

養殖漁場環境保全推進事業 複合養殖実証試験*

木村 創・山内 信

魚類養殖業は一般的に海水交流の比較的少ない閉鎖的な内湾で行われており、ここでは養殖業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。富栄養化の機構や弊害については種々報告されているが¹⁻⁴⁾、養殖業が水質に影響を及ぼす要因としては養殖魚の尿、残餌や糞の堆積した底泥からの窒素・リン等の溶出、懸濁物の拡散がある。

しかし、尿や底泥から溶出する無機の窒素・リンは海藻類にとっては必要な栄養塩であることから、本研究では魚類養殖場において海藻類と複合養殖を行うことによって海域の浄化を図ろうとするものである。本県においては春期から秋期の高水温期はアオサ *Ulva sp.* を、秋期から春期の低水温期はヒロメ *Undaria undarioides* を養殖することにより海域浄化が可能であることが示唆された⁵⁾。このうちヒロメは食用として比較的高値(出荷当初は1,500～800円/kg)で取り引きされていることから、2005年には新たに串本浅海漁場や田辺湾内において12業者の参画があり、低水温期の複合養殖については広がりを見せている。高水温期においてはアオサとアワビやトコブシ等を用いた複合養殖を実施しているが、貝類の成長が停止し、斃死が目立ること、アオサも販売できないことから普及していない。このため2004年は高水温期に生長が良好である亜熱帯産海藻クビレズタ *Caulerpa lentillifera* を用いて海面養殖試験を行った結果、生長が良好だったものの房内に泥等の付着、魚類の捕食などにより食用としての利用は不適と考えられた⁶⁾。今年度は高水温期に適した藻類の探索、貝類養殖方法の検討、並びに貝類の懸濁態排泄物の収支を調べるとともに、複合養

殖の普及に努めた。

1 高水温期に適した藻類の探索

オゴノリ属は世界各地で複合養殖種として利用されている海藻で⁷⁾、栄養塩類吸収能が高く⁸⁾、寒天の原藻として産業上利用価値がある。なかでもセイヨウオゴノリ *Glacilaria sp.* は夏期に生育することが知られている。今年度は千葉産のセイヨウオゴノリを用いて生理活性についての試験を行った。以下の項目については東京海洋大学応用藻類研究室で実施した。

①藻体の光合成に及ぼす光量及び温度の影響

セイヨウオゴノリの生長(光合成量)に適した温度や光量を知ることを目的とした。

材料及び方法

実験には2005年7月に千葉県三番瀬で採集した未成熟のセイヨウオゴノリを用いた。採取した藻体先端部の3～5cmを70%アルコールを染みこませたキムワイプで良く拭いた。洗浄した藻体はPES培地中において1週間以上20°C、光量子50～100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で前培養を行い、付着藻のないことを確認した後試験に供した。その後、新たなPES培地に藻体を入れ、培養温度15、20、25、30°C、光量子0、5、25、50、100、200、400、800 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の組み合わせで2日間通気培養を行った。光合成量の測定はウインクラー法で行い、測定時間を40分とした。各条件で3サンプルを計測してその平均値を光合成量とした。

*養殖漁場環境保全推進事業費による

結果及び考察

セイヨウオゴノリの光合成曲線を図1に示す。光合成量は各水温とも100~200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ まで急激に増加し、それ以上光量子量が多くなっても15, 20°Cでは徐々に増加するが、25, 30°Cでは減少傾向となった。最大光合成量は25°Cまでは高まる傾向にあるが、30°Cでは最大でも光合成量は0.38mg/l/g/min.と低くなり、光量子の増加とともに光合成活性は急激に低下した。25°Cでは光量子が100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で光合成量が0.58mg/l/g/min.と最大となり、それ以上の光量子ではやや低下する傾向が認められた。以上の結果から海面の光量子量(1500~10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)が約20%以下となる⁶⁾水深1m前後の海中での養殖を考えた場合セイヨウオゴノリの生育に適した水温は25~20°Cであり、15°Cでも問題なく生長するものと推察された。魚類養殖の盛んな田辺湾と串本浅海漁場の海水温はそれぞれ10°C~30°C, 13~27°Cで推移しており、両海域ともセイヨウオゴノリを養殖できる可能性が示唆された。

