

人工暗礁を用いたアマモ場・ガラモ場の 一体的な造成技術に関する研究

瀬戸内海区水産研究所 生産環境部 藻場・干潟環境研究室

吉田 吾郎・浜口 昌巳

(寺脇利信:現所属 水産総合研究センター本部)

水産工学研究所 水産土木工学部 漁場施設研究室

森口 朗彦・高木 儀昌

調査実施年度 : 平成 15~17 年度

緒言

我が国沿岸の岩礁域にはホンダワラ類やアラメ・カジメなどの大型褐藻類が、また砂泥域では海産顕花植物のアマモが藻場を形成している。藻場はその高い一次生産力と生物の育成・蛸集効果により、沿岸の漁業生産において極めて重要な役割を担っている。

しかし、特に波浪条件の厳しい海域においては、波浪に伴う海底の砂泥移動(漂砂)がアマモ場の形成を妨げ、生物の現存量も極めて低い場合がある¹⁾。このような砂泥域の低い生物生産性を改善するための手段として、漂砂を制御して適度に静穏な環境を創出することをねらった「人工暗礁」が、水産工学研究所により発案された。この「人工暗礁」を設置することにより、アマモ場の形成や生物の蛸集を図ることが期待できるだけでなく、暗礁自体がホンダワラ類などの海藻類の生育基質として機能することにより、生物生産をさらに増大させることが出来ると考えられる。

本研究では、広島湾口部の屋代島(山口県周防大島町)厨子ヶ鼻(図-1)地先を主要な調査地とし、人工暗礁の設置によるアマモ場形成の効果を検証するとともに、礁上にホンダワラ類を中心とする多様性の高い海藻群落を形成する手法について検討する。同調査地は屋代島の北岸に位置し、特に冬季には季節風による波浪にさらされ、瀬戸内海においても比較的厳しい物理条件下にある。加えて、本研究中の平成 16 年度秋季には、繰り返し来襲した台風により、調査地の天然アマモ場は大きな被害を受けた。

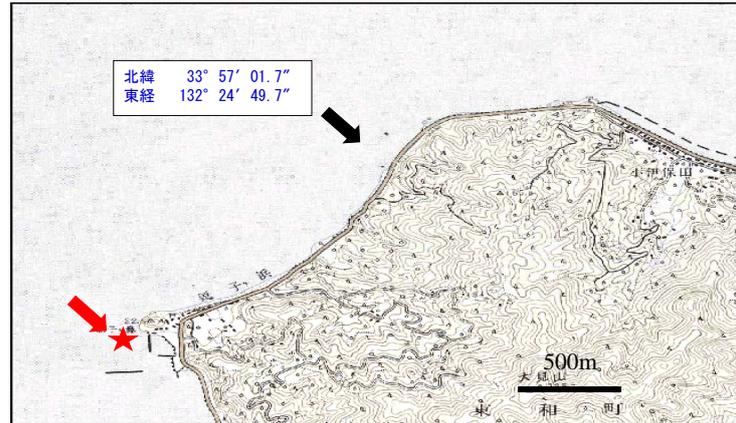
本研究の、3 年間を通じた調査内容は以下の通りである。

- (1) 後背地にアマモ場が形成されている既存の人工・自然礁上の海藻類の生育状況を調査し、種ごとの出現特性(出現水深や砂面からの比高)を把握した。
- (2) 礁の有する、周辺のアマモ場の形成・維持に及ぼす物理的な効果について検証した。
- (3) 天然のアマモ群落が成立している場所および成立していない場所の底質構造の特徴を調べ、群落の成立に関わる条件を把握した。
- (4) ホンダワラ類の種ごとの着生位置の砂面からの比高を明らかにし、本海域の主要種のアカモクを対象として、天然の出現位置に類似した高さを有する実験基質を設置し、群落を効果的に形成する技術について検討した。
- (5) 上記の自然礁周辺のメバルの蛸集状況について調査を行った。

(1) 及び(2)を通じて、本海域の物理的特性に応じたアマモ場の形成・維持に資する「暗礁」のデザインを検討するとともに、その上に形成が予想される海藻植生について考察した。また、(3) 及び(4)を通じて、アマモ場と多様性の高いガラモ場を人為的に形成する技術的要素について検討を加えた。さらに、(5)により、アマモ場・ガラモ場を一体的に造成することによる水産生物の蛸集効果について検討した。



図-1 調査地(屋代島廻子ヶ浜)近傍. 赤矢印がアマモ・天然暗礁の調査地の厨子ヶ鼻. 黒矢印がメバル礁の位置.



