

平成18年度  
水産基盤整備調査委託事業報告書

和歌山県農林水産総合技術センター  
水産試験場

I 調査課題名 田辺湾をモデル水域としたアマモ場・干潟の基礎的機能解明調査

## II 実施機関及び担当者

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

副主査研究員 上出 貴士 (主担当)

主査研究員 山内 信

副主査研究員 高橋 芳明

III 調査実施年度 平成 16～18 年度

## IV 緒 言

近年、和歌山県沿岸水域において環境悪化の指標となる赤潮発生等が減少し、沿岸域の環境が改善傾向にあると考えられている。一方、漁業生産は依然として低迷が続いており、環境改善の傾向が反映されるに至っていない。このような状況において、適正な漁場環境を保ちながら、漁業生産を回復・維持し、効率的に利用していく手法の確立が不可欠なものとなってくる。そこで、田辺湾をモデル水域として、アマモ場・干潟の環境浄化や生物生産に関わる基礎的機能を明らかにすることで、水産資源の増大・維持及び漁場環境の保全に資する知見を得ることを目的とし、潮間帯域に形成されたコアマモ群落の生態の解明と炭素・窒素・リンの浄化能力の原単位の解明に焦点を当て調査を行った。また、そこに出現する底生動物相や魚類相についても明らかにした。

## V 調査方法

### 1) コアマモ生態調査

コアマモ群落において月 1 回 (2004 年 5 月～2005 年 8 月) の頻度で調査を行い、コアマモの季節的消長、純生産量及び炭素 (C)、窒素 (N)、リン (P) の蓄積量を明らかにした。また、2005 年 7 月及び 2006 年 7、9 月に内ノ浦周辺のコアマモ群落において底質環境及び平均流速とコアマモ群落の構造との関係について調査した。平均流速については石膏球による方法<sup>1,2)</sup>を用いた。

### 2) 水産資源涵養機能の解明

アマモ場・干潟に蟄集する生物群集を隔月に採集し (2004 年 8 月～2005 年 6 月)、組成や季節的变化を明らかにして、これらの水域が水産資源の生産に果たす役割を明らかにする。

また、2006 年 9 月には内ノ浦周辺の 28 定点でベントス及びコアマモの採集を行い、コアマモ群落とコアマモの生育しない砂浜域でのベントス相の比較を行った。

### 3) 干潟の環境特性の把握

田辺湾では有機物負荷の大部分が魚類養殖によって負荷されていると考えられている。そこで、田辺湾の東部奥に位置し湾内で最大規模の内ノ浦干潟の環境特性を明らかにし、N、P 循環上の役割を明らかにし、水産業における干潟の基礎的機能を魚類養殖との対比で考察した。

## VI 調査結果

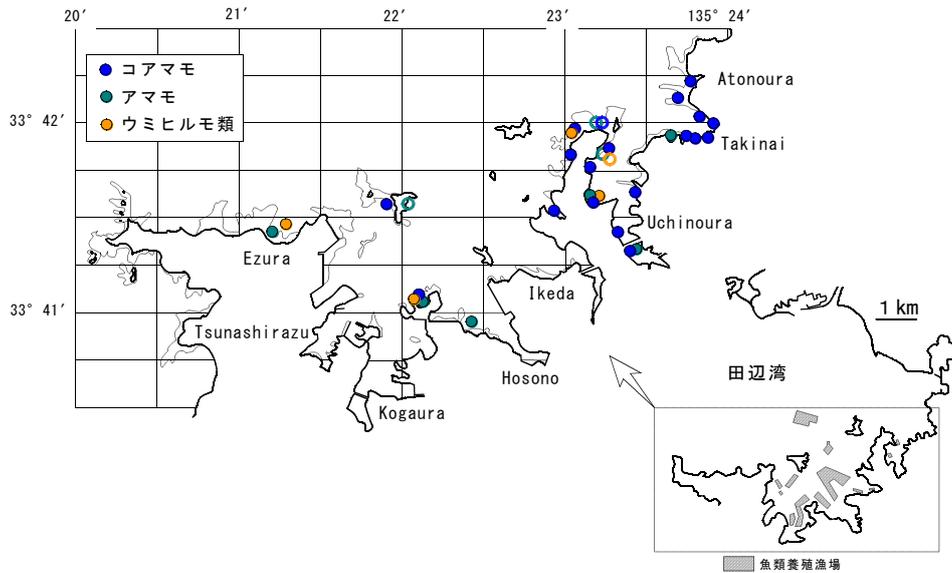


図1 田辺湾における海草類の分布 (2006年9月現在)

