

メソコスム実験による人工干潟の生物生息機能の評価

桑江 朝比呂*・細川 恭史**・小笹 博昭***

1. まえがき

陸と海との境界にある干潟では、バクテリア・藻類およびデトリタスを起点として、貝類・多毛類・甲殻類、そして鳥類へ至る食物網が成立している(図-1)。これらの底生生物群集はまた、波や流れ・水質・底質などの物理化学環境と相互に作用し合いながら干潟生態系を作り出している。干潟が有する機能については、栗原(1980)や運輸省港湾局(1998)にまとめられている。ここで重要なのは、すべての機能が干潟に生息する生物の様々な活動によって維持されているということ、つまり、干潟の機能で本質を担っているのが生物生息機能ということである。

これまで、自然干潟の生物生息に関して様々な観測例があるが(例えば木村ら, 1997; Magni and Montani, 1997; 大坪ら, 1997), 自然干潟と人工干潟から観測されたデータを比較した研究例はない。本研究では、人工干潟における生物生息機能を検討するために、隔離実験生態系(メソコスム)を使用している。メソコスムの長所は、自然に近い生態系を作り出すことが可能であり、なおかつ生物や環境を目的に応じてコントロールしつつ比較実験を行える点である(西條・坂本, 1993)。

本研究の目的は、メソコスムおよび自然干潟(盤洲干潟)で得られた生物量に関する様々なデータを用いて両者を比較し、人工干潟の生物生息機能について評価することである。

2. 干潟メソコスムおよび盤洲干潟の概要と環境条件

2.1 干潟メソコスム

本研究ではメソスケールの干潟実験生態系として、運輸省港湾技術研究所にある干潟実験施設を利用した。干潟実験施設の外観を図-2に示す。自然光を取り入れるため、上屋の全面が基本的にガラス張りになっている。実験水槽の平面図および実験海水のフローを図-3、そして実験水槽の断面図を図-4に示す。1994年12月に実験水槽へ海水を導入し、潮汐を与えて実験生態系を創出し

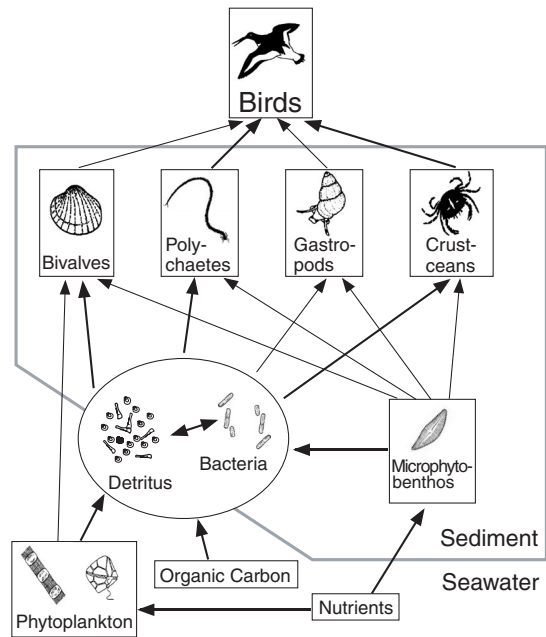


図-1 干潟における食物連鎖



図-2 干潟実験施設の外観

* 農修 運輸省港湾技術研究所海洋環境部
 ** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所海洋環境部
 *** 正会員 工博 (財) 港湾空間高度化センター

た、自然のM₂分潮とはほぼ同周期の12時間30分で1潮汐が起きるように、潮汐周期を制御している。1週間に1-3回の頻度で水槽中の海水と久里浜湾からポンプで汲み上げた未処理海水とを交換している。底泥へ与える外力として、水槽1にはプランジャー式の造波装置を設置し、周期0.5-2.0 s、波高0-10 cmまでの波を再現している。規則波が与えられるように、消波工が設置されている。水槽2および3には、インペラ式の潮流発生装置が備えられている。シャフトが回転することにより発生した水流は、干潟底泥の表面を流れた後、底泥の下の空間を通過して循環している。流速は0-10 cm s⁻¹で調整可能である。実験水槽の制御条件を表-1に示す。千葉県木更津市盤洲干潟産の底泥を各実験水槽へ泥深50 cmになるように投入した。この底泥は、投入前に天日で乾燥させてあるため、成体の底生生物は初期条件として含まれていない。実験生態系の創出から現在まで、実験水槽へ生物を一切人為的に投入しなかった。すなわち、実験水槽に加入したすべての生物は、久里浜湾の海水（例えば卵・胞子・幼生・種子など）由来である。その他、干潟水槽の制御条件・仕様については細川ら（1996）にまとめられている。

