

不稔性アオサ量産実践事業

漁場環境科 田島健司

はじめに

魚類養殖が環境に及ぼす影響について、「養殖ガイドライン：全国かん水養魚協会（1996）」は、魚に摂取された栄養成分（窒素・リン・有機炭素）のうち、魚体として最終的に取り上げられる割合は窒素、リンで25%、炭素は20%に過ぎず、摂餌された量の75～80%は尿や糞として排泄され、海水中に溶存または底泥に堆積していくと記している。また、摂餌されずに小割外に散逸する餌は投餌量の3～20%に達するとも言われるので、実際の負荷は更に大きいと予想される。従って、海域の浄化力を超える負荷が毎年繰り返されるような漁場では、水質の過栄養化と赤潮の頻発、底質の有機汚染に伴う貧酸素水塊の発生等、いわゆる自家汚染が著しく進行する。

給餌養殖では負荷を無くすことはできないので、生産量の制限、餌の改良あるいは飼育技術の改善により環境への影響を少なくする努力が必要である。それには、負荷量そのものを減らすための研究、負荷と浄化のバランスに関する研究、さらには浄化力の強化に関する研究と技術開発が重要である。

海藻養殖と魚類養殖を組み合わせたり、収容密度を低くして海域の自浄作用を最大限に利用しながら、漁場の回復を図ろうとする環境調和型養殖への移行が試みられている。これは、負荷と浄化のバランス維持に配慮した、従来とは異なる養殖方法である。

1973年長崎県大村湾で発見されたアオサの不稔性変異種（以下、不稔性アオサ）は、発見当時から水産生物の餌料、栄養化海域の窒素、リンの除去などに幅広く応用できると言われていた。その後、生物と海藻を混養して生産性の高い養殖を行うフィードバック養殖の材料として、その優れた特性が実証されてきた。今日、環境調和型養殖への移行が急がれるなか、アオサ養殖を魚類養殖漁場に普及させていくには、実用規模での試験を通じてその効用を明らかにしていく必要がある。

不稔性アオサによる溶存態窒素の回収については、浦ノ内湾の環境を「水産用水基準」におけるノリ養殖漁場の溶存態窒素濃度（ $\text{DIN}=0.1\text{ppm}$ ）の水準まで低げるのに除去しなければならない窒素量とそれに必要な不稔性アオサの養殖規模等の試算が行われている（平成5・6年度「環境浄化技術開発試験」高知県水産試験場）。本事業では、この試算に基づき、浦ノ内湾の養殖漁場において不稔性アオサを量産し、試算の妥当性を検証するとともに魚類養殖に起因する窒素等の汚染負荷を軽減する環境調和型魚類養殖システム構築の可能性について検討する取り組みを行った。

事業の目的

養殖漁場の浄化対策、漁場容量などに関する調査研究の総括と再検討を行うとともに、養殖漁業者自らによる不稔性アオサの量産実践による海域浄化への取り組みを指導し、環境と調和のとれた養殖による漁場の適正管理を推進することを目的に事業を実施する。

事業実施地域（高知県浦ノ内湾）の概要

浦ノ内湾は高知県のほぼ中央に位置し、海水面積 10km^2 、周長 50km 、奥行 8.8km 、最大幅 2.2km の細長い陥落湾で、湾内は非常に静穏である。平成7年度の主な漁業種類別経営体数は魚類養殖47、真珠・真珠母貝養殖8、採貝184（宇佐漁協分を含む）、刺網38で、漁業種類別の生産量は魚類養殖305トン、ブリ類種苗養殖269千尾（107トン相当）、タイ類種苗養殖5,863千尾（70トン相当）、アサリ415トン（宇佐漁協分を含む）、アサリ以外の貝類35.8トン、カニ類15.5トン、エビ類15.3トン、魚類11.6トンで、単位面積当たりの生産性は県下沿岸漁業平均の約8倍と非常に高い。

昭和30年代から真珠養殖やハマチ養殖が湾内で盛んに行われ、昭和40年代に入ると赤潮の頻発と大規模な貧酸素水塊の発生など、漁業被害だけでなく環境アメニティの低下が問題となった。そのため深浦漁協では、昭和53年に養殖筏の数量・配置を制限するとともに、1月から6月までの養魚禁止を決め、環境の維持に努めてきた。その結果、一時は年間1,400トン近くあった魚類養殖生産量も近年では600～800トンに抑制され、環境改善効果が現れはじめたとの評価を受けるまでになった。しかし、最近の海洋レジャーの著しい需要増加で、浦の内湾の浄化の必要性が再び取りあげられようになっている。

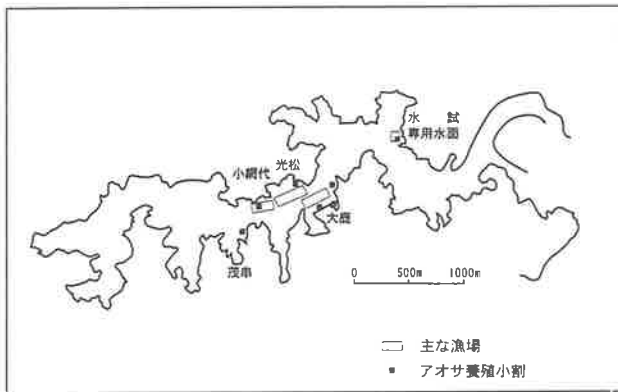


図1 浦ノ内湾の養殖漁場

事業実績の概要

1. 検討委員会開催事業

(1) 事業主体：高知県

(2) 検討委員会による検討事項

- ① 不稔性アオサによる養殖負荷物質回収モデルに関する検討
- ② 関係者の意識改革・意識醸成に対する指導
- ③ 不稔性アオサによる養殖漁場の環境浄化マニュアルの作成

(3) 検討委員会の構成 委員計10名

学識経験者（大学教授）	3名
漁業者代表（漁協組合長・理事）	5名
行政関係者	2名

検討委員名簿

氏名	所属・役職
大野正夫	高知大学海洋生物教育センター教授
木村晴保	高知大学農学部教授
西島敏隆	高知大学農学部教授
福本茂明	深浦漁業協同組合組合長
中内福実	深浦漁業協同組合理事
中平長明	深浦漁業協同組合理事
森田安英	深浦漁業協同組合理事
森田真晴	深浦漁業協同組合理事
市川 厚	須崎市役所水産課長
黒川成爾	高知県中央漁業指導所所長

敬称略・順不同

(4) 検討委員会の開催実績

第1回検討委員会（平成9年7月28日）

第2回検討委員会（平成10年3月20日）

(5) 検討委員会での協議内容

[第1回検討委員会]

議題と質疑

①平成9年度の事業計画並びに進捗状況

②マニュアル作成について

資料省略。各委員の提言を以下に示す。

- 1) マニュアルには、NだけでなくPの除去についても記載する必要がある。
- 2) アオサ養殖で栄養塩類が除去され、生産されたアオサを魚類養殖に再利用するというサイクルを作り上げるためには関係者にも相応の覚悟がいる。漁業者が利用しやすいものにする必要がある。
- 3) 浦ノ内湾で必要な養殖規模が分かったら、それに必要な人員・設備・施設も整理する必要がある。小割網の構造については細部まで詰めた方がよい。
- 4) アオサ養殖のメリットは栄養塩類の吸収だけでなく、光合成による酸素生産もある。養殖中の照度や酸素放出量について整理し、アオサ養殖のメリットとして記載する必要がある。
- 5) 浦ノ内湾で本格的にアオサ養殖を行うためには相当規模の施設が要る。事業化するためには必要な施設種類・規模等を具体的に記述する必要がある。

6) アオノリは化粧品会社や飼料会社で100トン単位の需要がある。アオサも潜在価値は高いと思われる。養殖用以外の用途開発も考えるべきではないか。

[第2回検討委員会]

①平成9年度事業の実施状況報告

②カンパチへの不稔性アオサの添加効果について

③マニュアル案について

2. 調査・解析・指導事業

環境調和型魚類養殖への脱皮を図ることにより、漁場環境を維持しながら、魚類養殖をはじめとする湾内の漁業を活性化する方策を探ることを目的として下記の事業に取り組んだ。

(1) 不稔性アオサの量産技術指導

不稔性アオサの量産のための技術情報を提供し、養殖業者が不稔性アオサを安定して養殖できるように支援するとともに、養殖に必要な種藻の提供を行った。また、養殖の過程で生じた問題点については、適宜解決に取り組んだ。

本年度の種藻供給は、3月上旬に準備を始め、5月中旬から養殖業者(35名:実経営体数の92%)に配付した。配付した種藻は増殖状況を見ながら適宜回収し、淡水洗浄の後、風乾して保存した。平成9年度の量産実践は6～11月までの6カ月間行い、この間の収穫量は乾燥重量で約330kgであった(これは回収した藻体の一部で、回収した藻体の大部分は洗浄後再び種藻として漁場に再配布した)。

今年度は、昨年度の付着生物による生長阻害に対する反省から、種藻を淡水で洗浄してから小割網に展開することになっていたが、実際には種藻の淡水洗浄が不十分であった小割網が多く、昨年同様付着生物の着性で増殖が不調になるケースが多かった。種藻の洗浄が徹底した小割網では安定した増殖が確認された。

