

アマモ場造成手法の確立と造成 効果の実証に関する研究

担 当 機 関：瀬戸内海区水産研究所・藻場干潟生産研究室 吉川浩二・寺脇利信
水産工学研究所・漁場施設研究室 森口朗彦・高木儀昌
水理研究室 川俣 茂
開発システム研究室 明田定満

実 施 年 度：平成12～14年度

【緒 言】

沿岸砂泥域におけるアマモ場を中心とした群落造成に関しては、形成後の群落を永続的かつ恒常的に維持するための技術が未だ充分でない。アマモ場造成を確立するためには群落形成後に再播種や栄養株移植等、それを維持するための生物学的手法以外に、複雑多岐な環境因子（波浪、漂砂、流動）に対応した工学的手法の検討が急務である。また、群落内および周辺海域における有用生物を含めた異種間の相互関係等についても未解明な部分が多い。

そこで、アマモ場造成工法を検討しつつ藻場造成を実証するとともに、併せて藻場が有する機能および効果を明確化して、新規増養殖漁場の適地選定条件やアマモ場の造成基準の策定に資する。

【調 査 方 法】

I 鋼製マットによる造成手法に関する調査

1. 鋼製マットの底層漂砂制御機能に関する模型実験

(1) 実験条件

① 実験施設

実験は、水産工学研究所増養殖水理実験棟風洞付き造波水槽内で行った。

当水槽は、長さ 70m × 幅 0.7m × 水深 2.2m の大きさで、パソコン制御により造波機を制御し、任意の波高・波長の波を発生することができる。海底を再現するための模型床としては、水路岸側に水深が勾配 1/50 のコンクリート床約 15m を設置し、コンクリート床沖側端部より 7.6m の位置から岸方向 5.6m 区間に深さ 0.3m のポケットを設け、ここに粒径 0.12mm のケイ砂をコンクリート床の勾配と一様になるように敷き、砂泥性海浜模型としての移動床とした。移動床沖側端部を実験基点として、この水深を 0.5m とした。（参照：図 I-1）

波浪等の作用による移動床変形の計測には、水路に設置した観測台車に取り付けたレーザ式砂面計を用いた。観測台車は造波機制御に用いるものと同じのパソコンで制御され、位置データをパソコンに返すことができる。同時に砂面計からのデータも取り込み、砂面形状を正確に記録することができる。（参照、図 I-2）

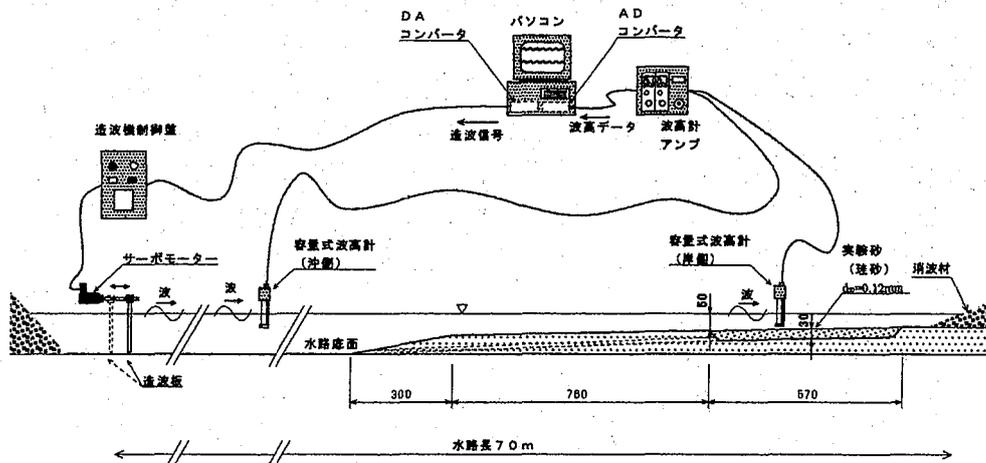


図 I - 1 造波水槽・造波システム・模型床外観

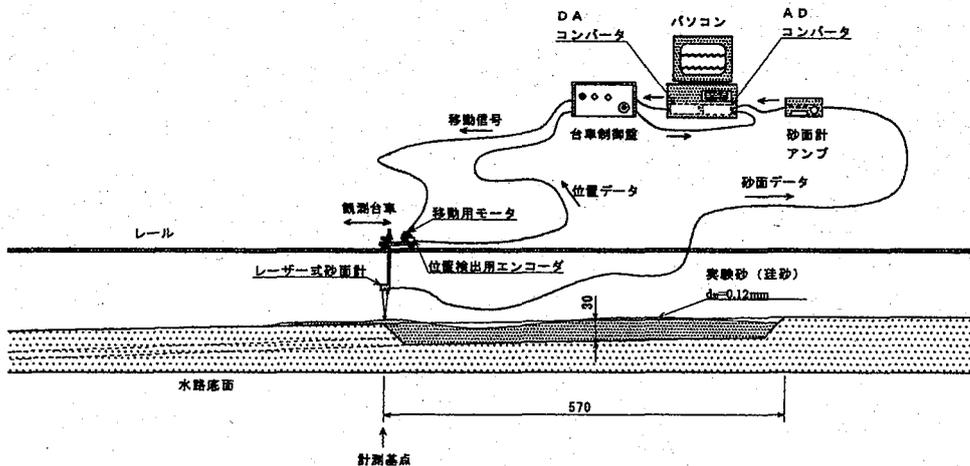


図 II - 2 砂面計測システム外観

② 造波条件

本実験は基礎実験であることから実験に供する波は規則波とし、波高及び波長は天然アマモ場における実測値¹⁾及び予備実験による移動床の底質移動状況から次の2種類とした。

- i) 波条件荒＝波高 12.5cm、周期 2.83 秒
- ii) 波条件穏＝波高 9.4cm、周期 2.12 秒

前者は比較的波高の大きい内海域の状況を再現しており底質の移動も大きい。想定縮尺 1/8 であるので、実海域では波高 1m、周期 8 秒に相当する。後者は波高の小さい内海域で底質移動は小さい。実海域で波高 0.75m、周期 6 秒に相当する。

造波時間は 8 時間とした。

③ 実験模型の構造と設置位置

鋼製マットの模型としては、従来型のものに加え、アマモ出芽を阻害するエキスパンドメタル部付着物対策として、ここを木製とし、同様の機能を持たせたもの（以下「ハイブリッドマット」と称する）も実験に供した。

アマモの成長を阻害する端部浸食³⁾対策の実験としては、平板状及び凸状起伏を設けた2種類の浸食防止板を用意した。

また、波浪が小さく底質移動が小さい場合に移動を促し、鋼製マットの機能を発揮させるための構造物として、翼状堆砂促進工の模型を実験に供し、その機能の把握を行った。

実験時の鋼製マット設置位置は、波条件荒の8時間造波後において、移動床が最も浸食される箇所(基点より160cm)を基本とし、対照として堆積する箇所(同320cm)及びその中間(同210cm)とした。(参照、図I-3)