調査方法

- (1) 調査地近傍の人工礁・自然礁において礁を縦断もしくは横断する2m幅の調査測線を設定し、海藻・海草の植生の景観の区分に分け、それぞれの区分の水深および海底砂面からの比高を調べた。人工礁は、漸深帯に設置された魚類増殖礁(通称メバル礁)と離岸堤、自然礁は厨子ヶ鼻地先にある暗礁を対象とした。人工礁の調査では、礁上から礁後背地(岸側)の砂泥海底も含むように調査測線を設定し、アマモ等海草類の分布も把握した。また自然礁の後背地については音波探査により、アマモの分布を把握するとともに、礁周辺の地形も調査した。
- (2) 厨子ヶ鼻の暗礁が存在する場合と存在しない場合の後背地のアマモ場内における底層流速の変化を数値シミュレーションで求めた。条件としては、中瀬戸海域西域の5年確率風速時の調査地の沖波をSMB法により算定し、(1)の地形測量データから波浪変形計算を行った。また、2005年12月に礁の前後に電磁流速計を設置し、礁の有する「静穏効果」を検証した。
- (3) 2003年8月に安芸灘周辺(広島県音戸町および三口湾)の砂泥底において、アマモ生育域と非生育域の砂層内の底質構造の特徴を把握した。具体的にはアマモの生育域から非生育域にかけて調査測線を設定し、アマモの被度と、砂底表面からアマモ地下茎までの深さ、砂中の礫の有無とその深さなどを測定した。
- (4) 厨子ヶ鼻近傍の砂泥上の礫に生育するホンダワラ類の種ごとの出現位置の砂面からの比高を調査した。また主要出現種のアカモクについては、天然基質と類似した比高を有する実験基質(縦横50cm, 高さ5cm)を季節ごとに設置して群落の形成課程を観察し、比高を制御することにより目的とする種の群落を効果的に形成する技術の可能性について検証した。
- (5) アマモ場・ガラモ場が一体的に成立している上記厨子ヶ鼻の天然暗礁近辺のメバル稚魚の蟻集状況を音波探査(2005年4月および6月)と潜水による目視(同年8月)により調査した。音波探査では探査機(EAGLE社製 fish elite480)による探査記録の反応の大きさと強度を目視により9段階のランクに分類し、海底地形図に落とし込んだ。また潜水調査では調査地全体をカバーするように10m間隔で調査ラインを設け、ライン上の距離10m, 幅2mの範囲に出現したメバル(主には稚魚)を計数し、単位面積当たりの個体数に換算し図示した。

調査結果

(1)メバル礁・離岸堤・自然暗礁周辺での海草・海藻類の生育状況

メバル礁は、巨礫・岩塊を水深 5～19m (D.L. 基準) の範囲に高さ 2m で「かまぼこ」状に積み上げた形状で、その天端部は水深 3～17m にあたる (図-2)。その周辺では、海草・海藻は 10 種以上出現した。礁の後背地にあたる砂泥底には海草類のコアマモおよびウミシルモが被度 75% 程度で群落を形成していた。メバル礁上には天端部を中心に、多年生ホンダワラ類のイトヨレモクおよびマメタワラ等、アラメ・カジメ類のクロメが群落を形成していた。多年生ホンダワラ類は礁天端部の最も浅い場所 (水深 3～3.8m) で被度 5～10% であった。被度は比較的 low かったが調査は平成 16 年 7 月に行われており、ホンダワラ類の衰退期にあたっていたためと思われる。クロメは 3 齢以上の個体が天端部の水深 10m 付近で被度 30% 程度であり (図-3)、その分布は 16m 程度まで見られた。小型の海藻類 (ミル、ウミウチワ、ハイオオギ等) は天端部だけでなく礁の側面部の海底砂面からの比高の小さな境界域で比較的多く、特に浅い水深帯で繁茂した。

