

浚渫ヘドロを利用した資源循環型の干潟再生実験

上野成三・高山百合子・勝井秀博

Keywords: benthos, water quality, sediments, coastal ecosystem, Ago Bay

底生生物，水質，底質，沿岸生態系，英虞湾

1. はじめに

一般に，人工干潟の造成には清純な山砂や海砂が使用されるが，良質な砂の不足に加えて，砂採取地での環境破壊が懸念されている¹⁾．一方，底泥浄化事業として実施される汚濁底泥の浚渫では，浚渫土の処分地の確保が大きな問題となっている．このような観点から，浚渫土を利用した人工干潟の実施例が増加してきた²⁾³⁾．その造成方法としては，浚渫土を干潟の内部に敷設し，その上から清純な山砂あるいは海砂を覆砂する方法が一般に採用されている（図-1(a)参照）．この場合，浚渫土は干潟の「あんこ」として地下に封印され，単なる嵩上げ材料として利用されているにすぎない．また，干潟表面に清純な砂で覆砂を行うと栄養分が不足して底生生物の復活が遅れるとの指摘もある⁴⁾．

一方，浚渫土に多量に含まれる有機物は生物の栄養源であることから，重金属やダイオキシンの問題がなければ，浚渫土は干潟生態系への栄養供給材料として利用できる可能性がある．さらに，好気的環境にある干潟生態系では浚渫土中の有機物の酸化分解が促進され自然浄化が進むと期待される．これは，従来，廃棄物として処分されてきた浚渫土を有効な資源と見なし再利するもので，資源循環型の新しい人工干潟造成方法と言えよう．そこで，本研究では，浚渫土を地下に封印せず，現地盤土と混合して干潟を造成することにより，干潟生態系への栄養供給を確保しつつ，浚渫土自体の浄化を行う人工干潟の造成実験を実施した（図-1(b)参照）．現在，健全な干潟環境が実現できる浚渫土の混合方法を明らかにするために，浚渫土の混合割合が異なる実験区を設けて，水質・底質の変化，底生生物の復活状況，放流アサリの成長を継続調査中である．本論文では，干潟実験区の造成直後（平成12年10月）から平成14年4月までの18ヶ月の底質変化と底生生物の経過を取りまとめた．また，

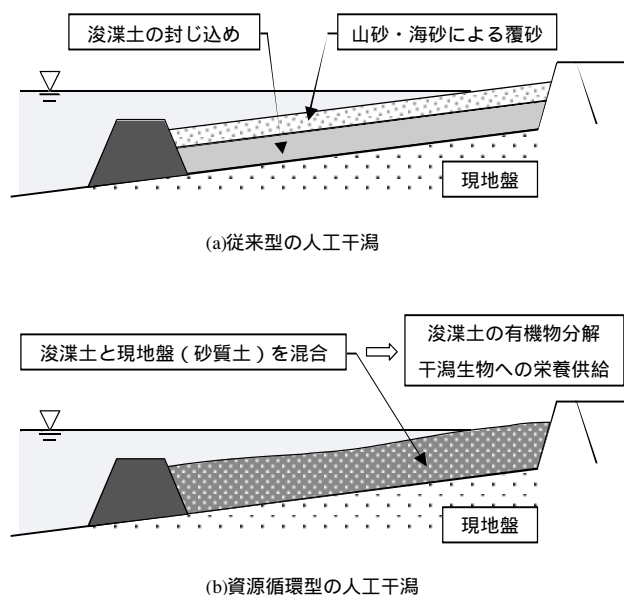


図-1 浚渫土を用いた人工干潟の造成概念図

Planning concept of artificial tidal flats with the use of dredged sediment

浚渫土の混合割合による底質・底生生物の変化を調べ，干潟生態系にとって最適な浚渫土の混合割合を評価した．追跡調査のうち，水質変化，アサリの成長については，別報⁵⁾を参照されたい．なお，この干潟造成実験は，地元の漁業者と研究者が共同で実施しており，漁業者が主体となった環境修復事例としても注目されている⁶⁾．

2. 人工干潟の造成方法および調査方法

2.1 人工干潟造成方法

人工干潟の造成実験は英虞湾立神浦で実施した．英虞湾と実験場所の周辺地形を図-2に示す．実験用に造成した人工干潟の平面図と断面図を図-3，図-4に示す．仕切り板と土留潜堤で囲まれた実験区を6区画設け，各実験区で浚渫土と現地盤土（砂質土）を所定の割合で混合

