

【報 文】

アマモ場造成に必要な生育環境条件に関する研究 三河湾三谷町地先における事例

吉田 司^{*1}・芝 修一^{*1}・小山 善明^{*1}
新井 義昭^{*1}・鈴木 輝明^{*2}

Research on the Environmental Conditions for Seagrass Bed Creation Case Study of Miya, Mikawa Bay, Aichi Prefecture, Japan

Tsukasa YOSHIDA^{*1}, Syuichi SIBA^{*1}, Yoshiaki KOYAMA^{*1}
Yoshiaki ARAI^{*1}, and Teruaki SUZUKI^{*2}

Abstract

Seasonal changes of *Zostera marina* L. and physical environment factors (underwater irradiance, sandy bottom quality etc.) were examined off Miya in the Mikawa Bay, Aichi Prefecture, from 2000 to 2001 Japan. *Z. marina* forming seagrass beds grew densely from February to June, and declined from July to October. While a large number of juveniles germinated from their seed started to appear toward the middle of October, and *Z. marina* grew densely again in the following spring. Most of the *Z. marina* off Miya was annual. Vertical distribution range of *Z. marina* beds were from D.L. +0.5m to -1.6m depth. From the site irradiance conditions in the seagrass bed, the deepest bottom of *Z. marina* possible growth was estimated to be D.L. -1.8m. The high temperature in the summer was the important cause that the *Z. marina* beds were decreased. Surface layer of the bottom was reductive conditions enough to germinate. These observations suggest that *Z. marina* of annual plant requires calm environmental conditions as one of the required suitable conditions for successful seagrass bed formation.

1. はじめに

アマモ *Zostera marina* L. は静穏な海域の砂泥質の浅所に生育し、繁茂期には草丈が1~2mとなり、単一種でアマモ場を形成し、生物生産の場として、また水質浄化の場として重要な役割を担っている。

アマモ場は、近年、人間活動による埋立等の影響を受けて、減少あるいは消滅しており¹⁾、その保全や修復の取り組みが、現在、各地で試みられているものの、十分な成果をあげるには至っていない。

本研究は、三河湾北岸の蒲郡市三谷町地先に分布するアマモ場を対象にアマモの生長様式と藻場の季節的消長を明らかにし、アマモの生育と分布を制限する環境因子

を調べることを目的とした。

今回、本調査海域におけるアマモ場の消長動態が明らかとなり、生育や分布を制限する水温、水中光量、発芽条件としての底質や実生株の生残に係る砂面変動等の環境条件について興味ある知見を得たので報告する。

2. 調査方法

1) アマモ場の季節的消長

三河湾、蒲郡市、三谷町地先 (Fig.1) のアマモ場において、2000年4月から2001年6月まで、ほぼ2ヶ月ごとに、船上からの目視観察とスキューバ潜水により、定点A、B、C、Dにおいて0.5m×0.5mの方形枠内の栄養株と生殖株の株数、草丈 (海底から最も長い葉の先端

2003年3月19日受付, 2003年9月3日受理

キーワード: アマモ, 海草藻場, 環境要因, 生態

Key words: *Zostera marina* L., Seagrass bed, Environmental factors, Ecology

^{*1} Japan Fisheries Resource Conservation Association, Kachidoki, Chuo, Tokyo 104-0055, Japan (社団法人日本水産資源保護協会 〒104-0055 東京都中央区勝どき2-18-1)

^{*2} Aichi Fisheries Research Institute, Wakamiya, Miya, Aichi 443-0021, Japan (愛知県水産試験場 〒443-0021 愛知県蒲郡市三谷町若宮97)