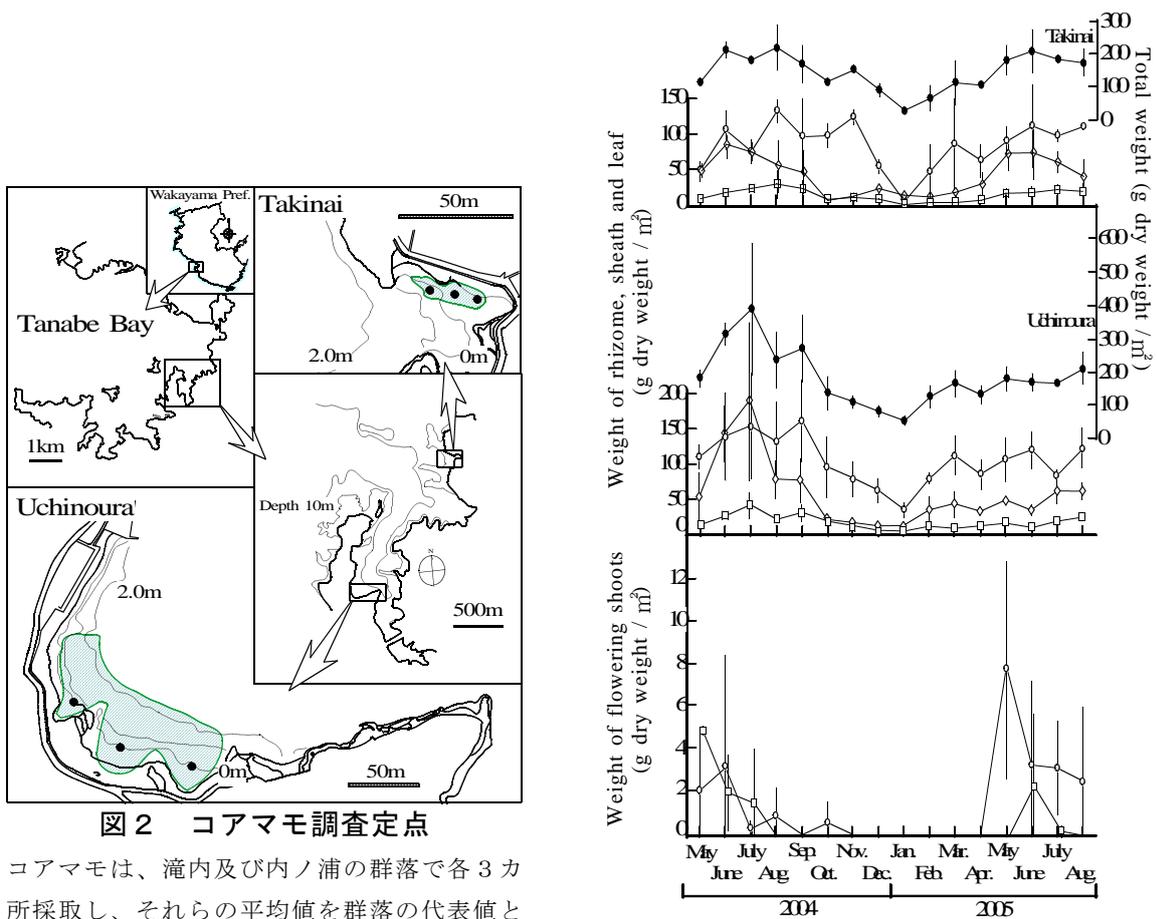


図2 コアマモ調査定点

コアマモは、滝内及び内ノ浦の群落で各3カ所採取し、それらの平均値を群落の代表値とした。

図3 コアマモ群落の現存量の季節的消長

上段は滝内、中段は内ノ浦、下段は花枝について示す。  
 上、中段 ●: 合計、○: 地下茎、□: 葉鞘、◇: 葉条  
 下段 □: 滝内、○: 内ノ浦

### 1) 環境調査

田辺湾にはアマモ、コアマモ<sup>3)</sup>、ヤマトウミヒルモ、オオウミヒルモ、タナベウミヒルモ<sup>4)</sup>の5種の海草類が分布し(図1), コアマモの群落が多くみられた。コアマモは湾東部の内ノ浦周辺に最も多く分布し, シルト分が70%以上の泥地から5%以下の砂地などの多様な底質環境に生育していた。また, 群落の大きさも数cm四方程度のものから, 3haに及ぶものまで様々であった。生育水深は潮間帯から水深2m(T.P.)までで, 主に潮間帯を中心に群落が形成されていたが, 潮下帯に形成された群落もみられた。

