

英虞湾の浚渫ヘドロを用いた人工干潟とアマモ場における 底質と底生生物の変遷

Three Years Changes in the Sediment Quality and Benthic Fauna in the Artificial Tidal Flat and
Sea Grass Bed Constructed in AGO Bay with Use of Muddy Dredged Sediment.

国分秀樹¹・奥村宏征²・高山百合子³・湯浅城之⁴

Hideki KOKUBU, Hiroyuki OKUMURA, Yuriko TAKAYAMA and Shiroyuki YUASA

The technology for constructing artificial tidal flat which is enhancing the biological productivity in relatively oligotrophic tidal flat ecosystem by controlling the sediment nutrient for the benthos by using dredged sediment has been developed in AGO bay. The two types of experimental tidal flat were constructed (Experimental tidal flat 1: 3000m², Experimental tidal flat 2: 4200m²). And *Zostera marina* bed was planted in front of the experimental tidal flat 1, 2. Then these sediment qualities and benthos habitat were monitored every season for three years. After construction, It is clear that the abundance and species number of benthos in the artificial tidal flat were increased more than 3-4 times before construction. And more in *Zostera* bed, they were also increased more than 10 times without *Zostera* bed.

1. はじめに

英虞湾では、近年底質の富栄養化の進行が貧酸素水塊の形成や底生生物相の単相化をひき起し、海域の生産力を大きく低下させている。この原因の一つとして、干潟・藻場を含む浅場海域の減少による物質循環の停滞が考えられる。英虞湾では、100年間で約70%の干潟が干拓等によって失われたことが明らかになった。そこで著者らのグループは、干潟の栄養レベルをコントロールすることにより、生物生産性の高い干潟を造成するという観点から、浚渫ヘドロの豊富な有機物を相対的に貧栄養な干潟生態系への栄養供給材料として利用する干潟造成技術の開発を行ってきた。英虞湾において造成方法の異なる2種類の人工干潟と、その沖合にアマモ場を造成し、底質及び底生生物（マクロベントス）の追跡調査を行ってきた。本論文では、造成から3年間の追跡調査結果をとりまとめ、干潟造成後の地形や底質の変化及び底生生物の定着状況を解析し、人工干潟造成後の底質と底生生物の変化特性について整理した。

2. 現地実験の方法

(1) 浚渫ヘドロを用いた実験干潟の造成方法

2000年9月に阿児町立神浦において浚渫ヘドロを用いて、混合率を変えた6区画の小規模な実験干潟（5m×5m）を造成し、3年間の調査結果から、干潟生態系に最適な底質の有機物量と粒度条件は、CODは3～10mg/g-dry、含泥率は15%～35%であることを明ら

かにした(国分ら2004)。その研究成果を元に2004年3月に同海域において規模を拡大し、2004年3月に約3000m²（実験区1）、2005年3月に約4200m²（実験区2）の人工干潟を異なる工法で造成した。実験区1は浚渫土混合率30%の実験区と50%の実験区を各1500m²ずつ、実験区2は、浚渫土混合率30%の実験区を4200m²、地盤高DL+1.2m～-0.8m勾配1/25で造成した。造成方法は実験区1では、現地地盤をあらかじめ混合率30%実験区で30cm、50%実験区で50cm掘削し、その上に浚渫ヘドロを30%区で30cm、50%区で50cm敷設した後、スタビライザー付き泥上車で1mの深さまで混合することにより所定の混合率の実験区を造成した。一方実験区2では、陸上にて、現地地盤土と浚渫ヘドロとを所定の混合率に十分に混合した後、敷設することにより造成した。造成場所の地形と人工干潟の平面図を図-1に、造成に用いた浚渫ヘドロおよび干潟土壌の設計値と施工後の底質の性状について表-1に示した。造成に用いた浚渫ヘドロは片田地先で浚渫され脱水処理されたものを砕いて用いた。各実験区の間と沖側周囲の