2.2 盤洲干潟

干潟メソコスムにおける生態系と自然干潟のそれとを比較するための調査地として、東京湾の東岸に位置する盤洲干潟を選定した(図-5)。盤洲干潟の地形的勾配は、岸沖方向でおよそ0.001と非常に緩い。設置した定点はおよそ年平均水位より20 cm高い位置にあるため、底泥は毎度の潮汐周期により干出・冠水する。定点付近には植生はない。

2.3 環境条件の比較

干潟メソコスムは屋内にあるため、降雨がない点が大きく盤洲干潟の環境条件と異なっている。干潟メソコスムにおける水温・泥温・塩分の観測された値の変動幅は、いずれも盤洲干潟で観測された変動幅の範囲内である(桑江ら, 2000)。しかし、東京湾の湾央に位置し、小櫃川河口測定の盤洲干潟における塩分は、平均値と比較すると久里浜湾の海水を導入している干潟メソコスムより低い傾向がみられる。

実験水槽の底泥は盤洲干潟産のため、実験開始当初は同質の粒径であった。しかし、実験開始4年後の結果では、中央粒径については両干潟に差がみられていないが、シルト・粘土分については、干潟メソコスムの方が10%以上盤洲干潟より高い(桑江ら, 2000)。このことは、台風などの大きな擾乱を経験しないメソコスムの底泥粒子が、自然干潟と比較し安定的であることを示していると思われる。したがって、メソコスムでは自然干潟よりも、圧密(底泥の硬化)が促進されたり、底面限界せん断力が低下する可能性を示唆している。

表-1 干潟メソコスムの制御条件

温度	無制御
光	無制御 (一部に赤外線カットガラスを使用)
底面積	Pool 1: 15 m ² , Pool 2および3: 24 m ²
底泥	東京湾盤洲干潟より採取
海水	東京湾内久里浜湾よりポンプで汲み上げ
潮汐周期	12.5 h
満潮水位	Pool 1および2: +36 cm, Pool 3: +27 cm
干潮水位	Pool 1および2: -21 cm, Pool 3: -40 cm
冠水時間	Pool 1および2: 7.7 h tide ⁻¹ , Pool 3: 4.4 h tide ⁻¹
物理的攪乱	Pool 1: 波, Pool 2および3: 流れ
海水交換頻度	Pool 1および2: 3回 wk ⁻¹ , Pool 3: 1回 wk ⁻¹
生物	一切人為的に投入せず

