

# 三重県英虞湾立神浦におけるコアマモ群落の構造と季節変化

誌名	水産増殖
ISSN	03714217
著者名	阿部,真比古 横田,圭五 倉島,彰 村瀬,昇 前川,行幸
発行元	水産増殖談話会
巻/号	60巻2号
掲載ページ	p. 215-225
発行年月	2012年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 三重県英虞湾立神浦におけるコアマモ群落の構造と季節変化

阿部真比古<sup>1,2,\*</sup>・横田圭五<sup>1</sup>・倉島 彰<sup>1</sup>・村瀬 昇<sup>2</sup>・前川行幸<sup>1</sup>

### Structures and Seasonal Changes of *Zostera japonica* Population in Tategami-ura, Ago Bay, Mie Prefecture

Mahiko ABE<sup>1,2,\*</sup>, Keigo YOKOTA<sup>1</sup>, Akira KURASHIMA<sup>1</sup>,  
Noboru MURASE<sup>2</sup> and Miyuki MAEGAWA<sup>1</sup>

**Abstract:** This study clarified the structures and seasonal changes of *Zostera japonica* population from July 2003 to November 2004, growing at Tategami-ura, Ago Bay, Mie Prefecture. Productive structures showed the graminous types through the year. In August, biomass, shoot density and Leaf Area Index reached maximum values. And then, many long shoots were withered drastically. From February, shoot density gradually increased by seed germination and recruitment of lateral shoots. From March to April, biomass rapidly increased with growing leaves. Flowering shoots were observed from May. Leaf Mass Area showed high values from February to September, and low from October to January. The three phases of growing (December–April), flowering (May–August) and withering (September–November) were distinguished with reference to the seasonal changes in population structures.

**Key words:** *Zostera japonica*; Population structure; Seasonal change

海産顕花植物のコアマモ *Zostera japonica* Aschers. & Graebn. は北太平洋沿岸の温帯域から亜熱帯域にかけて分布し (Phillips and Meñez 1988), 日本では北海道から本州を経て奄美大島, 沖縄本島とほぼ全国的に分布している (野沢 1981)。コアマモは内湾の干潟, 河口および塩沢地などの低潮線付近の砂泥地に生育し, アマモ (*Z. marina* Linné), タチアマモ (*Z. caulescens* Miki) など, *Zostera* 属の海草と共にアマモ場と呼ばれる群落を形成する。アマモ場は沿岸域の主要な一次生産の場であるとともに, 窒素やリンの吸収による水質浄化作用もあり, 魚介類の餌場・産卵場, 幼稚仔魚の生育場などの多様な役割を担う重要な存在である (幡手 1981; 田中 1998<sup>\*1</sup>)。

近年, アマモ場は世界的に減少していることが報

告されている (相生 2000)。日本においても, 環境庁の調査によると1978年から1991年までの13年間で2,077 ha のアマモ場が消失した (環境庁自然保護局 1994)。アマモ場の減少に伴い日本各地で人工的にアマモ場を再生する試みが行われるようになった。特に1960年以降, 山口県・大分県・広島県・岡山県などの瀬戸内海沿岸各地で, アマモ場再生に向けて種子をマットに挟んだり, 袋に詰めたり, あるいは直接海域に撒いたりする播種法やアマモの栄養株を移植する株移植法などが活発に取り組まれてきた (田中 1998; 環境省 2004)。これまでのアマモ場の再生は主にアマモ群落の再生に主眼が置かれてきた。しかし, 沿岸域においては, 干潟・コアマモ・アマモという様々な環境が連続して存在する。このことにより, それぞ

2011年10月4日受付; 2012年1月18日受理。

<sup>1</sup> 三重大学大学院生物資源学研究科 (Graduate School of Bioresources, Mie University, 1577 Kurimamachiya, Tsu, Mie 514-8507, Japan)。

<sup>2</sup> 独立行政法人水産大学校生物生産学科 (Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University, 2-7-1 Nagata-Honmachi, Shimonoseki 759-6595 Japan)。

\*連絡先 (Corresponding author): E-mail, abemahi@fish-u.ac.jp (M. Abe)。

<sup>\*1</sup> 田中 文裕 (1998) アマモ場再生に向けての技術開発の現状と課題。関西水圏環境研究機構, 第11回公開シンポジウム要旨, pp. 25-47。

れの異なる立体構造を利用している生物の往来,あるいは栄養塩などの循環が起こり,生態系の健全度を保持している。干潟および浅所生態系維持のためにもアマモと同様にコアマモも再生の対象種とされなければならないが,これまでコアマモ群落の再生例はほとんどなく,わずかに移植例が見られるだけである(矢野2003)。

コアマモ群落を再生するためには,生態的な基礎知見の蓄積が必要であるが,和歌山県田辺湾や高知県鏡川で群落構造や現存量などが報告されているに過ぎない(田井野ら2004<sup>\*2</sup>;上出2007a, 2007b;上出ら2007, 2011)。また,上出ら(2007, 2011)や国分ら(2010)は,流速,底質,地盤高などの外的環境によりコアマモの草体長などの群落構造が変化することも報告している。一般的に,コアマモは大潮干潮時に干出する潮間帯付近に生育するが(田井野ら2004<sup>\*2</sup>;上出2007a, 2007b;上出ら2007, 2011),三重県志摩市阿児町立神浦に生育するコアマモ群落は干出することがない。潮下帯に生育するコアマモ群落における研究はこれまでほとんど行われていない。そこで,本研究では立神浦に生育する干出しないコアマモ群落の構造の季節変化を明らかにしようとした。

## 材料および方法

### 調査地点

調査地点を Fig. 1 に示す。本調査は三重県志摩市阿児町立神浦で2003年7月12日から2004年11月12日まで行った。本海域は英虞湾の湾奥部に位置し,波静かで沿岸には干潟が多く形成されている。本海域では,水深 D. L.  $-1.5 \sim -3.0$  m にはアマモ群落が,水深  $-0.5 \sim -1.0$  m にはコアマモ群落が発達している(三重県1998)。本海域に形成されるアマモ群落は著者らの観察によって一年生であることが確認されている。コアマモ群落はアマモの生育場所よりも浅所の低潮線付近から水深 1 m 以浅に発達し,調査地点のコアマモ群落は周年を通して干出することはない。調査海域近くの海面では真珠養殖やヒトエグサ養殖が行われ,アマモ群落内にはマメタワラ(*Sargassum piluliferum*),カゴメノリ(*Hydroclathrus clathratus*),ミル(*Codium fragile*)などが点々と海底に溜まっている。

調査地点の水温の月別変化を Fig. 2 に示す。水温データは三重県科学技術振興センターにより測定された立神浦における1999~2004年の6年間の平均値および調査期間である2003~2004年の値を示した(<http://www.agobay.jp/agoweb/index.jsp>)。平均水温

