

原著論文

## 東京湾盤洲干潟での網袋と 人工芝のアサリ天然稚貝の捕集効果

鳥羽光晴<sup>\*1</sup>・小林 豊<sup>\*2</sup>・日向野純也<sup>\*3</sup>・石井 亮<sup>\*4,5</sup>・林 俊裕<sup>\*4</sup>・岡本 隆<sup>\*4</sup>

Characteristics of mesh bag and artificial turf as a spat collector of natural asari clam *Ruditapes philippinarum* in Banzu tidal sand flat in Tokyo Bay

Mitsuharu TOBA, Yutaka KOBAYASHI, Junya HIGANO, Ryo ISHII, Toshihiro HAYASHI and Ryu OKAMOTO

To develop a technique for natural spat collection of asari clam in a soft-bottomed tidal area under strong hydrodynamic conditions, we conducted experiments using mesh bags containing pelletized oyster shell powder and artificial turf as a spat collector in Banzu tidal flat in Tokyo Bay from 2012 to 2014. Densities of the collected spats increased in spring and summer, with peak values of  $50.5 \pm 14.5$  (mean  $\pm$  SE) ( $32.5 \pm 9.3$  times as high as the ambient density of natural clams) and  $166.2 \pm 12.3$  ( $44.6 \pm 3.3$  times higher than the ambient density) individuals per 100 cm, respectively. Spat densities collected by both methods steadily increased at the onshore site. The densities were lower and fluctuated at the offshore site, despite its higher density of ambient natural clams, probably due to sediment frequently covering the collectors due to strong waves. The highest density of spats was obtained in the mesh bags laid simply on the bottom without manipulation, such as partial suspension and installation of a float inside the bag. The turf loosely held by iron stakes to allow free vertical movement collected higher densities of spats than that fixed tightly to the bottom.

キーワード：アサリ，天然採苗，網袋，人工芝  
2015年8月4日受付 2017年1月26日受理

近年，アサリの養殖に関する技術開発が進み，網袋を使った天然採苗技術（日向野 2014）や飼育容器を使った垂下養殖技術（安信 2014，日向野 2014），あるいは海水を導入できる野外池を使った育成技術（岸岡 2014）などが開発されている。

アサリ養殖の出発点となるのは種苗（稚貝）の確保で

ある。アサリ天然稚貝を養殖用種苗として利用するには，質が良く，均質な稚貝を安定的に入手できることが重要であり，そのためには海域の特性に応じた種苗確保の手法を開発することが必要である。ところが，アサリの稚貝は海域によって発生場所，発生時期，生息密度などが多様であり，また水底質，波や流れ，餌料など様々な環

\*1 国立大学法人東京海洋大学産学・地域連携推進機構

〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7

Office of Liaison and Cooperative Research, Tokyo University of Marine Science and Technology, Konan 4-5-7, Minato, Tokyo 108-8477, Japan

mtoba00@kaiyodai.ac.jp

\*2 千葉県水産総合研究センター

\*3 国立研究開発法人水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所

\*4 千葉県水産総合研究センター東京湾漁業研究所

\*5 現所属 愛知県農林水産部水産課

境条件の中で生息している。一方、これまでに行われている天然種苗の採苗技術は波浪条件の穏やかな海域を中心に開発されたものであり(日向野 2014)、今後さらにアサリ養殖を広く展開していくためには多様な環境条件の中で天然採苗が可能な技術を開発することが必要である。

著者らはアサリが生息する環境条件の中でも高波浪域に当たる海域において養殖用種苗としてアサリ天然稚貝を確保する手法を開発するため、2012~2014年に東京湾の盤洲干潟において、網袋と人工芝を採苗器としてアサリ天然稚貝を捕集するための現場実験を行った。本報告では、その結果明らかとなった網袋と人工芝のアサリ稚貝捕集特性およびそれらの効果的な設置方法について議論する。

## 材料と方法

現場実験は3回実施した(実験1~3)。実験1では網袋と人工芝のアサリ天然稚貝の捕集効果の季節による差異を比較し、実験2では捕集適地を判定するために波浪条件が異なる岸沖2か所でそれぞれの捕集効果を比較した。さらに実験3では、実験1と2で問題となった網袋と人工芝の埋没への対策手法を開発するため、それぞれの設置方法を変えて効果を比較した。

実験1~3の実施場所は東京湾中部東岸の盤洲干潟である(図1)。各実験の実施位置は、盤洲干潟の南北ほぼ中央にある小櫃川河口流路の北側約300mであり、岸沖方向の直線上に3地点(A~C)を配置した。A~Cの地盤標高はそれぞれ+0.3~+0.4, +0.4~+0.5, 約+0.6m(DL, 大潮時の平均低潮面=±0m)であった。3地点ともに干潟面は平坦であり、底質はいずれも中央粒径0.1

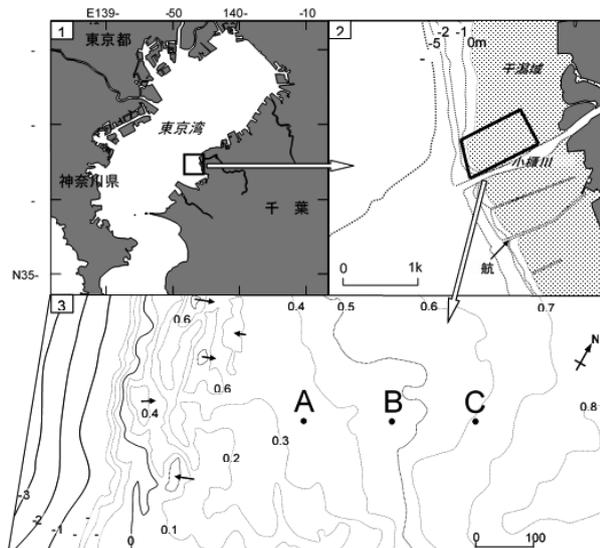


図1. 実験場所の位置図。図中の数値は水深あるいは地盤標高(大潮時の平均低潮面=±0m)

~0.2mmの砂質である。なお、実験場所とその周辺は地元の漁業協同組合によってアサリ、ハマグリ、バカガイなどの貝類漁場として使用されている。

## 実験1

**網袋と人工芝およびそれらの設置方法** 使用したアサリ稚貝捕集用の採苗器は網袋と人工芝であり、実験場所はA地点である。

網袋は目合4mmのもじ網(4×4, ナイロン製の無結節角目網)を縫い合わせたもので、粒径5~10mmのカキ殻加工固形物[ケアシエル:(株)ケアシエル]以下、粒状材とする)を1袋当たり350g入れて封じた(写真1a)。粒状材を入れたときの網袋の大きさは、縦約10cm×横約15cm×高さ約4cmであった。粒状材を入れた網袋は、あらかじめ陸上で目の大きさ34mm角の樹脂製格子網[トリカルネット:タキロン(株)]に樹脂製結束バンドで縛り付けた。設置に当たっては、網袋を格子網に縛り付けた状態で実験場所まで運搬し、格子網を鉄製L字型杭で干潟面に固定することによって、網袋を干潟面上に設置した。設置した網袋数は合計72個であり、それらは岸沖方向8列×汀線方向9列に格子状に配列した。干潟面上に設置した時のそれぞれの網袋の間隔は岸沖方向が約40cm, 汀線方向が約5cmであった。

用いた人工芝はパイル長(芝毛の長さ)22mmのポリエチレン製一体成型人工芝(アストロターフFG:ASTRO TURF LLG)である(写真1b)。人工芝は縦20cm×横20cmの正方形に切断し、四隅に直径8mmの