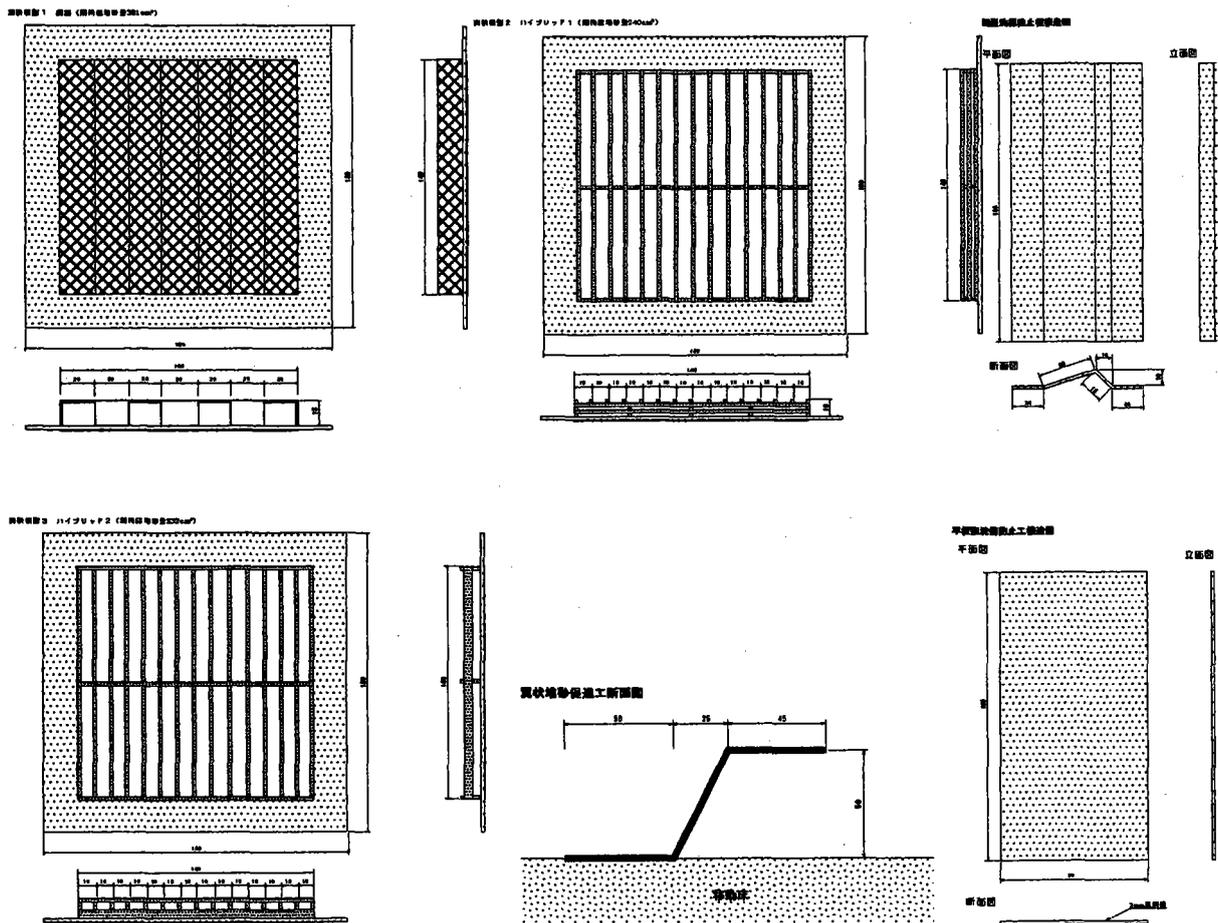


図 I - 3 実験模型外観

(2) 実験ケース

実験は、目的を達するための必要量として、表 I - 1 にまとめたケースに関して実施した。

表 I - 1 実験ケース一覧

| マット構造 | 設置位置 (cm) | 付帯物 | マットとの距離 | 波条件 | 波高 (cm) | 周期 (秒) | ケース名称 | 備考 |
|---------|--------------|------|---------|-----|------------|-----------|---------|-----------|
| 無し | | | | 穏 | 9.4 | 2.12 | B675 | |
| 無し | | | | 荒 | 12.5 | 2.83 | B815 | B675より継続 |
| 鋼製 | 160 | 無し | | 荒 | 12.5 | 2.83 | NN | |
| 鋼製 | 160 | 平板 | 0 | 荒 | 12.5 | 2.83 | NA | |
| 鋼製 | 160 | 凸板 | 0 | 荒 | 12.5 | 2.83 | NB | |
| 鋼製 | 160 | 凸板 | 4.5 | 荒 | 12.5 | 2.83 | NC | |
| 鋼製 | 210 | 翼状潜堤 | 100 | 穏 | 9.4 | 2.12 | SD01 | |
| 鋼製 | 160 | 翼状潜堤 | 50 | 穏 | 9.4 | 2.12 | SD02 | |
| 鋼製 | 160 | 無し | | 穏 | 9.4 | 2.12 | SD0308 | |
| 鋼製 | 320 | 無し | | 穏 | 9.4 | 2.12 | SD0408 | |
| 鋼製 | 160 | 無し | | 荒 | 12.5 | 2.83 | SD0316 | SD0308より継 |
| 鋼製 | 320 | 無し | | 荒 | 12.5 | 2.83 | SD0416 | SD0408より継 |
| 鋼製 | 160 | 翼状潜堤 | 50 | 穏 | 9.4 | 2.12 | SD05308 | |
| 鋼製 | 210 | 翼状潜堤 | 100 | 穏 | 9.4 | 2.12 | SD0608 | |
| 鋼製 | 160 | 翼状潜堤 | 50 | 荒 | 12.5 | 2.83 | SD0516 | SD0508より継 |
| 鋼製 | 210 | 翼状潜堤 | 100 | 荒 | 12.5 | 2.83 | SD0616 | SD0608より継 |
| ハイブリッド1 | 160 | 無し | | 荒 | 12.5 | 2.83 | WS01 | |
| ハイブリッド2 | 160 | 無し | | 荒 | 12.5 | 2.83 | WS02 | |
| ハイブリッド1 | 160 | 平板 | 0 | 荒 | 12.5 | 2.83 | WSP01 | |
| ハイブリッド2 | 160 | 平板 | 0 | 荒 | 12.5 | 2.83 | WSP02 | |

2. 実海域における鋼製マット機能実証造成試験

(1) 試験海域

試験海域は、山口県大島郡東和町逗子が浜地先とした。(参照、図 I - 4)

選定理由としては、当該海域は過去により継続的に瀬戸内海区水産研究所においてアマモ場の観察が行われてきた場所であり、多くの知見があるとともに調査体制等も十分である。また、過去において調査対象としてきたアマモ場が4年前に消失しており、アマモ場回復の試験には良い例であるとともに、地元の要望の大きいことも理由の一つである。

本地点は山口県南東部、瀬戸内海に浮かぶ屋代島の本州側東端近く、広島湾に面して位置する。NNE 方向に開いた海岸であるが、N と NE 方向に島が存在し、波エネルギーの遮蔽物となっている。吹送距離が最大となる方向は NNE であり、広島県宮島町南東向き海岸を起点とした約 40km が波浪の発達区域となる。陸域には道路護岸が建設されており、そこから幅数 m の砂浜海岸が形成され、それが緩やかに海中に没し、砂泥よりなる海岸を形成している。海岸線の形状は、東西に小規模な岬状の地形が存在し、左右対称のややポケットビーチ的な海岸である。この海域の汀線より沖方向約 60m、水深にして D.L.-4m 程度までを調査海域とした。前述のように水深 D.L.-2m 前後を中心に、岸沖方向最大約 50m、汀線方向約 150m の横長のラグビーボール状のアマモ密生群落が形成されていたが、現在消失している。またその汀線方向西側には、連続した同様の海岸であるにもかかわらず、アマモが全く生息しない海域が隣接する。外観上、この分布を異にする原因は、アマ

モ密生区と無生区に地形的な差違が無く、目視観察では特定し得ない。

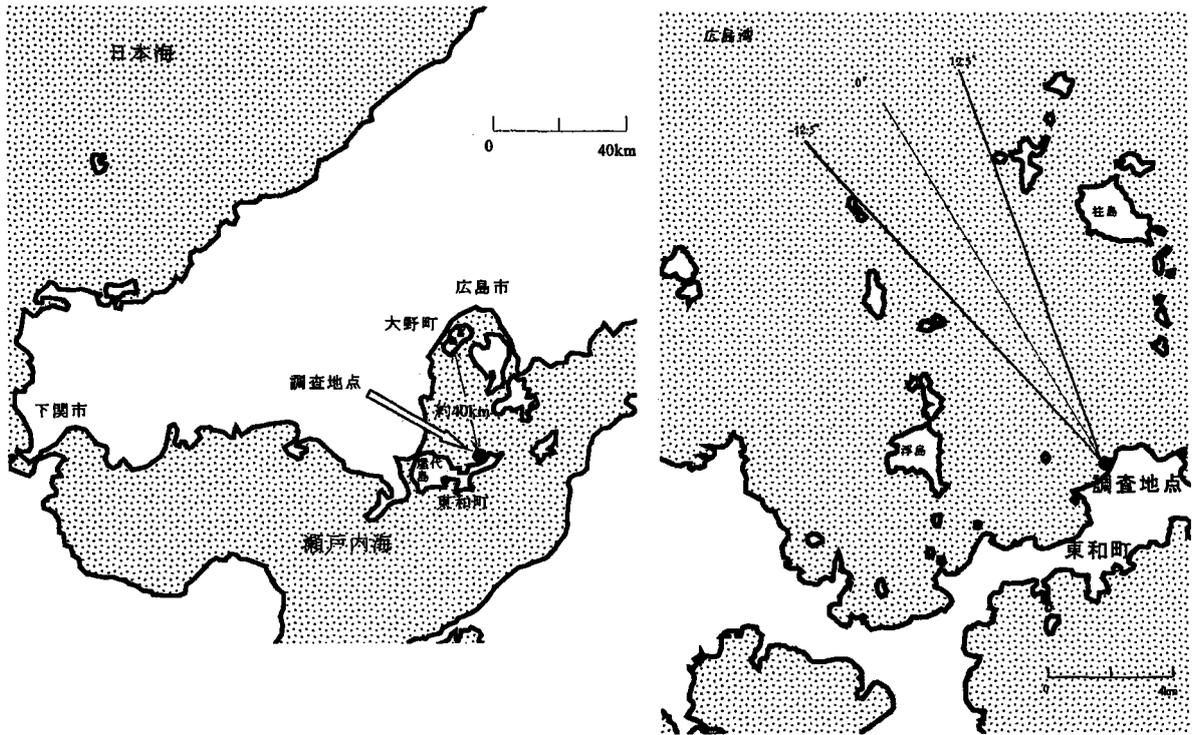


図 I - 4 調査対象海域位置図及び概況

(2) 試験条件

① 種子

試験に供したアマモ種子は岡山県単年性、岡山県多年生、徳島県多年生の3種類である。

すべて天然アマモ場から採取し、海水かけ流し水槽内で熟成、選別し、試験に供するまで保管するが、岡山県単年性は天然アマモ場の面積が大きく種子の発生率も高いことから多量の採取が可能である。また、体長が高く、干潮時に船上から採取することができる。

一方、多年生の2種類は天然アマモ場面積も小さく種子発生率も小さいことから種子の確保が難しく、また採取作業も作業員が海に入って採取にしなければならない。

本調査においては、岡山県水産試験場及び徳島県立農林水産総合技術センター水産研究所の協力により試験に試験に供する種子を確保できた。

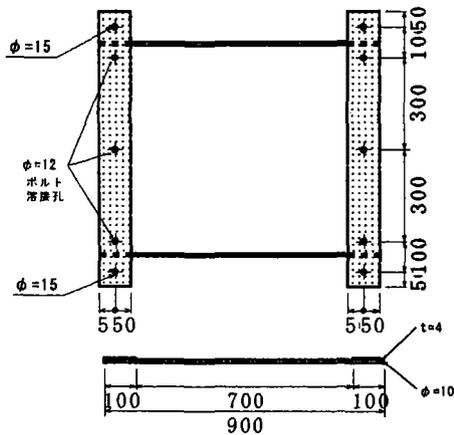
② 鋼製マット及び付帯施設

鋼製マットの基本形状は従来より開発を進めているものとした。(参照、図 I - 5)

このうち、アマモの出芽・成長に影響する堆砂機能及び異物付着状態を差異を見るため、エキスパンドメタルで作成する上部の覆い工及び漂砂保持工の網目の大きさと部材太さを変えたものを2種類及びこれら上部工を取り除いたもの1種類を試験に供した。

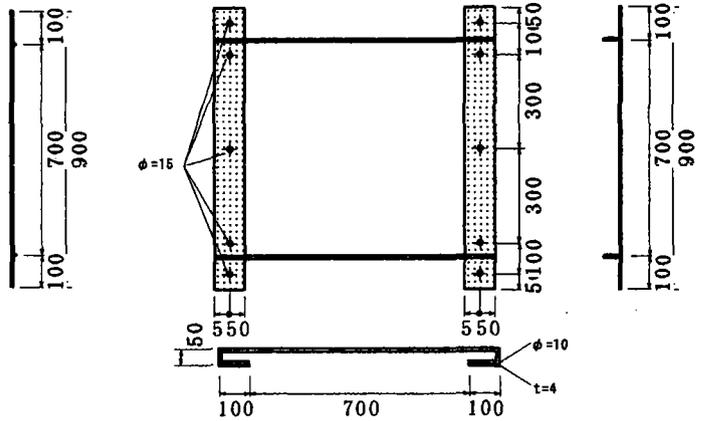
また、模型実験を行った翼状堆砂促進工についても、製作・設置費等の関係から小型のものを作成し機能の検証を行った。(参照、図 I - 6)

1. 下部工本体 (鋼板に丸鋼を溶接)