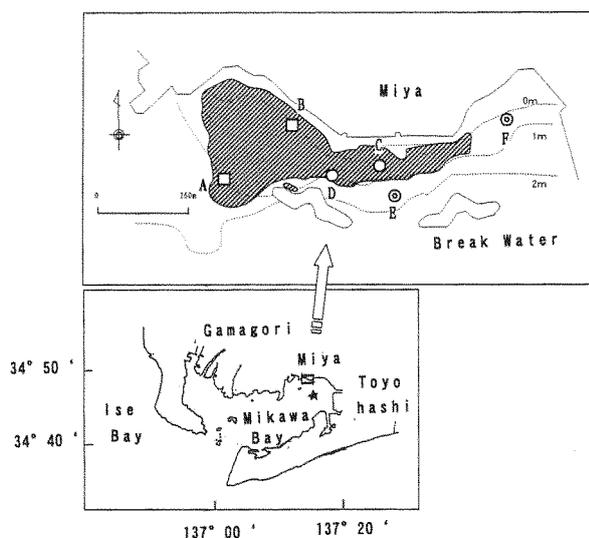


Fig. 1 Research locations in the seagrass bed at Miya in Mikawa Bay.

A: Sampling site of *Z. marina* plants and mud, light quantum meter was set here. B: Sampling site of *Z. marina* plants and mud, sand surface meter was set here. C, D: Sampling site of *Z. marina* plants. E, F: Sampling site of mud. Diagonally part shows the seagrass bed area. ★: Site of an auto-observation No.1 buoy of institute.

までの長さ)を測定するとともに、アマモの植生被度の広がりを観察し、藻場の水平および鉛直の分布状況を把握した。

2) アマモ場の環境

アマモ場の環境特性を把握するために、水温、塩分、水中光量、底質、砂面変動を調査した。調査内容は以下に示すとおりである。

水温、塩分は、愛知県水産試験場が観測する蒲郡沖自動観測ブイ(1号、センサーは水深-3.5mの浮動式 Fig. 1: ★)の2000年4月から2001年6月までのデータを用いた。

水中光量の測定は、定点Aにメモリー式光量子計(MPQ-1三洋測器社製)をD.L.(基本水準面、以下同様)-0.5mと-1.0mの位置に設置して、2000年4月から2001年2月までは2ヶ月ごとに10日間の連続観測、2001年4月から7月にかけては延べ3ヶ月の連続観測を行った。いずれの観測でも10分間ごとに1秒間隔で5回観測し、その平均値を光量子束密度($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$)とし、その値から日積算光量子束密度(日中の観測値の総和, $\text{mol}/\text{m}^2/\text{day}$)および消散係数(D.L.-0.5mと-1.0mとの間)を求めた。

底質は、藻場内2点(定点A, B)と藻場外2点(定点E, F)で、2000年4, 6, 8, 10月, 2001年2月に、直径10cmのコアサンプラーにより海底面から30cmの深さまでを採泥し、泥色が黒化した部分を還元層として、その分布状況を目視観察した。また、海底面から10cmまでを混合した試料について粒度組成²⁾、全硫化物(よう素滴定法³⁾)、COD(過マンガン酸カリウムによる酸素

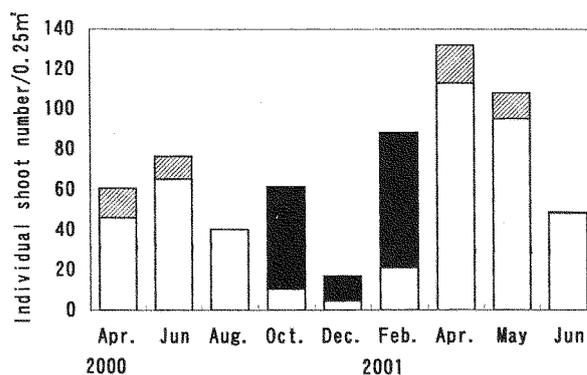


Fig. 2 Seasonal change of individual mean shoot number of *Z. marina*. (2000~2001)

▨, Vegetative shoots; ■, Seedling shoots; □, Generative shoots.

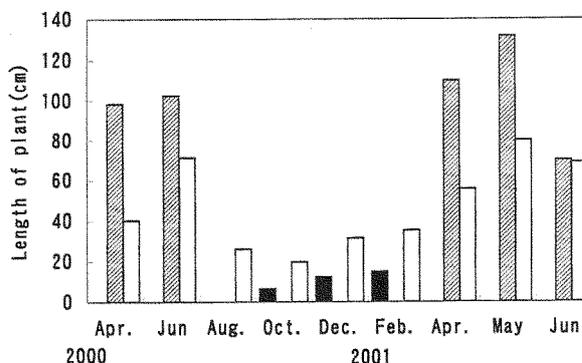


Fig. 3 Seasonal change of the mean length of *Z. marina*. (2000~2001)

▨, Vegetative shoots; ■, Seedling shoots; □, Generative shoots.

