

給餌養殖緊急対策調査※

(不稔性アオサによる環境浄化技術開発調査)

漁場環境科 谷口道子 織田純生

目 的

給餌養殖において漁場への負荷を軽減する方策として、海藻など生物の持つ環境浄化能力を活用した環境に優しい養殖技術の開発を行う。

ここでは、不稔性アオサの周年にわたる高い増殖養殖漁場の海水中の窒素、リンなどを捕捉、回収する方法について検討する。

浮き小割網による不稔性アオサの養殖試験

方 法

材料 平成5年度から高知県水産試験場専用水面(以下、専用水面)小割網生簀で養殖している不稔性アオサを引き続き使用した。

施設 底枠付き1.5×1.5×0.5mのナイロン無結節小割網(以下、小型小割網)と3.2×3.2×0.5mのポリエチレン結節小割網(以下、大型小割網)を専用水面の浮き小割筏に垂下して用いた。小割網垂下の方法は、小割網の底が海面下5～10cmになるように、ごく浅く張った。ただし、大型小割網については、底枠の大きさを底網面積の4分の1にし、底網をロープで吊り上げるなどして、省力化と品質向上のための工夫を加えた。

養殖方法 1小割網当たりの収容量をそれぞれ0.9kg/m²とし、1週間に1度、それぞれ全量を取り上げて湿重量を測定した。その後、再び所定の収容量を小割網に戻して養成を繰り返した。ただし、減量になった場合や付着性生物の付着量が多く、試験が続行できないような場合には、別に養殖していたものから補充したり、全量を交換したりした。

湿重量は洗濯機の脱水装置を用いて1分間2回脱水の後、測定した。試験は平成6年4月13日から平

成7年3月7日まで実施した。なお、平成5年度に力と増殖技術の簡便性に着目し、これを用いて魚類実施した洗浄作業は実施しなかった。

海水の水温、塩分測定 EILサリノメーターを用い、小割網生簀横の海水表面の水温、塩分を測定した。なお、試験の途中から出見漁場の水温、塩分も同様に測定した。

日照時間、日射量、降雨量 日照時間、降雨量については、高知気象台須崎観測所の、日射量については、高知気象台の日々の測定値を用いた。集計の期間を養成試験の期間に揃え、期間内の平均値を求めた。

品質 付着物量と色合いの組み合わせによって品質を判定した。付着物は脱水重量25gに付着している付着物をすべて藻体から除去し、湿重量を測定した。色調は日本色彩社の色名帳を用いてマンセル記号ならびに色名を判定し、表1に記した基準に従ってランク付けを行った。なお、出見漁場で試験的に養殖されている筏養殖の不稔性アオサについても同様に測定した。

結果ならびに考察

小割網の形状、張り方

不稔性アオサの養成方法、特に小型小割網の形状、張り方については、昨年同様、基本的な問題点は認められなかった。ただし、今年度初めて試みた大型小割網については、網の底を海面すれすれに、弛みが生じないように張るには小型小割網の場合以上に細かな配慮が必要であった。僅かなバランスの差が網の底の弛みを助長し、藻体が1カ所に偏りがちとなり、成長低下と汚れの原因の1つとなった。

※ この事業は平成6年度水産庁委託事業給餌養殖緊急対策調査藻類等利用調査環境浄化技術開発調査事業によった。

養殖成績と気象、海況

養殖試験の結果と試験期間中の気象、海況は表2-1、2-2、3-1、図1-2、2-2に示した。なお、比較のため平成5年度の結果を図1-1、2-1に示した。

昨年度は多雨、日照不足の異常気象年であったが、今年度は逆に高温少雨の異常気象年となった。平均日照時間は昨年度が2～8時間の間で推移し、5時間以下の週がしばしばであったのに対し、今年度は4～10時間の間で推移した。降雨量は昨年度がおおよそ10～30mm/dayの間に推移したのに対し、今年度は15mm/day以下の場合が多かった。

水温は昨年度が8月の28℃をピークに12月始めには17℃前後に低下したのに対し、今年度は8月に32℃のピークを示し、12月になっても20℃と昨年度よりも3～4℃高めで推移した。塩分は昨年度がおおよそ6～32‰の間で大きく変動したのに対し、今年度は31～33‰の間ではほぼ一定であった。なお、これまでの最低値は25‰であった。

養殖試験の結果は、1週間の増重倍率が1.5～2倍の間と昨年度よりやや良好な成長で始まったが、8月中旬から成長が落ち込み11月は1前後で推移し

た。大型小割網と小型小割網の比較では大型小割網の方が全体的にやや成長が低めであった。

水温と日間増重率との関係については、平成5年度と6年度をまとめて図3に示した。適温は24～26℃付近にあった。ただし、同じ水温における日間増重率に大きな幅があり、他の要因の影響も大きいことが示唆された。秋から春にかけての低水温期においては水温と日間増重率の間には一定の関係が認められなかった。

塩分と日間増重率との関係については、平成5年度と6年度の結果を合わせて図4に示した。これによると30‰まではほとんど影響されないが、30‰を越えると急に日間増重率が低下する傾向が認められた。

降雨量と日間増重率との関係については、平成5年度、6年度の結果を合わせて図5に示した。これによると平均日降雨量が12mm前後までは一定の関係が認められないが、それよりも多くなると日間増重率が高い値で安定するという傾向が認められた。

日照時間、日射量との関係については、平成5年度と6年度の結果を合わせて図6、7に示した。これによると一定の傾向は認められなかった。

表1 色合いの等級判定表

	等 級					
	1	2	3	4	5	6
G系	色相	2G～10G	2G～10G	2G～10G	1.5G以下	
	明度	6以下	6以下	6以下	6以下	6以上
	彩度	4.5以下	4.5～5	5以上		
	参考色	濃い黄緑	にぶ緑	緑	黄味の緑	薄緑
GY系	色相				5GY～10GY	5GY～10GY
	明度				6以下	6以上
	彩度				5以上	5以上
	参考色				草色 にぶ黄緑	若草色 黄緑
BG系	色相	BG				
	明度	6以下				
	彩度	4.5以下				
	参考色	青味緑 青竹色				

表2-1 不稔性アオサ育成期間中の気象、海況条件

期間	平均 日照時間 (hr/day)	平均 日射量 (mj/day)	平均 降雨量 (mm/day)	平均水温 (℃)	平均塩分 (‰)
'94. 4. 13~4. 19	7.6	16.5	7.4	17.6	31.3
4. 19~4. 26	3.1	11.7	12.1	18.9	30.9
4. 26~5. 2	8.4	20.0	0.3	20.1	31.3
5. 2~5. 10	5.5	18.0	5.4	21.3	32.1
5. 10~5. 17	4.2	15.1	12.8	21.8	31.9
5. 17~5. 24	8.6	22.4	0.0	22.6	31.8
5. 24~5. 31	4.2	16.8	4.8	23.4	32.2
5. 31~6. 7	7.0	20.3	2.6	24.4	32.5
6. 7~6. 14	0.7	10.2	11.6	24.9	33.0
6. 14~6. 21	6.3	19.7	9.9	24.7	32.2
6. 21~6. 28	6.1	18.8	4.8	25.9	32.1
6. 28~7. 5	5.9	17.6	0.9	27.6	31.1
7. 5~7. 11	10.8	23.3	0.0	29.4	30.6
7. 11~7. 19	9.3	22.0	0.0	30.9	32.6
7. 19~7. 26	4.0	15.6	28.3	29.6	29.2
7. 26~8. 2	4.0	14.9	10.4	27.3	28.0
8. 2~8. 9	10.8	21.8	0.9	28.9	31.0
8. 9~8. 17	4.6	16.9	15.7	29.5	30.2
8. 17~8. 23	9.1	19.2	0.3	28.5	30.4
8. 23~8. 31	9.9	21.2	0.2	30.1	32.1
8. 31~9. 6	8.2	18.2	2.5	30.7	32.6
9. 6~9. 13	7.1	16.6	2.3	29.7	32.9
9. 13~9. 20	7.5	16.7	1.6	28.5	33.3
9. 20~9. 27	6.5	15.0	1.3	27.4	33.4
9. 27~10. 4	3.7	10.7	17.8	26.2	32.4
10. 4~10. 11	2.9	9.6	3.1	25.3	32.3
10. 11~10. 18	5.7	11.3	5.1	24.6	32.8
10. 18~10. 25	8.0	13.2	5.5	23.9	32.7
10. 25~11. 1	6.5	11.3	1.1	23.2	33.0
11. 1~11. 8	5.8	9.9	11.0	21.9	33.3
11. 8~11. 15	5.8	10.0	3.1	21.1	33.1
11. 15~11. 22	3.7	6.9	8.0	20.2	32.6
11. 22~11. 29	5.3	8.6	0.3	19.0	32.2
11. 29~12. 6	4.4	9.0	0.3	18.1	32.7
12. 6~12. 13	4.8	7.8	6.3	17.2	33.0
12. 13~12. 20	6.0	9.2	0.1	16.1	33.0
12. 20~12. 27	3.7	7.0	0.1	15.5	33.1
12. 27~1. 3	3.8	8.2	3.3	14.3	33.4
1. 3~1. 10	5.1	9.3	3.1	13.5	33.8
1. 10~1. 17	7.0	11.9	0.3	14.0	34.1
1. 17~1. 24	5.4	9.6	1.3	13.9	34.1
1. 24~1. 31	6.9	11.5	0.0	13.5	34.1
1. 31~2. 7	6.6	12.5	0.0	13.0	34.1
2. 7~2. 13	4.9	12.4	3.1	13.3	34.2
2. 13~2. 21	6.8	14.1	0.0	13.9	34.6
2. 21~2. 28	6.6	14.4	0.0	14.1	34.6
2. 28~3. 7	6.5	14.0	0.0	14.2	34.4

表 2-2 出見漁場における水温、塩分の推移

年月日	水温 (℃)	塩分 (‰)
H6. 9. 6	30.1	33.3
9.13	29.2	33.5
9.20	28.0	33.8
9.27	27.5	34.3
10. 4	25.6	31.7
10.11	24.5	32.7
10.18	24.2	33.1
10.25	23.4	33.4
11. 1	22.3	33.5
11. 8	21.8	33.6
11.15	20.8	32.8
11.22	20.4	33.1
12. 6	19.0	
12.13	17.6	33.6
12.19	15.8	33.7
12.27	15.2	33.9
1. 1	13.8	34.8
1.17	14.2	34.4
1.24	14.6	34.4
1.31	13.6	34.6
2. 7	12.6	34.6
2.20	15.5	34.8
3. 1	14.5	34.7

平成5年度の梅雨時期にドタグサレ病が発生し、収量が低下したが、浮き筏で養殖されている不稔性アオサにとっては多雨、日照不足、日射不足は直接的影響を及ぼさず、それによってもたせれる低水温の影響が大きかったと判断される。また、多雨による影響よりも平成6年度のように少雨による高温、高塩分のほうがさらに厳しい影響を受け収量が低下することが明らかになった。

収容密度と収量

平成6年度は、収容密度を1㎡あたり0.89kgで養殖を開始し、約1週間サイクルで収穫する方法で養殖試験を実施したところ、高温少雨の影響が顕著に

なる8月中旬までは平成5年度の収容密度を低くし、0.44kg/㎡で養殖した場合と同様の日間増重率が得られた。(図2-1、2)

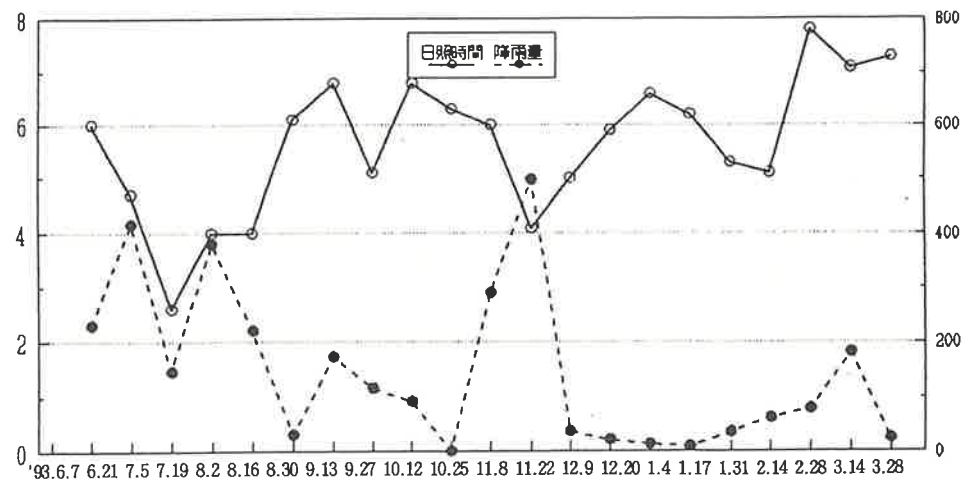
平成5年度の結果では、収容密度0.89kg/㎡のほうが0.44kg/㎡よりも常に増重倍率が低かった。ただし、養殖開始時の密度が1㎡あたり0.5～2kgの範囲内では単位面積当たりの収量には大差なかった(図8、9)。なお、水温、天候などの条件が悪い時期には、密度が高いと成長が鈍り、病気にかかりやすくなるので、収容密度を1㎡あたり1kg前後で養殖し、約1週間サイクルで収穫する方法が最も適当であると思われる。

