アマモ場造成とその利用技術の開発

瀬戸内海区水産研究所瀬戸内海海洋環境部
吉川浩二・寺脇利信・吉田吾郎
調査実施年度：平成８～10年度

【緒　言】

アマモ場は砂泥域の潮干帯下部を中心に形成され、有用水産生物の魚類稚仔やナマコ、カニ類等の隠れ場や産卵場、保育場としてだけではなく、沿岸域における水質を浄化する機能を有すると共に、その同化過程で再び有機物を供給して藻場内に生息する主要な餌量生物を増大させる等、水産資源の再生産を図る上でも重要な機能を担っている。また、アマモ場は浅所がもつ地形的な特性により、過度な漁獲努力が及び難いことから乱獲・密漁等による一方的な資源の収奪を防止する働きも有しており、その存在意義は極めて大きい。埋立てを始めとする開発や海域の汚染等により減少しつつある現状下で、アマモ場の機能を適正に評価しつつ、その造成技術を開発することは、沿岸砂泥海域での資源利用と環境保全との調和を図る技術の一環として位置づけられている。

本調査・研究では、人為的にアマモ場の造成を試み、その保全・管理、さらには持続的に利用するために必要な技術を開発することを目的として、底質の安定化、アマモ花枝の流出防止および保存種子の播種の方法を検討した。併せてアマモ場における有用水産生物状況を把握し、それらの利用様態を明らかにした。

【調査方法】

Ⅰ　中規模アマモ場造成技術の開発

１）アマモ造成区の底質の安定化

造成面積は中規模程度（100 ㎡以上）を目指すが、それには、アマモの着底基盤となる造成試験区の周辺部へ板、ノリ網、土のう等を設置することで流速を軽減化し、砂泥の流動を防止して、その安定化を図ることが必要である。山口県東和町逗子ケ浜地先において1996年９月中旬に、一辺が10ｍの正方形の試験海域を設定し、着底基盤となる造成試験区内の底質安定化を図るため次の通り各種の作業を行った。
なお、本調査に先立ち試験海域におけるアマモ分布調査を行い、その分布状況を把握した。

1996年度設定の試験区

①流速の軽減化を図るため1996年９月中旬に、図１に示す実験区内の16 ㎡（４ｍ×４ｍ）を杉板材（幅20 ㎝、長さ180 ㎝、厚さ２㎝）で囲った（'96板囲い区と称する、図２）。

②上述と同時期に、上述の実験区の南側へ古いクレモナ製ノリ網（幅1.5 ｍ、長さ18 ｍ、目合い20 ㎝）を用いて同じ広さに囲った（'96ノリ網囲い区と称する、図２）。

1997年度設定の試験区

①1996年度と同様に古いノリ網を用いて1997年９月上旬に、実験区内に流速の軽減化を図った試験区を設定した（面積は16 ㎡、'97ノリ網囲い区と称する、図２）。

②上述と同時期に、ビニール製シートを実験区内の底面 14 ㎡（４ｍ× 3.5 ｍ）覆設して砂泥の流動や堆積等の防止を図った試験区を設定した（'97シート敷設区と称する、図２）。

