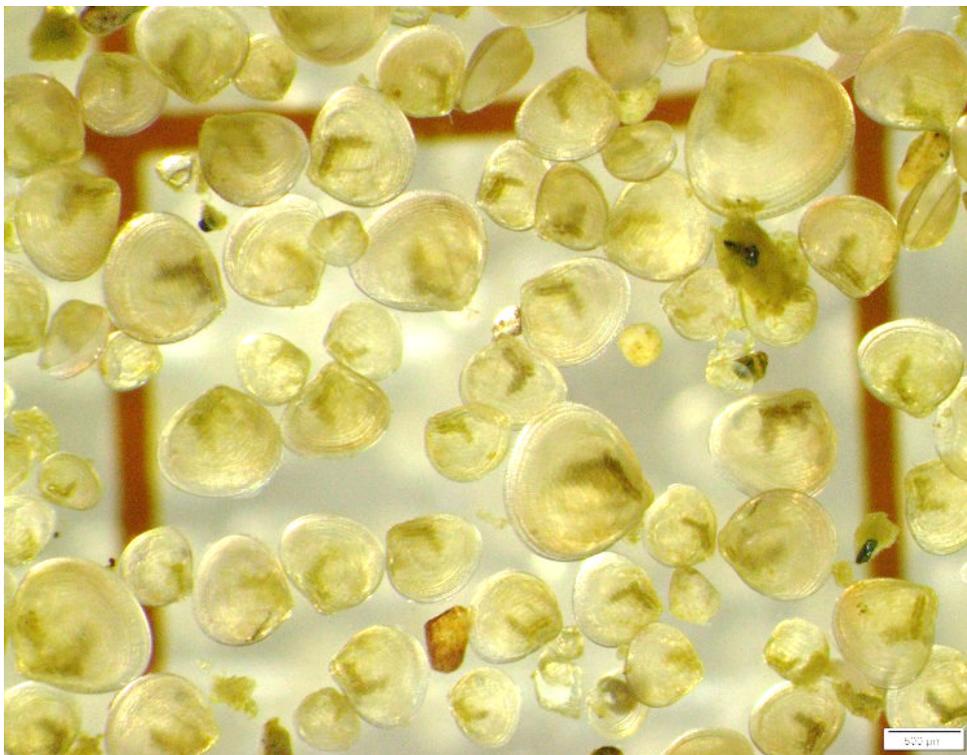


ヤマトシジミ種苗生産マニュアル 2

～殻長 1mm サイズまで～



令和元年 5 月

地方独立行政法人 青森県産業技術センター

内水面研究所

ヤマトシジミ稚貝種苗生産マニュアル 2 ～殻長 1mm サイズまで～Ver.1.0

はじめに

平成 23 年に「ヤマトシジミ種苗生産マニュアル」で産卵誘発から着底稚貝までの種苗生産方法についてまとめました。今回の「ヤマトシジミ種苗生産マニュアル 2」は、着底稚貝から殻長 1mm のヤマトシジミ種苗を生産するためのマニュアルです（以後シジミという）。マニュアル自体完成したものではありませんが、この方法で 500ℓ水槽を使い 2～3 カ月程度で 100 万個程度の種苗生産ができます。飼育方法の細部はまだ試験的に確認していない部分も多く含まれており、これまでの経験から最も適していると思われる方法を示しています。試験で確認していない部分について、まだ改良の余地があると考えてください。

また、このマニュアルは、シジミはある程度知っているが、種苗生産の経験がないシジミ漁業者の方が読んで使えるようにしたいと考えてつくりました。またこの中では方法だけ示すのではなく、できるだけなぜその方法を使うのかについても記載したいと考えています。わかりにくいところは指摘してもらえれば随時改定したいと思います。

ここで目標としているサイズは殻長 1mm です。セタシジミに関する滋賀県の研究で、生まれた直後の約 0.2mm の稚貝は底生生物のイトミミズやユスリカの幼虫（アカムシ）、カワニナなどの巻貝に捕食されてしまいますが、殻長が 0.7mm を超えるとこれら底生生物の被害を受けなくなることがわかりました。また小川原湖の天然水域では、産卵後満一年で約 1mm になることがわかりました。稚貝を飼育し 2～3 カ月で 1mm 稚貝に育てることで、底生生物による捕食被害を防ぐことや、放流後、漁獲サイズに成長するまでの期間短縮が期待できます。

このマニュアルでは、500ℓ水槽とアップウエリング容器 4 個からなる閉鎖循環システムを使って殻長 1mm の稚貝 100 万個を生産することを前提に進めます。閉鎖循環システムは一度使った水を濾過し再利用を続ける方法で、シジミ稚貝の成長に適した水温 25℃～28℃、塩分 6～8psu 程度の環境を低コストで容易に維持できます。このセットは、4 畳半程度の場所と 100V 電源があれば設置、運用可能です。

また、餌の植物プランクトン（キートセロス・カルシトランス）の価格が高く、稚貝を生産した場合のコストが合わないため、これまで実用化が進まない状況にありました。今回、安く、かつ入手しやすい餌としてヨーグルトを用いることで、生産コストが格段に下がり、事業化に大きく近づきました。

これらの情報を含めて飼育マニュアルを作成していますので、シジミ飼育の参考にしてもらえれば幸いです。

またこれまでに、下記のシジミに関する種苗生産、放流に関するマニュアルがありますので参考にさせていただけたらと思います。

- ・「シジミを育て増やすための手引き」平成 24 年 3 月（独法）水産総合研究センター
- ・「ヤマトシジミ種苗生産マニュアル」平成 23 年 4 月

（地独）青森県産業技術センター内水面研究所

ヤマトシジミ稚貝種苗生産マニュアル2
～殻長 1mm サイズまで～

目次

| | |
|-----------------------|-------|
| 1. 全体計画 | ・・・ 1 |
| 2. 飼育施設 | ・・・ 1 |
| (1) 設置場所 | ・・・ 1 |
| (2) 循環水槽の資材 | ・・・ 2 |
| (3) 循環水槽の組立 | ・・・ 3 |
| ①500ℓ水槽及び濾過槽の保温処理 | ・・・ 3 |
| ②濾過槽の組立 | ・・・ 3 |
| ③配管 | ・・・ 4 |
| ④水中ポンプの設置 | ・・・ 4 |
| ⑤水中ポンプの運転 | ・・・ 5 |
| ⑥濾材の設置 | ・・・ 5 |
| ⑦飼育容器（アップウエリング容器）とネット | ・・・ 5 |
| 3. 飼育 | ・・・ 6 |
| (1) 収容数 | ・・・ 6 |
| (2) 砂の使用について | ・・・ 6 |
| (3) 飼育環境 | ・・・ 6 |
| (4) 給餌 | ・・・ 7 |
| (5) サイズ分け・収穫 | ・・・ 8 |
| (6) 取上げ | ・・・ 8 |
| (7) 放流 | ・・・ 8 |