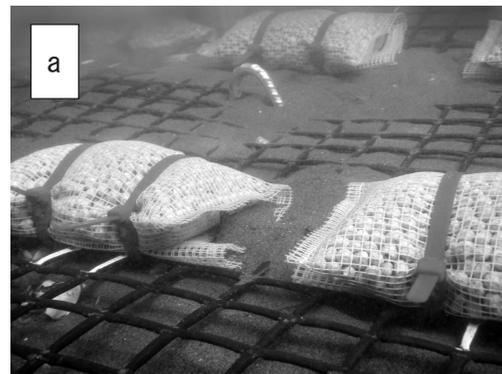


写真1. 設置直後の網袋(a)と人工芝(b)

孔を穿ち、その孔に直径 8mm × 長さ 30cm の鉄製 L 字型杭を通して干潟面に設置した。設置した人工芝の数は合計 72 個であり、それらを網袋と同様に岸沖方向 8 列 × 汀線方向 9 列に格子状に配列した。干潟面上に設置した時のそれぞれの人工芝の間隔は岸沖方向、汀線方向ともに約 30cm であった。

**敷設材の回収と稚貝の計測** 網袋と人工芝はともに 2012 年 10 月 15 日に設置し、設置後から 2013 年 7 月まで約 2 週間間隔でそれぞれ 1 回につき 4 個ずつを回収した。網袋と人工芝にはあらかじめ番号を付し、回収時には乱数表を用いて無作為に回収した。回収に当たっては、網袋は結束バンドを切断し、周囲に付着している砂や海藻とともに（冠水時には水中で）静かに容器に移し、アサリ稚貝の脱落を少なくした。人工芝は鉄杭を引き抜いて網袋と同様に容器に移して回収した。回収した網袋と人工芝はビニール袋に移して砂や海藻とともにそのまま実験室に持ち帰った。なお、網袋と人工芝はともに実験中に流失や砂への埋没等があったため、最終的に回収できたのはそれぞれ合計 68 枚（回収回数 17 回）であった。

網袋からのアサリ稚貝の分別に際しては、粒状材と砂などの内容物、および網地への付着物を網袋ごと一括して回収した。人工芝からの分別に際しては、芝毛を鎌ですべて切り取り、砂や付着物とともに人工芝ごと一括して回収した。網袋と人工芝からの回収物は、それぞれ目開き 1mm のふるいでふるって、残ったアサリ稚貝を肉眼で分別した。

網袋と人工芝の回収時に、設置場所の周辺直近（約 10m 以内）の 3 地点で天然アサリの分布密度を把握するための枠取り採取を実施した。採取地点の決定に当たっては、干潟地形の外観（実験場所付近では岸沖方向約 20～40m 周期で高さ 10～30cm 程度の砂堆が連続している）や貝殻などの堆積状況から、設置場所と高さや斜面の向きおよび堆積物の状況が同様の場所を選定した。枠取りには縦 15cm × 横 15cm × 高 20 cm の方形コアサンプラーを用い、1 地点当たり 3 回の採取を行った。採取物は現場で目開き 1mm のふるいでふるい、残ったものを実験室に持ち帰り、網袋と人工芝と同様にアサリ稚貝を分別した。

**稚貝密度の比較** 以降の解析では、網袋と人工芝の捕集稚貝密度はそれぞれの投影面積（網袋は 10cm × 15cm = 150cm<sup>2</sup>、人工芝は 20cm × 20cm = 400cm<sup>2</sup>）に基づいて平面密度に換算して表現する。稚貝密度の比較に際しての統計的検定では Shapiro-Wilk の方法による正規性の検定、Levene の方法による等分散性の検定を用い、平均値の比較には t 検定、一元配置分散分析、Mann-Whitney の検定、Kruskal-Wallis の検定を用いた。

**物理環境の観測と解析** 敷設材の設置および回収と並行して実験場所の直近（設置位置からの距離は約 2m）で底面流速と波高の観測を行った。底面流速の観測には電磁流速計（Compact-EM：JFE アドバンテック（株））を

使用し、センサーの中心部が干潟面上約 20cm になるように塩化ビニール製ホルダーを用いて本体を鉛直に設置した。観測条件は、1 観測（バースト）当たり 0.5 秒間隔で 5 分間のデータ取得とし、バースト間隔を 90 分とした。なお、電磁流速計には温度センサーが付随しており、流速の計測と同時にバーストごとの温度を計測した。

波高の観測には水圧式波高計（MWR-I：三洋メトロジクス（株））を使用し、センサー中心部が干潟面上約 23cm になるように金属製ホルダーを用いて本体を鉛直に設置した。観測条件は、1 バースト当たり 0.1 秒間隔で 5 分間のデータ取得とし、バースト間隔は 90 分とした。

底面流速および波高の観測値は、既報（Toba et al. 2011）に従って波浪解析ソフト TS-Master ver.6.5g（川俣茂，（独）水産総合研究センター水産工学研究所）および移動限界判定計算用 Excel シート（（独）水産総合研究センター水産工学研究所 2009）を用いて処理した。海底面の物理的かく乱の強さを表す指標には底面せん断応力を用いることとし、バーストごとにゼロアップクロス法で求めた 1/3 最大波（有義波）から底面せん断応力を算出した（Kleinhans 2005）。

## 実験 2

使用した網袋と人工芝、およびそれらの干潟面への固定方法は実験 1 と同様である。実験場所は A 地点と C 地点であり、それぞれに人工芝を 42 個ずつ設置した（岸沖方向 7 列、汀線方向 6 列）。

網袋と人工芝はともに 2013 年 7 月 23 日に設置し、設置後から 2013 年 12 月まで約 2 週間間隔でそれぞれ 4 個ずつ回収した。なお、流失や埋没等のため、最終的に回収できた網袋と人工芝はそれぞれ合計 40 枚（回収回数 10 回）であった。

網袋と人工芝の回収方法、およびそれぞれからのアサリ稚貝の分別方法は実験 1 と同様である。また、実験 1 と同様に、回収時に周辺域のアサリの分布密度を把握するための枠取り調査を行い、実験と並行して底面流速と波高の観測を行った。

## 実験 3

実験 1 と実験 2 の結果、網袋および人工芝ともに砂への埋没が問題となったため、埋没を抑制するための設置方法を考案し、従来の方法との比較を行った。

**網袋の埋没対策** 使用した網袋（縦 60cm × 横 30cm）はポリエチレン製のラッセル網（目合 3mm × 3mm）を縫製したものであり、開口部の周縁に通した口紐で縛って口を閉じることができるようになっている。網袋にはあらかじめ園芸用の小砂利（粒径約 15mm 以下）4kg と粒状剤（粒径約 8mm）1kg を入れた。

網袋は埋没を防止するために考案した 3 種の方法（方法 1～3）で設置し、従来の方法（方法 4）と比較することとした。方法 1（接地吊り）では、干潟面上に約 2m 間隔で鉛直に設置した支柱の間に約 30cm の高さで横に 1 本ロープを張り、そのロープに網袋の口紐を縛って網

袋を立てるように設置した(写真2a)。この方法では網袋は干潟面に接地しているが、口紐で吊り下げられているため埋没を抑制できることを期待した。方法2(浮子1個)では網袋の中に浮子として空気を封じた飲料用の500mLペットボトル1本を入れ、網袋を干潟面上に横に寝かせるように設置した(写真2b)。これは浮子の浮力で埋没を抑制しようとするものである。方法3(浮子3個)は方法2と同様であるが、浮力を増すためペットボトルを2本入れた(写真2c)。方法4(従来法)は以前から行われている方法(日向野2014)であり、砂利等を入れた網袋をそのまま干潟面上に寝かせるようにして設置するものである(写真2d)。方法2~3では網袋の流失防止のために、海底面上に固定したロープにそれぞれの口紐を縛って設置した。実験はB地点で行い、2013年6月7日に4種の方法でそれぞれ5個の網袋を設置して開始した。

