

## アゲマキ種苗生産における穿孔基質の検討

－ベントナイトの有効性－

佃 政則・伊藤史郎

### A Study on the Importance of the Burrowing Material during Seedling Production of Juveniles of the Jackknife Clam, *Sinonovacula constricta*

Masanori TSUKUDA and Shiro ITO

#### はじめに

アゲマキ *Sinonovacula constricta* は佐賀県有明海の漁業資源として重要な二枚貝で、漁獲量が年間800tを超える年もあったが<sup>1)</sup>、1988年頃から急激に資源が減少し、1994年以降ほとんど漁獲がない。佐賀県では、佐賀県有明水産振興センター（以下、センターという）を中心に、アゲマキ資源の回復をめざし、種苗生産・放流技術の開発に取り組んできた。

佐賀県におけるアゲマキ人工種苗の生産に関する研究は、1977年に異儀田ら<sup>2)</sup>が着底稚貝の飼育に成功した後、大量生産技術の開発は行われていなかった。その後、1996年からセンターで餌料環境、着底基質、飼育密度などに関する検討が重ねられた<sup>3-9)</sup>。これらの技術開発の中で、アゲマキの生態的特性に応じ、浮遊幼生を着底直前に有明海の干潟の泥（以下「泥」とする）を底面に敷いた水槽に移すこと、殻長2mmの時に密度を調節し、稚貝を大型水槽に移すことで、種苗生産全体における生残率を飛躍的に向上させた<sup>6)</sup>。

また、アゲマキは本来泥干潟に生息する生物であるが、砂粒子であるマイクロセラミック（株式会社ノーラ、以下「砂」とする）を用いて殻長8～10mm程度までなら飼育・生産することが可能となり、この技術によりどこでも一定の水槽施設があれば、種苗生産が可能となった<sup>6)</sup>。

これらの生産技術は2000年台初期に技術確立し、その後、生産過程での取り扱いやすさから、砂粒子を用いた種苗生産が通常化するとともに、当初、数万個規模であった放流サイズである殻長8mmの生産が、2009年までの10年の間に100万個規模となった。これまでの大量生産技術については、津城ら<sup>10)</sup>によって種苗生産マニュアルとして取りまとめられた。

種苗生産で砂を用いることは、泥に比べて入手しやすく扱いやすいことはもとより、泥に含まれる生物や有機物などの影響がなくなり、種苗生産時の不確定要素を排除することが可能である。しかしながら、砂を用いる方法は、種苗の取り上げ等が簡便になる一方で、殻長2mmから8mmまでの飼育の際に大量へい死が起きる場合もみられた。この大量へい死は、殻長3～6mmで発生し、泥を基質に用いた時にはほとんど発生せず、砂を基質にした時に多く発生している現象であり、その原因については明確に解っていない。

この原因の一つに、泥分が基質に含まれていれば、アゲマキは生息孔を十分に形成することができるが、砂のみを基質に用いた場合、生息孔を形成できないため、ストレスがかかり、大量へい死が起きている可能性が考えられた。そこで、生産の改善のため、泥よりも扱いやすい砂に代わる物質の究明が必要となった。

そもそも、有明海の泥は、モンモリロナイトやカオリナイトなどの微細な粗粘土鉱物から構成されていると考えられている<sup>11)</sup>。そこで、本報告では、泥の代替物としてベントナイトに着目した。ベントナイトは、モンモリロナイトを主成分とし、石英、クリストバライトなどの鉱物を含む粘土状物質で<sup>12)</sup>、有機物を含まず、高い粘性や粘着性、吸水性、吸着性から多くの産業に利用され<sup>13)</sup>、一般的に市販されている。

ベントナイトが泥の代替物として使用可能であれば、砂を用いた種苗生産の際に発生するへい死を低減させることができると同時に、入手に労力を要する泥に依存することなく、種苗生産をより安定させることができる。

