

## 宍道湖・中海水産振興対策検討調査事業

### －アオノリ養殖試験－

向井哲也・上ノ菌雅子・中村幹雄

アオノリは全国の汽水域に普通に見られる海藻であり、現在徳島・高知・岡山などの河口部の汽水域で養殖が行われており、本県の中海でも自生が見られる。アオノリ養殖は環境に負荷をかけず逆に水中の窒素・リンなどの栄養塩を吸収し外部に持ち出す効果もあり、富栄養化が問題となる汽水域の漁業として適していると考えられる。これらのことから、中海における水産振興策を考えるに当たってアオノリ養殖は有望な方策と考えられる。本県でのアオノリ養殖試験に関してはこれまで平成 11、12 年度と養殖試験を委託実施して他県での手法が適用可能であることは示唆されたものの、中海におけるアオノリの生長は十分なものとは言えなかった。今年度は、採苗方法や養殖の方法・地点・時期などについてさらに検討を加え、中海におけるアオノリ養殖の可能性を模索した。なお、今年度の試験にあたっては平岡雅規氏（高知県海洋深層水研究所）に指導・助言の他、培養株の提供など多大なご協力を頂いた。

#### 試験の目的

これまでの平成 11、12 年度のアオノリ養殖試験の結果、中海のアオノリについても母藻細断法で採苗が可能であることと、中海に張った養殖網でアオノリが生長することは確認された。しかし、過去の試験では養殖業が成立するほどのアオノリの生長は見られなかった。その要因として母藻、採苗技術、試験時期、試験地点等が考えられた。このため、今年度は母藻や採苗方法、養殖方法にさらに検討を加え、春季（5～6月）、秋季・冬季（10～12月）、中海 5 地点において試験を実施した。また種苗の確保という観点からアオノリの採苗網の冷蔵保存技術についても試験を行った。

また、アオノリ養殖についての基礎資料とするため、アオノリの系統培養や株の保存の技術、株の種類の違いについて既存の知見が適用可能か検証を行い、中海におけるアオノリの株の種類を調査した。また中海に生育する天然のアオノリ類についてその分布と季節による消長を観察した。

#### 試験内容と方法

##### (1) 養殖試験

平岡・團（徳島水試）による母藻細断法を用いてアオノリの人工採苗を行い、採苗した養殖網を中海に張り込み生長を観察した。試験は春季 1 回（4 月～6 月）1 回と秋季 2 回（10 月～12 月）実施した。試験の実施期日などの条件は表 1 にまとめた。

##### A. 母藻

母藻はすべて中海産のアオノリを用いた。種類はスジアオノリと思われる。株の由来については中海に自生しているアオノリ群落から採集してそのまま使用したものを野生株、野生の原藻から株を単離・培養・増殖したものを培養株と呼称し、それぞれ数種類の株を試験に使用した。培養株は単一のクローン株であるが、野生株は実際にはいくつかの株の混合体であると考えられる。母藻の採集場所などについては表 2 に記した。

##### B. 母藻の成熟

母藻の成熟と採苗方法については平岡・團の母藻細断法に基づいて行った。成熟試験の用水には、中海からポンプアップした水を1 $\mu$ フィルターでろ過した後塩分20PSUに調整した水（以下20PSU中海水とする）を用いた。アオノリ母藻10~30g（湿重量）を20PSU中海水でよく洗浄した後ミキサーで60秒間細断し、目の細かいネット上で泡が出なくなるまで20PSU中海水で数回洗浄した。細断・洗浄した母藻を45cm水槽に張った20PSU中海水30lに入れ、さらにアマノリ用栄養剤（第一製網株式会社 ポルフィランコンコ）を0.05%の濃度になるように加えた。水槽はインキュベータ内で水温22.0℃に保ち、蛍光灯（30W×2）により明12時間、暗12時間の周期で照明を行った。水槽の水はエアポンプで常に攪拌し、1日1回換水を行い成熟の様子を毎日観察した。

### C. 採苗

細断した母藻の成熟が確認された時点で、1.5トン屋外水槽に15~20PSUに調整した中海水500l（アマノリ用栄養剤0.02%添加）を張り、試験養殖網（1.2m×10.0m）10枚と母藻を投入し2、3日間養殖網に胞子を付着させた。水槽内の水はエアレーションにより攪拌し、外気温が下がった冬季の試験時は水槽をヒーターで20℃に加温した。なお、冬季試験では試験用の小さな養殖網（1.2×1.0m）を用い、150lアクリル水槽で採苗と育苗を行った。

表1 試験条件

試験時期	株名	母藻の量 (湿重量g)	成熟試験 開始日	採苗日	採苗水槽(1.5トン)に 投入した養殖網の枚数 (養殖網1.2×10.0m)	育苗時の 平均水温 (℃)	育苗時の 塩分濃度 (PSU)	沖出し日	沖出し時の網の水深
春季	培養株A	26.8	H13.4.22	H13.5.7	20	20(外気温)	18	H13.5.25	水深10cm,30cm(St.1~5) 浮き流し式(St.2)
	野生株C	30.0	H13.4.19	H13.4.27	12				
秋季	野性株A	16.3	H13.9.25	H13.9.28	10	20(外気温)	18	H13.10.16	水深10cm(St.1~5)
	野性株B	16.3			10				
冬季	培養株A	15.1	H13.11.5	H13.11.9	7	23.0(保温)	20	H13.12.4	水深10cm,70cm (St.1~5)
	培養株B	9.4			7				
	培養株C	1.4			H13.10.2				
冷蔵網試験 (1回目)	野生株D	21.5	H13.5.11	H13.5.14	2	20~30 (外気温)	20~15	H13.9.27	浮き流し式(St.2)
冷蔵網試験 (2回目)								H13.10.16	水深10cm(St.2)

表2 試験に使用した母藻

試験時期	株名	採集日	採集場所	株の交配歴	生殖	生殖細胞の鞭毛数
春季	培養株A	H12.11.16	大根島	無	無性生殖	2
	野生株C	H12.4.19	意東	-	-	-
秋季	野性株A	H12.9.4	大海崎	-	-	-
	野性株B	H12.9.25	意東	-	-	-
冬季	培養株A	春季の培養株Aに同じ				
	培養株B	H12.11.24	大根島	無	不明	4
	培養株C	H12.11.16	大根島	有	有性生殖	-
冷蔵網試験 (1回目・2回目)	野性株D	H12.5.11	大橋川	-	-	-

#### D. 育苗

採苗後、1.5 トン水槽の水量を1,000 リットルに増やし、約3週間養殖網を藻体の長さが2~10cmになるまで育苗した。水槽は日当たりの良い場所に設置し、2, 3日に一度網返しを行った。水槽内の水はエアレーションにより攪拌し、外気温が下がった冬季の試験時は水槽を20℃に加熱した。

#### E. 沖出し

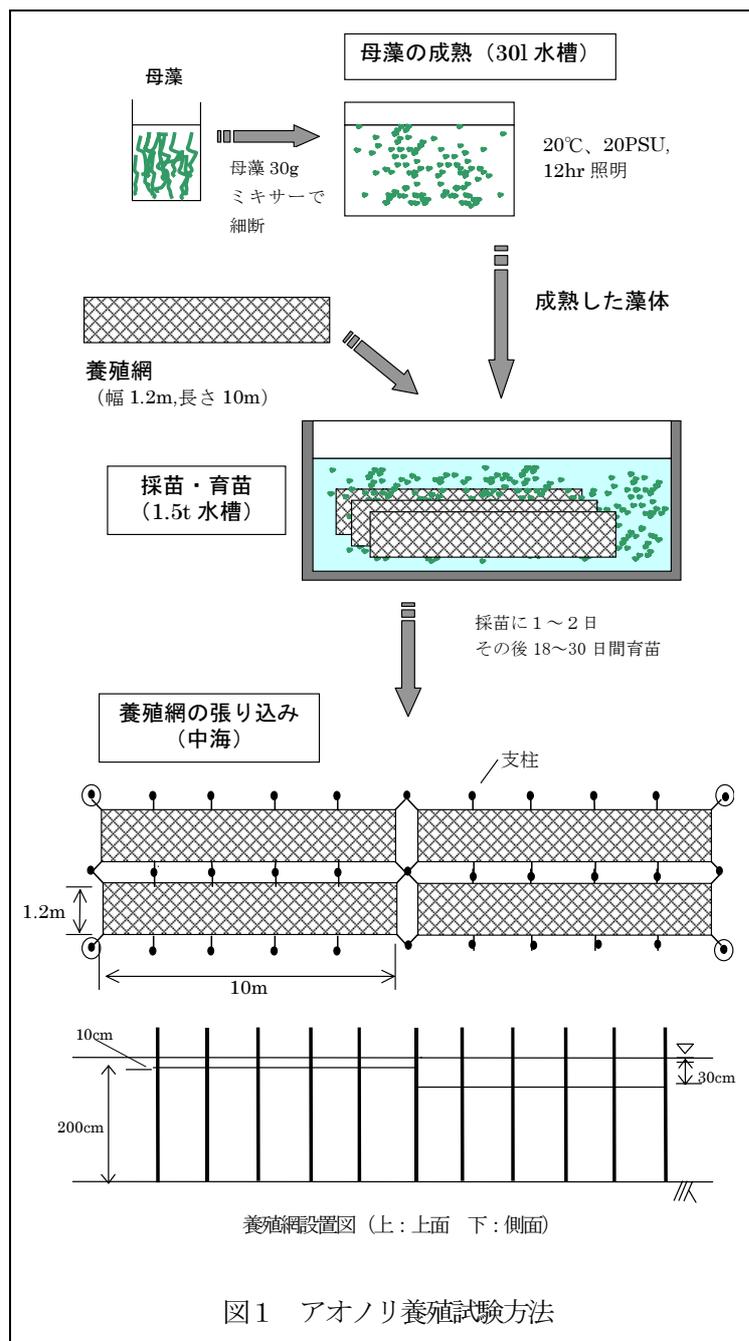
中海5地点に支柱を設置し、育苗した養殖網を張ってアオノリの生長を約1ヶ月の間観察した。養殖網の設置地点はSt.1 (安来)、St.2 (意東)、St.3 (大海崎)、St.4 (大根島)、St.5 (江島) とし、いずれも沿岸近くの水深約2mの地点に網を設置した(図2)。養殖網の設置水深は春季は水深10cmと30cmの2通り、秋季は水深10cmの1通り、冬季は水深10cmと水深70cmの2通りに設定した(図1)。また、春季は意東において試験的に浮き流し式の養殖試験も行った。