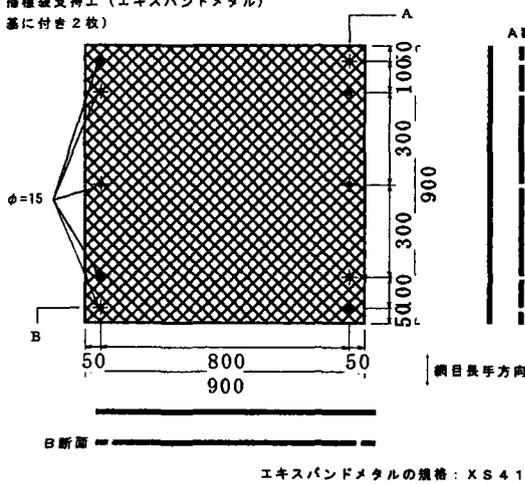


2. 上部工本体 (鋼板に丸鋼を溶接)

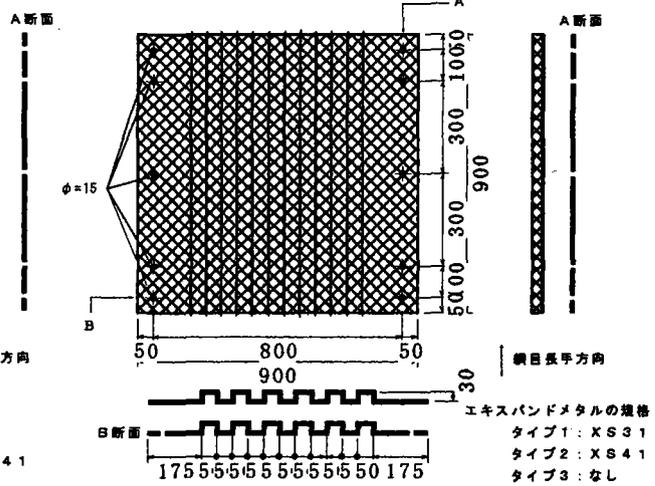
単位: mm



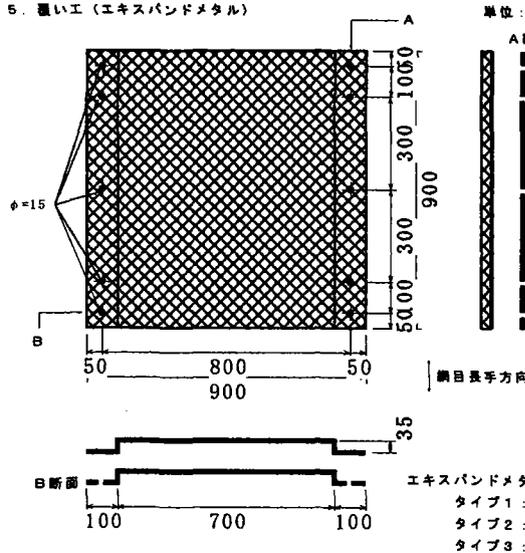
3. 播種袋支持工 (エキスパンドメタル)
(1基に付き2枚)



4. 湿砂保持工 (エキスパンドメタル)



5. 覆い工 (エキスパンドメタル)



II 組立方法

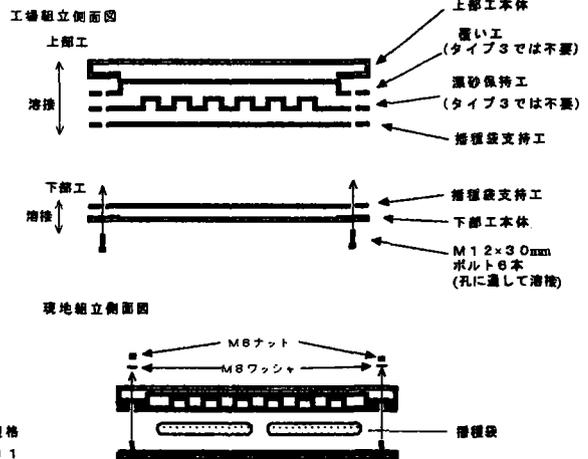


図 I-5 鋼製マット仕様

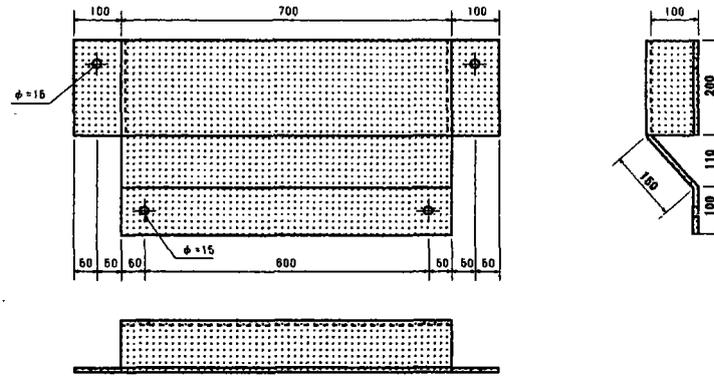


図 I - 6 翼状堆砂促進工外観

iii) 試験内容

造成試験は各年度に条件を変えて計 3 回行った。

表 I - 2 造成試験条件一覧

| | 鋼製マット | 種子 | 設置形態 | 付帯施設 |
|-------|---------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|
| 12 年度 | タイプ 1 | 徳島多年生 | 集合設置 (横 8 × 縦 5) | 沖側に平板型洗掘防止工 左右に平板型洗掘防止工 |
| 13 年度 | 全種類 | 岡山単年生 岡山多年生 | 小単位分散設置 (横 5 × 縦 2 × 4 カ所) | 一部に翼状堆砂促進工 |
| 14 年度 | 全種類 ハイブリッド | 岡山多年生 徳島多年生 | 分散設置 (市松状設置) | なし |

II アマモ場造成効果の実証調査

小規模ではあるがアマモ造成藻場が維持された状況下で有用魚類の蛸集効果は顕著であったことから、藻場利用度の高い魚種は群落構造の差違で蛸集状況が異なることを予想した⁷⁾。平成 12～14 年度の 3 ケ年間に、図 1 に示す山口県大島郡東和町逗子ヶ浜地先をアマモ場の造成試験地として選定し、藻場造成試験を実施するとともに、その効果を明らかにする調査の一環として、アマモ群落の形成過程における蛸集魚類の変化と、その周辺のアマモが分布していない海域での魚類採集調査を計画した。しかしながら、実施期間内で何度かアマモ群落の造成を図ったものの、様々の条件により群落形成には至らなかった。そこで、やむなく本調査海域内の天然アマモ場と、その対象海域として天然藻場沖合部やアマモが分布していない場所（以後、アマモ分布なし域と称す）において 1～2 ケ月毎の割合で、刺網および曳き網を用いた魚類採集調査し、比較検討することにした。

刺網調査は主に 10 cm 以上の成魚を採集する目的で行ったが、刺し網の目合 3.5 寸、6.5 節、9 節の 3 種類（3 枚刺し網、1 反 30 m、網高 1.2 m）を、各々 3 反づつを連結し用いた。投網は前日の夕刻で、取り上げは原則として翌朝とした。なお、2000 年 12 月から 2002 年 3 月までは目合 3.5 寸、6.5 節、9 節の 3 種類を使用、2000 年 4 月以降は 3.5 寸と 6.5 節の刺し網を使用し採集した。

曳き網調査は主に 10 cm 以下の幼稚魚を採集する目的で行ったが、曳き網は間口幅約 3

m、高さ約1mで、取り上げ部の目合は約14mmの袋網を採用した。曳き網はアマモ場分布域とアマモなし域で、原則として昼間に行ったが、曳網距離は約100～130mで、曳網時間は約3.5～4分間を目途とした⁸⁾。

刺し網で採集した魚類の測定は可能な限りは生鮮時に測定し、曳き網で採集した幼稚魚は直ちにホルマリン固定とし、後日測定した。

【調査結果】

I 鋼製マットによる造成手法に関する調査

1. 鋼製マットの底層漂砂制御機能に関する模型実験

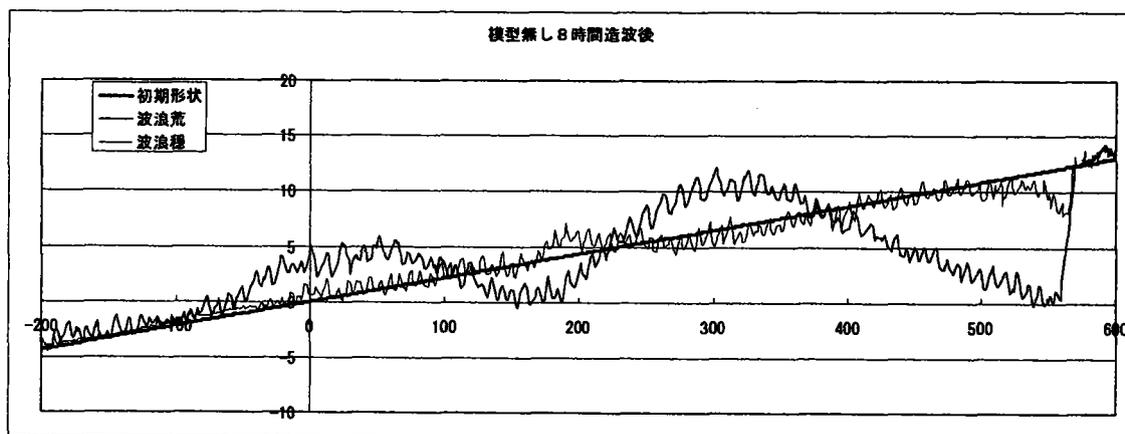
(1) 移動床形状

図I-7に模型を設置しない状態での8時間造波後の移動床形状を示した。

波浪条件の厳しい方は基点より160cm付近が浸食され300cm付近が堆積し、浸食堆積度合いも大きい。波浪条件の穏やかな方はほとんど変化が見られず、この条件下では底層漂砂移動は極小さい。

図I-8は、波浪の厳しい条件で浸食の最も著しかった地点に鋼製マット模型を設置し、同様の造波を行った結果である。模型は単体で設置し付帯構造物は設けていない。模型沖側の浸食傾向は変わらないが、模型設置位置直沖側付近より急速に浸食傾向が緩和され、岸側は堆積傾向に変わっている。堆積傾向の最も著しい付近は模型の無い場合と同様であるが、さらにその岸側の浸食傾向が緩和されていることがわかる。これらの傾向は模型周囲に洗掘防止板を設置しても同様の結果であった。