本報告では、種苗生産の基質としてベントナイトが使用可能か明確にするため、着底以降の生残率、成長について、基質別に泥、砂、ベントナイトを比較したので、これらの結果を報告する。これらの結果をもとにベント

ナイトの有効性について検討し、種苗生産技術の改善をめざす。

## 材料および方法

基質の違いによる生残・成長の違いを比較するため、実験1においては浮遊幼生から着底後2週間までの生残、成長の比較を行った。また、実験2においては、殻長2mm~4mmの稚貝を用いて、4週間基質別の生残及び成長を比較した。さらに、実験2で得られた飼育条件を検証するため、大型水槽での実験を実施した(実験3)。

### 実験1(浮遊幼生の着底から殻長1mmまで)

基質が浮遊幼生から2mm以下の稚貝の生残及び成長に及ぼす影響を明確にするため、泥、砂、ベントナイトの3つの区を設定した。泥は六角川河口域で採取した中央粒径8~11 $\mu\text{m}$ 、含水率68.5%のものを使用した。砂は、粒径0.3~0.6mmを使用した。ベントナイトについては、品川窯材株式会社の筑前8号(中央粒径約3.4 $\mu\text{m}$ )を含水率58.1%に練ったものを使用した。

いずれの実験区も直径8cm、高さ10cmのプラスチック容器に、基質を2cmの厚さに敷き、その上に1.5 $\ell$ の海水(塩分26)を張り、水温が20 $^{\circ}\text{C}$ となるように調節した。さらに、その中に受精後4日経過し、殻長180 $\mu\text{m}$ に成長した浮遊幼生約1,000個をそれぞれ投入し、2週間飼育したのち生残及び成長について比較した。飼育にあたって *Chaetoceros neogracile* を餌として使用し、毎日残餌を計数し、飼育水中の濃度が5~16万細胞/mlとなるように投餌した。また、飼育の際には通気を行い、浮遊幼生の着底後に水質が著しく悪化した場合は、換水を行った。なお、各実験区で5例を実施した。

実験終了後、実体顕微鏡下で容器ごとに生残個体を探し出し、その数を計数した。1容器あたりランダムに40個を選び出し、殻長を測定した。

### 実験2(殻長2mm以降の飼育)

実験2は、殻長2mmから8mmまで飼育する過程での基質の違いの影響を検証するため、泥、砂、ベントナイト、砂+ベントナイトの4つの区を設定した。泥は六角川河口域で採取した中央粒径8~11 $\mu\text{m}$ 、含水率71%のものを使用した。砂、ベントナイトについては上述の市販品を使用した。

いずれの実験区も直径13cm、高さ18cmのプラスチック容器に、基質を5cmの厚さに敷き、その上に1.5 $\ell$ の海水(塩分26)を張り、水温が20~22 $^{\circ}\text{C}$ となるように調節した。砂+ベントナイト区については、上述のプラステ

ック容器に砂を4cmの厚さに敷き、その上に含水率79%に溶かしたベントナイトを1cm厚で敷入れた。

これらの設定区に殻長2~4mmの稚貝140個をそれぞれ投入し、1週間ごとに斃死個体及び這い出し個体を計測した。4週間飼育したのち生残及び成長について比較した。飼育密度は大隈ら<sup>6)</sup>をもとに、泥の基質で殻長10mmサイズの稚貝が最大限飼育できる密度として、10,000個/ $\text{m}^2$ となるように設定した。

飼育にあたって、*Chaetoceros neogracile*を餌として使用し、飼育水中の濃度が毎日4~16万細胞/mlとなるように投餌した。他の飼育管理は実験1に準じて行い、各実験区とも5例を実施した。

