

海洋深層水を用いたマクサの培養と 富山湾深層水放水域での成長予測

Culture of *Gelidium elegans* (Gelidiales, Rhodophyta)
in deep-sea water (DSW) and prediction of its growth
in DSW-released coastal waters in Toyama Bay

松村 航¹・渡辺 健¹・南條 暢聡¹・浦邊 清治¹・林 正敏²・池田 知司²
藤田 大介³

Wataru MATSUMURA, Ken WATANABE, Nobuaki NANJO, Seiji URABE,
Masatoshi HAYASHI, Tomoji IKEDA and Daisuke FUJITA

Abstract

The wastes and overflows of deep-sea water (DSW) have been released from land-based systems into coastal waters in Toyama Bay. To predict the effects of the enriched and cold water on *Gelidium* beds, relative growth rates (RGR) of cut-off *Gelidium elegans* Kützing branches were examined by culturing for ten days in an incubator (NEDO Bio Cube) using running DSW. In the culture to find optimal turnover rates of DSW, RGR were higher at 5-10 times/day than 1-3 times/day. In the following cultures to find optimal sea water temperature (10, 15, 20, 25 and 30 °C) and light intensity (20, 60, 100 and 200 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$), higher values of RGR were obtained at 20-25 °C and at 60-100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$, respectively. At 20-25 °C and at 200 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$, one or more branches regenerated from each fracture more frequently. Then effects of dilution of nutrients were tested by culturing in DSW mixed with surface-sea water (SSW) at five rates (percentage of DSW/SSW; 100, 75, 50, 25, 0%). As the result, RGR elevated in waters of higher DSW rates at a combined optimal condition (5 times/day, 20 °C and 60 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$). Using these data, growth of *G. elegans* in DSW-released areas in Toyama Bay were predicted as the function of seawater temperature and nitrogen concentration on the assumption of nitrogen limitation in coastal waters. When DSW (3 °C) is released into coastal waters (SSW temperatures: 27 °C in summer, 10 °C in winter), growth of *G. elegans* will be enhanced only in summer. When released after warmed by 15 °C, growth will be enhanced in both seasons. However, in higher DSW rates, an epiphytic diatom, *Arachnoidiscus ornatus* may increase in number and damage *Gelidium* beds as suggested in the present study.

Key Words: attached diatom, deep-sea water, *Gelidium elegans*, deep-sea water release, growth prediction

要 旨

富栄養かつ低温の富山湾深層水（以下、深層水）排水・余剰水の沿岸への放流がテングサ場と与える影響を調べるため、マクサ *Gelidium elegans* Kützing 枝片の流水培養を行った。深層水の換

¹富山県水産試験場（〒936-8536 富山県滑川市高塚 364）

²関西総合環境センター（〒541-0052 大阪市中央区安土町 1-3-5）

³東京海洋大学（〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7）

水率 4 条件 (1, 3, 5, 10 回転/日) では 5~10 回転/日, 水温 5 条件 (10, 15, 20, 25, 30°C) では 20~25°C, 光量子密度 4 条件 (20, 60, 100, 200 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$) では 60~100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ で高い相対成長率 (RGR) を示した. 5 段階の深層-表層混合水 (深層水濃度; 100, 75, 50, 25, 0%) で培養した結果, 深層水の割合が大きいくほど RGR は高かった. 以上の結果から予測すると, 深層水 (3°C) を放流した場合は夏季 (表層水温 27°C) のみ, 15°C 昇温させて放流した場合は冬季 (同 10°C) にもマクサの成長は促進される. ただし, 深層水の割合が高いと付着珪藻の増加が懸念される.

キーワード: マクサ, 付着珪藻, 培養, 成長予測, 海洋深層水放流

1. 緒 言

近年, 国内では水産, 食品など各分野で海洋深層水の利用が盛んになり, 陸上取水施設が各地で稼働しているが, いずれの場合も余剰水や魚介類の飼育排水は沿岸域に放流されている. 深層水は栄養塩が豊富で, 大型海藻や微細藻類の増殖に適していることから, 沿岸域に放流される場合, 拡散に伴う希釈は起こるものの, 生物群集, とりわけ放流域の周辺で固着生活を営む海藻の群落 (藻場) に何らかの影響を及ぼすことが予想され (藤田, 2002), 高知県室戸市沖では放流海域の磯焼け漁場の植生に改善が認められたとされている (谷口ら, 2000; 鍋島ら, 2000).

