

## 英虞湾のアマモ場およびヒトエグサ養殖が湾内の環境に与える影響

土橋靖史・奥村宏征・国分秀樹・森田晃央\*

Effects of *Zostera* bed and *Monostroma nitidum* culture on the environment in Ago Bay

Yasushi Tsuchihashi, Hiroyuki Okumura, Hideki Kokubu, and Teruo Morita\*

キーワード：アマモ場，ヒトエグサ養殖，炭素・窒素含量，酸素放出・消費量，  
栄養塩吸収・溶出量

Effects of *Zostera* bed and *Monostroma nitidum* culture on the cycle of matter in Ago Bay were examined. The area of *Z. marina* bed in the bay was 171 ha, and the total standing stock of *Z. marina* was 94.2 t (dry weight) in 2007, containing carbon of 52.9 t and nitrogen of 1.5 t. Of the total, the vegetative shoots and the reproductive shoots with gentiles were estimated at 94.2 t and 66.9 t, respectively. Oxygen consumption rate of *Z. marina* per square meter bed was calculated as 10.7-15.5 mmol-O<sub>2</sub>/h, while DIN elution rate was estimated as -0.46 mmol/h. It appeared that about 68.3 t of annual grasses and about of 32.4 t of perennial grasses withered in the year and were separated from the underground stem; then they surfaced for a maximum of 40 days in the bay. The separated grasses probably casted ashore in the bay or deposited on the bottom because the bay is highly closed, having complicated shorelines. The culture of *M. nitidum* recovered carbon of 49.6-92.1 t and nitrogen of 2.2-4.0 t from the bay in the year, which were 1.0-1.7 times and 1.5-2.7 times as much as the standing stock of *Z. marina*.

閉鎖性海域である英虞湾では、砂泥質の海底に水生顕花植物であるアマモ類が生育しており、藻場を形成している。湾内において生育が確認されているアマモ類は、アマモ *Zostera marina*、コアマモ *Zostera japonica* およびウミヒルモ *Halophila ovalis* の3種であり、そのうち湾内の砂泥域に広く分布するのはアマモである。

アマモには種子により繁殖する生殖株と、地下茎の分枝により繁殖する栄養株の二つの生活史がある。またアマモは生育年数により一年生と多年生の二つに分けられる。多年生アマモは、栄養株の割合が高く数年間生育し、地上部は葉長部が50cm程度と短い茎部は太く、地下茎の分枝が盛んな点が特徴である。夏期には葉が枯れて短くなるが地下茎は生残する。一年生アマモは、生殖株の割合が高く秋に種子から発芽、生育し、翌年の夏には枯死する。地上部は1.5m前後まで生長するが、地下茎の分枝はあまりなく茎部は細い。

英虞湾のアマモの多くは一年生といわれており、11月

頃に種子から発芽、生育し、海中や底泥から栄養塩類を取り込み、太陽光を受け光合成により水中に酸素を放出していると同時に、呼吸により酸素を消費している。そして、6～7月には枯死脱落し、海面を漂流することが知られている。海面漂流の後、湾内で他生物に餌料として利用され、また打ち上げられて分解や堆積する。さらに一部は湾外へ流出していると考えられる。しかし閉鎖性海域においては、その分解過程が環境への負荷となる可能性がある。

英虞湾の環境改善を進めるには、湾内に生育する生物が、環境に対してどのような影響を与えているか明らかにするとともに、物質循環を明らかにする必要がある。生物の現存量とその季節変化を正しく捉えることは重要な課題である。しかし現状では、湾内にどの程度の量のアマモがあり、枯死後の流出先やどのような状態で物質循環に組み込まれているかが明らかでない。

そこで、本研究ではアマモ場が英虞湾の物質循環にお

\*三重県産業支援センター

いてどのような影響を与えているかを明らかにするために、湾内のアマモ類の現存量および炭素、窒素含量の把握を行った。またアマモの酸素放出、酸素消費および栄養塩利用の把握を行った。さらにアマモの枯死に関連して、脱落時期、脱落量および浮上漂流、沈降分解について検討を行った。

また、冬期には湾奥の各地でヒトエグサ *Monostroma nitidum* 養殖が行われている。三重県は全国シェアの約60%の生産量を誇っており、英虞湾では県内生産量の30～40%を生産している。本研究ではヒトエグサ養殖についても、英虞湾の物質循環にどのような影響を与えているかを明らかにするために、ヒトエグサの炭素、窒素含量を把握し、ヒトエグサ養殖による湾内からの炭素、窒素取り上げ量を推定した。

## 材料および方法

### 1 アマモ、コアアマモ現存量の把握

英虞湾に生育するアマモおよびコアアマモの分布状況と現存量を明らかにするため、既存の航空写真や1997年に行われたアマモ場調査結果（平成9年度県単英虞湾漁場環境改善計画策定調査）をもとに、湾内9カ所（浜島2カ所、鶴方、神明2カ所、立神、深谷、片田、布施田）の調査地点において、アマモ類が最も繁茂する5～7月に2004年は8回、2005年は4回の計12回、潜水調査および船舶からの観察調査を行った。潜水調査では、各調査点で、アマモの繁茂状況がその場所を代表すると考えられる場所に方形枠（50×50cm）を1～4カ所設置し、枠内に生育するアマモを全て刈り取り、株密度、草体長および乾燥重量を、栄養株と生殖株に分けて測定した。船舶からの観察調査では、水産研究所調査船まつかぜを用いてダイバーを曳航し、主に目視によりアマモの分布範囲を確認した。湾内のアマモ類の現存量を求めるため、調査により明らかとなったアマモ類の分布範囲を幾何補正された地図上へ記入し、面積計算ソフト（Lia32）を用いて、アマモ場の面積を算出した。さらに、各調査点において測定した単位面積あたりの乾燥重量データを用いて、調査地点のアマモ類現存量を算出した。

### 2 アマモの炭素、窒素含量の把握

測定用の試料は、立神（2005年6月8日）および浜島（6月10日）に、潜水により採取した。試料は立神（一年生アマモ）の栄養株および生殖株と、浜島地区の群落（多年生アマモ）の栄養株の平均的な草体長の草体から、目視により選別して採取した。研究室に持ち帰り、付着

物を除去した後11株ずつまとめて、一つのサンプルとした。サンプルは60℃で48時間送風乾燥させ、乾燥重量を測定した。乾燥した試料は粉碎器で粉末にした。炭素、窒素含量測定用の試料200mgを精秤し、全自動元素分析装置（エレメンタル社製、varioMAX CNS）により測定を行った。