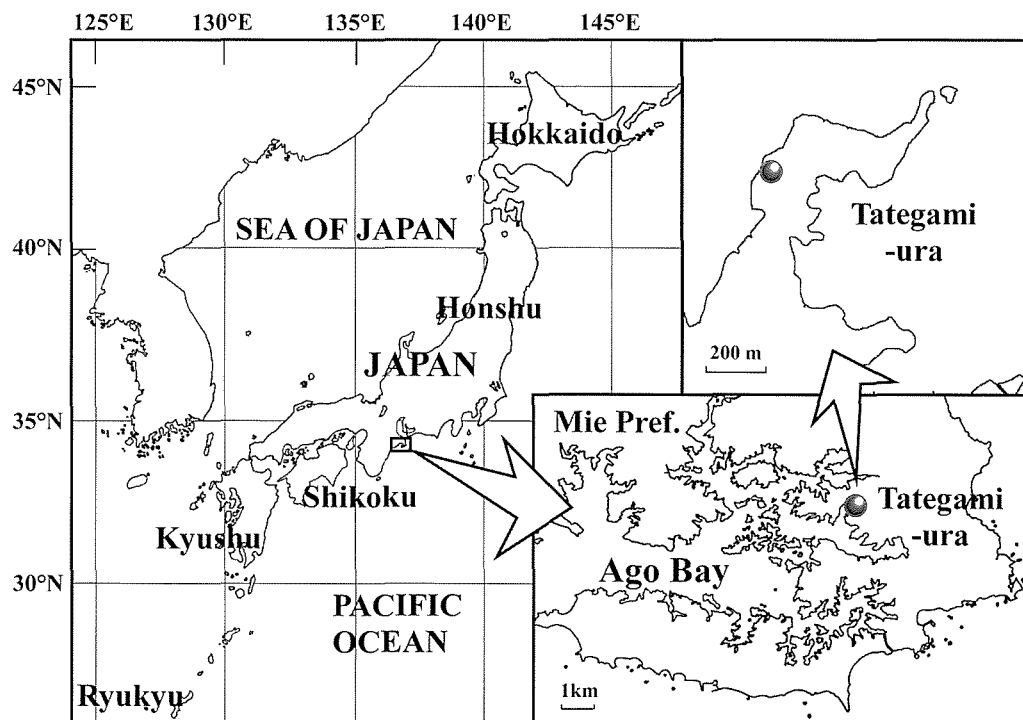


Fig. 1. Maps showing the sampling site of *Zostera japonica* used in this study at Tategami-ura, Ago Bay, Mie Prefecture.

<sup>\*2</sup> 田井野清也・壇野修一・木下 泉(2004) 高知県鏡川汽水域に生育するコアマモの成熟. 日本藻類学会第28回大会要旨, p.71.

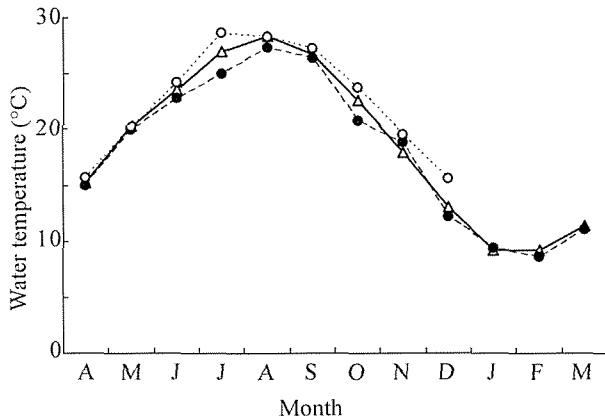


Fig. 2. Seasonal changes in water temperatures in 2003 (—●—), 2004 (---○---) and averaged values from 1999 to 2004 (—△—) around Tategami-ura by Mie Prefectural Technology Promotion Center.

は8月に28.4℃の最高値を示し、1月に9.2℃の最低値を示した。コアマモ群落は水深1m以浅に発達しているため、実際にはそれよりも夏季はやや高温、冬季は低温になることがあり、夏季の最高水温は一時的に30℃を越えることがある。2003年6～8月は平均水温の同時期と比較して0.7～1.9℃低く、2004年6～7月においては0.6～1.7℃高かった。

#### 群落構造の調査

本調査では、コアマモ群落の立体構造を解明する目的で、陸上植物群落においてよく用いられる層別刈り取り (Monsi and Saeki 1953) を行った。2003年7月12日から2004年11月12日まで月1～2回、計30回サンプリングを行った。目視により群落内の平均的な密度・草体長を示す場所に25 cm×25 cm 方形枠を設置し、枠内にあるコアマモの地上部と地下部を全て採集した。試料は淡水で泥や付着物を洗浄した後、草体長を測定し、株の形態と生育状況を考慮し、実生、栄養株、側生株および生殖株に区分した。本研究では、地下茎の先端部に生育するものを栄養株、地下茎の途中から生えているものを側生株、花穂および茎を形成しているものを生殖株、種子から発芽しているものを実生とした。次に、地上部と地下部に分け、地上部を水中での状態を想定し、基部を0 cm として5 cm 毎に切り分けた。試料は、さらに、生葉、死葉、花穂、葉鞘および茎の各部位に分け、EPSON Color Image Scanner GT-4000および自作した面積測定プログラムにより面積を測定した。測定後、60℃で48時間送風乾燥させ乾重量を求めた。地下部に関しても生きている地下茎、死んでいる地下茎および不定根に分け、地上部同様60℃で48時間送風乾燥させ乾重量を測定した。得られた乾重量からは生産構造図を作成し、面積からは単位

面積当たりの葉面積 (葉面積指数, Leaf Area Index, LAI) を算出した。生産構造図は、植物に必要不可欠である光に主眼を置き、植物群落の垂直的な空間構造を光合成による物質生産の面から捉えたものである。つまり、生産構造図を作成することにより、群落内のどの高さにどれくらいの光合成器官と非光合成器官が存在しているのかという空間配置を把握することができる。LAI は、群落内に存在する光合成器官の量を表す指標であり、単位面積あたりに存在する光合成器官の総面積で表す。生産構造図の作成および LAI 算出の際、生葉と死葉だけでなく花穂および葉鞘も光合成色素を持つため光合成器官として扱った。また、葉の厚さの季節変化を求めるために生葉の単位面積当たりの乾重量 (葉面積重, Leaf Mass Area, LMA) を算出した。

#### 年間純生産量および日純生産量

年間純生産量は、層別刈り取りにより得られた立神浦のコアマモ群落の生産構造図を基に、上出 (2007b) および阿部ら (2008) による現存量法を用い、2003年11月から2004年11月までの1年間 (計22回) を推定した。アマモやアマモ属の葉寿命および葉間周期はそれぞれ30～160日、10～30日とされ (Short and Duarte 2000, 細川ら 2006)、葉部は枯死した状態でもしばらくの間は脱落せず、地上部植物体に付着している。また、葉部の脱落周期は物理的環境に大きく作用されるが、概ね葉間周期と同調する (細川ら 2006)。したがって、上出 (2007b) および阿部ら (2008) の手法では、コアマモの葉寿命や葉間周期を超えない間隔での調査が必要である。本調査は、12～30日間隔で行っており、純生産量の推定が可能と判断した。連続する2回の調査毎に葉部 (葉身・葉鞘)、生殖器官 (花穂・茎) および地下部 (地下茎・不定根) の各部位における純生産量を推定し、1年分を積算することにより年間純生産量とした。また、調査間隔毎に推定された各部位における純生産量を調査間隔日数で割り、1日あたりの純生産量を算出した。

## 結 果

#### 群落構造

本研究におけるコアマモ群落の生産構造および草体長の階級分布の月別変化をそれぞれ Fig. 3 および Fig. 4 に示した。測定は月1～2回、計30回行ったが、それぞれの図には、各月1回分の結果を示した。各月の生産構造図は、図の左側に光合成器官として生葉、死葉、花穂および葉鞘を示した。一方、図の右側には非光合成器官として茎、生きている地下茎、死ん

でいる地下茎および不定根を示した。調査を開始した2003年7月では最大草体長が63 cmであり、草体長20~60 cmの草体が大部分を占めた。生殖株もわずかながら確認された。生産構造は現存量が上層に少なく、下層になるにつれて増加するイネ科型を示した(黒岩1990)。8月には草体長35~45 cmの草体が多く、地上部の現存量は $118.1 \text{ g m}^{-2}$ の最大となった。このとき地下部の現存量( $53.4 \text{ g m}^{-2}$ )および株数( $3,024 \text{ shoots m}^{-2}$ )も年間の最大値を示した。この時期に死葉の割合が高くなり、9月に草体長30 cm以上の草体の急激な減少にともない、地上部の現存量も急激に減少した。株数は $1,632 \text{ shoots m}^{-2}$ と半分程度の減少であった。10月には草体長が10 cmとなり、生殖株は全て流失した。地上部、地下部ともに現存量はさらに減少し、2004年1月には地上部の現存量は $4.7 \text{ g m}^{-2}$ 、地下部の現存量は $8.8 \text{ g m}^{-2}$ にまで減少した。2月からは群落高が徐々に高くなり始め、実生の加入や分枝により現存量および株数も増加し始めた。2004年5月には花穂の形成が