捕集したアサリ稚貝の回収は2013年8月22日に行った。アサリ稚貝の回収に当たっては、現場で網袋から砂をふるい落した後、全体の湿重量を計測した。その後、内容をよく混合してその一部を分取し、同様に質重量を計測した。分取した内容物は実験室に持ち帰った後、目開き1mmのふるいでふるって残ったアサリ稚貝を計測した。

実験はアサリ稚貝の回収後も継続したが、方法1ではその後支柱が倒れて網袋が重なり合ったり埋没したりし

て当初の設置形態を維持できなかった。また、方法2と方法3ではペットボトルの浮力のために網袋が破れて内容物が流失し、同じく当初の設定を維持できなかった。これらのことから網袋の設置方法を変えた比較実験は、8月22日に実施した1回のアサリ稚貝の回収を以て中止した。

試験区間のアサリ密度の比較にはTukeyの多重比較を用いた。

**人工芝の埋没対策** 使用した人工芝は実験1と同様のものである。設置方法は埋没を抑制するための遊動式と従来の固定式の2種類を比較した。遊動式では正方形の人工芝の1本の対角線上の縁辺近くに直径12mmの孔を2個穿ち、その孔に直径8mm×長さ60cmの鉄製L字杭を通して干潟面上に設置した(写真3a)。L字杭は上部約30cmを干潟面上に露出した状態で固定した。遊動式は、穿孔径より細いL字杭を用いることによって人工芝が海底面の変動に追従して上下に動き、埋没を抑制することを期待したものである。固定式は実験1と同様の設置方法である(写真3b)。

実験はA地点で実施し、人工芝の設置期間は約1カ月間とした。実験は2014年6月に開始し、2014年12月までに合計6回の設置と回収を繰り返した。1回当たりの設置枚数は4枚とし、回収とアサリ稚貝の分別の方法は実験1と同様とした。また、実験と並行して実験1と同様の方法で底面流速と波高の観測および解析を行った。

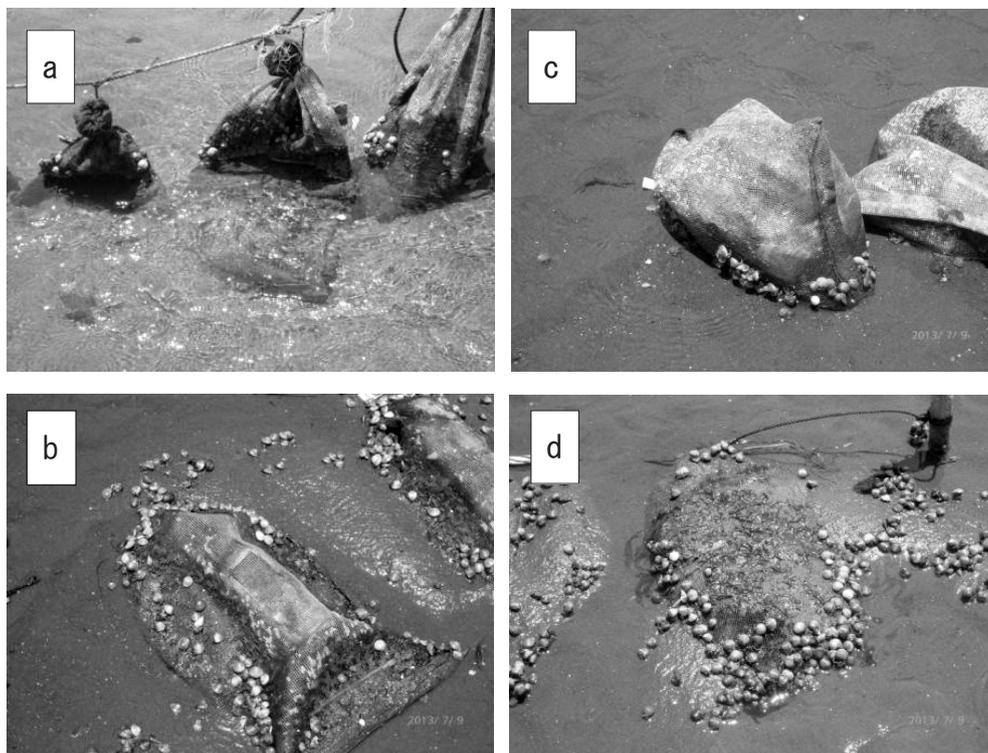


写真2. 設置方法を変えた網袋。a, 方法1(接地吊り)；b, 方法2(浮子1個)；c, 方法3(浮子2個)；d, 方法4(従来法) 設置後約1カ月の状態

網袋と人工芝のアサリ稚貝捕集効果

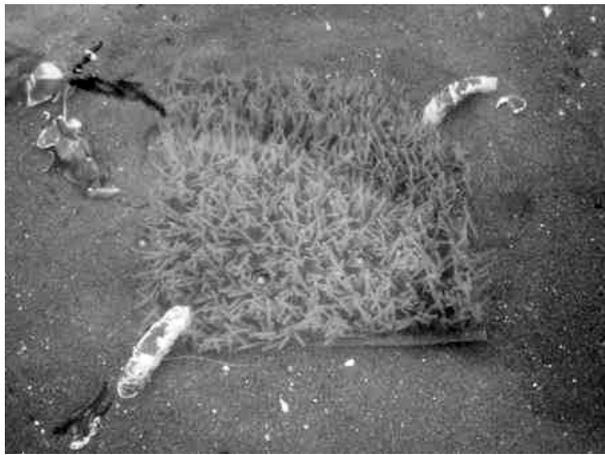


写真3. 遊動式 (a) と固定式 (b) で設置した人工芝

結果

実験1

**捕集したアサリの密度と捕集効率** 周辺域のアサリ密度 (平均±標準誤差) は実験開始時の2012年10月15日には  $13.0 \pm 1.6$  個体/100cm<sup>2</sup> であったが、その後秋冬季にはほぼ一貫して減少し、翌2013年4月9日には  $1.1 \pm 0.1$  個体/100cm<sup>2</sup> となった (図2)。4月以降は前年の秋産卵群の加入によって密度はやや増加し、実験終了時の7月9日には  $5.5 \pm 0.7$  個体/100cm<sup>2</sup> となった。

網袋のアサリ密度は、実験開始1カ月後の11月12日までは  $3.5 \pm 1.1 \sim 4.1 \pm 0.8$  個体/100cm<sup>2</sup> で周辺域より低かった。その後網袋の密度はやや増加したが、2013年2月28日までは周辺域の密度とほぼ同様に、 $2.0 \pm 0.9 \sim 17.6 \pm 5.0$  個体/100cm<sup>2</sup> であった。3月26日以降、網袋の密度は増加して周辺域の密度を大きく上回り、5月9日には  $50.5 \pm 14.5$  個体/100cm<sup>2</sup> となって、その後は実験終了時の7月9日まで約30個体以上/100cm<sup>2</sup> を維持した。

人工芝のアサリ密度は、実験開始後に増加して11月

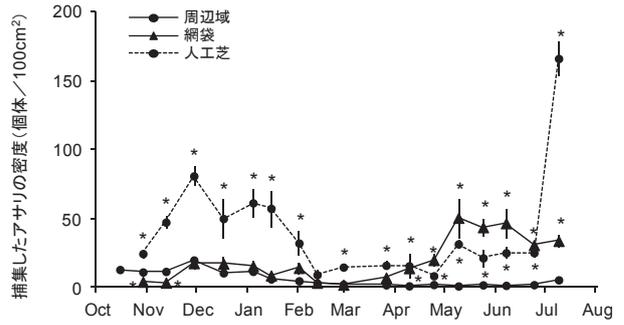


図2. 実験1において網袋と人工芝で捕集したアサリ密度と周辺域のアサリ密度の変化  
縦棒は標準誤差。  
\*は網袋あるいは人工芝の密度が周辺域の密度と有意差 ( $p < 0.05$ ) があることを示す

