

海面養殖業ゼロエミッション推進対策調査事業 複合養殖実証試験*

木村 創 ・ 田中 俊 充

魚類養殖は一般的に海水交流の比較的小さい閉鎖的な内湾で行われており、ここでは養殖に起因する有機物負荷に後背地からの負荷が加わり、富栄養化が問題となっている。富栄養化の機構やそこから来る弊害については種々報告されているが¹⁻⁴⁾、水質に影響を及ぼす要因としては養殖魚の尿、糞や残餌が堆積した底泥からの窒素、リンの溶出、餌から溶出する懸濁物の拡散がほとんどと考えられる。

本研究では養殖漁場の栄養塩、特に窒素、リンを削減するため、これを利用して生長するアオサ *Ulva pertusa*、ヒロメ *Undaria undarioides*、ヒジキ *Hizikia fusiformis* 等の海藻類を養殖するとともに、これらの利用方法について検討し、海藻類を基盤とした食物連鎖を形作ることにより養殖漁場の環境改善を図る。

1. フラスコ内における各藻類の窒素・リン取り込み速度試験

アオサについては昨年度低水温期に試験を実施したが⁵⁾、この時期はアオサの増殖速度が低下する時期であったことから今年度は増殖の旺盛な時期について検討した。また、ヒジキ・クロメ *Ecklonia kurome*・カジメ *Ecklonia cava* についても試験を実施した。

材料および方法

試験には当研究所の陸上池で培養しているアオサ（以下培養アオサ）、および魚類養殖場の筏から採取したアオサ（以下天然アオサ）、並びに天然に繁茂するヒジキ・クロメ・カジメの藻体を用いた。アオサは5月12日～16日、ヒジキは4月21日～25日、

クロメは12月22日～26日、カジメは2月17日～21日に試験を実施した。

それぞれの藻類は筆などを用いて夾雑物をできるだけ取り除き、試験で使用する栄養塩無添加の0.45 μmのミリポアフィルターで濾過した海水で24時間通気培養後試験に供した。培地は前培養に使用した濾過海水1 ℓ当たり、窒素源としてNaNO₃を12.8 mg（窒素150 μg at / ℓ）、リン源としてK₂HPO₄を2.6 mg（リン15 μg at / ℓ）添加した培地（培地1）、窒素源のみを添加した培地（培地2）、リン源のみを添加した培地（培地3）の3種類で試験を実施した。試験は平底フラスコに各培地を5 ℓ満たし、この中に約5 gの各藻類を入れ、水温の急激な変動を避けるため海水のウォーターバス方式とし、照度は自然状態で通気培養した。なお、培地1に藻類を入れないものを対照区とした。培地の採水は7時から19時まで2時間毎に、4日間（96時間）継続して行い、培地内の窒素・リンの濃度を測定した。また、採水時には水温・光量子を測定した。窒素・リンの分析は京都大学で行い、各藻類とも乾重量1 g当りに換算して求めた。各藻類の水分含量は日本冷凍食品検査協会で行った表1の結果を用いた。

表1 海藻類に含まれる水分含量

	水分含量(%)
培養アオサ	79.9
天然アオサ	79.6
ヒジキ	86.4
クロメ	77.5
カジメ	79.0

*海面養殖業ゼロエミッション推進対策調査事業費による

結果および考察

図1に各藻体の試験終了時における増重倍率を示す。培養アオサは培地1, 培地2, 培地3の順に増

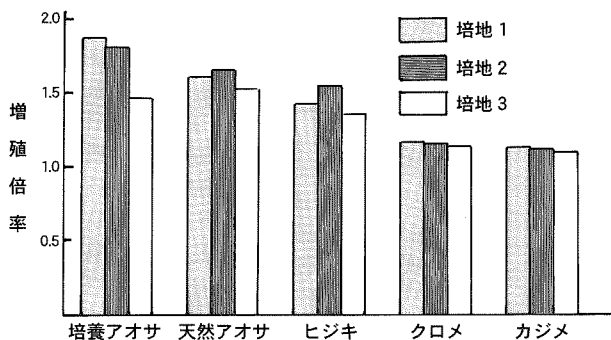


図1 各培地における各種藻類の増殖倍率 (培養期間96時間)

加し, それぞれ1.88倍, 1.81倍, 1.47倍となった。天然アオサは培地2, 培地1, 培地3の順となり, それぞれ1.66倍, 1.61倍, 1.53倍となった。増重倍率でみれば培養アオサの方が天然アオサと比較すると良く生長するが, いずれの種類も窒素源が不足することにより生長が悪くなることが明らかとなった。

ヒジキは培地1で1.48倍, 培地2で1.55倍, 培地3で1.36倍となり, 窒素のみの培地で生長が最も良かった。

クロメ・カジメはそれぞれ培地1で1.17倍, 1.13倍, 培地2で1.16倍, 1.12倍, 培地3で1.14倍, 1.10倍と各培地により若干の差は認められたもののほとんど差はないと考えられた。

以下に各藻類の窒素とリンの取り込み状況を述べる。全ての試験において対照区の窒素とリン量に変化はみられなかった。

アオサ: 5月の試験期間中は曇りもしくは雨の日がほとんどで水温は20~21.5℃, 光量子は0~1,913 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ の範囲で推移した。

培養アオサの培地中の硝酸態窒素とリン酸態リンの推移を図2に, 天然アオサの各項目の推移を図3に示す。培養アオサの硝酸態窒素の12時間後までの取り込み速度は培地1で56.75 $\mu\text{g at / 乾g/hr}$