②栄養塩濃度と藻体生長との関係

セイヨウオゴノリの生長に至適な栄養塩濃度を知ることが目的とした。

材料及び方法

試験には光合成試験に用いたセイヨウオゴノリをPES培地で、光量100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 23°C, 12L:12Dの条件下で通気培養を行いながら保存したものをキムワイプで良く拭き付着藻類を取り除き、先端部約3cmを切断して用いた。切断した藻体はPES培地で通気し、光量100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 25°C, 光周期14L:10Dの条件下で1週間前培養を行った。試験は人工海水(Jamarine-S)1 ℓ を満たした平底丸フラスコに湿重量約0.2gの藻体を入れ、144時間

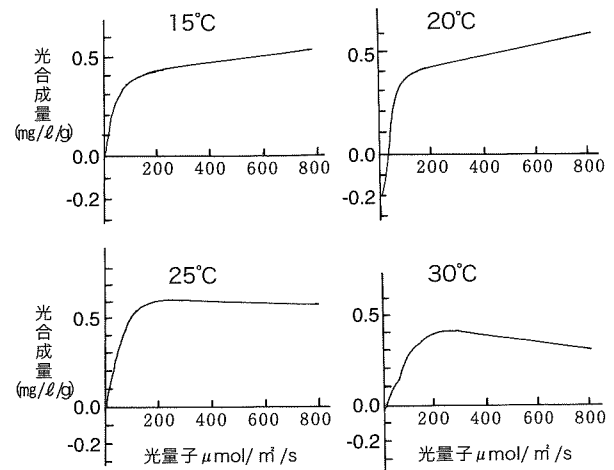


図1 セイヨウオゴノリの光合成曲線

通気培養した。培養液は窒素/リン比が10/1になるように硝酸ナトリウムおよびリン酸水素二ナトリウムを添加して作成した。硝酸態窒素濃度で12.5, 25, 50, 100, 500, 1,000, 10,000 $\mu\text{mol}/\ell$ の7種類の培地を調整した。培地交換は栄養塩の低下を妨げるため48時間毎に行った。培養条件は100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 25°C, 14L:10Dの条件で行った。藻体は48時間毎に湿重量を測定し、日間生長率は下式により求めた。また、対照として通常の沿岸ろ過海水1 ℓ を入れたフラスコ内に0.2gの藻体を入れ、栄養塩濃度別試験と同じ培養条件で、48時間培養後に1日当たりの生長率を求めた。

$$\text{生長率} = \frac{\sum_{n=1}^3 (A_n - A_{n-1})}{(2n \times A_0)} \times 100$$

(A_0 は試験開始時の藻体重量0.2g)

結果及び考察

栄養塩濃度と藻体の日間生長率を図2に示す。藻体の日間生長率は硝酸態窒素を12.5 $\mu\text{mol}/\ell$ 添加した培地で3.99%/日と最も低く、1,000 $\mu\text{mol}/\ell$ 添加した培地で7.89%/日と最も高くなり、栄養塩

の増加とともに次第に高くなる傾向を示した。しかし、10,000 $\mu\text{mol}/\ell$ 添加した培地では藻体が白くなるなどの生長阻害を起し、生長率は4.18%/日となった。また、硝酸態窒素濃度1.25 $\mu\text{mol}/\ell$ 程度の沿岸海水を用いた試験区で最も生長が良好で1日当たり約10%の増殖が認められた。この理由は明らかではないが、自然海水には人工海水に含まれていない何らかの生長因子が含まれていると推察される。

