

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

上出貴士^{1,2}・山内 信^{1,3}・高橋芳明^{1,3}

¹ 和歌山県農林水産総合技術センター 水産試験場増養殖研究所 (〒 646-0058 田辺市目良 22-41)

² 現住所：和歌山県日高振興局 (〒 644-0011 和歌山県御坊市湯川町財部 651)

³ 現住所：和歌山県農林水産総合技術センター 水産試験場 (〒 649-3503 和歌山県東牟婁郡串本町串本 1557-20)

Takashi Uede^{1,2}, Makoto Yamauchi^{1,3} and Yoshiaki Takahashi^{1,3}: Relationship between *Zostera japonica* Ascherson et Graebner populations and characteristics of their bottom sediment on the coast of Uchinoura, Tanabe Bay, Wakayama Prefecture, Japan. Jpn. J. Phycol. (Sôru) 55: 159–166, November 10, 2007

An investigation to reveal a relationship between *Zostera japonica* populations and characteristics of their bottom sediment was conducted at twelve stations in Uchinoura, Tanabe Bay, Wakayama Prefecture, Japan. Concentrations of acid volatile sulfide (AVS), total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) in the sediment were widely ranged and the grain degree compositions were also varied. Since *Z. japonica* was present in various conditioned sediment, it was suspected that they are able to utilize most of sandy and muddy sediment of intertidal zones in the study area. Whereas, C/N and C/P atomic ratios in *Z. japonica* had decreased in high TN and TP sediment suggesting that nitrogen and phosphorus might be the limiting factors effecting the growth of *Z. japonica*. Belowground biomass and their vegetative shoot density seemed to decrease at the sediment with high AVS concentration and silt composition. On the other hand, there was no particular relationship between characteristics of the sediment and the aboveground structure. These results suggested that the characteristics of the sediment have correlation only with the belowground structure and the vegetative shoot density.

Key Index Words: Characteristics of the bottom sediment, N and P concentration, population, *Zostera japonica*

¹Fisheries Farming Laboratory, Fisheries Experimental Station, Wakayama Research Center of Agriculture, Forestry and Fisheries, 22-41, Mera, Tanabe, Wakayama, 646-0058 Japan

²Present address: Hidaka Promotions Bureau of Wakayama Prefecture, 651, Takara, Yukawa, Gobo, Wakayama, 644-0011 Japan

³Present address: Fisheries Experimental Station, Wakayama Research Center of Agriculture, Forestry and Fisheries, 1557-20, Kushimoto, Higashi-muro, Wakayama, 649-3503 Japan

和歌山県田辺湾は、紀伊半島西岸のほぼ中央に位置する南北約 6 km、東西約 5.5 km の小さな湾である。1940 年代からベントス群集を対象とした調査が行われ(波部 1949, Miyadi 1940)、田辺湾はメソトロフィックな湾であり、湾南部がベントスの豊富な海域であるとされた(Miyadi 1940)。しかし、1970 年代の魚類養殖の開始と時を同じくして赤潮(竹内 1980)や貧酸素水塊が湾南部で多発するようになり、夏季にマクロベントス群集が消失する海域がみられるようになった(上出 未発表)。1980 年代後半から 1990 年代前半には魚類養殖生産量の減少と伴に化学的酸素要求量(COD)、酸揮発性硫化物態硫黄量(AVS)の低下や赤潮の減少(上出 2004a, 2004b)、溶存酸素量(DO)の増加(上出 2006a)などが確認され、環境は改善傾向にあると判断された。一方、1990 年代後半に入ると COD や AVS の改善傾向が緩やかになり、湾南部でマクロベントス群集の消失する海域の残存が知られていること(和歌山県増養殖研究所 2004, 2006)から、現在の田辺湾に関しては富栄養化が完全に解消された状態とはいえない。また、海草類の分布については、湾内の富栄養化と時期を同じくして著しく衰退したと考えられていたが、近年湾

東南部を中心に群落の形成が確認されるようになり、Miyadi (1940)が「田辺湾内の限られた場所に小規模に点在する」と記述した分布が維持されている。田辺湾に分布している海草種は、コアマモ *Zostera japonica* Aschers. et Graebn., アマモ *Z. marina* L., オオウミヒルモ *Halophila major* (Zoll.) Miq., ヤマトウミヒルモ *H. nipponica* J. Kuo subsp. *nipponica* 及び タナベウミヒルモ *H. tanabensis* Ohba et Miyata の 5 種である(上出 2007a, 大場・宮田 2007)。

富栄養化した海域では植物プランクトンの圧倒的な優占や生長の速い海藻類の卓越がみられ、環境中の窒素、リンの減少に伴って生長が遅く寿命の長い大型海藻類やアマモ・コアマモなどの海草類が出現・優占するようになるといわれている(Duarte 1995)。田辺湾では、富栄養化の進行した 1980 年代以前にはコアマモの分布が拡大傾向にあるのに対し、アマモの分布が減少していたことが知られ(大垣 1989)、2005 年に実施された海草群落の分布調査では湾南部の砂泥質の浅海域にはコアマモが多く生育することが確認された(上出 2006b)。これらのことから、田辺湾における海草群落の回復や各海草種の分布が、湾内の富栄養化の度合いと密接に関係していると考えられる。

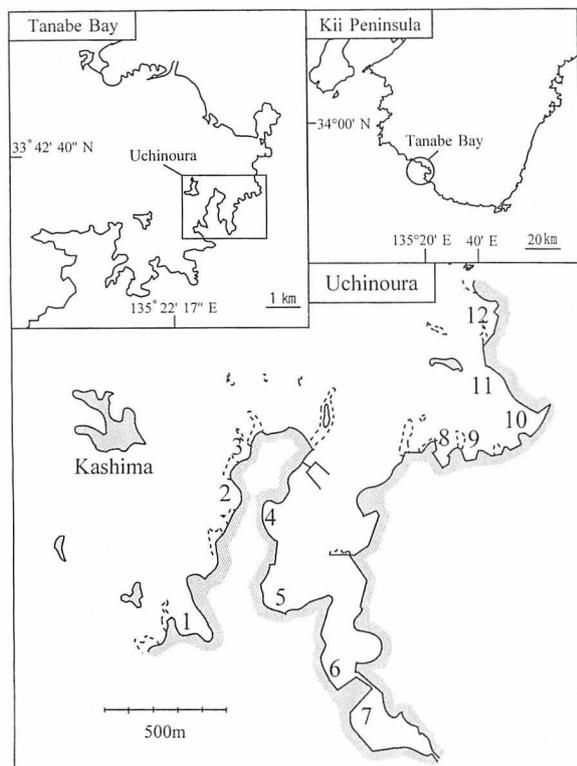


Fig. 1. Location of the sampling sites in Uchinoura, Tanabe Bay. Numerals in figure indicate station numbers.