消費量³⁾)を分析した。

砂面変動は、定点Bに藻場用砂面計(SSM-1三洋測器社製)を設置して、2000年4月から2001年3月まで1年間の連続観測を行った。観測は30分間ごとに1秒間隔で5回行い、その平均値を砂面高とした。

3. 結 果

1) アマモ場の季節的消長

2000年4月から2001年6月におけるアマモの方形枠内(0.25m², 4定点)の栄養株と生殖株および実生株の平均株数をFig. 2, 平均草丈の季節変化をFig. 3に示した。

アマモの栄養株の株数は2000年4月に46株、草丈は40cm, 6月に65株, 71cmとなり, 8月には40株, 草丈は葉部先端の枯死, 流失により26cmとなった。越夏した栄養株は10月には11株で, 草丈は20cm, この時期, 種子から発芽した実生株が50株程度見られ, その草丈は7cm程度であった。栄養株は12月には5株となり, 新しい葉が生長し, 草丈は31cm, 実生株は13株, 12cmとなった。

2001年2月になると栄養株は21株, 草丈35cm, 実生株67株, 15cmであった。この時期は分枝した地下茎から新たに芽生えた株が含まれる可能性がある。

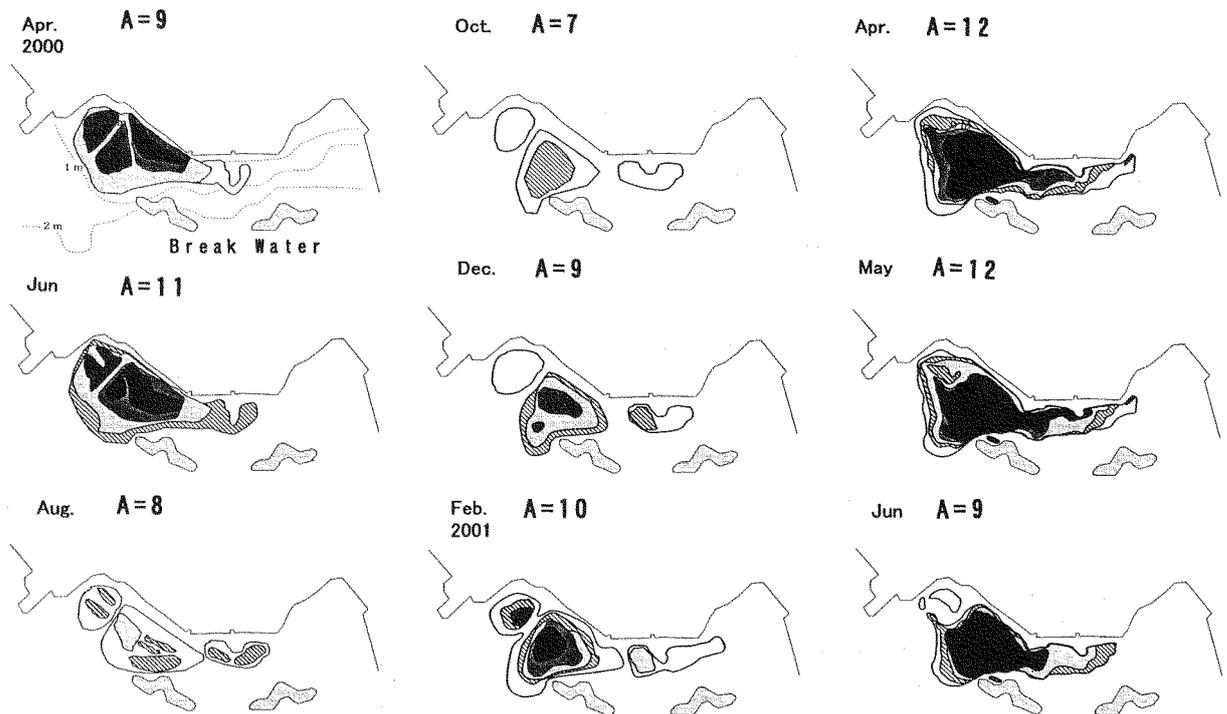


Fig. 4 Seasonal change of vegetation coverage (%) of *Z. marina* beds. (2000~2001)

"A" in the diagrams indicates area (ha) of *Z. marina* beds.