表3-1 浮き小割網養殖による不稔性アオサの成長

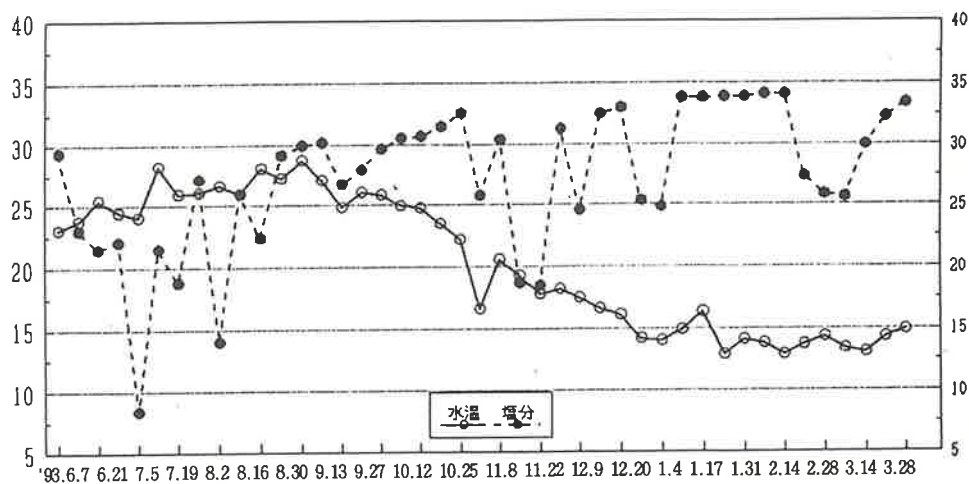
期 間	付着物量		増重倍率	日間増重率 (%)
	期首 (%)	期末 (%)		
4.19~4.26	0.1	0.2	1.46	5.41
4.26~5.2	0.2	0.8	1.41	5.84
5.2~5.10	0.8	1.1	1.40	4.34
5.10~5.17	0.1	0.1	1.74	7.79
5.17~5.24	0.1	1.2	1.87	9.13
5.24~5.31	1.2	2.9	1.62	7.11
5.31~6.7	2.9	6.2	1.46	5.93
6.7~6.14	6.2	8.3	1.39	5.89
6.14~6.21	0.1	2.9	1.81	7.62
6.21~6.28	2.9	4.5	1.65	7.37
6.28~7.5	4.5	2.1	1.97	9.36
7.5~7.11	2.1	9.3	1.62	9.33
7.11~7.19	9.3	12.7	1.80	7.82
7.19~7.26	12.7	20.0	1.94	10.70
7.26~8.2	20.0	30.4	1.59	10.08
8.2~8.9	11.3	25.3	1.89	8.12
8.9~8.17	25.3	49.7	1.06	9.24
8.17~8.23	1.0	3.6	2.39	3.72
8.23~8.31	3.6	24.4	1.16	4.94
8.31~9.6	24.4	35.2	0.97	2.11
9.6~9.13	35.2	50.3	1.22	6.67
9.13~9.20	50.3	33.6	1.16	7.87
9.20~9.27	1.0	5.2	2.10	5.50
9.27~10.4	5.2	20.0	1.43	7.54
10.4~10.11	20.0	11.1	2.01	8.48
10.11~10.18	11.1	20.0	1.39	6.17
10.18~10.25	0.0	0.1	1.44	5.21
10.25~11.1	0.1	0.2	1.06	0.97
11.1~11.8	0.2	4.8	0.98	0.42
11.8~11.15	4.8	21.1	1.16	4.81
11.15~11.22	21.1	19.2	1.18	2.06
11.22~11.29	19.2	0.3	1.46	2.36
11.29~12.6	0.3	1.2	0.06	-40.30
12.6~12.13	1.2	0.3	0.94	-0.96
12.13~12.20	0.3	1.5	0.34	-15.20
12.20~12.27	1.5	1.4	0.31	-16.73
12.27~'95.1.5	1.4	1.7	0.21	-17.34
1.5~1.10	1.7	1.1	0.42	-17.59
1.10~1.17	1.1	14.5	0.70	-3.07
1.17~1.24	14.5	1.7	1.29	1.61
1.24~1.31	1.7	0.6	1.24	2.95
1.31~2.7	0.6	1.7	1.07	1.11
2.7~2.13	1.7	1.0	1.15	2.24
2.13~2.21	1.0	0.9	1.15	1.79
2.21~2.28	0.9	0.7	1.08	1.10
2.28~3.7	0.7	0.70	1.06	0.69

2週間の平均日照時間 (hr/day)

2週間の合計降雨量 (mm)



水温 (°C) 塩分 (‰)



増量倍率 / 2週間

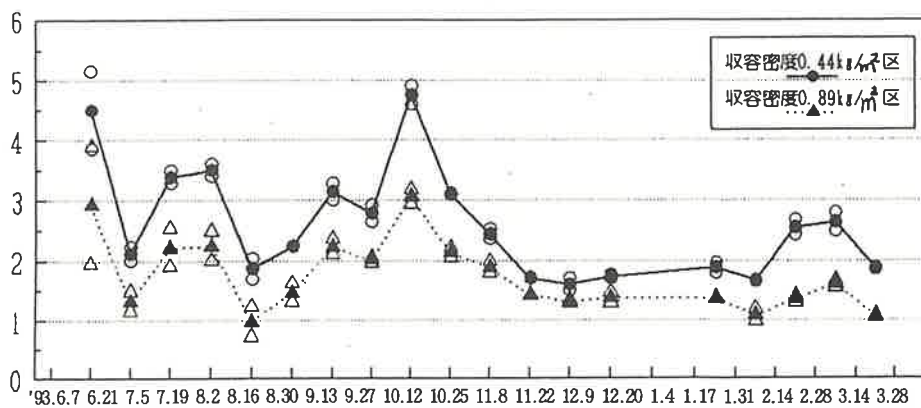


図1-1 漁場の気象、海況と不稔性アオサの増重倍率の変化 (平成5年度)

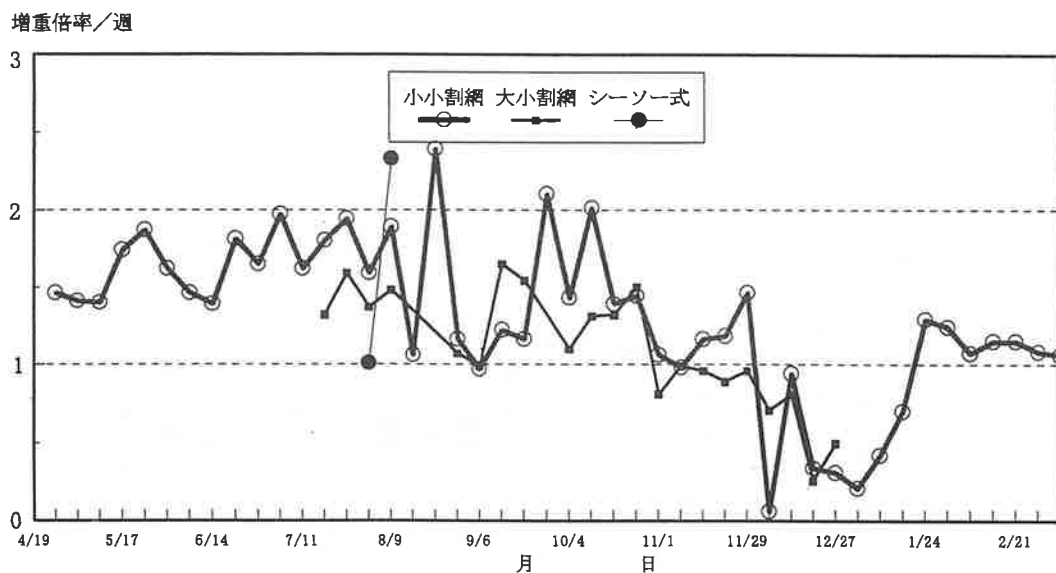
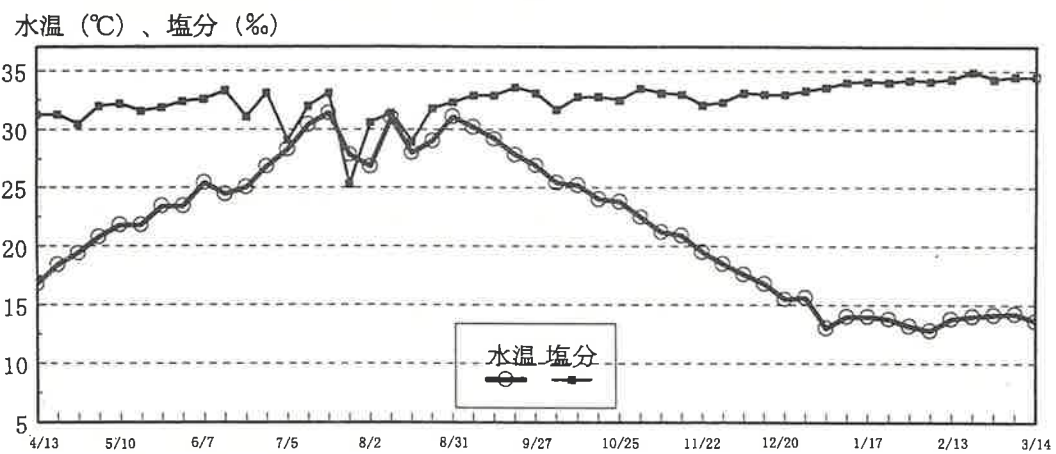
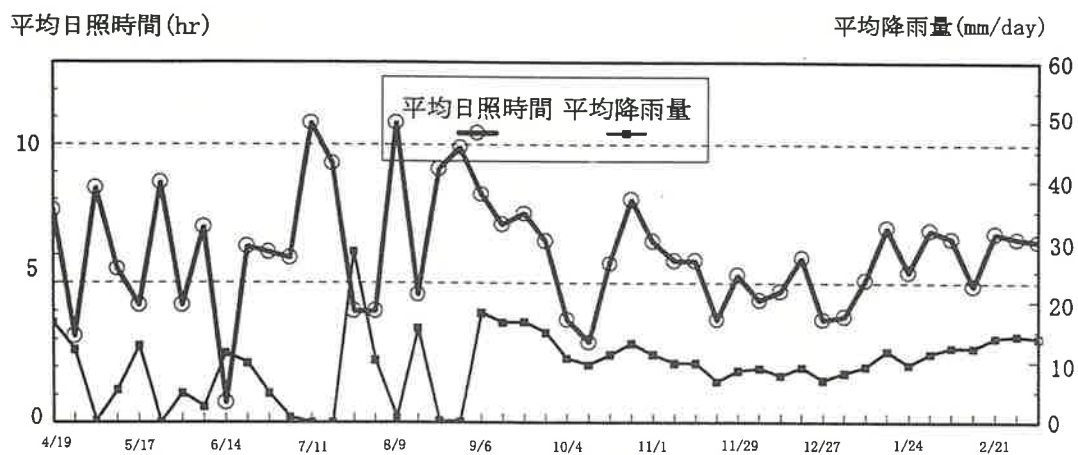


図 1-2 漁場の気象、海況と不稔性アオサの増重倍率の変化（平成 6 年度）

日間増重率 (%)

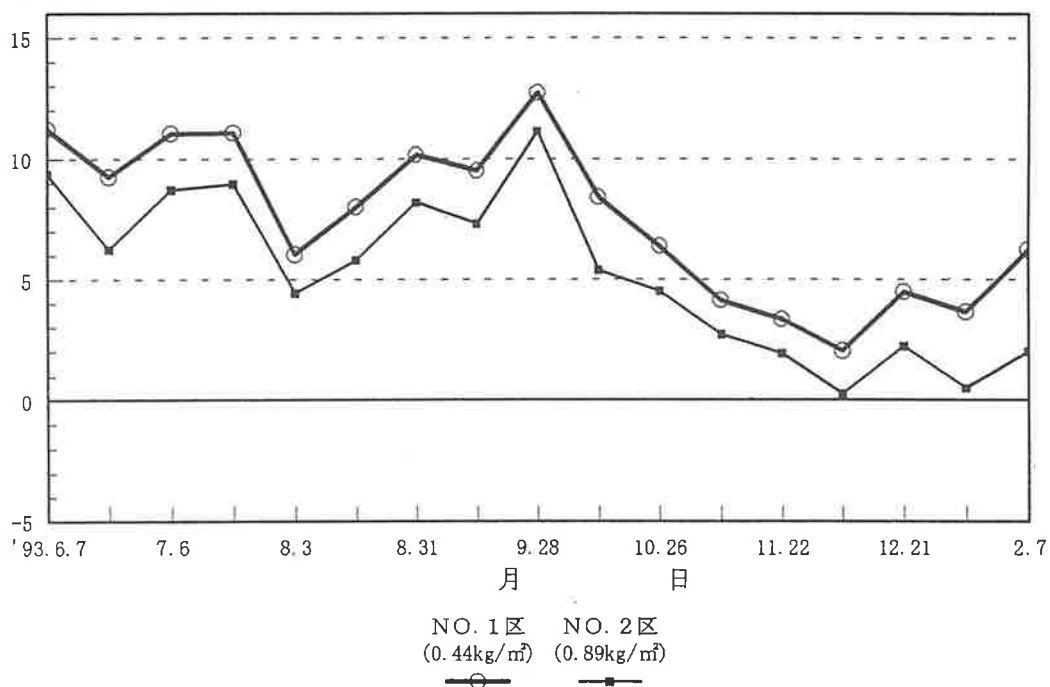


図 2 - 1 日間増重率の推移 (平成 5 年度浮き小割網養殖)

日間増重率 (%)

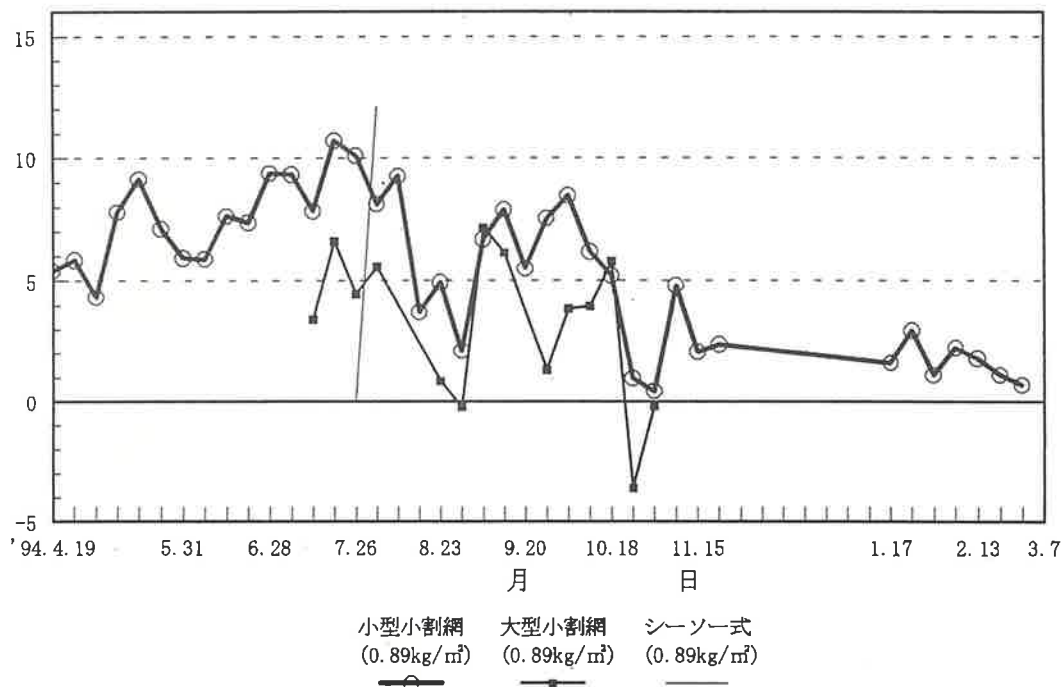


図 2 - 2 日間増重率の推移 (平成 6 年度浮き小割網養殖)