③本試験海域では波浪の影響を比較的強く受け易いので、上述と同時期に試験海域内の１区画の北およ

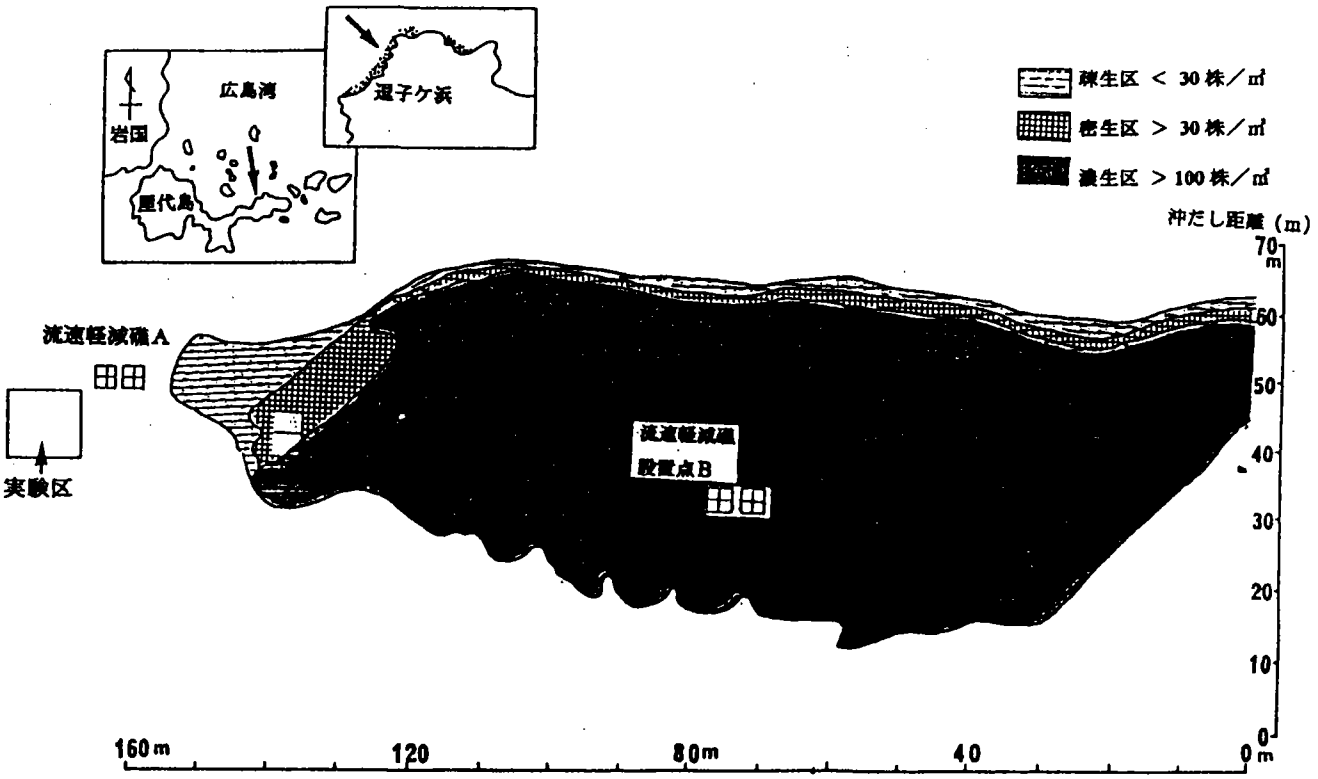

図1　調査海域とアマモの分布状況（1995年6月）

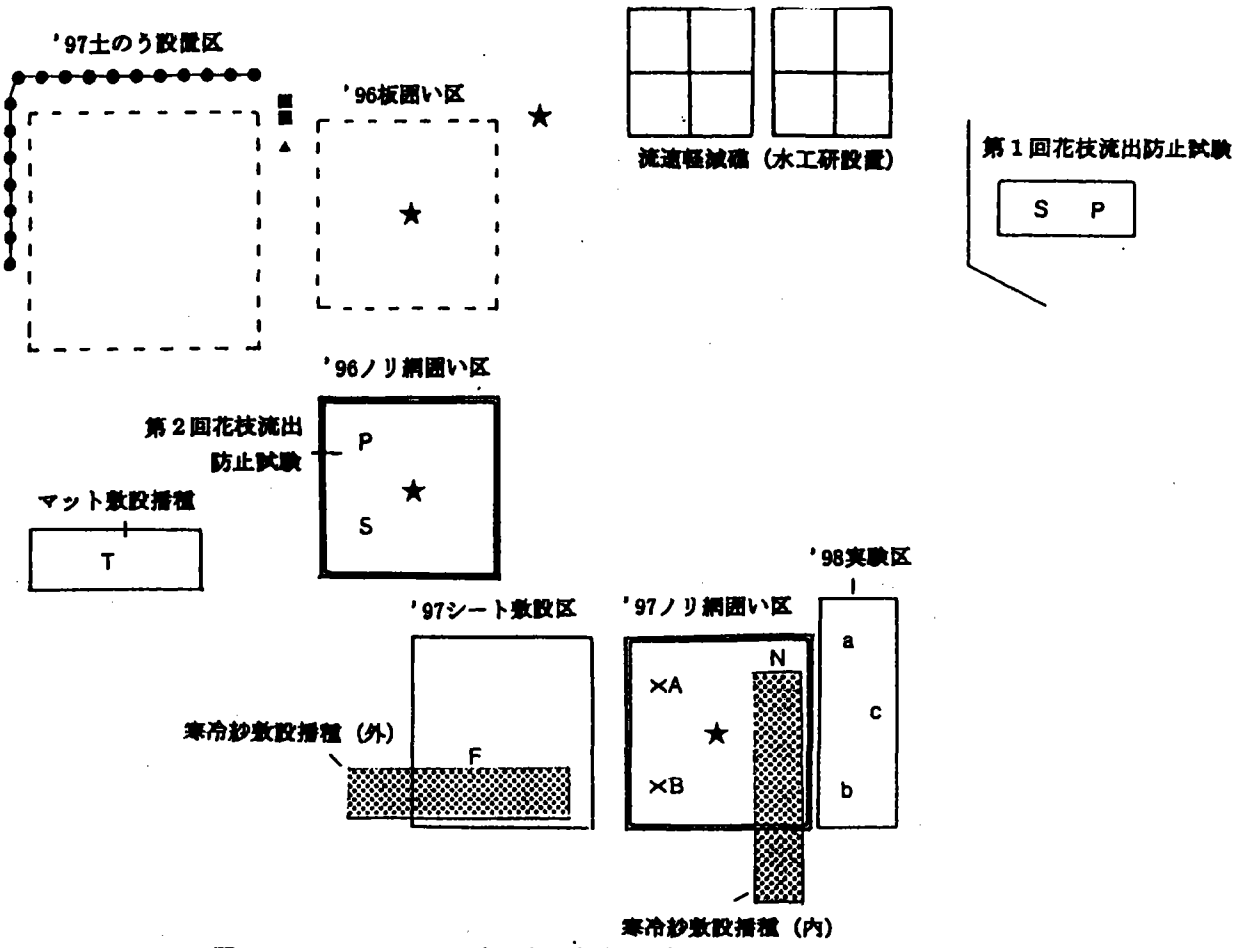

図2　1996,1997,1998年度設定の実験区の概要

び北西面周縁部に土のうを１列に配置して砂泥の流動や堆積等の防止を図った試験区を設定した（５ｍ×５ｍ＝面積25㎡、'97土のう設置区と称する、図２）。

1998年度設定の試験区

①保存種子を播種する目的で1998年11月下旬に、'97年度ノリ網囲い区に隣接した東側へ２ｍ×４ｍ区画の試験区を設定した（'98年度実験区と称する、図２）。

砂泥採集ビンのセット

藻場造成の阻害要因である砂泥の流動や堆積量変化を捉えるため、1996年12月以降約２年間に亘り、上述の試験区内およびその周辺（図２の★印）へ漂砂採集ビン（図３）をセットした。漂砂採集ビンは調査時毎に回収して、砂泥の量および粒度等を調べた

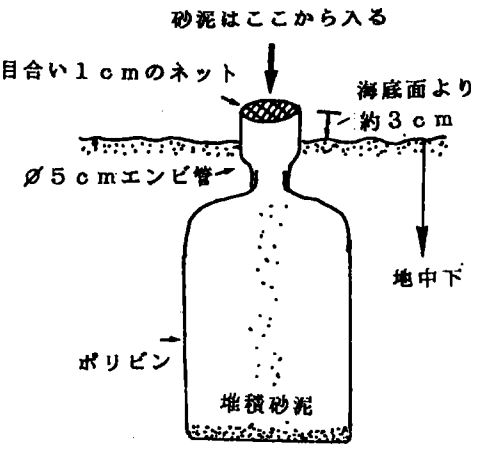

図3　漂砂採集ビン

２）アマモ保存種子の播種による造成試験

1996年度の造成試験

1996年６月中旬および７月下旬に、本試験海域と広島県廿日市町地御前地先でアマモの花枝を採集し、以後それから落下する種子を集め、恒温培養器で保存した。この保存種子を同年12月中旬に、造成地内の流速の軽減化を図った上述の板囲い区と、'96ノリ網囲い区において播種後にタキロンマット（ＸＶＡ樹脂、濾過材）で覆設し砂泥の流動や堆積等防止を図った試験区、播種時に種子をガーゼで包み海底のごく表面に埋没させた試験区（２試験区とも約４㎡）の併せて３区へ播種した。播種数は、これらの試験区毎で若干異なるが１㎡当たり84～150粒である。

しかしながら、４試験区ともに冬季の時化で敷設材の流出やノリ網の破損、砂泥の堆積等により影響を受けたためか種子の発芽はごく僅かで、試験の続行が不可能となった。このため1996年度と同じ場所で２回目の播種試験を実施した。すなわち播種には1996年６月下旬に採集した愛媛県温泉郡興居島産および本海域産の保存種子を供試し、それを1997年２月中旬に、'96ノリ網囲い区の1.2ｍ×1.6ｍ区画へ蒔いた。その方法はまず海底面を整地して、そこへ種子を蒔いて上面をガーゼで覆うと共に、ガーゼ等が煽られぬように人工芝を敷設し、さらに長さ30㎝の８番線を刺しこんで６個所を固定した（図２）。播種密度は１㎡当たり600粒である。

1997年度の造成試験

1997年５月下旬および６月中旬に、1996年度と同じ海域で成熟種子を有するアマモ花枝を採集し、以後それから落下する種子を集め、恒温培養器で保存した。この保存種子は同年12月上旬、1998年１月中旬および２月上旬に以下の方法により各試験区へ播種した（表１）。

① ガーゼ包埋による播種法

第１回目の播種は保存種子100粒と現地砂泥約300ｇとを混ぜた後、二重構造で袋状になったガーゼ製ハンカチに入れ、その10袋を'97ノリ網囲い区の海底面２㎡へ約30㎝間隔に静置した（ガーゼ包埋播種法と称する、図２のＢ）。ガーゼハンカチ１袋当たり種子100粒を入れたので播種密度は500粒／㎡となる。

