

コアマモ場再生を目指した草体増殖および種子発芽特性の検討

Shoot Growth and Seed Germination Characteristics of *Zostera japonica* for Eelgrass Bed Promotion

越川義功¹・中村華子²・田中昌宏³・小河久朗⁴

Yoshinori KOSHIKAWA, Hanako NAKAMURA, Masahiro TANAKA and Hisao OGAWA

To investigate the characteristics of shoot growth and seed germination of *Zostera japonica* a field survey and laboratory experiments were conducted. The field observed data showed that it is tolerant to a severe environment condition such as salinity variation and dry condition. The laboratory experiments revealed that increase rates of turion number, node number and rhizome length were governed by water temperature and salinity. The freshwater treatment to enhance the germination was found to be also effective for *Z. japonica*, which was found by authors to be very effective for *Zostera marina*. This study suggested that *Z. japonica* is suitable for the Eelgrass bed restoration in the eutrophic bay where the environment condition is very severe.

1. はじめに

近年、東京湾を始めとした閉鎖性海域では劣化した沿岸環境を修復・再生する試みが行われている。なかでもアマモ場が有する生態系における役割が広く認識され、そのメニューの一つとしてアマモ場の再生活動が行われている(工藤, 2003)。アマモ場は海草類のアマモ属で構成される藻場の総称であり、本州沿岸ではアマモ *Zostera marina*, コアマモ *Zostera japonica*, タチアマモ *Zostera caulescens* のいずれかが構成種となっている。現在、再生が行われているのはアマモのみで、コアマモやタチアマモについては殆んど実施されていない。これは増殖に関する知見が乏しいためであり、藻場生態系の包括的な再生のためには、これらの種についても増殖手法を検討しておく必要がある。特に、コアマモはアマモより陸地に近い潮間帯に生育しているので、開発行為や漁業活動など人為的な影響を受けやすく、増殖技術確立の緊急性が高い種である。

コアマモは北半球の温帯域から亜寒帯の砂もしくは砂泥域に分布する海産被子植物であり、国内では太平洋岸を中心とした内湾の汽水域に生育している(大森, 2000)。しかし、生育地自体が減少傾向にあり、分布や生態、増殖手法についての研究(新崎, 1950a, 1950b; 田井野, 2004; 島谷ら, 2004)は限られていることから、環境省のレッドデータブックでは“情報不足の種”にリストアップされている。一方でコアマモは大潮の干潮時に干出する潮間帯上部や泥質干潟でも群落を形成することがある。これはコアマモが乾燥や高温に対して耐性が大きく、幅広い環境条件に

適応できる能力を有することを示している。特に、東京湾など透明度が低いために光条件を満たす場所が浅海部に限られるような内湾でのアマモ場再生には、コアマモは最も適する可能性を含んでいる種である。

2. 研究目的

これまでに実施されてきたアマモ場の再生方法は、草体を移植する“株移植”と種子を播いて草体が生長するのを期待する“播種”の2つの方法がある。しかし、コアマモを対象とした藻場再生事例は極めて少なく、近隣海域内でのコアマモを底土ごとの輸送、移植した事例が見られるのみである(矢野, 2004; 岡林ら, 2006)。

これらの場合、課題となるのはドナーとなる元群落の損傷と底土に含まれる水生生物の移入である。他海域からの移植の場合、土壤に付着した生物による生態系のかく乱が懸念される。一般にはこれらの駆除には淡水浴が有効であるが、汽水域に生息する底生生物には3~4日間の淡水浴でも駆除できない。そのため、株移植を再生手法として選択する場合、底土を除いた地下茎を含む草体をあらかじめ草体増殖に適した土壤で育成し、移植することが必要になる。また、草体に使う株移植自体がドナー群落に影響を与えるという観点から、アマモと同様にコアマモ場再生でも種子を活用することが望ましい。しかし、コアマモ種子の発芽特性については断片的な知見しかなく、種苗生産まで見据えた実用的な検討が必要である。

