

コアマモの生育に適した物理環境について

島 谷 学* ・ 佐藤喜一郎** ・ 中 瀬 浩 太***
桑江朝比呂**** ・ 中 村 由 行*****

現在のところほとんど明らかにされていないコアマモ (*Zostera japonica*) の生育条件について、波や流れなどの外力や底質環境といった物理環境に着目し、現地水域を対象とした調査・観測や数値解析、干潟実験施設での観測を通じてコアマモの生育に適した条件の評価を行った。その結果、コアマモの生育条件は地盤高や含水比、シルト分・粘土分含有率、強熱減量といった底質環境の影響を強く受けていることが確認された。また、物理的外力については、著しく静穏な場所ではなく平常時においても適度な擾乱がある領域にコアマモは好んで生育していることが示唆された。

1. はじめに

干潟は沿岸生態系にとって重要な場であり、その機能については数多くの知見が集積している。その干潟上の生態系の一部として海草類であるコアマモ (*Zostera japonica*) が存在する。近年人工干潟を造成する事業が増えつつあり、同時にコアマモ場も造成したいという要望も聞かれるようになった。しかしながら、コアマモの生育条件に関する研究例は現在のところほとんど見当たらず、コアマモ場造成の際の適地選定基準も確立されていない。近年盛んに研究が行われているアマモと同様に、今後はコアマモの生育条件に関する研究を推し進め、コアマモ場を造成する際の適地選定指標を明確にする必要がある。

コアマモは干潟上に生育するため常に厳しい外力に晒され続けることは少ないが、擾乱の少ない環境下ではコアマモの生育が見られないという報告もあることから(桑江ら, 1997)、物理的外力がコアマモの生育を制限している可能性が考えられる。また、潮間帯で底質中に地下茎を張って生育するため地盤高や潮位、底質環境の影響も強く受けているものと推察される。

コアマモはアマモ同様に様々な環境因子に支配されながら生育しているが、本研究ではこの生育環境因子のうち外力や底質環境といった物理環境に着目し、どのような環境因子に支配されているのか明らかにするとともに、その生育条件を定量的に評価することを目的とした。

2. 検討地点について

生育条件の評価を行う検討地点は図-1 に示す東京湾内にある水域とした。この水域には小規模ながら干潟が存在し、そこにはコアマモが生育している。当地点は外郭施設で囲まれた閉鎖性の水域であるものの、この外郭施設には3つの水門が存在し、その水門からは潮汐に伴

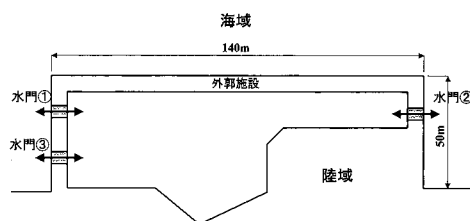


図-1 検討地点

う海水の流出入だけでなく波浪の入射も見られる。

この水域内ではコアマモの生育域、非生育域が明瞭に分かれていることから、コアマモの生育分布、底質、地盤高、波浪・流況の調査・観測を行うことで、生育域・非生育域での物理環境の相違を抽出しコアマモの生育条件を評価することが可能であると考えられる。

3. コアマモの生育分布

繁茂期(当水域内では4月から7月頃)におけるコアマモの生育分布を図-2 に示す。高水温になる衰退期(当水域内では9月から11月頃)においては生育密度が粗になるものの、生育分布の範囲は繁茂期とほぼ同じである。したがって、この分布範囲がコアマモの生育に適した領域であり、それ以外の非生育域については何らかの理由でコアマモの生育には適していないものと推察される。

また、地盤高、底質環境の調査については図-2 に示す12点の調査地点(生育域8地点、非生育域4地点)において調査を実施した。なお、調査地点はL.W.L.より浅い潮間帯に限定した。

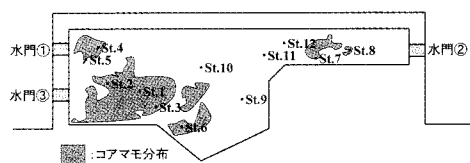


図-2 コアマモの生育分布

* 正会員 博(工) 横浜国立大学助手 大学院工学研究院
** 修(工) (社)日本水道協会
*** 正会員 五洋建設(株)環境事業部
**** 正会員 博(農) (独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部
***** 正会員 工 博 (独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部