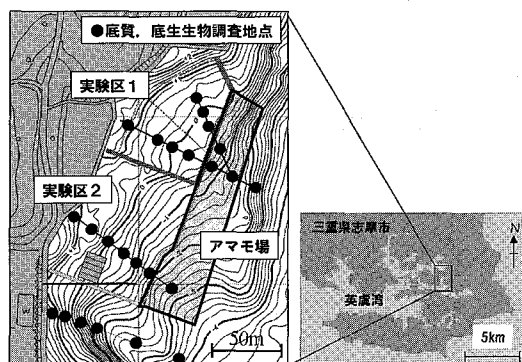


図-1 人工干潟造成場所と調査地点図

1 正会員 修(理) 三重県科学技術振興センター水産研究部
2 非会員 修(生) 三重県科学技術振興センター水産研究部
3 正会員 大成建設(株)技術センター土木技術研究所
4 正会員 (財)三重県産業支援センター

土留め潜堤は、砕いたアコヤガイの貝殻を網袋に入れた貝殻土嚢で作成した。アコヤガイの貝殻は英虞湾内の真珠養殖の過程で大量に発生する廃棄物である。なお、干潟造成方法の詳細は片倉ら(2004)を参照されたい。

また、2004年11月及び2005年11月に、造成干潟の沖合にアマモ場を造成した。造成方法は、50 cm×50 cmの鉄製の2枚の金網にアマモの種子を播種したジュートマットを挟み込み、50セットずつ連結することで、船より海底へ設置した。詳細は前川ら(2007)を参照されたい。

(2) 現地調査方法

2003年4月より干潟造成予定地周辺の地盤高の異なる測点において底質とマクロベントスの事前調査を年に4回、定期的に行った。さらに、人工干潟造成後、2004年5月から図-1に示す造成干潟周辺の測点において地盤高毎に底質、マクロベントスについて同様に年に4回、定期的に調査を行った。それぞれの調査項目は表-2に示したとおりで、底質のクロロフィルは表層から1 cm、それ以外は12 cmの堆積物を分析資料とした。マクロベントスの調査は、各地点面積0.2 m²、深さ20 cmで採取し、マクロベントスの種類数、個体数、湿潤重量を調べた。また、造成アマモ場の蜆集生物については、1 mm メッシュのネットを用いて作成した、30 cm×30 cmのパラシュート型コドラートを使用し、生物が避散しないようにアマモ地上部を採取し、蜆集生物(葉上生物と卵稚仔)の種類数、個体数、湿潤重量を調べた。さらに人工干潟造成直後より、年2回、造成干潟全面の地盤高及び、表層12 cmの粒度分布調査を5 m間隔で行った。本論文では事前調査を含めて、2003年4月から2007年1月までの約4年間の調査結果をとりまとめた。

表-1 造成干潟土壌の設計値と施行後のCODと泥分含有量

	浚渫 ヘドロ	現地 盤土	30% 混合区		50% 混合区	
			設計値	施工後	設計値	施工後
COD(mg/g)	12	0.46	2.5-5.5	3.9	4.8-7.8	5.6
含泥率(%)	91.9	16.6	30-50	39.2	45-65	54.2

3. 現地調査の結果と考察

(1) 造成後の底質の変化

a) 造成後の地盤高と含泥率の変化

造成直後から約1年ごとの干潟地盤高の変化量を図-2に、各実験区の造成後の表層(0-12 cm)含泥率(シルト粘土含有率)の平面分布の経年変化を図-3(a)に示した。

地形は実験区1において造成直後の2004年4月から2006年にかけて、DL±0 m以浅の潮間帯で約20 cmの侵食が、潮下帯で約30 cmの堆積が起っていた。それにとともに、干潟表層の粒度分布も、含泥率の潮間帯で減少、潮下帯で上昇が見られた。地形変化は特に造成1年まで顕著に見られた。これは干潟底質が安定しない造成初期に波浪等により潮間帯が侵食され、底質中の細粒分が沖方向に移動したためと考えられる。一方、実験区2では造成後初期に潮間帯の侵食がみられたが、地形、粒度分布ともに大規模な変化はなく、比較的安定していた。この原因として、各実験区の造成方法の違いが考えられる。干潟表面に浚渫土を敷設した後、現地地盤土と浚渫土を鉛直攪拌することで造成した実験区1の方が、現地地盤土と浚渫土をあらかじめ陸上で所定の混合率に混合した後、造成した実験区2よりも干潟表層土の安定性が低いため、地形変化を受けやすい可能性が考えられた。

b) 造成後の有機物量とクロロフィル-aの変化

実験区及び周辺浅海域において、地盤高毎に調査した24地点の底質のCODとクロロフィル-aについて、事前調査より1年ごとの平均値の平面分布をそれぞれ図-3(b)、図-3(c)に示した。

