

スジアオノリ養殖技術の開発について -

團昭紀・荒木茂

近年、アオノリ類の需要が増加し、アオノリ養殖技術の確立が求められている。しかし、これまでは、採苗から摘採までの工程の大部分が自然条件に大きく左右され、生産が安定していない。

そこで、スジアオノリ的生活史を明らかにして採苗の安定化に資するとともに、種網の保存条件を解明し、摘採までの全行程でスジアオノリ養殖生産管理技術の確立を図る。

1 採苗の安定化

(1) 人工採苗の概要

徳島県吉野川で行われている天然採苗と人工採苗の流れについて図1に示した。秋季においては、天然採苗の場合は河床の小石などに付着し、越夏した微少な大きさの天然藻体から放出される胞子を養殖網に付け育苗する。天然採苗の場合は、胞子の供給が不安定であり、スジアオノリ以外の胞子の付着による品質の低下も生じる。しかし、人工採苗の場合は、冷蔵庫に保存してあった母藻、または、自生の藻体を使うためスジアオノリ以外の胞子が付着することがない。また、タンク内で採苗するため、胞子の付着は安定している。

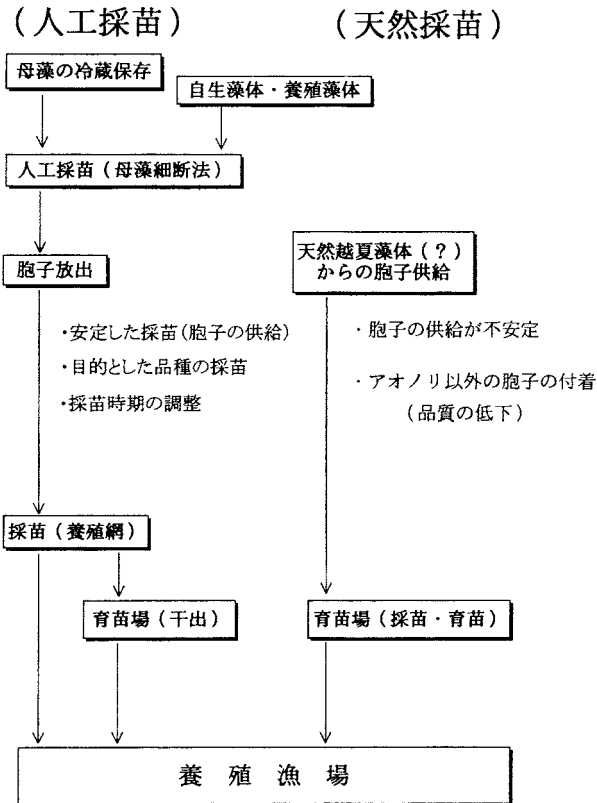


図1 天然採苗と人工採苗の流れ図

(2) 母藻の保存試験

スジアオノリの漁期は春と秋があり、それぞれの漁期ごとに採苗を行う。しかし、秋採苗の場合、人工採苗に供するための自生の藻体がない。このため、母藻を事前に保存しておく必要がある。保存のための培養液の塩分濃度及び光量についての検討を行った。

材料と方法

保存は平成7年12月22日から平成8年12月28日までの約1年間、 5 ± 3 で冷蔵した。材料は吉野川で養殖されている藻体を使用した。保存条件を検討するため、保存培養水の塩分濃度、照明の有無及び照度の違いについての試験区を設けた。培養水は、海水を蒸留水で希釈、または粉碎塩を加え、塩分濃度5から50まで5つつ違えた試験区を設定した。また、培養水の塩分濃度調整後、栄養補強剤（市販ノリ系状培養液）を添加した。上記塩分濃度試験区それぞれに、照明無しの暗黒区、照度800luxの高照度区、照度400luxの低照度区を設定した。透明の密封容器に培養水400mlを満たし、湿重量13gの藻体を入れた。

保存試験終了後、表面の水分を軽く脱水し藻体湿重量を測定したが、藻体の色調により、緑色、白色の藻体に分け測定した。また、緑色の藻体については落射蛍光顕微鏡で葉緑体の自家発光（赤色光）の程度を観察し、藻体の生死判断の目安とした。各試験区3gづつの藻体（緑色の藻体を

