

生態系ネットワークの修復による アワビ資源回復のためのガイドライン



アワビ資源の持続的な利用のために



2020年7月版

目次

はじめに	1
1. 人工衛星画像の解析によって過去の藻場の状態を再現する手法を開発し、磯焼けの進行にともなってアワビ資源が減少したことを確かめました	2
2. 海水の流動モデルにより、浮遊幼生の輸送と着底場所を予測することができるようになりました	3
3. アワビ類の親子判別が可能となる遺伝子解析技術を開発し、野外調査によって放流した人工種苗が子孫を残していることを確かめました	4
4. ウニ類を除去した場合の回復可能性について事前評価手法を開発し、効率的な藻場回復が可能となりました	5
5. 現場で取り組みやすいホンダワラ幼胚の供給方法を開発しました	6
6. 本プロジェクトでは、野外調査で稚貝の主な生息域を特定するとともに、アワビ稚貝が成長にともなって好適な棲み場に移動できるように、漁場間の連結性を考慮した漁場造成手法を開発しました	7
【稚貝生息場の造成ガイドライン】	8
(1) アワビ類生息場の調査・評価手法	8
(2) アワビ類稚貝生息場造成手法	13
(3) 造成稚貝生息場における調査手法と機能維持のためのメンテナンス指針	18

【はじめに】

アワビ類の資源減少を受け、最近の漁獲量は最盛期の6分の1になってしまっています。

資源の減少を食い止め回復へと向かわせるため、生態系ネットワークの修復によって

アワビ資源の回復を図るためのガイドラインを紹介します。

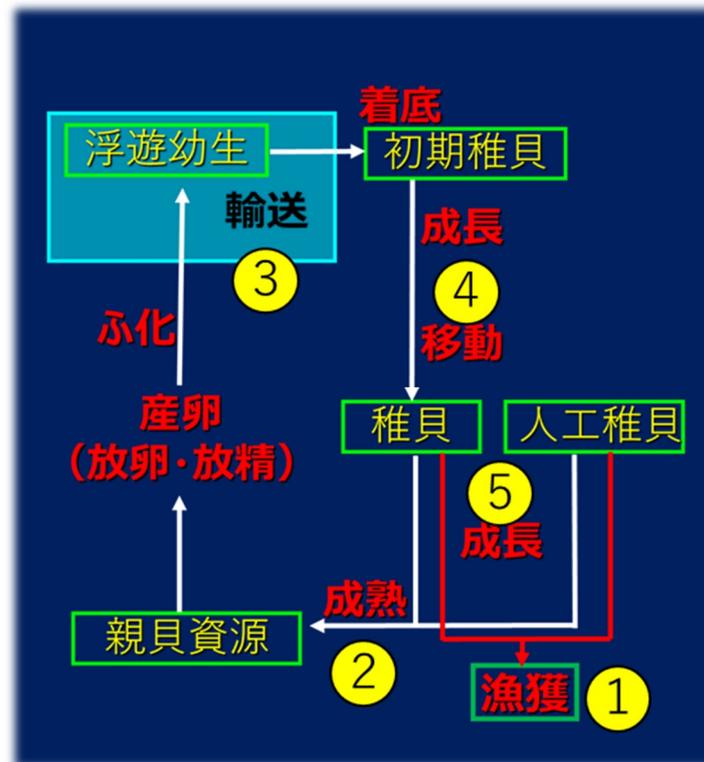


図 1. 本ガイドラインで想定したアワビ類生活史におけるネットワークの分断箇所と本ガイドラインでの関連ページ

密漁を含む乱獲によって、子孫を残すために十分な親貝資源が残されていません。

(関連：人工種苗を用いた親貝資源の形成 p.4)

アワビ類の餌となる大型海藻類の消失（磯焼け）によって、生殖巣の成熟が進みません。

磯焼けによって、稚貝から親貝への成長が阻害されています。

(関連：磯焼けの進行とアワビ資源の減少 p.2、藻場造成地点の選定 p.5、母藻設置方法 p.6)

浮遊幼生の中にアワビが生息できない場所に流されてしまうことがあります。

(関連：流れを考慮した親貝の保護区と稚貝場造成地点の選定 p.3)

初期稚貝から稚貝へと成長する段階で棲み場が変わりますが、近くに良い棲み場が無いと死亡する可能性が高くなります。

(関連：稚貝に適した生息場の造成 p.7、稚貝生息場の造成ガイドライン p.8～)

1.人工衛星画像の解析によって過去の藻場の状態を再現する手法を開発し、磯焼けの進行にともなってアワビ資源が減少したことを確かめました

アワビ類は海藻を主な餌としているため、海藻がなくなる磯焼けの進行とともに資源が減少すると考えられていました。しかし、過去からの藻場の変動が不明なため、その関係を明らかにすることができませんでした。今回、過去に撮影された人工衛星の画像から藻場の状態を再現する手法を開発し、タイプ別の藻場面積の変化を推定しました。タイプ別の藻場ごとにアワビ類の成長、産卵数等を推定し、海域全体のアワビ資源の収容力を計算しました。その結果、磯焼けの進行によりアワビ資源の収容力が低下し、アワビ資源も減少したことが明らかになりました(図2~4)。

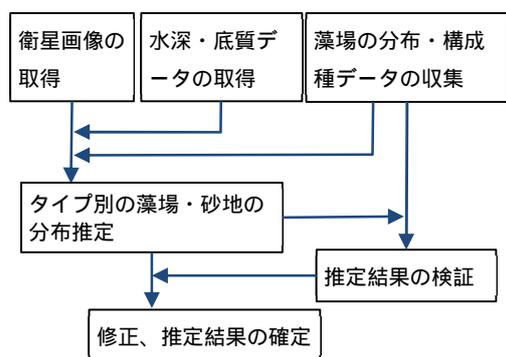


図2.衛星画像からの過去藻場推定フロー図
衛星画像から過去の藻場の状態を再現する方法の概略。衛星画像撮影年に現地調査されていることが望ましい。

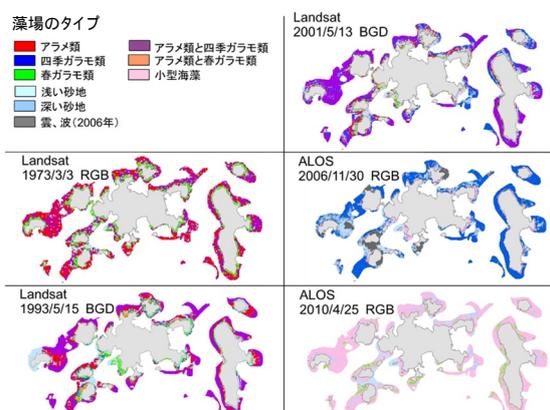


図3.推定された藻場の変遷
衛星画像より推定された長崎県五島列島小値賀町周辺海域の藻場の分布を示す。アラメ場 四季ガラモ場 小型海藻と変化した。

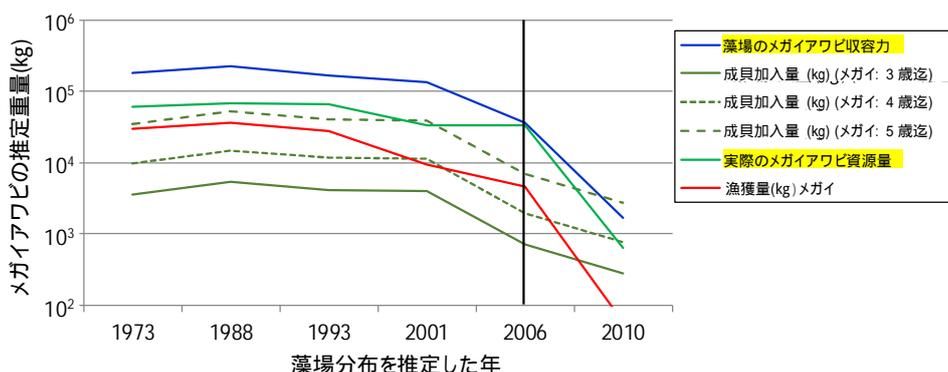


図4.長崎県小値賀島海域における過去の藻場の変遷に伴う、藻場が維持できるメガイアワビ資源量の推定結果

2006年以降、藻場の衰退により藻場が維持できる資源量も、実際の資源量も急激に減少し、メガイアワビ(わずかなマダカアワビも含む)の漁獲量も大きく減少した。

*藻場のメガイアワビ収容力とは、その年における藻場タイプ別の分布面積とその比率および、藻場単位面積あたりに生息可能なアワビ資源量から計算された、調査海域で生育可能なメガイアワビの資源量を示している。

*資源への新規加入量はそれぞれ、各歳の殻長サイズから漁獲を開始した場合、漁獲を逃れた個体の再生産によって翌年以降に漁獲サイズに加入できる資源量の推定値を示している。

