

アマモ場拡大の実態把握と種苗移植による新規群落形成の試み

山木克則¹・新保裕美²・田中昌宏³

三富龍一⁴・小河久朗⁵

アマモの新規群落形成機構を明らかにするために、群落形成の初期から3年に亘る詳細な現地観測を実施すると共に、種子の供給過程に関する数値シミュレーションを実施した。現地観測からアマモ群落の動態の要因が水温及び光条件にあることを指摘した。次に実生個体による新規群落形成の初期の水理条件を数値シミュレーションにより検討し、アマモ種子の供給は、沖波波高 1.5 m, 周期 5.0 秒, 種子の埋没は沖波波高 2.0 m, 周期 7.0 秒で生じる結果となった。さらに、種子・実生個体の定着が困難な場所において、種苗生産によるアマモの移植を行い、最短 7ヶ月間で現地アマモ場と同様な草体密度・草丈の群落形成が可能であることを明らかにした。

1. はじめに

浅海砂泥域に生育する海草の群落からなるアマモ場は“海のゆりかご”と呼ばれ、水産重要種の稚仔魚の生育場となっている。近年のアマモ場の消滅は沿岸漁業の不振の一因とされる等、社会的にも深刻な問題となり、自治体やNPOなどが積極的にアマモ場の回復に取組むようになった。海岸工学的な見知からもアマモ場造成の適地評価や再生技術についての研究開発がここ数年数多く見られる(高山ら, 2003; 金澤ら, 2003; 吉田ら, 2004; 山本ら, 2004; 棚田ら, 2005)。しかし、従来の種子の大量散布や移植による再生手法は、ドナーアマモ場の荒廃や遺伝子群の汚染等の心配があるため慎重な対応が望まれている(環境省, 2004)。

筆者らはアマモ場の衰退が進行している神奈川県葉山町の海域に着目し、実態調査と遺伝子群の保全に配慮したアマモ場の保全活動を2003年より実施している。アマモの繁殖戦略には、地下茎の生長・分岐による栄養繁殖と種子の定着・発芽による有性生殖の2つがあるが、両者を現地で継続調査した事例は少なく、特に有性生殖に関しては不明な点が多い。本研究では、アマモ場の実態調査による群落の形成過程とその環境要因との関係、数値シミュレーションによる群落形成機構について検討した。さらに、地元の種子を用いた種苗生産技術(山本ら, 2004)を適用したアマモ場の復元手法について有効性を確認した。

2. アマモ場拡大の実態把握

(1) 対象アマモ場の概要

調査は、図-1に示す神奈川県三浦郡葉山町の真名瀬

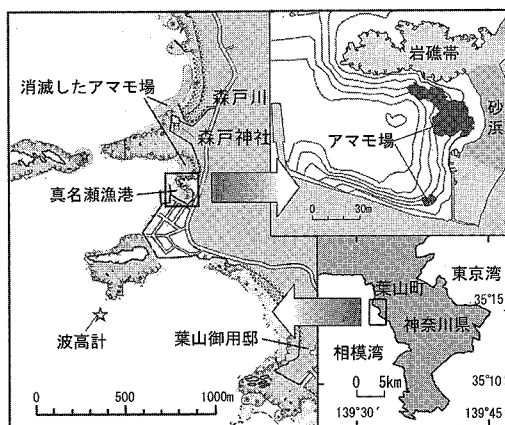


図-1 調査地点概要図

漁港内のアマモ場で行った。このアマモ場は堤防と岩礁帯に囲まれた静穏な場所にあり、概ね水深 0.3~2.0 m(干潮時の水深, DL 基準)までの浅場を中心にアマモの群落が分布する。自然環境保全基礎調査(環境省, 1994)によると、この周辺ではかつて現在の40倍に当たる、約4haのアマモ場が確認されている。地元漁師へのヒアリングでは、1998年頃まで森戸川河口から森戸神社沿岸の水深2~3mの深所にアマモ場が存在したとされる。また、5~10年程前から海域の恒常的な濁りがあり、ワカメ等の岩礁性海藻類が深所で生育し難い現象が見られるという。この透明度の低下が、アマモ場衰退の一要因と推測される。今回の調査対象のアマモ場が唯一生残しているのは、波浪による浸食を受け難い場所のため、水深が浅くても生育できることが一因と考えられる。

