

原著論文

フクロフノリ発芽体の生育に及ぼす温度, 光量, 塩分の複合影響

馬場将輔\* §

Combined Effects of Temperature, Irradiance and Salinity  
on the Sporelings Growth of *Gloiopeltis furcata*  
(Rhodophyta) in Laboratory Culture

Masasuke Baba\* §

**要約:** 千葉県産フクロフノリについて発芽体の成長と生残に及ぼす温度, 光量, 塩分の複合影響を室内培養により初めて調べた。発芽体の生育上限温度は34°Cであった。成長に適した温度と光量の条件は, 四分孢子発芽体および果孢子発芽体ともに, 殻状部形成が25°Cで180  $\mu$  mol/m<sup>2</sup>/s, 直立部形成が20°Cで100, 180  $\mu$  mol/m<sup>2</sup>/sであった。孢子の発芽に適した温度と塩分の条件は, 四分孢子が15, 20°Cで32psu, 果孢子が15, 20°Cで24, 32psuであった。成長に適した温度と塩分の条件は, 殻状部形成について四分孢子発芽体が25°Cで24, 32psu, 果孢子発芽体が25°Cで24psuであり, 直立部形成が四分孢子発芽体および果孢子発芽体ともに20°Cで24, 32psuであった。発芽体の高温と低塩分による生残率の低下傾向が32, 34°Cで認められた。本研究の結果から, 孢子の発芽では温度よりも低塩分の影響が強く現れ, 一方, 発育が進んだ発芽体では孢子よりも温度および低塩分に対して耐性を持つことが明らかになった。

**キーワード:** フクロフノリ, 成長, 光量, 塩分, 孢子, 発芽体, 温度

**Abstract:** The combined effects of temperature, irradiance and salinity on the growth and survivorship of sporelings in edible seaweed *Gloiopeltis furcata* collected from the coast of Chiba Prefecture were examined in laboratory culture. The upper critical temperature of sporelings was 34°C. The optimal growth conditions at different temperature/irradiance levels were 25°C/180  $\mu$ mol/m<sup>2</sup>/s in disc formation, 20°C/100, 180  $\mu$ mol/m<sup>2</sup>/s in upright frond formation for tetrasporelings and carposporelings, respectively. The optimal growth conditions at different temperature/salinity levels were 25°C/24, 32 psu for tetrasporelings and 25°C/24 psu for carposporelings in disc formation, respectively, and 20°C/24, 32 psu in upright frond formation for tetrasporelings and carposporelings. The significant decline of survivorship with low salinity was observed in high temperature higher than 32°C in sporelings. These results indicate that spore germination was influenced more by low salinity than temperature, while sporelings had higher tolerance than spores to both temperature and low salinity.

**Key words:** *Gloiopeltis furcata*, growth, irradiance, salinity, spore, sporeling, temperature

---

(2018年6月27日受付, 2018年8月6日受理)

\* 公益財団法人海洋生物環境研究所 中央研究所 (〒299-5105 千葉県夷隅郡御宿町岩和田300番地)

§ E-mail: baba@kaiseiken.or.jp

## まえがき

紅藻フクロフノリ *Gloiopeltis frucata* は日本各地の波の良く当たる潮間帯上部に生育し帯状の群落を形成する。昔は織物用の糊原料としての需要が多かったが、現在は食用としての利用が多く、春先に採取されている（小河，1987；大野，2004）。フクロフノリの生態的知見は、成長、成熟、胞子放出時期等の季節的消長（高山，1939；新崎，1948；木下，1949；須藤，1949；福原，1956；船野・長谷川，1964；松井，1969）が各地から報告されている。このほか、須藤（1957）は当時実施されていたフクロフノリの増養殖技術の概要を紹介している。近年では、青森県において新たに造成された築磯漁場での生育状況調査（桐原，1994）、北海道上磯町において未利用水域を有効活用するための増殖礁の開発（岡ら，2004）、高知県において効率的な採取時期を検討するために生育および成熟時期に関する詳細な生態調査（田井野ら，2014）がそれぞれ実施されている。

室内実験によるフクロフノリの初期発生、成長に及ぼす環境要因の影響は、水温（木下，1949；松井，1969）、光量（新崎，1953；松井，1969）、塩分（新崎，1949；須藤，1949；松井，1969）、干出（木下，1949；松井，1969）についてそれぞれ報告されている。また、中国において人工採苗技術を確立するため、フクロフノリの胞子、発芽体に適した温度、光量、塩分等の最適条件が調査されている（Chen *et al.*, 2011, 2013）。しかし、これらの知見はすべて単独要因による実験であり、温度と光量等の複合的な要因の影響について検討した例はみられない。

公益財団法人海洋生物環境研究所では、発電所取放水に係わる温排水の影響を予測するために必要な知見の集積を目的として、海藻類を対象とした室内実験を実施している。本研究では、フクロフノリ発芽体に及ぼす複合的な影響を検討することを目的として、本種の生育を左右する重要な環境要因である温度、光量、塩分の影響を室内培養実験により調べた。なお、本報告は、経済産業省から委託された「大規模発電所取放水影響調査（温排水生物複合影響調査）」の事業成果（海洋生物環境研究所，2006）の一部を許可を得て公表するものである。