資料

| | |
|--------------------|--------|
| 資料 1 濾材の熟成方法 | ・・・ 9 |
| 資料 2 稚貝の計数方法（収容時） | ・・・ 11 |
| 資料 3 塩分調整 | ・・・ 12 |
| 資料 4 シジミの餌の調整 | ・・・ 13 |
| 資料 5 アンモニア態窒素の測定方法 | ・・・ 15 |
| 資料 6 稚貝の測定、計数方法 | ・・・ 16 |

1. 全体計画

小川原湖では7月中旬になるとヤマトシジミ(以後シジミという)の親は成熟が進み、塩分8psu(0.8%)、水温25℃以上に調整した飼育水に收容すると比較的容易に産卵します。ここでは7月中旬に産卵させ7月下旬に着底した殻長0.16mmの稚貝を500ℓ水槽を使った閉鎖循環システムを使い、1mmの稚貝100万個を生産することを想定して、全体の計画を立てています(表1)。

作業の流れ

6月上旬(稚貝收容約50日前)

- ・濾材の準備→濾材熟成開始

6月下旬(稚貝收容約20日前)

- ・飼育用循環水槽の組立てと設置、水中ポンプ等試運転

7月上中旬(稚貝收容約7~10日前)

- ・熟成済みの濾材を循環水槽に設置し、0.8%希釈海水を入れて循環を開始
- ・飼育水に塩化アンモニウム(NH₄Cl)を投入し、システム内の濾材の熟成を進める
- ・硝化能力確認(アンモニア態窒素濃度確認)、必要に応じてNH₄Cl追加投入
- ・親貝の成熟状況を確認し、親貝の産卵誘発、産卵、浮遊幼生飼育

7月下旬

- ・着底稚貝を循環水槽に收容し給餌飼育開始

10月上旬~下旬

- ・殻長1mmサイズで取り上げて放流

表1 飼育作業全体の流れ

| | 6月 | | | 7月 | | | 8月 | | | 9月 | | | 10月 | | |
|-----------|------|----|----|--------|------|------|------|----|----|----|----|------|-----|----|----|
| | 上旬 | 中旬 | 下旬 | 上旬 | 中旬 | 下旬 | 上旬 | 中旬 | 下旬 | 上旬 | 中旬 | 下旬 | 上旬 | 中旬 | 下旬 |
| ろ材(循環水槽用) | 熟成開始 | 熟成 | 熟成 | 循環水槽設置 | | | | | | | | | | | |
| 循環水槽 | | | 設置 | 試運転 | | | | | | | | | | | |
| 親シジミ成熟確認 | | | ○ | ○ | | | | | | | | | | | |
| 種苗生産 | | | | 産卵 | 浮遊幼生 | 着底稚貝 | | | | | | | | | |
| 稚貝飼育 | | | | | | 稚貝收容 | 循環飼育 | | | | | 回収放流 | | | |

2. 飼育施設

(1) 設置場所

循環水槽は、500ℓ水槽(134cm×87cm)と112ℓ濾過槽(66×46cm)を使用するので、作業スペースも含めると、4畳半程度(2.7×2.7m)の平らな場所が必要です(図1)。屋内または屋根のある場所では、雨水による飼育水の塩分低下や日照による水温上昇などの影響が少なく、飼育管理は容易です。内水研では、ビニールハウス内に循環水槽を設置しています。屋外の場合は雨水流入による塩分低下や直射日光による水温の急上昇を防ぐために、遮光のできるビニールシートなどで水槽全体を覆います。閉鎖循環飼育では、飼育中に連続的に給排水する必要はないので常設の排水路は不要ですが、水槽の水を捨てる方法は考えておく必要が

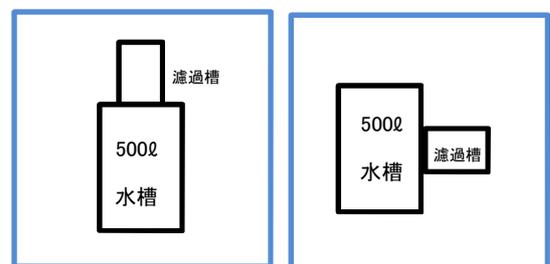


図1 500ℓ水槽(134×87cm)と112ℓ濾過槽(66×46cm)の配置例(青枠は4畳半、2.7×2.7m)

あります。また、飼育には希釈海水を使うので、周辺機器のサビにも注意が必要です。

(2) 循環水槽の資材

閉鎖循環システムは、5000ℓ水槽と112ℓ濾過槽、循環ポンプからなります。5000ℓ水槽にアサリ稚貝飼育用のアップウエリング容器（以後飼育容器という）を4個設置します。5000ℓ水槽から飼育水をポンプで濾過槽に汲み上げ、濾過槽からは塩ビ管で配管をして、落差で各飼育容器に飼育水を循環させます。循環水槽組み立てに必要な資材を、表2、写真1に示しました。

表2 閉鎖循環式ヤマトシジミ稚貝飼育システムの資材リスト(0.5トン水槽にアップウエリング容器4個設置)