実験終了後、容器ごとに生残個体を計数した。1容器あたりランダムに40個を選び出し、殻長を測定した。

### 実験3(大型水槽を用いた飼育)

実験2で得られた飼育条件を検証するため、実験3では大型水槽を用いて、砂+ベントナイト区について長期間の中間育成実験を行った。

実験は、底面積1.8 $\text{m}^2$ の角形水槽(容水量1,000 $\ell$ )に、砂を4cmの厚さに敷き、その上に含水率79%に溶かしたベントナイトを厚さ1cm敷入れた。その上に700 $\ell$ の海水(塩分26)を張り、水温が20~22 $^{\circ}\text{C}$ となるように調節した。

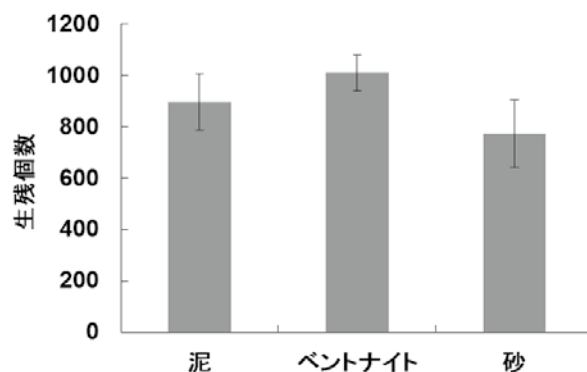


図1 実験1終了時の各実験区別の生残個数

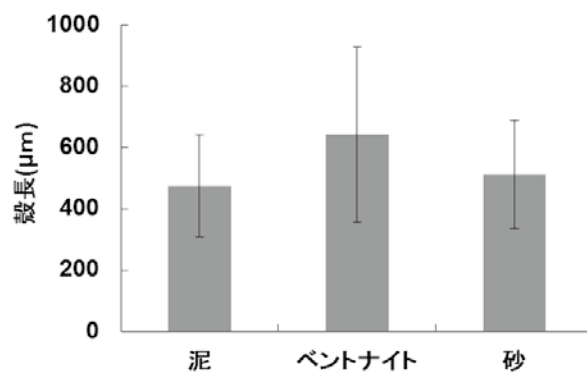


図2 実験1終了時の各実験区別の平均殻長

この水槽に殻長約2mmの稚貝2.2万個を投入し、2ヶ月間飼育した。飼育にあたって*Chaetoceros neogracile*を餌として使用し、毎日飼育水中の濃度が4~16万細胞/mlとなるように投餌した。2ヶ月後に生残個数と成長を確認した。

## 結 果

### 実験1(浮遊幼生の着底から殻長1mmまで)

2週間後の基質別の平均生残個数を図1に示す。5回の平均生残個数は、ベントナイト区で $1,010 \pm 71$ 個と最も多く、次いで泥区の $896 \pm 110$ 個、砂区の $772 \pm 132$ 個であった。この生残個数について、一元配置分散分析(Turkey's test)の結果、各試験区間に生残個数の差はみられなかったが、砂区で分散が大きくなる傾向があった。

実験1の生残個体について、平均殻長を図2に示す。殻長は、ベントナイト区で $642 \pm 287 \mu\text{m}$ と最も大きく、次いで砂区の $512 \pm 177 \mu\text{m}$ 、泥区の $475 \pm 167 \mu\text{m}$ であった。一元配置分散分析の結果、ベントナイト区のほうが泥区及び