始まり、群落高は40 cmに達した。2004年7月には、2003年より2ヶ月早く生殖株が流失したが、2004年8月には2003年と同様、地上部の現存量が $93.3 \text{ g m}^{-2}$ 、地下部の現存量が $80.0 \text{ g m}^{-2}$ 、株数が $4,112 \text{ shoots m}^{-2}$ と再び年間の最大を示した。2004年9月には10 cm以上の草体が流失し、現存量の急激な減少が見られ、株数も $1,536 \text{ shoots m}^{-2}$ にまで減少した。調査期間を通じた栄養株と側生株の割合はそれぞれ、10.4~48.6%、37.5~89.6%で、常に側生株の割合が高かった。2004年7~8月にかけて、側生株は80%以上を占めた。

現存量の季節変化をFig. 5に示した。地上部の現存量は8月に最大となった。2003年、2004年ともに、9月には急激に減少し、10~2月は $10 \text{ g m}^{-2}$ 以下の低い値となった。地下部の現存量は地上部の増減とほぼ同様に推移したが、地上部の現存量で見られたような急激な減少は示さなかった。地下部の現存量も8月に最大となった。その後、徐々に減少し、1月に $8.8 \text{ g m}^{-2}$ の最小値を示した。地上部と地下部を合わせた現存量

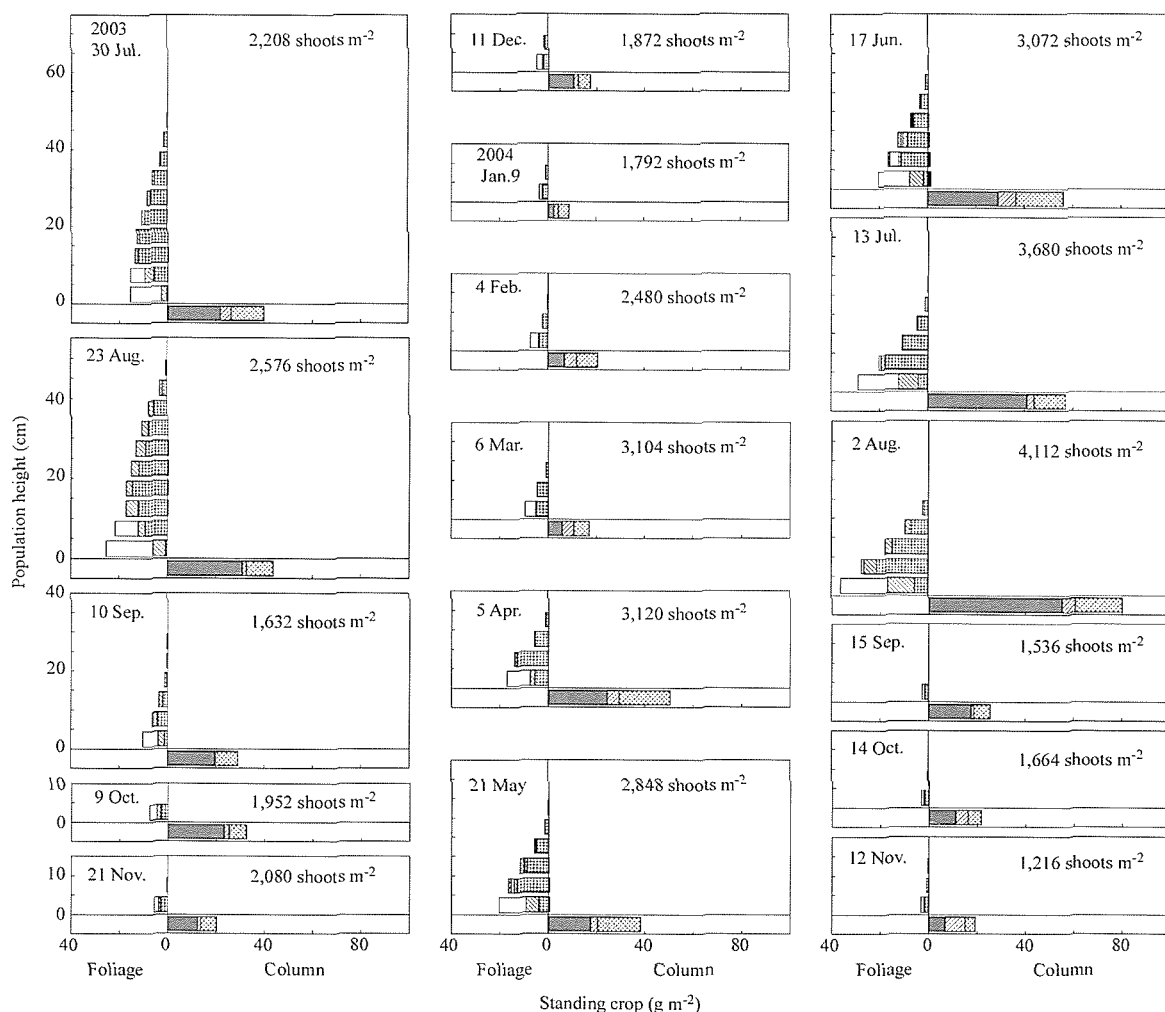


Fig. 3. Seasonal change in production structure of the *Zostera japonica* population from July 2003 to November 2004. ■, alive leaf blade; ▨, dead leaf blade; □, leaf sheath; ▤, spadices; ■, stem; ▧, alive rhizome; ▩, dead rhizome; ▪, roots.

は8月に最大の $171.4 \text{ g m}^{-2}$  (2003年),  $173.6 \text{ g m}^{-2}$  (2004年) となり, 1月に最小の $13.5 \text{ g m}^{-2}$  となった。地上部の現存量においては生葉の現存量が最も高く, 最大で $70.6 \text{ g m}^{-2}$  を示し, 地上部現存量全体の33.5~67.9%を占めていた。次に葉鞘と死葉の割合が高く, それぞれ $1.1\sim 24.1 \text{ g m}^{-2}$  (20.4~37.4%),  $0.2\sim 22.1 \text{ g m}^{-2}$  (3.5~31.9%) であった。花穂と茎の割合はわずかで, それぞれ最大で $3.2 \text{ g m}^{-2}$ ,  $3.6 \text{ g m}^{-2}$  と地上部現存量の6%以下であった。地下部の現存量は生きている地下茎の現存量が最も高く $2.8\sim 55.1 \text{ g m}^{-2}$ , 地下部現存量全体の34.2~74.2%を占めていた。次いで, 不定根, 死んで

いる地下茎の順で, それぞれ $4.4\sim 20.9 \text{ g m}^{-2}$  (22.0~44.9%),  $0.04\sim 8.2 \text{ g m}^{-2}$  (0.1~42.0%) であった。地上部および地下部現存量の割合は, 5~8月にかけては地上部の方が高く (53.5~68.9%), 地下部の方が低かった (31.1~46.5%)。逆に9~4月にかけては地上部の割合が低く (9.9~47.1%), 地下部の割合が高かった (53.9~90.1%)。特に, 2003年10月および2004年9~11月の地下部の割合が高く, 約80~90%を占め, その後, 地下部の割合は徐々に減少した。

株密度の季節変化を Fig. 6 に示した。8月に最大値を示し,  $3,024 \text{ shoots m}^{-2}$  (2003年) および $4,112$

