

## 室内培養によるアラメ配偶体と幼孢子体の生育に及ぼす 温度と光量の影響

馬場将輔

### Effects of Temperature and Irradiance on the Growth of Gametophyte and Young Sporophyte of *Eisenia bicyclis* in Laboratory Culture

Masasuke Baba\*

**要約**：千葉県産アラメについて、配偶体および幼孢子体の成長と生残に及ぼす温度と光量の影響を室内培養により調べた。配偶体の成長に適した条件は、雌性体が24°Cで40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、雄性体が18~24°Cで40, 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であった。雌性配偶体の成熟は10~24°Cにおいて40~160 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で観察され、その上限温度は24°Cであった。幼孢子体では、成長は10~20°Cで高い値を示し、22°C以上で高温による成長の低下傾向が顕著であった。生育上限温度は配偶体が30°C、幼孢子体が29°Cであった。

**キーワード**：アラメ, 配偶体, 成長, 光量, 成熟, 温度, 幼孢子体

**Abstract**: Effects of temperature and irradiance on the growth and survivorship of gametophyte and young sporophyte of *Eisenia bicyclis* collected at Chiba Prefecture were examined under laboratory cultures. Optimal growth conditions at different temperature/irradiance were 24°C/40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  in female gametophyte, 18-24°C/40, 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  in male gametophyte, respectively. Maturation of female gametophyte was observed at 10-24°C/40-160 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ . The optimal growth occurs at 10-20°C in young sporophyte. The upper critical temperature was 30°C for gametophyte and 29°C for young sporophyte, respectively.

**Keywords**: *Eisenia bicyclis*, gametophyte, growth, irradiance, maturity, temperature, young sporophyte

#### まえがき

アラメ *Eisenia bicyclis* はコンブ科に属する大型の多年生褐藻類で、本州中・南部、九州にかけて水深0~9 mの岩礁域に分布する(吉田, 1998; 寺脇・新井, 2004)。生活史は配偶体と孢子体の異型世代交代であり、孢子体は夏から秋に成熟する(寺脇, 1993)。アラメ海中林はアワビ、ウニ等の水産重要種の主要な餌料や魚介類の保育・産卵場となるほか、沿岸生態系の一次生産者として重要な役割も担っている(大野, 1985; 寺脇・新井, 2003)。

アラメ群落の分布、形態、現存量の季節変化、生育を左右する物理的あるいは化学的要因等の基礎的な知見を得るため、各地で詳細な現場調査が実施されてきた(林田, 1963, 1966; 吉田, 1970; 高間, 1979; 岩橋ら, 1979; 谷口・加藤, 1984; 谷口ら, 1986, 1987; 伊藤ら, 1986, 1987; 伊藤・恵崎, 1990; 菅原ら, 1998, 1999; 芹澤ら, 2003; Muraoka, 2008)。このほか、アラメ藻場の造成技術や回復手法を開発するための実証調査が実施されている(寺脇・後藤, 1988; 寺脇ら, 1989, 1991; 寺脇, 1991; 本多, 1993; 四井・前迫, 1993)。これまでに、アラメの分布や生育を左右する環境要因を把握し、種苗生産や藻場造成へ応用するた

(2009年11月2日受付, 2010年1月19日受理)

\*1 財団法人海洋生物環境研究所 実証試験場 (〒945-0017 新潟県柏崎市荒浜4-7-17)

\* E-mail: baba@kaiseiken.or.jp

めの室内培養実験が、温度（配偶体：谷口・秋山、1982；門間、1980；太田、1988；倉島・前川、2003；孢子体：月舘、1980；村瀬ら、2005）、光量（配偶体：谷口・秋山、1982；後藤・伊藤、1988；寺脇ら、1991；孢子体：月舘、1980；後藤・伊藤、1988；寺脇ら、1991）、温度と光量（配偶体：Ohno、1969；孢子体：倉島ら、1996）、塩分（孢子体：月舘、1980）、光合成（配偶体と孢子体：倉島ら、1996）などについて行われてきた。これらの報告では、生育適温を超える高温側での配偶体の生残や成熟、幼孢子体の生残等についての詳細な知見は限られている。そこで本研究では、アラメの配偶体と幼孢子体の成長、生残等に及ぼす温度を中心とした影響を詳細に検討することを目的として、室内培養実験を行った。