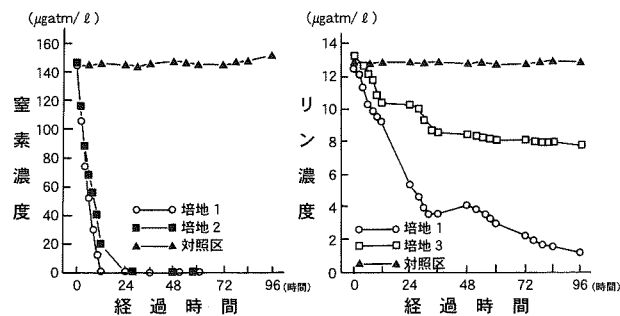


図2 培養アオサを用いたときの各種培地内における窒素とリン濃度の推移

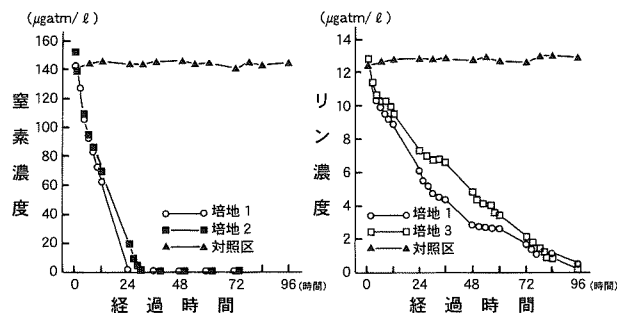


図3 天然アオサを用いたときの各種培地内における窒素とリン濃度の推移

(以下 $\mu\text{g at}$), 培地2で51.35 $\mu\text{g at}$ となり, リンが不足している培地ではリンが充分ある培地と比較すると10%ほど取り込み速度が低下した。リン酸態リンは窒素源の有無にかかわらず, 試験開始34時間以降は取り込み速度が急激に低下した。34時間後までの取り込み速度は培地1で1.30 $\mu\text{g at}$, 培地3で0.70 $\mu\text{g at}$ となり, 窒素の不足した培地では50%ほど取り込みが遅くなった。これを昨年実施した冬期試験と比較すると, 窒素の取り込みがリンと比較して速やかなこと, リン源が不足することにより窒素の取り込みが10%ほど低下すること, 窒素源が不足することによってリンの取り込み速度が極端に低下する傾向は同じであったが, 窒素・リンの取り込みは速やかになった。特にリンの取り込みは窒素源の有無にかかわらず冬期試験の約2倍の速度で取り込まれた。培養アオサは冬期より夏期の増殖率が高いことから水温が高いほど取り込みも速やかになると推察された。このことから培養アオサは夏期の海水浄化には有用な藻類と推察できる。

天然アオサの硝酸態窒素の24時間後までの取り込み速度はリン源の有無にかかわらず、 $35.70\mu\text{g at}$ 、リン酸態リンについては36時間後までは培地1では $1.50\mu\text{g at}$ 、培地3では $1.15\mu\text{g at}$ 、それ以降の取り込み速度は培地1で $0.45\mu\text{g at}$ 、培地3で $0.70\mu\text{g at}$ となった。これを培養アオサと比較すると窒素の取り込み速度はやや遅いものの、リンの取り込みは速やかであった。これはアオサを培養する際添加する肥料として、硫酸と尿素、過リン酸石灰を添加しているが、過リン酸石灰は海水に溶けないことから培養アオサはリンの吸収能力が劣っていると推察される。

ヒジキ：4月21日～25日に試験を行ったが、この期間23日以降は雨や曇りの日が多く、水温は $17.6\sim 19.3^\circ\text{C}$ 、光量子は $0\sim 1974.4\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ の範囲で推移した。

各培地中の硝酸態窒素とリン酸態リンの推移を図4に示す。窒素の取り込みは培地1では $2.80\mu\text{g at}$ 、

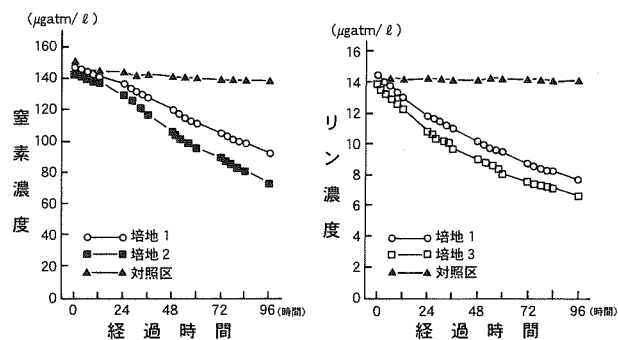


図4 ヒジキを用いたときの各種培地内における窒素とリン濃度の推移

培地2では $3.67\mu\text{g at}$ とリン無添加培地の方が速やかであった。リンについては培地3で $0.38\mu\text{g at}$ 、培地1で $0.35\mu\text{g at}$ と窒素無添加培地の方が取り込み速度はやや速やかであった。このようにヒジキは窒素・リンともに単体で添加されている方が両方の栄養塩を添加した培地より取り込みが速やかであった。この理由については用いた藻体が不良なためなのか、試験時期が悪かったのか明らかでないが、ヒジキはアオサやヒロメと比較すると窒素やリンの取り込み速度が遅いことが明らかとなった。しかし、

ヒジキは3月から5月にかけて急激に生長し、食用となることからこの期間の魚類養殖漁場の浄化を目的とした藻類としては有効であると推察される。

クロメ：12月22日～26日に試験を実施した。この期間の天気は概ね晴れで、水温は $16.4\sim 19.0^\circ\text{C}$ 、光量子は $0\sim 1,045\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ の範囲で推移した。

各培地中の硝酸態窒素とリン酸態リン濃度の推移を図5に示す。窒素の取り込み速度は培地2では

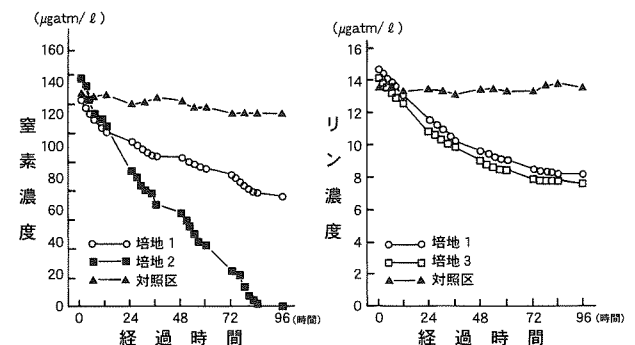


図5 クロメを用いたときの各種培地内における窒素とリン濃度の推移

$8.17\mu\text{g at}$ 、培地1では $3.49\mu\text{g at}$ となり、リンの添加されていない培地での取り込みが両方の栄養塩を添加している培地の2倍以上の速度で取り込まれた。リンについても培地1で $0.34\mu\text{g at}$ 、培地3で $0.34\mu\text{g at}$ と差は認められなかった。

カジメ：2月17日～2月21日の低水温期に試験を行った。この期間の天気は概ね晴れで、水温は $15.2\sim 17.7^\circ\text{C}$ 、光量子は $1,793\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ の範囲で推移した。