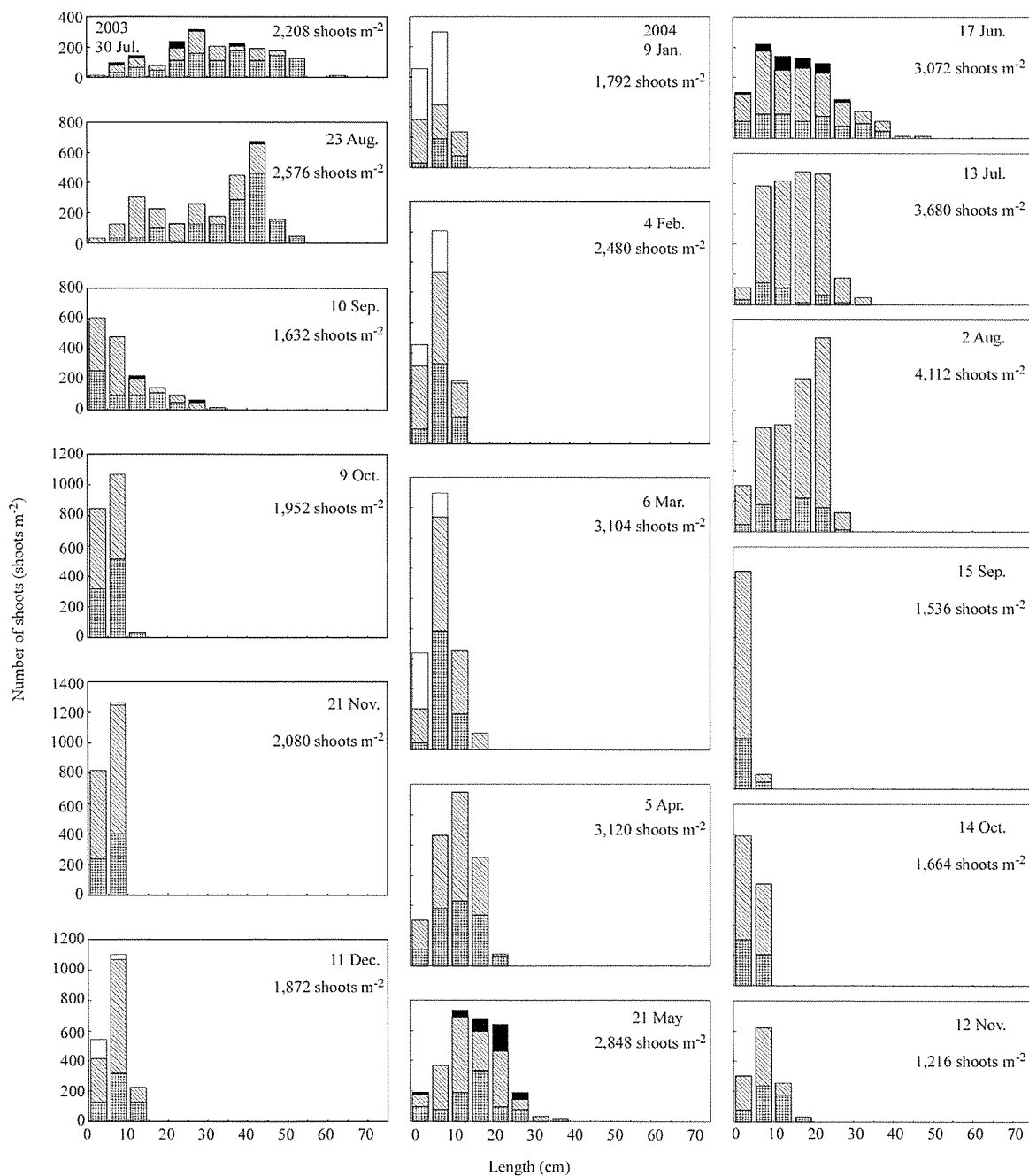
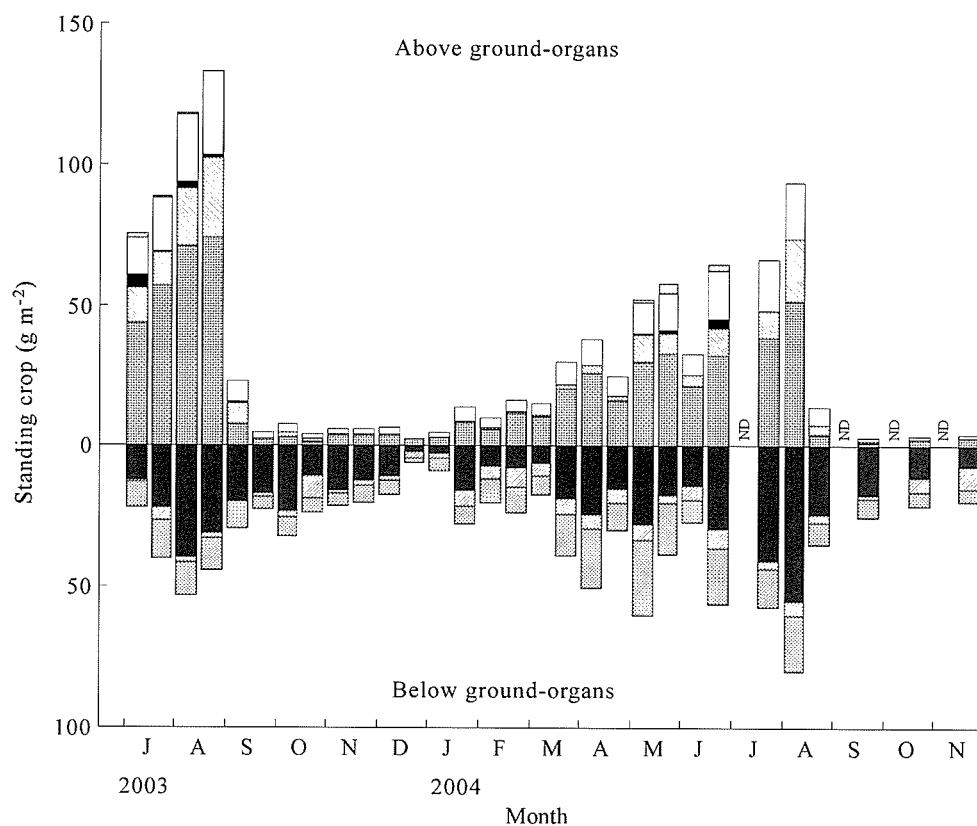
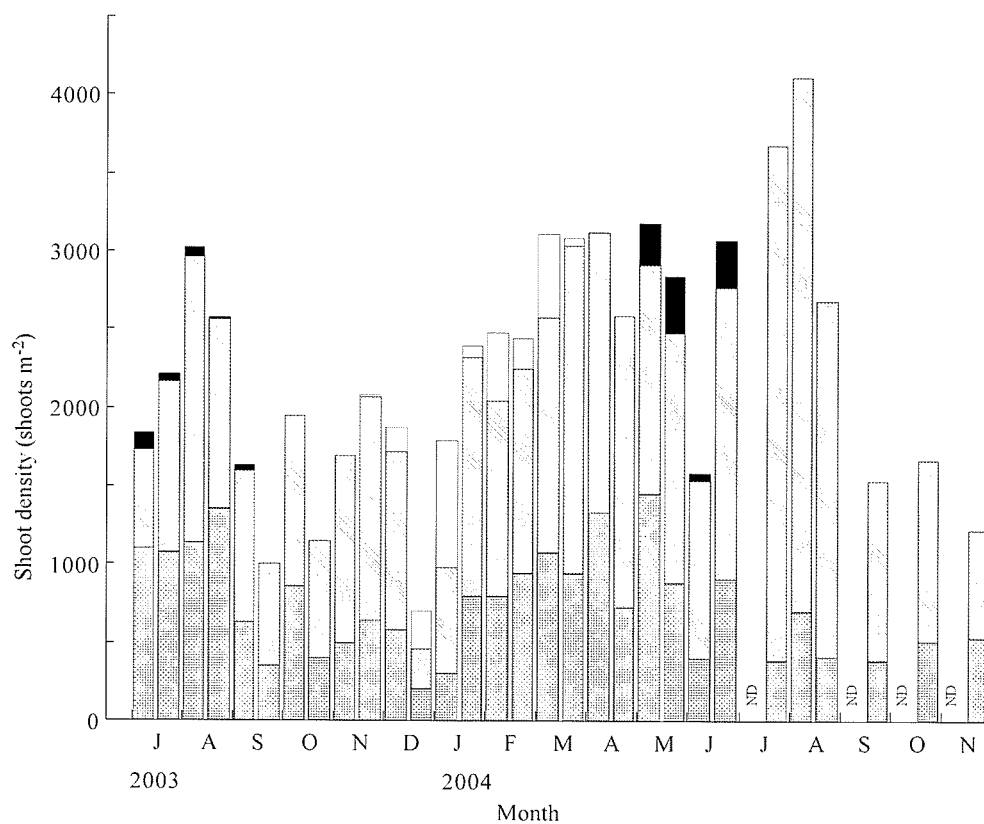