| | 品名 | 規格 | 単価 | 数量 | 単位 | 合計 |
|-----------|------------------|-------------------------------|---------|----|----|---------|
| 水槽 | 1 0.5トン水槽 | ジャンボックス#500(1340×865×688mm) | 70,000 | 1 | 個 | 70,000 |
| | 2 1トン水槽 | ジャンボックス#1000(1700×1240×730mm) | 150,000 | 1 | 個 | 150,000 |
| | 3 水槽の断熱材 | スタイロフォーム (180×90cm) | 1,000 | 3 | 枚 | 3,000 |
| 飼育容器 | 4 アップウエリング容器 | | 8,800 | 4 | 個 | 35,200 |
| | 5 浮遊幼生回収用ネット | 42μm nylon N-No330T | 5千円程度 | 1 | | 5千円程度 |
| | 6 アップウエリング容器用ネット | 91μm No.180M(約1m×1m) | 2~3千円 | 1 | | 2~3千円 |
| | 7 アップウエリング容器用ネット | 132μm NNO125T(約1m×1m) | 2~3千円 | 1 | | 2~3千円 |
| | 8 アップウエリング容器用ネット | 263μm NNO60HD(約1m×1m) | 2~3千円 | 1 | | 2~3千円 |
| | 9 アップウエリング容器用ネット | 500μm 38GG500(約1m×1m) | 2~3千円 | 1 | | 2~3千円 |
| | 10 サユ- 水切りカゴ | 2型外寸(550×342×100mm) | 1,200 | 4 | 個 | 4,800 |
| 濾過槽 配管 | 11 濾過槽(112ℓ水槽) | 112ℓ水槽サンボックス #75B | 12,000 | 1 | 個 | 12,000 |
| | 12 ろ材 | ホタテ貝殻(20kg) | 1,000 | 3 | 袋 | 3,000 |
| | 13 タマネギ袋(種籾袋) | 濾材小分け用(25枚入り) | 500 | 1 | 個 | 500 |
| | 14 塩ビ管関連 | TSバルブソケット(VP25) | 83 | 3 | 個 | 249 |
| | 15 塩ビ管関連 | TS給水栓用エルボ(VP25) | 131 | 3 | 個 | 393 |
| | 16 塩ビ管関連 | パッキン(VP25) | 40 | 6 | 個 | 240 |
| | 17 塩ビ管関連 | 塩ビ管(VP25) | 462 | 2 | m | 924 |
| | 18 塩ビ管関連 | 塩ビ管(VP13) | 100 | 6 | m | 600 |
| | 19 塩ビ管関連 | エルボ(VP25) | 70 | 4 | 個 | 280 |
| | 20 塩ビ管関連 | TS給水栓チーズ(VP13) | 100 | 4 | 個 | 400 |
| | 21 塩ビ管関連 | ラブコック 雄ねじ-ホース(VP13) | 1,000 | 4 | 個 | 4,000 |
| | 22 塩ビ管関連 | TS エルボ(VP13) | 50 | 5 | 個 | 250 |
| | 23 塩ビ管関連 | 異径ソケット VP25→VP13 | 100 | 1 | 個 | 100 |
| その他 | 24 水中ポンプ(海水用) | テラタ CSL 100L | 27,048 | 1 | 個 | 27,048 |
| | 25 タイマー | custom WT-03Nウイークリータイマー | 2,500 | 1 | 個 | 2,500 |
| | 26 ヒーター | ニッソー 300W ヒーター+サーモスタットセット | 4,300 | 1 | 個 | 4,300 |
| | 27 人工海水 | 5000ℓ用 | 5,000 | 1 | 個 | 5,000 |



写真1 閉鎖循環式ヤマトシジミ稚貝飼育システムの資材

(3) 循環水槽の組立

①500ℓ水槽及び濾過槽の保温処理

飼育中はシジミの成長促進のために水温を 25～28℃に加温します。保温のために 500ℓ水槽と 112ℓ濾過槽の壁面に断熱材（スタイロフォーム）を張ります（写真 2）。水槽表面は、格子状の枠があるので枠内に収まるように断熱材をカットして押し込みます。側面は、飼育しながらでも必要に応じて張り付けられますが、底面は水槽に水を張る前に終わらせます。夏は気温も高いためあまり保温の必要はないのですが、晩夏から秋にかけて水温を保つためには必要です。また加温に要する電気代の節約にもなります。スタイロフォームで水槽全面を覆うことで、冬期零度以下の環境でも 300W ヒーターのみで 20℃を維持することが可能でした。濾過槽も同様に全面をスタイロフォームで覆います。また、保温と蒸発を防ぐ、また遮光のためにスタイロフォームで水槽に蓋をします。



写真 2 断熱材をはめ込んだ 500ℓ水槽

②濾過槽の組立

112ℓ 水槽を濾過槽として使用します。濾過槽の側面の最上部にオーバーフロー用として 1 カ所、最下部に給水用として 2 カ所の穴を開け（写真 3）TS 給水栓用エルボ（VP25）を取り付けます。

給水用の穴には TS 給水栓用エルボ（曲がりのある部品）を内側に、オーバーフロー用はエルボを外側に設置します。オーバーフロー口には濾過槽から溢れた水が 500ℓ水槽内に落ちるように塩ビ管（VP25）を設置します（写真 4）。飼育容器への給水は VP13 で繋がるラブコック（写真 1）で行うので、写真 4 のように濾過槽外側の給水口から異径ソケットで VP25→VP13 に径を下げます。濾過槽内側の配管は、濾材で吸水口が塞がれないように、図 5 のように給水用のエルボ（VP25）にネットリングを付けます。ネットリングは、タキロンネットなどを円筒形に丸めて作成します。濾過槽から飼育容器には落差で給水するので、濾過槽の底面が飼育水槽の上面の高さになるように適当な台の上に濾過槽を設置します。

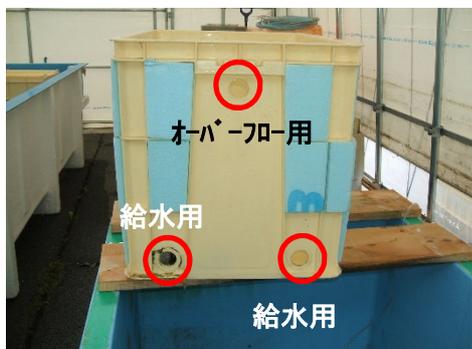


写真 3 濾過槽側面の穴



写真 4 異径ソケットで径を落とす
(VP25→VP13)



写真 5 濾過槽内側の配管

③配管

5000ℓ水槽の飼育容器への配管は、塩ビ管（VP13）を使います。飼育中に飼育容器（アップウエリング容器）の出し入れがしやすいように、水槽内壁に沿って配管します。飼育容器の設置場所に合わせて給水用のラブコックを4個設置します。4つの口から等量注水できるように、配管はリング状につながっています（図2、写真6）。ラブコックは4つ全開で使用していました。