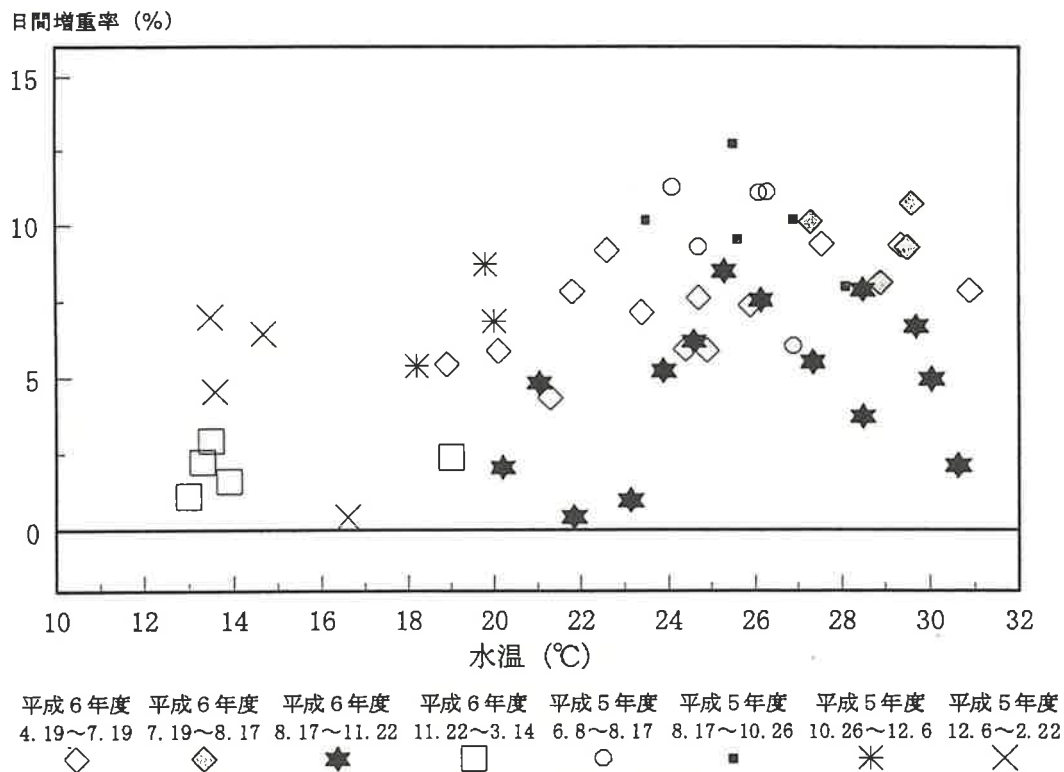


図3 水温と日間増重率の関係

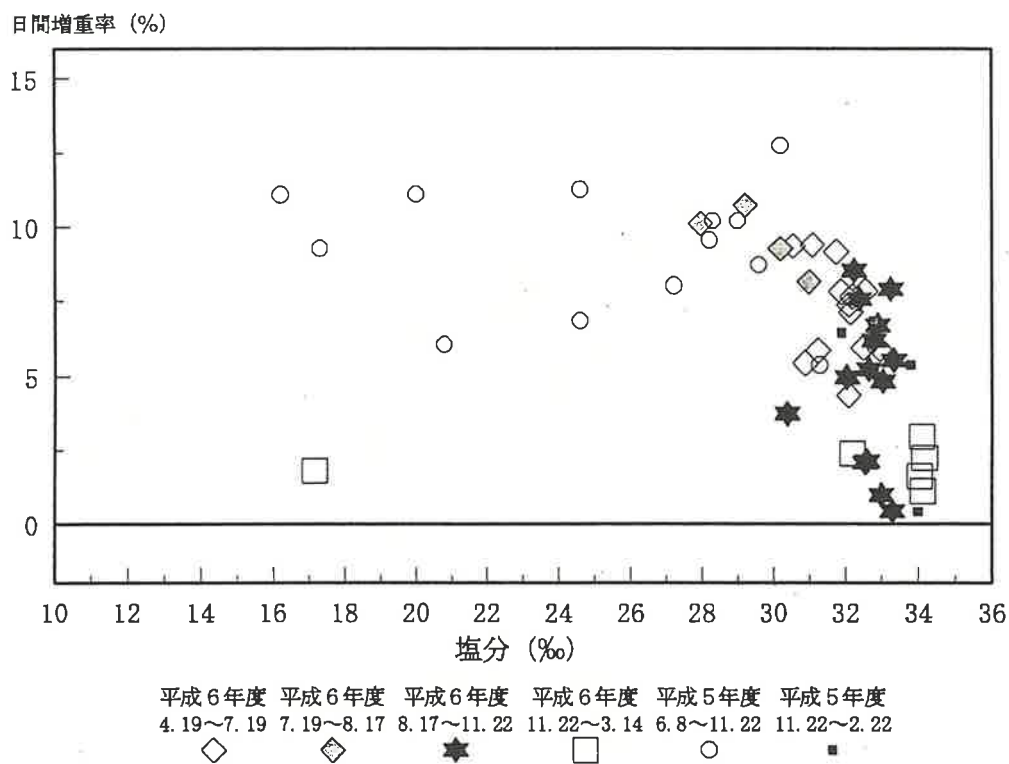


図4 塩分と日間増重率の関係

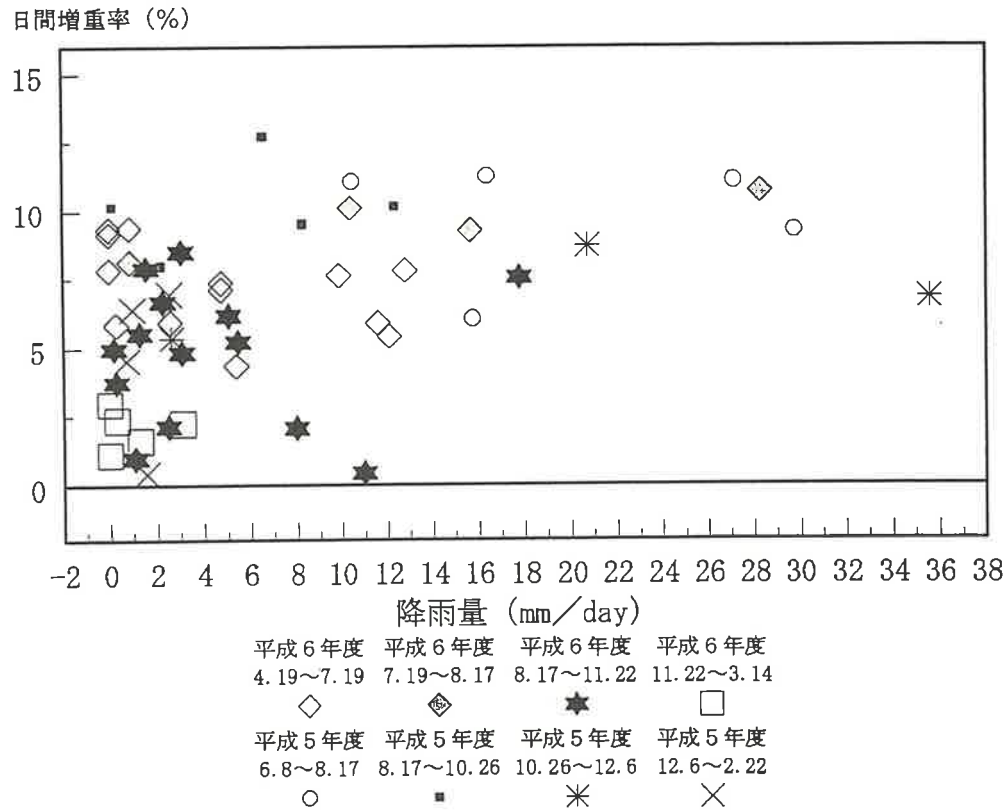


図5 降雨量と日間増重率の関係

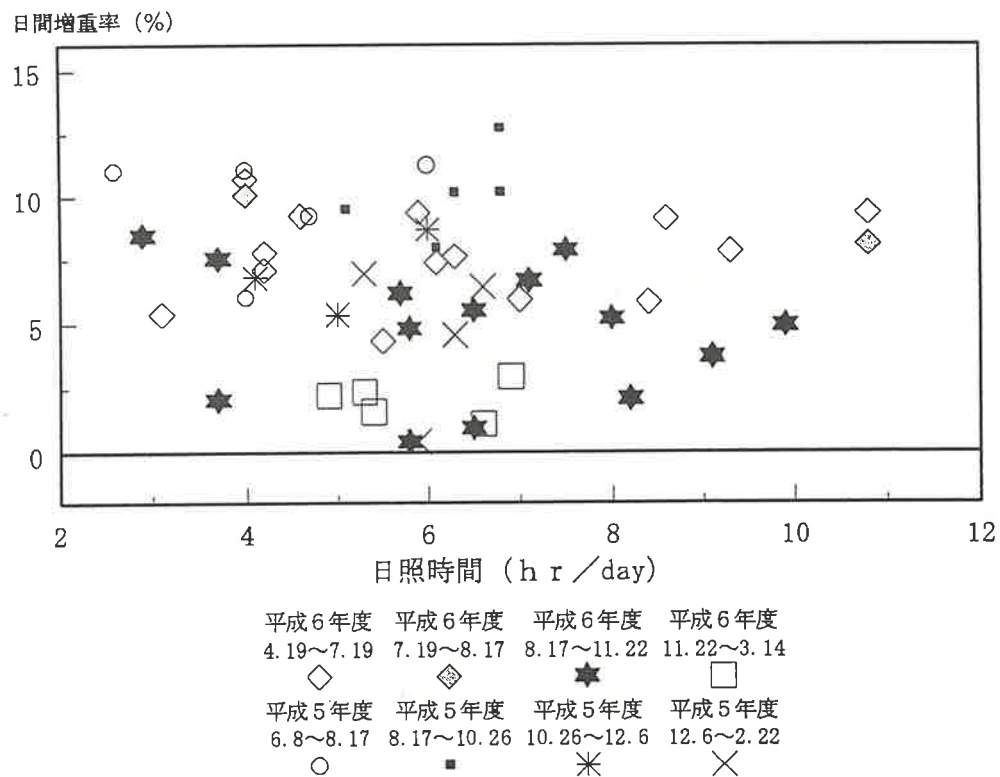


図6 日照時間と日間増重率の関係

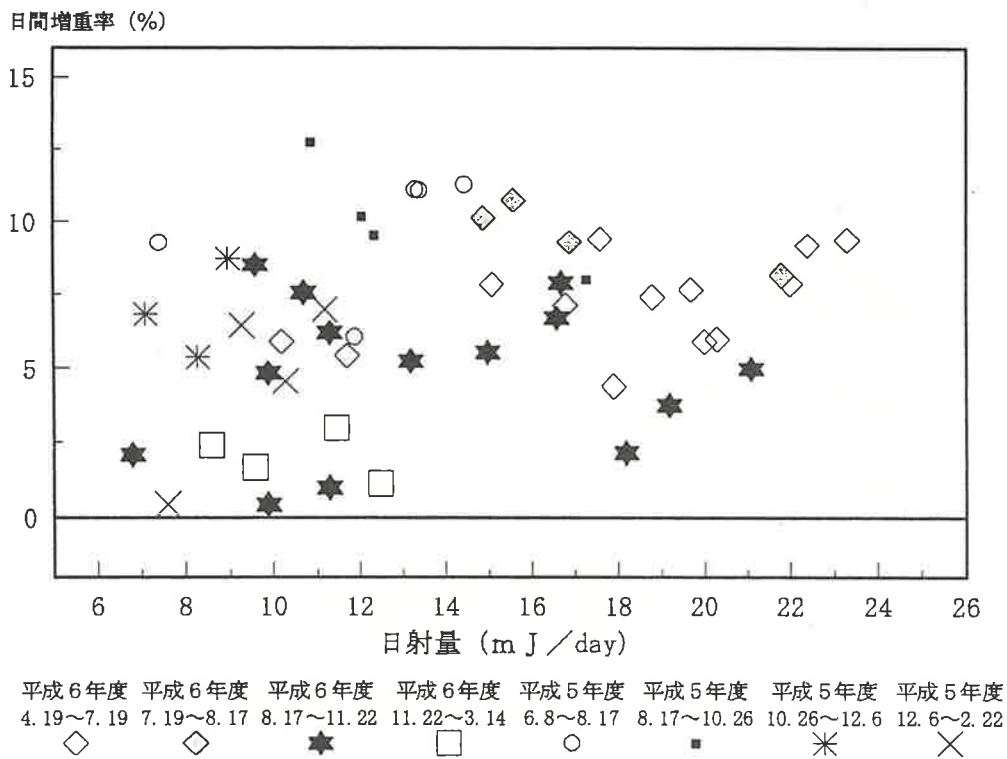


図7 日射量と日間増重率の関係

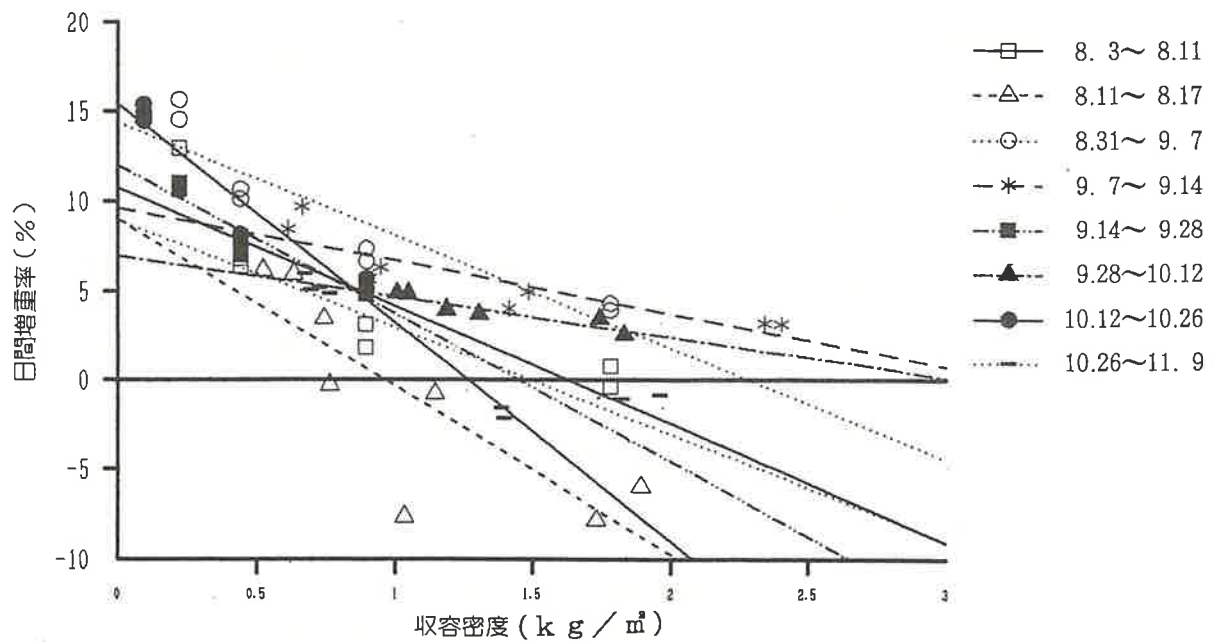


図8 収容密度と㎡あたりの日間増重率との関係

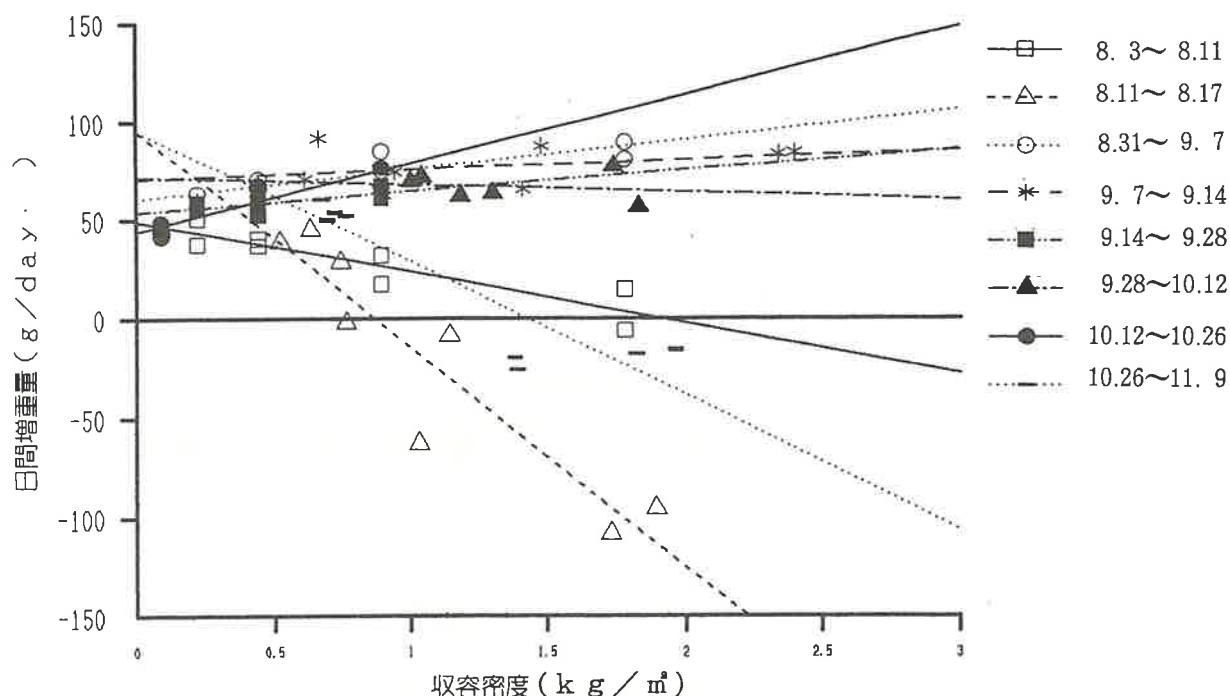


図9 収容密度と㎡あたりの日間増重量との関係

汚れの付着防止策と品質

平成6年度は、大型小割網を用い、波浪による反転移動を利用してアオサの汚れ付着防止を試みた。付着物量の推移を図10に示した。夏期のホンダワラコケムシが異常繁殖する時期には差が認められなかったが、秋期には付着量が半減した。5月下旬から主にカンザシゴカイ類とマガキが付着し、8月から10月にはホンダワラコケムシ類が異常発生と言えるほどの状態になり、甚だしい場合には、1週間で総重量の25%を占めるほどの増殖を示した。10月以降の付着性生物はカンザシゴカイ類とマガキ、スジアオノリが主なものであった。大型小割網と小型小割網では付着量に大きな差は認められなかった。

また、同じ湾内であっても漁場が異なると付着量に大きな差が生じ、出見漁場のものについては、専用水面よりも付着量が少ない状態で推移し、汚れの付着防止の必要性も異なることが明らかになった。

平成5年度は、11月以降の付着生物の付着が少な

くなる時期には、散水による洗浄の必要はなかったが、平成6年度は専用水面では12月から、出見漁場では11月から付着物量が少なかった。

色合いの等級の推移を図11に示した。6、7月と9、10月が概ね1級であり、その他の時期は概ね4、5級で推移した。出見漁場のものは、専用水面のものより色合いが良い場合と悪い場合があり、変動が大きかった。水温、降雨量、塩分、日射量、日照時間と品質等級との関係を求め、図12、13、14、15、16に示した。これによると日射量が多くなるほど品質等級が下がるという傾向が認められたが、その他の項目との間には明瞭な関係は認められなかった。

なお、後述するように室内実験において照度の低いほうが濃い色調のアオサが得られ、逆に、成長には照度の高いほうが良いとの結果が得られた。アオサの品質を云々する場合、色合いが最も重要な要素であるので、照度管理の方法が大きな課題として残された。