第２回目の播種の方法および播種地等は第１回目と同様に実施した（呼称は上述と同じ、図２のＡ）。播種密度は第１回目の２倍となるようにガーゼハンカチ１袋当たり種子200粒を入れた。

② 寒冷紗敷設による播種法

播種は1998年１月中旬に行ったが、まず、'97ノリ網囲い区内の海底面５㎡へ種子を蒔き、その上面を

農芸用寒冷紗（綿製、幅 95 cm）で覆った後、その上に砂泥を２～３cmになる程度に被ぶせると共に、寒冷紗が動いたり流出しないよう前述の通りの方法で周辺数カ所を８番線で止め、上面にはφ６mmのステンレス製チエーン 30 mを蛇行するように置いた（'97 寒冷紗敷設播種法と称する、図２のNとF）。これと並行して設定した対照区では、本試験開始以前の 1997 年９月上旬から約４ケ月間、ノリ網囲い区近傍の海底面をシートで覆うことで基盤の安定化を図った。その２㎡へ上述と同様の方法により播種した。播種密度は両試験区とも 910 粒／㎡とした。同年２月下旬には発芽した実生を確認したものの、まだ根の活着が充分でなく不安定な状態だったので、チエーン等はそのままにし経過をみた。

表１　アマモ保存種子の播種による造成試験の概要

年度　造成の方法	開始時期	播種開始時の設定条件など 播種場所と対策　面積　播種密度	砂泥 堆積量
ガーゼ埋設法	'97,12 月上旬	A　海苔網囲　2 ㎡　500 ／㎡	＋＋
（ハンカチ使用）	'97, 1 月上旬	B　海苔網囲　2 ㎡　1,000 ／㎡	＋＋
1997 寒冷紗敷設法	'98, 1 月中旬	N　海苔網囲　2 ㎡　910 ／㎡	＋
	'98, 1 月中旬	F　天然底面　2 ㎡　910 ／㎡	＋
マット敷設法	'97, 2 月上旬	T　天然底面　5 ㎡　2,000 ／㎡	＋＋
（タキロン化繊）			
ガーゼ包埋	'98,11 月下旬	c　天然底面　1 ㎡　150 ／㎡	＋
（包んで連結）	'98,12 月中旬	c　天然底面　1 ㎡　220 ／㎡	±
1998 寒冷紗敷設法	'98,11 月下旬	b　天然底面　2 ㎡　200 ／㎡	＋
縄ムシロ敷設	'98,12 月中旬	a　天然底面　2 ㎡　1,500 ／㎡	＋
	'98,12 月中旬	a　天然底面　2 ㎡　1,500 ／㎡	＋

○播種場所は図２に示す
○砂泥堆積量はアマモ播種後から発芽を確認した期間の結果（定性）
　堆積量欄の記号は、＋＋かなり多い、＋多い、±僅か（目視観察結果）

③ タキロンマット敷設による播種法

播種は 1998 年２月上旬に行ったが、試験区内にスナモグリの巣穴が多数観察され、根の活着阻害が懸念されたのでその排除を目的として、試験開始前の 1996 年 12 月下旬から約 14 ケ月間に亘り海底面５㎡へキャンバスシートを敷設し、まず造成地を確保した。播種時にはキャンバスシートを取り除き、そこへ保存種子を満遍なく蒔いた後、上面にはタキロンマットを敷設すると共に、流出防止のためさらに前述の通りの方法でφ６mmのチエーン等を置いた（マット敷設播種法と称する、図２のT）。播種密度は約 2,000

粒／㎡である。同年２月下旬には発芽した実生を確認したものの、まだ根の活着が充分でなく不安定な状態だったので、マットおよびチエーン等はそのままにし経過をみた。

1998 年度の造成試験

1998 年６月上旬に、本試験海域で成熟種子を有するアマモ花枝を採集し、以後それから落下する種子を集め、恒温培養器で長期保存した。この保存種子を'98 年度実験区で以下の方法により播種した（表１）。

① ガーゼで包埋による播種法

第１回目の播種は 1998 年 11 月下旬に行ったが、その方法は前年と同様に保存種子と現地の砂泥約 20 ｇとを混ぜあわせてガーゼ布で包み、その 10 包みを綿糸で連結した後に海底面約２㎡へ静置すると共に、ガーゼ包みが流出しないよう綿糸部分をさらに８番線で固定した（ガーゼ包埋播種法と称する、図２のＣ）。播種密度はガーゼ１包み当たりに種子 15 粒を入れたので約 150 粒／㎡となる。

第２回目の播種は 1998 年１２月中旬に行ったが、その方法および播種場所は第１回目とほぼ同様である。播種密度はガーゼ１包み当たり種子 22 粒を入れたので 220 粒／㎡となる（同上、図２のＣ）。

② 寒冷紗敷設による播種法

播種は 1998 年１１月下旬に行ったが、まず、種子を'98 年度実験区内の海底面１㎡へ 200 粒蒔き、その上面を寒冷紗で覆った後にそれが見えなくなる程度の砂泥を被ぶせると共に、さらに寒冷紗が動いたり、流出しないよう長さ２ｍ、φ 12 ㎜の鉄筋棒数本とチエーンを所々置いた（寒冷紗敷設播種法と称する、図２のｂ）。

1999 年２月中旬には発芽した実生を確認したものの、まだ根の活着が充分でなく不安定な状態だったので、チエーン等はそのままにし経過をみた。

③ タキロンマット敷設による播種法

本試験は 1997 年度に実施し、その後の経過が順調だったので継続観察した。

④ 縄ムシロ覆設による播種法

播種は 1998 年１２月中旬に行ったが、まず種子を'98 実験区内２ケ所（約２㎡）の海底面へ約 1,500 粒蒔き、その上面を縄ムシロ（市販品、農芸用、幅１ｍ×長さ２ｍ）で覆った後、砂泥を被ぶせると共に、縄ムシロが動いたり流出しないように周辺数カ所を８番線で止め、上面にはさらにチエーンを置いた（縄ムシロ覆設播種法と称する、図２の a)。そして、1999 年２月中旬には発芽した実生を確認したものの、まだ根の活着が充分でなく不安定な状態だったので、チエーン等はそのままにし経過をみた。

３）アマモ花枝の流出防止試験

花枝の流出防止試験

① アマモ花枝の採集とその成熟種子量の把握

毎年形成するアマモ花枝には種子を有しており、通常は海流等によって本試験海域外へそのほとんどが流出しているので、この防止策が重要となる。そこで、花枝の他海域への流出防止法を検討するに先だって、本調査海域内の天然アマモ場において生産される種子量を推算するため、1996 年７月初旬、1997 年５下旬と６月中旬、1998 年５月下旬と６月中旬に方形枠を用いてアマモ花枝を採集し、その花枝内で成熟した種子数を計測した。