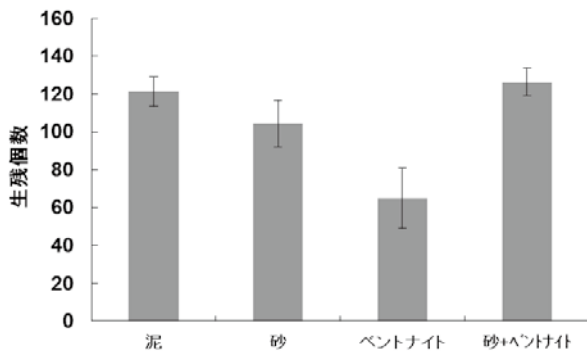


図3 実験2終了時の各実験区別の生残個数

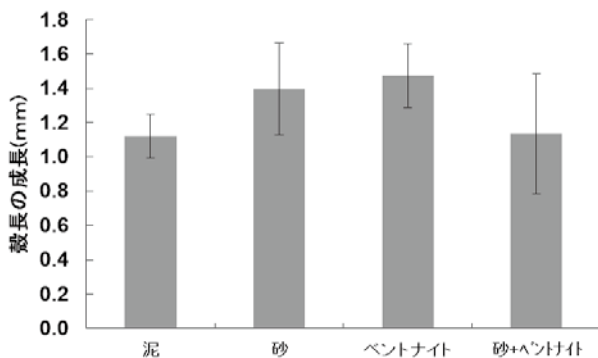


図4 実験2における各実験区別の開始と終了時の殻長の差

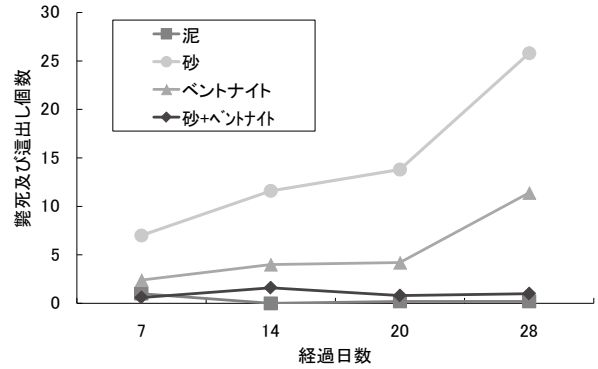


図5 実験2における各実験区の斃死及び洗い出し個体の推移

砂区よりも有意に殻長が大きかったことから ( $P < 0.01$ )、ベントナイト区では成長がよかったと推定される。泥区と砂区との間には有意な差はみられなかった。

### 実験2(殻長2mm以降の飼育)

実験開始から4週間後の生残個数について図3に示す。5例の平均生残個数は、砂+ベントナイト区で $126 \pm 7$ 個と最も多く、次いで泥区の $121 \pm 8$ 個、砂区の $104 \pm 12$ 個、ベントナイト区の $65 \pm 18$ 個であった。一元配置分散分析(Turkey's test)の結果、各実験区間に生残個数の差がみられ、砂+ベントナイト区では、他の実験区よりも有意に生残個数が多かった ( $P < 0.01$ )。

生残個体の成長について、実験開始時と実験終了時の平均殻長の差を図4に示す。成長は、ベントナイト区で $1.5 \pm 0.2 \text{mm}$ と最も大きく、次いで砂区の $1.4 \pm 0.3 \text{mm}$ であり、泥区と砂+ベントナイト区の $1.1 \pm 0.1 \text{mm}$ と $1.1 \pm 0.4 \text{mm}$ であった。一元配置分散分析(Turkey's test)の結果、ベントナイト区のほうが泥区よりも有意に殻長が大きかったことから ( $P < 0.01$ )、ベントナイト区では成長がよくなる可能性がある。その他の実験区との間には有意な差はみられなかった。

図5に実験開始から終了時まで、斃死及び表面に浮上し這いまわる個体の各区の平均値の推移について示す。斃死及び洗い出し個体は砂区で多く、7日目に7個体であり、その後増加し、28日目に26個体に達した。次いでベントナイト区で多く、28日目に11個体が観察された。泥区及び砂+ベントナイト区では、斃死及び洗い出しはほとんどみられず、実験期間を通じて0~2個体であった。

### 実験3(大型水槽を用いた飼育)

実験2の砂+ベントナイト区の条件で、大型水槽での飼育を行った結果、飼育期間中に大きな斃死はみられず、2ヶ月後の稚貝の生残個数は1.4万個であり、生残率が64%と非常に高く、平均殻長が約6mm成長し、8.2mmと放流サイズに達した。