使用したが、不足する場合は白色の藻体も加えた)を2~7mmに細断し、塩分濃度20、栄養補強剤を添加した培養水300mlが入ったビーカーに入れ、照度5000lux、20℃で7日間通気培養し、胞子を放出させスライドグラスに採苗した。このスライドグラスを別の容器に移し、同じ条件で10日間静置培養し、発芽を確認した。

結果と考察

保存後の藻体重量を比較してみると、照明を点けた場合は塩分濃度、照度の違いによる差はみられなかったが、暗黒で保存した場合は照明を点けた場合に比べ少なかった(図2)。藻体の色調については、白色の藻体は光学顕微鏡で観察すると、成熟後、胞子の抜けた細胞壁だけが残った藻体であることがわかった。高照度区では塩分濃度20以下の低塩分ほど白色の藻体の割合が多く、成熟が進んでいることがわかった。低照度区では、塩分濃度にかかわらず緑色の藻体の割合が多かったが、塩分濃度25以下の低塩分で、やや白色の藻体が増加する傾向がみられ、低塩分が成熟を促進する働きがあると考えられた(図3)。

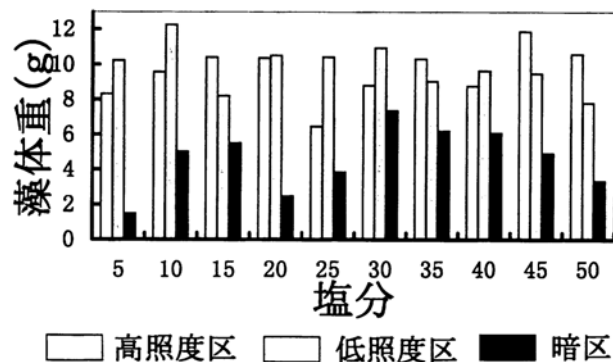


図2 母藻の冷蔵保存後の重量

落射蛍光顕微鏡で緑色の藻体の自家発光を観察した。暗黒区は塩分濃度にかかわらず、発光は無いか非常に弱く、これは藻体が死んでいるためと判断された。高照度区では、塩分濃度25以下で自家発光が弱く、これは胞子の抜けた、細胞質の無い殻の細胞であるためと判断された。また、塩分濃度30~40で自家発光は強く、45以上で発光はやや落ちた。低照度区では全体に発光は強かったが、塩分濃度45以上ではやや落ちた。塩分濃度45以上の、異常に高い塩分では、藻体細胞の原形質分離が起こり、高塩分は保存に適していないことが分かった。

採苗後の発芽状況を表1に示した。高照度区では、塩分濃度25以下で発芽が非常に少ないが、これは上述したとおり、既に胞子は放出された後の藻体であったためであると考えられた。低照度区の塩分濃度25以下が良好な発芽であった。これは、ある程度成熟の進んだ藻体が多かったためと考えられた。暗黒区では、塩分濃度30~40でわずかに発芽がみられただけであった。この塩分濃度は、落射蛍光顕微鏡でわずかに自家発光が見られた区であった。