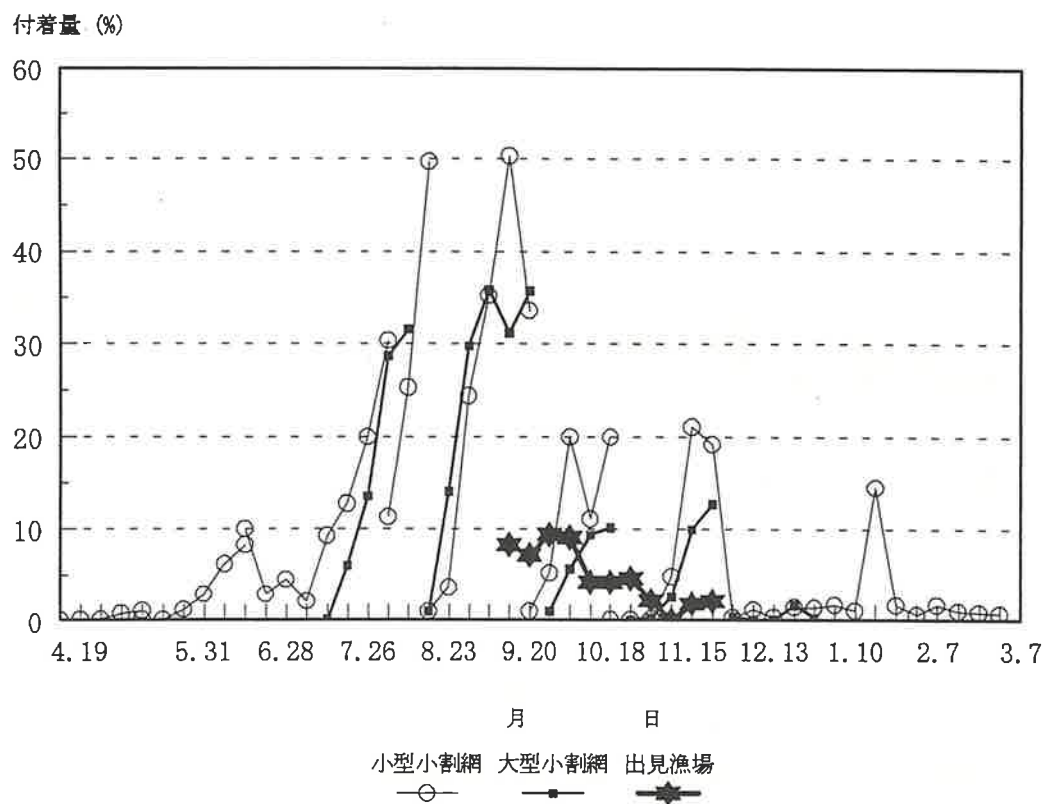


図10 付着性生物付着量の推移（筏養殖）

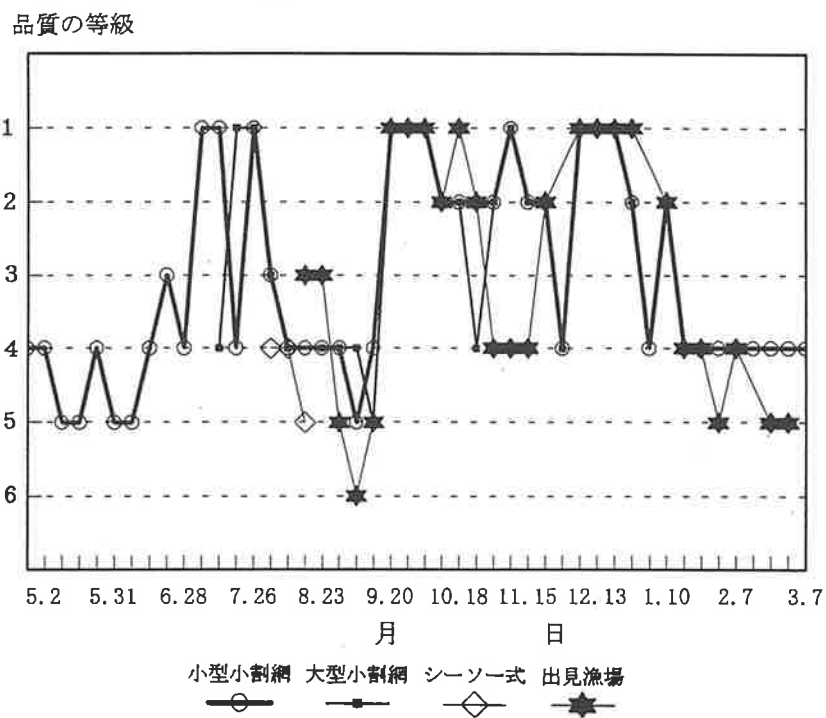


図11 色合い等級の推移（筏養殖）

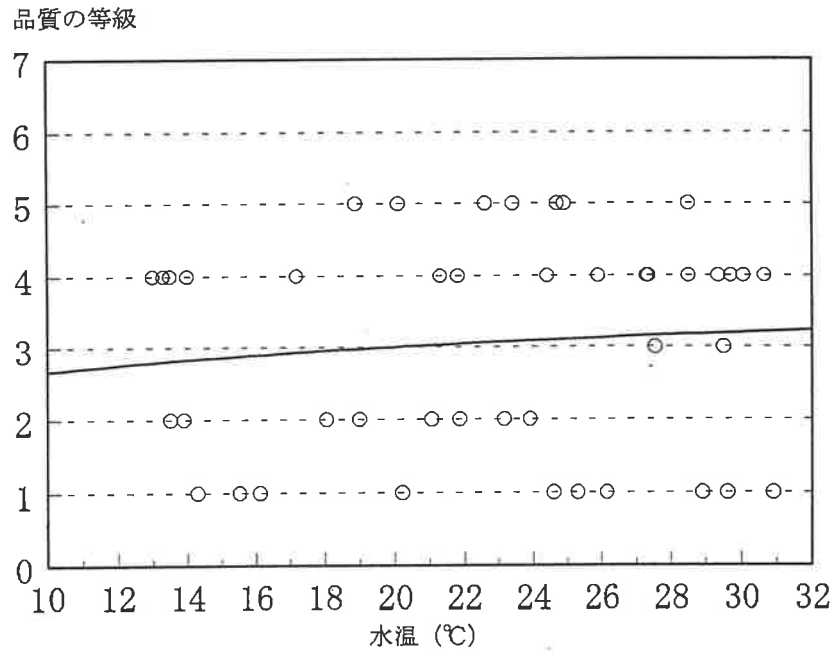


図12 水温と品質の関係

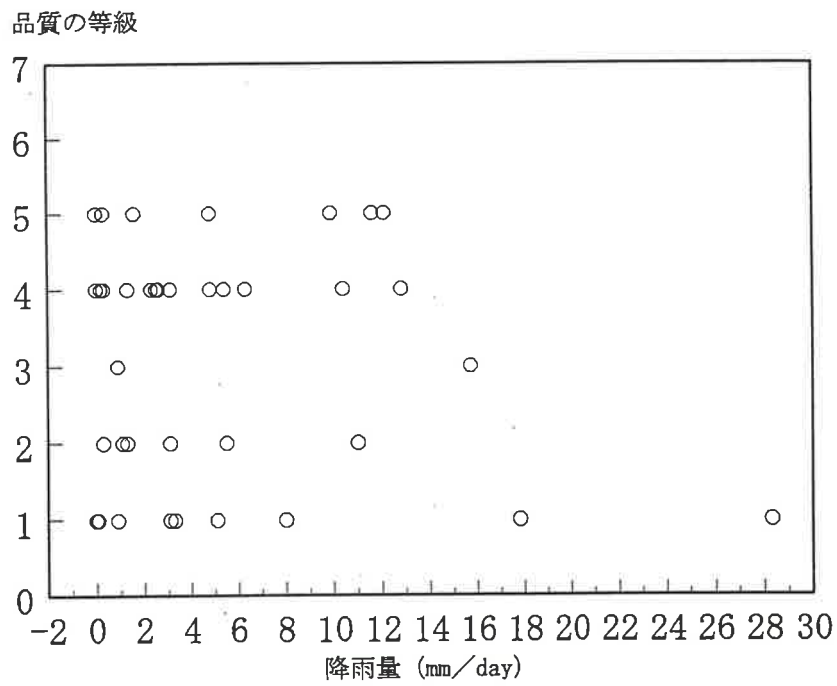


図13 降雨量と品質の関係

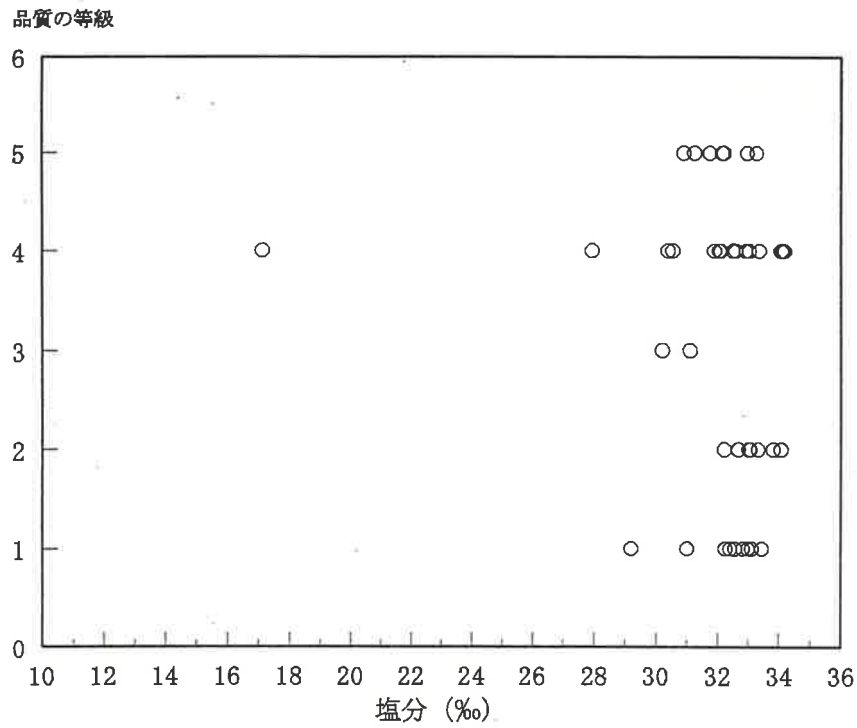


図14 塩分と品質の関係

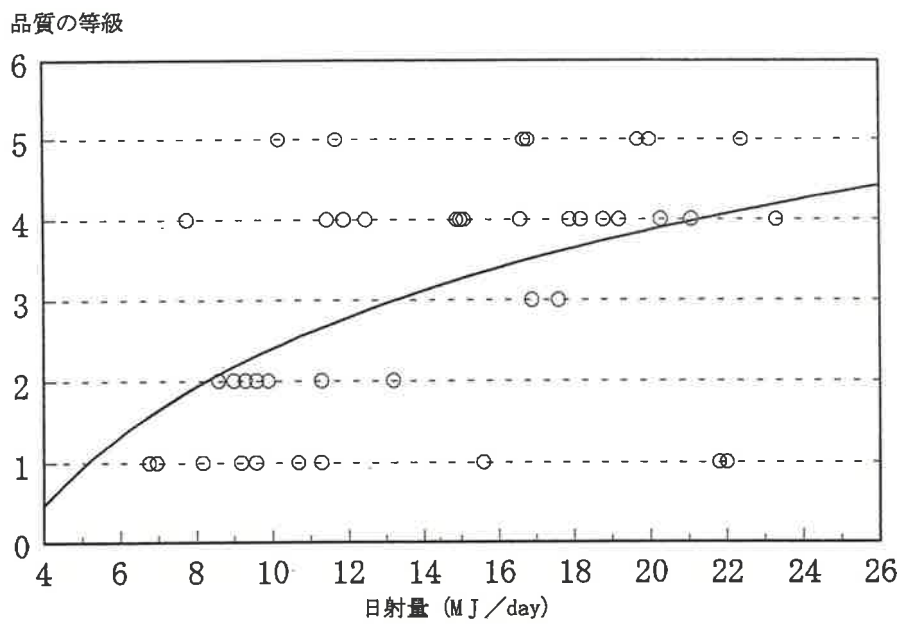


図15 日射量と品質の関係

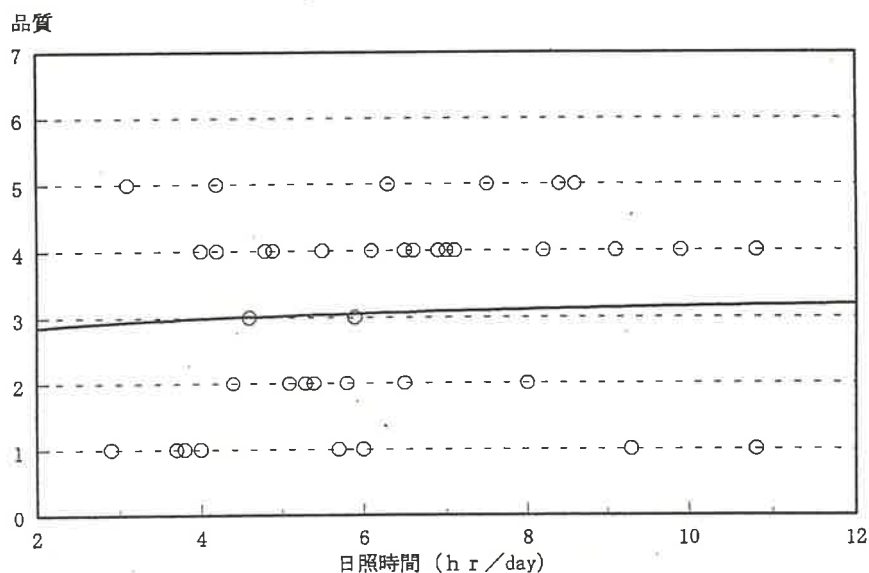


図16 日照時間と品質の関係

干潟での不稔性アオサの養殖試験

方 法

材料 浮き小割網養殖試験に用いたものと同じものをを用いた。

施設 底枠付き1.5×1.5×0.5mのナイロンもしくはポリエチレン無結節小割網を用い、高知水試幼稚仔保育場（以下、幼稚仔保育場）の干潟と専用水面内の干潟に設置した。小割網の形状、設置方法を変え、浮き小割網、沈下小割網、網袋式、ビニール蓋網式、シーソー式の5種類について試験を行った。浮き小割網は、潮の干満によって小割網が上下し、干潮時には干潟上に、満潮時には海面の上昇と共に浮上するようにした。そして、最干潮時の水深が－5、－10、－50cmの場所と地盤高－180cmの4カ所で試験した。前の3者については幼稚仔保育場内で、残りの－180cmの場所については専用水面干潟で実施した。

沈下小割網は、蓋網を付け、専用水面干潟の干潮時碎波帯に設置し、干潮時には藻体が波で洗われ、満潮時には水面下に没する状態とした。

網袋式は、マチなしの封筒状に仕立てた網をエスロンパイプ枠に取り付け、専用水面干潟の干潮時碎波帯に設置した。

ビニール蓋網式は、沈下小割網の蓋網を透明ビニールにし、上述の2方法と同様、専用水面干潟の干潮時碎波帯に設置した。

シーソー式は、潮の干満によって網袋の両端が交互に上下するように、沈子ロープと浮子ロープの長さを調節したものである。これを専用水面干潟の－180cmの地盤高の場所に設置し、網袋が海面と海面下1mの間で上下するようにした。

養殖方法 浮き小割網養殖試験と同じ方法で行った。

結果ならびに考察

養殖成績

結果を表3-2、図17に示した。浮き小割網のうち、最浅水深が－5、－10cmの2種類は干潮時に表面の藻体が枯死し、収容量が減少した。最浅水深が－50cmについては干出によって枯死することはなかったが、浮泥が被さり、試験を続けることが出来ない状態になった。専用水面干潟で実施した地盤高－180

cmの場合は、図17に示したように、日間増重率6.4%と同時期の筏養殖の8.1%より成長が劣る結果になった。しかも、浮泥の被さりも多く、長期間の養成は困難であった。

沈下小割網、袋網式は 地盤高-180cmの浮き小割網と同様の結果であった。

ビニール蓋網式とシーソー式はやや良好な日間増重率であったが、やはり、浮泥の被覆が多く、試験を中断した。

品質

付着物量の推移を図18に示した。図10の浮き小割網養殖の場合と比較すると、干潟養殖の方が付着物量そのものの量は少なかった。付着物の内容は浮き小割網養殖の場合と同じであった。

色合いの等級の推移を図19に示した。図11の筏養殖の場合と比較すると、干潟養殖の方がやや色合いが濃く、等級が上になることが多く、浮き小割網を除いて5級になることはなかった。

なお、幼稚仔保育場の試験実施場所の干潟に残されていた不稔性アオサが10月に良好な成育状況になった。色合い、付着性生物の付着状況など最良の状態であったので試験を再開しようとした。しかし、3.2m四方の網囲いをしたところ、この場所のみ、浮泥で被われる結果となった。このことから、干潟養殖における浮泥の問題は干潟そのものにあるのではなく、網などで囲う試験方法に問題のあることが考えられる。

品質の良い不稔性アオサを養殖する方法としては干潟養殖の方が優れている面も多いので、浮泥対策を考慮した干潟養殖技術開発が検討課題として残された。