表-2 調査項目

調 査 項 目	
底 質	含水率、灼熱減量、酸化還元電位、pH、COD、AVS、T-N、T-P、クロロフィル-a
地 盤 高 粒 度	5 m メッシュで造成干潟上を測量
底生生物	出現種、個体数、種類数、湿潤重量、食性
アマモ場 蜆集生物	出現種、個体数、種類数、湿潤重量、食性 付着藻類、葉上生物、卵稚仔

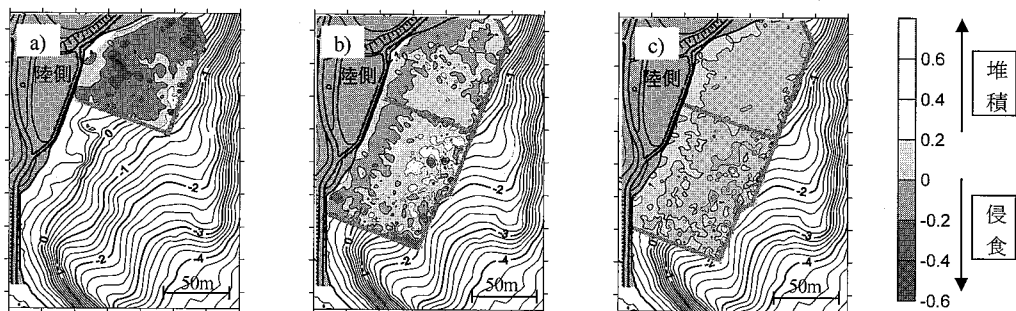


図-2 干潟造成後の地盤高の変化量 a) 2005.05-2004.03, b) 2006.05-2005.05, c) 2007.01-2006.05)