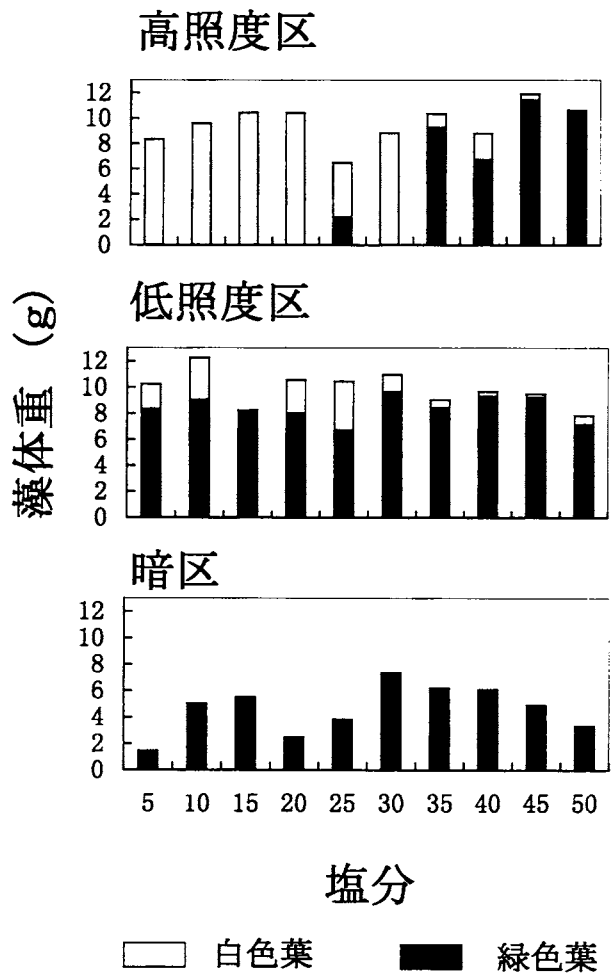


図3 母藻の冷蔵での保存後の色調

以上のことから、スジアオノリの母藻を1年間保存する場合は、400lux程度の弱い照明で、塩分濃度は25以下が良いことがわかった。

表1 冷蔵での保存条件の違う母藻からの採苗後の発芽

保存塩分	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
高照度区	*	*	*	*	*	**	*	***	*	*
低照度区	***	***	***	***	***	*	*	**	*	*
暗黒区	-	-	-	-	-	*	*	*	-	-

*** 発芽藻体の密度が濃い
 ** 発芽藻体の密度が薄い
 * 発芽藻体がほとんどない
 - 発芽藻体はなく、胞子のみ

(3) 胞子放出促進試験

母藻採断法による人工採苗は、屋外水槽において塩分濃度 10~30 の範囲で栄養補強剤を添加した培養水を調整し、2~7mm に細断したスジアオノリ母藻を入れ、水温 15~22 の範囲で通気培養を行い、胞子放出を促進しているが、最適の胞子放出条件はまだ分かっていない。このため、

最適孢子放出条件としての、温度、塩分濃度、培地の種類、培地濃度、照度、母藻細断の方法、用いる母藻の種類などについて検討する必要がある。そこで今回は、用いる母藻の種類（採取場所、時期、保存期間の違い）による、孢子放出量を比較した。

材料と方法

用いた母藻は表 2 の 6 種類である。3L の枝付きフラスコに、栄養補強剤を添加し、塩分濃度 15 に調整した培養水を入れ、湿重量 2.9~3.5g の母藻を入れ通気培養した。培養条件は、温度 20 ± 2 ，照度 8,000lux，光周期 L/D = 12 時間/12 時間とした。また、用いた母藻は、ガラス板上で 3~5mm に細断した。培養期間は 14 日間で、この間に培養水は交換しなかった。孢子放出量は蛍光強度を測定（励起光 436nm における 675nm での蛍光強度を測定）し、放出孢子数の相対量として把握した。また、枝付きフラスコ内にスライドグラスを入れ孢子を付着させ、これを観察した。

表 2 孢子放出試験に用いた母藻の種類

種類	母藻の状態	母藻の採取場所	母藻の採取時期
A	冷蔵10ヶ月	吉野川本流	秋季
B	冷蔵2ヶ月	海面	夏季
C	冷蔵4ヶ月	吉野川本流（Aに近い）	春季
D	冷蔵10ヶ月	吉野川本流（上流）	秋季
E	冷蔵10ヶ月	吉野川本流（早生種）	秋季
F	自生	吉野川支流	秋季