## 材料と方法

**供試材料** 胞子および発芽体の培養に用いたフクロフノリ成熟藻体は、千葉県鴨川市の潮間帯上部の岩上で、2001年4月に配偶体を、同年5月に四分胞子体をそれぞれ採集し、海水を満たしたビニール袋に入れたのちアイスボックスに収容した。そして当日中に（公財）海洋生物環境研究所実証試験場（新潟県柏崎市）に運び、以下の培養操作を行った。成熟した枝を実体顕微鏡下で選別し切り取り、水彩用の絵筆で表面の付着物を取り除いた。それらの枝を滅菌海水で数回洗浄したのち、PES培地（McLachlan, 1973）を添加した培養液を満たした直径15cmのガラス製シャーレに入れ胞子を放出させた。放出された胞子はピペット洗浄法により単離操作を行い、あらかじめ22×22mmのカバーガラスを敷き詰めて培養液150mLを入れたガラス製シャーレに添加した。この状態で胞子がカバーガラス上で発芽し分割するまで約2日間、20°C、光量40  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、12時間明期・12時間暗期（以下、12L:12D）で静置培養したのち、各実験に用いた。なお本研究のすべての培養実験では、植物インキュベーター（トミー精工製、CU-350およびCF-305）を使用し、光周期は白色蛍光ランプ（東芝ラテックス製、FL40SS・EX-N/37-H）を用いて12L:12Dとした。

**温度の影響** 発芽体の生育上限温度の実験では、培養装置にユニット恒温槽（タイテック製、サーモミNDER Lt-100）を使用した。温度を30, 31, 32, 33, 34, 35°Cの6段階に設定した。光源には白色蛍光ランプを使い、光量50  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ とした。培養液50mLをあらかじめ入れた50mLガラス製管ビンに、果胞子発芽体が約50個体着生したカバーガラスを1枚入れ、1温度区当たり管ビンを6本準備して静置培養を行った。培養期間は4, 10日間として期間内に培養液は交換しなかった。所定の培養期間が終了した発芽体は、別に準備した培養液50mLを入れた50mLガラス製管ビンに移し、温度20°C、光量50  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で2週間継続培養して、最終的な生死の判別を行った。その際、倒立顕微鏡による観察を行い、成長がみられず発芽体に変色した個体を枯死と判定した。

**温度と光量の影響** 発芽体の成長に及ぼす温度と光量の実験では、培養液15mLを各穴に入れた組

組織培養用マイクロプレート（6穴，イワキ製）を使用し，四分孢子あるいは果孢子の各発芽体が着生したカバーグラスをそのなかに入れた。実験には，温度10，15，20，25，30，32，34℃の7段階，光量10，25，100，180  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の4段階を組み合わせた28条件を設定した。培養期間は21日間とし7日間毎に培養液を交換した。21日目の発芽体について60個体を実体顕微鏡下でトレースし，それらを画像解析ソフト（NIH Image）で処理することにより盤状部の面積を測定するとともに，直立部の形成状態を調べた。

**温度と塩分の影響** 培養液の塩分調整は32～33psuの濾過海水またはそれをマイナス25℃で凍結・濃縮させて作製した約65psuの高塩分海水と蒸留水を混合することにより行い，塩分調整のうち，PES培地を添加した。孢子の発芽に及ぼす温度と塩分の実験では，カバーグラスと培養液15mLを各穴に入れた組織培養用マイクロプレートを使用し，これに四分孢子あるいは果孢子を50個体ずつ添加した。各実験は6回の繰返しとした。実験には，温度15，20，25，30℃の4段階，塩分8，16，24，32，40psuの5段階を組み合わせた20条件を設定し，培養期間は3日間，光量は60  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ とした。培養終了時に倒立顕微鏡下で孢子の発芽状況を観察し，発芽体および枯死体の数をそれぞれ測定した。

発芽体の成長に及ぼす温度と塩分の実験では，培養液15mLを入れた6穴マイクロプレートを使用し，四分孢子あるいは果孢子の各発芽体が着生したカバーグラスをそのなかに入れた。実験には，温度15，20，25，30℃の4段階，塩分8，16，24，32，40psuの5段階を組み合わせた20条件を設定した。光量は100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ とした。実験期間は21日間とし，7日毎に培養液を交換した。21日目の発芽体について60個体を実体顕微鏡下でトレースし，前述の温度と光量の実験と同様の方法で，盤状部の面積を測定するとともに直立部の形成状態を調べた。

発芽体の生残に及ぼす温度と塩分の実験では，培養液を15mLずつ入れた6穴マイクロプレートを使用し，50個体の果孢子発芽体が着生したカバーグラスをそのなかに入れた。実験には，温度15，20，25，28，30，32，34，36℃の8段階，塩分8，16，24，32，40psuの5段階を組み合わせた40条件を設定した。光量は100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ とした。なお，