各培地中の硝酸態窒素とリン酸態リンの推移を図6に示す。窒素の取り込みは培地2で $7.11\mu\text{g at}$ 、

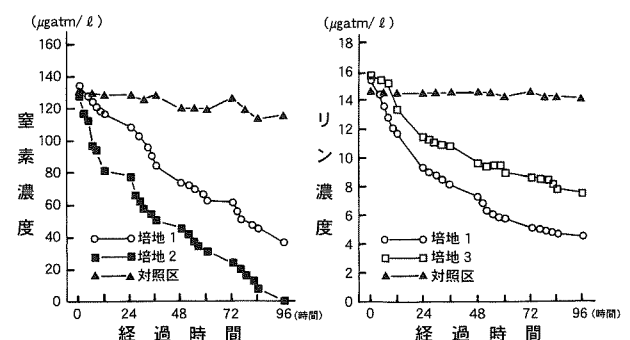


図6 カジメを用いたときの各種培地内における窒素とリン濃度の推移

培地1で $5.80\mu\text{g at}$ と窒素のみを添加した培地の方が窒素・リンを添加した培地の1.5倍以上取り込み速度が速やかであった。リンについては培地1で $0.64\mu\text{g at}$ 、培地3で $0.47\mu\text{g at}$ と窒素・リンを添加した培地の方が20%ほど取り込み速度は速やかであった。カジメもヒジキ・クロメ同様、培地中にリンが添加されていない方が窒素の取り込みは速やかになった。また、試験時期は異なるが、同じ*Ecklonia*属であるカジメとクロメを比較すると、クロメは窒素、カジメはリンの取り込みが速やかであることが明らかとなった。以上の結果から、試験が低水温期ではあるが、カジメは他の種に比較して窒素・リンの取り込みがやや不良なこと、食用としても現在は利用されていないことから複合養殖の対象種としては不適と推察された。

昨年からアオサ・ヒロメ・ヒジキ・カジメ・クロメの窒素とリンの取り込み試験をフラスコ内で行った結果、窒素の取り込み速度はアオサが、リンの取り込み速度はヒロメが速やかであった。和歌山県で複合養殖として用いる藻類は春から秋にかけてはアオサを、秋から冬にかけてはヒロメを用いるのが適していると推察された。しかし、アオサは食用とし

て利用できないことからこの期間に食用として利用できる藻類を見つける必要がある。

2. アオサの養殖方法の検討

昨年度、ちょうちん籠にアオサを入れ、魚類養殖生け簀の水深2mの場所に垂下したが、1日当たりの生長率は3.9%⁵⁾で右田⁶⁾の報告と比較してかなり低い値となった。これは照度不足、藻体に動きがないことや藻体への付着生物の多いことが原因と推察されることから新たな養殖施設を考案し、培養を試みた。

材料および方法

アオサは当研究所の陸上池で培養しているものを用いた。海面筏では図7に示す目合い2mmのもじ網で $2\times 2\times 0.8\text{m}$ の生け簀網を作成し、これに生け簀外との海水交流を良くするためのエアリフト（水深2.5mから設置）、注水口の下には海水中の懸濁物を除去するための濾材、生け簀網内には藻体の動きを速やかにするためのブローアをセットし、生け簀の底は弛みが来ないように周辺を塩ビパイプで成型した。

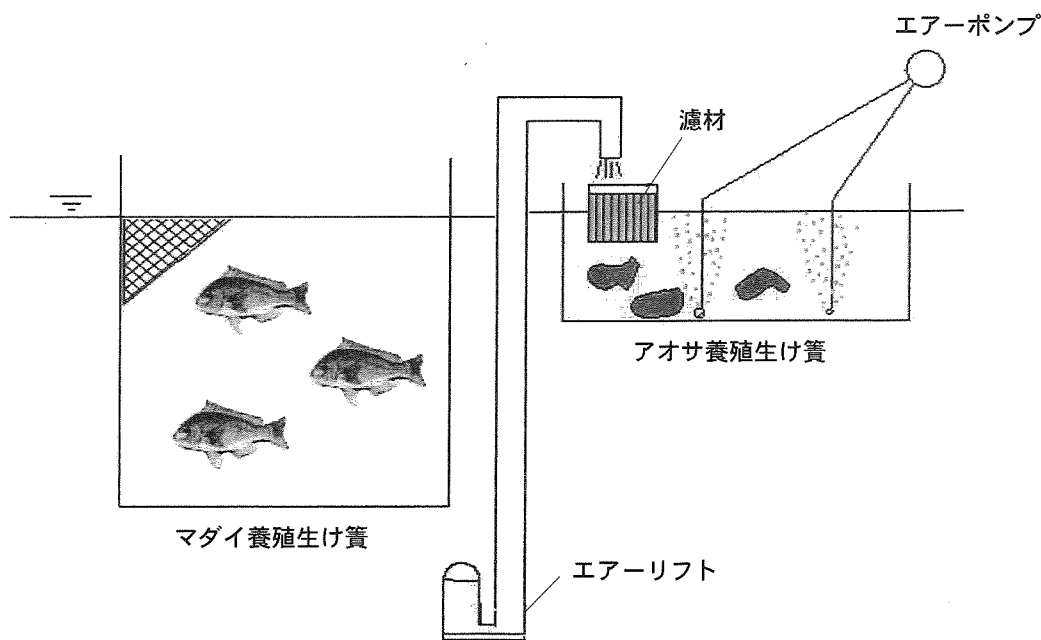


図7 アオサ養殖システム

培養試験は試験開始時に1,000gのアオサを投入し、エアーリフトとブロアーを作動させた場合、どちらか一方を作動させた場合、両者の設備を全く作動させない場合を設定し、一週間培養後に重量測定を行い、それぞれの一日当たりの増殖率を比較した。また、両方の設備を作動させ、試験開始時に収容するアオサの量を500g, 1,000g, 2,000gと変えて一週間培養後の重量測定を行い、一日当たりの増殖率を比較した。なお、エアーリフトやブロアーは自家発電装置を利用していることから、安全性を考慮し、朝9時から夕方6時まで作動させた。アオサの重量測定はアオサを布袋に詰め、洗濯機に附属している脱水機で5分間脱水した後行った。また、両設備を使用した7月10日～7月16日には朝・夕、養殖施設内と施設外の水深30cm, エアーリフトの設置した水深3mにおける水温, DO, 塩分, 濁度, DIN, DIPを測定した。水温, 塩分, 濁度はアレックK.K製のメモリークロロテックで, DOはHORIBA製W-22Dで測定し, DIN・DIPは採水後0.45 μ mのミリポアフィルターで濾過した後, -20℃で保存し, 後日TRAACS800を用いて分析を行った。