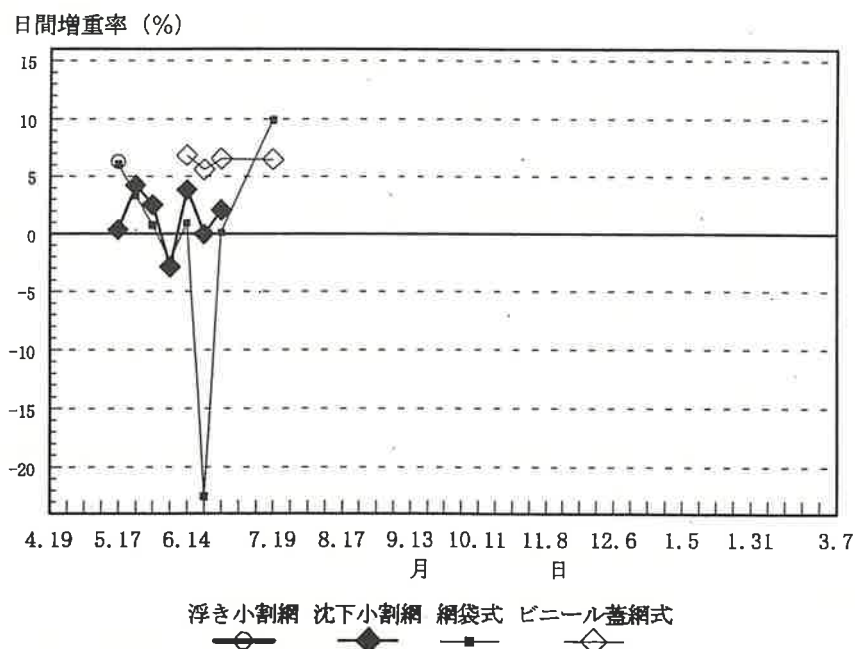


図17 日間増重率の推移 (干潟養殖)

不稔性アオサの生理生態調査

方 法

不稔性の確認 高知水試陸上水槽で培養していた不稔性アオサと専用水面のロープに付着していた天然のアナアオサを平成7年1月19日に採取し、それぞれ1cm角に裁断し、弱い通気を行いながら、25℃、4000LUX、14時間照射の条件下で培養した。換水は2日に1度行った。配偶子及び遊走子の確認は、一夜暗条件の後、光を当て、2分後に表面海水を採り、顕微鏡観察した。鞭毛の確認はヨウ素染色によった。

耐乾性 小割網生け簀から採取した藻体を軽く水切りした後コンクリート舗装の地面にビニールシートに広げ、そのうえで風乾した。一定時間毎に採取したものを試料とし、一部分を水分含有量測定に供した後、翌日の培養試験を行うまでの期間冷蔵庫に保存した。培養試験は試料を約5cm程度に裁断したものを10枚3000LUX、14時間照射条件下で弱い通気をしながら培養し、一定期間後に葉体の面積の増減を比較した。葉体の面積の比較はポリエチレン樹脂紙を用いる間接法によった。

暗状態での生存力 発砲スチロール箱を用い、一方は天然光下（明条件）、他方は注排水口以外は密閉した中（暗条件）で、流水しながら不稔性アオサを培養し藻体の現存量の減少経過を観察した。藻体の現存量の推移はポリエチレン樹脂紙を用いる間接法によった。

照度、照射時間と不稔性アオサの成長、色調の関係 実験1 25℃、15,000、10,000、5,000、1,000 LUX 14時間照射条件で弱い通気をしながら不稔性アオサを培養した。換水は2日に1度行った。成長はポリエチレン樹脂紙を用いる間接法によって面積を測定した。色調は日本色彩社の色名帳を用いて色名とマンセル記号を判定し、表1に示した基準によってランク付けした。照度は水面直上で測定した。

実験2 25℃、照射条件は9000LUXと3000LUXの組み合わせでそれぞれ10：4、8：6、4：10時

間照射した。その他の方法は実験1に準じて行った。

実験3 25℃、照射条件は9000LUXと1000LUXの組み合わせでそれぞれ6：8、8：6時間照射し、その他の方法は実験1に準じて行った。

結果ならびに考察

不稔性の確認

平成6年1月19日から2月13日まで約1カ月間観察したところ、天然から採取したアオサは期間中2回成熟し、配偶子を放出した。この間、不稔性アオサは全く成熟しなかった。

耐乾性

風乾により数段階の乾燥状態にし、藻体の水分含量と生存率の関係を見たところ、表4に示すように2時間の乾燥でも約30%の藻体が枯死し、24時間乾燥では100%の藻体が枯死することが明らかになった。

暗状態での生存力

結果は表5に示すように、明条件下の藻体は培養日数の経過とともに藻体面積が増加した。一方、暗条件下の藻体は2日後にはわずかながら面積が減少し、20日目頃から葉体が脆くなり、51日目には約4分の1に、61日目には約10分の1に減少した。完全に枯死したのは73日目であった。

照度、照射時間と不稔性アオサの成長、色調の関係

実験1

15,000、10,000、5,000、1,000LUX 14時間照射条件で室内培養した結果、表6-1に示すように最も成長の良かったのは15,000LUX区であり、照度が下がるにつれ成長は低下した。しかし、表6-2に示すように照度が高い場合には色が抜け、ほとんど無色に近い色になり、1000LUX区のみが黄緑色を維持した。

実験2

照射条件を9000LUXと3000LUXの組み合わせでそれぞれ10：4、8：6、4：10時間照射したところ、表7-1に示すように10：4時間区が最も成長

が良く、4：10時間区が最も成長が劣る結果になったが、表7－2に示すようにいずれの区も色合いを改善する効果は認められなかった。

実験3

照射条件を9000LUXと1000LUXの組み合わせでそれぞれ6：8、8：6時間照射し、9000LUXと3000LUXの組み合わせで8：6時間照射したとこ

ろ表8－1、8－2に示すように成長にも色合いにも改善効果は認められなかった。

現場の浮き小割網養殖では2週間で2倍から3倍の増重率である。実験1から3までの結果を総合すると、照度を1000から5000LUXの間に調節する方法が現実的であると考えられる。