結果

A, C, E の藻体で蛍光強度が上昇した（図 4）。スライドグラスに付着した孢子は、ほとんどが $4 \sim 6 \mu\text{m}$ の配偶子の大きさであった。D 藻体は、蛍光強度が低いまま推移し、スライドグラスに付着した孢子は、 $5 \mu\text{m}$ と $15 \mu\text{m}$ の混合したものであった。B, F 藻体は蛍光強度が、ほとんど上昇しなかった。しかし、F 藻体は試験開始直後に多くの孢子を放出したと思われる、フラスコ内壁に多くの発芽藻体が密生した。孢子の大きさは $5 \mu\text{m}$ 程度であった。どの藻体も孢子化し、孢子を放出するが、初期に孢子を一度に放出してしまい、以後、放出しないタイプ、長期間孢子を放出し続けるタイプ、藻体内の細胞から発芽成長するタイプ、枯死するタイプがあった。しかし、同一試験区内に複数タイプが混在するが多かった。

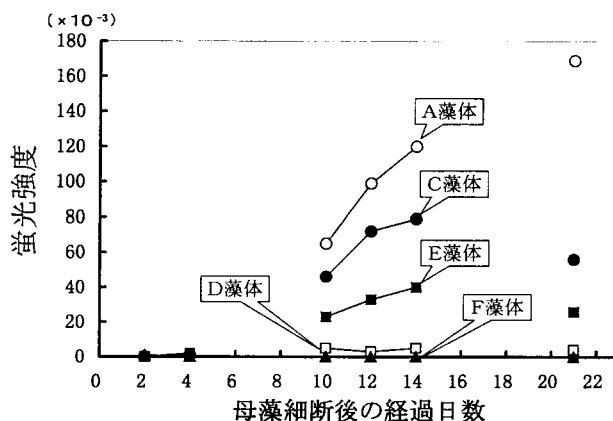


図4 藻体別蛍光強度の推移

2 種網の保存条件の解明

種網の保存方法として考えられるものとして、アマノリ類で行われている冷凍網がある。アオノリ類で冷凍網を作成するためには、凍結防止剤を使い液体窒素で凍結することで可能と思われるが、実用化に向けては現実的方法とは言えない。そこで、アマノリ類で行われている冷凍網作成方法（充分藻体を脱水後、ビニール袋に密封し - 20 程度保存する方法）をスジアオノリについて行ったが、凍結保存はできなかった。このため、アオノリ類での種網の保存方法として、凍結以外の方法での可能性をさぐるため、冷蔵での保存方法について検討した。

材料と方法

使用した種網は、吉野川の種場または養殖場で養殖されていたもので、種網の種類を表3に示した。種網は冷蔵する前に、1m角に切り取り、表4の保存条件に従い、ビニール袋に密封し、入庫した。保存中の培養水の交換は行わなかった。保存は、20w 蛍光灯を付けた棚に静置し、光周期は D/L = 12 時間/12 時間とした。保存期間は平成8年5月7日から平成8年10月28日までとした。

出庫後は、屋外水槽で3日間培養を行った後、吉野川で1ヶ月間養殖した。屋外水槽の培養条件は、栄養補強剤を添加した塩分濃度20の培養水で、通気培養した。養殖終了後は、藻体重及び1cm当たりの芽数を数えた。また、出庫時に、種網の一部を切り取り、7日間室内培養を行った。300mlのフラスコに栄養補強剤と二酸化ゲルマニウムを添加した塩分濃度20の培養水を満たし、切り取った種網を入れ、通気培養を行った。培養条件は、照度6,000lux、光周期 D/L = 12 時間/12 時間とし、試験終了時には1cm当たりの芽数を測定した。

表3 冷蔵での保存試験に使用した種網の種類

種網の名称	芽付きの状態	藻体長	備考
A網	濃い	数mm	種場で育苗されていた網
B網	薄い	数mm	種場で育苗されていた網
C網		3~4cm	養殖場で単張りされていた網

表4 種網の冷蔵での保存試験

保存条件		名称
2.3倍容量	無調整	2.3-S
	高塩分	2.3-HS
1倍容量	無調整	1-S
	高塩分	1-HS
0.4倍容量	無調整	0.4-S
	高塩分	0.4-HS
海水無し	—	D
10倍容量	無調整	10-S