### 材料と方法

**供試材料** 成熟したアラメ孢子体は2006年10月に、千葉県鴨川市の岩礁域の水深1 m付近で採集後に、成熟した子嚢斑を形成した側葉を切り取り、アイスボックスに入れ財団法人海洋生物環境研究所実証試験場（新潟県柏崎市）へ持ち帰った。この側葉を滅菌海水で数回洗浄して表面の汚れを取り除き、約1時間干出させた後、15°Cの滅菌海水に浸漬して遊走子を放出させた。この遊走子液を滅菌海水で希釈した後、あらかじめカバーガラス（22×22mmの角形、直径15mmの丸形）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、20°C、光量30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、12時間明期・12時間暗期（以下12L:12D）で静置培養した。カバーガラスに着生し球形になった遊走子が1日後に発芽管を伸ばし1細胞期の配偶体（神田、1936）になったものを成長、成熟に及ぼす温度と光量の影響に関する各実験に用いた。このほか、配偶体の生育上限温度および成熟上限温度の各実験には、25°C、光量20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、12L:12Dで1週間培養して成長した配偶体を用いた。

幼孢子体に関する実験のうち、成長適温に関する実験では、2006年6月に上記の千葉県鴨川市の岩礁域で葉長約10cmの藻体を採集後、アイスボックスに入れ（財）海洋生物環境研究所実証試験場へ持ち帰ったものを用いた。幼孢子体の生育上限温度に関する実験では、前記のカバーガラスに着生させた配偶体を18°C、光量50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、12L:12Dで約3ヶ月間培養して得た葉長4cmの藻体を

用いた。なお、本研究で用いた培養液は、海水を濾過滅菌した後にPESI（Tatewaki, 1966）培地を添加したものである。

**配偶体の培養と測定** 配偶体の成長に及ぼす温度と光量の影響に関する実験では、培養液15mLを各穴に入れた組織培養用マイクロプレート（6穴、イワキ製）を使用し、配偶体に着生したカバーガラスをそのなかに入れた。培養装置は植物インキュベーター（トミー精工製、CF-305）を使用し、光源には白色蛍光ランプ（東芝ラテックス製、FL40SS・EX-N/37-H）を使い、光量は光子センサー（Biospherical Instruments 製、QSL-101）を培養容器の位置に置いて測定した。温度10、15、18、20、22、24、26、28、30、32°Cの10段階、光量40、80、160 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の3段階を組み合わせた30条件を設定し、12L:12Dとした。実験期間は10日間とし、終了時に雌雄の配偶体をそれぞれ30個体測定した。このほか、30、32°Cでは実験終了後に、25°C、光量20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、12L:12Dで4週間継続培養して、配偶体の生残を確認した。

配偶体の成熟に及ぼす温度と光量の影響に関する実験では、培養装置に植物インキュベーターを使用した。温度10、15、18、20、22、24、26、28、30、32°Cの10段階、光量40、80、160 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の3段階を組み合わせた30条件を設定し、12L:12Dとした。カバーガラスに着生した配偶体を培養液15mLを入れた6穴マイクロプレートに収容した。培養期間は21日間とし、7、14日目に培養液の全量を交換した。21日目の雌性配偶体について100個体を測定（6回反復）し、生卵器上に卵を形成した個体、あるいは芽胞体を生じた個体を成熟として計数した。

配偶体の成熟上限温度に関する実験では、ユニット恒温槽（タイテック製、サーモミNDER-SX-10R）を使用した。温度を22、23、24、25、26、27°Cの6段階に設定し、光源には白色蛍光ランプを使い、光量50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、12L:12D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、配偶体に着生した丸形カバーガラスを1枚入れ、静置条件で21日間培養した。7、14日目に培養液の全量を交換した。21日後の雌性配偶体について100個体を測定（6回反復）し、上記の配偶体の成熟に及ぼす温度と光量の影響に関する実験と同様の基準で成熟個体を計数した。

配偶体の生残に及ぼす温度の影響に関する実験

では、上記のユニット恒温槽を使用し、温度を28, 29, 30, 31, 32, 33, 34℃の7段階に設定し、光量 $50\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , 12L:12D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、100個体の配偶体が着生した丸形カバーガラスを1枚入れ、静置条件で1, 7, 14日間の温度接触を行った。所定の接触時間が経過した配偶体は、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、25℃, 光量 $20\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , 12L:12Dで4週間継続培養して、最終的な生死の判別を行った。なお、実験は6回の反復とした。

**幼孢子体の培養と測定** 幼孢子体の成長適温に関する実験では、培養装置に前出の植物インキュベーターを使用した。温度を10, 15, 20, 22, 24, 26, 28, 30℃の8段階に設定し、光量 $100\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , 12L:12Dとした。2L三角フラスコに培養液2Lを入れ6個体の試料を収容し、24日間の通気培養を行った。4日ごとに葉面積を測定し、その際に培養液の全量を交換した。24日目の藻体を撮影し、画像解析ソフト (NIH Image) で処理することにより茎状部を除いた葉状部の面積を測定した。葉状部面積の日間成長率 (daily growth rates: DGR) は次式により計算した。DGR =  $(\ln A_t - \ln A_0)/t \times 100$ , ここで $A_0$ は開始時の葉面積,  $A_t$ はt日後の葉面積。

