土木学会論文集B2（海岸工学）
Vol. 66，No.1，2010，1206-1210

コアマモの地下茎分枝に及ぼす地盤高と底質の影響

Effects of Ground levels and Sediment Qualities on the Roots Branch of *Zostera Japonica*

国分秀樹[1]・森田晃央[2]・宮松亜美[3]・前川行幸[4]

Hideki KOKUBU, Teruwo MORITA, Ami MIYAMATSU and Miyuki MAEKAWA

Relationships between environmental factors (such as the ground level and sediment qualities) and growth conditions of *Zostera Japonica* were investigated by a growth experiment using a tidal exchange tank. *Z. japonica* grew up well in the submergence condition which the ground level was below DL: 0m and max temperature was under 29℃. On the mad–sand mixure sediment, the *Z. japonica* grew up better than on the pure sand and the pure mad sediment. The root branch and the leaf growth were promoted by nutrients in pore water (above 0.15mg-N/L in DIN and 0.015mg-P/L : DIP). Therefore it is clear that the ground levels and the sediment qualities were important environmental factors for the growth of *Z. japonica*.

1. はじめに

近年，沿岸域の生物多様性回復や自然再生に向けて干潟・藻場の再生技術開発が全国各地で行われている．これまでアマモの造成技術については，播種法や移植法などの手法が検討されているが，より浅場に生育するコアマモ場を造成するための知見は乏しく，現状では天然群落からの株移植に頼るしかない．これはコアマモ種子の発芽率が非常に低いことと（Abe et al. 2009），大量の種子採取が困難であることが原因と考えられる．またコアマモ場群落は潮間帯の砂質や泥質に生育することが確認されている（Abe et al. 2009）．特に潮間帯では，干満によって水深毎に水温および干出時間が異なるため，また底質はその場の有機物量や栄養状態を反映するため，コアマモの生育に大きな影響を与えている可能性が考えられる．そこで本研究では，コアマモの生育に地盤高と底質が重要な因子であると考え，効率的な藻場造成に向け，コアマモの生態学的な知見を収集することを目的とし，潮位を変動させた屋外水槽を用いた生育実験と天然コアマモ場の調査を行うことにより，コアマモの生育に及ぼす環境要因について検討した．

2. 実験および調査方法

（1）屋外水槽を用いたコアマモ生育実験

本研究では，約12時間毎に干満を繰り返すように調整した潮位変動陸上水槽（コンクリート製，容量50m^3）を用いてコアマモの生育試験を実施した．屋外水槽の概要を図-1に示す．草体の干出および底質がコアマモの生長，生残に及ぼす影響を調査するため，潮間帯から潮下帯までを想定した5段階の異なる地盤高（DL:+0.4m, +0.2m, ± 0m, -0.2m, -0.4m）に3種類の底質（砂質，砂泥質，泥質）を入れたプラスチック製のバット（0.4m × 0.6m × 0.2m）をそれぞれ水槽内に設置した．バットの下部側面には，底泥の通水性を促すため直径1cmの穴を5カ所開け，1mm目合のプランクトンネットを敷いた上に直径1.5cm程度の玉砂利を5cm敷き詰めた．投入した底質のうち泥質は，英虞湾奥部立神浦水深約10mから採取した堆積物を，砂質は英虞湾口部南張海岸の堆積物を，砂泥質は上記の泥質と砂質を体積比率で3：7になるように調整して用いた．調整した底質の化学的性質を表-1に示した．調整したバットにそれぞれ種子から発芽させたコアマモ草体3株を移植した．2009年5月28日より，コアマモの株数，草体長及び各バット内の底質（AVS，間隙水中栄養塩濃度，TN，TOC，水温）について定期的に観測を行った．なお屋外水槽における底泥の干出時間は，底質の温度変化から推測した．