■, 75% < ; ▨, 50%~75% ; ▩, 25%~50% ; ▪, 5~25% ; □, 5% >

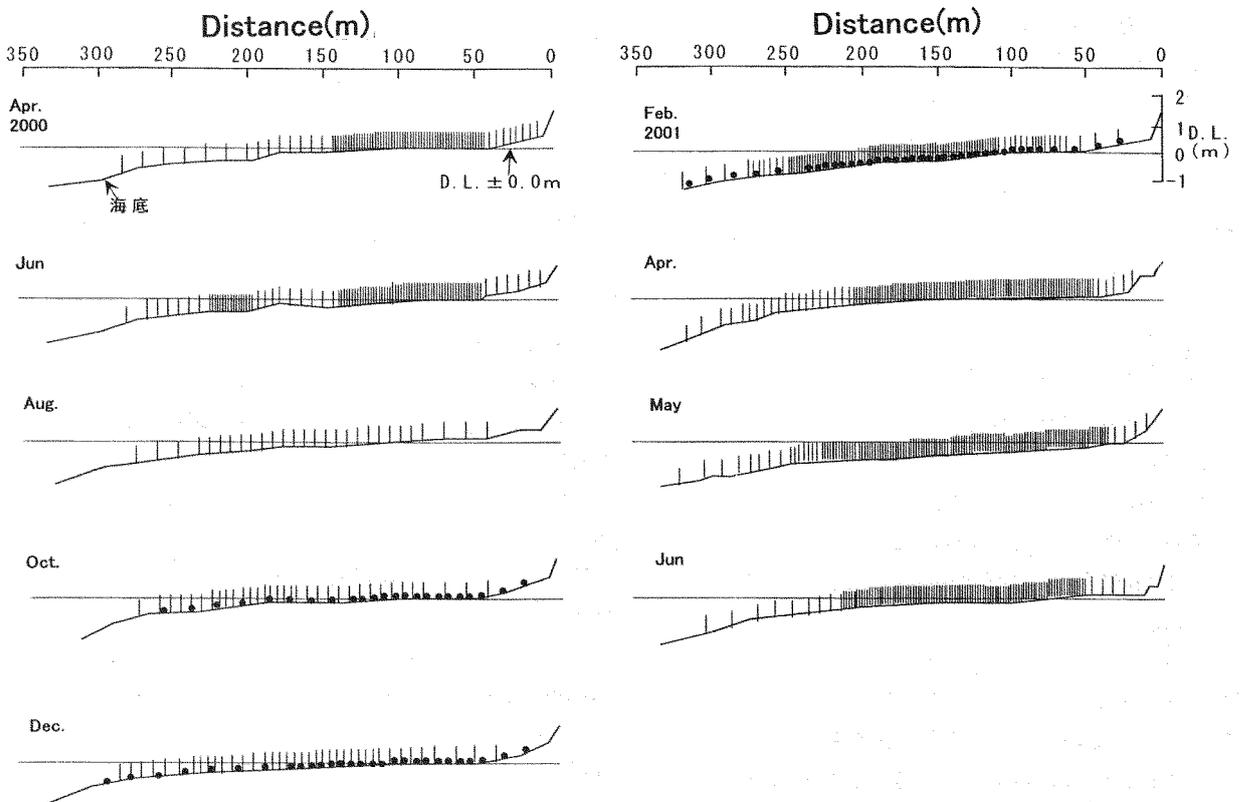


Fig. 5 Seasonal change of the vertical distribution range of *Z. marina* beds. (2000~2001)

● : Seedling shoot.