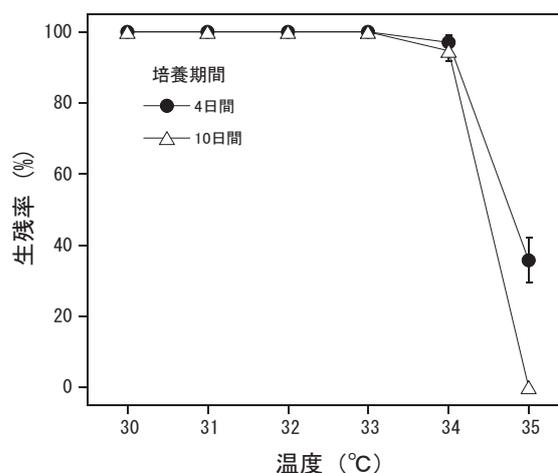
各実験は6回の繰返しとし，培養期間を1，4日間として培養液は交換しなかった。所定の培養期間が終了した時点で発芽体が着生しているカバーグラスを取り上げ，32psuに調整した培養液を入れた6穴マイクロプレートに移し，20℃，50  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の条件で引き続き培養を行い，1週間後に生残の有無を観察した。生残の観察は発芽体の生育上限温度の実験と同じ方法で行った。

**成長率** 発芽体盤状部の日間成長率（daily growth rates：DGR）は次式によって計算した。DGR =  $(\ln A_t - \ln A_0) / t \times 100$ ，ここで $A_0$ は開始時の盤状部面積， $A_t$ はt日後の盤状部面積である。

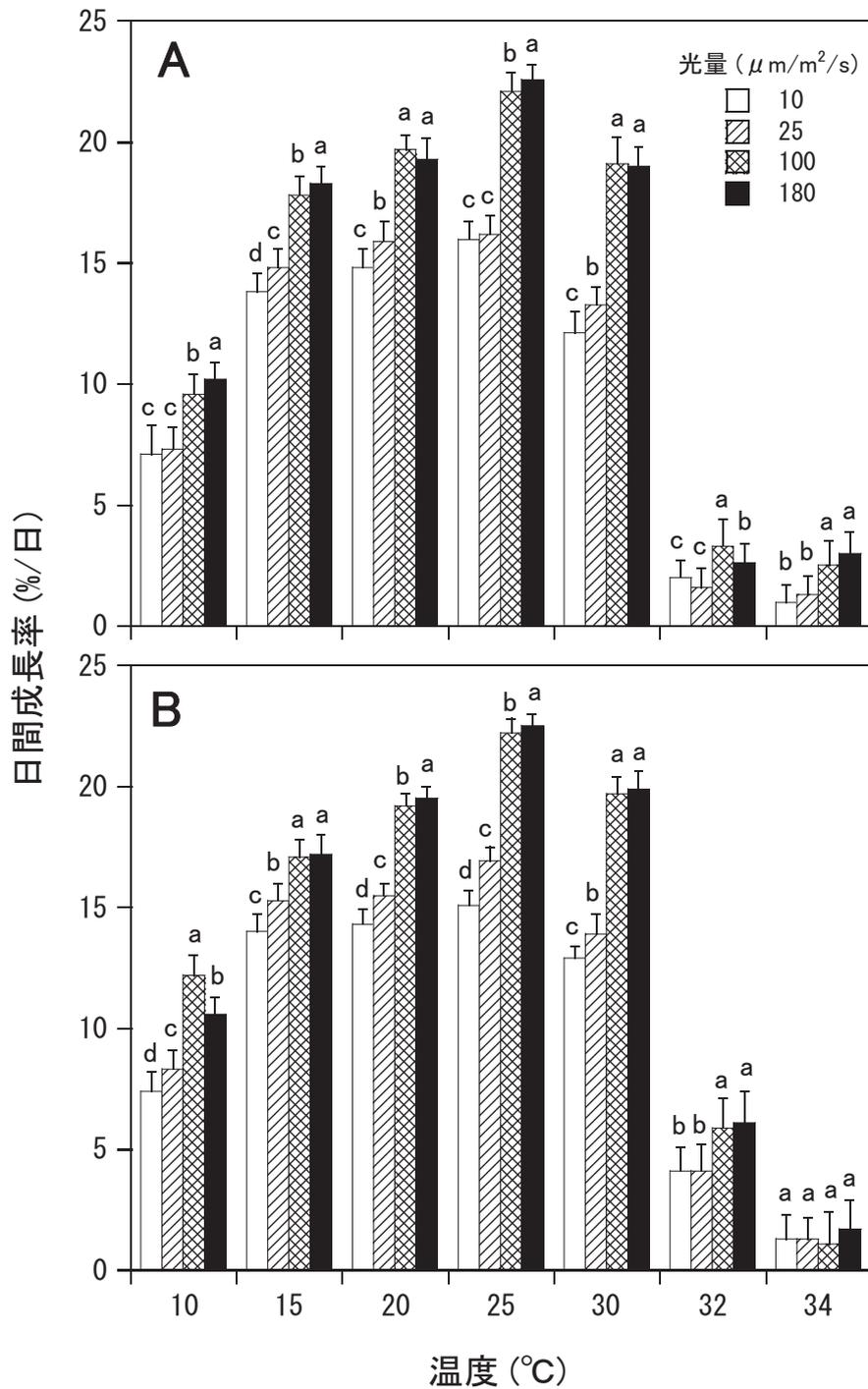
**統計処理** データは二元配置の分散分析により検定を行い，次にTukey-Kramerの多重比較検定により，各実験区の平均値の有意差（ $P < 0.05$ ）を判定した。なお，日間成長率，発芽率，生残率のデータは逆正弦変換をそれぞれ行い，統計処理を実施した。

