

日本海沿岸藻場造成技術開発調査

山内 弘子・吉田 雅範・加藤 徳雄

調査目的

藻場は沿岸水産資源の維持増殖に重要な役割を果たしている。近年、磯焼けと総称される海洋・生物環境の変化や護岸工事等による岩礁域の縮小に伴って藻場が消失している。

青森県日本海沿岸ではツルアラメやホンダワラ類が広範な群落を形成している。したがって、藻場造成の対象種として本種に注目し、これらを中心とした藻場を造成する手法を確立するため深浦港内および港外、巣木地先（図1）に設置した施設内のツルアラメおよびホンダワラ類の生育調査を、また、ツルアラメの生育特性を詳細に調べるために水産増殖センターでタンク培養を行った。

材料と方法

1) ツルアラメ

海中林造成施設（図2-a）の構造は直径14mmハイクレロープで作成した10m四方の枠内に50cm間隔で6mmのハイクレロープを格子状に配したもので、それに青森県大間町沿岸の水深5m前後から採取した藻体を1個体ずつ、400か所に挟み込み結着し、平成7年6月、深浦港内水深5m地点に1基、同年12月、巣木地先の水深7m地点に3基設置し、その後調査した。深浦港内では平成7年12月、平成8年6月、12月および平成9年5月、12月に施設に生育する藻体を採取し、葉数を計数するとともに葉長、湿重量を測定した。巣木地先では平成9年1月と6月に、施設に生育するツルアラメの株数を計数し、併せて2.5m×3.5mの枠内に生育する藻体を採取し、各株の葉数を計数した。

藻場造成試験では大きさが50×30×8cmのコンクリート盤にタキロンネットを補強用プレートで固定した試験礁を用いた。また、匍匐枝の伸長に差が生じるか否かを確認するため、3種類の目合（N-9、N-29、N-523）のタキロンネットと間隙を作るためのスポンジを組み合わせた。ツルアラメを施設に結着した方法は以下の通りである。深浦港内の海中林造成施設に生育するツルアラメを採取し、匍匐枝の新葉を全て取り除き、一個体ずつの匍匐枝をタキロンネットにクランプで結着した。その施設を平成9年5月27日に深浦港内に投入し、同年7月1日、9月9日、11月20日、平成10年1月23日の合計4回水中でタキロンネットを取り外し、陸上で藻体の葉長、茎長、葉幅を測定するとともに新葉数を計数した。

タンク培養には小泊村の海中林造成施設に生育していたツルアラメを用いた。平成7年3月、小泊地先に海中林造成施設を設置したが、波浪により破損したため平成9年5月14日に施設を撤去した。それに生育していたツルアラメを当センターに持ち帰り、1個体ずつ匍匐枝を折らないように取り外し、新葉を全て除去して流水系で1週間順化させた。その間、光周期、水温を組み合わせて10系列の環境を設定し、5月21日から200l水槽で匍匐枝を基質に固定せずに通気流水培養を開始した。1~4週間に1回、重量、葉長、葉幅、茎長、匍匐枝長を測定し、新葉数、成熟の有無を計数、観察した。10系列の培養条件を表1に示した。

表1 ツルアラメの培養条件

水温 (°C)	5	10	15	20	25
光周期	S	S M L	S M L	M L	L

(注) S : 短日条件 (9L:15D), M : 中日条件 (12L:12D), L : 長日条件 (15L:9D)

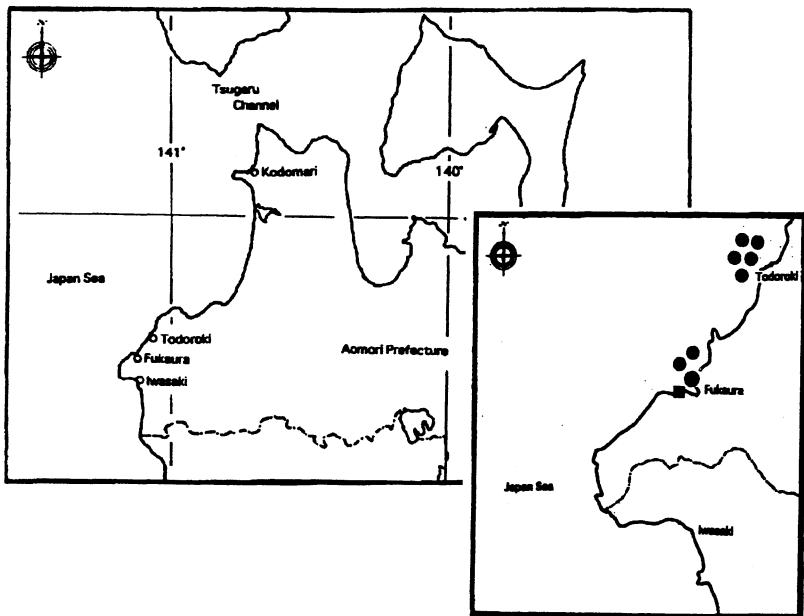
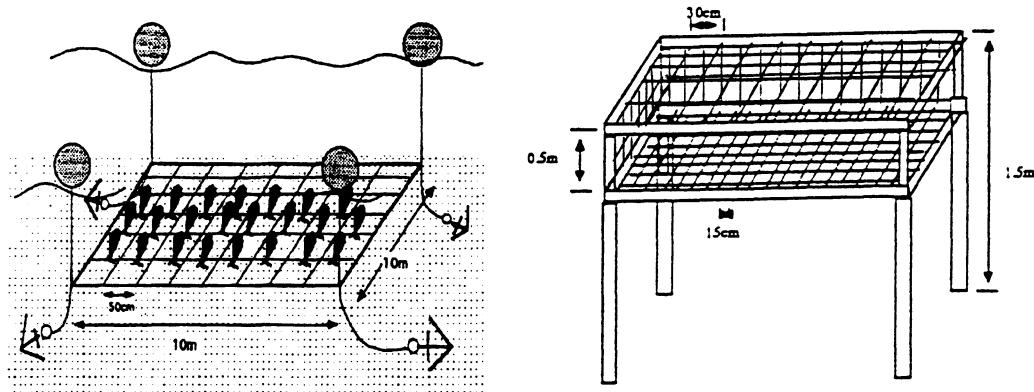