▨, 75% < ; ▩, 50%~75% ; ▪, 25%~50% ; ▪, 5~25% ; |, 5% >

4月には栄養株と実生株の観察による区別はできなくなり、株数は本調査の最大値を示し113株、草丈は56cm、

5月には95株、草丈は本調査最大値の80cmを示した。6月には48株、69cmとなった。

Table 1 Irradiance conditions in the seagrass bed.

	2000					2001				Average
	Apr.	Jun	Aug.	Oct.	Dec.	Feb.	Apr.	May	Jun	
Surface light quantum(DL.-0.5m) mol/m ² /day	18.7	6.9	12.3	3.9	5.2	6.2	11.2	12.7	3.4	8.9
Bottom light quantum (DL.-1m) mol/m ² /day	11.9	3.6	8.6	2	4.6	4.6	9.1	8.3	1.8	6.1
Light attenuation coefficient m ⁻¹	1	1.2	0.7	1.8	0.5	0.5	0.5	0.9	1.5	1
Deepest bottom of Z.marina possible growt(D.L.m)*	-4.2	-1.1	-2.5	-0.7	-1.3	-0.7	-3.1	-2.1	-0.6	-1.8

*Those were estimated from the light condition

Table 2 Bottm quality in the seagrass bed.

St.	Sedimentary	Median diameter (mm)	Mud content (%)	Total sulfide (mg/g d/w.)	COD (mg/g d/w.)	Reduction period
A	Fine sand · Coarse sand	0.29	1.1	0.04	3.6	Jun.~Oct.
B	Fine sand	0.24	0.8	0.08	3.2	Aug.
E	Fine sand · Pebble gravel	1.27	10.5	0.04	4.6	Total period
F	Fine sand · Coarse sand	0.36	4.3	0.13	3.4	Jun~Feb.

生殖株は各年とも4月から6月に見られ、その株数は平均15株程度(2001年6月は除く)で、草丈は99~132cmであった。また、2001年6月にはほとんどの生殖株は枯死、流失した。

2000年4月から2001年6月におけるアマモ場の植生被度別水平分布をFig.4に示した。

アマモ場の植生被度は、2000年4月と6月には50%以上で、花穂が付いた生殖株が見られた。8月になると大半の葉部先端が枯死、流失し、植生被度は50%以下となった。10月には越冬した栄養株に実生株が加わり、植生被度は広い範囲で5~25%となり、12月になると藻場の中心域では50~75%となった。

2001年2月には藻場の中心域で植生被度は75%以上となり、4月には藻場全体が75%以上となった。

アマモ場の面積は7ha(2000年10月)~12ha(2001年4,5月)で推移した。

2000年4月から2001年6月におけるアマモ場の中央部に設けた側線(A定点とB定点を結んだ側線)におけるアマモの鉛直断面分布をFig.5に示した。

アマモは、2000年4月、6月には距岸10~300m, D.L.+0.3~-1.2mにあり、分布の中心は距岸50~150m, D.L.±0m付近であった。8月になると距岸50~300m, D.L.+0.1~-1.2mとなり、植生被度の低下とともに、干潟部でのアマモは見られなくなった。10月には距岸20~260m, D.L.+0.3~-1.2mで実生株が見られた。12月には、実生株と栄養株の生長により、アマモは沖合へと広がった。

2001年2月のアマモは、距岸20~320m, D.L.+0.5~-1.4mとさらに沖合へと広がり、距岸50~200m, D.L.±0~-0.8mが分布の中心となった。4月には干潟部へ広がり、5月は距岸10~330m, D.L.+0.4~-1.6mとなり調査期間中の最大幅を示した。6月になるとアマモは

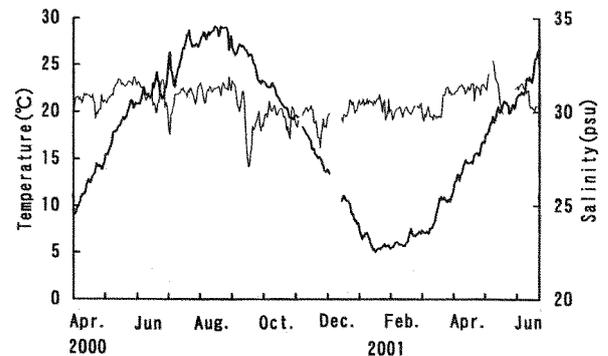


Fig. 6 Seasonal change of temperature (thick line) and salinity (thin line) at -3.5m depth.