図I-9は、波浪の穏やかな条件下で翼状堆砂促進工を設置した場合の効果についての実験結果である。双方の実験とも、基点より160cmの位置に鋼製マット模型を置いてあるが、翼状堆砂促進工がない場合では、この波浪条件下での底層漂砂移動はほとんど無いことから推察できるように、海底面の変化は極小さく、マット状への堆砂も少ない。一方翼状堆砂促進工がある場合は、促進工直岸側が大きく浸食され、それより岸側が280cm付近まで堆積傾向になっている。それ以外の変化は沖側、岸側ともにほとんどないと行って良い。



図I-7 模型なしでの移動床断面形状変化

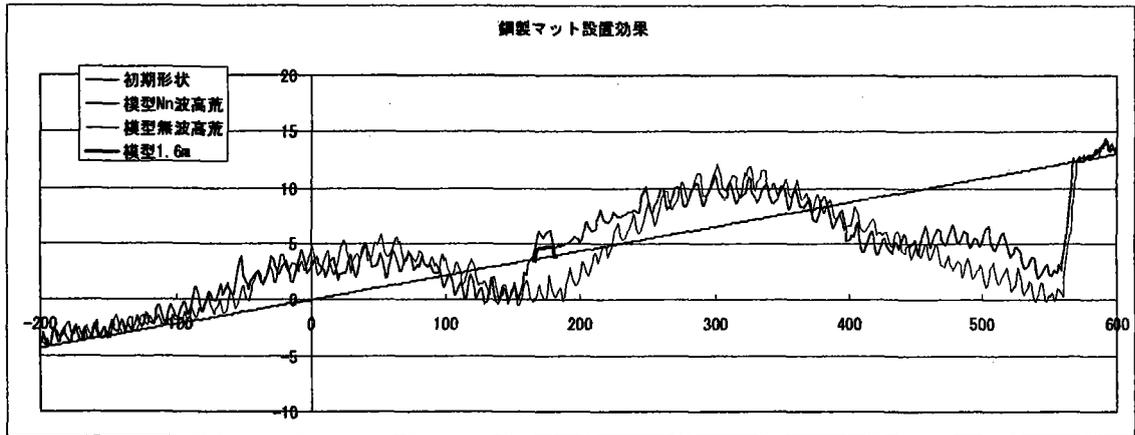


図 I - 8 鋼製マット模型の設置効果

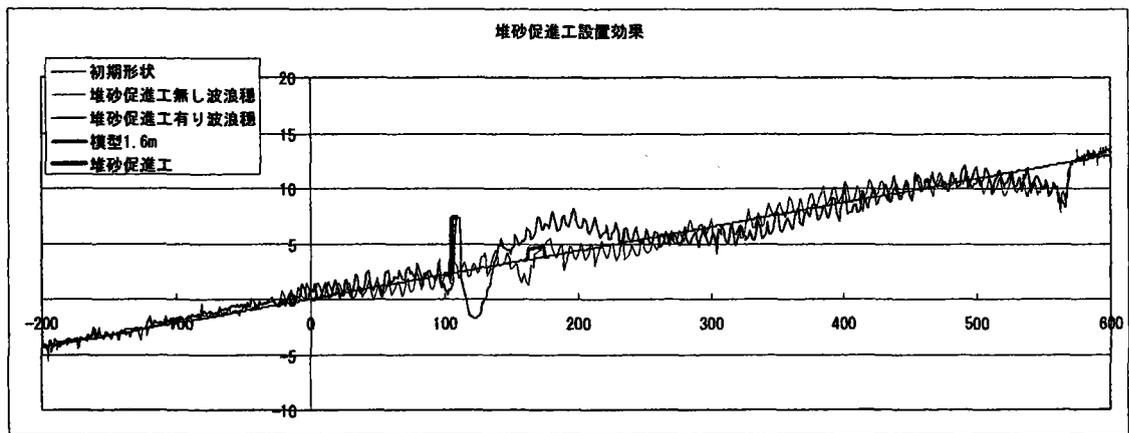


図 I - 9 翼状堆砂促進工の設置効果

この堆砂促進工が小さい波条件でも底層漂砂を発生させる機構漂砂を発生させる機構は、水路側面からの観察によりいかのようであることが確認された。(参照、図 I - 10)

実験の設定状況は図 I - 10 - 1 に示すように、堆砂促進工の天端高さは水深の 1/10 程度であり、一般の選定と比較すると極端に低いものである。ここに波を作用させると天端状部では水平方向の振動流が作用する。

実験開始時の状況を図 I - 10 - 2 に示すが、堆砂促進工天端状の振動流が沖方向のとき岸側端部と海底面との間に強い渦が生じて底質を巻き上げる。促進工沖側への流れはスムーズでありこの部分の海底面の変動は少ない。その後振動流が岸方向になると、巻き上げられた底質は岸方向に運ばれる。流れの状況としては比較敵スムーズであり、この時点では海底面の変化は少ない。ある程度の時間が経過すると(図 I - 10 - 3)促進工岸側端部付近の海底面は浸食され、振動流が沖方向の場合に発生する渦の大きさが大きくなり、底質の巻き上がり量も多く、岸方向への振動流による底質の移送量も多くなる。

このような一連の作用で、翼状堆砂促進工は小さい波浪でも自らの翼下にある底質を岸方向へ移送し、かつ沖方向への影響は小さいという特性を持っている。移送量や範囲については水深と天端高さの比率や翼部の長さ、波浪条件により異なるものと考えられる。

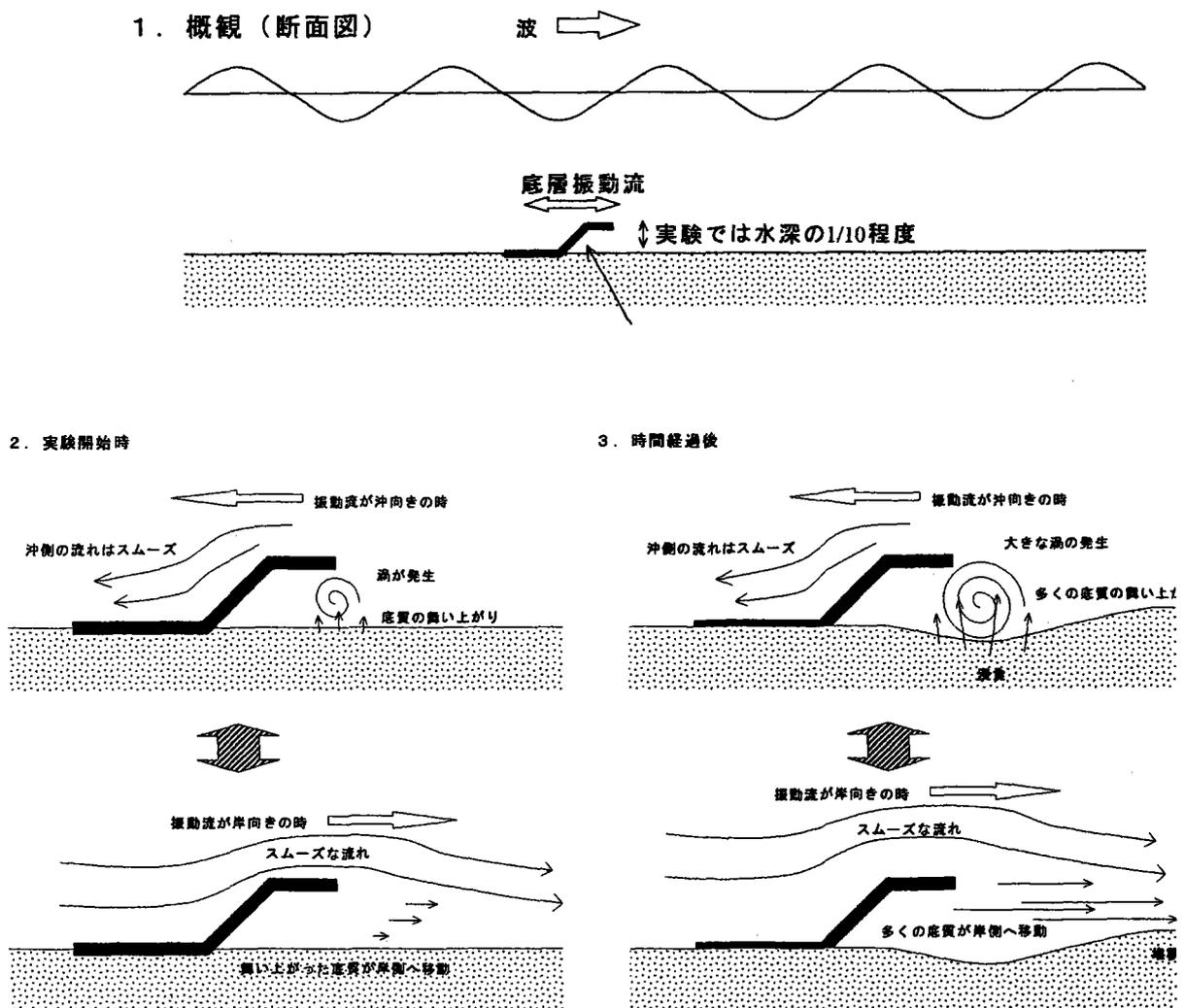


図 I - 10 翼状堆砂促進工の漂砂制御機構

(2) 鋼製マット模型上の堆砂量

表 I - 3 に各実験終了後、マット模型状に堆積してた実験砂の堆砂率を示した。

堆砂率とは、模型空 m^3 から部材体積を減じたもの（模型空隙体積）を期待される堆砂量の最大値とし、これで実際の堆砂量を除した値とした。

実験ケース 1 ~ 3 を比較すると洗掘防止板の効果がわかる。ケース 3 の凸型を構成マット模型直沖側に設置したものが、設置しない場合に比べて約 1.5 倍の堆砂が認められる。

翼状堆砂促進工の効果を見るために堆砂促進工のないケース 7 と設置したケース 11 を比較すると、堆砂率には明瞭な違いがあることがある。影響範囲を見るために堆砂促進工からの設置距離を 100cm としたケース 12 ではマット模型状への堆砂はほとんど認められず、その機能が発揮される範囲は限られている。