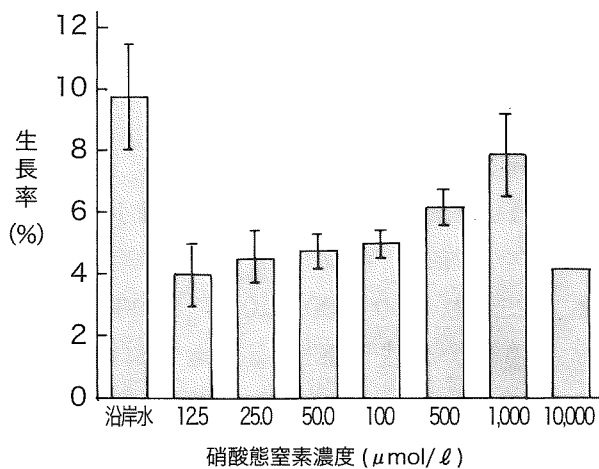


図2 硝酸態窒素濃度とオゴノリの日間生長率の関係

2 貝類の飼育試験

複合養殖では生産された藻類を貝類の餌料として用い、貝類を販売することにより副収入を得ることが可能である。今年度は昨年度から実施しているアワビの飼育結果を報告するとともに、夏期における成長不良や斃死の軽減を目的に養殖籠表面に繊維状炭素をコーティングし、この効果について検討した。

① 2004年からの餌料別飼育試験

2004年7月に飼育密度を調整した後、餌料別飼育試験を実施した。

材料及び方法

メガイアワビは2002年に種苗生産され、当研究所で半年間ペレット、アオサ、ワカメ、ヒロメ等で中間育成後、2003年9月30日から2004年7月1日まで餌料別の試験に用いたものを利用した。7月1日に各試験区の総重量が2.3kgとなるように調整して再び餌料試験を開始した。開始時の平均重量はアオサ・ワカメ区が13.86g、アオサ・ペレット区が14.54g、ワカメ・コンブ区が11.85g、ワカメ・ペレット区が16.26gであった。ワカメとコンブは市販の乾燥品を用いた。11月までは月1回、2005年は1月24日・4月11日・6月28日に100個体を任意に抽出し、殻長・平均重量を測定するとともに各区の全重量を測定した。

結果及び考察

飼育期間中の水温は13.8～28.5℃で推移した(図3)。表1に飼育試験結果、図4に平均重量の推移を示す。生残率はいずれの区においても80%以上となり、測定時の剥離による障害もなく順調であった。試験終了時の平均重量はワカメ・ペレット区が最も良く57.20g、次いでアオサ・ペレット区で55.92g、アオサ・ワカメ区で53.27gとなり、ワカ

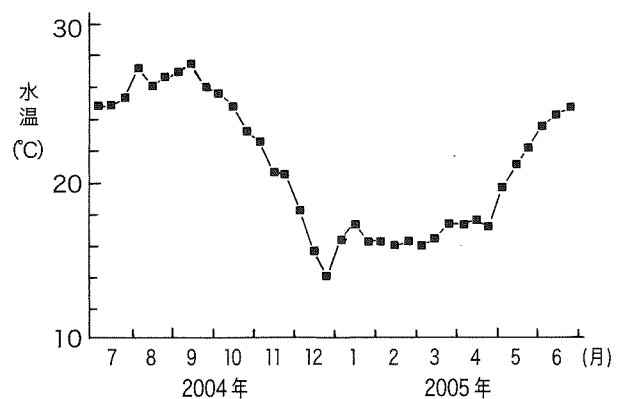


図3 メガイアワビ飼育中の水温変化

表1 飼料別の飼育試験結果

試験区	開始時			終了時			生残率(%)	増重量(g)	増肉係数
	個体数	平均殻長(mm)	平均重量(g)	個体数	平均殻長(mm)	平均重量(g)			
アオサ・ワカメ	175	46.06	13.86	140	53.27	22.62	80.00	895	2.28
アオサ・ペレット	162	47.76	14.54	131	55.92	26.93	80.86	1,364	2.48
ワカメ・コンブ	174	43.69	11.85	154	49.70	17.85	88.51	747	2.37
ワカメ・ペレット	161	49.54	16.26	135	57.20	28.25	83.85	1,352	2.08