干潟部から分布域を狭めた。

3) アマモ場の環境

(1) 水温・塩分

蒲郡沖1号ブイにおける2000年4月から2001年6月までの水温と塩分の経時変化をFig.6に示した。

年間の水温変動は、5.1~29.2°Cの範囲にあり、月平均水温は1月から2月で6°C台、8月には28.4°Cを示した。

年間の塩分変動は、27.1~32.7psuの範囲にあり、月平均塩分は9月から12月に29psu台で推移し、1月から8月には30psu以上を示し、台風時の降雨により、塩分は27psuにまで低下した。

(2) 水中光量

2000年4月から2001年6月までの藻場沖側縁辺部(定点A)における水中光量の日積算光量子束密度と消散係数をTable 1に示した。

アマモ場の群落直上(D.L.-0.5m)に達する日積算水中光量子束密度は3.4~18.7mol/m²/dayであり、その年平均値は8.9mol/m²/dayとなった。アマモ場分布域の海底面付近(D.L.-1.0m)に達する日積算光量子束密度は1.8~11.9mol/m²/dayであり、その年平均値は6.1mol/m²/dayとなった。

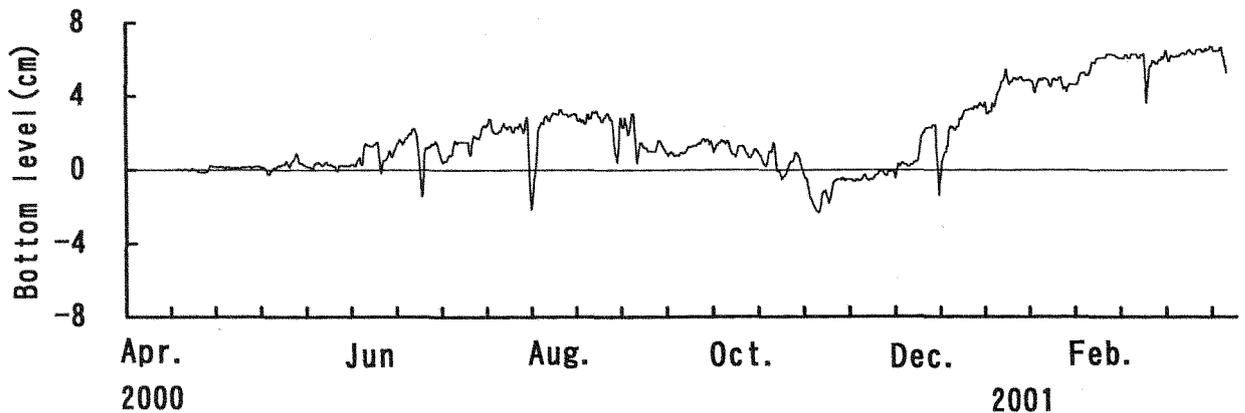


Fig.7 Seasonal change of bottom level. (Fluctuations in the 24-hours moving average, 2000~2001)

海中の消散係数 (D.L. -0.5m と -1.0m との間) は、 $0.5 \sim 1.8 \text{ m}^{-1}$ の範囲であった。

アマモ場造成に適した水深の下限域は海底面付近で $3 \text{ mol/m}^2/\text{day}$ 以上の年平均水中光量が必要と推定されており⁴⁾、各月の水中光量と消散係数から推定したアマモの生育下限水深は、D.L. -0.6 ~ -4.2m の範囲にあり、年間の平均値は D.L. -1.8m であった。