マットの堆砂機能部材を木製としたハイブリッドマットは堆砂機能が高く、その有効性が伺われた。

表 I - 3 実験ケース毎の堆砂率

| マット模型 種類 | 位置 cm | 付帯物 | 距離 cm | 波 条 件 | 実験ケース | | 堆砂量 cm ³ | 模型空 隙体積 | 堆砂率 | 備考 |
|-------------|----------|------|----------|----------|--------|----|------------------------|------------|-------|------------|
| | | | | | 名称 | 番号 | | | | |
| 鋼製 | 160 | 無し | | 荒 | NN | 1 | 235 | 381 | 0.617 | |
| 鋼製 | 160 | 平板 | 0 | 荒 | NA | 2 | 273 | 381 | 0.717 | |
| 鋼製 | 160 | 凸板 | 0 | 荒 | NB | 3 | 347 | 381 | 0.911 | |
| 鋼製 | 160 | 凸板 | 4.5 | 荒 | NC | 4 | 288 | 381 | 0.756 | |
| 鋼製 | 210 | 翼状潜堤 | 100 | 穂 | SD01 | 5 | 414 | 381 | 1.087 | |
| 鋼製 | 160 | 翼状潜堤 | 50 | 穂 | SD02 | 6 | 580 | 381 | 1.522 | |
| 鋼製 | 160 | 無し | | 穂 | SD0308 | 7 | 131 | 381 | 0.344 | |
| 鋼製 | 320 | 無し | | 穂 | SD0408 | 8 | 76 | 381 | 0.199 | |
| 鋼製 | 160 | 無し | | 荒 | SD0316 | 9 | 194 | 381 | 0.509 | SD0308より継続 |
| 鋼製 | 320 | 無し | | 荒 | SD0416 | 10 | 930 | 381 | 2.441 | SD0408より継続 |
| 鋼製 | 160 | 翼状潜堤 | 50 | 穂 | SD0508 | 11 | 612 | 381 | 1.606 | |
| 鋼製 | 210 | 翼状潜堤 | 100 | 穂 | SD0608 | 12 | 50 | 381 | 0.131 | |
| 鋼製 | 160 | 翼状潜堤 | 50 | 荒 | SD0516 | 13 | 1074 | 381 | 2.819 | SD0508より継続 |
| 鋼製 | 210 | 翼状潜堤 | 100 | 荒 | SD0616 | 14 | 473 | 381 | 1.241 | SD0608より継続 |
| ハイブリッド1 | 160 | 無し | | 荒 | WS01 | 15 | 230 | 240 | 0.958 | |
| ハイブリッド2 | 160 | 無し | | 荒 | WS02 | 16 | 178 | 232 | 0.767 | |
| ハイブリッド1 | 160 | 平板 | 0 | 荒 | WSP01 | 17 | 180 | 240 | 0.750 | |
| ハイブリッド2 | 160 | 平板 | 0 | 荒 | WSP02 | 18 | 182 | 232 | 0.784 | |

2. 実海域における鋼製マット機能実証造成試験

(1) 平成 12 年度造成試験

12 年度造成試験は平成 13 年 2 月に実施した。当該試験では、徳島県立農林水産総合技術センター水産研究所にて鋼製マットに挟む播種袋を製作し、試験現場である東和町まで自動車で移送し、現地で鋼製マットの最終組み立てと設置を行ったが、その後の追跡調査では出芽・成長ともに芳しくなく、鋼製マット 1 枚あたり最高で 12 本、平均長 25cm 程度までしか観察されなかった。

徳島県立農林水産総合技術センター水産研究所が他の工法を用いて別の海域で同年 1 月に行った試験では、問題なく出芽・成長が認められたことから、この原因として下記の要因が考えられた。

- ・ 移送時の振動・摩擦による種子の劣化。
- ・ 当該海域は波高が比較的小さく、底層漂砂移動が少ないため、マットの機能が堆砂發揮されなかった。
- ・ 上に加え群設置したので、漂砂がマット群全体に行き渡らなかった。
- ・ 設置時期が種子の出芽期に不適。
- ・ 設置時期がその海域におけるアマモ出芽期に不適。

(2) 平成 13 年度造成試験

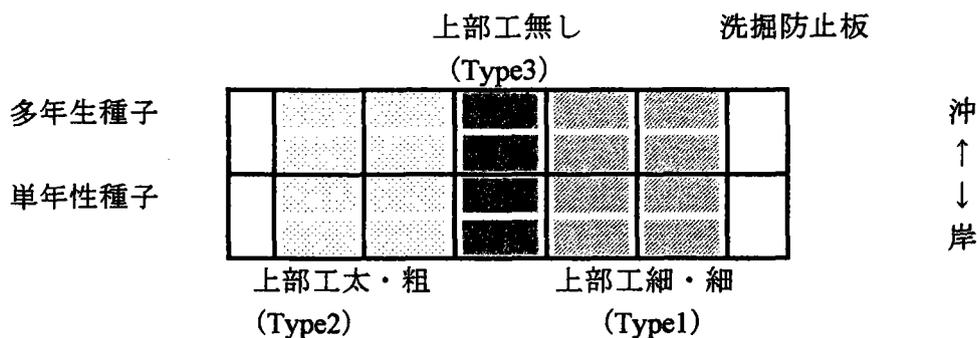
13 年度造成試験は平成 14 年 1 月に実施した。播種袋は東和町逗子漁港内の作業小屋にて製作し、流水水路内に保管、翌日鋼製マットに挟み海域に設置した。

平成 13 年度鋼製マット設置の方針としては、

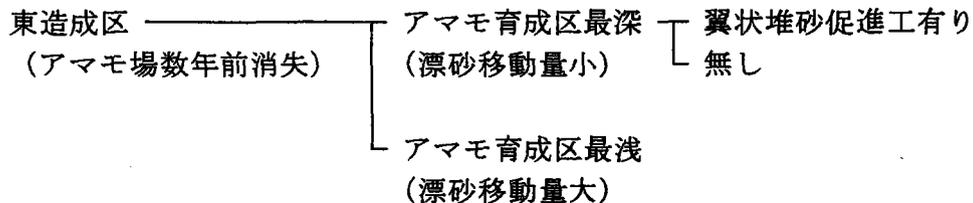
- ・ 群設置の効果が薄い・広い範囲で造成→小単位で分散設置

- ・局所的物理環境条件が影響が予想 → 典型的な場所で評価
→ 漂砂移動の少ない海域用の上部工無しマット
→ 堆砂を促進・安定するための翼状堆砂促進工設置
- ・アマモ群落の維持・拡大を目指す → 単年性では種子の形成
→ 多年生では栄養株の維持

鋼製マット設置1単位は、下の模式図のように10枚を1セットとし、同環境下におけるマット及び種子の機能比較を行った。



鋼製マット設置位置は下記の4カ所とした。



なお、翼状堆砂促進工は、構造図から明らかなように、天端高さが水深の5%程度のかなり低天端のものである。

経過観察の結果、まずマット上への堆砂状況は、東最深では上部工上までの堆砂は認められず堆砂工の有無で顕著な差は認められなかった。また東側最浅及び西側対照区では設置後3ヶ月経過でほぼ全体が埋没し、最終的に20cm程度没した。次にアマモの出芽状況については東側最深の地点が多く、その内上部工無しが最も多かった(75~120本)。また、東側最浅及び西側対照区では多年生(10~70)と単年性(2~20)に顕著な差が認められ、一方マットの構造による差異は認められなかった。成長状況については東側最深では比較的順調な成長が認められ、特に堆砂工背後に設置した上部工無しの多年生は天然と同じ程度まで群落を形成した。東側最浅及び西側対照区では堆砂に成長が追従せず、モヤシ化(?)した後、早期に消失した。衰退から世代交代の状況は、東側最深の多年生は少数ではあるが株が残り、現時点で最生産が始まっている。堆砂工有りでは上部工無しと有り1枚、堆砂工なしでは上部工無しのもののみその状況が確認された。単年性につ

いては、その生態どおり秋期に種子を持った後、消失した。

(3) 平成14年度造成試験

当該海域のアマモ出芽時期が11～12月であることから、14年度は平成14年12月に試験を実施した。前年度と同様、東和町逗子漁港内で播種袋を作成、海域に設置したが、今年度はその播種袋に緩効性肥料を仕込み、栄養条件に配慮した。設置方法としては、さらに広範囲の造成の可能性を探るため東側最深～最浅の範囲を鋼製マット単体で市松状に設置した。また最深部に上部工無しと上部工を木製としたハイブリッドマットを用いた。

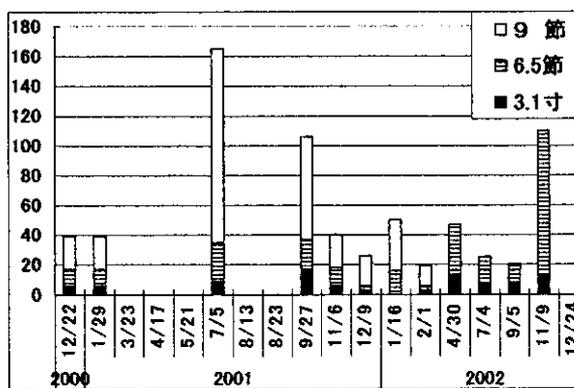
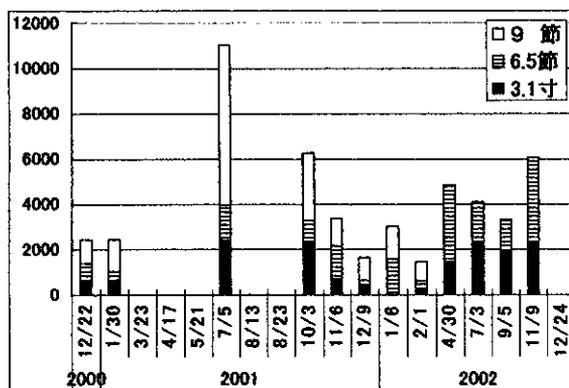
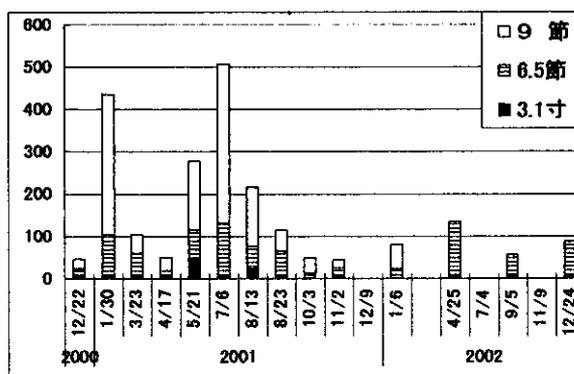
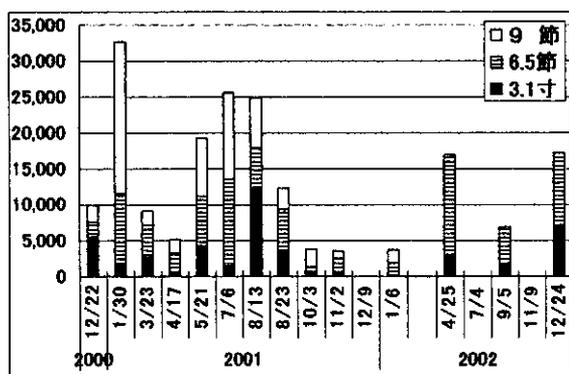
現在経過観察中であるが、出芽・成長は過去に比して非常に良好であり、出芽数350本が確認されているマットもある。