### 3 アマモおよびアマモ場の酸素放出、酸素消費および栄養塩吸収、溶出の把握

室内でのアマモの酸素放出量の測定には、海藻類の光合成測定で一般的に用いられている改良型プロダクトメーター（作働式検容計、横浜・前川1988）を用いた。まずアマモ草体全体の酸素放出量を測定し、その後アマモ地下部を試験管に入れて密閉し、草体地上部のみ酸素放出量を測定した。さらに全体の酸素放出量から地上部の酸素放出量を差し引くことで、地下部からの酸素放出量を算出した。光強度は800  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ （以下、 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ と略す）、試験水温は15℃で3回実験を行った。試験に用いた草体は、立神で2003年9月に採取した種子を、室内で発芽させたものを用いた。

室内でアマモ場の酸素放出、酸素消費および栄養塩吸収を測定するため、2004年3月17日および25日に立神で、潜水によりコアサンプラー（内径8cm、長さ25cm）を用いて、底泥ごとアマモを一本ずつ採取したアマモ場コア（試験区）3個と、底泥のみ採取した底泥コア（対照区）3個をゴム栓で上下を密閉して研究室に持ち帰り、採取時の水温（20℃）で、恒温培養庫内にて止水条件で培養した。採泥地点の光強度を3月25日に水中光子センサー（Li-cor社製、LI-193A）により測定するとともに、培養庫内の光強度を蛍光灯により3月17日に採取したサンプルは30  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、3月25日に採取したサンプルは100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ とした。明暗条件は明期12時間、暗期12時間とした。溶存酸素量は、改良型ガスクロマトグラフィー分析機により測定した。

また2006年4月にも同様の試験を、培養水温11.5℃、光強度100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明期24時間および培養水温9.0℃、光強度200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、明期12時間、暗期12時間の条件で行った。さらに培養海水の採水をおおむね24時間間隔（0, 24, 48, 72, 120時間）で行い、栄養塩の分析を行った。分析に用いた試水は、GF/Fフィルターで濾過後-25℃で凍結保存し、全自動栄養塩分析装置（ブランルーベ社製、TRAACS 2000）により測定した。

現場でアマモ場の酸素放出、酸素消費および栄養塩吸収を把握するため、2007年6月19～20日および7月2

～3日に、立神の天然アマモ場において、透明アクリル製チャンパー（内径11cm、長さ100cm）を用いて底泥ごとアマモ草体を囲み、水中ポンプでチャンパー内の海水を循環しながら、メモリー式溶存酸素計（WTW社製、Oxi340）により、溶存酸素量および水温の変化を30秒毎に測定した。同時に、6～12時間間隔でチャンパー内の海水を採取し、先述と同様に栄養塩分析を行った。アマモ場内の光強度を水中光量子センサーにより1秒毎に測定し、データロガー（LI-1400）に記録した。

#### 4 アマモ枯死葉の脱落および分解過程の把握

一年生アマモおよび多年生アマモの枯死葉脱落量、脱落時期を浮上草体と沈降草体別に調査した。また浮上草体の浮上期間と沈降草体の分解過程を調査した。

一年生アマモは、立神において2007年5月21日に採取し、多年生アマモは、松阪市松名瀬（以下、松名瀬と略す）において5月17日に採取した。採取は各々の場所で、不定根を含む地下茎を傷つけないよう、プラスチック製バット（縦50cm×横30cm×深さ20cm）に深さ15cm以上の底泥ごと3個採取した。採取後は水産研究部（志摩市浜島町）まで運搬し、屋外水槽（直径5m、深さ2m）に収容し、培養を開始した。培養海水には砂ろ過海水を用い、掛け流しとした。

各バットをフロート付きのネット（1.3mmメッシュ）で囲み、原則として週3回潜水により、ネット内の浮上草体と沈降草体を回収し、湿重量を測定した（調査期間：5月25日～8月20日）。6月13日には、一年生アマモおよび多年生アマモの浮上草体、沈降草体をフロート付きのネットで囲んだバット内に収容し、浮上草体については、原則として週3回取り上げ、湿重量を測定した（調査期間：6月13日～7月25日）。沈降草体については1月に1回、潜水により、沈降草体を回収して湿重量を測定した（調査期間：6月13日～9月13日。試験期間中の水温をメモリー式水温計（オンセット社製、TBI32-05+37）により、1時間毎に測定した。

#### 5 ヒトエグサ養殖による炭素および窒素取り上げ量の把握

測定用の試料は、2004年3月2日に立神のヒトエグサ養殖漁場にて、藻体を湿重量で約500g採取した。研究室に持ち帰り、付着物を除去した後、4つのサンプルに分けた。サンプルは60℃で48時間送風乾燥させ、乾燥重量を測定した。乾燥した試料は粉碎器で粉末にした。炭素、窒素含量測定用の試料286～549mgを精秤し、全自

動元素分析装置により測定した。そして、三重県漁業地区別統計表（東海農政局三重統計情報事務所、1996～2005）による年間養殖量から年間の炭素、窒素取り上げ量を算出した。

## 結 果

### 1 アマモ、コアマモ現存量の把握

アマモ分布範囲をFig.1に示した。1997年の調査で確認された湾内アマモ場のほとんどの場所で、今回アマモの生育が確認され、湾口部の浜島から湾奥の鵜方、神明、立神、深谷、片田および布施田まで分布していることが確認できた。浜島では分布範囲が大きく変化しており、浜島北崎周辺では大きく減少し、鍛冶屋崎周辺では岸側の分布が無くなって沖側のみ分布していた。浜島以外の場所では分布範囲の大きな変化は認められなかった。コアマモは、湾奥部の立神と神明で生育が確認された。

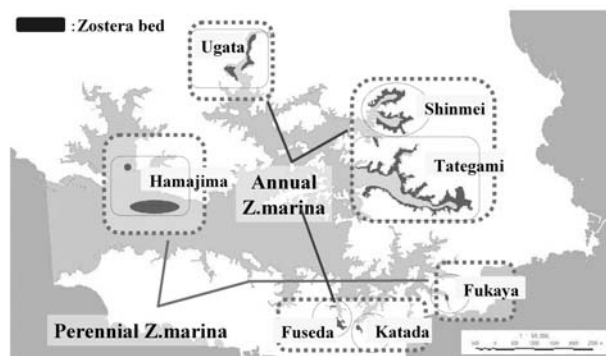


Fig. 1 Distribution of *Zostera marina* in Ago Bay

生育本数と乾重量をFig.2に示した。浜島と深谷では栄養株が多く、1㎡あたりの栄養株は400本前後で、生殖株はほとんど認められなかった。鵜方、神明、立神、深谷、片田、布施田では1㎡あたりの生殖株が100～300本で、栄養株は多くとも200本までであった。乾重量は栄養株では100～300g、生殖株では100g未満であり、栄養株は1本あたりの乾重量が生殖株に比べ大きいため、それを反映した結果となった。立神では湾奥部にコアマモが生育していた。コアマモはアマモより浅瀬に生育することが可能で、アマモと比較して草体長は短い、生息密度は高く、1㎡あたりの乾重量は100g前後であったが、生育本数は最大で3,000本以上であった。