(2) 養殖漁場周辺的环境調査

平成8年4～10月の浦ノ内湾内の環境は以下のとおりであった。

表1. 浦ノ内湾の環境(平成9年度と平年値)

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
透明度(m)							
H9	3.7	3.5	2.1	1.8	2.5	1.6	3.1
平年値	3.7	3.1	2.8	2.6	2.6	2.9	3.7
年較差	0.0	0.4	-0.7	-0.9	-0.2	-1.3	-0.6
水温(℃)							
H9	19.4	22.8	26.9	28.9	30.1	27.0	24.3
平年値	17.2	21.3	24.4	27.8	29.3	27.8	24.1
年較差	2.2	1.5	2.5	1.1	0.8	-0.8	0.2
塩分(‰)							
H9	32.7	30.6	25.8	22.9	30.2	19.5	32.9
平年値	28.7	27.5	26.5	26.3	28.1	27.9	29.3
年較差	4.0	3.1	-0.7	-3.4	2.1	-8.4	3.6
DIN(μgat/l)							
H9	1.7	1.9	3.5	1.8	3.3	23.9	0.6
平年値	4.4	3.4	4.2	9.0	3.1	3.9	4.6
年較差	-2.7	-1.5	-0.7	-7.2	0.2	20.0	-4.0
PO ₄ -P(μgat/l)							
H9	0.03	0.05	0.07	0.03	0.23	0.80	0.18
平年値	0.22	0.15	0.17	0.22	0.26	0.38	0.42
年較差	-0.18	-0.10	-0.10	-0.18	-0.03	0.42	-0.24

表2. 須崎地方の気候(平成9年度値と平年値)

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
気温(℃)							
H9	15.8	19.9	22.9	26.3	27.1	24.1	18.2
平年値	14.6	18.5	21.9	25.8	26.5	23.7	18.5
年較差	1.2	1.4	1.0	0.5	0.6	0.4	-0.2
日照(積算時間)							
H9	181	176	130	148	166	172	232
平年値	183	162	117	168	191	163	188
対平年比	0.99	1.09	1.11	0.88	0.87	1.06	1.23
降水量(mm)							
H9	120	153	305	225	146	414	46
平年値	259	253	399	299	325	311	171
年較差	-139	-100	-94	-74	-179	103	-125

(平年値は1982～1997年までの月別平均値)

(高知地方气象台 高知県気象月報を基に作成)

平成9年4～10月の湾内平均透明度は、平年値と比較すると4・5月は同程度かやや良好であったが、6～10月は0.2～1.3m低く、植物プランクトン発生量が平年に比べると多かったと推定される。とくに7・9月は1m台と低く、赤潮状態を呈した。水温は、9月が平年値より0.8℃低かったほかは、0.2～2.5℃高く、気温と同様高い値で推移した。塩分は6・7・9月は平年より低く、降雨量が特に多かった9月は平年値に較べて8.4‰も低かった。他の月は若干高めに推移した。毎月の栄養塩濃度は、D I

Nで $1.7\sim 23.9\mu\text{gat/l}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ で $0.03\sim 0.80\mu\text{gat/l}$ であったが陸水の流入による栄養塩の供給が多かった9月を除くと、平年値との差はDINで $-0.2\sim 7.2\mu\text{gat/l}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ で $0.03\sim 0.24\mu\text{gat/l}$ 低い値で推移した。透明度が平年より低かったことから、植物プランクトンによる利用が活発であったためと推察される。日照時間は、曇天日が多かった7～8月を除けば、平年並みかそれ以上であった。

以上から、平成9年4～10月の湾内の環境条件は、平年に比べると水温は高めで塩分はやや低め、日照時間は長めが多く、不稔性アオサにとっては比較的増殖に適した環境であったと考えられる。

(3) 不稔性アオサの増殖特性の把握

不稔性アオサの増殖特性を把握するため、水試専用水面の魚類小割網の間で不稔性アオサの養殖試験を行い、収容密度ならびに環境条件が増殖に及ぼす影響を調査した。試験には、 $1.4\text{m}\times 1.4\text{m}\times 0.5\text{m}$ の小割網6面を使用し、うち3小割は収容密度を毎週一定に調整し（調整区）、残り3小割は収容密度の調整を行わずに増殖状況を追跡した（未調整区）。調整区では、毎週始めに1小割当たりの収容量を1Kgとし、1週間で増えた分は小割網外に取り上げた。未調整区では小割から藻体の出し入れはしなかったが、増殖が不調になった時点で全量取り上げ、再び小割当たりの収容量1Kgからの増殖を調べた。未調整区での種藻の入れ替え間隔は、短い場合で3週間、最長では8週間であった。藻体量の測定と密度調整ならびに環境調査は毎月曜日に行った。試験期間は、平成9年5月8日から平成9年12月22日であった。

1) 平成9年度の増殖状況

平成9年度の増殖状況を図に示した。調整区、未調整区ともに増殖が見られたのは、5～11月で、水温が 18°C 以下となった12月以降は増殖量よりも流出量が多くなり、藻体量は減少した（図2）。

5～11月の小割網当たりの平均収容量は、調整区 $0.23\sim 0.49\text{Kg/m}^2$ （平均 0.35Kg/m^2 ）、未調整区 $0.37\sim 2.41\text{Kg/m}^2$ （平均 1.02Kg/m^2 ）であった。

調整区では期間中の増殖状態はほぼ安定した状態

に保たれていたが、未調整区では、日数が経過するほどに収容量は増加し、それとともに増重率は低下した。増殖状態が不調になるまでの間隔は最短で3週間、最長で8週間で、その時の平均収容量は $2.91\sim 4.30\text{Kg/m}^2$ であった。

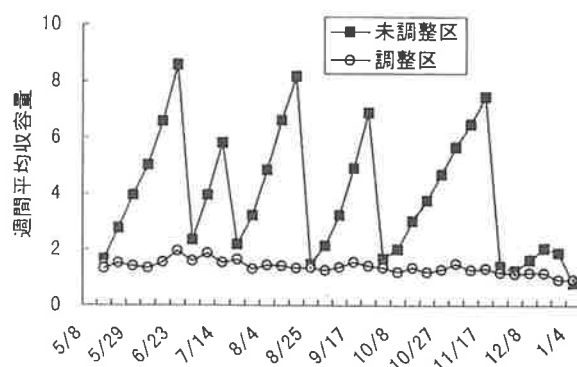


図2 週間平均収容量の推移

2) 密度効果

増殖に対する密度効果について、調整区と未調整区の期間増重率：（期間増重量÷（（期間終了時の藻重量－期間開始時の藻重量）÷2））を比較して図3に示した。日間増重率は、調整区 $0.05\sim 0.15$ （平均 0.07 ）、未調整区 $0.02\sim 0.10$ （平均 0.05 ）であった（図3）。未調整区の増重率は、種藻の入れ替え時（グラフでは調整区と未調整区の値がほぼ同値の測点）以外では、調整区に比較して明らかに低く、全期間平均値では、未調整区（ 0.05 ）は調整区（ 0.07 ）に較べて約30%も低かった。

調査期間中における増重率の変動でも両区は異なるパターンを示した。そこで両区を異なる2標本として、平均の差の検定（t検定）を行ったところ、有意水準1%で棄却（ $p<0.01$ ）され、両区間の差は有意であると判定された。このことは、密度が不稔性アオサの増重率に影響したことを示している。

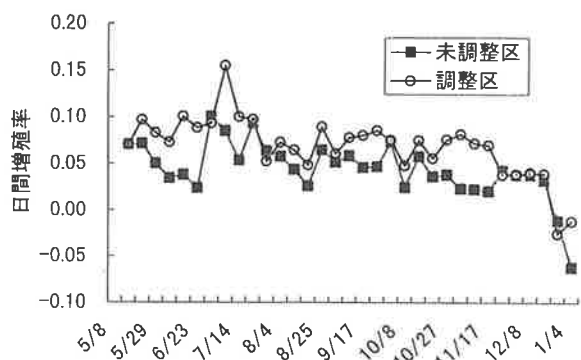


図3 日間増殖率の推移

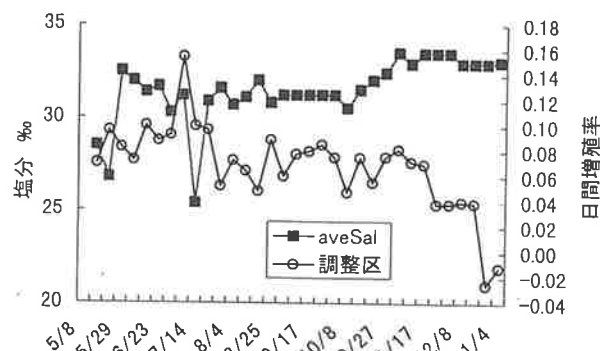


図5 アオサ生産量の変動と環境条件(塩分)の関係

3) 環境条件と増殖率

調整区における日間増殖率と環境条件について、水温(図4)、塩分(図5)、DIN(図6)、 $\text{PO}_4\text{-P}$ (図7)に示した。

水温と増殖率では、4～7月までの水温上昇期に増殖率が高く、日間増殖率が0.08を超える場合が多かった。8月以降は水温が高くとも、日間増殖率は0.08～1.0を超えることはなかった。9月以降の水温下降期では、水温が19℃付近で増殖が停止し、17℃以下では流出による藻体の減少が見られた。