図1 試験地

- ：海中林造成施設を設置した地点
- ▲：海中林造成施設を設置およびホンダワラ類を接着した場所
- ：フジシジモク養成施設およびツルアラメ用ブロック設置場所



a 海中林造成施設

b フジシジモク養成施設

図2 海中林造成施設およびフジシジモク養成施設の外観



a ノコギリモク、ヨレモク型

b その他5種の型

図3 調査で用いたホンダワラ類の付着器の形態

2) ホンダワラ類

フシスジモク養成施設（図2-b）の構造は直径3cmのスチール製のパイプで作成した縦、横、高さが各々1.5m（足の部分は1m）の立方枠の上段、中段、2側面それぞれに目合30cm、15cm、20cmの網地を6mmのハイクレロープで結着したもので、これに組織培養によって得た全長約20cmの種苗30個体をクランプで結着し、平成8年12月に深浦港内水深5m地点に1基設置した。平成9年5月に本施設を回収し、全長および重量を測定した。また、個体数を計数し脱落率を求めた。

ホンダワラ類の藻場造成試験は深浦港内および港外のホンダワラ類が群生する潮通しの良い場所で行った。平成9年9月30日、10月1日に50×30×8cmのコンクリート盤または岩盤に水中接着剤（エスタインジョイナーW）で全長を測定したホンダワラ類の付着器を直接固定し、平成9年11月20日、12月25日、平成10年1月23日の合計3回、藻体の全長を測定し、個体数を計数した。試験にはアカモク、ジョロモク、ノコギリモク、フシスジモク、ホンダワラ、ヤツマタモク、ヨレモクの7種のホンダワラ類を用いた。また、今回使用したホンダワラ類の付着器の形態は大きく2種に分けられる（図3-a,b）ため、ノコギリモク、ヨレモクの付着器（図3-a）には付着器のみに、他の5種の付着器（図3-b）には安定させるために茎まで接着剤を付けた。

結果と考察

1) ツルアラメ

深浦港内の施設で生育するツルアラメ一株当たりの葉長組成を図4に示した。平成7年6月に設置した施設に結着した藻体一株の葉数は1枚であったが、半年後の12月には22枚、1年後の平成8年6月には75枚、同年12月には279枚と増加した。しかし、その後の平成9年5月には149枚、同年12月には116枚と減少した。また、平成8年12月までの葉長10cm以上の葉数は4.7%以下であったが、平成9年5月、12月ではそれ全体の31.5%、12.9%と葉長組成は広範囲に渡った（図4）。

施設に生育するツルアラメを図版1に示した。平成8年12月には、匍匐枝の形態が球状の大きな藻体の塊（図版1-a）を形成したが、平成9年12月にはそれを観察できなかった。

轟木地先に設置した3施設は時化のため破損したが、1施設については測定することができたので、その結果を表2に示した。1年後の平成8年12月には、施設に生育する藻体は流され234個体に減少したが、1基当たりの葉数は6692枚（約17倍）に増加した。しかし、平成9年6月には施設が破損したため前回に比べて減少した（表2）。

表2 海中林造成施設のツルアラメの生育状況

調査年月	個体（株）数（a）	個体当たりの平均葉数（b）	1基当たりの葉数（a×b）
平成7年12月	400	1	400
平成8年12月	234	29	6692
平成9年6月	156	12	1934

轟木および小泊地先の外海に設置した海中林造成施設の一部は、波浪のため破損した。深浦港内では、ロープ部分に藻類、貝類が付着した（図版1-b）ため沈降し、海底で施設が擦れ、藻体が脱落した。しかし、それまでの期間、海中林造成施設では深浦港内および轟木地先でツルアラメ種苗は生長、繁殖したため、葉数を増加させるための中間育成施設として用いることはできる。

藻場造成試験の結果、葉長、茎長、葉幅、新葉数の季節的变化を図5に示した。しかし、3種類の目合のタキロンネットおよびスポンジの組み合わせと藻体の葉長、茎長、葉幅、新葉数の間に一定の関係を見出