注1：2.3；網の容積に対し海水が2.3倍量

1；網の容積に対し等量の海水

0.4；網の容積に対し海水が0.4倍量

注2：S；無調整の海水

HS；粉碎塩で塩分を40に調整

D；海水を入れない

10-S；網の容積の10倍量の海水

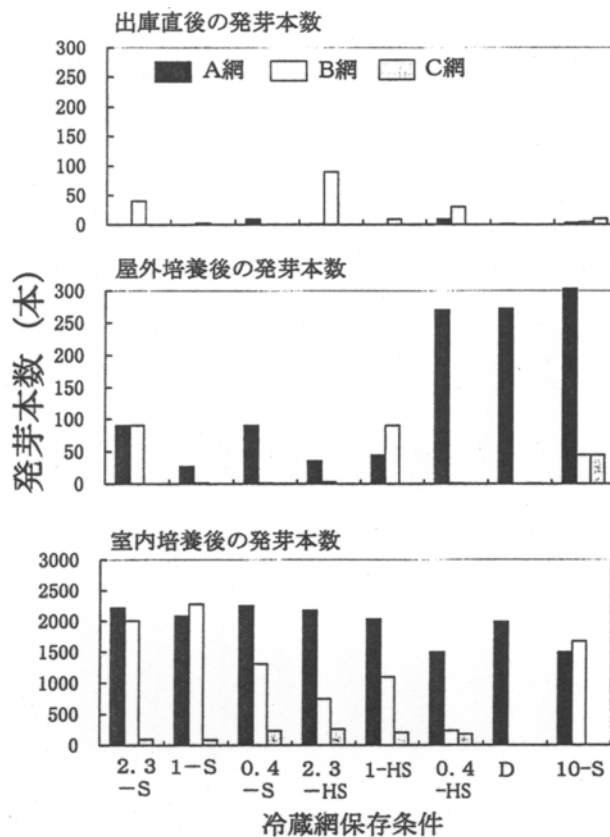


図5 出産直後，屋外培養後および室内培養後の発芽本数

結果及び考察

出庫直後，屋外水槽培養後，室内培養後の発芽本数について図5に示した。出庫直後は，どの試験区とも藻体の形態を保持しているものは少なく，落射蛍光顕微鏡での観察では，死細胞の多い痛んだ藻体が多かった。特に，入庫時に，藻体長の長い種網であったC網では，保存状態が非常に悪く，腐敗していた。屋外培養後，室内培養後の発芽本数は出庫直後に比べて増加したが，これは，種網上に残っていた藻体から供給された胞子が発芽し，成長したものと判断された。A網はB網よりも発芽本数が多いが，これは，A網は芽付きが濃く，それだけ藻体量が多いため，供給された胞子量も多かったためと思われた。C網は，藻体がほとんど見られず，冷蔵での保存中に藻体及び放出された胞子が死んだためと考えられた。