メ・コンブ区が49.70gと最も小さかった。増肉係数はワカメ・ペレット区が2.08と最も低く、次いでアオサ・ワカメ区、ワカメ・コンブ区となり、アオサ・ペレット区が2.48と最も高くなった。

試験開始の7月から水温が20℃以下となる11月まではほとんど成長が認められなかった。しかし、その後はいずれの区も順調な成長を示し、なかでもペレットと海藻類の複合飼料区の成長は他の区と比較して速やかであり、養殖開始から2年で平均殻長55mm以上となり一粒アワビとしての出荷も可能と考えられた。ただ、産業としては養殖期間が2年以上であること、高水温期の成長不良や、斃死率の多さ、潮の流れの速い串本浅海域での籠の設置方法等に問題を残した。

現在、串本浅海漁場で魚類養殖を行っている3業者がアワビ・トコブシの養殖を試みているが、籠の流失等によりヒロメ養殖ほどの普及には至っていない。

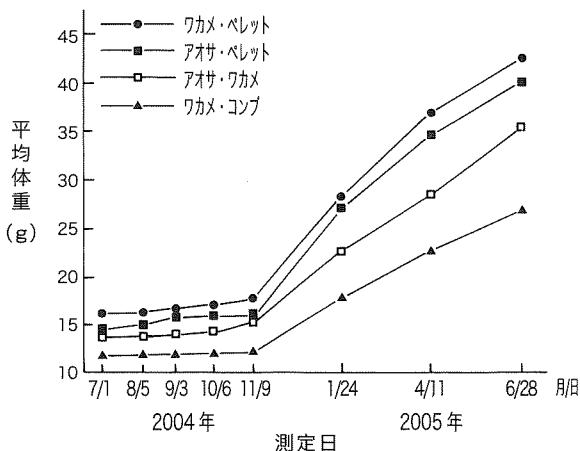


図4 飼料別試験におけるメガイアワビの重量推移

②高水温期における貝類養殖方法の検討

高水温期における貝類の大量斃死並びに成長不良を改善するため、貝類のストレスを緩和するとされる炭素の効果を検討した。

材料及び方法

試験区は2種類の炭素繊維をトリカルネットの飼育籠にコーティングし、太い繊維を炭素A区、細い繊維を炭素B区とし何もコーティングしない対照区の3区を設けた。試験に供したメガイアワビは財団法人和歌山県栽培漁業センターで種苗生産された平均殻長35.6(±3.8)～37.4(±4.8)mmの個体を400個体ずつ3区に収容した。また、サザエは当研究所で種苗生産した平均殻高21.6(±2.6)～22.9(±2.3)mmのものを500個体ずつ3区に収容した。なお、サザエ試験区は9月測定時点で過密となったため、それぞれの区から200個体ずつ取り上げ、収容個数を300個体とした。給餌はメガイアワビにはアオサを50gと塩蔵ワカメを20g毎日与えた。サザエにはアオサを100gと塩蔵ワカメを50g毎日与えた。飼育は当研究所の海面小割生け簀を利用して行った。

結果及び考察

図5に研究所の試験筏水深3mの水温の推移を示す。試験期間中は13.5～28.9℃で推移した。夏場の高水温期(8・9月)は24.2～28.9℃で推移し、8月上旬と9月下旬に28℃以上の高水温が一週間程度継続していた。