そこで、本研究ではコアマモ場の再生を最終目的とし、水温、塩分、乾燥などに対する基本的な環境耐性を明らかにするための現地調査を行い、さらに草体、種子からの増殖技術を確認するため、草体の増殖適性条件や種子の発芽特性を明らかにすることを目的とした室内実験を実施した。

1 正会員 水博 鹿島技術研究所 研究管理グループ
2 鹿島技術研究所 地球環境バイオグループ
3 フェロー 工博 鹿島技術研究所 地球環境バイオグループ
4 農博 北里大学 水産学部

3. 現地調査

(1) 調査地点および方法

コアマモ場の現地調査は神奈川県三浦半島に位置する江奈湾で実施した(図-1)。江奈湾は南面に開口部を持つ内湾であり、干潮時には湾中央部に砂質干潟、湾奥には泥質干潟が出現する。コアマモは湾奥の泥質干潟に分布し、夏季には全面を覆うが、冬季には岸寄りのわずかな部分のみに生育している。そこで、今回は1年のうちコアマモ生育面積が最も減少する3月(2006年)に現地調査を実施した。

調査はメモリー式水温塩分計(アレック電子製, MDS-CT)を用い、コアマモが生育している干潟内の異なる2地点の海底表面に水温塩分計を挿し込むことによって設置した。センサーを設置した部分はいずれも潮間帯上部のコアマモ場であるが、St.1はアシ原の淡水の流れ込みに近く淡水の影響を受けやすくなっている。しかし、コアマモ場の中心にあり、生育を満たす最低限の条件を計測できる地点でもある。計測時間の設定は10分間隔の連続48時間、計測項目は水温、塩分とし、また塩分の極度な低下(干出時に0.1 psuまで低下)は、実際には水がないため検出されないのて“干出”と判定した。なお、本研究では塩分は無次元表記であるが、多くの数値が混在し水温などと区別し難いため、単位psuを付加した。

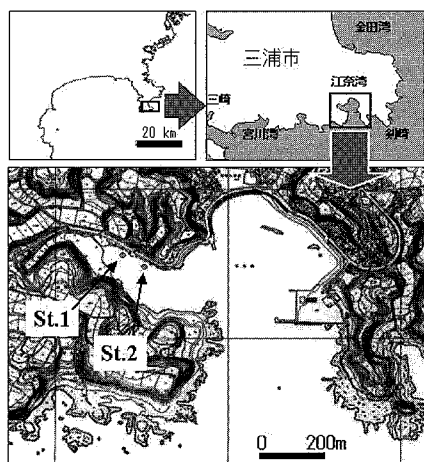


図-1 調査地点(神奈川県江奈湾)

(2) 結果および考察

計測機器の設置中における現地天候は、2006年3月8日は晴れで南風が吹き、3月9日は曇天で北東風が卓越していた。また、水域の塩分に影響を及ぼす降水はなかった。現地の潮汐は潮周りが小潮、最高潮位は125 cm、最低潮位が45 cmであった。