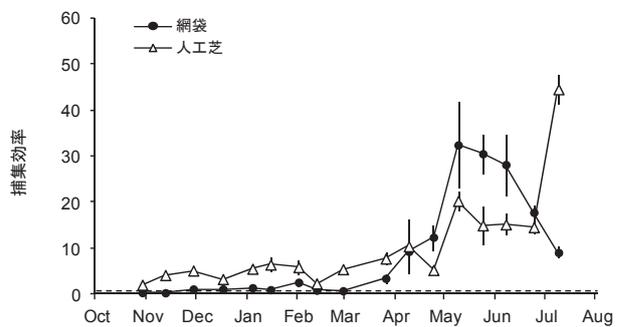


図3. 実験1における網袋と人工芝のアサリ稚貝の捕集効率の変化  
横点線は捕集効率=1の位置を示す

29日には  $80.9 \pm 7.5$  個体/100cm<sup>2</sup> で周辺域を大きく上り、2月1日までは周辺域より高かった。その後は網袋と同様に密度は低下したが、周辺域より高い密度をほぼ維持し、3月以降は増加して実験終了時の7月9日には  $166.2 \pm 12.3$  個体/100cm<sup>2</sup> で最高密度となった。

網袋と人工芝のアサリ密度は類似した季節変化を示し、10月の設置以降約1.5カ月間は増加して、1~2月の冬季には減少した。2月1日と2月15日の現場観察では網袋と人工芝はともに砂に埋没しており、それぞれ回収したアサリ稚貝の一部に死貝が認められた。その後3月以降網袋と人工芝はともに捕集アサリ密度が増加し、5~7月に最も高い密度となった。

捕集効率 (捕集したアサリ密度と周辺域のアサリ密度との比) を見ると、網袋の捕集効率は2月1日に一時的に  $2.6 \pm 0.8$  になったことを除くと、2月29日までは  $0.3 \pm 0.1 \sim 1.4 \pm 0.4$  で周辺域との密度差は少なく、明確なアサリの捕集効果は認められなかった (図3)。しかし、網袋の捕集効率は3月以降急増して5月9日には  $32.5 \pm 9.3$  となり、春夏季には高い捕集効果を示した。

これに対し、人工芝の捕集効率は常に1以上を示し、実験期間中は季節に関わりなく高い捕集効果を示した。

また、捕集効率は実験期間中ほぼ一貫して増加して7月9日には $44.6 \pm 3.3$ となり、網袋と同様に春夏季に高い捕集効果を示した。

**捕集したアサリの大きさ** 第1回目の回収時の2012年10月29日に周辺域に分布していたアサリの殻長組成は、12~14mmにモードを持つ単峰形であった(図4)。周辺域のアサリは2013年2月まではほとんど成長せず、4月以降成長を始めたが、冬季中に密度が大幅に低下したため5月以降はモードが不明瞭となった。また、5月以降には前年の秋産卵群と思われる殻長2~6mmの小型個体が現れた。

2012年10月29日までに網袋で捕集したアサリの殻長範囲はほぼ2~18mmであり、このうち2~4mmのアサリが最も多かった。網袋で捕集したアサリの殻長範囲と最大モードの殻長は実験終了時の2013年7月9日までほぼ同じであり、それぞれ0~18mmおよび2~6mmだった。2012年11月29日~2013年2月1日には、2~4mmの大きなモードに加えて10~14mmに小さなモードが認められ、捕集したアサリが成長していることがうかがわれた。2013年5月以降は前年の秋産卵群と思われる殻長6mm以下の小型アサリが大量に捕集されるとともに、殻長8~12mmに小さなモードが現れてやはり捕集したアサリの成長がうかがわれた。

人工芝で2013年2月1日までに捕集したアサリの殻長範囲はほぼ2~18mmであり、網袋で捕集したアサリと同じだった。この期間に最も多く捕集したアサリの殻長は4~8mmであったが、同時に殻長8mm以上のアサリも捕集されて、殻長組成は網袋で捕集したアサリに比べてなだらかだった。2013年4月以降は殻長6mm以上のモードが大型化するとともに、殻長6mm以下の小型アサリの捕集が認められ、特に7月9日には当年春産卵群と思われる殻長4mm以下の小型貝を大量に捕集した。人工芝で捕集されたアサリは足糸で芝に付着していることが多かった。

**底面せん断応力の季節変化** 採苗器の回収から次の回収までの期間の底面せん断応力の大きさごとの出現回数(1バーストを1回と計数)を見ると、2012年11月12日~2013年4月24日までは $0.81\text{N/m}^2$ 以上の強いせん断応力が多く現れていた(図5)。特に11月12日~3月26日まで期間では、1月4~15日の1期間を除いて、 $0.81\text{N/m}^2$ 以上のせん断応力の出現回数が20~39回に達しており、冬季を中心に強い物理的かく乱が多くあったことを示していた。

また、1~2月は実験場所では最低水温期に当たり、この期間中は $10^\circ\text{C}$ 以下の低水温が続いていた(図6)。

## 実験2

**捕集したアサリの密度と捕集効率** 沖側のA地点の周辺域でのアサリ密度は、実験開始時の2013年7月23日には $68.9 \pm 3.9$ 個体/100 $\text{cm}^2$ であったが、その後上下しながらも減少し、実験終了時の12月18日には $8.3 \pm 1.8$

個体/100 $\text{cm}^2$ となった(図7)。岸側のC地点の周辺域でのアサリ密度は7月23日には $11.5 \pm 0.9$ 個体/100 $\text{cm}^2$ であったが、明確な増減傾向はなく、実験終了時まで $4.2 \pm 0.7$ ~ $29.5 \pm 2.1$ 個体/100 $\text{cm}^2$ の範囲にあった。

網袋での捕集アサリの密度は、A地点では8月8日には $8.8 \pm 1.3$ 個体/100 $\text{cm}^2$ であった。A地点での網袋のアサリ密度は一時的に増加して9月18日には $24.0 \pm 12.0$ 個体/100 $\text{cm}^2$ になったが、それ以降は減少し、11月13日の密度は $1.5 \pm 0.7$ 個体/100 $\text{cm}^2$ であった。A地点に設置した網袋は10月4日以降継続的に砂に埋没した状態にあり、その時回収した網袋にはアサリの死貝が認められた。一方、C地点での網袋の密度は8月8日には $3.0 \pm 1.6$ 個体/100 $\text{cm}^2$ であったが、実験期間中はほぼ継続的に増加を続け、12月18日には $31.2 \pm 2.7$ 個体/100 $\text{cm}^2$ となった。

人工芝の捕集アサリの密度は、A地点では8月8日には $69.2 \pm 27.8$ 個体/100 $\text{cm}^2$ であり、その後増加して9月4日~10月4日には $145.3 \pm 8.4$ ~ $193.3 \pm 15.8$ 個体/100 $\text{cm}^2$ になった。しかし、その後アサリ密度は大きく減少し、11月1日以降は約5個体以下/100 $\text{cm}^2$ となった。A地点では設置した人工芝は、網袋と同様に10月4日以降砂に埋没しており、回収した人工芝にはアサリの死貝が認められた。C地点での人工芝のアサリ密度は8月8日には $25.8 \pm 8.3$ 個体/100 $\text{cm}^2$ であり、実験期間中は網袋と同様に増加して、12月18日には $192.8 \pm 9.9$ 個体/100 $\text{cm}^2$ になった。