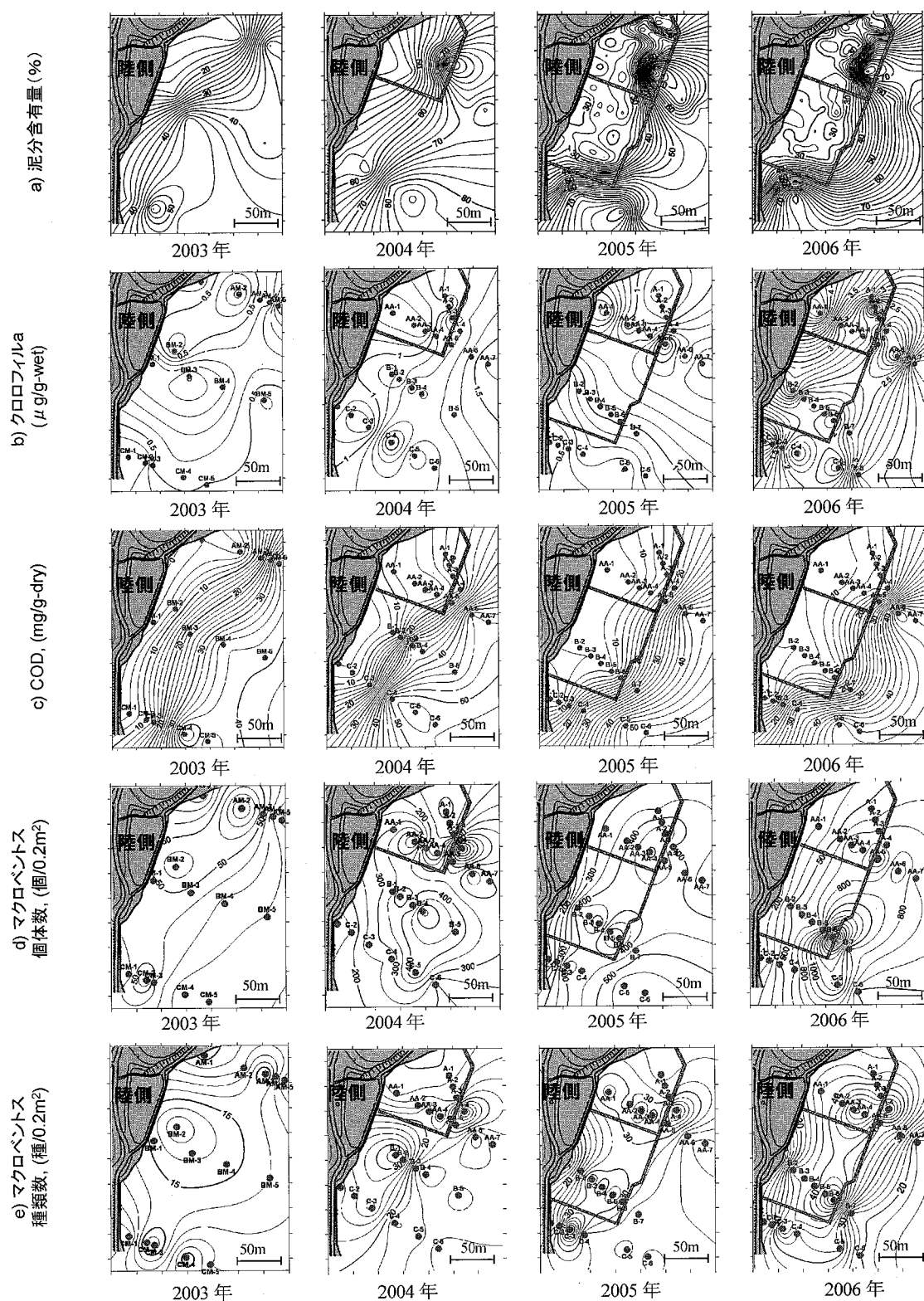


図-3 干潟造成前後の底質および底生生物の経年変化 a) 泥分含有量, (%), b) クロロフィル-a, ($\mu\text{g/g}$), c) COD, (mg/g-dry), d) マクロベントス個体数, (個/0.2m²), e) マクロベントス種類数, (種/0.2m²), (●は調査地点)

COD は造成直後、浚渫土の添加により増加したが、実験区 1 において、2004 年から 2005 年にかけて減少が見られ、2006 年には安定した。実験区 2 では、造成後、大きな変化が見られず安定していた。これは、前述の含泥率の変化と同様な傾向であり、底質中に含まれる有機物と含泥率には、相関があることから(国分ら, 2004)、波浪等による造成初期の底質の移動が考えられた。

一方、底質のクロロフィル-a は、造成後、各実験区共に増加し、2006 年には造成前と比較し、2 倍以上になった。これは、浚渫土には底生付着珪藻等の成長に必要な栄養分の供給源である有機物が多く含まれるため、砂礫質で有機物含有量が低い造成前の底質と比較し、クロロフィルが-a 増加しやすいことを示している。このことは国分ら(2006)の底質間隙水中の無機栄養塩濃度が造成前で低く、造成後で高いという既往の報告とも一致する。

以上より、浚渫土を干潟生態系への栄養供給材として利用することにより、有機物の分解が促進し、主として堆積物食性のマクロベントスのエサとなる、底生微細藻類の増加へとつながっていることが分かった。

(2) 造成後の干潟生態系の変化

a) 造成後のマクロベントスの変化

浚渫ヘドロ混合率 30% の実験区 1 において地盤高 DL+0.5 m の測点で出現した底生生物について、多毛類、二枚貝類、腹足類、甲殻類、硬骨魚類の分類群に分類し、種類数及び個体数の造成後 3 年間の変化を図-4 に示した。

造成前のマクロベントス相はシオヤガイという二枚貝が優占する、種類数も個体数も少ない状況であった。しかし、造成後約半年で種類数は事前調査と同等以上に回復し、造成後 1 年で二枚貝類や多毛類のような定住性の生物も増加し、造成後約 2 年で事前調査の約 4 倍まで増加することが分かった。一方、個体数は造成後 4 ヶ月より急激に増加し、造成後約 1 年から 1 年半で、定住性の

生物も増加し、事前調査と比較して約 3~4 倍になった。そして造成後 1 年以降、季節的な変動はあるものの、増加した種類数と個体数はほぼ安定することが分かった。

さらに、各実験区及び周辺海域において、地盤高毎に調査した 24 地点のマクロベントスの種類数と個体数データを用いて、事前調査より 1 年毎の平均値の平面分布について図-3(d), (e) に示した。