結果および考察

表2に各培養条件別のアオサの増殖率を示す。ちようちん籠による培養では1日当たりの増殖率は2.86～4.46%であったが、この施設を利用することにより24.38～50.71%と飛躍的に増殖率は増加した。

試験開始時のアオサ投入量が1,000gの場合、エアーリフトやブロアーが作動していない場合は24.38%、どちらか一方が作動している場合は30.77～27.13%、両設備が作動している場合は34.43～30.57%となり、両設備が作動する場合が最も良好であったが、いずれかの設備が作動しておれば増殖率に大きな差は認められなかった。ただ、エアーリフトのみとブロアーのみとの場合を浮泥の付着のない清浄な藻体が生産できた。この施設での増殖率の多少は試験開始時に投入するアオサの量が大きく影響しており、試験開始時のアオサの量が500gの場合は50.71%、1,000gの場合は34.37～30.57%、2,000gの場合は28.57%となり、開始時の投入量が多くなるほど増殖率は低下した。これは投入量が少ないほどアオサへの光の当たりや栄養塩の吸収面が多くなることから当然と推察される。

それぞれの増殖量から窒素・リンの7日間の吸収量を昨年のアオサ成分分析結果⁵⁾を用いて計算すると、試験開始時の投入量が500gの場合は窒素・リンそれぞれ12.43g, 0.80g, 1,000gの場合は16.36g, 1.05g, 2,000gの場合は14.98g, 0.96gとなり、1,000gの場合が最も多く窒素・リンを吸収しており、この施設での培養開始時の投入量は1,000gが適当と考えられた。また、時間当たりの窒素とリンの取り込み速度は500gの場合はそれぞれ, 147.98 μ g (52.85 μ gat), 9.50 μ g (1.55 μ gat), 1,000gの場合は

表2 各培養条件によるアオサの増殖量

培養期間	水温範囲 (℃)	利用施設		培養開始時 アオサ(g)	培養終了時 アオサ(g)	1日当たり 増殖率(%)
		エアーリフト	ブロアー			
7月2日～7月9日	24.5～26.0	ちようちん籠		500	640	2.86
7月10日～7月17日	26.0～27.2	ちようちん籠		500	656	4.46
7月10日～7月17日	26.0～27.2	○	○	1,000	3,410	34.43
6月24日～7月2日	24.2～24.6	○	×	1,000	3,170	27.13
7月2日～7月9日	24.5～26.0	×	○	1,000	3,154	30.77
7月28日～8月4日	26.1～28.1	○	○	1,000	3,460	30.75
7月28日～8月4日	26.1～28.1	×	×	1,000	2,950	24.38
6月17日～6月24日	23.2～24.6	○	○	500	2,275	50.71
6月10日～6月17日	23.6～24.1	○	○	1,000	3,140	30.57
8月13日～8月20日	26.4～27.1	○	○	2,000	4,140	28.57

97.40 μg (34.80 μgat) , 6.26 μg (1.00 μgat) , 2,000gの場合は4458 μg (15.90 $\mu\text{g at}$) , 287 μg (0.45 μgat) となり, 500gの場合が試験管内試験の数値とほぼ同じ値が得られた。

図8に7月10日から7月17日に行った培養試験中

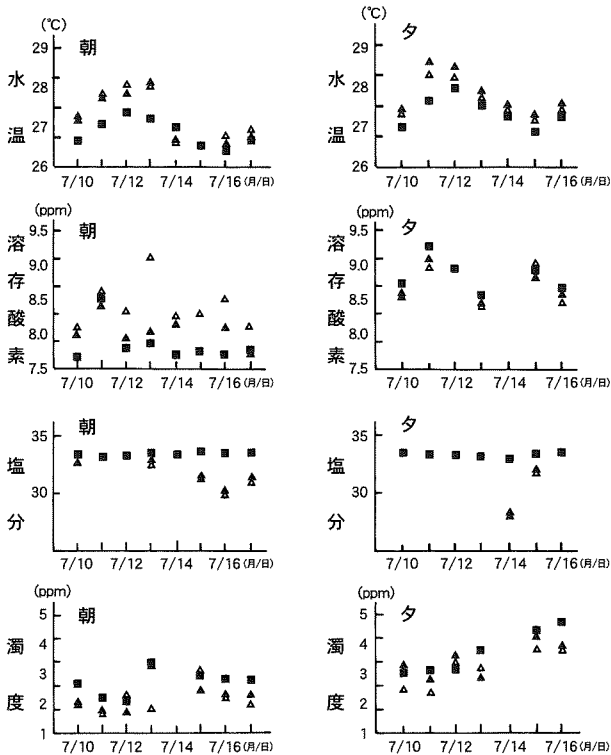


図8 アオサ培養期間中の各地点における環境項目の推移

▲ 生け簀外水深0.5m ■ 生け簀外水深3m △ 生け簀内水深0.3m

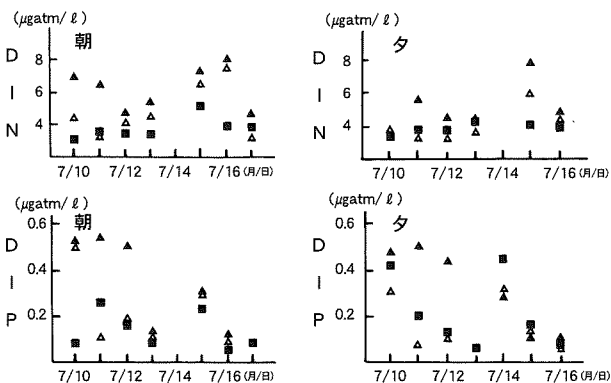


図9 アオサ培養期間中の各地点におけるDINとDIPの推移

▲ 生け簀外水深0.5m ■ 生け簀外水深3m △ 生け簀内水深0.3m

のアオサ生け簀内と生け簀外の水深0.3m, 3mにおける水温, 溶存酸素, 塩分, 濁度について朝と夕の測定値の推移を示す。また, 図9には試験期間中のDINとDIPについて朝と夕の測定値を示す。なお, 7月13日夕方から14日朝方にかけて大雨が降り, 濁度, 栄養塩類の数値が異常に高くなったためこれをグラフにプロットすると傾向がつかめないことから削除した。

