泥質干潟におけるコアマモ群落形成に及ぼす底質移動の影響

Effect of Sediment Movement at Tidal Mud Flat on the Eelgrass Community Formation *Zostera japonica*

越川義功¹・中村華子²・田中昌宏³

Yoshinori KOSHIKAWA, Hanako NAKAMURA and Masahiro TANAKA

Investigation on the eelgrass *Zostera japonica* was conducted in order to collect scientific information for restoration of *Z. japonica* communities in tidal flats in urban coastal areas. The growth and survival properties of the *Z. japonica* and the environmental conditions were monitored at an existing eelgrass for several years. The morphological data has been showing a long-term tendency of rising due to accumulation of bed material, however, it was also observed that the movements of sediment were significant due to turbulence in bottom current. The formation of flowering shoot as well as the seed originated reproduction was considered to be prevented by the morphological disturbances. This suggested that the morphological control must be necessary to enhance the shoot growth and to preserve their seedlings.

1. はじめに

近年の生物との共生を目指した都市での水域環境整備は、運河や水路などで護岸や水門等の沿岸施設の補修や再整備の一部として行われることが多い。しかし、このような整備ニーズが高い都市の沿岸域は、都市河川や臨海部に位置する下水処理場の放流水の影響を受け易い。特に、塩分濃度は降雨による一時的な低下だけでなく、恒常的に低いことが多い(佐藤ら, 2006)。また、底質は夏季の富栄養化や貧酸素化、あるいは出水でもたらされる軟泥が堆積する砂泥質となり、浅場の特徴的な環境となっている。これらの水域を、生物の生育空間として活用するためには、低塩分・砂泥質といった環境条件を考慮した上で、生物多様性の確保や環境共生に向けた新たなメニューを構築し直す時期に来ている。

これまでの海域における藻場・干潟再生技術開発として、アマモ場をつくる技術について多くの検討や取り組みがなされてきた。しかし、汽水・砂泥に適用できる動植物による生物多様性の構築技術は不十分であり、そのような空間に生育可能な数少ない大型植物コアマモ *Zostera japonica* の存在が注目されている。

コアマモ場の修復を行うために、アマモ同様に種子及び草体を使用したアプローチが想定される。しかし、コアマモ場の保全や修復に必要な生態学知見は、著者らが得た知見(越川ら, 2007, 2009)の他、生育環境の把握、形態的变化の特性(上出ら, 2007, 2010)、コアマモ地

下茎の分枝特性(国分ら, 2010)、種子の発芽条件や生育限界(Abeら, 2009a, 2009b)がみられる程度である。特に、アマモと決定的に違う特徴として、絶対的な生育量の少なさと低発芽率が挙げられる。そのため、種子の量的確保、移植をするための苗の生産は技術的に困難を極める。また、草体の移植に頼る(矢野, 2003; 宮本ら, 2008)としても、当初の増殖成績は良好でも徐々に衰退し、群落を維持することすら難しいのが現状であり、総合的に判断しても、コアマモ場の再生を行うための計画、設計を行うための知見は依然として不足している。

特に、実生由来の増殖は、遺伝的多様性を確保するための重要な増殖手段であり、実生が見られない海草群落は環境耐性の低下も懸念される。実生による増殖の不全はいくつかの要因が推定されるが、近縁のアマモでは埋没姿勢と発芽、定着との関係が指摘されている(阿部ら, 2009)。江奈湾干潟では出水等による干潟上への細粒分の堆積などの現象が見られており、コアマモの衰退傾向に対して底質移動の影響が強く出ていることも懸念される。

そこで、本研究ではコアマモ群落を有する泥質干潟における現地観測によって、地盤条件の長期的及び短期的変動、並びにコアマモの現存量変化を調査し、底質移動を中心とした環境変動とコアマモの増殖に及ぼす影響を明らかにするとともに、最終的に護岸前面や河口域でのコアマモ群落維持に関する知見を得ることを目的とした。