アマモやコアマモなどで構成する海草群落は、豊富で多様な動物相が形成されることや (Orth *et al.* 1984), 物質循環において重要な役割を果たすことが評価されており (Costanza *et al.* 1997), 沿岸域の生物生産及び保全を考える上で非常に重要な場所である。特に、本研究の対象種であるコアマモは、我が国における砂泥質の潮間帯の生物群集を構成する主要な大型植物であり、その生態や生育環境を明らかにすることは、潮間帯域の保全にとって有益な知見となる。また、本種は田辺湾で詳細な季節的消長に関する研究 (上出 2007a, 上出 2007b) が行われ、湾内に最も広く分布している海草種でもある (上出 2006b)。そこで、本研究では、田辺湾内ノ浦の 12 群落でコアマモ群落と底質環境に関する調査を行い、沿岸域

の富栄養化の状態を表す良い指標とされる底質環境 (Iwasaki *et al.* 1987, Pawar *et al.* 2002) とコアマモ群落の特徴との関係についての解明を試みた。

材料と方法

Fig. 1 に示す和歌山県田辺湾内ノ浦の 12 カ所の群落において、コアマモの現存量が最大に達する繁茂期前期 (上出 2007a) にあたる 2005 年 7 月 7 日に調査を実施した。これは、生育地の異なる群落において繁茂期前期や衰退期末期は一致するものの、その他の時期は生育場所による変動が大きいため (上出 2007a), 底質環境と群落の特徴を比較するには、群落が最も発達した状態にある繁茂期前期が適していると考えたためである。これらの群落は水深 $-1 \sim 2$ m (東京湾平均海面: TP) の潮間帯に生育しており、大潮の干潮時には群落のほとんどが干出する。但し、St. 3 だけは群落のほとんどが水深 2 m 以深 (TP) の潮下帯の砂浜域に位置している。コアマモの草体及び群落内の底質分析試料を各群落で 2 試料採取した。採取地点に関しては、コアマモ群落を岸に向かって左右に 2 分し、それぞれの水深 0 m (TP) に位置する中央地点とした。但し、St. 3 に関しては水深 2 m (TP) を採取地点とした。また、コアマモの草体については $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ の方形枠を用いて地下茎ごと採取し、底質分析試料については表層 (0 ~ 1 cm 深) の海底堆積物を採取した。

底質分析試料の分析項目は、酸揮発性硫化物態硫黄量 (AVS), 全有機態炭素量 (TOC), 全窒素量 (TN) 及び全リン量 (TP) である。AVS については、漁場保全対策推進事業調査指針 (水産庁漁場保全課 1997) により検知管法で測定した。TOC 及び TN に関しては、1 mm 以下の粒径の試料を恒量に達するまで乾燥したものに 1 mol HCl を加えて無機炭素化合物を分解し、蒸留水で洗浄・乾燥した後、元素分析装置 (Elimenterl 社製 Vario EL) を用いて定量を行った。TP の分析では、TOC や TN の分析に用いたものと同じ試料を用いて Ishio *et al.* (1986) による方法に準じて以下のとおりで定量した。試料を 50 ~ 100 mg 試験管に採り、 $\text{H}_2\text{SO}_4(1:1)$ を 5 ml と 30% H_2O_2 を数滴加えオートクレーブ内で 121°C , 2 時間分解した。こうして得られた分解液を、蒸留水でよく洗浄しながら

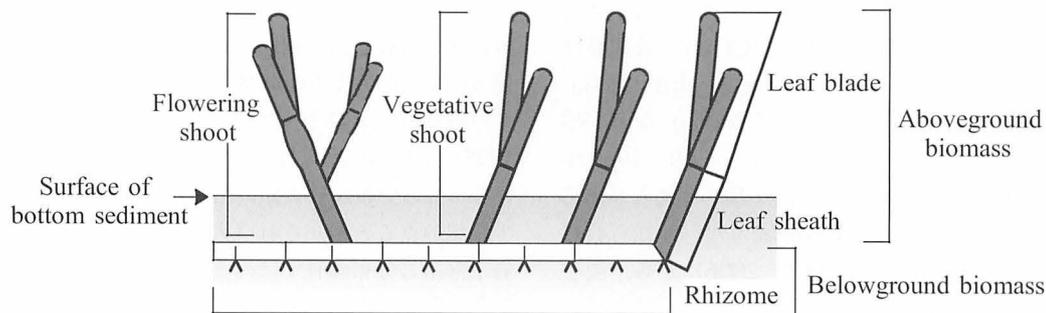


Fig. 2. Morphological terms of *Z. japonica* used in this survey.

ら孔径 0.45 μm のミリポアフィルターを用いて吸引濾過し、海底堆積物を取り除いた。得られた濾過液にフェノールフタレインを加え 5.5 mol NaOH で pH 調整した後、 $\text{H}_2\text{SO}_4(1:1)$ を 200 μl 加えた。以上のようにして得られた分解液をメスフラスコで 100 ml にメスアップした後、モリブデン青（アスコルビン酸還元）吸光度法（日本工業標準調査会 1998）で定量した。粒度組成については、漁場保全対策推進事業調査指針（水産庁漁場保全課 1997）に準じ、泥（粒径 63 μm 以下）、微細砂（63 ~ 125 μm ）、細粒砂（125 ~ 250 μm ）、中粒砂（250 ~ 500 μm ）、粗砂れき（500 μm 以上）の 5 段階に区分した。