2. 海水の流動モデルにより、浮遊幼生の輸送と着底場所を予測することができるようになりました

アワビの親貝から生まれた浮遊幼生は5~7日程度、海の流れとともに輸送されます。この輸送期間中にアワビが生息できない場所に浮遊幼生が流されてしまうことがあるため、浮遊幼生の輸送と着底場所を考慮して、適切な場所に親貝高密度生息域(産卵場)をつくる必要があります。このため、流動モデルとよばれる海の流れを再現できるコンピュータプログラムをつかって、浮遊幼生がどのようにして海の流れに輸送され、どこに着底するのかを予測する手法を開発しました。

本プロジェクトで開発した手法により、図5で示しているように、ある漁場で生まれた幼生が浮遊期間中にどのような経路を通過して、どこまで輸送されるかを予測できるようになりました。また、図6で示しているように、ある親貝場で生まれた幼生が、どの場所に着底しやすいかを予測することが可能になりました。

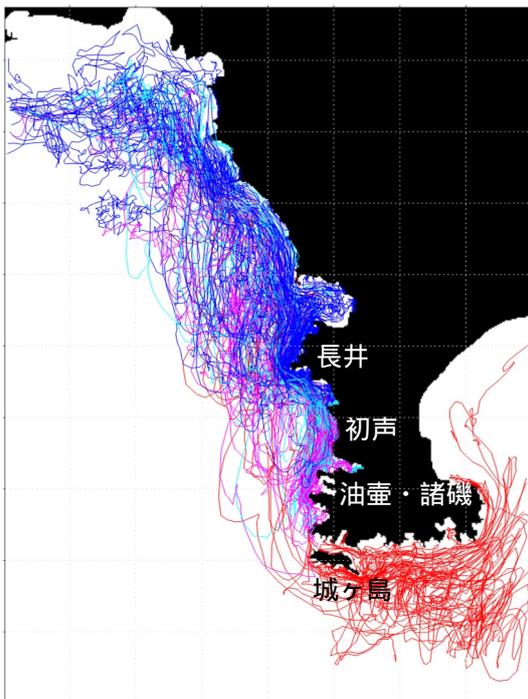


図5. 浮遊幼生の移動シミュレーション
漁場から浮遊幼生が海の流れと共に移動する様子を線で表したコンピュータシミュレーションの一例。
各色はそれぞれ以下の地先産卵地からの移動シミュレーションを示す。
青色:長井地先
水色:初声地先
ピンク:油壺・諸磯地先
赤色:城ヶ島地先

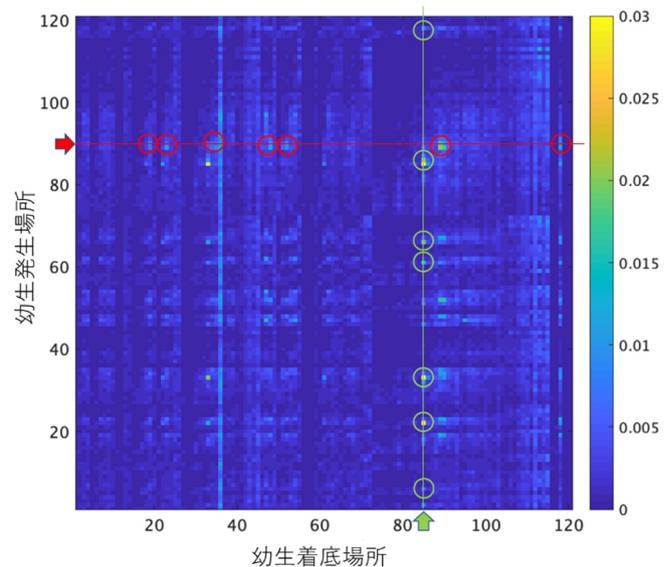


図6. 浮遊幼生の着底場所推定

シミュレーション結果の一例。幼生が発生した場所(縦軸番号)から他の場所(横軸番号)にどれだけ幼生が供給されやすいかを色で示している。赤矢印の地点ではそこで生まれた幼生が複数の場所(赤丸)に着底しており、母貝場として重要と考えられる。また、緑矢印の地点は複数の発生場所(緑丸)で生まれた幼生が着底することから稚貝場として適していると考えられる。

3. アワビ類の親子判別が可能となる遺伝子解析技術を開発し、野外調査によって放流した人工種苗が子孫を残していることを確かめました

アワビ類の資源減少は、総産卵量が減ることに加えて、親貝の生息密度が低下すると雌雄間の距離が広がるために受精率が低下することなど、再生産力にも影響を及ぼします。しかし、現状では資源(漁業)管理だけでは、解決が困難な状況まで親貝量が減少しているため、親貝集団の保全・増強を目的とした人工授精によって生産された稚貝を放流する栽培漁業が行われています。アワビ類の栽培漁業では、放流種苗が天然貝と同様に再生産に寄与しているかが問題でした。本研究では親子判別に有効な遺伝マーカーを開発し、実際に放流されたエゾアワビと漁場から採集した稚貝の間で親子判別を行うことで、放流種苗の再生産寄与を確認することができました。ただし寄与度の定量化は今後の課題です(表1~2, 図7~8)。

表1. 大型人工種苗の放流によるエゾアワビ親集団の形成

年	放流数	平均殻長(mm)
2013	9,200	64.1
2014	9,450	69.3
2015	7,800	70.1
2016	8,500	71.3
合計	34,950	68.6

試験区に放流した大型人工種苗数と平均殻長。

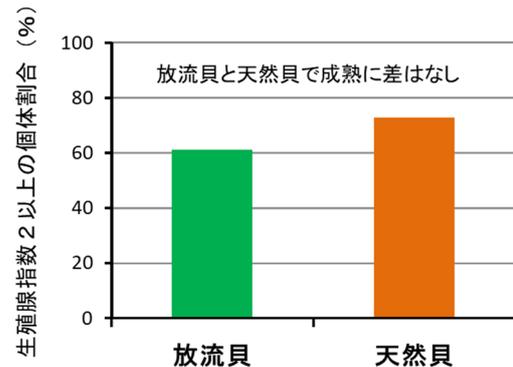


図7. 放流貝の成熟状況

放流試験区周辺海域から産卵期に採集したエゾアワビの成熟状況に(生殖腺指数が2以上なら産卵に参加)、放流貝と天然貝で差はなかった。

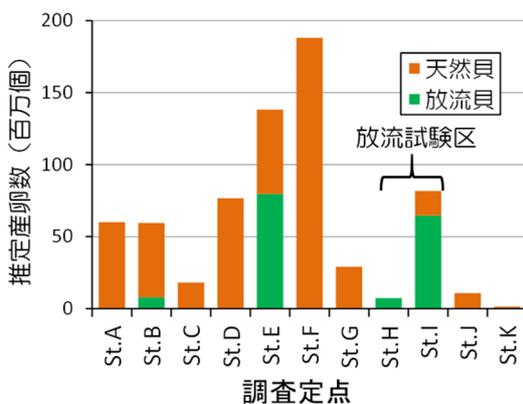


図8. 資源量調査結果に基づく推定産卵数

産卵期に放流試験区周辺海域の親貝の資源量調査を行い、放流貝と天然貝の産卵数を推定。

表2. 遺伝マーカーによる稚貝の親子判別結果

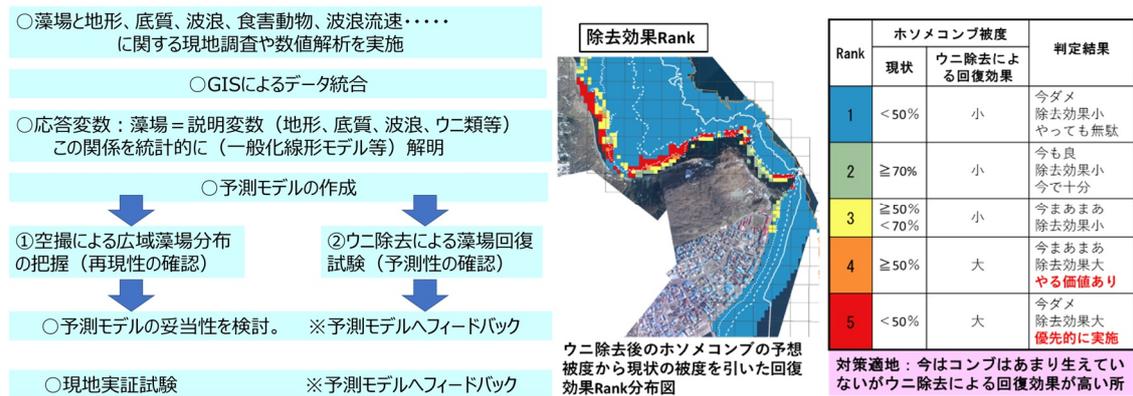
親の組み合わせ結果	稚貝数	組成割合 (%)
天然貝X天然貝	392	89.7
天然貝X放流貝	31	7.1
放流貝X放流貝	14	3.2
合計	437	100

放流試験区周辺海域で採集した稚貝の親子判別を行った結果、放流貝の子供は10.3%だった(片親を含む)。

4. ウニ類を除去した場合の回復可能性について事前評価手法を開発し、効率的な藻場回復が可能となりました

全国各地で磯焼け対策としてウニ類の除去が行われていますが、ウニ除去により藻場が回復する可能性が高い場所を事前に選定できれば、より効果の高い対策が実施できます。そのため、対策対象海域の中で効果が得やすい場所を評価する技術(事前評価手法)を開発し、実際に選定された場所でウニ除去を行って事前評価手法の妥当性を確認しました(図9~11)。