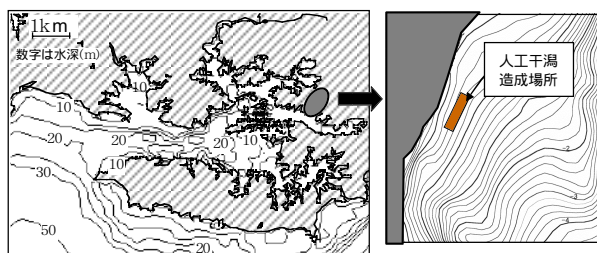


図-2 英虞湾と干潟造成場所の周辺地形
Ago Bay and topography on the field of a tidal flats

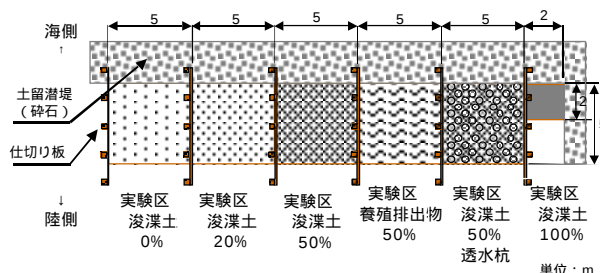


図-3 人工干潟の平面図
Plan view of the artificial tidal flats

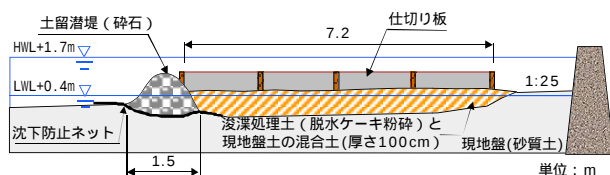


図-4 人工干潟の断面図
Section of the artificial tidal flats

表-1 浚渫処理土の性状

Quality of dredged sediment

項目	分析値
含水率	18.1%
COD(mg/gDW)	36.9
TOC(mgC/gDW)	41.9
TN(mgN/gDW)	2.7

表-2 追跡調査の項目

Measurement items for the monitoring

項目	調査点	計測・調査項目
水質	実験区内1点 実験区外1点	S,T,DO,濁度,pH,SS,COD,TN,TP
底質	6実験区	pH,ORP,含水比,粒度分布 IL,TOC,TN,H ₂ S,AVS
アサリ	6実験区	密度,湿潤重量,殻長
底生生物	6実験区	マクロベントスの種,数,湿潤重量

して干潟土壌を作成した．実験区 ～ は平成 12 年 9 月に造成し，実験区 は平成 13 年 10 月に増設した．各実験区の寸法は，実験区 ～ を 5m×5m，実験区 を 2m×2m とした．浚渫土は英虞湾立神浦の真珠養殖漁場で浚渫され脱水処理されたものを粉碎して用いた．浚渫処理土の性状を表-1 に示す．COD，TOC，TN とも高く，長年の養殖漁場利用により有機汚濁が進行した底泥であると言える．各実験区の浚渫土の混合割合は，実験区 で浚渫土 0%（現地盤土のみ），実験区 で浚渫土 20%，実験区 で浚渫土 50%，実験区 で浚渫土 100% とした．実験区 では養殖排出物 50%と現地盤土を混合した．養殖排出物とは，真珠養殖の過程で多量に発生する廃棄物であり，アコヤガイに付着するカサネカンザシやフジツボなどが主な構成物である．養殖排出物は底泥汚濁の原因の一つであり⁷⁾⁸⁾，英虞湾の汚濁負荷削減のため適正な処理が必要とされている．実験区 では浚渫土 50%の干潟材に多孔質コンクリート製の透水杭（φ20×L30cm）を約 100 本打ち込んだ．この透水杭の設置は，地盤の透水性を高め有機物の酸化分解を促進することを目的としたものである．

人工干潟の造成工事は平成 12 年 9 月 11 日から開始し，9 月 29 日に完了した．造成手順は，各実験区の仕切り板を設置し，碎石により土留潜堤を構築した後，干潮時に浚渫処理土と養殖排出物を各実験区に投入し，約 1m の厚さで現地盤土と混合した．人工干潟完成後の平成 12 年 10 月と完成 1 年後の平成 13 年 10 月には地元の立神小学校の全児童が参加してアサリの放流（約 40000 個）を行った．