幼孢子体の生育上限温度に関する実験では、前出のユニット恒温槽を使用し、温度を27, 28, 29, 30, 31, 32℃の6段階に設定し、光量 $50\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , 12L:12Dとした。1L三角フラスコに培養液1Lを入れ20個体の試料を収容した。1, 7日間の通気培養を行い、実験終了後に培養液全量を交換し、15℃, 光量 $50\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , 12L:12Dで10日間培養を継続して、最終的な生死の判別を行った。なお、実験は5回の反復とした。

**統計処理** データは一元配置あるいは二元配置の分散分析により検定を行い、有意差が認められた場合に、Student-Newman-Keuliusの検定またはTukey-Kramerの多重比較検定で、各実験区の平均値の有意差 ( $P < 0.05$ ) を判定した。なお、成長率は対数変換を、成熟率は逆正弦変換をそれぞれ行い、統計処理を実施した。

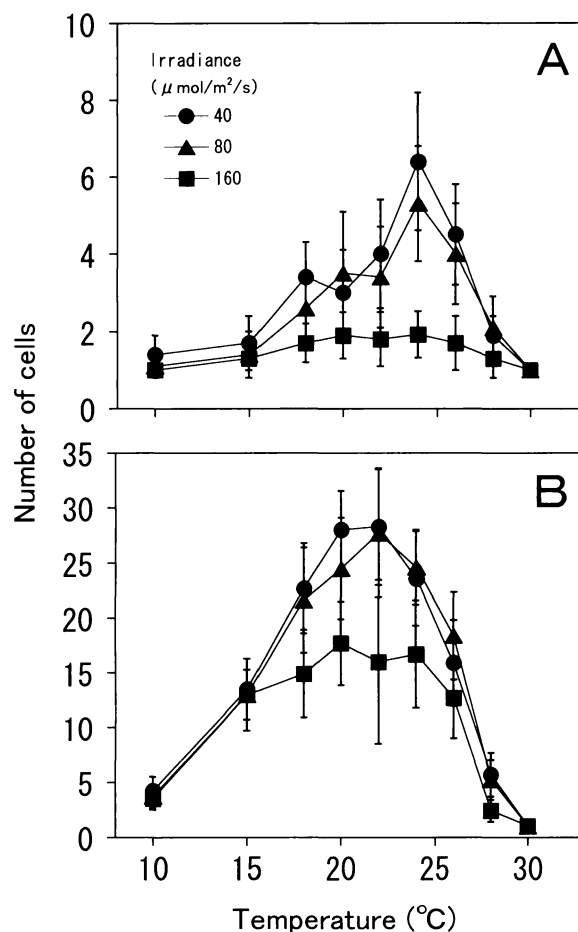


Fig. 1 Growth of gametophytes of *Eisenia bicyclis* after 10 days culture under different temperature and irradiance conditions. A: Female gametophyte, B: Male gametophyte. Data are expressed as mean value  $\pm$  standard deviations ( $n=30$ ). Symbols of irradiances are given in Fig. 1A.

## 結 果

**配偶体の成長に及ぼす温度と光量の影響** 雌雄の配偶体は10~28℃の範囲で細胞数の増加がみられ成長したが、30℃ではすべての個体が1細胞期のままで成長することはなかった (Fig. 1A, 1B)。32℃では培養7日以内にすべての配偶体が枯死した。成長に適した条件は、雌性配偶体が24℃で $40\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (Fig. 1A), 雄性配偶体が18~24℃で $40, 80\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であり、それぞれ他の実験区よりも有意に高い値を示した ( $P < 0.01$ )。光量区別にみた配偶体の成長は、雌性配偶体が10~24℃, また雄性配偶体が10~20℃においてそれぞれ温度が高いほどよく、24℃を越えると共に低下する傾向がみられた。なお、18~28℃での雌雄配偶体の成長

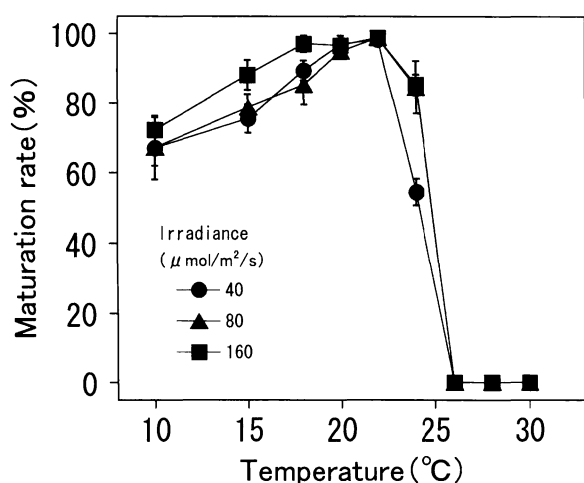


Fig. 2 Maturation rate of female gametophytes of *Eisenia bicyclis* after 21 days culture under different temperature and irradiance conditions. Data are expressed as mean value  $\pm$  standard deviations (n=100, six replicates).