なお、南日本では今回の事前評価手法に組み込んでいない植食性魚類の影響が大きい場合があるため、本手法の適用にあたってはその点を注意する必要があります。



事前評価手法の考え方と検証方法
ウニ除去によるホソメコンブの回復効果 (Rank)
図 9. 事前評価手法の概要 (環境条件を説明変数として対象藻場を応答変数としたモデル作成)

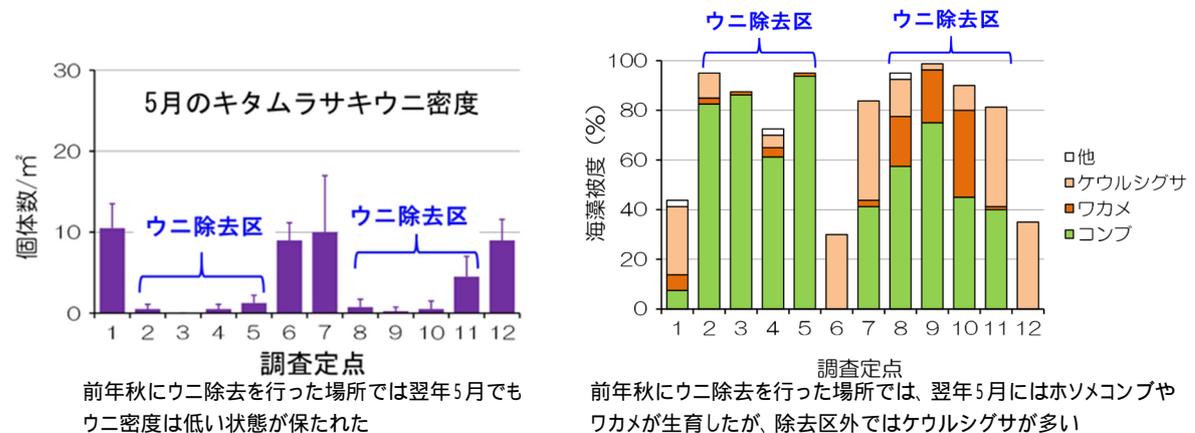


図 10. 選定された適地でのウニ除去試験と結果 (Rank5 の場所でウニ除去を実施)

・事前評価手法により藻場の回復効果が高い(Rank 5)と評価された場所で、ウニ除去を行った結果、ホソメコンブやワカメの群落が回復しました。
・事前評価手法で予測したホソメコンブ被度は、実際に調べた被度とほぼ同じ値でした。

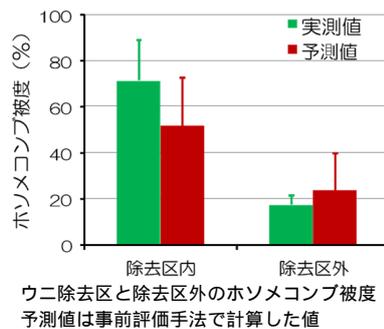


図 11. 予測値と実測値の関係 (事前評価手法の予測値と実測値の比較)

5. 現場で取り組みやすいホンダワラ幼胚の供給方法を開発しました

藻場造成では、ウニ類をはじめとする海藻を食べる動物の密度を下げ、成熟した母藻を設置し幼胚（タネ）を供給する必要があります。

一般的な母藻をネットに入れて設置するスポアバッグと呼ばれる方法では、中で海藻が偏ったり、締め付けられたりして痛むことが問題となっていました。そこで、スポアバッグの形状を改良しました(図 12)。改良したスポアバッグは、網の中に、円形の枠を結束バンドで固定し、浮子を上部に取り付けたものです。さらに、スポアバッグ上部の目合いを大きくし、そこから母藻を引き出すことにより、成熟前の海藻を約 2 か月間保持できることが確認されました。

中層網は、網地に母藻をくくりつけ海中に浮かせて幼胚を供給する時に使います。これまでは、2重網に海藻を巻き付ける方式でしたが、1枚網に結束バンド（幅が極力細いものが良好）で海藻を結束することにより簡素化した方法を開発しました。1か月後の母藻流出率はこの改良型では従来型に比べ低く、従来型同様生長も見られました。



図 12. 改良型のスポアバッグ

ホンダワラ類の母藻設置の場合、成熟期が近く、かつ、幼胚をまだ出していない海藻を設置することで、確実に幼胚をまく必要があります。ホンダワラ類の幼胚を作る部分である生殖器床に見られる開口部周辺が黒化することが幼胚を出す指標となることが分かりました(図 13)。

本プロジェクトでは、巻貝やウニ類などのいない新しい石を基質として、藻場を形成するのに必要な母藻の量を推定しました。マメタワラでは雌母藻 0.5~1.0 kg(改良型スポアバッグで実施)で、また、ヤツマタモクでは母藻 5 kg(雌雄区別せず中層網で実施)で 100 m²の藻場を形成させることが可能でした。ただし、実際の藻場造成では石の表面の浮泥や付着生物、また、巻貝などの影響により、落ちた幼胚が海底に付着しにくかったり、小さいうちに食べられてしまったりする可能性がありますので、注意が必要です。

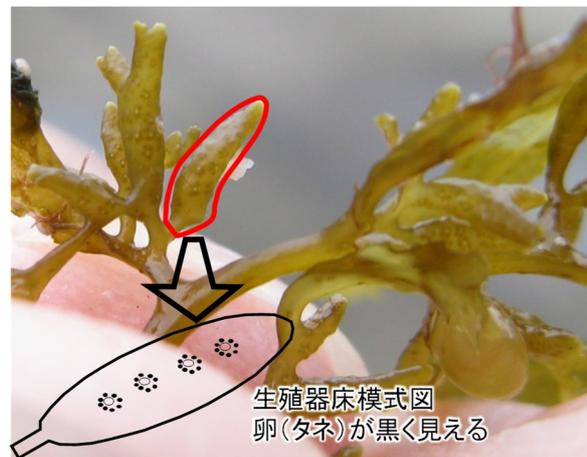


図 13. マジリモクの生殖器床(赤線内; タネを付ける部分)と設置適期の模式図

6. 本プロジェクトでは、野外調査で稚貝の主な生息域を特定するとともに、アワビ稚貝が成長にともなって好適な棲み場に移動できるように、漁場間の連結性を考慮した漁場造成手法を開発しました

我が国のアワビ類の漁獲量は近年減少傾向が続いています。資源増大をめざした人工種苗の放流が1970年頃から長い間積極的に行われていますが、回復の兆しはみられていません。その原因としては、まず磯焼けをはじめとした生息環境の悪化が想定され、藻場の回復をめざしたいろいろな試みが行われています。しかし、磯焼けが発生していない海藻群落が豊かな海域においても広範囲に資源減少が認められていることから、磯焼けとは別の要因による天然アワビ類資源の減少も想定しなくてはなりません。磯焼け以外の要因も取り除かないと、仮に磯焼け対策に成功したとしてもアワビ類が資源回復できないかもしれないわけです。

神奈川県三浦半島相模湾沿岸では、カジメやアラメの大型海藻群落の豊度が高く(2013年時点)、アワビ類の浮遊幼生および着底初期から稚貝期の個体が比較的高い密度で観察されるにもかかわらず、水揚げされるアワビ類の9割が放流された貝であり、天然貝の再生産に問題がおきていると見られる状態が続いていました。そこで、アワビ類の生活史のどこかに生じているボトルネックを突き止め、その解消手法を明らかにするための研究を進めたところ、親貝場の保護・造成よりも、稚貝生息に不適な場の生息好適性を上げ、親貝場と稚貝場の連結性(ネットワーク)を向上させることが最も再生産改善に効果があるという結果が得られました。

【稚貝生息場の造成ガイドライン】

これらの研究結果に基づいて、アワビ類生活史ボトルネックの解消手法として「稚貝生息場」の造成を提案し、ガイドラインとしてその方法について具体的事例を交えて説明します。なお、本ガイドラインは稚貝生息場を人工的に造成することによる資源の回復・増大を目的としたものです。天然の稚貝生息場の管理方法や種苗放流適地については、*静岡県の「メガイアワビ稚貝場造成指針」などを参考にしてください。

(1) アワビ類生息場の調査・評価手法

好適な稚貝生息場の条件

相模湾に面した神奈川県横須賀市長井地区沿岸の岩礁域（図 14）を調査したところ、暖流系の大型アワビ類（主としてメガイアワビ、クロアワビ）の稚貝は転石帯を生息場所としていて（図 15）、特に殻長 10 mm 台までの小さな個体は、一辺がおよそ 30 cm 以下の小型の転石（体積 9,000 cm³程度以下）に限定的に生息していることが分かりました。