2.2 追跡調査

実験干潟造成直後（平成 12 年 10 月 13 日）から 2 ヶ月毎に，水質・底質・底生生物・放流アサリの追跡調査を実施した．追跡調査の項目を表-2 に示す．水質調査は，干潟内 1 点と干潟沖側 200m 地点 1 点の計 2 点とした．底質調査は，実験区 ～ は沖側部，中央部，岸側部の 3 点，実験区 は中央部 1 点とし，表層～2cm，2～6cm，6～12cm の 3 層の採泥・分析を行った．底生生物調査は，各実験区の中央部で表面積 0.10 m²，深さ 0.15m の底泥を採取し，1mm 目のふるいに残存するマクロベントスの種類・数・湿潤重量を調べた．放流アサリの成長調査は，造成後の放流直後から 1 年間にわたり実験区 ～ の沖側部（表面積 0.05 m²），中央部（表面積 0.10 m²），岸側部（表面積 0.05 m²）の 3 点（深さは 0.15m）で採取したアサリについて，数量，殻長，湿潤重量を計測した．なお，前述のベントス計数にはアサリを除いている．

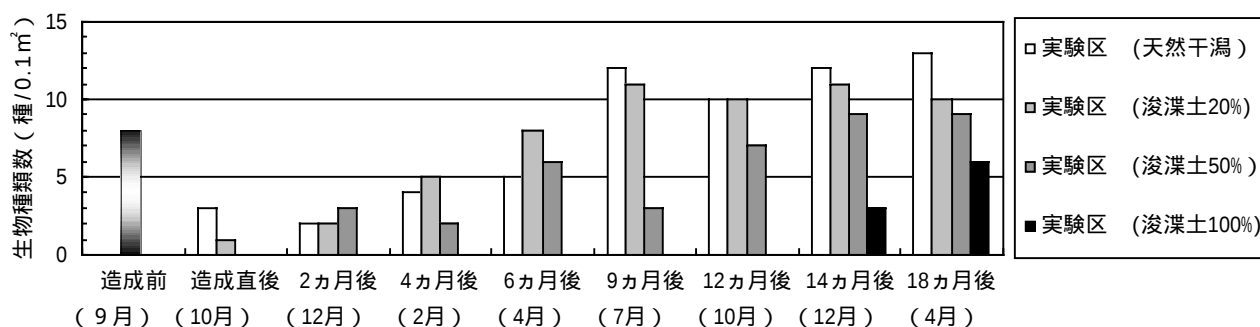


図-5 底生生物の種類数の経時変化

Historical change of the number of benthos

3. 干潟造成後の追跡調査結果および考察

3.1 底生生物の経時変化

浚渫土の混合割合を変化させた実験区 における底生生物の種類数の経時変化を図-5 に示す。

実験区 とも、造成直後はほとんど生物が存在しなかったのに対して、時間が経過するにしたがい生物種類数が増大した。9ヶ月後の種類数は、実験区 を除けば、干潟造成前の8種類以上に増加した。その後12ヵ月後以降では、実験区 とも種類数に大幅な増減はなく、生物種類数が安定する傾向が見られた。この内、浚渫土の混合割合が50%と大きい実験区 では、夏季に当たる9ヵ月後に生物種類数が大幅に低下した。その後、秋季の12ヵ月後、冬季の14ヵ月後と経過するにつれて生物種類数は増加に転じた。なお、本実験の途中の12ヵ月後に増設した実験区 (浚渫土100%)でも、他の実験区と同様に、増設後2ヵ月目から底生生物の出現が始まり6ヵ月後には種類数が増加した。

以上より、通常汚濁物質とされる浚渫土を用いた干潟においても、実験区 の夏季を除けば、生物種類数が順調に増加し造成後約1年で安定傾向になることが確認できた。

実験区 における底生生物の種類別個体数と湿潤重量の経時変化を図-6 に示す。底生生物は硬骨魚類、甲殻類、二枚貝類、腹足類、多毛類他の5つに分類した。多毛類他には花虫類、渦虫類も含めた。

