

## 愛媛県沿岸におけるアマモ群落および形態特性とその多様性

吉田吾郎<sup>1\*</sup>・谷本照己<sup>2</sup>・平田伸治<sup>3</sup>・山下亜純<sup>4</sup>・梶田 淳<sup>5</sup>・水谷 浩<sup>5</sup>  
 大本茂之<sup>6</sup>・斉藤憲治<sup>7</sup>・堀 正和<sup>1</sup>・浜口昌巳<sup>1</sup>・寺脇利信<sup>1</sup>

## Community and Morphological Characteristics of *Zostera marina*, and their Diversity along the Ehime Prefectural Coast, Shikoku Is., Japan

Goro YOSHIDA<sup>1\*</sup>, Terumi TANIMOTO<sup>2</sup>, Shinji HIRATA<sup>3</sup>, Azumi YAMASHITA<sup>4</sup>,  
 Atsushi KAJITA<sup>5</sup>, Hiroshi MIZUTANI<sup>5</sup>, Shigeyuki OMOTO<sup>6</sup>, Kenji SAITOH<sup>7</sup>,  
 Masakazu HORI<sup>1</sup>, Masami HAMAGUCHI<sup>1</sup>, and Toshinobu TERAWAKI<sup>1</sup>

**Abstract:** Community and morphological characteristics of *Zostera marina* were surveyed at 6 survey stations along the Ehime Prefectural coast in the season of luxuriant growth. The stations were located in different sea areas with different climatological and oceanographical conditions, that is, St. 1 (Ohmi-shima Is.), St. 2 (Asanami) and St. 3 (Gogo-jima Is.) in Aki-nada (central Seto Inland Sea), St. 4 (Mitsukue) in Iyo-nada (western Seto Inland Sea), and St. 5 (Yoshida), St. 6 (Miura) in the Uwa Sea.

The characteristics were quite different among the stations and among the different depths in each station, and mean shoot densities and biomass ranged 68- 869 shoots m<sup>-2</sup> and 69.7-171.8 gDW m<sup>-2</sup> respectively among the stations. In general, *Z. marina* communities were constituted by larger shoots in size with lower densities in the stations of Aki-nada, and by smaller shoots with higher densities in the stations of Iyo-nada and the Uwa Sea. Especially, shoot density in St. 6 was quite higher which is 869 shoots m<sup>-2</sup> in mean (and 1,185 shoots m<sup>-2</sup> in the densest place). The below-ground parts of the *Z. marina* communities in Iyo-nada and the Uwa Sea were more developed than those in Aki-nada, which was shown in their ratio of below-ground biomass to total biomass. The variation in morphological and community characteristics observed here was considered to reflect the phenotypic plasticity of *Z. marina* expressed under various physical conditions of the habitats, as well as genetic variations among local populations.

**Keywords:** biomass, Ehime Prefecture, morphology, Seto Inland Sea, shoot density, Uwa Sea, *Zostera marina*

<sup>1</sup>(独)水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所 (National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research Agency, Hatsukaichi, Hiroshima 739-0452, Japan)

<sup>2</sup>(独)産業技術総合研究所中国センター (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-0046, Japan)

<sup>3</sup>愛媛県農林水産研究所水産研究センター栽培資源研究所 (Fisheries Research Center, Ehime Research Institute of Agriculture, Forestry and Fisheries, Iyo, Ehime 799-3125, Japan)

<sup>4</sup>愛媛県農林水産研究所水産研究センター魚類検査室 (Fisheries Research Center, Ehime Research Institute of Agriculture, Forestry and Fisheries, Uwajima, Ehime 798-0087, Japan)

<sup>5</sup>水圏リサーチ株式会社 (Aquatic Research Inc., Hiroshima, Hiroshima 730-0052, Japan)

<sup>6</sup>株式会社エイト日本技術開発 (Eight-Japan Engineering Consultants Inc., Okayama, Okayama 700-0087, Japan)

<sup>7</sup>(独)水産総合研究センター中央水産研究所 (National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Research Agency, Yokohama, Kanagawa 236-0004, Japan)

\*Corresponding author: Tel: 0829-55-3430, fax: 0829-54-1216, e-mail: gorogoro@affrc.go.jp

## 緒 言

海産顕花植物のアマモ *Zostera marina* Linnaeus が形成するアマモ場は、沿岸域の生物生産と物質循環を支えており、重要な生態学的役割を果たしている。一般的にアマモ場は波穏やかで水深が浅く、砂泥質の海底が広がる場所に形成される (寺脇ら 2005)。このような場所は埋め立ての適地でもあり、我が国では沿岸域の開発にともなう多くのアマモ場が失われてきた。近年、沿岸域の環境保全について社会的な関心が高まり、アマモ場の持つ生態学的機能の回復を目的として、各地で漁業者や市民団体等多様な主体によるアマモ場再生活動が活発化している (水産庁, マリノフォーラム21 2007)。

アマモ場の人為的な再生では、近接した群落から採取した草体の移植や種子散布が行われるのが一般的であるが、他海域で採取した材料を用いる場合もある。しかし、アマモやホンダワラ類等の藻場を構成する植物は、遺伝的に多様な地域集団を含むことが近年の研究により明らかになりつつある (Reush et al. 2000; 上井ら 2005; 島袋ら 2012)。したがって、地域間の移植をとまなう再生活動は遺伝的攪乱を生じさせ、これらの種が元来保有していた地域的な特性が失われる懸念がある。

このような背景のもと、平成16年から3年間「生物多様性に配慮したアマモ場造成技術開発調査事業」が水産庁により実施され、我が国沿岸のアマモの地理的分布の現状と、地域個体群における遺伝的多様性の把握が試みられた。同事業において、筆者らは主には瀬戸内海西部のアマモ場で、遺伝子解析のためのアマモ草体採集を実施するとともに、並行して各所のアマモの形態や群落構造の特徴などの生態的特性を調査し、それらにみられる地域多様性の把握を試みた。本報告は、広島湾とその周辺海域 (吉田ら 2013) に引き続き、愛媛県沿岸における上記の調査結果をとりまとめたものである。

愛媛県は瀬戸内海域から豊後水道 (宇和海) 域におよぶ極めて長い海岸線を有し、それに沿って

海洋環境も大きく変化する。瀬戸内海中央部の海域は平均水深が浅く、比較的平坦な砂泥質の海底が広がるのに対し、豊後水道域では岩礁の卓越した急深のリアス式海岸が続く。水温についても瀬戸内海中央部の燧灘では冬季に10℃以下まで低下するのに対し、黒潮流域に接続する豊後水道の南端では18℃程度に維持される (宇野 2004)。この愛媛県北部から南西部にかけて水温の勾配にとまなう沿岸域の生物相も温帯性から亜熱帯性へと大きく変化する (吉田ら 2011)。

このような環境の変化をとまなう複数の調査地で得られたアマモおよびアマモ場に関する情報は、上述の事業の目的であるアマモの地域的多様性の解明のみならず、それぞれの場所の環境特性に応じた保全施策を講じる上でも重要となる。また、近年地球規模の気候変動の生態系への影響が懸念されており、長期的な視点に立った様々なモニタリングプロジェクトが立ち上がっている (e.g., 横井ら 2011; 寺田 2011; 仲岡, 渡辺 2011)。実際に、西日本の暖流域沿岸を中心とした海域では、すでに大型褐藻類による藻場の非定常的な消失・衰退 (磯焼け) が拡大しつつある (e.g., 平岡ら 2005; 荒武ら 2007; 藤田ら 2010)。このような背景のなかで、各地のアマモ場や海藻類藻場の現状について詳細な記録を残すことは、今後進行が予測される沿岸生態系の変化をいち早く察知し、その機構解明や適切な対応施策のためにも意義があると考えられる。

## 材料と方法

### 調査場所およびアマモの分布把握

調査は、愛媛県今治市大三島の宗方 (旧・越智郡大三島町) (St. 1)、松山市の浅海原 (旧・北条市) (St. 2)、松山市の興居島東岸の船越 (St. 3)、西宇和郡伊方町三机 (旧・瀬戸町) の小振 (St. 4)、宇和島市の吉田町白浦 (旧・西宇和郡) の先新浜 (St. 5)、宇和島市三浦西の豊浦 (St. 6) で実施した (Fig. 1, Table 1)。環境省の自然環境保全基礎調査 (環境庁自然保護局, 財団法人海中公園セ

Table 1. Locations of the survey stations and date of survey in this study

St. No.	Location	Surveyed <i>Zostera</i> area (ha)	Date of Survey	
St.1	Munakata, Oh-mishima Is., Imabari City	N 34 11.900, E 132 56.654	25.72	11th Jul. 2005
St.2	Asanami, Matsuyama City	N 34 00.617, E 132 47.708	2.68	12th Jul. 2005
St.3	Funakoshi, Gogo-jima Is., Matsuyama City	N 33 53.338, E 132 40.616	9.01	13th Jul. 2005
St.4	Koburi, Mitsukue, Ikata Town	N 33 27.100, E 132 15.289	0.45	14th Jul. 2005
St.5	Sakishin-hama, Shiroura, Yosida Town	N 33 18.550, E 132 31.617	3.50	23th May 2006
St.6	Toyouura, Miura-nishi, Uwajima City	N 33 10.133, E 132 29.600	0.46	24th May 2006

