

# 京浜運河における コアマモ群落造成について

中瀬 浩太<sup>1</sup>・桑江 朝比呂<sup>2</sup>・渡辺 謙太<sup>3</sup>  
荒 功一<sup>4</sup>・浜谷 信介<sup>1</sup>・田中 裕一<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 正会員 五洋建設(株)環境事業部(〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)  
E-mail:kouta.nakase@mail.penta-ocean.co.jp

<sup>2</sup> 正会員 港湾空港技術研究所(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

<sup>3</sup> 港湾空港技術研究所(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

<sup>4</sup> 日本大学生物資源科学部海洋生物資源科学科(〒252-0880 神奈川県藤沢市亀井野1866)

海草による炭素貯留の効果が明らかになりつつある。アマモは平均干潮面(L.W.L.)以深に分布するため、透明度の低い大都市沿岸部や運河部では生育が困難である。そこで、干出する潮間帯にも分布可能なコアマモの群落造成を試みた。水質が良好ではない京浜運河でもL.W.L.と平均水面(M.W.L.)の中間付近の、L.W.L.+0.4mでコアマモが生育および生殖が可能になったことが明らかになった。コアマモ生育可否と地盤や底質や堆積状況を比較した結果、船舶航跡波が作用した場合、コアマモ移植場所相当水深でシルズ数 $\Psi < 0.3$ がコアマモ生育可能で、波浪と底質の関係がコアマモの分布を左右することが示唆された。

**Key Words :** blue carbon, tidal flat, *Zostera japonica*, restoration, wave condition

## 1. はじめに

海草類はブルーカーボンの隔離・貯留に重要であることが知られており、その代表種であるアマモ(*Zostera marina*)の群落を造成して炭素貯留の場を作る動きも始まりつつある<sup>1)</sup>。アマモは平均干潮面(L.W.L.)以深に分布し、年間平均光量 $3E/m^2$ 以上<sup>2)</sup>、簡易的には年間平均透明度に相当する水深が分布下限とされる<sup>3)</sup>。これに対してアマモの近縁種で潮間帯でも生育可能なコアマモ(*Zostera japonica*)は、底質条件の適用範囲も広く、水質環境が良好とはいえず濁りにより透明度の低い大都市沿岸の人工干潟上でも群落造成の可能性がある<sup>4)</sup>。

図-1に示すように、コアマモはアマモより小型で、アマモの葉幅7~12mm葉長30~140cmに対して葉幅2~3mm、葉長15~30cmである<sup>6)</sup>。コアマモは干出する場所に

も分布し、アマモより高温耐性が大きいとれる<sup>4)</sup>。例えば富津干潟のコアマモは潮間帯下部のT.P.-0.5~-1.0mの狭い範囲に分布していた<sup>7)</sup>。水槽内の実験ではコアマモの生育可能な条件は干出時間2時間以内で地温 $29^{\circ}C$ 以上にならない場所であった<sup>8)</sup>。

コアマモ群落は地上部の季節変動は大きいですが地下茎のバイオマスは安定している<sup>9)</sup>。地下茎が発達し、特に冬季の衰退期には地上部分の1~1.4倍の重量を持ち、地下茎による生長も早く、1年目に $0.09 m^2$ であったものが2年目には $1 m^2$ 、3年目には $4 m^2$ に拡大したとの観察事例もある<sup>10)</sup>。コアマモ群落の発達した地下茎は海底への作用流速を約1/3に低減し、干潟の地形形状と底質粒度を安定させる効果を持つことが示されている<sup>11)</sup>。

コアマモが分布する底質の粒度組成は砂泥質から砂質の広い範囲であり<sup>9)</sup>、現地の底質に体積比20%の粒径2mm以上の製鋼スラグを混入させても生育に支障はなかった<sup>12)</sup>。また、コアマモ群落内の底質は群落外よりも相対的にAVSが高く、群落内底質で有機物等の嫌気分解が卓越している可能性があるとの報告もある<sup>13)</sup>。