表3－2 干潟養殖による不稔性アオサの成長

期 間	浮き小割網		沈下小割網		ネット式		ビニール蓋網式		シーソー式	
	増重倍率	日間増重率 (%)	増重倍率	日間増重率 (%)	増重倍率	日間増重率 (%)	増重倍率	日間増重率 (%)	増重倍率	日間増重率 (%)
4.19～4.26										
4.26～5.2										
5.2～5.10										
5.10～5.17										
5.17～5.24	1.55	6.28	1.03	0.37	1.53	6.07				
5.24～5.31			1.34	4.20	1.26	3.29				
5.31～6.7			1.20	2.55	1.06	0.78				
6.7～6.14			0.82	-2.88	0.85	-2.39				
6.14～6.21			1.31	3.84	1.07	0.95	1.61	6.83		
6.21～6.28			1.00	-0.02	0.21	-22.51	1.48	5.60		
6.28～7.5			1.15	2.05	1.01	0.13	1.58	6.55		
7.5～7.11										
7.11～7.19										
7.19～7.26					2.00	9.89	1.57	6.48		
7.26～8.2										
8.2～8.9										
8.9～8.17									1.81	7.42

付着量 (%)

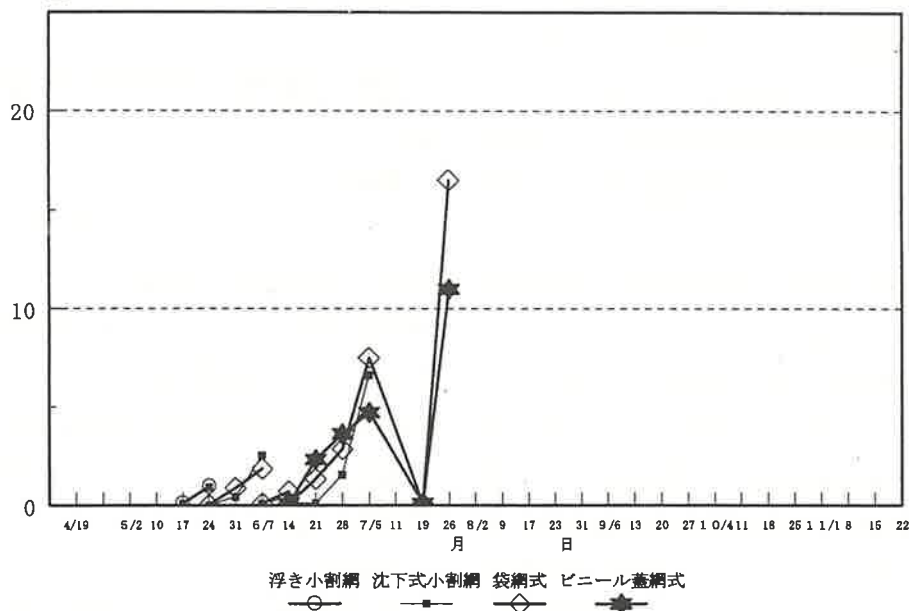


図18 付着性生物付着量の推移（干潟養殖）

等級

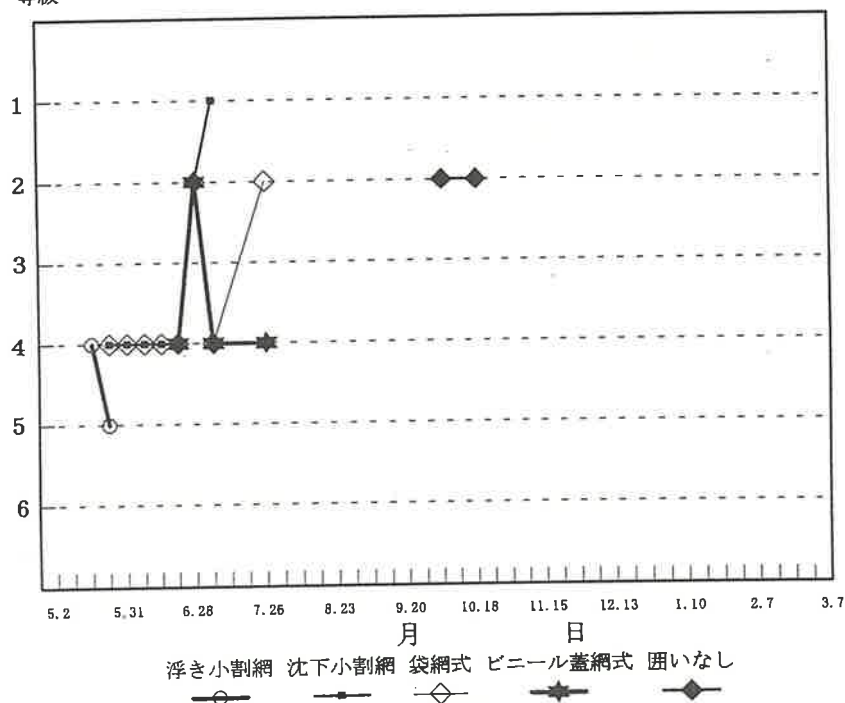


図19 色合い等級の推移 (干潟養殖)

表4 不稔性アオサの耐乾性

乾燥時間 (時間)	乾燥後の 水分含量 (%)	葉体面積の変化(%)		
		乾燥後の培養日数(日)		
		0	2	7
0	85.5	100	100	104
2	59.2	100	75	68
4	58.0	100	50	31
8	44.1	100	33	16
24	27.1	100	0	0

乾燥日 平成6年4月25日

表5 明暗条件下における不稔性アオサの生存力

明暗条件	葉体面積の変化(%)				
	経過日数(日)				
	0	2	51	61	72
明条件	100	109	411	801	943
暗条件	100	97	24	8	8

表6-1 照射条件が不稔性アオサの成長に及ぼす影響（実験1）

照度 * (LUX)	葉 体 面 積 の 変 化 (倍)	
	1 週 間 目	2 週 間 目
15000	4.0	5.8
10000	3.0	6.8
5000	1.9	4.8
1000	1.1	2.4

* 照射時間 14 時間

表6-2 照射条件が不稔性アオサの色あいに関与する影響（実験1）

照度 * (LUX)	開 始 時		1 週 間 後		2 週 間 後	
	色 合 い	色 合 等 級	色 合 い	色 合 等 級	色 合 い	色 合 等 級
15000	黄 緑	5	薄 黄 緑	6	薄 黄 緑	6
10000	黄 緑	5	柳 葉 色	6	薄 黄 緑	6
5000	黄 緑	5	黄 緑	5	柳 葉 色	6
1000	黄 緑	5	黄 緑	5	黄 緑	5

* 照射時間は 14 時間

表7-1 照射条件が不稔性アオサの成長に及ぼす影響（実験2）

照 射 条 件		葉 体 面 積 の 変 化 (倍)	
9000 : 3000 LUX の 照 射 時 間 (時 間)		1 週 間 後	2 週 間 後
10 :	4	1.5	3.0
8 :	6	1.7	2.8
4 :	10	2.0	2.1

表7-2 照射条件が不稔性アオサの色あいに関与する影響（実験2）

照 射 条 件		開 始 時		1 週 間 後		2 週 間 後	
9000 : 3000 LUX の 照 射 時 間 (時 間)		色 合 い	色 合 等 級	色 合 い	色 合 等 級	色 合 い	色 合 等 級
10 :	4	草 色	4	黄 緑	5	薄 黄 緑	6
8 :	6	草 色	4	黄 緑	5	薄 黄 緑	6
4 :	10	草 色	4	黄 緑	5	薄 黄 緑	6

表 8-1 照射条件が不稔性アオサの成長に及ぼす影響（実験 3）

照射条件	葉体面積の変化（倍）	
9000 : 3000 : 1000 LUX の照射時間（時間）	1 週間後	2 週間後
6 : 0 : 8	1.6	2.0
8 : 0 : 6	1.4	2.2
8 : 6 : 0	1.1	1.7

表 8-2 照射条件が不稔性アオサの色あいに及ぼす影響（実験 3）

照射条件	開始時		1 週間後		2 週間後	
9000 : 3000 : 1000 LUX の照射時間（時間）	色合い	等級	色合い	等級	色合い	等級
6 : 0 : 8	濃い黄緑	1	柳葉色	6	柳葉色	6
8 : 0 : 6	濃い黄緑	1	柳葉色	6	柳葉色	6
8 : 6 : 0	濃い黄緑	1	柳葉色	6	柳葉色	6

原藻保存技術開発試験

方 法

実験 1 浮き小割網から採取した不稔性アオサを脱水後コンクリート舗装上のビニールシート上で一定時間天日乾燥した後、 -20°C で冷凍保存した。11、13日後にそれぞれ解凍し、培養試験に供した。培養試験は試料を約 5 cm 程度に裁断したものを 10 枚 3000 LUX、14 時間照射条件下で弱い通気をしながら培養し、3 日後に葉体面積の増減を測定した。葉体面積の増減はポリエチレン樹脂紙を用いる間接法によって測定した。色調は日本色彩社の色名帳を用いてマンセル記号ならびに色名を判定し、表 1 に記した基準に従ってランク付けを行った。

実験 2 浮き小割網から採取した不稔性アオサを脱水することなくコンクリート舗装上のビニールシ

ト上で一定時間陰干した後、 -16°C で冷凍保存した。7 日後に解凍し、培養試験に供した。培養試験は試料を約 5 cm 程度に裁断したものを 10 枚 3000 LUX、14 時間照射条件下で弱い通気をしながら培養し、3 日後に葉体面積の増減を測定した。葉体面積の増減は実験 1 と同じ方法によった。なお、乾燥終了時と解凍時に不稔性アオサの水分含量を測定した。

結果ならびに考察

結果は表 9-1、2 に示したとおり、種々の条件で乾燥凍結保存したが、いずれも解凍後の生存率が 2 分の 1 から 3 分の 1 となり、実用的でないことが明らかになった。

表9-1 乾燥凍結保存による不稔性アオサの生存率（実験1）

乾燥時間 （時間）	解凍後の生存率（%）	
	冷凍保存期間（日） 11	13
0	0	0
2	0	0
4	30	0

乾燥日 平成6年3月31日

表9-2 乾燥凍結保存による不稔性アオサの生存率（実験2）

乾燥時間 （時間）	水分含量（%）		解凍後の生存率 （%）
	乾燥時	解凍時	
2	35.9	49.4	10
4	29.7	37.0	20
6	28.3	34.0	25

乾燥日 平成6年4月25日

不稔性アオサの成分分析

方 法

養殖試験で得た不稔性アオサを毎月1度採取し、窒素測定用サンプルとして冷凍保存した。ビタミン、アミノ酸、食物繊維、脂肪酸、ミネラル等について

は、2月に採取したものを試料とした。窒素は高知県水産試験場でケールダール法により測定し、その他の項目は試料を冷蔵保存の状態で日本食品分析センターに送付し、成分分析に供した。分析項目、ならびに分析方法は表11に記したとおりである。

表10 不稔性アオサ窒素・リン分析結果

試料採取日	全 窒 素 （%）	リ ン （mg/100 dry）	品質等級
94.5.11	1.7	80	
7.6	4.4	230	
9.7	2.0	197	
11.22	4.0	319	
95.1.10	2.8	184	
3.9	3.2	206	
4.13	1.8	135	4
5.16	2.4	118	4
6.1	1.0	122	5
7.18	2.4	172	4
8.18	2.3	183	4
9.14	2.3	120	5
10.4	1.8	141	5
11.22	3.3	240	1
12.14	3.4	239	1
12.22	2.6	202	3
96.2.24	2.0	157	

表11-1 不稔性アオサの成分分析結果（その1）

分 析 試 験 項 目	結 果	検 出 限 界 注	分 析 方 法
水分	87.3%		常圧加熱乾燥法
たんばく質	12.6%		1 ケルダール法
脂質	0.8%		2 クロロホルム・メタノール混液抽出法
繊維	3.9%		2 ヘンペル・ストマン改良法
灰分	42.5%		2 直接灰化法
糖質	40.2%		3
マンニトール	検出せず	0.05%	高速液体クロマトグラフ法
総食物繊維	31%		4 酵素-重量法
水溶性食物繊維	11%		
不溶性食物繊維	20%		
α-リノレン酸	検出せず	0.01%	ガスクロマトグラフ法
オクタデカトレン酸	検出せず	0.01%	ガスクロマトグラフ法
エイコサペンタエン酸	検出せず	0.01%	ガスクロマトグラフ法
ドコサヘキサエン酸	検出せず	0.01%	ガスクロマトグラフ法
コレステロール	検出せず	1mg/100g	ガスクロマトグラフ法
フィコステロール	検出せず	1mg/100g	ガスクロマトグラフ法
タリリン	検出せず	0.01%	アミノ酸自動分析法

注1. 窒素・たんばく質換算係数：6.25。ただし、乾燥試料に対する値。

注2. 乾燥試料に対する値。

注3. 計算式：100-（たんばく質+脂質+繊維+灰分）

注4. Proskyらの方法 [J. Assoc. Off. Anal. Chem., 71, 1017 (1988)] に準じて試験した。ただし、乾燥試料に対する値。

表11-2 不稔性アオサの成分分析結果（その2）

分 析 試 験 項 目	結 果	検 出 限 界 注	分 析 方 法
ビタミン	検出せず	0.01mg/100g	高速液体クロマトグラフ法
β-カロチン	6.85mg/100g		1 高速液体クロマトグラフ法
ビタミンA効力(ビタミン及びβ-カロチンより換算)	3,810IU/100g		
サイアミン(ビタミンB ₁)	0.31mg/100g		2 高速液体クロマトグラフ法
リボフラビン(ビタミンB ₂)	0.71mg/100g		1 高速液体クロマトグラフ法
ビタミンB ₆	0.34mg/100g		3 微生物定量法
ビタミンB ₁₂	9.4μg/100g		4 微生物定量法
総アスコルビン酸(総ビタミンC)	71mg/100g		5 高速液体クロマトグラフ法
コリン	検出せず	0.03%	6
パントテン酸	1.10mg/100g		7 微生物定量法
イノシトール	0.06%		3 微生物定量法
リン	157mg/100g		1 パナトモリデン酸吸光度法
鉄	31.0mg/100g		1 o-フェナントリン吸光度法
カルシウム	697mg/100g		1 過マンガン酸カリウム容量法
ナトリウム	6.59%		1 原子吸光度法
カリウム	3.99%		1 原子吸光度法
マグネシウム	4.50%		1 原子吸光度法
銅	7.62ppm		1 原子吸光度法
亜鉛	11.1ppm		1 原子吸光度法
マンガン	15.2ppm		1 原子吸光度法
コハル	検出せず	0.05ppm	原子吸光度法
セレン	検出せず	0.05ppm	蛍光光度法
モリブデン	検出せず	1ppm	ICP発光分析法
ヨウ素	検出せず	0.5mg/100g	よう素滴定法
イオウ	6.74%		1 硫酸バリウム重量法