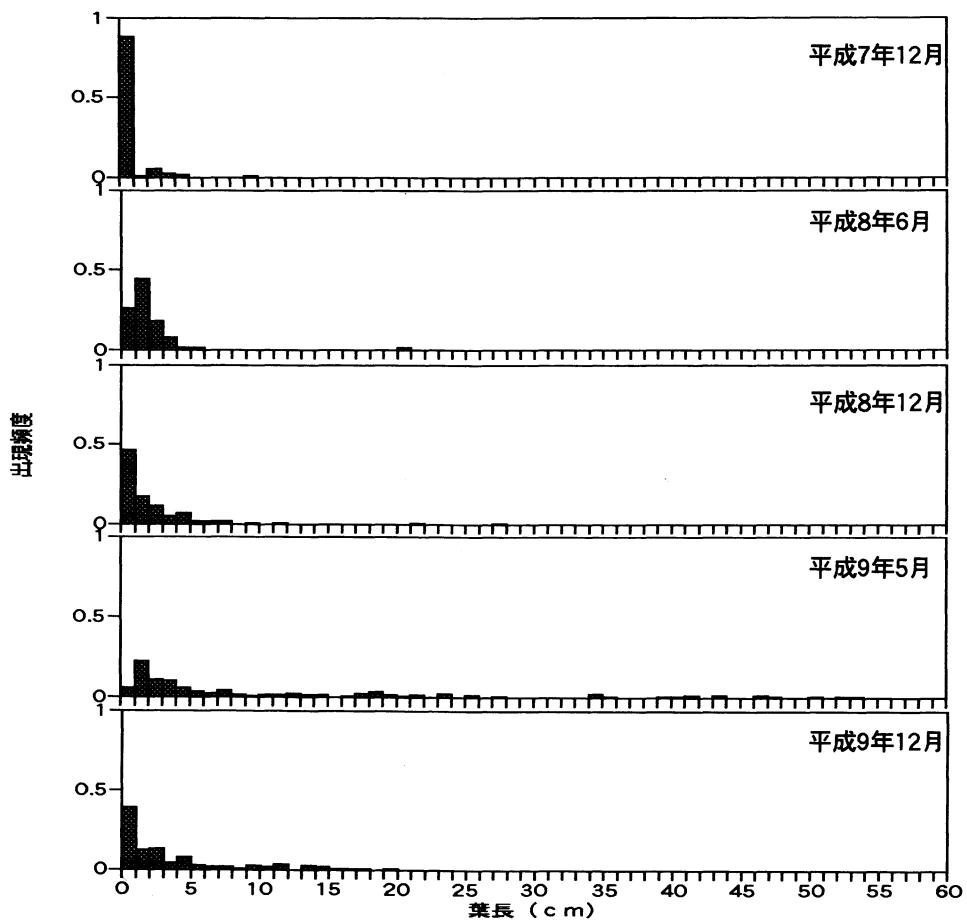


図4 深浦ツルアラメ葉長組成

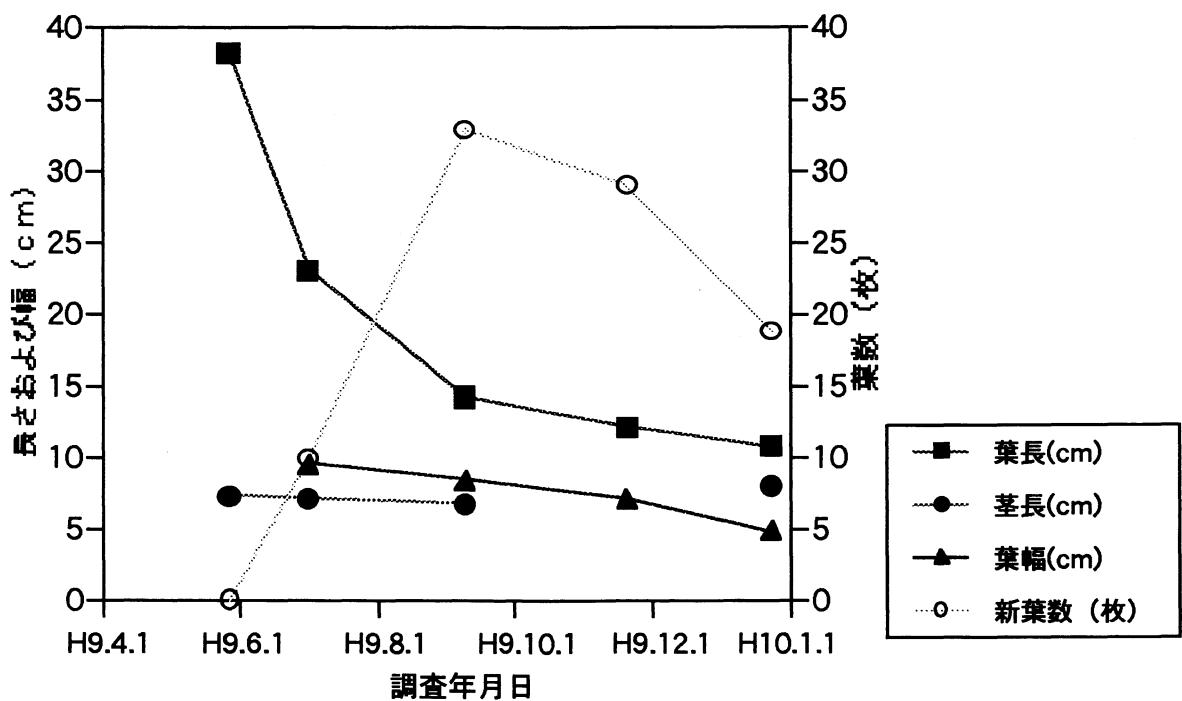


図5 試験礁に生育するツルアラメの季節的変化

すことはできなかった。茎長および葉幅は、一年を通してほとんど変化しなかったが、葉長は5月以降等比級数的に減少した。新葉数は9月まで著しく増加したが、その後徐々に減少した（図5）。平成10年1月23日調査時の結着藻体の脱落率は16%であった。図版2にタキロンネット上で生育するツルアラメを示した。平成9年5月に結着した際取り除いた新葉（図版2-a）は、7月、9月に生育していた（図版2-c,d）が、水温が25°C以上になった後の9月以降では藻体の色は黒褐色となった（図版2-d）。ツルアラメの中には黒褐色に変色すると枯死し、流失または基部から脱落する個体がある。平成9年9月から翌年1月に流失または基部から脱落する親株を確認したが、試験礁に着生している匍匐枝上には新葉が生長していた（図版2-e）。また、5月には観察できなかった副匍匐枝（図版2-a）は、7月、9月には伸長し（図版2-b～d）、試験礁に着生していた（図版2-b）。

ツルアラメは子囊斑の形成の他に匍匐枝の再生および伸長によって繁殖する。海中林造成施設では、ロープ上以外に匍匐枝を伸長できず、この増殖機能を十分に生かすことができなかった。しかし、藻場造成試験の施設では葉数が増加するだけではなく副匍匐枝が伸長および着生したため、ツルアラメは匍匐枝の伸長によって群落を形成することが示唆された。今回使用した試験礁の一部は波浪によって反転したが、安定した施設であれば外海でもツルアラメ場を増殖できるものと考える。