（2）天然コアマモ場の調査

三重県内の鳥羽市二見浦（砂泥質），鳥羽市浦村（砂

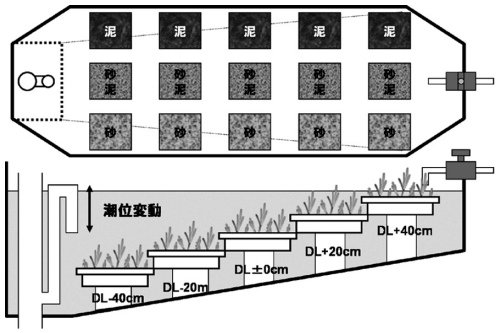

図-1　コアマモの育成実験を実施した潮位変動型陸上水槽の概要（上段：上方図，下段：断面図）

1　正会員　工博　三重県水産研究所
2　学博　三重大学生物資源学研究科
3　学士　三重大学生物資源学研究科
4　理博　三重大学生物資源学研究科

表-1　天然コアマモ場と生育実験に用いた底質の性状

	AVS (mg·g^{-1}-dry)	TOC (mg·g^{-1}-dry)	TN (mg·g-dry)	間隙水DIN (mg-N·L^{-1})	間隙水DIP (mg-P·L^{-1})
鳥羽市二見	0.032 ± 0.002	9.30 ± 0.78	1.36 ± 0.069	0.465 ± 0.013	0.125 ± 0.022
鳥羽市浦村	N. D.	1.23 ± 0.09	0.18 ± 0.018	0.302 ± 0.004	0.045 ± 0.001
志摩市石淵	0.135 ± 0.012	18.30 ± 0.55	3.02 ± 0.026	0.693 ± 0.023	0.157 ± 0.024
泥質	0.140 ± 0.024	21.14 ± 0.48	2.70 ± 0.063	0.356 ± 0.013	0.070 ± 0.003
砂泥質	0.026 ± 0.001	2.92 ± 0.14	0.50 ± 0.018	0.203 ± 0.004	0.037 ± 0.001
砂質	0.006 ± 0.001	1.16 ± 0.12	0.24 ± 0.026	0.103 ± 0.003	0.015 ± 0.001

表-2　コアマモ生育実験区画の底質温度の概要

実験区		DL:+0.4m	DL:+0.2m	DL:±0m	DL:-0.2m	DL:-0.4m
砂泥	最高温度 観測日時	37.4 JUL.16.'10	35.2 JUN.26.'10	28.8 JUL.13.'10	28.2 JUL.13.'10	28.2 JUL.13.'10
	最低温度 観測日時	1.83 MAR.12.'10	3.85 MAR.12.'10	10.9 MAR.05.'10	10.6 MAR.05.'10	10.6 MAR.05.'10
	29℃以上の日数	42	13	0	0	0
泥	最高温度 観測日時	36.2 JUL.16.'10	34.2 JUN.26.'10	28.3 JUL.13.'10	- -	- -
	最低温度 観測日時	1.5 MAR.12.'10	4.9 MAR.12.'10	10.6 MAR.05.'10	- -	- -
	29℃以上の日数	37	16	0	-	-
砂	最高温度 観測日時	40.4 MAY.12.'10	34.1 JUL.07.'10	28.3 JUL.13.'10	28.3 JUL.13.'10	28.4 JUL.13.'10
	最低温度 観測日時	1.56 MAR.12.'10	4.35 MAR.12.'10	10.6 MAR.05.'10	10.8 MAR.05.'10	10.7 MAR.05.'10
	29℃以上の日数	48	24	0	0	0

質）および志摩市阿児町石淵（泥質）の異なる底質の3地点の天然のコアマモ場について，2008年5月より，年4回季節毎の草体長及び底質（AVS，間隙水中栄養塩濃度，TN，TOC，水温）について観測を行った．天然コアマモ場の底質の化学的性質を**表-1**に示した．