図 14. 相模湾の沿岸転石帯（神奈川県横須賀市長井）

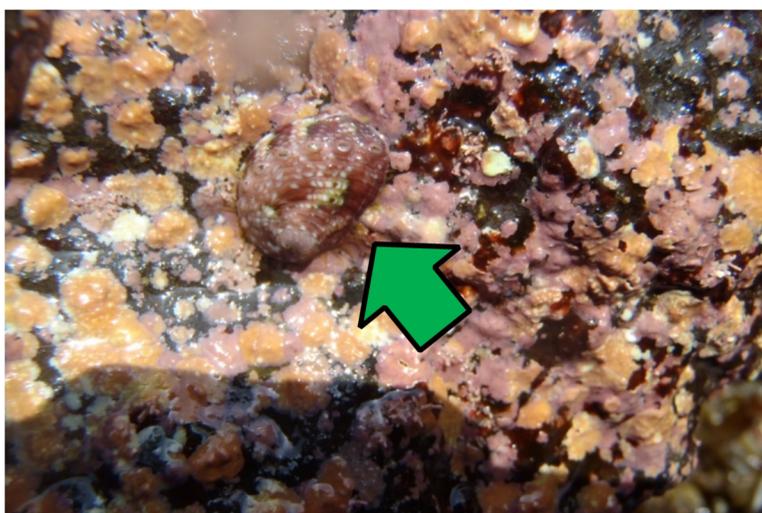


図 15. 転石上で見つかるアワビ類稚貝

不安定な小型の転石は、波浪などの影響で基質表面の更新が起こりやすいことから、稚貝の生息場所として好適な無節サンゴモ群落が形成され、無節サンゴモ上のバイオフィームや付着珪藻によって殻長 10 mm 台までの小型個体にとっては好適な餌料環境となります（注記参照）。殻長 20 mm 以上に成長すると大型の転石や岩盤にも生息範囲を広げますが、この移行段階では、付着珪藻から小型海藻や大型褐藻の幼芽等へ食性の変化がおこるものと考えられ、この段階で生息場所の移動に成功できなかった場合、飢餓や被食によるものと推定される大きな減耗を生じます（図 16）。

なお、小型のアワビ類であるトコブシには転石のサイズを選び好みする傾向はなく、成長にとまなう生息場所の移動はないと考えられています。

注記：相模湾沿岸では、暖流系大型アワビ類の稚貝の生息場所として小型転石が好適です。同じ黒潮域の静岡県沿岸におけるメガイアワビ稚貝の生息場の好適条件は「20～30 cm サイズのごつごつした石」とされています（「メガイアワビ稚貝場造成指針」静岡県 2019, あたらしい水産技術 No.654）。一方、日本海側などでは巨礫の接触面の間に稚貝が生息することが知られています。このような海域差は、生物相や気候・海況の違い等に応じて稚貝にとって好適な生息環境が保たれる場所が異なるため生じると考えられます。

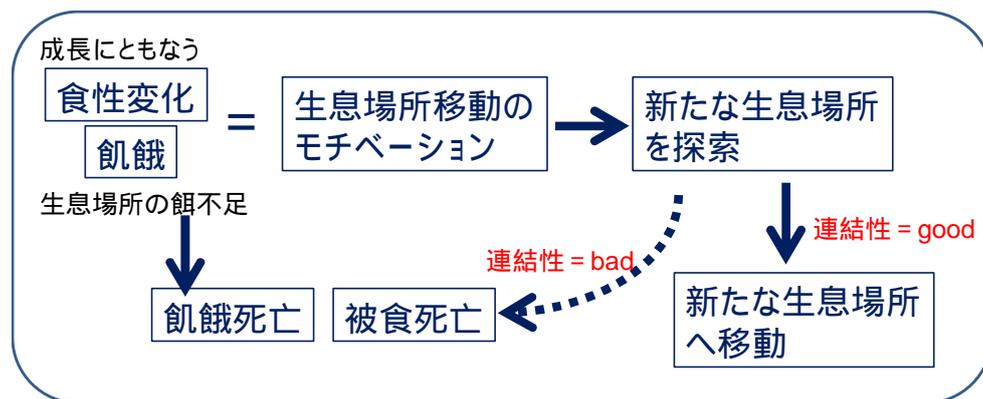


図 16. 生息場所の移動の成否

殻長 20 mm 前後での食性変化にとまなうて起こる生息場所の移動の成否は、「稚貝場」と「成貝場」の連結性の良し悪しで決まるものと考えられます。

稚貝生息場所の調査方法

好適な稚貝生息場所の条件は海域によって少しずつ異なると考えられますので、それぞれの海域で稚貝の生息場所を探索する調査が必要です。ここでは、相模湾沿岸で行っている稚貝調査の方法を紹介します。なお、アワビ類の稚貝をサンプリングする場合は、特別採捕許可が必要になりますので、調査前に地元漁協の同意を得た上で、必ず都道府県知事の採捕許可証を取得するようにしてください。

【調査方法】

- ・調査場所の転石を一つ一つ丁寧に調べます（複数調査員がいる場合、1名は記録）。（調査人数は CPUE(単位時間あたり一人あたり稚貝発見数)の計算に使えるので、記録者を除いた人数も記録）

- ・調べた転石の数、および調査時間は CPUE の計算に使えるので、確実に記録します。
- ・調査時間は 40 分～1 時間半くらいが目安です。

記録すること

- 1) 転石に番号を振り、石のだいたいの大きさ (cm) を記録 (例 10×15×7)。オプションで石のおおよその形状も記録するとよい (例 玉石、凹凸多い、など)
- 2) 無節サンゴモの被度。石全体がピンクのサンゴ藻に覆われている状態を 100%として、サンゴモの被度を目視で記録 (5～10%刻み)
- 3) 転石の付着生物を分かる範囲で種類と数を記録 (例 海藻幼芽、カサガイ類、ヒザラガイ類、小型巻貝、イソギンチャク類、カイメン類、ヒトデ類)
アワビ類が付着していない転石でも記録
小型巻貝類はわかる範囲で種まで査定のうちえ記録
- 4) アワビ類稚貝の有無。これが一番重要。慣れないうちは、石をなめるように観察しましょう。
- 5) アワビ類稚貝を発見したら、殻長をノギスで計測。持ちかえってからでかまわない。どの転石でとれたか「転石 No.」がわかるようにしておく (個体識別できるように記録)

現場調査が終了したら、大型アワビ類とトコブシを判別して、CPUE や転石 1 個あたりの発見数、単位面積あたりの発見数などを計算すると、場所や時期による稚貝密度の変化を調べることができます。また、どのようなサイズの転石に稚貝が多いか分かるので、稚貝生息場を人工的に造成する際に、どのような基質を使ったらよいかの参考になります。

見つけた稚貝の種類 (大型アワビ類とトコブシ) ごとの数

10 mm ほどに成長した稚貝であれば、見た目からだいたい種が判別できます (表 3)。しかし、小さいうちは種類の見分けがつきにくいので、水中で分からなかった場合は小さなチャック付きポリ袋などに小分けにして持ち帰って調べましょう。大型アワビ類かトコブシかは、穴の数とサイズの関係から判別できます (*Onitsuka et al. (2007)、参考図 p.12)。大型アワビ類のうちどの種か知りたい場合は、DNA の塩基配列の違いから調べることもできます (*山崎・鴨志田(2018)を参照)。大型アワビ類よりたくさん採れることもあるトコブシの稚貝は、生息場としての質を知る上で貴重な情報源になります。

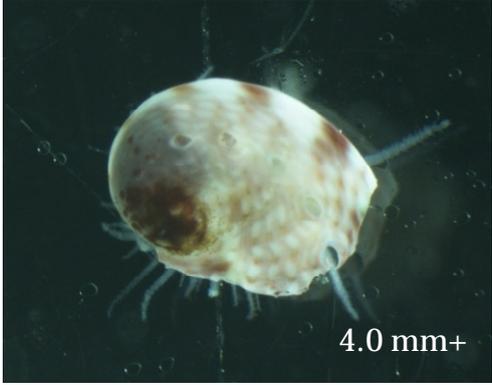
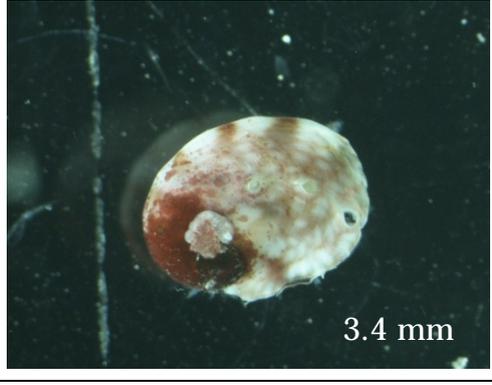
稚貝のサイズ