コアマモ草体の体区分については、上出の区分（2007a）に準じて Fig. 2 に示した。即ち、コアマモの株を根茎（Rhizome）、葉条（Vegetative shoot）及び花枝（Flowering shoot）に区分し、葉条を葉鞘部（Leaf sheath）と葉身部（Leaf blade）に選り分けた。サンプル中の葉条数を m^2 あたりに換算したものを葉条密度（Vegetative shoot density）とした。葉鞘部については、根茎との結合部分から葉鞘上端までの葉基部とした。また、葉条の葉鞘部より上部の部位を葉身部とした。葉身部、葉鞘部及び花枝については長さと同現存量、根茎については現存量を測定した。現存量については、乾燥機内において 80°C で 24 時間以上恒量に達するまで乾燥して測定した。根茎の現存量を地下部現存量（Belowground biomass）、葉鞘部と葉身部の現存量の和を地上部現存量（Aboveground biomass）とし、地下部及び地上部現存量と花枝の現存量の和を総現存量（Total biomass）とした。長さに関しては、枯れた葉身部、葉鞘部やそれらの痕跡を含む全てを測定し、それらの平均値を用いた。コアマモ草体内の炭素（C）、窒素（N）、リン（P）含量については、根茎、葉鞘部、葉身部の別に測定を行った。元素分析装置（Elementerl 社製 Vario EL）を用いて C 及び N を測定し、P については硝酸及び過塩素酸による湿式分解法（日本分析化学会北海道支部、1989）を用いて試料を分解して分析を行った。なお、P の定量については、前述の海底堆積物の TP と同じ方法を用いた。

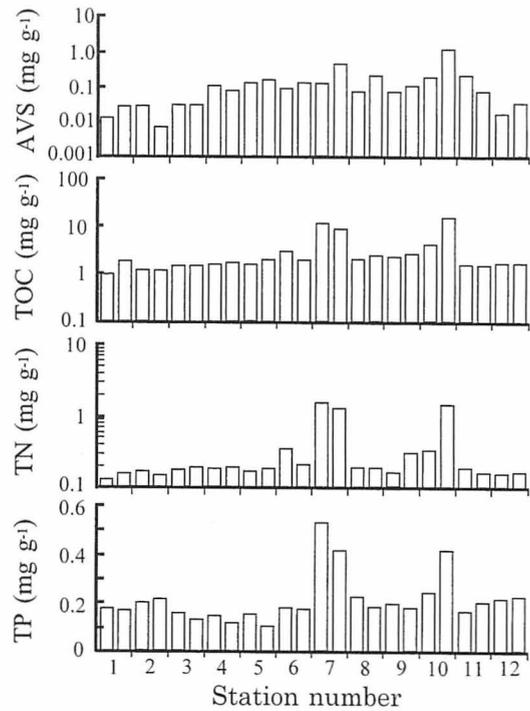


Fig. 3. Concentrations of AVS, TOC, TN and TP in the bottom sediment of *Z. japonica* populations. Every 2 specimens were taken from 12 stations.

結果

底質環境

酸揮発性硫化物態硫黄量（AVS）、全有機態炭素量（TOC）、全窒素量（TN）及び全リン量（TP）の結果を Fig. 3 に示した。AVS は 0.01 ~ 1.17 mg g^{-1} であり、St. 4 ~ 11 では 0.07 mg g^{-1} 以上であった。特に St. 10 では 1.17 mg g^{-1} に達し、他の値に比べて極めて高い値を示した。一方、St. 1 ~ 3, 12 では 0.03 mg g^{-1} 以下と前述の定点に比べて低い値であった。TOC は 0.95 ~ 15.6 mg g^{-1} で、特に St. 7, 10 では 10.0 mg g^{-1} を

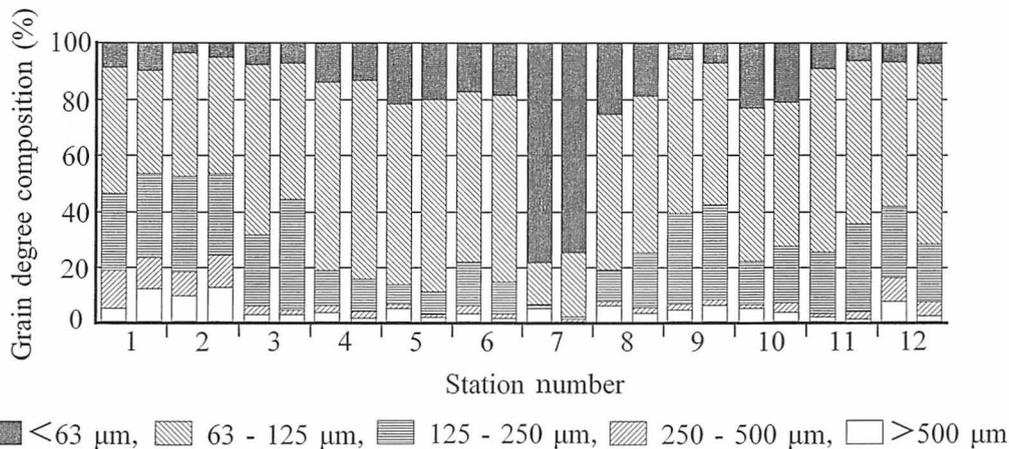


Fig. 4. Grain degree composition of the bottom sediment of *Z. japonica* populations. Every 2 specimens were taken from 12 stations.

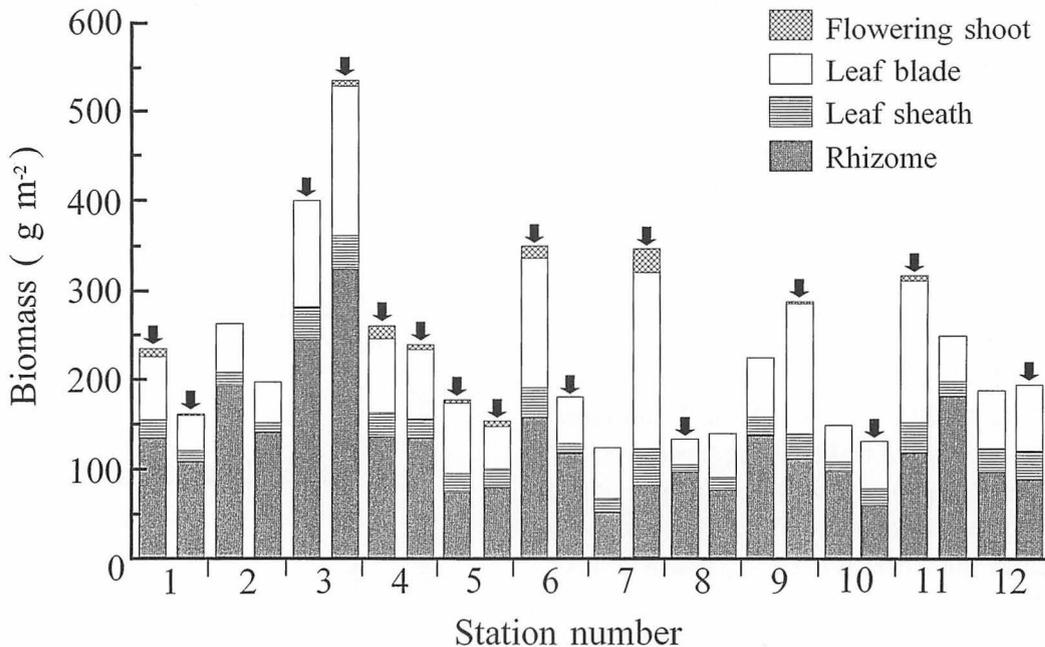


Fig. 5. Biomass of four parts of *Z. japonica*. Every 2 specimens were taken from 12 stations. Downward arrows show the stations where flowering shoots were observed.