沖出し日は春季：平成13年5月25日、秋季：平成13年10月16日、冬季：平成13年12月4日とした。生長の観察は週1回もしくは2回行い、現場で網の状況の観察と写真撮影を行い、養殖網から網糸を10cm切り取って持ち帰りアオノリの藻体長と乾重量を測定した。藻体長については網糸10cmの中の藻体から長いもの上位20本の平均をとった。藻体長は春季はSt.2 (意東)のみ測定したが、秋季は全地点測定した。

また、十分にアオノリが生育した網については最も繁茂したと思われる時期に網を1~3m分切り取って持ち帰り、網に付着したアオノリを全て収穫して脱水・乾燥後その藻体の乾燥重量を計測した。さらに、秋季の試験においては十分な生育の見られた養殖網について、最も繁茂したと思われる時期の網糸1cmを切り取り全ての藻体の長さを計測してその藻体長の分布を記録した。

養殖網の観察時には現場の表層の水温・塩分の測定を行った。また、St.2 (意東)においては水質計(HydroLab社 DataSonde4)を常設し、表層(水深30cm)の水温・塩分の連続観測を行った。

#### (2) 採苗網の冷蔵保存試験



春季に採苗した養殖網を冷蔵保存し、秋季に沖出ししてアオノリが生長するかを試験した。試験には大橋川で採取したアオノリを母藻に用い、5月14日に母藻細断法により採苗を行った。採苗した養殖網(1.2m×10m×2枚)をビニール袋に入れ、ノリ用栄養剤を0.05%添加した20PSU海水2lを加え、冷蔵庫中で4.0℃で保存した。保存した養殖網は9月27日および10月30日にSt.2(意東)に浮き流し方式で沖出しし、生長を観察した。

### (3) 培養試験

#### A. 株の保存と培養

株の保存・培養は、主にインキュベーター内で行った。基本的な条件としては庫内設定は温度18-22度、照度2000-5000lux、明暗周期12:12時間とした。また、培養液は塩分濃度20psu前後の海水1lにアマノリ用栄養剤(ポルフィランコンコ)0.5ccを添加したものをを用い、2週間に一度交換をした。

保存は株別に藻体を少量ずつ(1-2枝ないしは1g以下)50ccサンプル瓶に培養液と共に入れて行い、量が多い場合は300-500ccフラスコを用いエアレーションをかけた。

#### B. アオノリの種類と株の種類の判別

アオノリの株の種類を判別するため、母藻を成熟誘導にかけ生殖細胞を得て、これらの走光性と鞭毛数を調べた。方法はアオノリ藻体0.02gをメスで細かく裁断し、10cmシャーレに培養液30cc(塩分15-25psu)とともに入れた。株の種類の判別に先立って培養液の塩分濃度を変えて成熟誘導を行い、成熟に最適な条件を確かめた。成熟誘導を開始し、毎日培養液を交換をすると通常3-7日以内に生殖細胞が放出される。放出直後の遊泳生殖細胞をパスツールピペットでごく少量取り、スライドグラスに一滴落として広げる。カバーガラスをかけずにそのまま顕微鏡観察すると、400倍で水滴の縁の所に動けなくなった生殖細胞が見られるのでそれらの鞭毛数を調べた。さらにシャーレ内の残りの遊泳生殖細胞をできるだけ多くパスツールピペットで集め、先のスライドグラス上に乗せて大きな水滴を作る。このスライドグラスを電気スタンド下を持って行き一定方向から光を当てて、水滴内での生殖細胞の走光性を調べた。

### (4) 分布調査

平成13年5月～平成14年3月まで毎月1回、中海7地点の沿岸部を目視観察しアオノリ類の分布と消長を観察した。

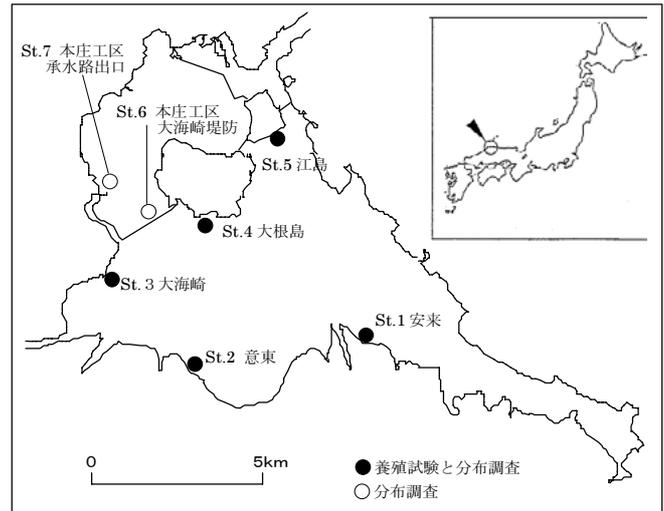


図2 試験地点

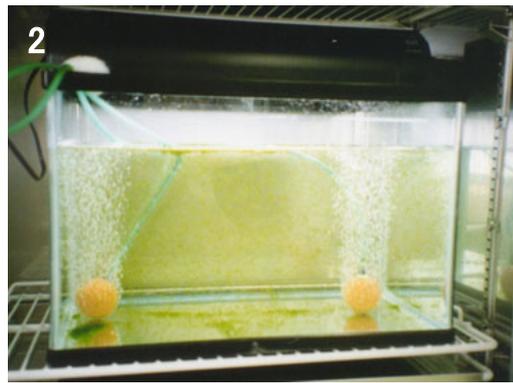


図3 アオノリの採苗・育苗作業

1 母藻の細断 2 裁断した母藻の成熟 3 採苗 4 育苗開始時 5 育苗後14日 6 支柱式養殖施設

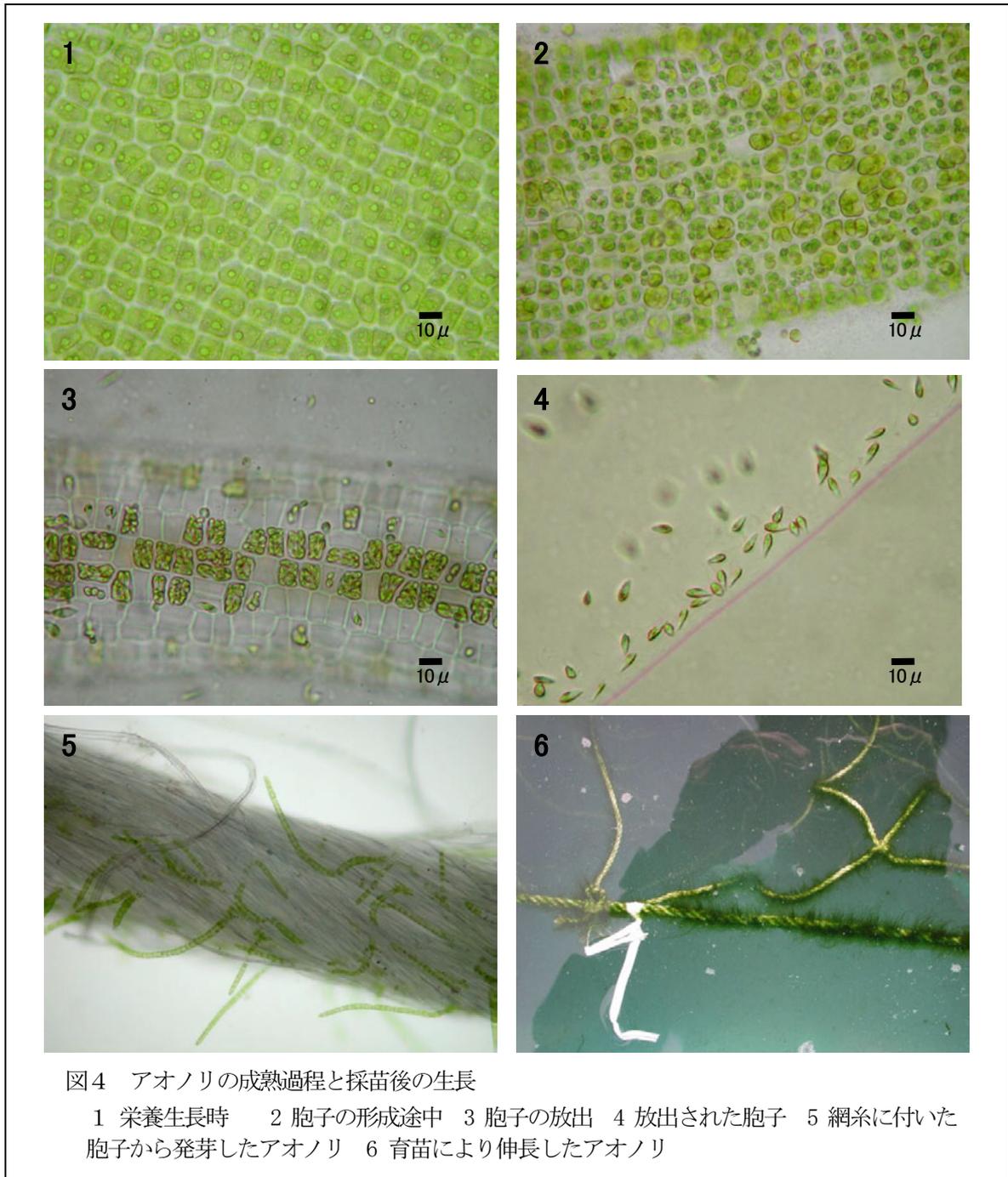
## 調査結果

### (1) 養殖試験

#### A. 母藻の成熟と採苗・育苗

春季・秋季・冬季いずれの試験でも母藻細断後3~10日後に母藻の成熟や胞子の放出が確認された(図4)。ただし、成熟や胞子の放出がそれほど同期しせず、日毎徐々に成熟細胞の割合が増加してゆく場合も多かった。細断後時間が経ても成熟せずに再び栄養生長する母藻断片も株によってはかなり多かった。