コアマモ群落は水槽実験や実海域の調査から擾乱のある場所に分布することが知られており<sup>14)</sup>、分布場所にお



図-1 アマモ(左)とコアマモ(右)

ける波浪による底面せん断力は0.008~0.012 Paでコアマモ分布場所のほうが分布しない場所より大きかったとの報告がある<sup>15)</sup>。また、コアマモ分布場所における高波浪時のシールズ数 $\Psi$ は0.5未満であった<sup>7)</sup>。

本種の移植技術も開発されつつあるが、発芽率がアマモの50%以下と低く、現状では栄養株移植がほとんどである<sup>4)</sup>。たとえば、コアマモ地下茎をシートに活着させた基盤を干潟表面から5 cm掘削して設置して群落造成を試みた事例がある<sup>16)</sup>。

本研究では将来的には大都市域沿岸人工干潟に海草群落を造成し二酸化炭素の吸収源とすることを目指して人工干潟上にコアマモ群落造成を試みた。調査や移植に際しては、地元NPOなどでも対応できるように、できる限り簡素な方法を採用することとした。

## 2. 方法

### (1) 調査地点

調査対象地点は図-2に示す、東京都大田区の京浜運河に造成された「大森ふるさとの浜辺公園」の干潟部分である。この干潟は2004年7月に当時近傍に存在していた干潟を移設するかたちで造成された<sup>17)</sup>。その後2012年3月に千葉県君津産の、底質中央粒径 $d_{50}=0.2$  mm、細粒分含有率5%未満の山砂を追加覆砂し、干潟の潮間帯上部に多孔質のスコリアを散布するとともに、図-3に示すようなミオスジやタイドプールといった微地形が人為的に造成されている。

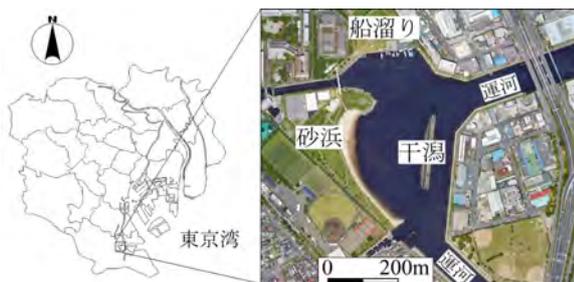


図-2 大森ふるさとの浜辺公園位置図



図-3 干潟に造成したタイドプールの状況(2013年)

大森ふるさとの浜辺公園の干潟海浜部は、図-4に示すように北側開口部が約180m、南側開口部が約70mである。北側開口部の干潟寄り部分には波除堤が配置されている。また、北側開口部の北側約100mには、遊漁船等が利用する船だまりがある。

この干潟にコアマモを実験的に移植し、群落造成のため生育可能な場所を見出し、その条件の抽出を試みた。

### (2) 生育可能地盤高の検討

コアマモは潮間帯下部に生育する。現地における最適な生育地盤高を調べるため、実際にコアマモの株を移植して、その生残状況から最適地盤高を判断した。地盤高の基準は東京港内で工事等に通常用いられるA.P.(霊岸島水量水標零位, Arakawa Peil)を用いた。T.P. $\pm 0$ m = A.P.+1.13 m, L.W.L.=A.P. $\pm 0$ m, H.W.L.=A.P.+2.1mであり、T.P. $\pm 0.0$ mはM.W.L.に相当する。

調査対象干潟に図-4のようにLine 1~Line 3の3側線を設定し、測線上に、潮下帯のA.P.-0.2 m, L.W.L.のA.P. $\pm 0.0$  m, および潮間帯のA.P.+0.2, 0.4, 0.6 mの5地盤高を設定した。