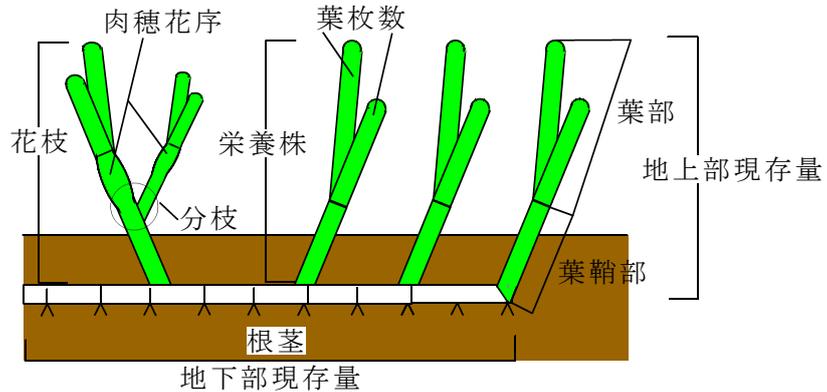


図4 コアマモ各部位の区分

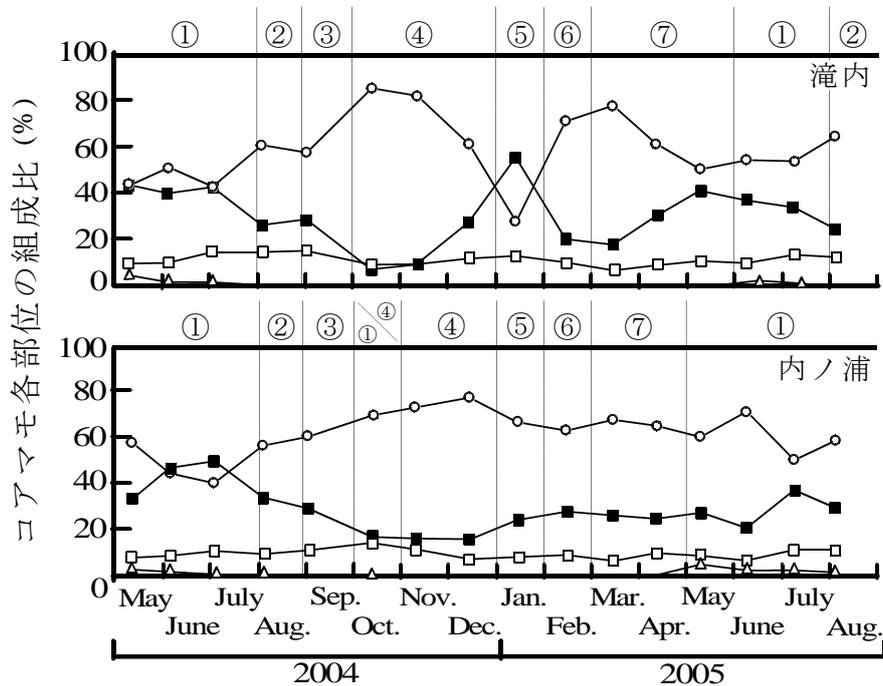


図5 コアマモ各部位の組成比の推移

○：根茎、□：葉鞘部、■：葉部、△：花枝

①：成熟期（繁茂期前期），②：繁茂期後期，③：繁茂期末期，④：衰退期，⑤：衰退期末期，⑥：生長期前期，⑦：生長期後期

### コアマモ群落の季節的消長

和歌山県田辺湾に生育するコアマモの2群落(図2)の季節的消長(2004年5月~2005年8月)を明らかにした。現存量は滝内、内ノ浦でそれぞれ26.8~218.5g m<sup>-2</sup>, 51.8~386.3g m<sup>-2</sup>で変動し、初夏(6~7月)に最も多くなった(図3)。コアマモの部位の区分は図4に示す。現存量のうち根茎が最も大きな割合を占め、最大で全体の94%に達した。これらから本種の季節的消長を成熟期(繁茂期前期), 繁茂期後期, 繁茂期末期, 衰退期, 衰退期末期, 生長期前期, 生長期後期の7期に区分した(図5)。花枝が形成される成熟期は5~8月及び10月であり、現存量は繁茂期後期に最大, 衰退期末期に最小となった。

### 年間純生産量とC, N, Pの年間蓄積量

田辺湾滝内及び内ノ浦の潮間帯に生育するコアマモ(図2)の栄養株中のC, N, P含量の季節変動および年間純生産量とC, N, Pの年間蓄積量を明らかにした。2004年7月から2005年7月までの年間純生産量は351.8~392.9 g·m<sup>-2</sup>·year<sup>-1</sup>と試算され, C, N, Pの年間蓄積量はそれぞれ108.2~134.8, 7.11~7.36, 0.99~1.18 g·m<sup>-2</sup>·year<sup>-1</sup>であった。また, m<sup>2</sup>あたりのC, N, P量を図6に示す。地上部の最大生産速度は2.68 g·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup>, 地上部のC, N, Pの最大蓄積速度は756.9, 66.2, 8.02 mg·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup>と試算された。また, 1~5月に地上部でN, P含量の増加, 根茎でC含量の低下がみられ, 地上部の生産速度やC, N, Pの蓄積速度が上昇した。(図7)

