

舞鶴湾におけるアマモ群落の特徴—II

—分布の制限要因—

道家章生
井谷匡志
葭矢護



舞鶴湾奥部の水深 1.0~2.2 m に形成されているアマモ場において、アマモ分布域の上限、中央、下限に定点枠を設け、出現形態別の株の加入と減耗を1年間追跡し、アマモ群落の特徴を明らかにした。

底質環境と光環境から判断して、調査海域の水深 0~3 m まではアマモの生育が可能であると考えられる。分布域の上限では、調査期間を通じて実生株が出現しなかったこと、より浅所への分布の拡大が制限されていたことが特徴的な現象として観察されたが、それらは秋季から冬季にかけての大きな砂面変動が原因と考えられる。分布の中央では、冬季に群落内で発芽した実生株が春季までほとんど残存しない現象がみられ、その原因として実生株と既存の栄養株相互間での光の獲得をめぐる競争の存在が示唆される。分布の下限では、他2水深と比較して密度が低く、その年変動も小さかった。また、アマモ群落のより深所への分布の拡大は群落縁辺部に堆積する海藻類により、種子の発芽、生育、栄養株の分枝が物理的、化学的に阻害されることによって制限されている可能性が示唆される。

著者らは京都府内におけるアマモ *Zostera marina* 場の維持、増殖をはかるために本種の生態を調査しており、前報(道家ほか, 2000)で舞鶴湾における本種の生活史と密度、現存量、草丈組成などの特徴を明らかにした。アマモの増殖手法を検討する場合、既存の群落が様々な分布制限要因を受けながら、どのような仕組みにより維持されているかを明らかにすることは重要である。そこで、本報では舞鶴湾を対象としてアマモの分布域の縁辺部と中心部に定点枠を設け、同海域におけるアマモの分布制限要因について底質環境、光環境、生物環境などの側面から検討を加えたので報告する。

材料と方法

調査海域の概要 調査海域は舞鶴湾奥部に位置し、調査海域の北北西から西南西の方向にかけては約 2 km の対岸まで開口しているが、その他の方向は半島や前面にある島によって囲まれている。舞鶴湾内は岸から急深の地形が多い(道家ほか, 1994)。しかし、今回調査した白浜地先(Fig. 1)は、傾斜 4° の緩やかな砂浜域であり、1974年(入江・梅崎, 1981)の調査でもアマモ場の存在が確認されている。調査海域においてアマモ場は鉛直的には水深 1.0 m から水深 2.2 m にかけて、水平的には約 100 m にわたって形成されている。調査定点についてはアマモ場の

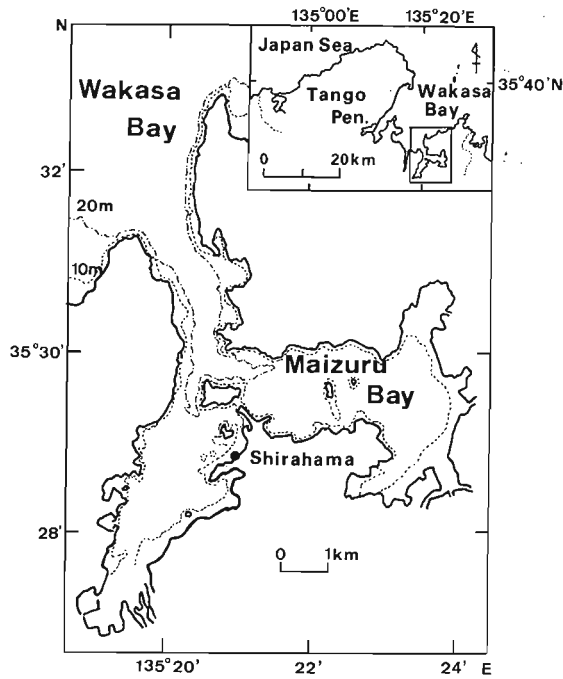


Fig. 1. A map showing survey area.