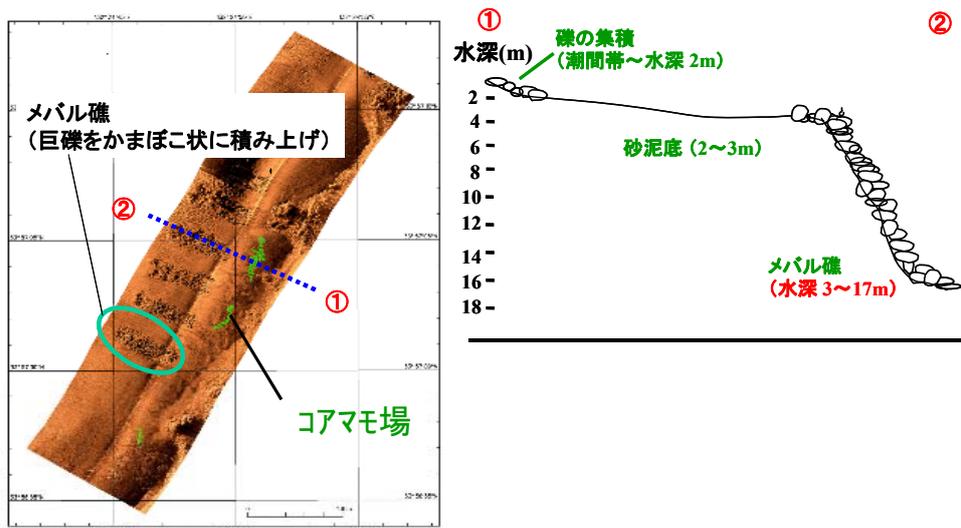


図-2 サイドスキャンソナーによるメバル礁の設置状況 (左) とその垂直断面図 (右)。

| DL (m) | | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|--|------|------|
| 10 | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | |
| 距離 (m) | 0.0 | 2.0 | 3.0 | 9.0 | 15.0 | | 19.0 | 25.0 |
| 水深 (m) | 11.1 | 11.2 | 10.9 | 10.0 | 10.9 | | 11.0 | 10.8 |
| 堆積泥の被度 (%) | | | 100 | 95 | 100 | | 95 | |
| 最大堆積泥厚 (mm) | | | 8 | 4 | 7 | | 7 | |
| クロメ1才 | | | 10 | 5 | 5 | | | |
| クロメ3才以上 | | | | 30 | | | | |
| ケヤリ | | | 5 | + | 10 | | + | |
| ハイオオギ | | | 10 | 25 | 10 | | + | |
| 無節サンゴモ | | | 5 | 10 | 5 | | + | |
| サンカクフジソボ | | | 20 | 50 | 25 | | + | |

図-3 メバル礁横断面 (水深 11m) における植生調査結果の 1 例。

離岸堤は海岸線に平行に作られ、その周辺で出現した海草・海藻類は 10 種以上にのぼった。堤上の潮間帯にヒジキ群落が形成され、その下の水深 0～5m にヤツマタモクおよびイトヨレモク等が生育していた。特に堤体後背地の静穏な砂泥底には海草類のコアマモおよびアマモが、水深 5m までに比較的濃密な群落を形成していた (図-4)。

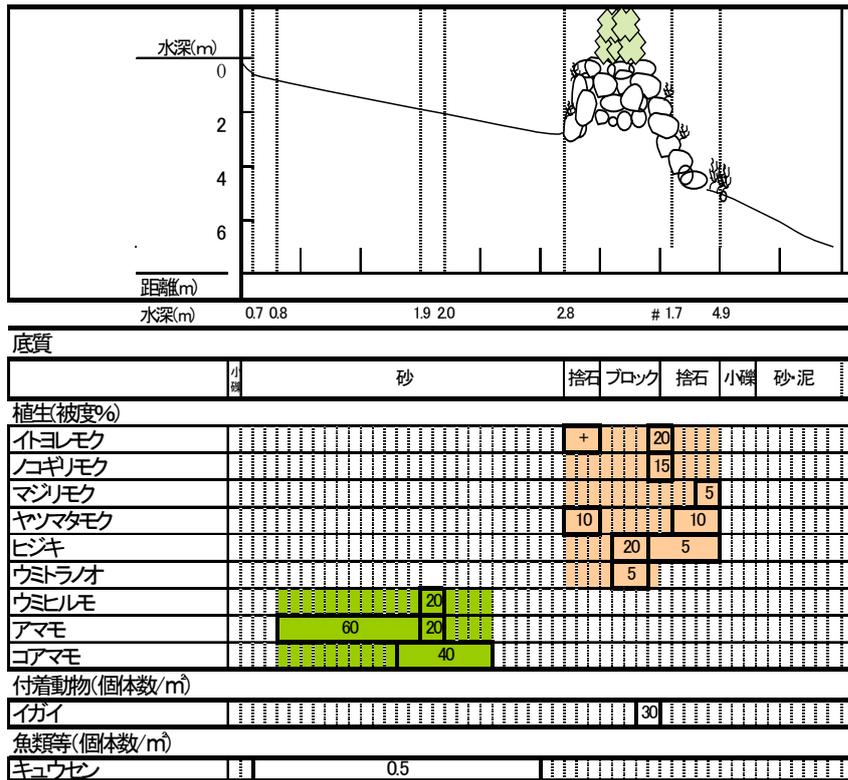


図-4 離岸堤の垂直断面図と植生の景観区分における海藻・海草被度。

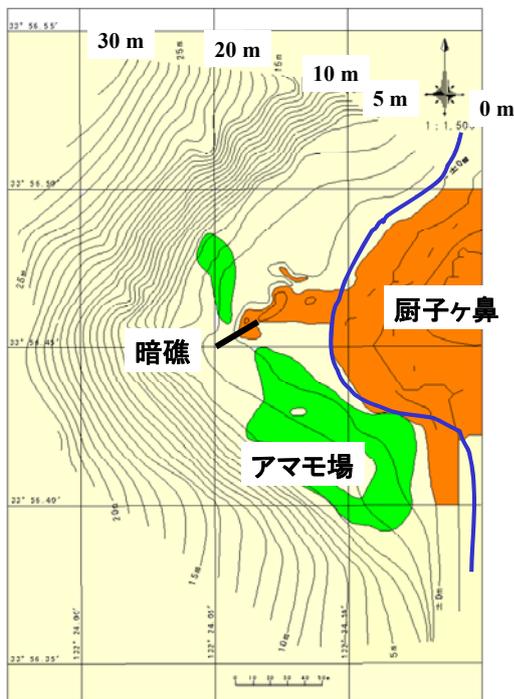


図-5 音波探査により把握した厨子ヶ鼻のアマモ場と暗礁。

これらの結果から、海底の浅所に設置された増殖礁、また海岸保全のために設置された離岸堤には水深・砂面からの比高別に多様な海藻植生が形成されるとともに、その後背地では海草類が生育可能となる静穏な砂泥底を創出し得ることが確認された。