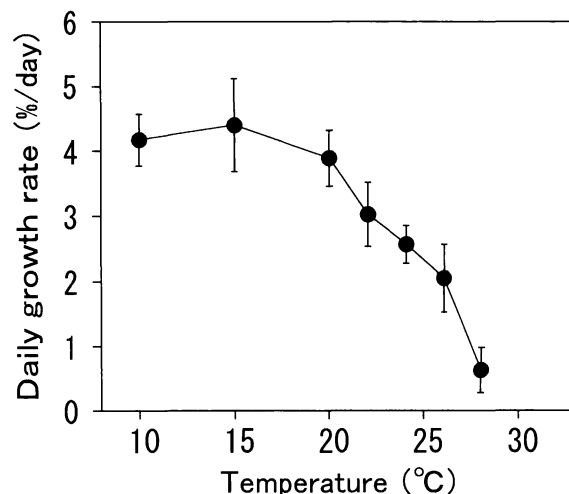


Fig. 4 Growth of young sporophytes of *Eisenia bicyclis* after 24 days culture under different temperature conditions. Data are expressed as mean value  $\pm$  standard deviations (n=6).

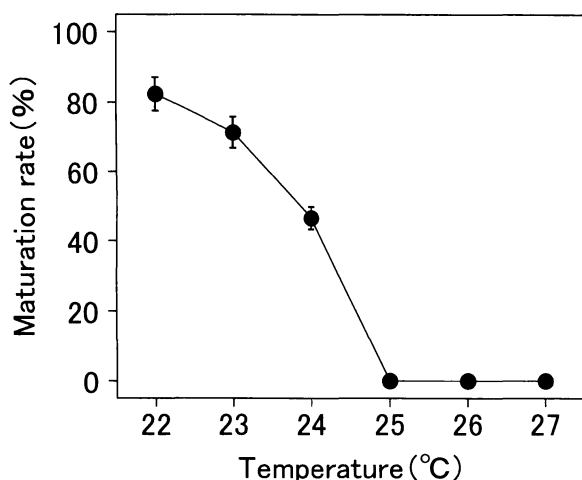


Fig. 3 Maturation rate of female gametophytes of *Eisenia bicyclis* after 21 days culture under different temperature conditions. Data are expressed as mean value  $\pm$  standard deviations (n=100, six replicates).

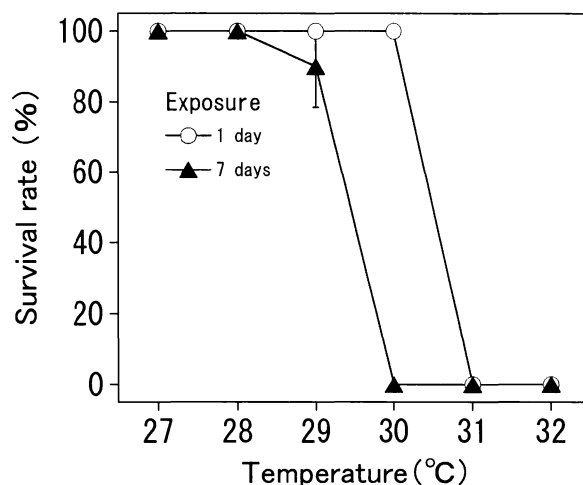


Fig. 5 Survival rate of young sporophytes of *Eisenia bicyclis* after 1 and 7 days exposures under different temperature conditions. After exposure, the thalli were transferred into 32 psu PESI medium and postcultivated for 10 days at 15°C, 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , 12L:12D condition. Data are expressed as mean value  $\pm$  standard deviations (n=20, five replicates).