メモリー式水温塩分計による計測結果を図-2に示した。水温は5～22℃で推移し、曇天時に比べて晴天時

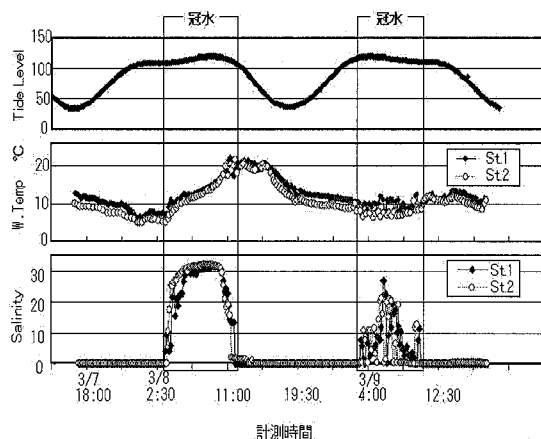


図-2 江奈湾コアマモ生育域における水温・塩分の変化

で水温変動幅が大きく、その幅は15℃に達した。塩分の変動範囲は0～32 psuと大きく、高潮位時に最高値(32 psu)を記録した。そして潮位低下に伴って淡水の流れ込みの影響で塩分が低下し、さらに干出すると最低値(0 psu)を記録した。2地点の塩分を比較すると、St.1の塩分はSt.2よりも低く、淡水の影響を受けやすいことが明らかになった。また、塩分の変動からコアマモ場が冠水していると推定されるのは、3月8日の3:35～11:35、3月9日の2:35～9:35であり、小潮周りでのコアマモの冠水時間は1日あたり7～8時間であった。

アマモ類の生育分布制限要因として光(透明度)、水質(水温、塩分、栄養塩濃度)、底質、波浪などによる攪乱、干出時の乾燥などが挙げられるが(渡辺ら, 2000)、現地の環境条件においてアマモ類の生育分布に最も影響を与えるのは干出時の乾燥である。調査対象となった江奈湾の干潟は地盤高が高いため、潮位高がある程度まで上がらないと干潟全体は冠水しない。今回の調査でのコアマモの生育場所の冠水時間はおよそ7時間だったが、潮回りによって冠水時間が異なる。そこで、現地計測実施日前後2週間合計28日間を対象にコアマモ生育地の1日あたりの最小冠水時間、平均冠水時間を計算した。その結果、それぞれ数値は5時間、18時間40分と算定された。これまでコアマモはアマモに比べて乾燥に強いとされてきたが、乾燥に対する許容時間については明確な数値がなかった。しかし、今回算出した時間はコアマモの乾燥に対する限界時間を示し、移植適地の地盤高、移植作業に伴う草体の許容乾燥時間の設定根拠となる。

4. コアマモ増殖に関する室内実験

(1) 草体増殖に適した育成条件の検討

移植後の定着を図るためには、草体の生長と並んで定着に重要な役割を示す地下茎や根の生長させることが重要である。そこで底質、水質など育成条件によるコアマ

モ草体（地上部と地下部をととしたもの）の増殖特性を把握するため、生長点を含んだ草体の育成実験を行った。

a) 材料および方法

実験に供するコアマモ草体は実験開始直前に神奈川県江奈湾地先の干潟で採集して実験室に持ち帰り、付着生物を除去するため草体のみを淡水で24時間浸漬した。その後、生長点を含む先端から4節目から切断したものを供試材料とし、底質条件（砂と堆肥の比率）および水温・塩分の一定条件下でコアマモ増殖に適した条件を検討する育成実験を行った。

底質条件の検討実験はコアマモ草体を次のように設定した培養土が入った角型容器（ポリプロピレン製）に5本づつ植付け、濾過海水（pf フィルター 1 μ m 通過；塩分 35 psu）を 700 ml づつ注入、温度 18 $^{\circ}$ C、照度 3500 lx に設定したインキュベータ内で育成した。実験区の底質条件は、川砂：パーク堆肥（以下パーク）（7：3、5：5、3：7）の3実験区、川砂細（川砂の粒径 0.5 mm 以下分）：パーク（5：5）、川砂粗（川砂の粒径 1.0～0.5 mm 分）：パーク（5：5）を調整した2実験区、アマモ生育地の土を使った対照区の合計6実験区を設定した。実験は付着珪藻などによる草体の汚れが少ない12月に2週間実施するものとし、実験開始時および終了時には各実験区の全てのコアマモ草体を取り出し、主枝（草体の地上に出ている部分）の数、葉数、葉長を計測した。