2. 調査方法

(1) 調査対象水域および調査地点

本研究では、コアマモ群落がある泥質干潟として神奈川県三浦半島の江奈湾干潟(図-1)を調査対象に選定した。江奈湾干潟は干出する時間が長く、その地盤も高い

1 正会員	水博	鹿島技術研究所	地球環境バイオグループ
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

図-1 調査地点（神奈川県江奈湾干潟）

図-2 江奈湾干潟におけるコアマモ草体密度、花枝密度の変動及び実生の出現状況

干潟であるが、干潟奥までにコアマモが分布している。

調査地点は、干潟内のA～Fの合計6地点を設定した。調査地点A～Eは干潟部分に位置し、干出時間に違いがあるものの、満潮時には冠水する。調査地点Fは、後背地からの土砂流入等の影響を見るために、干潟のミオ筋内に設定しており、干潮時でも常時水が流れている。

(2) 調査内容

調査は2008年1月から2011年2月までの間、複数回にわたり、コアマモの現存量および地盤高調査を中心とした「コアマモの増殖実態に関する現地観測」、セジメントトラップと流速計設置による「地盤の短期変動に関する現地観測」の二つを実施した。

a) コアマモ群落の増殖実態に関する現地観測

コアマモ増殖実態の現地観測は、江奈湾干潟の調査地点4地点（A～D 図-1）で、以下に示す内容で2008年1月から毎月1回合計38回実施した。

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、地盤高に関する計測を実施した。コアマモの生育状況は、コドラート（10cm×10cm）を群落上部に無作為に置き、その時のコドラート内部に存在した草体を底土ごと3枠分採集した。3枠分の試料は、いずれも地上部に出ている草体数を計数した後、それぞれの草体を土壌から水洗しながら取出し、地上部と地下部に分別した。そして、それぞれの試料を80℃で乾燥、部位別に重量を現存量として計測した。草体密度、現存量ともに、それぞれの3試料の平均値を使用した。土壌環境については干潟直上の水温を計測するとともに、調査地点の底土を底質分析用試料として持ち帰り、所定の方法によって、含水率、強熱減量を算出した。地盤高は、干潟近くにある水準点を基準点とし、回転照射型レベルプレーナ（SOKKIA-LP30）によるレベル計測を実施し、各調査地点の地盤面との変位をもとに換算、算出した。

b) 地盤の短期変動に関する現地観測

短期間で発生する底質移動の実態を把握するために、2010年1月、2010年2月、2010年6月、2010年10月の合計4回実施した。調査地点は、前出の地点A～Dの4地点に、湾口からの擾乱を確認するための地点E、後背地からの流入土砂の影響を見るためのミオ筋内の地点Fの2地点を加えた合計6地点（図-1）である。

現地観測では、各調査地点において干潮時に、地盤高の変位を計測するための計測ポール（直径4mm）とともに、擾乱で浮遊沈降する底質の懸濁物量を把握する為のセジメントトラップ（口径100mm、長さ500mm、塩ビ製）を開口部が地盤面から100mmとなるように設置し、2～4日間経過後に地盤変位量の計測、セジメントトラップの回収を実施した。

回収したセジメントトラップは、現地において内部の底土を海水ごとポリ容器に収容し、実験室に持ち帰った。その後、ガラスビーカーに移して静置し、沈降粒子が容器の底部に十分に沈降した後、上澄みの海水をサイフォンで抜き取った。そして、試料の入ったビーカーをドライオーブン（110℃）で乾燥処理し、定量となった時点で重量を計測、風袋を除いた値を堆積物量とした。また、同時に調査期間中に調査地点にメモリ式電磁流速計（アレック電子社製：Compact-EM）を干潟底質直上50mmに設置し、1時間ごとに1Hz10分間の条件で干潟直上の流速変動を計測した。