まず、底生生物の種類別個体数について述べる。実験区 とも、造成直後から6ヵ月後までは個体数が少なく、9～12ヵ月後以降に増加する傾向となった。個体数から見た生物相の変化は、造成直後から6ヵ月後までは硬骨魚、甲殻類、二枚貝が卓越し、9ヵ月後以降から多毛類と二枚貝類、腹足類が増大した。生物種類数が

安定する12ヶ月後から18ヶ月後では、浚渫土混合割合の少ない実験区 で全生物数に占める多毛類他の割合が少なく、浚渫土混合割合の多い実験区 で多い傾向となった。また、実験区 の9ヵ月後(夏季)では他の実験区と異なり個体数の増加が見られない。これは図-9で示した実験区 の9ヵ月後(夏季)における種類数の減少に対応する。なお、造成前の生物相は二枚貝(シオヤガイ)が優占していた。

次に、底生生物の種類別湿潤重量について述べる。湿潤重量の特性として、多毛類に比べて貝殻を持つ腹足類や二枚貝類、および、殻を持つ甲殻類により生物重量は増加することに注意する必要がある。実験区 とも、造成直後から9ヵ月後までは甲殻類の重量が多く、12ヵ月後以降では二枚貝と腹足類の重量が多くなる傾向となった。また、実験区 の9ヵ月後(夏季)では、前述の生物種類数、個体数と同様に、生物重量の増加が見られなかった。なお、造成前の湿潤重量は二枚貝(シオヤガイ)が優占し81g/0.1 m²と極端に大きかった。

以上より、干潟造成後から18ヶ月後までの底生生物の経時変化をまとめる。造成直後から6ヵ月後までは生物種類数、個体数、湿潤重量とも少なく、その構成種も硬骨魚や甲殻類などの移動性生物が主体であり、干潟の生物相が安定していない状態であると言える。その後の12ヶ月後以降では、生物種類数、個体数、湿潤重量とも増大し、その生物相は二枚貝類、腹足類、多毛類などの定住性生物が主体となり生物相の安定度が高まったと言える。造成後約1年で生物相が安定する結果は桑江ら⁹⁾の干潟メソコスム実験でも得られており、干潟生物相はかなり早く安定化に向かうと考えられる。生物相が安定した12ヶ月後から18ヶ月後では、浚渫土の混合割合が高くなるにつれて、生物相が二枚貝・腹足類主体から多毛類主体に変化する傾向となり、通常の干潟と同様な生物相変化が確認された。また、浚渫土混合割合が