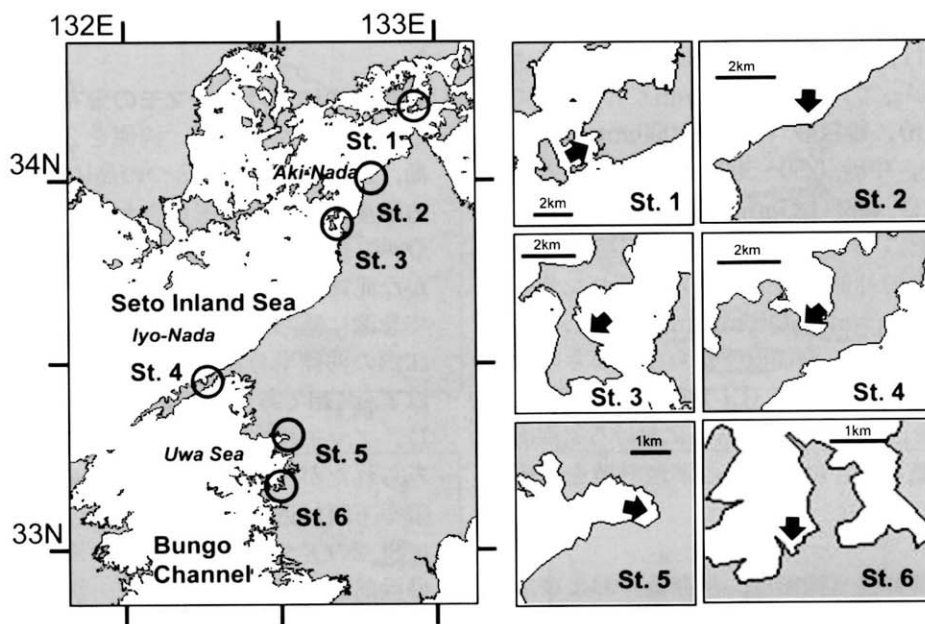


Fig. 1. Locations of the six survey stations of *Zostera marina* population in this study.

ンター 1994) の海域区分によれば, St. 1, St. 2, St. 3は瀬戸内海の安芸灘に, St. 4は同・伊予灘に, St. 5およびSt. 6は豊後水道に位置している (吉田ら 2010)。豊後水道の愛媛県側を慣習的に宇和海と呼ぶので, 本報告についてもSt. 5およびSt. 6の位置する海域を宇和海と呼称する。

アマモの繁茂期を選び, St. 1~4では2005年の7月に, St. 5, 6では2006年の5月に調査を行った。アマモの分布に関する既往情報 (環境庁自然保護局, 財団法人海中公園センター 1994; 愛媛県中予水産試験場 2004) および漁業者からの聞き取り等により, アマモの分布が事前に確認されている海岸前面の幅数百m程度の範囲において, 音響測深機 (FISHERITE 480, EAGLE社製) を搭載した小型船舶で岸沖方向の航行を繰り返して, 海底の記録を電子的に取得し, 記録上の草体の影からアマモの有無を把握した。航行と同時に船舶の位置をDGPS (AG124, トリンブル社) で記録し, アマモの分布域を推定した。

上述の方法で把握されたアマモ場の中心部に, 岸沖方向の調査測線を設定し, 測深機の反応記録からアマモの分布上限 (アマモ場の岸側境界) および分布下限 (同沖側境界) を特定してこれらの場所にブイを投入し, 目印とした。

#### アマモ採集と株密度, 現存量, 形態等の測定

SCUBAにより, 調査測線上にて水深にともなうアマモ被度の変化を目視観察した後, 測線上の上限, 下限のブイ間の距離を4等分し, 上限からブイ間距離の1/4, 2/4, 3/4の地点でさらにブイを投入した。本稿では, 以後この3点について, それ

ぞれS (Shallow) 点, M (Middle) 点, D (Deep) 点と表記する。

S, M, D点でそれぞれ50cm方形枠を3枠ずつ設置し, 枠内のアマモを地下部から掘り起こし, 草体を全て採集した。枠取りしたアマモについて, 株密度 (栄養株と生殖株の総計) と生殖株の割合を求めた後, それぞれの株を地上部 (葉鞘と葉身) と地下部 (地下茎と根) に切り分けた。株における地上部と地下部の境界については, 成長点付近に突起状に確認できる最も新しい根の発出部位とみなした。これらを60°C下で48時間乾燥し, 地上部, 地下部のそれぞれの重量を求めた。

各枠のアマモから8~10株を無作為に選び, 各アマモ場のS, M, D点でそれぞれ計24~30株について, 地上部の全長と幅を測定した。幅については草体の葉鞘直上の最も大きい葉幅と定義した。また, 地下茎の1節間 (internode) あたりの平均長と平均長径を測定した。平均長については, 各株の成長点に近い方から5節間の長さを測定し, 1節間あたりの平均を求めた。また平均長径については, 同じく成長点に近い方から2番目と5番目の節間の長径のみを測定し, 平均した。

#### アマモ場の底質・光環境の測定

調査測線上のアマモ場上限 (Upper limit; U.L.), S点, M点, D点, 下限 (Lower limit; L.L.) において, 表層から10cm分までの底質を, 直径4cmのコアで3本分採集した。それぞれのコア採集物について, 強熱減量 (Ignition loss) および粒度を測定した。強熱減量については乾燥させた底質試料を550°Cで6時間燃焼して測定した。粒度に

については、20~30g (湿重量) の底質試料をふるい振とう機にかけ、Wentworthの粒径区分 (茂木 1971) にしたがって、レキ (4000 $\mu$ m<), 細レキ (2000~4000 $\mu$ m), 極粗砂 (1000~2000 $\mu$ m), 粗砂 (500~1000 $\mu$ m), 中砂 (250~500 $\mu$ m), 細砂 (125~250 $\mu$ m), 極細砂 (63~125 $\mu$ m), 泥 (<63 $\mu$ m) のように区分した。

またアマモ場の沖側において、光量子センサー (LI-192SA Underwater Quantum Sensor, LI-COR社製) を垂下し、海面直下から1mおきの水中光量子量をデータロガー (LI-1400, LI-COR社製) により記録した。水深3~5mにおける対海面の相対光量子量をもとに、海水の消散計数を算出した。

#### 統計解析

アマモの群落特性 (株密度, 現存量) および形態的特性 (草体の全長・幅, 1節間の全長・長径) の各項目について、データの等分散性に依じて一元配置の分散分析 (one-way ANOVA) もしくは Kruskal-Wallis testで、調査地ごとにS, M, D点間の差を検定した。調査地間の差については、それぞれの3点のデータをまとめ、Kruskal-Wallis testにより検定した。なお、本文の結果の項では、調査地間およびそれぞれの調査地の3点間のこれらの分析結果については詳述せず、必要に応じて有意差の有無 (有意水準5%以下) のみ述べた。

群落および形態的特性の各項目間の関連性を明らかにするため、St. 1~St. 6の6調査地のS, M, D点のそれぞれで採集した3枠分の平均値をサンプル (n=18) として、これらの項目の全ての組み合わせについてPearsonの相関係数を求めた。

また、光環境および底質環境はアマモ等海藻類の群落特性に影響を与える要因として知られている (向井 1982)。上記の各点の水深における対海面相対光量および泥分率 (底質における<63 $\mu$ m画分の対重量割合) をそれぞれ光環境および底質環境の指標とし、Spearmanの順位相関係数により、これらの環境の傾度と群落・形態的特性の各項目の関係を推測した。各点の対海面相対光量については、各点のC. D. L. 水深に松山市 (St. 1~4の場合) および宇和島市 (St. 5, 6の場合) の過去20年の平均潮位それぞれ2.3および2.2mを加え、各調査地の調査時の海水の消散計数から便宜上算出した。過去20年の平均潮位については、海岸昇降検知センターHP (caisi.gsi.go.jp/cmdc/center/annual.html) 記載のデータから算出した。

## 結 果

### 各調査地におけるアマモの分布

St. 1のアマモ場は、両側を2つの岬、沖側を柏島、肥島、大下島の3つの島に遮蔽された1km四方程度の入江内に形成されていた。入江内は水深0~2m (C. D. L. 基準。以下同。) 程度のなだらかな泥質の海底であり、入江外では水深10m以深まで急激に落ち込んでいた (Fig. 1-3)。アマモは入江内の沖側半分に分布し、調査測線上の分布水深は1~4mであり、面積は25.7haであった (Table 1)。アマモ場内にはアオサ類の堆積も比較的多くみられたが、アマモの被度は80%程度であり、上限や下限付近では20%程度に急激に低下した。

St. 2のアマモ場は、北方に海面が開けた海岸の砂浜前面に形成されており、調査測線上のアマモ分布範囲は0.5~4.5mであった (Fig. 1-3)。水深1~3mでは被度60~80%程度であったが、それより深所では被度は漸減した。把握したアマモ場の面積は2.7haであった (Table 1)。

St. 3のアマモ場は興居島東岸の砂浜前面に形成され、調査測線上のアマモ分布範囲は0~5mであった (Fig. 1-3)。アマモの被度は高く、上限と下限付近を除き80%以上であった。把握した面積は9.0haであった (Table 1)。

St. 4のアマモ場は、北側に伊予灘の開けた三机湾の湾奥にあり、それぞれ0.2ha程度の2つのパッチからなっていた (Fig. 1, 2)。調査測線上では50m程度の距離で水深が1から5m程度まで変化し (Fig. 2, 3)、アマモの被度は最も高い水深帯 (2~3m程度) でも50%程度であった。アマモの上限に近い水深ではレキに着生したホンダワラ類も混生し、上限より浅所はホンダワラ類の群落になっていた。

St. 5のアマモ場は、宇和海から奥まった場所にある法花津湾の最奥域に形成されていた (Fig. 1)。アマモ場は水深1~5mの水深帯であり (Fig. 2, 3)、上限、下限付近を除き、80%程度の被度であった。把握した面積は3.5haであった (Table 1)。