移植元のコアマモを移植先の土砂を入れた直径5 cmのジフィーポットに1株ずつ配置したものを各調査地点に3個、干潟表面に穴を掘って各地点に配置した。2017年6月7日に移植した後、約1ヶ月ごとに生残株数と葉の状況を目視観察した。

移植元のコアマモは図-5に示す港湾空港技術研究所の干潟実験水槽内に自生している株を用いた。この干潟実験施設には千葉県の盤洲干潟の土砂が用いられており、このコアマモ群落は、搬入した土砂の中に埋入していた種子が発芽して形成されたと考えられている。

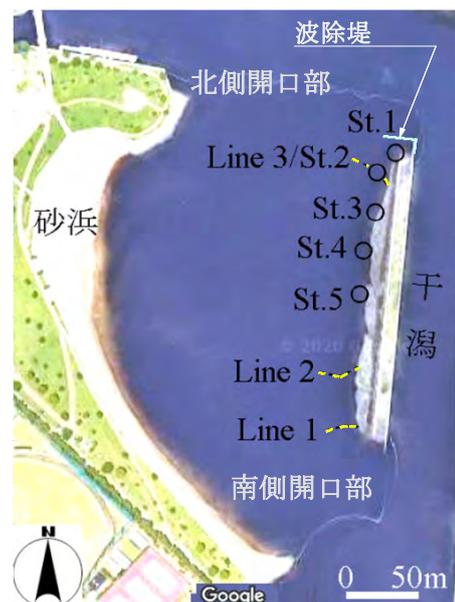


図-4 干潟に設定した調査地点

地盤高の設定は、東京都港区芝浦の東京港建設事務所船溜内で観測され、毎分ごとに公開されるリアルタイム潮位情報を用い、水面の高さから地盤高を特定した。

### (3) 平面分布およびコアマモの生長状況の検討

干潟は平面的に環境変化があると考えられた。そこで、2018年4月19日に大森ふるさとの浜辺公園の干潟部分の、2017年に明らかにしたコアマモ生育可能地盤高(A.P.+0.4m)に、図-4に示すように約30m間隔でSt.1からSt.5の5移植地点を設定し、各地点48あるいは44区画を設け、各区画内に1株のコアマモを移植した。各調査時には各地点のコアマモ生残状況と生育状況を観察した。移植コアマモは2017年と同様に港湾空港技研干潟実験施設に自生する群落の株を用いた。移植方法は2017年と同じジューポット式に加え、コアマモの地下茎部を移植場所の底質および流出防止の礫をガーゼおよび市販の木綿製出汁袋で保護して、地下茎部を干潟に埋設した。

各調査地点に目印ブイとピンを設置し、調査時に図-6に示す20cm×20cmの調査メッシュをテンポラリーに配置して、移植時の位置決め、および観察時の移植株の識別に用いた。2018年4月19日の移植後、9月7日まで約30日ごとに各地点のメッシュごとにコアマモの生残状

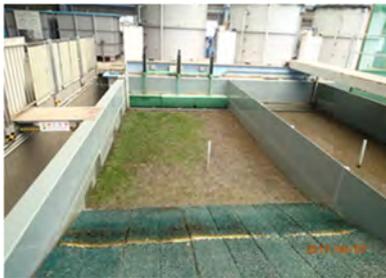


図-5 コアマモ移植元の群落(港湾空港技研干潟実験施設)



図-6 移植および調査メッシュ

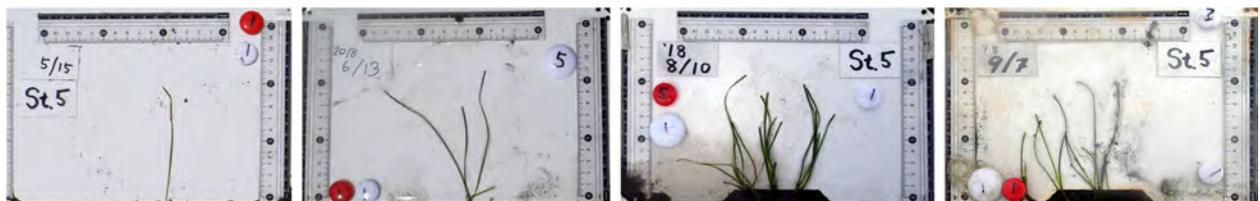


図-7 移植アマモ生育状況の写真撮影結果 (St-5)