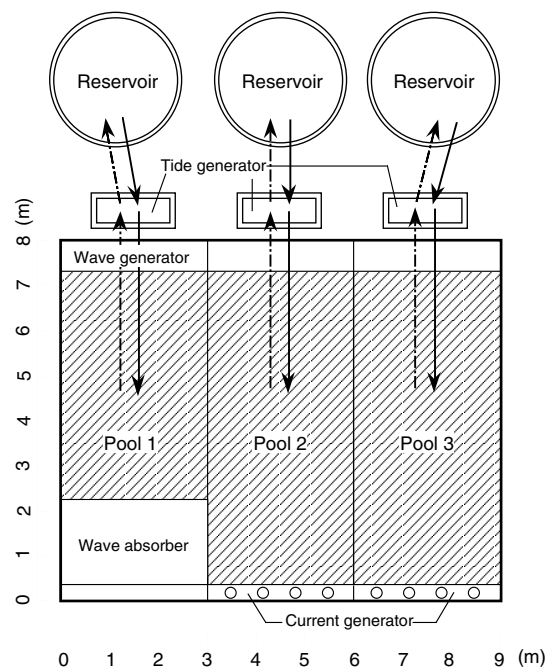


図-3 実験施設平面図および実験海水のフロー。実線が上げ潮、破線が下げ潮を示す。

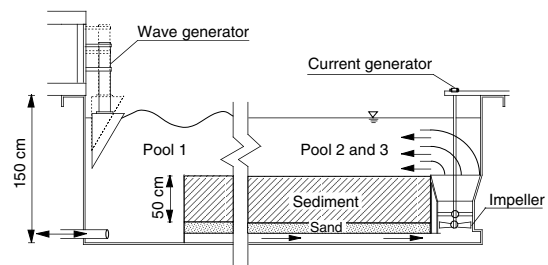


図-4 干潟実験施設の断面図

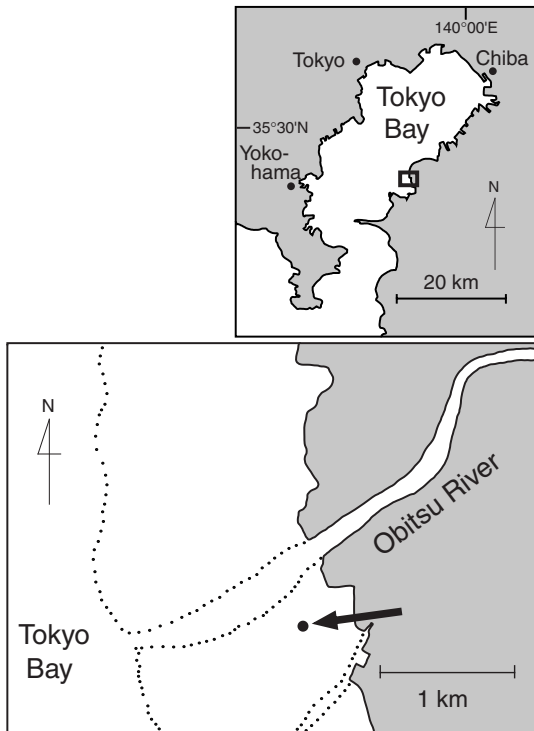


図 - 5 盤洲干潟の調査地点

海水の取水口にはポンプの保護のためネットがかけられているため、魚類および成体のマクロベントスの移入がない。したがって、幼生や卵の形態以外からは新規加入がないメソコスムでは、自然干潟と比較して生態系の成熟速度が遅くなると予想される。また、海水が地先(久里浜湾)からポンプで汲み上げることによって供給されていること、そして海水の交換頻度が1週間に1-3回であることも、盤洲干潟における海水流動と異なっている点である。

3. 干潟メソコスムおよび盤洲干潟における生物生息

3.1 底生生物生息機能

生物生息機能の具体的な評価軸として、

- ①特定あるいは任意の生物が多数生息する
 - ②多様な底生生物が生息する
 - ③失われる干潟と同種の生物が同量に生息する
- が挙げられる。①のうち、ターゲットとなりうる生物としては、潮干狩りや漁獲の対象となる種、海水中の懸濁物を取り除き水質浄化に寄与する懸濁物食者、積極的に保護していかなければならない希少種、そして鳥類の餌になる種などが挙げられる。また、③はまさしくNo Net Lossの発想である。

ここでは、干潟メソコスムおよび盤洲干潟に生息するバクテリア・底生微細藻類・メイオベントス・マクロベントスの現存量を比較する。また、マクロベントスの種類数および種構成を比較する。そして、①および②の項目について評価する。

3.2 調査方法

バクテリア量を評価するために、泥深0-1 cmのバクテリアの細胞数を計数した。底生微細藻類量を評価するために、泥深0-1 cmのクロロフィルa濃度を測定した。クロロフィルaの抽出・分析については桑江ら(1997)、バクテリアの計数法についてはKuwaie and Hosokawa(1999)に詳しく述べられている。メイオベントス量を評価するために、泥深0-10 cmまでのメイオベントスの個体数を計数した。マクロベントス量を評価するために、泥深0-20 cmのマクロベントスの生体湿重量を測定した。ただし、有殻の二枚貝および腹足類については、殻付き湿重量の13% (実測値) を生体湿重量(むき身部分)と仮定した。