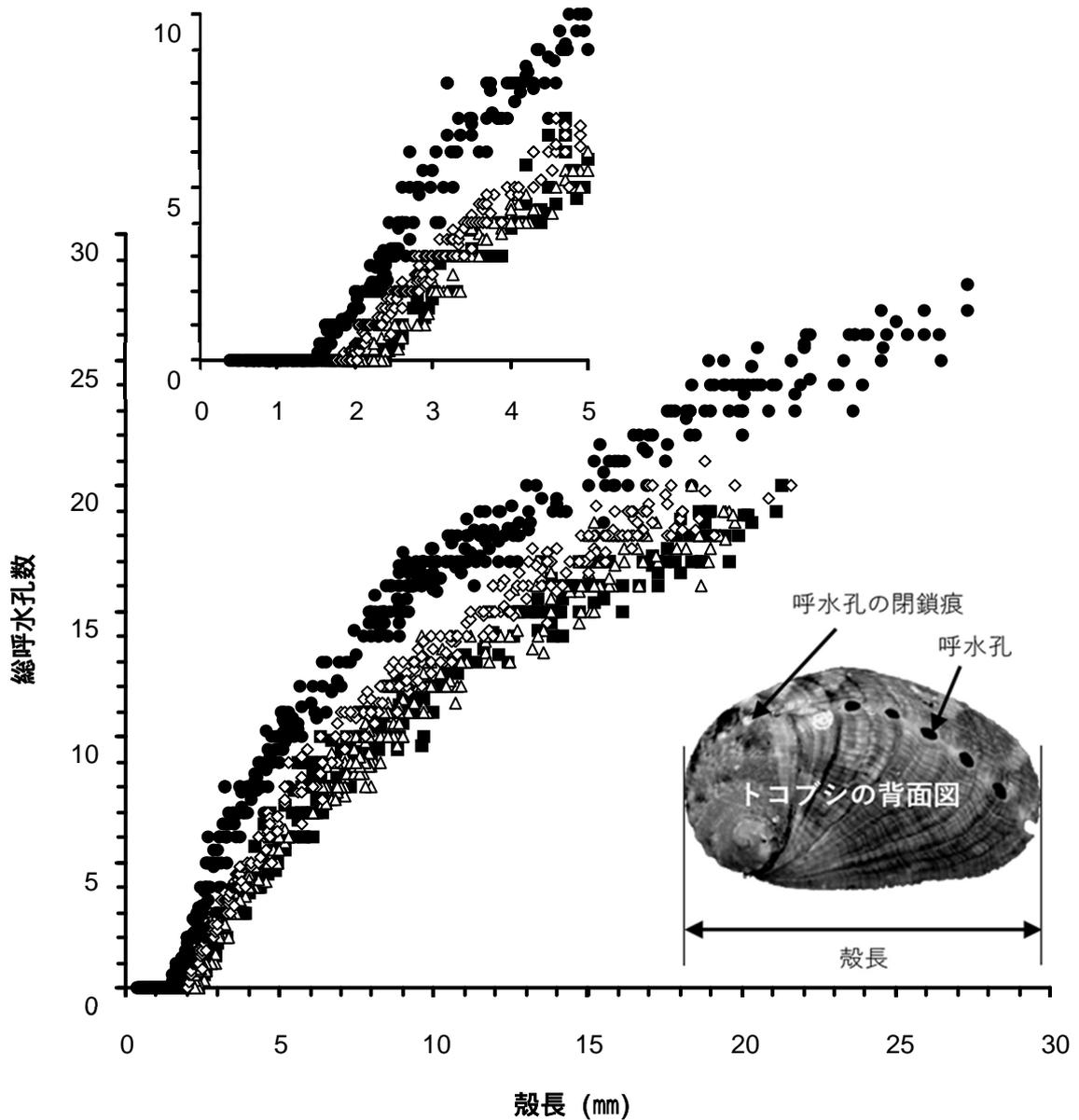
稚貝の成長を知る上で重要な項目となります。小型のノギスを使って測定しましょう。

調べた石の種類 (投入した石か天然の石か) と状態

上のような記録項目は、投入した石だけでなく、周りにある天然の石でも調べましょう。これにより、造成した生息場と天然の生息場の比較をすることができます。

表3. 大型アワビ類とトコブシの稚貝の形態

	殻長 5 mm 未満	殻長およそ 11 mm
クロアワビ	 <p>4.0 mm+</p>	 <p>11.2 mm</p>
メガイアワビ	 <p>3.4 mm</p>	 <p>10.6 mm</p>
トコブシ	 <p>4.3 mm</p>	 <p>11.3 mm</p>



参考図 アワビ類 4 種の殻長と総呼吸孔数の関係. クロアワビ (: n = 473), トコブシ (: n = 588), メガイアワビ (: n = 331)、マダカアワビ (: n = 333).

同じサイズ(殻長)では、トコブシの総呼吸孔数がその他の3種より多いことから、トコブシと大型になるアワビ類(クロアワビ、メガイアワビ、マダカアワビ)の稚貝の判別ができる。

図の引用元) *Onitsuka *et al.* (2007)

(2) アワビ類稚貝生息場造成手法

造成適地の選び方

稚貝の生息場を造成する場所は、効果を上げる上でとても重要です。これまでの研究をもとに、生息場をどこに造成するか決めるための基準となる3つのポイントを紹介します。

1) よい成貝生息場の近くが造成に適しています

(1) で説明した通り、アワビ類の稚貝のすみかとして環境が良い場所であっても、成貝のすみかとなる場所が近くにないと、多くの稚貝は成長できずに死んでしまいます。そこで、稚貝の生息場を造成する場所として、よい成貝のすみかがある場所の近くを選びましょう。例えば、アワビ類の禁漁区に設定されている場所や、濃密なアラメ・カジメの藻場がある場所の近くなどが有力な候補になります。

2) 岬状に張り出した地形は目印になります(図17)

海岸線に沿った流れがある場合、岬の近くには流れの上流の成貝場で産まれたアワビ類の卵や浮遊幼生が運ばれてくる可能性が高くなります。また、潮の満ち引きにともなう打ち寄せや渦などの影響で、流されてきた幼生が溜まっていくので、稚貝の生息場がしやすい環境と言えます。沖に張り出した岩礁の付近もこれと同じ効果が期待できます。

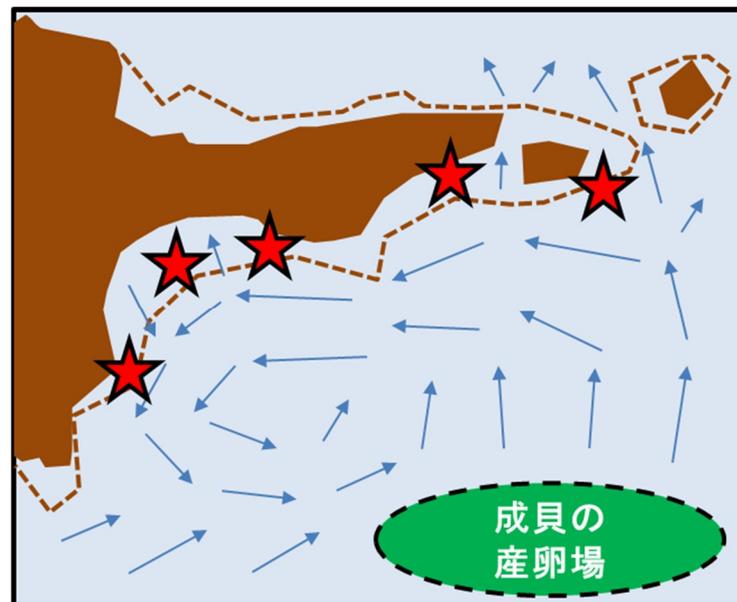


図17. アワビ類の稚貝の生息場がしやすい地形条件のイメージ (★が好適地)

3) 可能であれば稚貝生息場ができるポテンシャルを確認します

稚貝や浮遊幼生などに関する調査を行うことが可能なら、その情報を利用できます。

稚貝の調査方法については、(1) で説明した通りです。例えば、わずかな数の転石にアワビ類の稚貝がたくさん住んでいることが確認された場所は、稚貝生息場としての高いポテンシャルがあると言えます。こうした場所の近くに転石を投入すれば、そのポテンシャルを有効利用できると考えられます。

また、浮遊幼生が採集できれば、実際に幼生が運ばれてきていることの確認になります。この調査には専門的な道具と技術が必要なので、実施したい場合は都道府県の水産試験場や国の研究機関に相談すると良いでしょう（参考1）。

（参考1）アワビ類の浮遊幼生調査の方法

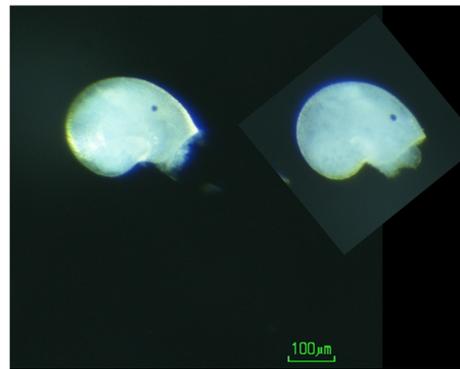
暖流系アワビ類の浮遊幼生はだいたい10月後半から1月の間ごろ出現しますが、そのピークは水温や時化の影響を受け、場所や年により大きく変動します。出現ピークを確実に捉えるには、週に1~2回程度のペースで調査を行うことが望まれます。