超える値がみられた。TNは0.13～1.53 mg g⁻¹の範囲にあり、TOCと類似した傾向を示し、St. 7, 10で1.0 mg g⁻¹を超える値がみられた。TPは0.10～0.53 mg g⁻¹であり、TOC及びTNと類似した傾向を示し、St. 7, 10では0.41～0.53 mg g⁻¹と高くなった。

各群落における海底堆積物の粒度組成をFig. 4に示した。St. 7を除く定点では、微細砂(63 μm < φ < 125 μm)と細粒砂(125 μm < φ < 250 μm)が最も多く、両者を併せた比率が66.8%以上となった。しかし、St. 7では16.7, 24.7%であった。また、粒径63 μm以下の泥分はSt. 1～3, 11, 12

に比べ、St. 4～8, 10で高くなり、特に干潟に位置するSt. 7では74.5%以上となった。

コアマモ群落の特徴

Fig. 5にコアマモの各部位別の現存量を示した。総現存量は121.2～536.0 g m⁻²であり、St. 3で最も高くなった(401.4 g m⁻², 536.0 g m⁻²)。次いで、St. 6, 7でそれぞれ最高350.8 g m⁻², 345.8 g m⁻²となった。一方、St. 8, 10ではそれぞれ133.9～138.1 g m⁻², 131.3～147.8 g m⁻²となり、St. 3の半分以下の総現存量となった。全ての定点で、根茎は総現存量の23.6～73.5%を占め、50.4～323.4 g m⁻²であった。特に、St. 1～4において、根茎は総現存量の50%以上を占め、107.6 g m⁻²以上となった。一方、St. 5, 7, 8, 10, 12では、根茎は97.8 g m⁻²以下とSt. 1～4に比べて低い数値となったが、St. 7を除いて総現存量の41.9%以上を占めた。全ての定点で、葉鞘部は8.0～40.5 g m⁻²で総現存量の5.3～16.2%であった。葉身部は全定点において28.1～197.3 g m⁻²で総現存量の20.6～57.1%となり、根茎に次いで多い部位であった。特にSt. 7, 9, 11では最大で総現存量の50.7%以上となることもあり、最も現存量の多い部位であった。花枝の形成は24カ所のうち16カ所でみられ、現存量は0.1～26.5 g m⁻²で総現存量の0.1～7.7%を占めた。

Fig. 6に各群落の平均葉身部長及び葉条密度を示した。平均葉身部長は5.8～23.0 cmであった。St. 1～2, 8, 11～12で10 cm以下、St. 3～7, 9～11で10 cm以上となり、内ノ浦の外側で短く、内側で長くなる傾向がみられた。葉条密度は4.7～20.3 × 10³ shoots m⁻²であり、St. 1～3, 11～12で10.0 × 10³ shoots m⁻²を超え、St. 4～11では10.0 ×

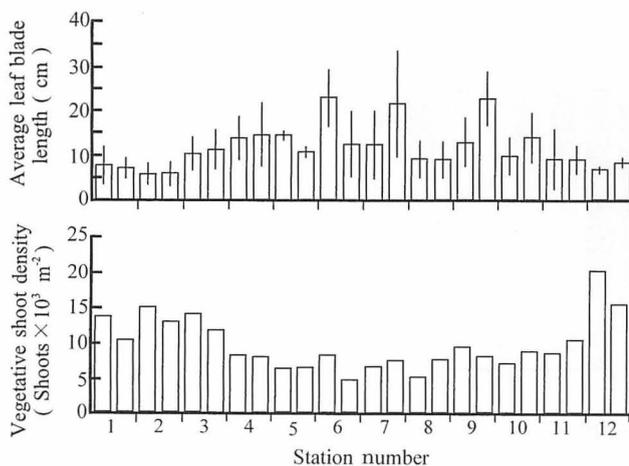


Fig. 6. Average leaf blade length and vegetative shoot density of *Z. japonica*. Every 2 specimens were taken from 12 stations. Vertical lines in upper graph show SD.

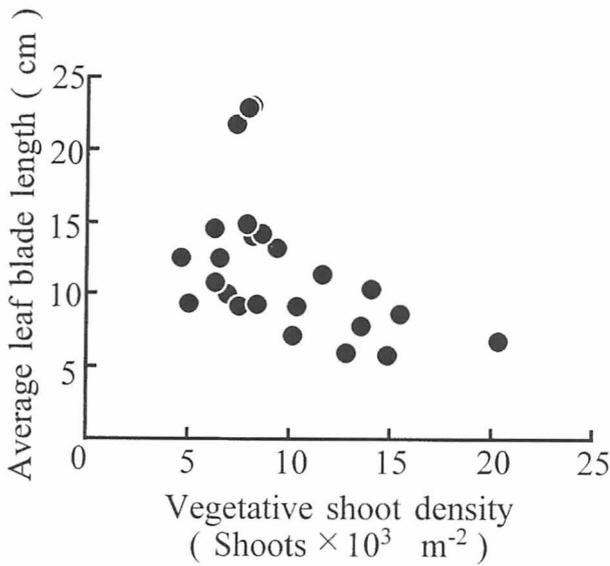


Fig. 7. Relationship between vegetative shoot density and average leaf blade length of *Z. japonica*.