3. 結果および考察

（1）コアマモの成長に及ぼす地盤高の影響

a）栄養株の分枝数の変化

各底質の実験区画における，地盤高毎の栄養株数の経時変化を図-**2**に示した．データの比較はMann-Whitney U-testを用いて確認した．$p<0.01$で統計的に有意であると判断した．すべての砂質の実験区で栄養株の分枝は認められなかった．泥質の実験区においてはD.L.+0.4mとD.L.+0.2mで分枝は認められなかったが，それ以深の水深では認められ，D.L.±0m，-0.2mおよび-0.4mでの分枝数は，9月22日までにそれぞれ20.3 ± 5.0，14.6 ± 5.7および25.7 ± 10.4であった．栄養株の分枝は砂泥質の実験区で最も良く，D.L.+0.4mではほとんど認められなかったが，D.L.+0.2m，±0m，-0.2mおよび-0.4mの分枝数は9月22日までにそれぞれ25.0 ± 5.1，27.0 ± 5.6，74.0 ± 18.2および61.3 ± 4.6であった．泥質及び砂泥質の実験区で，干出区（D.L.+0.4m，+0.2mおよび±0m）と無干出区（D.L.-0.2mおよび-0.4m）の間には分枝数に有意な差が認められ（$p<0.01$），無干出区は干出区に対して高い分枝数となった．この原因として，干出時間と底質の温度の影響が考えられる．これまでにコアマモ実生の生育上限水温は室内培養庫の一定水温の条件下にて29℃であるといわれている（Abeら．2009）．そこで，各実験区における最高底質温度および29℃以上を経験した日数を**表-2**に示した．**表-2**より最高底質温度29℃を超えるD.L.+0.4mおよびD.L.+0.2mで各実験区ともに栄養株の分枝がほとんど行われず，最高温度が29℃を超えない，D.L.±0m，-0.2mおよび-0.4mでは砂質を除く実験区で分枝が認められた．特に29℃を超える高温にさらされていた日数が多いほど分枝数が抑制されることが分かった．また，砂泥質の実験区における15分ごとの底質温度変化（2009年7月1日～5日）を図-**3**に示した．底質温度から推定した各地盤高の干出時間は，D.L.+0.4m，+0.2mおよび±0mでそれぞれ16時間52分（±115分），8時間45分（±51分）および1時間47分（±24分）であり，干出時間が長くなるほど底質温度も上昇し，分枝数が少なくなることが分かった．これは，三重県松名瀬海域の天然コアマモ場から採取した移植株を本研究と同じ水深の異なる屋外水槽にて育成した結果と同様の傾向を示した（森田ら2010）．

越川ら（2007）は，コアマモの生育地における一日あたりの最小干出時間と平均干出時間を塩分の変動から，それぞれ5時間および18時間40分と算出している．本研究では，屋外水槽においてコアマモの分枝が確認できなったD.L.+20mの干出時間8時間45分（±51分）と分枝が確認できたD.L.±0mの1時間47分（±24分）に干出による生育限界水深があると考えられる．しかし，屋外水槽での水位は一定の間隔で変動するため，実海域における生育限界水深を推定するためには，上記の推定値を元に天然のコアマモ生育域の潮位変動を考慮する必要があると考えられた．また，砂質，泥質と砂泥質では，栄養株の分枝数が異なっていた．これは水深以外にも底質の違いによってコアマモの成長に影響を与えていることが原因として考えられた．

b）草体長の変化

各底質の実験区画における，地盤高毎の草体長の経時変化を図-**4**に示した．栄養株の草体長は，移植直後は各実験区とも干出区（D.L.+0.4mおよびD.L.+0.2m）と無干出区（D.L.+0m，D.L.-0.2mおよびD.L.-0.4m）内では有意な差は認められなかったが，底質温度が上昇する6月以降，干出区において草体長の衰退が確認できた．特に砂質のD.L.+0.4mおよびD.L.+0.2mではそれぞれ7月13日と7月27日に，泥質のD.L.+0.4mでは7月13日にすべての草体が枯死してしまった．9月22日において，砂質の実験区で干出区が無干出区に対して有意に短くなり（$p<0.01$），砂泥および泥質の実験区では，D.L.+0.4mがD.L.+0.2m，