(2) 調査概要と方法

アマモ群落の分布推移に関する調査を2003~2005年の11月度に実施した。調査方法は、防水ハウジングに納めたDGPS(株式会社ニコン・トリニプル, 12CH ProXR)を用い、シュノーケリングによる水面移動により、アンテナ部を群落の縁辺部に沿わせて位置情報を連続収集した。アマモの生育量の調査は、スクーバ潜水により行い、

1 正会員 工修 鹿島建設(株)技術研究所 主任研究員
2 正会員 工修 鹿島建設(株)技術研究所 研究員
3 フェロー会員 工博 鹿島建設(株)技術研究所 上席研究員
4 水修 NPO法人スクーバミュージアム 理事
5 理博 北里大学教授水産学部海洋基礎生産学研究室

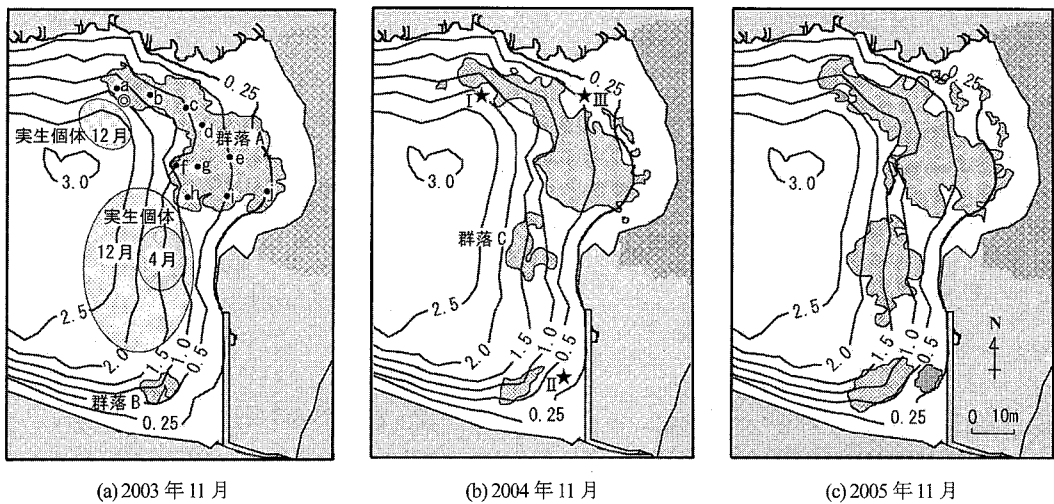


図-2 アマモ群落の分布推移 (a~j: アマモ観測点, ◎: 光量・水温観測点, I~III: アマモ移植地点)

2003年8月から2005年11月まで計18回実施した。図-2(a)に示す群落A内の異なる水深および位置毎に設定したa~jの10地点において50cmコード内の生殖株と栄養株の草体数、全長を計測した。また、この調査の過程で2003年12月~2004年5月までに群落Aの南側に出現した実生個体を採集した。採集は、1m²あたり1~3個体、計10個体を底質ごと採取し、実験室にて全ての葉長と根長を計測した。なお、2003年7月~2005年12月にかけて、地点◎(水深約2m)の海底面における水中光量と水温を計測した。光量は、メモリ式水中光量子計(三洋測器, MPQ-1)、水温はメモリ式水温計(Onset Computer, Tidbit)により測定した。