Fig. 4. Seasonal change in frequency distribution of shoot length of the *Zostera japonica* population from July 2003 to November 2004. ■, vegetative shoot; ▨, lateral shoot; ▩, seedling; ■, flowering shoot.



**Fig. 5.** Seasonal changes in standing crop of above ground and below ground organs of *Zostera japonica* population from July 2003 to November 2004. ▨, dead leaf blade; □, leaf sheath; ▩, spadices; ■, stem; ▤, alive rhizome; ▧, dead rhizome; ▨, roots; ND, no data.



**Fig. 6.** Seasonal change in shoot density of the *Zostera japonica* population from July 2003 to November 2004. ▨, vegetative shoot; ▤, lateral shoot; □, seedling; ■, flowering shoot; ND, no data.

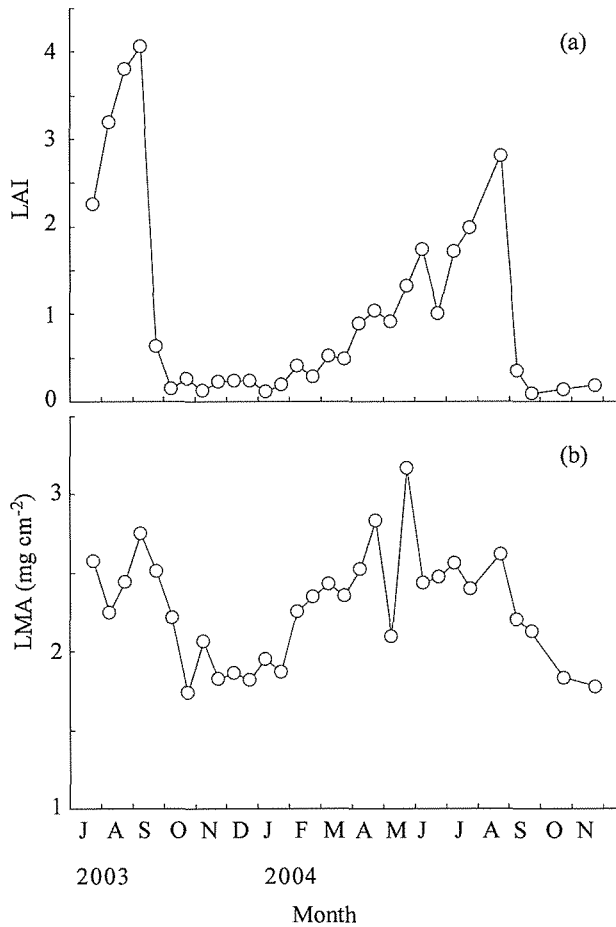


Fig. 7. Seasonal changes in Leaf Area Index (LAI, a) and Leaf Mass per Area (LMA, b) of the *Zostera japonica* population from July 2003 to November 2004.

shoots  $\text{m}^{-2}$  (2004年)であった。その後、密度が減少し、9～1月では1,632～1,952 shoots  $\text{m}^{-2}$ の範囲を変動した。2月以降、株密度は徐々に増加した。栄養株、分枝生長による側生株は通年見られた。生殖株は2003年では9月まで見られたが、2004年では5～6月にしか見られなかった。生殖株の密度は16～368 shoots  $\text{m}^{-2}$ 、株密度全体の0.6～12.9%であった。特に2004年5月と6月は9.2%、12.9%と高い値を示した。実生は冬から春にかけて加入し、2004年1月に860 shoots  $\text{m}^{-2}$ の最大値を示し、株密度全体の45.5%を占めた。

LAIの季節変化を Fig. 7-a に示した。調査を開始した2003年7月では LAI は3.2であった。8月には LAI は4.1と最大値を示したが、9月には0.6と急激に減少した。10～2月までは LAI が0.2～0.3と年間の最低値を示した。2月以降、LAI は高くなり、8月には2.8となり、2004年の最大値を示した。9月には2003年と同様、LAI は0.1と急激に減少した。LMAの季節変化を Fig. 7-b に示した。調査を開始した2003年7月では LMA は2.6  $\text{mg cm}^{-2}$ であった。9月まで2.2～2.7  $\text{mg cm}^{-2}$ の間で維持したが、10月から1月には1.7～2.1  $\text{mg cm}^{-2}$

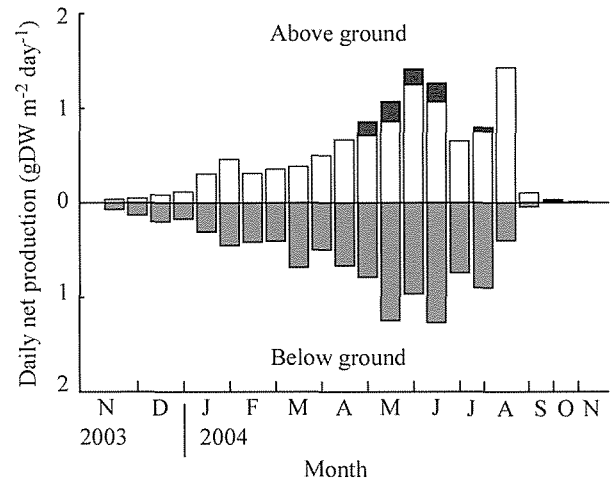


Fig. 8. Seasonal changes in daily net productions of leaves (leaf blades and leaf sheaths,  $\square$ ), reproductive organs (spadices and stems,  $\blacksquare$ ) and below-ground organs (rhizome and roots,  $\blacksquare$ ).