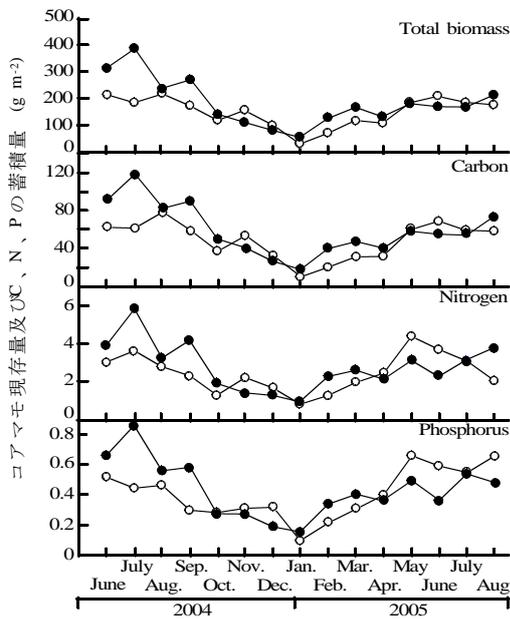


図6 m<sup>2</sup>あたりのコアマモの現存量及びC、N、P量

○：滝内、●：内ノ浦

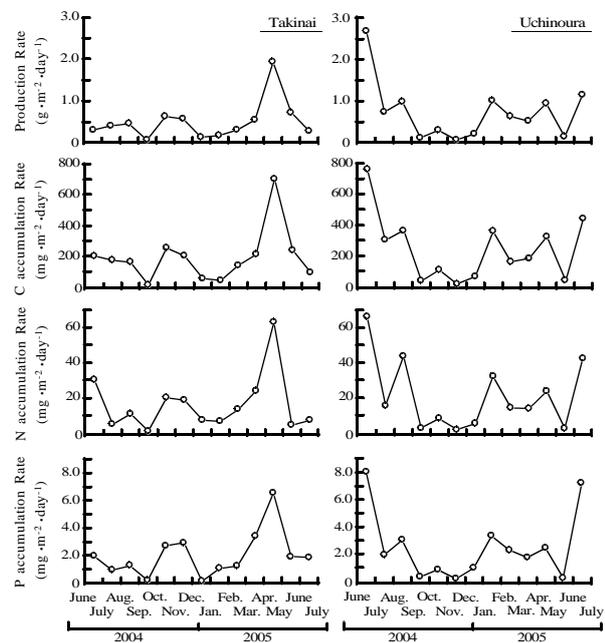


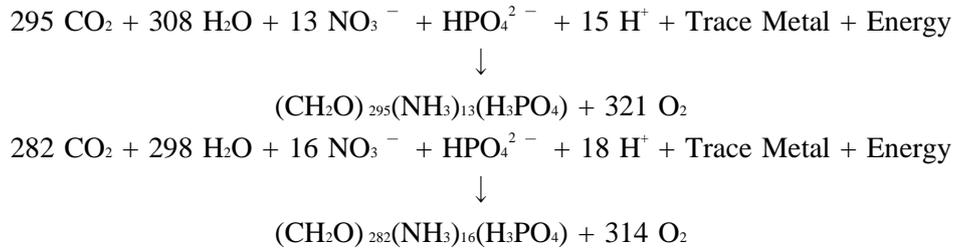
図7 生産速度及びC、N、Pの蓄積速度

左列は滝内、右列は内ノ浦を示す。

### コアマモ群落におけるC : N : P比

田辺湾におけるコアマモの C, N, P の蓄積速度から得られた地上部の C:N:P 比は 250 : 19 : 1 であった. 一方 C, N, P の年間蓄積量における C:N:P 比は滝内の地上部で 243 : 16 : 1, 地下部で 373 : 9 : 1, 全体で 295 : 13 : 1 であった. 内ノ浦ではそれぞれ 252 : 18 : 1, 376 : 10 : 1, 282 : 16 : 1 であった. この値を海洋における植物プランクトンの C:N:P 比として知られているレッドフィールド比 106 : 16 : 1<sup>5)</sup> と比較すると, コアマモの C に対する N, P の比は植物プランクトンのおよそ 3 分の 1 程度であった. また, 海草類の葉部の平均値が 474 : 24 : 1 であることが知られているが,<sup>6)</sup> これに比べるとコアマモでは C に対して N 及び P が多い傾向がみられた. さらに, 海草類を含む海産大型植物に関する C:N:P 比は平均値で 700 : 35 : 1, 中央値で 550 : 30 : 1 が報告され,<sup>7)</sup> 海草類は海藻類に比べると C:N 比, C:P 比が低いことが知られている.<sup>8)</sup> これらと比較すると草体全体ではコアマモは C に対して P が多い傾向がみられた.

Stumm and Morgan<sup>9)</sup> はレッドフィールド比に基づいた植物プランクトンの生長を式に表し, Atkinson and Smith<sup>7)</sup> は大型海産植物での C:N:P 比を Stumm and Morgan の式に応用した. それに倣い滝内及び内ノ浦の年間の C, N, P 取り込み量から得られたデータをこれらの式に応用するとそれぞれ次式が得られる.



上の式から, 潮間帯域に自生する滝内及び内ノ浦のコアマモ群落では, C, N, P の年間蓄積量からみると, それぞれ P 1 原子につき N 原子 13, 16 原子が固定され, N 1 原子を固定するのにそれぞれ 23, 18 分子の CO<sub>2</sub> が消費され, 25, 20 分子の O<sub>2</sub> が放出されることになる.

### 生育場所によるコアマモ群落の差異

2005 年 7 月に図 8 に示す 12 の定点でコアマモを採取し, それぞれの形態と底質環境を比較した. その結果, コアマモ群落の海底堆積物は広い範囲の AVS, TOC, TN 及び TP 濃度を示し, 粒度組成についても多様であった. このことから, コアマモは生育基質として内ノ浦周辺の砂泥域の潮間帯のほとんどを利用できるものと考えられた. また, 葉条密度の増加に伴い平均葉部長が短くなる傾向がみられ, AVS 値と泥分が高くなるに従って地下部現存量と葉条密度を低下させる傾向のあることが確認された (図 9). しかし, 平均葉部長や地上部現存量といった地上部分の構造と底質環境との関連性は認められなかったことから, 底質環境はコアマモ群落の地下部の構造と葉条密度にのみ影響を及ぼしていることが示唆された. また, コアマモの生長に関して N, P が共に制限要因であることが示唆され, 特に N はコアマモの生育環境中で不足した状態にあると考えられた.

また, 2006 年 7 月に図 8 の St.7 を除く 11 群落で石膏球を用いた平均流速の測定とコアマモ群落の構造を比較した結果, 平均流速と葉部長との間 ( $r = -0.795, p < 0.01$ ) には負の相関, 平均流速と葉条密度の間 ( $r=0.818, p < 0.01$ ) には正の相関がみられた.

これらの結果から, 地下部は底質に影響を受け, 地上部は海水の流動に影響を受けていると考えられた. また, 葉条密度は双方と密接に関連していると考えられた.

## 2) 水産資源涵養機能の解明 ベントス相

図 10 に示す滝内 6 定点 (T1 ~ 6: 砂浜域 T4, 6) と内ノ浦 3 定点 (U1 ~ 2) の 9 定点で 2 ヶ月に 1 回の頻度でマクロベントスの採取を行った。採取面積は 25×25 cm, 深さ 25 cm で, 目合い 0.5mm の篩で濾過し, 採取後ホルマリンで固定した。更に固定後目合い 1mm の篩で濾過し, 5g 以下のものをサンプルとした。

種類数は, 6 回の調査で 143 種が確認され, 多毛類 42 種, 腹足類 23 種, 二枚貝類 23 種, 甲殻類 44 種であった。湿重量及び個体数密度は砂浜域に比べコアマモ群落で顕著に高くなった。種類数はコアマモ群落で多い傾向がみられたが, St.5 では 12, 2 月の冬季には砂浜域と同程度となった (図 11)。多様度  $H'$  はコアマモ群落と砂浜域では大きな違いはみられなかった (図 12)。また, 均等度  $J'$  がコアマモ群落で低くなった。これはコアマモ群落ではウメノハナガイ, ミズヒキゴカイ, スナタバムシといった特定