一方、厨子ヶ鼻地先の天然暗礁では、後背地の砂泥海底の水深0~4mにかけて0.6ha程度のアマモ群落が存在していた(図-5)。厨子ヶ鼻に隣接する逗子ヶ浜地先にもアマモ群落が存在したが、平成16年秋季に繰り返り来襲した台風によりほとんど消失した。しかし、暗礁の後背地のアマモ場は台風後も残

存した。暗礁上の海藻植生の模式図を図-6に示す。暗礁は水深+1.5~0mにあたり、主要な出現種はヒジキ、アカモク、ワカメ、カバノリ等であった。それぞれが優占もしくは準優占する水深帯はヒジキ、+1.5m(礁の天端部)、アカモク、+1.5~0m、ワカメ、+1.4~0m、カバノリ+1.3~0mであった。特にワカメ、カバノリは、海底砂面からの比高の低い位置で多く生育した。アカモク、ワカメは本来漸深帯に生育する海藻であり、同暗礁上に出現する水深帯は調査海域の他所と比較しても高いが、調査地は波浪が比較的高いことが多く干出時間も少ないため、潮間帯にあたる位置でも生育が可能であるものと思われた。

広島湾の岩礁性藻場では、一般的に潮間帯からヒジキーアカモク(単年性ホンダワラ類)ーノギリモク(多年生ホンダワラ類)ークロメの順で水深に伴い垂直分布する²⁾。本研究で調査を行った3つの礁上の水深に伴う海藻植生の変化は、上記の海藻の分布系列にほぼ合致している。

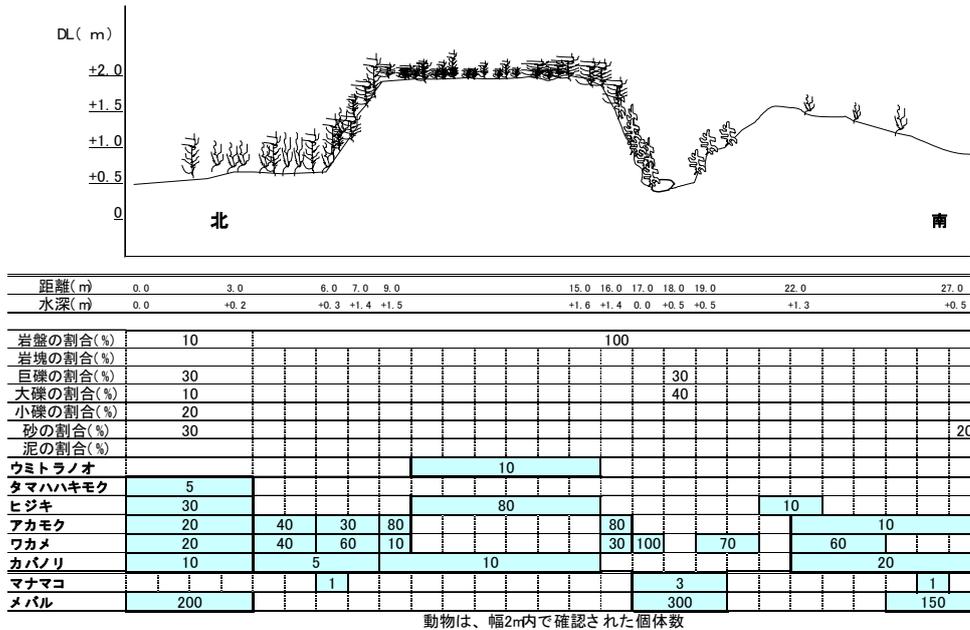


図-6 厨子ヶ鼻暗礁の横断面における植生の景観区分と海草・海藻被度。

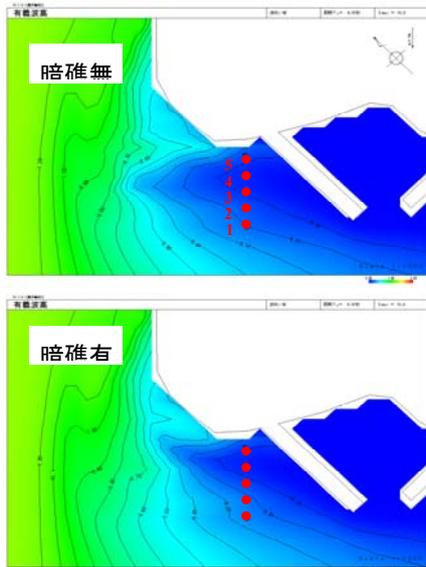


図-7 数値シミュレーションによる暗礁が
無(上)・有(下)の場合のアマモ場内の
波高分布。

(2) アマモ場の形成・維持に資する礁の「静穏効果」の検証

厨子ヶ鼻地先の天然暗礁の後背地のアマモ場は、平成16年秋季の台風来襲以後、平成17年6月には、一部消失した部分は見られるものの、ほぼ前年と同程度の群落が維持されていた。前述の通り、厨子ヶ鼻に隣接する逗子ヶ浜では台風によりアマモ場の消失が起こったので、残存したアマモ場は暗礁の有する静穏効果により、保護されたものと考えられた。