タンク培養から得た重量、葉長、葉幅、茎長、匍匐枝長の平均値の経時的変化を図6-a～eに示した。重量、葉長は10°C-M条件下では徐々に増加したが、5°C-S、10°C-SおよびLではほとんど増減しなかった。その他6つの設定では減少した（図6-a,b）。葉幅、茎長、匍匐枝長は、葉幅の15°C-SおよびMを除いたすべての条件下でほとんど増減しなかった（図6-c～e）。葉幅の15°C-SとMが減少したのは葉長が減少したためである。また、藻場造成試験では匍匐枝を試験礁に固定したため副匍匐枝が伸長した（図版2-a～d）が、タンク培養では匍匐枝を固定しないで培養したため、副匍匐枝はほとんど伸長せず、匍匐枝長が増加しなかったものと考える。新葉の平均葉長、新葉の枚数、全葉数に対する突出しの枚数それぞれを図7-a～cに示した。新葉の葉長はすべての10°Cと15°C-S条件下で良く伸びた（図7-a）。新葉の枚数は大きく3グループに分かれた。25および20°C-L、15°C-SおよびM条件下では50枚程度と多く、5°Cおよび10°C-Sでは少なく10枚程度であったが、その他の条件下では30枚程度であった（図7-b）。10月7日以降を見ると、全葉数に対する突出し枚数は5°C、10°C、15°Cの短日条件で30%以上だった。12月に10°C-L条件下では30%以上となったが、それ以外では30%以下であった（図7-c）。15°C以上の条件下で成熟し、子囊斑を葉上に形成した。

平成9年1月から翌年1月までの深浦の定置水温を図8に示した。タンク培養から得た重量、葉長、葉幅、茎長、匍匐枝長の生長特性（図6）と新葉の葉長および枚数、全葉数に対する突出しの枚数（図7）をまとめ表3に、深浦の水温（図8）と試験礁に結着したツルアラメの季節的生育特性（図5）の関係を表4に示した。

タンク培養の結果、15°C以上で重量および葉長は減少したが子囊斑を形成した。突出しはすべての条件下で観察したが、5°C、10°C、15°Cの短日条件で比較的に良く見られた。新葉の枚数は15°C以上で多く、葉長は10°Cで良く伸びた。増減がほとんど見られなかったものは、葉幅、茎長、匍匐枝長であった（表3）。

平成9年5月～翌年1月までに行った藻場造成試験、平成9年5～12月に行ったタンク培養の両試験結果を比較すると双方ともに、葉長は15°C以上で減少し、葉幅および茎長は増減しなかった。また、水温が高くなるほど新葉の数が多くなる傾向を示した（表3,4、図8）。

上記より、ツルアラメの有性生殖および栄養繁殖による増殖について次のように推察した。能登谷・小田切¹⁾（1984）は遊走子の放出から卵を形成する期間の水温は20°C前後が最も良い温度条件であると報告している。深浦では11月中旬までの水温15°C以上の秋季に成熟して遊走子を出し、卵を形成すること（有性生殖）によって次代を増殖させる。栄養繁殖については以下のように考察した。匍匐枝上の新葉はどの時季でも形成するが、水温15°C以上（深浦では6月上旬～7月下旬）で特に多く形成する。しかし、水