は、160 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ では40、80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ よりも有意に低い値 ( $P < 0.001$ ) を示した。

**配偶体の成熟に及ぼす温度と光量の影響** アラメ雌性配偶体の成熟は、21日間の培養において10~24°C、40~160 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の範囲で観察され、成熟率は54~98%であった (Fig. 2)。26~30°Cでは成熟した個体は観察されず、32°Cではすべて枯死

した。成熟に適した条件は、40、80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が20、22°C、160 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が18~22°Cであり、それぞれ他の温度区よりも成熟率が有意に高くなった ( $P < 0.05$ )。いずれの光量区の成熟率も10~22°Cで温度が高いほど増加したほか、24°Cでの成熟率の低下は40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が80、160 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ よりも顕著であった。

**配偶体の成熟上限温度** 21日間の培養において、アラメ雌性配偶体の成熟率は22~24°Cで46~82%であったが、25~27°Cでは成熟個体は観察されなかった (Fig. 3)。

**配偶体の生残に及ぼす温度の影響** アラメ配偶体の温度耐性の結果をTable 1に示す。1日間の温度接触では28~30°Cはすべて健全であったが、31~34°Cではすべての配偶体の細胞内色素が脱色して枯死した。7および14日間の温度接触では、28、29°Cでは健全であったが、30°Cでは一部の細胞が脱色して枯死した状態であり、31、32°Cではすべて枯死した。実験終了後に4週間の継続培養を行った結果、30°Cでは新たな細胞の形成が観察されたが、31~34°Cでは枯死したままであった。

**幼孢子体の成長に及ぼす温度の影響** アラメ幼孢子体は10~28°Cで成長がみられ、その日間成長率は0.6~4.4%であった (Fig. 4)。しかし30°Cでは、培養2日目に葉状部の上端が緑色になる個体が増えはじめ、4日目にすべての個体が白色化して枯死した。24日間の日間成長率は15°Cが最も高く、次いで10°C、20°Cの順であった。10~20°Cの成長率は22°Cの成長率よりも有意 ( $P < 0.05$ ) に高く、22°C以上の成長率は高温になるほど低くなる傾向がみられた。

**幼孢子体の生育上限温度** アラメ幼孢子体は31、32°Cにおいて、培養開始後の24時間以内に全個体が白化して枯死した (Fig. 5)。30°Cでは7日間の温度接触により全個体が枯死した。7日間の温度接触による生残率は27、28°Cでは100%、29°C

では91%であった。

## 考 察

本研究では千葉県産アラメの配偶体と幼孢子体について、室内培養を行い、生育に及ぼす温度と光量の影響を検討した。これまでにアラメ配偶体の成長と成熟に関わる温度あるいは光量の影響について、宮城県産 (谷口・秋山, 1982)、千葉県産 (太田, 1988)、神奈川県産 (Ohno, 1969; 門間, 1980; 寺脇ら, 1991)、静岡県産 (倉島・前川, 2003) の報告がある。谷口・秋山 (1982) は配偶体を4~28°Cの範囲、3,000 lux [ $\approx 39\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ; 換算値はThimijan and Heins (1983)の方法による。以下も同様] の条件で培養した結果、8~24°Cで成長し、24°Cで成長が最も速く、28°Cでは死滅するとしている。有性生殖器官は8~20°Cで形成され、成熟に適した温度は16~20°Cで、24°Cでは細胞分裂のみを繰り返し成熟しないことを観察している。太田 (1988) は配偶体を2,500 lux ( $\approx 33\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) の条件で培養を行い、雄性体が20°Cで、雌性体が25°Cでそれぞれ最も成長が良く、25°Cでは成熟しない結果から、アラメ配偶体の成長と成熟に好適な温度を20°C付近と推定している。倉島・前川 (2003) は、培養方法の詳細の記述はないが、アラメ配偶体の成長は20~25°Cで速く、30°Cでは部分的な細胞の枯死がみられたが配偶体全体の死滅はないとしたほか、配偶体の卵形成が12.5~24°Cでみられ、21°Cで成熟率が最も高いことを報告している。本研究の結果では、千葉県産アラメ配偶体の生育上限温度は30°C、成熟上限温度は24°Cであることが明らかになった。

**Table 1** Survival of gametophytes of *Eisenia bicyclis* at different temperature conditions

Culture period * (days)	Temperature (°C)						
	28	29	30	31	32	33	34
1	++	++	++	--	--	--	--
7	++	++	+-	--	--	--	--
14	++	++	+-	--	--	--	--

++, all plants alive; +-, plants partly dead; --, all plants dead.

\* Irradiance and photoperiod conditions of this study were  $50\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  and 12L:12D, respectively.

また、配偶体の成長に適した温度と光量の条件は、雌性配偶体が24°Cで40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、雄性配偶体が18~22°Cの範囲で40, 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であった。さらに、雌性配偶体の成熟は、10~24°C, 40~160 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ でみられ、成熟に適した温度は18~22°Cであった。したがって、千葉県産アラメ配偶体の成長および成熟と水温の関係については、静岡県産（倉島・前川, 2003）の結果と類似する結果が得られた。なお、Ohno (1969) は配偶体の成長に及ぼす温度と光量の影響について、10~30°Cでは15°Cで成長がよいが、各温度とも1,000~10,000 lux ( $\approx 6.6 \sim 132 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) の範囲で成長に差はなく、1,000 luxで光飽和に達すると推測している。