採苗後はどの試験においても1週間ほどで網糸の表面が薄い緑色になり、検鏡してみるとアオノリの芽が多数付着していることが確認された。育苗中に藻体は生長を続け、育苗期間中に藻体は長いものでは5~10cmに伸長した。



## B. 沖出し後の生長

### a. 春季

春季試験においてはアオノリは試験条件による差はあったものの概ね良好な生長を示した。春季試験における各地点でのアオノリの生育状況一覧を表3に、図5に養殖網の状況写真をそれぞれ示した。また、図6に採取した網糸サンプルによる生長例の比較写真を、図7に網糸10cmあたりのアオノリ藻体重量（網糸10cmあたり乾重量）の変化をそれぞれ示した。また、St.2（意東）における藻体長と芽数の変化を図8に示した。また、一部の試験地点で最盛期に収穫したアオノリの収量を図9に示した。

一般的なアオノリの生長の傾向は次のようであった。アオノリは沖出し後から急速な生長を示し12日後の観察で繁茂のピークを示した。その時点では藻体は濃い緑色の柔らかいスジ状の藻体で、藻体長は長いもので50cm以上に達した。ただし、この時点ですでに一部の藻体では成熟が始まり先端部分から白化や消失が始まっていた。この最盛期に収穫すると、地点によっては養殖網（幅1.2m）の長さ1mあたり乾燥重量で概ね100~350gのアオノリ藻体が得られた。養殖網には場所によってはヨコエビの巣、シオミドロ、ワレカラ等の付着物もかなり多かった。その後沖出し後21日以降の観察では、藻体が幅広くもろく切れやすい状態で色も薄くなっており、藻体は先端から成熟して枯れるかあるいは波浪により根元から脱落して非常に少なくなった。St.1ではその後再びアオノリが伸長してきたが、他の地点ではその後は養殖網にアオノリが繁茂することはなかった。

アオノリの成長に関しては、設定した試験条件の中では試験地点による差が最も大きかった。St.1（安来）とSt.4（大根島）では特に良い生長を示し藻体長が50cm以上に伸長した。付着物も少なく藻体の色も濃い緑色であった。St.3（大海崎）、St.2（意東）でもそれに次ぐ生長を示した。ただし、St.3（大海崎）では藻体の色がやや悪いこととヨコエビの巣等の付着物が多く、株によっては最盛期が沖出し後21日と他の地点より遅かった。St.2（意東）では付着物は少なく藻体の色も良好であった。St.5（江島）では概して生育が悪く、ヨコエビ、ワレカラ、シオミドロ等の付着物が目立った。株による違いでは、概して培養株Aの方が生長が良い傾向があり、藻体の色・形態において培養株Aは野生株Cに比べより濃い緑色で細長い藻体に生長した。また、養殖網の設置水深では、水深10cmに設置した養殖網の方が水深30cmに設置した網よりアオノリの生長が良い傾向があった。

なお、試験期間中の中海の水温は約20~25°C、塩分は6月上旬までは約20PSU前後を推移していたが、それ以降は15~3PSUと大きく変動した。水温・塩分の地点による差はわずかであった。各地点における水温・塩分の観測結果を図10に、St.2における水温・塩分の連続観測の結果を図11にそれぞれ示した。

表3 各試験におけるアオノリの生長の概要

春季(5/26～)					
地点	株	アオノリ生長の良否	最も繁茂した時期	藻体の色・状態 (最盛期)	網の付着物等
St. 1 (安来)	野生株C	◎非常に良い。密生して生えており、藻体も長く伸びた。(藻体長50cm以上)	6月6日 (沖出し後12日)	濃い緑色だがやや太い藻体。	少ない。
	培養株A	◎非常に良い。密生して生えており、藻体も長く伸びた。(藻体長50cm以上)	6月6日 (沖出し後12日)	濃い緑色、スジ状で細長い藻体。	少ない。
St. 2 (意東)	野生株C	○良い。密生して生えており、藻体も長く伸びた。(藻体長30～40cm)	6月6日 (沖出し後12日)	濃い緑色、スジ状で細長い藻体。	少ない。
	培養株A	○良い。密生して生えており、藻体も長く伸びた。(藻体長30～40cm)	6月6日 (沖出し後12日)	濃い緑色、スジ状で細長い藻体。	少ない。
St. 3 (大海崎)	野生株C	◎非常に良い。密生して生えており、藻体も長く伸びた。(藻体長50cm以上)	6月6日 (沖出し後12日)	やや薄い緑色。スジ状	ヨコエビの巣が多い。 シオミドロも見られる。
	培養株A	◎非常に良い。密生して生えており、藻体も長く伸びた。(藻体長50cm以上)	6月13日 (沖出し後21日)	やや薄い緑色。スジ状	ヨコエビの巣が多い。 シオミドロも見られる。
St. 4 (大根島)	野生株C	◎非常に良い。密生して生えており、藻体も長く伸びた。(藻体長50cm以上)	6月6日 (沖出し後12日)	濃い緑色、スジ状だがやや太い藻体。	シオミドロが見られる。
	培養株A	◎非常に良い。密生して生えており、藻体も長く伸びた。(藻体長50cm以上)	6月6日 (沖出し後12日)	濃い緑色、スジ状で細長い藻体。	シオミドロが見られる。
St. 5 (江島)	野生株C	×悪い。まばらにしか生えず、生えた部分でも藻体長は10～20cm	6月6日 (沖出し後12日)	やや薄い緑色、やや太く縮れ気味の藻体。	ヨコエビの巣、フレカラが多い。 シオミドロも見られる。
	培養株A	×悪い。まばらにしか生えず、生えた部分でも藻体長は10～20cm	6月6日 (沖出し後12日)	濃い緑色、スジ状で細長い藻体。	ヨコエビの巣、フレカラが多い。 シオミドロも見られる。
秋季(10/16～)					
地点	株	アオノリ生長の良否	最も繁茂した時期	藻体の色・状態 (最盛期)	網の付着物等
St. 1 (安来)	野生株A	○良い。密生して生えており、藻体も長く伸びた。(藻体長30～40cm)	11月5日 (沖出し後20日)	濃い緑色、スジ状で細長い藻体。	少ない。
	野生株B	○良い。密生して生えており、藻体も長く伸びた。(藻体長30～40cm)	11月5日 (沖出し後20日)	濃い緑色、スジ状で細長い藻体。	少ない。
St. 2 (意東)	野生株A	×悪い。まばらにしか生えず、生えた部分でも藻体長は10～20cm	10月30日 (沖出し後14日)	薄い緑色。やや幅がある藻体。	ヨコエビの巣が多い。 シオミドロも見られる。
	野生株B	×悪い。まばらにしか生えず、生えた部分でも藻体長は10cm程度。	10月30日 (沖出し後14日)	薄い緑色。やや幅がある藻体。	ヨコエビの巣が多い。 シオミドロも見られる。
St. 3 (大海崎)	野生株A	×悪い。密に生えているが、藻体長が2～3cm以上に伸びない。	11月2日 (沖出し後17日)	濃い緑色、スジ状。先端が刈り揃えられたように短くなっている。	少ない。
	野生株B	×悪い。密に生えているが、藻体長が2～3cm以上に伸びない。	10月30日 (沖出し後14日)	濃い緑色、スジ状。先端が刈り揃えられたように短くなっている。	少ない。
St. 4 (大根島)	野生株A	×悪い。まばらにしか生えず、生えた部分でも藻体長は10～20cm	11月2日 (沖出し後17日)	薄い緑色。やや幅がある藻体。	ヨコエビの巣が多い。 シオミドロも見られる。
	野生株B	×悪い。まばらにしか生えず、生えた部分でも藻体長は10～20cm。	11月2日 (沖出し後17日)	薄い緑色。やや幅がある藻体。	ヨコエビの巣が多い。 シオミドロも見られる。
St. 5 (江島)	野生株A	○良い。かなり密に生え、生長良い。(藻体長30～40cm)	11月12日 (沖出し後27日)	やや薄い緑色。少し幅がある藻体。	シオミドロが見られる。
	野生株B	○良い。かなり密に生え、生長良い。(藻体長40～50cm)	11月12日 (沖出し後27日)	やや薄い緑色。少し幅がある藻体。	シオミドロが見られる。
冬季(12/4～)					
地点	株	アオノリ生長の良否	最も繁茂した時期	藻体の色・状態 (最盛期)	網の付着物等
St. 1 (安来)	培養株A・B・C	×悪い。ほとんど生長がなく、わずかにまばらに生えたのみ。	-	薄い緑色。やや幅がある藻体。	少ない。
St. 2 (意東)	培養株A・B・C	×悪い。まばらに生えた部分では藻体長10～20cm。	-	やや薄い緑色。やや幅がある藻体。	シオミドロが見られる。
St. 3 (大海崎)	培養株A・B・C	×悪い。ある程度密に生えたが、生長は数cmしかない。	-	薄い緑色。やや幅がある藻体。	シオミドロが多い。
St. 4 (大根島)	培養株A・B・C	×悪い。ほとんど生長がなく、わずかにまばらに生えたのみ。	-	薄い緑色。やや幅がある藻体。	少ない。
St. 5 (江島)	培養株A・B・C	×悪い。ほとんど生長がなく、わずかにまばらに生えたのみ。	-	薄い緑色。やや幅がある藻体。	少ない。

野生株C

培養株A

St. 1  
安来  
⇒



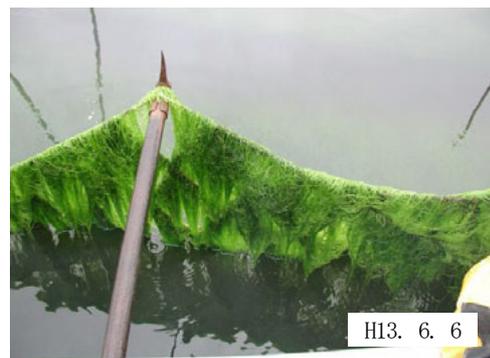
St. 2  
意東  
⇒



St. 3  
大海崎  
⇒



St. 4  
大根島  
⇒



St. 5  
江島  
⇒



図5 春季試験 沖出し後のアオノリの生育状況（水深10cm、最盛期の状態）

H12. 5.25  
(沖出し当日)

H12. 5.30  
(沖出し後5日)

H12. 6. 6  
(沖出し後12日)