3. 結果

(1) コアマモ群落の増殖実態に関する現地観測

a) コアマモ群落の生長・生残

江奈湾干潟における各調査地点のコアマモの草体密度、花枝密度を図-2に示した。コアマモの草体密度は、地点Aをのぞく地点B、C、Dの3地点で、減衰期（12～2月）、増殖期（4～7月）、衰退期（9～12月）といった変動を示し、その密度は地点Cで 16.1 ± 11.4 本/100cm²と最も大きく、地点Bで 9.8 ± 9.8 本/100cm²、地点Dで

図-3 江奈湾干潟におけるコアマモの地下部現存量の地上部現存量に対する比 (B/A) の変動

図-4 江奈湾干潟における各調査地点の地盤高の変動

7.7±7.5本/100cm²となった。

実生による増殖に不可欠な花枝の形成は、増殖期から衰退期にあたる6月から10月に確認され、その密度は2008年で5～10本/100cm²であったものの、以後2009年、2010年はともに5本/100cm²以下となった。また、花枝出現時の全全体数に占める割合は地点B、地点C、及び地点Dでそれぞれ5.3、10.5、20.3%となり、潮位が低い地点ほど花枝が出現しやすい傾向にあった。

江奈湾干潟における各調査地点のコアマモの地下部現存量の地上部現存量に対する比 (B/A) の変動を図-3に示した。現存量は草体密度と同様の傾向を示し、B/Aは繁茂期の5月から9月では全ての地点で2.0以下であったが、衰退期になると著しく上昇し10.0以上を示すこともあった。

b) コアマモ群落の環境変動

江奈湾干潟における各調査地点の地盤高変動を図-4に示した。地盤高変動は、観測開始時の2008年1月には地点A、B、CおよびDでそれぞれ17.3、12.7、-4.7、-15.7cmであったが、2010年2月には地点A、B、CおよびDそれぞれ20.3、15.3、-0.7、-13.7cmといずれの地点も観測直後に比べて2～4cm増加し、緩やかに堆積傾向にあった。また、計測値のバラつきを示す標準偏差は、地点A、B、CおよびDでそれぞれ2.2、2.1、2.9、および3.0cmとなり、調査地点の地盤高が低い、湾口に近い調査地点ほど変動が大きかった。

図-5 江奈湾干潟における各調査地点の底泥上水温の変動

図-6 各調査地点におけるセジメントトラップの捕集堆積物量及び地盤高変位量

各調査地点における底泥上の水温変化を図-5に示した。年最低水温は、1月もしくは2月に記録され、その時の水温は6.5～10.6℃であった。これに対して、年最高水温は5月から8月のいずれかで記録し、その時の値は34.7～38.7であった。また、各調査時における水温の地点較差は平均で2.5℃、最大で7.7℃であった。

(2) 地盤の短期変動に関する現地観測

江奈湾干潟における各調査地点でのセジメントトラップへの捕集堆積物量及び地盤高変位量を図-6に示した。なお、捕集堆積物量は、各調査時点におけるトラップ内への堆積物量をセジメントトラップの開口面積 (78.5cm²) を基に単位時間当たりの堆積量として表している。捕集堆積物量の変動傾向として、降雨や波浪といった擾乱がない場合は各地点とも0.10g/cm²・dayで比較的小さい値を示すが、台風などの擾乱が生じた場合には1g/cm²・day以上の高い値 (最高値; 3.51g/cm²・day (地点D)) を示した。また、潮位が低い場所ほど捕集堆積物量が

図-7 セジメントトラップの捕集堆積物量と地盤高変位量との関係

図-8 江奈湾干潟のコアマモ群落内における4潮汐間での流速振幅絶対値の推移 (2010年2月実施)

きくなる傾向も認められた。

各調査地点における地盤変位量の絶対値は2010年5月の地点Eで最も高く0.8cm/dayとなったものの、その変位量は1.0cm/day未満でいずれの調査地点も大きな変位を示さなかった。また、変位量の傾向も、捕集堆積物量のような擾乱時に高い値を示すような明確な傾向は見られなかった。さらに、地盤高変位の絶対値と捕集堆積物量との関係を図-7に示した。捕集堆積物量が大きな値を示した場合でも、地盤高変位の絶対量は必ずしも大きな値を示さず、両者の間には明らかな相関関係は確認できなかった。