況と生育状況を観察した。観察時にはスケールを設置した白色板上に1株ずつコアマモをのせて、刷毛を用いて葉を伸ばし、これを写真撮影した。この写真より各メッシュ内のコアマモの株数、地下茎の枝分れ(分蘖・ぶんけつ)数を読み取った。また、撮影したデジタル映像より画像処理ソフト「image-J」を用いてコアマモの葉長と葉面積を計測した。

### (4) 物理条件の検討

#### a) 地形および地盤条件

コアマモを移植した干潟を含む大森ふるさとの浜辺の地形状況については既存の深淺測量図を用いた。この地形データは波高分布計算に用いるために5mピッチのデータに変換した。また、コアマモ移植部分の詳細な地盤高について、生残地点のStr.5と死滅地点のSt.3の各1側線についてレベル測量を行った。

コアマモ生残地点のStr.5と死滅地点のSt.3の地盤条件の比較のために各地点で干出直後の底質を各1検体採取し、粒度(JGS 0131)、密度(JIS A1202)、含水比(JIS A1203)、強熱減量(JIS A1226)分析、および定水位透水試験(JIS A1218)を行った。

#### b) 堆積物

セディメントトラップをコアマモ移植範囲に設置して、堆積物の堆積傾向を調べた。直径5cm、容量300mLのサンプル容器に、長さ20cmのVU50塩ビパイプを取り付けたトラップを、0.002 m<sup>2</sup>の開口部をL.W.L.に合わせて、各地点に3セット配置した。各調査時の最干潮時にトラップを設置し、24時間後の翌日の最干潮時に回収した。300mL容器の内容物をろ過した後、堆積物の乾燥重量を計量し、24時間当たりの堆積物乾重量を求めた。

#### c) 波浪状況

コアマモ移植場所を含む大森ふるさとの浜辺公園は、干潟面に対する最大吹送距離が南南東方向からの場合250m、北北西方向からの場合300mと短いため、風による波浪は大きくなりにくい。一方、調査地点至近には遊漁船等の船溜まりや運河があり、干潟に作用する波浪としては、船舶航跡波の影響が大きいと考えた。この船舶航跡波については、干潟周辺の杭や土留堤などの構造物、あるいは干潟汀線付近に配置した5cm間隔で目印テープを巻いた棒を目印に、船舶航跡波が作用するとき

の状況を動画に撮影し、波高, 周期を目測にて計測した。

また、ここで得られた波高, 周期, および干潟周辺の地形データを用いて, エネルギー平衡方程式による波高・周期の再現計算を行い, コアマモ移植地点前面に作用する波浪条件を算出した。

### 3. 結果

#### (1) 地盤高

2017年6月7日に干潟に設置したコアマモで9月まで生残していたのは表-1に示すように, A.P.+0.4 mのみであった。このため, 大森ふるさとの浜辺公園の干潟でコアマモの生育が可能地盤高はA.P.+0.4 付近と判断した。

#### (2) 平面分布および生育状況

干潟平面上の図-4に示したA.P.+0.4 m地点に2018年4月19日にコアマモを移植した。移植後の各観察時におけるコアマモ移植苗の生育状況の撮影画像の一例を図-6に

表-1 生育可能地盤高観察時の生残株数

観察日 地盤高 \ Line	2017/6/7 (設置)			2017/6/27			2017/8/27			2017/8/19		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
A.P.+0.6m	3	3	3	2	3	4	3	0	0	0	0	0
A.P.+0.4m	3	3	3	3	3	3	3	2	3	0	1	1
A.P.+0.2m	3	3	3	4	3	3	1	3	1	0	0	0
A.P.+0.0m	3	3	3	3	4	1	0	0	0	0	0	0
A.P.-0.2m	3	3	3	3	0	1	0	0	0	0	0	0