ほぼ中央部に設定した。

アマモの繁茂状況 1996年5月にアマモの分布する水深帯の上限に定点A, 同中心部に定点B, 同下限に定点Cを設けた (Fig. 2)。各定点には0.5 m角の枠をそれぞれ岸と平行に設置した。各枠の設置水深 (舞鶴湾平均潮位下) は、定点Aが水深1.0 m, 定点Bが水深1.6 m, 定点Cが水深2.2 mであった。1969年以降の舞鶴湾での低極潮位は、舞鶴湾平均潮位を基準として約-77 cm*であった。したがって、各定点とも調査期間中は干出することはない。

アマモの出現形態には栄養繁殖を行う栄養株、有性生殖を行う生殖株、種子から発芽した実生株がある。そこで、1996年5月から1997年5月まで、各定点に設置した枠内に出現する栄養株、生殖株、実生株について出現形態別に株数を毎月1回SCUBA潜水により計数した。

調査海域の諸環境 各定点における砂の堆積状況を知るために、各定点に設置した枠上の4隅に堆積した砂の厚さを1996年8月および同年12月に測定した。各回の測定とも、定点ごとに枠の4隅に堆積した砂の厚さを物差しで測定し、測定値の平均値を求めた。これらの平均値を1996年5月から8月までの期間および同年8月から12月までの期

* 舞鶴海洋気象台 (1995): 平成8年潮位表 舞鶴

間に各定点において堆積した砂の厚さとした。

調査海域の底質を把握するために、1994年11月に同海域の水深1, 2, 3 mの底質を採取し、粒度組成, 中央粒径, 強熱減量, 全硫化物量を分析した。また、1996年5月から1997年5月まで、毎月の潜水調査時に植食動物の出現や他の海藻の堆積などアマモ場と周辺域の状況を観察し、記録した。

調査海域の光環境を把握するために、栄養株と生殖株が繁茂, 成熟する1996年5~7月 (道家ほか, 2000) および実生株が増加する1997年1, 2月 (道家ほか, 2000) に、調査海域において水面上と水深1, 3 mの光量子量を同時に測定した。調査日は1996年5月24日, 6月24日, 7月18日, 1997年1月28日, 2月27日であり、これらの測定結果から水面上と各水深との光量子量の比を求めた。光量子量はデータ・ロガー (LI-COR社, LI-1000) に光量子センサー (LI-COR社, LI-190SA) と水中光量子センサー (LI-COR社, LI-192SA) を接続して測定した。また、同データ・ロガーおよび光量子センサーを用い、京都府立海洋センター屋上での光量子量 (PAR: photosynthetically active radiation) の1日の積算値 (mol/m²/day) を継続的に測定した。

結果

定点別・出現形態別株密度の変化 定点別, 出現形態別の株密度の変化を Fig. 3 に示した。定点A (水深1 m) では、栄養株は調査期間を通じて出現した。株密度は1996年5月時点において28株/枠であった。その後、5月から7月にかけて株密度の増加がみられ、7月から9月にかけて約70株/枠の最高値となった。しかし、10月には株密度は著しく減少して、最低値の約40株/枠となり、その値は1997年1月まで継続した。2月以降、株密度は再び増加傾向に転じ、5月には54株/枠となり、前年同期の約2倍の密度となった。生殖株の場合は、1996年5月から6月までの期間および1997年3月から5月までの期間に出現した。株密度は1996年5~6月には3株/枠と低い値が継続した。これに対して、1997年の場合、株密度は3月には前年同様の低い値であったが、4月には38株/枠まで増加してピークを示し、5月には21株/枠と減少した。実生株は調査期間を通じて出現しなかった。

定点B (水深1.6 m) では、栄養株は調査期間を通じて出現した。株密度は1996年5月から7月にかけて約75株/枠の最高値を示した。8月以降、同密度は減少傾向を示し、11月に35株/枠の最低値となった。12月以降、同密度は増加傾向に転じ、1997年2月には53株/枠まで増加した。