## 考 察

### 浮遊幼生の着底から殻長1mmまで

各試験区間に生残個数の差はみられなかったが、分散分析の結果、砂区で分散が大きくなる傾向があり、生残が不安定であると推察された。ベントナイト区の生残率については、有意差はないものの、分散が小さく安定した生残結果となった。このことから、着底から殻長2mmまでの飼育では、ベントナイトが泥や砂の代替物質として十分に使用可能であることが示された。

多くの底生生物にとって、浮遊幼生から着底する際には基質が重要であり、定着適地を能動的に選択する<sup>13)</sup>。幼生の定着地選定には、同種先住個体の存在、親と共存確率の高い他種の存在、基質の性状や環境が影響する<sup>14)</sup>。伊藤・江口<sup>15)</sup>は、ウミタケの種苗生産において、幼生の着底に底質の泥及び泥表面の細菌が関係していることを指摘している。これらのことから、二枚貝類の幼生の着底には底質表面の環境が重要と考えられた。

実験1の結果では、幼生の着底について、泥、砂、ベントナイトの3つの基質の間で、有意な差はみられなかった。このことはアゲマキの浮遊幼生が着底の際に、基質の性状や環境については選択性を持たず、着底初期の生残についても、砂よりも粒子の細かい物質であれば問題ないことを示している。したがって、ベントナイトは、泥の代替物として、幼生の着底からその後の生残について問題が無く、十分に実用可能であると考えられた。

### 殻長2mm以降の飼育

実験2においては、砂+ベントナイト区で最も生残個数が多く、次いで泥区、砂区であり、ベントナイト区では著しく生残個数が少なかった。ベントナイト区では、実験開始時に、稚貝が基質に穿孔できず、基質表面を這い回り、数日後に斃死した個体が多かった。穿孔できなかった原因については、ベントナイトの含水率が低かったため、稚貝が穿孔するには固かった可能性が考えられる。今後、含水率と穿孔可能な基質表面の固さとの関係については明確にしていく必要がある。

泥区、砂区、砂+ベントナイト区の3区で這い出し・斃死について着目すると、砂では実験開始から、基質表面への這い出し個体が増加し、実験終了時には25%が這い出しまたは斃死した。このことは、既報でも報告したように<sup>16)</sup>、砂を用いた場合、巣穴が崩れやすいために形成されにくく、また、過密になった際には、

周囲の個体の巣穴と干渉しあうため、さらに巣穴が形成されにくくなる。これにより、砂区ではアゲマキ稚貝がストレスを受け、実験日数が経つにつれて這い出し・斃死が増加した可能性がある。

一方で、砂の上に含水率の高いベントナイトを敷入れた砂+ベントナイト区で、最も生残がよかったことについては、泥を用いて飼育する場合と同じように巣穴が形成され、巣穴が安定していたことが稚貝の生残に良い影響を与えていたと考えられる。近年、砂を基質に用いた飼育において、大量斃死が発生しているが、基質にベントナイトを加えることにより、生残率を劇的に改善することが可能と考えられた。

巣穴形成の追加実験として、薄いアクリル水槽を用いて、アゲマキ稚貝の穿孔を観察した結果、砂+ベントナイトでは、アゲマキが穿孔した巣穴へとベントナイトが入り込み、砂だけの時よりも巣穴が崩れにくくなっていった。この影響により、砂+ベントナイトでは、ベントナイトが持つ粘性により泥に似た性質の巣穴を形成することで、よい生残結果となったと考えられた。

大隈ら<sup>6)</sup>が泥を基質として飼育するとき、8mmサイズで15,000個/m<sup>2</sup>、10mmサイズで10,000個/m<sup>2</sup>の密度で生産が可能であることを報告している。津城ら<sup>9)</sup>は、砂を基質として飼育すると、4,000~5,000個/m<sup>2</sup>の密度で生産が可能であることを報告している。本実験の結果、砂+ベントナイト区では、10,000個/m<sup>2</sup>の密度で飼育可能であったこと、また、実験3で砂+ベントナイトが実用可能であったことから、泥と同等に飼育することが可能であることが明確となった。