② アマモ花枝の流出防止法の検討

1996 年度現地でのアマモ花枝の流出防止試験

花枝の流出防止法を検討するにあたり、まず採集した花枝の保存法と、それから正常な種子が得られるか否かを調べる必要がある。そこで、1996 年７月初旬に採集した花枝 10 数株を市販のタマネギ袋（30 ㎝ × 60 ㎝、目合い約５㎜）へ入れ、発砲スチロール用いて海中に浮かせて保存した場合と、現地の砂泥を入れた野菜篭（塩ビ製、30 ㎝× 40 ㎝× ８㎝）へ 10 数株を置き、その上面へ厚さ約３㎝の砂泥を被せた後、海底へ静置して保存した場合の両者の比較試験を行った（図２の▲印）。約４ケ月経に両者を回収し、

花枝からの種子形成の有否と、正常な種子数を計測した。なお、正常な種子数の割合等は試験開始前と終了時の成熟種子数の計測値から求めた。

1997 年度現地でのアマモ花枝の流出防止試験

1996 年度と同様の目的で試験を行ったが、6月中旬に花枝 15 株を新聞紙1枚および2枚で包み、さらに真珠育成用の網で挟んだ状態で海底面へ静置した場合と、現地の砂泥が入った野菜篭内へ花枝 15 株をガーゼに包んで置き、その上面には砂泥を厚さ約3㎝ほど被せた状態で海底面へ静置した（図2の■印）。これらは約4ケ月を経過した同年 10 月上旬に回収し、保存状態を観察すると共に、正常な種子数およびその割合は前年度と同様に求め、両試験区で差違が生じたか否かを比較した。

1998 年度現地でのアマモ花枝の流出防止試験

1996,1997 年度と同様に試験を行ったが、1998 年度は花枝の保存法に関する条件を明らかにすることを目的として埋設期間が異なった場合や保存用資材の適否等を比較した。

第1回目の試験を同年5月下旬に行ったが、その方法は得られた花枝5株を新聞紙1枚で包んだ状態で海底面へ静置し、若干の砂泥を被せた後、さらに上面には冷蔵庫用網棚で覆設した（新聞紙埋設による流出防止法と称する、図2のP）。並行して花枝 10 株を1束とした 10 束を海底面へ静置し、その上面へ市販の縄ムシロを敷設すると共に、砂泥を被せた後に冷蔵庫用網棚およびチエーン等を置いた（図2のS、縄ムシロ敷設による流出防止法と称する）。

また、第2回目の試験は第1回目と同じ保存用資材を用いて6月中旬に行った（図2）。

本試験で供使した新聞紙の回収は、第1と2回目とも試験開始して約5ケ月を経過後に行ったが、併せて新聞紙内に残存する正常種子数や、その保存状態を調べた。また、縄ムシロ敷設による流出防止試験については、終了時に縄ムシロ下の底面の状況を観察すると共に、砂泥内の花枝の残片を可能な限り採集し、研究室へ持ち帰った後に正常種子数を計測した。なお、正常種子数の割合は、いずれも試験開始前と終了時の成熟種子数の計測値から求めた。

屋外 10 トン水槽でのアマモ花枝の流出防止試験

1998 年同年6月上旬に現地での花枝流出防止試験と並行して、当研究所の屋外円形 10 トン水槽でも同様な試験を行った。その方法は木枠内（2m×1m、底面網み目付き）に海砂を数㎝の厚さで敷き詰め現地海底に近い状態とし、そこへ花枝 10 株を静置した後砂泥を厚さ約2㎝ほど被せた試験区（対照区）と、花枝上面を縄ムシロで覆った試験区、新聞紙1枚で覆った試験区を設定した（前者を縄ムシロ覆設による流出防止区、後者を新聞紙覆設による流出防止区と称する、表3）。なお、供試した花枝には種子数が 10 株当たり 226 ～ 268 粒であった。これら覆設資材は試験開始後約4ケ月を経た同年 10 月上旬に取り除いたが、この時点で発芽したアマモを確認したので以後はその生長等を調べた。

II　造成藻場の複合利用システムの確立

藻場造成過程で稚仔魚類およびナマコ、カイ類等の蝟集状況や藻場の利用状況をビデオ映像で把握した。それと並行してアマモ密生域およびその周辺域で水工研I型ソリネットにより夏、秋、冬季に曳き網調査を行った。

また、山口県が 1998 年3月と9月に造成藻場の近傍へ幼稚仔蝟集礁（ホンダワラ類着生礁でもある、0.5から1トン級割石、1 区画 50 m× 100 mで3カ所）を設置したので、アマモ場と魚礁との関連を調べるため、蝟集する動物群の利用様態等をビデオにより観察した。そして、得られた結果をもとにアマモ場とホンダワラ類藻場を中心とした広域的・複合的利用技術に関しての検討を行った。

②寒冷紗敷設による播種法

播種後約1ケ月を経過した1999年2月上旬には、ノリ網囲区内および区外の寒冷紗敷設区ともに採集した種子10個体のうち7個体が既に発芽し、播種後約2ケ月を経過した2月下旬には回収した種子58個体のうち実生が37個体、未発芽種子が18個体、種皮殻が3個体で、これらの発芽率は約63%と高い値を示した。生育状況は実生の葉部がガーゼの目から伸出し、根部もかなり長く伸びて発達する等、生長は概して順調であった（表2）。アマモの生長や生育密度はこの時点ではノリ網囲い区内と区外の寒冷紗敷設区で差異がない。播種後約4ケ月を経過した4月上旬以降は幼体で観察されるものの残存個体数は漸減し、梅雨期には全て消失した。

③ケミロンマット敷設による播種法

播種後約1ケ月を経過した1999年2月下旬に敷設したケミロンマットをめくり上げから種子を採集した結果、正常な種子は5個体と少なかったが既に発芽していた（表2）。生育状況をみると、敷設したマットの隙間から葉部が突き出し始め、初期根もかなり伸長していた。3月上旬には発芽生残率が約30%で、アマモ葉体の平均全長が約20cmであった。その後の推移は、3月下旬となるとアマモが密生し始め、最大全長57cmに達する等、小さいが群落形成が順調に進んだ。しかしながら、100m以降から12上旬にかけて発芽生残率は約5%に減少、平均全長も約100m以下となる等、生育状況としてはやや良くなかった（ちなみに、この衰退現象は天然藻場でもみられた）。秋から冬期にかけて減少したアマモ株数は約14ケ月を経過した1999年3月下旬から漸増し始め、特にマット周縁部から旬間する新生株が多くなる等、群落の回復する兆候を示した。そして、約17ケ月を経過した同年6月上旬でのアマモ現存量は推定で70株／㎡、その平均全長は21.4cm、最大全長35cmに達した個体も出現し、さながら小さなアマモ藻場の様相を呈した。特に、この時点では試験区周辺部の天然藻場の衰退が進んでいたので、形成された群落は小規模とはいえかなり存在感があった。

なお、1998年8月上旬のシート敷設時におけるスナモグリの巣穴数は推定で600穴／㎡であったが、それから約5ケ月後では100穴／㎡以下と激減した。

1998年度の造成試験

①ガーゼをさおで直接して敷設する播種法

第1回目の播種後の観察は1999年2月中旬に行ったが種子は発芽してガーゼの目から伸出し、全長5cm前後の幼体となったが、その発芽率は約10%以下と低い。その約1ケ月後の3月中旬にはすでに消失した（表2）。