塩分と増殖率では、図上からは分かり難いが、塩分の高くなる秋季では32%以上で増殖が低下した。

栄養塩と増殖率では、4～8月はDIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$ ともに、濃度の変化に少し遅れて増殖率が変動する傾向が見られた。しかし、9月以降では栄養塩濃度と増殖率の位相はほとんど一致しなかった。

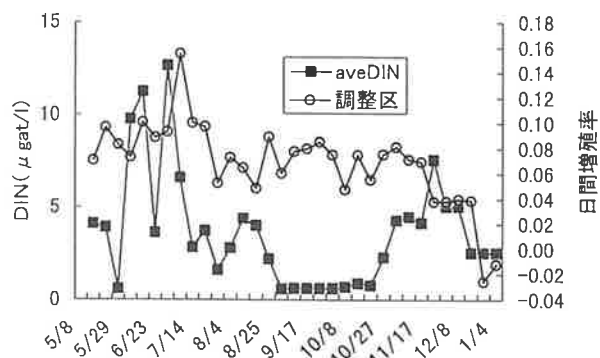


図6 アオサ生産量の変動と環境条件(DIN)の関係

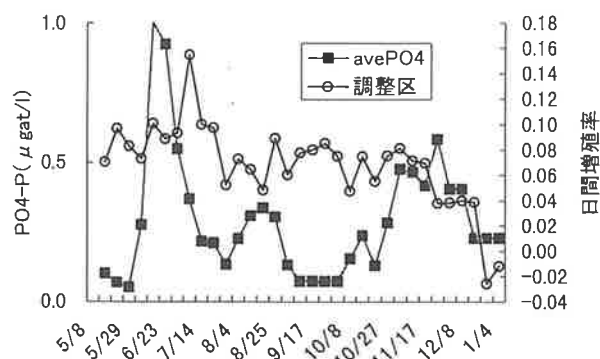


図7 アオサ生産量の変動と環境条件($\text{PO}_4\text{-P}$)の関係

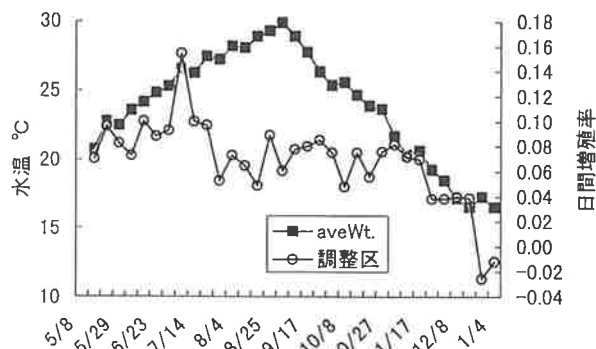


図4 アオサ生産量の変動と環境条件(水温)の関係

4) 環境条件と増殖率の重回帰分析

増殖率に影響する主要な環境因子が何であるかを検討するため、水温、塩分、DIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$ を独立変数、調整区の日間増殖率を従属変数とする重回帰分析を行った。

表3. 環境条件と増重率の基本統計量

	平均	標準偏差	N
水温	24.4	3.7	31
塩分	31.4	1.8	31
D I N	3.7	3.2	31
PO ₄ -P	0.30	0.23	31
平均日間増重率	0.07	0.02	31

表4. 回帰モデル各変数の相関行列

	水温	塩分	D I N	PO ₄	日間増重率
水温	1.00	-.37	-0.26	-0.24	0.38
塩分		1.00	0.06	0.30	-0.42
D I N			1.00	0.68	0.21
PO ₄ -P				1.00	0.12
増重率					1.00
分散分析	F = 0.45		p = 0.02		

このモデルにおける分散分析のF値は0.45、p値は0.02であったので、モデルの帰無仮説は有意水準5%で棄却され、このモデルは予測に使えると考えられた(表3、表4)。

求められた重回帰式は(1)式のとおりで、決定係数は0.35、重相関係数は0.59であった。

$$\text{増重率予測値} = + (0.35) \text{ 水温} - (0.36) \text{ 塩分} + (0.21) \text{ D I N} + (0.17) \text{ P O}_4 - \text{P} \quad \dots\dots(1)$$

(1)式は、日間平均増重率に対し水温、D I N、P O₄-Pは正の相関、塩分は負の相関となり、日間平均増重率に対する影響度では、塩分と水温、D I NとP O₄-Pがそれぞれ同じ程度の影響があると考えられた。ただ、増重率は測定時より少し以前の環境条件の影響を受けて変動すると思われる(図5, 6, 7, 8)ので、増重率に対応する環境条件を1週間遅らせて同様の計算を行った。

この場合においては、分散分析のF値は5.55、p値は0.003であるので、モデルの帰無仮説は有意水

準1%で棄却され、先のモデルよりも適合性は良くなったと考えられる(表5)。

求められた重回帰式は(2)式のとおりで、決定係数は0.37、重相関係数は0.67であった。(2)式の場合の日間増重率は水温、D I N及びP O₄-Pは正の相関、塩分は負の相関となり、特に、D I Nの偏回帰係数は大きく、影響度が大きいと考えられた。

表5. 環境条件と日間増重率の位相をずらせた場合の各変数間の相関行列

	水温	塩分	D I N	PO ₄	日間増重率
(1週間の時間差をとった場合 N=30)					
水温	1.00	-0.15	-0.24	-0.20	-0.02
塩分		1.00	-0.01	0.25	-0.33
D I N			1.00	0.65	0.60
PO ₄ -P				1.00	0.45
増重率					1.00
分散分析	F = 5.55		p = 0.003		

$$\text{増重率予測値} = + (0.09) \text{ 水温} - (0.38) \text{ 塩分} + (0.43) \text{ D I N} + (0.28) \text{ P O}_4 - \text{P} \quad \dots\dots(2)$$

(4) 餌料添加物としての不稔性アオサの効果

回収した不稔性アオサの用途開発が漁業者のアオサ養殖に対する意欲の増進に必要であるとの見地から、不稔性アオサの餌料への添加効果を、カンパチ2年魚を用いて調べた。本試験は不稔性アオサの添加効果を漁業者自らが確認し、今後の普及を促進するという意味から、試験は全て養殖業者の施設・養殖魚を用いて行い、試験方法も全て養殖業者の判断するところに従って行った。

ハマチ・ブリでは、不稔性アオサの添加効果として、餌料転換効率の向上、過剰脂肪の低減、体色の明化などが確認されている。過剰脂肪の低減は増重に対しては逆効果との見方もあるが、養殖魚の品質の向上という点では好ましいと考えられる。また、餌料転換効率の向上は投与された餌料成分の魚体への転換(=蓄積)がより高率でなされていることを

示すものであり、環境に対する負荷の軽減に直接結びつく評価できる。一方、体色の明化は商品価値の向上に利点があるとともに、養殖魚の体質改善（耐病性の向上等）に効果が期待される。

【試験方法】

カンパチ2年魚（平均体重2.0Kg、4,600尾）を2小割に分養し、添加区の魚には9月から12月までの4ヶ月間、不稔性アオサ粉末を外割で1%展着させたモイストペレットを3日に1日与え、摂餌嗜好性、成長、生残、健康状態等を対照区と比較するとともに肉質（体成分分析、食味試験）についての検査を行った。

【飼育成績】

試験開始当初2.0kgであったカンパチは、62日間の試験期間中に添加区、対照区ともに2.3kgまで成長した。飼料効率などの飼育成績も両区ではほとんど変わらなかった。試験開始時には不稔性アオサの添加により嗜好性の低下が心配されたが、両区とも摂餌嗜好性に大差はなく、成長にも差は全く認められなかった。投与区のカンパチは対照区に比べると粘液が非常に多かった。粘液の量、体色は魚の健康度を示すと言われていることからすると、添加区の健康状態は対照区より優れていたと推測された。

【体色の変化】

体色（鰓蓋上の黄色帯）は、色度の差は小さかったが、添加区で明度が向上して色差は3.9となり、NBS単位で「大いに違う」と判定された。不稔アオサの添加率が少なかっただけに、ハマチの例ほどには差が広がらなかった。しかし、添加率0.3%程度で体色に影響する事実は注目してよいと考えられる。

表6. 不稔アオサの添加効果（カンパチ2年魚）

	添加区	対照区
分析時の体重(g)	2,330	2,340
可食部の一般組成		
水分含量(%)	71.8	71.8
粗蛋白質(%)	23.1	23.1
粗脂肪(%)	4.8	4.5
粗灰分(%)	1.6	1.6
Lab表色系		
L	64.8	62.5
a	-2.4	-1.6
b	20.5	23.5
ΔE※	3.9	