浮遊幼生のサイズは290 μm ほどなので、150 μm 程度の目合いのプランクトンネットを使って採集します。浮遊幼生は発達段階によっていろいろな水深を漂っており、また多くの場合とても低い密度で散らばっているため、網の曳き方が重要となります。例えば、水深0 m、3 m、6 mで1分ずつ水平に曳く調査を複数回行うなどすれば、採集できる可能性は高まります。ネットに濾水計を取り付けておけば、幼生の密度（個体数/ m^3 ）も計算できます。

海水を含む採集物に約5%となるようエタノールを加えて持ち帰り、実体顕微鏡で幼生の数を計数します。アワビ類の幼生の外見はどれも似通っているため、種を判別したい場合はDNAで調べる必要があります。



浮遊幼生採集の様子



浮遊幼生の拡大写真

（左：メガイアワビ、右：クロアワビ）

造成の方法と留意事項

効果的なアワビ類の稚貝生息場を作り出すには、いくつか注意すべき事項があります。そこで、稚貝生息場の実際の造成方法と、その際の注意点をまとめました。

1) 材料に関して

石のサイズ

（1） に書いた通り、稚貝の生息に適した石の大きさや重さは、その場所の流れや波の強さによって変わってきます。周囲にある天然の転石のうち無節サンゴモに両面がよく覆われている石のサイズを参考にして、大体の大きさを決めましょう。無節サンゴモに一部しか覆われていない石は大きすぎ（重すぎ）の可能性がありますが、神奈川県長井では、10×

10×20 cm 程度かそれ以下のサイズが稚貝のすみかに適していることが分かっています(図18)。

造成した稚貝生息場が長期間機能するためには、投入した石が砂に埋もれたりどこかに流されたりしないことも重要です。逆に、石が全く動かないと、稚貝の生息場としてあまり適した環境になりません。可能であれば色を付けた石の移動を追跡する実験を行い、様々な大きさ・重さの石を比較してみると良いでしょう。大体の目安ですが、動く方向が均一でなく、1か月に動く距離が平均して数 cm ~ 30 cm 程度であれば問題ないと考えられます。

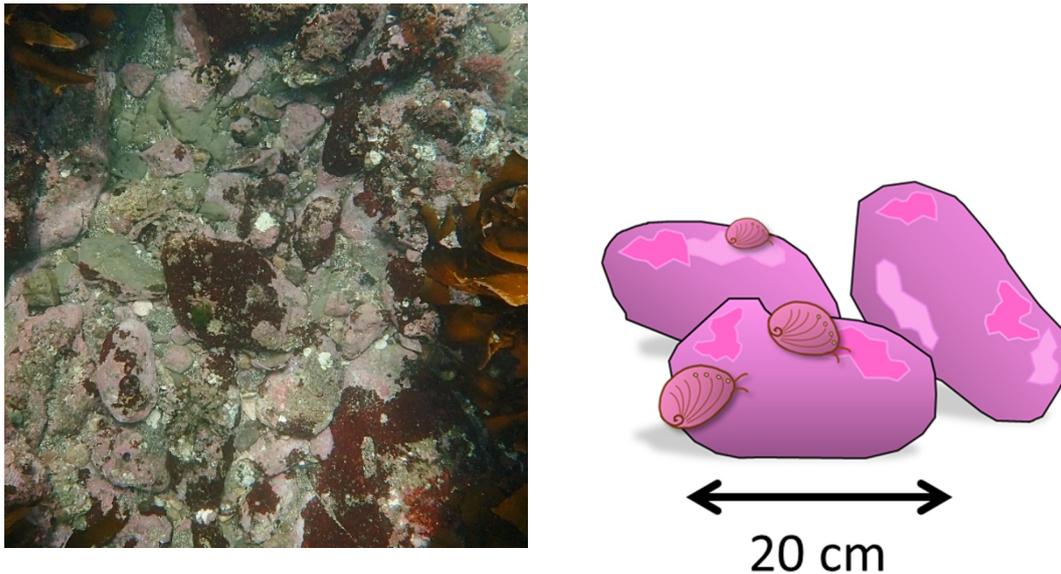


図18. アワビ類の稚貝の生息に適している天然の転石のイメージ
(神奈川県長井での例)

石の材質

石の表面がざらざらしすぎていると稚貝が吸いつきづらく、逆に滑らかすぎても稚貝が隠れる場所(ちょっとした凸凹の影など)が少ないため、住み心地が良くありません。表面が磨かれていない割肌の御影石(花崗岩)には適度な滑らかさと凹凸があり、投入する石として適していることが確認されています(図19)。これはいわゆる園芸・舗装用のピンコロ石として様々なサイズのものが市販されており、比較的安価(1個170円程度)です。

石の数

40~50 m²ほどの広さの小規模な造成であれば、大きさが9×9×18 cm程度の石の場合で1,300~1,500個程度用意します。

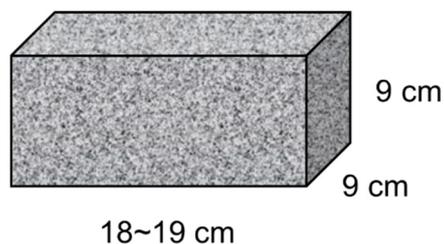


図 19. アワビ類の稚貝の生息に適している造成用の石の例
 (サイズ 9×9×18~19 cm、割肌の御影石でできたピンコロ石)

2) 造成の方法に関して

ここでは、民間で行えるようなごく小規模の生息場造成の場合の実際の方法について説明します。

造成の時期

秋ごろを推奨します。アワビ類の浮遊幼生が着底し成長するには、石が無節サンゴモに覆われている必要があります。このため、浮遊幼生が現れる 11~1 月頃から逆算して、遅くとも 10 月初旬ごろまでには石の投入を行った方が良いでしょう。それに備えて、造成する地点や投入する石のサイズ・種類・数などの計画を立てておきましょう。

設計

砂地の上に造成する場合、石が散らばっていると砂に埋まりやすく、稚貝にとっての生息空間も限られるので、ある程度積み重なるように石を投入する必要があります。ただし、石が密集しすぎると、石同士ががっちりと組み合せて動かなくなり、アワビ類の稚貝が住みにくい環境になってしまいます(図 20)。9×9×18 cm くらいのサイズの石なら、1 m²当たり 40 個程度の密度を目安に敷き詰めると良いでしょう。

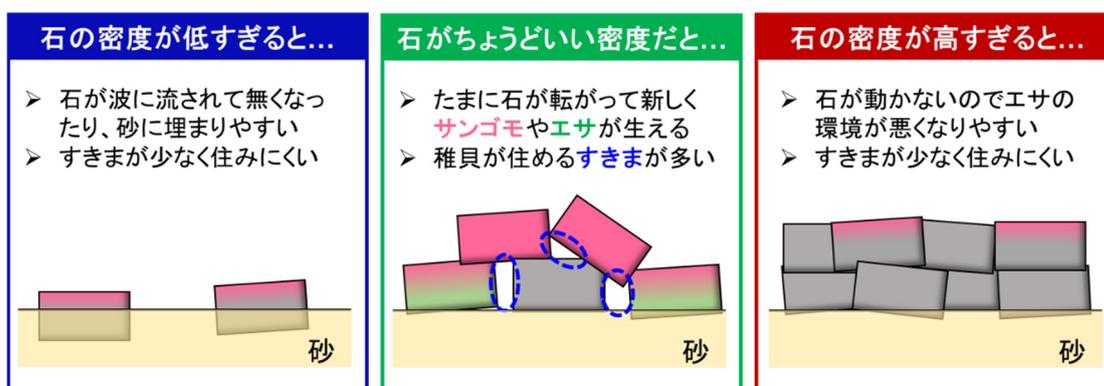


図 20. アワビ類の稚貝が生息しやすい石の密度のイメージ

投入作業

それぞれ石を積み込んだ小型の船 5~6 隻に分かれて行うとスムーズです（図 21）。各船から海にやみくもに投入すると、石は想像以上に広い範囲に散らばってしまうので、あらかじめ投入地点に目印のブイを浮かべておき、ブイのすぐ近くに石を投げ入れるようにします。



図 21. アワビ類稚貝の生息場造成作業の様子（左：積み込み作業、右：投入作業）

投入後の配置の調整

投入後は、可能であればスキューバ潜水を行い、散らばった石の位置を修正したり、積み重なりすぎた場所をならすなどの配置調整を行うと効果的です（図 22）。

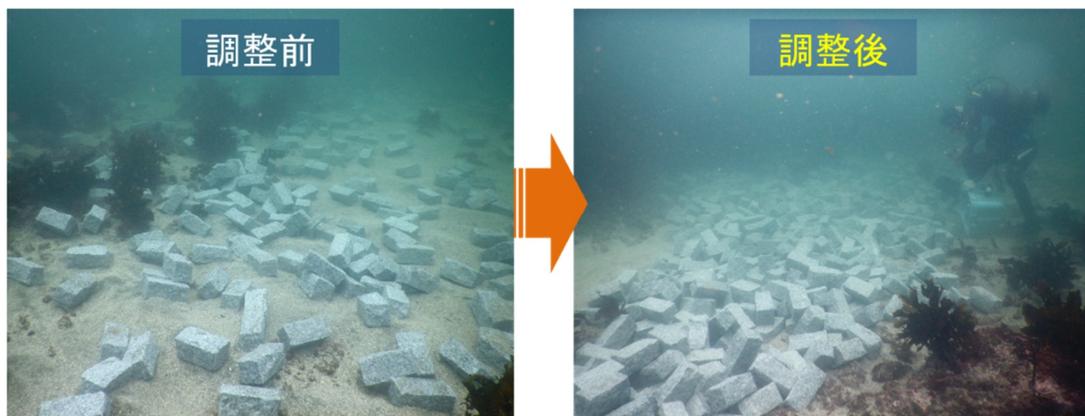


図 22. スキューバ潜水による配置調整前（左）と後（右）の海底の石の様子

(3) 造成稚貝生息場における調査手法と機能維持のためのメンテナンス指針

生息環境のモニタリングとメンテナンスの指針

造成後の生息場がアワビ類の稚貝のすみかとして適した状態になっているか観察を続けることは、稚貝の発生や成長の状況と比較して問題点を探ったり、メンテナンスの方針を決めたりする上で役立つので、できる限り行うことを推奨します。以下に、造成後の生息場の観察のとき特に注目すべき点とメンテナンス案を挙げます。