3.3 調査結果

干潟メソコスムおよび盤洲干潟におけるバクテリアの細胞数・クロロフィルa濃度・メイオベントス数の測定結果を図-6に示す。干潟メソコスムにおけるバクテリア数およびクロロフィルa濃度は、1996年の夏季以降、盤洲干潟のそれを上回っている。メイオベントスの個体数については、両干潟で大きな違いがみられていない。干潟メソコスムにおけるメイオベントスの個体数は、時間の経過とともに増加している。

干潟メソコスムおよび盤洲干潟における全マクロベントスの生体湿重量の測定結果およびマクロベントスの種類数の経時変化を図-7に示す。盤洲干潟のマクロベントス量は夏に高い値を示しているため、調査期間中の平均値は干潟メソコスムのそれを上回っている。盤洲干潟と比較し、干潟メソコスムのマクロベントス量は安定的であるが、時間の経過とともに若干減少している。干潟メソコスムにおけるマクロベントスの種類数は常に盤洲干潟のそれを下回っている。

生体湿重量でみた両干潟におけるマクロベントスの種構成を図-8に示す。両干潟の生物相は全く異なっている。1996年の夏季および1997年の夏季に高い現存量を示した盤洲干潟では、それぞれホソウミナ (*Batillaria cumingii*)、アサリ (*Ruditapes philippinarum*) が優占していたことがわかる。両干潟において優占種が時間とともに交代していることが図から読みとれる。例えば干潟メソコスムにおいては、コケゴカイ (*Ceratonereis erythraeensis*)、ホトトギスガイ (*Musculista senhousia*)、ブドウガイ (*Haloa japonica*) の順に優占種の交代が起きている。盤洲干潟においては、1996年にはホソウミナ、

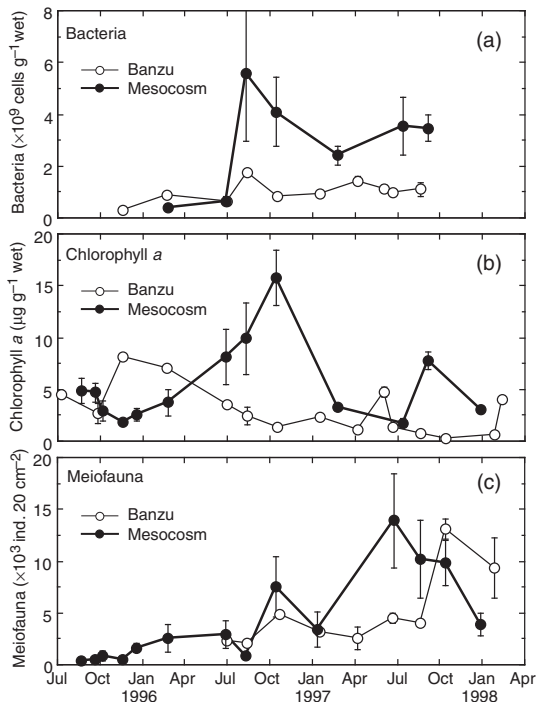


図 - 6 干潟メソコスム (●) および盤洲干潟 (○) におけるバクテリア数 (a), クロロフィル a 濃度 (b), およびメイオベントス数 (c) の経時変化

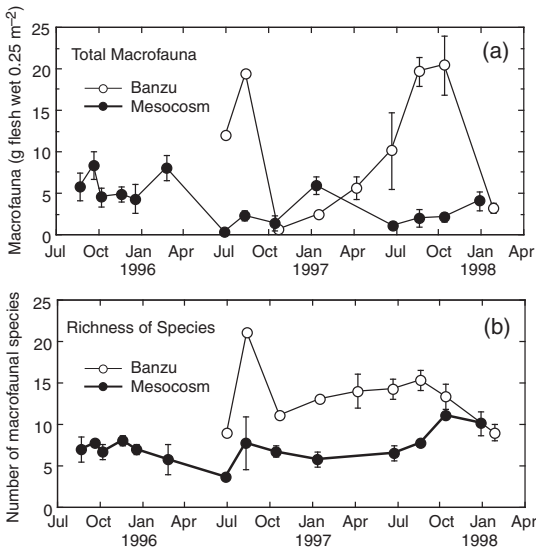


図 - 7 干潟メソコスム (●) および盤洲干潟 (○) における全マクロベントスの生体湿重量 (a) および種類数 (b) の経時変化

オサガニ (*Macrophthalmus abbreviatus*) が優占しているが、その後アサリ、ソトオリガイ (*Laternula marilina*)