アマモ場面積の算出結果をTable1に示した。英虞湾内のアマモ場面積は171haと算出された。湾全体の面積は干潮時には2,700haであり、6.3%がアマモ場であるこ

とが明らかになった。また現存量(乾燥重量)は161.1tで、このうち栄養株は94.2t, 生殖株は66.9tであった。アマモは1.1tであった。

また観察調査を継続した結果、英虞湾内のアマモ場のうち浜島と深谷のアマモは、地下茎の分枝による伸長が著しく、夏季は葉長が短くなるが全てが枯死することにはなかった。一方、浜島と深谷以外の湾奥部のアマモは、生殖株が7月には根元から枯死脱落し、地上部が湾内の表層を漂流した。また9月以降は栄養株も見られなく

なった。これらの特徴から、湾口部の浜島と深谷のアマモは多年生、湾奥部のアマモは一年生と判断された。

## 2 アマモの炭素, 窒素含量の把握

アマモの炭素含量は32.2～33.7%, 窒素含量は0.7～1.4%の範囲であった (Table 2)。これらの結果とアマモ現存量から、英虞湾におけるアマモの炭素量は52.9t, 窒素量は1.5tと算出された (Table 3)。

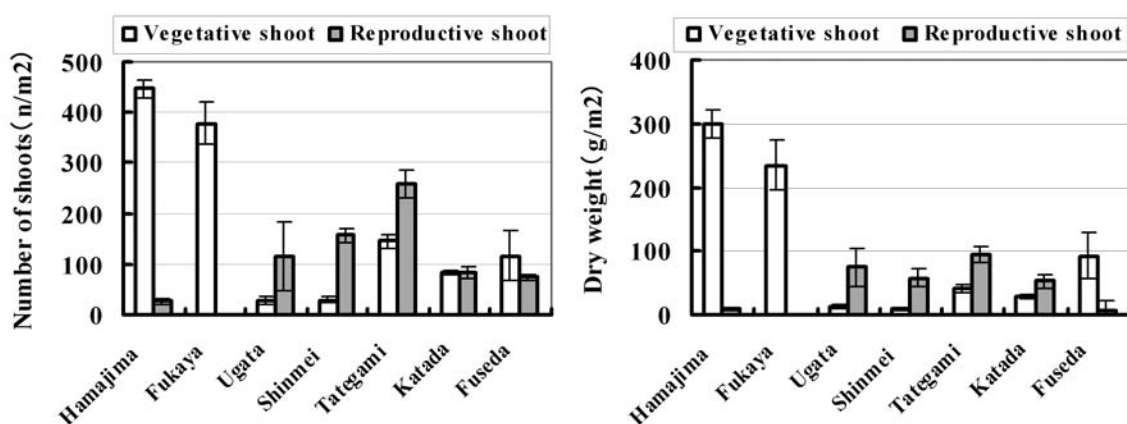


Fig. 2 Density of shoots ( $n/m^2$ ) and dry weight ( $g/m^2$ ) of *Z. marina* in Ago Bay.

Table 1 The standing stock (dry weight) of *Z. marina* in Ago Bay.

	Survey site	Area ( $m^2$ )	Dry weight (kg)		
			Vegetative shoot	Reproductive shoot	Total
Perennial	Hamajima	298,177	59,497	1,236	60,733
<i>Z.marina</i>	Fukaya	12,153	2,852	0	2,852
	total	310,330	62,349	1,236	63,585
Annual	Ugata	158,420	1,865	11,813	13,678
<i>Z.mzrina</i>	Shinmei	167,535	1,385	9,733	11,118
	Tategami	1,012,587	23,276	42,967	66,243
	Katada	16,059	463	835	1,298
	Fuseda	48,177	4,442	291	4,733
	total	1,402,778	31,881	65,639	97,520
Total		1,713,108	94,228	66,875	161,104



Table 2 The carbon content (%) and the nitrogen content (%) of *Z. marina* in Ago Bay.

	Survey site	Shoot	Carbon content (%)	Nitrogen content(%)
Perennial <i>Z.marina</i>	Hamajima	Vegetative shoot	33.00	0.96
Annual <i>Z.marina</i>	Tategami	Reproductive shoot	33.74	1.39
	Tategami	Reproductive shoot	32.24	0.73

Table 3 Carbon (kg) and Nitrogen (kg) of *Z.marina* in Ago Bay.

		Vegetative shoot		Reproductive shoot		Total	
	Survey site	Carbon	Nitrogen	Carbon	Nitrogen	Carbon	Nitrogen
Perennial	Hamajima	19,636	571	408	12	20,044	583
<i>Z.marina</i>	Fukaya	941	27	0	0	941	27
	total	20,577	598	408	12	20,985	610
Annual	Ugata	629	26	3,808	86	4,437	112
<i>Z.marina</i>	Shinmei	467	19	3,138	71	3,605	90
	Tategami	8,005	330	13,852	315	21,857	645
	Katada	156	6	269	6	425	12
	Fuseda	1,499	62	94	2	1,593	64
	total	10,756	443	21,161	480	31,917	923
Total		31,332	1,042	21,568	492	52,900	1,534

### 3 アマモおよびアマモ場の酸素放出, 酸素消費および栄養塩吸収, 溶出の把握

結果を Fig. 3 に示した。プロダクトメーターを用いた測定により、地下部からの酸素放出量を算出することができた。アマモ草体全体の酸素放出量を 100% とすると、地下部からは 47.2%、地上部からは 52.8% の酸素放出量であった。

室内試験でのアマモ場酸素放出量、酸素消費量の測定結果を Fig. 4, Fig. 5 に示した。2004 年 3 月の光強度  $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  区は、アマモ区、底泥区ともに酸素消費量が酸素放出量を上回り、溶存酸素量が減少した。 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  区は、アマモ区の明期のみ酸素放出量が酸素消費量を上回り、溶存酸素量が増加した。2006 年 4 月の調査では、両試験区ともアマモ区では酸素放出量が酸素消費量を上回り、溶存酸素量が増加し、逆に底泥

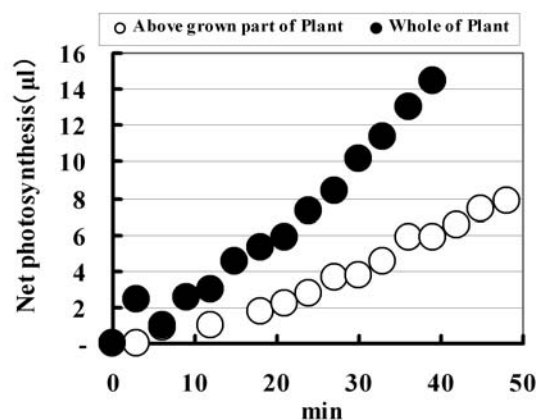


Fig. 3 Photosynthesis activation of *Z. marina* measured with a product meter.