生け簀内の水温は, 朝は生け簀外の水深0.3mの水温とほぼ同じ数値を示したが, 夕方はエアリフトを作動させていることから生け簀外の水深0.3mと3.0mの中間値よりもやや高い値を示した。溶存酸素は, 朝は生け簀内が他の地点より常に高い数値を示したが, 夕方は各測定地点において大きな差は認められなかった。朝の生け簀内は静穏な状態が続いていたことからアオサによる光合成が活発に行われ, その結果, 生け簀内は常に溶存酸素は高い状態にあったが, それ以降各設備を稼働させることによってその差は認められなくなったと推察される。濁度については, 朝は生け簀内と同水深の生け簀外とほぼ同じ値を示したが, 夕方は生け簀内が他の測定地点と比較して低い値を示した。これは濾材の効果によるものと推察される。栄養塩類についてはDIN, DIPともに生け簀外では水深0.3mの方が水深3mより常に高い数値を示した。朝のDIN値は, 生け簀内は生け簀外の水深0.3mと3mの中間値を示したが, DIPは傾向が把握できなかった。夕方はDIN, DIPともに生け簀内が生け簀外よりやや低くなる傾向が認められた。生け簀内は藻体による栄養塩の取込が活発なことから栄養塩類の濃度は生け簀外より低くなるのは当然と考えられるが, 朝の測定値にその傾向が認められないことからアオサの栄養塩吸収は昼間活発に行われていると推察される。

今回新たに考案したアオサの養殖システムにより増殖率は飛躍的に増加したが, 目合いが細かいため10日に1回は網を洗浄する必要があり, またエアリフトやブローアを装着していることから電源が

必要となってコスト的に問題がある。しかし、ブローアを作動させるだけでも1日30%以上の増殖が可能であり、付着物のない清浄な藻体を得られる。ブローアだけなら簡単な太陽電池を用いて作動させることができる。また、両設備がなくとも24%以上の増殖率があることから網を弛まないよう工夫するだけでアオサは良好に増殖するものと考えられる。

3. マダイ飼料のアオサ添加効果

アオサは食料として利用されないことからその利用方法についても検討する必要がある。許らはマダイやヒラメの稚魚用飼料にアオサ粉末を添加することにより生残率や日間成長率に効果のあることを報告している^{7, 8)}。ここではマダイが餌食いの悪くなる低水温期にアオサ粉末を添加することによりどのような効果があるのかを検討した。

材料および方法

供試魚：当研究所でEP飼料により育成していた平均体重240gのマダイ *Pagrus major* 当歳魚を用いた。

飼育飼料：魚粉のマッシュを基本としたモイストペレットを作成した。配合は日清丸紅飼料株式会社のモイスト用配合飼料（魚粉85%，小麦粉7%，油かす4%，コーングルテンミール4%，グアガム）12kgに水7ℓ，フィードオイル3ℓ，アオサ粉末600gを添加した飼料1と配合飼料13kgに水7ℓ，フィードオイル3ℓを添加した飼料2を作成した。なお、飼育飼料に添加したアオサは当研究所の培養アオサを天日乾燥させ、ミキサーで細かく砕き2mmのメッシュを通過したものをを用いた。通常モイストを餌として用いる場合は生餌と配合してオレゴンタイプペレットとして給餌するが、今回はアオサの添加効果をより明らかにすることを目的としたため、水と油だけの添加とした。

飼育試験：飼料1区は平均体重241.2gのマダイ210尾、飼料2区は平均体重237.3gのマダイ213尾をそれぞれ3×3×3mの海面生け簀に収容し、飼

育試験を行った。試験は11月28日から開始し、12月までは土、日を除いた週5回、1月からは隔日の週3回給餌を行い、3月2日まで実施した。体重測定は最終の3月4日に行い、全魚体重を測定するとともに任意に30尾を抽出し、個体毎の尾叉長・体重を測定、肥満度を求めた。

血液性状並びに血清成分分析：試験開始時には10尾、試験終了時には各試験区から任意に10尾を抽出し、ヘマトクリット値、ヘモグロビン量、赤血球数の血液性状を測定するとともに、血清中のタンパク量、グルコース量、総コレステロール量、トリグリセライド量、尿素窒素量、アミラーゼ活性、アルカリフォスファターゼ活性、GOT活性、GPT活性、カルシウム量、マグネシウム量、リン量は富士ドライケム3500を用いて測定した。

結果および考察

飼育期間中の水温変化を図10に示す。12月下旬

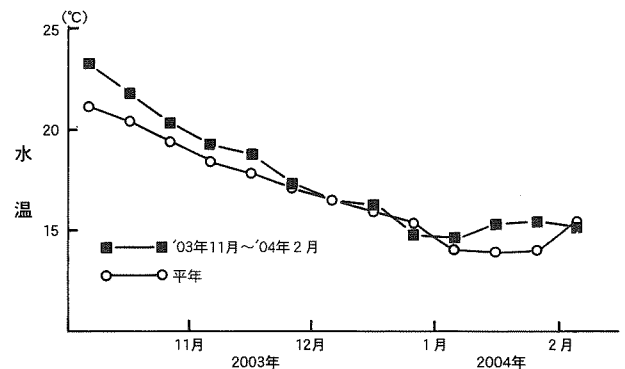


図10 マダイ飼育期間中の水温変化

までと2月上旬以降は平年よりやや高め、それ以外は平年並みに推移した。

飼育結果：飼育結果を表3に示す。斃死率はアオサを添加した飼料1区が3.8%であるのに対し、アオサ無添加の飼料2区が20.2%と高くなった。飼料2区に斃死率が高いのは微量元素が不足しているモイスト単体を与えたことによる弊害と推察される。しかし、飼料1区はアオサを添加することによりその弊害が緩和されたと考えられる。試験終了時における魚体重はアオサを添加した飼料1区が345.5g、

表3 飼料別飼育試験 (2003年11月28日～2004年3月2日)

試験区	供試尾数	平均体重(g)		日間給餌率 (%)	補正増重量 (g)	増重倍率	給餌量 (g)	増肉係数 (乾物)	斃死尾数	斃死率 (%)
		開始時	終了時							
アオサ添加	210	241.2	354.5	2.18	23,339.8	1.47	54,360	1.61	8	3.81
アオサ無添加	213	237.3	342.5	2.08	20,145.8	1.44	46,090	1.60	43	20.19