※NBS単位 : 1.5～3 : 目立つほどに違う
3～6 : 大いに違う
6～12 : 著しく違う

【不稔アオサ添加による体成分の変化】

一般体成分は、表8に示すとおりで、両区間に差はなかった。ハマチで報告されているような添加区での脂肪含量の減少はなく、逆に、今回の試験では添加区で脂肪含量が僅かながら高かった。筋肉の脂肪のうち、貯蔵脂肪を構成する脂肪酸は高度不飽和脂肪酸のパルミチン酸、オレイン酸、ドコサヘキサエン酸が主体で、この3種類だけで脂肪酸組成全体の過半数（添加区55.5%、対照区55.3%）を占めていたが、これら高度不飽和脂肪酸の組成比は添加区、対照区ともほぼ同じであった。背肉の遊離アミノ酸ではリジンとヒスチジンが多く、全遊離アミノ酸の55%がこの2種類の遊離アミノ酸であった。

表7. カンパチ中性脂肪の脂肪酸組成

	添加区	対照区
14:0	3.6	3.8
15:0	0.5	0.5
16:0	20.4	20.5
16:1n-7	7.2	7.2
18:0	4.8	4.8
18:1n-9	18.7	18.5
18:1n-7	3.0	2.8
18:2n-6	1.0	1.1
18:3n-6	0.5	0.5
18:4n-6	0.9	0.9
20:0	0.3	0.3
20:1n-11	1.5	1.6
20:1n-9	1.3	1.2
20:4n-6	1.3	1.3
20:4n-3	0.5	0.5
20:5n-3	6.8	6.7
22:1n-11	1.7	1.7
22:1n-9	0.3	0.2
22:5n-3	2.1	2.1
22:6n-3	16.4	16.3
その他	7.7	7.7

tr : 0.5%以下

【筋肉の物性の変化】

筋肉の物性では、破断強度、保水性、離水性を調べた。破断強度は肉の硬さ、保水性と離水性は筋肉からの肉汁の出易さの指標で、いずれも刺身にしたときの美味しさに影響する。破断強度は死後硬直のあと、時間が経つにつれて低下するのが普通で、今回の結果でも、両区とも時間経過とともに破断強度が低下している。

破断強度は、即殺後の経過時間毎に添加区と対照区を比べると、一例を除いて添加区が高く、添加区の方が対照区より少し硬いことが明らかになった。しかし、両区の破断強度の差は即殺後3時間で20 g/cm²であったのに対し、24時間後にはその差は8 g/cm²になり、両区の破断強度の差は時間経過とともに小さくなる傾向が見られた(表8)。保水性は即殺後から48時間後まで両区の差は極めて小さかったが、離水性は即殺後12時間程度まで添加区が若干多く、24時間後以降ほとんど差がなくなった。

表8. カンパチ背肉の破断強度の即殺後の変化

	添加区	対照区
	g/cm ²	g/cm ²
3時間後	267	247
6時間後	231(0.13)	235(0.05)
9時間後	203(0.24)	192(0.22)
12時間後	195(0.27)	185(0.25)
24時間後	173(0.35)	165(0.33)
36時間後	141(0.47)	145(0.41)
48時間後	123(0.54)	115(0.53)

()内は3時間後の破断強度に対する低下率

【食味試験】

食味試験は、氷蔵1日目のカンパチ背肉の切り身を用いて、透明度の強さ、匂いの強さ、肉の硬さ、脂味の強さの4項目について行った。各項目は、「刺身のように醤油をつける」と「何もつけない」の2通りで味わったあと、両区の差に応じて0点(差なし)、1点(僅かに差がある)、2点(大いに差がある)を好ましいと思う区につけ、それを項目毎に集計して結果を判定した。また、食味後のディスカッションも評価の参考とした。食味には、10

名のパネラーが参加した。結果は図2に示した。項目別の得点では、透明度の強さは添加区3点、対照区2点、匂いの強さは添加区4点、対照区3点、肉の硬さは添加区6点、対照区3点、脂味の強さは添加区3点、対照区4点であった。いずれの項目も両区の得点差は小さく、各項目の得点差の検定でも、有意性は見られなかった。

しかし、項目毎に両区を比較してみると、肉の硬さ、透明度の強さ及び匂いの強さでは添加区が対照区を若干上回り、逆に油味の強さでは添加区が対照区より低くなった。つまり、添加区では、養殖魚の欠点である肉の軟弱さと油味の強さが対照区より改善されているという意見が多かった。

養殖カンパチの肉質について、数値では表し切れないと思われた部分をパネラーが感じたまま話し合った結果を、視覚、嗅覚、触覚、味覚に分けてまとめた。

①色、肉の透明感、血合い肉の色調は添加区も対照区もほとんど変わらない。皮下に色素沈着があるが程度は軽く、不快感はない。カンパチの人気の高いのは味の良さに加え、肉の透明感など視覚的な要素も大きい。

②匂いはわずかな違いがあれば嗅ぎ分けることができる。しかし、先に嗅ぐ匂いで後の匂いの印象が変わるし、人により匂いの好みも様々ある。アオサ添加区の匂いが低いという意見は、油臭さを感じなかったということで、魚臭さ、生臭さが低いということではなかった。匂いについては、今回の結果からだけでは、どちらを好ましいとするのかの判断は難しい。

③肉の硬さ、すなわちテクスチャーは肉をかみ切るときの硬さと口中で潰したときの粘り気の感触の総合評価である。口中で潰したときの粘り強さは添加区で勝っているという評価が多かった。逆に添加区の肉のかみ切り感の弱さの指摘もあった。筋肉中の脂肪分布の微妙な違いが、口中で感じる肉の硬さの評価に影響していると考えられる。

④刺身で好まれる脂肪含量は1～3%くらいの範囲にあり、脂肪の多少が肉の硬さ、舌触りにも影響

する。味そのものの評価にもつながる。養殖ハマチは移行油の油臭が嫌われるが、調査したカンパチでは添加区、対照区とも油臭は気にならない程度に抑えられていた。イワシの量を減らし、アジ、サバなどを多く使ったことが好感されたように思われる。脂肪の感じ方はどちらかというと添加区で低いという意見が多かったが、筋肉脂肪の含量は添加区が4.8%、対照区が4.5%で、分析値と食味は逆の結果となった。脂肪含量の多少だけが脂味を感じさせるのではなく、その分布も脂肪の感じ方に影響することを示している。

これらを総合すると、アオサ添加区と対照区には微妙な違いがあり、魚の旨味を気にする人はアオサ添加区を評価し、脂っこさを旨味と感じた人は対照区を評価したように思われる。

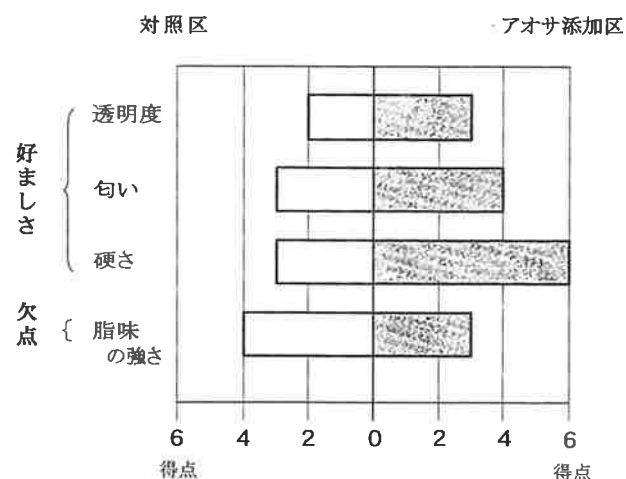


図8 養殖カンパチの食味試験

不稔性アオサによる養殖漁場の環境浄化マニュアル

1. 目的

富栄養化した養殖漁場の浄化は、漁場の生産性の確保だけでなく、地域の人々が快適と感じる環境を維持していくためにも重要な課題である。漁場環境の改善には、養殖技術の改善による負荷の軽減をはじめ、海水交換の促進あるいは汚染された底質の改善等様々な方法が検討されてきた。しかし、技術的・経済的に見て養殖漁業者が自主的に取り組める方法は、養殖技術の改善以外にはないのが実状である。

本マニュアルは、従来の環境浄化手法とは全く別の視点から、養殖漁業者自らが養殖作業の一環として緑藻・不稔性アオサの養殖を行い、養殖漁場の浄化に取り組む手法を示したものである。

2. 不稔性アオサとは.....