注1. 乾燥試料に対する値。

注2. サイアミン塩酸塩として。ただし、乾燥試料に対する値。

注3. 使用菌株：Saccharomyces cerevisiae(S. uvarum) ATCC 9080。ただし、乾燥試料に対する値。

注4. 使用菌株：Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis(L. leichmannii) ATCC 7830。ただし、乾燥試料に対する値。

注5. ビタミンで誘導体化した後測定した。ただし、乾燥試料に対する値。

注6. ライソソーム沈殿法による。

注7. 使用菌株：Lactobacillus plantarum ATCC 8014。ただし、乾燥試料に対する値。

結果ならびに考察

窒素、リンについては表10に示したように平成5年度の結果と同様、藻類の採取時期、状態によって成分に大きな差が生じていることが明らかになった。ただし、窒素収支の試算など大まかな計算に用いる場合には、乾燥重量は20%、窒素量は乾燥重量の約3%として差し支えないと考えられる。ただし、色調が濃い場合には窒素含有量も多いという結果であったので海水中の窒素の捕捉・回収の目的のためにも色調の濃い不稔性アオサを生産する必要性が明らかになった。

蛋白質、脂質、糖質、ビタミン、ミネラル、脂肪酸、食物繊維等については、表11-1、2に示した。四訂日本食品標準成分表の素干しアオサの値（蛋白質22.1%、脂質0.6%、繊維4.3%、糖質39.1%、灰分18.7%、ビタミンA効力500IU/100g、ビタミンB₁ 0.07mg/100g、ビタミンB₂ 0.48mg/100g、ビタミンC10mg/100g、リン80mg/100g、鉄5.3mg/100g、カルシウム950mg/100g、ナトリウム2.7%、カリウム0.6%）と比較して、蛋白質、カルシウムが約半分の値、灰分、ビタミンA効力、ビタミンB₁、ビタミンB₂、リン、鉄、ナトリウム、カリウムが約3倍から6倍の値であった。

特定栄養素の内、カルシウム、鉄、ビタミンA、ビタミンB₁、ビタミンB₂、ビタミンCについては従来報告されているアマノリ、ワカメなどとほぼ同じ程度の高い含有量であった。マグネシウムは4500mg/100gであり、最も豊富とされているアオノリの1300mg/100gをはるかにしのぐ高い値であった。食物繊維は31%と、アオノリ、アマノリで報告されている値とほぼ同じ値であり、食品の中では食物繊維の多い部類に入った。一方、緑藻はヘキサデカトラエン酸（16:4 ω 3）、 α リノレン酸（18:3 ω 3）及びパリナリン酸（18:4 ω 3）が多いと報告されているが今回分析した α リノレン酸、パリナリン酸は検出限界以下であった。

ビタミンB₁₂は0.009mg/100gであり、アマノリの約3分の1であった。また、荒崎が報告しているアオサのビタミンB₁₂含有量0.006mg/100gよりも

やや多い値であった。

不稔性アオサによる窒素回収と浦ノ内湾をモデルとした窒素収支の試算

漁場浄化のために回収すべき窒素量を浦の内湾をモデルとして、溶存無機態窒素量（DIN）、溶存全窒素量（DTN）、海水中の全窒素量（T-N）、窒素・磷に関する収支、ハマチ養殖から負荷される溶存態窒素の5側面から試算した。

(1) 浦の内湾の溶存無機態窒素量（DIN）からの試算

浦ノ内湾におけるDINの変化とハマチ養殖量との関係を図20に示した。DINの水産用水基準値0.1ppmを安定的に維持するには、給餌型魚類養殖を600t続ける前提でDINを0.02ppm下げる必要がある。DIN0.02ppmは浦ノ内湾全体の溶存窒素量1.7tに相当する。

(2) 浦の内湾の溶存全窒素量（DTN）からの試算

浦ノ内湾におけるDTNの変化とハマチ養殖量との関係を図21に示した。DTNの環境基準値は定められていないが、T-Nの基準値0.2ppmを準用すると、給餌型魚類養殖を600t続ける前提でDTNを0.03ppm下げる必要がある。0.03ppmは浦の内湾全体で2.6tに相当する。

(3) 浦の内湾海水中の全窒素量（T-N）からの試算

浦の内湾の平成5年度のT-Nは0.27ppmである。T-Nの基準値0.2ppmを達成するには0.07ppm減少させれば良い。0.07ppmは浦の内湾全体で6tに相当する。

(4) 浦の内湾の窒素、磷に関する収支からの試算

宗景、木村（高知大）による浦の内湾の窒素、磷に関する収支計算をもとに回収すべき窒素の量を試算した。表12に示すように、浦の内湾全体の窒素計算では、年間ハマチ養殖生産量650tの条件下で、年間27~126tの窒素を回収する手段を講じれば、汚染の進行はとどめられる計算になる。

また、表13に示すように、浦の内湾の海水中の窒素は、負荷された窒素の内、約3分の1は湾外へ移

送され、約3分の2が懸濁物として湾の底に沈降するという計算がなされている。

ハマチ養殖における窒素負荷の内、懸濁性のものを捕捉、浄化する対策の重要性が明かであり、この点に関しては貝類の垂下養殖の推進、「養魚堆積物適正処理技術」等別途の対策が必要である。

(5) ハマチ養殖から負荷される溶存態窒素についての試算

これまでに実施された魚類養殖環境自家汚染、漁

場容量、漁場環境保全などに関する研究から明らかにされているハマチ養殖による漁場汚染負荷量に関する知見をまとめて表14に示した。これらの知見を総合すると、ハマチ養殖から負荷される溶存物質は与えた餌の約12%である。

この結果を窒素で計算すると浦の内湾で養殖されるハマチ500 tからは約12 tの溶存態窒素が負荷される計算になる。この内3分の1が湾外へ移送されると試算すると、残りの8 tを回収すれば良い。

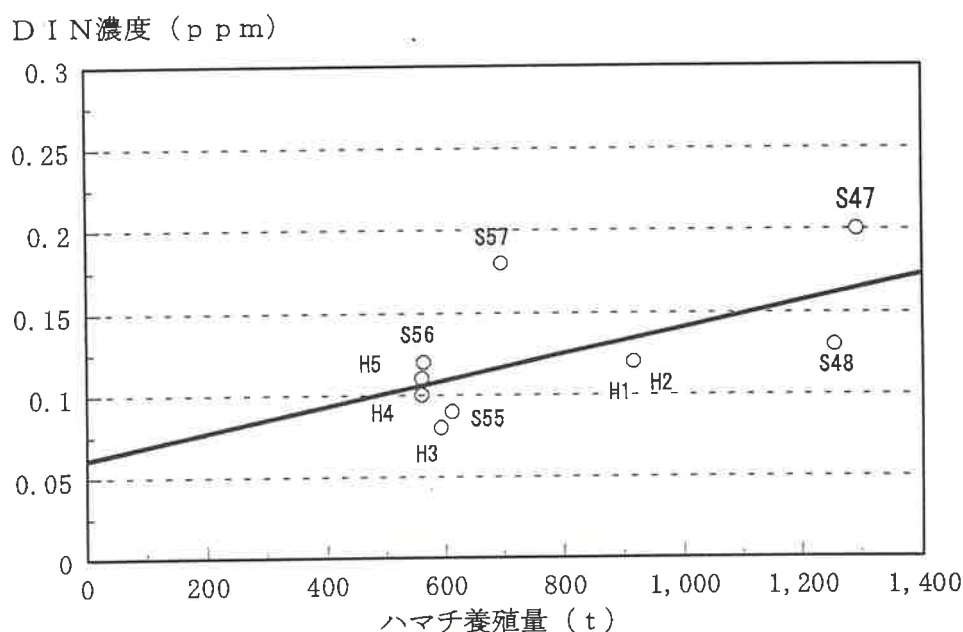


図20 ハマチ養殖量とDINの関係（数値は浦ノ内湾全体の夏期の平均値）

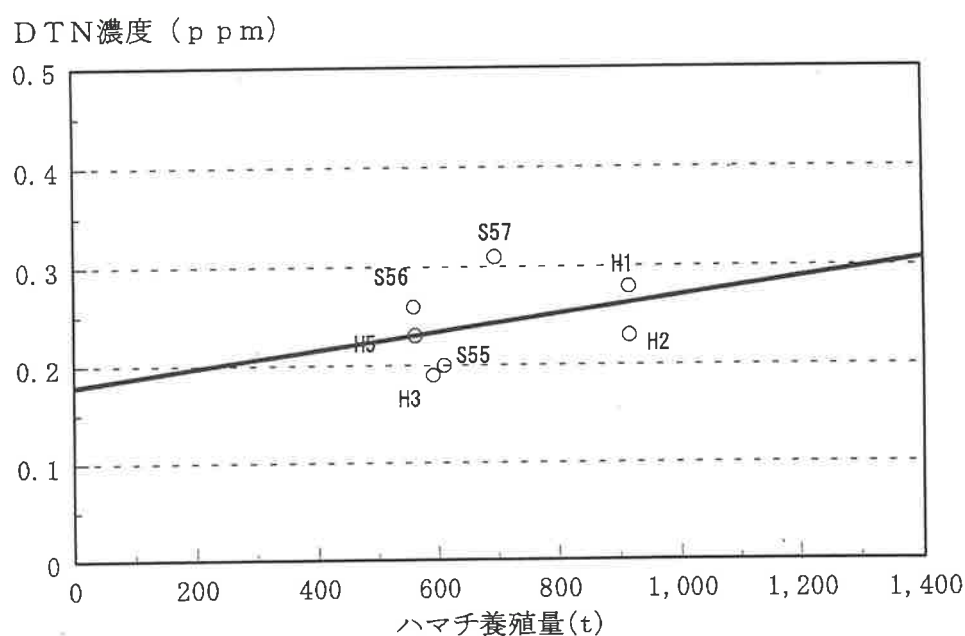


図21 ハマチ養殖量とDTNの関係（数値は浦ノ内湾全体の夏期の平均値）

表12 浦ノ内湾全体を対象としたT-N収支

供 給 量 (t)	消 費 量 (t)	供給量と消費量の差 (1年間に富栄養化する量)
陸上から	海水交換による	
49	希釈	109
養殖から	アサリ等による	
199 ^(注1)	回収	12
(100) ^(注2)		
計	計	
248	122	126 t
(149)		(27)

注1 昭和62年における試算。当時のハマチは650 t。

注2 養殖からの負荷率については、残餌率、餌料効率等により大きく異なり、現在統一の見解を得るべく、作業が続けられている。本報告における調査が行われた昭和62年以降のデータを総合すると養殖からの負荷量は100 t前後と計算される。

表13 浦ノ内湾の海水のT-N収支

供 給 量 (t)	消 費 量 (t)	備考
陸上から	海水交換による希釈	海水のT-N量は、ほぼ現状維持と考える。
49	110	T-N現存量は18.7 t。
養殖から	アサリ等による回収	
199 ^(注1)	12	
底土からの溶出	沈降	
75	252	(巻上げ分を差引)
不明分		
51		
計	計	
374	374	

注1 昭和62年における試算。当時のハマチは650 t。

(6) 試算のまとめ

これまでの試算をまとめると、回収すべき窒素量は、D I Nに関する計算からは1.7 t、D T Nに関する計算からは2.6 t、T - Nに関する計算からは6 t、魚類養殖の窒素負荷のうち溶存窒素に関する計算からは8 t、全窒素負荷量に関する計算からは27～126 tとなった。

不稔性アオサは溶存窒素回収に即効性があるが、他の懸濁性窒素に関しては逆に成長、品質等に被害を受ける弱い側面がある。懸濁性窒素については貝類の垂下養殖等別の方策によって回収する事を考える必要がある。

溶存窒素について回収を求められている量は1.7から8 tである。不稔性アオサはおよそ1ヶ月間に1 m²あたり窒素量で0.024kgのオーダーで生産できる可能性が考えられた。浦の内湾で6,400 m²の不稔

性アオサ養殖を行うとすれば全体で年間1.8 tの窒素が回収できる計算になる。これは先ほどのD I N自然環境基準値0.1ppmを達成するために回収すべき窒素量1.7 tに近い値である。魚類養殖600 t生産するのにほぼ6,400 m²の小割筏の面積が使用されている。したがって、浦の内湾では、養殖筏とほぼ同じ面積の規模で不稔性アオサの養殖を行えば、D I Nに関する水産用水基準を達成できる計算になる。

また、8 tの窒素を回収するには28,000 m²で養殖する必要がある。魚類養殖漁場周辺の浮き小割筏式で6,400 m²、残りの約22,000 m²を干潟養殖とすれば漁場利用計画上も無理のない規模である。

したがって、不稔性アオサを環境浄化に活用しようとする試みは、なお検討すべき課題も多く残されているものの、実用化の可能性が大であると考えられる。

表14 ハマチ養殖による漁場汚染負荷量に関する過去の調査結果

年度	事業名	調査手法の概要	汚染負荷量（対投餌量比）
昭49	魚類養殖環境自家汚染防除技術開発試験	水槽実験	落下餌：0～20% 餌の残滓、懸濁物：1.2～25%
		小割網生簀	糞：5～6%
昭50	魚類養殖環境自家汚染防除技術開発試験	水槽実験	冷凍餌のドリップ：7～17% 餌の懸濁物：8～10%、残餌：3% 糞：9～10%
昭52	魚類養殖環境自家汚染防除開発試験	水槽実験	26.6%（その内、残餌：3%）
昭59	赤潮対策技術開発試験、養殖負荷削減技術開発試験、漁場容量評価手法開発試験	年間総給餌量と生産量の窒素収支から計算	86.3%
昭60	ハマチ配合飼料の実用化試験	小割網生簀、胃内容物測定から餌の逸散率算出	冷凍餌：36%、解凍餌：42% ミンチ肉：77%、配合飼料：42%
昭62	赤潮対策技術開発試験、漁場環境保全技術開発総合試験	年間総給餌量と生産量の窒素収支から計算	82.5%