## 結果

**発芽体の生育上限温度** フクロフノリ発芽体の4日間の培養における生残率は，30～34℃が97～100%，35℃が36%であり，10日間の培養における生残率は30～34℃が94～100%，35℃が0%であった（第1図）。



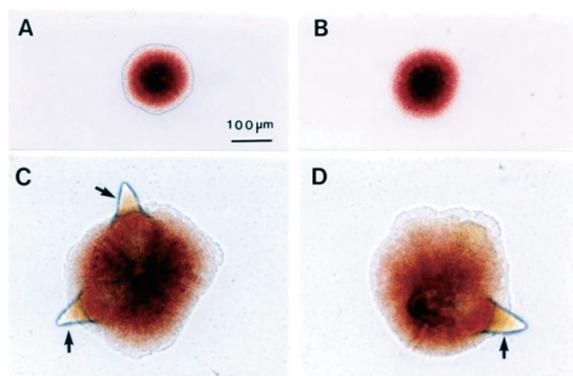
第1図 異なる温度条件で4日間および10日間培養したフクロフノリ発芽体の生残率。生残率は平均±標準偏差で示す（6回反復）。



第2図 フクロフノリ発芽体の成長に及ぼす温度と光量の影響。四分孢子発芽体 (A) および果孢子発芽体 (B) の盤状部の日間成長率について、21日間の培養結果を平均±標準偏差 ( $n=60$ ) で示す。図中の棒グラフ上の文字は、異なる場合に光量区間の値に有意差が認められたことを示す ( $P < 0.05$ )。光量の凡例は第2図Aに示す。

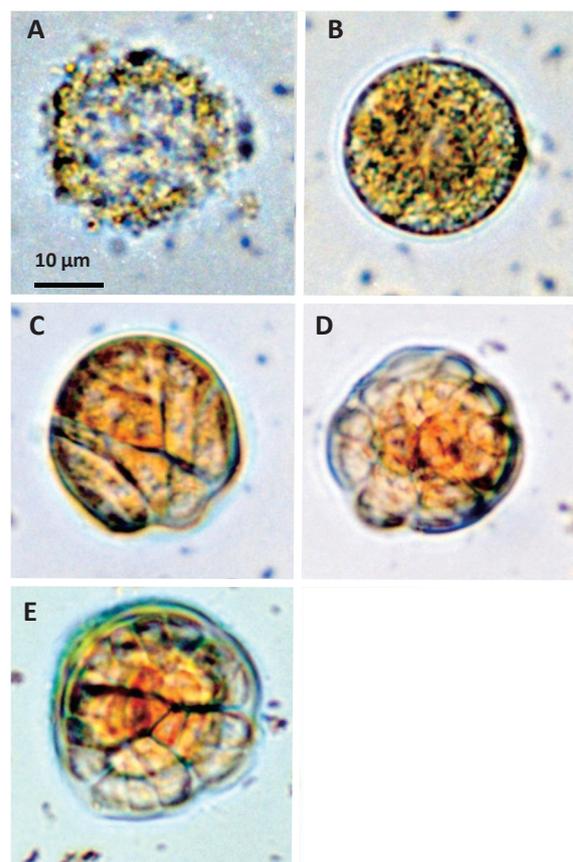
**発芽体の成長に及ぼす温度と光量の影響** 設定したすべての光量条件において、フクロフノリの四分孢子発芽体と果孢子発芽体は成長した（第2図）。盤状部の日間成長率は四分孢子発芽体が1.0～22.6%（第2図A），果孢子発芽体が1.1～22.5%（第2図B）の範囲にあり，それぞれ25℃の180  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ において，その他の実験区よりも有意に高い値（ $P < 0.05$ ）を示した。四分孢子および果孢子の各発芽体の温度と光量に対する生育反応は類似し，日間成長率は各光量区とも10～25℃において高温側で増加し，32，34℃で顕著に低下する傾向がみられた。

発芽体盤状部からの直立部の形成は，四分孢子発芽体および果孢子発芽体ともに20℃で100，180  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ において観察され（第3図C，D），その形成率は90～100%であったが，20℃の10，25  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ （第3図A，B）を含むその他の実験区では観察されなかった。



**第3図** 20℃で異なる光量条件により21日間培養したフクロフノリ果孢子発芽体の形態。A: 10  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ，B: 25  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ，C: 100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ，D: 180  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 。第3図C，Dの矢印は直立部の形成位置を示す。第3図Aのスケールバーは第3図B-Dと共通。