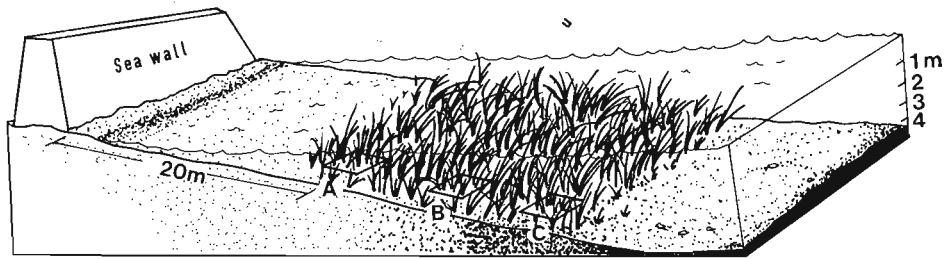


Fig. 2. Schematic view of eelgrass communities at the survey site. Alphabet A, B and C indicate survey site set experimental quadrates. Site A, B and C located 1.0 m, 1.6 m and 2.2 m in depths and shallowest, middle and deepest part of eelgrass zone, respectively.

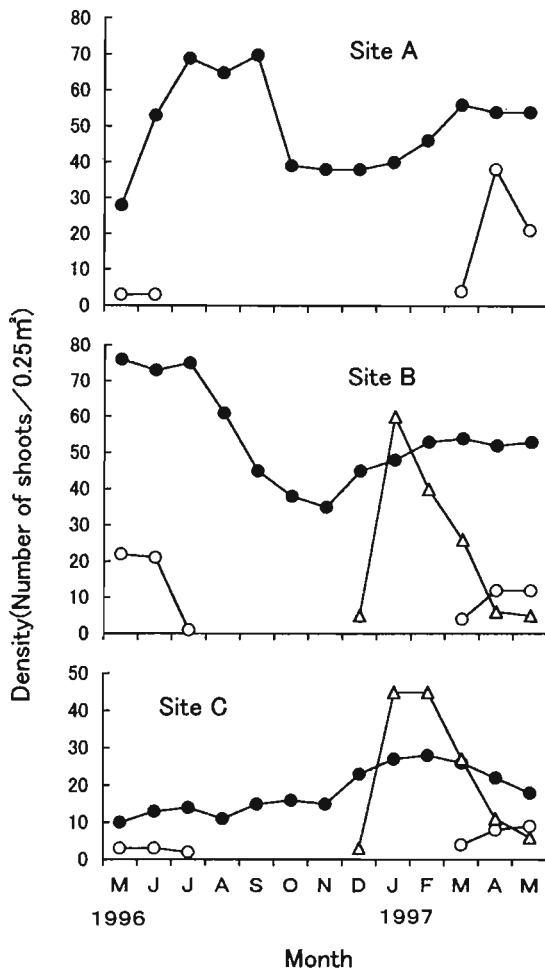


Fig. 3. Monthly variations in density of eelgrass at the survey site A, B and C from May 1996 to May 1997. Closed and open circles and a triangle indicate vegetative shoot, reproductive shoot and seedling shoot, respectively.

その後、5月までその値が持続した。生殖株は、1996年5月から7月までの期間および1997年3月から5月までの期間に出現した。株密度は1996年では5月、6月に高い値(22株/枠)を示し、1997年の場合は4月、5月に高い値(12株/枠)を示した。1996年と1997年について、それぞれの5月時点における株密度を比較すると前者の方が後者と比較して約2倍高い値を示した。実生株は1996年12月から1997年5月までの期間に出現した。株密度は1996年12月時点では5株/枠と低い値であったが、1997年1月には60株/枠の最高値を示した。その後、株密度は減少傾向を示し、5月には5株/枠と1月時点における株密度の8%まで減耗した。