不稔性アオサは、緑藻の一種オオバアオサ (*Ulva lactuca*) が不稔化したもので^(注)、環境への適応性が高く、ハマチやマダイが養殖できる海域であれば、容易に、かつ大量の養殖が可能な海藻である。しかも、水温の高い時期に増殖が盛んなため、水質の悪化しやすい高水温期の環境浄化に適している。

葉体は薄く、味に苦みも少ないうえ、ミネラルなどの機能性成分が豊富なことから食用としてだけでなく水産・畜産用の餌料添加物としても有用である。

(注)：「不稔性アオサ」という名称は正しい和名ではないが、このマニュアルでは水産関係者が聞き慣れている「不稔性アオサ」を使用した。

【解説】

(1) 不稔性

アオサは有性生殖を行うため、成熟すると遊走子を放出し、崩壊・流出する。従って、アオサの出現には季節的な消長がある。これに対し、不稔性アオサは成熟して遊走子を放出することがなく、水中を浮遊しながら栄養生殖で増え続ける性質がある。

アオサの仲間は外形の変異が大きく、不稔性アオサと普通のアオサを外観だけで区別することは難しい。養殖には、水産試験場等から由来の明らかな株を譲り受け、栄養生殖によって量を増やしていく方法が勧められる。野生株(普通のアオサ)が混入し、それが増えて不稔性アオサと入れ替わると、成熟期に胞子を放出して流れてしまうので、養殖用の種藻を絶やさないためには、野生株の混入に注意をはらう必要がある。

(2) 生理・生態的な特徴

養殖に適した環境は次のとおりである。

温度：不稔性アオサは暖海性の緑藻であるので、水温20～30℃で活発に増殖し、この範囲内であれば十分に増殖する。しかし、低水温には弱く、18℃を下回ると成長が止まり、枯死する葉体が多くなる(図2)。

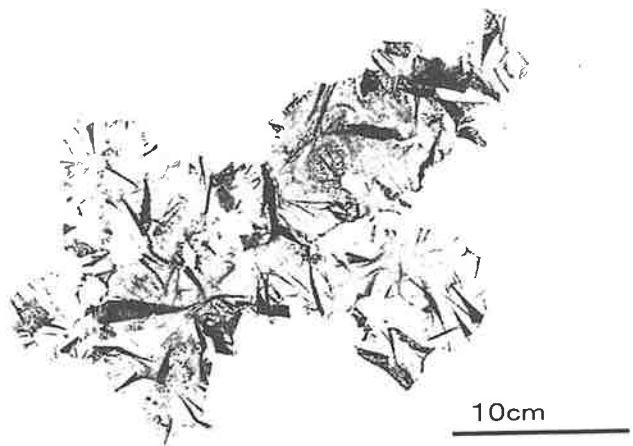


図1 不稔性アオサ

塩分:天然のアオサは塩分の高い「潮だまり」でも生育するが、不稔性アオサは塩分が33‰以上になると増殖率が低下する。しかし、低塩分による影響は少なく、降雨量の多い梅雨期でも増殖率は低下しない。

干出:アオサは干潟に多く見られるので、乾燥には強いと思われるが、不稔性アオサは乾燥に極めて弱く、2時間の干出(湿重量40%減少)でも、その後2日間で葉体の25%が枯死し、24時間の干出(湿重量80%減少)にあうと完全に枯死してしまう。

照度:室内実験では、照度が高いほど生長が良く、照度が低くなると生長率は低下する。アオサの生長は長日条件で早く、短日条件で遅いと言われているが、不稔性アオサでも長日条件の春から夏にかけての生長率が秋より若干高い。しかし、実際に養殖されている不稔性アオサの増殖状態を調べた結果では、照度より水温、塩分及び栄養塩類濃度の影響が強く現れ、野外のように照度が十分ある環境では、照度の変動が生長に及ぼす影響は比較的少ないと考えられる。

暗条件に置かれた不稔性アオサは、70日間おいても完全に枯死することではなく、暗条件での生存力は強いと考えられる。

照度が光合成能に及ぼす影響は水温によって異なり、15℃以下の低温では3,000ルクスで光合成能は飽和に達するが、20~30℃では18,000ルクスでも飽和に達しないと言われている。また、18,000ルクスでは、水温が5℃から30℃までは活性が増加し、35℃以上で急激に減少すると言われている。

藻体の色調は、10,000ルクス以上で培養した場合は黄緑色がかかる傾向があり、5,000ルクス程度で培養したものの色調が最も緑鮮やかであった。製品の色調が重要視される食用など、用途によっては遮光が必要であろう。

【参考】

18,000ルクス	晴天の日の戸外の明るさ。夏の直射日光下では数万ルクス以上にもなる。
10,000ルクス	晴天の昼間の窓際くらいの明るさ。
5,000ルクス	照明の明るい室内の机のうえくらいの明るさ。

酸素生産速度:不稔性アオサは非常に明るい(18,000ルクス)ところでは、水温30℃で $50 \mu \text{IO}_2/\text{cm}^2 \cdot \text{時}$ 、20℃で $30 \mu \text{IO}_2/\text{cm}^2 \cdot \text{時}$ 、10℃で $10 \mu \text{IO}_2/\text{cm}^2 \cdot \text{時}$ の酸素生産速度を示す。これをアナアオサ野生株と比較すると、水温が20℃以上では不稔性アオサが多く、それより水温が低いとアナアオサ野生株の方が多くなる。光合成によって酸素が生産されると同時に、酸素と同量の二酸化炭素が有機に転化される。その量は、上の例から18,000ルクス、30℃で約 $0.1 \text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{時}$ である(不稔性アオサ 1cm^2 の重量は9.1mg)。

これは、不稔性アオサ1Kgが1時間で二酸化炭素11.0gを固定できる能力を持つことを意味している。

栄養塩類の吸収速度:実験的に求められた栄養塩の吸収速度は、新鮮な海水が常に供給される場合、 $\text{NO}_3\text{-N}$: $56 \mu \text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{日}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$: $18.2 \mu \text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{日}$ 程度で、 $\text{NO}_2\text{-N}$ はほとんど利用されない。一方、リンの吸収速度は窒素に比べると格段に少なく、TPが $14.4 \mu \text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{日}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ が $7.2 \mu \text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{日}$ である。

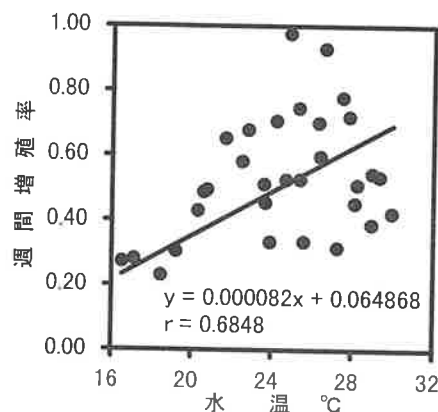


図2 不稔性アオサ生産量と水温の関係

不稔性アオサの成分から取り込んだ窒素量が推定できる。すなわち、蛋白質含量が乾物換算で20.1%の場合、窒素量は3.2%【20.1(%)÷6.25(窒素係数)】である。これに不稔性アオサの水分含量(約90%)および増殖率を乗じると、不稔性アオサの窒素吸収速度が求められる。浦ノ内湾では、不稔性アオサの種藻1Kg/m²は1週間で1.4~2.0Kg/m²に増重するので、この間の純増加量は湿重量で0.4~1.0Kg/m²、乾燥重量で40~100gである。従って、不稔性アオサによる窒素吸収速度は1.3~3.2gN/m²/週【40~100g×3.2(%)】と推算できる。

その他の特徴:不稔性アオサの葉面上の細菌属群は、通性好気性菌であるシュードモナス属が優占し、汚染された海水に多い通性嫌気性菌のビブリオ属は少ないと報告されている。また、不稔性アオサの培養水中の細菌群についても同様の傾向が認められるように変化するとされている。

(3) 体成分

不稔性アオサとアオサ野生株の体成分は下表のとおりである。タンパク質、粗脂肪、炭水化物、繊維質の含量などはほとんど変わらないが、不稔性アオサにはビタミン類、ミネラル類が豊富に含まれ、特にビタミンA、ビタミンB1、B2、リン、鉄、カリウムは天然アオサの2~7倍となっている。若年層の人たちには不足気味であると言われているマグネシウムは4,500mg/100gで、含量の多いと言われているアマノリ(1,300mg/100g)を3.4倍も上回る。また、不稔性アオサの全繊維質31.8%は芋などの一般食品と比較しても10数倍も多い。不稔性アオサには動物の生理機能を正常に保つ働きのある機能性成分が多く含まれているのが特徴である。

表. 1 不稔性アオサと天然アオサの成分(乾物換算)

	不稔性アオサ	天然アオサ	マコンブ	アマノリ
粗たんぱく質(%)	20.1	26.1	9.1	43.6
粗脂肪(%)	1.7	0.7	1.3	2.1
炭水化物(%)	46.4	51.1	67.9	46.4
粗灰分(%)	31.8	22.1	21.7	7.8
全窒素(%)	3.2	3.5	1.5	7.0
全繊維質(%)	4.2	5.1	3.6	2.0
ビタミンA(IU/100g)	3,810	500	560	14,000
ビタミンB1(mg/100g)	0.31	0.07	0.48	1.15
ビタミンB2(mg/100g)	0.71	0.48	0.37	3.40
ビタミンC(mg/100g)	71	10	25	100
リン(mg/100g)	157	80	200	580
鉄(mg/100g)	31.0	5.3	3.9	12.0
マグネシウム(mg/100g)	4,500	—	1,000	—
カルシウム(mg/100g)	697	950	710	390
ナトリウム(mg/100g)	6,590	2,700	2,800	120
カリウム(mg/100g)	3,990	620	6,100	2,100