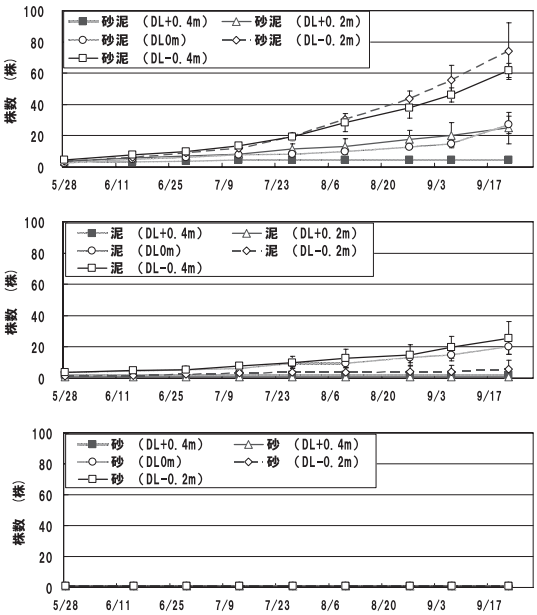

図-2　水深毎の栄養株分枝による株数の経時変化（2009年5月～9月）

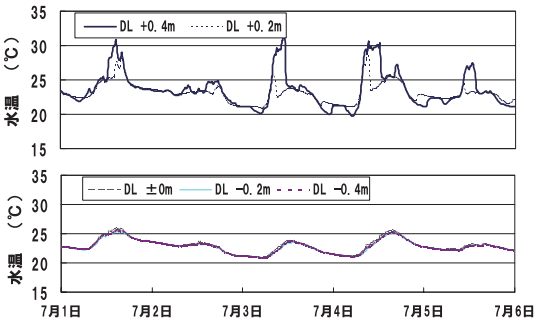

図-3　砂泥質の底質を用いた実験区画における，地盤高毎の底質温度変化（2009年7月1日～5日）

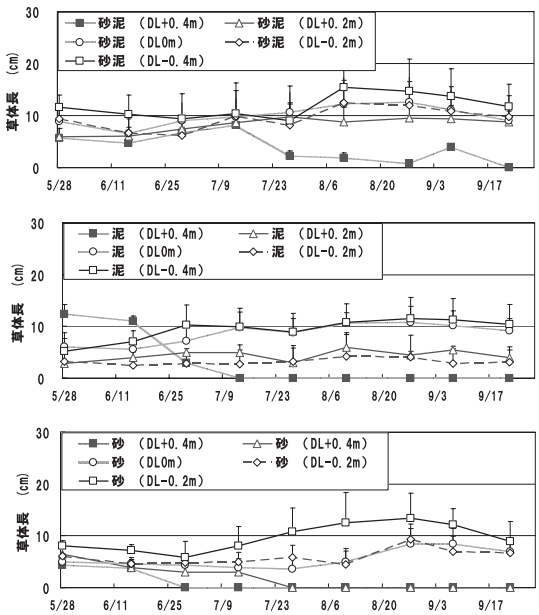

図-4　水深毎の草体長の経時変化（2009年5月～9月）

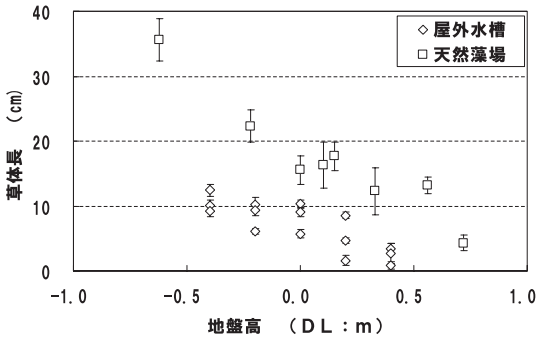

図-5　屋外水槽および天然コアマモ場における，地盤高毎の草体長変化

D.L.+0m，D.L.-0.2mおよびD.L.-0.4mに対して有意に短くなった（$p<0.01$）．また全体的な傾向として，水深が深くなるほど草体長が長くなった．これは干出区については，干出による乾燥や底質温度の上昇により草体がダメージを受けるため，草体の枯死および衰退が起こることが考えられた．また，無干出区については，水深が深くなるほど光条件が悪くなるため，より光条件の良い水深へ草体をのばしていることが推測された．

天然コアマモ場及び屋外水槽における各水深の草体長の分布を図-5に示した．天然コアマモ場も屋外水槽と同様に，生育地盤高が高くなるにつれ，草体長が短くなる傾向が得られた．また，天然コアマモ場のほうが屋外水槽よりも草体長が長くなったが，これは，天然の条件のほうが波浪などにさらされていること，共存する生物等により，葉上の付着物が軽減されていることにより，光合成がより活発に行われていることが推察された．