4. 地盤高および底質環境の影響

図-2に示した調査地点において地盤高の測定及び底質環境の調査を実施した結果を図-3に示す。値はそれぞれ上から順に最大値、平均値、最小値を表し、地盤高はT.P.基準とした。また、当水域のH.W.L., M.W.L., L.W.L.はそれぞれT.P.+1.70 m, +0.89 m, 0.00 mである。

生育域、非生育域で地盤高に有意な差は見られないが、M.W.L.より深い領域にコアマモが分布している様子が確認できる。潮間帯に生育するコアマモは乾燥に強いとされているが、その中でも比較的冠水時間の長い領域に好んで生育するものと考えられる。

また、中央粒径 d_{50} については生育域においてやや小さくなる傾向がみられるが、有意な差があるとは言えない。しかし、含水比、シルト分・粘土分含有率、強熱減量といったパラメタについては生育域と非生育域で明確な相違が見られ、生育域における下限値と非生育域における上限値がほぼ同程度であった。

コアマモが存在することによって底質環境が変化した可能性もあるが、その変化を定量的に評価することは困難であり、また非生育域においてコアマモが存在しない事実を考えるとコアマモの生育に適した底質環境は生育域での値をとるような領域であると考えられる。このようにコアマモは底質環境の影響を強く受けており、生育域および非生育域の境界値はコアマモの生育条件の1つの目安になると言える。

5. 波浪・流動環境調査

海藻類は浅海砂泥域に生育するため地形変化の少ない比較的静穏な場所を好むが、常時晒される環境が著しく

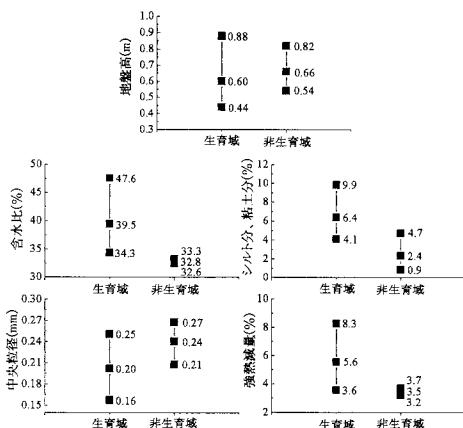


図-3 コアマモ生育域・非生育域における地盤高及び底質環境

静穏であると葉上に珪藻類や堆積物が付着するため、健全に生育するには適度な擾乱がある場所の方が良い。しかしながら、どの程度の擾乱がコアマモの生育に適しているのかは現在のところ不明である。そこで、図-4に示すようなほぼ地盤高の等しい地点A, Bに水圧センサー付き電磁流速計（アイオーテック社製）を設置して波浪、流動環境を測定し、生育域および非生育域の相違を抽出することを試みた。観測期間は繁茂期にあたる2003年7月1日から同年7月28日の約1ヶ月間である。

地点A, Bにおける有義波高、定常流速の時系列変動を図-5に示す。両地点ともに干潮時にはセンサーが気中に露出するため、露出期間中の値は全てゼロとした。観測期間中0.05~0.15 m程度の波高が観測されているが、地点間に大きな相違は見られない。また、潮汐に起因する定常流速については生育域に比べ非生育域の方がやや大きな値が観測されているものの、平均流速はA地点で0.012 m/s, B地点で0.002 m/sと双方とも絶対値が小さく、有意な差異があるとは認められない結果と

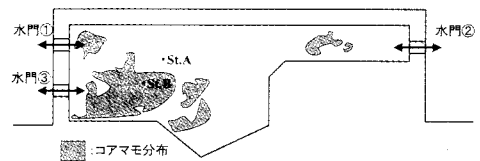


図-4 計測地点

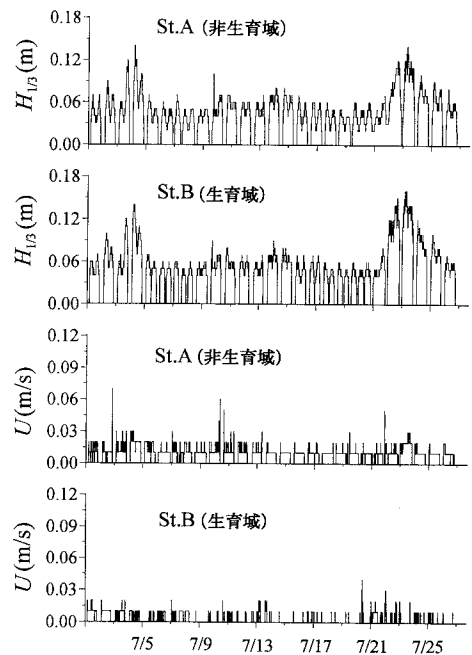


図-5 有義波高、定常流速の時系列変動

なった。

6. 水門での波浪観測

代表地点を対象とした地点間比較では有意な相違が見られないため、水域内全体で面的な比較を行う必要がある。そこで水門から入射する波浪を観測し、その諸元を用いて水域内の平面外力場を算定することで生育域、非生育域の比較を行った。