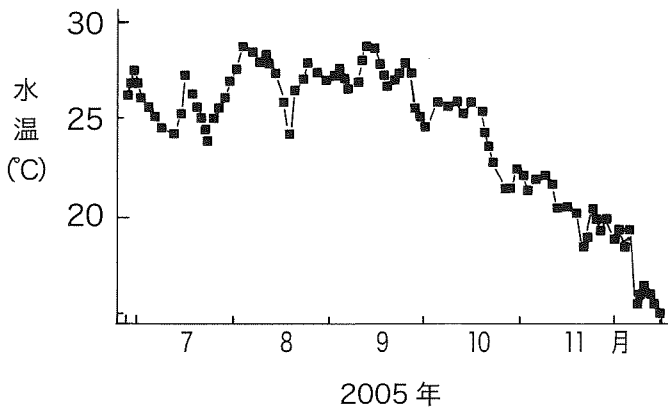


図5 試験筏水深 3m の水温推移

図6にメガイアワビの平均殻長の推移を示す。何れの区も6～9月の殻長の伸びはほとんどみられず、試験区間での差もみられなかった。しかし、試験期間後半の9～12月には炭素A、B区何れも殻長の伸びが良好となったが対照区は改善されなかった。

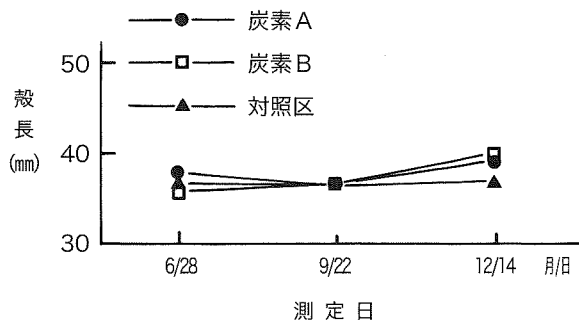


図6 メガイアワビの平均殻長の推移

図7にメガイアワビの平均個体重量の推移を示す。6～9月における個体重量の増加は低く推移したが、9～12月には大きく成長した。炭素A、Bに比べて対照区で個体重量の増加が良好であった。

図8に各試験区における累積斃死個体数を示す。斃死個体数は炭素A区135個、炭素B区160個そして対照区22個と対照区で斃死数が少なく、炭素コーティングを行った飼育籠で多く斃死し、8月の高水温期に多く斃死した。

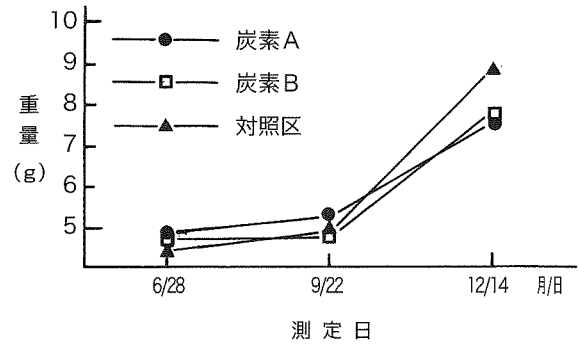


図7 メガイアワビの平均個体重量推移

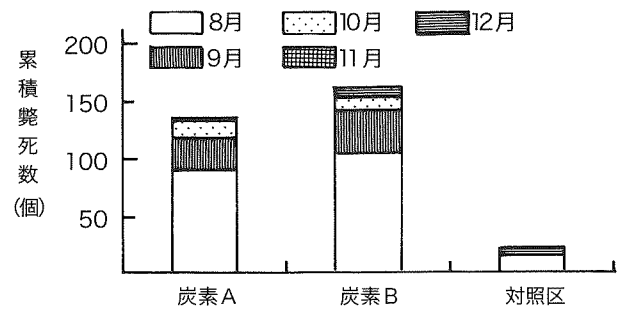


図8 各試験区におけるメガイアワビの累積斃死数

サザエの平均殻高はメガイアワビのような夏場の停滞は見られず、順調に成長したが、炭素A、B区そして対照区の間には差は認められなかった(図9)。

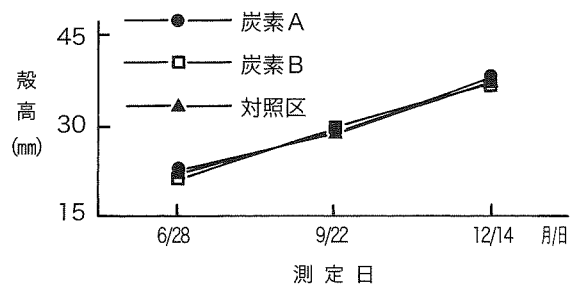


図9 サザエの平均殻高の推移

図10にサザエの平均個体重量の推移を示す。平均個体重量は9～12月に良好な増加を示したが、9月測定時点でそれぞれの試験区の密度を調整するために約200個体を取り上げたことで成長が改善されたものと考えられる。