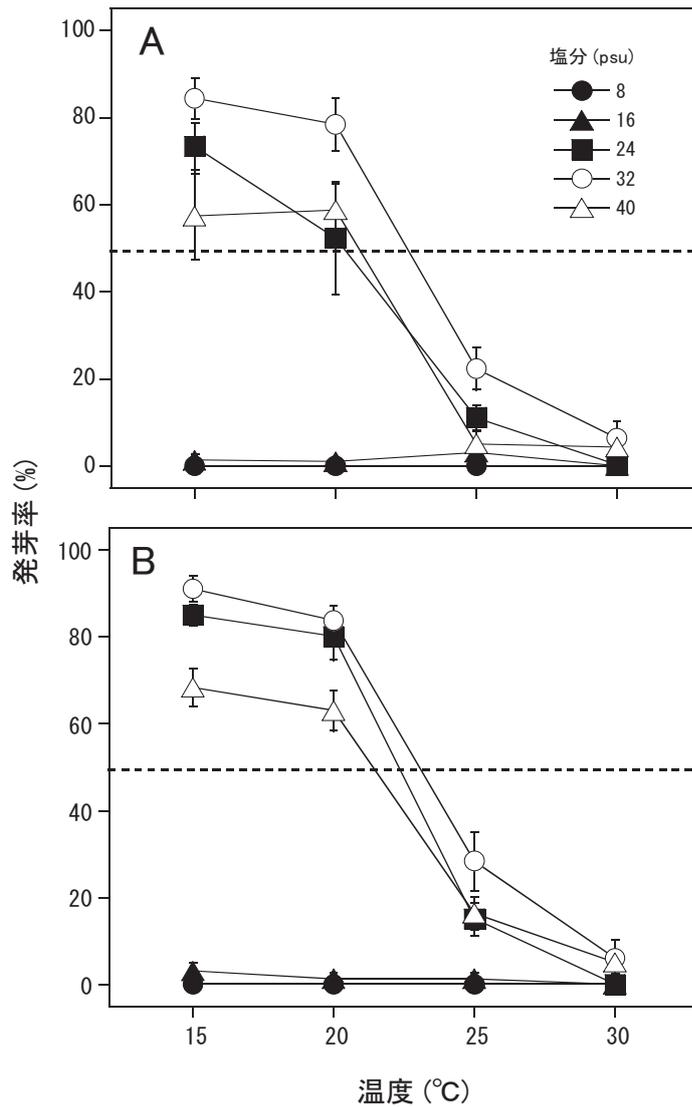
**孢子の発芽に及ぼす温度と塩分の影響** 培養開始3日後における20℃のフクロフノリ四分孢子の発芽状況を第4図に示す。8psuではすべての孢子は溶解して顆粒状になり枯死し（第4図A），16psuでは孢子は基質に着生せず未発芽であった（第4図B）。24～40psuでは分割が進み多細胞の盤状発芽体（猪野，1947）であった（第4図C-E）。四分孢子および果孢子の発芽には温度よりも塩分の影響が大きく，温度条件に係わらず8，16psuではほ



**第4図** 15℃で異なる塩分条件により4日間培養したフクロフノリ四分孢子の形態。A: 8psu，B: 16psu，C: 24psu，D: 32psu，E: 40psu。第4図Aのスケールバーは第4図B-Eと共通。

とんど発芽しなかった（第5図）。四分孢子の発芽率は15，20℃で32psuにおいて78～84%（第5図A），果孢子発芽率は15，20℃で24，32psuにおいて80～91%であり（第5図B），それぞれ他の条件よりも有意に高い値を示した（ $P < 0.001$ ）。高温による発芽率の顕著な低下傾向は四分孢子および果孢子ともに25℃以上でみられ，30℃の発芽率は24，32psuにおいて4～6%であった。3日間の培養において孢子が50%以上の発芽率を示した条件は，四分孢子および果孢子ともに15，20℃で24～40psuであった。