1) 石の表面の状態は？

石の表面に稚貝のエサとなるものがあるか、またそれが利用しやすい状態かどうかは、石の表面を調べればある程度分かります。投入してから半月程度の石の表面を観察し、ぬるぬるした緑～茶色のものに覆われていれば、アワビ類の稚貝のエサになる細かい藻類が生えてきています(図 23 左上)。さらに時間が経過すると、適当な環境下であれば、ピンク～赤色の無節サンゴモに覆われてきます(図 23 右上)。(1)にも書いたように、無節サンゴモの上はアワビ類の稚貝にとって生息しやすい環境であり、稚貝は無節サンゴモの上に生える小さな藻類を食べて育ちます。このようなエサがたくさん食べられる環境であれば、稚貝はすくすくと成長し、成貝の生息場までスムーズに移動することが期待できます。

一方、有節サンゴモやフジツボなどの生物で覆われたり、浮泥(ふわふわした泥状のもの)が積もったりした石の表面では、アワビ類の稚貝は満足にエサを食べることができず、成長が悪くなります(図 23 左下)。こうした状態になる原因としては、石が重すぎて動いていないことや、海水の交換が悪く流れがよどんでいることなどが考えられ、使う石や造成場所の選び方に問題があった可能性があります。ただし、夏ごろ一時的に浮泥に覆われても、その後再びきれいな石の表面に戻ることもあります。

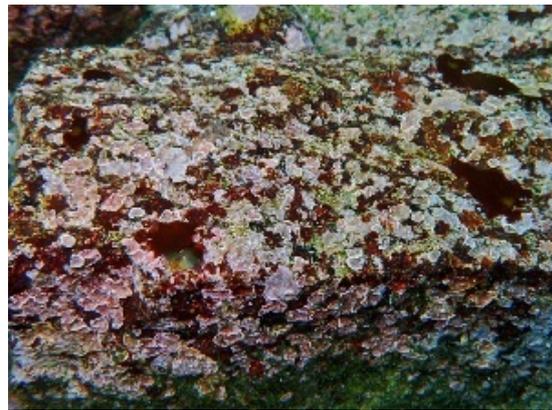
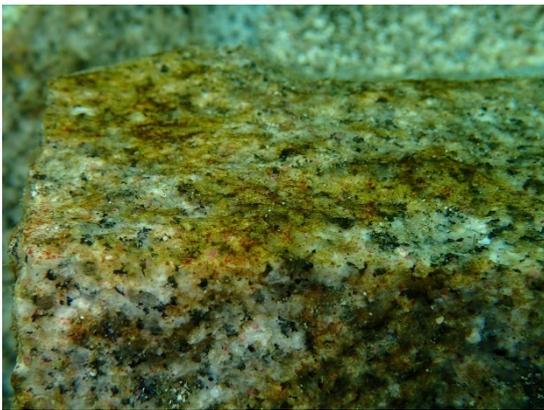


図 23. 石の表面のエサ環境の様子

- 左上：細かい藻類が生えた状態
- 右上：無節サンゴモが生えた状態
- 左下：浮泥が上に積もった状態

2) 石は砂に埋没していないか？

造成後長期間が経過したり、大きな時化が起こったりした後は、石が完全に砂に埋まって機能なくなる可能性があります。その場合の対策として、秋ごろに石を掘りおこしたり、新たな石を追加で供給したりすることが考えられます（図24）。これにより、稚貝の生息空間が増えるだけでなく、石の表面に新たにエサが生えてくることも期待できます。一部の石が少し砂に埋まった程度ならば、自然に石が砂の上に出た時に新たにエサが生えてくるので、悪いことばかりではありません。

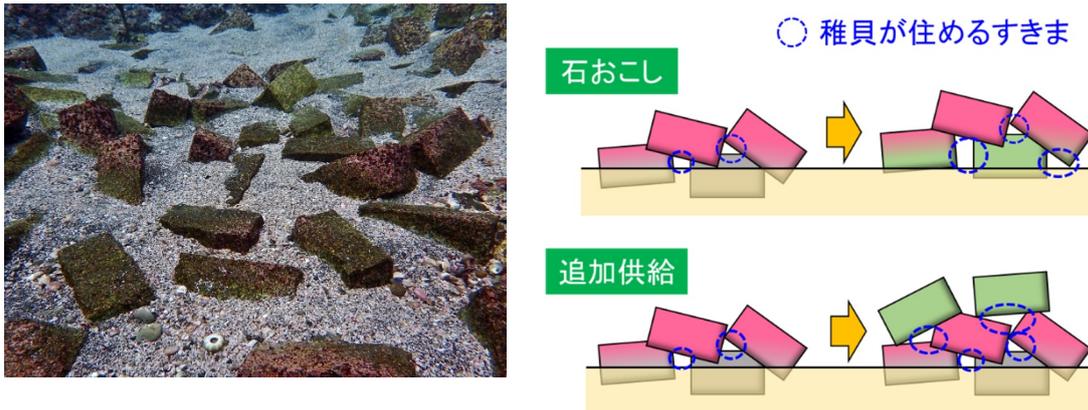


図24. 砂に埋まった石の様子（左）とその場合の対策例（右）

3) 周りの藻場の状態は？

また、周囲の成貝の生息場の機能にも注意を払う必要があります。例えば、磯焼けがおきそうな前兆をとらえたら、アイゴなどの食害生物の駆除や侵入防止、海藻の移植などを行って、成貝の生息場の機能を保ちましょう。当然、密漁などに目を光らせることも大切です。

4) 外敵が増えていないか？

造成した生息場の周りにアワビ類の外敵となる生物（タコ、ヒトデ類、イシガニ類など）が住みついていないか把握できていると、対策を立てることができます。例えば、タコはアワビの稚貝をたくさん食べることが分かっているので、造成稚貝生息場の近くで積極的に籠やタコ壺などによる漁を行うようにするなどの対策が考えられます。

稚貝の調査

造成した生息場に着底し成長したアワビ類について、スキューバ潜水によって調べることができます（図 25）。

稚貝が現れる時期は地域によって差がありますが、調査を始める時期は大体 1 月頃となります。着底してすぐの稚貝はとても小さく、潜水中に見つけるのは難しいので、石ごと持ち帰って調べましょう（参考 2）。だいたい 5 月頃になれば潜水中でも探せるサイズに成長するので、これ以降は目視で石に住み着いているアワビ類の稚貝を調べられます。調査は 1 か月に 1 度くらいのペースで行えば、十分な情報が得られます。

観察した石の数と、それぞれに何個体の稚貝が住んでいたか記録しましょう。石 1 個あたりのアワビの数と沈めた石の総数との関係から、造成した生息場におおよそ何匹のアワビが住んでいるか計算できます。



図 25. 造成した稚貝生息場での稚貝調査の様子

(参考2) アワビ類初期稚貝の生息調査方法

暖流系アワビ類の初期稚貝(殻長がおよそ3mm以下)は水中で見つけるのが難しいので、持ち帰った石から洗い出して採集します。

石がゆったりと入る大きさのチャック付きポリ袋を回収する石の数だけ用意し、それぞれ識別できるように番号を振っておきます。造成した生息場に船で移動し、スキューバ潜水を行います。海底の石をやさしく持ち上げて一つずつ袋に入れ、チャックを閉めて船に引き揚げます。このとき、石と一緒に海水を少し入れておき、袋の中の水が漏れないように気を付けて持ち帰ります。

回収した石を海水ごと袋から出してバケツに入れ、約10~20%程度に調製したエタノール海水の中にしばらく漬けておきます。これにより稚貝が麻酔され、石からはがれやすくなります。その後、石をバット上に移し、エタノール海水をかけながらペイント用のハケを使って石の表面をこすり、稚貝を洗い出します。十分に洗い出したら、バット上の海水とバケツの中の海水を150µmの目合いのフィルターでろ過します。石ごとに分けてフィルター上に残った粒子を10~20%エタノール海水でボトルに流し込み保存します。これらを実体顕微鏡で観察し、稚貝の数を計数します。形態からの初期稚貝の種判別は難しいので、種を判別したい場合はDNAで調べる必要があります。