捕集したアサリの密度は、網袋と人工芝ともにA地点では大きく上下し、砂に埋没した以降は大幅に低下したのに対し、C地点では網袋と人工芝とともに継続的に増加した。

網袋の捕集効率は、A地点では12月2日の $1.0 \pm 0.4$ が最高であり、それ以外の回収時は0.5以下であった(図8)。これに対しC地点では、捕集効率は上下したものの、10月18日以降増加して $1.5 \pm 0.2$ ~ $4.2 \pm 1.3$ となった。

人工芝の捕集効率は、A地点では10月18日まで $1.2 \pm 0.5$ ~ $4.2 \pm 1.3$ であったが、砂への埋没が続いた11月1日以降は0.3以下になった。C地点での人工芝の捕集効率は、10月4日まではA地点での人工芝に近いことが多かったが、10月18日以降は大幅に増加して $10.5 \pm 0.5$ ~ $19.0 \pm 1.7$ となった。

**底面せん断応力** 底面せん断応力の大きさごとの出現回数を見ると、A地点とC地点で10月4日~10月8日以降を中心に $0.81\text{N/m}^2$ 以上の強いせん断応力が現れおり、この時期に両地点でともに物理的かく乱が強くなっていくことを示していた(図9)。A地点とC地点の比較では、10月4日以降の $0.81\text{N/m}^2$ 以上のせん断応力の出現回数には差はなかった( $p>0.05$ )。