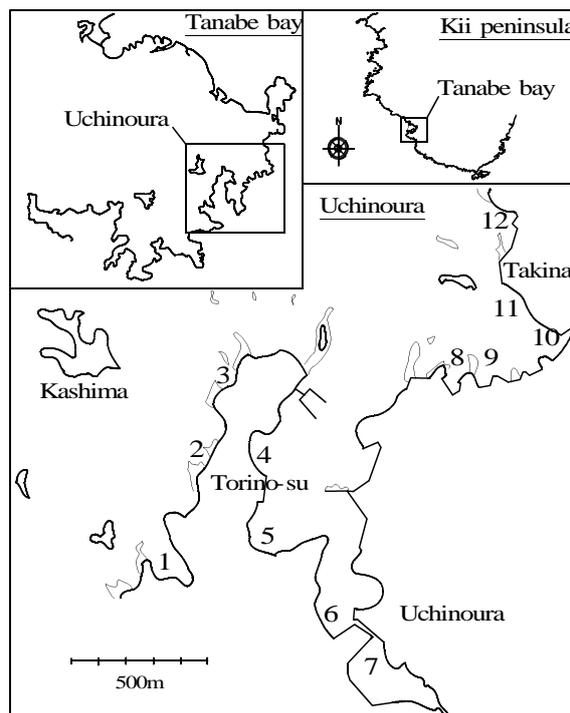


図8 コアマモ一斉調査定点

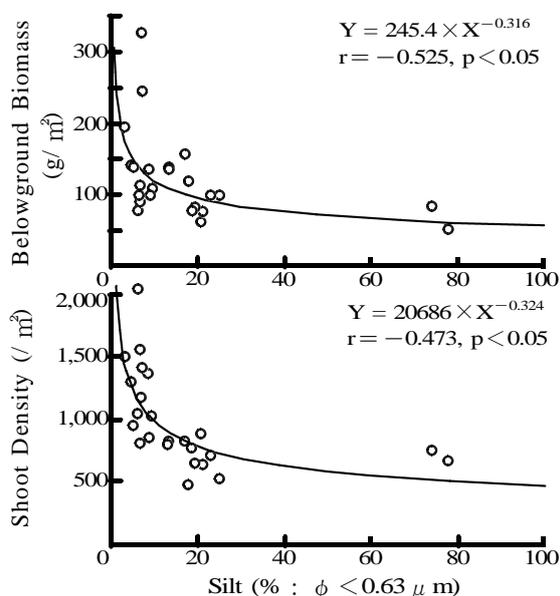


図9 生育地点のシルト含量と地下部現存量及び葉条密度の関係

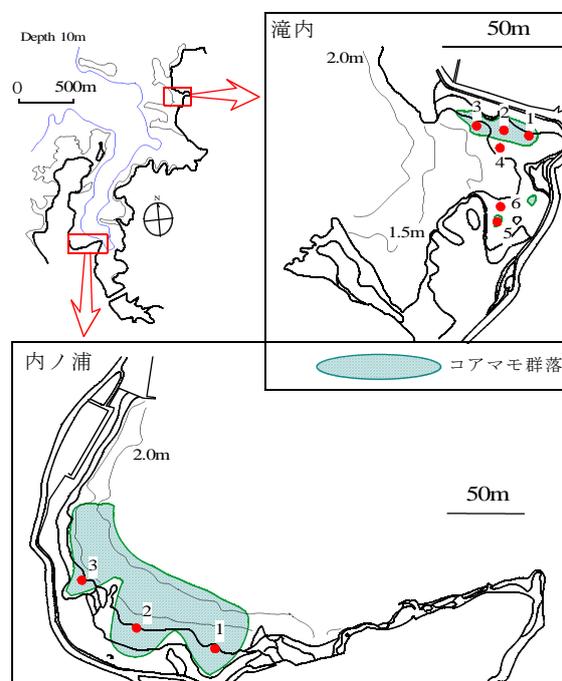


図10 マクロベントス調査定点 (2004~2005年)