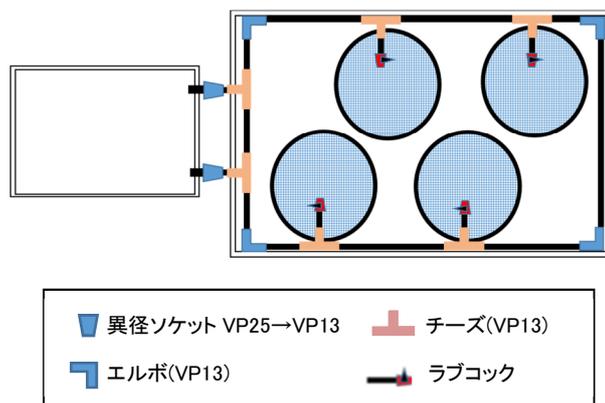


図2 循環水槽の配管図



写真6 循環水槽の配管図

給水管は水槽上部へりを添うように配管する。

④水中ポンプの設置。

水中ポンプ本体は、5000ℓ水槽に置き、ポンプから濾過槽へホースを引き込みます。ホースは濾過槽の蓋に穴をあけて通します。ホース先からの注水が直接濾材にあたると濾材が砕けたり、濾材を入れるタマネギ袋が破損し濾材が飼育容器に流入するので、ホース先端に長さ20cm程度のリングネット（タキロンネットなどを適当に丸めたもの）を装着し、リングネットを濾材の間に埋め込み、ポンプからの水が直接濾材に当たらないようにします。塩水を使うため、水中ポンプは海水に対応したものにします。



写真7 濾過槽への給水ホース先端部と濾過槽の蓋



写真8 給水ホース先端部をろ材の間に埋め込む



写真9 完成した循環水槽

⑤水中ポンプの運転

循環水槽が組みあがったら、500ℓ飼育水槽に350ℓ程度の水道水をいれて水中ポンプを運転してみます。飼育容器へ注水するラブコック4個は全開にして、水中ポンプで飼育水槽から濾過槽へ水をくみ上げます。ポンプの揚水量は飼育容器4ヶ所への注水量よりかなり多いので、数分で濾過槽が満水になり水があふれます。濾過槽がオーバーフローした時点でポンプが止まり、その後濾過槽がほぼ空になったらポンプが再可動するようにタイマーを使い調整します。内水研で使ったシステムでは、運転2分、停止5分の繰り返しとしました。揚水と停止の時間は、ポンプの揚水量と飼育容器への注水量のバランスで決まります。また濾過槽に濾材が設置されると濾過槽の貯水量が少なくなるので、最終的には濾材を設置してからタイマーの運転間隔を決めます。

この方法により、濾材は干出を繰り返すことになり、濾材本体の汚れ（生物膜）が付きにくくなり、半年程度は洗浄せず使い続けることができます。また濾材が空気中に露出されることで硝化細菌の活動に必要な酸素が十分に供給され、濾過能力も高くなることが期待できます。

タイマーの運転と停止時間の調整がいたら、試運転と水道水の塩素抜きのために1~2日程度運転します。また、人工海水の素を使って飼育水の塩分を6~8psu (0.6~0.8%) に調整します。

⑥濾材の設置（資料1 濾材の熟成方法参照）

6~8psuの塩水を循環させているシステムの濾過槽に、1袋8kg程度の濾材を8~10個設置します。ろ材は使用する前に十分に熟成させて、飼育中に稚貝が排出する毒性の強い塩化アンモニウムを分解する能力が十分にあることを確認して使用します。吸水口に付けたリングネットを濾材の間に埋め込み、ポンプからの水が直接濾材に当たらないようにします。濾材の熟成については、資料1で説明します。

⑦飼育容器（アップウエリング容器）とネット

飼育容器は、水切りカゴや塩ビ管で作った台に載せて底面からの通水を確保します（写真10）。容器の底に張るネットは、シジミのサイズに合わせて替えていきます。細かい目合のネットは目詰りも早いので、できるだけ大きな目合のネットで飼育します。ネットから稚貝が落ちないためには、シジミの殻長がネットの目合いの1.5倍以上である必要があります。着底直後の稚貝は160~180 μm なので最初に使用するネットは90~100 μm 程度とし、成長に従いネットの目合いを大きくしていきます。

本来アップウエリング容器は、底面から水を入れ、容器上部の横に開いた排水管から流すように考えられています。しかしヤマトシジミの稚貝の場合は、飼育槽内に上向きの流れがあると稚貝が粘液を出し、流れに乗って流失してしまいます。そのため飼育では、上から注水し、底層から水が出るような変則的な使い方をしています（図3）。

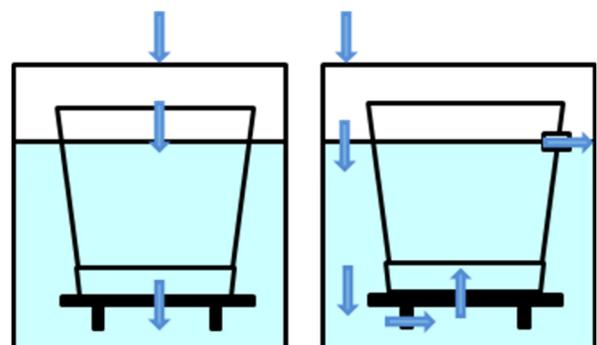


図3 通常のアップウエリング容器の水の流れ(右)

シジミ稚貝飼育時の水の流れ(左)

3. 飼育

(1) 収容数（資料2 稚貝の計数参照）

飼育容器に30～35万個の着底稚貝（殻長0.16～0.18mm）を収容します。この程度の収容数で2～3か月の飼育で、平均殻長1mmの稚貝に成長し、90%程度の生残率が期待できます。これ以上の収容数での飼育経験がないので、さらに収容数を増やせる可能性はあります。

(2) 砂の使用について

着底稚貝収容の際に使用するネットは目合い90 μ m（0.09mm）程度の細かいネットを使用します。そのため、付着藻類の繁茂や微小なゴミにより目詰まりして、飼育容器から水がオーバーフローしてしまいます。またこの時期は稚貝がまだ小さく肉眼で確認できないため、ネット交換作業には気を使うので、できるだけ目詰まりを避けたいところです。



写真10 アップウエリング容器と台

稚貝を飼育容器に収容する際に、ネットを抜けない大きさの砂を100ml程度入れておくとネットに直射日光が当たらないため付着藻類が生育せず、微小なゴミも砂にトラップされて目詰まりしにくくなります。100ml程度の砂で底面全面を

覆うことはできませんが、目詰まりを防ぐためには十分効果があります。稚貝と一緒に入れる砂は、250 μ m（0.25mm）のフルイには残り、0.5mmのフルイは抜けるものを使用しています。殻長1mm稚貝の回収の際は0.5mmのフルイを通すことで容易に砂と1mmの稚貝を分離できます。

砂の有無による成長や生残への影響は確認していません。殻長が0.8mmを超えて0.5mmのネットを使えるようになればネットの目詰まりはあまり気にならなくなるので、基本的に砂は使用していません。

