土中水分張力を表すサクシオンを核とした土砂環境状態が、多様な底生生物の住環境の形成と密接に関わりがある⁴⁾。干潮時でも保水性が保たれるタイドプールや湾等の干潟上の微地形は、地盤内に水分を供給する場所として底生生物や魚類の生息にとって重要な環境となる。さらにある種の魚類や底生生物にとって、

干潟上に形成した微地形は避難場所としてだけでなく重要な生息場所として種ごとに棲み分けしながら巧みに利用することが報告されている⁵⁾⁶⁾。

そこで、微地形の環境を評価する方法として、サクシヨンの動態や生物分布との関係を比較検討し、今後の干潟造成の設計に必要な地盤環境条件の抽出を試みた。

2. 調査方法

(1) 調査地概要

調査地点である大島干潟は、笠戸湾の南西側の閉鎖的な海域に位置し(図-1)、徳山下松港新南陽地区の航路泊地整備事業に伴い発生した浚渫土約120万 m^3 を活用して約29haの干潟を造成する目的で整備された。また、この干潟はアサリ成育場としての機能の維持管理を整備目標としている。そのため、アサリの生息範囲(DL-0.5 m以浅)を1/100の緩勾配とし、アサリの生息に適した水深帯や干出面積を広く確保している¹⁾。

図-1 調査場所

図-2 調査地の粒度分布

大島干潟の整備計画は、2005年度～2011年度の第一期整備区(約17.8 ha, アサリの生息域7.6 ha) 2008年度～2013年度の第二期整備区(約11.5 ha, アサリの生息域7.5 ha)である。今回の調査は、2008年に覆砂が完了した第二期整備区に造成した干潟を対象として実施した。

調査地の平均水位(MWL)は約DL+1.8mであり、地表面から深さ0.1 mの土砂は図-2に示す様に実質的に細砂で構成されており、中央粒径は $D_{50}=0.28 \sim 0.35$ mmであった。なお、図中の～は後述の微地形調査の地点に対応している。

(2) 調査地点

2008年10月に覆砂が完了した第二期整備区(写真-1)において、約半年後の2009年4月27～28日に第1回目の調査を実施した。以降2010年9月7日、2011年6月15日、2012年7月5日、2013年7月24日の大潮干潮時に1回/年の調査を実施した。調査範囲は干潟上のDL+2.0 m～DL±0 mの地盤高とし、2012年の調査では、微地形周辺の生物分布状況と地盤環境を比較するために、干潟上に形成された最干潮時幅約2 m～3 mの漥(写真-2)を微地形調査の対象とした。この漥のDL+2.0 m, DL+1.5 m, DL+1.0 m, DL+0.5 m, DL±0.0 mの地盤高を調査場所とし、各地盤高の大潮最干潮時における漥の冠水地点(以下漥)、漥周辺に形成された表面が湿潤状態の地点(以下湿地地点)および表面が乾燥している地点(以下乾燥地)を調査地点に設定した(図-3,4)。なおDL±0.0 mの地点は干潮時でも水面下であったため1ヶ所のみ調査をおこなった。

写真-1 干潟全景

写真-2 調査対象の漥

図-3 微地形調査地点

図-4 微地形調査

(3) 調査項目

底生生物調査は、0.2×0.2 mのコドラートを用いて0.1 mの深さまでの底質を、1地点につき4試料採取した。採取した土砂を1 mmメッシュでふるい、篩上に残った生物を10 %ホルマリンで固定後、種レベルの同定をおこない、種類別個体数および湿重量を計測した。

地盤環境調査は、大潮干潮時における地下水位を各調査地点で計測した。また、2009年~2010年の調査では、底生生物の分布する干潟地盤表層のサクシオンについて、大潮最干潮時に携帯型サクシオン計（型名SK-6000、サンケイ理化（株））を用いて測定した。

3. 調査結果および考察

(1) 生物相の遷移

2009年~2013年までの5年間に出現した底生生物について、種数および分類群別の組成の経年変化を図-5に示す。覆砂半年後の2009年4月の調査では、干潟全域で46種の底生生物が出現しており、覆砂直後から多くの種が加入し、経過と共に種数は増加していった。2011年の調査時に海草類のアマモ、コアマモおよびウミヒルモの加入が確認され、2012年以降はDL+0.5 m以下の地盤高でコアマモを中心とした大規模な海草群落が形成されるようになった。その結果、海草場に依存するリソツボ科等の微小巻貝や二枚貝が一時的に急増し、100種を超える底生生物が出現した。

