後背地の影響を受けやすい干潟におけるコアマモ群落の消長・維持機構

Formative and Decline Mechanism of Eelgrass Community *Zostera japonica* in Wetland Subjected to Influence of Hinterland Environmental Condition

越川義功¹・中村華子²・田中昌宏³

Yoshinori KOSHIKAWA, Hanako NAKAMURA and Masahiro TANAKA

Field observations on *Zostera japonica* habitat and transplanting experiment were conducted in order to obtain scientific knowledge on preservation and restoration of eelgrass beds. The observed seasonal changes in density of *Z. japonica* were large, and the rhizome biomass had drastically decreased from 0.40g/100cm² to as little as 0.05g/100cm² in a year. The transplanted *Z. japonica* increased their shoots by 30 times, however, most of the shoots had disappeared in 8 months. The rapid disappearance appears to be due to rise in the sea bed level during the period. It is suggested that sediment inflow from the hinterland must be controlled as well as the possibility of propagation of species be enhanced not only by rhizome extension but by seedling in order to keep *Z. japonica* community in the site.

1. はじめに

これまでの沿岸域の環境再生は、埋め立て等によって失われた自然海岸を取り戻すために、干潟造成を中心に検討されてきた(古川ら, 2005)。しかし、環境再生ニーズが大きい都市臨海部では、現存の港湾機能の維持や現地の水深などの現地条件を考慮すると、緩やかな勾配を有する自然海岸に近い構造の干潟造成は早期実現が難しい。特に、コスト、技術面からの十分な検討がまだ必要であり、長期的に取り組むべき環境再生事業といえる。

一方、高度成長期に整備された護岸をはじめとした、海岸構造物の多くは老朽化による改修時期にきている。これらの施設の一部は、早急な補修対策の必然性と環境再生ニーズが合ったことで、環境に配慮した護岸やテラス型タイドプールなどに再整備され効果を見せている(柵瀬ら, 2007)。このような事例は事業用地としてまとまった空間を確保できない都市臨海部の水域における短期的な環境再生ニーズを満たし、さらに小規模の環境再生サイトの多数配置、ネットワーク化は都市臨海部全体の環境再生につながる。しかし、これらのサイトをより有機的につなげ機能を最大限発揮させるためには、砂干潟、ゴロタ場、藻場などの沿岸域における異なる構成要素をいかに配置し、造成するかが重要な課題となる。

近年、これらの沿岸生態系の構成要素のうち、藻場の重要性は広く認知されている。現在では、そのなかでも海草藻場が注目され、全国各地での海域の環境再生のプロジェクトではアマモ *Zostera marina* が再生の対象種となり、多くの知見が蓄積されつつある(工藤, 2003)。

しかし、アマモ場の再生ニーズが大きい東京湾や大阪湾、瀬戸内海といった都市部に近い水域では、夏季における恒常的な植物プランクトン増殖による水中照度の低下が制限要因のひとつとなり、再生が不調に終わることが懸念される。

一方、アマモと同じ海草の一種であるコアマモ *Zostera japonica* は、一般的にアマモよりも分布する地盤高が高く、強い低塩分耐性を有している。そのため、筆者らはアマモよりも内湾の環境に対応し易いと考え、コアマモの生長に対する水温・塩分特性や発芽方法を検討してきた(越川ら, 2007)。また、コアマモは感潮河川や河口干潟など洪水対策の河床整備や流域の圃場整備などの影響を直接的に受け易い場所に分布しており、これら群落の保全や再生の潜在的な要望は多い。しかし、これまでの調査研究は環境条件が安定している生育域での知見が多く、環境条件が不安定で群落の再生や保全が必要な生育域での知見はない。

そこで、本研究ではコアマモを対象として、環境変動が大きい場所における海草藻場の保全、退行対策案の資料とするため、現地観測やローカルな移植実験を行うことにより、コアマモ群落の地盤高変動に対する応答、種子や地下茎などコアマモの群落維持機構を明らかにすることを目的とした。