(3) 飼育環境（資料3 塩分調整参照）

ヤマトシジミは淡水から20psu（2%）程度の濃い塩分でも生存可能ですが、着底直後の稚貝から2mm程度のサイズになるまでは、淡水に比べて6～8psu（0.6～0.8%）程度の塩分の成長が良いようです。経験的には殻長2mmを超すと淡水でも希釈海水と同等の成長を示すと感じています。

水温は25～30 $^{\circ}$ C程度で成長が良いようです。何度か行った飼育では、水温30 $^{\circ}$ Cでの成長が良いのですが、稚貝の調子が悪くなると急激に全体的に悪化し全滅する場合があります、今ところ25～28 $^{\circ}$ Cで飼育しています。

この6～8psu程度の塩分と25～28 $^{\circ}$ Cの水温を維持して飼育するためには、かけ流し飼育では希釈海水の確保や加温の経費などの点で課題が多く、飼育水を再利用する閉鎖循環システムが適しています。

循環水槽による飼育の場合、最も問題となるのが排泄物などによるアンモニア態窒素濃度の上昇です。毒性の強いアンモニア態窒素は、濾過装置の硝化細菌により毒性の低い硝酸に変わりますが、濾材が不足していたり、十分熟成が進んでいない場合は、アンモニア態窒素濃度の上昇とそれに伴うシジミ稚貝の不調、へい死につながります。2018年に循環水槽で112万個の稚貝を

生産したときは、期間を通じて 0.1mg/l を超えませんでした (図 4)。

シジミ稚貝を止水で飼育していると当然アンモニア態窒素濃度は上昇するのですが、これまでの例では、餌食いが悪くなった時の濃度は 0.43mg/l、またへい死が出た水槽の濃度は 2.15mg/l でした。十分なデータはありませんが、0.2mg/l を超えるようであれば濾過槽の状態を確認する必要がありますと思われる。

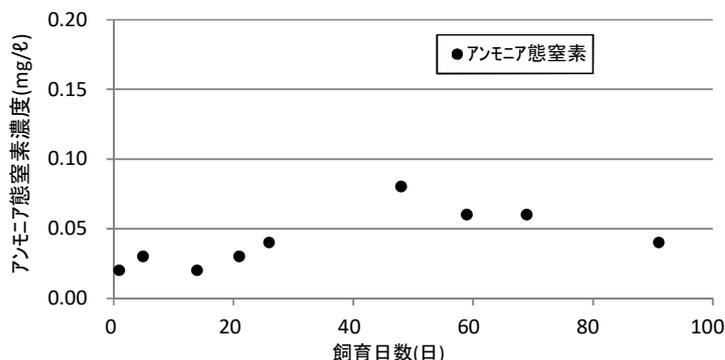


図 4 循環水槽でシジミ稚貝飼育中のアンモニア態窒素濃度の推移

(4) 給餌 (資料 4 シジミの餌の作り方参照)

餌は、プレーンヨーグルトと冷凍ナンノクロロプシスを混合したものを 1 日 3 回与えます。基本濃度 (表 3) は、経験的に市販のキートセロスとほぼ同等の成長を示す濃度です。成長に伴い給餌量は急激に増加するので、作業効率を考えて餌の濃度を 2、3 倍に変えて給餌します。

表 4 に 2018 年に種苗生産したときの飼育容器 1 個 (着底稚貝 30~57 万個収容) あたりの給餌量を示しました。給餌量の増減については、給餌後 1~2 時間で飼育水が透明になっているようであれば給餌量が不足しており、また次の給餌 (4~5 時間後) までに餌由来の濁りが残っていれば給餌量が多いと判断して、給餌量を加減します。

給餌量は、収容数、稚貝のサイズ、水温、塩分等により異なるのですが、適正給餌量を作るまでに至っていません。また、1 日の給餌回数や連続給餌の効果などについても今後の検討が必要です。(資料 5 アンモニア態窒素の測定方法参照)

表 3 ヨーグルト混合餌の混合割合

| ヨーグルト混合餌料 基本濃度 | | | |
|----------------|------------|-----------|----------|
| 作成料 (l) | 冷凍ナンノ (ml) | ヨーグルト (g) | 8‰海水 (l) |
| 0.8 | 5 | 8 | 0.8 |
| 1.6 | 10 | 16 | 1.6 |
| 2.4 | 15 | 24 | 2.4 |
| 3.2 | 20 | 32 | 3.2 |

| ヨーグルト混合餌料 2倍濃度 | | | |
|----------------|------------|-----------|----------|
| 作成料 (l) | 冷凍ナンノ (ml) | ヨーグルト (g) | 8‰海水 (l) |
| 0.8 | 10 | 16 | 0.8 |
| 1.6 | 20 | 32 | 1.6 |
| 2.4 | 30 | 48 | 2.4 |
| 3.2 | 40 | 64 | 3.2 |

| ヨーグルト混合餌料 3倍濃度 | | | |
|----------------|------------|-----------|----------|
| 作成料 (l) | 冷凍ナンノ (ml) | ヨーグルト (g) | 8‰海水 (l) |
| 0.8 | 15 | 24 | 0.8 |
| 1.6 | 30 | 48 | 1.6 |
| 2.4 | 45 | 72 | 2.4 |
| 3.2 | 60 | 96 | 3.2 |

表 4 ヤマトシジミ稚貝生産時の給餌例

| アップウエリング容器へヤマトシジミ稚貝を30-57万個収容したときの給餌量の例 | | | | | |
|---|--------------|----------|--------|--------------|--------|
| 産卵からの日数 | 1回当たり給餌量(ml) | 給餌回数 回/日 | 混合餌 倍率 | 1倍濃度給餌量 ml/日 | 飼育方法 |
| 1~5 | 0 | 0 | - | 0 | 10l水槽 |
| 5~6 | 10 | 2 | 1.0 | 20 | 止水飼育 |
| 7~12 | 20 | 3 | 1.0 | 60 | ↓ |
| 13~23 | 30 | 3 | 1.0 | 90 | ↓ |
| 24~25 | 100 | 2 | 1.0 | 200 | 閉鎖循環飼育 |
| 26~28 | 100 | 3 | 1.0 | 300 | ↓ |
| 29~30 | 125 | 3 | 1.0 | 375 | ↓ |
| 31~40 | 125 | 3 | 1.5 | 563 | ↓ |
| 41~62 | 125 | 3 | 2.0 | 750 | ↓ |
| 63~69 | 125 | 3 | 2.5 | 938 | ↓ |
| 70~89 | 125 | 3 | 3.0 | 1,125 | ↓ |
| 90~113 | 125 | 3 | 3.0 | 1,125 | 回収 |