$\text{cm}^{-2}$ とやや低い値へ推移した。その後、再び値が上昇し、2004年5月には3.2  $\text{mg cm}^{-2}$ と調査期間を通じて最大値を示した。10月以降は1.8  $\text{mg cm}^{-2}$ と再度低い値に推移した。LMA は2～9月で高くなり、10～1月で低い値を示した。

#### 純生産量

2003年11月から2004年11月までの1年間における年間純生産量は、地上部および地下部でそれぞれ247.2, 249.4  $\text{g m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ となり、合計496.6  $\text{g m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ となった。日純生産量の季節変化を Fig. 8 に示した。葉部の日純生産量は、11～4月上旬では0.5  $\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 以下であった。その後、6月下旬に1.3  $\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ に達するまで徐々に増加した。7月になると日純生産量は低下し始め、9月に入ると急激に低下した。生殖器官においては、5月上旬から生殖器官の形成が始まり、日純生産量は6月下旬まで0.2  $\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 程度であった。その後、生殖器官の生産は低下したが、9月まで認められた。地下部においては、日純生産量は11～4月下旬までは概ね0.5  $\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 以下であった。その後、6月に1.3  $\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ に達するまで徐々に増加した。7月になると日純生産量は低下し、9月に入ると急激に低下した。葉部と地下部の日純生産量の増減は、ほぼ同調していた。地上部と地下部を合わせた日純生産量は、6月に2.5  $\text{g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ と最大値を示した。

#### 三重県立神浦におけるコアマモ群落の周年変化

立神浦のコアマモ群落の周年変化を Fig. 9 に示した。立神浦のコアマモ群落の周年変化は生長や成熟の観点から発芽・伸長期、成熟期、衰退期の3期に分けることができた。現存量、草体長および株密度が最大



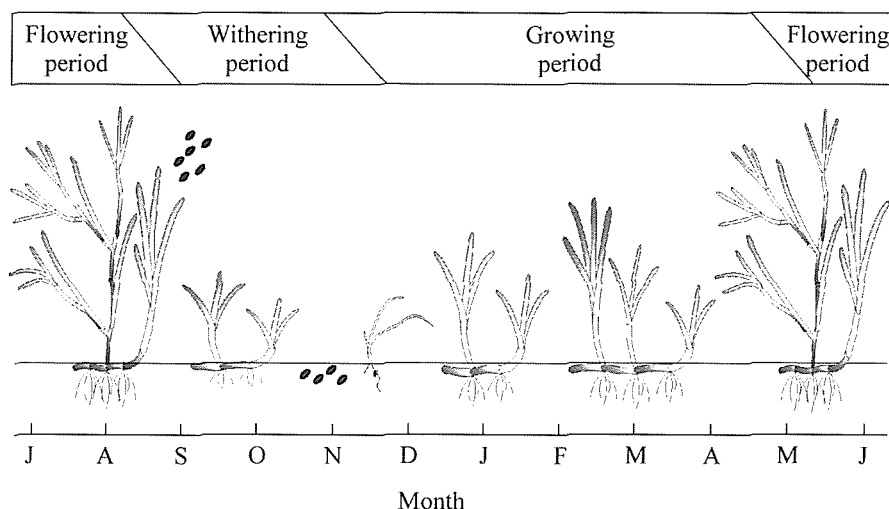


Fig. 9. Schematic diagram of the life cycle of the *Zostera japonica* population through year.

となるのは8月であった。9～11月は草体の枯死・流失により現存量が急激に減少し、草体長10 cm 程度の草体のみとなる衰退期とした。12～4月にかけては発芽による実生の加入および分枝により密度が徐々に高くなり、草体長も10～25 cm へと高くなるとともに現存量も3～4月にかけて急速に多くなった。この12～4月を発芽・伸長期とした。5月からは生殖株が確認され、現存量、株密度、LAI はその後も増加し続け、8月に再び最大となった。この5～8月を成熟期とした。再び9月には衰退期を迎えた。栄養繁殖による側生株は年間を通じて見られ、その割合は7～8月に最も高くなった。

## 考 察

本研究における成熟期は5～8月であった。各地の成熟期と比較すると、愛知県三河湾では5～10月、福井県小浜湾では4～6月、北海道では7～9月、沖縄諸島では1～7月、和歌山県田辺湾では5～10月、高知県鏡川では5月から翌年の2月という長期にわたっている（新崎 1950b; Fortes 1988; 大森 2000; 田井野ら 2004<sup>\*2</sup>; 上出 2007a）。海外では、香港および北ベトナムの Ha Long Bay で3～5月、カナダの British Columbia で6～10月と報告されている（Bigley and Harrison 1986; Lee 1997; Huong et al. 2003）。このようにコアマモの成熟期は地域により異なっていたが、一般的に見て、夏季の高水温期に成熟の盛期があることから、水温上昇期から高水温期にかけての水温が成熟の重要な要因の一つと考えられる。本研究において2003年では8月でも生殖株が見られたが、2004年では6月までしか観察されなかった。2004年6～7月の水温は24.1～28.6℃ であり、2003年の同時期に比べて1.4

～3.7℃ 高かったことが原因と考えられる。アマモでは生殖株形成初期に開花・結実の上限温度よりも高温になった場合、新たに形成される生殖株の長さが短くなったり、生殖株の形成が抑制されたり、花穂中の雌蕊や葯の数の減少や発達異常などの割合が増加することが報告されている（川崎ら 1986）。立神浦のコアマモは5月から生殖株が形成されるため、形成過渡期である6～7月の水温上昇により生殖株の形成異常や抑制がおり、生殖株の観察時期が短縮したと考えられる。

現存量においては、三河湾では25 (12月)～270 g m<sup>-2</sup> (7月)、鏡川では20 (3月)～420 g m<sup>-2</sup> (8月)、田辺湾内では26.8 (1月)～218.5 g m<sup>-2</sup> (8月)、田辺湾内ノ浦では51.8 (1月)～386.3 g m<sup>-2</sup> (7月)と報告されている（新崎 1950a; 田井野ら 2004<sup>\*2</sup>; 上出 2007a）。また、株密度においては、東京湾走水では夏季に8,000 shoots m<sup>-2</sup>、秋季に2,800 shoots m<sup>-2</sup>、鏡川では240 (4月)～5,792 (9月) shoots m<sup>-2</sup>、British Columbia では夏季に約4,000 shoots m<sup>-2</sup>、冬季には250 shoots m<sup>-2</sup>以下、田辺湾の湾内および内ノ浦では、栄養株の密度がそれぞれ7,367 (1月)～19,267 (11月) shoots m<sup>-2</sup>、4,200 (1月)～12,567 (9月) shoots m<sup>-2</sup>と報告されている（Harrison 1982; 輪島ら 2001; 田井野ら 2004<sup>\*2</sup>; 上出 2007a）。立神浦の現存量は13.5 (1月)～176.7 g m<sup>-2</sup> (8月)と他海域に比べやや低く、株密度は704 (12月)～4,112 shoots m<sup>-2</sup> (8月)と他海域と同程度であった。現存量と株密度においては、どの海域も夏季に最大、冬季に最小となった。立神浦のコアマモ群落は、2003年では8月下旬に現存量も株密度も最大となったが、2004年では8月上旬に最大となり、約2週間早まった。これについても2004年6～7月の高水温が影響していると思われる。コアマモは20～25℃で活発に生長し、

27~29℃では水温の上昇とともに徐々に生長が抑制される。さらに、29℃を超えると急激に生長が抑制される (Abe et al. 2009a)。2003年6~7月は、水温が22.8~25.0℃であり、コアマモの生長が最も活発な水温帯であった。しかし、2004年では水温が24.1~28.6℃と2003年に比べて活発に生長できる水温帯の期間が非常に短かった。したがって、現存量や株密度のピークが前倒しになったと考えられる。

立神浦のコアマモ群落の地下部現存量の割合は最大で90.1%であった。アマモ群落では、地下部現存量の割合は最大でも50%程度であり (新崎 1950a, 阿部ら 2004)、コアマモはアマモに比べ地下部の割合が非常に高い。これは、コアマモが生育する低潮線付近では、潮汐や波浪により底質の移動が激しく起こるため、地下茎を発達させることで底質を安定化し、草体の流失を防いでいると考えられる。一方、2003年と2004年の7~8月における地下部現存量の割合は、それぞれ22.6~31.2%, 46.4~71.6%と大きな差が認められにも関わらず、8月の地上部および地下部の総現存量は、176.7および173.4 g m<sup>-2</sup>とほとんど変わらなかった。地下茎により草体同士が連結しているコアマモは、地上部の光合成により生産された同化産物を地下茎で共有している可能性がある。根茎によりシュートが連結している陸上植物個体群では、周辺環境が悪い時にシュート間で同化産物を共有し、シュート同士の差をなくすことが知られている (Silvertown 2001)。2003年は夏季の水温が生長に適していたことから、個々の草体は十分に光合成を行うことができ、生産された同化産物を生長に反映することができた。一方、2004年は高水温下であったことから、呼吸活性が増加するため生産される同化産物が減少する (Abe et al. 2009b)。2004年夏季は草体長が最大30 cmと2003年に比べ短く草体間のばらつきが少ないことから、地下茎を介して同化産物を草体同士で共有していると考えられる。