また、分類群別の組成は2011年まで多毛類が全種数の50 %以上を占めていたが、2012年以降は二枚貝や巻貝類などの貝類が40 %以上を占めるようになった。既存報告によると、干潟の自律安定は、小型でライフサイクルの短い小型の底生生物のみで構成される状態から、大型の種も生息する生態系に変化した時が目安とされている²⁾。大島干潟でも初期状態の小型底生生物を中心とした生物相から二枚貝や巻貝など、より大型の種が安定して出現しており、生物相が安定化へと向かっていることを示すものと考えられる。

単位面積当たりの出現個体数の経年変化を図-6に示す。2009年は種数あたりの個体数は少なく、出現個体数の約8割を小型節足動物のアリアケドロクダムシ、小型多毛類のヒガタケヤリムシ類および二枚貝のホトギスガイの3種が占めていた。2010年9月の調査では、大型の多毛類のコケゴカイが全出現生物個体数の7割近くを占めており、前年の調査で優占していたドロクダムシ類やヒガタケヤリムシ類はほとんど出現しなかった。なお、多毛類の個体数が他の調査年度と比較して著しく増加した要因の一つに、多くの多毛類が増加する秋季に調査を実施した事が影響していると考えられる。

2011年6月の調査では、コケゴカイやコオニスピオが優占し、二枚貝ではホトギスガイに代わりユウシオガイやアサリも多く出現するようになった。2012年の優占種はコケゴカイの他にミズヒキゴカイが多く出現し、より大型の多毛類で構成される生物群集へと変化した。2013年の優占種は多毛類の他に二枚貝のユウシオガイや巻貝類のコメツブガイが優占し、個体数はこれまでと比較して減少したが、大型の生物種が優占する生物相へと変化していた。

出現種の生息場所ごとに、干潟表面に生息し地盤内部の土砂環境の影響を受けない表在性の底生生物と、干潟内部に生息する埋在性の底生生物に分けて評価した（図-7）。

図-5 分類群別組成の経年変化

図-6 出現個体数の経年変化

図-7 生息場所別の出現割合

大島干潟に形成された生物相の多様性を相対優占度曲線で評価した。相対優占度曲線は多様性の評価手法の一種で、種の豊富さと均等度を視覚的に評価する方法である。全種数（種の豊富さで曲線の長さを決定する）と組成の均等度（均等度が高いほど、曲線の傾きはなだらかになる）により決定される⁷⁾。優占度曲線の経年変化を図-8に示す。2009年および2010年の傾きと比べて2011年以降は緩やかになっていることから、生物多様性の高い環境が形成されていることが分かる。

造成直後はドロクダムシ類、スピオ類やケヤリムシの仲間のように表層数mmに棲管を作る表在性の底生生物の個体数が約8割を占めていた。これらの種は新規に造成された場に先駆的に加入する日和見種であり、大型種が加入するまでの発達初期の干潟生態系の特徴的な生物とされる²⁾。しかしながら、翌年2010年以降は大型多毛類や二枚貝など埋在性の底生生物の個体数が優占する状態になり、比較的早期の段階で環境が安定していると考えられる。なお、2012年には海草場の形成に伴い巻貝類が多く出現したため、表在性の底生生物の割合が増加した。

(2) 地盤環境と生物相

実質飽和状態では、サクシオンと地下水位の間には、海水の単位体積重量 γ_w を介して、次式の関係があるこ

とが明らかとなっている³⁾。

$$s = -\gamma_w \cdot G.W.L. \quad (1a)$$

2009年の調査時に地下水位とサクシオンを測定した結果、大島干潟では、地下水位-250mmまでの領域において、この線形関係が成り立っていることがわかった（図-9）。そのため、2011年以降は最干潮時の地下水位G.W.L.の値を基に、関係式(1a)でサクシオン s を換算した。

調査地点のサクシオンと底生生物の種数・個体数を比較した（図-10, 11）。2010年～2013年はサクシオンと種数・個体数の間には負の相関がみられ（ $R^2=0.6\sim0.9$ ）、サクシオンが1kPa以下になると種数・個体数共に急激に増加し、サクシオン1kPa以下の地盤内環境が生物の生息にとって重要な条件であることが明らかとなった。