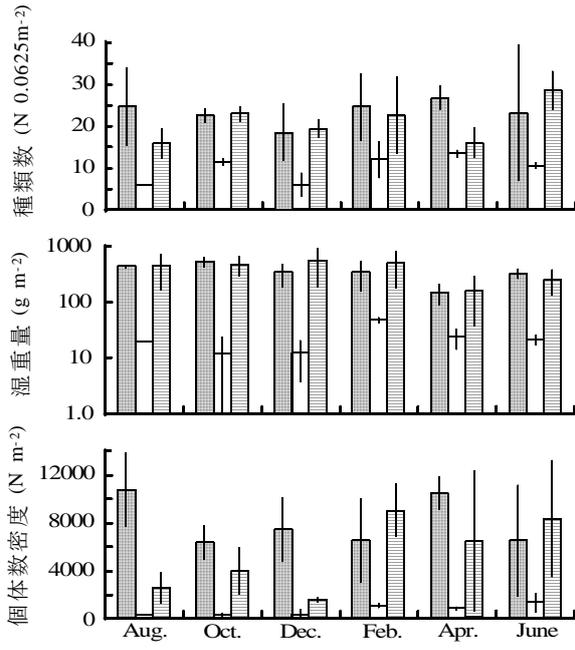


図11 マクロベントスの種類数、湿重量、  
個体数密度の推移

■ 滝内のコアマモ群落、□ 滝内の砂浜域、▨ 内ノ浦のコアマモ群落

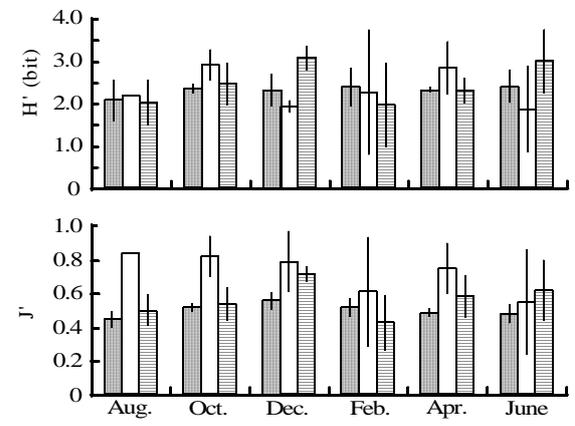


図12 マクロベントスの多様度 $H'$ 及び均  
等度 $J'$ の推移

■ 滝内のコアマモ群落、□ 滝内の砂浜域、▨ 内ノ浦のコアマモ群落

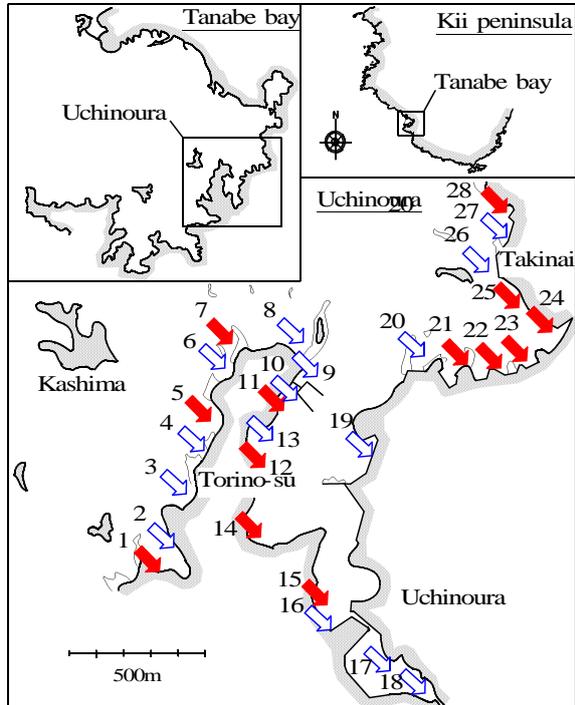


図13 マクロベントス調査定点 (2006年)  
矢印はコアマモ群落 (St.6はウミヒルモ)、  
白抜き矢印は砂浜域を示す。

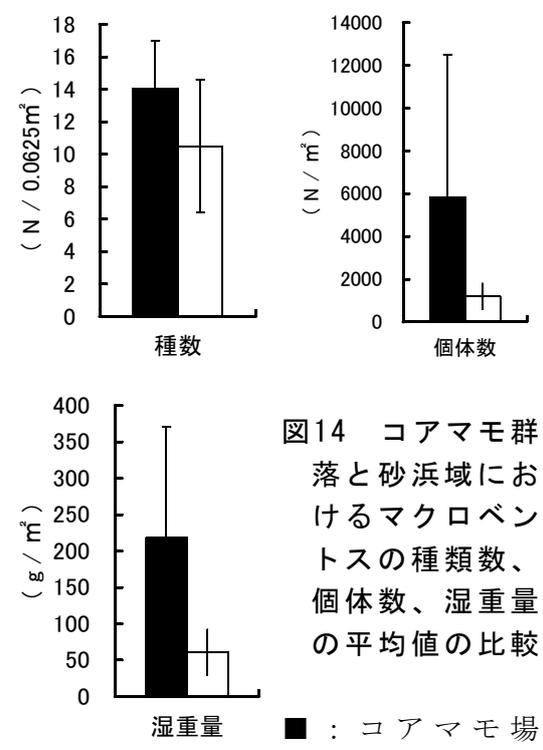


図14 コアマモ群  
落と砂浜域にお  
けるマクロベ  
ントスの種類数、  
個体数、湿重量  
の平均値の比較

■ : コアマモ場  
(St.6を除く)、  
□ : 砂浜域

の種が多く優占したためである。

出現した水産有用種としてはタイワンガザミ、モクズガニ、アサリなどの幼生が確認され、これらの種の保育場になっていることが確認された。また、ツツミガイ、オウギウロコ、シオヤガイ、ユキガイなどの貴重種<sup>10)</sup>の棲息も確認され、生態学的に貴重な場所であることがわかった。

また、図 13 に示す 28 定点でマクロベントスの採取を行い、コアマモ群落とコアマモの生育していない砂浜域のマクロベントス群集の比較を行った。種数、個体数、湿重量のそれぞれの平均値を図 14 に示す。コアマモ場では種数、個体数、湿重量がそれぞれ  $14 \pm 3$  種、 $5841 \pm 6652$  個体  $m^{-2}$ 、 $218.6 \pm 152.1g m^{-2}$  であった。砂浜域ではそれぞれ  $11 \pm 4$  種、 $1183 \pm 624$  個体  $m^{-2}$ 、 $60.7 \pm 32.0g m^{-2}$  であった。いずれもコアマモ場で有意に高くなった ( $t$  検定,  $p < 0.05$ )。

### 魚 類 相

袖網全長 4 m (左右), 縦 0.5 m, 袋網横 1 m, 縦 0.5 m, 奥行 1 m の曳き網を用いて採集した。滝内ではコアマモ群落を含む砂浜域, 内ノ浦ではコアマモ群落で約 100 m 曳網した。

2004 年 11 月～2005 年 11 月の 13 回の調査によって採取された魚類は滝内 46 種類以上, 2,021 個体, 内ノ浦 47 種類以上, 2,810 個体であり, 合計 61 種類がみられた。また, 頭足類はヒメイカ, アオリイカの 2 種がみられた。水産有用種としては滝内ではアユ, サヨリ, シロギス, メジナ, ヘダイ, クロダイ, キチヌ, 内ノ浦ではアオリイカ, サヨリ, スズキ, シロギス, メジナ, ヘダイ, クロダイ, キチヌ, アイゴ, カサゴがみられ, 幼稚魚の一時期をコアマモ場を生育場としていることが示唆された。代表的な数種の出現例を図 15 に