深層水の影響は, 放流される海域の地形, 環境や各海藻の生理生態学的特性によっても異なると考えられるが, この観点から注目すべき海藻の一つに紅藻テングサ科の寒天原藻マクサ *Gelidium elegans* Kützinger がある. テングサ類の総説 (藤田, 2004) によれば, マクサは, 小型ではあるが, 多年生で, ほぼ全国各地に分布し, 湧昇域や内湾域のように栄養塩が安定供給される海域で大規模な群落 (テングサ場と呼ばれる) を形成する. しかし, 海水が停滞または富栄養化すると *Arachnoidiscus ornatus* などの付着珪藻の大量発生が起こり, 寒天原藻としての製品価値を損なう. 富山湾でも深層水取水施設のある滑川市や入善町などに大小のテングサ場が分布しており, サザエや磯魚の幼稚・保育場とされ, マクサの漁場, サザエ人工種苗の放流スポットとして活用されているが, 近年は群落の衰退や藻体への珪藻などの付着が著しい. これらのことから, テング

サ場に深層水を放流する場合にはどのような影響が現れるか, 培養試験等により検討しておく必要がある.

マクサの培養は, 古くは山田 (1967) が表層海水を用いて先駆的な研究を行っているが, 深層水を用いた事例には室内止水培養 (田島ら, 2002) と加温深層水を用いた流水培養 (藤田, 2001) があるにすぎない. しかし, 深層水放流域では水温と栄養塩濃度の複合的な変化が起こると考えられることから, 本研究では, 流水式恒温槽を用いて水温および深層水の混合率 (表層海水に対する希釈率) を組み合わせて培養し, マクサの成長に及ぼす影響について詳しく調べた.

2. 材料と方法

実験に用いたマクサは, 2003 年 6 月と 9 月に富山県滑川地先で採集した未成熟体で, 先端から切り取った長さ 2 cm の枝の先端部 (図 1) を培養に供した. 以下, 本文ではこれを藻体と呼ぶ. 藻体には付着珪藻 *A. ornatus* (図 2-3) が多少付着していたが, 除去にあたってはマクサの損傷も懸念されたため, あえて除かず, 後述のように一部の実験で付着個体数の動向を観察した.

培養は, 流水式恒温槽 (NEDO Bio Cube) を用いた. この装置は貯蔵タンクと恒温槽 (3 段) の間を海洋深層水が流れるように設計されている. 培養容器には広口 T 型プラスチックビン (1 L 容) を用いた. 各容器とも, 深層水の注水, 排水および通気を行うために蓋に 3 箇所穴を開け, 容器内の水量が常に 800 mL となるように調整し, マクサの

表 1. 海洋深層水を用いたマクサ培養実験における各培養条件

実験項目	換水率 (回転/日)	水温 (°C)	光量子密度 ($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$)	深層水濃度 (%)	光周期 (Light : Dark)
①換水率実験	1, 3, 5, 10*	15	60	100	12h : 12h
②水温実験	5	10, 15, 20, 25, 30	60	100	12h : 12h
③光量子密度実験	5	20	20, 60, 100, 200	100	12h : 12h
④深層水濃度実験	5	20	60	0, 25, 50, 75, 100	12h : 12h

*1, 3, 5, 10 回転/日は 0.8, 2.4, 4, 8 L/日に相当。

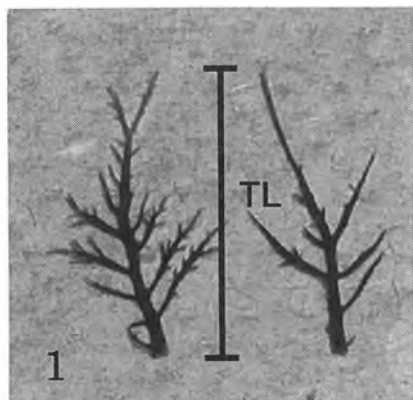


図 1. マクサの先端部位 (藻体長 2 cm). TL : 藻体長.

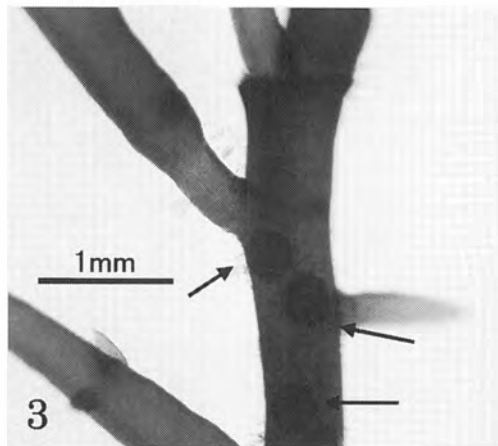


図 3. 藻体上に付着していたアラクノイディスクス (矢印).

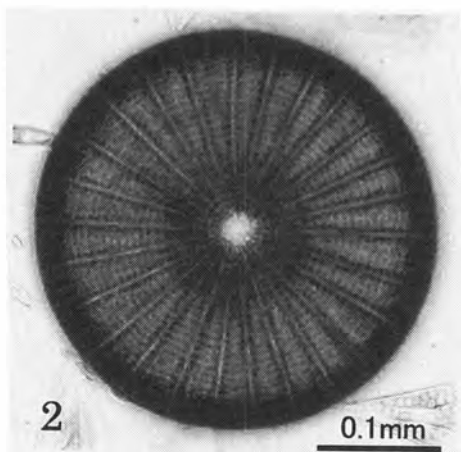


図 2. アラクノイディスクス.