## 実験3

**網袋の埋没対策** 網袋で捕集したアサリの密度は設置方法によって大きく異なった。捕集した密度が最も高かつ

網袋と人工芝のアサリ稚貝捕集効果

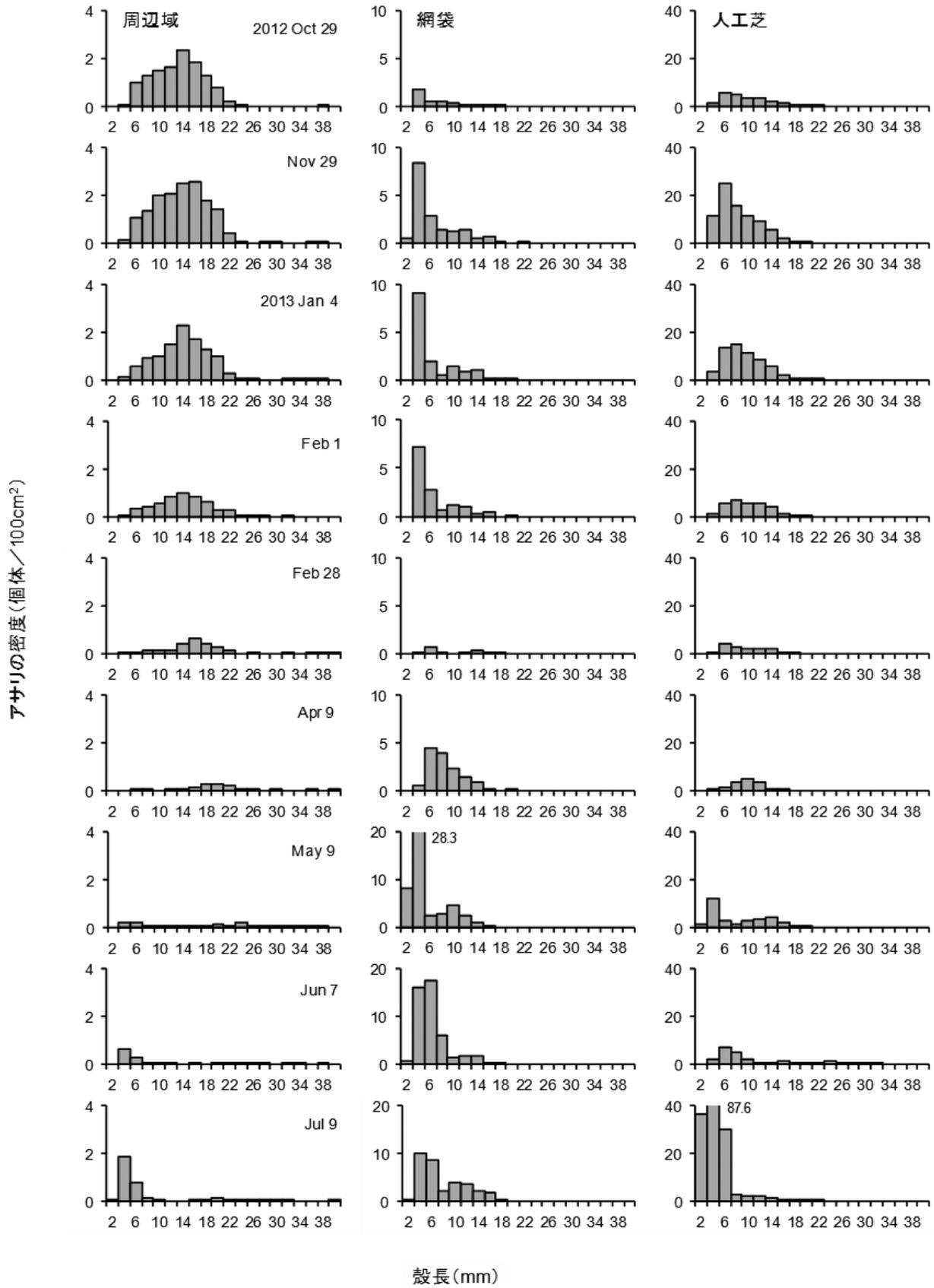


図4. 実験1における周辺域のアサリ, および網袋と人工芝で捕集したアサリの殻長組成の変化

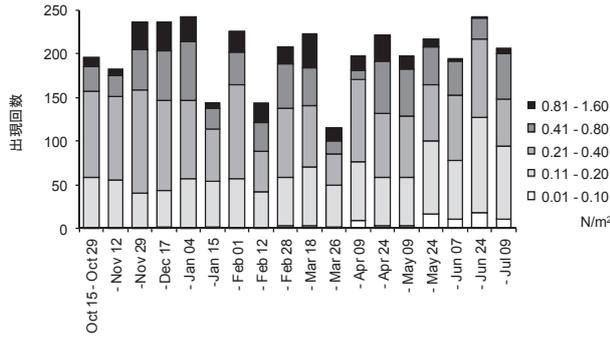


図 5. 実験 1 における底面せん断応力の出現回数 (1 パースト = 1 回) の変化

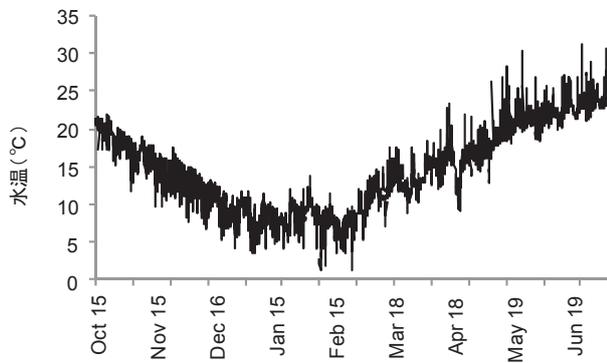


図 6. 実験 1 における水温の変化

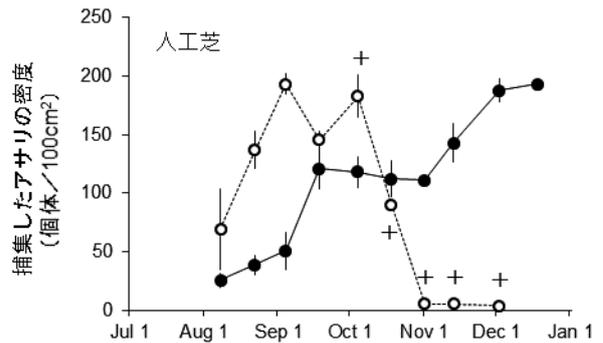
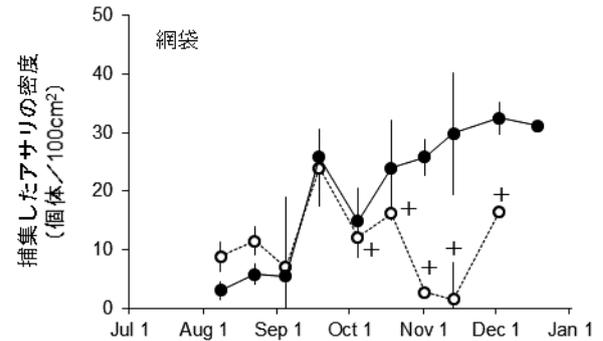
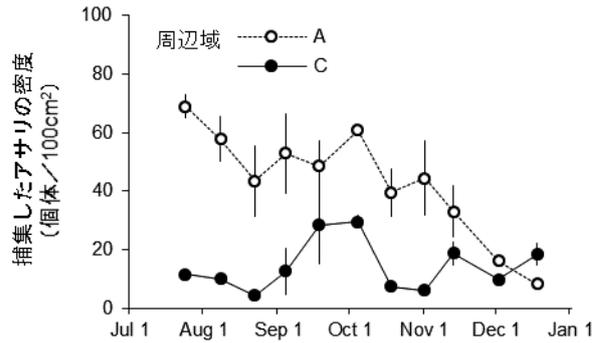


図 7. 実験 2 における周辺域のアサリ密度と網袋と人工芝で捕集したアサリ密度の変化. + は網袋あるいは人工芝の埋没を示す

たのは従来方法 4 での  $37.2 \pm 17.0$  個体/網袋であり、次に密度が高かったのは方法 2 での  $10.4 \pm 2.5$  個体/網袋であった (図 10)。方法 1 での捕集密度は  $1.0 \pm 0.5$  個体/網袋とわずかであり、方法 3 では網袋が破れて回収できなかった。

**人工芝の埋没対策** 設置方法を変えた人工芝で捕集したアサリの密度は、6月23日～7月29日、および7月29日～8月26日の2回の設置では遊動式と固定式で差は認められなかった ( $p < 0.05$ ) (図 11)。しかし、8月26日以降に実施した4回の設置ではいずれも遊動式での捕

集密度が高くなった。

底面せん断応力の大きさごとの出現回数を見ると、3回目の設置 (8月26日～9月24日) まではほとんど観測されなかった  $0.81 \text{ N/m}^2$  以上の強いせん断応力が4回目の設置以降で観測されており (図 12)、実験場所では秋から冬にかけて物理的なく乱が強まっていたことを示していた。

網袋と人工芝のアサリ稚貝捕集効果

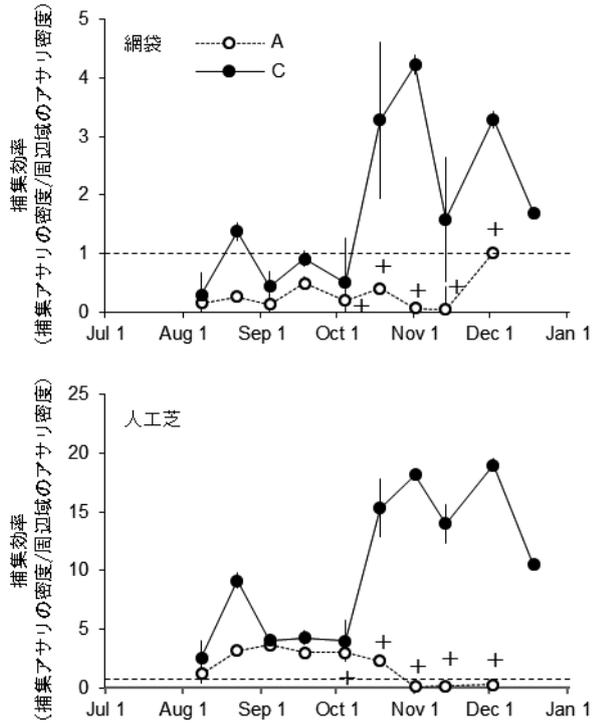


図 8. 実験 2 における網袋と人工芝のアサリ稚貝の捕集効率の変化。横点線は捕集効率=1 の位置を示す

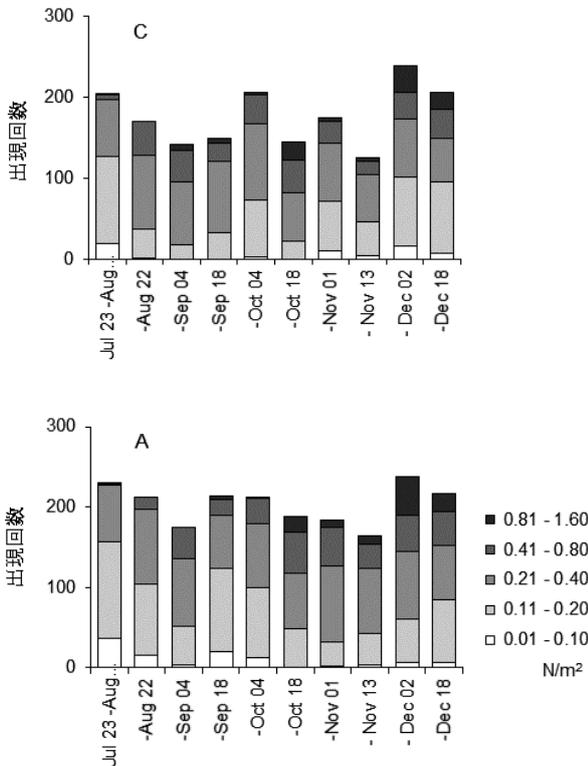


図 9. 実験 2 における底面せん断応力の出現回数の変化上, A 地点 (沖側); 下, C 地点 (岸側)

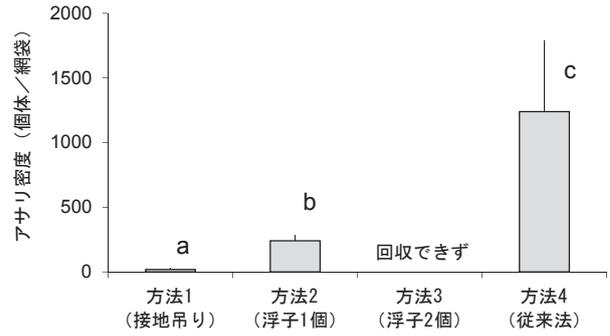


図 10. 実験 3 において設置方法を変えた網袋でのアサリ捕集密度。異なるアルファベットは有意差があることを示す ( $p < 0.05$ , Tukey の方法による多重比較) 方法の詳細は本文参照