水温・塩分条件の検討実験は、コアマモ草体を培養土（川砂：パーク（5：5））が入った角型容器（ポリプロピレン製）に5本づつ植付け、塩分を調整した濾過海水（pf フィルター 1 μ m 通過）を 700 ml づつ注入した後、各温度に設定したインキュベータ内（照度 3500 lx）で育成した。実験区の水温は 10、15、20 $^{\circ}$ C、塩分は 7.5、15、35 psu とし、これらを組み合わせた合計 9 実験区を設定した。実験期間は2週間とし、実験開始時および終了時には各実験区の全てのコアマモ草体を取り出し、主枝数、各主枝の葉長、地下茎の全長、根長、節数を計測した。なお、草体の栄養状態の季節変動を考慮するため、実験は 2006 年 3 月、5 月、8 月、10 月、12 月の合計 5 回実施した。

b) 結果および考察

底質条件別に育成したコアマモ草体の葉長合計、葉数、主枝数の増加率を図-3 に示した。草体の葉長合計、葉数、主枝数は全ての実験区で増加したが、その増加率は実験区によって異なった。草体の葉長合計では、川砂粗：パーク（5：5）の増加率が 127% 増と最も大きく、逆に川砂細：パーク（5：5）が 75% 増と最も小さかった。葉数では川砂：パーク = 7：3 が 62% 増と最も大きく、川砂：パーク = 5：5 が 26% 増と最も小さかった。また、草体の分枝によって増加する主枝数では、川砂：パーク = 5：5 が 23% 増と最も大きく、川砂粗：パーク

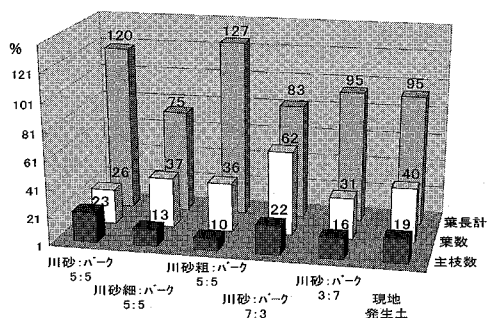


図-3 底質条件によるコアマモ草体の生長量の違い

= 5：5 が 10% 増と最も小さかった。

これまでコアマモは底質環境の影響を大きく受け、生育・非生育域の境界値（含水率 34.3%，シルト・粘土分 4.1%，強熱減量 3.6%）がその生育条件の目安とされてきた（島谷ら，2004）。今回、生育地の土を含めた複数の土壌条件で室内育成実験を行ったところ、シルト・粘土分が現地発生土よりも明らかに少ない川砂：パーク（5：5）の底質条件でも良好な生長を示した。これはコアマモ生育域が波浪の穏やかな場所にあるために、結果的に底質が泥質に近くなっているが、実際はパーク堆肥等の栄養供給さえあればコアマモ草体の増殖は粗い粒径組成の培養土で十分可能であることを示唆している。

2006 年 3 月から 12 月に実施した 5 回のコアマモ育成試験における主枝数、地下茎節数、地下茎全長それぞれの増加率を図-4 に示した。主枝数の増加率は -50%（20 $^{\circ}$ C，15 psu（12 月））から 137%（10 $^{\circ}$ C，35 psu（3 月））の間で変動し、水温 20 $^{\circ}$ C よりも 10 $^{\circ}$ C もしくは 15 $^{\circ}$ C のほうが大きかった。特に 3 月、12 月はその傾向が強く、草体の地下部は腐敗していた。また塩分で 35 psu よりも 7.5 psu，15 psu の汽水条件で大きい傾向にあった。地下茎節数の増加率は、-39%（20 $^{\circ}$ C，7.5 psu（3 月））から 191%（15 $^{\circ}$ C，15 psu（8 月））の間で変動した。特に、水温 20 $^{\circ}$ C では 3 月、12 月に顕著に見られるように、10 $^{\circ}$ C と 15 $^{\circ}$ C よりも地下茎節数の増加率が小さい傾向にあった。塩分では 7.5 psu，15 psu の汽水条件で増加率 100% 以上を示すことが多く、その傾向は 5 月、12 月で強く現れていた。地下茎全長の増加率は、主枝数や地下茎節数のような大きな変動幅はなく、-30%（20 $^{\circ}$ C，7.5 psu（3 月））から 72%（15 $^{\circ}$ C，15 psu（8 月））の間で変動した。主枝数、地下茎節数と同様に水温では 20 $^{\circ}$ C での地下茎全長の増加率が小さかったが、塩分による違いは見られなかった。