90日目に1回目の稚貝回収を行い、113日目に全量回収した。
循環水槽の準備が遅れたために止水で23日間飼育した。

(5) サイズ分け（資料5 稚貝の測定、計数方法参照）

ヤマトシジミの稚貝の成長は個体差が非常に大きく、飼育40日で殻長1mmになる個体がいる一方で、同群で0.5mm以下のものが大半です。大きさに差が付き始めると大型の個体だけ成長し、小型の個体の成長は鈍ってしまうようです。そのため、40日～50日を目途に0.7mm目合いのフルイを通して、フルイに残ったものは収穫して放流するか、0.5mmネットを敷いた別のアップウェリング容器へ移します。フルイを通り抜けたものは引き続き91 μ または130 μ 程度のネットを付けた容器で飼育を続けます。

(6) 取上げ

目的に応じて取上げて放流します。1mmサイズを目標とするのであれば0.7mm目合いのフルイに残った稚貝を取上げて放流し、フルイを抜けた稚貝を継続飼育し一定期間後0.7mmの篩にかけて回収することを繰り返します。必要に応じて、測定、計数を行います。飼育開始時に砂を入れ稚貝が0.5mmのフルイを抜けてしまうサイズの場合、稚貝と砂を分けることが困難なので総数の推定は難しくなります。放流数、サイズなどのデータは、できるだけ記録しておきたいところです。

(7) 放流

回収した稚貝は、100トスロンタンクに7分目ほど飼育水を入れた容器で放流地点まで輸送しました。シジミは非常に貧酸素に強いこともあり、同容器に1mm稚貝10万個程度収容し、エアレーションなしで1時間程度の輸送は問題ありませんでした。

また、放流時には、急激な水温変動によるストレスを避けるために、放流水域の水温に徐々に調整することが必要です。検証した例はありませんが、湖沼の水温が一桁台になる時期まで25～28℃で飼育を続けて放流することは避け、水温が10℃台のうちに放流するべきと考えます。

シジミの放流場所を決める際は、下記のことを考慮してください。

- ①夏季に貧酸素化しない水深
- ②高塩分にならない水域
- ③底質が砂～砂泥（完全に泥の場所は避ける）
- ④遠浅の傾斜の緩い場所

放流場所については、「シジミを育て増やすための手引き」に詳しく記載があるので参照してください。

資料1 濾材の熟成方法

濾材として市販されているサンゴやホタテ貝殻、ガラス、セラミックなどを材料にしたものがあり、どれでも使えます。ここでは価格が安いのでホタテ貝殻を砕いたホタテチップを使用しています。ホタテ貝殻の場合、飼育水の pH を上昇させている可能性があります。ホタテガイ貝殻を使用した場合の pH は 8.2~8.4 程度になります。この pH 値は淡水魚類の飼育には高すぎるのですが、シジミの種苗生産では問題がありませんでした。pH が気になる場合は、価格は高いのですがセラミック等の濾材が良いかもしれません。

濾材には、濾材と濾材の隙間で大きいゴミ（浮遊懸濁物）を濾して除去する役目と濾材の表面に繁殖した硝化細菌によって水質をきれいにする働きがあります。シジミの飼育の場合大きなゴミはないので、濾材の役目はシジミの排泄物によって汚れた水を硝化細菌によってきれいにする働きが主となります。

濾材熟成までの手順（ホタテ貝殻チップを例に）

- ①濾材が濾過槽から流出しないように、玉ねぎ袋に詰めて小分けにする。作業性を考えて1袋 5kg~8kg 程度を目安にする。500ℓ タンクでアップウエリング容器 4 個を設置して 100 万~150 万个程度の稚貝生産の場合、8kg の袋 8~10 袋準備する。
- ②濾材を水道水でよく洗う。玉ねぎ袋に入った濾材を何回か水道水で洗い、粉状のものを取り除く。（ホタテ貝殻チップは、本来濾材として製造されていないため粉が非常に多く、洗浄が大変です。セラミックなどの濾材は、粉がでないので洗浄は楽です。）
- ③100ℓ~200ℓ 水槽に 8psu の希釈海水を入れ、玉ねぎ袋に詰めてよく洗浄した濾材と硝化細菌の種となる元種（硝化細菌付き濾材）1 袋を収容する。稚貝の飼育水が 8psu の希釈海水なので、希釈海水でも活動できる硝化細菌を増やすために熟成にも希釈海水を使う。また、水温は稚貝の飼育水温である 25℃に加熱する。菌を分散させ、菌の栄養となる塩化アンモニウムが濾材全体に循環するように通気する。塩化アンモニウムを 5g 添加し、アンモニア態窒素濃度を確認する。
- ④アンモニア態窒素の濃度を数日間隔で計り、濃度が低くなったら塩化アンモニウム 5g 追加する。2~4 週間程度で新しい濾材に硝化細菌が十分に付く。濾材の量にもよるが十分に濾材の熟成が進むと 5g の塩化アンモニウムが 24 時間で濃度 0mg/ℓ になり、熟成完了です。



写真 玉ねぎ袋に小分けした材と水槽



写真 熟成中のろ材(1トン水槽)

元種（硝化細菌付き濾材）

現在使用しているものは、国立研究開発法人北海道区水産研究所千歳さけます事業所から分けていただいたものです。これは、マス類の循環水槽に1～2週間濾材を入れて硝化細菌を付けて、増やしたものだそうです。低温な淡水から採取した硝化細菌ですが、25℃～28℃の高い水温、塩分8psu～10psuでも十分増殖しました。

新たに元種を作成する場合は、目的とする飼育水温に近い水温で管理している循環水槽から硝化細菌を採ります。循環水槽に新しい濾材を数週間入れておくと硝化細菌が自然に濾材表面が増えて、元種となります。

濾材管理

・元種として維持しておく場合には、特に増殖を目的としていないので水温は通常より低い15℃～20℃として活動を抑えています。塩化アンモニウムは、2週間に一回程度5～10g添加し、蒸発した分の水を足します。濾材を収容する水槽を遮光シートで覆うことで、水の蒸発を抑えて、水槽内に付着藻類の増殖を抑えられます。

資料2 着底稚貝の計数方法（収容時）

ヤマトシジミの産卵後、浮遊幼生を止水で管理し、着底稚貝になった段階でアップウェリング容器に収容します。この時に着底稚貝数を把握する必要があります。

稚貝数の推定の流れ

飼育水中に着底稚貝を均一の状態に攪拌し、一定水量採取し飼育水中の密度を確認し、水量で掛けて総数を推定します。ここでは、10ℓトスロンタンクでの飼育を例に説明します。