浚渫ヘドロを利用した資源循環型の干潟再生実験

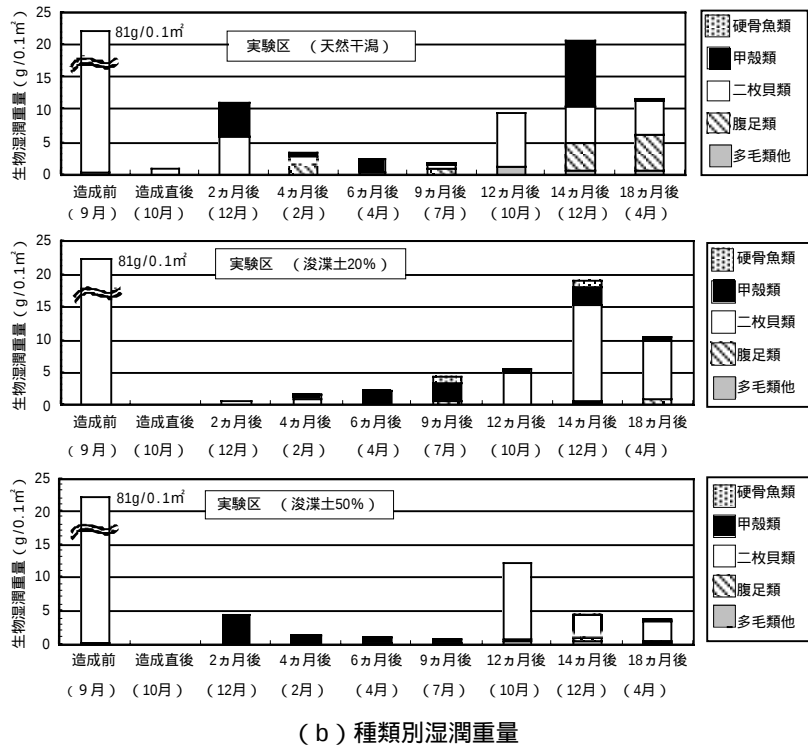
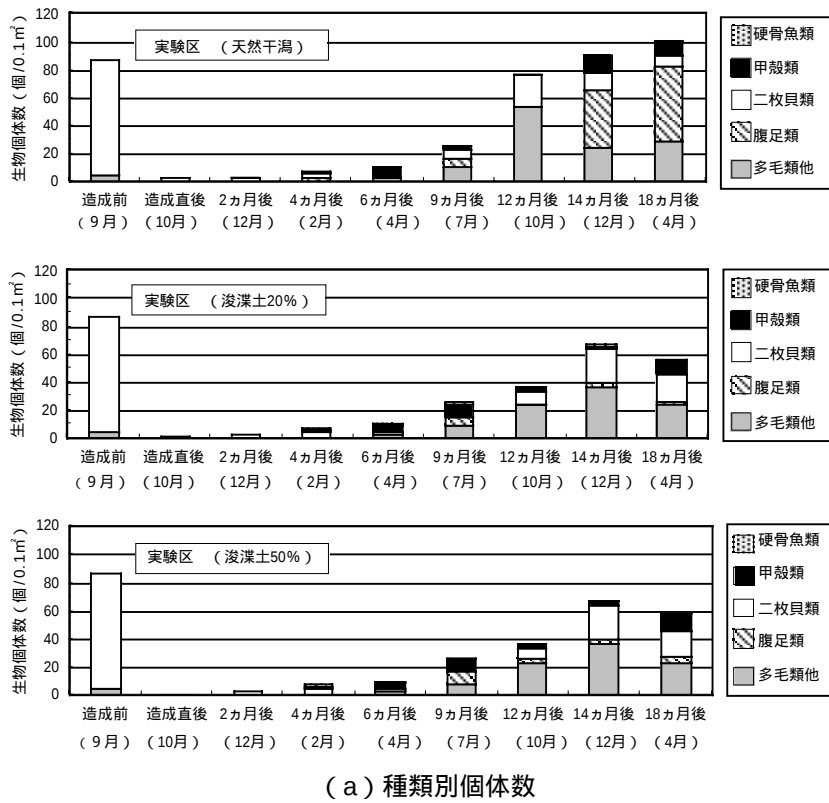


図-6 底生生物の個体数，および，湿潤重量の経時変化

Historical change of the number and the wet weight of benthos

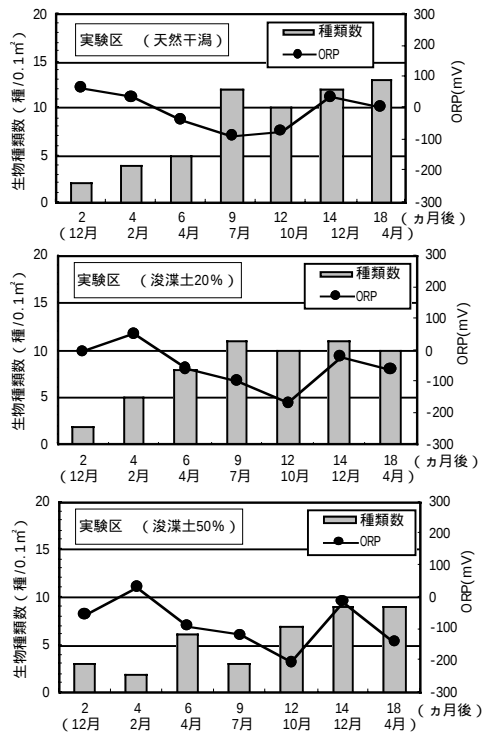


図-7 底泥 ORP と底生生物の種類数

ORP of the sediment and the number of
benthos

50%と高い実験区 では夏季に一時的に生物種類数，個体数，生物重量ともに減少するものの，冬季に向かうにつれて生物種類数，個体数，生物重量が増大に転じた．これは，有機物含有量が多い底泥環境下において夏季に一次的に生物数が減少しても冬季に復活することを示唆している．