第2回目の播種後の観察は1999年2月中旬に行ったが発芽体もかなく生長もほとんどしていない。その約1ケ月後でもアマモ幼体の生残数は少なく、その大きさも2～6cmの範囲にとどまり生長していなかった。また、この間における播種地への砂被の堆積は極く僅かである。現時点では第1回目と同様に困難な状況下であり、今後好転するとは考え難い。

②寒冷紗敷設による播種法

播種後約1ケ月を経過した1999年2月下旬では観察のため採集した種子は既に一部発芽する等、ほとんどの種子が発芽直前の状況下であったが、約2ケ月を経過後の2月中旬では多くが未発芽種子で、種皮殻のみ残存する等最悪であった。しかしながら、約3ケ月を経過した3月下旬には後発群の発芽体が多数観察され、生育密度は30株／㎡に増加すると共に、アマモ平均全長は3.83cmとなる等、群落は回復の兆候を示した。そして6月上旬になるとほとんどが幼体株で、その生育密度は場所によって異なるものの約140株／㎡に増加、平均全長は20.2cm、最大全長も30cmに達した個体が出現する等、アマモ小群落の様相を呈し始めた（表2）。

③ムシロ敷設による播種法

観察は約2ケ月後の1999年2月中旬に行ったが、ムシロを敷設した2ケ所のいずれもムシロの目から

発芽幼体が伸出し、その大きさは3cm前後で、発芽率は約5%以下と低い。その約1ケ月後の3月中旬には発芽体は生長して全長が8～10cmで、その平均全長は8.0cmとなった。発芽率は約10%とやや上昇し、生育密度は50～140株/m²に増加した。以後水温の上昇に伴って生長は順調で6月上旬には成体となり、株数もかなり増加した。この時点での生育密度は場所によって異なるが80～140株/m²、その平均全長は19.3cmとなり、最大全長30cmに達する個体も出現して、小規模ながらアマモ群落を形成した(表2)。

表2 アマモ保存種子の播種による造成結果(1997, 1998年度)

年度	造成方法	開始時期	発芽時期と発芽率	発芽後の経過等
1997	ガーゼ包埋法	'97,12月上旬	'98,2月下旬 0%	発芽せず
	(ハンカチ使用)	'98,1月上旬	'98,2月上旬 30%	4月以降消滅
	寒冷紗被覆法	'98,1月中旬	'98,2月上旬 70%	2月下旬63%、4月以降消滅
	マット敷設法	'98,1月中旬	'98,2月上旬 70%	3月下旬3%、8月密生
	(タキロン化繊)			10月上旬、12月中旬は5%
1998	ガーゼ包埋法	'98,11月下旬	'99,2月中旬 10%	3月下旬無し
	(包んで連結)	'98,12月中旬	'99,2月中旬 5%	3月下旬5%
	寒冷紗被覆法	'98,11月下旬	'99,2月中旬 10%	3月下旬10%
	ムシロ敷設法	'98,12月中旬	'99,2月中旬 5%	3月上旬15%、以後漸増
		'98,12月中旬	'99,2月中旬 10%	3月下旬10%、以後漸増

○播種場所は図2に示す　○1998年度については継続調査中

3) アマモ花枝の流出防止試験

①アマモ花枝の採集とその成熟種子量の把握

本調査海域内における1m²当たりの花枝数およびその1株当たりの種子数は、1996年度では3株で124粒、1997年度が3株で165粒、1998年度が1株当たり25粒であった。1998年の花枝数および種子数は6月初旬でも未だ花穂のものが多く、その後の調査でも少ない。また、1株当たりの種子数でも1996年度と比較すると約1／5、1997年度と比較すると約1／7で極めて少なく、これは生育環境条件が通常では考え難い異常な状況下であったことを示した。

②アマモ花枝の流出防止法の検討

1996年度現地でのアマモ花枝の流出防止試験

現地でアマモ花枝を入れたタマネギ袋を海中で浮かせて保存した場合と花枝を入れた野菜篭を海底に静置して保存した場合の結果は、約2ケ月を経過した1996年3月中旬に各々回収したが、前者の保存法では正常な種子数は極めて少量で、しかも種皮のみ残存するものが多く、加えて多毛類、ヨコエビ、小型巻貝類が多量に混入していた。これに対して、後者の保存法では正常な種子が約50粒得られると共に、前

述の小動物群等は皆無であった。なお、得られた種子は回収時にやや白色化したものが多くみられたが、当研究所へ持ち帰った後、通常の方法で流水培養したところ水温の降下に伴い一部が発芽した。

1997年度現地でのアマモ花枝の流出防止試験

現地で種子を新聞紙で包んで保存した場合の結果は、約4ケ月を経過した1997年10月上旬に新聞紙を回収したが、その状況は新聞紙がかなり朽ちて残存し、その中には枯死した花枝や種子が含まれていた。それらを丁寧に選別したところ、花枝15株を新聞紙1枚で包んだ場合では255粒の種子が得られ、新聞紙2枚で包んだ場合では241粒の種子が得られた。正常な種子数とその割合は前者が165粒、約65％で、後者が298粒、約1％となった。正常な種子数は両者間でやや差が生じたものの、割合ではほとんど変わらない。しかしながら、種子の堅さや色の状態は新聞紙1枚で包んだ場合に比べて新聞紙2枚で包んだ場合の方が柔らかい種子が多く、白色化した未成熟な種子が多かった。なお，これらと並行してガーゼで包んで海底へ設置した対照区では、回収時には花枝は跡形もなく流失していた。

1998年度現地でのアマモ花枝の流出防止試験

1回目の花枝流出防止試験の観察は、約5ケ月を経過した1998年10月下旬に行ったが、新聞紙および縄ムシロの覆設上面にはやや砂泥が被り、それを取り除くと両区とも底面がやや黒ずんだ酸化状態を呈し、かなり悪い状況であった。しかも回収した種子のうち正常な種子量はごく僅かしか発見できなかった。

2回目の花枝流出防止試験の観察は、約3ケ月を経過した1998年10月下旬に行ったが、底面がやや黒ずんだ軽度の酸化状態であったにもかかわらず、得られた正常な種子量は1回目と同様に僅かしか発見できなかった。

以上により、花枝流出防止の開始時期を変えた場合で種子の形成やそれが残存する割合に差が生じるか否かについての論議は比較するだけのデータは今回得られなかった。

屋外10トン水槽でのアマモ花枝の流出防止試験

屋外円形10トン水槽で現地と同様な試験を行ったが、約4ケ月を経た同年10月上旬に覆設資材は取り除いた。この時点では発芽数は極僅かで、その割合は開始前の種子数からみると1％以下であった。以後3試験区とも5％以下の低い割合で推移した。試験区の中でもムシロ覆設区の発芽体が僅かながら多く、また、アマモ幼体から成体へ移行する間の生長はかなり順調であった。しかしアマモ藻体の生長差がみられ、生長速度にも遅速が生じた（表3）。

なお、この試験期間中に発芽体の上面がアオサでしばしば覆われたのでそれを取り除く作業や、観察時の水抜きの作業中に一部が流出したことと、加えて赤潮と珪藻が異常に発生して海水の濁りが絶えなかったこと等の培養条件が重なった。