(3) 調査結果および考察

a) アマモ場の環境と群落分布の推移

2003~2005年の11月における群落分布の推移を図-2に示す。調査を開始した2003年には、概ね水深0.3~2.0mに約950m²の群落Aと南側の水深1mに約60m²の小さな群落Bが認められた。2004年に群落Aの水深0.25m付近のアマモが減耗し約800m²となったが、約90m²の群落Cが新規に形成されていた。2005年には、群落Aは水深2m付近まで分布域を拡大し約1,020m²となり、群落Cも約280m²に拡大していた。

草体密度と平均草丈の推移 2004年の浅所におけるアマモ場の衰退は、10月の台風22号の波浪により浅所のアマモが洗掘・流出していたこと、また2005年における深所への拡大は、アマモの生育限界条件の一つである光量の改善によると考えられる。これは、図-3に示す海底面光量の推移に明らかな様に、光量の減衰期である9月~12月の平均光量が、2003年の1.5 mol/m²/day(以下molと省略)から、2004年には2.2 mol, 2005年

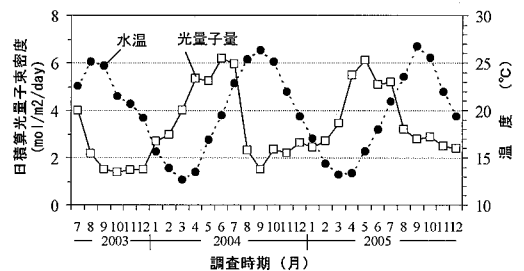


図-3 分布下限域(地点◎)における海底面光量と水温

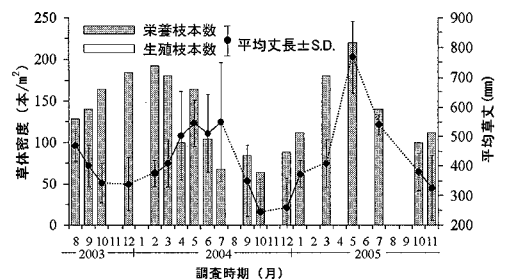


図-4 草体密度と平均草丈の推移(地点a)

には2.7 molと増加する傾向が認められる。アマモの分布下限域における必要光量は1.5 mol以上(川端ら, 1990)とされ、特に秋季~冬季にかけての水温が、アマモの生育に適する15~20℃であることから、光量の改善が現存量の増加に影響したと推測される。

2003年8月から2005年11月までの地点aにおける草体密度と平均草丈の推移を図-4に示す。地点aは観測点中では、波浪の影響を受け難い深所の地点である。2003年の夏~秋季にかけての草体密度と草丈の推移は、2004年以降に比べて高い水準を保っている。この要因

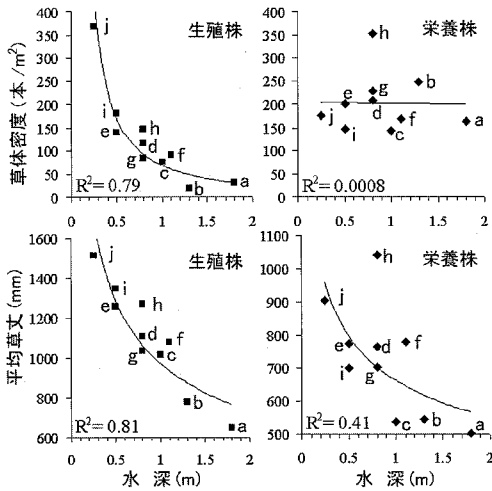


図-5 2004年5月の各地点アマモの草体密度、草丈の特性

として、2003年は全国的な冷夏であり、8月の平均水温は25.1℃であり28℃以上の高水温を記録した期間は2日間だったのに対し、2004年8月の平均水温は26.3℃、同期間は16日間であった。アマモの生育適地の上限水温は月平均で28℃(川崎ら, 1990)とされており、夏季における高水温が秋季～冬季までの現存量に影響していると考えられる。