H12. 6.13, 15  
(沖出し後21, 23日)

H12. 6.21  
(沖出し後27日)

St. 1  
安来  
⇒



St. 2  
意東  
⇒



St. 3  
大海崎  
⇒



St. 4  
大根島  
⇒



St. 5  
江島  
⇒



図6 春季試験 沖出し後のアオノリの生長 (培養株A、水深10cm)

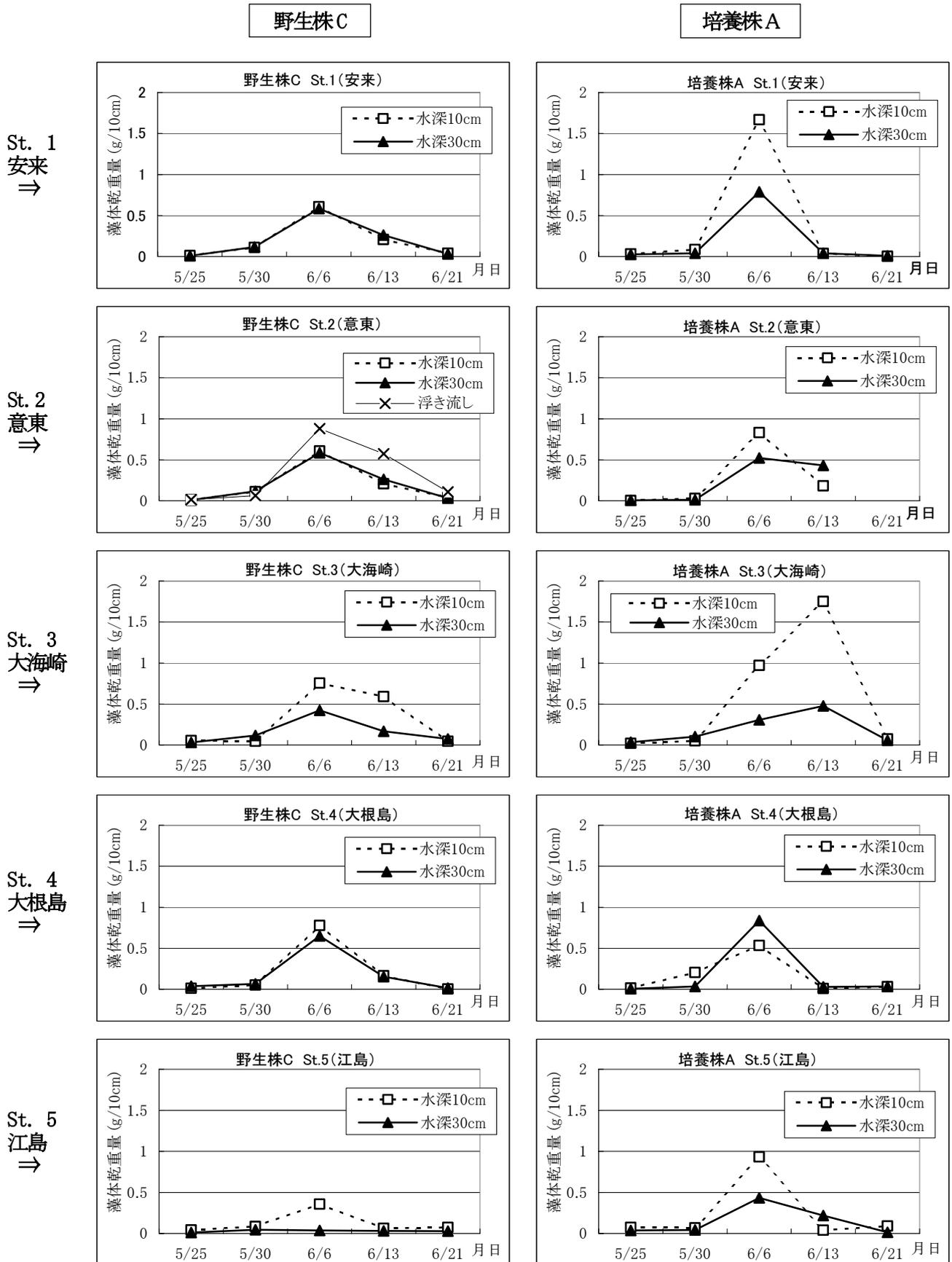


図7 春季試験 沖出し後のアオノリ藻体重量 (網糸 10cm あたり乾燥重量) の変化

St. 2  
(意東)  
⇒

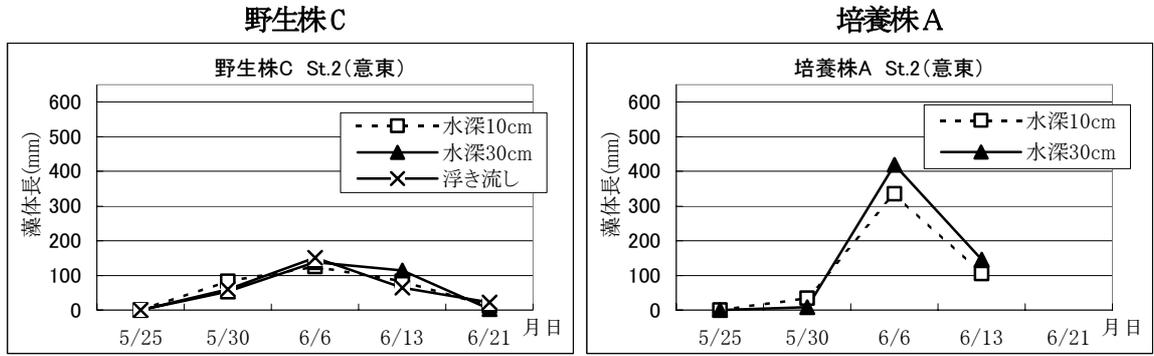


図8 春季試験 沖出し後のアオノリ藻体長 (網糸 10cm 中の長い個体 20 本の平均) の変化

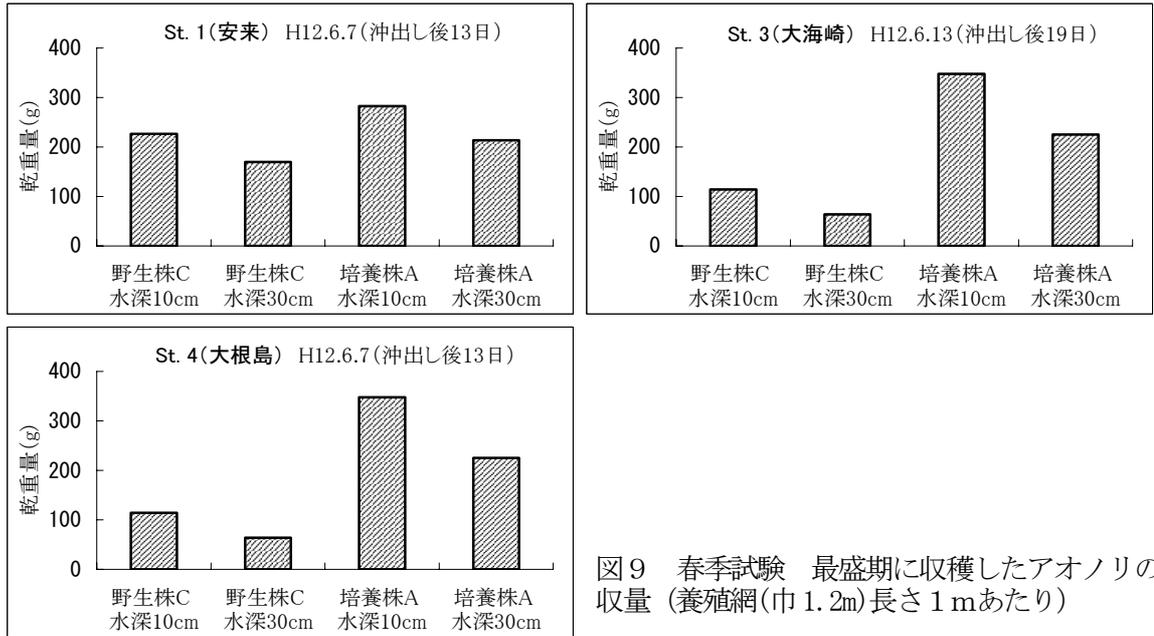


図9 春季試験 最盛期に収穫したアオノリの収量 (養殖網(巾 1.2m)長さ 1mあたり)

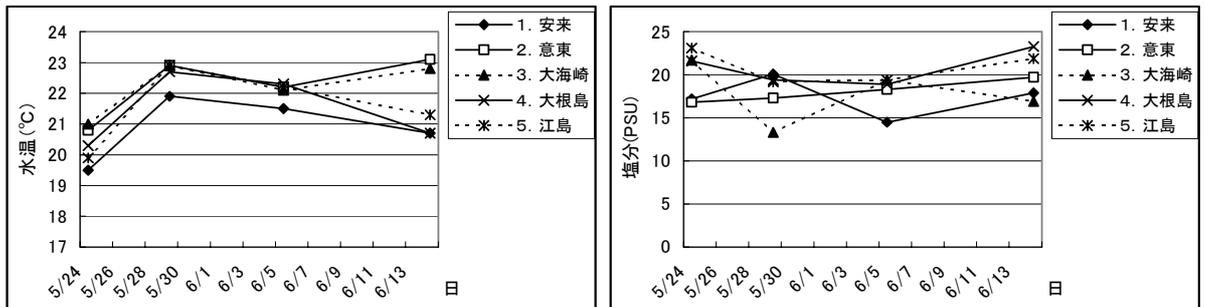


図10 春季試験における各地点の水温・塩分

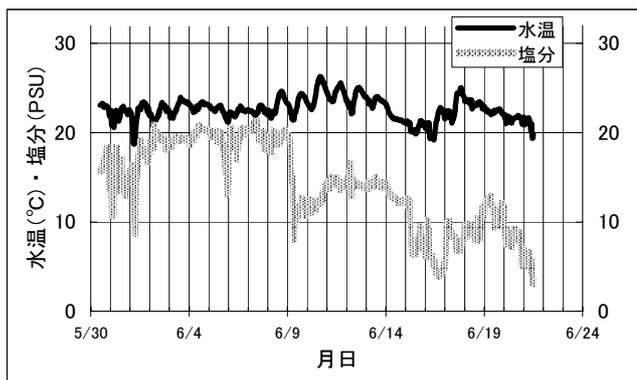


図11 春季試験 St.2における水温・塩分の連続観測結果

## b. 秋季

秋季試験においては、アオノリは地点によってはある程度の生長を示したものの春季と比較すると生長が劣り、地点によってはほとんど生長しないものもあった。各地点でのアオノリの生育状況を表3に、最盛期の養殖網の写真を図12にそれぞれ示した。また、図13に採取した網糸サンプルによる生長の比較写真を、図14にアオノリの藻体長（網糸10cm中の長い個体20本の平均）と藻体重量（網糸10cmあたりの乾重量）の変化をそれぞれ示した。一部の試験地点で最盛期に収穫したアオノリの収量を図15に示した。またSt.2（意東）における藻体長と芽数の変化を図16に示した。