2010年2月に実施した江奈湾干潟のコアマモ群落内における4潮汐間での流速振幅絶対値の推移を図-8に示した。干潟奥の地点Aは湾軸から外れた部分にあるため、地点B、干潟中央の地点Cよりも絶対値が小さい傾向にあったが、流れの傾向はほとんど変わらない。また、大きな流速振幅絶対値を示したのは、冠水直後もしくは干出直前であり、その値は最大で40cm/sに達した。これは

流速絶対値は潮汐流と波による底面軌道流速の両方が作用していることを示すとともに、水深が小さくなる時間帯には潮汐流や波が底質の移動を発生させる外力となることを示唆している。

5. 考察

コアマモの増殖は栄養株による増殖、花枝から放たれた種子からの実生による増殖の2つの形態が存在する。そのため、群落の継続的な維持を考えた場合、この二つの増殖形態が相互に補完するかたちで群落形成がなされていることが望ましい。しかし、調査対象である江奈湾干潟のコアマモ群落の生育状況は、草体本数の最大値(30~40本/100cm²)には大きな変化がないものの、2009年以降は、2008年以前には見られなかった減衰期に干潟上からコアマモ草体が消失する現象が現れるようになった。また、この時には底泥中にも確認できなくなっており、見かけ上は1年生の増殖形態に変わりつつある。この現象は、群落の回復期に大きな擾乱が発生した場合、継続的なコアマモの生育が脅かされる恐れがあることを示唆している。

栄養株の生育に与える影響を考えた場合、制限要因とされるのが生育水温、干出時間、光条件である。生育水温の上限は28~29℃(Abeら, 2009b; 上出, 2007)とされているが、調査地点における夏季の底泥上水温は5月~9月の5ヶ月にわたって断続的に29℃を超える。また、干出した場合には絶滅するとされる34℃(森田ら, 2010)に達することもあり、生育条件としてはかなり厳しい条件にある。また、干出時間に関わるコアマモ群落の地盤高は依然として緩やかな堆積傾向にあり、今回の観測結果では干潟の1回当たりの冠水時間が3~4時間と短かったことから、潮汐変動によっては干出時の影響がさらに出やすくなることを示唆している。

栄養株からの増殖に対して、種子由来の実生による増殖を考えると、重要となるのは群落における花枝の形成能力と、花枝から放出された種子由来の実生の歩留まりである。

調査地点における花枝形成は、9月及び10月を中心に確認されたが、花枝形成の割合や本数を既往知見(上出, 2007)と比較しても質、量ともに低い状況にあった。今回実施した地盤の短期変動に関する観測の結果、外部からの擾乱での地盤変位量は1cm/day以下と相対的に小さく、見かけ上では影響がない変位としか見えない。しかし、擾乱による巻上げの積分値である捕集堆積物量は大きな値を示した。この事実は、江奈湾の干潟地盤面では波浪等の外力によって、短時間でも相当量の底質巻上げが発生することを表している。さらに、コアマモ群落が集中している低潮位部(地点C、地点D)では長期的に

みても地盤高変位の上下変動が大きく、短期変動に関する観測結果と合わせると、群落内における底質の不安定化が推定される。

このような擾乱が発生した環境下では、コアマモは草体維持のために栄養株の繁殖に多くを投資されており(宮本ら, 2008), 多様性を維持するための種子の形成不全の発生が起きて、有効な繁殖戦略を取れない状況が起きている可能性がある。

栄養株以外の増殖手法として期待される実生が、調査を開始後3年目になる2010年3月に干潟上で初めて31本が確認された。形成された前年の花枝出現は9月であったことから、実生株にまで生長するには7ヶ月を要すると推定された。この実生の元となる種子は干潟内での群落から自家供給されることが明らかになっており(越川ら, 2009), 実生由来の増殖の可能性が初めて確認された。