岩礁が有る場合と無い場合の、5年確立風速時の、後背地アマモ場内の底層流速の違いの数値シミュレーション結果の一部を図-7および表1に示す。暗礁は沖出し50m程度、高さ1.5m程度の構造物と見なし計算した。

結果は風向により異なるが北東寄りの風の場合、暗礁がある場合は無い場合に比較して、アマモ場内の底層流速は最大で35%程度(水深2.6m地点)減少することが明らかになり、暗礁の有する静穏効果が裏付けられた。

表-1 数値シミュレーションによる厨子ヶ鼻の暗礁が有る場合と無い場合のアマモ場内の底層流速の変化
底層流速の算定結果(波向: NE)

| 算定地点 | 水深 h (m) | 底層流速 (m/s) | | a/b |
|-------|------------|------------|--------|------|
| | | 暗礁有(a) | 暗礁無(b) | |
| No. 1 | 4.5 | 0.12 | 0.14 | 0.86 |
| No. 2 | 2.6 | 0.13 | 0.20 | 0.65 |
| No. 3 | 1.8 | 0.10 | 0.15 | 0.67 |
| No. 4 | 1.2 | 0.10 | 0.08 | 1.25 |
| No. 5 | 0.5 | 0.38 | 0.32 | 1.19 |

(3) 砂泥底におけるアマモ類の生育域の海底性状

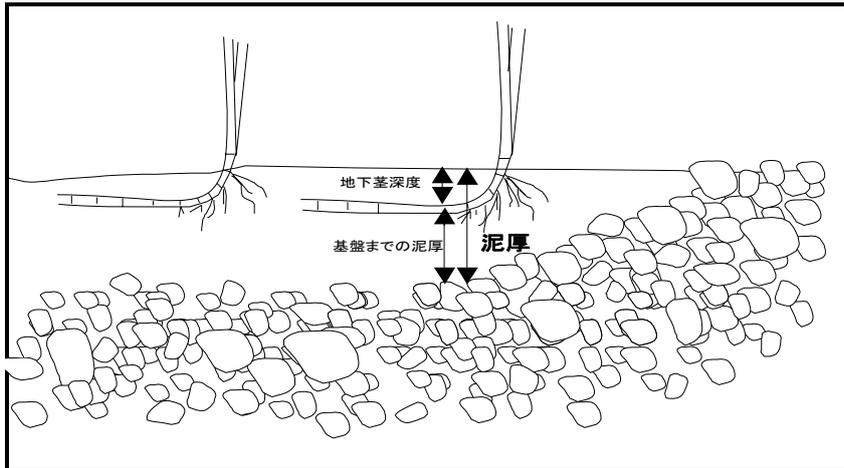


図-8 アマモ生育域の底質構造の模式図.

調査場所のアマモの生育域と非生育域の底質の違いは、表面観ではほとんど区別できなかった。しかし、底質中には砂層に続く礫層があり、アマモの被度は砂層厚10cm以上で地下茎上の覆砂厚が3cm以上の範囲で被度が高かった。模式図を図-8に示す。

アマモ類の生育に適した底層内部の底質構造として、アマモ地下茎の下層に砂層に続く砂礫層などがあり、かつ、

アマモ地下茎の上層に十分な覆砂が維持される条件を満たす必要があるという、設計の方向性が見いだされた。

(4) ホンダワラ類の出現する比高と群落形成実験

厨子が鼻近傍の松ヶ鼻地先で、砂泥上に分布する礫上のホンダワラ類の着生位置の砂面からの比高を調べた。平均比高は種類によって大きく異なり、着生位置は、ノコギリモク、トゲモク、ジョロモク、アカモク、タマハハキモクの順で多年生の種類で高く、単年生の種類で低かった(表2)。アカモクの出現位置の比高(7.0cm)と類似した高さ(5cm)を持つ実験基質(図-9)を群落内に季節別に設置し、出現する海藻類の種類を2年間にわたって追跡した。その結果、1年目は基質の設置時期により、ヒジキ、アナアオサ、ウミウチワなどが優占したが、2年目のアカモクの成熟期以後全ての基質上でアカモクが大量に入植し、優占群落形成された。途中紛失した基質もあったが、3年目も残存した全ての基質上でアカモクの優占群落形成された(図-10)。したがって、天然の生育場所の比高に類似した基質の付与により、対象とするホンダワラ類の群落を安定的に形成できる可能性が示唆された。