一方、造成直後の2009年は、地盤内の環境に依存しない表在性の生物が優占していたことから、サクシオンと種数・個体数の相関はほとんどみられない結果となった（ $R^2=0.2\sim0.4$ ）。また、時間の経過と共にサクシオンと種数の関係グラフの近似曲線が造成15年後の尾道糸崎干潟⁸⁾の近似曲線に漸近していた。以上の結果より、生物多様性の発達評価にサクシオンに基づく地盤環境モニタリングが有効であることが示唆された。

図-8 優占度曲線の経年変化

図-9 地下水位とサクシオンの関係

図-10 サクシオンと種数の経年変化

図-11 サクシオンと個体数の経年変化

(3) 微地形の効果

干出時の干潟に形成された保水性の高い漥やタイドプールなど微地形の存在は、底生生物の分布に大きな効果を与えると考えられる。そこで漥やその周辺に形成された湿地地点や、漥の影響を受けない乾燥地点における生物出現状況について地盤高ごとに評価した。

各調査地点で出現した個体数とサクシオンを図-12、種数と湿重量を図-13 に示す。大島干潟の平均水面付近の D.L+1.5 m 以上の地盤高（以下高地盤）と D.L+1.0 m 以下の地盤高（以下低地盤）では出現状況が異なっていた。高地盤の乾燥地ではほとんど生物は出現しないと思われたが、乾燥地に適応したクチバガイやコメツキガニなどの大型の種が出現した。また、湿地や漥と比べて個体数は少ないものの種数や湿重量に関しては同程度もしくはそれ以上の生物量が出現した。一方で低地盤では、乾燥地点と比較して湿地地点や漥で多くの底生生物が出現した。特に二枚貝のアサリやユウシオガイ、多毛類のコケゴカイ、ミズヒキゴカイの一種などは乾燥地点と比較すると、約 2～5 倍の生育密度で出現した。

生物の出現は 1 kPa 以上ではどの地盤高でも減少し、0 kPa に近くづくほど生物量が増加した。また、コメツキガニは巣穴形成のためにサクシオンが約 1 kPa の環境で生息密度が高くなる⁹⁾ことが報告されており、今回も同様の結果となった。

出現した底生生物について、調査地点ごとに各種の摂餌活動に対する海水への依存度別の分布状況を比較するために、各生物の食性を下記の定義で分類した。

- ・堆積物食性 A：砂中の有機物を直接採取するため、地
摂餌活動で表面の水分は関係がない種
（コメツキガニ、コケゴカイなど）
- ・堆積物食性 B：地表面の有機物を水分と共に輸送する
ため、地表面に水分が必要な種（ユ
ウシオガイ、イトヒキゴカイなど）
- ・濾過食性：水中摂餌活動をおこなう種（アサリ、ヒガ
タケヤリムシ類）

その結果、干出時間が最も長い D.L.+2.0 m では乾燥地点でコメツキガニ、湿地地点や漥ではコケゴカイが多く、微地形に関わらず堆積物食性 B が約 8 割を占めた。D.L.+1.5 m は湿地地点や漥では D.L.+2.0 m と同様の結果であった。D.L.+1.0 m 以深では乾燥地点を除いて摂餌活動に水分が必要な種が増加し、特に D.L.+0.5 m 以深になると濾過食性の種の割合が他地点と比較して多くなった。

以上の結果より、微地形による保水性が底生生物の分布に与える影響は、高地盤よりも低地盤高で大きくなる可能性が示唆された。また、湿地や漥などのサクシオンが発達しない水際には生物種数個体数が多くなっていることから、微地形による保水性の維持は底生生物にとって重要な環境と言える。また、図-14 に示すように、地

図-12 地盤高別の微地形と個体数およびサクシオン

図-13 地盤高別の微地形と種数および湿重量

図-14 分布環境と食性について

盤高による差異により、出現する底生生物の食性が異なっており、冠水時間が長い低地盤ほど海水を利用した摂餌活動の種が多くなることが明らかになった。

4. まとめ

大島干潟の覆砂完了直後から約5年間の調査の結果、初期は表層性のライフサイクルの短い小型底生生物が優占していたが、2年目以降は埋込性の二枚貝や大型多毛類などを中心とした比較的大型の種が多く出現した。時間の経過と共に種数も増加傾向がみられ、多様性が高くなっていることから、比較的早期に生物相は安定してきたと考えられる。また、2012年以降の海草群落の出現により、干潟だけではなく海草藻場も有する多様な環境が形成されて、多くの種が出現していた。