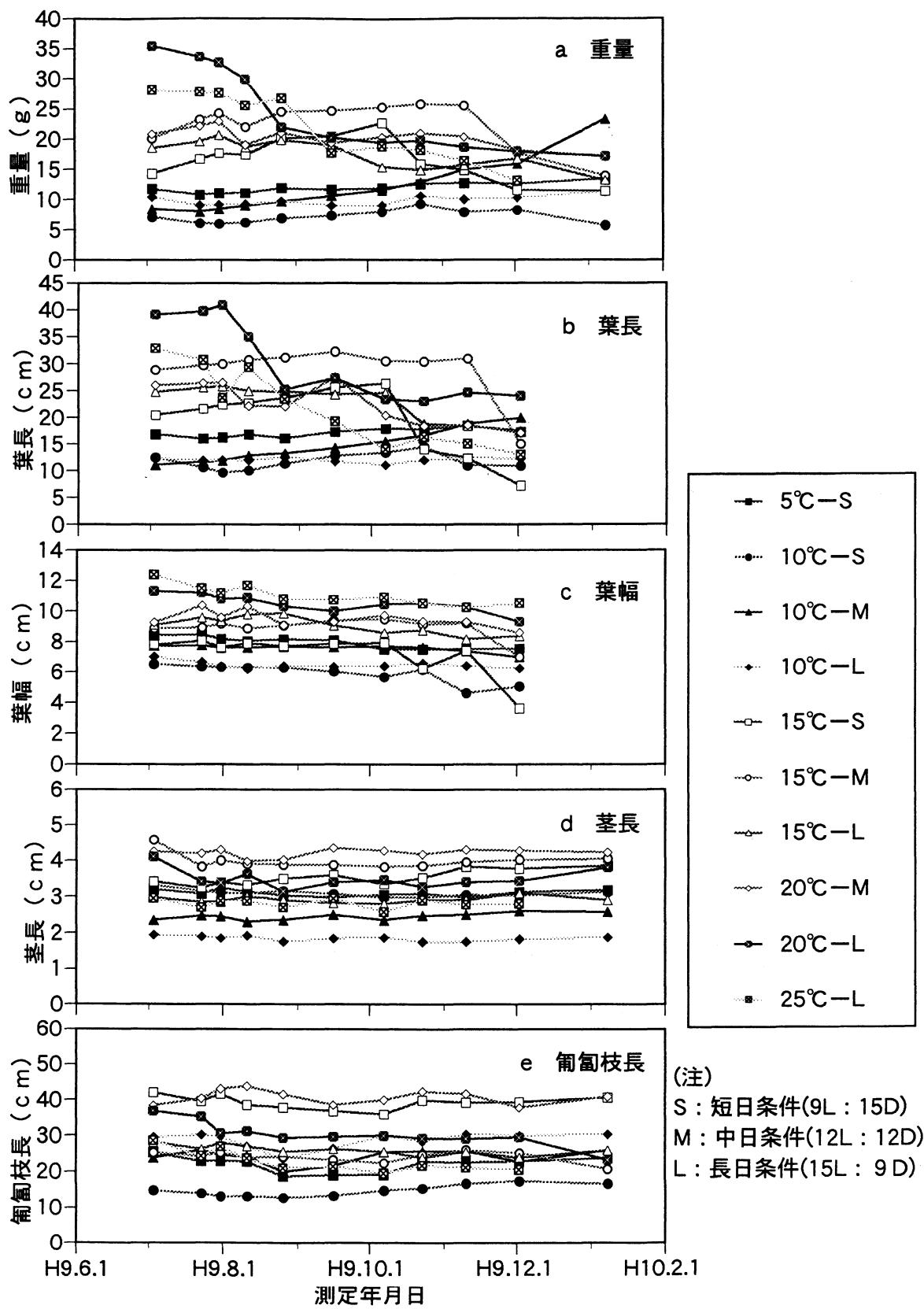


図6 タンク培養したツルアラメの生長特性

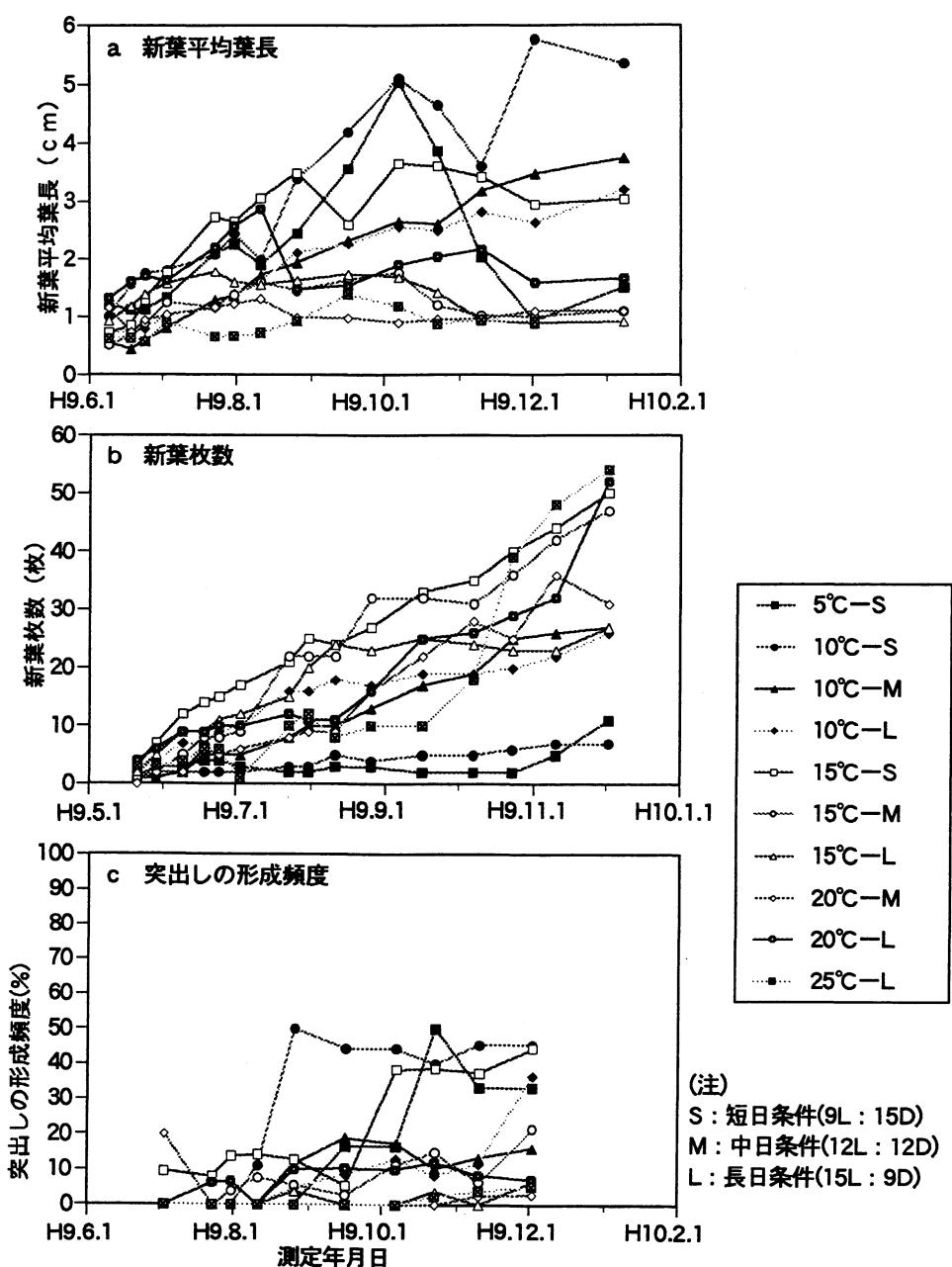


図 7 新葉の生長特性および突出しの形成頻度

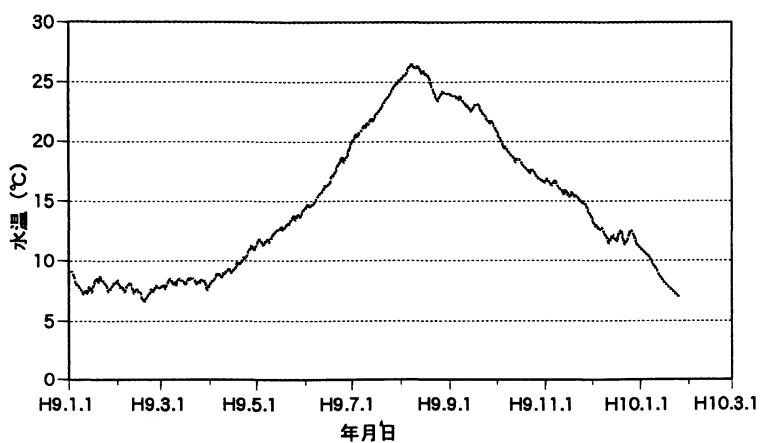


図 8 平成 9 年から 10 年 1 月の深浦定置水温

表3 各培養条件下でのツルアラメの生育特性

水温 (°C)	5	10			15			20		25
光周期	S	S	M	L	S	M	L	M	L	L
重量	±	±	+	±	—	—	—	—	—	—
葉長	±	±	+	±	—	—	—	—	—	—
葉幅	±	±	±	±	—	—	±	±	±	±
茎長	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
匍匐枝長	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
新葉の枚数	+	+	++	++	+++	+++	++	++	+++	+++
新葉の葉長	±	+++	++	++	++	±	±	±	±	±
突出し	++	++	+	+	++	+	+	+	+	+
成熟	—	—	—	—	+	++	+	+	+	+

(注) S : 短日条件 (9L:15D), M : 中日条件 (12L:12D), L : 長日条件 (15L:9D)

— : 減少、± : 増減なし、+ : 增加 (+<++<+++) または確認

表4 深浦の水温と試験礁に生育するツルアラメの季節的生育特性

水温	10°C以上15°C未満	15°C以上27°C未満
葉長	±	—
葉幅	±	±
茎長	±	±
新葉の枚数	++	+++

(注) — : 減少、± : 増減なし、+ : 增加 (+<++<+++)