II　造成藻場の複合利用システムの確立

ビデオ映像や潜水観察および曳き網調査によって、魚類稚仔ではメバル、ベラ、ハオコゼ類等、介類ではナマコ、ウニ類、エビ類等が年間を通して出現した。常在的にアマモ場を利用するメバル、ベラ、ハオコゼおよびナマコ類等とっては藻場が存在するか否かで数的にも、質的にも差が生じ、特に稚仔魚期においては利用度が高まり、その蝟集量の増加傾向も顕著であった。アマモ付着生物は餌生物となるワレカラ類、ヨコエビ類、多毛類、小型巻き貝類等が藻場分布域で豊富であった。また、10㎜以下の稚マダコの着底場がアマモ場とその周辺域であることが確認され（表4）、さらには瀬戸内海には生息していないとされ、市場で高値をつけ出回り重要な水産生物となりつつある寒海性のトゲクリガニも発見される等、貴重な知見の集積とあわせ藻場の重要性が再確認された。特に、トゲクリカニについては抱卵個体が春季なるとアマモ場内で多数採捕された。以上のように水産生物の生活史過程でアマモ場が好適な餌環境を提供する場であり、外的から身を守り、快適生活を営む空間（棲み場）となっていること等、その利用様態の一端が明らかになった。

表 3 屋外10ンル槽内でアマモ花枝の流出防止試験結果（1998, 6, 11開始）

観察時	対照区 発芽数	対照区 生長cm	ムシロ覆設区 発芽数	ムシロ覆設区 生長cm	新聞紙覆設区 発芽数	新聞紙覆設区 生長cm	メモ
1998, 10, 9（約4ヶ月後）	2	>1	3	>1	0	0	アオサ堆積、除去
1998, 12, 17（約6ヶ月後）	1	1～2	3	1～3	0	0	アオサ堆積、除去
1999, 1, 10（約7ヶ月後）	1	2	7	1～8	1	3	アオサ堆積、除去 ハネモ類多発、除去
1999, 1, 26（約8ヶ月後）	4	1～5	8	2～10	3	2～5	アオサ多発、除去
1999, 3, 5（約9ヶ月後）	4	3～6	8	2～22	4	2～10	藻体淡緑色を呈す アオサ多発、除去
1999, 5, 7（約1年後）	3	4～7	4	5～35	4	9～25	藻体の伸長良好 アオサはほとんど無

○種子形成中の花枝を現地で採集し、それら10本を各々試験区に供試
花枝10本当たり種子形成数は226～268粒（うち正常種子は50～60%と推定）
○試験開始時に覆設したムシロおよび新聞紙は10月上旬に取り除いた

なお、1998年3月と9月に造成藻場の近傍約雄程蝟集確認されたものの時期的に遅く、調査は2回と少ないため蝟集礁には海藻の着生がまだ初期状態で少なかったことや、魚介類の蝟集も始まったばかりであった。メバルやスズメダイの群が局所的に遊泳し、礁上にはマナマコが僅かだが出現する等の状況が観察された。また、造成藻場との距離が近いためかメバル、ナマコ等が移動・定着を繰り返して両漁場を利用していることがビデオ映像や潜水観察等により確認された。本試験海域周辺部おける餌料生物の採集試料の同定結果は表5に示したが、これとアマモ葉上動物の採集試料を基に種類数や量を推定する作業は継続実施中である。

【考察】

アマモ場造成を図る場合に造成地底面へ敷設資材をある程度用いることは砂泥の流動防止に対して効果的で、底面形状の変化も最小限に押さえることができた。特に、ノリ網の使用はホンダワラ類や小型紅藻類の着生を促し、それらの繁茂によって流速が軽減され、その周辺部にまで波及し、効果が相乗的に増すことが示唆された。一方、播種試験区の内外の砂泥堆積量は夏季～初秋の期間と初冬～冬季後半の期間を比べると、前者に比べて後者の方が約5倍以上となり、砂泥の粒径もやや大きい等、季節で状況が変化していることが判った。森口らが本調査海域内でアマモ発芽期（1月から2月）に砂面の変化を測定した結果では、底質の安定度の目安であるシールス数を最大値で0.12以下とした（この値は海域でどの程度泥が巻き上げられたかを示す値）。併せて、各種試験区と本海域内のアマモの密生区では地形的な差が特にないにもかかわらず一連の播種では発芽が困難であったことは、別の物理的な環境条件の厳しさが加わっ

たと指摘した。それを裏付けるかのように1998年春期以降から周辺天然海域のアマモ場では変化が見られ、特に、生育密度は例年と遜色ないにもかかわらずアマモ藻体の草丈が短く葉幅も狭い、加えて葉先の欠如が目立つ等、ここ10年間では極めて特異的な様相を示した。このように、アマモ場の生育条件は様々な要因が複合していることは否めないので、砂泥の流動防止の効果の有否については今回のデーターだけでは判断し難い。なお、スナモグリによる種子の発芽や幼体の定着阻害については、とりあえず生息地をキャンバスで覆うことで排除が可能となった。本種の多寡は造成地選択の目安にはなるものの、その生息実態からして今回の方法はあくまでも応急的対処法である。

以上、藻場造成の阻害要因として砂泥の移動や堆積等で物理的な影響を受け播種直後および発芽後の繁殖をより困難にすることが改めて明らかとなった。そして、アマモ場生育環境の撹乱が大きい場合には藻場の回復が遅れることや、播種後の発芽や根の活着、その後の繁殖をより困難にするので、如何にして造成地の底質の安定を図るかが今後とも重要となる。

アマモ播種試験ではタキロンマットやムシロの覆設および寒冷紗敷設法ともに初期には発芽が少なく、その生残率は5～30％であったがその後アマモが生長して、小規模ながらも群落を形成した。特にマット覆設法では約1年経過後には小群落の維持だけでなく、周縁部から新生株が補填する等、群落の再形成の兆候もみられ始めた。生育密度の推移をみると、播種直後ではなくやや後になって後発の発芽体群により増加したが、それらは秋から冬期にかけて減少し、春期には漸増、その後も増加した。この間生育密度は60株／㎡から140株／㎡以上と増加、その平均全長は20㎝前後に達する等、これらの過程を見る限り通常の藻場が70～100株／㎡であることを考慮すると現時点では小群落を形成したといえる。

表4　採集したタコの測定結果

No.	採集日と採種法	性	全体長mm	重量g	メモ
1	'97, 12, 4　アマモ分布域で曳き網	?	7.0	0.23	吸盤数43
2	'97, 12, 4　アマモ分布域で曳き網	?	6.8	0.24	吸盤数39
3	'98, 2, 3　実験区で漂砂ビン内	?	>10		秋産卵群 ?
④	'98, 5, 28　アマモ分布域で曳き網	?	27.0	19.43	眼上棘大
5	'98, 5, 28　アマモ分布域で曳き網	?	26.0	15.21	眼上棘大
6	'98, 6, 18　実験区で漂砂ビン内	?	>10		春産卵群 ?
7	'98, 8, 12　アマモ分布域で漂砂ビン内	♂		32.1	外套眼長2.0cm
⑧	'98, 10, 5　近傍アマモ場で曳き網	♂		174.4	外套眼長8.8cm
9	'98, 10, 5　同上でタコ壺内	受精卵			平均卵径2.66mm