平成5年度、6年度結果の要約

1) 浮き小割網による不稔性アオサの養殖試験

(1) 浮き小割網による養殖技術の開発

浮き小割筏を用いての量産にほぼ目処がついた。その要点は次の3点である。

(ア) 小割網の形状、張り方

深さを50cm程度に浅く仕立て、網の底が水面下5～10cmになるように、また、弛みが生じないように張る。小割網の深さが深かったり、網の底がたるんでいると汚れがつきやすくなり、洗浄作業も困難であった。

小割網の1辺の大きさが3.2m以上になると、内部を仕切網等で仕切るか底網を付けて底網に段差を付けるなど、海藻が1カ所に片寄らないようにする工夫が必要であった。

1辺の大きさが3.2mの大型小割網と1.5mの小型小割網の比較では大型小割網の方が全体的にやや成長が劣った。

(イ) 収容密度

収容密度が異なる小割網間では増重倍率が異なり、収容密度0.89kg/m²のほうが0.44kg/m²よりも常に増重倍率が低かった。ただし、養殖開始時の密度が1m²あたり0.5から2kgの範囲内では単位面積当たりの収量には大差ないことが明らかになった。

水温、天候などの条件が悪い時期には、密度が高くなると成長が鈍り、病気にかかりやすくなった。したがって、収容密度を1m²あたり1kg前後で養殖を開始し、約1週間サイクルで収穫する方法が、単位面積あたりの収量を上げるために最も効率的な方法であると考えられた。平成6年度はこの方法で養殖試験を実施したところ、高温少雨の影響が顕著になる8月中旬までは収容密度を低くした場合と同様の日間増重率が得られた。

(ウ) 汚れの付着防止策

平成5年度は、海水をポンプアップして小割網内へ直接散水する方法を採用した。海況、気象条件が良好な時期にはこの方法で食用に使える高品質のものが得られた。なお、11月以降の付着生物の付着が

少なくなる時期には、散水による洗浄の必要はなかった。

平成6年度は、大型小割網を用い、波浪による反転移動を利用してアオサの汚れ付着防止を試みた。夏期のフサコケムシが異常繁殖する時期には差が認められなかったが、秋期には付着量が半減した。また、同じ湾内であっても漁場が異なると付着量に大きな差が生じ、汚れの付着防止の必要性も異なることが明らかになった。

(2) 気象、海況と増重率の関係

水温と日間増重率との関係は比較的密接な関係が認められた。平成5年度と6年度の結果を合わせると、適温は24～26℃付近にあった。ただし、同じ水温における日間増重率に大きな幅があり、他の要因の影響も大きいことが示唆された。秋から春にかけての低水温期においては水温と日間増重率との間には一定の関係が認められなかった。

塩分と日間増重率との関係については、平成5年度と6年度の結果を合わせると30‰まではほとんど影響されないが、30‰を越えると急に日間増重率が低下する傾向が認められた。

降雨量と日間増重率との関係については、平成5年度、6年度の結果を合わせると、平均日降雨量が12mm前後までは一定の関係が認められないが、それよりも多くなると日間増重率が高い値で安定するという傾向が認められた。

日照時間、日射量との関係については、平成5年度と6年度の結果を合わせても一定の傾向は認められなかった。

浮き筏で養殖されている不稔性アオサにとっては多雨、日照、日射不足は直接的影響を及ぼさず、それによってもたらされる低水温の影響が大きかったと判断される。また、多雨による影響よりも少雨による高温、高塩分のほうがさらに厳しい影響を受け収量が低下することが明らかになった。

(3) 品 質

高品質のノリがどれだけ生産出来るかは海況、気

象条件と洗浄、付着生物の付いたノリを間引きする等手入れの良否にかかっていた。ただし、平成5年度は低温多雨、6年度は正反対の高温、少雨の異常気象年であり、品質の良いノリを生産するには不利な年であった。平成5年度はドクサレ症の発生、平成6年度はフサコケムシ類が異常発生した。

一方、漁場を異にすると付着生物の付着量など品質も大きく異なることが明らかになった。

色合いについては、7月と秋から初冬にかけて等級が上がる傾向が認められた。水温、降雨量、塩分、日射量、日照時間と品質等級との関係を求めたところ、日射量が多くなるほど品質等級が下がるという傾向が認められた。その他の項目との間には明瞭な関係は認められなかった。

室内実験において照度が低いほうが濃い色調のアオサが得られ、成長には照度が高いほうが良いとの結果が得られた。アオサの品質を云々する場合、色合いが最も重要な要素であるので、照度管理の方法が大きな課題として残された。

2) 干潟での不稔性アオサの養殖試験

干潟において、浮き小割網式、沈下小割網式、袋網式、囲い網式等の養殖試験を実施したが、浮泥に覆われ、長期間の養成は困難であった。

付着生物の付着量は、筏養殖よりも少なく、色合いについても、筏養殖の場合よりもやや色合いが濃く、等級が上になることが多かった。

品質の良い不稔性アオサを養殖する方法としては干潟養殖の方が優れている面も多いので、浮泥対策を考慮した干潟養殖技術開発が検討課題として残された。

3) 不稔性アオサの生理生態調査

(1) 不稔性の確認

約1カ月間観察したところ、天然から採取したアオサは期間中2回成熟し、配偶体を放出した。この間、不稔性アオサは全く成熟しなかった。

(2) 耐 乾 性

風乾により数段階の乾燥状態にし、藻体の水分含

量と生存率の関係を見たところ、不稔性アオサは乾燥には弱いという結果が得られた。

(3) 暗状態での生存力

流水条件の発砲スチロール箱の中で、藻体の現存量の減少経過を観察した。20日目頃から葉体が脆くなり、51日目には約4分の1に、61日目には約10分の1に減少した。完全に枯死したのは73日目であった。

(4) 照度、照射時間と不稔性アオサの成長、色調の関係

15,000、10,000、5,000、1,000LUX14時間照射条件で室内実験した結果、最も成長の良かったのは10,000LUX区であったが、色が抜け、ほとんど無色に近い色になった。

照射条件を9000LUX、3000LUXでそれぞれ10:4、8:6、4:10時間照射したところ、10:4時間区が最も成長が良かったが、4:10時間区も色合いを改善する効果は認められなかった。

照射条件を9000LUX、1000LUXでそれぞれ6:8、8:6時間照射し、9000、3000LUX8:6時間照射と比較したところ成長はやや良くなったものの色合いの改善効果は認められなかった。

4) 原藻保存技術開発試験

種々の条件で乾燥凍結保存したところ、解凍後の生存率が2分の1から3分の1となり、実用的でないことが明らかになった。

5) 不稔性アオサの成分分析

養殖試験で得た不稔性アオサを平成5年度は2ヶ月に1度、6年度は毎月採取し、窒素、リンの分析を行った。季節、環境条件等によって成分に大きな差が生じていることが明らかになったが、窒素収支の試算など大まかな計算に用いる場合には、乾燥重量は20%、窒素量は乾燥重量の約3%として差し支えないと考えられる結果であった。ただし、不稔性アオサの色調と窒素含有量との間にはかなり密接な

関係が認められたので、海水中の窒素回収の目的のためだけであっても色調の濃い不稔性アオサを生産する必要性が明らかになった。

平成6年度は、2月に採取した不稔性アオサについてミネラル、ビタミン、脂肪酸、食物繊維等について分析を行った。基本的には四訂日本食品標準成分表に記載されているアオサ（素干し）とほぼ同じ成分含有量であったが、蛋白質とカルシウムが約半分の値、灰分、ビタミンA効力、ビタミンB₁、ビタミンB₂、リン、鉄、ナトリウム、カリウムが約3倍から6倍の値であった。

特定栄養素の内、カルシウム、鉄、ビタミンA、ビタミンB₁、ビタミンB₂、ビタミンCについては従来報告されているアマノリ、ワカメなどとほぼ同じ程度の含有量であった。マグネシウムは4500mg/100gであり、最も豊富とされているアオノリの1300mg/100gをはるかにしのぐ高い値であった。食物繊維は31%と、アオノリ、アマノリで報告されている値とほぼ同じ値であり、食品の中では食物繊維の多い部類に入った。一方、緑藻に多いとされているαリノレン酸及びパリナリン酸を分析したが検出限界以下であった。

ビタミンB₁₂は0.009mg/100gであり、アマノリの約3分の1であったが、天然アオサで報告されている量よりもやや多い値であった。

6) 不稔性アオサによる窒素回収と浦の内湾をモデルとした試算

漁場浄化のために回収すべき窒素量を浦の内湾をモデルとして試算した。

試算の結果をまとめると、回収すべき窒素量は、D I Nに関する計算からは1.7 t、D T Nに関する計算からは2.6 t、T-Nに関する計算からは6 t、魚類養殖の窒素負荷のうち溶存窒素に関する計算からは8 t、全窒素負荷量に関する計算からは27~126 tとなった。

不稔性アオサは溶存窒素回収に即効性があるが、懸濁性窒素等に関しては逆に成長、品質等に被害を受ける側面がある。懸濁性窒素については貝類の垂下養殖や養魚堆積物捕捉浄化装置等別の方策によって回収、浄化する事を考える必要がある。

溶存窒素について回収を求められている量は1.7~8 tである。不稔性アオサはおよそ1ヶ月間に1 m²あたり窒素量で0.024kgのオーダーで生産できる可能性が考えられた。浦の内湾で6,400 m²の不稔性アオサ養殖を行うとすれば全体で年間1.8 tの窒素が回収できる計算になる。これは先ほどのD I N自然環境基準値0.1ppmを達成するために回収すべき窒素量1.7 tに近い値である。魚類養殖600 t生産するのにほぼ6400 m²の小割筏の面積が使用されている。したがって、浦の内湾では、養殖筏とほぼ同じ面積の規模で不稔性アオサの養殖を行えば、D I Nに関する水産用水基準を達成できる計算になる。

また、8 tの窒素を回収するには28,000 m²で養殖する必要がある。魚類養殖漁場周辺の浮き小割筏式で6,400 m²、残りの約22,000 m²を干潟養殖とすれば漁場利用計画上も無理のない規模である。

したがって、不稔性アオサを環境浄化に活用しようとする試みは、なお検討すべき課題も多く残されているものの、実用化の可能性が大であると考えられる。

引用文献

- 1) 窪田敏文他：漁場環境改善試験II生物法，昭和47年度高知県水産試験場事業報告書，307-317(1972)。
- 2) 平田八郎他：浅海養魚場における不稔性アナオサ変異種の栽培，水産増殖 41(4)，541-545(1993)。
- 3) 右田清治：大村湾産アナオサの不稔性変異種，長崎大学水産学部研究報告57，33-37(1985)。
- 4) 大野正夫：海藻養殖の将来と展望，海藻資源養殖学，緑書房，281-283(1987)。
- 5) 大野正夫：大槌湾・アオサ類の生態，東京大学海洋研究所大槌臨海研究センター報告 9，(1983)。
- 6) Seibin Arasaki: A new aspect of Uluva vegetation along the Japanese coast, Hydrobiologia 116-117, 229-232(1984)。
- 7) Mitsunobu Kamiya et.: Taxonomic studies on Uluva pertusa(Ulvophyceae). I Morphological study, Jpn. J. Phycol. 41, 191-198(1993)。
- 8) Masao OHNO: A Physiological Ecology of the Early Stage of Some Marine Algae, 宇佐臨海実験所研究報告，16(1)，1-46，(1969)。
- 9) 秋山優他：海洋環境と植物プランクトンの光合成，藻類の生態，内田老鶴圃，83~89，(1986)。
- 10) 前迫信彦他：不稔性アナオサの陸上水槽での生産，長崎県福江水産業改良普及所11，21-23(1985)。
- 11) 徳田 廣：海藻の生育環境，海藻資源養殖学，14-33(1987)。
- 12) 谷口道子：随時にノリ糸状体の若培養を得る方法について，日水誌35(4)333-335(1969)。
- 13) 社団法人全国調理師養成施設協会編：最新食品標準成分表(1993)。
- 14) 西澤一俊：同化および貯蔵性物質の検出と同定，藻類研究法，579-591(1979)。
- 15) 西澤一俊他：細胞壁構成物質の検出と同定，藻類研究法，共立出版，602-630(1979)。
- 16) 佐藤孜郎：脂質，海藻の生化学と利用，恒星社厚生閣，46-60(1984)。
- 17) 野田宏行：保険食品としての海藻，水産食品と栄養，恒星社厚生閣，114-128(1984)。
- 18) 大野正夫：新しい海藻資源，水産の研究 3(1)，85~89(1984)。
- 19) 中川平介他：クロダイに対するアオサ添加飼料の効果，水産増殖32(1)，20-27(1984)。
- 20) 許波濤他：ブリ幼稚魚の生残，成長，及び体色に及ぼすアナオサ変異種のフィードバック効果，水産増殖39(2)，133-139(1991)。
- 21) ダナクスマ エドワード他：アナオサの混養によるクルマエビの生態系飼育，水産増殖39(2)，195-200(1991)。
- 22) 許波濤他：マダイ稚魚と体色に及ぼすアナオサ変異種のフィードバック効果，水産増殖38(2) 177-182(1990)。
- 23) 許波濤他：ヒラメ幼稚魚の生残、成長および飼育環境に及ぼすアナオサ変異種のフィードバック飼育効果，水産増殖40(2)207-21，(1992)。
- 24) 徳田 廣：海藻の利用，海藻資源養殖学，緑書房，37-66(1987)。
- 25) 中川平介他：クロダイに対するアオサ添加飼料の効果，水産増殖32(1)，20-27(1984)。
- 26) 大野正夫：緑藻アオサ場の季節的消長，付着生物研究 7(1/2)，13-17(1988)。
- 27) 長濱豊一他：アナオサ変異種の窒素吸収能と細菌属郡との係わり，水産増殖38(3)，285-290(1990)。
- 28) 藤田善彦：水界環境と藻類の生態，藻類の生態，内田老鶴圃，15-51(1986)。
- 29) 横浜康継：海藻の分布と環境要因，藻類の生態，内田老鶴圃，251-308(1986)。
- 30) 有賀祐勝他：環境要因の測定，藻類研究法，共立出版，436-453(1979)。
- 31) 徳田 廣：海藻の生育環境，海藻資源養殖学，緑書房，18~23(1987)。
- 32) 館脇正和：大型藻の分類と培養，藻類研究法，共立出版，99-106(1979)。