アオサを添加しない飼料2区が342.5gとなり、1区がやや大きく成長したものの、増肉係数に大きな差は認められなかった。以上のことから、モイスト飼料にアオサを添加することにより、モイスト単体による弊害を緩和することができたと考えられた。

血液検査および血清成分：検査結果を表4に示す。試験開始時と比較するといずれの検査項目も低くなっているが、これは試験を水温の低い時期に行ったためと推察される。試験終了時の血液性状を2つの区で比較するとヘモグロビン量と赤血球数はアオサ添加区が低く、標準偏差も大きくなった。これはモイスト単体給餌による弊害で斃死する魚が多かった飼料2区は健康的に不安定なものが淘汰されたのに対し、飼料1区はアオサを添加することにより健康的に問題のある魚も斃死することなく生存したものと推察される。また、血清成分はGOT活性を除いてほとんどの項目で差は認められなかった。

4. 貝類の養殖

海面で藻類養殖を行い、対象としている藻類が人間にとって食用となる場合は藻類が取り込んだ窒素やリンは陸上に上げられ、海域からは除去されるが、アオサなどの食用とならない藻類については利用方法を検討する必要がある。ここでは食用とならないアオサを用いて貝類養殖の可能性について検討した。昨年サザエ*Turbo cornutus*とアカウニ*Pseudocentrotus depressus*について養殖試験を実施し、サザエは養殖種として可能性のあることが示唆されたことから継続飼育を行った。今年度はアワビ*Notohaliotis gigantea*とトコブシ*Sulculus supertexta*について養殖の可能性について検討した。

材料および方法

サザエ：2002年7月22日に開始した養殖試験を2003年6月4日まで継続飼育した。任意に抽出した100個の殻高と平均重量の測定は3月31日、5月7日、

表4 血液性状並びに血清成分分析結果

検査項目	単位	試験開始時		試験終了時			
				アオサ添加区		アオサ無添加区	
ヘマトクリット値	%	41.2 ± 3.64	27.6 ± 3.55	27.6 ± 4.10			
ヘモグロビン量	mg/dl	6.7 ± 0.63	4.6 ± 1.00	4.9 ± 0.60			
赤血球数	10 ⁴ /mm ³	382.1 ± 35.17	311.6 ± 73.63	327.9 ± 50.50			
血漿タンパク量	g/dl	4.1 ± 0.47	3.2 ± 0.42	3.3 ± 0.24			
グルコース	mg/dl	67.5 ± 9.71	65.2 ± 20.04	50.7 ± 11.13			
総コレステロール	mg/dl	301.3 ± 49.66	246.3 ± 46.85	275.4 ± 35.45			
トリグリセリド	mg/dl	116.1 ± 56.80	109.8 ± 39.16	104.7 ± 15.55			
アルカリフォスファターゼ	U/l	168.3 ± 64.52	115.8 ± 41.25	105.1 ± 22.89			
尿素窒素	mg/dl	5.1 ± 1.02	4.1 ± 18.13	3.7 ± 16.60			
アミラーゼ	U/l	114.7 ± 46.18	45.3 ± 0.77	57.8 ± 16.60			
GOT	U/l	31.0 ± 17.88	18.6 ± 11.92	28.3 ± 21.86			
GPT	U/l	7.5 ± 4.70	4.9 ± 2.07	4.7 ± 1.92			
カルシウム	mg/dl	14.8 ± 0.96	13.9 ± 0.74	13.8 ± 0.66			
マグネシウム	mg/dl	2.0 ± 0.28	1.7 ± 0.27	1.7 ± 0.43			
リン	mg/dl	14.0 ± 1.78	11.1 ± 1.35	11.0 ± 1.23			

表中の数字は10尾の平均値±標準偏差

6月4日の3回実施した。

アワビ類：アワビ・トコブシともに2002年に種苗生産し、当研究所で半年間ペレット、アオサ、ワカメ、ヒロメ等で育成したものをを用いた。養殖試験はサザエ同様の50×50×80cmのトリカルネット（目合い3×7mm）に収容した。アワビ並びにトコブシの収容数と給餌内容を表5に示す。アワビは1生け

表5 貝類飼育試験内容

種類	収容個体数 (個)	給餌種類
アワビ	300	アオサ・ワカメ
アワビ	300	アオサ・ペレット
アワビ	300	ワカメ・コンブ
アワビ	300	ワカメ・ペレット
トコブシ	300	ワカメ・ペレット
トコブシ	300	アオサ・ペレット
トコブシ	300	アオサ・ワカメ
トコブシ	300	アオサ
トコブシ	500	アオサ・ワカメ
トコブシ	500	アオサ・ペレット

簀に平均重量2.21g（平均殻長27.7mm）の個体を300個ずつ収容し、アオサ・乾燥ワカメ（以下ワカメ）区、アオサ・ペレット区、ワカメ・乾燥コンブ区、ワカメ・ペレット区を設定した。

トコブシは1生け簀に平均重量2.69g（平均殻長29.6mm）の個体を300個ずつ収容し、ワカメ・ペレット区、アオサ・ペレット区、アオサ・ワカメ区、アオサ単独区を設定した。トコブシについては収容密度の高い試験区として、1生け簀に500個を収容し、アオサ・ワカメ区（平均重量2.59g）、アオサ・ペレット区（平均重量2.75g）を設定した。

試験は9月30日に開始し、その後は剥離作業によって貝類を傷め、斃死させる危険があることから1月16日のみの測定とした。1月16日には任意に抽出した100個の殻長と平均重量の測定を行った。

結果および考察

サザエ：餌料別サザエ養殖の平均重量の推移を図11に示す。各試験区の6月4日における生残率は

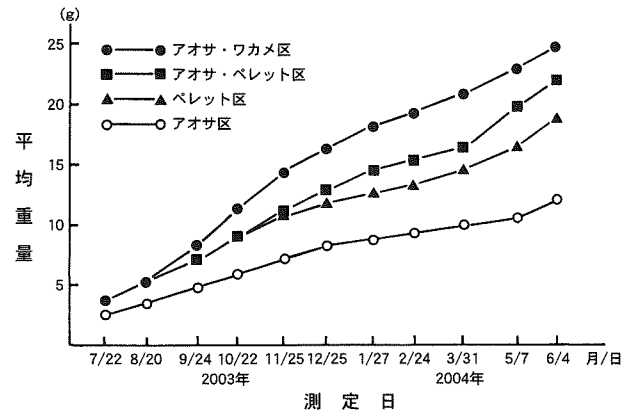


図11 サザエ餌料別飼育試験における平均重量の推移

ペレット区92.2%，アオサ・ペレット区で91.5%，アオサ・ワカメ区で88.4%，アオサ単独区で86.6%となり、ペレット単独区が最も良く、アオサ単独区が最も悪い結果となった。成長については、6月4日の最終取り上げ時の平均重量でみると、アオサ・ワカメ区が24.76g（平均殻長49.9mm）で最も大きく、次いでアオサ・ペレット区21.85g（42.4mm）、ペレット区18.68g（39.9mm）、アオサ区11.99g（34.0mm）の順となった。アオサ・ワカメの複合給餌区のサザエはやや小さめではあるが、料理の付き出しとして使用することも可能と推察され、海藻類の複合餌料による養殖は可能と考えられた。