表-2 調査地近傍におけるホンダワラ類5種の出現比高

| 種 | 着生位置の砂面からの比高(cm) | N |
|---------|------------------|----|
| アカモク | 7.0 ± 5.4 | 30 |
| タマハハキモク | 4.5 ± 5.9 | 22 |
| ジョロモク | 18.0 ± 8.3 | 14 |
| トゲモク | 19.7 ± 9.7 | 13 |
| ノコギリモク | 27.4 ± 15.5 | 5 |



図-9 アカモクの天然の着生基質(右上)およびアカモクの出現比高と類似の高さを有する実験基質(右下)。

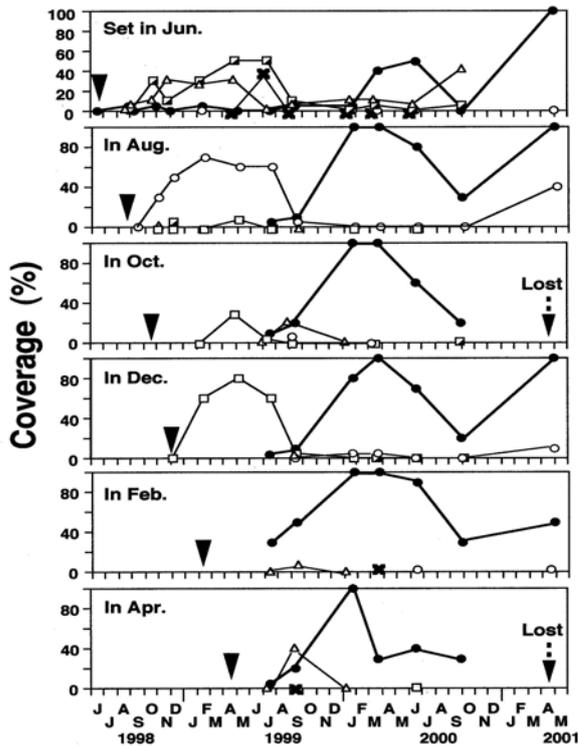


図-10 季節別に設置したアカモク用実験基質上の主要出現種の比度の推移。アカモク (●), ヒジキ (△), ウミトラノオ (□), ウミウチワ (○), ソゾの1種 (✱), アナアオサ (□).

(5) 天然暗礁付近でのメバルの蛸集状況
 アマモ場・ガラモ場が隣接して成立している厨子ヶ鼻の上記天然暗礁付近でのメバル(主には稚魚)の分布を図-11に示す。調査手法が異なるが、4月および6月にはメバル稚魚は主にアマモ場を中心に分布しているのに対し、8月にはアマモ場と砂泥域の周辺かもしくはガラモ場のある暗礁を中心に分布しているのがわかる。また、調査地には沖の水深12mに増殖礁が設置されており、一部のメバル稚魚の移動と、成魚の分布が見られた。一方、台風でコアモモ群落が消滅したメバル礁後背域ではメバル稚魚の分布は観察されなかった。

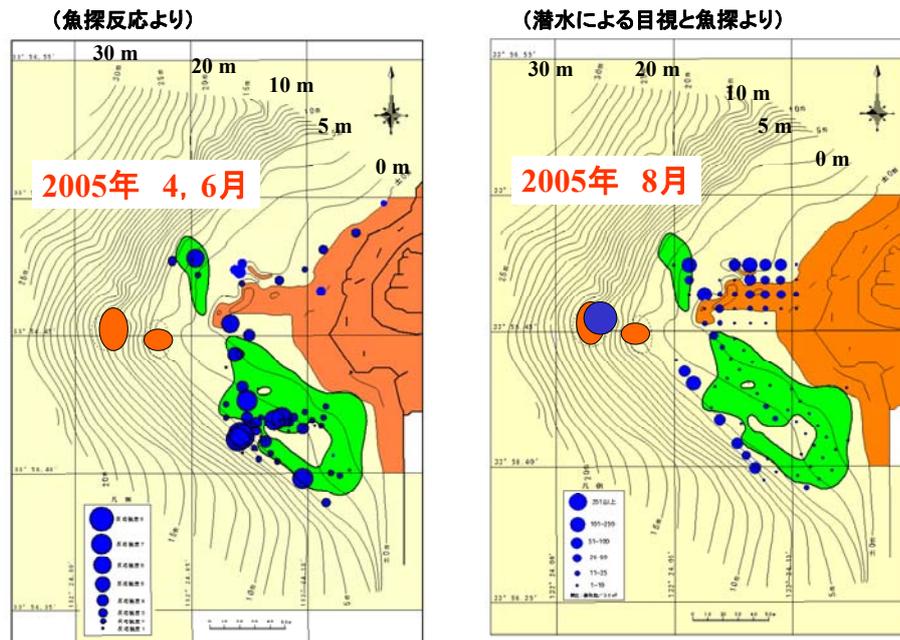


図-11 厨子ヶ鼻のアマモ場および天然暗礁付近のメバルの分布。

考察

今回の研究で、調査対象とした3つの礁の存在する水深はそれぞれ異なり、礁の周辺、特に後背地の物理的環境に対して及ぼす影響は異なっていると考えられた。まず、離岸堤は本来が海岸保全の目的で設置されるものであり、波浪が完全に遮断されるように構造的に高く