春季試験よりアオノリは生長が遅く沖出し後2～4週間後に繁茂のピークを示したが、藻体長は長いものでも500mm以下であった。最盛期に収穫したアオノリの量も養殖網（幅1.2m）の長さ1mあたり乾燥重量で50g未満と春季と比較するとかなり少なかった。秋季試験でも、春季と同様藻体は最初は柔らかいスジ状であったが、2～3週間後から徐々に藻体の巾が広くもろくなりやがて成熟や波浪で脱落した。

秋季試験でも春季と同じく試験地点による生長の差が大きく、株の種類による生長差は明確でなかった。秋季試験ではSt.1（安来）とSt.5（江島）で比較的生長が良好であり、St.1では沖出し後20日、St.5では沖出し後27日後に繁茂のピークを迎え、どちらも藻体長が400～500mm前後に伸長した。両地点とも藻体の状態が濃い緑色のスジ状の良好なものであったが、St.5ではシオミドロの付着がやや多かった。St.2（意東）St.4（大根島）では養殖網のアオノリの生長にかなりむらがあり藻体長も300mm以下であった。St.3（大海崎）では藻体はかなり高密度で均一に生えていたものの、藻体長が20～30mm前後にまでしか生長しなかった。

なお、水温・塩分の観測結果を図17,18に示した。試験期間中の中海の水温は当初は20～15℃で、11月中旬以降は12～13℃まで低下した。塩分は概ね5～18PSUの範囲であったが変動が大きく、St.2の連続観測結果を見ると0.1PSU程度に急激に低下したこともあった。

## c. 冬季

冬季においては、平成13年12月6日～平成14年1月10日まで観察を続けたが、どの地点でもアオノリは養殖網の一部においてまばらに生長が見られた程度で、養殖網の大部分の部位でほとんど生長しないまま脱落したりあるいはシオミドロに覆われ生長が止まっていた（図20）。株については培養株Cは他の株に比較して良い生長を示し、まばらに生えた部分では40～60mm程度の長さになった。生長が見られたものについては概して水深70cmの方が水深10cmより生長が優れていた。

なお、冬季試験時の中海の水温は12～5℃程度まで低下していた。塩分は概ね5～20PSUの範囲であった。（図17）

### (2) 採苗網の冷蔵保存試験

9月27日にSt.2に沖出した冷蔵網のアオノリは、20日後の10月16日に採集したところ藻体長（網糸10cm中の長い個体20本の平均）312mm、藻体乾重量（網糸10cmあたり）380mgと、ある程度の生長が見られた（図19）。10月30日に沖出した冷蔵網は沖出し後しばらくして珪藻に覆われ、約1ヶ月間観察したがアオノリの生長は見られなかった。

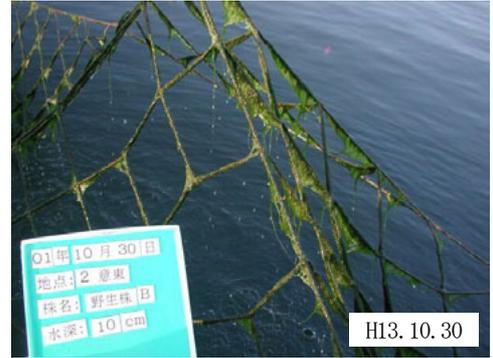
野生株A

野生株B

St. 1  
安来  
⇒



St. 2  
意東  
⇒



St. 3  
大海崎  
⇒



St. 4  
大根島  
⇒



St. 5  
江島  
⇒

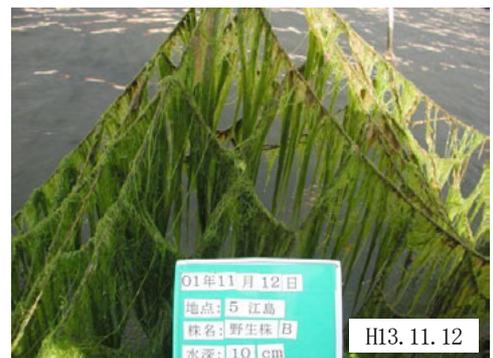


図12 秋季試験 沖出し後のアオノリの生育状況 (水深10cm、最盛期の状態)



図 13 秋季試験 沖出し後のアオノリの生長 (野生株B、水深10cm)

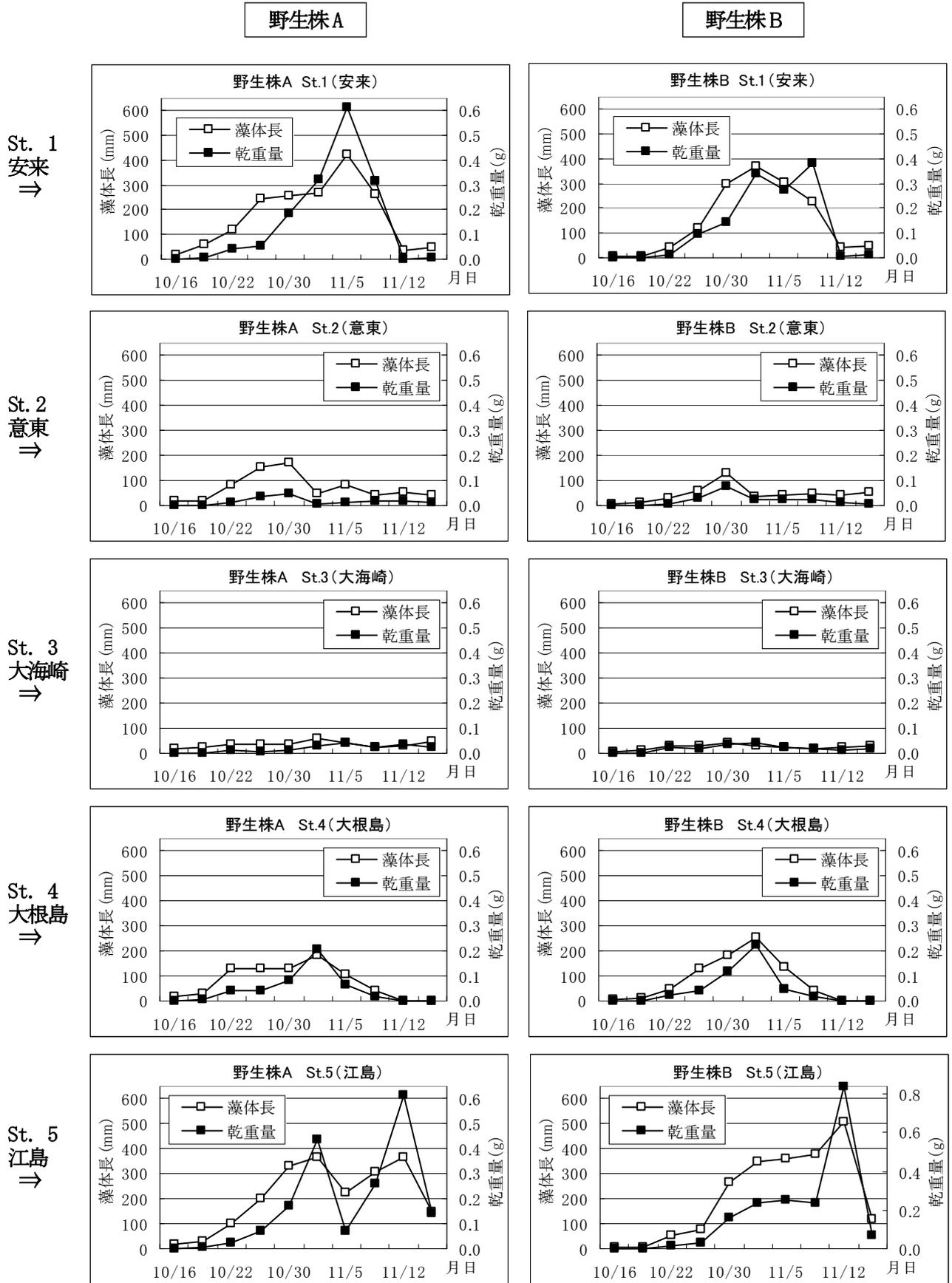


図14 秋季試験 沖出し後のアオノリ藻体長(網糸10cm中の長い個体20本の平均)と藻体乾重量(網糸10cmあたり)の変化(水深10cm)

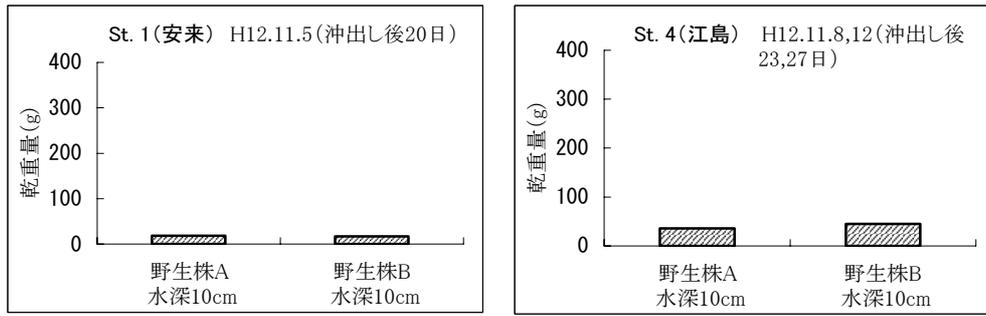


図15 秋季試験 最盛期に収穫したアオノリの収量 (養殖網(巾1.2m)長さ1mあたり)