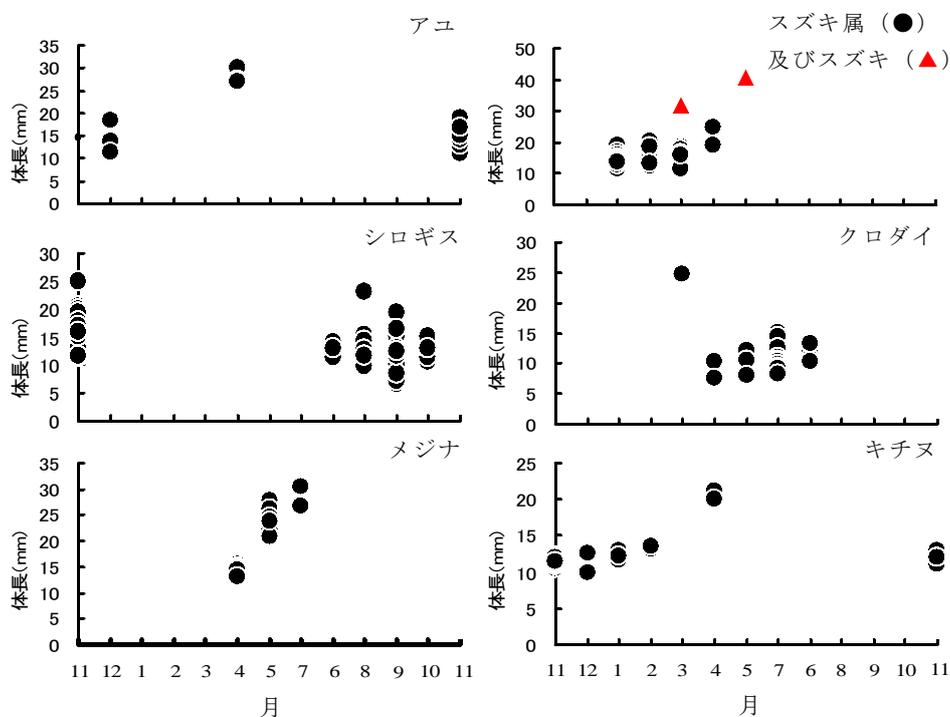


図15 滝内及び内ノ浦のコアマモ群落での幼稚魚の出現例

左列は滝内、右列は内ノ浦を示す。

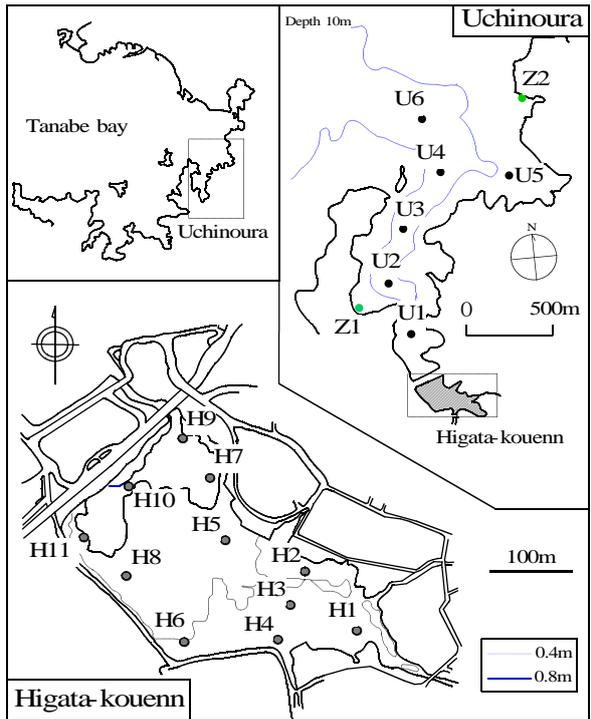


図16 干潟周辺環境調査定点

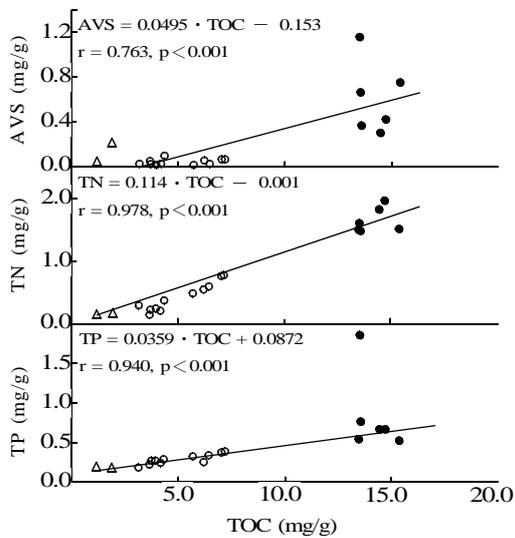


図17 干潟周辺の定点におけるTOCとAVS、TN、TPの関係 (2004年9月)

● : 内ノ浦海底堆積物、○ : 干潟公園、△ : コアマモ群落

示した。

### 3) 干潟の環境特性の把握 底質環境

図16に示す干潟公園 (H1 ~ 11), 内ノ浦 (U1 ~ 6), コアマモ群落 (Z1, 2) の合計19定点で2004年9月に表層1cmの堆積物の化学的特性の把握を試みた。

その結果, 干潟では AVS, TN が低く, 有機態リンを主とする Residual-P (Re-P) がリン組成の多くを占めた。内ノ浦の海底堆積物は TOC, TN, カルシウム結合型リン (Ca-P) が多く, 紀伊半島沿岸の内湾域の一般的な組成を示した<sup>11)</sup>。また, かつて魚類養殖漁場として使用されていた U2 では TP が顕著に高く, ほとんどが Ca-P であった。コアマモ群落は内ノ浦海底と干潟域の中間的な特徴を示した。

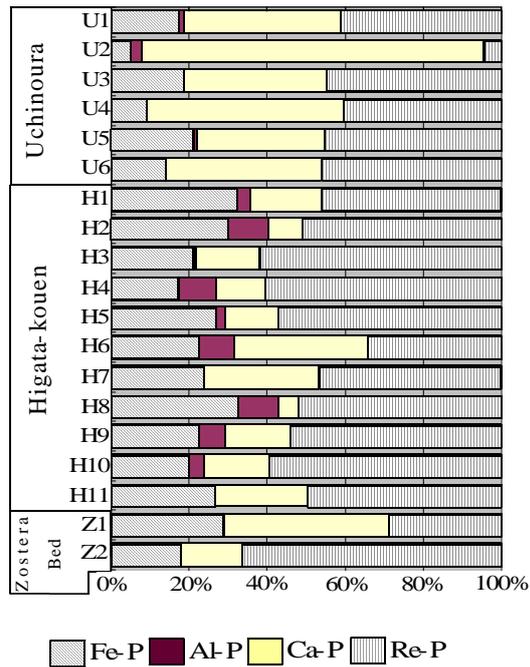


図18 干潟周辺の海底堆積物のリンの存在形態

## 干潟域における窒素・リンの収支

内ノ浦干潟において、2006年9月25日～26日における栄養物質動態について調査を行った。干潮から2潮汐の時間に、流向・流速、水位、冠水面積、底泥からの溶出、植物プランクトンによる基礎生産量、底生微細藻類による基礎生産、栄養物質（亜硝酸、硝酸態窒素、全リン、溶存態有機リン、溶存態無機リン、溶存態有機窒素、懸濁態窒素、アンモニア態窒素等）の測定を行った。