藻体を 10 片ずつ入れた。それぞれの条件で 5 日間馴致培養した後、換水率、水温、光量子密度および深層水混合率について最適条件を求めるために、表 1 に示した①～④の培養実験を行った。深層水と表層水の栄養塩濃度は、実験開始当初に調べた硝酸塩濃度 (DIN) でみるとそれぞれ $22.1 \mu\text{M}$ および $3.53 \mu\text{M}$ で、深層水濃度 25 %、50 % および 75 % における DIN はそれぞれ $8.17 \mu\text{M}$ 、 $12.82 \mu\text{M}$ および $17.46 \mu\text{M}$ であった。

実験①～③は 6～7 月、④は 9 月に行い、何れも実験期間は 10 日間とし、通気培養を行った。培

養終了後、直ちに藻体長 (total length, 測定部位については図 1 を参照) と湿重量 (wet weight) を測定して、それぞれについて相対成長率 (RGR : Relative Growth Rate) を求め、TL-RGR および WW-RGR とした。相対成長率は、De Boer *et al.* (1978) に従って下式を用い、統計処理には Mann Whitney の検定 (U 検定) を用いた。

$$\text{RGR} (\% \text{ day}^{-1}) = 100 t^{-1} \text{Ln} (V_a/V_b)$$

t : 日数 V_a : t 日後の藻体長または湿重量

V_b : 実験開始時の藻体長または湿重量

なお、実験④では、マクサの側枝の数や藻体上に付着していた珪藻 *A. ornatus* の動向も調べた。付着珪藻は実験の前後に実体顕微鏡を用いてマクサ藻体ごとに着生個体数を計測し、平均個体数の変化を比較した。また、上記の②～④の実験では、培養 10 日後にマクサの基部側、すなわち藻体片作成時の切断面から再生枝が生じたため、再生状況を光学顕微鏡で詳しく観察した。ここでは枝状の突起物を再生枝と呼んだ。なお、採集したマクサの実験に用いるまでの保存培養条件は、水温 20°C 、光量子密

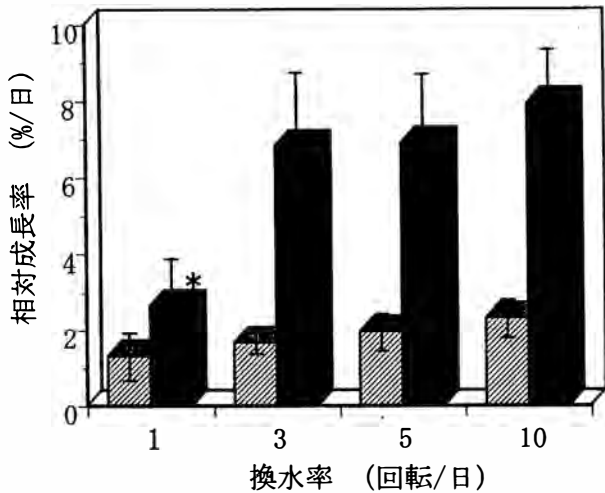


図4. 換水率による藻体長及び湿重量の相対成長率.
 ▨ 藻体長 ■ 湿重量
 *は10回転/日に対して有意に低いことを示す.

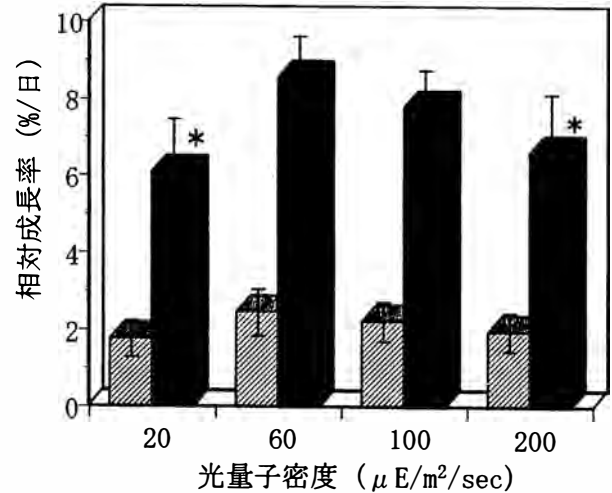


図6. 光量子密度による藻体長及び湿重量の相対成長率.
 ▨ 藻体長 ■ 湿重量
 *は60 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ に対して有意に低いことを示す.