図11に各試験区におけるサザエの累積斃死数を

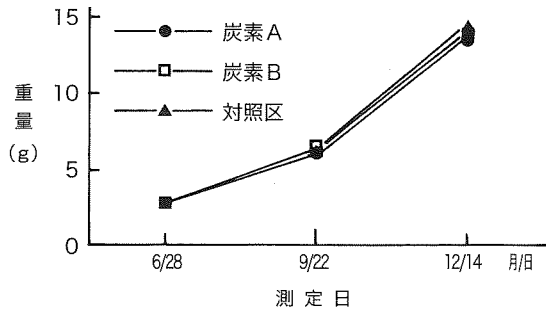


図 10 サザエの平均個体重量推移

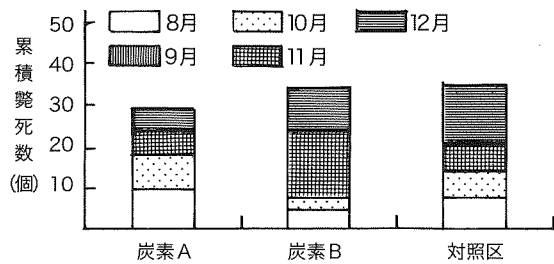


図 11 各試験区におけるサザエの累積斃死数

示す。炭素 A 区では他の 2 区に比べて 29 個体と少ないものの炭素 B 区の 34 個や対照区の 35 個と大きな差は見られなかった。また、月別では 8 月あるいは 11 月に多く斃死した。

以上の結果から、炭素コーティングによる高水温期の斃死や成長の停滞の改善効果は認められず、メガイアワビでは斃死が多くなるなど効果は認められなかった。

3 貝類の物質収支について

複合養殖では魚類養殖によって排出される過剰な窒素やリンを吸収した藻類を陸上で利用するのがベストと考えられるが、食用とならないアオサなどを養殖する場合には利用方法を検討する必要がある。当研究所ではアオサを貝類の餌として利用しているが、貝類も糞や尿を海水中に排泄していることから貝類養殖による物質収支についても明らかにする必要がある。今年度はトコブシを用いて糞の排泄量を推定した。

材料及び方法

平均殻長 $24.10 \pm 1.62 \text{mm}$ (平均重量 1.82g) のトコブシ 700 個を $80 \times 50 \times 30 \text{cm}$ のトリカルネットに收容し、 $2 \times 1 \times 0.8 \text{m}$ の陸上水槽で垂下飼育した。垂下後、1 週間アオサで予備飼育を行い、3 日間絶食にするとともに、試験前に水槽の底をきれいに清掃した。その後、水分をキムタオルで良く拭き取ったアオサを朝 9 時 30 分に 1 日で捕食すると考えられる量を与えるとともに、流失する糞や残餌を集めるため水槽の排出口には $90 \mu \text{m}$ のプランクトンネットを設置した。24・48 時間後にトリカルネットの飼育籠を良く振り、残餌や糞を籠内から水槽内へ強制排出後、それらを沈下させ、サイホンにより排出口にセットしたプランクトンネットに回収し、残餌と糞に手でより分け、それぞれの乾燥重量を測定した。以上の試験を高水温期 ($27.8 \sim 27.4^\circ \text{C}$) と低水温期 ($14.5 \sim 16.0^\circ \text{C}$) に 2 回ずつ実施した。また、窒素やリンの収支を明らかにするため、アオサと糞については窒素 (ケルダール法)・リン (比色法) の含有量を測定した。