四訂食品成分表ほかから作成

3. 養殖方法

養殖は、簡単な浮き小割網で行うことができる。養殖用の小割網は縦・横各4m、深さ0.5～1m程度の大きさのものが使いやすい。

養殖に必要な種藻は湿重量で小割網1㎡あたり1.2～1.5Kgで、7～10日間隔で葉体を収穫する。養殖中は小割網の一部に葉体が集まらないように適宜かき混ぜ、付着生物が増えてくるようであれば、葉体を回収して淡水で付着生物を洗い落とす。

野生株の混入は養殖を不安定にするので、葉体をよく観察することが重要である。

【解説】

(1) 小割網の形と大きさ

本事業では、ポリ無結節8節、4m×4m×0.6mの小割網を使用した。不稔性アオサが網目から抜けにくい目合いであり、小割網の深さが1m弱であれば、どのような大きさの小割網でもよい。不稔性アオサが小割網のなかでうまく分散し、一か所に溜まらないようにするには、小割網の底の大きさを上部より若干小さく仕立てて底網の張りを良くし、できれば小割網のなかに十文字の仕切網を入れるとよい。しかし、これが必ず必要という訳でもなく、弛まずにきちっと張れる小割網であれば、形や大きさにこだわらなくてもよい。

底網をピンと張るには小割網の底に外枠をつける方法もある。この方法は、2m角程度の小割網の網なりを保つのに有効であるが、4m角の小割網では作業性が悪く実用性に問題がある。小割養殖では、網替え、網洗いを必ずしなければならないので、小割網は単純な形の方が作業が容易である。要は、筏に合わせて仕立て、きちっと張ることが養殖の作業性を上げるために最も重要と考えられる。

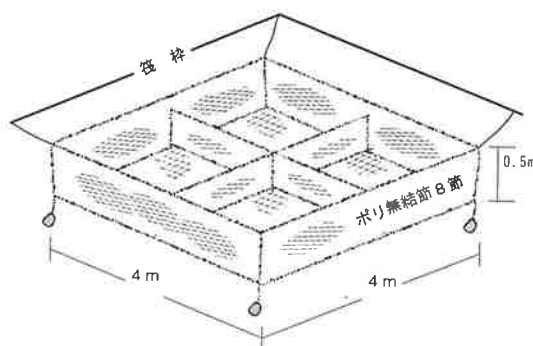


図3 不稔性アオサ養殖小割網

(2) 収容密度

増殖率は収容密度によって変化し、収容密度が高くなると増殖率は低くなる。しかし、収容密度が低いと増殖率が高くても収量は増えないので、収穫量、回収(収穫)間隔、回収時の作業強度などを勘案する必要がある。経験的には、種藻1.2～1.5Kg/㎡の収容密度で始め、7～10日後に2～3Kg/㎡で収穫するのが実用的な養殖スケジュールであると考えられる。

注: 不稔性アオサは海から取り上げたままでは、海水を多く含んで正しい重さが計れない。不稔性アオサを家庭用の洗濯袋を用いて洗濯機の脱水槽で2分間脱水してから秤量すると、ほぼ一定した重さ(湿重量)を計ることができる。

(3) 収穫の間隔

不稔性アオサの日間増殖率は通常10～15%程度で、1週間で種藻の60～100%の増重がある。すなわち、4m角小割網に種藻1.2Kg/㎡で養殖を始めると、1週間で小割網内の不稔性アオサは全量で30～46Kg程度(網カゴ(80×60×50cm)の2/3程度)に増える。これだけの量を回収するのに必要な時間は1人で約20分である。しかし、これを2週間以上放置すると不稔性アオサは100Kgを超えるようになり、作業に要する時間・作業強度ともに

倍加する。また、収穫の間隔が長引くと不稔性アオサの収容密度が高くなって増殖率が低下し、同時に付着生物の増加など、養殖を不安定にする要素も増加する。従って、収穫は7～10日間隔で行うのが適当であり、この間隔であれば、回収作業が負担になるということもない。

(4) 回収の方法

不稔性アオサの養殖方法は、間引き式と全回収式(バッチ式)に分けることができる。間引き式は、増えた分量だけを適宜間引きながら養殖を続ける方法で、作業量は少なくてよいが付着生物等の影響で養殖が不安定になり易い傾向がある。全回収式は、一定期間の養殖のあと小割内の不稔性アオサを全て収穫し、その後新たに種藻を入れ替えて養殖を再開する方法である。回収作業と種藻の調整が間引き式より煩雑であるが、収容密度の管理が容易であること、付着生物の少ないきれいな葉体が確保しやすいこと、安定した養殖が期待できることなど、間引き式にない長所がある。生産性を確保し量産を実現するためには、安定した増殖が見込める全回収式がより適していると考えられる。

(5) 小割網の設置位置

小割網は養殖小割にできるだけ近い場所に張ることが望ましい。養殖魚の遊泳による流れが、増殖を促進し、海水の浄化を進める効果が期待できる。

4. 養殖規模

不稔性アオサの養殖に必要な規模は漁場環境の観測値をもとに算出する。浦ノ内湾では、養殖施設と同面積の養殖により、漁場の溶存態窒素濃度を水産用水基準のノリ養殖漁場の水質レベルに浄化することが可能である。

【解説】

(1) 漁場の富栄養化に関係する栄養塩類

海水の栄養塩濃度は海域の富栄養化の程度を示す指標となり、特に魚類養殖と関係が深いものに窒素とリンがあげられる。窒素・リンともに海水中では無機態あるいは有機態として存在するが、いずれも植物プランクトンなどに栄養塩類として利用される。そのため、窒素・リンは、無機態・有機態を問わず等しく浄化の対象として捉えておく必要がある。

(2) 養殖生産量と漁場環境の関係

上で説明したように、窒素・リンは無機態・有機態を問わず漁場の富栄養化に関係が深い。ここでは、観測が比較的容易な溶存態無機窒素(DIN)を例に養殖生産量と漁場環境の関係を整理する。浦ノ内湾における養殖生産量と湾内の年平均

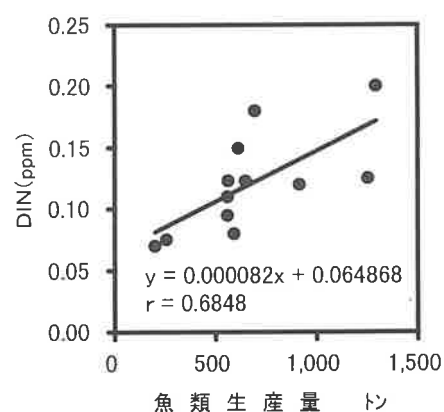


図4 魚類生産量とDIN(浦ノ内湾)

DINの関係を図4に示した。生産量の多い年度は、養殖漁場内の年平均DINも高く、逆に少ない年は年平均DINは低くなっている。このように、養殖漁場の環境は、年毎の養殖生産量の多少によって変わることが多い。

湾内の年平均溶存態窒素濃度(ppm)と魚類養殖生産量(トン)には次式の関係がある。

$$Y = 0.00008X + 0.065 \quad \cdots \cdots (1)$$

但し、 Y = 漁場内の溶存態窒素平均濃度(ppm)

X = 湾内の魚類養殖生産量(トン)

(3) 溶存態窒素濃度に基づく負荷量回収試算の一例

(1)式を用いて養殖生産量から漁場内の年平均DINを推算することができる。

$$\text{養殖生産量 } 500\text{トン} \text{ の場合} \Rightarrow 0.11\text{ppm} \quad (0.00008 \times 500(\text{トン}) + 0.065)$$

$$\text{養殖生産量 } 600\text{トン} \text{ の場合} \Rightarrow 0.12\text{ppm} \quad (0.00008 \times 600(\text{トン}) + 0.065)$$

水産用水基準ではノリ漁場のDINは0.1ppmとされている。浦ノ内湾では、上に示したように、養殖生産量500トンの場合、年平均DIN:0.11ppm、600トンの場合 年平均DIN:0.12ppmと推定できる。この数値は、基準値に比べると養殖生産量500トンの場合0.01ppm(0.11ppm-0.10ppm)、600トンの場合 0.02ppm(0.12ppm-0.10ppm)だけ高い。すなわち、この過剰分が低減できれば、浦ノ内湾の年平均DINは水産用水基準の範囲内に収まることになる。

DIN:0.01~0.02ppmを浦ノ内湾内の窒素量に換算すると0.85~1.7トン(浦ノ内湾の容積 $85 \times 10^6 \text{m}^3 \times \text{DIN } 0.01 \sim 0.02\text{ppm}$)である。また、不稔性アオサは、湿重量で月に7~8Kg/m²(乾燥重量で約750g)の増重があるので、窒素量では0.024Kg/m²/月が不稔性アオサに転換可能であると推測できる。従って、不稔性アオサの養殖に必要な面積は、除去すべき窒素量と不稔性アオサの吸収速度から次のとおり求められる。

$$1.7(\text{トン}) \div 12(\text{ヶ月}) \div 0.024(\text{Kg/m}^2/\text{月}) \div 5,900\text{m}^2$$

$$\text{除去すべき窒素量} \div \text{年間月数} \div \text{不稔性アオサの窒素吸収速度} = \text{養殖に必要な面積}$$

この規模の養殖により収穫される不稔性アオサは湿重量で531トン(乾燥重量では53トン)である。

なお、浦ノ内湾では、養殖漁場表層のリンについては水産用水基準(0.007~0.014mg/l)以内にある(0.012mg/l)ので、窒素と同様の試算は特に必要ではないが、窒素除去に必要な養殖を行うことにより、1ヶ月あたりリン6.95Kgが不稔性アオサによって吸収・固定化されることになる。