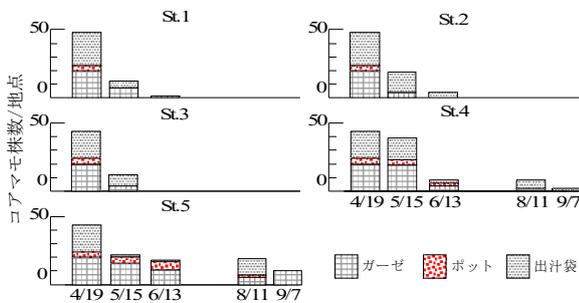


図-8 各地点別残存株数

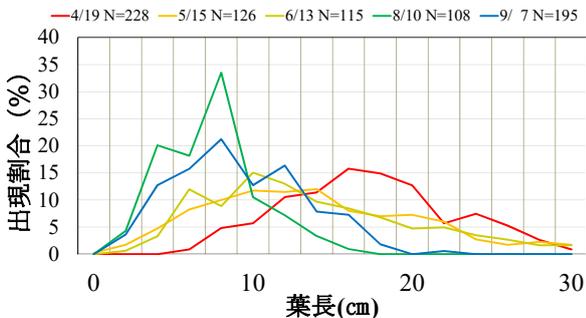


図-9 各調査時別葉長分布割合

示す。各地点のコアマモ株数は図-8に示すように2018年4月19日の移植以降, すべての地点で株数が急減し, 9月まで生残したのはSt.4とSt.5のみであった。ポット式およびガーゼや出汁袋で地下茎を包んだ移植方法別の生育状況には明確な相違が見られなかった。

コアマモの葉長組成は, 図-9に示す各調査時に見られた全株数に対する5mmピッチの葉長割合の分布に見られるように, 移植後コアマモの葉長は時間経過により短くなる傾向が見られた。コアマモの葉長は短縮していったが, 残存していたコアマモは調査期間に分蘖(けつ)し, 全体的には図-10と図-11に示すように葉面積が増加した。特にSt.5では8月の時点での葉面積は移植時よりも大きくなり, 1株あたりの葉面積では移植時の4倍に達した。