底生生物の分布と地盤環境に着目すると、サクシオン1 kPa以下の環境で生物種数および個体数が顕著に増加していた。この数値を参考に、地盤高や勾配および微地形を計画する事により、生物にとっての好適地盤環境を広域に確保・維持する事が可能になると考えられる。

また、濔や湿地などの微地形周辺の生物分布状況に着目すると、低地盤では微地形の周辺で多くの底生生物が出現していた。この原因として、低地盤では干出時間が短いため、主に乾燥耐性の弱い種や、摂餌活動を海水に依存する種が分布しており、地表面の水分が分布制限要因となっている事が推測された。一方で、高地盤では微地形の保水効果により乾燥耐性の強い種の加入が期待されたが、生物生息効果は顕著に表れなかった。この原因として、干出時間が長い高地盤では乾燥耐性の強い種が分布しており、微地形周辺以外でも生物が出現したことや、微地形による保水効果以上に水温上昇等の別の環境条件の影響の可能性がある事が推測された。

今後はこれらの点を明らかにするためにも潟上の微地形と生物分布に関する調査を継続して実施すると共に、引き続き造成した干潟の生物相の変遷について長期的な調査を実施していきたい。

参考文献

- 1) 潮見幸司, 高津宣治, 森宣夫, 首藤啓, 西土井誠, 中林孝之: アサリ漁場を目指した人工干潟の造成に関する実証的研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学) Vol.68, No.2, pp.1171-1175, 2012.
- 2) 桑江朝比呂: 造成された干潟生態系の発達過程と自律安定性, 土木学会論文集, No.790/ -35, pp.25-34, 2005.
- 3) 佐々真志, 渡部要一: 砂質干潟の生態土砂環境に果たすサクシオンの役-割巢穴住活動/保水場の性能評価・設計指針-, 港湾空港技術研究所報告 Vol.45, No.4, pp.61-93, 2006.
- 4) 佐々真志, 渡部要一, 梁順普, 桑江朝比呂: 干潟・砂浜海岸の生物生態/地形動態に果たす地盤環境の役割-多種多様な生物住環境診断チャートと安定地形の最適設計, 港湾空港技術研究所報告 Vol.52, No.4, pp.3-44, 2013.
- 5) 竹山佳奈, 木村賢史, 上村了美, 吉田潤, 中瀬浩太, 古川恵太, 鎌田弘行: 運河域の干潟上に造成したタイドプールの生物生息効果, 土木学会論文集 B3(海洋開発) Vol.29, pp.1030-1035, 2013.
- 6) 辻井達一: 底生生物の生息基盤となる干潟微小環境の修復法の開発に関する研究, 平成 21 年度河川整備基金助成事業報告書, pp.1~3, 2010.
- 7) 古賀庸憲, 佐竹潔, 矢部徹: マクロベントス相における種の豊富さ, 現存量, 多様年数, 絶滅危惧種を用いた干潟の評価, 保全生態学研究, 10, pp.35-45, 2005.
- 8) 国土交通省中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所: 干潟造成マニュアル, vol.1, 2006.
- 9) 梁順普, 佐々真志, 岩本裕之, 中瀬浩太: 生物住活動性能チャートによる自然・造成干潟の住み分け評価分析と検証, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.67, No.2, pp.986-990, 2011.

THE EARLY SUCCESSIONAL STAGE OF BENTHOS IN ARTIFICIAL INTERTIDAL FLAT, SUITABLE HABITATS AND EFFECT OF MICRO-GEOMORPHOLOGY

Kana TAKEYAMA, Shinji SASSA, Kota NAKASE and Taketo MAKINO

The creation for intertidal flat carries the role that is important as not only the role as the disposal of the dredged soil but also the fishing ground for clams and nature restoration project. It is necessary to long-term study, manage and evaluate not only the geomorphic change but also the development and succession of fauna, thereby carrying out appropriate evaluation and management.

Hence, in this study, we investigated succession of benthic community on Oshima intertidal flat which was created in 2008 for the period of five years. In particular, we studied the primary succession, geoenvironment and the characteristic of fauna. As a result, ecosystems on Oshima intertidal flat were found to be composed of rich fauna, depending on the geoenvironment, with appearance of many species only five years after the artificial flat was created.