10^3 shoots m^{-2} 以下となり、内ノ浦の外側で高く、内側で低くなる傾向がみられた。

Fig. 7 に葉条密度と平均葉身部長との関係を示した。 10×10^3 shoots m^{-2} 以下の葉条密度であったほとんどの定点では、平均葉身部長が 10 cm 以上であった。一方、葉条密度 10×10^3 shoots m^{-2} 以上のほとんどの定点では、平均葉身部長が 10 cm 以下となった。以上の結果から、葉条密度と平均葉身部長との間には $r = -0.479$ (t -test, $p < 0.05$) の有意な負の相関が認められた。

コアマモ草体内の炭素 (C)、窒素 (N) 及びリン (P) 含量

Fig. 8 に各定点でのコアマモ草体の各部位における C, N 及び P 含量を示した。根茎、葉鞘部及び葉身部の C 含量は、それぞれ $255.7 \sim 363.3 \text{ mg g}^{-1}$, $277.6 \sim 350.3 \text{ mg g}^{-1}$ 及び $307.8 \sim 398.9 \text{ mg g}^{-1}$ で、平均値はそれぞれ $321.0 \pm 28.7 \text{ mg g}^{-1}$, $318.3 \pm 17.8 \text{ mg g}^{-1}$, $359.2 \pm 17.5 \text{ mg g}^{-1}$ であった。総じて他の部位より葉身部で多い傾向がみられたが、後述する N・P 含量に比べると、部位や生育場所による違いは小さかった。根茎、葉鞘部及び葉身部の N 含量は、それぞれ $5.8 \sim 17.2 \text{ mg g}^{-1}$, $15.2 \sim 34.2 \text{ mg g}^{-1}$ 及び $20.2 \sim 42.6 \text{ mg g}^{-1}$ 、平均値はそれぞれ $9.7 \pm 2.5 \text{ mg g}^{-1}$, $21.6 \pm 3.9 \text{ mg g}^{-1}$, $29.5 \pm 4.7 \text{ mg g}^{-1}$ であった。N は葉身部で最も多く、次いで葉鞘部となり地上部で多い傾向がみられた。根茎、葉鞘部及び葉身部の P 含量は、それぞれ $1.1 \sim 4.6 \text{ mg g}^{-1}$, $2.9 \sim 6.4 \text{ mg g}^{-1}$ 及び $2.0 \sim 5.4 \text{ mg g}^{-1}$ 、平均値はそれぞれ $2.4 \pm 1.0 \text{ mg g}^{-1}$, $4.1 \pm 0.9 \text{ mg g}^{-1}$, $3.4 \pm 0.9 \text{ mg g}^{-1}$ であった。P 含量は葉鞘部で最も多い傾向がみられ、ついで葉身部で多くなったが、N ほど地上部に偏在する傾向はみられなかった。

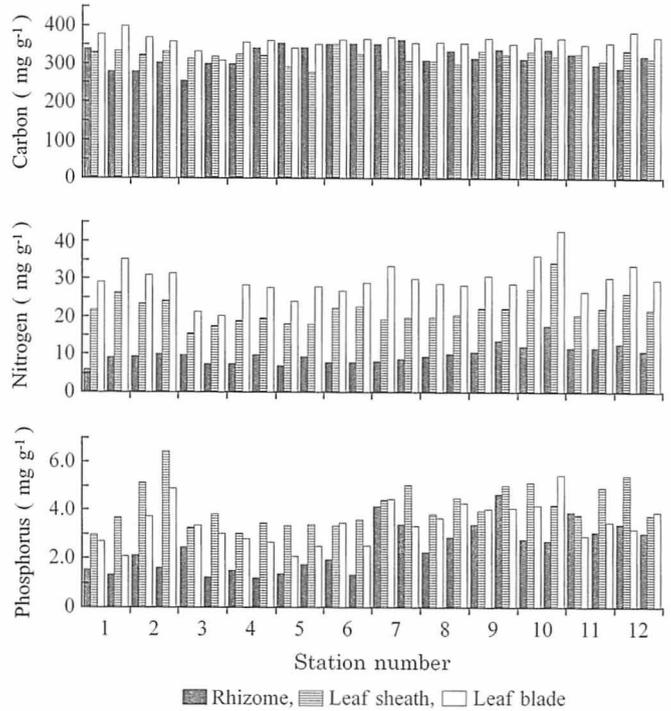


Fig. 8. Concentrations of carbon, nitrogen and phosphorus in three parts of *Z. japonica*.

コアマモ群落の特徴と底質環境

Fig. 9 に海底堆積物の TN 及び TP とコアマモの総現存量及びその原子比 C/N, C/P 比との関係を示した。根茎、葉鞘部、葉身部の 3 つの部位の現存量にそれぞれの C, N, P 含量を乗じ総現存量で除した値を総現存量の C, N, P 含量とし、これらの値から総現存量における C/N 及び C/P 比を算出した。コアマモの総現存量と海底堆積物の TN 及び TP との間には明瞭な関係は認められなかった。海底堆積物の TN とコアマモ草体における C/N 比は、TN の増加に伴って C/N 比が減少する関係が得られ、べき乗式に近似することができた ($R^2 = 0.411$, $p = 0.0007$)。また、海底堆積物の TP とコアマモ草体の C/P 比との間にも TP の増加に対する C/P 比の低下がみられ、べき乗式への近似が可能であった ($R^2 = 0.383$, $p = 0.0013$)。

Fig. 10 に海底堆積物の泥分 (粒径 $63 \mu\text{m}$ 以下) 及び AVS とコアマモ群落の地上部現存量、地下部現存量及び葉条密度との関係を示した。泥分については、地上部現存量との間に関連性はみられなかったが、地下部現存量及び葉条密度については、泥分の増加とともに減少する傾向がみられ、泥分が $3.4 \sim 78.3\%$ の範囲においては、双方ともべき乗式に近似が可能であった (それぞれ $R^2 = 0.344$, $p = 0.0026$; $R^2 = 0.489$, $p = 0.0001$)。また、海底堆積物の AVS と地上部現存量の間には関連性はなかったが、AVS と地下部現存量及び葉条密度との間には明瞭な関係がみられ、ともに AVS $0.01 \sim 1.17 \text{ mg g}^{-1}$ の範囲において、べき乗式へ近似することができた (それぞれ $R^2 = 0.345$, $p = 0.0025$; $R^2 = 0.412$, $p = 0.0007$)。