2. 材料及び実験方法

本研究では、コアマモの生長や衰退、種子形成など生育実態の把握をするために、図-1に示す神奈川県三浦市の江奈湾干潟においてコアマモ群落と環境条件に関する現地観測と移植実験を行った。江奈湾は三浦半島の先端に位置しており、東京湾側の海岸で見られる潮干狩りなどの人為的な攪乱要因を考慮せずに、コアマモの生育実

1 正会員 水博 鹿島技術研究所 研究管理グループ
2 フェロー 工博 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

図-1 調査地点（神奈川県江奈湾）

態を正確に判断できる場所である。現地観測は、地盤高や生育分布に応じた調査地点4箇所を設定し、2007年6月から2009年3月まで毎月の合計22回のサンプリング、調査を実施した。また、2008年には移植によるコアマモ群落の拡大や維持の状況を評価するために、干潟内においてコアマモ株の移植実験と種子落下拡散に関する実験を並行して行った。

(1) アマモ群落の変動と環境要因

現地観測は、各調査地点におけるコアマモの生育状況（草体密度、現存量）、土壌環境、間隙水水質、地盤高を測定することとした。コアマモの生育状況はコドラート（10cm×10cm）を干潟上部に無作為に置き、その時の枠内のコアマモの草体本数を計測することで草体密度を算出した。また、現存量は同様にコドラート内部の草体を土壌から取出した後、草体と地下茎のみを洗浄し、ドライオープンで乾燥したものの重量を現存量とした。土壌環境は干潟土壌を「底質調査方法」で分析し、泥分率、強熱減量を算出した。間隙水水質は植物体に最も吸収されやすいアンモニア態窒素（ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ）を対象とし、土壌に多孔質管を挿入し真空吸引法で採取した間隙水を実験室に持ち帰り、アンモニア窒素メーター（セントラル科学社製）で計測した。地盤高は干潟近くにある水準点の標高を基準とし、回転照射型レベラプレーナ（SOKKIA-LP30）によって各調査地点の地盤面との差を計測することで算出した。

(2) コアマモ域内移植実験と種子拡散確認実験

a) 域内移植実験

コアマモの域内移植実験を2008年1月から2008年7月にかけて実施した。移植実験は干潟に自生するコアマモを土ごと（5cm×5cm×深さ10cm）採集し、移植草体の

図-2 種子拡散実験におけるコアマモ群落へのトラップ^o配置図

拡大と生長を明確にするため、コアマモ自生区域とほぼ同じ環境であるが自生していない地点（調査地点A）に、移植することによって行った。移植は近接した3区画に実施し、移植後はそれぞれの区画について、草体本数、草体長の計測を行った。また、土壌等の環境についても現地調査と同様の項目で観測を行った。

b) 種子拡散確認実験

コアモモ種子拡散確認実験は、草体に生殖株が形成され、種子の形成、成熟が確認された2008年10月と11月の2回実施した。種子拡散確認実験は、図-1に示した調査地点Dよりも50mほど沖側に位置するコアモモ群落(幅1m×長さ2m)を対象とし、コアモモの群落内部、外部の底土に直径3cmのトラップを差し込み、設置48時間後にトラップを再び回収することによって行った。なお、トラップの数は群落内部6本、群落外部4本で、群落内の3本は落下した種子のみを補足するためにトラップ縁辺を土壌より10cmほど突出させて設置し、群落内の3本、外部の4本は底質上を転がって移動する種子を補足するためにトラップ縁辺を土壌表面と同じレベルになるように設置した(図-2)。

実験開始前に群落で形成されている種子総数の推定を以下の方法で行った。コドラートを群落上部に無作為に置き、その時の内部のコアマモの花枝数、それぞれの花枝における結実種子数を計数した。その後、これをもとに単位面積当たりのコマモの結実種子数を計算し、これに群落面積を乗じて種子の総数を算出した。

また、群落で形成された種子を落下させるとともに群落内外へ輸送する外力である波条件を把握するため、群落内部の地盤にメモリ式流向流速計（アレック社製 COMPACT-EM）を挿し込んで設置した。流向流速計は、