II アマモ場造成効果の実証

1. 刺し網調査結果

アマモ分布域および分布がみられない周辺域（以後、アマモ分布なし域と称する）において、目合いの異なる刺し網1回あたりに採集された漁獲量（以後、重量と表現する）は図II-2に示した。

アマモ分布域が3,477～32,654 g、アマモ分布なし域が1,447～11,022 gの範囲で推移した。アマモ分布域では2000年12月～2001年8月の間では約9,000 g以上（4月のみ5,100 g）で推移したのに対して、分布なし域では2001年7月に11,020 gで最大となったが、それ以外の調査時では約2,730 g以下で推移した。なお、2002年4月以後、両海域



図II-2 刺し網で採集した魚類の重量 (g)
 上段: アマモ分布域 下段: アマモなし域
 * 矢印以降は3.1寸と6.5節網のみ

図II-3 刺し網で採集した魚類の個体数 (N)
 上段: アマモ分布域 下段: アマモなし域
 * 矢印以降は3.1寸と6.5節網のみ

ともに目合い 3.5 寸、6.5 節網のみの使用にもかかわらず（図中→印で示す）アマモ分布域では総重量は約 6,850 g 以上で推移したのに対して、分布なし域では約 3,310 ~ 6,050 g で推移した。これらは目合いの大きさで差異が生じるが、6.5 節および 9 節網での採集量の多寡によって差が顕著となった。

個体数は 2001 年 7 月に 506 個体で最大で、同年 5 月～8 月間では 115 ~ 215 個体と常時採集された。アマモ分布なし域では 2001 年 7 月に 165 個体で最大に、同年 9 月 106 個体、2002 年 11 月に 110 個体と多かったが、それら以外の調査時では 50 個体以下で推移した（図 II-3）。また、アマモの分布域と分布なし域の個体数は、サイズの大きい魚種がかかる目合い 3.1 寸網では両海域でほとんど差がないが、サイズの小さな魚種がかかる目合い 6.5 節と 9 節では海域での差が大きく、特に、目合いが小さくなるほどその差が顕著であった。このことが前述したように総重量に反映した。また、総個体数は年変動が若干強く表れ、春季、夏季および冬季で多く、秋季には少ない傾向がみられた。

次に、アマモ分布域で刺し網で採集された魚類の種組成をみると（図 II-4）、メバル、マコガレイ、メイタガレイ、マダイ、キュウセン、カワハギの 6 種が調査期間を通じて多かった。それら 6 種の重量は約 650 g ~ 14,040 g で推移したが、特に常在したメバルの重量は、2000 年 12 月、2001 年 8 月および 2002 年 9 月では 720 g 以下であったが、それ以外の調査時では約

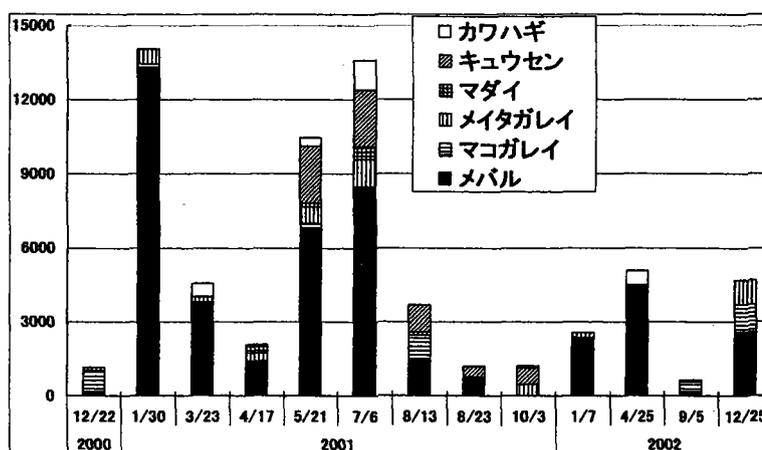


図 II-4 アマモ分布域での主要 6 魚種の重量 (g)
→印以降は 3.1 寸と 6.5 節網のみで採集した

1,430 ~ 13,290 g となり、他 5 種の魚類の重量値と比べ圧倒的に大きい。また、主要 6 種が全魚類の総重量に占める割合は、2000 年 12 月、2001 年 8 月および 2002 年 9 月では約 11 % 以下と低い例もみられたが、それ以外の調査時では約 27 % 以上で推移し、最大では約 93 %、平均的には約 40 ~ 50 % 前後を占める場合が多かった。なお、これら 6 種の重量が少なかった時期に、中層遊泳性のアジ類、サバ、ボラ、コノシロ等が群れの来遊や、季節的来遊種のアイゴ、ヒラメ、マゴチ等や遇来性来遊種のメジナ、アカエイ（体長 1.8 m、約 180,000 g）等により重量は大きくなっている。

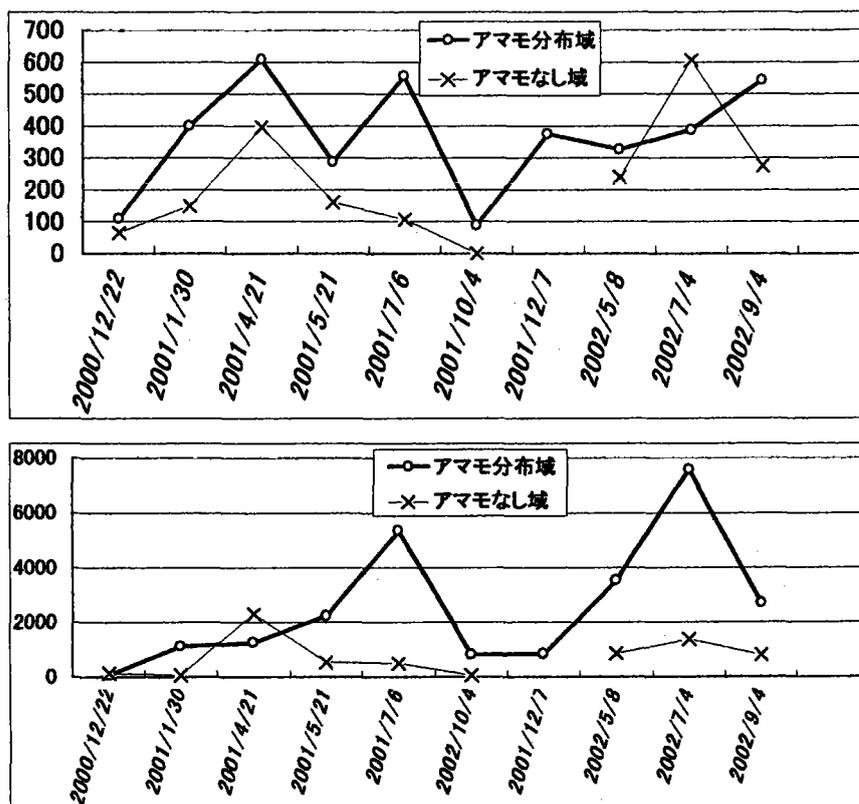
2. 曳き網調査の結果

アマモ分布域および分布なし域において曳き網により採集された個体数と重量は図 II-5 に示した。

アマモ分布域の個体数は 2000 年 12 月と 2001 年 10 月を除いては 300 個体以上で推移し、2001 年 4 月と 7 月および 2002 年 9 月には約 500 個体とかなり多かった。分布なし域の個体数は 2001 年 4 月が 396 個体、2002 年 7 月が 605 個体であったが、それ以外の時期ではかなり少ない。そして、アマモ分布域の総重量は 2001 年、2002 年の両年とも冬季から夏季にかけて急増し、7 月には各々 5,346 g で、7,581 g であった。分布なし域の総重量は 2001 年 4 月に 2,302 g となったが、それ以外では 1,000 g 以下で推

移した。2002年7月にハオコゼが大量に採捕されて個体数は最大となったにもかかわらず、その重量は1,300gと小さく総重量には反映しなかった。

一方、分布なし域での主要6種の重量は(表1)、全期間を通じては594～5,997gで推移し、2001年1月には最低、同年7月には最高となった。分布なし域の総重量はアマモ分布域と比べると2～4倍も少なく、この時期の重量が大きくなる等、アマモ分布域とは若干異なった傾向がみられた。



図Ⅱ-5 曳き網による個体数と総重量
上段: 個体数 N 下段: 総重量 g

表1 アマモ分布なし域での主要6種の重量(g)

| | 2001 | | | | | 2002 | | | | |
|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|------|--------|
| | 1月22日 | 4月17日 | 7月5日 | 9月27日 | 12月9日 | 1月16日 | 4月30日 | 7月4日 | 9月5日 | 11月9日 |
| メバル | | | | | | 1039.5 | | 74.0 | | |
| マコガレイ | | | 241.3 | | | | | | | |
| メイタガレイ | 594.2 | | 984.7 | 430.1 | 319.7 | 273.7 | 1259.2 | 288.0 | | 195.0 |
| マダイ | | | 327.6 | 137.3 | 50.0 | | 479.1 | 181.0 | | 494.0 |
| キュウセン | | | 3734.3 | 1340.7 | 465.8 | | | | | |
| カワハギ | | | 708.9 | 1585.9 | 158.4 | | | 671.0 | | 1720.0 |
| 計 | 594.2 | | 5996.8 | 3494.0 | 993.9 | 1313.2 | 1738.3 | 1214.0 | | 2409.0 |

次に、採集された各魚種の重量が総重量に占める割合を求め、アマモ分布域内の群落構造を検討した(図Ⅱ-6)。アマモ分布域ではメバルが占める割合は2001、2002年とも5月、7月に50%以上と高くなった。それ以外の時期ではハオコゼとアミメハギの占める割合が高くなり、これら3種が優占した。上記3種で50%以下になることはなく、またメバルの幼魚が毎年5～7月に急増し、その割合が極端に高い。これら以外の魚類は季節あるいは年度により単発的に多い場合がみられ、その時期に若干目立つ程度で、全期間ではその割合は低かった。一方、分布なし域ではメバルの出現が2回みられたが、その重量は少ない。