その結果、夏季における内ノ浦干潟では、底生微細藻類の寄与が窒素では約33%、リンでは約50%ということが分かった。また全体の収支を計算した結果、内ノ浦干潟では、窒素・リンは効率的に除去され、水質を浄化していることが明らかになった。

## VII 考 察

本研究により、今まであまり知られていなかったコアマモの生態が明らかになり、コアマモ群落のC、N、Pの年間蓄積量が明らかになった。これらの数値は、C、N、Pでそれぞれ108.2～134.8、7.11～7.36、0.99～1.18 g・m<sup>2</sup>・year<sup>-1</sup>であり、コアマモ群落のC、N、Pの浄化能力を試算する原単位として利用できると思われる。

また、上記の蓄積量をStumm and Morgan<sup>9)</sup>の式にあてはめて、CO<sub>2</sub>同化量やO<sub>2</sub>供給能力を推定することが可能になると考えられた。

田辺湾内ノ浦には多くのコアマモ群落が存在する利点を活かして、生育環境と群落構造との関係を検討した。調査は、コアマモの現存量が最大に達する繁茂期前期<sup>3)</sup>に実施した。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、その他の時期では生育場所による変動が大きいため<sup>3)</sup>、底質環境や平均流速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。コアマモ群落の海底堆積物は広い範囲のAVS、TOC、TN及びTP濃度を示し、粒度組成についても多様であった。このことから、コアマモは生育基質として内ノ浦周辺の砂泥域の潮間帯のほとんどを利用できるものと考えられた。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。しかし、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た。一方、葉部長と石膏球によって測定された平均流速との間には密接な関係がみられた。平均流速に関しても1.3～17.8cm/sec.の広い範囲で生育が認められた。17.8cm/sec.を示した図8のSt.12は、内ノ浦で最も海水流動の早い海域であり、平均流速の点からもコアマモは内ノ浦周辺の潮間帯砂泥域のほとんどを利用できるものと思われた。

コアマモ群落の底生動物相は、種数、個体数、湿重量ともにコアマモ群落で多いが、多様性指数H'には大きな違いはみられなかった。これは、ウメノハナガイやスナタバムシ、ミズヒキゴカイなどの特定種が優占するためと考えられた。また、ツツミガイなどをはじめとした貴重種の存在も確認され、潮間帯域の生物にとって重要な場所であるといえる。

魚類については地域の漁業者の重要な漁獲物である海産稚アユやキチヌ、クロダイ、シロギスなどの成育の場となっていることが明らかになった。

## VIII 摘 要

●コアマモの季節的消長を明らかにし、成熟期（繁茂期前期）、繁茂期後期、繁茂期末期、衰退期、衰退期末期、生長期前期、生長期後期の7期に区分した。花枝が形成される成熟期は5～8月及び10月であり、現存量は繁茂期後期に最大、衰退期末期に最小となった。

●コアマモ群落の年間純生産量は  $351.8 \sim 392.9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{year}^{-1}$  と試算された。

●C, N, Pの年間蓄積量はそれぞれ  $108.2 \sim 134.8$ ,  $7.11 \sim 7.36$ ,  $0.99 \sim 1.18 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{year}^{-1}$  であった。

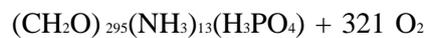
●地上部の最大生産速度は  $2.68 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ 、地上部のC, N, Pの最大蓄積速度は  $756.9$ ,  $66.2$ ,  $8.02 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$  と試算された。

●C, N, Pの年間蓄積量から滝内の群落におけるC:N:P比は  $295 : 13 : 1$ 、内ノ浦で  $282 : 16 : 1$  と試算された。

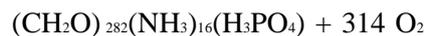
●上の数値を Stumm and Morgan<sup>7)</sup>の式に応用し、以下の式を得、CO<sub>2</sub>吸収量やO<sub>2</sub>供給量の推定に必要な知見を得た。



↓



↓



●コアマモ群落は多様な底質環境並びに平均流速下で生育が可能であることが明らかになった。

●コアマモ群落には多様な底生動物相が形成されることが明らかになり、特にアサリなどの有用種の貴重な棲息地になっていることが明らかになった。また、絶滅が危惧される貴重種などの棲息も確認された。

●海産稚アユ、スズキ、シロギス、メジナ、クロダイ、キチヌなどの水産有用種の生育場所となっていることが確認された。

## IX 引用文献

- 1) Komatsu T and Kawai H. 1992 : Measurements of time-average intensity of water motion with plaster ball, *Journal of Oceanography*, 48, 353-365.
- 2) Yokoyama H, Inoue M and Abo K. 2004 : Estimation of the assimilative capacity of fish-farm environments based on the current velocity measured by plaster balls, *Aquaculture*, 240, 233-247.
- 3) 上出貴士, 2007 : 和歌山県田辺湾内ノ浦及び滝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*, 72(3), 478-486.
- 4) 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.
- 5) Redfield AC and Ketchum BH. 1963 : The influence of organisms on the composition of seawater. In : Hill MN (eds) *The sea Vol.2*. John Wiley & Sons, New York. 26-77.
- 6) Duarte CM. 1990 : Seagrass nutrient content. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 67, 201-207.
- 7) Atkinson MJ and Smith SV. 1983 : C:N:P ratios of benthic marine plants. *Limnol. Oceanogr.*, 28(3), 568-574.
- 8) Duarte CM. 1992 : Nutrient concentration of aquatic plants : Patterns across species. *Limnol.*

Oceanogr., 37 (4), 882-889.

- 9) Stumm W and Morgan JJ. 1996 : Interactions between organisms and abiotic environment : Redfield stoichiometry. In : Aquatic chemistry, Chemical equilibria and rates in natural waters. Third edition. John Wiley & Sons, New York., 886-895.
- 10) World Wide Fund for Nature Japan. 1996 : 日本における干潟海岸とそこに生息する底生生物の現状. WWF Japan サイエンス・レポート. 3. PP182.
- 11) 上出貴士, 2007 : 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, 日本水産学会誌, 73(1), 62-68.