マクロベントスは造成後、各水深において、種類数個体数共に増加し、特に地盤高が DL±0 m 付近、含泥率が 30% 付近、COD が 10 mg/g-dry 付近のエリアで個体数、種類数ともに多くなった。これは、干潟生態系に最適底質の含泥率と COD、地盤高条件が、それぞれ 15% - 35%, 3~10 mg/g-dry, DL+0.5 m ~ -1.0 m であるという国分ら(2004)の報告例とも一致している。さらに、実験区 1 と実験区 2 を比較すると、特に 2006 年において、1 年遅く造成している実験区 2 の方が、個体数が豊富になった。これは、前述の(1)-a) のように干潟土壌の安定性が原因として考えられる。事前に陸上で浚渫土を混合した実験区 2 の方が、造成初期の干潟表面の流動が押さえられるためマクロベントスの回復が早いことが推測された。さらに人工干潟周辺海域においても、造成後、底生生物の経時的な増加が確認できた。これは浚渫土を添加することによる影響が考えられた。

以上より、浚渫土を用いて、干潟底質を底生生物の定着に適した状態にコントロールすることにより、多様な干潟生態系が回復することが明らかになった。

b) 水深毎のマクロベントスとアマモ場生物の変化

コアマモ及びアマモが繁茂しない場所と、繁茂する場所について、事前調査と造成 3 年後の調査水深毎の底生生物及びアマモ場生物の種類数、個体数を比較した(図-5)。マクロベントスは造成後、各水深において約 3~4 倍の増加が見られた。さらに干潟以深のコアマモやアマモ場においては葉上生物や卵稚仔も増加し、アマモのない造成前と比較して、場の面積あたりの生物種類数が 3 倍、個体数が 10 倍以上になることが明らかになった。これは、既往の報告例により、DL 0 m ~ -1.5 m で干潟のマクロベントスのバイオマスと種類数共に最大となることから(上野ら(2004)、矢持ら(2003))、干潟単体で環境改善を行うと、DL:0 m ~ -1 m を境に生物量が減少するが、同時にアマモ場を造成することにより、特に干潟以深において、マクロベントスと蛸集生物の増加により、相乗的に場の生物多様性が増加することが明らかになった。

さらに、図-6 に本実験海域のすべての調査地点で出現したマクロベントスの総種類数の経時変化を多毛類、二枚貝類、腹足類、甲殻類、硬骨魚類の分類群に分類し示した。造成前の事前調査では、実験海域に出現した総