○印はマダコもしくはイイダコ（検討中）、なお採集物の一部は未処理
採集ビンとは本調査区内にセットした漂砂採泥ビン

表5　たも網による餌生物の採集結果（東和町アマモ場の前浜）

種　名　　調査日	1997 Nov. 5	Dec. 11	Dec. 25	1998 Jan. 10	Feb. 3	Mar. 3	Apr. 10	May 28	Jun. 8	Aug. 12
《Mysidacea アミ目》										
Siriella sp.			1	1		1		1		
Acanthomysis japonica			～50	～100	4	～100	78			5
Illa [illegible]		5			1					
Pa[illegible]da								～50		
Nipponomysis [illegible]		2		1		6	4			
Nipponomysis perminuta		2						10		
Nipponomysis sp.			～15		2		～15			
Lycomysis hispina							52	～100		
Anisomysis ijimai		33	8							
《Decapoda 十脚目》										
Metapenaeopsis dalei ?		1								
Leptochela gracilis		11	1							
Latreutes acicularis		3								
Eualus leptognathus				5			3			
Heptacarpus [illegible]				12			17	10		
Hippolyte ventricosa				1	2					
Crangon sp.								10		
Processa kotiensis ?		4								
Other						12		2		
《Isopoda 等脚目》										
[illegible] japonica	+				+					++
《Amphipoda 端脚目》										
Ericthonius sp.	+				++					
Pontogeneia sp.				++	++	++		+	+	
Synchelidium spp.									+	
Other	++									

＊たも網の目合いは0.74mmで、砂泥表面を約10m曳く、採集後直ちに5～10％ホルマリンで固定
＊＊本表にはアミ類、ヨコエビ類しか記載していない（定性）

3実験区とも種子の定着と播種後の根の活着を高めるために覆設資材を施工してある程度その目的は達成された。これらの経過をみると、発芽生残率は高ければ藻場の形成には有利と予想されるので、それを高めるには健全な種子の使用と播種時期を留意すれば良く、播種（もしくは栄養株の移植）条件として、根本的には底質の安定化が最重要であることには変わりない。1000㎡以上規模の造成を目指すならばその周辺域の流速の軽減化が必要不可欠で、それには一時的に流れや波を緩和するための消波構造物の仮設的な設置、海域内に砂泥堆積防止の効果が図れるような低層型の礁を計画的に配置する等、大胆な工学的手法を積極的に導入することが必要かもしれない。

本調査海域内域のアマモ分布面積は約5,660㎡なので、種子量は1996年度が推算で約208万粒、1997年度が約462万粒、1998年度が約14万粒となる。ちなみに、この種子全量が確保され、播種密度を100粒／㎡（密生区に相当）と仮定して計算すると、1996年度が推算で約2.1ha、1997年度が約4.6ha、1998年度が約0.14ha規模の藻場造成が可能である。この結果を1996年度と比較すると1997年度は約2倍に、1998年度では約1/15以下となった。花枝から得られた種子数の推算値から流出量が膨大なことが判った。また、長年にわたるアマモ場生態調査結果で毎年2～3月頃に栄養株に混ざって実生個体が出現するが、その割合は特に多い時でも10%前後、ほとんどは5%以下と少ない（未発表）。これらのことから他海域へ流出する花枝をいかにして効率的に利用できるかが急務である。花枝を野菜篭を海底に静置する保存法は種子が一応形成され確保されるものの、小動物群等の食害を受け易く、生常な種子量も少ないので保存法としてやや不適である。また、花枝の新聞紙被覆法は、新聞紙1枚で包む程度で良いが、光の透過度が著しく落ちるためか種子が柔らかいものや、白色化する等、未成熟の種子が多く生常な種子を

確保するには難を生じた。一方、縄ムシロ敷設法は種子の流出を最小限に止めることが可能であったが、量的確保は十分でなかった。この主要因は、縄ムシロや新聞紙の朽ちる期間が意外と長いために埋設した花枝と海水との交換が妨げられ、底面の悪化をもたらしたためと考えられる。従って、使用するムシロを早めに海水に浸して朽ちる期間を短縮したり、新聞紙以外で海水の浸透が容易な紙（例えば溶け易い紙）を使用する等、改善と工夫を加えることも必要である。また、花枝流出防止の開始時期は種子が花枝から落下する直前に、施設回収時期は晩秋に実施する等、可能な限り天然のサイクルに合わて実施することが望ましい。播種による造成では通常は種子を保存・管理しなければならないこと、現地で播種する際に人為的作業が伴う等、時間と労力を要するので、花枝の確保（即ち種子の大量確保と保存）およびその流出防止の技術は現地での作業が容易で、しかも確実で有効な造成手法になるであろう。

以上のことから、今回では実験規模であり、これを拡大した造成は今後確実に前進し、その達成も十分可能となる。そのことと造成アマモ場に有用生物が蝟集することが明らかなこと等、これらを含めアマモ場造成の技術開発はより進展されることが望まれる。例えば、藻場の機能をさらに高めるには浅所域への幼稚仔蝟集礁設置や、深所域への大型・高層型藻礁の設置を推進することによって海藻と生物との組合わせ、アマモ場とガラモ場との組合わせ、海域の複合的かつ広域的な利用等、多岐にわたり波及効果が増大する（図4）可能性があるので、藻場の形態と規模およびその配置バランスや、藻場利用度が高い魚種の選択とそれ以外の魚介類との共存空間（棲み分け）の関連を明らかにすることが重要であろう。そして、藻場造成基準を策定し、それに基づいた藻場造成用の構造物や魚礁等を積極的に設置することが望ましい。

最後に、地球環境保全の気運が高まる現況下でアマモ場の造成技術を開発することは魚類稚仔等の有用水産生物の生育場や産卵場を拡大するばかりではなく、資源利用と環境保全との調和を図ることが可能な技術として重要度を増してゆき、ソフト面ではこのような意義が漁業者、一般市民に浸透することも益々重要になろう。

【摘要】

1．アマモ場造成を図る場合、ある程度の敷設資材を用いることは砂泥の流動防止に対して効果的で、底面形状の変化も最小限に押さえられた。特に、ノリ網の使用はホンダワラ類や小型紅藻類の着生を促し、それらの繁茂によって流速が軽減され、その周辺部にまで波及する等、効果が相乗的に増加した。

2．タキロンマット、ガーゼ、ムシロ等の敷設による播種法で、発芽体は流出することなく成体まで生長した。特にマット敷設区では約1年経過後に生育密度は1140株／m²となりアマモ小群落を形成した。これらの敷設法は一長一短はあるものの、播種後の群落形成を安定的に維持する効果もあるので今後改善を加えればより確実な造成技術になり得る。

3．本調査海域内で生産される種子量は1996年度が約2088万粒、1997年度が約1462万粒、1998年度が約1147万粒と推算した。ちなみに、播種密度を100粒／m²（密生区に相当）と仮定して計算すると、2～4haの規模の藻場造成に相当した。