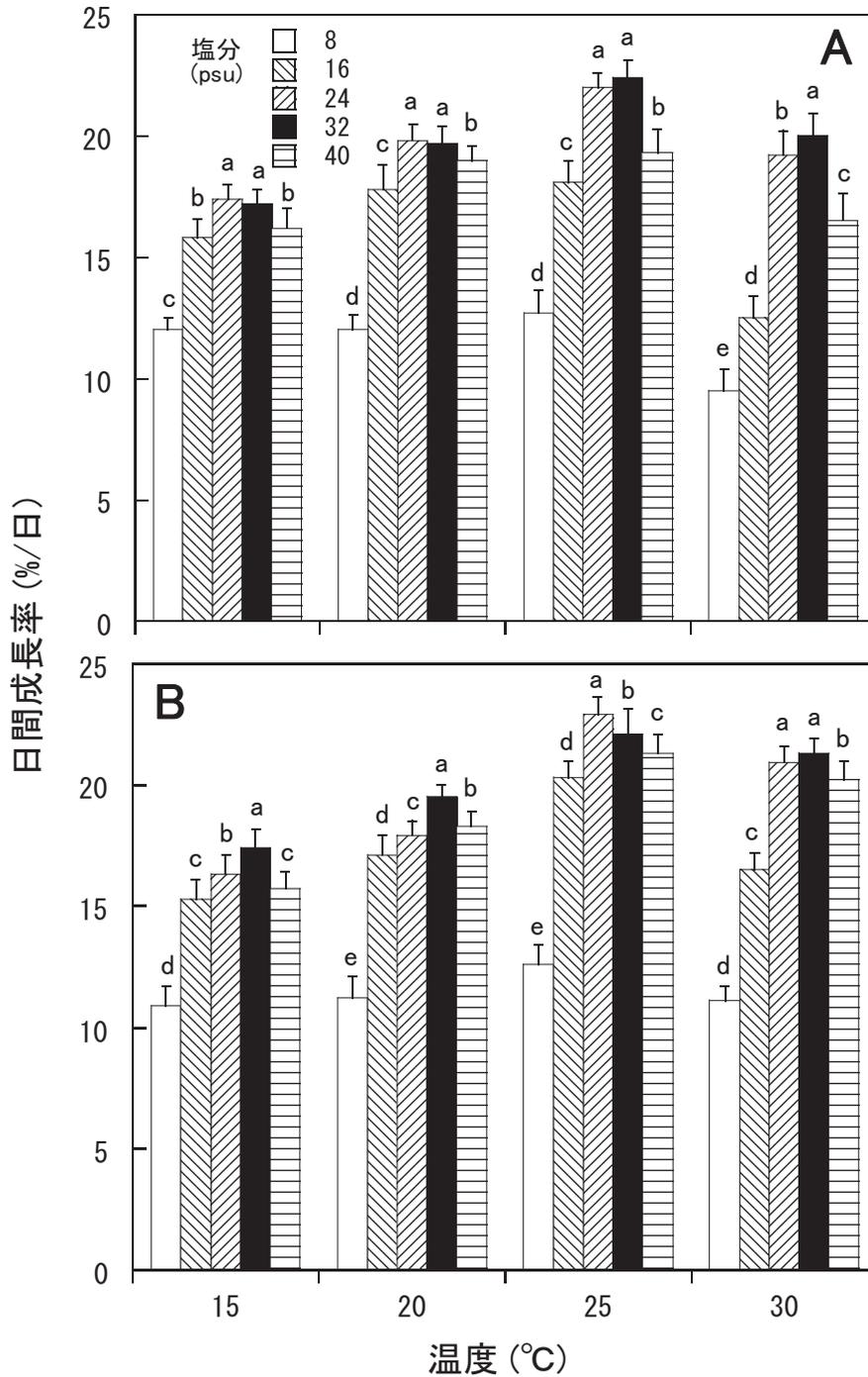
**発芽体の成長に及ぼす温度と塩分の影響** 設定したすべての塩分条件において，フクロフノリの四分孢子発芽体と果孢子発芽体は成長した（第6図）。盤状部の日間成長率は四分孢子発芽体が9.5～22.4%（第6図A），果孢子発芽体が10.9～22.9%（第6図B）の範囲にあり，四分孢子発芽体が25℃



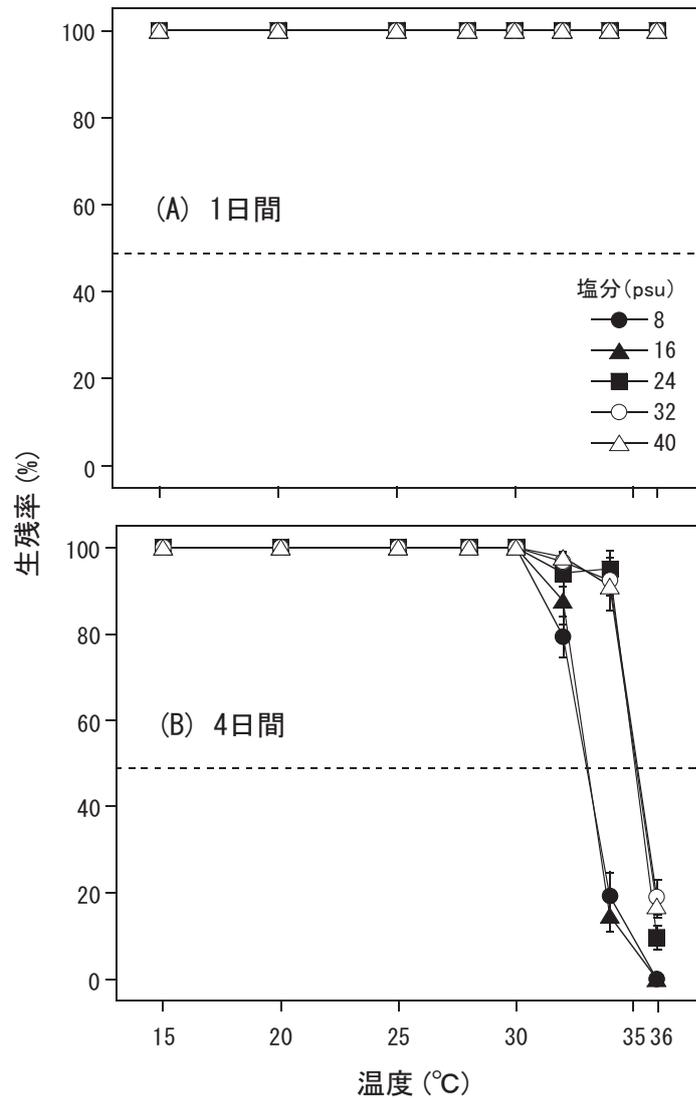
第5図 異なる温度と塩分の条件で4日間培養したフクロフノリ孢子の発芽率。四分孢子 (A) および果孢子 (B) の発芽率を平均±標準偏差で示す (6回反復)。塩分の凡例は第5図Aに示す。