水門前での波浪観測は、コアマモの繁茂期にあたる2002年7月12日から同年7月26日においては水門①、②を、衰退期にあたる2003年9月25日から同年10月7日においては水門①、③を対象に観測を実施した。観測には水圧式波高計（アイオーテック社製）を用い、水門前の水深の深い箇所を選定し、干潮時にもセンサーが空气中に露出しないように設置した。ただし、繁茂期においては水門③の、衰退期については水門②の波浪諸元が得られていないため、これらについては水門①での観測結果を基準とし、水門間の入射波高の比例関係をもとに推定することとした。

水門①、②、③での波浪観測結果のうち、繁茂期の水門①における有義波高、平均水位の時系列変動を図-6に、全水門での統計処理結果(平均有義波)を表-1に示す。水門①では $H_{1/3}=0.1\sim0.2$ m 程度の波浪が入射している様子がわかる。外郭施設に囲まれた閉鎖性水域とは言え、水深の浅い干潟地形に襲撃する波浪としては影響が無視できない大きさであると考えられる。また、波高は1日周期の周期的な増減を繰り返している。これは水

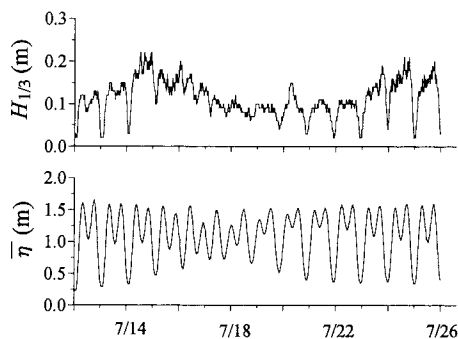


図-6 繁茂期の水門①における有義波高および平均水位の時系列変動

表-1 各水門での波浪諸元 (平均有義波)

繁茂期	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)	衰退期	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)
水門①	0.11	9.1	水門①	0.08	8.1
水門②	0.10	11.5	水門②	0.06	10.3
水門③	0.08	8.2	水門③	0.05	7.3

位変動と連動していることから分かるように、高水位時には水門から波が入射するものの、低水位時には水門底部より水位が下がり外海からの波が水門を通過しないためである。また、全水門における平均有義波高は、繁茂期で約0.1 m、衰退期ではそれよりやや小さな値を示した。

各水門から入射する波浪諸元を用いて水域内の平面外力場を算定し、コアマモの生育分布との比較を行った。

7. 外力場とコアマモ分布との関係

(1) 入射波浪

同じ海草類の一種であるアマモに関する研究においては、擾乱の大きな高波浪時の外力条件を用いて群落が安定を保てる環境を評価することが多い(例えば、中瀬ら、1992)。しかしながら、コアマモは干潟上に生育するため、高波浪時における影響よりむしろ常時作用する外力の影響の方が支配的であると考えられる。そこで、ここでは入射波浪の諸元として表-1に示した繁茂期と衰退期の2種類の平均有義波を用いることとした。

また、平面波浪場の算定に当たっては各水門を入射境界として個別に波を入射させることが困難であることから、当水域外の外部領域に助走区間を設け、外部領域から水門3箇所に入射する波が入射するような形で計算を行った。そして、水門3箇所での入射波浪が波浪観測で得られた諸元と一致するように外部領域での入射波浪を決定した。

(2) 外力場の算定方法

当水域内の波浪場を算定する際には、水門からの回折波と外郭施設など構造物からの反射の影響を適切に評価できる数値モデルを用いる必要がある。そこで、ここではPeregrine型のBoussinesq方程式に砕波による運動量補正項および底面摩擦項を付加したモデルを用いて平面波浪場を算定した。そして、算定された波浪場から海浜流場を計算した。外力による擾乱の強さを表すパラメータとしては、波や流れによる影響を統一的に取り扱える指標として底面せん断力を採用することとし、波浪場及び海浜流場の算定結果から田中・Sana (1996) による波、流れ共存場での摩擦係数の評価法を用いて算定した。