4．花枝の流出防止を図るため新聞紙、ガーゼ、ムシロを用いて海底約4ケ月間覆設したが、正常種子が得られ保存状態もほぼ良好で、しかもそのままでも発芽可能なことが判った。従って、種子の大量確保やその保存技術として花枝の流出防止策を確立することは藻場造成図る場合により確実で、効率的な手法となり得ることが示唆された。

5．ビデオ観察や潜水観察および曳き網調査から、常在的にアマモ場を利用するのはメバル、ベラ、ハオコゼ類で、それらは藻場が存在するか否かで数的にも、質的にも差が生じた。特に稚仔魚期においては利用度が高まり、その蝟集量が増加する傾向がみられた。また、10mm以下の稚魚マダイは着底場として、寒海性のトゲクリガニは棲み場となる等、生活史過程での利用様態の一端が明らかとなった。

本研究および関連調査は、山口県東和町農林水産課と水産工学研究所・漁場施設研究室の協力を得て実施された。国立科学博物館動物研究部教授武田正倫博士にはトゲクリガニを、広島大学大学院生坂岡賢氏にはマダコを、当水産研究所浅海生物生産研究室花村幸生博士には餌料生物の同定をお願いしたうえに貴重なご教示を頂いたことを深謝する。また、本調査研究を進めるに当たり山口県東和町漁業組合には種々のご便宜と協力を頂いたことを記して感謝する。

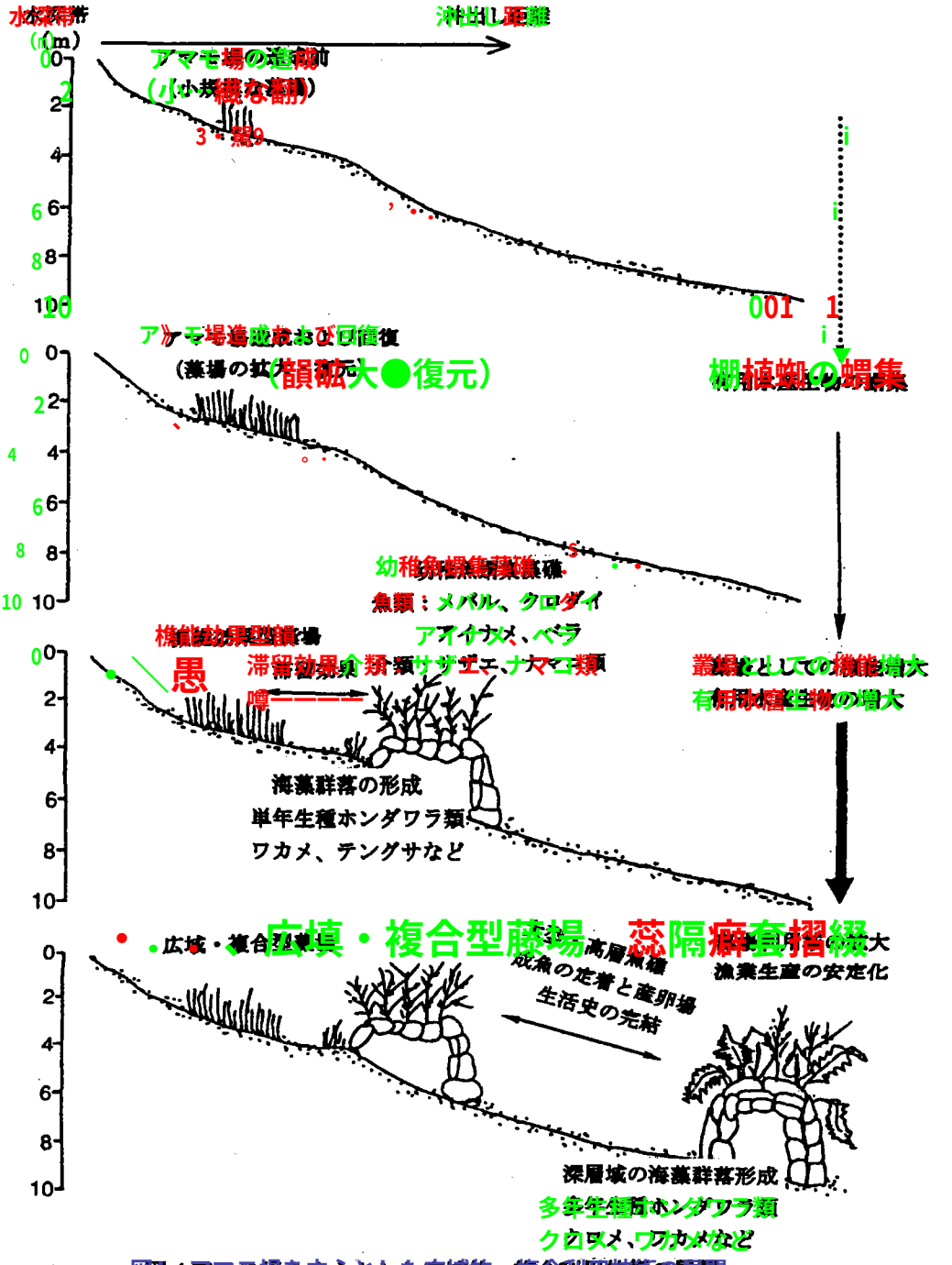

図４アマモ場を中心とした広域的・複合利用技術の展開

【引用文献】

1) 幡手格一・小川和敏・國武和人，1976：アマモの増殖の関する研究—IV，播種と地下茎の移植による藻場造成について．栽培技研，5（1）2，17—22.

2) 藤村治夫・吉永春男，1968：昭和42年度藻場保護水面調査報告書．山口県内海水試，11—17.

3) 福田富男・佐藤二朗，1987：アマモ場造成に関する研究—VI，アマモ種子の播種密度と発芽率及び岡山県下2水域で採集したアマモ種子の発芽率．岡山水試報，2，27—31.

4) 川崎保夫・山田貞夫・本多正樹，1988：電源立地点の藻場造成技術の開発，播種によるアマモ場造成法，電力中央研究所研報，10，101—121.

5) 吉川浩二・有馬郷司，1991：顕花植物（アマモ及びトチカガミ類）の生態群落造成条件解明，沿岸漁場整備開発事業に関する水産研究報告書，水産庁開発課，211—224.

6) 吉川浩二・有馬郷司，1998：人為的裸地によるアマモ場の復元過程，第42回中国・四国生態学会口頭発表要旨，14.

7) 石橋矩久，1981：トゲクリガニについて．さいばい，19，16—20.

8) 川端豊喜・長谷川恒孝・富田伸明，1990：柳井湾におけるアマモの生長様式とアマモ場造成試験．沿岸海洋研究ノート，27，146—156.

9) 國昭紀・守口朗彦・三橋公夫・寺脇利信，1998：鳴門地先におけるアマモ場と底質および波浪との関係．水産工学，34（3），299—304.

10) 伊丹宏三・井沢康夫・前田三郎・中井昇三，1963：マダコ種子の飼育について．日水誌，29（6），514—520.

11) 井上喜平治，1969：タコの増殖．水産増養殖業書．20，1—50.