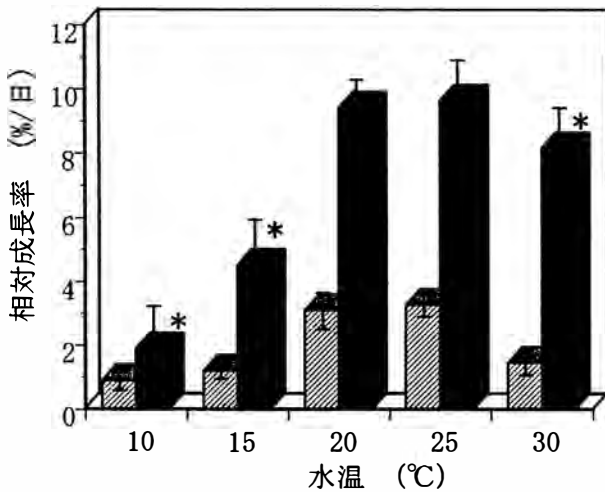


図5. 水温による藻体長及び湿重量の相対成長率.
 ▨ 藻体長 ■ 湿重量
 *は25 $^{\circ}\text{C}$ に対して有意に低いことを示す.

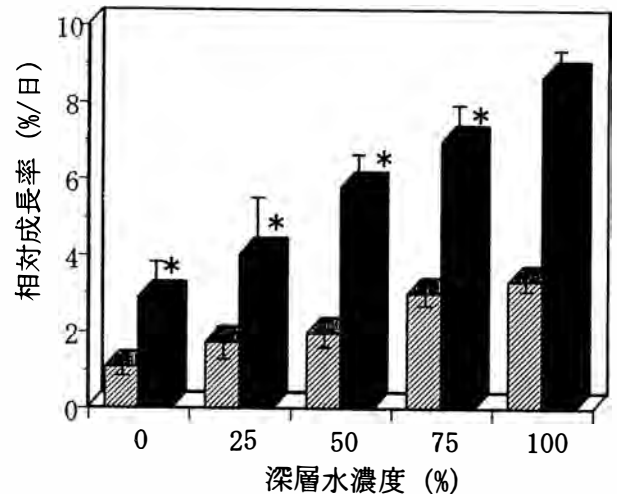


図7. 深層水濃度による藻体長及び湿重量の相対成長率.
 ▨ 藻体長 ■ 湿重量
 *は濃度100%に対して有意に低いことを示す.

度 $60 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$, 明暗 12 時間 : 12 時間の光周期で行った.

3. 結果

実験①～④の結果を図4～7に示した. 以下に, 実験ごとの結果を述べる.

換水率 (実験①)

TL-RGR および WW-RGR はそれぞれ 1 回転/日で 1.3%, 2.6%, 3 回転/日で 1.7%, 6.8%, 5 回転/日で 1.9%, 6.9%, 10 回転/日で 2.3%, 7.9% となり, いずれも換水率が大きいほど高い値を示

した (図4). 本実験の U-検定結果は TL-RGR と WW-RGR でやや異なったが, 前者では側枝の成長が反映されないため, ここでは藻体全体の成長を表している WW-RGR の検定に注目したところ (以下の実験でも同様), 1 回転/日と 3 回転/日以上で有意差が認められた ($P < 0.05$). しかし, 1 回転/日と 3 回転/日では, 培養日数の経過に伴って体色がやや薄くなる傾向があり, 栄養塩不足と推察されたため, 以後の実験は 5 回転/日 (流量 4 L/日) で行った.

水温 (実験②)

TL-RGR および WW-RGR はそれぞれ 10 $^{\circ}\text{C}$ で

表 2. 培養開始前と培養 10 日後の側枝数

飼育期間	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
培養 0 日後	50 ± 12.0	50 ± 22.3	63.6 ± 25.5	60.8 ± 19.3	64.5 ± 14.4
培養 10 日後	57.4 ± 11.1	76.2 ± 21	101 ± 31.4	140.1 ± 37.6	184.3 ± 35.5

表 3. 培養開始前と培養 10 日後の付着珪藻の個体数

飼育期間	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
培養 0 日後	19.8 ± 8.1	23.2 ± 14.8	14.3 ± 6.8	27.2 ± 10.6	25.7 ± 8.2
培養 10 日後	15.1 ± 8.5	18.8 ± 11.5	14.0 ± 7.3	38.2 ± 14.0	35.9 ± 10.0

は 0.9 %, 1.9 %, 15 °C では 1.2 %, 4.5 %, 20 °C で 3.1 %, 9.4 %, 25 °C で 3.3 %, 9.6 %, 30 °C では 1.4 %, 8.1 % で、いずれも 20 °C と 25 °C で高い値を示した (図 5)。WW-RGR についての U 検定の結果、10 °C と 15 °C, 15 °C と 20 °C, 25 °C と 30 °C で有意差が認められ ($P < 0.05$), 20 °C と 25 °C で有意差はなかった ($P = 0.71$)。この結果から、マクサの成長には 20 ~ 25 °C が適していると判断し、以下の実験は 20 °C で行った。なお、実験終了後に藻体を光学顕微鏡で観察したところ、25 °C で培養した藻体の 30 % で側枝に嚢果あるいは四分胞子を形成していた。

光量子密度 (実験③)