温が25°C以上になった(7月下旬～8月中旬)後には、藻体の中には色が黒褐色となり(図版2-d)、枯死、流失するものもあった。葉長は水温15°C以上の期間(6月上旬～11月下旬)に減少するが、短日条件の15°C以下(11月中旬～3月下旬)になると突出しを形成し、10°C以下(1月から4月中旬まで)になると生長する(表3,4、図8)。実際、親株が平成10年1月(海水温5～10°C)の調査時に枯死、流失していた個体の中でも、試験礁に着生した匍匐枝上には新葉が生長していた(図版2-e)。藻場造成試験で用いた施設の調査では、2か月に1回、着定した匍匐枝、副匍匐枝を剥がして陸上で測定し、水槽では匍匐枝を基質に結着せずに培養したため、匍匐枝、副匍匐枝が基質へ着定する最も良い時期(温度条件)を確認できなかったが、このようにしてツルアラメは匍匐枝の伸長によって群落を形成する(栄養繁殖)ことが示唆された。

本試験より深浦では10月中旬から11月上旬(水温15～20°Cの期間)に藻体を施設に設置すると、ツルアラメは有性生殖によって繁殖できることが分かった。匍匐枝については今後、良く伸長する時期を捕えることによって栄養繁殖で効率良く群落を形成することができるものと考える。

2) ホンダワラ類

フシスジモク養成施設には29個体の組織培養株が残っており、平均全長は35.1 cm、平均重量は34.1 gであった。本施設にも藻類および貝類が付着するため、定期的に施設を管理することが必要であり、また、耐波性の面から見ると港内では有効であるが、外海では適さない。しかし、本試験で藻体は順調に生長し、藻体脱落率は3%と少なかったので、耐波性の問題を克服できる施設に改良できれば組織培養による個体を育成する施設および藻場を造成する種場として利用できるものと推察する。

コンクリート盤および岩盤に水中接着剤で固定したホンダワラ類の生残率を表5に示した（平成10年1月23日は時化のため、港内だけ調査した）。

表5 ホンダワラ類の生残率 (%)

和名	調査年月日				
	平成9年11月20日		平成9年12月25日		平成10年1月23日
	港内	港外	港内	港外	港内
アカモク	0	—	0	—	0
ジョロモク	80	—	20	—	20
ノコギリモク	71	75	71	75	43
フシスジモク	0	50	0	0	0
ホンダワラ	0	50	0	0	0
ヤツマタモク	0	67	0	33	0
ヨレモク	40	38	40	38	40