2004年5月における生殖株との群落Aのa～j地点における分布特性を図-5に示す。生殖株の群落密度は浅所で高く、深所ほど低くなったが、栄養株では深度との相関はみられなかった。草丈の密度は生殖株では浅部で高く、深部で低くなる傾向があり、栄養株でもほぼ同様な傾向となった。

b) 実生個体による新規群落の形成

2003年12月に群落Aの西側の水深1.5～3.0mと南側の1.0～3.0mの広範囲で実生個体が観察された。分布密度は南側で32～56本/m²、西側で1～8本/m²であり、南側で多く見られた。4月以降は南側の水深1.5～2m付近に限定され、5月には地下茎の分岐が観察された。2004年11月には小規模の群落Cが確認でき、2005年11月には沖方向の水深2.3mおよび岸方向の0.5mへ拡大していた。

図-6に2003年12月～2004年5月までに採集した実生個体の累積葉長と累積根長の測定結果を示す。12月～翌年3月までに累積葉長は最大約600mmに対し、根長の生長は小さく、根が発達したのは4月以降であった。このことより、根の発達が未熟な12月～3月は、浅所に生育している実生個体は、波浪による流出があり、2m以深の所に生育している個体は、光量不足による枯死による消滅が考えられる。

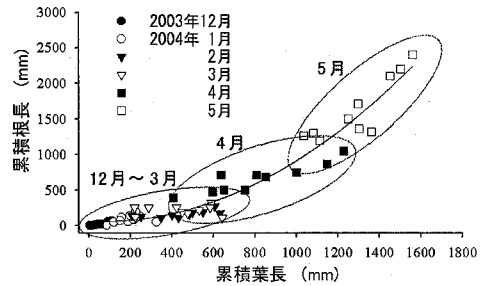


図-6 実生個体の地上部と地下部の関係

3. 数値シミュレーションによる新規群落への種子供給機構の検討

(1) 目的と計算条件

一般に、アマモの有性生殖による群落・分布拡大は、多くの植物と同様に群落の内部・周辺に種子を落下させるだけでなく、種子が入っている花枝・花穂が海面を浮遊し、流れで遠くに運ばれることにより種子を拡散するという戦略で生息域を拡大させている。真名瀬港では主に6月に種子が落下することから、種子は、6月頃から発芽の時期である11月～12月頃までの間に、波・流れによって周辺海域に輸送されるものと考えられる。そこで、既存のアマモ群落から離れた位置にできた、実生個体による新規群落エリアへの種子の供給機構を明らかにするため、波・流れによる花枝・花穂の輸送および種子の輸送の数値シミュレーションを行った。計算では、Delft3D-FLOW(Delft Hydraulics, 1998)、およびWAVE(Delft Hydraulics, 2003)を使用した。

計算条件を表-1～2に示す(図-1に示す沖の波高計設置位置での波条件)。水面上を輸送される花枝・花穂の輸送計算は、現地で観測した2004年6月上旬～中旬の有義波の平均値を計算条件とし、潮位を時系列で与えた。一方、海底上を波・流れによって漂砂と同様に輸送される種子の輸送計算は、この海域で起こり得ると推察される範囲内の複数の波条件で行った。

表-1 波条件

	有義波高(m)	有義周期(秒)	波向	潮位(m)	期間
花枝輸送	0.37	5.7	SSW	時系列	10日間
種子輸送	1.2	5.0	SSW	0.92	6時間
	1.5	5.0	SSW	0.92	6時間
	2.0	7.0	SSW	0.92	6時間