定点C(水深2.2m)では、栄養株は調査期間中を通じて出現した。株密度は1996年5月から11月にかけては約15株/枠の値が継続した。11月以降、株密度は増加傾向を示し、1997年2月に28株/枠の最高値を示した。その後、株密度は減少傾向に転じ、5月には18株/枠となった。生殖株は、1996年5月から7月までの期間および1997年3月から5月までの期間に出現した。株密度は前者の期間には約3株/枠と低い値が持続したが、後者の期間では月を追うごとにその値は増加傾向を示し、1997年5月に9株/枠の最高値となった。実生株は1996年12月から1997年5月までの期間に出現した。株密度は1996年12月時点では3株/枠と低い値であったが、1997年1月、2月には45株/枠の最高値を示した。その後、株密度は減少傾向を示し、5月には6株/枠と1月、2月時点における株密度の13%まで減耗した。

定点別の堆積した砂の厚さ 期間別、定点別に堆積した砂の厚さを Fig. 4 に示した。1996年5月から8月までの期間に各定点に堆積した砂の厚さは0.5~1.25 cmの範囲であった。しかし、同年8月から12月までの期間に各定点に堆積した砂の厚さをみると、定点BおよびCでは0.5 cmと前期間とほぼ同様の値を示したが、定点Aでは

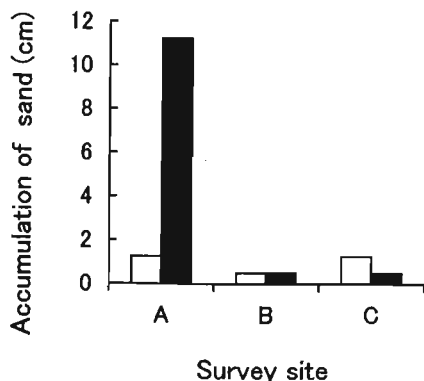


Fig. 4. Accumulation of sand at each survey site from May to August and from August to December in 1996. Alphabet A, B and C indicate survey site, respectively. Open and closed column indicate accumulation of sand from May to August and from August to December in 1996, respectively.

11.25 cm と他と比較して大きい値を示した。したがって、定点Aでは1996年8月から12月にかけての期間に砂の大きな移動・堆積が起り、砂面に大きな変動が生じたことが明らかとなった。

水深別の底質 調査海域における水深1, 2, 3 mの底質の分析結果を Table 1 に示した。水深別の粒度組成をみると、各水深とも砂分（粒径0.075~2 mm）の割合が最も多く（60~96%）、水深が増加するに従ってその割合は減少する傾向を示した。これに対して、泥分（粒径<0.075 mm）の割合（3~9%）と礫分（粒径≥2 mm）の割合（1~29%）は、水深が増加するに従ってその割合が増加する傾向を示した。各水深の中央粒径値は0.36~0.78 mmの範囲であり、強熱減量の値は1.1~3.3%の範囲であった。両者とも水深が増加するに従ってその値が増加する傾向を示した。全硫化物量は、水深1 mでは0.01 mg/g 以下であったが、水深2, 3 mでは0.02~0.03 mg/g であった。

潜水観察 調査期間を通じてアマモ群落には植食動物や

他の海藻の堆積は観察されなかった。各定点およびその周辺では6~8月にかけて若干のアマモの漂着、滞留が観察された。定点Cおよびその周辺に関しては、1996年5月から7月にかけての期間および同年12月から1997年1月にかけての期間中にアマモの他にアオサ類 *Ulva* sp. とハネモ類 *Bryopsis* sp. の大量の漂着・滞留が認められた。

水深別の光環境 各調査時における水面上と各水深との光量子量の比は水深1 mでは、調査前数日間の降水量が多かった6月には0.28まで低下したが、その他の月では0.44~0.61であった。水深3 mの場合は、同比は調査日毎の変動が少なく、その値は0.12~0.23の範囲であった。また、これらの調査月における陸上での平均光量子量は、1996年5月、6月、7月ではそれぞれ36.5, 32.9, 35.3 mol/m²/day であり、1997年1月、2月ではそれぞれ8.8, 14.4 mol/m²/day であった。各調査月における陸上での平均光量子量に水面上と各水深との光量子量の比を乗じ、各調査月の各水深における平均光量子量を推定し、Table 2 に示した。5~7月の春~夏季の推定光量子量は、水深1 mでは9.2~21.4 mol/m²/day であり、水深3 mでは4.2~6.1 mol/m²/day であった。同様に、1~2月の冬季における推定光量子量は、水深1 mでは4.3~6.3 mol/m²/day であり、水深3 mでは1.7~3.3 mol/m²/day であった。