区では減少した。なお、採泥地点の光強度は  $300 \sim 500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  であった。

溶存態無機窒素 (DIN), 磷酸態磷 ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) の分析結果を Fig. 6 に示した。アマモ区、底泥区とも培養開始時から減少傾向を示した。0 時間と 120 時間の分析値から減少率を算出すると、DIN はアマモ区 39.2%, 底泥区 32.4%,  $\text{PO}_4\text{-P}$  はアマモ区 37.1%, 底泥区 24.0% と、いずれもアマモ区の方が高かった。

屋外での酸素放出、酸素消費量の測定結果を Fig. 7, Fig. 8 に示した。6 月 19 ~ 20 日の調査では、溶存酸素量は  $2.42 \sim 8.42 \text{mg}/\ell$  の範囲にあり、15 時 00 分頃に最高値を示した後減少し、翌朝の 5 時 55 分頃最低値を示した。光量子量は  $0 \sim 530.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  の範囲にあり、12 時 50 分頃に最高値を示した。水温は  $24.0 \sim 25.9^\circ\text{C}$  の範囲であった。

7 月 3 ~ 4 日の調査では、溶存酸素量は  $2.79 \sim 8.12 \text{mg}/\ell$  の範囲にあり、16 時 20 分頃に最高値を示した後減少し、翌朝の 6 時 3 分頃に最低値を示した。光量子量は  $0 \sim 503.0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  の範囲にあり、12 時 22 分頃に最高値を示した。水温は  $25.8 \sim 28.7^\circ\text{C}$  の範囲であった。

2 回の調査とも光量子量が約  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  以下になると、減少傾向を示した。日中の酸素放出速度と夜間の酸素消費速度からアマモ場の酸素消費速度を算出したところ、6 月 19 ~ 20 日の調査では  $15.0 \sim 15.5 \text{mmol-O}_2/\text{m}^2/\text{h}$ 、7 月 3 ~ 4 日の調査では  $10.7 \sim 14.3 \text{mmol-O}_2/\text{m}^2/\text{h}$  と算出された。

DIN,  $\text{PO}_4\text{-P}$  の分析結果を Fig. 9 に示した。DIN は 6 月 19 ~ 20 日、7 月 3 ~ 4 日の調査とも 6 時間 (18 時) までの明期は減少、6 時間 ~ 18 時間 (18 時 ~ 翌日 6 時) までの暗期は増加した。DIN 溶出速度は、 $-0.46/\text{mmol}/\text{m}^2/\text{day}$

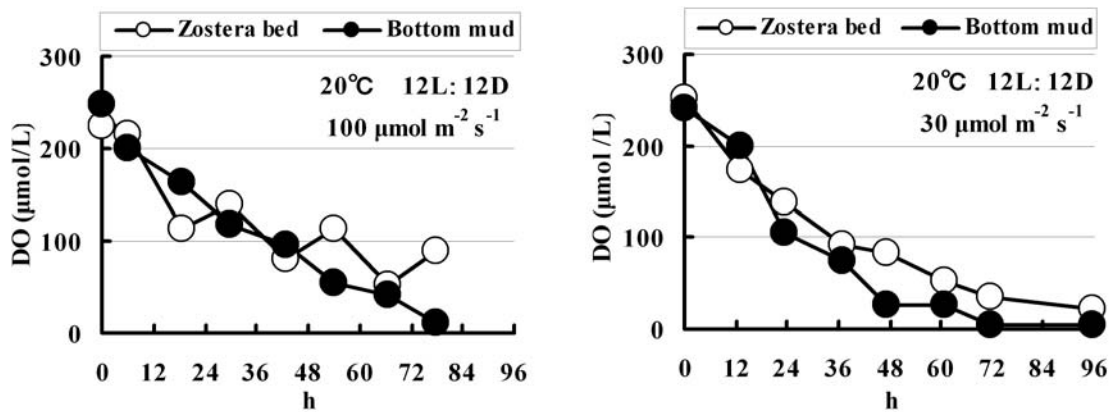


Fig. 4 Changes in DO, measured in the laboratory, in the seawaters with *Z. marina* and bottom mud, and with bottom mud exclusively (May 2004).

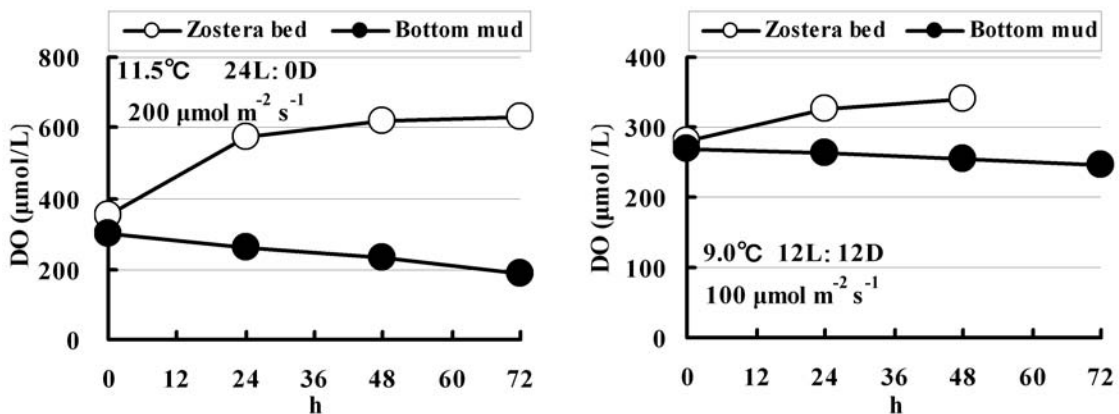


Fig. 5 Changes in DO, measured in the laboratory, in the seawaters with *Z. marina* and bottom mud, and with bottom mud exclusively (April 2006).