コアマモ生育域の水温や塩分については、現地環境条件、株密度、草丈から水温 20 $^{\circ}$ C 以上、塩分は最低 10 psu 以上とされている（田井野，2004）。今回の水温・塩分条件による草体の育成実験では、通年で水温 10～

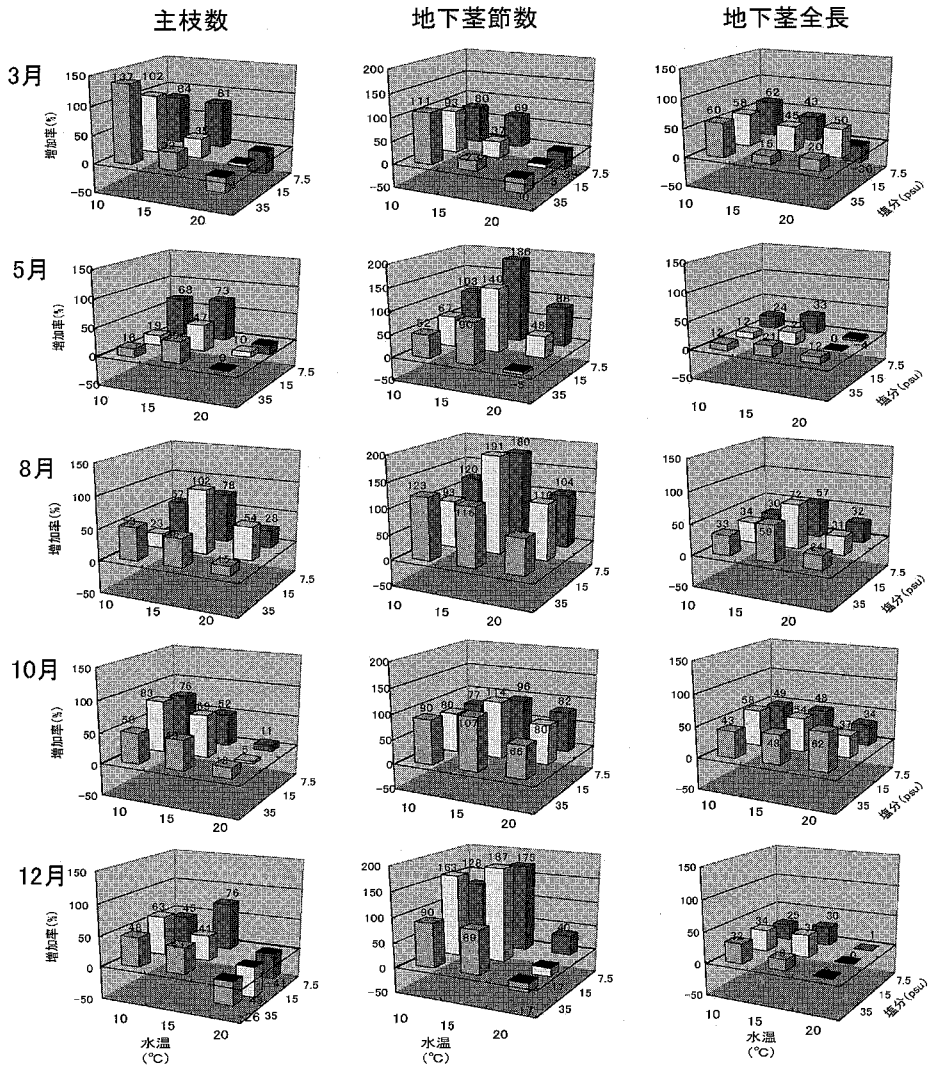


図-4 水・塩分条件によるコアマモ草体の主枝数・地下茎節数・地下茎全長の増加率

15℃、塩分7.5もしくは15psuでの育成結果が良好であった。これはコアマモが江奈湾のような汽水域での生長に適し、その塩分範囲が7.5～15psuであることを示している。一方、水温20℃ではコアマモ草体の地下部が底土中において腐敗するなどの現象が見られ、既往の知見とは異なる結果となった。今回の育成実験は静水条件で実施したが、コアマモの生育条件の一つとして適度な擾乱が必要とされることから(島谷ら, 2004)、底土内部への酸素供給などが底土の嫌気化防止が静水条件下でのコアマモ草体の育成ポイントのひとつと考えられる。

(2) 種子からの増殖手法の検討

a) 材料および方法

コアマモでは種子の発芽に関するまとまった知見がほとんどない。そこで、アマモでの発芽誘引に有効だった淡水処理による方法に(山木ら, 2006)、水温変化を加え

て組み合わせることにより、コアマモ種子からの安定した種苗育成の可能性を見出すために実験を行った。実験は神奈川県江奈湾でのコアマモ花枝の採集により得られた種子を6ヶ月間20℃で保存していたものを用い、培養土(川砂：パーク＝1：1)をいれた園芸用ポット(容量100ml)に種子10粒ずつを播種した。播種したポットは設定された時間の淡水浸漬処理を施した後、塩分が調整された水槽に収容され、各設定温度のインキュベータで育成が行われた。実験区の条件は、淡水処理時間が0, 1, 3, 5日、塩分が7.5, 15, 35psu、温度が10℃, 15℃とし、各条件ともポットの数は3つで実施した。実験開始後は、7～10日ごとに培養土表面に出現する子葉数を計数した。