結果及び考察

表 2 にトコブシにアオサを与えた飼育時に排出される残餌量・糞量を示す。高水温期の糞量は摂餌量 (乾物換算) に対して 15.1%, 12.4%, 低水温期は 10.98%, 11.42% となり、低水温期の糞の排泄率が低下した。低水温期は消化が遅く、2 日間の採糞では十分に回収できなかったものと考えられる。残餌については低水温期が多く、これは摂餌が活発なため切れ端が多く出たためと推察された。サザエでは餌のほぼ 20% が糞として採集されたが⁵⁾、トコブシの結果はこれよりかなり少なめになった。表 3 に夏期 (8 月)・冬期 (1 月) に培養したアオサの成分と試験時に採取した糞の分析結果を示す。冬期は夏

表2 トコブシにアオサを与えたときに排泄する糞量

	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)	(%)	24時間後	48時間後	(g)	(%)
高水温期	64	13.06	0.500	3.83	1.456	0.516	1.972	15.10
高水温期	150	30.60	1.375	4.49	2.103	1.690	3.793	12.40
低水温期	150	26.85	3.209	11.95	1.985	0.963	2.948	10.98
低水温期	120	21.48	1.100	5.12	1.632	0.821	2.453	11.42
高水温期	1回目8月18日～8月20日				2回目8月24日～8月26日			
低水温期	1回目1月22日～1月24日				2回目2月24日～8月26日			

表3 アオサとトコブシの糞の季節別成分分析結果

	時期	水分	脂質	全窒素	リン
		(g/100g)	(g/100g)	(g/100g)	(mg/100g)
アオサ	夏期	79.6	0.50	0.65	42
	冬期	82.1	0.50	0.68	23
糞	夏期	0.0	-	6.70	150
	冬期	0.0	-	6.90	120

表4 貝類の飼育により残餌や糞から海水中に流失する窒素・リン量

	窒素含有量(mg)			窒素の海水中への 流失率(%)	リン含有量(mg)			リンの海水中への 流失率(%)
	餌料	残餌	糞		餌料	残餌	糞	
高水温期1回目	416.0	16.0	132.0	35.58	26.9	1.0	3.0	14.87
高水温期2回目	975.0	44.0	254.0	30.56	63.0	2.8	5.7	13.49
低水温期1回目	1,002.0	121.0	203.4	32.38	34.5	4.1	3.5	22.03
低水温期2回目	816.0	41.7	169.3	25.86	27.6	1.4	2.9	15.58

期と比較して水分・窒素含有量が高く、リン含有量が約半分となった。糞について夏期はリンの含有量が多く、冬期は窒素の含有量が多くなった。これは餌に含まれている量が糞にも影響していると考えられた。これをもとに窒素とリンの流出量を算出した結果を表4に示す。高水温期における窒素の流失率は残餌を含めると30～35%、リンは14～15%、低水温期はそれぞれ25～32%、15～22%となり、夏期は窒素が冬期はリンの流失率が多くなる傾向が認められた。トコブシ体内への窒素・リンの取り込み量は殻ごと碎扮する必要がある、碎扮する機械がないことから窒素・リンの取り込み量は算出できず、収支計算まではできなかった。

文 献

- 1) 窪田敏文 1997: 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

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, pp236-256.

5) 木村 創・田中俊充 2005: 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, 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, 36, 38-49.

6) 和歌山県 2006: 養殖水産物ブランド・ニッポン推進対策委託事業報告書(複合養殖実証試験). 平成 16 年度水産庁委託事業, 1-15.

7) Max.Treoll, C.Halling, A. Nilsson, A.H.Buschmann, N.Kautsky and L.Kautsky 1997: Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis*(Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output. *Aquaculture*, 156,45-61.

8) Friedlander, M. and C. J. Dawes 1985: In situ uptake kinetics of ammonium and phosphate and chemical composition of the red seaweed *Gracilaria tikvahiae*. *J.phycol*, 24, 448-453.

9) 和歌山県水産試験場・和歌山県水産増殖試験場 1974: 魚類養殖環境自家汚染防除技術開発研究, 昭和 49 年度中間報告, pp21-30.