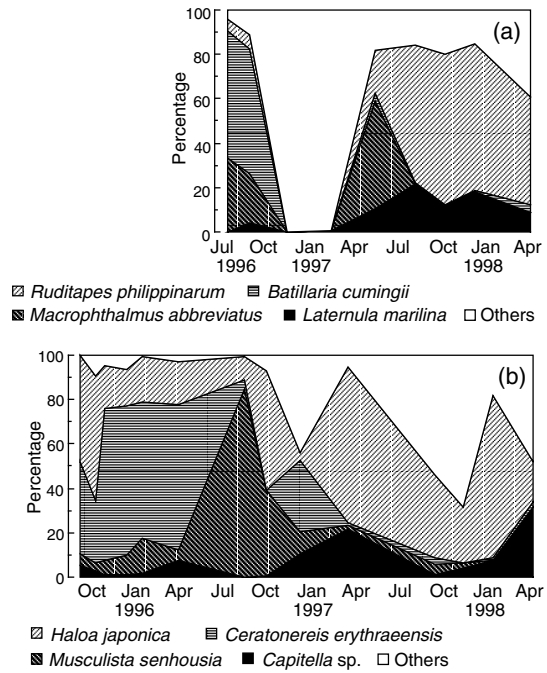


図 - 8 盤洲干潟 (a) および干潟メソコスム (b) における生体湿重量の種構成の経時変化

に交代している。干潟メソコスムにおいては、日和見種であるイトゴカイ (*Capitella* sp.) がみられている。

3.4 考察および評価

干潟メソコスムにおいては、バクテリアや底生微細藻類といったサイズの小さな生物が多く、大きなサイズのマクロベントスは反対に少ない。この事実は、「若い生態系」の一般的な特徴といえる (Odum, 1969)。これは、微生物は数時間から数日といった時間で増殖するが、大きな生物ほど生活史が長くなり、増加するのに時間がかかるからである。つまり、生態系が成熟していくにしたがって、構成する生物が小さなサイズのものから大きなものへ遷移していく。生態系の遷移からみれば、干潟メソコスムの生物生息機能を評価する際、盤洲干潟より大きなサイズの生物が少ないといった結論は、ある意味では当然のことといえる。

さらに、干潟メソコスムにおけるマクロベントスの多様性が盤洲干潟よりも低いこと、そして日和見種が存在しているという本研究の結果も、生態系の成熟という観点から説明できる (Lewin ら, 1996)。日和見種は小型で生活史が短く、次世代を多数産むという戦略をとる生物であるので、干潟メソコスムのように新たに形成された場により早く加入し、超優占する生物である。しかし、大型で生活史の長い生物との競争には負けるため、成熟し

た(環境の安定した)場では、次第に優占種は大型の生物にとって代わる。

「若い生態系」では、小型の生物が超優占するため、大型の生物が少なく、多様性も低いといえる。しかしながら、人工干潟の遷移を待ちつづける時間的余裕がなく、成熟を早めたいという要請も現実には存在すると思われる。とすれば、干潟の成熟を促進する技術的方策も考える必要がある。具体的には、マクロベントスの幼生がより早く加入できるように、既存干潟の近くに場所を選定することや、生物を移植して繁殖を促すことなどである。