St. 6のアマモ場は、海岸線が複雑に入り組んだ湾奥域にあり、さらに岬状に突き出た2つの岩鼻の間の入江の奥部に形成されていた (Fig. 1)。入江は北向きに外部に開いているが開口部は狭くなっており (Fig. 2)、調査時は極めて波穏やかであった。アマモ場は入江奥部の水深0~2mの範囲にあり (Fig. 2, 3)、被度は上限・下限付近を除き70%程度であった。アマモ場内には、碎波によるものと思われる明瞭な円形の無植生域がみとめられた (Fig. 2)。面積は0.46haであった (Table 1)。



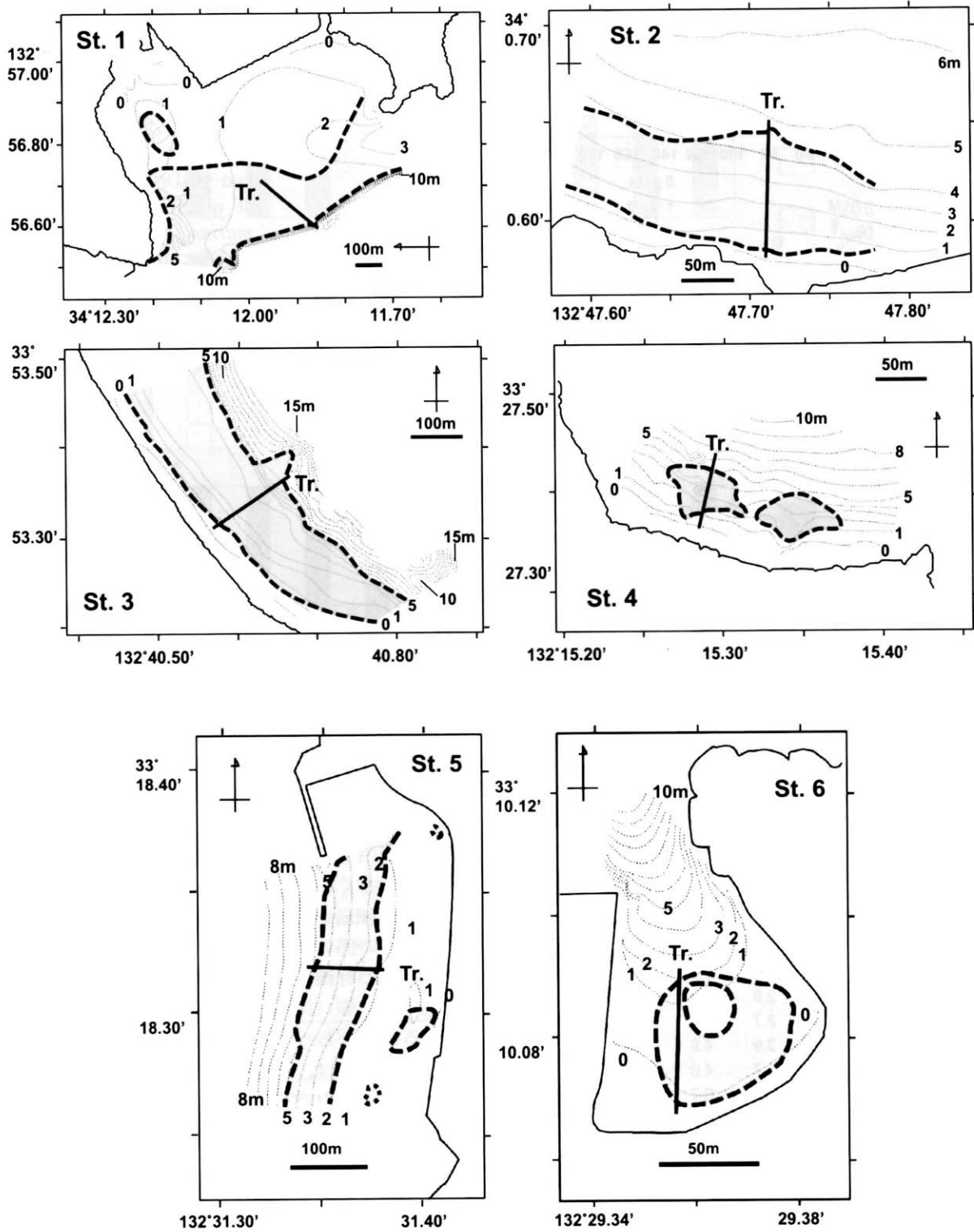


Fig. 2. Schemes of topography and distribution of *Z. marina* (shaded area) at the six stations (St.1-St. 6) surveyed by sonar in this study. The line through each bed (Tr.) indicates the transect set for the observation and sampling (*Z. marina* and sediment) by SCUBA.

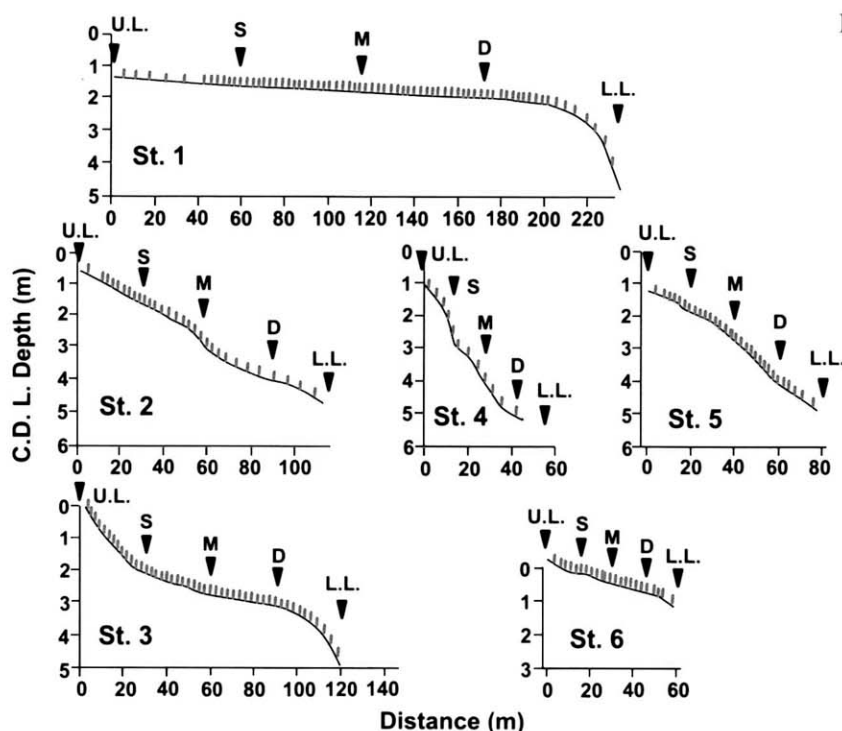


Fig. 3. Schemes of topography and distribution (vertical sections) of *Z. marina* on transects (Tr. in Fig. 2) at the six stations. Arrows indicated sampling points of *Z. marina* and sediment. S (Shallow), M (Middle) and D (Deep) indicate points of quadrat sampling of *Z. marina*, and are located at 25 %, 50% and 75% of the distance between the upper (U.L.) and the lower (L.L.) limit of *Zostera* distribution on the transect, respectively.

Table 2. Depth (C. D. L. ) of sampling points at each station. Points U. L. and L. L. indicate upper and lower limit of *Zostera marina* on the survey transect at each station respectively, and S (shallow), M (middle) and D (deep) indicate points on the transect of a quarter, half and third quarter in the distance between U.L. and L. L., respectively (shown in Fig. 3). The extinction coefficient of seawater at each station is also shown

St. No.	Point					Extinction coefficient
	U.L.	S	M	D	L.L.	
St.1	1.3	1.6	1.7	2.0	4.4	0.30
St.2	0.5	1.5	2.9	4.0	4.5	0.30
St.3	0.0	2.0	2.7	3.1	5.0	0.32
St.4	0.5	2.5	3.9	4.9	5.0	0.26
St.5	1.2	1.7	2.7	4.0	4.9	0.27
St.6	0.0	0.2	0.4	0.7	1.2	0.23

### 各調査地の光・底質環境

調査時の海水の消散係数は0.23~0.32の範囲にあり、瀬戸内海の中央に近いSt.1~3で高かった (Table 2)。光量子量が対海面の50%になる水深はSt.1~3で2 m程度、最も消散係数の低いSt.6で3 m程度であった。

底質の粒径組成には調査地間で大きな差異がみられた (Fig. 4)。

St.1ではアマモ上限からD点まで、粒径が63 $\mu$ mより小さい泥が50%程度を占め、極細砂 (63~125 $\mu$ m) と合わせると80~90%を占めた。St.2では上

限からM点までは中砂 (250~500 $\mu$ m) と細砂 (125~250 $\mu$ m) が多く、レキ (4000 $\mu$ m<) や細レキ (2000~4000 $\mu$ m) も混じった。極細砂と泥はM点より岸側では10%以下であったが、D点、下限になると徐々に増加した。沖側で 極細砂と泥が増加するのはSt.3でも同様であったが、M点、D点での増加は顕著であった。St.4, 5, 6では、アマモ場内の3点において粒径組成は比較的均一であった。St.4では、アマモ場内では細砂、極細砂、泥に加えて、中砂も比較的多く混じった。St.5, 6のアマモ場内では細砂、極細砂が極めて多く、泥も含めた画分で、底質全体の95%以上を占めた (以上Fig. 4)。

底質中の有機物量を示す強熱減量では、どの調査地でも沖側 (深所側) の底質中ほど数値が大きくなる傾向があった (Table 3)。アマモ場内の底質の強熱減量は、総体としてSt.1で4%以上と最も大きく、St.2で2.0%以下と最も小さかった。他の調査地ではほぼ2~3%の範囲であった (Table 3)。