b) 結果および考察

淡水処理時間、水温および塩分を変化させることによって発芽処理を施したコアマモ種子の30日目における

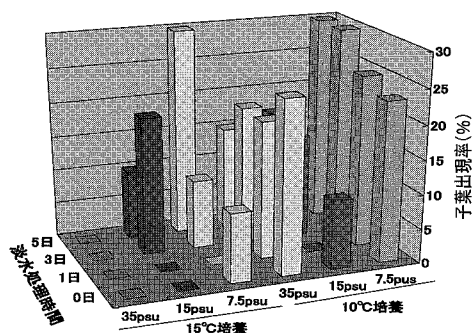


図-5 発芽誘引処理によるコアマモ種子からの子葉出現率

子葉出現率を図-5に示した。15℃培養での子葉出現率は、淡水処理時間5日、塩分7.5psuで30%と最も高く、淡水処理時間が短く、塩分が高いほど低かった。特に塩分35psuでは淡水処理を施しても子葉は出現しなかった。これに対して、10℃培養での子葉出現率は、塩分7.5psu, 15psu, 35psuにおいてそれぞれ22.5～30%, 0～17.5%, 15～25%であり、塩分7.5psuでは淡水処理時間の長さに対応して子葉出現率も高くなった。特に、10℃培養では淡水処理を施さなくても子葉が出現しており、コアマモ種子の発芽誘引処理には塩分調整に加え、低水温処理が有効な方法といえる。

5. コアマモ場再生技術の確立にむけて

コアマモ場の再生において草体移植を行った場合で重要なのは、底土への定着であり地下部の充実である。今回のコアマモ草体の育成実験では、多くの生長に関するパラメータのうち地下部の充実によって増加する項目を選定し、評価を行った。コアマモの葉と根の増加率を育成日数で除して生長速度を算出し集計した結果、葉の生長速度は平均値の変動が小さいのに対し(3.7～6.7%/日)、根の生長速度は平均値の変動幅が大きいのに加えて(2.5～14.5%/日)、季節的な変動パターンを示した(図-6)。これは草体の支持力のもととなる根の生長速度は季節変動するため、コアマモ群落の充実期の夏場が適していることを示している。しかし、草体のみを採集して室内で保護育成する場合、高水温条件ではコアマモの草体数が大きく減少する可能性がある。対策としては、実験のとおり低水温条件での育成、嫌気状態の回避が挙げられ、草体の安定育成のさらなる検討が必要であろう。