(4) 養殖の負荷率に基づいた回収試算

「平成7年度養殖ガイドライン」によれば、増肉係数6.44(生餌換算)、餌の窒素含量を2.4%とした場合の負荷率は生産量の12~13%(平均12.7)である。また、負荷された窒素のうち、3分の1は海底に蓄積し、3分の2が海水中の懸濁・溶存物質として存在する。DINは海水中に懸濁・溶存する窒素量の60%、すなわち負荷された窒素量の40%である。従って、養殖の負荷率から推定される不稔性アオサによって回収可能な窒素量は養殖生産量の約5%になる。

$$\text{養殖によって負荷されるDIN} = \text{生産量(トン)} \times 0.12(\text{負荷率}) \times 0.4(\text{DINの割合})$$

$$\text{DIN} = 500(\text{トン}) \times 0.127 \times 0.4 = 25.4(\text{トン})$$

しかし、負荷された物質は、海水交流によって漁場外に運ばれ希釈されるので、漁場周辺に残留する量は実際にはこれより少ないと考えられる。かりに、DINの年間負荷量25.4トンが1年間にわたって一様に負荷されたとすると、1潮時の負荷量DIN_Tは0.036トンとなるので、1潮時当たりの湾海水の交換率Rから負荷されたDINのうち湾内に残留する量DIN_Rは1.53トンと推算される。この値は先の(2)で得た値1.7トンにほぼ等しい量である。

【参考】

潮汐交換量は以下により求めることができる。

浦ノ内湾の年平均の潮汐交換率 $r=0.2$ (夏 ≈ 0.3 、冬 ≈ 0.1 の平均として)

湾の平均潮位 $\Delta h=1.0\text{m}$

湾の水面積 $S=10\text{Km}^2$

湾の容積 $V=85\times 10^6\text{m}^3$

1潮時(12.42hr)の海水交流量 $q(=\Delta h\times S):10\times 10^6\text{m}^3$

故に、潮汐交換量 q_T 、1潮時当たりの湾海水の交換率 R は次式のとおりでである。

$$q_T=rq=2\times 1.0\times 10^6\text{m}^3$$

$$R(=q_T/V)=2\times 10^6\text{m}^3\div(85\times 10^6\text{m}^3)=0.0235$$

以上から、負荷されたDINのうち湾内に残留する量 DIN_R は次式のとおりでである。

但し、年間負荷量(25.4 t)が1年間にわたって一様に負荷されると仮定する。

1潮時の負荷量 $\text{DIN}_T=0.036\text{t}=25.4\text{t}\div 705$ (年間の潮汐回数)

$$\text{DIN}_R=\text{DIN}_T\sum_{n=1}^N(1-R)^n=\frac{\text{DIN}_T}{R}=\frac{0.0360}{0.0235}=1.53\text{t}$$

5. 回収した不稔性アオサの処理と利用方法

不稔性アオサは食用、非食用材料として多様な利用方法があるが、回収した不稔性アオサは塩分、ゴミの除去など、用途に応じた適切な処理が必要である。

- ◆ 種藻・淡水洗浄により浮泥、付着生物を除去し、再び小割網に入れるまで乾燥を避ける。
- ◆ 食用・淡水洗浄により塩分、浮泥、付着生物等を十分に取り除いて利用する。
- ◆ 非食用(養魚餌料添加)・淡水洗浄により浮泥等を取り除いてから利用する。
- ◆ 乾燥保存・淡水で十分に洗浄し、天日で乾燥した後、冷暗所で保存する。

【解説】

- (1) 不稔性アオサは、海水中の栄養塩類を吸収して増殖するが、葉体が枯死・溶解すると蓄えられた栄養成分は再び海水中に回帰することになる。従って、増えた葉体は速やかに陸上に上げなければならない。不稔性アオサは陸上に回収されてはじめて水中の栄養塩類が取り除かれたことになる。
- (2) 収穫した不稔性アオサは用途に応じた前処理が必要である。基本的には、淡水で十分に洗浄し、塩分、浮泥、付着生物等を落としてから利用する。保存する場合は、塩分の除去が十分でないと、保存中に吸湿しカビの発生、色落ち等品質低下の原因になる。
- (3) 不稔性アオサは、葉の厚みが薄く、味に苦みがなく香りも良いので、みそ汁の具やもみろり等食用として利用できる。食用にする場合は、葉体の色が濃くなるような養殖法を行うとともに、収穫後は塩分、ゴミなどの夾雑物の除去に十分注意を払う必要がある。

(4) 不稔性アオサは養魚用の餌料添加物としての効用が認められている。ハマチの餌料に乾燥不稔性アオサを外割で3%添加した場合の飼育例の結果は次のとおりである。ハマチ以外にもカンパチ、マダイ等でその効果が確認されている。

①添加効果は2年魚より1年魚で顕著に現れる。

②1年魚では、抗病性の向上など増重量以外の項目も無添加区より成績が良い。

③不稔性アオサを投与した魚は、可食部の脂肪含量が減少し赤みの強い肉質に変化する。

④不稔性アオサを投与しても含まれる脂肪酸の組成は変わらず、量のみが減少する。可食部の遊離アミノ酸の組成もほとんど変化しない。

⑤2年魚では添加によって摂餌性が低下し、成長、飼料転換効率等が対照区に比べて劣る。しかし、色調は2年魚でも相当改善される。従って、2年魚では添加率を下げて投与する必要がある(添加率を1%程度まで下げると成長は落ちず、しかも色調は改善される)。

表. 2 ハマチに対する不稔性アオサ添加餌料の効果

	1年魚 添加区	無添加区	2年魚 添加区	無添加区
開始時体重(g)	191.5	191.5	994	994
終了時体重(g)	560.7±114.1	577.1±58.8	1,590±234	1,726±141
終了時尾叉長(cm)	32.4±1.9	32.9±1.3	45.6±1.3	46.5±1.3
終了時肥満度(%)	16.3±0.6	16.2±0.7	16.6±1.1	17.1±0.6
終了時比肝重(%)	10.3±1.0	9.5±0.7	14.2±2.0	14.4±0.9
〃 全消化管比(%)	60.0±2.4	51.4±3.3	79.3±3.9	77.6±5.6
生残率(%)	96	76(連鎖球菌症)	100	100
日間給餌率(%)	2.04	2.15	2.05	2.17
飼料効率(%)	56.9	46.9	34.4	38.6
蛋白質効率(%)	1.037	0.834	0.627	0.688
エネルギー効率(%)	13.9	11.3	8.4	9.3
蛋白質蓄積率(%)	24.9	20.6	15.5	16.8
脂肪蓄積率(%)	6.3	6.5	7.5	15.3
エネルギー蓄積率(%)	21.0	18.2	14.2	17.9
可食部				
水分含量(%)	72.8±0.7	71.5±0.5	71.4±1.3	69.7±2.7
粗蛋白質(%)	24.9±0.3	24.6±0.2	24.4±0.3	24.0±0.6
粗脂肪(%)	1.6±0.4	2.0±0.5	3.0±1.4	5.6±3.2
粗灰分(%)	1.4±0.1	1.3±0.1	1.3±0.1	1.3±0.1
Lab表色系				
L	64.32±4.76	53.08±5.69	51.72±8.07	48.08±5.59
a	-7.66±2.08	-7.87±1.47	-5.72±2.22	-6.89±1.41
b	21.71±1.49	19.14±4.45	25.56±6.50	25.33±3.98
CIE表色系				
Y	33.59±6.31	22.65±3.71	21.19±8.70	16.86±3.82
x	0.348±0.009	0.352±0.008	0.373±0.017	0.370±0.007
y	0.379±0.007	0.388±0.010	0.403±0.018	0.406±0.013
ΔE※	11.53		3.83	

※NBS単位 11.53は“大いに違う”、3.83は“めだつほどに違う”を意味する。

参考文献(23)から作成

6. 養殖に必要な経費

不稔性アオサの養殖に必要な施設は、養殖生産用の小割網と筏、ならびに収穫後の処理・保存に必要な水洗場・乾燥場・保管施設である。しかし、養殖が軌道に乗るまでは既存施設の活用を工夫することを第一に考えるべきである。養殖の方法によっては人件費が必要である。また、養殖に必要な種藻の供給体制を漁協内に整備することも養殖活動の円滑化のために必要である。

【解説】

不稔性アオサの養殖事業に必要な費用は、施設確保に要する初期費用と事業展開に必要な人件費と諸経費である。

(1) 施設費

ア. 生産施設(筏・小割り:養殖漁業1経営体当たり)

4m角小割網を4面を張ることのできる筏	@ 100, 000円
4m角小割網1面	@ 20, 000円
1経営体あたり、8面の養殖を行う場合	計260, 000円