設計され、後背地の静穏効果も最も大きいと考えられる。今回調査した離岸堤の後背地にも比較的濃密なアマモ群落形成されていたことから、そのことが裏付けられた。しかし、瀬戸内海域では、静穏な場所に浮泥が堆積し、藻場の分布の制限要因となることがあり³⁾、過度の静穏化が逆に生物生産に負に作用する可能性もあると思われる。一方、魚類の育成効果を目的としたメバル礁についても、その後背地にコアマモ群落形成されていたが、アマモの生育は確認できなかった。さらに、平成16年度の台風時にはコアマモ群落も一時的に消失した。メバル礁はその最上部が水深3mであり、波浪を抑え後背地を静穏化させる効果は最も小さく、アマモ場の形成誘導には不十分であるものと考えられる。一方、厨子ヶ鼻地先の天然暗礁は潮間帯に位置し、最上部の天端部には濃密なヒジキ群落を観察された。その後背地にはアマモ場が維持されており、数値シミュレーションによる間接的な検証ではあるが、アマモ場の形成・維持に十分な静穏効果があるものと考えられた。従って、前述のメバル礁についても、潮間帯に達するように、嵩上げもしくは浅所への延長を行えば、後背地にアマモ場の形成を誘導できるような静穏化が進み、また礁上には潮間帯から漸深帯にかけて、ヒジキー単年性ホンダワラ（アカモク）ー多年生ホンダワラ（ノコギリモク・イトヨレモクなど）ークロメの優占群落形成され、また礁と砂泥底との境界域にはワカメや小型海藻類が生育し、多様な植生が形成されるものと考えられる（図-12）。

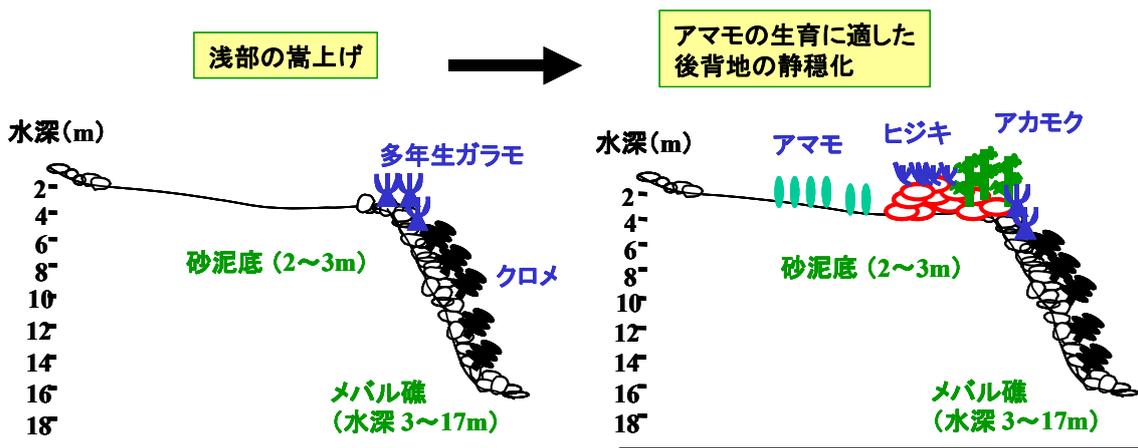
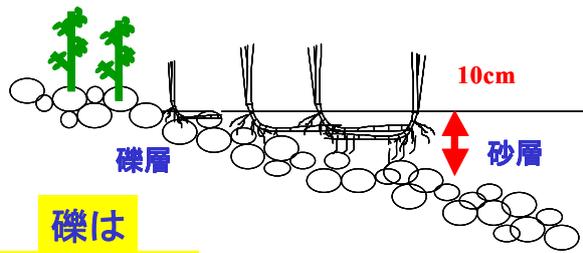


図-12 メバル礁の浅所部を嵩上げた場合の植生予想図。

アマモ場が安定的に維持されている場所の底質構造の特徴として、砂泥中の適度な深さに礫層が存在することが明らかとなった。このような礫はアマモの根がからまることにより1種の「アンカー」となり、アマモの草体を保持する作用を有していることが考えられる。砂泥移動の大きく攪乱の激しい場所では、礫・貝殻や人工物などの基質が埋没している部分にアマモが残存しているという観察は他にも報告があり¹⁾、物理的環境の厳しい場所でのアマモ場造成の技術的要素となりうると考えられる。また、ホンダワラ類の種間で観察された出現位置の比高の違いは、種ごとに生態的な特性が異なり、漂砂など物理的な攪乱の影響に対する群落形成の適域が異なるためと考えられる。海藻植生の形成に影響を与える漂砂など物理的攪乱の影響は、その大きさやそれが起こる季節についても重要である。アマモの生育適地の選定については、シールズ数など底質の攪乱に関する客観的な指標があるが、海藻類の生育に影響を及ぼす物理的攪乱の定量的な評価手法については確立されておらず、今後の課題である。しかし、それぞれの海域において海藻類の種ごとの出現水深や砂面からの比高などの特性を調べ、それを模倣した基質を付与すれば、対象とする海藻類が生育する環境を再