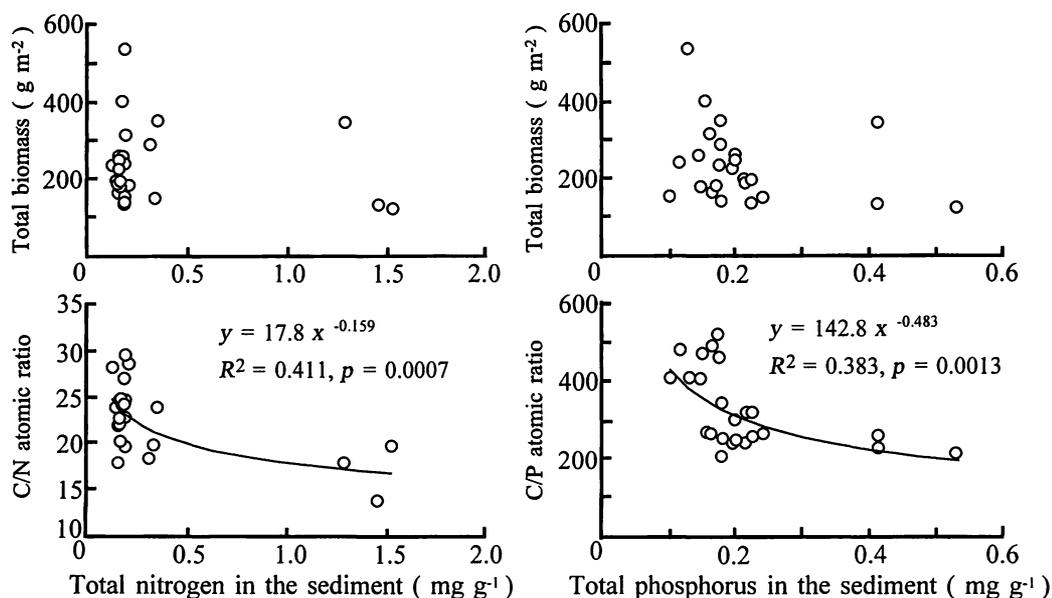


Fig. 9. Total biomass and C/N atomic ratio of *Z. japonica* as a function of total nitrogen in the bottom sediment, and total biomass and C/P atomic ratio of *Z. japonica* as a function of total phosphorus in the bottom sediment.

考察

調査地点における AVS, TOC, TN 及び TP はそれぞれ 0.01 ~ 1.17, 1.0 ~ 15.6, 0.13 ~ 1.53, 0.10 ~ 0.53 mg g⁻¹ の範囲であった (Fig. 3)。これらの値は、和歌山県和歌浦湾の海底堆積物 (水深 5 ~ 25 m) で得られているデータ (上出 2007c) と大きく異なることがわかった。AVS は St. 7 で 0.46 mg g⁻¹, St. 10 で 1.17 mg g⁻¹ と他の定点に比べて高く、最大値が 0.80 mg g⁻¹ であった和歌浦湾と比べても高い値であった。特に 1.17 mg g⁻¹ を超える値は、夏季にマクロベントス群集が消失する大規模な内湾域の魚類養殖漁場でみられる値である (和歌山県増殖研究所 2004, 2006)。潮間帯域でこのような値を示すのは、生育地が極めて強い還元的状態にあることを意味している (伊藤 1996, Jorgensen & Fenchel 1974, Jorgensen 1977)。TOC は、ほとんどの定点で 2.95 mg g⁻¹ 以下であり、平均値が 7.06 mg g⁻¹ であった和歌浦湾に比べて低い傾向がみられた。しかし、St. 7 で 11.5, 8.8 mg g⁻¹, St. 10 で 4.19, 15.6 mg g⁻¹ となる値がみられ、AVS と同様高い値を示し、極めて富栄養化した環境と判断できる。TN はほとんどの定点で 0.35 mg g⁻¹ 以下であり、1.0 mg g⁻¹ 以上となる和歌浦湾に比べ低い値であったが、St. 7, 10 では 1.0 mg g⁻¹ 以上を示した。TP はほとんどの定点で 0.24 mg g⁻¹ 以下であり、St. 7, 10 では 0.4 mg g⁻¹ を超えた。これらの値は和歌浦湾の値に比べると同程度かやや低い値であった。さらに、TOC, TN と TP の原子比を比較するため、調査定点と和歌浦湾における C/N 及び C/P 比を比較すると、C/N 比は和歌浦湾で有意に低く (*t*-test, *p* < 0.05), C/P 比には有意差は認められなかった。陸域由来の物質によって構成される砂泥の潮間帯域では、通常海底堆積物に比べて原子比にして窒素が不足した状態にあることが知られているが (Short 1987), 調査定点においても和歌浦湾の海底堆積物に比

べて炭素やリンに対する窒素原子の存在比が低いことが明らかになった。また、調査定点の粒度組成をみると、St. 7 を除く全ての定点で微細砂と細粒砂が 66.8% 以上を占め、St. 7 では泥分が 74.5 ~ 78.3% を占める泥質であった (Fig. 4)。従って、コアマモ群落の海底堆積物は AVS や TOC などの有機物指標の濃度が広い範囲にあり、また多様な粒度組成を示し、調査海域に存在するほぼ全ての潮間帯の砂泥質を網羅していることから、本種は調査海域のほとんどの砂泥域を生育基質として利用できると思われる。

コアマモの平均葉身部長と葉条密度との間には有意な負の相関がみられた (Fig. 7)。同様の例はフランス, Roscoff におけるアマモ群落間でも報告されている (Jacobs 1979)。また、葉条密度が低く、平均葉身部長が長くなるのは、St. 4 ~ 10 のような泥分と AVS 値が高い内湾の性格の強い地点に形成された群落であった。総現存量、地上部・地下部現存量、葉条密度及び平均葉身部長と海底堆積物の泥分及び AVS との関係を検討した場合、総現存量と底質環境との間に関連性はみられなかった。また、地上部現存量及び平均葉身部長と泥分もしくは AVS との間にも関連性はみられなかった (Fig. 10)。一方、地下部現存量と葉条密度では泥分及び AVS との間に有意な相関が認められた。AVS は有機物が嫌気分解される過程で生成されることから、海域の酸素供給能力を反映した値と考えることができ (武岡ら 1996), 泥分は流れの弱い場所に堆積すると考えられる。従って、流れが緩やかな底質環境の特徴を示す定点では地下部現存量が少なく、葉条密度が低い傾向がみられた。また、AVS の生成に関連する硫化水素は海産大型植物に有毒であり (Koch *et al.* 1990), AVS が高い値を示すような還元的な環境は海草類の生長を阻害するといわれている (Terrados *et al.* 1999)。これらのことが、地下部現