アワビ類：図12に飼育期間中の水温変化を示す。9月下旬から10月下旬までと12月中旬以降は平年並みに推移したが、それ以外は平年水温より常に高めに推移した。

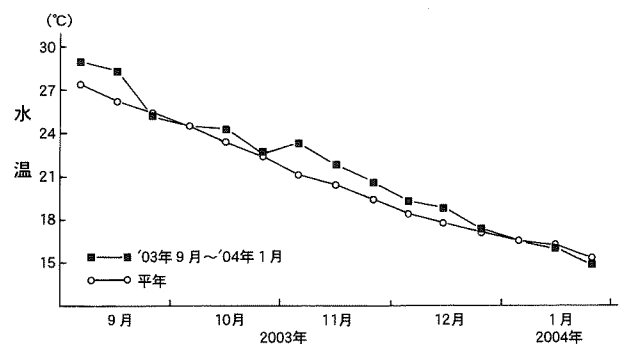


図12 アワビ類飼育期間中の水温変化

表6に各試験区の測定結果と給餌量を示す。アワビは試験開始時から10月にかけて斃死が目立ったが、

表6 各海藻類を用いたアワビ・トコブシの成長試験結果

種類	試験開始時(9月30日)			試験終了時(1月16日)				給餌量(g)			
	個体数	殻長(mm)	平均重量(g)	個体数	生残率(%)	殻長(mm)	平均重量(g)	アオサ	ワカメ	ペレット	コンブ
アワビ	300	27.74 ± 2.88	2.21	182	60.67	38.88 ± 4.38	7.52	1,410	750		
アワビ	300	27.74 ± 2.88	2.21	166	55.33	38.33 ± 3.71	6.85	2,010		975	
アワビ	300	27.74 ± 2.88	2.21	264	88.00	38.40 ± 4.05	7.07		1,095		280
アワビ	300	27.74 ± 2.88	2.21	97	32.33	41.55 ± 3.96	8.59		590	530	
トコブシ	300	26.65 ± 2.96	2.69	290	96.67	30.65 ± 2.68	4.22		600	530	
トコブシ	300	26.65 ± 2.96	2.69	293	97.67	31.17 ± 3.69	4.41	1,980		590	
トコブシ	300	26.65 ± 2.96	2.69	290	96.67	31.62 ± 3.24	4.59	1,320	510		
トコブシ	300	26.65 ± 2.96	2.69	299	99.67	30.85 ± 4.14	4.14	3,700			
トコブシ	500	28.28 ± 2.28	2.59	445	89.00	32.67 ± 3.67	5.46	3,200	660		
トコブシ	500	27.96 ± 2.62	2.75	424	84.80	34.50 ± 3.76	5.92	3,650		680	

試験開始時のハンドリングやアルコールによる麻酔がストレスになったものと考えられる。11月以降は測定作業も行わなかったことから斃死も無くなり、順調な飼育ができた。1月16日における生残率はワカメ・コンブ区が88%と最も高く、次いでアオサ・ワカメ区の60.67%、アオサ・ペレット区の55.33%、ワカメ・ペレット区が32.33%と最も低くなった。成長についてはワカメ・ペレット区(平均重量8.59g)、アオサ・ワカメ区(7.52g)、ワカメ・コンブ区(7.07g)、アオサ・ペレット区(6.85g)の順となったが、ワカメ・ペレット区は大量斃死を起こし、収容密度が極端に異なることから結果について検討することはできないと考えられる。しかし、傾向としてはペレットを多用するよりは複数の海藻で飼育するのが良いと推察された。この飼育試験は今後も継続して実施する。

1生け簀に300個を収容したトコブシ試験区ではいずれの区においても生残率は95%以上となり、安定的な飼育ができた。成長についてはサザエ同様アオサ・ワカメ区がもっと良く1月16日の測定時には平均重量で4.59g(平均殻長31.62mm)、次いでアオサ・ペレット区4.41g(31.17mm)、ワカメ・ペレット区4.22g(30.65mm)となり、アオサ区は4.14g(30.85mm)と最も悪い結果となった。しかし、トコブシはアオサ単独でもサザエほど成長に差はなく、アオサ単独による養殖も可能と推察できるが、今後の成長について継続飼育する必要がある。

密度が高い飼育試験区では300個の試験区より生残率はやや低かったものの、成長についてはアオサ・ペレット区で5.92g(34.50mm)、アオサ・ワカメ区で5.46g(32.67mm)と良好な結果となった。これは密度の高い試験区のトコブシは試験開始1ヶ月前から海面で飼育していたことから環境適応がスムーズにいったことが影響したものと推察される。

トコブシは養殖を行うと貝の殻が柔らかく少しの打撃でも割れてしまう点や、貝の色が鮮やかな緑色、どちらかといえば水色に近い色になってしまい、商品的には問題があると考えられる。餌料として紅藻類を与えると成長は良くないものの殻の色が改良されることが知られていることから、アオサとテングサ等の複合餌料による飼育試験を実施する必要がある。

5. サザエの排泄量

魚類・貝類・藻類の複合養殖を行った場合、藻類は海水中の栄養塩を吸収するが、魚類・貝類は排泄物として窒素やリンを海水中に放出する。Hallらはニジマスの海面養殖において流出する窒素やリンについて論じており、与えた餌料に含まれる窒素の23%が、リンの50-57%が流失するとされている^{9,10)}。一方貝類についてもカキ養殖において有機物負荷の多いことが報告されており¹¹⁾、今回養殖の対象種としているサザエ、アワビ、トコブシの負荷量を把握する必要がある。本年度はサザエを用い、餌料を