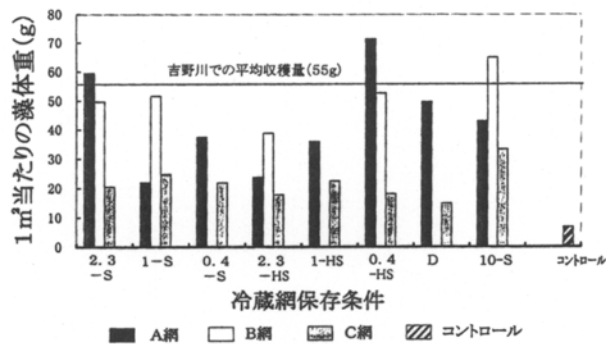


図6 養殖終了時の藻体重

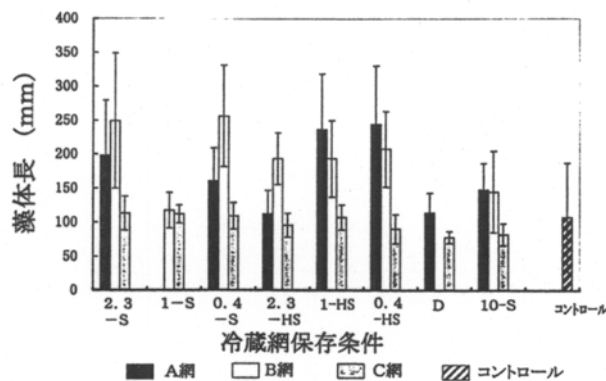


図7 養殖終了時の藻体長

平成8年秋漁期は，周辺の養殖網でも成長が悪く，漁場環境等がスジアオノリの生育に適していなかったためと考えられた。図6に，養殖試験終了時の藻体重を示したが，例年の吉野川での平均的な収穫量である55gを越えたものは3試験区だけであった。コントロールとして張り込んだ，何も付けていない養殖網に対しては明らかに収穫量が多く，直接採苗法よりは有効であったと言える。

アオノリ類の種網を冷蔵で保存することは，アマノリ類で行われている冷凍網とは本来の意味で異

なっており、種網に残っている藻体から供給される胞子が発芽し成長することによるものと考えられる。つまり、母藻を保存し、それから胞子を得るのと同じことと考えられた。また、種網保存条件として、培養液の塩分濃度、培養水の量について検討したが、どの条件においても大きな差はないと判断された。このため、保存には最も簡便な水を切ってビニール袋に密封する方法が普及性に優れていると思われた。

4 養殖生産管理技術の検討

吉野川での平均的な養殖水深は 50cm である。しかし、養殖水深は漁期によっても変化し、春漁期は浅く、秋漁期は深くなる。また、養殖業者間でもばらつきがあり、養殖期間中でも適水深帯をさがして養殖水深を調整している。このため、好適養殖水深帯を検討するため、水深を変えた養殖試験を実施した。

材料と方法

養殖水深を表層、0.5、1.0、1.5、2.0m の 5 層と表層で透明のアクリル板を被せたものを加え、6 試験区を設定した。試験養殖用の種網は人工採苗を行い、水路式育苗装置（図 8）で 10～13 日間育苗したものをを用いた。試験養殖は平成 8 年 10 月 18 日から 11 月 14 日までの 26 日間と 10 月 31 日から 11 月 27 日までの 27 日間の 2 回実施した。また、試験養殖のセットには、アレック電子社製メモリーパック式水温塩分計 ACT-16k を設置し、連続観測した。



図 8 水路式育苗装置

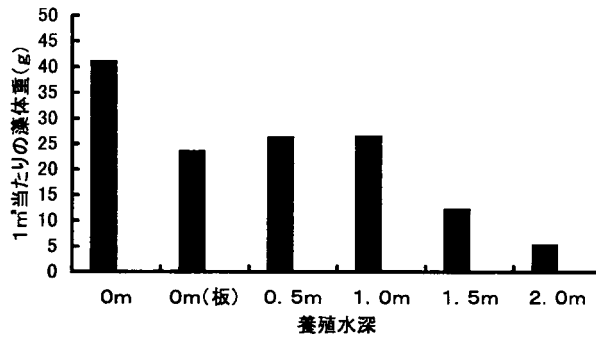
結果及び考察

平成 8 年度秋漁期は試験養殖網だけでなく、周辺の養殖漁場全体で藻体の先端部流出により成長が悪い場合が多かった（発芽数は非常に多いが、藻体長 1cm 程度で成長が止まる。藻体の先端は成熟しており、藻体は切り揃えたように同じ長さになる）。図 9 に藻体重、図 10 に藻体長、図 11 に 1cm 当たりの発芽本数を示した。2 回の試験とも吉野川の平均的収量である $55\text{g}/\text{m}^2$ まで達しなかった。吉野川でのスジアオノリ養殖は、表層では成長しないことが経験的に分かっており、平成 6 年秋に行っ

た同様の試験でも表層は成長するに従って先端部が成熟流出し、芽数を減らしていった²⁾。しかし、平成8年度では表層が最も成長が良く、原因は分からなかった。

第1回目の養殖試験では表層ほど藻体重量が重く、逆に発芽本数は表層ほど減少した。藻体長でも表層ほど長い傾向があり、特に透明アクリル板を付けた場合は藻体長が長くなった。第1回の結果を見る限り、芽数と収穫量との間に負の相関があるように思われた。