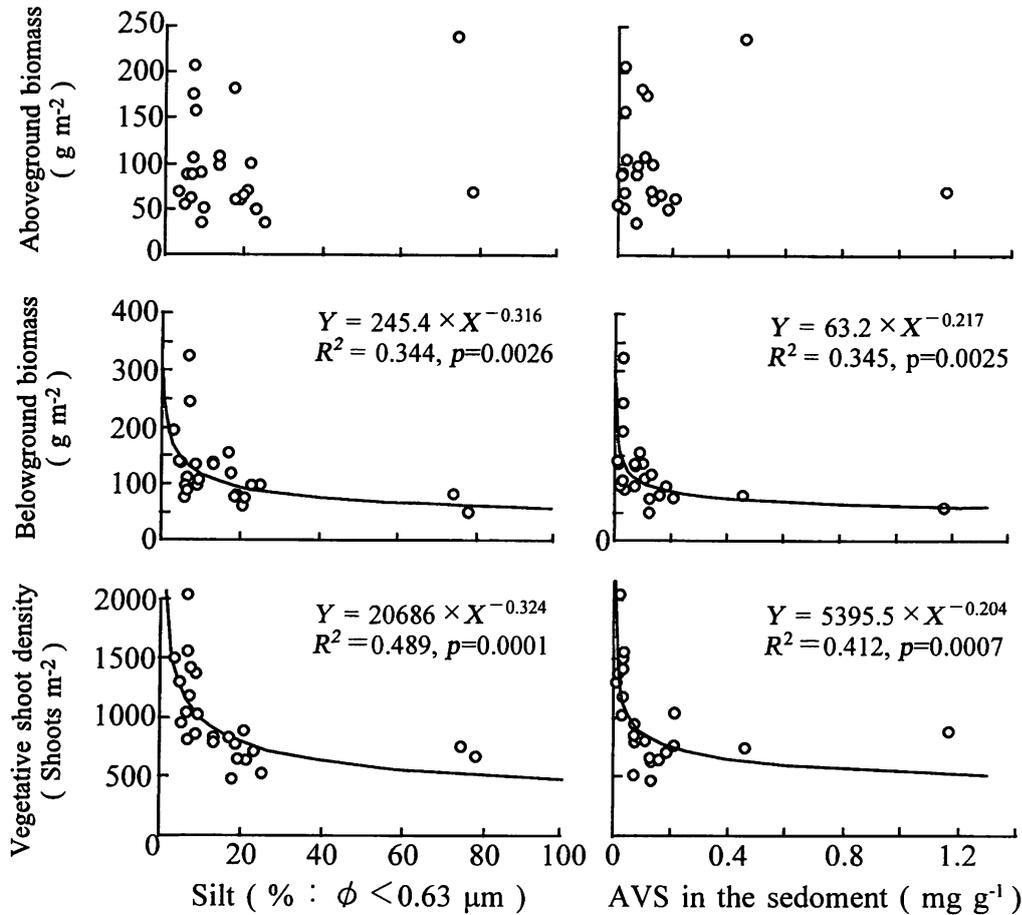


Fig. 10. Aboveground biomass, belowground biomass and vegetative shoot density of *Z. japonica* as a function of Silt and AVS in the bottom sediment.

存量の減少の要因として考えられるが、これについては種による特異性が顕著であるとされおり (Terrados *et al.* 1999), コアマモにおけるこれらの機構については生理学的な見地からの更なる検討が必要であろう。

コアマモ草体中の C 含量は、N・P 含量に比べ全ての部位で変動が小さかった (Fig. 8)。海草類では C は主に細胞壁などの植物体の構造を担う分子構造に使われおり、N、P に比べ周辺の栄養状態には影響されないといわれ (Atkinson & Smith 1983), コアマモでは、C は N、P に比べて季節及び生育地の違いによる差異がみられないことも知られている (上出 2007b)。一方、N、P は共に地上部である葉身部や葉鞘部に多い傾向があり、特に N は地上部への偏在が著しく、コアマモ群落における N は主に地上部に蓄積されていた。これらは、2004 年 6 月から 2005 年 8 月に St. 5 と 12 に位置する群落で行われた季節的な変動に関する研究の結果 (上出 2007b) と同じ傾向であった。アマモでは、葉身部での N の吸収量が根茎のそれを上回ることが知られている (Hemminga *et al.* 1991, Hemminga *et al.* 1994, Risgaard-Petersen *et al.* 1998)。一方、海水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ や $\text{NO}_3\text{-N}$ が少ない時には、根茎からの吸収が重要になることも知られている (Pedersen & Borum 1992)。リンに関しては、葉身部と根茎からの吸収

が知られているが、アマモでは海底堆積物中の間隙水からの溶存無機態リンの吸収が重要であるとされている (McRoy & Barsdate 1970, McRoy *et al.* 1972)。こうした海草類の N、P 吸収機構と TN、TP が豊富な海底堆積物に生育するコアマモほど草体中の C/N、C/P 比が低下する傾向が明らかになったことから考えると (Fig. 9), TN、TP が豊富な海底堆積物に生育するコアマモほど草体中に多くの N、P を蓄積しているといえる。これらのことはコアマモの草体中で N、P が充足していないことを意味するものと考えられ、調査海域においてコアマモの生長にとって N、P は、共に制限要因であることが示唆される。また、吸収された N と P、特に N は地上部に多く保持されることが明らかになった。

コアマモ群落の海底堆積物が広い範囲の AVS、TOC、TN 及び TP 濃度を示し、多様な粒度組成を持つことは、コアマモが生育基質として調査海域の砂泥域の潮間帯のほとんどを利用する能力を有することを示唆している。また、葉条密度と平均葉身部長との間に負の相関がみられ、AVS 値と泥分が高い定点で地下部現存量と葉条密度が低い傾向が確認されたが、平均葉身部長や地上部現存量といった地上部分の特徴と底質環境との関連性は認められなかった。これらのことから、底質環境はコアマモ群落の地下部の構造と葉条密度に対して

のみ関連性を持っていると考えられる。

謝辞

本報をとりまとめるにあたりご指導を頂いた和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場漁場環境部長 木村 創氏に深謝致します。また、調査の実施にあたって御協力を頂いた新庄漁業協同組合の皆様にも厚く御礼申し上げます。京都大学大学院理学研究科 河村真理子氏には、TOC 及び TN の分析にあたり貴重な御指導と御助言をいただいた。サンプルの処理及び分析には和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場増養殖研究所 田中真珠美氏にご助力いただいた。この場を借りて深謝致します。なお、本研究は水産庁の委託事業である平成 17 年度水産基盤整備調査委託事業の一部として行われたものであり、水産庁に深い感謝の意を表します。