設置後およそ48時間後に回収し、群落に作用した流速振幅などについてデータを収集、解析を行った。

3. 結果

(1) アマモ群落の変動と環境要因

江奈湾におけるコアマモは湾全体に点在して群落を形成しており、図-3に示すように各調査地点における草体密度は2007年8月以降消失した調査地点Aを除き、各調査地点とも6~7月の夏季に最大値(46本/100cm²)を示すが、その後減少に転じ11月~3月の冬季に最小値を示し、4月以降回復するといった季節変動を示した。しかし、2008年11月以降の草体密度の減少後は、2007年よりも冬季の草体密度は極端に低く、回復が遅い傾向にあった。また、図-4に示すように地下茎乾燥重量も草体密度と同様の挙動を示しており、2008年冬季の地下茎乾燥重量は2007年冬季よりも少なかった。

図-5に各調査地点における地盤高の変動を示す。調査開始時の調査地点A, B, C, Dにおける地盤高は、それぞれ6cm, 2cm, -10cm, -18cmであったが、およそ半年後の2008年2月ではそれぞれ17cm, 12cm, -5cm, -16cmと2~11cm増加していた。その後、地盤高は小刻みに増減を繰り返したが、2008年7月には全体的に4~10cmの大幅な変化が確認された。その後、地盤高は減少したものの、最終的に調査開始時と比較しても、4~14cmの地

盤の上昇が見られ、その変動幅は高潮位部ほど大きくなった。図-6に各調査地点における土壌間隙水のNH₄⁺-N濃度の変化を示した。土壌間隙水のNH₄⁺-N濃度は2007年9月に最大5.8ppmを記録し、その後は上限変動を繰り返しながら低下した。特に、2008年6月~9月にかけては1ppm以下の低いレベルで推移し、間隙水NH₄⁺-N濃度は約5ppm低下したが、その変動要因については次章で考察する。

(2) コアマモ域内移植実験と種子拡散確認実験

a) 域内移植実験

図-7に同じ干潟内で移植したコアマモ草体の草体本数の推移を示す。移植した草体本数は、移植直後は平均5本/区で開始したが、移植1ヵ月後に3ヶ所移植したうちの1ヶ所が消失したものの、その他の2区画は2008年3月までは若干の草体本数の増加は見られたが大きな変化がなかった。しかし、その後、急激に草体本数は増加し、4月には33本(1区画あたり平均本数)、5月には66本、6月には移植した草体本数の約30倍以上に当たる152本に達した。しかし、7月には増殖したコアマモの草体の殆んどが消失し、土壌中に若干の地下茎が残存するのみであり、消失後に草体が出現することはなかった。

b) 種子拡散確認実験

コアマモ群落における結実種子数、回収種子数から推定した群落内の結実種子総数と落下種子総数を表-1に示

図-3 江奈湾コアマモ生育域におけるコアマモ草体密度の変動

図-5 江奈湾コアマモ生育域における各調査地点の地盤高変動

図-4 江奈湾におけるコアマモ地下茎現存量の変動

図-6 江奈湾コアマモ生育域における土壌間隙水のNH₄⁺-N濃度の変動

図-7 江奈湾コアマモ生育域内部で移植したコアマモの草体数の推移

した。

種子拡散確認実験の対象とした群落は、実験開始直後においては種子を結実させた花枝が随所に見られ、対象群落において実施した結実種子の計数結果から種子の総数は9,400粒と推定した。一方、群落内部のトラップで捕集できた種子数の平均値（1回目：5.0粒/個，2回目：1.3粒/個），トラップの開口部面積（7cm²），群落面積（20,000cm²）から、実験期間内で群落内に落下した種子は、それぞれ14,825粒，3,714粒であり、落下した種子の総数は18,539粒と推定した。この数値は結実した種子の総数の2倍以上となっている。また、群落外のトラップには1回目，2回目ともに種子が確認できなかった。