養殖水深の違いによる藻体重（第1回目）



養殖水深の違いによる藻体重（第2回目）

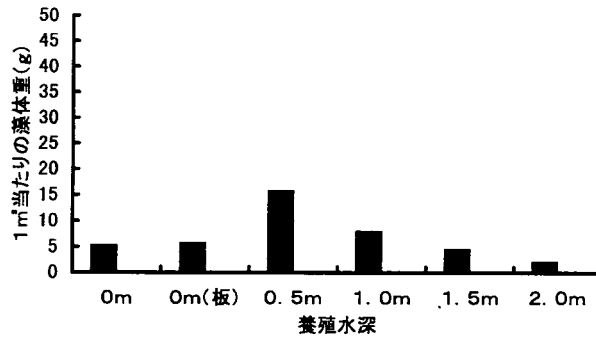
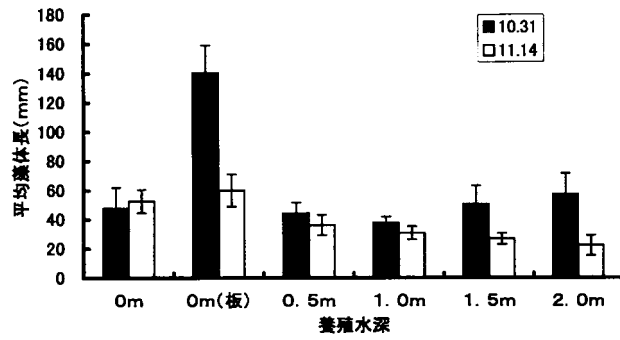


図9 養殖水深の違いによる藻体重

養殖水深の違いによる平均藻体長（第1回目）



養殖水深の違いによる平均藻体長（第2回目）

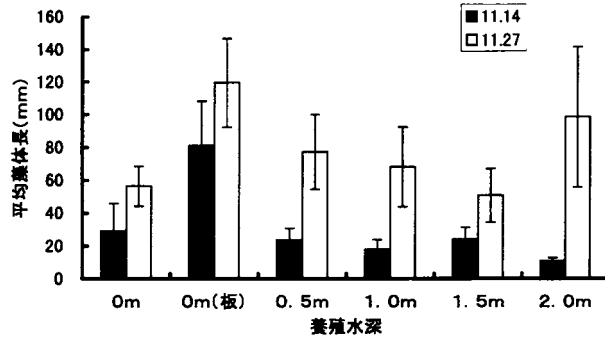
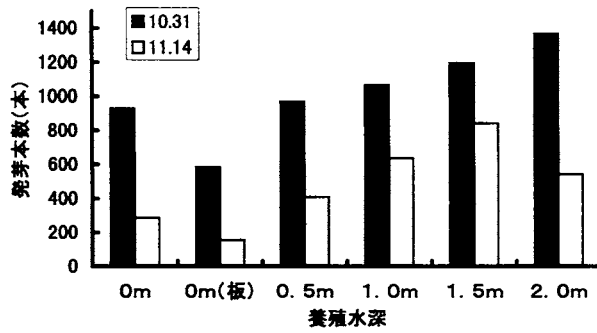


図 10 養殖水深の違いによる平均藻体長

図 12 に平成 7 年と平成 8 年の養殖セットに設置した水温塩分の連続観測結果を示した。これによると、平成 7 年の水温降下は順調であったが、平成 8 年は順調ではなかった。