引用文献

- Atkinson, M. J. & Smith, S.V. 1983. C:N:P ratios of benthic marine plants. *Limnol. Oceanogr.* 28 (3): 568–574.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P. & van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253–260.
- Duarte, C. M. 1995. Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. *Ophelia* 41: 87–112.
- 波部忠重 1949. 田辺湾の底棲動物群集と貝類遺骸の堆積. *日水誌* 15 (5): 238–244.
- Hemminga, M. A., Harrison, P. G. & van Lent, F. 1991. The balance of nutrient losses and gains in seagrass meadows. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 71: 85–96.
- Hemminga, M. A., Koutstaal, B. P., van Soelen, J. & Merks, A. G. A. 1994. The nitrogen supply to intertidal eelgrass (*Zostera marina*). *Marine Biology* 118: 223–227.
- Ishio, S., Kuwahara, M. & Nakagawa, H. 1986. Conversion of $AlPO_4\text{-P}$ to Fe-bound P in sea sediments. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 52: 901–911.
- 伊藤和男 1996. 底質環境中の硫黄化合物の分析方法と動態. pp. 77–116. 寒川喜三郎・日色和夫 (編著) 最新の底質分析と化学動態. 技報堂出版, 東京.
- Iwasaki, H., Ishii, J. & Ueda, S. 1987. On the chemical character of bottom sediment and the benthic biomass in Ise and Mikawa Bays. *Nippon Suisan Gakkaishi* 53 (6): 1065–1071.
- Jacobs, R. P. 1979. Distribution and aspects of the production and biomass of eelgrass, *Zostera marina* L., at Roscoff, France. *Aquatic Botany* 7: 151–172.
- Jorgensen, B. B. 1977. The Sulfur Cycle of a Coastal Marine Sediment (Limfjorden, Denmark). *Limnol. Oceanogr.* 22: 814–832.
- Jorgensen, B. B. & Fenchel, T. 1974. The Sulfur Cycle of a Marine Sediment Model System. *Marine Biology* 24: 189–201.
- Koch, M. S., Mendelsohn, I. A. & McKee, K. L. 1990. Mechanism for the hydrogen sulfide-induced growth limitation in wetland macrophytes. *Limnol. Oceanogr.* 35: 399–408.
- McRoy, C. P. & Barsdate, R. J. 1970. Phosphate absorption in eelgrass. *Limnol. Oceanogr.* 15: 6–13.
- McRoy, C., Barsdate, R. J. & Nebert, M. 1972. Phosphorus cycling in an eelgrass (*Zostera marina* L.) ecosystem. *Limnol. Oceanogr.* 17: 58–67.
- Miyadi, D. 1940. Marine benthic communities of the Tanabe Wan. *Annot. Zool. Japon.* 19 (2): 36–148.
- 日本分析化学会北海道支部 1989. 新分析化学実験. 化学同人, 京都.
- 日本工業標準調査会 1998. 工場排水試験方法 JIS K 0102: 1998. 日本規格協会, 東京.
- 大垣俊一 1989. 島島海岸生物相の長期的変化とその要因. *日生態誌* 39: 27–36.
- 大場達之・宮田昌彦 2007. 日本海草図譜. 北海道大学出版会, 札幌.
- Orth, B. J., Heck, J. R. K. L. & van Montfrans, J. 1984. Faunal communities in seagrass beds: A review of the influence of plant structure and prey characteristics on predator-prey relationships. *Estuaries* 7: 339–350.
- Pawar, V., Matsuda, O. & Fujisaki, N. 2002. Relationship between feed input and sediment quality of the fish cage farms. *Fisheries Science* 68: 894–903.
- Pedersen, M. F. & Borum, J. 1992. Nitrogen dynamics of eelgrass *Zostera marina* during a late summer period of high growth and low nutrient availability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 80: 65–73.
- Risgaard-Petersen, N., Dalgaard, T., Rysgaard, S., Christensen, P. B., Borum, J., McGlathery, K. & Nielsen, L. P. 1998. Nitrogen balance of a temperate eelgrass *Zostera marina* bed. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 174: 281–291.
- Short, F. T. 1987. Effect of sediment nutrients on seagrasses: Literature review and mesocosm experiment. *Aquatic Botany* 27: 41–57.
- 水産庁研究部漁場保全課 1997. 漁場保全対策推進事業調査指針. 水産庁, 東京.
- 武岡英隆・大森浩二 1996. 底質の酸素消費速度に基づく適正養殖基準の決定法. *水産海洋研究* 60: 45–53.
- 竹内照文 1980. 和歌山県沿岸の赤潮—1971 年から 1979 年までの赤潮発生状況. 昭和 54 年度和歌山県水産試験場事業報告: 186–199.
- Terrados, J., Duarte, C. M., Kamp-Nielsen, L., Agawin, N. S. R., Gacia, E., Lacap, D., Fortes, M. D., Borum, J., Lubanski & Greve, T. 1999. Are seagrass growth and survival constrained by the reducing conditions of the sediment? *Aquatic Botany* 65: 175–197.
- 上出貴士 2004a. 和歌山県沿岸における赤潮—1981 年から 2000 年の赤潮発生状況—. 和歌山農林水産技研報 5: 107–116.
- 上出貴士 2004b. 田辺湾における養殖漁場環境の変遷について. 和歌山農林水産技研報 5: 117–124.
- 上出貴士 2006a. 田辺湾南部における 1985 年から 2000 年までの 8 月の溶存酸素の変動について. 和歌山農林水産技研報 7: 123–130.
- 上出貴士 2006b. 田辺湾における海藻の分布とコアマモの生態. 「第 1 回瀬戸内海水産フォーラム (瀬戸内海におけるアマモ場の現状と回復への取り組み) 成果集」, pp. 13–17.
- 上出貴士 2007a. 和歌山県田辺湾内ノ浦及び瀧内の潮間帯に生育するコアマモ *Zostera japonica* の季節的消長. *日水誌* 73 (3): 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 (5): 印刷中.
- 上出貴士 2007c. 魚類養殖漁場における海底堆積物の化学的特性とリンの存在形態. *日水誌* 73 (1): 62–68.
- 和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場増養殖研究所 2004. 平成 15 年度養殖漁場環境保全推進事業 (環境保全型養殖普及推進事