9月7日の調査時にコアマモ株が残存していたSt.5では, 残存していた10株中9株に図-12に示すように結実していることが確認された。

#### (3) 物理環境

##### a) 地形及び地盤条件

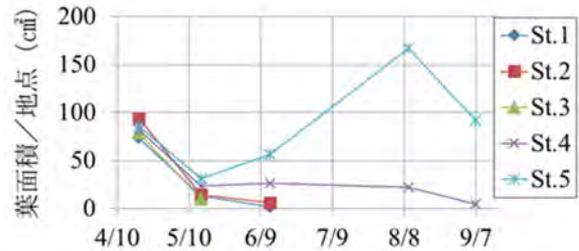


図-10 各地点別葉面積

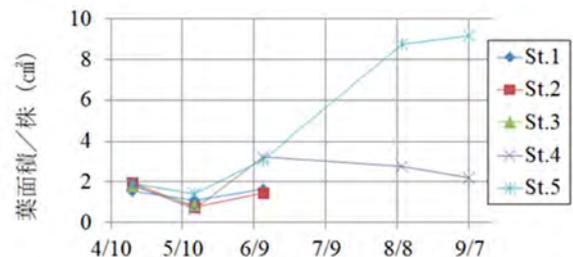


図-11 地点別1株当たり葉面積



図-12 2018年9月7日にSt.5で確認された果実

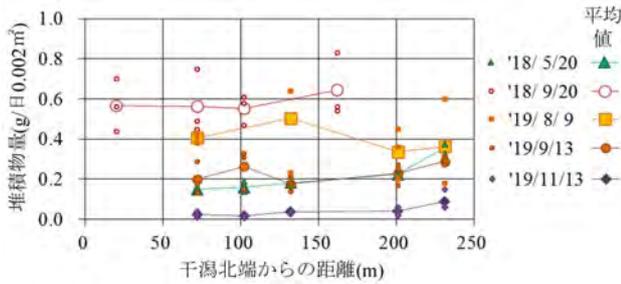


図-13 セディメントトラップ結果

St.5 では移植場所陸側には図-3 に示すタイドプールが造成されていたが、St.3 には造成されていなかった。St.5 では干出時にここからの水分滲出が考えられたので、移植コアモモが消失した St.3 と 9 月まで生残した St.5 の粒度組成、強熱減量および透水性を比較した。

両地点の透水係数は St.3 が  $9.75 \times 10^{-5}$  m/s, St.5 が  $8.7 \times 10^{-5}$  m/s で、両地点の地盤の透水性は同一オーダーであった。底質粒度組成分析結果より、St.3 の中央粒径  $d_{50} = 0.23$  mm, 含水比  $w = 29.11\%$ , 底質密度  $\rho_s = 2.73$  t/m<sup>3</sup>, St.5 の  $d_{50} = 0.23$  mm,  $w = 29.31\%$ ,  $\rho_s = 2.72$  t/m<sup>3</sup> と同様であったが、細粒分重量比割合は St.3 の 1.42% に対して St.5 は 2.10%, 強熱減量は St.3 の 3.5% に対して St.5 は 7.3% と、St.5 がやや高かった。透水性と含水比は両地点とも同様であり干出時のタイドプールによる水分供給は明確ではなかった。

b) 堆積物

調査期間中 5 回のセディメントトラップ調査を行った。図-13 に示すように、各調査時ごとの 300mL 容器中 1 日当たりの堆積物量は変動するが、調査の起点からの距離が増大するにつれて堆積物量が増大する傾向は確認できず、干潟全体では、ほぼ同様の状況と考えられる。

c) 波浪状況

当該海域北側の船溜まりには常時 7~10 隻の遊漁船等の小型船舶があり、朝夕に入出港するほか、近傍の運河では 1 時間に 1~2 回程度パトロール船などの航行がある。これらの船舶が航行する時の波浪状況の目視観測では、波浪は干潟入り口の北方向から入射し、この部分で波高約 0.1 m, 周期約 12 秒であった。

ここで観察された波浪条件を用いて、エネルギー平衡方程式により、入射波ベクトル、最大波高、有義波高、周期の再現計算を行ない、図-14 に示すように、北側から入射した波浪は海域の南側に向けて減衰する結果を得た。また計算水深が  $h = 1.0$  m (M.W.L.に相当) および  $h = 0.5$  m (コアモモ移植水深に相当) の条件で、図-15 に示すように、コアモモを移植した場所のシールズ数 ( $\Psi$ ) を算出した。航跡波作用時に、シールズ数は干潟の北側開口部の波除堤の背後で最も大きく、干潟の南側へ向けて低下する傾向が見られた。M.W.L.に相当する  $h = 1.0$  m では St.1 以外は  $\Psi < 0.1$  であった。最も波浪影響が大きくな