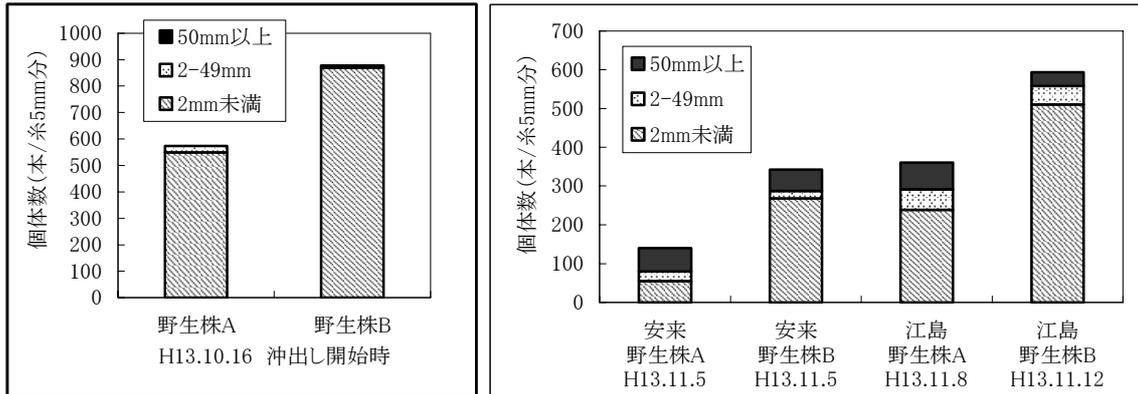


図16 秋季試験 アオノリの長さ別の個体数 (沖出し開始時と最盛期での網糸5mmあたりの個体数)

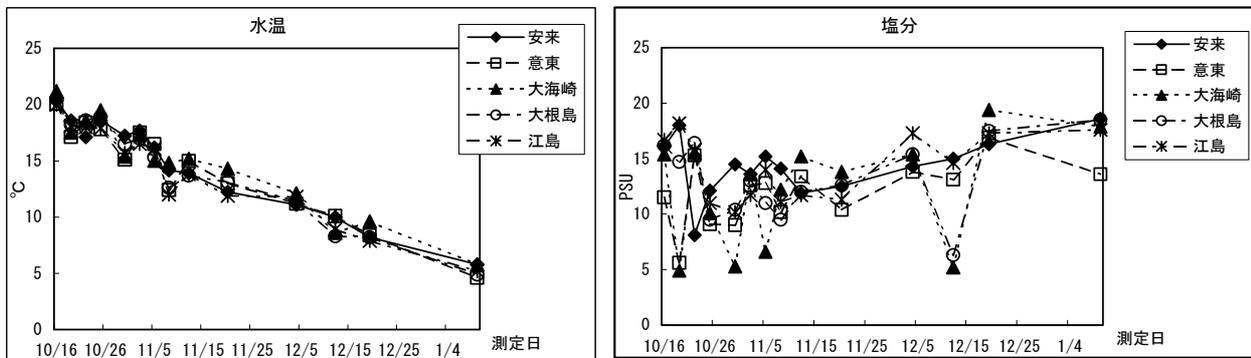


図17 秋季試験および冬期試験における各試験地点の水質

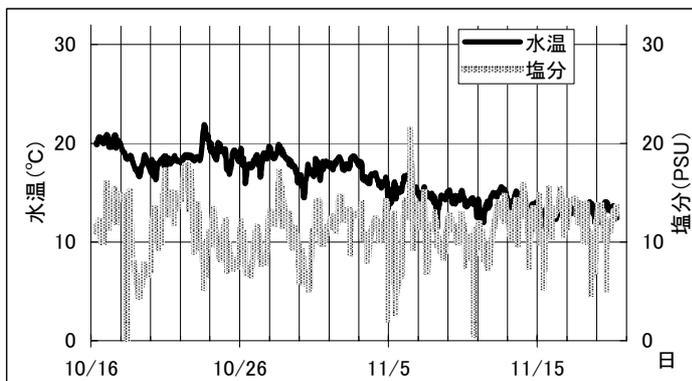


図18 秋季試験 St.2における水質の連続観測結果



図19 冷蔵網試験結果 (H13.10.16)

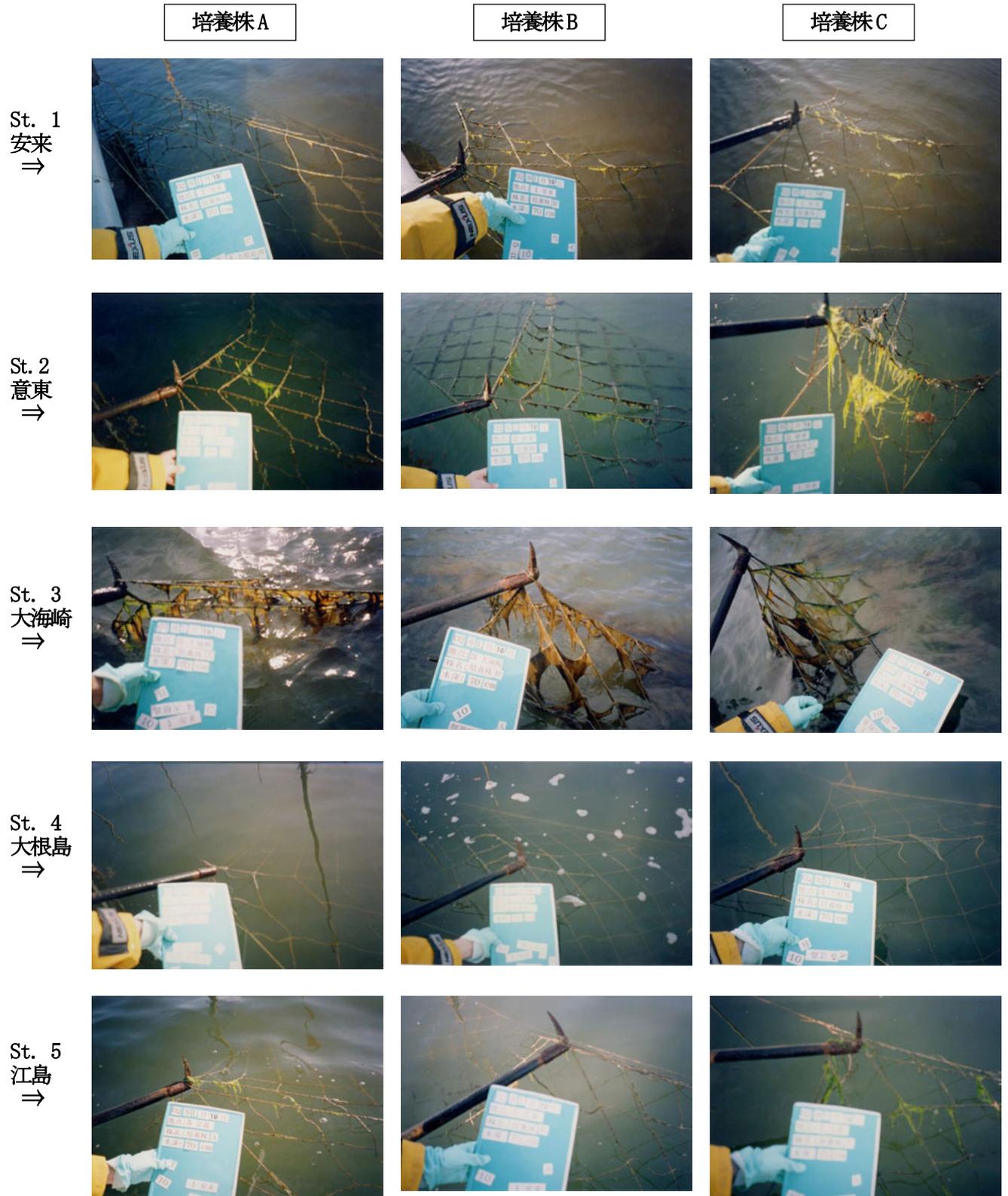


図20 冬季試験 沖出し後のアオノリの生育状況 (水深70cm、H14. 1.10)

### (3) 培養試験

#### A. 株の保存と培養

試験の結果、中海のアオノリに関して最適と考えられる培養条件は、生長を促したい時は温度 20-25°C・照度 5000-7000lux、株の保存には温度 15-20°C・照度 2000-5000lux（共に明暗周期 12:12、塩分 20‰前後）であった。ただし、試験中に藻体密度を高くするとインキュベーター内ではアオノリが痛み、腐ってしまうことがたびたび起きた。これを避けるためには低密度の培養が必要不可欠と思われる。よって大量の藻体が必要な場合は、少量を保存し必要な時期に合わせてそれらを増やすのが適当と思われる。春・秋の時期ならば大量の藻体の保存・培養は屋外で粗放的に行う方が良く、屋外に水槽等を設置してそこに適当な塩分濃度の海水とともに藻体を入れておけば、保存（時に大増殖）が可能であった。

#### B. アオノリの種類と株の判別

##### アオノリの種類と形態

中海で採集されたアオノリは詳細に観察すると異なる 2 つのタイプが認められた（図 21）。タイプ I は形態からスジアオノリと思われる。タイプ II は形態だけでなくタイプ I が消失する夏期に繁茂することからもタイプ I とは別種の可能性があるが、両者の中間的なものも一部に見られた。