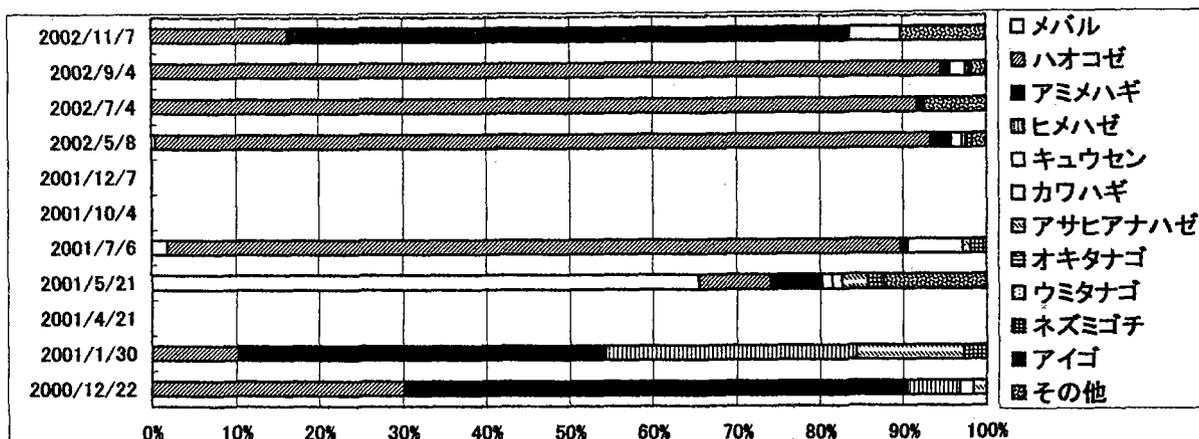
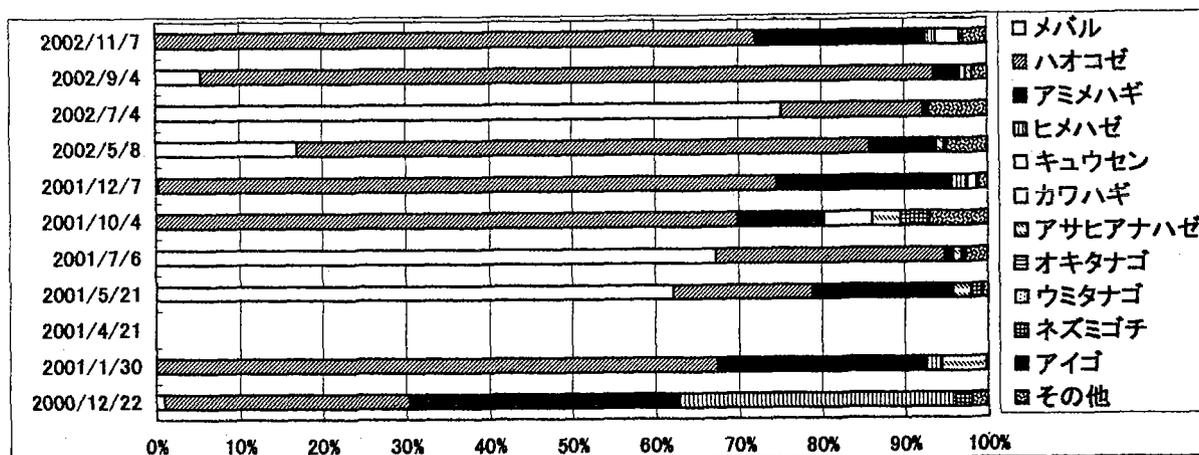


図 II-6 アマモ分布域と分布なし域で採集した各種魚類の割合
 上図：アマモ分布域 下図：分布なし域

【考 察】

I 鋼製マットによる造成手法に関する調査

造成手法を確立するためには、平成 14 年度造成試験の追跡調査を進めるとともに、さらに詳細なデータの解析が必要であるが、従来より懸案であったアマモ場に維持・拡大及び世代交代も確認され、鋼製マットによる造成が波浪条件が厳しいことでアマモ場の形成が阻害されている浸食～微堆積程度の海域で有効であることが確認されたと考える。今後さらに維持・拡大を進めるためには衛上場検討の西武が必要となるであろう。また、浴場堆砂促進工のアマモ場造成における有効性も確認された。このことにより水深比数%程度の低天端構造物でも環境整備に効果があることが示唆された。

これから明らかにすべき事項として、マット種類は、通常・上部工無し・ハイブリッドと 3 種類があるが、その適用すべき条件を示す必要がある。これについては、現在造成試験と平行して波浪観測を行っており、その解析結果と平成 14 年度造成試験結果を合わせるにより把握されると思われる。

一方、12 年度造成試験から問題となっていた適切な造成時期についてであるが、これ

は種子の遺伝的・生態的な条件と造成海域の環境条件とが関連するものであり、簡単に結論は出ないのではないであろうか。種子がその海域で採取されたものであれば、天然アマモ場の生態を観察することで適切な造成時期が把握できるが、今回の試験のように他所の種子を用いた場合は予想が困難である。他所からの種子の移設はその海域の遺伝子や生体の健全な保護の観点からも望ましくないとの意見もあるが、アマモ場造成を行おうという海域には当然ではあるが天然アマモ場が少ない場合が多く、種子の確保は困難である。

造成手法確立のためにも種子の確保は重要な問題である。現在は、天然アマモ場から種子を採取している状況であるが、造成が大規模に実施されるようになると、天然アマモ場からの採取が増え、かえって天然アマモ場が減少するという状況にもなり得ないことはない。今後、種子の供給体制をいかに構築していくかが重要な課題となろう。

II アマモ場造成効果の実証

天然アマモ分布域とその周辺や分布なし域で、目合い3.5寸、6.5節、9節の3種類を用いた刺し網調査の結果、11目36科60種の魚類と、イカ、タコ類4種およびナマコ類、カニ類2種が採集された(表II-2参考)。そのうち魚類30種は周年もしくは季節的(来遊も含む)に藻場への依存度が高く、特に、メバル・カサゴ類、アイナメ、ベラ類、カワハギ類、カレイ類、シロギス等で利用度が大きい。また、アイゴ、アナゴおよびイカ・タコ類は季節的に利用度が高く、特に産卵のために来遊しているため、アマモ場がその機能を

表II-2 アマモ分布域で採集された魚類(刺し網、2001, 07, 5~6)

| 生活型・魚種 | 3.1寸目合い刺し網 | | | 6.5節目合い刺し網 | | | 9節目合い刺し網 | | |
|----------|------------|---------|-----------------|------------|----------|-----------------|----------|----------|-----------------|
| | 個体数 | 湿重量 g | サイズ cm | 個体数 | 湿重量 g | サイズ cm | 個体数 | 湿重量 g | サイズ cm |
| 周年依存型 | 2 | 321.9 | 20.2(15.8~24.6) | 61 | 3,996.4 | 16.2(7.3~19.2) | 257 | 4,161.4 | 13.3(10.0~16.8) |
| メバル | | | | | | | | | |
| カサゴ(赤) | | | | | | | | | |
| ヨロイメバル | | | | 4 | 436.7 | 16.9(16.1~18.8) | 1 | 92.4 | 15.5 |
| アイナメ | | | | 6 | 912.3 | 21.1(20.4~22.9) | 4 | 547.8 | 20.3(18.6~24.6) |
| クジメ | | | | | | | 3 | 152.9 | 15.6(14.8~17.0) |
| キュウセン | | | | 2 | 69.9 | 14.5(13.7~15.3) | 46 | 2,226.9 | 16.0(11.4~20.0) |
| オハグロベラ | | | | 6 | 35.4 | 17.0(15.0~18.0) | | | |
| ホンベラ | | | | | | | 4 | 213.7 | 14.4(11.8~17.7) |
| ネズミゴチ | | | | 3 | 78.3 | 16.4(14.0~18.0) | 11 | 256.9 | 16.4(15.2~17.6) |
| シロギス | 1 | 37.5 | 17.1 | | | | 14 | 1,145.2 | 20.9(17.6~27.2) |
| 季節依存型 | 1 | 101.2 | 17.1 | 2 | 242.3 | 19.4(17.0~21.7) | 2 | 69.8 | 12.9(11.5~14.2) |
| ゴモンラク | | | | | | | 1 | 84.2 | 17.2 |
| ナシフグ | | | | 4 | 757.0 | 22.0(20.3~24.3) | 3 | 358.8 | 18.2(12.2~21.4) |
| マコガレイ | | | | 17 | 1,381.8 | 17.4(15.2~22.5) | 5 | 567.3 | 18.7(15.6~22.1) |
| メイトガレイ | | | | 2 | 98.1 | 16.9(16.2~17.5) | 17 | 816.8 | 16.4(14.5~18.4) |
| ウミタナゴ | | | | 3 | 1,030.0 | 26.8(23.0~32.2) | 1 | 101.2 | 17.1 |
| アサヒアナハゼ | | | | 8 | 1,055.4 | 18.2(15.3~23.2) | | | |
| ウマスラハゲ | 1 | 142.8 | 19.1 | 1 | 88.8 | 19.8 | 3 | 125.9 | 14.7(13.0~16.7) |
| カワハギ | 1 | 81.9 | 19.0 | | | | | | |
| タマカンソウビラ | 2 | 513.2 | 24.1(17.2~31.0) | | | | 2 | 899.8 | 29.7(28.5~30.8) |
| マダイ | | | | | | | | | |
| チダイ | | | | | | | | | |
| アイゴ | | | | | | | | | |
| 来遊型 | | | | 2 | 1,381.7 | 42.7(40.0~45.3) | | | |
| マアジ | | | | | | | | | |
| スズキ | | | | | | | | | |
| ボラ | | | | | | | | | |
| マアナゴ | | | | | | | | | |
| トカゲエソ | 1 | 297.7 | 36.5 | | | | 1 | 104.3 | 24.5 |
| トビウオ | | | | | | | | | |
| TOTAL | 9 | 1,496.2 | | 121 | 11,562.1 | | 375 | 11,925.3 | |
| 魚類以外 | | | | | | | | | |
| 生活型・魚種 | | | | | | | | | |
| 軟体類 | | | | | | | | | |
| ナマコ類 | | | | | | | | | |
| マダコ | | | | | | | | | |
| コウイカ | | | | 1 | 487.8 | | | | |
| 甲殻類 | | | | | | | | | |
| イシガニ | | | | | | | | | |
| 貝類 | | | | | | | | | |
| ヨナキ貝 | | | | | | | | | |
| TOTAL | | | | 1 | 487.8 | | | | |