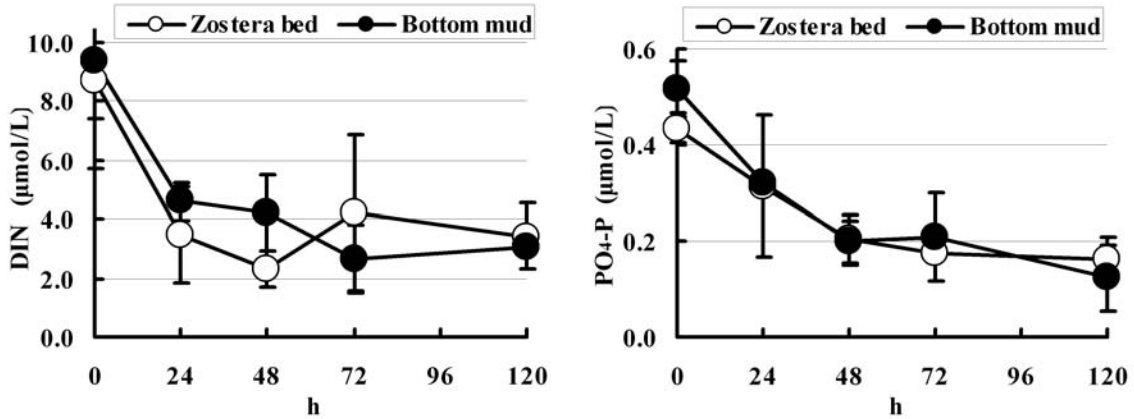


Fig. 6 Changes in the concentrations of DIN and PO<sub>4</sub>-P, measured in the laboratory, in the seawaters with *Z. marina* and bottom mud, and with bottom mud exclusively (May 2007).

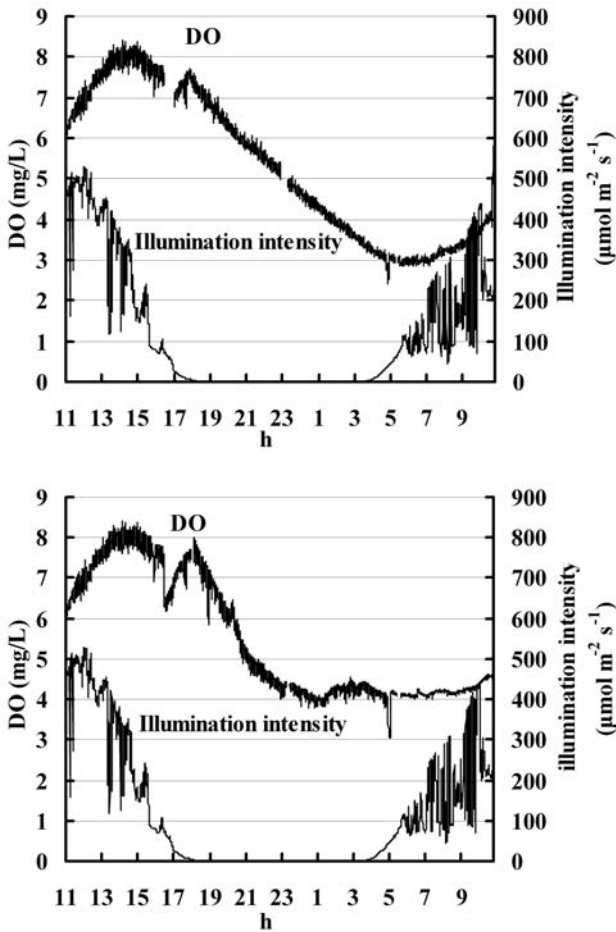


Fig. 7 Changes in DO and illumination intensity, measured in situ, in the seawaters with *Z. marina* and bottom mud, and with bottom mud exclusively (19-20 June 2007). Upper figure: *Z. marina* and bottom mud, lower one: bottom mud.

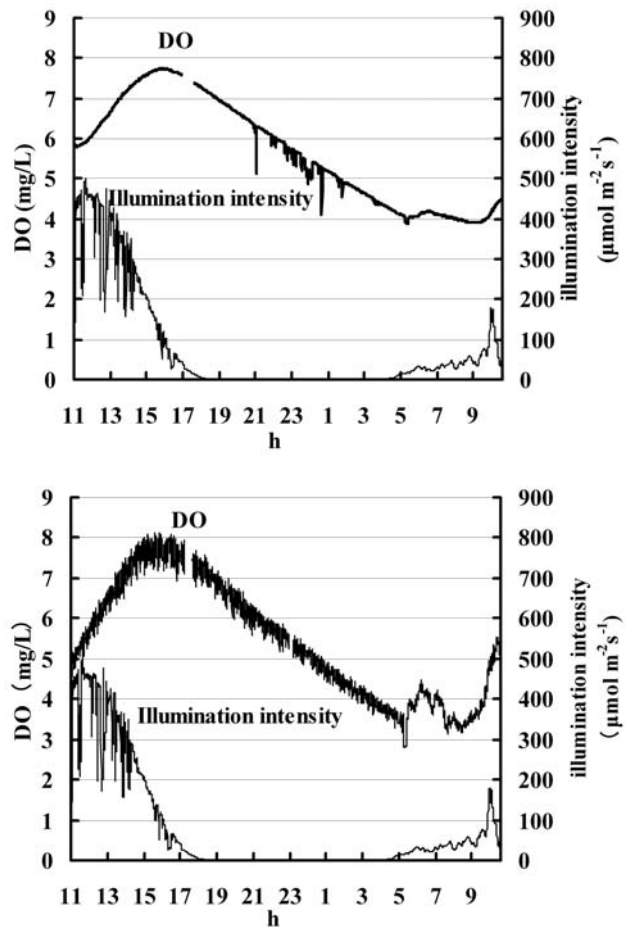


Fig. 8 Changes in DO and illumination intensity, measured in situ, in the seawaters with *Z. marina* and bottom mud, and with bottom mud exclusively (3-4 July 2007). Upper figure: *Z. marina* and bottom mud, lower one: bottom mud.

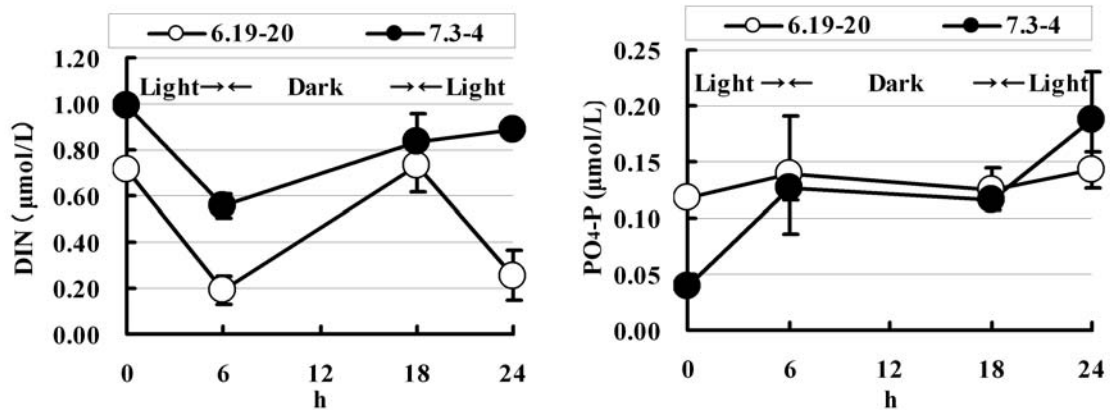


Fig. 9 Changes in the concentrations of DIN and PO<sub>4</sub>-P, measured in situ, in the seawater at *Z. marina* bed (June-July 2007).