### 各調査地のアマモの群落特性—株密度と現存量—

各調査地のアマモの平均株密度 (およびS, M, D点間の範囲) は、St.1: 68 (51~88) 株 $m^{-2}$ , St.2: 141 (55~228) 株 $m^{-2}$ , St.3: 119 (89~161) 株 $m^{-2}$ , St.4: 187 (133~248) 株 $m^{-2}$ , St.5: 244 (171~369) 株 $m^{-2}$ , St.6: 869 (529~1185) 株 $m^{-2}$  と極めて大きな差異があり (Fig. 5), その差異は統計的に有意であった。また、同一のアマモ場内でも株密度はS, M, D点間で大きく異なり、St.3を除く全ての調査地で有意差がみとめられた。St.2

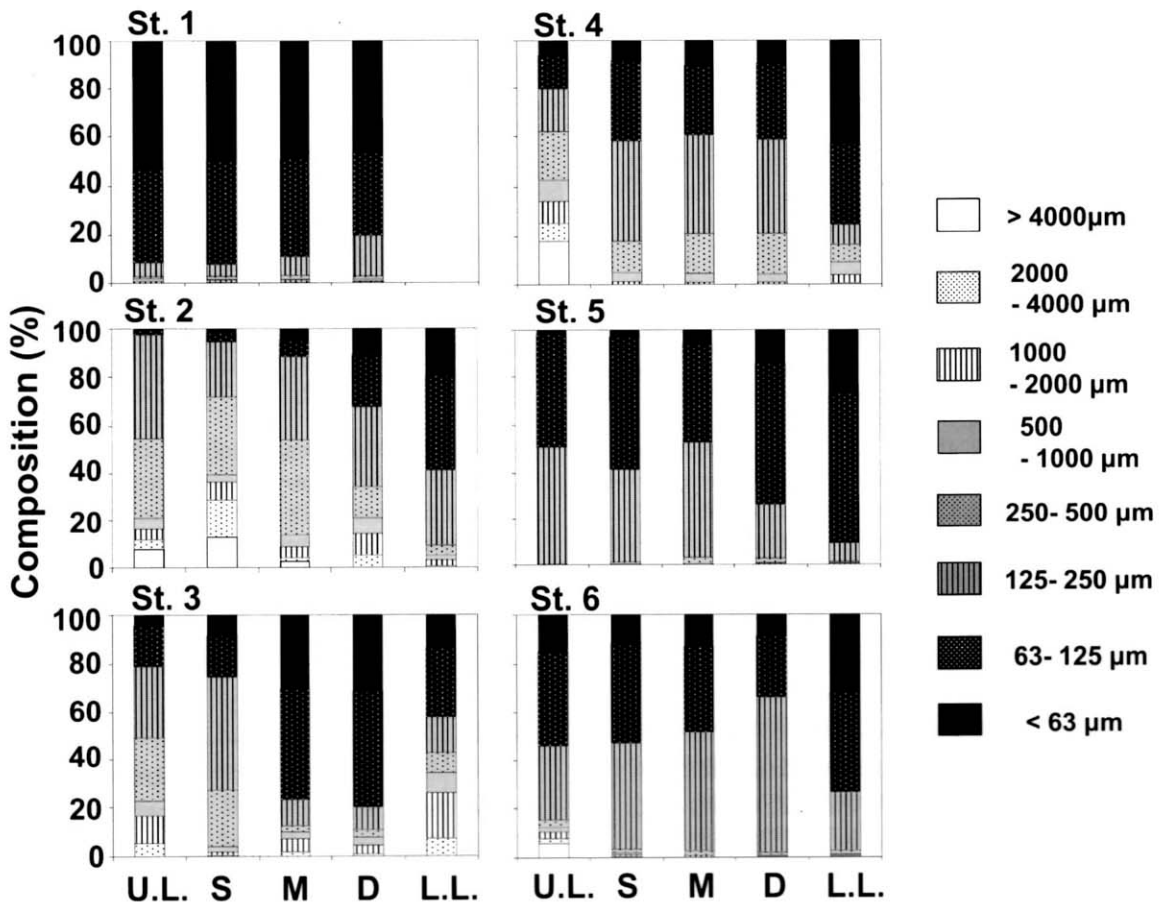


Fig. 4. Grain-size composition of the sediment of the six *Zostera* beds in this study. Sediments were sampled at S, M, D points (see Fig. 3), and the upper (U.L.) and the lower limit (L.L.) of *Zostera* distribution on the transect.

Table 3. Ignition loss of the sediment at each sampling point at each station. Explanation for each point is in the legend of Table 2

St. No.	Point				
	U.L.	S	M	D	L.L.
St.1	4.0	4.3	4.5	5.1	-
St.2	0.9	1.0	1.2	1.9	3.0
St.3	1.4	2.3	2.7	3.2	3.0
St.4	2.1	2.1	2.3	2.5	3.4
St.5	1.7	1.8	2.1	2.7	2.7
St.6	2.7	2.6	2.6	2.5	3.4

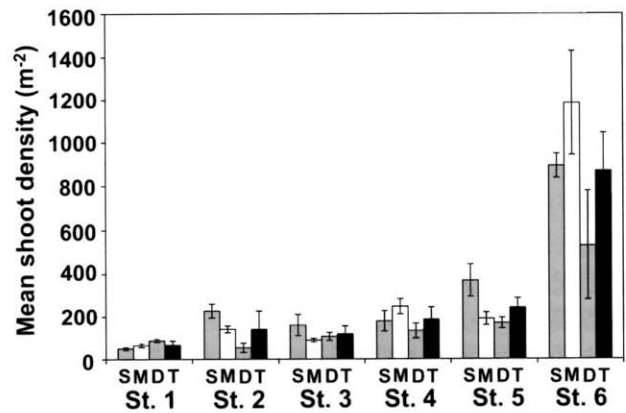


Fig. 5. Mean shoot densities of *Z. marina* at the six stations. Bars of S, M and D show mean densities of three 0.25 cm<sup>2</sup> quadrats sampled at each point (see Fig. 3), and the bar of T (total) shows the mean density of all three points at each station.

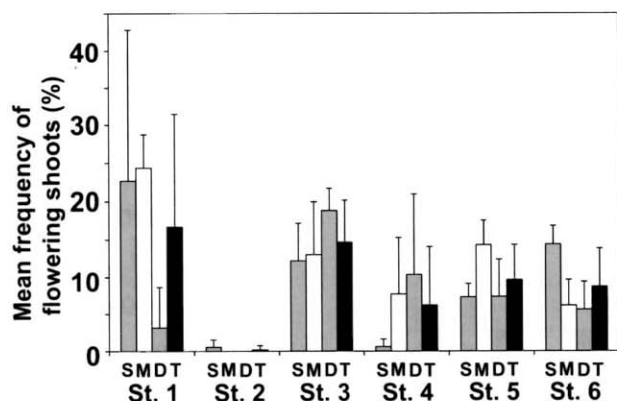


Fig. 6. Frequency of flowering-shoots in all shoots (vegetative and flowering) of *Z. marina* at the six stations in the season of luxuriant growth. Each bar of S, M and D indicates a mean of three 0.25 m<sup>2</sup> quadrats sampled at each point (see Fig. 3), and the bar of T (total) shows the mean density of all three points at each station.

やSt. 5のように岸寄りのS点で株密度が最も高い場合、St. 4とSt. 6のように中央部のM点で最も高い場合、またSt. 1のようにD点で最も高い場合など、水深にともなう密度の変化の様子は調査地で様々であった (Fig. 5)。

生殖株の割合についても、調査地間およびそれぞれの調査地のS, M, D点間で大きな差がみられた。St. 1ではS, M点で生殖株の割合が20%以上であるのに対し、St. 2や、St. 4のS点では、生殖株はほとんどみられなかった。St. 2を除く各調査地の平均は、6.2~16.7%の範囲であった (Fig. 6)。

総現存量 (地上部+地下部) の各調査地の平均 (およびS, M, D点間の範囲) はSt. 1: 170.4 (137.3~211.5) gD. W. m<sup>-2</sup>, St. 2: 111.3 (41.5~150.0) gD. W. m<sup>-2</sup>, St. 3: 171.8 (147.9~188.4) gD. W. m<sup>-2</sup>, St. 4: 69.7 (47.6~104.4) gD. W. m<sup>-2</sup>, St. 5: 104.1 (92.2~116.0) gD. W. m<sup>-2</sup>, St. 6: 169.0 (87.5~214.5) gD. W. m<sup>-2</sup>であった (Fig. 7)。これらには統計的な有意差があったが、株密度の場合ほど各調査地間で大きな値の隔たりはみられなかった。例として、St. 1とSt. 6の間には平均株密度では極めて大きな差異があったが、平均現存量では両調査地はほとんど同様であった (Fig. 7)。

地上部現存量の平均 (およびS, M, D点間の範囲) は、St. 1: 144.2 (118.0~177.9) gD. W. m<sup>-2</sup>, St. 2: 92.8 (36.4~126.3) gD. W. m<sup>-2</sup>, St. 3: 154.1 (128.3~171.1) gD. W. m<sup>-2</sup>, St. 4: 49.2 (31.0~76.3) gD. W. m<sup>-2</sup>, St. 5: 80.1 (76.4~83.8) gD. W. m<sup>-2</sup>, St. 6: 131.7 (64.6~166.2) gD. W. m<sup>-2</sup>であった (Fig. 8)。同様に、地下部現存量の平均 (およびS, M,

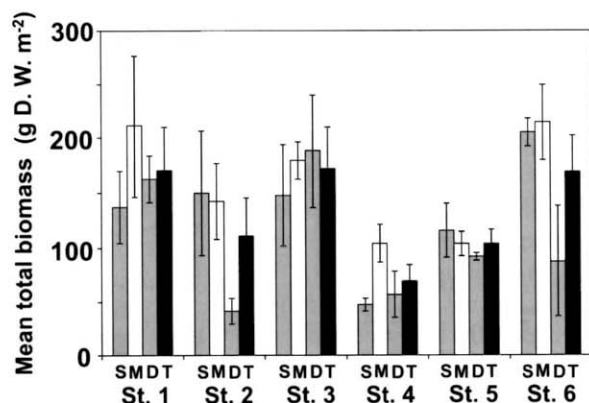


Fig. 7. Mean total biomass (above and below-ground parts) of *Z. marina* at the six stations. Bars of S, M and D show the mean biomass of three 0.25 m<sup>2</sup> quadrats sampled at each point (see Fig. 3), and the bar of T (total) shows the mean biomass of all three points at each station.