マクロベントスの種構成の結果をみると、自然干潟においても人工干潟においても半年や1年といった時間スケールで遷移が起き、優占種が常に交代している。このことから、目的とする生物量の増減や、失われる干潟と同じ生物が同程度生息しているかを評価する場合には、少なくとも年間4回以上の調査を3-4年続ける必要がある。優占種の交代の要因としては、季節変動に伴う温度変化や底泥の有機物量の変化など、物理化学環境の変化が考えられる(例えば木村ら, 1997; 大坪ら, 1997)。また、個々の生物における生活史上の世代交代や幼生の加入量の変化など、生物的な要因も大きく寄与していると思われる。したがって、種構成の変動メカニズムを知るためには、個々の種ごとに生活史を整理した上で幼生加入量、着底率、減耗率などを調べる必要があるが、この分野の知見は乏しく(Kimura and Sekiguchi, 1993; Miyawaki and Sekiguchi, 1999)、さらなる集積が待たれるところである。

4. あとがき

本研究において、メソコスムに形成された人工干潟および自然干潟で得られた生物量に関するデータを用いて両者を比較し、人工干潟の生物生息機能について評価した。以下に得られた結果の要点を示す。

- (1)メソコスムの特性を整理し、データ解釈上の留意点を示した。すなわち、大きな物理攪乱を経験しないメソコスムでは、自然干潟と比較し底泥が安定的であり、シルト・粘土分の増加・圧密の促進の可能性がある。また、幼生や卵の形態以外からは新規加入がないため、自然干潟と比較して生態系の成熟速度が遅くなると予想される。
- (2)メソコスムの生態系は自然干潟と比較し若いため、バクテリアや底生微細藻類といったサイズの小さな生物が多く、大きなサイズのマクロベントスは反対に少ない。さらに、干潟メソコスムにおけるマクロベントスの多様性が盤洲干潟よりも低いこと、そして日和見種が存在していることも、生態系の若さという観点から

説明できる。

参考文献

- 運輸省港湾局 (1998): 港湾における干潟との共生マニュアル, 港湾空間高度化センター 港湾・海域環境研究所, 138 p.
- 大坪政美・朝廣和夫・高見昌二郎・岡部為信 (1997): 底泥の物理・化学性と底生動物の分布からみた今津干潟の特徴, 農業土木学会論文集, 190 巻, pp. 35-43.
- 木村賢史・西村 修・川井利雄・稲森修平・秋山章男・須藤隆一 (1997): 東京都内湾の底層水域環境と底生動物との関係, 水環境学会誌, 20 巻, pp. 411-418.
- 栗原 康 (1980): 干潟は生きている, 岩波書店, 219 p.
- 桑江朝比呂・細川恭史・古川恵太・三好英一・木部英治・江口菜穂子 (1997): 干潟実験施設における底生生物群集の動態, 港湾技術研究所報告, 36 巻, pp. 3-35.
- 桑江朝比呂・細川恭史・木部英治・中村由行 (2000): メソコスム実験による人工干潟の水質浄化機能の評価, 海岸工学論文集, 47 巻, pp. xxx-xxxx.
- 西條八東・坂本 充. 1993. メソコスム 湖沼生態系の解析. 名古屋大学出版会. 346 p.
- 細川恭史・桑江朝比呂・三好英一・室 善一朗・木部 英治 (1996): 干潟実験施設を用いた物質収支観測, 港湾技研資料, No. 832, pp. 1-21.
- Kimura, T. and H. Sekiguchi (1993): Some aspects of population dynamics of a mytilid *Musculista senhousia* (BENSON) on tidal flats, *Benthos Research*, Vol. 44, pp. 29-40.
- Kuwae, T. and Y. Hosokawa (1999): Determination of abundance and biovolume of bacteria in sediments by dual staining with 4,6-diamidino-2-phenylindole and acridine orange: relationship to dispersion treatment and sediment characteristics, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol 65, pp. 3407-3412.
- Lewin, L. A., D. Talley and G. Thayer (1996): Succession of macrobenthos in a created salt marsh, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 141, pp. 67-82.
- Magni, P., and S. Montani (1997): Development of benthic microalgal assemblages on an intertidal flat in the Seto Inland Sea, Japan: effects of environmental variability, *La mer*, Vol. 35, pp. 137-148.
- Miyawaki, D. and H. Sekiguchi (1999): Interannual variation of bivalve populations on temperate tidal flats, *Fisheries Science*, Vol. 65, pp. 817-829.
- Odum, E. P. (1969): The strategy of ecosystem development, *Science*, Vol. 164, pp. 262-270.