（2）コアマモの成長に及ぼす底質の影響

a）底質環境の変化

屋外水槽の各水深における底質のAVS，含水率および，間隙水中のDINとDIP濃度を図-6に示した．各項目共に，砂質よりも砂泥質，泥質のほうが，干出区よりも無干出区のほうが有意に高くなった（$p<0.01$）．これは，有機物含有量の多い泥質の含有率が高いほど，嫌気的な条件になりやすいこと，干出区のほうが干満により底質が酸化されやすいことが原因として考えられた．また，間隙水中のDIN，DIP濃度についても同様に，泥質を多く含む実験区ほど有機物が分解されるため，その結果分解物である溶存態の窒素リンの濃度が高くなることが原因として考えられた．一方干出区については干満により間隙水が移動するために溶存態の窒素リンの濃度が無干出区よ

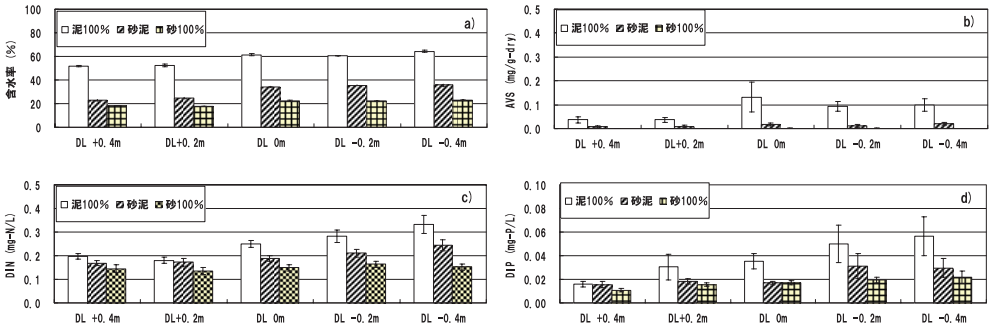

図-6　屋外水槽における地盤高毎の底質の特徴（a）含水率，b）AVS，c）間隙水中DIN，d）間隙水中DIP）

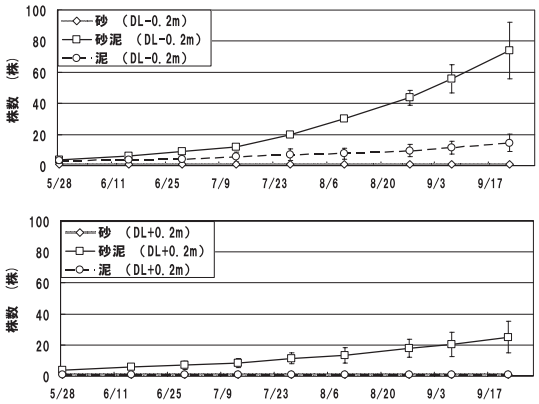

図-7　底質毎の栄養株分枝数の経時変化（上段：DL-0.2m，下段：DL+0.2m）（2009年5月～9月）

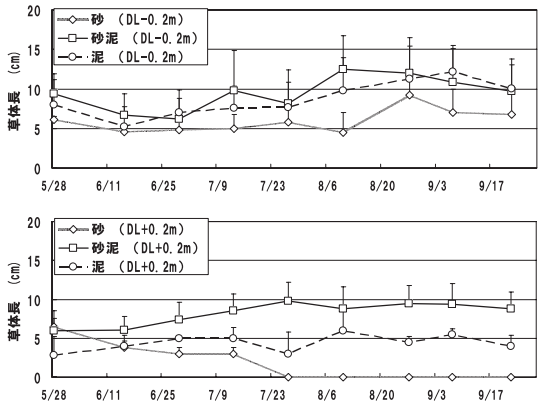

図-8　底質毎の草体長の経時変化（上段：DL-0.2m，下段：DL+0.2m）（2009年5月～9月）

りも低くなることが推測された．

b）栄養株の分枝数と草体長の変化

底質がコアマモの成長に与える影響を検討するため，潮下帯であるD.L.-0.2mと潮上帯であるD.L.+0.2mの実験区における，底質毎の栄養株数と草体長の経時変化をそれぞれ図-**7**，図-**8**に示した．栄養株の分枝は，砂質の実験区ではほとんどみられなかった．一方砂泥質および泥質の分枝数は，D.L.-0.2mで9月22日までにそれぞれ74.0 ± 18.2および14.7 ± 5.7であり，各底質間で分枝数に有意な差が認められ（$p<0.01$），砂質，泥質，砂泥質の順に高くなった．