イ. 共同利用施設(40経営体が利用するとして見積り)

淡水洗浄

洗い場	50m ²	-----150, 000円
(コンクリート舗装、簡易水道施設等整備費一式)		

乾燥場	200m ²	(整地・砂利礫) -----100, 000円
-----	-------------------	-------------------------

保管

簡易倉庫	25m ²	-----2, 500, 000円
------	------------------	-------------------

網洗い場		-----既存施設を利用
------	--	--------------

種藻の維持養殖施設

4m角小割網8面及び筏一式	260, 000円
---------------	-----------

施設整備費小計	-----3, 010, 000円
---------	-------------------

(但し、土地取得費は除く)

(2) 人件費

ア. 生産に要する作業量

不稔性アオサの養殖作業として、朝昼各1回、1小割網5分程度の攪拌が必要であるが、養殖管理の合間でも行うことができる程度の作業量である。

イ. 収穫に要する作業量

標準養殖(4m角小割網に種藻1. 2Kg/m²、7～10日後1小割り30～46Kg程度を収穫)の回収に1名で約20分を要する。その他、網替え・洗浄等には若干名の共同作業が必要である。

ウ. 収穫後の処理に要する作業量

収穫した不稔性アオサは、種藻あるいは生で利用する場合を除いて、洗浄、乾燥し、使用するまで保管する。その作業量は、1小割分30～50Kgの洗浄に1名で約20分を要し、洗浄後の天日乾燥は晴天であれば冬季以外はほぼ半日で終了する。

葉体の収穫、あるいは回収後の処理に専従職員を配置する場合は、静穏な内湾で、かつ養殖漁家あたりの魚類養殖施設数が少ない場合、15～20経営体あたり1名の職員が目安になる。養殖漁場の広さ、機動力、専用作業場や省力化機器の有無にもよるので、条件を十分に検討する必要がある。

年間所要経費

人件費	@ 6,000円×22日×12月×1名	----- 1,584,000円
回収船の燃油	@20,000円/月×12月	-----240,000円
光熱水費	20,000円/月×12月	-----240,000円
雑費	10,000円/月×12月	-----120,000円
計		----- 2,184,000円

エ. 種藻の維持養殖に必要な作業量

種藻の維持培養も基本的には養殖作業と同じであるが、養殖を新たに開始する時や養殖業者の養殖が不調になった場合などに、種藻が円滑に供給できるよう、備えておくことが望まれる。

7. 漁場の維持管理について(今後に求められること)

養殖による負荷は、海水中に溶存、あるいは懸濁して存在するほか、海底に沈降し堆積する物質もある。また、その存在形態も時間の経過とともに変化する。漁場環境と負荷の実態を可能な限り正確に把握し、そのうえで必要と考えられる浄化対策を総合的に講じていく必要がある。

【解説】

- (1) 不稔性アオサによる養殖漁場の環境浄化は、漁場内の養殖業者全員の参加があってこそ大きな効果が期待できる。そのためにも、養殖を新たに開始する時や養殖業者の持ち株が不調になった場合などに、種藻が円滑に供給できるような体制を漁協が中心となって整備することが望まれる。
- (2) 養殖の負荷とは、残餌、養魚の糞・尿等であり、溶存物質と懸濁物質からなっている。負荷物質の形態は、微生物や化学的な作用により、時間の経過とともに変化するが、負荷物質は分解の過程で水中の酸素を消費し、栄養塩類が溶出することが多い。過剰な栄養塩類は、赤潮発生の温床であり養殖魚にとっては危険な状態を生み出す原因となる。
- (3) 溶存態として存在する負荷物質は不稔性アオサを利用することにより回収できる。このような回収可能な負荷物質は発生時点で極力回収することが望ましい。栄養塩濃度が低減されることにより赤潮の発生防止効果等が期待される。

- (4) 魚類、甲殻類、貝類等は食物連鎖を通じて栄養物質を体内に蓄積する。従って、これらを漁獲して海中から取り上げることは、海域から栄養物質を取り上げるのと同じ効果がある。かつては豊かな生産を誇った内湾域も近年では沿岸漁業の停滞等で生産量は減少している。漁場環境の維持・保全を図るとともに、内湾での漁船漁業の振興により生産量を増やす努力が求められる。同様の趣旨から、海域によっては、海釣り、磯遊び等の海洋性レジャーについての振興策が有効である場合も考えられる。
- (5) 海域の過栄養化、底質の有機汚染が進行すると生物相の貧弱化が起こる。生物相の多様性を維持することは、バランスのとれた生態系を維持するうえで非常に重要である。
- (6) 長年の養殖によって底質に負荷が蓄積し、この汚染泥が底層の貧酸素化と栄養塩類の溶出の原因となっている。養殖による底泥への負荷量を減らし、また負荷が底泥に蓄積しないよう、底泥に関する負荷削減の技術開発を進め、底泥の汚染の進行防止と底質改善を行うことは海域の浄化を進めるうえで重要な項目である。

平成9年3月

検討委員会委員(平成7～9年度)

会長	大野正夫	(高知大学海洋生物教育センター教授)
	西島敏隆	(高知大学農学部教授)
	木村晴保	(")
	福本茂明	(深浦漁業協同組合長)
	中内福実	(深浦漁業協同組合理事)
	中平長明	(")
	森田安英	(")
	森田真晴	(")
	市川 厚	(須崎市水産課長)
	黒川成爾	(高知県中央漁業指導所長)

敬称略・順不同

【参考文献】

- 1) 平田八郎(1978):フィードバック養殖法の原理とその開発への試行, 養殖, 15(1), 34~37.
- 2) 平田八郎(1994):環境調和型養殖システムの必要性, 養殖, 31(9), 60~64.
- 3) 伊藤克彦(1984):環境保全から見た養殖生産の問題点とその対策, 養殖, 31(9), 65~67.
- 4) 岡市友利他編(1996):瀬戸内海の生物資源と環境, 恒星社厚生閣, 272p.
- 5) 田島健司(1997):マリンレタスによる環境浄化への期待と餌料添加に伴う養殖魚の品質向上について(その1), 月刊かん水, 392, 14~21, (その2), 393, 24~29.
- 6) 緑書房編集部(1996):環境対策マニュアル, 養殖, 33(3), 156p.
- 7) 大野正夫(1987):海藻養殖の将来と展望, 海藻資源養殖学, 緑書房, 281~283.
- 8) 大野正夫(1988):緑藻アオサ場の季節的消長, 付着生物研究, 7(1), 13~17.
- 9) 大野正夫(1996):国際化する海藻資源, 21世紀の海藻資源, 緑書房, 87~98.
- 10) 右田清治(1985):大村湾産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.
- 11) Mitsunobu KAMIYA, Koji DOI, et.al.(1993):Taxonomic studies on *Ulva pertusa*(*Ulvophyceae*). Jpn. J. Phycol(Sorui), 41, 191~198.
- 12) 谷口道子・織田純生(1996):給餌養殖緊急対策調査事業報告(不稔性アオサによる環境浄化技術開発調査), 高知県水産試験場事業報告, 92, 186~217.
- 13) 田島健司(未発表):不稔性アオサの生長速度と水温・塩分・栄養塩類・養殖密度の関係.
- 14) 山田常雄他編(1960):岩波生物学事典, 岩波書店, 317.
- 15) 村瀬昇, 前川行幸ほか(1993):アナアオサの不稔性変異株の生長と光合成—温度特性, 日本水産学会誌, 60(5), 625~630.
- 16) 長瀬慶一, 平田八郎(1990):アナアオサ変異種の窒素吸収能と細菌属群の係わり, 水産増殖, 30(3), 286~290.
- 17) 西澤一俊(1989):海藻類入門, 講談社学術文庫(876), 202p.
- 18) 香川綾監修(1988):4訂食品成分表, 女子栄養大学出版部, 368p.
- 19) 日本水産資源保護協会編(1995):水産用水基準, 日本水産資源保護協会, 14~16.
- 20) 尾形 博(1995):養殖ガイドラインの作成について, 魚類養殖対策調査事業報告書(養殖ガイドライン作成検討調査), 水産庁・全国かん水養魚協会, 44~54.
- 21) 木村晴保, 宗景志浩(1989):昭和62年度赤潮対策技術開発試験報告(漁場環境保全技術開発総合試験), 高知県水産試験場事業報告, 85, 83~110.
- 22) 許波涛, 平田八郎:ブリ幼稚魚の生残、成長、及び体色に及ぼすアナアオサ変異種のフィードバック効果, 水産増殖, 39(2), 133~139.
- 23) 浜渦敬三, 山中弘雄(1997):ブリに対する不稔性アオサ添加餌料の効果, 水産増殖, 45(3), 357~364.
- 24) 田島健司, 織田純生(1997):平成8年度環境調和型魚類養殖実践調査事業報告(不稔性アオサ量産実践事業), 高知県水産試験場事業報告, 93, 214~234.
- 25) 二見哲史(1998):養殖カンパチの品質に及ぼす不稔性アオサ添加餌料の影響, 高知大学農学部栽培漁業学科卒業論文, 28p.