養殖水深の違いによる発芽本数（第1回目）



養殖水深の違いによる発芽本数（第2回目）

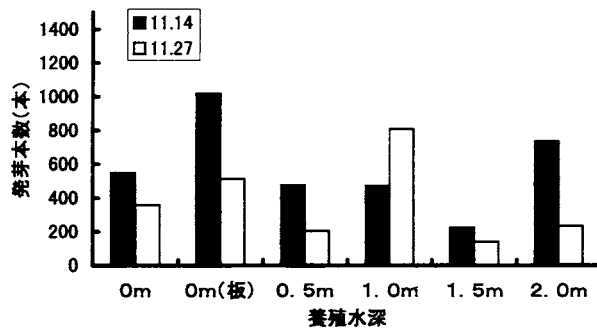
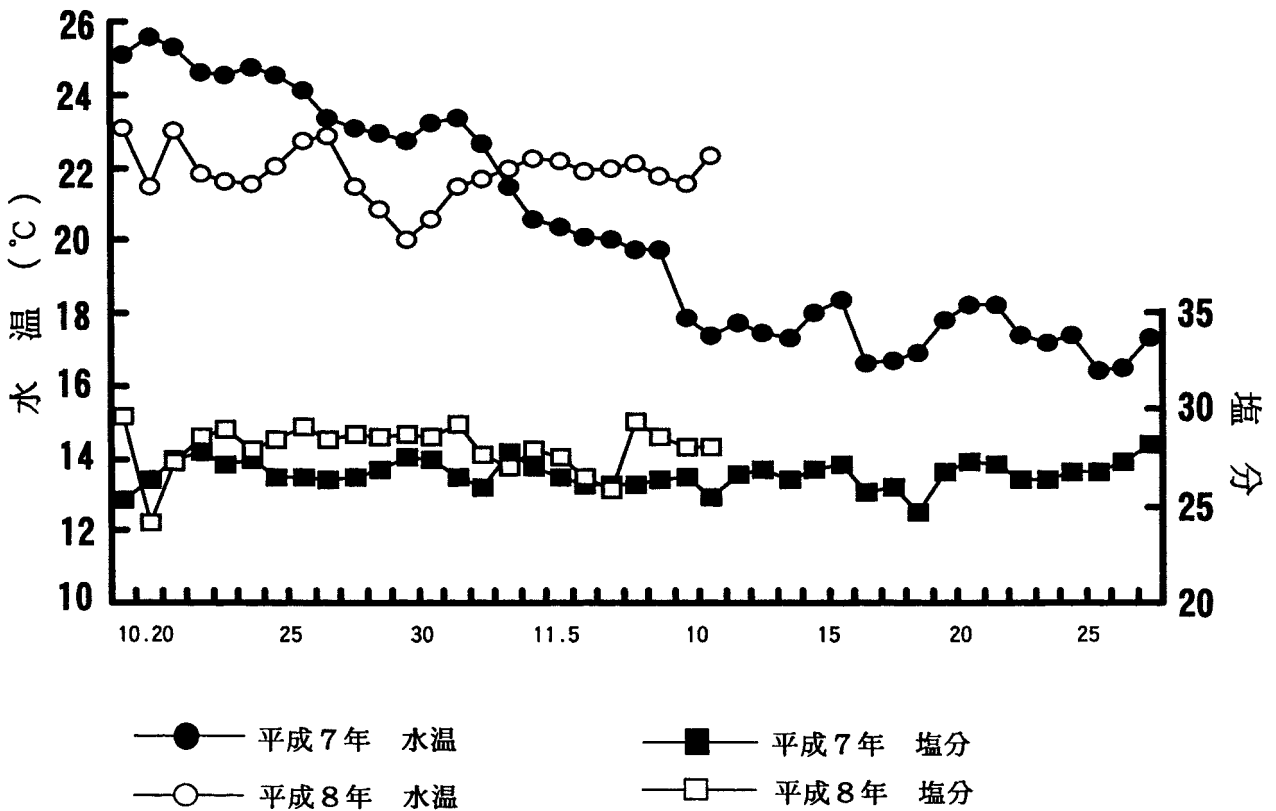


図 11 養殖水深の違いによる発芽本数



参考文献

- 1) 團昭紀・大野正夫・松岡正義(1997):スジアオノリの母藻細断法による人工採苗。水産増殖,45(1), 9 - 15
- 2) 團昭紀・大野正夫(1997):異なる方法で採苗したスジアオノリの成長。水産増殖,45(1),1 - 4
- 3) 館脇正和(1994):ウスバアオノリ,ヒラアオノリ。藻類の生活史集成第1巻緑色藻類(堀輝増三編),内田老鶴圃,東京,pp.190 - 193