干出するD.L.+0.2mでは，泥質の実験区も分枝をせず，砂泥質のみ分枝成長が行われた．また草体長は，D.L.+0.2mにおいて砂質の実験区で7月以降枯死してしまった．一方砂泥質および泥質では枯死することなく成長し，砂質，泥質，砂泥質の順に長くなった．D.L.-0.2mにおいては3つの底質の実験区共に成長したが，砂質の実験区は最も短いものであった．

以上の結果より，発芽後のコアマモの分枝や草体の成長には，底質の栄養塩含有量と還元物質の影響が考えられた．そこで，図-**9**に各実験区における底質の間隙水中のDIN，DIP濃度およびAVSと2ヶ月間の分枝数と草体長の関係を示した．分枝数および草体長は各バットの中のすべての草体の平均値と標準偏差で，底質は各バット内の平均値（n=3）と標準偏差で示した．アマモと比較して地下部の割合の多いコアマモは，成長するため地下茎からの栄養塩の吸収に大きく依存することが考えられる．そのため砂質よりも有機物含有量と間隙水中の栄養塩濃度の高い，砂泥質と泥質のほうが草体の成長が良好であり，地下茎分枝が多いことが考えられる．図-**9**から，間隙水中のDIN濃度が0.15mg-N/L以上，DIP濃度が0.015mg-P/L以上が草体長，分枝共に良好な成長に必要であることが考えられた．また，底質のAVSと分枝数と草体長の関係より，一般に還元物質である過剰なAVSは，毒性が高く，生物の成長に影響を与えるといわれている（（社）日本水産資源保護協会　2005）．草体長については大きな差は見られないが，地下茎分枝数については，AVSが低すぎても高すぎても分枝が低く，適度なAVSの値を示す砂泥質の実験区画で分枝が高くなった．これは，底質の有機物含有量が低く，間隙水中の栄養塩量も低い砂質では，栄養不足により生育が阻害されるが，間隙水中の栄養塩量が高くなれば，有機物含有量も高くなり，結果としてAVSも上昇し，地下茎分枝を阻害したことが