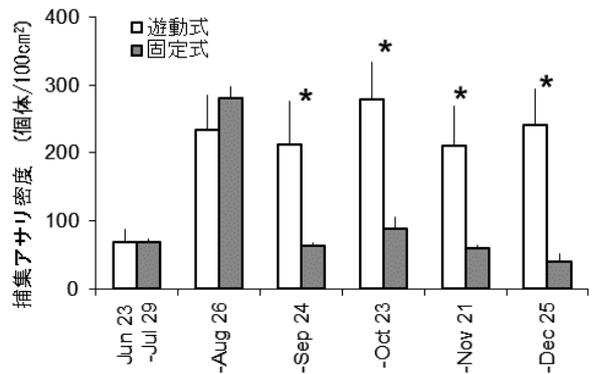


図 11. 実験 3 において設置方法を変えた人工芝でのアサリ捕集密度。\*,  $p < 0.05$  ( $t$  検定)。

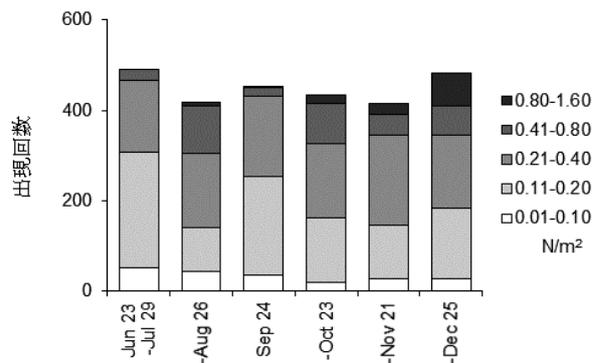


図 12. 実験 3 における底面せん断応力の出現回数の変化

## 考察

**網袋と人工芝の有用性と捕集の特徴** 実験1の結果、網袋あるいは人工芝を設置することによって、高波浪域の干潟で天然のアサリ稚貝を高密度で捕集（天然採苗）できることが明らかとなった。網袋あるいは人工芝で捕集できたアサリ密度は、多い場合には周辺に分布する天然アサリのそれぞれ30倍以上、40倍以上に達することがあり、網袋と人工芝は捕集材として内部にアサリ稚貝を多量に集積する機能があることが判明した。また、網袋と人工芝はともに周辺に分布するアサリのうち小型のアサリを選択的に捕集する特性を示した。この特性は養殖用の種苗としてアサリ稚貝を確保する手法としては有用である。

本研究と同様の粒状材を入れた網袋は、すでに静穏域（変動流速の最大値が約13cm/s）の砂浜においてアサリ稚貝を捕集する効果が認められているが（長谷川ら2012）、本実験の実施場所のような高波浪域（実験1での変動流速最大値は125cm/s）でも高い捕集効果が認められたことから、網袋はある程度の広い物理的なかく乱強度の範囲で適用可能な天然採苗手法であると思われる。また、人工芝はセイヨウオオノガイ *Mya arenaria* の天然採苗に有効であることが報告されているが（Myrand et al. 2012）、アサリ稚貝の天然採苗にも応用できることが明らかになった。

網袋の捕集密度は季節によって大きく異なった。実験1では網袋を10月に設置したが、秋から冬には捕集された稚貝は少なく、2月には網袋が砂に埋没して、捕集していた稚貝が死亡する現象が発生した。底面せん断応力の季節変化を見ると、実験場所では同時期に波浪による物理的かく乱が強まっており、このため砂が移動、堆積して網袋が埋没した可能性が高い。また、同時期に周辺域では天然アサリの密度が大幅に減少して、2月後半以降はほとんど見られなくなっていた。1~2月は実験場所では最低水温期に当たり、低水温と強い物理的かく乱のため周辺域のアサリは洗掘、移動して密度が大きく減少したものと考えられた。盤洲干潟では冬季の低水温と強波浪による物理的かく乱のためにアサリ天然個体が死亡する可能性があることが報告されており（柿野ら1991、柴田ら1997）、実験1で観察された網袋の埋没と周辺域での密度低下はこれら過去の報告と同様の海底面の物理的かく乱に起因する現象であると考えられる。冬季に網袋を用いてアサリの天然採苗を行う場合には、強い波浪による網袋周囲の底質の不安定化が問題となる可能性がある。

網袋によるアサリ稚貝の捕集密度は春以降に急速に高まった。捕集したアサリ稚貝の殻長組成を見ると、4月以降には殻長8mm以上の大型群と前年の秋生まれと思われる殻長6mm以下の小型群の双方の密度がともに増加しており、この時期には大型群と小型群の捕集が並

行して進行していた（殻長8mmの稚貝の殻高は約6mmであり、4mm角目の網袋の網地を通過することは可能）。このとき、5~6月には前年の秋産卵群は周辺域ではまだほとんど認められていない（図4）にもかかわらず、網袋では6mm以下の稚貝が多く捕集されていた。実験場所周辺では殻長1mm前後のアサリ稚貝は、波や流れによって日常的に移動を繰り返しており（Toba et al. 2011）、網袋はこれらの移動している稚貝を効率良く捕集していたことが考えられる。

人工芝によって捕集されたアサリ稚貝の密度は、網袋による捕集密度と同様の季節変化を示し、秋冬は少なく、春以降に増加した。2月には人工芝が砂に埋没して捕集していたアサリ稚貝が死亡したこと、春以降に前年の秋産卵群が捕集されて密度が増加したことなど、人工芝の捕集密度の変化に影響を与えた要因は網袋と共通することが多かった。人工芝によるアサリ稚貝の捕集効果が網袋と異なる点は、人工芝は秋冬を含めて常に捕集効率が1以上で周辺域より高い密度を示したこと、殻長8mm以上のやや大きいアサリ稚貝を多く捕集したこと、7月に当年の春産卵群と思われる小型貝を大量に捕集したことであった。

**設置場所による捕集効果の差異** 網袋と人工芝のアサリ稚貝の捕集効果は、それぞれ設置場所によって大きな差を生じた。差が生じた最も大きな要因は、網袋と人工芝ともにそれぞれの砂への埋没の有無と思われる。実験2では沖側地点と岸側地点を比較したが、沖側地点では網袋と人工芝はともに7月の実験開始時から10月までは比較的高い捕集密度を示した。しかし、10月以降に波による強い物理的かく乱が発生する頻度が高まると、沖側地点では網袋と人工芝の砂への埋没が頻発し、双方とも捕集密度は急激に低下した。一方、砂への埋没が発生しなかった岸側地点では安定して捕集密度が増加し、沖側地点より周辺のアサリ密度が低いにもかかわらず多くの稚貝を捕集した。網袋と人工芝の設置に当たっては、特に本研究の実施場所のような高波浪域では、設置場所の波浪環境に配慮する必要がある。波浪条件は定点であっても季節によって変化することが多いと思われることから、設置期間を通じて埋没の起きないような安定した波浪環境が維持される場所を選定することが望ましい。一方、物理環境の比較のために適用した底面せん断応力の比較では、実験2では沖側地点と岸側地点に明確な差は認められなかった。埋没の可能性を評価するためには、別の尺度を用いることが必要かもしれない。

**埋没抑制の対策** 実験2で悪影響を与えることが明らかになった埋没へ対策としては、適地選定のほかに埋没を抑制する設置方法を講ずることが考えられる。

実験3では、網袋の埋没を抑制するために3種の設置方法を試みたが、いずれも従来の設置方法に比べて捕集効果が低かった。網袋をロープに吊り下げた方法1では、最終的には支柱が倒れて施設が維持できなかったが、施

設が維持できていた第1回目の回収においてもほとんどアサリを捕集できなかった。浮子を1個入れた方法2は試みた3種の方法の中で最も多い稚貝を捕集したが、従来の方法4に比べると捕集密度は大幅に低かった。方法1と方法2は埋没を避けるためにロープ吊下や浮子で網袋に上方への力を与える方法であり、両方法とも第1回目の回収まで網袋の埋没は防止できたが、稚貝の捕集効果は低かったことになる。この理由は不明であるが、網袋に上方への力を与えることがかえって捕集効果を低下させることにつながった可能性がある。現場観察では、従来の方法4では網袋内に入れてある小砂利等とその後網袋に入った砂が混合して網袋内に充満している状態だったのに対し、方法1と方法2では網袋内に入っている砂が少なく、また中に入った砂は小砂利等と分離した状態だった。従来法を含めて、設置方法による網袋のアサリ稚貝の捕集効果の差異は、後述するように網袋のアサリ稚貝の捕集機構と関係するものと想像される。