表-2 アマモ種子と底質の計算条件

	粒径(mm)	密度(kg/m³)
アマモ種子	2.0	1,240
底質(種子輸送計算)	0.23	2,650

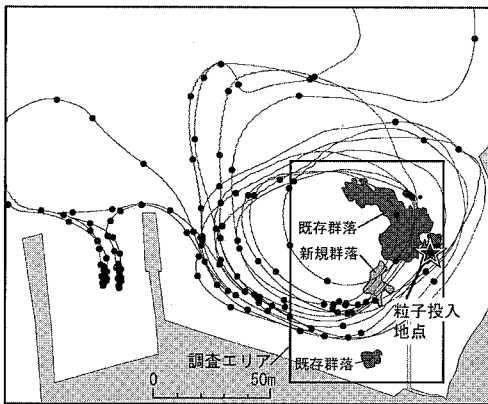


図-7 浮遊粒子（花枝・花穂）の軌跡
（点のプロット間隔：1時間）

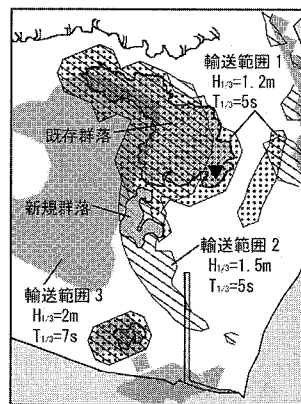


図-8 アマモ種子の輸送範囲

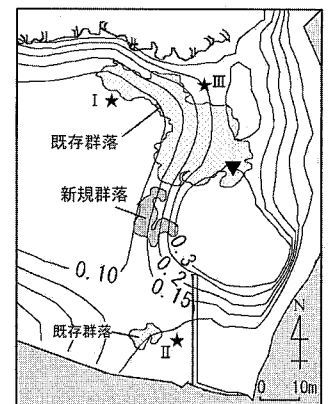


図-9 シールズ数の分布
（I～III：アマモ移植地点）

（2）結 果

a) 花枝・花穂の浮遊輸送シミュレーション

既存のアマモ群落から離脱・浮遊した花枝・花穂が新規群落エリアに集積する可能性を調べるため、2003年アマモ分布域に、花枝・花穂を仮定した浮き粒子を投入し、波・流れによる粒子の輸送をシミュレーションした。図-7に、大潮時に投入した粒子の10日間の軌跡を示す。粒子投入地点は、現地調査で生殖株が多かった水深の浅い場所である。この条件では、粒子は約3.7日間、アマモ場周辺を浮遊した後港外に出て沖に運ばれた。小潮時に投入した粒子も同様な軌跡であった。他の地点から投入した粒子については、すぐに沖に運ばれる粒子もあったが、概ね、アマモ場周辺を数日間浮遊した後、沖に運ばれた。この結果より、生殖株から離脱した花枝・花穂は、1～2週間程度で腐食が進み種子が落下することから、港内を浮遊する数日間に落下する種子は比較的小さいものと推察される。

b) 種子の輸送シミュレーション

既存のアマモ群落に落下した種子が、波・流れて輸送されて新規群落エリアに集積する可能性を調べるため、アマモ場からの種子の輸送を、複数の波条件でシミュレーションした。図-8に、2003年のアマモ分布域全体に種子を置き、波を6時間作用させた後の種子の輸送範囲を示す。これより、波条件の違いにより、種子が輸送される範囲が異なることがわかる。波高1.5m、周期5.0秒（▼地点での有義波高0.14m、周期5.7秒）では、新規群落エリアに種子が輸送されている。一方、波高1.2mでは、水深のより浅い場所に、波高2.0m（周期7秒）では、より深い場所に種子が輸送されている。なお、有義波高1.0m、周期5.0秒以下では、種子は落下点から動かなかった。以上、6月の平均的な波では種子は輸送されず、それより大きい波条件で種子が広範囲に輸送される結果となった。

一方、輸送された種子が発芽するためには、種子は底質内に埋没する必要がある。そこで、新規群落エリアで種子が埋没する波条件を求めた。島谷ら（2000）は、室内実験より、種子埋没の条件として波浪場のシールズ数の範囲を $\Psi = 0.15 \sim 0.25$ 程度としている。図-9に、波高2.0m、周期7.0秒（▼地点での有義波高0.25m、周期7.6秒）のときの底質のシールズ数を示す。この波条件では、実生株エリアでは $\Psi = 0.1 \sim 0.3$ であり、概ね種子埋没条件となっている。