考察

京都府の内湾性海域におけるアマモの分布は、舞鶴湾では湾奥部の水深0.5~2 m（古旗・岩見, 1965）であり、宮津湾では湾央部の水深2~5 m および湾奥部の水深2~3 m（道家ほか, 1995）である。このように、海域や湾内の位置によりその分布水深帯が異なっているのは、アマモの生育を制限する要因（川崎ほか, 1990；日本水産資源保護協会, 1992）が存在するためであると考えられる。

アマモが分布できる底質環境は砂泥分が80~100%で泥分が30%以下、中央粒径が0.32~3.51、強熱減量が4.4%以下、全硫化物が1 mg/g 以下の条件が必要である（日本

Table 1. Particle size composition, median particle diameter, ignition loss and total sulfide at 1 m, 2 m and 3 m depths of survey area

Depth (m)	Particle size composition (%)			Median particle diameter (mm)	Ignition loss (%)	Total sulfide (mg/g)
	Silt and clay (0.075 mm≥)	Sand (0.075~2 mm)	Granule (2 mm≤)			
1	3	96	1	0.36	1.1	<0.01
2	9	79	12	0.39	2.8	0.03
3	11	60	29	0.78	3.3	0.02

Table 2. Changes in estimated photosynthetically active radiation at 1 m and 3 m depths from May to July in 1996 and from January to February in 1997

Date/Depth	1 m	3 m
May 24, 1996	19.7	6.1
Jun. 24	9.2	4.9
Jul. 18	21.4	4.2
Jan. 28, 1997	4.3	1.7
Feb. 27	6.3	3.3

水産資源保護協会, 1992)。今回の調査海域の底質としては水深 3 m 帯の砂分率が低い以外, その他の条件は水深 3 m 帯までアマモが分布できる範囲内にある (Table 1)。一方, アマモが分布できる光環境は平均光量子量が春～夏季に 3 mol/m²/day, 秋～冬季に 1.5 mol/m²/day の条件が必要である (川崎ほか, 1990; 川端ほか, 1990)。今回の調査結果では, 春～夏季および冬季における水深別の平均光量子量から, 少なくとも水深 3 m までアマモが分布できる条件の範囲内にある (Table 2)。したがって, 今回の調査海域は水深 3 m までアマモが分布できる底質環境と光環境にあるものと判断される。

今回の調査結果から, 生殖株は定点 A (水深 1.0 m), 定点 B (水深 1.6 m), 定点 C (水深 2.2 m) とともに 3 月から 6 月ないし 7 月までの期間に出現することが明らかとなった (Fig. 3)。したがって, 各定点では生殖株から放出された種子に由来する実生株が出現するはずである。しかし, 今回の調査結果からは, 実生株は定点 B および定点 C においては 12 月から翌年 5 月まで出現するが, 定点 A ではまったく出現しないことが明らかになった (Fig. 3)。すなわち, これらの事実はアマモの分布する水深帯の上限に当たる定点 A (水深 1.0 m) では実生株が生育しない条件下にあることを示している。前報 (道家ほか, 2000) で述べたように, 今回の調査海域における種子の放出時期は 6 月であり, 放出された種子の発芽時期は 12 月以降である。ただし, アマモの種子が落下してから発芽までの間に 15～20 mm 以上の厚さの砂が変動すると, 発芽に影響がでるとされている (福田, 1987)。今回の調査では, 定点 A において 8 月から 12 月にかけての期間に約 10 cm 以上という厚さで砂が堆積し, 砂面に大きな変動が生じたことが明らかにされた (Fig. 4)。したがって, 定点 A (水深 1.0 m) で実生株が生育しなかった理由としては, 放出された種子が発芽するまでの間に大きな砂面変動が生じ, 種子が深く埋没すること等により発芽できなかったためではないかと推察される。