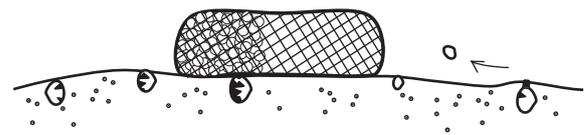
一方、人工芝の埋没抑制対策として実施した遊動式の設置方法は良好な効果を示した。物理的なく乱が激しくなった秋以降の設置ではいずれも従来法を大きく上回るアサリ稚貝を捕集して、遊動式の効果が安定していることを確認した。人工芝は浮力があるため、そのままでは海水に浮く。そのため従来の固定法では鉄杭で干潟面に固定するように設置していた。遊動式では、設置直後の冠水時には人工芝は海底面から浮き上がっていたが、翌日の観察ではすでに人工芝の上面に砂が堆積してその重量で人工芝は干潟面に接地していた。その後の観察では、従来の固定法では人工芝は一時的であれ埋没することがあったが、遊動式では上面に砂が堆積しながらも埋没することはなかった。遊動式では設置するための孔を鉄杭より大きくしたことで、人工芝が波や流れによって動き、海底面に追従するような上下方向の動きをしたことが想像される。

**網袋と人工芝の稚貝捕集特性** 網袋と人工芝のアサリ稚貝捕集特性を仮説として考えてみる。

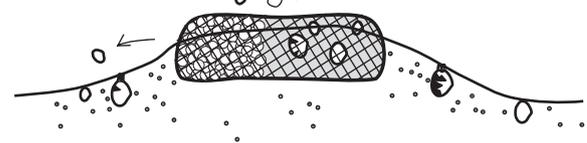
**1. 網袋 (図 13a)** 網袋は網地の目合を通り抜けたアサリを内部に捕集すると考えられる。捕集される稚貝は周辺域から移動して来た天然稚貝であり、多くは波や流れによる他動的な移動による網袋内への侵入と思われる。捕集される可能性のあるサイズは目合を通り抜けることができる大きさの稚貝サイズ (幼生サイズから目合4mmの場合は殻長8mm程度まで) である。さらに、捕集された稚貝は内部で成長するため、大きくなったアサリは網袋から出られなくなる。網袋内の水質あるいは餌料などの環境などが良好であれば、累積的に捕集された稚貝と成長した稚貝によって袋内には様々なサイズのアサリが含まれることになる。

網袋内に砂がたまり、中に入れておいた小砂利などと混合してそれらの内容物が安定することは重要である。それによって捕集された稚貝は安定して定位することが

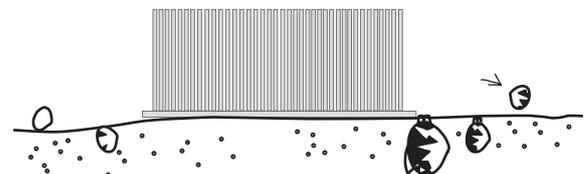
a 網袋 設置時



設置後



b 人工芝 設置時



設置後

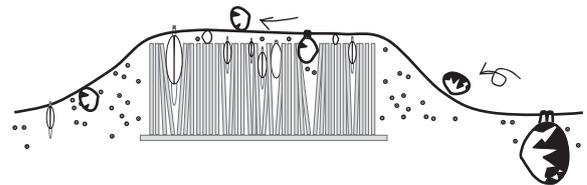


図 13. 網袋と人工芝のアサリ稚貝捕集概念図

できる。干潟域に生息するアサリの天然稚貝は波や流れによる底質の動きによって、定位するために日常的に潜砂運動を繰り返す (Toba et al. 2011)、そのために運動エネルギーを消費している (柴田ら 1997)。網袋内で安定して定位している稚貝はエネルギー消費が少なく、餌料栄養の多くを成長に振り向けることができる。また、網袋の網地が周囲の懸濁物をトラップする機能があると思われる。網袋内には細粒分が堆積することが多く、それによって網袋内に餌料が増えることも考えられる。これらのため網袋内では一般的にアサリの成長は良くなる (長谷川ら 2012)。

網袋の捕集効果が低い例としては、埋没の他に実験3で見られたような網袋の非安定化がある。網袋内に砂が少なく、入れておいた小砂利等と混合していないのは、波などの影響が強いため内容物が動揺して分離してしまった結果と思われる。網袋内ではアサリが安定して定位し、摂餌できるような条件が必要である。

**2. 人工芝 (図 13 b)** 人工芝は移動して来た貝が芝目の間に入り込んだり、足糸を出して芝毛に付着したり

することによって稚貝を捕集する。芝目は移動して来た砂で充満しており、稚貝はその砂に潜砂し、足糸を形成する。人工芝には貝の移入に際して網袋の目合ほど固定的なサイズ選択性はなく、また捕集した貝の移出を妨げる強い機能もない。サイズ選択性としてあるのは芝目の間に潜砂できない大型の貝は捕集されないことである。これらのため、人工芝は網袋より捕集する貝のサイズ幅が広く、また貝の移出入が大きいと考えられる。このため人工芝は、周辺に捕集可能なサイズ範囲のアサリが多い場合には、短期間で効率の良い捕集を行うことができる。実験1で秋冬期に網袋より高い捕集効率を示したのはこの特性のよる可能性がある。一方、人工芝では捕集した貝が網袋ほど内部に長期間滞留して成長することは期待しにくい。網袋では、大型のアサリを得たい場合には、目合を通して捕集された小型貝が成長するのを待つことになるが、人工芝ではそのような方法は考えにくい。

## 文 献

(独) 水産総合研究センター水産工学研究所 (2009) 敷設材によるアサリ稚貝の定着促進に関する評価方法について. 98p.  
長谷川夏樹・日向野純也・井上誠章・藤岡義三・小林節夫・

今井芳多賀・山口 恵 (2012) アサリ増殖基質としてのカキ殻加工固形物「ケアシエル」の利用. 水産技術, **5**, 97-105.

日向野純也 (2014) アサリの天然採苗と垂下養殖. 豊かな海, **33**, 56-58.

柿野 純・中田喜三郎・西沢 正・田口浩一 (1991) 東京湾盤洲干潟におけるアサリの生息と波浪との関係. 水産工学, **28**, 51-55.

岸岡正伸 (2014) エビ池を利用した粗放的なアサリ種苗生産技術の開発. 豊かな海, **33**, 33-38.

Kleinhans M G (2005) Phase diagrams of bed states in steady, unsteady, oscillatory and mixed flows. in "EU-Sandpit end-book paper Q" (ed. by L. van Rijn), Aqua Publications, Netherlands, 16p.

Myrand B, Chevarie L, Tremblay R (2012) Benthic spat collection of softshell clams (*Mya arenaria* Linnaeus, 1758) using mats. *J. Shellfish Res.*, **31**, 39-48.

柴田輝和・柿野 純・村上亜希子 (1997) 冬季の漁場における砂の流動に対するアサリの定位性ならびに餌料量・運動量とアサリの活力との関係. 水産工学, **33**, 231-235.

Toba M, Ito M, Kobayashi Y (2011) Bedload transport of newly-settled juveniles of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* observed in situ at Banzu tidal flat, Tokyo Bay. *J. Shellfish Res.*, **30**, 777-789.

安信秀樹 (2014) 播磨灘におけるアサリ垂下養殖の取組み. 豊かな海, **33**, 29-32.