以上より、アマモ場に落下した種子は、6月の平均的な波より大きな波条件で港内の広範囲に輸送されるために、実生株エリアにも輸送されたものと推察される。また、沖の有義波高2.0m、周期7.0秒の波条件のときに、アマモ種子が埋没するシールズ数となることがわかった。

4. 種苗移植による新規群落形成

（1）アマモの安定種苗生産手法と海域への移植

今回の調査で確認された通り、初夏に落下したアマモ種子は12月～1月の冬季に発芽し、実生個体が出現する。アマモの室内における発芽試験では、温度 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 、塩分22PSUの場合に発芽率が高く、60%以上の発芽に播種後50日以上の日数を要することが報告されている（川崎ら、1986）。そこで我々は、人工的にアマモ種子の休眠を打破することにより、年間を通したアマモの種苗のスピード生産を実現した（山木ら、2004）。この方法は、淡水中にアマモ種子を置くと1～7日間の短期で発芽する点に着目したものである。今回の種苗生産では、アマモの根を活着させる植物繊維を敷いた生分解性ポット（80mm×80mm×高さ100mm）にアマモの種子を播種し堆肥混合土で覆った。1～3日間の淡水処理後に温度 10°C 、塩分22PSU、人工光（メタルハライドランプ、光量 $30 \sim 50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、12L:12D）にて育苗を行った。播種後2週間目より胚軸の出現がみられ、1ヶ月

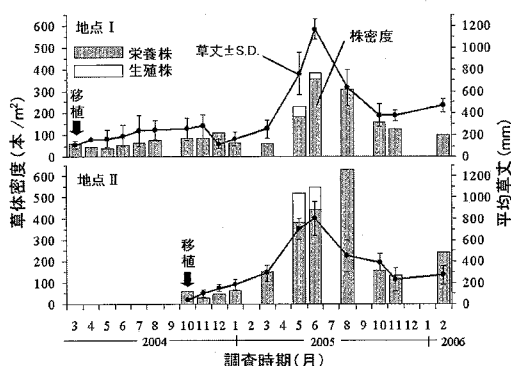


図-10 移植アマモの草体密度，草丈の推移

目で60%以上のアマモ種苗を得ることが出来た。平均草丈が110mmとなった時点で海域へ移植した。

移植地点は，実生個体の定着が困難な地点としてⅠ～Ⅲの3ヶ所を選定した。シミュレーション結果を見ると，分布下限域の地点Ⅰは，種子の加入はあると考えられるが，静穏な波浪環境のために種子の埋没が難しいと考えられる。地点Ⅱは静穏すぎてアマモ種子の定着が難しいと考えられ，実生個体が見られなかった地点である。地点Ⅲは湾内では比較的波当たりが強く，種子や実生個体の定着が難しい地点である。スクーバ潜水により，地点ⅠとⅢには2004年3月に，地点Ⅱには同年11月にアマモ種苗を60株，1m²のエリアに移植した。なお，移植地点ⅠとⅢにはメモリ式砂面変動（三洋測器SSM-Ⅰ）を4月～5月の期間に設置して，砂面変動を観測した。

(2) 移植後の経過

地点ⅠとⅡにおける移植後の草体密度および草丈の推移を図-10に示す。地点Ⅰでは移植後10ヶ月間は草体密度，草丈に大きな変化はなかったが，2005年5月以降に草体数と草丈の増加が見られ，6月に350本/m²，草丈は平均1,150mmとなった。地点Ⅱでは，移植した10月以降順調に生長し，6月に草丈は平均800mm，草体数は8月に700本/m²となった。2005年5月には，両地点で生殖株が観察出来た。天然アマモ場のa地点との比較では，移植により拡大した群落は，既存アマモ場の生育量と同等か，それ以上であった。2004年3月に移植した地点Ⅲでは，新たなアマモ場の形成はみられなかった。