①飼育水槽の水量を決める。

あらかじめ10ℓトスロンタンクに10ℓの水を入れ、タンクに10ℓの目印を付けておきます。着底稚貝の計数時には、水量をこの目印（10ℓ）に合わせます。

②着底稚貝をよく攪拌

エアーストーンを複数個設置し、強いエアレーションで水を攪拌します。着底稚貝は、水より重く、弱い粘着力を持っていますので2ℓ程度の容器で水槽内の水を掬い、少し上から滝状に4～5回注水して、水槽の底から大きくかき混ぜるようにします。

③採水と計数

よく攪拌した状態の飼育水から正確に1ml～10ml採水し5mmの方眼付きのシャーレに移します。実態顕微鏡や万能投影機20倍程度を使い計数します。稚貝の密度は1ℓあたり1万～10万個程度の場合が多いので、1mlあたり10個～100個程度になります。浮遊幼生の場合や、稚貝が動いて計数しにくい場合には塩素系漂白剤を数的に入れて動きを止めます。

3～5回採水と計数を行い、平均密度を計算し、全体の個数を推定します。

資料3 飼育水の塩分調整

希釈海水の方がヤマトシジミ稚貝の成長が良いため、殻長 1mm 程度までの飼育には、6～8psu (0.6～0.8%) の希釈海水を使います。

着底稚貝の成長速度は塩分濃度によって変わりますが、塩分 1～20psu 程度であれば塩分によって死ぬことはありませんので、あまり濃度に神経質にならなくてもよいと思います。

濾過海水を使用してもよいのですが、手に入りにくいので人口海水を使用しています。海から汲んできた海水の場合は、小さい生物が混じっており飼育中にそれらの生物が増える場合があるので、水道水を人工海水で塩分調整して使います。また、同じ理由で淡水として湖の水を使うと湖水由来の小さい生物が増えてしまいますので使わないようにします。この 8psu の飼育水は餌の希釈、調合のときも使います。

塩分 8psu の飼育水を作成

- ・人口海水の場合：水道水 10ℓに対して人口海水の素 80g を溶かす。
- ・濾過海水の場合：海水は通常 33psu 程度なので水道水で 4～4.5 倍に希釈すれば 7.3～8.25psu になるので、海水 1ℓに対して水道水 3～3.5ℓを加えてよく攪拌します。
- ・8psu に調整した飼育水は、蓋付きの容器にいれ常温で保管可能です。
- ・20ℓトスロンタンクに作っておけば水替え 5 回分になるので 1 か月程度持ちます。

塩分の単位について

塩分を表す単位として psu (Practical Salinity Unit)、‰ (パーミル)、% (パーセント) などありますが、稚貝飼育をするうえでは下記のように考えて問題ありません。

$$8\text{psu} = 8\text{‰} = 0.8\%$$

資料4 シジミの餌の調整

シジミ稚貝の餌は、一般的に使われている市販のヤンマー社製のキートセロス・カルシトランス（1億 cell/ml）による飼育で、良い成長と良い生残率を得られます。試験で小規模の飼育に使用するには、品質が安定しており良いのですが、大量に使用する場合には価格が高く向きません。また、自分で培養するには別に器具が必要で継代などの手間がかかります。

大量にシジミを飼育するために、キートセロスに代わる安価で入手しやすい餌を探したところ、市販のプレーンヨーグルトと冷凍ナンノクロロプシスを混ぜて与えることで、キートセロスで飼育した場合と同程度の成長と生残を示しました。そのため、大量に稚貝を生産する場合には、ヨーグルト混合餌が適していると考えています。

シジミの餌（ヨーグルト混合餌）の作り方

準備するもの

- ・プレーンヨーグルト※¹（砂糖を含まない市販のヨーグルト）
- ・冷凍ナンノクロロプシス（冷凍ナンノ）※²
- ・塩分 8psu の塩水※³ 適量（作成する餌の量に合わせて準備）
- ・作製した餌を調整、保管するサンプル瓶（500ml、または 1ℓなどの密閉できる容器）

冷凍ナンノは一度解凍すると冷蔵保存でも 5 日程度で変色し、臭いがきつくなります。そのため、凍ったまま冷凍ナンノを 50g 程度の小さい塊に分けて冷凍保管し、必要な量を解凍して使います。

飼育当初は、表の基本濃度のものを作製して使います。この濃度は、経験的に市販のキートセロスと同様の成長を示すので、ほぼ同程度の栄養価と考えています。

例：基本濃度 3.2ℓ作製

- ①20～30 g 程度の冷凍ナンノの塊を自然解凍させる。
- ②ヨーグルト 32g を 500ml 程度の密閉できるビンに取る。
- ③塩水を 200ml 程度入れてビンの蓋を占めて強く降り、ヨーグルトを完全に懸濁させる。
- ④解凍したナンノ 20ml とヨーグルト懸濁液を混ぜて塩水で 3.2ℓに調整して完成
- ⑤密閉容器で冷蔵保管して 5 日間程度は持ちます。

シジミ稚貝の成長に伴い、給餌量は飛躍的に増加します。基本濃度では、量が多くなりすぎて取扱が難しくなるので、適宜濃度を 2 倍、3 倍にあげて給餌量を調整します。



写真 左：冷凍ナンノクロロプシス(1kg)
右：適当な大きさに小分けして保管

表 ヨーグルト混合餌の混合割合

| ヨーグルト混合餌料 基本濃度 | | | |
|----------------|------------|-----------|----------|
| 作成料 (ℓ) | 冷凍ナンノ (ml) | ヨーグルト (g) | 8‰海水 (ℓ) |
| 0.8 | 5 | 8 | 0.8 |
| 1.6 | 10 | 16 | 1.6 |
| 2.4 | 15 | 24 | 2.4 |
| 3.2 | 20 | 32 | 3.2 |

| ヨーグルト混合餌料 2倍濃度 | | | |
|----------------|------------|-----------|----------|
| 作成料 (ℓ) | 冷凍ナンノ (ml) | ヨーグルト (g) | 8‰海水 (ℓ) |
| 0.8 | 10 | 16 | 0.8 |
| 1.6 | 20 | 32 | 1.6 |
| 2.4 | 30 | 48 | 2.4 |
| 3.2 | 40 | 64 | 3.2 |

| ヨーグルト混合餌料 3倍濃度 | | | |
|----------------|------------|-----------|----------|
| 作成料 (ℓ) | 冷凍ナンノ (ml) | ヨーグルト (g) | 8‰海水 (ℓ) |
| 0.8 | 15 | 24 | 0.8 |
| 1.6 | 30 | 48 | 1.6 |
| 2.4 | 45 | 72 | 2.4 |
| 3.2 | 60 | 96 | 3.2 |