TL-RGR および WW-RGR はそれぞれ 20 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ で 1.8 %, 6.1 %, 60 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ で 2.5 %, 8.5 %, 100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ で 2.2 %, 7.8 %, 200 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ で 2.0 %, 6.5 % となり、60 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ が最も高い値を示した (図 6)。WW-RGR についての U 検定の結果、20 と 60 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$, 100 と 200 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ の間では有意差あり ($P < 0.05$), 60 と 100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ の間では有意差がなかった ($P = 0.10$) ことから、適正光量子密度は 60 ~ 100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ と判断した。なお、実験終了後に藻体を光学顕微鏡で観察したところ、100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ で 1 藻体だけはあったが、側枝に嚢果の形成を認めた。一方、200 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ では藻体の一部が白色に変色し、強光による障害があった。

深層水混合率 (実験④)

TL-RGR および WW-RGR はそれぞれ深層水濃

度 0 % で 1.1 %, 2.9 %, 25 % で 1.7 %, 4.0 %, 50 % で 1.9 %, 5.8 %, 75 % で 3.0 %, 7.0 %, 100 % で 3.3 %, 8.7 % となり、いずれも深層水濃度の増加に伴って高い成長率を示し、濃度 100 % で最も高い値となった (図 7)。WW-RGR についての U 検定の結果、深層水濃度 0 と 25 % では有意差がなく ($P = 0.08$), 25 % と 50 %, 50 % と 75 %, 75 % と 100 % の間で有意差が認められた ($P < 0.05$)。

培養開始前と培養終了後 (10 日間) の側枝数を表 2, 同じく付着珪藻 *A. discus* の付着個体数を表 3 に示した。側枝数の比は、深層水濃度 0 % では約 1.15 倍, 25 % で約 1.52 倍, 50 % で約 1.59 倍, 75 % で約 2.30 倍, 100 % で約 2.86 倍となり、深層水濃度の増加に伴って分枝数は増加する傾向が認められた。一方、*A. ornatus* の平均個体数は、深層水濃度 0 - 50 % では増加しなかったが、75 - 100 % では分裂によって約 1.4 倍に増加していた。

再生枝の形成

培養 (切断) 10 日後、基部側の切断面から再生枝の形成が観察された。再生枝は、まず切断面にカルス様の細胞塊が形成され、その細胞塊から発出しているのが認められた (図 8 - 9)。各条件下で形成された再生枝の数を測定した。水温別の実験②で形成された再生枝は、10 °C で平均 0.2 本/藻体と少なかったが、最適成長条件と判断した 20 と 25 °C では平均 1.8 本/藻体、30 °C でも平均 1.2 本/藻体であった (図 10a)。光量子別の実験③で形成された再生枝は、20 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ で平均 1.5 本/藻体、60 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ で 1.7 本/藻体、100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ で 2.3

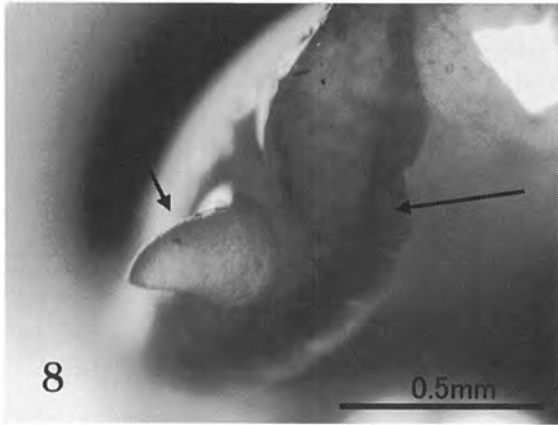


図8. 切断面上に形成されたカルス様細胞と発生初期の再生枝 (矢印).

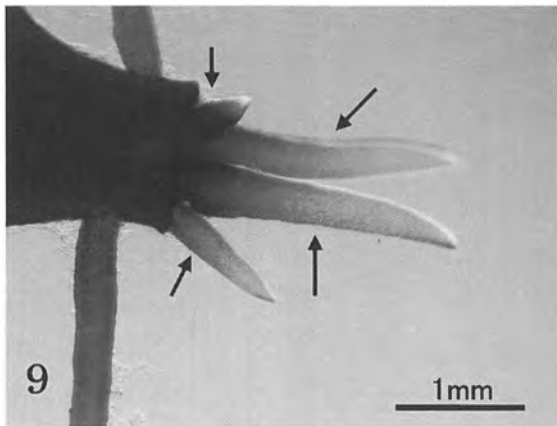


図9. 切断面から再生した4本の再生枝 (矢印).

本/藻体, $200 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{sec}$ で 3.3 本/藻体となり, 光量が高いほど再生枝数は増加した (図 10b). 深層水濃度別実験④で形成された再生枝は, 濃度 100% で平均 1.9 本/藻体であるのに対し, 濃度 0% (表層水 100%) で 5 本/藻体, 濃度 25 - 75% で 2.9 - 5.6 本/藻体となり, 表層水のみか表層水を混合した場合に再生枝数は増加した (図 10c).