配偶体の成長、成熟と光量の関係について、谷口・秋山 (1982) は18°C, 0~5,000 lux の範囲で培養を行い、2,000~5,000 lux ( $\approx 26 \sim 66 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) で良く成長し、有性生殖器官の形成も速いこと、1,000 lux ( $\approx 13 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) 以下では光量が低くなるほど有性生殖器官の形成が遅れることを報告している。このほか、神奈川県産アラメ配偶体の成長に適した光量は100~200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ （後藤・伊藤, 1988）および210 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ （寺脇ら, 1991）とされている。本研究では、配偶体の成長は160 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ において80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ よりも低下したが、成熟率に大きな相違は認められなかったことから、配偶体の成長と光量の関係については、谷口・秋山 (1982) の報告と類似する結果となった。

葉長約4 cmのアラメ幼胞子体の生育に及ぼす温度の影響を検討した結果、成長は10~20°Cで良く、20°Cを超えると成長が低下し、29°Cが生育上限温度であることが明らかになった。これまでに、アラメ胞子体期の成長と温度の関係について、千葉県産（太田, 1988）、静岡県産（倉島ら, 1996）、瀬戸内海産（月舘, 1980）、山口県産（村瀬ら, 2005）の報告があるが、これらの結果は、供試材料の大きさと培養条件等が異なることから、単純に比較することはできないことに注意が必要である。太田 (1988) は葉長約300 $\mu\text{m}$ の幼胞子体について、2,500 lux ( $\approx 33 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ) の条件で20日間の培養を行い、10~25°Cにおいて20°Cで最も成長が良いことを報告している。月舘 (1980) は全長1 cmの幼胞子体を培養し、25°Cでは開始後の1週間以内に枯死し、10, 15°Cで成長が良かったとしている。倉島ら (1996) は全長5~10 cmの幼胞子体を5, 15, 25°C, 光量10, 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ を組み合わせた条件で6日間培養し、15°C, 50

$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  の条件が最もよく成長したと報告している。また、村瀬ら (2005) はアラメ胞子体から若い側葉を切り出し、100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の条件で14日間の培養を行い、15, 10, 20°Cの順に成長がよく、生育上限温度が29°Cであると報告している。今回の千葉県産アラメ幼胞子体の成長適温は、これらの各地の報告と類似する結果が得られ、さらに生育上限温度は山口県産の成体の報告（村瀬ら, 2005）と一致した。

日本産アラメ属にはアラメのほかにサガラメ *Eisenia arborea* があり、本州太平洋岸の静岡県相良から和歌山県御坊の比較的狭い範囲に分布することから、藻体の成長や成熟に関連する温度依存度が高いことが示唆され（喜田, 1997）、アラメとの生理・生態的な相違の解明が必要とされている（寺脇・新井, 2004）。これまでサガラメ配偶体では、成長適温は20~25°Cであり30°Cでは死滅すること、成熟は15~25°Cでみられ成熟上限温度は25~30°Cの間にあることが報告されている（林田ら, 1999）。また、成長に適した光量は雌性配偶体が24~60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、雌性配偶体が12~60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、成熟に適した光量は雌雄の配偶体ともに24~60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であるとされている（林田, 2002）。これらの既往知見から、配偶体の成長に関する温度と光量に関する性質はアラメとサガラメで類似しているが、成熟上限温度はアラメよりもサガラメで高くなることが示唆された。

アラメを含む大型褐藻類の藻場を取り巻く環境は、近年の海水温上昇傾向、植食性動物による採食圧の増加と長期化、水質の悪化などにより年々厳しさを増している（谷口, 1991；藤田ら, 2006；寺脇ら, 2007）。吉田ら (2009) は、藻場が衰退する要因の一つとして濁りや浮泥の増加による受光量の減少を挙げ、それが水温の上昇時に複合的に作用して海藻類の生産力の低下を引き起こすことを懸念している。オーストラリア産カジメ属の一種 *Ecklonia radiata* について地理的分布と生理特性の関係を検討したStaeher and Wernberg (2009) は、地球温暖化による広域に及ぶ海水温上昇よりも、海域の水質悪化による透明度の減少が *E. radiata* の生育に影響を及ぼす可能性があることを指摘している。このほか、アラメの生育に密接に関係する環境要因として、波浪、塩分、栄養塩などがあり（寺脇・新井, 2004）、今後はこれらを詳細に検討することにより、海域の環境変動に伴うアラメの生育への影響を予測するための知見