今回の実験2では、ベントナイト区で含水率が低かったため、アゲマキが穿孔できずに不適な面はあったものの、ベントナイトが着底から全般で飼育に使用可能であることが確認された。ベントナイトは、前述したとおり、泥の主成分の1つであるモンモリロナイトを主成分とした物質であり<sup>12)</sup>、鋳物、土木、化粧品などの様々な産業で利用されている<sup>12)</sup>。天然の地層から産出され、市販されており、天然の泥と比較すると、その他の生物がいない点で非常に品質が安定している。

ベントナイトを有効に活用することによって、砂を基質にした生産でみられた、這い出し・斃死を防ぐことができるようになり、また、これまで泥が手に入らない生産現場でも、基質入手の制約を受けることなく、アゲマキ種苗生産を行うことができると考えられる。今後、ベントナイトを用いた種苗生産技術のさらなる改善と普及が望まれる。

## 文 献

- 1) 農林水産省 (1980~2013) : 第26~59次佐賀県農林水産統計年報.
- 2) 異儀田和弘・中村展男・谷 雄策・伊東義信 (1977) : アゲマキ *Sinonovacula constricta* (LAMARCK) の水槽採苗について. 佐水試業報, 13-17.
- 3) 古川泰久・伊藤史郎・吉本宗央 (1998) : 餌料藻類3 種のアゲマキ稚貝に対する餌料価値. 佐賀有明水振セ研報, (18), 21-24.
- 4) 古川泰久・伊藤史郎・吉本宗央 (1999) : 干潟の泥を用いたアゲマキ稚貝の飼育. 佐賀有明水振セ研報, (19), 37-39.
- 5) 伊藤史郎・江口泰蔵・川原逸朗 (2001) : アゲマキ浮遊幼生の飼育と課題. 佐賀有明水振セ研報, (20), 49-53.
- 6) 大隈斉・山口忠則・川原逸朗・江口泰蔵・伊藤史郎 (2004) : アゲマキ種苗の大量生産技術開発に関する研究. 佐賀有明水振セ研報, (22), 47-54.
- 7) 大隈斉・江口泰蔵・山口忠則・川原逸朗・伊藤史郎 (2003) : 有明海におけるアゲマキ人工種苗の成長と成熟. 佐賀有明水振セ研報, (21), 45-50.
- 8) 津城啓子・大隈斉・藤崎博・有吉敏和 (2009) : 有明海におけるアゲマキ人工種苗の成長と成熟-II. 佐賀有明水振セ研報, (24), 1-4.
- 9) 津城啓子・佃政則・大隈斉・古賀秀昭 (2013) : アゲマキ放流稚貝の生残・成長と底質 (物理環境) との関係. 佐賀有明水振セ研報, (26), 25-31.
- 10) 津城啓子・佃政則・大隈斉・古川泰久 (2013) : アゲマキ稚貝 (7~8mm) の生産技術マニュアル. 佐賀有明水振セ研報, (26), 93-100.
- 11) 飯盛喜代春 (1994) : 有明海および筑後川底泥の化学成分. 低平地研究, (3), 6-13.
- 12) 動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所 (1993) : ベントナイトの鉱物組成分析.
- 13) 近藤三二 (1981) : ベントナイト関連製品の物性と応用. 粘土科学第 (21) 1-13.
- 14) 五島聖治 (2003) : ベントス生態学と水産のかかわり. In: 海洋生物の生態学, 和田恵次 (編), 東海大学出版会, 神奈川, 373-374.
- 15) 伊藤史郎・江口泰蔵 (2004) : ウミタケ浮遊幼生の飼育と着底・変態. *Sessile Organisms*, 21, 13-18
- 16) 佃政則 (2017) : 穿孔基質の違いによるアゲマキの殻長と巢穴面積との関係. 佐賀有明水振セ研報, (28) 29-31.