と算出された。PO<sub>4</sub>-Pは6時間(18時)までと18~24時間(6時~12時)までの明期では増加, 6時間~18時間(18時~翌日6時)までの暗期では増減は認められなかった。

#### 4 アマモ枯死葉の脱落および分解過程の把握

結果を Fig. 10 に示した。一年生アマモは7月27日にはほぼ全草体が枯死し脱落した。多年性アマモは8月以降も生存し, 生存草体からの脱落草体が認められた。脱落草体のうち, 浮上草体の占める割合は, 一年生アマモで約70%, 多年生アマモで約50%であった。浮上草体の約50%は, 一年生アマモで5日間, 多年生アマモで12日間浮上しており, また最大で40日間浮上していることが明らかになった (Fig. 11)。沈降草体は, 30日後には16~29%, 60日後には2~5%にまで減少し, 90日後

には0%になった (Fig. 12)。水温は20.0~28.0°Cの範囲であった。

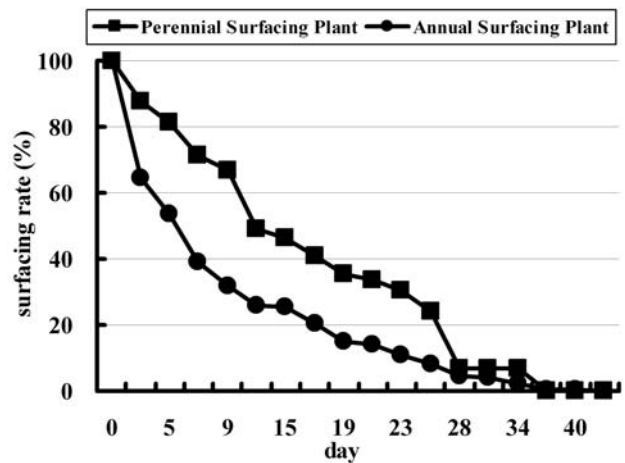


Fig. 11 Changes in the ratio of surfacing *Z. marina*.

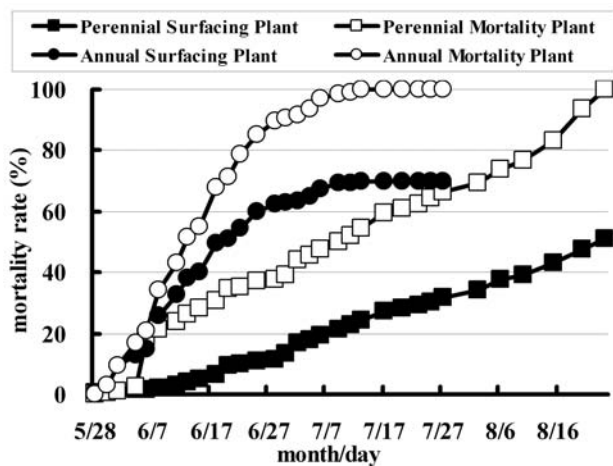


Fig. 10 Changes in the ratios of withered and surfacing *Z. marina*.

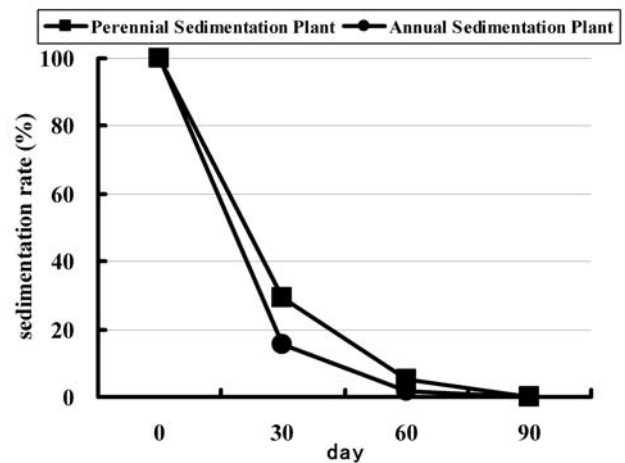


Fig. 12 Changes in the ratio of sedimented *Z. marina*.



## 5 ヒトエグサ養殖による炭素および窒素量取り上げ量の把握

英虞湾での1996年から2005年までのヒトエグサ養殖生産量(乾重量)は、161t～300tの間で推移した(Fig. 13)。全自動元素分析装置による分析の結果、ヒトエグサの炭素含量は30.80%、窒素含量は1.35%であった(Table 4)。ヒトエグサ養殖による年間の炭素取り上げ量は49.6～92.1t、窒素取り上げ量は2.2～4.0tと算出された(Table 5)。

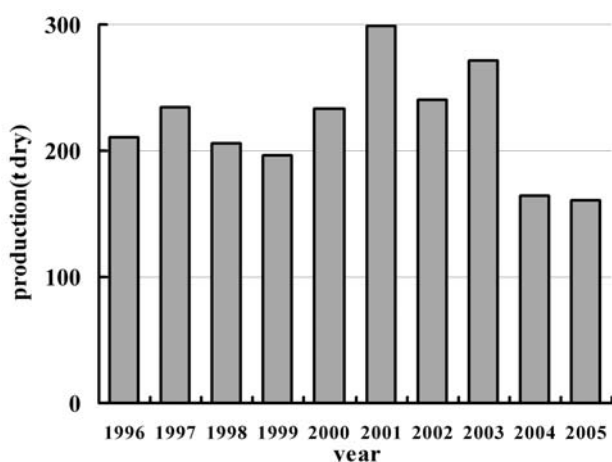


Fig. 13 Changes in the production of cultured *M. nitidum* in Ago Bay from 1996 to 2005.