4. 考 察

マクサの成長と成熟

緒言でも述べた深層水によるマクサの培養事例のうち, 藤田 (2001) は北海道産の無節サンゴモや小型巻貝を加温深層水 (11°C) のかけ流しにより屋外で流水培養し, これらの基質に着生していたマクサ発芽体が 7 週間で全長約 4 cm まで成長したこ

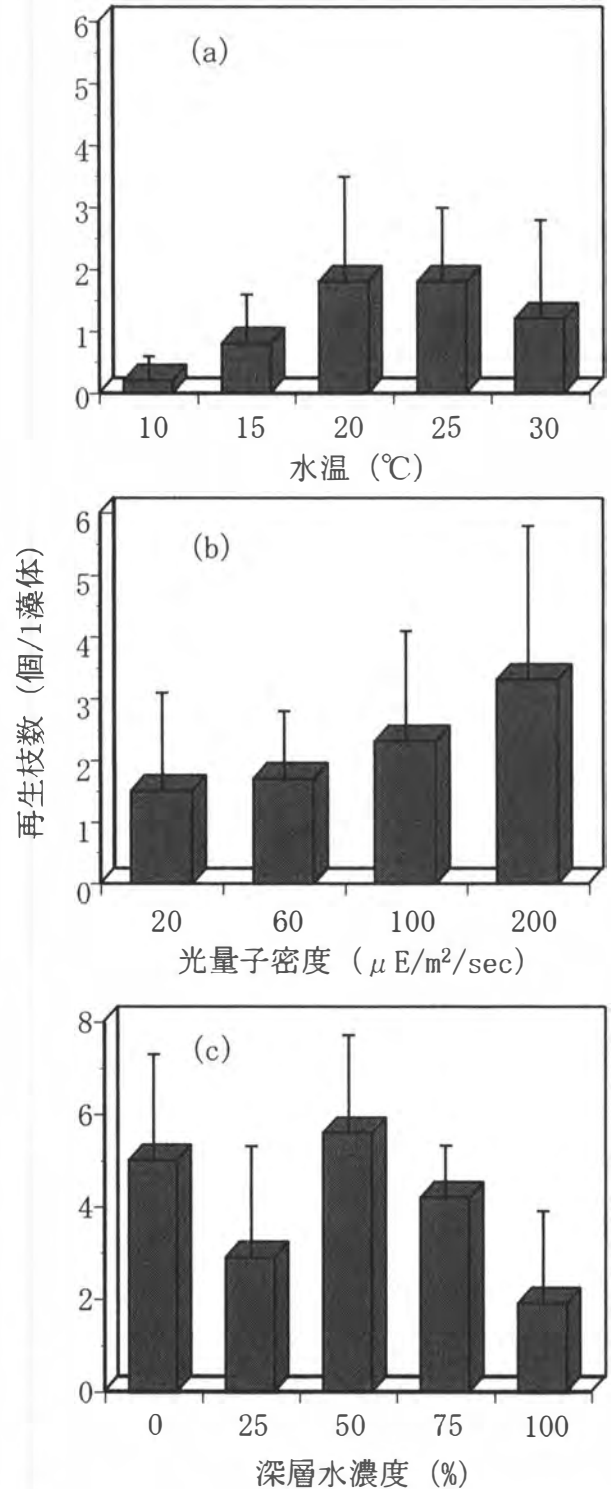


図10. それぞれの条件下で切断面から再生してきた再生枝数.
(a) 水温別 (b) 光量子密度別 (c) 深層水濃度別

とを報告したが, 表層水との比較は行われていない. 一方, 田島ら (2002) は, マクサの枝の先端を用い, 水温 15°C , 照度 2650 lux で 56 日間の止水培養を行った結果, 深層水と表層水の間では成長と日間成長率に顕著な違いが認められなかったとしてい