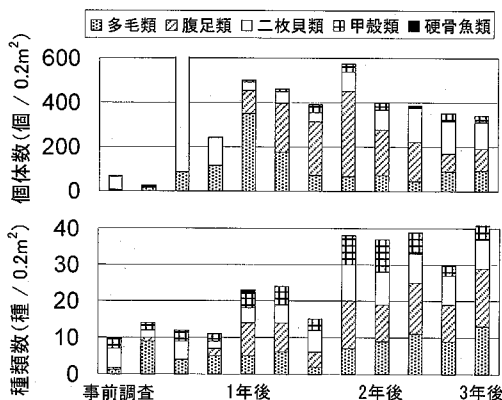


図-4 マクロベントスの分類群別種類数・個体数の変化

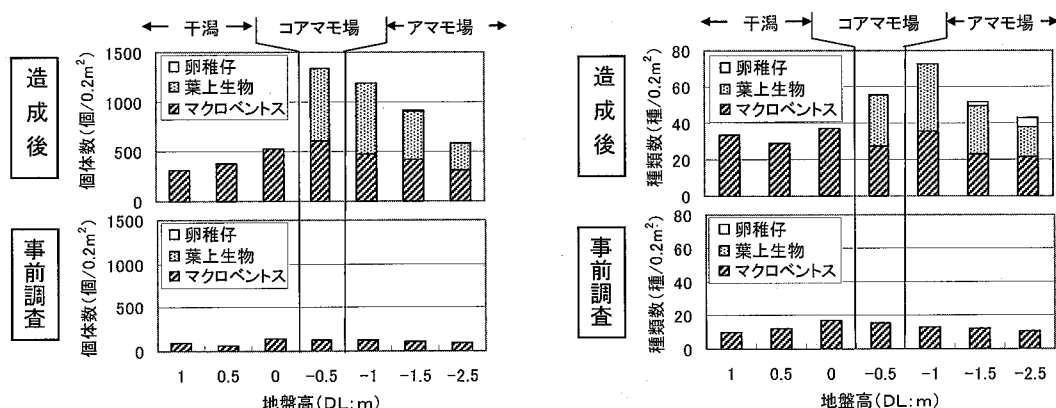


図-5 造成前後の水深別底生生物とアマモ附着生物種類数と個体数の変化

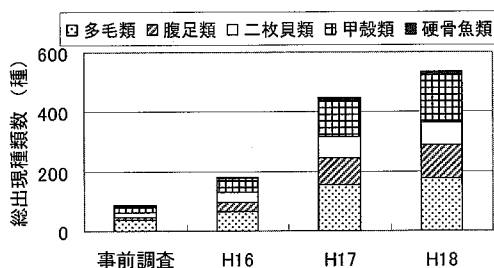


図-6 実験海域に出現したマクロベントスの総種類数の変化

種類数は 100 種程度であったが、造成後、マクロベントスは各分類群で増加し、3 年後には、約 500 種が出現した。このように浚渫土を干潟底質の栄養供給材料として利用することにより、マクロベントスの増加につながることが明らかになった。また、場の生物量が增加することは、干潟の重要な物質循環機能の一つである、懸濁物質の分解除去機能の増進につながる（国分ら（2006））ことが示唆された。

4. 結 論

本研究の主要な結論を以下に示す。

- ①干潟造成初期の干潟底質が安定しない時期に、波浪等により、潮間帯が侵食され、底質の細粒分が潮下帯へ移動していることが分かった。
- ②浚渫土を用いることにより、造成後有機物の分解が促進し、マクロベントスのエサとなる、底生微細藻類の増加へとつながっていることが明らかになった。
- ③浚渫土を用いて、干潟底質を底生生物の定着に適した状態にコントロールすることにより、造成後約 1 年半で、マクロベントスの種類数、個体数共に 3～4 倍に増加することが明らかになった。
- ④実験干潟の前面にアマモ場を造成することにより、DL0 m 以深でマクロベントスと蛸集生物が増加する

ことにより、場の多様性が大幅に増加し、干潟単体で環境改善を行うよりも、相乗的に場の生物多様性が向上することが明らかになった。

以上より、本論文では、浚渫ヘドロを用いて底生生物の定着に最適な栄養レベルに、底質をコントロールした干潟を造成し、造成後 3 年間の底生生物及び底質の変化特性についてとりまとめた。その結果、浚渫ヘドロの豊富な有機物を比較的貧栄養な干潟生態系への栄養供給材料として利用することで、造成後、マクロベントスが増加し、生物多様性の高い生物相に変化することが分かった。さらに同時にアマモ場を造成することにより、相乗的に場の生物多様性も向上することが明らかになった。

謝辞：本研究は三重県地域結集型共同研究事業の一部で実施された。また、現地実験にあたり、英虞湾再生コンソーシアム、立神真珠研究会、志摩の国漁協立神支所、芙蓉海洋開発から多大な協力を得た。ここに謝意を表す。

参 考 文 献

- 上野成三・高山百合子・湯浅城之(2004): 人工干潟の設計資料として整理した三番瀬干潟における底生生物の出現特性, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp. 1006-1010.
- 片倉徳男・高山百合子・上野成三・小林峯男・国分秀樹(2004): 浚渫ヘドロを用いた干潟再生工法におけるヘドロ混合の設計・施工計画, 海洋開発論文集, 第 30 巻, pp. 885-890.
- 国分秀樹・奥村宏征・上野成三・高山百合子(2004): 英虞湾における浚渫ヘドロを用いた干潟造成実験から得られた干潟底質の最適条件, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp. 1191-1195.
- 国分秀樹・奥村宏征・上野成三・高山百合子・湯浅城之(2006): 酸素消費速度からみた浚渫ヘドロを用いた人工干潟の生産力の検討, 第 40 回日本水環境学会要旨集, 第 40 巻, pp. 185.
- 前川行幸(2007): アマモ場造成技術, 第 16 回沿岸連ジョイントシンポジウム 英虞湾再生プロジェクト, pp. 34-36.
- 矢持 進・平井 研・藤原俊介(2003): 富栄養浅海域における生態系の創出—人工干潟現地実験場での生物と窒素収支の変遷, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp. 1246-1250.