立神浦の生殖株の割合は2.0~12.9%であり、田辺湾においても0.2~11.1%とほぼ同程度であった (上出 2007a)。一方で、British Columbia では生殖株の割合が70%にも達する (Harrison 1982)。立神浦では、種子の発芽実生が群落に加入する割合が約20%程度であるのに対し、側生株の割合は年間を通じてほぼ50%以上であった。このことから、本調査地点のコアマモ群落は有性繁殖よりも栄養繁殖によって群落を維持していると考えられた。さらに、側生株の割合は特に7~8月に高くなることから夏季に活発な栄養繁殖を行っていると思われた。

立神浦のコアマモ群落の LAI は最大4.1 (8月) に達した。Huong et al. (2003) は Ha Long Bay のコアマ

モについて成熟期の間は LAI が増加すると報告しており、本研究結果と一致した。アマモ群落の LAI は、同じ立神浦に生育する一年生アマモ群落では最大で3.7である (阿部ら 未発表)。また、松名瀬では8.8、小田和湾では5.1~5.5、宮城県大槌湾では3.2~4.8、山口県柳井湾では1.5~2.5と報告されている (Aioi 1980; 川端ら 1990; Aioi and Komatsu 1996; 阿部ら 2004)。コアマモはアマモに比べ草体長は短いものの、密度がはるかに高いため、アマモに匹敵する LAI を持つことができると考えられた。

LMA に関しては、アマモでは夏季に高く、冬季に低くなり (今村ら 2004; 阿部 2005 (LMA の逆数である比葉面積重を算出); 細川ら 2006)、本研究のコアマモでもアマモと同様な傾向がみられた。つまり、アマモとコアマモの葉は夏季に厚くなり、冬季に薄くなる。また、アマモおよびコアマモの LMA は2.0~4.0 mg cm<sup>-2</sup>程度であり、両種に大きな差は見られなかった。アマモは株密度や草体長が減少する夏季に LMA を高くし、株密度や草体長が増加する冬季~春季に低くする (今村ら 2004; 阿部 2005; 細川ら 2006)。一方、コアマモは株密度も草体長も高い夏季に LMA も高くし、低密度で草体長も短い冬季に LMA を低くさせている。LMA は光合成に関連する光や同化産物などと相関性を持つ指標であることから (寺島ら 2004)、コアマモが生育する環境を把握する必要がある。コアマモはアマモに比べると高温下での相対生長率や光合成活性が高いが、低温下では低い (Abe et al. 2008a, 2008b, 2009a, 2009b)。また、本海域のコアマモ群落は干出することはないが、一般的には干出するため乾燥なども考慮する必要がある (田井野ら 2004<sup>\*2</sup>; 上出 2007a, 2007b; 上出ら 2007, 2011)。したがって、コアマモ群落の LMA とその周辺環境を調べることで、LMA の季節変化が持つ生態学的意味を見出すことができると考える。

立神浦のコアマモ群落の年間純生産量は496.6 g m<sup>-2</sup> year<sup>-1</sup>、日純生産量は最大2.5 g m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>であった。田辺湾における滝内および内ノ浦のコアマモ群落の年間純生産量と日純生産量は、それぞれ392.9 g m<sup>-2</sup> year<sup>-1</sup>と1.92 g m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>、351.8 g m<sup>-2</sup> year<sup>-1</sup>と2.68 g m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>であり (上出 2007b)、本研究結果と同程度であった。アマモ属の年間純生産量は、約1,300 g m<sup>-2</sup> year<sup>-1</sup>と報告されており (McRoy and McMillan 1977)、調査海域では40%程度の値であった。また、海草群落の日純生産量の平均は2.7 g m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>と報告されており (Duarte and Chiscano 1999)、これは同程度の値であった。上出ら (2007, 2011) や国分ら (2010) は、流速、底質、地盤高などの外的環境によりコアマモの草体長などの群落構造が変化すると報告している。田辺湾の

コアマモ群落は、立神浦に比べて密度が4～8倍程度高く、栄養株の平均草体長の最大値が19.6 cmと立神浦の32.6 cmに比べて約半分である。滝内および内ノ浦のコアマモは、干出するため立神浦よりも厳しい環境下で生育している。つまり、地下茎を介した草体間の関係性が強くなっており、草体のばらつきが少なく、小型化が起きていると思われる。

三重県英虞湾立神浦におけるコアマモの生産構造はFig. 3に示したように年間を通して群落下部の現存量が多くなる典型的なイネ科型を示した(黒岩 1990)。アマモでは成熟期に群落上部の現存量が多くなる広葉型を示し、成熟期以外は典型的なイネ科型を示す(今尾・伏見 1985; 阿部ら 2004)。これはアマモ群落では、発芽・伸長期から成熟期にかけて LAI が増加することにより、群落下部に到達する光量が急激に低下し、小～中型草体が枯死・脱落するためである(阿部ら 2008)。一般的にイネ科型を示す植物群落は、群落下部にまで光が到達しやすい(黒岩 1990)。つまり、立神浦のコアマモ群落は、通年群落下部にまで光が透過しやすい構造であるといえる。

本研究により、水温上昇期における高水温化もコアマモの生殖株形成や生長に影響を与えることが示唆された。また、高水温化は群落構造を変化させ、草体の枯死・流失を促すため、衰退時期を早めることが明らかとなった。本調査地点のコアマモは干潮時でも干出することはない。しかし、水深1 m以浅であるため、夏季の実際の水温は平均水温の最高値である28.4℃よりも一時的に高くなると思われる。コアマモの生育限界水温は、実生で29℃、栄養株で32～33℃と報告されている(Murase et al. 2007<sup>\*3</sup>; Abe et al. 2009a, 2009b)。水温が15℃以下に低下すると実生が観察され、20℃以上に上昇すると生殖株が形成される。今後、海水温の上昇が進行した場合、草体間の関係性がより強固となり群落の小型化や群落構造の変化が考えられる。さらに、成熟抑制による遺伝的多様性の欠如などが考えられるため、継続的な調査が必要と思われる。

## 要 約

本研究は三重県英虞湾立神浦におけるコアマモ群落を対象とし、2003年7月～2004年11月の群落構造の季節変化を調べた。生産構造は年間を通じてイネ科型を示し、現存量、株密度、LAIはそれぞれ171.4～173.6 g m<sup>-2</sup>, 3,024～4,112 shoots m<sup>-2</sup>, 2.8～4.1と8月に最大となった。9月には大型草体の枯死・流失により

現存量、株密度、LAIが急激に減少した。2月から発芽および分枝により密度が増加し、草体の伸長とともに現存量も急速に増加した。5月からは生殖株が確認された。LMAは2～9月で高くなり、10～1月で低くなった。年間純生産量は496.6 g m<sup>-2</sup> year<sup>-1</sup>であり、日純生産量は夏季に高くなった。立神浦におけるコアマモ群落の周年変化を生長や成熟の観点から分けると、12～4月を発芽・伸長期、5～8月を成熟期、9～11月を衰退期とすることができた。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、コアマモの採集に御理解と御協力をいただいた志摩の国漁協立神支所に深く感謝致します。