また、当水域は水深が浅いため潮位の影響を強く受けるものと推察されるが、干潮時には海底地盤が露出し計算が不可能となるため、ここでは平均水位(M.W.L.)を水深の基準とした。4.で示したようにM.W.L.であればコアマモ生育域における算定は全ての領域で可能であり、また常時晒される条件での評価ということを考えるとM.W.L.を採用するのが適切であると考えられる。また、潮流については定常流として扱うには平均流速が小さいため計算では考慮していない。

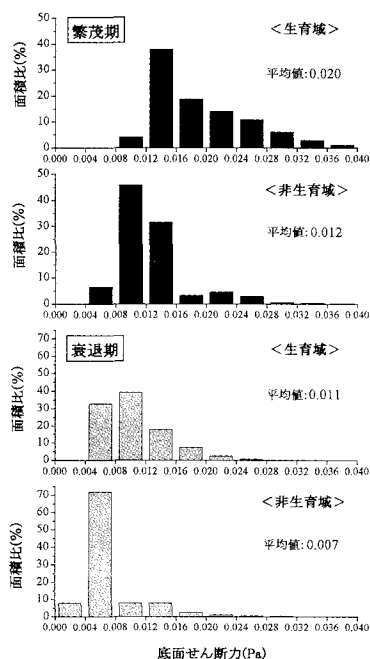
(3) 生育域および非生育域での比較

算定された当水域内の底面せん断力の平面分布から、コアマモの生育域及び非生育域における底面せん断力の階級別面積比を表したものが図一7である。評価の際には底質条件がコアマモの生育に適さない(図一3において含水比、シルト分・粘土分含有率、強熱減量が生育域における最小値以下である)領域を評価対象外とし、底質条件がコアマモの生育に適している領域のみを対象として評価を行った。

その結果、繁茂期、衰退期共に非生育域に比べ生育域の方が底面せん断力大きな値をとる領域が多いことが認められた。これは、コアマモは平常時においても適度な擾乱がある領域に好んで生育していることを示唆している。したがって、人工的にコアマモ場を造成する際には著しく静穏な場所を選定するのではなく、コアマモの生育に適した擾乱を確保できるような領域を整備する必要があると言える。ここでは生育・非生育の境界値としては繁茂期 0.012 Pa, 衰退期 0.008 Pa を一つの目安とすることができると考えられる。

(4) 干潟実験施設における検証

(独)港湾空港技術研究所干潟実験施設(図一8)では、コアマモが生育する水槽①(波浪作用下)と生育していない水槽②(一方向流作用下)が存在する。2つの水槽においてそれぞれの外力場を評価することで、前記で示した生育・非生育の境界値の検証を行った。



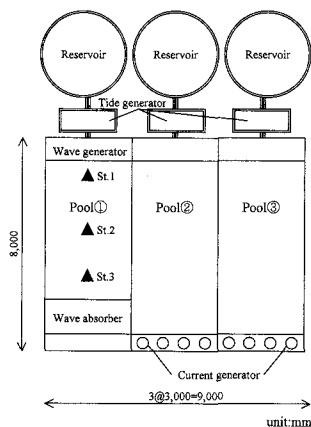
図一7 底面せん断力の階級別面積比

当実験施設の水槽はポンプにより潮汐変動を与えており、干潟地盤の干出時間が4.5時間、冠水時間が7.5時間といった変動を繰り返す。また、水槽①での造波および水槽②での潮流発生は干潟地盤上10 cmまで水位が上昇すると自動的に作動するように管理されている。

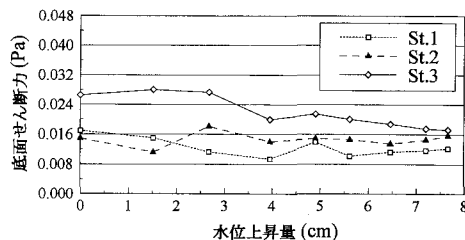
本研究では水槽①について図一8中のSt.1~3に容量式波高計(KENEK社製)を設置し、造波開始後から20分毎に水位変動を測定し統計処理することで水槽内の波浪諸元を求めた。水槽②での一方向流速については桑江ら(1997)を参照し、6.8 cm/sとした。これらの諸元をもとに各水槽における底面せん断力を算定した。