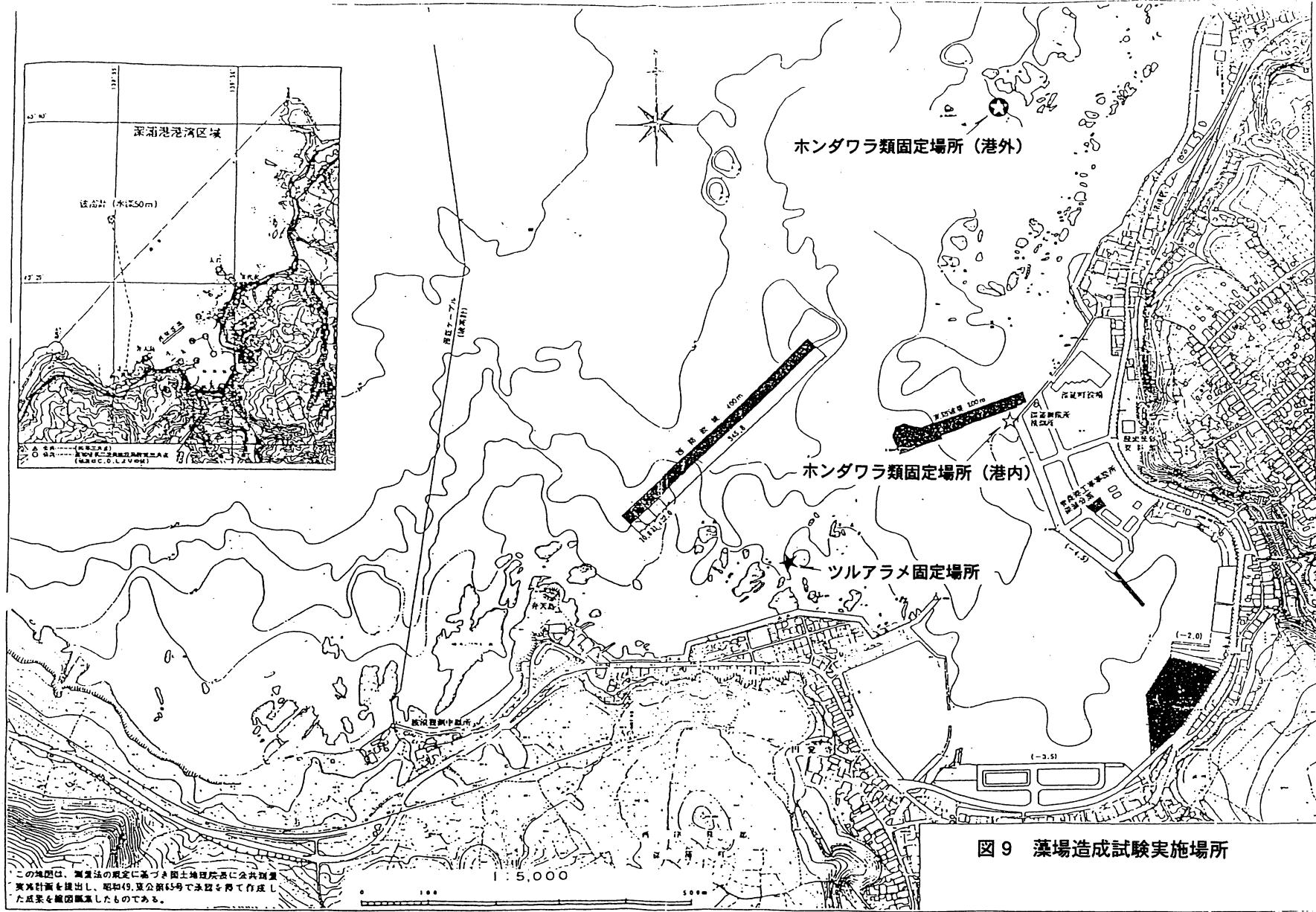
平成9年11月20日および12月25日のホンダワラ類の生残率は港内の方が低かった。図9に藻場造成試験を行った場所を示した。港内に河川水が流入しており浮泥が溜まることを考慮し、港内のホンダワラ類固定場所として潮通しの良い場所を選んだが、陸と防波堤の間隔が急激に狭まる所だったため、干溝による流れによって藻体が振られ、港内での生残率が悪かったものと考える（図9）。

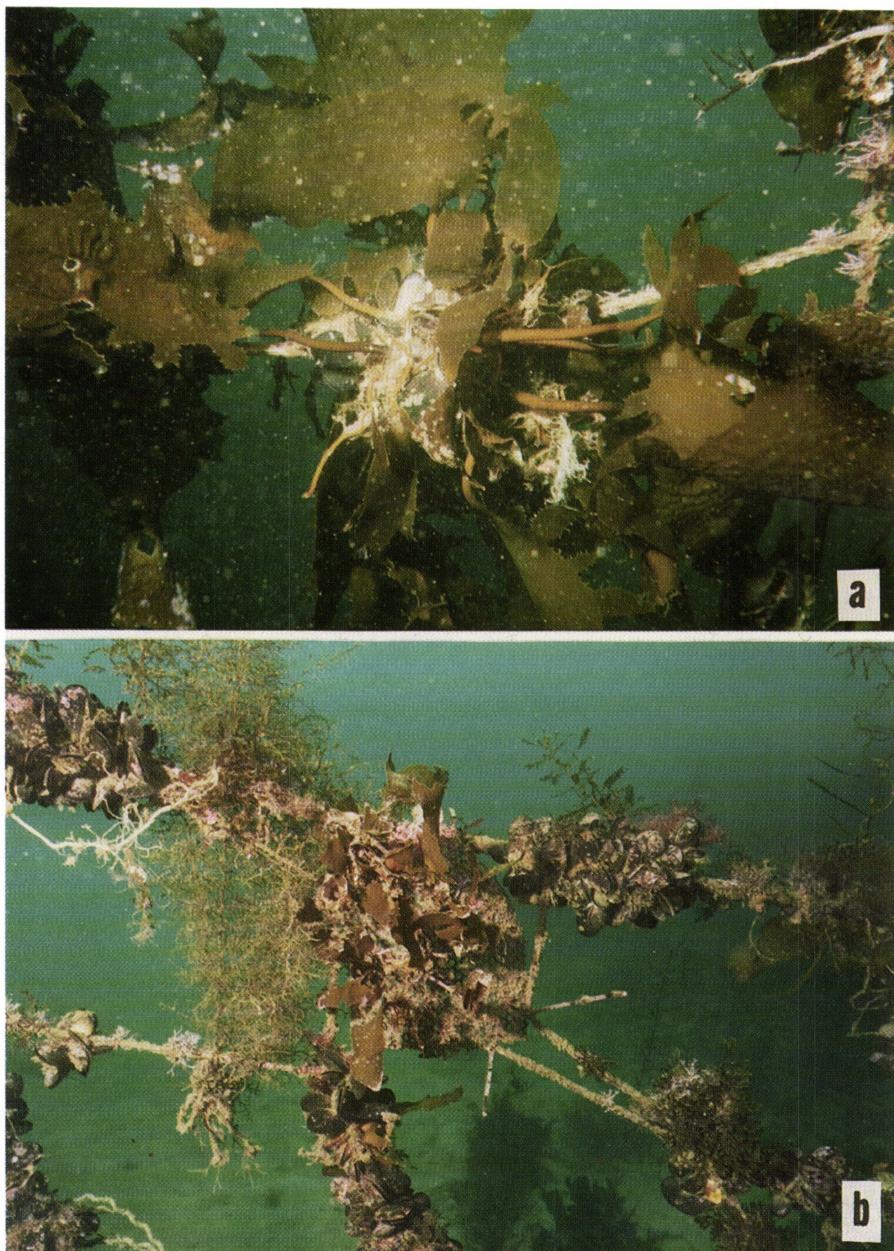
平成9年12月25日まで港内、港外ともに生き残ったものは、付着器だけに接着剤を付けたノコギリモク、ヨレモクのみで、茎にまで接着剤を付けた他の5種の生残率は低かった（表5）。全7種の脱落した個体は、いずれも水中接着剤が剥がれたり、藻体が引き抜けたためではなく、茎が接着剤の切れ目で擦れて折れたため脱落したこと、また、脱落しなかった個体は脱落したものに比べ茎がやや太いことを確認した。これより、生残率が異なる要因は付着器の形態および茎の太さにあると推察する。