実生による増殖の重要性は、遺伝的多様性の確保による群落全体の環境変動に対する耐久力の向上にある。コアマモ群落の遺伝的多様性は、中海水系のコアマモ群落で確認されたように有性生殖での加入頻度はきわめて低くクローン成長が主体であり(Arakiら, 2006), 決して高いとはいえない。そのような観点から、実生由来の増殖促進がなされれば、遺伝的多様性の確保も達成されることになる。今回、確認された31本の実生は、5月には16本に減少し、最終的に6月には消滅した。その前後で地盤高の上昇(+3cm/月)が確認されていることから、実生株を端緒にした群落形成には、干潟地盤の安定化がより重要である。

今回の調査地点のように、コアマモの生育場所が置かれている状況は地形改変のみならず、温暖化の影響で水温上昇の影響も受けやすく年々厳しくなっている。このような環境条件が想定される泥質干潟へのコアマモ場構築は、コアマモの生育地保全の観点からも重要であり、今後も実生の歩留まり向上をはじめとした課題解決に取り組む意義は大きいと考える。

6. まとめ

コアマモ場の構築に関する知見を得るために、コアマモ群落の生長、生残、および環境条件に関する現地観測を行った。その結果、調査を行った江奈湾干潟は長期的

には堆積傾向にあるものの、擾乱による底質移動が大きいことが明らかになった。そのため、種子の形成に必要な生殖株の形成が抑制され、種子による再生産が群落の維持に寄与していないので、底質擾乱の低減が実生の保護、草体の増殖能力の向上につながると推測される。

参考文献

- 阿部真比古・井上孝広・森田晃央・倉島 彰・前川行幸 (2009): アマモ種子の水中での姿勢と発芽との関係, 水産増殖, Vol.57, pp.249-253.
- 上出貴士 (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.
- 上出貴士・吉田吾郎・山内 信・高橋芳明・井関和夫 (2011): 和歌山県田辺湾内ノ浦におけるコアマモの現存量と形態的变化に対する環境要因の影響, 水産増殖, 59巻, 1号, pp.20-49.
- 国分秀樹・森田晃央・宮松亜美・前川行幸 (2010): コアマモの地下茎分枝に及ぼす地盤高と底質の影響, 土木学会論文誌B2 (海岸工学), Vol.66, No.1, pp.1206-1210.
- 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.
- 越川義功・中村華子・田中昌宏 (2009): 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, 土木学会論文誌B2 (海岸工学), Vol.65, No.1, pp.1076-1080.
- 佐藤千鶴・古川恵太・岡田知也 (2006): 京浜運河における底生生物からみた自然再生の可能性, 海洋開発論文集, 22巻, pp.211-216.
- 宮本 康・九鬼貴弘・初田亜希子・國井秀伸 (2008): 中海におけるコアマモ (*Zostera japonica*) の移植技術の検討, LAGUNA No.15 pp.83-89.
- 森田晃央・国分秀樹・宮松亜美・藤井瑞穂・倉島 彰・前川行幸 (2010): コアマモ移植株の生長と生残に及ぼす底質中の水温と干出時間, 水産増殖, Vol.58, pp.261-267.
- 矢野米生 (2003): 絶滅危惧種コアマモ移植に関する試みー中津港海域環境調査ー, 土木施工, 44巻7号, pp.8-14.
- Abe, M., K. Yokota, A. Kurashima and M. Maegawa (2009 a): Temperature characteristics in seed germination and growth of *Zostera japonica* Ascherson & Graebner from Ago Bay, Mie, Prefecture, central Japan. *Fish. Sci.* 75, pp.921-927.
- Abe, M., K. Yokota, A. Kurashima and M. Maegawa (2009 b): High watertemperature tolerance in photosynthetic activity of *Zostera japonica* Ascherson & Graebner from Ago Bay, Mie, Prefecture, central Japan. *Fish. Sci.* 75, pp.1117-1123.
- Araki, S. and H. Kunii (2006): Allozymic implications of the propagation of eelgrass *Zostera japonica* within a river system, *Limnology*, 7, pp.15-21.