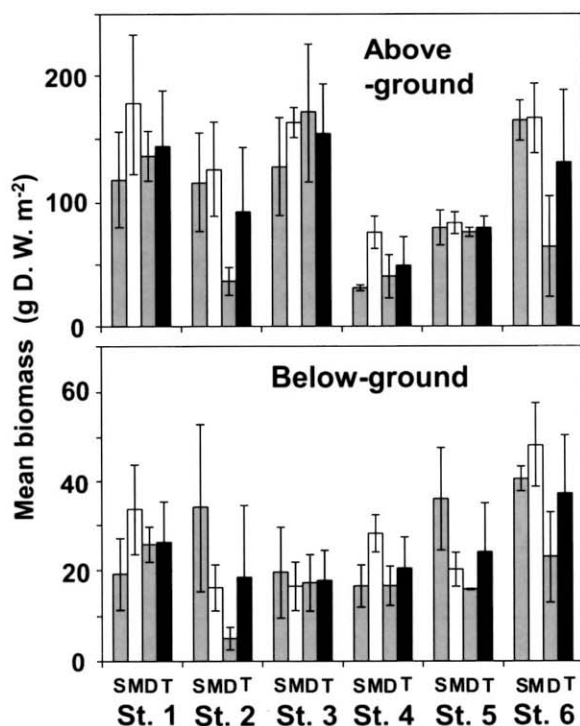


Fig. 8. Mean above- and below-ground biomass of *Z. marina* at the six stations. Bars of S, M and D show the mean biomass of three 0.25 m<sup>2</sup> quadrats sampled at each point (see Fig. 3), and the bar of T (total) shows the mean biomass of all three points at each station.



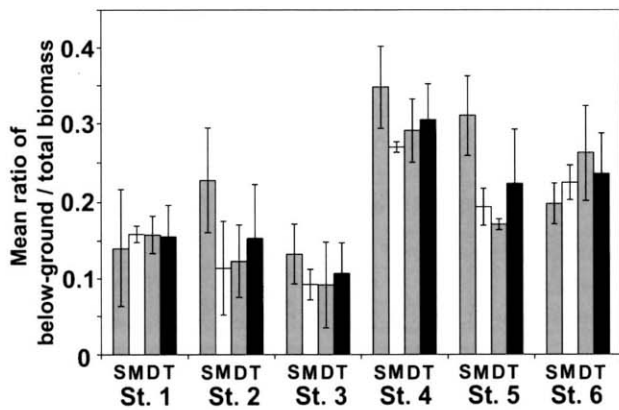


Fig. 9. Mean ratio of below-ground biomass to total biomass of *Z. marina* at the six stations. Bars of S, M and D show the mean ratio of three 0.25 cm<sup>2</sup> quadrats sampled at each point (see Fig. 3), and the bar of T (total) shows the mean ratio of all three points at each station.

D点間の範囲) は, St. 1 : 26.2 (19.2~33.6) gD. W. m<sup>-2</sup>, St. 2 : 18.5 (5.1~34.1) gD. W. m<sup>-2</sup>, St. 3 : 17.8 (16.5~19.6) gD. W. m<sup>-2</sup>, St. 4 : 20.4 (16.6~28.2) gD. W. m<sup>-2</sup>, St. 5 : 24.0 (15.8~36.0) gD. W. m<sup>-2</sup>, St. 6 : 37.3 (23.0~48.2) gD. W. m<sup>-2</sup>であった (Fig. 8)。地上部, 地下部現存量ともに調査地間で有意な差が検出されたが, 地上部の平均現存量にみられる調査地間の差異は, 地下部現存量においてはより小さくなった。例としてSt. 1, St. 3の2調査点とSt. 4の間には, 地上部の平均現存量で3倍程度の違いがあったが, 地下部の現存量ではほぼ同等であった (Fig. 8)。

地上部と地下部の相対量を示す現存量における地下部の比率については, 調査地間の違いがより明瞭となった (Fig. 9)。St. 1~St. 3の各点では, St. 2のS点を除きおおよそ0.1~0.15程度であったが, St. 4~St. 6の各点ではSt. 5のD点を除き0.2~0.35の範囲であり, 地下部現存量が相対的に大きかった (Fig. 9)。

#### 各調査地のアマモの形態的特性

アマモの地上部 (草体) の全長には, 調査地間で大きな差異があり, その差異は統計的に有意であった。St. 1のM点, St. 3のD点では150cmを超える株が多数出現し, 両調査地の平均全長は1m (ともに108cm) を越えた一方で, St. 4の平均全長は50cm程度であった (Fig. 10)。St. 1, St. 3のみならず, 全ての調査地のS~D点でアマモの全長に大きな変異が認められ, 3点の平均全長の差異は統計的に有意であった。調査地により最も全長が大きくなる点は異なっていたが, St. 6を除く全ての調

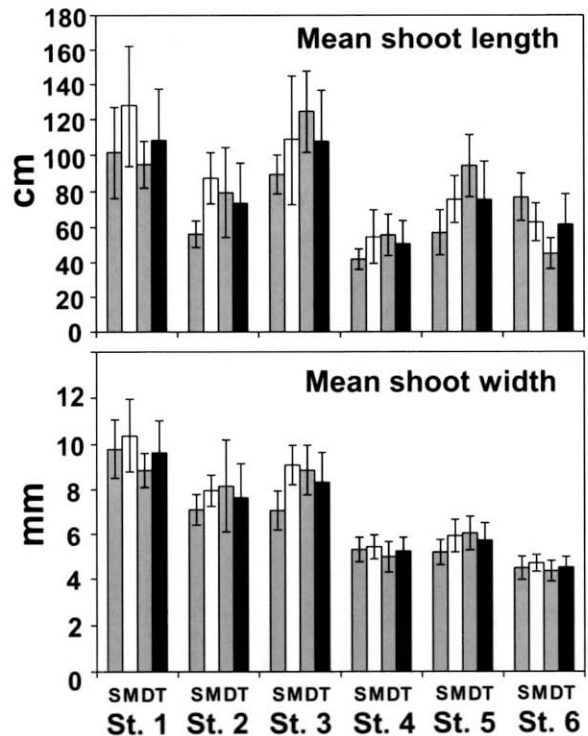


Fig. 10. Mean shoot length and width of *Z. marina* at the six stations. Bars of S, M and D show the mean of 24-30 shoots sampled at each point (see Fig. 3), and the bar of T (total) shows the mean of all shoots of the three points at each station.

査地において岸側のS点でアマモの全長が小さい傾向があった (Fig. 10)。

草体の平均幅についてもSt. 1で9.7mm, St. 3で8.3mmであったが, St. 4, St. 5, St. 6では4.5~5.7mmと小さかった (Fig. 10)。平均幅には調査地間で有意な差がみとめられた。それぞれの調査地のS~D点の間でも, アマモ草体の幅には有意な差があったが, 点間の量的な差異は全長の場合ほど顕著ではなかった。

地下茎の1節間の平均長と平均長径についても, 調査地間で有意な差がみとめられた。平均節間長については, 草体の全長や幅と異なり, St. 4, St. 5, St. 6で他の3調査地と比較し大きかった。一方, 平均長径については, St. 1, St. 2, St. 3の方が大きい傾向があった (Fig. 11)。

Fig. 12に草体の全長・幅の比率, および地下茎の1節間の全長・長径の比率を示した。草体の全長・幅の比率については, 調査地間, または各調査地のS~D点の間でも大きく変異し, それぞれ有意差がみとめられた。最小はSt. 2とSt. 4のS点で平均79, 最大はSt. 6のS点で平均173であった。地下茎の1節間の全長・長径の平均比率については, St. 1, St. 2, St. 3で2.4~3.1, St. 4, St. 5, St. 6で

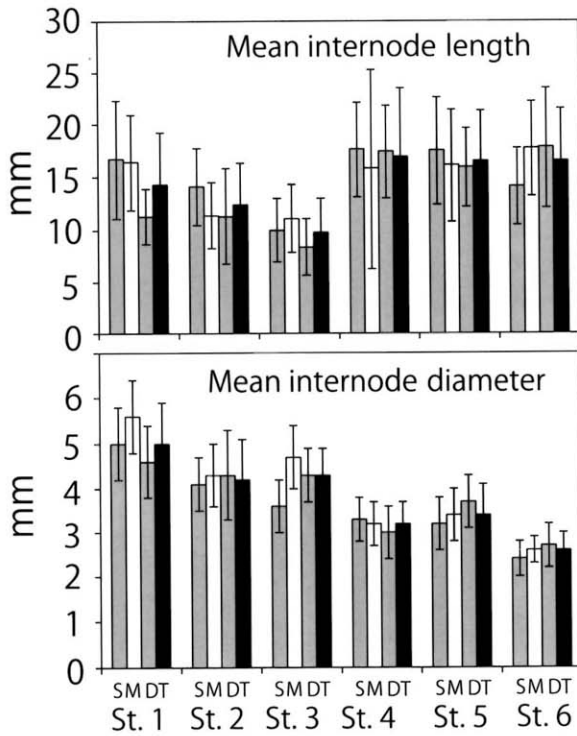


Fig. 11. Mean length and diameter of an internode (measuring the newest 5 internodes of each individual rhizome) of rhizomes of *Z. marina* at the six stations. Bars of S, M and D show mean of 24-30 individual rhizomes sampled at each point (see Fig. 3), and the bar of T (total) shows the mean of all rhizomes of the three points at each station.