- ※1：餌としてのヨーグルトは、明治ブルガリアヨーグルト、ビヒダスヨーグルト、イオンプライベートブランド、R-1を試しましたが、とりあえず全てのプレーンヨーグルト（砂糖不使用）で良好な成長を示しました。銘柄によって、成長差がありそうですが、今後の課題です。
- ※2：冷凍ナンノクロロプシス（冷凍ナンノヤンマリン K-2）は1kg×8入りで18,000円程度です。一度解凍すると冷蔵保管しても1週間程度で変色してくるので、解凍後は3-4日で新しいものに交換していました。1kgを全て解凍すると、ほとんど捨ててしまうことになるので、凍った塊をドライバーと木槌で適当な大きさに割って冷凍保管し、必要に応じて解凍、使用していました。
- ※3：餌の調整には、8psuの塩水を使っています。理由は、①シジミの飼育水が8psuであることと、②生理食塩水（9psu）に近い濃度なのでヨーグルトの乳酸菌とナンノクロロプシスの細胞が壊れにくいことが予想されるためです。

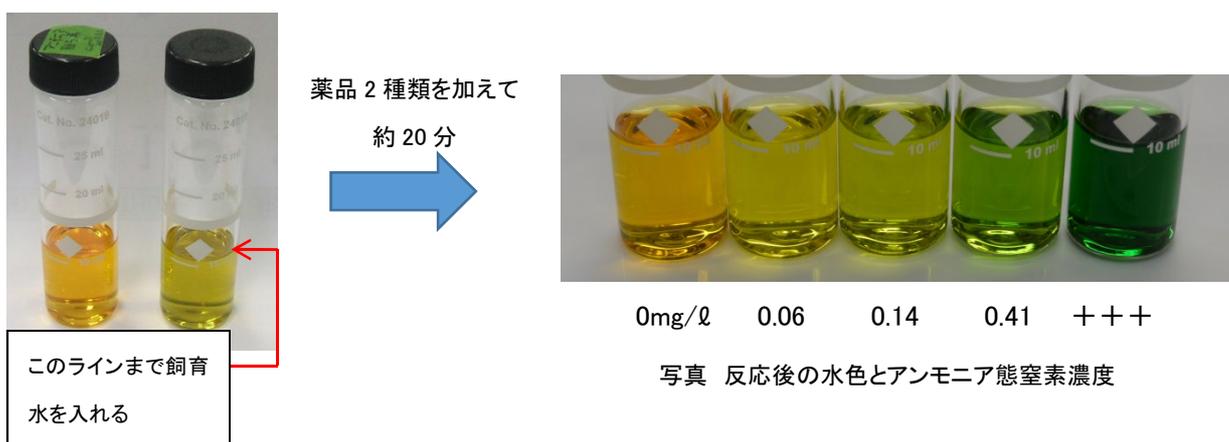
資料 5. アンモニア態窒素の測定方法

止水飼育ではシジミの排泄物により有毒なアンモニア態窒素が蓄積していきます。循環飼育では、飼育水を濾材に通してアンモニア態窒素を硝化細菌により毒性の低い硝酸態窒素に変えていますが、濾材が十分に機能していることを確認するために 2 週間に 1 回程度アンモニア態窒素濃度の測定をします。

測定には、HACH の分光光度計を使っていますが、30 万円以上しますので各現場で準備することは難しいかもしれません。この測定は飼育水に試薬を入れてその色の変化を機械で測定するものですが、肉眼で見た色の変化で、ある程度のアンモニア態窒素濃度の判断はつきます。現場では簡易的に色調で濃度を判断し、問題があれば試験場等へ相談する形で進めても良いと思います。

アンモニア態窒素を測定する試薬の手順（実際に行う際は試験場等へ相談してください）

- ① 専用のボトルに飼育水 10ml（右写真ボトルの下のラインまで）を採ります。
- ② 2 種類の薬品を加えて。約 20 分で発色します。
- ③ 発色した色が黄色であれば、アンモニア態窒素は少なく、緑が濃くなればアンモニア態窒素が分解されずに残っていることとなります。サンプルの色が黄緑色になってきたら水産試験場などに相談して対応の検討が必要です。



資料 6. 稚貝の測定、計数方法

シジミ稚貝は、殻長 1mm を超えると成長が速くなり、また成長の個体差も非常に大きくなります。稚貝の平均サイズは、群の中からできるだけ大小かたよらないように 100 個程度測定し平均しますが、大きさにバラつきがある場合にはサイズ別に分けて求める必要があります。

バラつきが大きいサンプルでは、フルイを使ってサイズ別に区分し、それぞれの数と、平均サイズを求めて重み付けをして、全体の平均サイズを計算します。下記に例を示します。

例 殻長 2mm～8mm が混在する場合

- ①目合いが 2mm、4mm のフルイを使います。
- ②4mm 目合いのフルイに残ったもの大群とします。
- ③4mm を抜けたものを 2mm のフルイにかけ、2mm に残ったものを中群とします。
- ④2mm から抜けたものを小群とします。
- ⑤大群、中群、小群それぞれ 100 個の殻長を測定します。
- ⑥大群、中群、小群の数を数えます。
- ⑦それぞれの群の平均殻長と数から群全体の平均殻長を求めます。

平均殻長と個数が、大群 (7.0mm、100 個)、中群 (4.0mm、1,000 個)、小群 (2.5mm、10,000 個) であった場合は、下表のような計算から、全体の平均殻長は 2.7mm となります。

| | 平均殻長(mm) ① | 個数(個) ② | ①×② |
|---------------|---------------|------------|----------------------|
| 大群 | 7.0 | 100 | 700 |
| 中群 | 4.0 | 1,000 | 4,000 |
| 小群 | 2.5 | 10,000 | 25,000 |
| | 合計個数 ③ | 11,100 | ①×②合計 ④ 29,700 |
| 総平均殻長 (mm) | ④÷③ | 2.7 | |



シジミ稚貝、黒線の 1 目盛りが 1mm

実体顕微鏡などで 0.1mm 単位で測定する。

殻長 2mm 台までの稚貝は、1mm 目合いのマス目に乗せて実体顕微鏡で計測、3mm を超えるとデジタルノギスで計測できます。

数が多い場合の計数は、群に分けた後、各群の湿重量を計り、それぞれ 0.5～数 g 測り取り単位 g あたりの個数を求め、全体の個数を推定します。