これらの結果から、群落で結実した種子の殆んどは外部へ拡散せずに群落内の底質に保持され、また他の群落からの種子供給もほとんどないことを示唆している。

図-8に群落内部での流速成分の絶対値の時間推移を示した。群落に波が作用するのは干潮時の3～5時間を除いた20時間前後であった。群落内部での観測された流速の絶対値は概ね10cm/s以下であったが、最大30cm/sの流速値も観測した。これは群落に対して、波による底面軌道流速と潮汐流の二つの外力が作用していることを示している。現地における観察でも、草体が水中で間欠して横になる状況を確認しており、波や潮流流がコアマモ草体に対して効果的な受光や花枝からの種子の落下を助ける十分な外力を与えている。

表-1 コアマモ群落における結実種子数，回収種子数から推定した群落内の結実種子総数と落下種子総数

	結実 種子密度 (粒/cm ²)		群落面積 (cm ²)	群落内 種子総数 (cm ²)
2008.10.15	0.47		20,000	9,400
	回収 (粒/トラップ)	落下密度 (粒/cm ²)	群落面積 (cm ²)	落下種子 総数 (粒)
2008.10.17	5.0	0.714	20,000	14,285
2008.10.30	1.3	0.185	20,000	3,714

図-8 江奈湾コアマモ群落における流速振幅の連続観測結果

4. 考察

調査地点のコアマモ群落は、1998年以前は年間を通じて湾全体に連続性を持って群生していた。しかし、本調査を始めた2007年以降は群落は干潟内にパッチ状に点在化し、草体密度の季節変動が大きくなった（図-3）。さらに、群落維持を担保する地下茎の充実度を示す地下茎乾燥重量は草体密度と同様の挙動を示し、2008年冬季の乾燥重量は2007年冬季よりも低くなった（図-4）。地上部が減少しても速やかに再生される群落では地下部の現存量は一定量を保持するが（長濱ら，2007，上出，2007），当地では地下茎現存量の著しい低下が認められ、コアマモ群落の維持機構が衰退していることを示唆している。

その原因として考えられるのが，“干潟の陸地化”である。地盤高の計測結果（図-5）に見られるように、調査開始時点から上下変動を繰り返しながら堆積する傾向にあり、その傾向は陸地側ほど強い。これは江奈湾の干潟が、後背地に大規模な畑地をひかえ、その真ん中を流れる田鳥川を通じて多くの畑土が干潟に供給されていることに起因しており、その立地条件ゆえに降雨などによる出水の影響を直接受けやすい。

地盤高が相対的に上昇することは、干潟の干出時間の増加につながる。一般的に、コアマモは潮間帯での生育も可能であるが、コアマモでは年間の生活環のなかで暑熱麻痺，寒冷麻痺による2回の減耗期が存在するため（新崎，1950），長時間の干出は草体の乾燥をもたらし、さらなるダメージを与える。江奈湾のコアマモ場は、近隣の生育場である横浜市の野島海岸の群生地よりも高い地盤高条件で分布している。これは高含水比の土壤がコアマモの地下部に対して乾燥ストレスを減ずることで群落を成立させていると考えられ、これ以上の地盤高の上昇はその特殊な維持機構を相殺しかねない。特に、室内実験でも干出しない実験区でのみ地下茎バイオマスの大きな増加がみられることから（池上ら，2008），生産力が低下しつつある江奈湾の群落では、地盤高の僅かな上

昇も地下茎の増殖阻害につながり、翌年の生育や群落維持が大きな影響をうける危険性を示している。

地盤高の上昇は直接的な影響だけでなく、根からの栄養塩吸収を阻害するといった間接的な影響を及ぼす可能性もある。通常、地下茎は地表面から3cm前後に分布するが(吉田ら, 2005), 地盤上昇によって地表面からの間隙水の水位レベルが相対的に低くなった場合には地下部からの取り込みが減る。もしくは図-6に示したように間隙水の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度レベルの低下は、土砂流入が地下水の流れ自体に影響していることも否定できず、現地の地盤高は引き続き監視すべき重要な項目といえる。