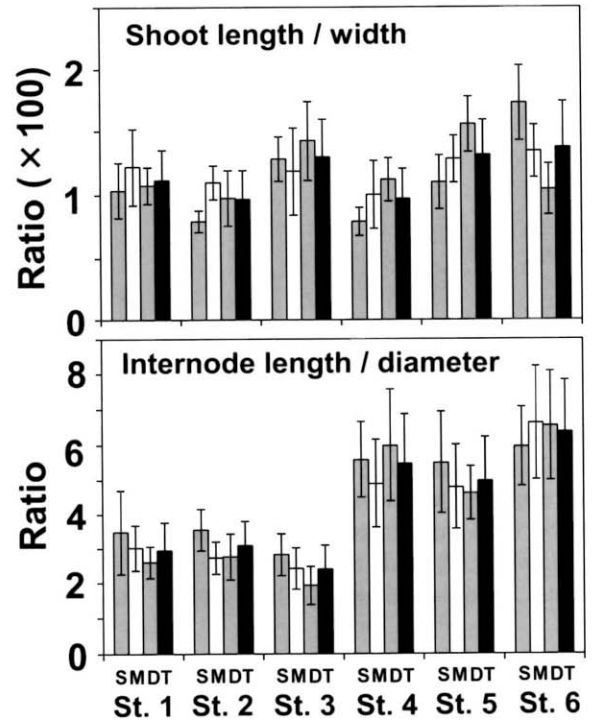


Fig. 12. Mean length/width ratio in shoot and length/diameter ratio of an internode of rhizomes of *Z. marina* at the six stations. Bars of S, M and D show means at each point (see Fig. 3), and the bar of T (total) shows the mean of all three points at each station.

Table 4. Correlation matrix (by Pearson product-moment correlation coefficient) among community and morphological characteristics of *Z. marina*. \*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

	Community characteristics					Morphological characteristics			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Community characteristics</b>									
1. Shoot density	-								
2. Biomass (total)	0.37	-							
3. Biomass (above-ground)	0.25	**0.99	-						
4. Biomass (below-ground)	**0.75	**0.63	*0.49	-					
5. Below-ground/total biomass	0.31	-0.46	*-0.59	0.33	-				
<b>Morphological characteristics</b>									
6. Shoot length	-0.39	*0.56	**0.67	-0.19	**-0.85	-			
7. Shoot width	**-0.64	0.34	0.46	-0.33	**-0.75	**0.83	-		
8. Internode length	0.36	-0.29	-0.41	0.38	**0.77	*-0.57	*-0.54	-	
9. Internode diameter	**-0.71	0.24	0.34	-0.34	**-0.63	**0.76	**0.98	-0.41	-

Table 5. Correlation matrix (by Spearman rank correlation coefficient) between community/morphological characteristics of *Z. marina* and environmental factors, which is a mud (<63 $\mu$ m) content of the sediment and relative irradiance at the depth of the survey point to sea surface \*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

	Environmental factors	
	Mud	Relative irradiance
<b>Community characteristics</b>		
1. Shoot density	*-0.53	*0.54
2. Biomass (total)	0.38	0.41
3. Biomass (above-ground)	0.47	0.28
4. Biomass (below-ground)	-0.07	**0.77
5. Below-ground/total biomass	-0.44	0.38
<b>Morphological characteristics</b>		
6. Shoot length	**0.68	-0.21
7. Shoot width	*0.50	-0.36
8. Internode length	-0.15	*0.50
9. Internode diameter	0.46	-0.33

5.0~6.4と大きな差があった (Fig. 12)。調査地間およびそれぞれの調査地のS~D点の間でも、統計的な有意差がみとめられた。

#### 群落・形態的特性間の関係

St. 1~St. 6の6調査地におけるS, M, D点 (計18点) における平均値をサンプルとして解析した、アマモの群落特性 (株密度, 地上部+地下部 / 地上部 / 地下部現存量, 現存量における地下部比率) および形態的特性 (草体全長, 草体幅, 節間長, 節間長径) の各項目間の相関行列をTable 4に示した。

群落特性の項目間では, 総 (地上部+地下部) 現存量, 地上部現存量, 地下部現存量の相互間で正の相関があった他, 株密度と地下部現存量の間にも正の相関があった。

形態的特性の項目間では, 草体全長と幅, 地下茎の節間長径のそれぞれの間で正の相関があった他, 節間長は草体全長および幅と負の相関があった。

群落特性と形態的特性の項目間では, 株密度は, 草体幅および節間長径との間に負の相関が, 総現存量・地上部現存量は草体全長との間に正の相関が, また現存量における地下部比率は, 形態的特性の全ての項目との間に正 (節間長) もしくは負の相関 (草体全長・幅, 節間長径) があった (Table 4)。

#### 環境要因と生態的・形態的特性の関係

St. 1~St. 6の6調査地のS, M, D点 (計18点)

のそれぞれの海底における対海面相対光量子量 (C. D. L. 水深にそれぞれの海域の平均潮位を加えて算出) および泥分率と, 群落・形態的特性の各項目との間の相関行列をTable 5に示した。泥分率と相関したのは, 株密度 (負), 草体全長および幅 (ともに正) であり, 対海面光量子量と相関したのは, 株密度, 地下部現存量, 節間長 (ともに正) であった (Table 5)。

#### 考 察

今回調査した愛媛県下の6調査地のアマモの株密度, 現存量などの群落特性, また草体の全長や幅, 地下茎節間の長さや長径などの形態的特性には調査地間で大きな差異があった。さらに, これらの特性の多くには, 同一のアマモ場内の異なる水深帯間でも統計的にも裏付けられる明瞭な差異があった。これらの差異は, それぞれのアマモ場の位置する海域や立地する場所の環境特性, さらに小さなスケールではアマモ場内に存在する環境勾配に対応して生じたものであると考えられ, 環境に対するアマモの可塑的な柔軟性を示している。

このように愛媛県下のアマモは群落特性においても, また形態的特性においても多様性の高さを示したが, それらの間には一定の法則を持つ傾向がみられた。

まず, 形態的特性においては, ほとんど全ての項目間で相関がみられた (Table 4)。すなわち, 草体の長いアマモは葉の幅も広くなり, また地下茎も太い傾向があった。したがって, 何らかの環境勾配に応じて, アマモの株のサイズが地上部・地下部ともに全体として大型化もしくは小型化するものと考えられた。ただし, 地下茎の1節間あたりの長さについては, アマモが小型になるほど長くなる傾向があった。

また群落特性においては, 極めて妥当と思われる総 (地上部+地下部)・地上部・地下部現存量の相互間の正の相関が検出される一方で, 株密度は現存量に関わる項目の中で地下部現存量とのみ相関 (正) があった (Table 4)。

次に, アマモの群落特性と形態的特性との関係を考察する。群落特性である株密度と, 形態的特性である草体幅・節間長径の間に負の相関がみられたことから (Table 4), アマモは密生した群落では草体は全体的に細くなる, すなわち小型化することが示唆された。また, 現存量における地下部比率と, 草体全長・幅・節間長径の間には負の相関があったことから (Table 4), 相対的に地下部が発達した群落についても草体が小型である傾

向があった。

以上のことから、群落の株密度—地下部の発達度合い—個々の株のサイズの間には密接な関係があり、群落が高密度になるとアマモは小型化し、地下部は相対的に大きくなるという一定の傾向が見出された。

では、このようなアマモの特性が示す傾向は、どのような環境に影響を受けて生じているのだろうか？環境要因とアマモの特性との相関解析では、泥分率・対海面相対光量子量ともアマモの特性と相関があり (Table 5)、泥分率の高い場所では株密度は低いアマモ草体は大型になり、光環境の良好な場所では反対に密生して地下部現存量が大きく、節間長の長い地下茎を有する (前述のとおり小型草体の形態的特徴) ようになる。したがって、愛媛県沿岸のアマモとその群落の特性が示す一定の傾向は、光・底質に代表される環境の傾度と密接に関連していることが示唆される。

底質環境の変化にもなうアマモとその群落の特性の変化について、類似の事例が他の海域でも観察されている。本州中央部の小田和湾では、湾奥から湾口にかけてアマモ場の底質に変化がみられ、湾の最も外側に位置する砂質の場所の群落では小型の株が密生して地下部が発達しているのに対し、湾奥の泥質の場所の群落では大型の株が比較的低密度で生育し、地下部も相対的に小さい (Aioi 1980)。同様の現象は、瀬戸内海の広島湾 (吉田ら 2013) や、さらに和歌山県田辺湾のコアマモ群落 (上出ら 2011) においても報告されている。

底質がアマモの群落特性に作用する機構として、底質粒径の大小により変化する底質中に保持される栄養塩量の影響の可能性、また底質粒径に影響する海水流動がアマモにも直接的に影響を及ぼしている可能性等が論じられている (向井 1982)。

一般的には底質中の泥分量の増加とともに、それに含有される有機物や栄養塩量も増加する。チェサピーク湾では、砂質の底質中に施肥を行うとアマモの草体が大型になるとともに、株密度、現存量ともに増加したことが報告されており、天然の群落が栄養塩制限状態にあることが示唆されている (Orth 1977)。栄養塩の保持力の低い砂質の群落では、地下部を発達させることが底質中の栄養塩を効率的に吸収する上で適応的であるという考察もなされている (向井 1982)。

一方で、底質の粒径組成はその場における流動とも密接に関連し、一般的に流動の大きい環境下では底質粒径は大きくなる (茂木 1971)。アマモは過度の流動により生じる物理的攪乱に対しては脆弱であり (團ら 1999; 森口, 高木 2005)、草体