平成10年1月23日までの結果からは、ノコギリモクおよびヨレモクに関しては大きな藻体を用いれば、この手法で藻場を造成することが可能であると考えるが、1月23日以降、生長および脱落率を観察していない。また、今回の水中接着剤によるホンダワラ類の固定は作業上能率が悪かった。したがって、今後は冬期間の波浪による脱落率を観察し、藻場造成への有効な手法となるか否かを検討するとともに、作業効率を良くするように手順を改善する必要がある。

参考文献

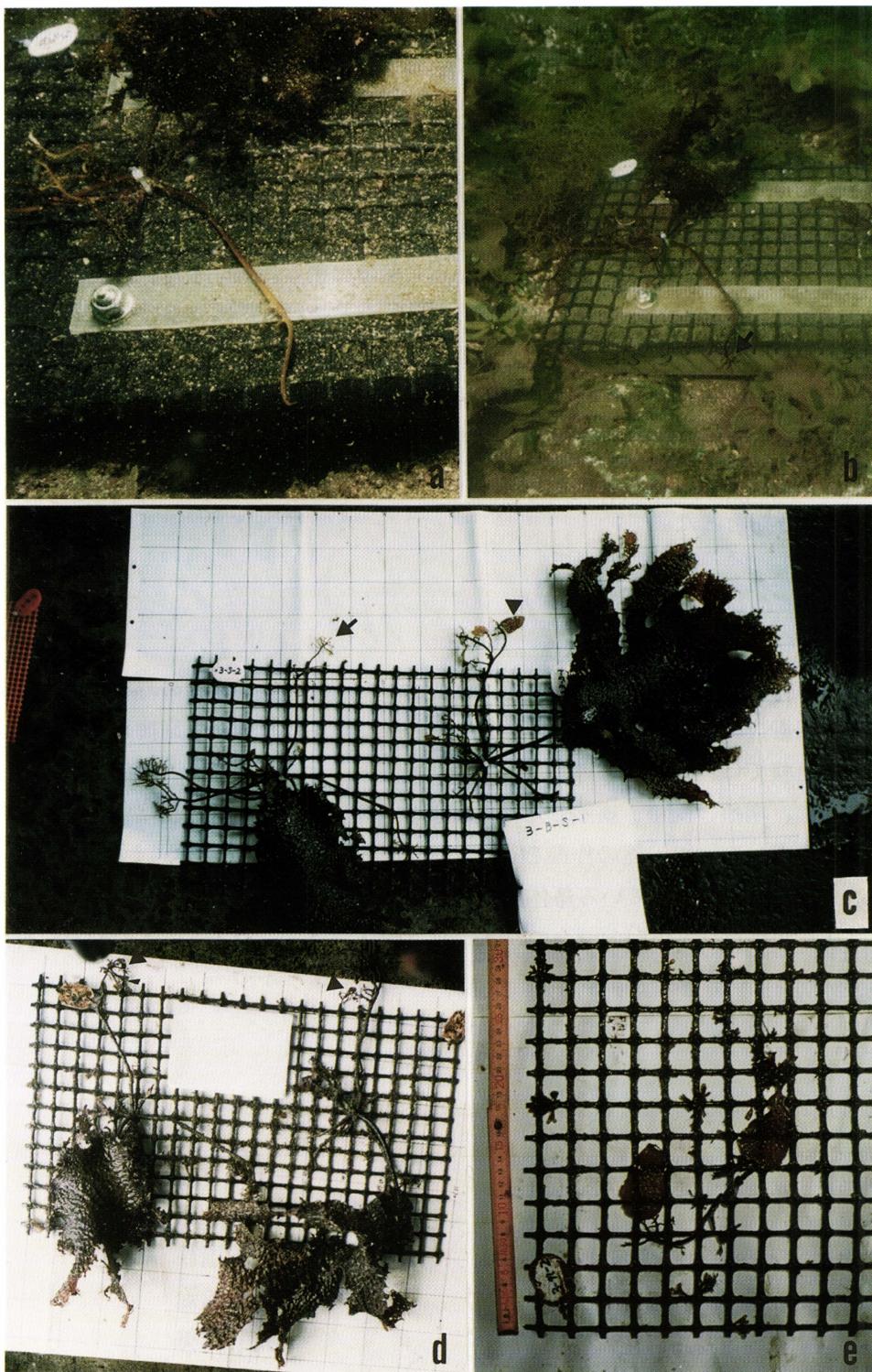
- 1) 能登谷 正浩・小田切 明久（1984）：日本海域における餌料海藻類増殖試験 I ツルアラメ増殖試験、青森県水産増殖センター事業報告、第13号、258-263.





図版 1

- a 海中林造成施設に生育するツルアラメの球状になった匍匐枝（平成 8 年12月27日）
- b 海中林造成施設に付着した貝類（平成 9 年12月25日）



図版2

- a 試験礁に結着したツルアラメの匍匐枝（平成9年5月24日）
 - b ツルアラメの匍匐枝から副匍匐枝が発出し、試験礁に着生した様子（平成9年7月1日）
 - c 試験礁から取り外したツルアラメ（平成9年7月1日）
 - d 試験礁から取り外したツルアラメ（平成9年9月9日）
 - e 試験礁から取り外したツルアラメ（平成10年1月23日）
- (注) 矢印：副匍匐枝、矢じり印：新葉