## 考 察

### 1 アマモ、コアマモ現存量の把握

英虞湾内のアマモの分布について、前川ら(1982)および三重県(1997)の調査により、分布が報告された場所では生育が確認された。湾口部の浜島と深谷で生育するアマモは多年生であり、栄養株がほとんどである。一方、湾奥部のアマモは一年生であり、生殖株がほとんどであった。この分布の違いは各々の生育環境である水質および底質の違いよりもたらされているものと考えられる。浜島と深谷は、外洋の影響を強く受け海水交換が大きい。湾奥部は水深が浅く地形が入り組んでおり、海水交換が小さい。その結果、両者の透明度と水温環境は異なっている。透明度の差によりアマモの光合成は制限され、生育可能な深度に影響を与える。透明度の高い湾口部では10m以深でも分布が認められるが、透明度の低い湾奥部では10m以浅でのみ分布が認められる。また湾奥部では、浜島や深谷と比べ海水交換が小さく水深も浅いため、外気温に影響されやすく、夏季は高温で冬季は低温の傾向があり、年間を通じて水温の変化幅が大きい。底質では、湾口部の浜島と深谷は粒径の大きな砂質分である。一方、湾奥部は粒径の細かなシルト・粘土分であった。一年生アマモは初夏に種子を形成し、秋季の水温低下まで種子の状態ですごす。一方、湾奥部はヘドロが堆積しており、シルト・粘土分を多く含み、そのため砂質と比べ空隙が少ないことから、アマモ地下部でのガス交換は困難と考えられる。そこで、湾奥部に生育するアマモは、栄養株より生殖株の割合が高く、種子形成

Table 4 The carbon content (%) and the nitrogen content (%) of cultured *M. nitidum* in Ago Bay.

	sample	mean	S.D.
Carbon content(%)	4	30.80	1.25
Nitrogen content(%)	4	1.35	0.11

Table 5 Changes in the amounts of carbon and nitrogen recovered through the *M. nitidum* culture in Ago Bay.

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Production (t·dry)	211	235	206	196	233	299	240	271	164	161
Carbon (t)	65.0	72.4	63.5	60.4	71.8	92.1	73.9	83.5	50.5	49.6
Nitrogen (t)	2.84	3.17	2.78	2.64	3.14	4.03	3.24	3.65	2.21	2.17

する一年生アマモが優占し、湾口部の浜島や深谷等、外洋水の影響を受ける場所では地下茎による栄養繁殖を行い、複数年生育する多年生アマモが優占すると考えられる。なお、一年生アマモは栄養株の地下茎も含め、ほとんどが枯死脱落し、多年生アマモも栄養株の地下茎は生残するものの葉体の一部は枯死脱落する。これらのことから、湾奥部で一年生アマモが優占する理由は、水質、水温および底質環境と密接に関係していることが示唆される。また湾奥部の一年生アマモが成育している場所より浅い場所では、コアマモが生育していた。この要因としてアマモとコアマモの種間競争を考慮すると、コアマモは大型であるアマモに光を遮られ、生育に必要な光量を得ることができないためと考えられる(横田 2004)。

英虞湾全体のアマモ現存量(乾重量)は161.1t、栄養株で94.2t、生殖株で66.9tであった。またコアマモは1.1tであった。ここで算出された現存量は、アマモがもっとも現存量の多い時期の値であり、最大現存量である。また、この値には落葉量は含まれていない。アマモ場での観察から、アマモ生育期間中の落葉量は相当量あると考えられるため、今後はそれらの値も含めた検討を行う必要がある。

## 2 アマモの炭素、窒素含量の把握

炭素、窒素分析の結果、炭素は32.2～33.7%、窒素は0.7～1.4%であった。この値を用いて、調査地点のアマモ現存量から、炭素、窒素量を算出したところ、炭素量は52.9t、窒素量は1.5tであった。多年生アマモである浜島、深谷地区のアマモでは炭素量21.0t、窒素量は0.6t、一年生である湾奥部のアマモでは炭素量は31.9t、窒素量は0.9tであった。アマモは、窒素の年間蓄積量の約5割は底泥から吸収されると報告されている(千葉ら 2007)。また、湾奥部の一年生アマモは、夏期に全てが枯死脱落することから、湾内の底質および物質循環に大きな影響を与えていると考えられる。

## 3 アマモおよびアマモ場の酸素放出、酸素消費および栄養塩吸収、溶出の把握

プロダクトメーターによる酸素放出量の測定では、光強度を $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ とした。阿部(2005)は、松名瀬の多年生アマモの光合成速度は、光強度 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ までは直線的に増加し、 $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ では増加はほぼ横這いとなると報告している。本研究での試験は、一年生アマモを用いた光強度が強い条件での測定であったが、地下部からの酸素放出を確認することができた。一

年生および多年生アマモでは、栄養塩を吸収する割合が、地上部と地下部で異なっていることが報告されており(Pedersen and Borum 1993, Hemminga et al. 1994)、一年生アマモは地上部から70%吸収し、最大値は92%に達するのに対し、多年生アマモは地上部から49%を吸収し、残りの51%を地下部から吸収している。酸素放出についても、一年生アマモと多年生アマモで地上部と地下部の割合が異なっている可能性があり、今後は検討する必要がある。

室内での酸素放出、酸素消費量の測定では、採泥地点の光強度 $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ が、培養庫の光量不足のため再現できなかった。それでも光強度 $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ での試験で、アマモ区は底泥区よりも酸素消費量は小さかった。光合成による酸素放出により、底泥の微生物による酸素消費量がわずかながら減少していることが明らかになった。光強度 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ では、底泥区は時間とともに溶存酸素量が減少しているが、アマモ区は明暗周期と連動した溶存酸素量を示しており、明期には増加、暗期には減少していた。実際のアマモ場では、太陽光角度や透明度とともに変化する光量および水温に対応して、光合成が行われていると考えられる。

栄養塩吸収、溶出の測定では、DIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$ ともに両試験区で減少傾向を示したが、アマモ区の方が、減少率が高かった。培養水温が $9.0^\circ\text{C}$ と低いため、底泥の微生物による有機物の活発な分解がおこらずに栄養塩の溶出が少なく、アマモ区ではアマモおよび底生藻類、底泥区では底生藻類による栄養塩吸収がおきていたためと考えられる。

屋外での酸素放出、酸素消費量の測定では、自作したアマモチャンバーによりアマモ場で24時間の溶存酸素量を測定することができた。日中はアマモおよび底生藻類の酸素放出が、バクテリアを含む底生生物の呼吸を上回り溶存酸素量が増加したが、夜間はバクテリアを含む底生生物の呼吸により溶存酸素量が減少し、アマモ場の酸素消費速度は $10.7 \sim 15.5 \text{mmol-O}_2/\text{m}^2/\text{h}$ と算出することができた。しかし、本試験での結果は夏季の高水温期の晴天時の調査結果であり、アマモ場の年間の酸素消費速度を算出するためには、測定データを蓄積する必要がある。

栄養塩吸収、溶出の測定では、DINは明期には減少、暗期には増加した。明期にはアマモおよび底生藻類による吸収により減少し、暗期には底泥の微生物による有機物の活発な分解により、栄養塩の溶出が、相対的に増加したと考えられる。7月2～3日の24時間後の値が増加