を小さくするとともに相対的に地下部を大きくすることは、流動の大きい場所で群落を維持する上でも適応的である (向井 1982)。

光環境については、今回の解析に用いた18点の対海面光量子量と、各点の水深の間には極めて高い相関があった ( $r=-0.91$ ,  $p<0.01$ )。一般的には水深が浅いほど波浪の影響も大きいと考えられるので、‘流動要因説’にしたがえば光環境とアマモの特性との相関は擬似的なものということになる。しかし、光量の大きい環境下の方が密生した群落にとっては好ましいとも考えられるので、多様な環境下でのアマモの特性の発現機構については、今後詳細に検討が必要である。

次に、それぞれの調査地のアマモが示す群落・形態的特性の違いについて概観する。St. 2のアマモの全長が若干小さいが、瀬戸内海中央部 (St. 1, St. 2, St. 3) の調査地のアマモの方が、伊予灘西部のSt. 4, 宇和海のSt. 5, St. 6の3調査地のアマモよりも大型である傾向があった (Fig. 10)。また、形態の指標となる草体の全長・幅の比では調査地間の違いは不明瞭であったが、地下茎の節間長・長径の比では、前述の瀬戸内海中央部の3調査地と、伊予灘西部・宇和海の調査地が比較的明瞭に区分できた (Fig. 12)。後者の3調査地のアマモの地下茎は、節間長は比較的長いとその径は細く、瀬戸内海中央部の3調査地のアマモに比べ大きい節間長・長径比を示した。したがって、総体として瀬戸内海中央部のアマモは形態的に大型、伊予灘西部・宇和海のアマモは小型であるということが出来る。

群落特性においては、株密度でSt. 6が他調査点に比べて突出して多く (Fig. 5)、一方で総現存量では株密度で大きく異なるSt. 1, St. 3, St. 6でほぼ同等の値を示す (Fig. 7) など、形態的特性でみられた瀬戸内海中央部、伊予灘西部・宇和海を区分する傾向は見いだせなかった。しかし、総現存量における地下部比率では瀬戸内海中央部の調査地よりも伊予灘西部・宇和海の調査地の値が大きくかつそれぞれで類似した数値を示し、上記の2区分ごとにまとまる傾向を示した (Fig. 9)。

ここで、アマモの特性と密接に関わるそれぞれの調査地の環境について、海域特性とそれぞれのアマモ場の立地条件から考察してみる。

瀬戸内海ではアマモ場は沿岸域の景観の象徴であるが、第4回自然環境保全基礎調査 (環境庁自然保護局, 財団法人海中公園センター 1994) などによれば、アマモ場の分布は安芸灘, 備後灘, 備讃瀬戸等, 中央部の海域にほぼ集中している。これらの海域では平均水深が浅く、多数の島嶼によ



り海岸線が複雑であり、アマモの繁茂に適した砂泥の堆積しやすい静穏な入江状の地形に恵まれている(吉田ら 2010)。本調査におけるSt. 1, St. 3のアマモ場はそのような環境に立地しており、St. 1は大きく陥入した入江状の地形とその前面に存在する島々により、またSt. 3は前面に四国北岸が近接するという立地条件等により、いずれも激しい風浪の影響を免れやすいと考えられる。このような海域において、St. 2は例外的に北向きに海面が大きく開いており、季節風が卓越する冬季を中心に波浪流動の影響を強く受ける場所であると推測される。他の調査地に比べ粒径の大きい底質はそれを示し、特に浅所のS点では株密度や地下部比率などのアマモ群落の特性にその環境特性が反映されている。

伊予灘に面する愛媛県沿岸では北方向に広く海面が開けた直線的な海岸が続く、前述の通り冬季風浪の影響も大きく、地形的にも急深である。前述の環境省調査によれば、藻場としては岩礁域に形成されるアラメ場(主要種はクロメ)が主要であり、同調査の対象となりうる1 ha以上のアマモ場の記載はない(環境庁自然保護局、財団法人海中公園センター 1994)。伊予灘の西部に位置する佐田岬半島北岸では、三机湾のように湾状の入れ込みが海岸に沿って多数存在するので、その奥部では直接的な波浪の影響は免れ、St. 4のように‘バッチ’程度のアマモ場が形成される場所があるものと思われる。しかし、St. 4のアマモ場は現存量も最も小さく、厳しい物理的環境条件によりその生産量も制限を受けているものと想像される。四国東部の播磨灘沿岸でも伊予灘沿岸に類似した環境があり、風浪に起因する厳しい環境条件がアマモ場形成の制限要因になっている(森口、高木 2005; 棚田ら 2005; 藤原ら 2006)。

前述の環境省調査においては、宇和海のアマモ場としては、御荘町(現・南宇和郡愛南町御荘)における4 haが記録されているのみであり(環境庁自然保護局、財団法人海中公園センター 1994)、比較的規模の大きいSt. 5のアマモ場も記載から漏れていた。宇和海では、瀬戸内海のようなアマモ場近傍で営まれる漁業形態が無く、漁業者によってもその存在が見落とされやすいこと等もあるであろう。しかし、もともと宇和海では急深の岩礁域が沿岸のほとんどを占めているため、大規模なアマモ場は形成されにくい地形であると考えられる。それでも、海域特有の入り組んだ海岸線の最奥部では比較的静穏で砂泥の堆積する場所が点在しており、St. 5, St. 6のように局所的にアマモ場が形成される場所もあるであろう。

本調査の調査地間では、これまで見てきたようにアマモの特性が大きく異なっていたが、現存量については調査地間の差異は比較的不明瞭であった。特に、前述のように大型の株が低密度で生育するSt. 1(およびSt. 3)と、小型の株が極めて高密度で生育するSt. 6の平均現存量がほとんど変わらないことは興味深い。本稿でこれまで述べてきたアマモの特性の違いについて、向井(1982)は、「生産量を一定とした場合、(生育環境に応じて)大型の株を数少なく作るか、地下部を相対的に発達させて小型の株を多く作るか、といった物質の配分戦略の問題として考えられる」と述べている。アマモの場合生産量と現存量は相関し(Duarte and Chiscano 1999)、現存量は群落の持つ生産力の指標となりうる。この生産力の多寡の観点から、次に本調査で把握した現存量と既往文献による世界各地の現存量とを比較してみる。

本調査を実施した5月下旬から7月上旬にかけては、一般的なアマモの繁茂期にあたり、現存量も年間でほぼ最大になる(藤原ら 2009)。本調査で得られた愛媛県沿岸域のアマモ場の平均現存量は、約70~170g DW m<sup>-2</sup>の範囲であり、瀬戸内海・広島湾とその周辺海域の120~180 g DW m<sup>-2</sup>(吉田ら 2013)と類似していた。しかし、世界各地の海草類の現存量・生産量に関する既往値をレビューしたDuarte and Chiscano (1999)の報告によると、これら文献値による世界のアマモの季節的な最大現存量の平均は地上部298.4 g DW m<sup>-2</sup>、地下部149.7 g DW m<sup>-2</sup>であり、本調査や吉田ら(2013)により把握された現存量はそれに比べるとかなり小さい。また、我が国においてもアマモの季節的な最大現存量は地域により大きく変異する(Nakaoka and Aioi 2001)が、北海道・野付湾では地上部だけで250~550 g DW m<sup>-2</sup>(水島 1985)、同じく北海道・厚岸湖では地上部258 g DW m<sup>-2</sup>(Hasegawa et al. 2008)、東北・万石浦では最大1014g DW m<sup>-2</sup>(向井, 1982)、舞鶴湾では地上部だけで678 g DW m<sup>-2</sup>(道家ら 2000)、伊勢湾では地上部345.7 g DW m<sup>-2</sup>、地下部92.7 g DW m<sup>-2</sup>(阿部ら 2004)の値が得られている。さらに瀬戸内海においても東部海域の小豆島では繁茂期に地上部・地下部を合わせ528.8 g DW m<sup>-2</sup>の現存量が得られており(藤原ら 2009)、吉田ら(2013)および本調査が対象とした瀬戸内海中央~西部と宇和海でのアマモの現存量は、それに比べてもかなり小さい。この現存量の相対的な低水準がどのような要因によるものなのか、海域の生物生産の特性を知る上においても今後明らかにする必要があると考える。



冒頭に述べた水産庁による「生物多様性に配慮したアマモ場造成技術開発調査事業」では、本報の調査地を含む日本全国137点のアマモが採集され、マイクロサテライト遺伝子座の解析からアマモの地域個体群間の遺伝的分化が調べられた。その結果、集団分化の指標となる各調査地のペアワイズFst値の平均は0.294であり、ブナ(0.180)やミズナラ(0.083)等、既知の陸上植物における同値に比べ大きく、これらの陸上植物に比べ地域個体群間の遺伝的分化が大きいことが示された(水産庁, マリノフォーラム21 2007)。また、同一海域内や同一湾内といった地理的に近い集団間でも、比較的大きな遺伝的分化がみとめられる場合がほとんどであった。

本調査で対象とした愛媛県下の6カ所のアマモ場では、西日本のアマモの地理的分布の中心である瀬戸内海中央部のアマモ場と、どちらかというところアマモの生育には厳しい環境である伊予灘西部・宇和海のアマモ場でその特性がおおまかには区分された。これまで考察してきたように、その特性は生育地の物理的環境と密接に関連していることが示唆されたが、瀬戸内海と宇和海の調査地では地理的にも大きく離れており、またそこにおける波浪流動以外の環境要因も大きく異なっている。したがって、今回見られたアマモの特性の変異の中には、物理的環境に対応して見られる可塑的变化のみならず、個体群の遺伝的な差異に起因するものも混在していると考えるのが妥当であろう。