(3) 底質

藻場内 (定点 A, B) と藻場外 (定点 E, F) の底質を Table 2 に示した。

アマモ場内は細砂からなり、含泥率 (シルト・粘土分) は 1.0% 程度を示し、その中央粒径は 0.29mm と 0.24mm で、分級率の高い底質であった。全硫化物は 0.04mg/g 乾泥と 0.08mg/g 乾泥を、COD は 3.6mg/g 乾泥と 3.2mg/g 乾泥を示し、アマモ場内の沖側 (定点 A) では 6 月から 10 月に海底面から 30cm の深さまで黒色で還元状態にあった。

藻場外の底質は細砂に粗砂や中礫が混じり、含泥率は 4% 以上を占め、その中央粒径は 1.27mm と 0.36mm であった。全硫化物は 0.04mg/g 乾泥と 0.13mg/g 乾泥を、COD は 4.6mg/g 乾泥と 3.4mg/g 乾泥を示し、周年、海底面から 30cm の深さまで黒色で還元状態にあった。

(4) 砂面変動

2000 年 4 月から 2001 年 3 月までの藻場岸側縁辺部 (定点 B) での 24 時間移動平均の砂面変動を Fig. 7 に示した。

三谷町地先のアマモ場の長期的な砂面の変動は 6 月中旬から 9 月中旬には堆積傾向を示し、その後、11 月中旬までは緩やかに侵食傾向となった。11 月下旬から 2 月中旬に再び堆積傾向に転じた後は 3 月下旬までほとんど変動は見られず、その間の砂面変動は 0.5 ~ 1.5cm 程度であった。

4. 考 察

三谷町地先のアマモは、2 月から 6 月にかけて草丈を伸長させ、4 月には花枝が形成された。5 月から 6 月には成熟した種子が見られた。栄養株や生殖株は 7 月から

10 月の間に枯死、流失する。10 月中旬になると種子から発芽した実生株が高密度で見られ、それらが 2 月ごろから再び生長し始め、4 月には花枝が見られた。このように三谷町地先のアマモ場は、その多くが 1 年生のアマモで構成されていた。

アマモの生育には、水温、水中光量、底質および地盤の安定等が重要な要因と指摘されている⁵⁾。

これらの要因のうち、水温については、アマモの実生株は、水温が 28℃ になると 1 カ月で 31% 枯死する⁶⁾。また、水温の季節変化を再現した水槽でアマモを栽培した実験では、最高水温が 29℃ 以上になると枯死する株が優位に増大することから、アマモの生育上限水温の目安としては、28℃ 以下であるとされている⁷⁾。

一方、2000 年 4 月から 2001 年 6 月までの間、蒲郡沖 1 号ブイの水温が 28℃ 以上を示した日数は 29 日間であった。このことは 1 号ブイよりも浅所にあり、護岸と離岸堤に遮られたアマモ場は、さらに高水温になったことが予想され、このことがアマモの多くを枯死させる大きな要因になったと考えられた。

実際に測定したこの藻場の群落直上に達する年平均の日積算光量子束密度は $8.9 \text{ mol/m}^2/\text{day}$ 、海底面付近でも $6.1 \text{ mol/m}^2/\text{day}$ を示し、三谷町地先のアマモ場は水中光量から見ると平常時にはその条件が満たされていた。また、海底面付近で $3 \text{ mol/m}^2/\text{day}$ となる水深は D.L. -1.8m となり (Table 1)、三谷町地先のアマモ場は、D.L. +0.5 ~ -1.6m の範囲にあることとほぼ一致した。

アマモの種子の発芽は嫌気状態下で行われることが知られている⁸⁾ が、種子の発芽時期に実生株が見られた D.L. +0.3 ~ -1.2m 付近の海水が嫌気状態になることはまれであり、一般には、種子が海底の砂泥中に埋没することが発芽の条件になると推定される。

種子は、周辺底質の移動形態が掃流移動から浮遊移動への遷移状況下において種子が海底面下に埋没しやすくなることが確認されている⁹⁾。

一方、三谷町のアマモ場は、沖合を防波堤により囲まれており (Fig. 1)、波浪や流れの影響は小さく、その

場所に落下した種子は、そのままでは底質に埋没することはないが、三谷町地先のアマモ場内の底質表層部は、6月から10月にかけて還元状態になるため、発芽条件を満たしたものと考えられた。