3.2 底泥の酸化還元状態と底生生物の関係

実験区（浚渫土 50%）の夏季において生物種類数が減少する要因を調べるために，実験区 における底泥の酸化還元電位（ORP）と底生生物種類数の経時変化を図-7 に示す．ORP は各実験区の 3 地点（岸・中・沖部）・各 3 層（表層から 12cm まで）の平均値とした．まず，実験区 ともに，ORP は夏季に低下し，冬季に増加する傾向にある．夏季の低下幅は浚渫土の混合割合が多いほど大きい．これは，夏季の泥温上昇とともに微生物の有機物分解活性が高まった結果，底泥中の酸化物質が消費され嫌気化が進行することを示している．そのため，有機物含有量が高い実験区 で強い嫌気状態になる．これに対応して，夏季における各実験区の生物種類数は，嫌気状態の弱い実験区 では増加したのに対して，嫌気状態の強い実験区 では減少した．しかし，その後の嫌気状態が弱まるにつれて秋・冬季に生物種類数が急激に増加した．

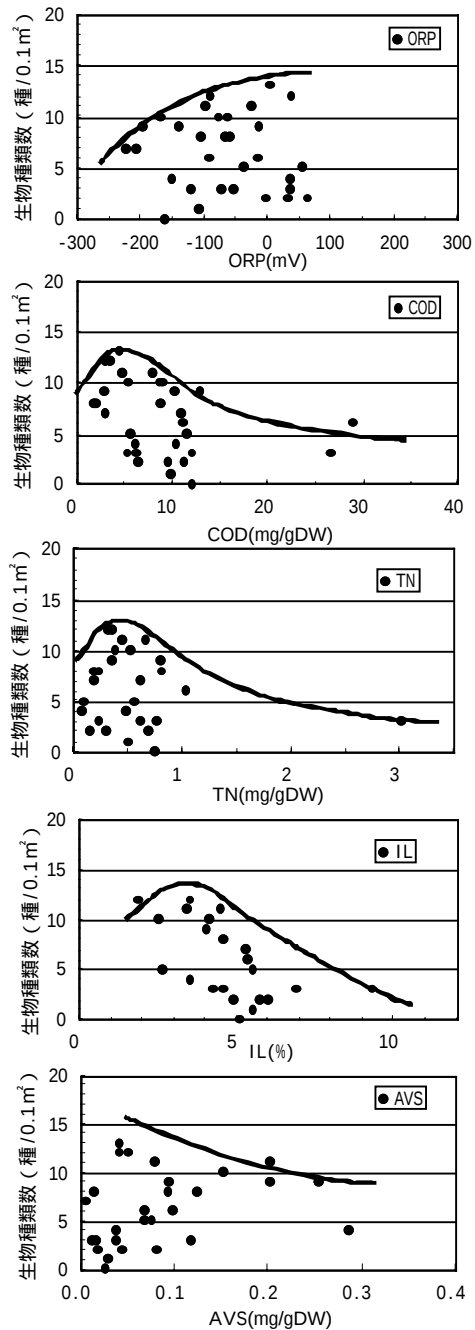


図-8 底生生物種類数と各底質項目の関係

Relation between the number of benthos
and sediment quality

以上より，有機物含有量の多い底泥環境では夏季に嫌気状態がある程度進行すると生物相がダメージを受けることが明らかになった．よって，通年にわたり干潟の生物相を維持するためには，干潟底泥の有機物含有量を夏季に極端な嫌気化が進行しないレベルに設定することが望ましい．しかし，干潟の好気化機能により，夏季の生物相のダメージは冬季に嫌気状態が解消され急速に回復することから，夏季の一時的な生物相のダメージをある程度許容するならば，干潟底泥の有機物含有量をかなり

大きく設定すること（本実験の場合浚渫土混合割合 50%）が可能と考えられる。

3.3 底質と底生生物種類数の定量的関係

浚渫土を用いた干潟の設計条件の基礎データとして、底生生物の生息環境に適した干潟底泥の底質の定量的条件を求める。実験区 の全データによる各底質項目（酸化還元電位 ORP, COD, 全窒素 TN, 強熱減量 IL, 酸揮発性硫黄 AVS）と底生生物種類数の関係を図-8 に示す。各底質は底泥 3 層（表層から 12cm）の平均値とした。ORP と生物種類数の関係として、ORP が -100mV 以上では種類数は多くほぼ一定であるものの、-100mV 以下で種類数は大幅に低下する。底泥中の有機物含有量の指標である COD, TN, IL と生物種類数の関係として、全ての項目で種類数が極大値をとるパターンとなった。これは、底泥が極端に清純であるより、有機物のある程度含有している方が生物種類数が増大することを示しており、岡田⁴⁾の知見と一致する。各底質項目の最適値としては、COD が 3 ~ 8mg/gDW, TN が約 0.3 ~ 0.8mg/gDW, IL が 3 ~ 5 mg/gDW となる。AVS については、AVS が増大するほど種類数が減少する一般的傾向は認められるが、定量的条件を明確に設定できる結果は得られていない。