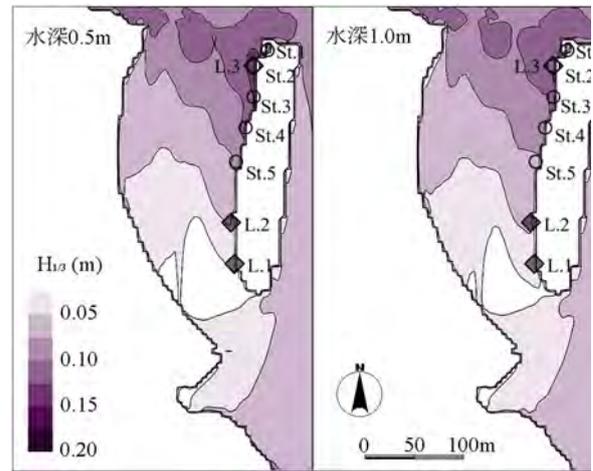


図-14 エネルギー平衡方程式による波高分布

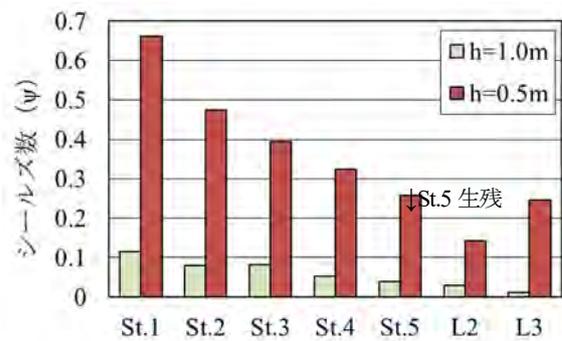


図-15 地点別シールズ数

る  $h = 0.5$  m の時、St.5 では  $\Psi < 0.3$  であった。

4. 考察

本研究では人工干潟の潮間帯部分へのコアモモ群落造成を目指して、はじめに生育可能地盤高の把握を行い、次に地盤条件や波浪条件を検討した。今回は群落造成には至らなかったが、結果は確認できたので、継続的な移植が行われれば群落形成が期待できる。

今回、海草群落に通常作用する最大クラスの波浪としての船舶航跡波について、動画撮影や目視観察という簡易な方法で測定した。波高分布には数値計算を用いたが、これは干潟上に人数を動員して目視観測することで評価できる。底質は分析が必要であるが、海草の試験的な移植による生残判定や生育状況観察により、市民活動レベルでも海草群落造成の計画や評価ができるものと考えた。この公園では、地元 NPO がアマモ移植実験を行った<sup>17)</sup>が生育は確認されなかったが、コアモモは L.W.L.上 0.4 m 付近の地盤高で分布可能であった。この地盤高は干出の限界と没水時に光量により規定されると推察される。また、この地盤高は T.P.換算では T.P.-0.7m であり富津干潟の分布範囲内<sup>7)</sup>に相当する。

コアモモが 9 月まで分布した地点と、移植後すぐに消

失した地点の地盤条件は、透水性、中央粒径および含水比は同様だったが、残存場所は消失場所より強熱減量とシルト以下含有割合が高かった。また、波高分布再現計算から、消失場所は残存場所よりも波高が高く、シーلز数も大きい傾向が見られた。

計算水深  $h=0.5\text{ m}$  のコアマモ移植場所の水深が  $10\text{ cm}$  の時に航跡波が作用するとシーلز数  $\Psi > 0.5$  と計算された場所も見られたが、航跡波は持続的に作用しないので、航跡波によりコアマモ移植場所の底質移動がシートフロー状態になり、コアマモ株が浮上流出することは想定しにくい。しかし、コアマモの生残が確認された場所はシーلز数  $\Psi < 0.3$  の地点で、底質移動は浮遊から掃流状態である。堆積物は干潟全体でほとんど同様であったことから、海底や葉上の底質粒子や堆積物を移動させる条件が、コアマモ分布に適していたことが示唆された。