すなわち、種子（長径0.382cm、短径0.179cm、比重1.262）の沈降速度および摩擦抵抗は周辺底質よりも大きいこと⁹⁾と考えると、三谷町地先のアマモ場では、種子がその場に落下して、底質の還元状態で越冬し、秋季に底質が酸化状態に戻ることによって、発芽したものと考えられる。

三谷町地先のアマモ場は、冬季風浪の卓越する10月から2月に種子から発芽した実生株が数多く観察される。実生株は根束の深さが海底表面下-2cm程度にあり、地下部の未発達な実生株は波浪等による影響を強く受けることになるが、この藻場が護岸や離岸堤により冬季風浪から遮蔽されていることにより、砂面変動が小さく抑えられ、実生株の生残率を高め、春季の濃密な藻場を形成させることになる。

5. まとめ

三谷町地先のアマモの多くは、2月から6月にかけて草丈を伸長させ、4月には花枝が形成され、5月から6月には成熟した種子が見られる。7月から10月には栄養株を含めた地上部のほとんどが枯死・流失して、その現存量を減少させる。10月中旬には高密度の実生株が見られ、それらが2月ごろから再び生長し始める。これらのことから、当該地先のアマモの多くは1年生アマモであった。その分布範囲はD.L.+0.5~-1.6mであった。海底面付近の日積算光量子束密度は $6.1\text{mol}/\text{m}^2/\text{day}$ を示し、推定されたアマモの生育下限水深は水深D.L.-1.8mであった。

護岸と防波堤に遮られた閉鎖的な環境にあるアマモ場の減少は、夏季の高水温が大きな要因であった。アマモ場内の底質表層部が6月から10月にかけて還元状態となったことは、アマモに発芽条件を与えることになったと考えられた。

実生株は根束の深さが海底表面下-2cm程度にあることから、その株を多く着生させるためには冬季風浪を遮蔽し、砂面変動を2cm程度に抑えることが重要である。

謝 辞

本研究の実施にあたって、適切なご指導をいただいた社団法人日本水産資源保護協会 原 武史博士に厚くお礼申し上げます。また、御高閲頂きました査読者の方々および編集委員からは貴重なご指摘および御助言をいただき、ありがとうございました。

参 考 文 献

- 1) 環境庁自然保護局, (財)海中公園センター: 第4回自然環境保全基礎調査, 海域生物環境調査報告書(干潟, 藻場, 珊瑚礁調査)-藻場-, 2, 400p, 1994
- 2) 地質工学会: 土質試験の方法と解説. 地質工学会土質試験編集委員会, pp.69-92, 2000
- 3) 環境庁水質保全局: 底質調査法とその解説 改訂版. 日本環境測定分析協会, 丸善, 175p, 1988
- 4) 石川雄介・川崎保夫・本多正樹・丸山康樹・五十嵐由夫: 電源立地点の藻場造成技術の開発 第9報 水中の光条件に基づくアマモ場造成限界深度の推定手法. 電力中央研究所報告 U88010, pp. 1-20, 1988
- 5) 川崎保夫・石川雄介・丸山康樹: アマモ場造成の適地選定法. 沿岸海洋研究ノート, 27(2), pp.136-144, 1990
- 6) 川崎保夫・飯塚貞二・後藤 弘・寺脇利信・下茂繁: アマモへの温度の影響I, 発芽と発芽体の生長. 電力中央研究所報告 485028, pp.1-18, 1986
- 7) 川崎保夫: アマモへの温度の影響III, 昇温によるライフサイクルの変化. 電力中央研究所報告 U87046, pp.1-24, 1987
- 8) 川崎保夫・飯塚貞二・後藤 弘・寺脇利信・渡辺康憲・菊池弘太郎: アマモ場造成法に関する研究. 電力中央研究所報告 U14, pp.1-231, 1988
- 9) 島谷 学・中瀬浩太・熊谷隆宏・月舘真理雄: アマモ種子の埋没機構に関する研究. 海岸工学論文集, 47, pp.1171-1175, 2000