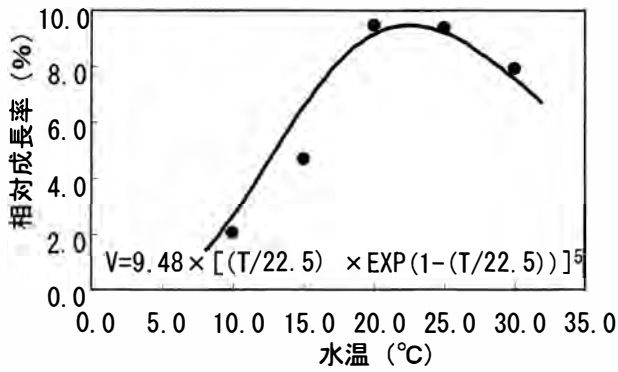


図 11. マクサの相対成長率と水温の関係。

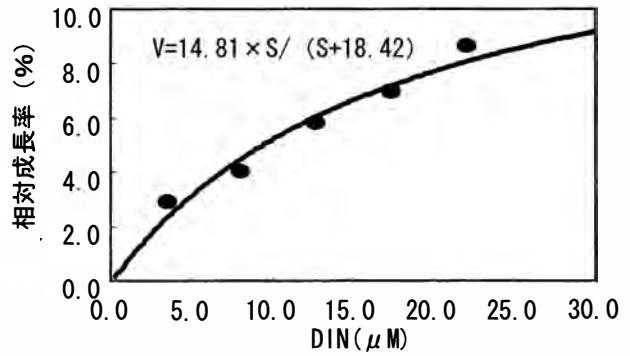


図 12. マクサの相対成長率と深層水混合率の関係。

るが、深層水と表層水の栄養塩濃度について全く言及していない。今回、枝の先端を用いた短期間の試験ではあるが、表層水、深層水（硝酸塩濃度で表層水の約 7 倍）およびその混合水を用いて換水率、水温、光量子密度の影響に関する基礎知見を得たほか、深層水を表層水に 25 ~ 100 % の割合で混合した場合のマクサの相対成長率（WW-RGR）が、深層水濃度 0 %、つまり表層水濃度 100 % の場合に比べて約 1.4 ~ 3 倍の値を示したことから、深層水による成長促進効果を確認することができた。なお、換水率、水温、光条件（ただし、照度として）および栄養塩濃度（窒素、リン）については、山田（1967）も表層水を用い枝の先端を培養して調べており、今回とはほぼ同様の結果が得られている（ただし、条件設定等が異なるので単純な比較はできない）。

深層水 100 % の条件下ではあるが、水温 25 °C で培養することにより、一部の藻体に成熟を誘導することができた。テングサ属では培養藻体の成熟例は極めて少なく、Macler and West（1987）がメキシコ産の小型種 *Gelidium coulteri* で観察しているにすぎない。この場合は成熟藻体を貧栄養下に移すことで成熟させているが、今回のマクサの場合にはこれとは対照的に富栄養下での成熟であり、興味深い。

マクサが再生を行うことについては古く岡村（1918）以来知られており、田島ら（2002）もこれを「仮根」として報告している。今回、再生枝の形成される条件を初めて明らかにすることができたが、この知見は深層水を活用した陸上水槽によるマクサ種苗の大量生産にもつながる。

富山湾の深層水放流域におけるマクサの成長予測

今回の結果から、栄養塩の豊富な深層水を、マクサ場に放流した場合、マクサの成長や成熟促進効果が期待できると判断した。そこで、上記のデータを用いて、水温および栄養塩濃度と相対成長率の関係をモデル化し、富山湾における深層水放流域におけるマクサの成長を以下のように予測してみた。

まず、各水温（ T ）と相対成長率（ $V_{(T)}$ ：成長速度）の関係は下記の多次関数で表現した（図 11）。

$$V_{(T)} = 9.62 \times [(T/23) \times \text{EXP}(1 - (T/23))]^5$$

T ：水温

この結果、マクサの相対成長率は水温 23 °C で最も高くなり、水温 15 °C 以下の低水温や水温 30 °C 以上の高水温では著しく低下することが判明した。

次に、深層水と表層水の混合率を硝酸塩濃度（DIN）（材料と方法を参照）に置き換えて DIN と相対成長率（ $V_{(N)}$ ：成長速度）の関係を Monod 型関数で表現した結果、下式のようなになった（図 12）。

$$V_{(N)} = 14.81 \times S / (S + 18.42)$$

S ：硝酸塩濃度

この式から、深層水濃度 0（表層水 100 %）、25、50、75、100 % における WW-RGR はそれぞれ、2.88 %、4.02 %、5.77 %、6.96 %、8.65 % と算出された。マクサは DIN の増加に伴って高い成長率を示し、最適硝酸塩濃度は深層水中より高い DIN（25 μM 以上）であることが予測された。