5. おわりに

アマモ場の復元に際しては，移植のみに頼るのではなく，周辺環境の実態把握とアマモの繁殖生態を考慮した群落の推移について評価を行う必要がある。本研究で得られた主な結論は以下のとおりである。

1. 分布域の拡大要因と新規群落形成の実態を明らかにすることを目的に3年間，現地調査を行った。分布域

の拡大と草体密度，草丈の推移は，海底面光量および夏季の水温特性に関係している事が推測される。

2. 数値シミュレーションにより，アマモ種子は，平均的な波よりも大きい，沖での波高1.5m，周期5.0秒のときに新規群落の見られた場所に輸送され，波高2.0m，周期7.0秒のときに埋没する結果となった。花枝・花穂は，生殖株からの離脱後数日間アマモ場周辺を浮遊するものの，その後は沖に輸送された。これらより，アマモ場近傍における新規群落は，種子の波・流れによる輸送・埋没により形成されたものと考えられる。

3. 実生個体の定着が困難な場所において，種苗生産によるアマモの移植を行った結果，波浪環境が静穏すぎて種子の埋没が困難と考えられる地点において種苗移植により新規群落形成が可能であることが確認出来た。

最後に，本研究を進めるにあたり，現地調査にご協力戴いた葉山町漁業協同組合の飯田實組合長，三橋直吉監事をはじめとする組合員の皆様，アマモ種子の管理をはじめ貴重な知見を戴いた鹿島技術研究所の越川義功主任研究員，林文慶主任研究員，中村華子研究員に謝意を表します。

参考文献

- 金澤剛・森鐘一 (2003)：現地アマモ場造成試験と適地評価に関する研究，海岸工学論文集，第50巻，pp. 1266-1270.
- 川崎保夫・飯塚真二・後藤弘・寺脇利信・渡辺康彦・菊池弘太郎 (1988)：アマモ場造成法に関する研究，(財)電力中央研究所我孫子研究所総合報告U14，pp. 110-213.
- 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，第27巻，第2号，pp. 146-156.
- 環境省 (2004)：藻場の復元に関する配慮事項，100p.
- 環境省 (1994)：第4回自然環境保全基礎調査 海生生物環境調査報告書，第2巻，400p.
- 島谷学・中瀬浩太・熊谷隆宏・月館真理雄 (2000)：アマモ種子の埋没機構に関する研究，海岸工学論文集，第47巻，pp. 1171-1175.
- 高山百合子・上野成三・藤井秀博・林文慶・山本克則・田中昌宏 (2003)：江奈湾の藻場分布データに基づいたアマモのHISモデル，海岸工学論文集，第50巻，pp. 1136-1140.
- 棚田教生・和泉安洋・團昭紀・広澤晃・森口朗彦・寺脇利信 (2005)：冬季波浪条件の比較の厳しい海域におけるガーゼ・襪製マットによるアマモ繁茂への効果と限界，水産工学，Vol. 42，No. 2，pp. 129-134.
- 山本克則・小川久朗・難波信由・林文慶・越川義功・田中昌宏 (2004)：アマモ場造成に向けた新しい種苗生産技術，月刊海洋，413，pp. 846-850.
- 山本省吾・中瀬浩太・山本裕規・羽原浩史・岡田光正 (2004)：光量，航走波，潮流環境変化による移植アマモ場の維持・拡大機構に関する研究，海岸工学論文集，第51巻，pp. 1041-1045.
- 吉田司・芝修一・小山善明・新井義昭・鈴木輝明 (2004)：アマモ場造成に必要な生育環境条件に関する研究，水産工学 Vol. 40，No. 3，pp. 205-210.
- Delft Hydraulics (1998)：DELFT3D-FLOW, A simulation program for hydrodynamic flows and transport in 2 and 3 dimensions, release 3.23, 494p.
- Delft Hydraulics (2003)：DELFT3D-WAVE, Simulation of short-crested waves with HISWA or SWAN, 249p.