したのは、水温が6月19～20日の調査時よりも2～3℃高く、夜間の分解および栄養塩溶出が大きくなり、翌日明期の栄養塩吸収速度を上回ったためと考えられた。PO<sub>4</sub>Pは明期で増加、暗期では増減が認められなかった。暗期で増減しなかった理由は不明であるが、7月2～3日の結果の方が、24時間後の増加が大きかったことから、分解による栄養塩溶出量が吸収量を上回ったためと考えられる。

#### 4 アマモ枯死葉の脱落および分解過程の把握

1 アマモ、コアマモ現存量の把握および2 アマモの炭素、窒素含量の把握での知見により、英虞湾全体のアマモ現存量は161.1t（炭素量52.9t、窒素量1.5t）で、一年生アマモは97.5t（炭素量31.9t、窒素量0.9t）、多年生アマモは63.6t（炭素量21.0t、窒素量0.6t）と算出された。本試験での結果とあわせて解析すると、一年生アマモのうち約68.3t（炭素量22.3t、窒素量0.6t）、多年生アマモのうち32.4t（炭素量10.7t、窒素量0.3t）が枯死脱落して最大で40日間浮上し、湾内を漂流することが明らかになった。海岸線が複雑に入り組んでいる英虞湾内では浮上草体の大半は湾内の海岸に打ち上げられるか、湾内の海底に沈降し、沈降した草体は他の生物に餌料として利用され、分解されていくものと考えられる。本試験では沈降後90日には草体が確認されなくなった。草体の分解速度は、海藻や海産動物の分解速度よりは遅いと考えられるが、分解時期が物質循環のバランスが崩れ、貧酸素水塊や赤潮が発生する高水温期と重なるため、その分解過程が環境への負荷となっている可能性が考えられる。負荷低減の方策としては、生物（有機物）の取り上げが有効である。しかし、アマモ場は生物量を増加させることが明らかになっているが（国分ら2007）、アマモ自体は水産有用生物ではないため、漁業による積極的な取り上げは期待できない。アマモや沈降草体を餌料として利用しているナマコのような水産有用生物の増殖および漁獲を検討することで、間接的なアマモの取り上げが期待できる。

#### 5 ヒトエグサ養殖による炭素および窒素量取り上げ量の把握

英虞湾内でのヒトエグサ養殖は、過去10年間では161～299tの範囲で生産されており、炭素量では49.6～92.1t、窒素量では2.2～4.0tが英虞湾から取り上げられていることが明らかになった。この値は英虞湾のアマモ現存量と比較して、炭素量では1.0～1.7倍、窒素量では1.5～

2.7倍となっている。なお前述したようにアマモは漁獲による取り上げは行われていない。また、ヒトエグサ養殖は湾奥部や河口部等の波浪の穏やかな場所で行われており、このような場所は、陸域からの負荷の影響を受けやすい場所である。

これらのことから、英虞湾の環境にとって、ヒトエグサ養殖による炭素、窒素取り上げの効果は、アマモよりも大きいと考えられ、英虞湾の環境改善を進めるためには、ヒトエグサ養殖の維持および増加をはかる必要がある。なお、ヒトエグサ養殖は10月から翌年3月頃までの低水温期に行われるものであり、物質循環のバランスが崩れ、貧酸素水塊や赤潮が発生する高水温期には、藻類養殖や漁業による取り上げは行われていない。英虞湾からの取り上げを増加させるためには、ヒトエグサ以外の水産有用海藻の増殖についても、今後検討する必要がある。

### 要 約

英虞湾のアマモ場およびヒトエグサ養殖が湾内の物質循環にどのような影響を与えているかを調査した。英虞湾内のアマモ場面積は171ha、アマモ現存量（乾重量）は161.1t、栄養株で94.2t、生殖株で66.9tであり、炭素量は52.9t、窒素量は1.5tであった。アマモ場の酸素消費速度は10.7～15.5mmol-O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/hと算出された。アマモ場のDIN溶出速度は-0.46/mmol/m<sup>2</sup>/dayと算出された。また一年生アマモのうち約68.3t、多年生アマモのうち32.4tが枯死脱落して最大で40日間浮上し、湾内を漂流することが明らかになった。海岸線が複雑に入り組んでいる英虞湾内では浮上草体の大半は湾内の海岸に打ち上げられるか、湾内の海底に沈降していくものと考えられる。ヒトエグサ養殖は、炭素量で49.6～92.1t、窒素量で2.2～4.0tが取り上げられており、この値は英虞湾のアマモ現存量と比較して、炭素量では1.0～1.7倍、窒素量では1.5～2.7倍となっていることが明らかになった。

### 謝 辞

本研究は、(独) 科学技術振興機構による三重県地域結集型共同研究事業「閉鎖性海域における環境創生プロジェクト」の一部として実施された。

### 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, 三重大学大学院生物資源学研究科博士論文, 101pp.

- 奥村宏征・国分秀樹（2003）：閉鎖性海域の環境創生プロジェクト研究事業，アマモ草体を用いた室内試験，三重県科学技術センター水産研究部事業報告，62-64.
- 奥村宏征・国分秀樹（2004）：閉鎖性海域の環境創生プロジェクト研究事業，藻場における物質循環の把握，三重県科学技術センター水産研究部事業報告，81-82.
- 奥村宏征・国分秀樹（2005）：閉鎖性海域における環境創生プロジェクト研究事業，英虞湾におけるアマモ・コアマモ現存量の把握，三重県科学技術センター水産研究部事業報告，68-69.
- 奥村宏征・国分秀樹（2006）：閉鎖性海域における環境創生プロジェクト研究，事業英虞湾におけるアマモ・コアマモ現存量の把握，三重県科学技術センター水産研究部事業報告，62-63.
- 国分秀樹（2007）：干潟・アマモ場による英虞湾の環境再生，～閉鎖性海域における環境創生プロジェクト～事業終了報告会講演集，39-50.
- 千葉 賢（2007）：英虞湾の環境動態予測－英虞湾の物質循環と環境動態予測モデル，～閉鎖性海域における環境創生プロジェクト～事業終了報告会講演集，39-50.
- 前川行幸・喜田和四郎（1982）：英虞湾の海藻植生，三重大学水産学部附属水産実験所研究報告，第3号，pp55-72.
- 三重県（1997）：平成9年度県単英虞湾漁場環境改善計画策定調査.
- Hemminga, M.A., Koutstaal, B. P., Van Soelen, J. and Merks, A. G. A. (1994) : The nitrogen supply to intertidal eelgrass (*Zostera marina*). *Mar Biol.* 118: 223-227.
- Pedersen, M.F. and Borum, J. (1993) : An annual nitrogen budget for a seagrass *Zostera marina* population. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 101: 169-177.