洗い出し後の天然の転石(左)と造成に投入した石(右)



石から洗い出した試料のろ過

事例紹介(神奈川県長井地先の禁漁区内での造成例)

神奈川県長井の地先において、これまでにご紹介してきた方法で稚貝の生息場造成を行いました。その後、ご紹介した方法でモニタリング調査を行った結果についてご紹介いたします。なお、本項の内容を含む研究成果については、*澤山ほか(2019)として公表されておりますので、詳細はそちらをご参照ください。

実施した生息場造成に関する情報は表4の通りです。

表4. 神奈川県長井地先における生息場造成

造成年月日	平成28年9月13日
造成場所	荒崎南の禁漁区 水深約4m 岩礁と岩礁を分断する砂地上
造成面積	およそ4~5m×10m
石の種類	割肌の御影石(約9×9×18~19cm)
石の投入個数	およそ1,400個
その他	平成28年夏ごろまで周囲の岩盤は濃密な カジメ・アラメの海中林を形成していたが 同年秋頃に大規模な磯焼けが発生

1) 投入した石の状態

生息場造成の半月後には、早くも石の大部分は付着珪藻で覆われ、ピンク色の無節サンゴモも少し付き始めました。造成から4か月後の翌年1月には、周りの天然の転石と同じくらいまで無節サンゴモに覆われました。その後、一時的・部分的に砂に埋まったり浮泥で覆われたりすることもありましたが、造成1年5か月後の平成30年2月時点でも稚貝の生息場としての好適な状態は維持されていました(図26)。

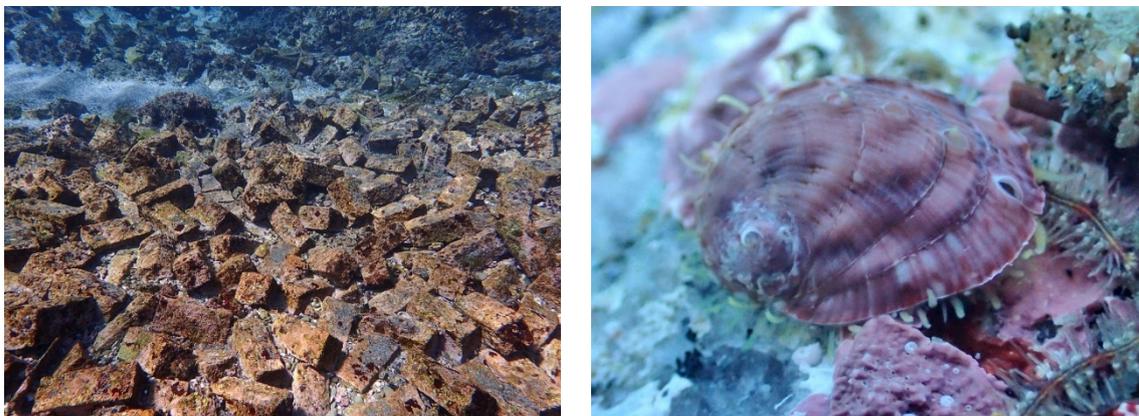


図26. 造成1年5か月後の生息場の状態(左)と見つかったアワビ類の稚貝(右)

2) 稚貝の出現状況

造成した生息場では、平成29年1月の段階ではトコブシの稚貝が多く見付き、2月にメガイアワビの稚貝が確認されました(図27)。大型アワビ類が最もたくさん見られたのは5月で、ランダムに調べた石10個あたり5匹のメガイアワビが見つかりました。投入した1,400個の石のうち1/3が生息場としての機能を失っていたと仮定しても、500匹程度のメガイアワビが住んでいたことになります。つまり、1㎡の中に12~13個体ほどのメガイアワビがいるということなので、とても高い密度と言えます。

その後も、造成した生息場では6月まで大型アワビ類の稚貝が確認できました。しかし、

7月以降は見つからなくなっていました。成長して周囲の岩場に無事に移動していった個体もいたと考えられますが、その後の生残についてはあまり良くなかった可能性があります。

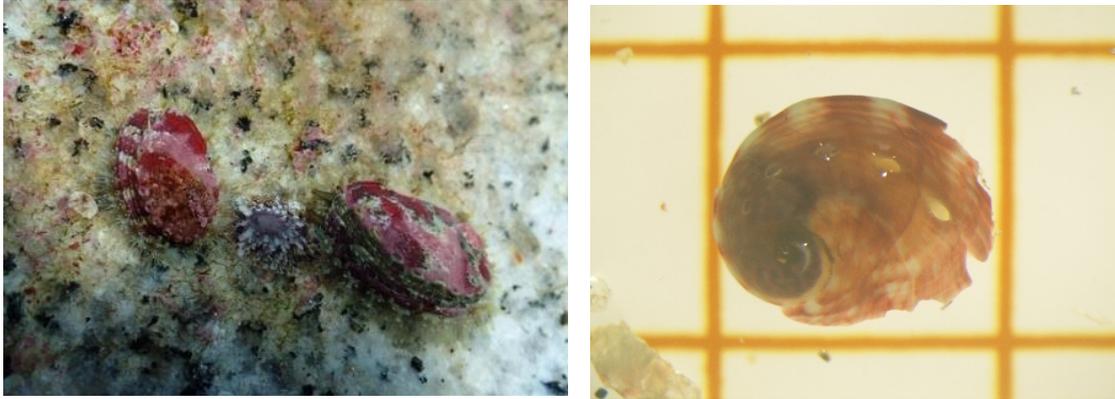


図 27. 造成生息場で平成 29 年 1 月に見つかった約 10 mm のトコブシ稚貝（左）と 2 月に見つかった約 5 mm のメガイアワビ稚貝（右）

3) 稚貝の成長

造成した稚貝場ではトコブシの稚貝がたくさん見つかりました。トコブシの稚貝も大型アワビ類の稚貝と同じようなところに住み、同じようなエサを食べます。そこで、トコブシの数やサイズから、投入した石と天然の石の生息環境の良し悪しを調べてみました。すると、投入した石と天然の転石との間で住んでいるトコブシの数やサイズにはほとんど差がありませんでした。造成生息場は天然の生息場に劣らない生息環境を有していたと考えられます。また、メガイアワビについても、平成 29 年 6 月までは造成生息場でよく成長していたことが分かりました（図 28）。



図 28. 造成生息場で平成 29 年 6 月に見つかった約 20 mm のメガイアワビ稚貝 2 月から 4 か月で 15 mm ほど成長したと考えられる。

4) 今後に向けた改善点

神奈川県長井の例では、造成した生息場にアワビ類の稚貝がたしかに発生し、20 mm くらいのサイズまで成長したことが分かりました。しかし、周囲の岩礁で磯焼けがおこったために、さらに大きく成長するために必要なエサが不足して成長が鈍り、その後の生残にも影響した可能性があります。稚貝の生息場の周りにある成貝の生息場を保全する重要性が改めて示されたことから、今後は藻場の保全や回復と両輪で生息場の整備をしていく必要があります(図 29)。

なお、平成 31 年 3 月の時点でも造成した生息場においてトコブシや大型アワビ類の稚貝が見つかっています。このことから少なくとも 2 年以上は生息場としての機能が維持できるものと考えられますが、今後も引き続きモニタリングを行う予定です。



図 29.平成 29 年 8 月の造成生息場の周りの岩礁の様子 前年の磯焼けでカジメが無くなってしまった。

*参考文献

Onitsuka T, Kawamura T, Horii T, Hamaguti M, Ohashi S, Takiguchi N and Watanabe Y (2007) Identification of juvenile abalone *Haliotis diversicolor* based on number of open and sealed respiratory pores. Fish. Sci. 73, 995-1000.

澤山周平・黒木洋明・丹羽健太郎・堀 正和・堀井豊充(2019)神奈川県長井地先の造成生息場における天然アワビ類稚貝の出現・成長と環境遷移, 日水誌 85(4): 406-420.

静岡県 (2019) メガイアワビ稚貝場造成指針, あたらしい水産技術 No.654

山崎 誠・鴨志田正晃(編)(2018) アワビ類の生態に基づく資源管理・増殖, 国立研究開発法人 水産研究・教育機構 増養殖研究所.

<http://nria.fra.affrc.go.jp/hakko/awabi/index.html>

本ガイドラインは農林水産技術会議委託プロジェクト研究「水産業再生プロジェクト：生態系ネットワークの修復による持続的な沿岸漁業生産技術の開発（平成 25 年度～平成 29 年度）」の成果に基づき、プロジェクトに参画した以下の試験研究・教育機関の研究者によって作成されている。

国立研究開発法人水産研究・教育機構 中央水産研究所（代表）
同 瀬戸内海区水産研究所
同 西海区水産研究所
同 水産工学研究所
地方独立行政法人北海道立総合研究機構 水産研究本部
神奈川県水産技術センター
鹿児島県水産技術開発センター
国立大学法人東京海洋大学 大学院海洋科学技術研究科研究院
国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科
同 大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センター
株式会社 沿岸生態系リサーチセンター