を充実させることが重要である。

## 謝 辞

著者は本論文を御校閲下さった東京大学名誉教授 日野明德博士、(財)海洋生物環境研究所理事 清野通康博士に謹んで感謝いたします。論文の取りまとめにあたり、ご助言を頂いた(財)海洋生物環境研究所実証試験場 三浦正治主任研究員に深謝いたします。この論文は、経済産業省原子力安全・保安院から委託された温排水生物群集影響調査の報告のうち一部を許可を得て公表するものであり、関係各位に謝意を表します。

## 引用文献

- 藤田大介・野田幹雄・桑原久実 編著 (2006). 海藻を食べる魚たち—生態から利用まで—. 成山堂書店, 東京, 口絵1~8, vii+261pp.
- 後藤 弘・伊藤康男 (1988). 石炭灰利用人工藻礁の開発—アラメ・カジメの配偶体および幼胞子体の成長に関する光量の影響—. 電力中央研究所報告・研究報告, **U88037**, 27pp.
- 林田文郎 (1963). アラメ・カジメの生態学的研究— I. アラメの幼体の後期生長について (予報). 東海大水研報告, **4**, 31-34.
- 林田文郎 (1966). アラメ幼体の生長についての 2, 3 の実験. 東海大学紀要海洋学部, **No. 1**, 123-134.
- 林田文郎 (2002). 海中林構成種サガラメの配偶体と芽胞体の生長に及ぼす光量の影響. 東海大学紀要海洋学部, **No. 53**, 125-134.
- 林田文郎・平光一洋・村上宗孝 (1999). 海中林構成種サガラメの配偶体と芽胞体の生長に及ぼす水温の影響. 東海大学紀要海洋学部, **No. 47**, 125-132.
- 本多正樹 (1993). 海中砂漠緑化技術の開発—第 6 報 刈り取りを必要としない海中林の生産量測定法の開発—. 電力中央研究所報告・研究報告, **U92040**, 18pp.
- 伊藤輝昭・恵崎 撰 (1990). 磯漁場の海藻生産量に関する研究— I. —筑前海域におけるアラメ葉体部の生産量について—. 福岡県水試研報, **No. 16**, 21-30.
- 伊藤輝昭・二島賢二・内場澄夫 (1986). 磯漁場における海藻生産力調査— I. アラメ年間現存量の推移. 福岡県福岡水産試験場研究業務報告 昭和59年度, pp. 151-156.
- 伊藤輝昭・二島賢二・余呉 豊 (1987). 磯漁場における海藻生産力調査 II —アラメ年間生産量に関する研究—. 福岡県福岡水産試験場研究業務報告 昭和60年度, pp. 259-265.
- 岩橋義人・稲葉繁雄・伏見 浩・佐々木 正・大須賀穂作 (1979). 伊豆半島沿岸のアラメ・カジメの生態学的研究—IV 分布と群落の性状. 静岡水試研報, **No. 13**, 75-82.
- 神田千代一 (1936). 暖海産昆布科植物の游走子培養に就て. 服部報公會研究報告, **No. 8**, 317-343.
- 喜田和四郎 (1997). サガラメ. 日本の希少な野生水生生物に関する基礎資料 (IV). 日本水産資源保護協会, 東京, pp. 479-483, 497-498 (図版-10).
- 倉島 彰・前川行幸 (2003). アラメ・カジメ類. 「藻場の海藻と造成技術」(能登谷正浩 編著), 成山堂書店, 東京, pp. 18-25.
- 倉島 彰・横浜康継・有賀祐勝 (1996). 褐藻アラメ・カジメの生理特性. 藻類, **44**, 87-94.
- 門間春博 (1980). アラメの初期発生速度について. 水産増殖, **27**, 212-216.
- Muraoka, D. (2008). *Eisenia bicyclis* bed coverage off Oshika Peninsula, Japan, in relation to sporophyte survival and *Strongylocentrotus nudum* abundance. *J. appl. Phycol.*, **20**, 845-851.
- 村瀬 昇・原口展子・水上 譲・野田幹雄・吉田吾郎・寺脇利信 (2005). 山口県沿岸に生育するアラメおよびクロメの培養による生育上限温度. 藻類, **53**, 102.
- Ohno, M. (1969). A physiological ecology of the early stage of some marine algae. *Rep. Usa. Mar. Biol. Stn.*, **16**, 1-46.
- 大野正夫 (1985). 海中林—その生態と造成技術—. 月刊海洋科学, **17**, 706-713.
- 太田雅隆 (1988). アラメ・カジメの配偶体の生長と成熟ならびに幼胞子体の生長に及ぼす水温の影響. 海生研報告, **No. 88202**, 29pp.
- 芹澤如比古・村上裕重・田中次郎・青木優和・坂西芳彦・平田 徹・御園生 拓・横浜康継 (2003). 静岡県下田市田牛地先の異なる水深における褐藻カジメ・アラメ群落の特徴. 水産増殖, **51**, 287-294.