これまでアマモを対象としたアマモ場再生の事例では、種子をもとにした播種や種苗移植による方法が行われてきた(工藤, 2003)。しかし、コアマモ場再生は株移植のみしか行われていない。これはコアマモの種子自体の大きさが小さく取り扱いが難しいこと、発芽も不安定であることなど、アマモとは生態的特徴が異なっているこ

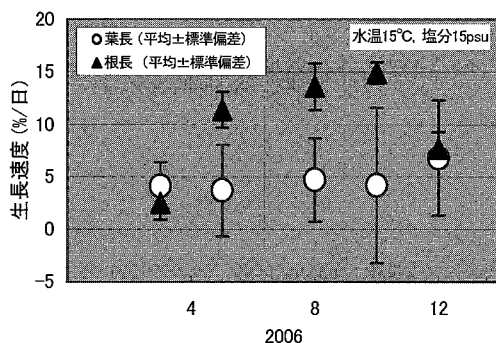


図-6 育成時期によるコアマモ草体の生長速度の変動

とに起因していると考えられる。しかし、本研究での検討の結果、従来の淡水浸漬と低温・低塩分処理の組み合わせによって30%の子葉出現が可能となった。また、コアマモ種子はアマモ種子が腐敗した淡水浸漬時間でも腐敗せずに発芽しており、コアマモが草体同様に種子の発芽でもより低塩分に適応していると考えられる。これはアマモと比較すると淡水処理に対する発芽の応答性は緩やかなものの、これまで確立されていないコアマモ種子の発芽を安定化させ、コアマモの移植用種苗生産など、種子を元にした増殖の可能性を示すものである。しかし、コアマモ種子の発芽率はアマモの1/2以下であり、今後さらに向上させることが課題である。

近年、アマモ類については遺伝子多様性の保護の観点から、今ある資源をいかに効率的に増殖するかがポイントであり、種子をもとにした増殖手法が増えることは今後のコアマモ場再生に対して選択の幅を広げるものと考えられる。

参考文献

- 新崎盛敏(1950a): アマモ・コアマモの生態(I), 日本水産学会誌, 15, pp. 567-572.
- 新崎盛敏(1950b): アマモ・コアマモの生態(II), 日本水産学会誌, 16, pp. 70-76.
- 大森雄治(2000): 日本の海草—分布と生態—, 海洋と生物, 131, pp. 524-532.
- 岡林昭夫・栗木秀治・福富直(2006): 養浜海岸におけるコアマモ藻場の保全, 土木学会第61回年次学術講演会講演要旨集 第II部門, pp. 259-260.
- 工藤孝浩(2003): ボトムアップ型の環境回復とその課題—市民・漁業者の立場から—, 月刊海洋, 35(7), pp. 448-495.
- 島谷 学・佐藤喜一郎・中瀬浩太・桑江朝比呂・中村由行(2004): コアマモの生育に適した物理環境について, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 1031-1035.
- 田井野清也(2004): 河口の密林 コアマモ群落の生態, 海洋と生物, 155, pp. 535-539.
- 矢野米生(2003): 絶滅危惧種「コアマモ」の移植に関する試み, 土木施工, 第44巻, 7号, pp. 8-14.
- 山本克則・小河久朗・吉川東水・難波信由(2006): アマモ種子における塩分及び温度制御による発芽促進効果, 水産増殖, 第54巻, 3号, pp. 347-351.
- 渡辺雅子・仲岡雅裕(2000): 海草の分布と生産に影響を与える環境要因・生物学的要因, 海洋と生物, 131, pp. 533-541.