最後に、深層水放流海域を窒素制限と仮定し、室内培養試験から得られた温度と栄養塩による成長パ

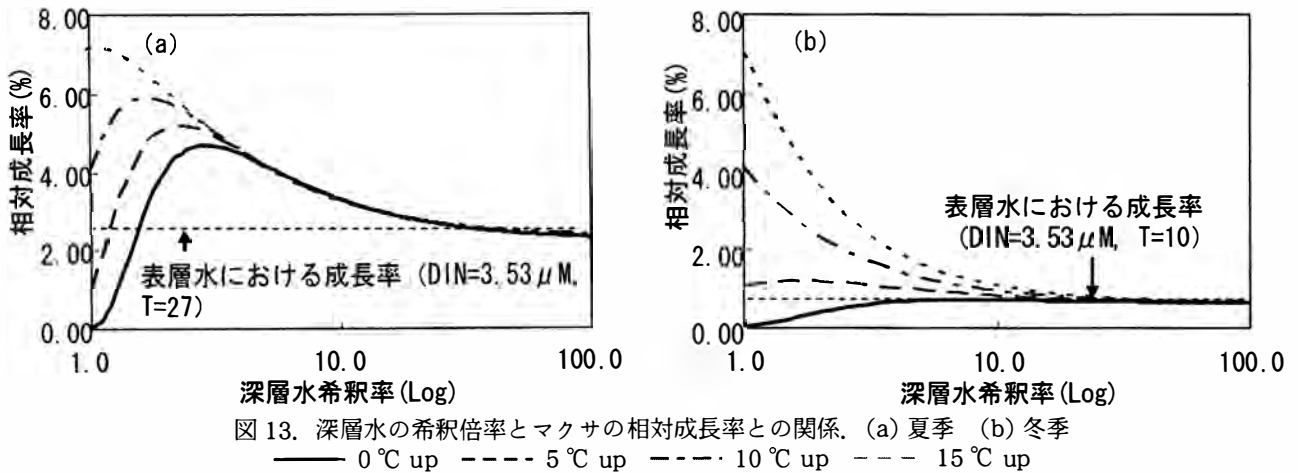


図 13. 深層水の希釈倍率とマクサの相対成長率との関係。(a) 夏季 (b) 冬季
 —— 0°C up - - - - 5°C up - · - · 10°C up - · - - 15°C up

ラメーターを用いて富山湾におけるマクサの成長特性を予測した。本検討では、深層水放流海域を富山県滑川市近傍と想定し、富山湾深層水の水温を 3°C (原水の水温)、表層水の夏季水温を 27°C、同じく冬季水温を 10°C とした。深層水放流による相対成長率 (成長速度) の変化は、硝酸塩と水温をパラメーターとして、夏季と冬季に分けてグラフ化した (図 13)。

この結果、夏季に深層水を原水のまま放流した場合、放水口付近では低水温が維持されるためにマクサはほとんど成長できないが、温かい表層水と混合して 2~3 倍程度に希釈される区域では成長促進効果が期待できる (図 13a)。一方、冬季に深層水を原水のまま放流した場合は、多少水温が高い表層水と混合しても成長率は低く、成長促進効果は期待できない (図 13b)。なお、深層水を 15°C 昇温させて 18°C で放流した場合には、夏季・冬季ともに高い成長促進効果が期待できる (図 13a, b)。

以上の検討結果から、深層水を沿岸域に放流した場合、夏季には多少ともマクサの成長促進に期待がもてるが、冬季には加温が必要である。また、今回、マクサ藻体の中でも成長の盛んな部位である先端部を用いて培養試験を行ったが、栄養塩濃度が高い場合には付着珪藻 *A. discus* も短期間に増殖することが判明した。緒言でも述べた通り、マクサは多年生であり、一般のテングサ場では老成した藻体も多いことから、今回の試験結果より珪藻などの付着生物が繁茂しやすいことも考えられる。富栄養化や静穏化の進む富山湾における海洋深層水の大量放流はさ

らに慎重な検討が必要である。

謝 辞

本研究は海洋開発産業研究会 (JOIA) からの受託研究である。

文 献

- De Boer, J. A., H. J. Guigli, T. L. Israel and C. F. D'Elia (1978) Nutritional studies of two red algae. I. Growth rate as a function of nitrogen source and concentration. *J. Phycol.*, 14, 261-266.
- 藤田大介 (2001) 海洋深層水をかけ流した磯焼け地帯転石の植生回復. *海深研*, 2, 57-67.
- 藤田大介 (2002) 海洋深層水と磯焼け研究. *海苔と海藻*, 64, 27-32.
- 藤田大介 (2004) テングサ類. *有用海藻誌* (大野正夫編), 内田老鶴圃, 東京, pp. 201-225.
- Macler, B. A. and J. A. West (1987) Life history and physiology of the red alga, *Gelidium coulteri*, in unialgal culture. *Aquaculture*, 61, 281-293.
- 鍋島 浩・渡辺 貢・土居 聡・谷口道子 (2000) 海洋深層水放水が海域の藻場等生態に及ぼす影響 II. *高知県海洋深層水研究所報*, 4, 44-59.
- 岡村金太郎 (1918) てんぐさ成長試験. *水産講習所研究報告*, 13 (3), 1-10.
- 田島迪生・永田房雄・杉本 洋 (2002) 数種海藻の海洋深層水での培養. *石川県水産総合センター研究報告*, 3, 33-37.
- 谷口道子・細木光夫・岡本 充・岡本雄吾 (2000) 海洋深層水放水が海域の藻場等生態に及ぼす影響 I. *高知県海洋深層水研究所報*, 4, 26-43.
- 山田信夫 (1967) 寒天原藻テングサ類の施肥に関する研究. *静岡県水試伊豆分場研究報告*, 32, 1-92.

(2004. 12. 27 受付, 2005. 7. 27 受理)