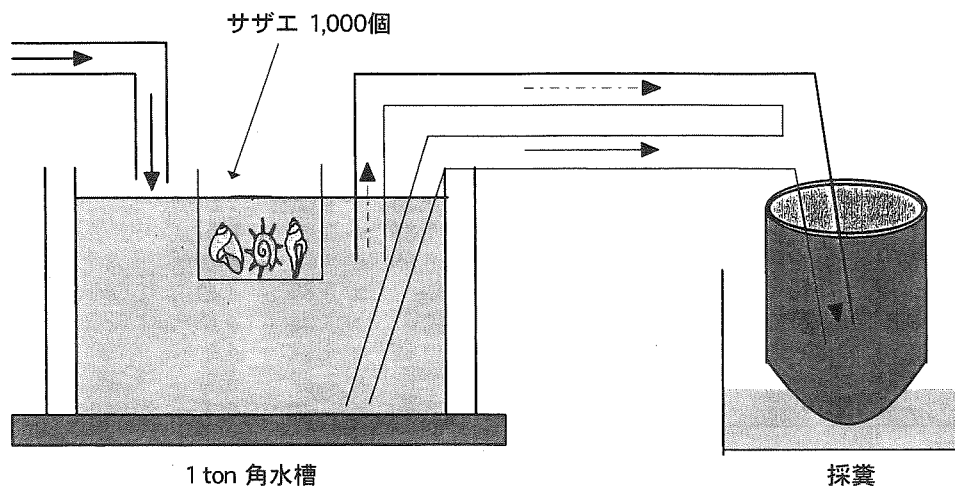


図13 サザエ採糞システム

かえて排泄される糞量を測定した。

材料および方法

サザエの採糞システムを図13に示す。平均重量2.6gのサザエ1,000個を80×50×30cmのトリカルネット（3×7mmメッシュ）に収容し、1トン角水槽に垂下收容した。排水溝には90 μ mネットで排泄物を受ける様にしておき、底にたまった糞はサイホンにより集めた。注水量は1時間で1回転となる様調整した。なお、集めた糞は1mmメッシュで残餌と糞に分け、それぞれをシャーレに入れ、80 $^{\circ}$ Cで12時間乾燥させ、重量を測定した。

まず、3日間無給餌としたサザエを採糞システムに垂下、96時間後に採糞を行い、無給餌の場合の1日に排泄される糞量を測定した。餌料別の採糞試験はアオサ・乾燥ワカメ・ヒロメをそれぞれ夕方5時に適量与え、次の日の朝9時に食べ残しを取り上げ、摂餌量を測定、採糞と残餌を集めるとともに、その後は給餌せず、餌を取り上げてから48時間後

まで毎日1回採糞を行った。

なお、アオサとヒロメの乾物換算は昨年分析結果を用い、摂餌量にアオサは20.2%、ヒロメは8.2%を乗じて求めた。乾燥ワカメについては5訂日本食品標準成分表より水分7%として求めた。

結果および考察

試験は1月21日から2月26日にかけて実施した。試験期間中、水温は13.3~17.4 $^{\circ}$ Cで推移した。3日間無給餌として、その後採糞水槽に移し、96時間後には0.662gの糞が採取されたことから、無給餌であっても1日当たり0.166gの排泄が認められた。表7に餌料別の残餌・採糞量の測定結果を示す。残餌は乾燥ワカメが4.7%と最も多く、次いでアオサ、ヒロメの順となった。乾燥ワカメは一度水にもどしてから与えているが、細かなワカメがトリカルネットからもれでているものと考えられる。48時間後までの採糞量はアオサで23.99%、乾燥ワカメで23.62%、ヒロメで20.59%となり、ヒロメを与え

表7 餌料別のサザエ採糞量

	摂餌量 (g)	摂餌量 乾物換算	残餌		餌取り上げ後経過時間			糞総量	
			(g)	(%)	直後	24時間後	48時間後	(g)	(%)
アオサ	48.34	9.76	0.244	2.5	0.543	1.163	0.635	2.341	23.99
乾燥ワカメ	10.00	9.30	0.470	4.7	0.574	0.877	0.746	2.197	23.62
ヒロメ	97.30	8.00	0.159	2.0	0.606	0.935	0.106	1.647	20.59

た場合が最も少なくなった。これから無給餌の時に排泄された糞量を差し引くと16.5~20%となった。これは当研究所でマダイを用いて採糞試験をした結果とほぼ同様の結果となった。今後はアワビとトコブシで同様の試験を実施するとともに、糞に含まれる窒素やリン量を測定する予定である。

文 献

- 1) 窪田敏文1977. 自家汚染の実態. 「浅海養殖と自家汚染」, (日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.13-18.
- 2) 加来靖弘, 渡辺勇二郎1981. 魚類養殖漁場における沈降と堆積「内湾沿岸域における沈降・堆積過程」. (堆積研究会), (社) 日本水産資源保護協会, 東京, pp.107-125.
- 3) 代田昭彦1990. 養殖場の汚染と被害の現状. 「海面養殖と養魚場環境」, (渡辺競編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.11-27.
- 4) 門谷茂2000. 養殖漁場の環境と管理「有害・有毒赤潮の発生と予知・予防 (石田祐三郎・本城凡夫・福代康夫・今井一郎編)», (社) 日本水産資源保護協会, 東京, pp.236-256.
- 5) 木村 創, 田中俊充 2003. 海面養殖業ゼロエミッション推進対策事業, 複合養殖実証試験. 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報告, 35, 37-50.
- 6) 右田清治1985. 大村湾アナアオサの不稔性変異種, 長崎大学水産学部研究報告, 57, 33-37.
- 7) 許波濤, 平田八郎1990. マダイ稚魚の成長と体色に及ぼすアオサ変異種のフィードバック効果, 水産増殖, 38(2), 177-182.
- 8) 許波濤, 山崎繁久, 平田八郎1993. ヒラメ稚魚に対するアナアオサ変異種の好適添加率. 水産増殖, 41(4), 461-468.
- 9) Ola Holby and Per O. J.Hall 1991. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorus. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 70, 263-

272.

- 10) Per O.J.Hall, Ola Holby, Sven Kollberg and Matts-Ola Samueleson 1992. Chemical fluxes and mass balances in marine fish cage farm. IV. Nitrogen. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 89, 81-91.
- 11) 荒川好満, 楠木豊, 神垣正昭1971. カキ養殖場における生物源堆積現象 (Biodeposit) の研究 (1) 養殖適正密度について. *Venus*, 30, 113-128.