**謝辞：**本研究を行うにあたり大森ふるさとの浜辺公園をフィールドとして利用をご許可いただきました大田区地域基盤整備第一課の皆様、および観察時に船舶をご提供いただいた東京湾遊漁船業協同組合の皆様がこの場を借りて御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 信時正人 ブルーカーボンの応用と実例—横浜ブルーカーボン事業、ブルーカーボン浅海における CO2 隔離・貯留とその活用, pp198-204, 地人書館, 2017
- 2) 丸山庚樹・五十嵐由雄・石川雄介：アマモ場適地選定手法—岸側の砂移動限界—, 海岸工学論文集, Vol.34, pp227-231, 1987
- 3) 森田健治：広島県におけるアマモ場造成について, 海洋調査協会調査研究委員会第 6 回技術発表会予稿集, pp28-30, 1989
- 4) 越川義功・中村華子・田中昌宏・小河久朗：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, Vol.54, pp1076-1080, 2007
- 5) 越川義功, 中村華子, 田中昌宏：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, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.65, No 1, p. 1076-1080 (2009)
- 6) 新崎盛敏：アマモ・コアマモの生態 (I), 日本水産学会誌, Vol.15, No.10, pp. 567-562. (1950)
- 7) 島谷 学：富津海岸におけるコアマモの物理的生育環境について, 海岸工学論文集, Vol.54, pp.1071-1075. (2007)
- 8) 国分秀樹・森田晃央・宮松亜美・前川行幸：コアマモの地下茎分枝に及ぼす地盤高と底質の影響, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 66, No.1, p.p.1206-1210. (2010)
- 9) 長濱祐美・野村宗弘・中野和典・木村賢史・西村修：コアマモ群落の環境特性と底生生物に及ぼす影響, 土木学会論文集 G, Vol.63, No4, pp233-240, 2007.
- 10) 新崎盛敏：アマモ・コアマモの生態 (II), 日本水産学会誌, Vol.16, No.2, pp. 70-76. (1950)
- 11) 湯浅城之, 上野成三, 高山百合子, 織田幸伸：コアマモ場の干潟地形安定化効果に関する二次元水理実験, 海岸工学論文集, Vol.53, pp. 496-500 (2006)
- 12) 齋藤 幸・野村宗弘・西村修：干潟土壌材に用いる成功スラグの粒径がコアマモの生育に及ぼす影響, 土木学会論文集 G (環境), Vol.71, III\_215-III\_220 (2015)
- 13) 上出貴士・高橋芳明・山内 信・井関和夫：和歌山県田辺湾の潮間帯におけるコアマモ群落の底質環境とベントス群集組成, 水産増殖, Vol.61, No.1, pp.61-72 (2013)
- 14) 桑江朝比呂・細川恭史・古川恵太・三好英一・木部英治・江口菜穂子：干潟実験施設における底生生物群集の動態, 港湾技術研究所報告, Vol.36, No.3, pp.3-28. (1997)
- 15) 島谷 学・佐藤喜一郎・中瀬浩太・桑江朝比呂・中村由行：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, Vol.51, pp.1031-1035. (2004)
- 16) 高山 百合子, 片倉徳男, 伊藤一教, 国分秀樹, 前川 行幸：シート基盤を利用したコアマモ移植方法の適用に関する実験, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.70, No.2, p. I\_1201-I\_1205 (2014)
- 17) 中瀬浩太・石橋克己・木村賢史：市民と取り組む人工干潟の造成と管理, 市民参加による浅場の順応的管理, pp126-144, 厚生社恒星閣 (2009)

(Received February 6, 2020)  
(Accepted May 1, 2020)

## RESTRICTION OF *Zostera japonica* CO<sub>2</sub> UPTAKE IN KEIHIN CANAL ZONE

Kota NAKASE, Tomohiro KUWAE, Kenta WATANABE  
Koichi ARA, Shinsuke HAMATANI, and Yuichi TANAKA

The effect of carbon storage by seagrass meadows has been recognized. In the present study, an attempt was made to create a *Zostera japonica* bed in the intertidal zone. Our results showed that eelgrass can grow and reproduce around the middle between Low Water Level and Mean Water Level even in the Keihin Canal where the water quality is not good. We compared the growth conditions of the eelgrass with sedimentary physical characteristics and found that the eelgrass distribution was affected by the wave conditions when the wake wave of the ship acts.