で24, 32psu, 果孢子発芽体が25°Cで24psuにおいて、それぞれ他の実験区よりも有意に高い成長率 ( $P < 0.001$ ) を示した。各温度区における発芽体の成長と塩分の関係は、四分孢子発芽体が15~25°Cで24, 32psu, 30°Cで32psuが、また果孢子発芽体が15, 20°Cで32psu, 25°Cで24psu, 30°Cで24, 32psuが、それぞれその他の塩分条件よりも有意に高い値を示した ( $P < 0.01$ )。発芽体盤状部からの直立部形成は、四分孢子発芽体および果孢子発芽体ともに20°Cで24, 32psuにおいて観察され、その形成率は83~100%であったが、その他の実験区では観察されなかった。

**発芽体の生残に及ぼす温度と塩分の影響** 1日間培養でのフクロフノリ果孢子発芽体の生残率は、15~36°Cでは8~40psuの範囲でほぼ100%であり、温度あるいは塩分の影響は認められなかった (第7図A)。4日間培養での発芽体の生残率は、15~30°Cでは塩分に係わらずほぼ100%であったが (第7図B), 32~36°Cにおいて高温と低塩分による生残率の低下が顕著になり、32~36°Cでは16psu以下で、それぞれ24~40psuよりも有意に低い値を示した ( $P < 0.001$ )。4日間の培養において発芽体が50%以上の生残率を示した条件は、15~32°Cで8~40psu, 34°Cで24~40psuであった。



第6図 フクロフノリ発芽体の成長に及ぼす温度と塩分の影響。四分孢子発芽体 (A) および果孢子発芽体 (B) の盤状部の日間成長率について、21日間の培養結果を平均±標準偏差 ( $n=60$ ) で示す。図中の棒グラフ上の文字は、異なる場合に塩分区間の値に有意差が認められたことを示す ( $P < 0.05$ )。塩分の凡例は第6図Aに示す。



第7図 異なる温度と塩分の条件で1日間 (A) および4日間 (B) 培養したフクロフノリ果胞子発芽体の生存率。生存率は平均±標準偏差で示す (6回反復)。塩分の凡例は第7図Aに示す。

### 考 察

本研究では千葉県産フクロフノリの胞子、発芽体について、成長と生残に及ぼす温度、光量、塩分の影響を室内培養により検討した。その結果、フクロフノリ発芽体の成長に適した温度と光量の条件は、殻状部形成が25°Cで180  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、直立部形成が20°Cで100, 180  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であり、高温側の生育上限温度は34°Cであることが明らかになった。

これまでにフクロフノリ発芽体の成長に係わる温度あるいは光量の影響について、北海道産 (木

下, 1949), 山口県産 (松井, 1969), 中国広東省産 (Chen *et al.*, 2011) の報告がある。胞子の初期発生と温度の関係について、北海道産では果胞子が10~13°C, 四分胞子が11~15°Cでそれぞれ最適であることが知られている (木下, 1949)。山口県産では、胞子発生の適温は15~20°C, 発生が進むと15~25°Cで良く成長することが報告されている (松井, 1969)。また、胞子の発生と光量の関係は、0~50,000 lux [ $\approx$ 0~658  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ : 換算方法はThimijan and Heins (1983) による] において105  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で最も成長が良いとされている (松井, 1969)。このほか、Chen *et al.* (2011) は四分

胞子の発芽と成長に及ぼす温度、光量の影響をそれぞれ調べ、胞子発芽は8~12°C、発芽体の直立枝形成は20°Cがそれぞれ最適であること、発芽体盤状部の成長に最適な光量は80~130  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であることを報告している。本研究で実施した千葉県産フクロフノリの発芽体の成長に係わる温度、光量の関係については、山口県産（松井, 1969）および中国広東省産（Chen *et al.*, 2011）の報告と類似する結果となった。

さらに本研究の結果から、胞子の発芽に適した温度と塩分の条件は、四分胞子が15, 20°Cで32psu, 果胞子が15, 20°Cで24, 32psuであったほか、低塩分（8, 16psu）では温度条件に係わらずほぼ発芽しないことが明らかになった。また、発芽体の成長に適した温度と塩分の条件は、殻状部形成について四分胞子発芽体が25°Cで24, 32psu, 果胞子発芽体が25°Cで24psuであり、直立部形成が四分胞子発芽体および果胞子発芽体ともに20°Cで24, 32psuであった。これまでに、フクロフノリ胞子の着生・発芽について、発生適温は15~20°C（松井, 1969）、また着生に適した塩分は通常の海水よりも18~23psuが良い（新崎, 1949）ほか、着生率が34psuで最も高く、次いで25psu, 17psuの順に高いこと（須藤, 1949）が知られている。このほか、発芽体の成長に適した塩分は、17~35psu（松井, 1969）、31psu（Chen *et al.*, 2013）であることが報告されている。本研究で胞子の発芽、発芽体の成長に適した塩分の条件は、概ねこれらの既往知見の範囲内にあることが分かった。さらに、胞子および発芽体に対する温度と塩分の複合影響をみると、胞子の発芽では温度よりも低塩分の影響が強く現れ、一方、発育が進んだ発芽体では胞子よりも温度および低塩分に対して耐性を持つことが明らかになった。