江奈湾のコアマモ群落の維持機能を確保するためには、群落の分布の偏在化を解消することが即効性のある対策と考え、本研究では既存群落からの株分けによる増殖の有効性を検討した。その結果、生育条件が整った3月からの増殖期には、草体数は急激に増加した。最終的には消失したが、その増殖傾向は天然海域での地下茎伸長とはほぼ同様で(高山ら, 2008), 移植時期、定着に課題は残るものの効果的な増殖方法としての可能性を見出した。なお、群落が消失した理由については、地盤高の上昇が直接的原因と考えられるが、沖合への分布拡大が認められないことから、その他の要因が存在することも懸念される。具体的には、藻場の形成阻害要因としてアイゴなどの魚類による食害も指摘され、今後は藻場再生における重要な技術的課題として視野に入れる必要がある。

コアマモをはじめとした健全な海草の群落は地下茎伸長による拡大だけで十分維持できる。しかし、江奈湾のコアマモ群落の増殖能力は脆弱なものと言わざるを得ない。このことから、群落維持のためには、通常、分布拡大に使われる種子からの増殖を確保する必要がある。これまで、現地では発芽種子からの草体(実生)は確認されず、種子からは増えていないと推測していた。しかし、種子拡散確認実験の結果、群落内での種子の自家供給が明らかになったので、その種子をいかに発芽させ実生株として群落の維持、再生産に寄与させるかがポイントとなる。特に、コアマモの発芽条件については、低温と低塩分による促進が有効であり(越川ら, 2007), 当地の干潟でこの機構をうまく働かせる工夫が必要といえる。具体的には、後背地の土砂流入制御とあわせ、干潟全体

に存在する種子に淡水刺激を加えるための干潟中央のクリーク流路の定期的な切り替えといった土木工学的な対策の検討が必要であり、当地のコアマモ群落維持のための今後の課題である。

5. 結論

後背地や流入河川からのコアマモ群落への土砂流入は、地盤高上昇による暑熱と寒冷の2つの衰退要因の影響を受け易くし、群落の衰退を進行させる。このような環境変動は、当地だけでなく、各地のコアマモの生育地でも起こり易い現象であり、地盤高は重要な監視項目となる。また、コアマモ群落の維持には、地下茎による増殖を確保することも重要であるが、さらに実生株による増殖基盤の拡充、種子の自家供給を確保する花枝の域外への流出防止を検討するなど、増殖形態の多様化も必要である。

参考文献

- 新崎守敏(1950): アマモ・コアマモの生態(Ⅱ), 日本水産学会誌, 16, pp.70-76.
- 池上裕輔・野村宗弘・長濱祐美・中野和典・西村修(2008): コアマモの生育に与える干出時間および底質の影響, 環境工学研究論文集, 45, pp.81-87.
- 上出貴志(2007): 和歌山県田辺湾内及び内ノ浦の潮間帯に生育するコアマモ *Zostera japonica* の季節的消長, 日本水産学会誌, 73巻, 3号, pp.478-489.
- 工藤孝浩(2003): ボトムアップ型の環境回復とその課題ー市民・漁業者の立場からー, 月刊海洋, 35(7), pp.448-495.
- 越川義功・中村華子・田中昌宏・小河久朗(2007): 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, 海岸工学論文集, 54巻, pp.1076-1080.
- 柵瀬信夫・加藤智康・枝広茂樹・小林英樹・古川恵太(2007): 都市汽水域の生き物の棲み処づくりにおける順応的管理手法の適用, 海洋開発論文集, 23, pp.495-500.
- 高山百合子・片倉徳男・上野成三・湯浅城行(2008): 英虞湾における移植基盤を用いたコアマモ移植方法の現地検討実験, 海岸工学論文集, 55巻, pp.1266-1270.
- 長濱祐美・野村宗弘・中野和典・木村賢史・西村修(2007): コアマモ群落の環境特性と底生動物に及ぼす影響, 土木学会論文集G, 63巻, 4号, pp.233-240.
- 古川恵太・岡田知也・東島義郎・橋本浩一(2005): 阪南二区における造成干潟実験ー都市臨海部に干潟を取り戻すプロジェクトー, 海洋開発論文集, 21, pp.659-664.
- 吉田友彦・矢部 徹・石井裕一・立本英機・桑江朝比呂(2005): 干潟のコアマモ場における底質の酸化還元環境の特徴, 第39回水環境学会年会講演集, p.558.