## 文 献

- 阿部真比古 (2005) アマモ群落の構造と環境特性に関する研究, 三重大学大学院博士学位論文, 100 pp.
- 阿部真比古・橋本奈央子・倉島 彰・前川行幸 (2004) 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. 日水誌, **70**, 523-529.
- 阿部真比古・倉島 彰・前川行幸 (2008) 現存量法を利用したアマモ群落の生産力推定. 水産増殖, **56**, 567-572.
- Abe, M., A. Kurashima and M. Maegawa (2008a) High water temperature tolerance in photosynthetic activity of *Zostera marina* seedlings from Ise Bay, Mie Prefecture, central Japan. *Fish. Sci.*, **74**, 1017-1023.
- Abe, M., A. Kurashima and M. Maegawa (2008b) Temperature requirements for seed germination and seedling growth of *Zostera marina* from central Japan. *Fish. Sci.*, **75**, 589-593.
- Abe, M., K. Yokota, A. Kurashima and M. Maegawa (2009a) Temperature characteristics in seed germination and growth of *Zostera japonica* Ascherson & Graebner from Ago Bay, Mie Prefecture, central Japan. *Fish. Sci.*, **75**, 921-927.
- Abe, M., K. Yokota, A. Kurashima and M. Maegawa (2009b) High water temperature tolerance in photosynthetic activity of *Zostera japonica* Ascherson & Graebner seedlings from Ago Bay, Mie Prefecture, central Japan. *Fish. Sci.*, **75**, 1117-1123.
- Aioi, K. (1980) Seasonal change in the standing crop of eelgrass (*Zostera marina* L.) in Odawa Bay, central Japan. *Aquat. Bot.*, **8**, 343-354.
- Aioi, K. and T. Komatsu (1996) A preliminary report on the recovery process of *Zostera marina* in Otsuchi Bay, northern Japan after disturbance by large atmospheric depressions. In "Seagrass Biology. Proceeding of an International Workshop" (ed. by J. Kuo, R. C. Phillips, D.

<sup>\*3</sup> Murase, N., H. Haraguchi, Y. Mizukami, M. Noda, G. Yoshida and T. Terawaki (2007) Upper critical temperatures for growth of marine macrophytes in the coastal waters of Yamaguchi Prefecture, Japan. In "Program and Abstract of XIXth International Seaweed Symposium" (JSA, JSP and JSMB), p. 175.

- I. Walker and H. Kirkman), The University of Western Australia, Nedlands, pp. 319-322.
- 相生啓子 (2000) アマモ場研究の夜明け. 海洋と生物, **131**, 516-523.
- 新崎盛敏 (1950a) アマモ, コアマモの生態(I). 日水誌, **15**, 567-572.
- 新崎盛敏 (1950b) アマモ, コアマモの生態(II). 日水誌, **16**, 70-76.
- Bigley, R. E. and P. G. Harrison (1986) Shoot demography and morphology of *Zostera japonica* and *Ruppia maritima* from British Columbia, Canada. *Aquat. Bot.*, **24**, 69-82.
- Duarte, C. M. and C. L. Chiscano (1999) Seagrass biomass and production: a reassessment. *Aquat. Bot.*, **65**, 123-139.
- Fortes, M. D. (1988) Mangrove and seagrass beds of East Asia: habitats under stress. *Ambio.*, **17**, 207-213.
- Harrison, P. G. (1982) Seasonal and year-to-year variation in mixed intertidal populations of *Zostera japonica* Aschers. and graebn. and *Ruppia maritima* L. *Aquat. Bot.*, **14**, 357-371.
- 幡手格一 (1981) 6 アマモ場. 藻場・海中林, 日本水産学会編, 恒星社厚生閣, 東京, pp. 93-115.
- Huong, T. T. L., J. E. Vermaat, J. Tarrados, N. V. Tien, C. M. Duarte, J. Borum and N. H. Tri (2003) Seasonality and depth zonation of intertidal *Halophila ovalis* and *Zostera japonica* in Ha Long Bay (northern Vietnam). *Aquat. Bot.*, **75**, 147-157.
- 細川真也・三好英一・内村真之・中村由行 (2006) メソコスム水槽におけるアマモ地上部の現存量と生長・脱落速度の季節変動. 港湾空港技術研究所報告, **45**, 25-45.
- 今村正裕・本多正樹・松梨史郎・川崎保夫 (2004) アマモ場生態系モデルの構築とその適応. 電中研報, **U03063**, 22 pp.
- 今尾和正・伏見 浩 (1985) 浜名湖におけるアマモ (*Zostera marina* L.) の生態, 特に一年生アマモの成立要因. 藻類, **33**, 320-327.
- 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**, 146-155.
- 川崎保夫・寺脇利信・飯塚貞二・後藤 弘・下茂 繁 (1986) アマモへの温度の影響, II. 栄養株の生長と有性生殖. 電中研報, **U486019**, 23 pp.
- 環境省 (2004) 藻場の復元に関する配慮事項, 100 pp.
- 環境庁自然保護局 (1994) 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**, 400 pp.
- 国分秀樹・森田晃央・宮松亜美・前川行幸 (2010) コアマモの地下茎分枝に及ぼす地盤高と底質の影響. 土木学会論文集, **66**, 1206-1210.
- 黒岩澄雄 (1990) 物質生産の生態学, 光合成から繁殖まで. 東京大学出版会, 東京, 147 pp.
- Lee, S. Y. (1997) Annual cycle of biomass of threatened population of the intertidal seagrass *Zostera japonica* in Hong Kong. *Mar. Biol.*, **129**, 183-193.
- McRoy, C. P. and C. McMillan (1977) Production ecology and physiology of seagrasses. In "Seagrass Ecosystems: A Scientific Perspective" (ed. by C. P. McRoy and C. Helfferich), Marcel Dekker Inc., New York, pp. 53-87.
- 三重県 (1998) 平成9年度県単英虞湾漁場改善計画策定調査報告書, 114 pp.
- Monsi, M. and T. Saeki (1953) Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Jap. J. Bot.*, **14**, 22-52.
- 野沢治治 (1981) 我が国における海草の分布. 植物と自然, **15**, 15-19.
- 大森雄治 (2000) 日本の海草 - 分布と形態 -. 海洋と生物, **131**, 524-532.
- Phillips, R. C. and E. G. Meñez (1988) Seagrasses. *Smithsonian Contributions to the Marine Sciences*, **34**, 104 pp.
- Short, F. T. and C. M. Duarte (2000) Methods for the measurement of seagrass growth and production. In "Global Seagrass Research Methods" (ed. by F. T. Short and R. G. Coles), Elsevier Science B. V., Amsterdam, pp. 155-182.
- Silvertown, J. W. (1992) *Introduction of Plant Population Ecology* (植物の個体群生態学 (河野昭一・高田壯則・大原 雅共訳), 東海大学出版会, 東京, 274 pp. (2001)).
- 寺島一郎・彦坂幸毅・竹中明夫・大崎 満・大原 雅・可知直毅・甲山隆司・露崎史朗・北山兼弘・小池孝良 (2004) 植物生態学, 朝倉書店, 東京, 431 pp.
- 上出貴士 (2007a) 和歌山県田辺湾内及び内ノ浦の潮間帯に生育するコアマモの季節的消長. 日水誌, **72**, 478-486.
- 上出貴士 (2007b) 和歌山県田辺湾内及び内ノ浦の潮間帯に生育するコアマモ *Zostera japonica* の年間純生産量と C, N, P の年間蓄積量. 日水誌, **73**, 851-858.
- 上出貴士・山内 信・高橋芳明 (2007) 和歌山県田辺湾内ノ浦のコアマモ *Zostera japonica* Ascherson et Graebner 群落と底質環境の関係. 藻類, **55**, 159-166.
- 上出貴士・吉田吾郎・山内 信・高橋芳明・井関和夫 (2011) 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, **59**, 29-40.
- 輪島 毅・福島朋彦・有松 健・伊藤永徳・吉澤 忍 (2001) 東京湾藻場分布調査 - 走水調査海域 -. 日本海洋生物研究所年報, pp. 1-14.
- 矢野米生 (2003) 絶滅危惧種コアマモの移植に関する試み - 中津港海域環境調査 -. 土木施工, **44**, 8-14.