水槽①における底面せん断力の変化を図一9に示す。横軸は造波開始後の水位上昇量を表し、7.6 cmが満潮位にあたる。水槽内の波や流れといった外力の制御条件は年間を通じてほとんど変化しないため、繁茂期、衰退期に関わらず図一9のような状況下にあると考えられる。

コアマモの生育条件(繁茂期 0.012 Pa, 衰退期 0.008 Pa)と水槽内の底面せん断力の変化を比べると、St.3についてはほぼ全水位で生育・非生育の境界値を上回り、St.2については境界値を若干上回る結果となった。しかし、造波板にほど近いSt.1では繁茂期の条件をやや下回る状況があるのが確認できる。この水槽①では現在のと



図一8 干潟実験施設



図一9 水槽①の底面せん断力の変化

表-2 干潟実験施設の底質環境

	含水比(%)	泥分(%)	d_{50} (mm)	TOC(mg/g)
水槽①	43.2	18	0.18	3.32
水槽②	47.3	19	0.17	3.25

ころ水槽全域にコアマモの生育が見られるが、移入当初は St.3 のある消波材付近からコアマモの生育が見られ、その後全域に分布が広がっていった経緯がある。このことから、水槽①の内部のうち St.3 付近がコアマモの生育に最も適しており、造波板付近はコアマモが生育できるほぼ限界域であると考えられる。

一方、コアマモの生育していない水槽②内の一方向流速から底面せん断力を算定した結果 0.001 Pa であり、境界値を著しく下回る結果となった。

また、干潟実験施設の水槽内における底質環境の調査結果 (1998 年 8 月実施) を表-2 に示す。水槽①、②はほぼ同じ値を示し、また双方とも図-3 で示した生育域での条件を満足するため、干潟実験施設でのコアマモの生育状況は外力に大きく支配されているものと考えられる。

人為的に管理された環境下であるものの、干潟実験施設を対象とした検討においても常時作用する外力によって適度な擾乱が確保できている環境の方がコアマモの生育に適していることが再確認できた。今後、人工干潟造成の際にコアマモ場を付加する場合には、著しく静穏な場所を選定するのではなく、ある程度擾乱のある場所を選定する、もしくはそのような場所を創出する必要があると考えられる。

8. ま と め

現在のところほとんど明確にされていないコアマモの生育条件について、外力や底質環境といった物理環境に着目し、現地調査、数値解析、干潟実験施設での観測を通じてコアマモの生育に適した条件を評価した結果、以下の結論を得た。

- 1) 潮間帯の中でも M.W.L.より深い領域にコアマモが分布していることが認められた。
- 2) 含水比、シルト分・粘土分含有率、強熱減量といったパラメタについては生育域と非生育域で明確な相違が見られ、生育域における下限値と非生育域における上限値がほぼ同程度であった。
- 3) コアマモは平常時においても適度な擾乱がある領域に好んで生育していることが示唆された。ここでは生育・非生育の境界値として、M.W.L.時の底面せん断力について繁茂期 0.012 Pa、衰退期 0.008 Pa を 1 つの目安とすることができる。
- 4) このようにコアマモの生育状況は底質条件、外力条件、地盤高といった物理環境の影響を強く受けており、生物的、化学的な環境因子もさることながら、適切な物理環境を整えることで初めてコアマモ場の造成が可能になると考えられる。

今後はここで得られた生育条件を多くの地点で検証し、より信頼性の高いものにする必要がある。また、干潟には潮汐に伴う海水の動きによって滞筋が形成されるが、当検討地点ではそのような場所にはコアマモの分布が見られなかった。滞筋のような干潟微地形の形成過程を予測することは困難であるが、コアマモ場の造成はこのような場所を避けることも必要である。

最後に、現地調査でご助力頂いた(有)アイオーテックニクの井戸輝彦氏と、干潟実験施設での波浪観測を担当してくれた横浜国立大学大学院修士2年の加藤大氏、榎谷有吾氏に対し感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 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 (1997): 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, 第 36 巻, 第 3 号, pp. 3-28.
- 田中 仁・Ahmad Sana (1996): 交差する波と流れによる抵抗則の検討, 土木学会論文集, No. 533/II-34, pp. 273-277.
- 中瀬浩太・田中裕一・檜山博昭 (1992): 海浜変形予測手法を用いたアマモ場成立条件に関する研究, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 1006-1010.