川崎ほか (1990) はアマモが繁茂しているのは干潮線に深に限られ, 干出する場所にも生育は可能であるが, その分布密度は粗であると報告している。調査海域のアマモ場では, アマモの分布する水深帯の上限は水深 1.0 m (定点 A) であった (Fig. 2)。これに対して, 1969 年以降の舞鶴湾での低極潮位は, 舞鶴湾平均潮位を基準として約 -77 cm であった。したがって, 調査海域のアマモ場は周年にわたって干出することはない。川崎ほか (1990) の報告に従えば, 今回調査したアマモ場はアマモの分布域をより浅所まで拡大できる可能性がある。ただし, 短期間に 10 cm 以上の海底面の変動がある場所はアマモの生育に適さないとされている (川崎ほか, 1990; 園ほか, 1998)。前述した通り, 定点 A (水深 1 m) では 8 月から 12 月までの期間に 10 cm 以上の砂面変動が確認された (Fig. 4)。したがって, このような砂面変動は今回調査したアマモ場においてアマモがその分布域をより浅所まで拡大することを阻害している要因ではないかと考えられる。

以上のように, アマモの分布域の上限において, 生殖株から放出された種子に由来する実生株が生育しなかった理由や, アマモがその分布域をより浅所まで拡大することを阻害している要因として, 8 月から 12 月までの期間にそれらの場所で生じる大きな砂面変動を指摘することができる。

定点 B では 1 月には 60 株/枠の実生株の発芽が確認され, 定点 C では 1 月から 2 月に 45 株/枠の実生株の発芽が確認された (Fig. 3)。しかし, 両定点ともその後, 実生株の密度が減少し, 5 月には 5～6 株/枠となった (Fig. 3)。このように, 発芽した実生株が春季に若齢個体群として群落にほとんど添加していないことが明らかとなった。喜田・前川 (1985) は, アラメ・カジメ群落では, 大型個体群の密度の多寡によって場の光環境が大きく異なり, その場に新たに添加してくる若齢個体群の消長はこの光環境に強く影響されるとしている。したがって, 群落内で発芽した実生株が春季までにはほとんど残存しないという現象は, 実生株と既存の栄養株との間や実生株相互間で, 光の獲得をめぐる激しい競争が存在していることを示唆しているのではないかと考えられる。

定点 C (水深 2.2 m) はアマモの分布する水深帯の下限にあたるが, 調査期間を通して定点 A (水深 1 m) や定点 B (水深 1.6 m) よりも栄養株の密度が低く, 夏季にも密度の低下がほとんどみられなかった (Fig. 3)。Aoi (1980) は, アマモの密度は砂域で高く, 泥域で低くなり, 砂泥域でこれらの中間の値を示すこと, また, 泥域では砂域や砂泥域と比べて季節的な密度の変動が少ないことを報告している。今回の調査海域では水深が増すほど砂分の割

合が低下し、泥分や礫分の割合が増加する (Table 1)。したがって、定点Cにおいて栄養株の季節的な密度変化が比較的少なかったのは、同定点の底質が他の定点と比較してより泥域に近かったことが影響しているのかもしれない。

また、上述したように、今回の調査海域は水深3mまではアマモが分布できる底質環境と光環境にあるものと判断されるが、アマモの分布する水深帯の下限は定点Cの水深2.2mであった。著者らは定点Cにおいて5月から7月と12月から1月の期間にアオサ類、ハネモ類等の海藻が大量に漂着しており、それらがアマモに遮られる形で定点周辺から数mの幅で堆積しているのを観察した。これらの海藻が大量に漂着、堆積する時期は種子が添加、発芽する時期や栄養株が盛んに分枝する時期に相当する (道家ほか, 2000)。したがって、このような海藻の大量の漂着、堆積は物理的に種子の着底を阻害したり、これらの海藻が腐敗することによって底質を悪化させ、種子の発芽、生育、栄養株の分枝を阻害させることにより、アマモがより深所へ拡大することを制限している可能性が考えられる。