果たしていることが明らかとなった。

刺し網で採集した魚類の個体数と総重量は、天然アマモ場（分布域）では 43 ～ 506 個体・3.5 ～ 24.9 kg で、これに対して分布なし域では 19 ～ 165 個体・1.4 ～ 11.0 kg で推移したが、アマモ分布域と分布なし域の個体数を比較すると、最大約 17.4 倍、湿重量では約 10.2 倍となった。そして、アマモ分布域では春季～初冬および冬季に決まって多く採集され傾向がある。単純には季節的変動や偶然性も加味する必要があるが、アマモが分布することが重要で、そのことはアマモが最繁茂する春～初夏および繁茂開始～肥大期となる冬季に魚類の蝸集効果が増大する。特に、メバルはアマモ場では常時優占的に群をなしているので、産卵直後から幼魚・成魚時期における餌補給や棲み場として重要な場⁹⁾であることは明確である。魚類以外の有用生物では、タコ、イカ類とカニ類は冬～春季にはアマモ藻場周辺（砂泥）域で採捕され、夏季（2001, 2002 年）には多数のアイゴ成熟魚の来遊し、コウイカがアマモへ産卵し、初冬にはアオリイカがアマモ藻体へ多量な卵を産み付けるなど、様々な状況が把握された。

曳き網調査結果から、アマモ分布域と分布なし域における蝸集魚類 28 種以上、イカ、タコ類 4 種およびナマコ類、カニ類数種が採集された。魚類の全個体数と総重量は、アマモ分布域では 88 ～ 608 個体・0.6 ～ 2.7 kg、分布なし域では 49 ～ 605 個体・0.06 ～ 2.3 kg で推移した。アマモ分布域と分布なし域の個体数と総重量を比較すると、前者では最大約 5.2 倍、後者では約 10.6 倍と差が顕著であった。採集された幼稚魚のうち、メバル、ハオコゼ、アミメハギが突出し、それらはアマモ分布域でほぼ周年にわたり出現したが、冬～春季には急増し、初夏～秋季には急減した。また、ハゼ類、ネズミコチ類は両海域でほぼ採集されたが、これら以外の魚類については藻場周辺の砂泥域を生活の場⁷⁾としており、アマモ群落の有否でかなり差が生じた。つまり、アマモの生活史との関連が強い。すなわちアマモは春～夏季には現存量が最大で群落も豊かに繁茂し、初冬～初春にはアマモ種子の発芽およびその成長とともに、残存した栄養株の再成長も伴うので藻場が徐々に肥大する。これらの期間は幼稚魚にとっては餌場、棲み場、隠れ場としての好適条件が増大し、機能も向上する等の相乗効果をもたらす。また、春～初夏に採捕したアイゴ、キスゴ、カワハギ等はほとんどが産卵固体であり、この時期には産卵のために来遊し、コウイカ、アオリイカ等はかなりの量がアマモ藻体の茎部へ直接産卵し、孵化するまでの約 1 ヶ月間附着したことも潜水調査により確認された。これらについてはなぜ来遊、産卵するのか、また環境条件と産卵生態との関連など詳細な調査をしていないが、アマモ場は様々な機能¹⁰⁾を有していることが判明した。

今回用いた刺し網で、操業 1 回あたりの生産金額を広島市魚市場魚価格を基に試算して、当該アマモ場の評価を求めてみた。

ここでは刺し網での漁獲量（重量 g）が最も大きかった 2001 年 7 月調査時を事例として、試算してみた。2001 年 7 月の総金額は約 53,000 円、そのうちメバル、メイトガレイ、カワハギの 3 種で 82 % を占めた。ちなみにメバルは約 8.5kg が採捕され、その日の市場価格は 4,200 円/キロで、それを基に計算すると約 36,000 円となった。当該のアマモ場の面積は約 2,000 m² で、この規模の藻場において地元業者が一般的に刺し網で操業する場合 40 反を投網するという（本調査では 9 反使用）。これらを基に単純に計算すると、操業 1 回あたりの生産金額は 140,000 円以上と推算される。従って、当該アマモ場の価値は 140,000 円 / 1 回あたり操業 × 出漁日数 X を当てはめると計算値が算出される。つまり、アマモ場 2,000 m² あたりの生産金額を算出することで、機能を評価する上での 1 つの基準単位となる事例を記述した。これらを明らかにするには更なるファクターを加味する必要

があり、また他のアマモ場との比較検討も必要となろう。

最後に、アマモ播種後に出芽・成長して、初期群落形成に至るが暫時消失する状況が見られたが、この要因としては鋼製マット底部へアナゴ群の定住によりアマモ発芽体根部の活着阻害と、来遊したアイゴ等の食害による葉体部欠損等によるものと推察した。そこで、アイゴについては刺し網での採集後、胃内容物を調べたところアマモ藻体が満腹状態で観察される個体が多かった。さらには、屋外水槽での食害実験により、アマモをアイゴが確実に食している状況をビデオで確認出来たこと等、アイゴの食害の影響がアマモ群落形成の阻害要因の一要因になっていることが示唆された。

【摘 要】

I 鋼製マットによる造成手法に関する調査

1. 懸案のアマモ場の維持・拡大及び世代交代が確認された。
2. 鋼製マットは浸食～微堆積程度の海域で有効と考えられる。
3. 構造としては十分であり、それ以上は栄養等の他要因の整備が必要である。
4. 翼状堆砂促進工の効果が認められ、水深比数%程度の低天端構造物でも環境整備に効果があることが示唆された。
5. 適用範囲を明確にする必要がある。
6. 種子の供給体制の構築が必要である。

II アマモ場造成効果の実証

1. 刺し網で採集した魚類の個体数と総重量はアマモ分布域では43～506個体・3.5～32.7kgで、これに対して分布なし域では19～165個体・1.4～11.0kgで推移した。これらをアマモ分布域と分布なし域で比較すると、個体数では最大約17.4倍、湿重量では最大約10.2倍となった。
2. アマモ分布域は幼稚魚期の過程では生活の場や餌場としての利用度が高く、特に、メバルにとってアマモ場は産卵直後から幼魚・成魚時期の生活史の大半を過ごしており、餌補給や棲み場として重要な場であることが示唆された。
3. また、アイゴ、キスゴ、カワハギ等は産卵のために来遊し、コウイカ、アオリイカ等はアマモ藻体へ直接産卵し、孵化することが確認されたので、アマモ場は様々な機能を有し、その収容量も極めて高いことが示唆された。
4. 当該のアマモ場（面積は約2,000㎡）で、操業1回あたりの生産金額は140,000円程度と推算された（最高値）。従って、当該アマモ場の年間の生産金額の算出基準は140,000円/1回当たり操業×出漁日数Xの式で求めることとした。
5. 藻場の衰退や消失が懸念される状況下にあつては、アマモ群落の長期的な維持・継続と造成が図られることにより有用動物群との共存共栄が可能な場となるので、その技術開発が重要となった。

【今後の課題】

1. アマモ場の維持・拡大及び再生産がほぼ確認され、鋼製マットは海底面が浸食～微堆積傾向の海域で有効であったが、適応指標の明確化及び栄養条件等の整備手法、堆積速度が大きい海域での造成方法について検討を要する。

2. 緩効性肥料を用いて栄養条件に配慮したマットについて、現時点までの観察では、出芽・成長は非常に良好であるが、アマモ場の維持・拡大への寄与について経過観察が必要である。
3. 堆砂促進工の効果が認められ、水深比数%程度の低天端構造物でもアマモの育成環境整備に効果があることが示唆されたことから、このような低天端構造物を規模を拡大し魚礁や増殖礁を付与するような構造物を開発することでさらに効率的な浅海砂泥域整備が可能となろう。
4. 本工法を展開するには種子の安定供給体制が必要である。
5. メバル、メイタガレイ、マコガレイ、ベラ類、マダイ等はアマモ分布域およびその周辺域での利用度が大きい。従って、アマモ場の維持・継続も含めた造成技術をさらに開発することによって有用水産生物の収容量増大が図られるので、藻場のもつ機能評価を示す原単位の算定法を検討し、藻場造成適地の選定基準の策定が必要である。
6. アイゴの食害の影響がアマモ群落形成の阻害要因になっているので、その生態について明らかにするとともに、防除対策も今後検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) 森口朗彦・高木儀昌・他、1999：分布特性の異なる2つのアマモ場における物理環境現地観測、水産工学研究所技報第22号、p. 1~12
- 2) 森口朗彦・高木儀昌・他、2001：平成11年度沿岸漁場整備開発調査(直轄)報告書、p. 100~113
- 3) 森口朗彦・高木儀昌・他、2000：鋼製マットによるアマモ場造成の試み、平成12年度日本水産工学会学術講演会講演論文集、p. 67~68
- 4) 森口朗彦・高木儀昌、2001：水産生物調査のための小型で安価なビデオカメラ間欠駆動装置の開発、水産工学研究所技報第23号、p. 9~19
- 5) 森口朗彦・高木儀昌、2001：間欠駆動式水中ビデオカメラを用いたアマモ場の蛸集生物調査、平成13年度日本水産工学会学術講演会講演論文集、p. 35~36
- 6) 森口朗彦・高木儀昌、2002：潜水式囲い網によるアマモ場生物量調査、平成14年度日本水産工学会学術講演会講演論文集、p. 113~114
- 7) 松永浩昌・船江克美・薄 浩則、1992：三枚底刺網を中心とした漁獲結果からみた造成ホンダワラ藻場域に蛸集する魚類について、南西海区水研報、第25号、p. 21-42
- 8) 木元克則・藤田薫・野口昌之・輿石裕一、1999：日本海区水産研究所型桁網による底性稚魚の採集と採集効率、ヒラメ・カレイ類幼稚魚採集調査指針、増殖関係生態調査標準化作業 部会報告書、中央水産研究所、p. 61-64
- 9) 畑中正吉・飯塚景記、1962：モ場の魚の群集生態学的研究-Ⅲ、日水誌、28巻(2)、p. 155-161
- 10) 寺脇利信・吉川浩二・高木儀昌、1997：アマモ場の機能、藻場の機能、中央水研、p. 82-110