##### タイプ I

肉眼的形態において、主軸と同程度の太さの分枝を持つ。

顕微鏡的形態において、細胞内にピレノイドを通常 1 個持つ。

季節消長は、多くは秋に新個体が発芽し冬季はほとんど生長せず、春に急激に生長・繁茂し成熟し始め、初夏には殆どが成熟して生殖細胞を放出、その後夏期は消失する。

##### タイプ II:

肉眼的形態において、主軸に対し分枝は細い毛ようになる。

顕微鏡的形態において、細胞内にピレノイドを 2-7 個と多数持つ

ことが多い。季節消長は、多くの地点で分布の確認できなかった夏期にかなりの繁茂がみられた本庄工区内の群落内にてこのタイプの藻体が多く得られた。

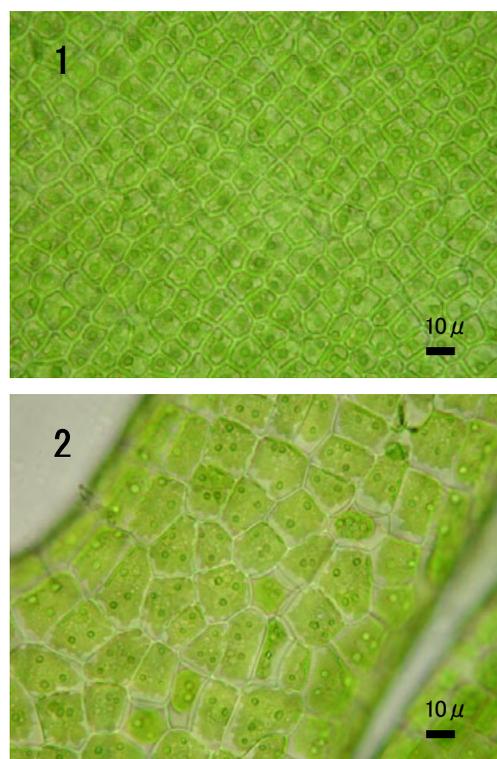


図 21 中海のアオノリの 2 タイプ  
1 : タイプ I (ピレノイドが 1 個)  
2 : タイプ II (ピレノイドが 2~7 個)

表 4 各地点で採集したアオノリの成熟試験結果

採集地点	成熟の割合(%)			着底状況		
	5psu	15psu	25psu	5psu	15psu	25psu
境水道 森山港	20	40	30	-	++	+++
境水道 森山堤防	5	100	70	-	+	+
本庄工区 森山堤防	20	50	60	+	++	++
本庄工区 承水路	20	40	40	-	++	+++
本庄工区 承水路 底	20	30	30	+	++	+++
江島 底	30	40	50	-	+	++
意東	30	40	30	++	++	++
安来	40	40	30	++	++	++

成熟の割合: シャーレー内の断片全数に占める成熟を起こしたものの割合

着底状況: - 全く着底がみられない

++ 着底がみられる

+ ごくわずかに着底がみられる

+++ かなりの着底がみられる

## 株の種類と生活史

株の種類を判別し先立って行った成熟試験では、株により差はあるものの概ね 15-25PSU の高めの塩分濃度で高い成熟率が得られた (表 4)。

株の種類では、スジアオノリでは有性生殖株と無性生殖株が存在する。無性生殖株は、走光性が負の 2 鞭毛生殖細胞を放出し単為発生をしている。有性生殖株は配偶体 (= 雄性配偶体、雌性配偶体) と孢子体の世代があり、前者は走光性が正の 2 鞭毛生殖細胞 (= 雄性配偶子、雌性配偶子)、後者は走光性が負の 4 鞭毛生殖細胞 (= 遊走子) を放出することが知られている。雌雄の配偶子が接合して発芽すると孢子体となり、遊走子が発芽すると配偶体となって有性生殖のサイクルは回っている (図 22, 23)。これらのことから、放出された生殖細胞の鞭毛数と走光性を調べることで有性生殖株と無性生殖株を区別することが可能である。なお、放出後時間の経た生殖細胞は遊泳力を失ってしまい走光性がはっきり現れないことが多くまた鞭毛も確認しにくいので、株の種類を判定するには放出直後の生殖細胞を用いることが必要であった。

4, 5月に採集したタイプ I のアオノリでは有性生殖と無性生殖の株が確認された。夏季に採集したサンプルの多くは本庄工区内で採集したタイプ II の個体であった。このタイプは走光性が正の 2 鞭毛生殖細胞を放出するものが多かったため有性生殖株が多いと思われる。まれに走光性が正の 4 鞭毛生殖細胞を放出するものがあり、このような組み合わせは本来あり得ないので孢子体であるかは不明である。無性生殖株の生殖細胞は同じ 2 鞭毛であっても走光性が負なので、光を当てると対極の一点にきれいに集まった。このように今回調べただけでも 4 種類の株全てが観察された。

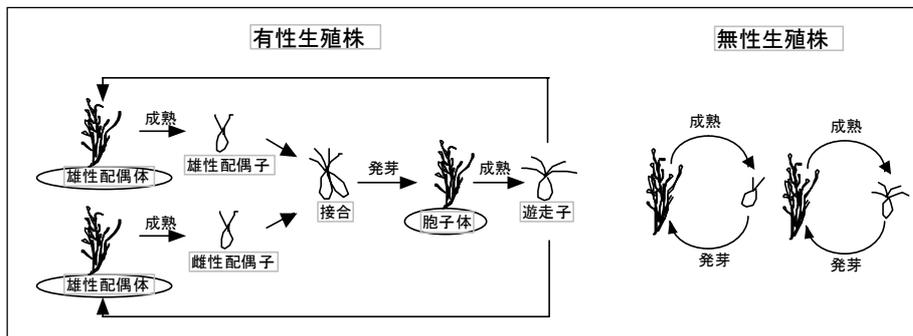


図 22 アオノリの株の種類と生活史



図 23 接合した配偶子 (有性生殖株)

表 5 地中海で採集されたアオノリの株の種類

採集場所 採集日	大橋川	中海		本庄工区	境水道
	松江大橋下	意東	江島	森山堤防 承水路出口	大海崎堤防 森山港
H14.4.25		無性			
H14.5.10	有性・配偶体				
H14.5.30					有性・孢子体 有性・配偶体
H14.7.9				有性・配偶体 有性・配偶体	有性・配偶体
H14.7.18			有性・孢子体	有性・配偶体 有性・配偶体	有性?・孢子体 有性?・孢子体
H14.10.11				無性 有性・孢子体	
H14.12.12				無性 無性 有性?・孢子体	

有性・配偶体: 走光性 正 2鞭毛生殖細胞を放出した株  
 有性・孢子体: 走光性 負 4鞭毛生殖細胞を放出した株  
 有性?・孢子体: 走光性 正 4鞭毛生殖細胞を放出した株  
 無性: 走光性 負 2鞭毛生殖細胞を放出した株

(4) 分布調査 (表6)

調査の結果、中海沿岸ではほぼ周年にわたりアオノリの自生が確認された。調査を始める以前の4月において大橋川、宍道湖、中海意東にてアオノリ類の大繁茂がみられた。このアオノリはタイプIのものであった。5月、6月も大型の藻体が殆どを占め、このころ成熟した個体が数多く存在した。6月には成熟とともにアオノリは消失・流失し始め、多くの岸でアオノリの大型藻体の確認ができなくなり、今まで帯状に分布していたものが所々パッチ状に残るような形になった。夏期にはいり、今まで繁茂していた場所で完全に消失状態になった頃、本庄工区内の森山堤防付近では大繁茂が確認された。8月、養殖網の張り込み地点では、大海崎を除いてどこもアオノリは確認されなかった。大海崎のみ藻長の短い個体群がみられ、9月には大型の個体群落を観察された。本庄工区内では7月から大海崎堤防、承水路出口でアオノリの個体群がみられた。このアオノリは大型個体ではあるが、形態的に毛のような分枝をもち、また細胞内にピレノイドを多数持つタイプIIのものが殆どであった。9月にはいと大海崎を除く全地点でアオノリはほぼみられないか、あるいはごく短い新個体群がわずかにみられる程度であった。10月になると新個体群が生長し始め、どの地点も岸がうっすら緑に色づいていた。

11月には本庄工区内の承水路出口で大型藻体の大繁茂がみられ、これは12月まで続いた(図24)。このアオノリはタイプI・タイプII どちらとも言いにくいもので、形態的にはスジアオノリに近いがピレノイドは1-3個ぐらい持つものが殆どであった。安来では10月に比べさらに岸の緑色は濃くなっていた。しかし藻長は2-3cm程度で大型のものはみられなかった。12月から1月にかけて寒さの影響か、多くの個体が短いまま成熟あるいは死滅し藻体の先端が白変しているものが多くみられた。大繁茂の見られた承水路出口でも1月には大型藻体は消失していた。



図24 中海沿岸に自生するアオノリ (H13.12月、本庄工区承水路出口)

表6 中海におけるアオノリの分布と消長

採集場所 調査日	中海					本庄工区	
	St.1 安来	St.2 意東	St.3 大海崎	St.4 大根島	St.5 江島	St.6 大海崎堤防	St.7 承水路出口
H13.5.18		+++					
H14.7.3	+		++		+++		
H14.7.18	-	-	-	-	-		++
H14.8.1	-		++	-	-	+++	++
H14.8.24						+	
H14.9.4	++		+++長	+	-	+	
H14.10.11	++	++	++	+	+	++	++
H14.11.20	+++	++			+	+	+++長
H14.12.12	+++	+	++	+		++	+++長
H14.1.10	++	+	++	-	++		++
H14.2.8	++++	+++	++++	+	++	++++	+++長
H14.3.20	+++	+	++	+	-	+++	++

評価方法 (注:但し空欄は調査を行っていない)

- : 生えていない。
- + : 被度0-1、岸を歩いて探すと所々にごく小さいアオノリ個体群を見つける。
- ++ : 被度2-3、岸にはうっすら緑色の帯状あるいはパッチ状アオノリ群落がみられる。
- +++ : 被度4-5、遠くからみてもわかるぐらい、岸には濃い緑色の帯状アオノリ群落がみられる。
- +++長 : 被度4-5で藻長が5cm以上あるもの。

## 考察

今年度の試験ではアオノリの生長に関しては春季試験でかなり良好な結果が得られた。春季試験におけるアオノリの収穫量は、成績の良い地点では養殖網（幅 1.2m）の長さ 1m あたりアオノリ乾燥重量で 100～350g であった。徳島県などの養殖における収穫量は養殖網（幅 1.2m）の長さ 1m あたり 75～250g（現地での聞き取りによる）であることから、養殖時期・水域等の条件をうまく選定すれば中海においてもアオノリの養殖が成立する可能性があると考えられる。ただし、養殖技術に関しては下記のような課題が示された。

### アオノリの生長と品質

アオノリの生長に関しては時期や地点による良否の差が顕著であり、春季においても地点によっては非常に生長が悪かったり、また秋季においてはどの地点でも春季ほどの生長は見られなかった。養殖業が成立するには安定してある程度の収穫量が見込まれることが必要であり、今後も継続して試験を行い中海におけるアオノリ養殖の可能性について場所や時期も含め検証してゆく必要がある。