特に宇和海は、黒潮の影響も受けるため(宇野2004)、環境に亜熱帯的な要素が加わり、水温が高いのみならず生物相も大きく異なっている。同様の環境にある紀伊水道では、アイゴ類をはじめとする植食性魚類の藻場への採食圧も高い(棚田, 中西 2013)。したがって、宇和海のアマモ場は瀬戸内海域のアマモ場とは異なった生物的環境にある。我が国のアマモの南限である鹿児島湾に生育するアマモは一年生の生活史を有する(島袋ら 2012)が、これはおそらく生育環境に適応した特異的な生態的特性であると考えられる。今回調査したSt. 6では、平均で869株 $m^{-2}$ 、局所的に1,200株 $m^{-2}$ に近い株密度がみられたが、他の調査地に比べ特異的に高かっただけでなく、我が国においてこれまで報告されたなかで最も高い三重県・松名瀬の株密度972株 $m^{-2}$ (阿部ら 2004)と同等、もしくは大幅に上回った。St. 6は豊後水道域のアマモの分布南限に近く、アマモにはその生育環境に応じた特性が現れているのであろうと考えられる。

以上述べてきたように、愛媛県沿岸のアマモ場の示す群落の特性、およびアマモの持つ形態的特

性はその場所により極めて多様であった。そして、それぞれの場所の環境も極めて多様であり、上記のアマモの特性はそれらに応じて生じてきたものであろうと考えられた。同様の多様性は愛媛県下のみならず、一般的にアマモの地域個体群間に広く見られるものと思われる。したがって、アマモ場の保全の上では、その場所のアマモおよび環境の特性に十分配慮する必要があることを改めて認識すべきである。また、アマモと環境の特性に応じて、アマモ場がそれぞれの場所の生態系において果たしている役割も少しずつ異なると推測される。今後は、生態的機能の観点からも各地のアマモ場の持つ多様性を明らかにし、保全・再生の施策に反映させていく必要がある。

## 謝 辞

本調査を実施するにあたり、御協力いただいた大三島漁業協同組合、北条市漁業協同組合、松山市漁業協同組合、瀬戸町漁業協同組合(現・八幡浜漁業協同組合瀬戸支所)、吉田町漁業協同組合、三浦漁業協同組合の関係者の皆様に感謝いたします。また、現地潜水調査に御協力いただいた三浦俊一氏(現・水圏リサーチ株式会社)、膨大な量のアマモサンプルを処理いただいた新村陽子氏(現・海洋プランニング株式会社)、奥新美鈴氏、中曾恭子氏にも感謝申し上げます。本調査は、水産庁委託「生物多様性に配慮したアマモ場造成技術開発調査事業」(平成16~18年度)の一環として実施されました。関係者の皆様方に御礼申し上げます。

## 引用文献

- 阿部真比古, 橋本奈央子, 倉島彰, 前川行幸. 三重県松名瀬沿岸におけるアマモ群落の構造と季節変化. 日本水産学会誌 2004; 70: 523-529.
- Aioi K. Seasonal change in the standing crop of eelgrass (*Zostera marina* L.) in Odawa Bay, central Japan. Aquatic Botany 1980; 8: 343-354.
- 荒武久道, 清水博, 渡辺耕平, 吉田吾郎. 宮崎県南部串間市沿岸のホンダワラ藻場の変遷. 宮崎水試研報 2007; 11: 1-13.
- 團昭紀, 森口朗彦, 三橋公夫, 寺脇利信. 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 1999; 34: 299-304.
- 道家章生, 井谷匡志, 菫谷護. 舞鶴湾におけるアマモ群落の特徴-I 密度, 現存量, 草丈組成の季節変化. 京都府立海洋センター研究報

- 告 2000 ; 22 : 22-28.
- Duarte CM, Chiscano CL. Seagrass biomass and production: a reassessment. *Aquatic Botany* 1999 ; 65 : 159-174.
- 愛媛県中予水産試験場. 「藻場現存量調査結果」愛媛県中予水産試験場, 伊予. 2004.
- 藤田大介, 村瀬昇, 桑原久実. 「藻場を見守り育てる知恵と技術」成山堂書店, 東京. 2010.
- 藤原宗弘, 山賀賢一, 吉田吾郎, 寺脇利信. 離岸堤背後域での播種アマモの長期変動. *水産工学* 2006 ; 43 : 173-177.
- 藤原宗弘, 山賀賢一, 香川哲, 末永慶寛. 瀬戸内海東部の香川県小豆島沿岸における海草の分布とアマモの季節変化. 香川県水産試験場研究報告 2009 ; 10 : 9-15.
- Hasegawa N, Hori M, Mukai H. Seasonal changes in eelgrass functions: current velocity reduction, prevention of sediment resuspension, and control of sediment-water column nutrient flux in relation to eelgrass dynamics. *Hydrobiologia* 2008 ; 596 : 387-399.
- 平岡雅規, 浦吉徳, 原口展子. 土佐湾沿岸における水温上昇と藻場の変化. *海洋と生物* 2005 ; 160 : 485-493.
- 環境庁自然保護局, 財団法人海中公園センター. 「第4回自然環境保全基礎調査海域生物環境調査報告書 第2巻 藻場」環境庁自然保護局, 東京. 1994.
- 水島敏博. 野付湾のアマモ現存量と生産量の季節変化. 北海道立水産試験場研究報告 1985 ; 27 : 111-118.
- 茂木昭夫. 第II編 汀線と碎波帯. 「海洋科学基礎講座7 浅海地質学」(大森昌衛・茂木昭夫・星野通平著) 東海大学出版会, 東京. 1971 ; 109-252.
- 森口朗彦, 高木儀昌. 山口県大島郡東和町逗子ヶ浜地先アマモ場の変遷 (2001~2003年). *水産工学研究所技報* 2005 ; 27 : 43-60.
- 向井宏. 第1部 アマモ (*Zostera marina* L.) の生態と生理. 「海草藻場 (特にアマモ場) と水産生物について」(社団法人日本水産資源保護協会編), 東京. 1982 ; 1-48.
- Nakaoka M, Aioi K. Ecology of seagrasses *Zostera* spp. (Zosteraceae) in Japanese waters: A review. *Otsuchi Marine Science* 2001 ; 26 : 7-22.
- 仲岡雅裕, 渡辺健太郎. アマモ場の生物多様性・生態系モニタリング. *海洋と生物* 2011 ; 195 : 315-322.
- Orth RJ. Effect of nutrient enrichment on growth of the eelgrass *Zostera marina* in the Chesapeake Bay, Virginia, USA. *Marine Biology* 1977 ; 44 : 187-194.
- Reusch TBH, Stam WT, Olsen JL. A microsatellite-based estimation of clonal diversity and population subdivision in *Zostera marina*, a marine flowering plant. *Molecular Ecology* 2000 ; 9 : 127-140.
- 島袋寛盛, 堀正和, 吉満敏, 徳永茂光, 猪狩忠光, 佐々木謙介, 仲岡雅裕, 川根昌子, 吉田吾郎, 浜口昌巳. 鹿児島湾に生育する一年生アマモ局所個体群間の遺伝的分化. *日本水産学会誌* 2012 ; 78 : 204-211.
- 水産庁, マリノフォーラム21. アマモ類の自然再生ガイドライン. 水産庁, 東京. 2007.
- 棚田教生, 和泉安洋, 團昭紀, 広澤晃, 森口朗彦, 寺脇利信. 冬季波浪条件の比較的厳しい海域におけるガーゼ・礫勢マットによるアマモ繁茂への効果と限界. *水産工学* 2005 ; 42 : 129~134.
- 棚田教生, 中西達也. 徳島県沿岸で2012年に発生した大規模な磯焼けについて~アイゴの大量出現との関係~. 徳島水研だより 2013 ; 85 : 1-4.
- 寺田竜太. 藻場の長期モニタリングー背景と課題. *海洋と生物* 2011 ; 195 : 291-297.
- 寺脇利信, 島谷学, 森口朗彦. 瀬戸内海におけるアマモ場造成の実践事例. *水産工学* 2005 ; 42 : 151-157.
- 上出貴士, 吉田吾郎, 山内信, 高橋芳明, 井関和夫. 和歌山県田辺湾内ノ浦におけるコアマモの現存量と形態的变化に対する環境要因の影響. *水産増殖* 2011 ; 59 : 29-40.
- 宇野奈津子. 愛媛県における海洋モニタリング. *月刊海洋* 2004 ; 36 : 31-34.
- 上井進也, 子亀一弘, 吉田吾郎, 川井浩史, 鯉坂哲朗. アカモク・シダモク種群における集団間の遺伝的多様性について. *月刊海洋* 2005 ; 37 : 466 -470.
- 横井謙一, 佐々木美貴, 中川雅博, 佐藤直人. モニタリングサイト1000における藻場調査の取り組み. *海洋と生物* 2011 ; 195 : 283-290.
- 吉田吾郎, 堀正和, 崎山一孝, 浜口昌巳, 梶田淳, 西村和雄, 小路淳. 瀬戸内海の各灘における藻場・干潟分布特性と主要魚種漁獲量との関係. *水産工学* 2010 ; 47 : 19-29.
- 吉田吾郎, 寺脇利信, 山下亜純, 新井章吾, 樽谷賢治. 瀬戸内海から豊後水道にみるガラモ場

の変化と水温勾配の関係. 海洋と生物 2011;  
195: 337-343.

吉田吾郎, 谷本照己, 相田聡, 梶田淳, 水谷浩,  
大本茂之, 斉藤憲治, 森口朗彦, 堀正和, 浜  
口昌巳, 寺脇利信. 広島湾とその周辺海域に  
おけるアマモの生態的特性とその多様性. 生  
物圏科学 2013: 52: 71-86.

2013年10月25日受付

2013年12月29日受理