以上より、図-8 の各底質と底生生物種類数の関係により生物種類数の観点から干潟再生に適する底質条件を設定することが可能となった。特に、浚渫土を用いて干潟を造成する際、対象とする浚渫土の特性が異なる場合でも、上記の条件を満たすように浚渫土と砂質土との混合割合を設定すれば良い。さらに、清純な砂に比べてある程度汚れた底泥の方が生物相は豊かになることが明らかになり、浚渫土を積極的に干潟造成に用いる根拠が明確になった。ただし、上記の定量的条件は、図-8 が造成から 1 年以内の生物相が安定していない状態のデータも含有していることから、今後の追加調査により変更が生じる可能性がある。

4. 結論

本研究では、浚渫土を用いた資源循環型の人工干潟として、浚渫土を地下に封印せず、現地盤土と混合して干潟を造成することにより、干潟生態系への栄養供給を確保しつつ、浚渫土自体の浄化を行う人工干潟造成実験を実施した。主要な結論を以下に示す。

浚渫土を用いた干潟の造成後、生物種類数、個体数、湿潤重量は順調に増大し約 1 年で生物相が安定した。

浚渫土の混合割合が 50%と多い実験区では、夏季に底泥の嫌気化により生物相がダメージを受けるものの、その影響は一時的で、干潟の強い好気化機能により秋・冬季に生物相が急速に回復した。

干潟の生物種類数は清純な砂よりある程度汚れた底泥の方が増大することが明らかになった。

生物種類数と干潟底泥の各底質との定量的関係から干潟生物相に最適な底質条件が求まり、干潟設計条件として浚渫土の混合割合の設定が可能となった。

謝辞：本人工干潟造成事業は三重県環境創造活動助成金の補助を受けて立神真珠研究会が実施したものである。人工干潟の計画・調査は三重県科学技術振興センターと大成建設技術センターの共同研究により実施した。

参考文献

- 1) 風呂田利夫：生態系修復としての人工干潟の問題点，沿岸海洋研究，題 33 巻，第 2 号，pp.163-167，1996.
- 2) 港湾環境創造研究会：よみがえる海辺 環境創造 21，山海堂，230p，1997.
- 3) 今村均：浚渫土の生物生息環境創造への有効利用，用水と廃水，vol.39，No.7，pp.603-610，1997.
- 4) 岡田光正：干潟・藻場の創出ならびに保全に関するバイオレメディエーション技術，第 27 回環境保全・公害防止研究発表会講演要旨集，pp.9-11，2000.
- 5) 上野成三・高橋正昭・原条誠也・高山百合子・国分秀樹：浚渫土を利用した資源循環型人工干潟の造成実験，海岸工学論文集，第 48 巻，pp.1306-1310，2001.
- 6) 日経コンストラクション：特集 地域のゴミを現場で生かす 英虞湾立神浦人工干潟造成工事，日経コンストラクション，2000.12.8 号，pp.63-65，2000.
- 7) 上野成三・灘岡和夫・片倉徳男・勝井秀博・山田二久次：英虞湾の真珠養殖漁場における底泥の汚濁流動層に関する現地調査，海岸工学論文集，第 47 巻，pp.1046-1050，2000a.
- 8) 上野成三・灘岡和夫・高山百合子・勝井秀博・山田二久次：英虞湾の真珠養殖漁場におけるアコヤガイの成長過程と汚濁負荷に関する現地調査，海岸工学論文集，第 47 巻，pp.1206-1210，2000b.
- 9) 桑江朝比呂・細川恭史・小笹博昭：メソコスム実験による人工干潟の生物生息機能の評価，海岸工学論文集，第 47 巻，pp.1101-1105，2000.