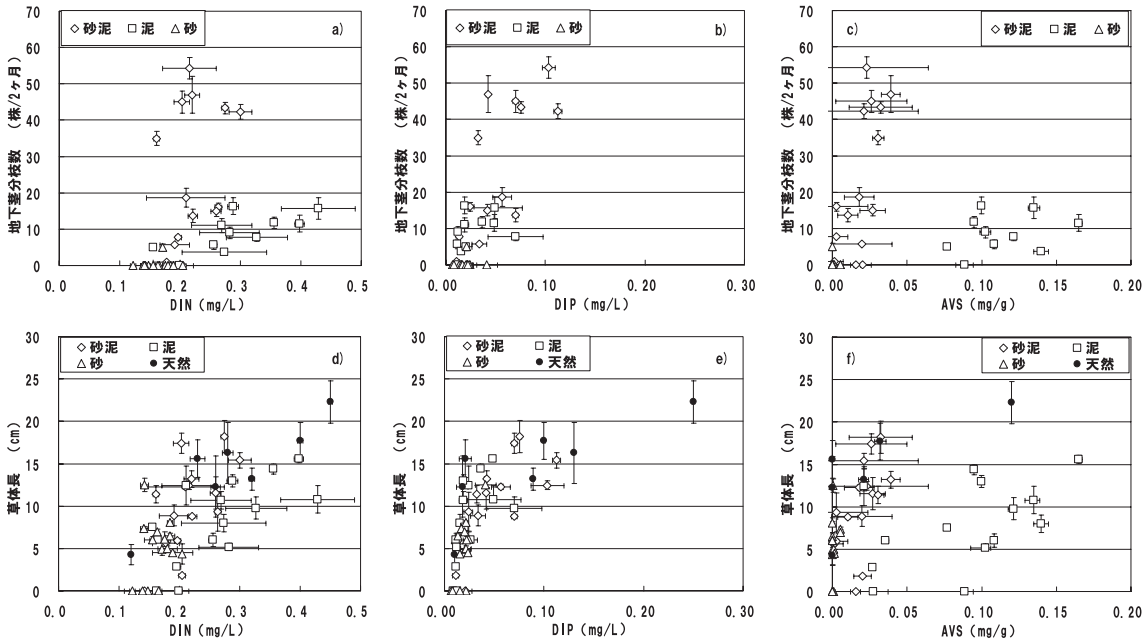

図-9　底質の性状と栄養株分枝数，草体長との関係（ a）間隙水中のDIN，b）間隙水中のDIP，c）AVSと栄養株分枝数，d）間隙水中のDIN，e）間隙水中のDIP，f）AVSと草体長）

推測された．以上より，砂泥質が最も成長に好環境であり，栄養塩量の高い泥質よりも地下茎分枝，草体長共に良好であることが考えられた．また天然のコアマモ場と比較すると，草体長は長く，間隙水中の栄養塩量，AVS共に同様な傾向を示した．一般に海草は低光量やシルトが多い環境下で草体を伸ばすことで知られている（Bach et al. 1998）．また，和歌山県田辺湾のコアマモ場（上出ら2007）においても底質の違いが草体長に影響を与えることが報告されていることから，本研究結果と一致した．

以上より，底質間隙水中の栄養塩濃度も高く，AVSが高くなりすぎない程度の底質（砂泥質）がコアマモの生育に最も適していることが分かった．

4. まとめ

本論文では，潮位を変動させた屋外水槽を用いたコアマモの生育実験と天然コアマモ場の調査を行うことにより，コアマモの成長に及ぼす環境要因について検討した．本研究の主要な結論を以下に示す．

①コアマモの成長には生育地盤高が影響し，最高温度が29℃を超えないD.L.±0m以下（干出時間が2時間以下）の地盤高が適しており，29℃を超える高温にさらされていた日数が多いほど分枝数が抑制され，草体長は水深が深くなるほど長くなることが明らかになった．

②コアマモの良好な成長には底質間隙水中のDIN濃度が0.15mg-N/L以上，DIP濃度が0.015mg-P/L以上であり，かつ，AVSが高くなりすぎない程度の底質（砂泥質）が草体長，分株共に必要であることが分かった．

以上より，コアマモの生育に適した環境要因（地盤高と底質条件）についてとりまとめた．本研究で得られた知見は，コアマモ場造成時の造成水深や底質など，適地選定するために有用な情報になりうると考えられる．

謝辞：本研究は，（独）科学技術振興機構「シーズ発掘試験」の助成を得て行われた．また研究を進めるにあたり，C型共同研究「浅海域における干潟藻場の生態系機能に関する研究」より助言を受けた．ここに謝意を表す．

参　考　文　献

上出貴士（2007）：和歌山県田辺湾滝内及び内ノ浦の潮間帯に生育するコアマモの季節消長，日本水産学会誌，73，pp. 478-486

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，pp. 1076-1080.

社団法人日本水産資源保護協会：水産用水基準，2000.

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およぼす底質中の水温と干出時間の影響，水産増殖，58，2，（in press）.

Abe, M., Yokota, K., Kurashima, A. and Maegawa, M. (2009) : Temperature characteristics in seed germination and growth of Zostera japonica Ascherson & Graebner from Ago Bay, Mie Prefecture, central Japan. Fish. Sci. 75, 921-927.

Bach, S. S., Borum, J., and Fortes, M. D. (1998): Species composition and plant performance of mixed seagrass beds along a siltation gradient at Cape Bolinao, The Philippines. Mar. Ecol. Prog. Ser. 174, pp. 247-256.