今年度試験においてアオノリの生長の良否に係わると考えられる要因は下記のとおりである。

**(1) 試験時期と試験地点** 一般にアオノリの生長に最適な水温は 20℃前後とされている。今年度の試験でも春季（20～25℃）、秋季（15～20℃）では一応の生長を見せたが、水温が 15℃以下に低下した冬季では極めて生長が悪かった。沖出し後の生長については春季が最も良好であったが、この要因が水温だけかどうかはさらに検討する必要がある。天然アオノリの調査結果からも中海沿岸において春季と秋季にアオノリが最も繁茂することが確認されたが、それ以外にも 7 月などに場所によっては天然アオノリの生育がかなり見られたことから、試験地点や株の種類によってはかなり広い期間にわたり養殖が可能である可能性もある。今後はさらに広範囲な時期で試験を試み、中海においてアオノリ養殖が可能な時期をより詳しく明らかにする必要がある。

また、今年度の試験では春季・秋季とも試験地点によるアオノリの生長の差や藻体の色の差が顕著であった。この要因については水温・塩分・栄養塩濃度・水の流れ・波浪条件の差などが考えられるが、今年度の結果から直ちにそれを推察することは難しい。ただ、水温については 5 地点の間に大きな差はなく要因とは考えられない。また塩分も観察時点での数値においては 5 地点間でそれほど大きな差が認められなかったことやアオノリの塩分に対する許容性の広さを考えれば要因としては小さいと思われる。来年度以降は栄養塩濃度など他の要因についても調査を行う必要がある。

また、地点により養殖網のシオミドロ・ヨコエビ・ワレカラなどの付着物の多さに差が見られた。実際の養殖においてはシオミドロなどの付着物が多いと収穫・洗浄といった手間が多くなるだけでなく、場合によっては商品にならない。このため、中海において各地点・各時期における付着物の状況も今後よく観察してゆく必要がある。

**(2) 株の種類と採苗条件** 今年度試験では株の種類による生長や藻体の色・形状の差が若干見られた。春季試験では野生株よりも培養株のほうが全般に生長が良く、しかも濃い緑色でスジ状の商品価値の高いアオノリが生えた。ただしこの件については、現時点では株の種類よりも母藻の状態や付着した幼芽の密度など採苗条件の良否が要因としては大きい可能性がある。株による違いについては今後さらに検証を重ねてゆく必要がある。

アオノリの株の種類に関しては、今回母藻に用いたアオノリは形態からスジアオノリと考えられるが、養殖されているスジアオノリも吉野川では無性生殖株、四万十川では有性生殖株と産地によって系統が異なる場合がある。培養試験と分布調査からは同じ中海でも季節・場所により繁茂するアオノリの株・系統

が異なる可能性が示されている。平岡の調査では中海のアオノリに関してはスジアオノリの有性生殖株、無性生殖株の他種類の異なるアオノリの存在が示されている（私信）。今回の培養試験の結果でも中海のスジアオノリには有性生殖株と無性生殖株の両方があることが確認され、さらにスジアオノリと極めてよく似ているがやや形態や生理特性が異なる別種が分布している可能性も示唆された。アオノリ類は形態の変異が激しくその分類は非常に難しいため正確な同定は現状では困難ではあるが、養殖対象種として考えた場合商品価値的においてスジアオノリと同等の評価が得られるならば何ら問題はないと考えられる。将来的には商品価値が高い形質を持つ株やあるいは養殖条件に適した生理特性を持つ株を母藻に選定することも考えられ、いくつかの株の特性を検証しその系統を確立しておくことも必要となるかもしれない。

**(3) 養殖網の設置方法・水深** 今年度試験では主に支柱式の網養殖について養殖網の設置水深を変えて試験した。春季においては水深10cmと30cmで比較した結果、水深10cmが良い傾向があった。しかし、冬季試験においては水深10cmと70cmで比較した結果水深70cmのほうが若干良い結果が得られた。一般に水深が浅いほうが光量が多いため生長には有利と考えられるが、逆に強い光や波浪による藻体の損傷のため藻体が先端から成熟しやすく生長が止まるといった問題点もある。このような点を考慮すると波浪の比較的少なかった春季試験時には水深の浅い方が成長が良く、波浪の日が多かった冬季試験では波の影響を受けにくい水深70cmの方が成長が良かったのではないかと考えられる。徳島県や岡山県の養殖地では周年あるいは冬季のみ水深70cm程度に養殖網を深く設置している。中海についても今後さらに試験を重ね、海況に合わせて最適な水深を探っていく必要がある。また、養殖施設も今回は支柱式の方式を採用したが、徳島などのアオノリ養殖では浮き流し式が多く採用されている。支柱式は水深の浅い水域では有効であるが、浮き流し式であれば水深の深い場所でも養殖網を設置できるため広い水域の漁場利用が可能となる。今年度は限定的に簡便な浮き流し式も試験して支柱式とほぼ変わらない結果が得られた。将来的にはより本格的な浮き流し式養殖の方法も検討してみる必要がある。また、今回の試験では網を支柱に固定していたため養殖網の水深が10cm程度の設定では水位の変化により網が干出してしまうことがあった。支柱式の場合、水位の変化に係わらず養殖網の水深が保たれるような工夫も必要と考えられる。

**(4) アオノリの品質・収穫時期など** アオノリは品質により商品価値が大きく上下するため、収量だけでなく品質が重要である。一般に濃い緑色で藻体に張りがあり幅2～5mm程度のものが商品として好まれる。春季試験では多くの地点で藻体は伸長したが藻体の品質（特に色）については地点により差が見られた。藻体の色は栄養塩濃度や天候（雨など）により変化することが知られており、今後地点により品質に差がある原因を解明し、より高品質なアオノリを育成することが必要である。また、今回の試験でアオノリは沖出し後に急速に伸長したが沖出し後12日後にはすでに伸長しすぎて先端から成熟が始まっているものもあった。成熟の始まった藻体は商品価値が低下するため、最も大量になおかつ品質の良い状態で収穫できる時期をさらに良く観察して把握する必要がある。

## 採苗

アオノリ採苗時の成熟誘導に関しては平岡・團による母藻細断法が知られている。これはアオノリの藻体を細断すると、藻体内に存在する成熟抑制物質が流出するため体細胞から生殖細胞への変化（成熟）が促されることを利用した方法である。母藻裁断法では胞子の放出は母藻細断後3日程度で高率で同期して起こるとされているが、本試験では数日～10日かけて徐々に成熟細胞の割合が増加してゆき、観察された成熟細胞の割合もそれほど高くはなかった。また成熟せずに再び栄養生長する母藻断片も株によってはかなり多かった。本試験の方法は平岡・團とほぼ同じであることから、結果に違いが出た原因は母藻の状態

にあると考えられる。一般的に自然状態においてアオノリが成熟するのは発芽後ある程度の時間を経過して藻体が十分栄養生長した後である。また母藻の健康状態も成熟と関連することが知られている。すなわち母藻が若く生長過程にあたりあるいは母藻の栄養状態が悪いと、細断した場合も細胞の成熟が十分に進行しない場合がある。従って、十分に生長させなおかつ良好な状態に育成した母藻を用いることによりより高い成熟率が得られると考えられる。

養殖試験では同じ養殖網の中で部位によってアオノリの生長にかなりむらがある場合があった。観察ではアオノリの密度が高い部分ほど生長が良く、逆に芽の密度が低い（沖出し時に網糸の色が薄い）部位では同じ網でもその部分は全くアオノリが生えない場合があった。中海の場合、アオノリの芽の密度が少ないと雑藻等との競争に負けて消失してしまうのではないかと考えられ、まず採苗の段階で養殖網に均一・高密度に芽を付け、育苗の段階でむらなく幼芽を生長させることが重要であると考えられる。そのためには前述のように採苗時に大量の胞子を放出させることが必要である。また、採苗の際に網の一部が重なったりしてその部位における胞子の付着が少なかったり、あるいは育苗時に網の一部の部位で光や水流が十分に供給されず幼芽の生長に偏りが出た場合もあった。従って、採苗・育苗時の養殖網の投入形態や水量、水の攪拌・網返し等にも配慮が必要と思われる。

また採苗に関して、徳島県等における実際のアオノリ養殖業においては母藻裁断法だけでなく天然母藻を大量に網袋に詰め水槽に吊るして採苗する方法も多く採用されている。この方法は天然母藻が多量に得られるならば胞子が多量に得られる簡便な方法であるため、実用化に際してはこのような方法についても検討を行う必要がある。

## 育苗

今年度試験では、養殖網の採苗後に屋外水槽で3～4週間とかなり長い育苗期間を設け、ケイ藻などが存在しない条件下で幼芽がある程度まで生長させた。これは、中海においてはケイ藻・シオミドロ等アオノリと競合する雑藻類や付着物が比較的多く、網に付着した幼芽を直ちに沖出しするとこれら雑藻類との競争に負けてしまう可能性があると考えたからである。平成11,12年度の試験では採苗後の種網を直接沖出ししており、それらの試験に比較して今年度の方がはるかに良好な生長がみられたのは育苗の効果ではないと思われる。ただし、より光線や水流の強い野外の方が藻体の生長は速いと思われるため、今後育苗の期間についてはどの程度が最適か検討する必要がある。

## 母藻の確保・培養技術

春季は母藻となるアオノリが中海沿岸に大量に自生していたが、このようにいつも自生株があるとは限らない。そのため、培養してあるアオノリ株を増殖して母藻にする技術を確立する必要がある。今回試験した結果ではインキュベータ内でアオノリを母藻に必要な量（湿重量で数十グラム）まで増殖させるにはかなりの時間を要したため、屋外水槽で粗放的に増殖させるなどより迅速な増殖方法を用いるのが適当と思われる。

また、種網の冷蔵保存試験の結果からは少なくとも4ヶ月の保存が可能であることが分かった。母藻の不足が予測される場合、あらかじめ大量に採苗してこの方法で種網を保存することが可能である。

参考文献：アオノリ養殖生産管理技術に関する総括報告書（平成11年3月、地域重要新技術開発促進事業、徳島県水産試験場鳴門分場・愛媛県中予水産試験場・同東予分場他）