- Staehr, P.A. and Wernberg, T. (2009). Physiological responses of *Ecklonia radiata* (Laminariales) to a latitudinal gradient in ocean temperature. *J. Phycol.*, **45**, 91-99.
- 菅原顕人・瀬戸雅文・小松輝久 (1998). 大型藻類のゾーネーションに関する研究－アラメ・カジメの垂直分布と流動環境－. 海洋開発論文集, **14**, 29-34.
- 菅原顕人・小松輝久・瀬戸雅文・佐藤博雄 (1999). 大型藻類のゾーネーションに関する研究Ⅱ－アラメ・カジメの垂直分布と光環境－. 海洋開発論文集, **15**, 141-145.
- 高間 浩 (1979). 三浦市沿岸におけるアラメ・カジメの現存量と群落構造について. 相模湾資源環境調査報告書, 神奈川水試資料, 神奈川, pp. 137-151.
- 谷口和也 (1991). CO<sub>2</sub> 気候変化と増・養殖漁業への影響 藻類, 農業および園芸, **66**, 215-220.
- 谷口和也・秋山和夫 (1982). アラメ配偶体の生長及び成熟に対する水温と光条件. 東北水研研報, **No. 45**, 55-59.
- 谷口和也・加藤史彦 (1984). 褐藻類アラメの年齢と生長. 東北水研研報, **No. 46**, 15-19.
- 谷口和也・佐藤美智男・大和田 淳 (1986). 常磐沿岸におけるアラメ群落の変動特性. 東北水研研報, **No. 48**, 49-57.
- 谷口和也・佐藤陽一・長田 穰・末永浩章 (1987). 牡鹿半島沿岸におけるアラメ群落の構造. 東北水研研報, **No. 49**, 103-109.
- Tatewaki, M. (1966). Formation of a crustacean sporophyte with unilocular sporangia in *Scytosiphon lomentaria*. *Phycologia*, **6**, 62-66.
- 寺脇利信 (1991). 海中砂漠緑化技術の開発 第4報 砂漠海底に設置したコンクリートブロック上でのアラメ・カジメ類の生育. 電力中央研究所報告・研究報告, **U91024**, 31pp.
- 寺脇利信 (1993). アラメ. 「藻類の生活史集成 第2巻 褐藻・紅藻類」(堀 輝三 編), 内田老鶴圃, 東京, pp. 132-133.
- 寺脇利信・新井章吾 (2003). アラメとカジメ. 「藻場の海藻と増殖技術」(能登谷正浩 編著), 成山堂書店, 東京, pp. 100-113.
- 寺脇利信・新井章吾 (2004). アラメ・カジメ類. 「有用海藻誌」(大野正夫 編著), 内田老鶴圃, 東京, pp. 133-158.
- 寺脇利信・後藤 弘 (1988). 海中林造成技術の基礎的検討 第1報 三浦半島小田和湾におけるアラメ葉部の季節的变化と根の生長. 電力中央研究所報告・研究報告, **U87056**, 23 pp.
- 寺脇利信・山田貞夫・川崎保夫 (1989). 海中砂漠緑化技術の開発 第2報 アラメ・カジメ類の生育制限要因に関する現地調査. 電力中央研究所報告・研究報告, **U89033**, 20pp.
- 寺脇利信・川崎保夫・本多正樹・山田貞夫・丸山康樹・五十嵐由雄 (1991). 海中林造成技術の実証 第2報 三浦半島西部でのアラメおよびカジメの生態と生育特性. 電力中央研究所報告・研究報告, **U91022**, 69pp.
- 寺脇利信・吉村 拓・桑原久実 (2007). 温暖化による藻場環境の変化. 月刊海洋 号外, **No. 46**, 46-54.
- 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.
- 月舘潤一 (1980). アラメ造胞体の幼体の生長におよぼす水温, 塩分, 照度, 日長時間の影響. 大規模増造養殖場開発事業対象 アラメの生理・生態に関する研究 昭和53・54年度報告書, 南西海区水研増殖部, 広島, pp. 1-7.
- 吉田吾郎・寺脇利信・吉村 拓 (2009). 海の砂漠化?－広がる藻場の異変と温暖化－. 「地球温暖化とさかな」(独立行政法人水産水総合研究所 編著), 成山堂書店, 東京, pp. 121-137.
- 吉田忠生 (1970). アラメの物質生産に関する2・3の知見. 東北水研研報, **No. 30**, 107-112.
- 吉田忠生 (1998). 新日本海藻誌. 内田老鶴圃, 東京, 1-25+1222pp.
- 四井敏雄・前迫信彦 (1993). 対馬東岸の磯焼け帯における藻場回復実験. 水産増殖, **41**, 67-70.