本研究では、発電所温排水の影響予測のための知見の集積の一環として潮間帯に生育するフクロフノリの生育に及ぼす温度、光量、塩分の複合的な影響を室内培養により検討した。現在、地球温暖化の進行に伴い気候変動が複雑化するなか、海藻類に対する地球温暖化の影響を評価するにあたっては水温上昇の影響のみならず、水温以外の環境要因との複合的な影響について種特異的な反応に関する知見を集積することが重要である。

## 謝 辞

本論文の取りまとめにあたりご助言を頂いた（公財）海洋生物環境研究所中央研究所の道津光生博士に感謝いたします。

## 引用文献

- 新崎盛敏 (1948). 伊勢・三河湾産フクロノリの生態学的研究(1). 日水誌, **13**, 164-166.
- 新崎盛敏 (1949). 伊勢・三河湾産フクロフノリの生態学的研究(II). 日水誌, **14**, 207-210.
- 新崎盛敏 (1953). 海藻胞子の発芽, 生育に及ぼす光の影響に関する二, 三の実験. 日水誌, **19**, 466-470.
- Chen, L., Wu, J., Chen, S., Xie, X., Zhu, C. and Guo, Y. (2013). Effect of salinity on attachment, development and survival of *Gloiopeltis frucata* spore. *South China Fish. Sci.*, **9**, 53-57.
- Chen, S., Wu, J., Chen, L. and Zhu, C. (2011). Effects of light and temperature on the attachment and development of *Gloiopeltis tenax* and *Gloiopeltis furcata* tetraspores. *J. Appl. Phycol.*, **23**, 1045-1051.
- 福原英司 (1956). 余市産フクロフノリ *Gloiopeltis frucata* Post. et Rupr. の生態について. 北水研研報, **14**, 66-78.
- 船野 隆・長谷川由雄 (1964). 忍路湾のフクロフノリとエゾツノマタの生態. 北水研研報, **29**, 75-84.
- 猪野俊平 (1947). 海藻の発生, 北隆館, 東京, 1-255.
- 海洋生物環境研究所 (2006) 平成17年度大規模発電所取放水影響調査 (温排水生物複合影響調査) 報告書. 一平成10~17年度調査成果のまとめ. 海洋生物環境研究所, 東京, 1-117.
- 木下虎一郎 (1949). フクロフノリの増殖に関する研究. 「ノリ・テングサ・フノリ及びギンナンサウの増殖に関する研究」, 北方出版社, 札幌, 58-86.
- 桐原慎二 (1994). 青森県蛇浦海岸の築磯漁場におけるフクロフノリの生育状況. 日本海ブロック試験研究集録, 水産庁日本海区水産研究所, **No. 32**, 49-56.
- 松井敏夫 (1969). マフノリおよびフクロフノリの胞子放出と発生に関する研究. 水大研報, **17**,

- 185-231.
- McLachlan, J. (1973). Growth media-marine. In "Handbook of phycological methods: Culture methods and growth measurements" (ed. Stein, J.R.), Cambridge University Press, London, 25-51.
- 小河久朗 (1987). フノリ類 *Gloiopeltis* spp. 「海藻資源養殖学」(徳田 廣・大野正夫・小河久朗著), 緑書房, 東京, 179-183.
- 大野正夫 (2004). 地方特産の食用海藻. 「有用海藻誌」(大野正夫編著), 内田老鶴圃, 東京, 283-296.
- 岡 貞行・笹 正雄・吉田 徹・下倉政志・黄金崎静人・鳴海日出人 (2004). 人工基質を利用したフノリ増殖礁の開発. 海洋開発論文集, **20**, 1079-1084.
- 須藤俊造 (1949). フノリの胞子の放出, 浮游及び着生 (海藻胞子附けの研究 第四報). 日本水産学雑誌, **14**, 184-188.
- 須藤俊造 (1957). フノリの養殖. 「水産学集成」(末廣恭雄・大嶋泰雄・檜山義夫編), 東京大学出版会, 東京, 819-828.
- 田井野清也・宮澤英将・坂下 徹・猪原 亮・岡見卓馬・谷口正雄・齋田尚希・谷 知宏・大山隼人・占部敦史・木村雅俊 (2014). 藻場造成支援 高知県沿岸域におけるふのり類の季節的消長. 平成24年度高知県水産試験場事業報告書, **No. 110**, 174-188.
- 高山活夫 (1939). 三重県産フノリ属の成熟時期について. 水産研究誌, **34**, 277-279. [松井 (1969)より引用]
- Thimijan, R.W. and Heins, R.D. (1983). Photometric, radiometric, and quantum light units of measure: a review of procedures for interconversion. *HortScience*, **18**, 818-822.