以上のように、舞鶴湾内に分布するアマモを対象としてその分布を制限する要因について底質環境、光環境、生物環境などの側面から検討を加え、同湾内でアマモ場が維持されている機構の一端について明らかにした。同時に、これらの検討の中で同群落の維持機構に関するいくつかの可能性、示唆が得られた。今後、この群落維持機構についてさらに研究を進め、舞鶴湾内でのアマモの増殖手法を確立したい。

文 献

- Aioi, K.. 1980. Seasonal change in the standing crops of eelgrass (*Zostera marina* L.) in Odawa Bay., Central Japan. *Aquat., Bot.*, **8**: 343-354.
- 園 昭紀・森口朗彦・三橋公夫・寺脇利信. 1998. 鳴門地先におけるアマモ場と底質および波浪との関係. *水産工学*, **34**(3): 299-304.
- 道家章生・宗清正廣・辻 秀二・井谷匡志. 1994. 京都府の海藻—I 舞鶴湾の海藻の分布. *京都海洋セ研報*, **17**: 72-79.
- 道家章生・宗清正廣・辻 秀二・井谷匡志. 1995. 京都府の海藻—II 宮津湾の海藻の分布. *京都海洋セ研報*, **18**: 22-27.
- 道家章生・葭矢 護・井谷匡志. 2000. 舞鶴湾におけるアマモ群落の特徴—密度, 現存量, 草丈組成の季節変化—I. *京都海洋セ研報*, **22**: 22-28.
- 福田富雄. 1987. アマモ場造成に関する研究—VII アマモ種子の播種深度. *岡山水試報*, **2**: 32-34.
- 入江隆彦・梅崎 勇. 1981. 舞鶴湾の海藻の分布について. *北水研報*, **46**: 47-55.
- 川端豊喜・長谷川恒孝・富田伸明. 1990. 柳井湾におけるアマモの生長様式とアマモ場造成試験. *沿岸海洋研究ノート*, **27**(2): 146-156.
- 川崎保夫・石川雄介・丸山康樹. 1990. アマモ場造成の適地選定法. *沿岸海洋研究ノート*, **27**(2): 136-145.
- 喜田和四郎・前川行幸. 1985. アラメ・カジメ群落に関する生態学的研究—V 茎長組成および年齢群の季節変化. *三重大水産研報*, **12**: 119-129.
- 古旗喜太夫・岩見喜作. 1965. 舞鶴湾漁業開発総合調査報告書, 大型海藻の分布調査. *京水試業績*, **26**: 57-79.
- 日本水産資源保護協会. 1992. アマモ類. 環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための「判断基準」と「事例」. 38-47.

Synopsis

Some Aspects of Eelgrass (*Zostera marina*) Communities in Maizuru Bay—II

—Limit Factors on Eelgrass Distribution—

Akio DOUKE, Masashi ITANI and Mamoru YOSHIYA

Seasonal variation in density of vegetative, reproductive and seedling shoots at a eelgrass (*Zostera marina*) community in Maizuru Bay were studied from May 1996 to May 1997.

Though the eelgrass are estimated to be able to survive from 0 to 3 m in depths under sole and light conditions in this survey area, they distribute from 1.0 to 2.2 m in depths. Heavy accumulation of surface sand from autumn to winter seasons is supposed to cause an inhibition from an expansion of upper limit of the distribution. The seedling shoots germinated in the middle part of the community in winter season disappeared until spring season. The disappearance of the seedling shoots suggests severe survival competitions between seedling and reproductive shoots or in each seedling shoot. In the case of lower limit of the distribution, a low productivity of the eelgrass and a poor variation of the density were shown. An accumulation of other seaweeds on the deeper bottom of the lower limit of the distribution is supposed to cause an inhibition from an expansion of the lower limit by prohibiting for germination and growth of the seeds as their covering of the bottom or by spoiling the sole as decaying themselves.