礫は
ホンダワラ類の
基質として機能

アマモ草体の支持材(アンカー)
として機能



アマモ・ガラモの 複合藻場が成立

図-13 攪乱が比較的激しい場所での礫層・砂底の境界
域におけるアマモ・ガラモの複合藻場のイメージ (上)
と実際例 (下：山口・平郡) .

現でき、群落形成が可能であると考えられる。特に調査地の近傍では、砂泥に生育するアマモ場の上限付近から礫が露出して、ホンダワラ類の着生基質となり、アマモ場・ガラモ場が一体的に形成されている場所がある (図-13)。様々な大きさの礫を組み合わせることにより多様な海藻を生育させ、さらに砂中の適当な深さに埋没させることによりアマモを生育させる技術的な要素として検討の余地があると考えられる (図-13)。

厨子ヶ鼻地先の暗礁付近では大量のメバル稚魚の蛸集が観察された。観察回数は少ないが、成長とともにアマモ場からガラモ場 (暗礁) へと分布の移動が見られ、また成魚についてはさらに暗礁の沖合に

ある増殖礁に周年を通じた蛸集が観察された。調査地では、アマモ場・ガラモ場 (岩礁)、および人工の増殖礁が極めて近接して配置されていたことが、稚魚から成魚までメバルの生活史を通じた生育場として、

有効に機能している可能性がある。しかし、これについてはより多くの事例を収集し、蛸集生物の生態における藻場、岩礁、人工礁のそれぞれの機能について解明していく必要がある。

摘要

- (1) 比較的風浪条件の厳しい山口県屋代島北岸の調査地で、後背地の砂泥底にアマモ場が形成されている人工礁・自然礁上の海藻植生について調べ、種ごとの出現水深・海底砂面からの比高について把握した。設置水深により礁上に形成される海藻植生は異なっていたが、全体的には同海域の岩礁性藻場の垂直分布様式に合致していた。
- (2) 天然の暗礁が有る場合と無い場合について、その後背地のアマモ場内の底層流速の変化を数値シミュレーション (5年確率風速時) により解析した。暗礁があることにより、その後背地の底層流速は最大で35%減少し、アマモ場の維持・形成に資する暗礁の「静穏効果」が裏付けられた。
- (3) アマモ生育域内の底質構造の特徴を調べ、アマモの被度の高い場所の底質中には、砂層の下部に礫層が適度な深さで存在することが明らかになった。礫は「アンカー」としてアマモ草体を安定的に保持する作用があるものと考えられ、物理的攪乱の激しい場所におけるアマモ場造成の技術的要素となりうると思われた。
- (4) ホンダワラ類の種ごとの出現位置の比高を調べ、調査海域の主要種であるアカモクについてはその出現比高と類似した高さを有した実験基質を季節別に設置した。設置時期に関わらず、全ての基質上にアカモクが安定的に入植・優占した。天然の着生基質を模倣することにより、対象となる海藻種に適した物理的環境を再現でき、群落形成

の確度をあげることが出来ると考えられた。漂砂などの物理的攪乱の定量手法の確立とそれに対する海藻の種ごとの生態的適域について把握する必要があると考えられた。

- (5) アマモ場・ガラモ場が一体的に形成されている場所でメバル稚魚の蛸集状況を把握し、アマモ場が未発達な場所と比較した。メバル稚魚はアマモ場が未発達な場所では見られず、成魚のみ見られた。メバルはその成長段階に応じて、アマモ場とガラモ場（岩礁）、および増殖礁を使い分けていることが示唆された。生物の生活史における藻場の機能を明らかにする必要があると考えられた。

以上より、対象海域においてアマモ場と多様性の高いガラモ場を一体的に造成するための「人工暗礁」のデザイン、及び群落形成のための技術的要素について検討した。

引用文献

- 1) 森口朗彦・高木儀昌, 2005: 山口県大島郡東和町厨子ヶ浜地先アマモ場の変遷(2001~2003年). 水工研技報, 27, 43-60
- 2) 寺脇利信・吉川浩二・吉田吾郎・内村真之・新井章吾, 2001, : 広島湾における大型海藻類の水平・垂直分布様式. 瀬戸内水研報, 3, 73-81.
- 3) 吉田吾郎・寺脇利信・吉川浩二・有馬郷司, 1997, 広島県大野瀬戸における秋に成熟するアカモクの初期成長と減耗. 南西水研報, 30, 125-135.