

## オオバモクとウミトラノオの成長と生残に及ぼす温度の影響

馬場将輔

### Effect of Temperature on the Growth and Survival of *Sargassum ringgoldianum* and *S. thunbergii* in Laboratory Culture

Masasuke Baba\*

**要約:** 千葉県産オオバモクと新潟県産ウミトラノオについて、発芽体および主枝の成長と生残に及ぼす温度の影響を室内培養により調べた。成長に適した温度は、オオバモクでは発芽体が20~26°C、主枝が20~23°C、また、ウミトラノオでは発芽体が23~26°C、主枝が17~23°Cであった。生育上限温度は、オオバモクでは発芽体が32°C、主枝が31°C、ウミトラノオでは発芽体が34°C、主枝が31°Cであった。これらの結果から、オオバモクとウミトラノオについては、発芽体と成体（主枝）、すなわち成長段階により、温度に対する生育反応が異なることが明らかになった。

**キーワード:** オオバモク, ウミトラノオ, 発芽体, 主枝, 成長適温, 生育上限温度

**Abstract:** Effects of temperature on the growth and survivorship of germlings and main branches in *Sargassum ringgoldianum* and *S. thunbergii* were examined under laboratory culture conditions. The optimal temperatures for growth in germlings and main branches were 20-26°C and 20-23°C in *S. ringgoldianum*, 23-26°C and 17-23°C in *S. thunbergii*, respectively. The upper critical temperatures in germlings and main branches were 32°C and 31°C in *S. ringgoldianum*, 34°C and 31°C in *S. thunbergii*, respectively. These results suggest different growth responses to temperature between germling and adult (main branches) stages exist in these two species.

**Key words:** *Sargassum ringgoldianum*, *Sargassum thunbergii*, germling, main branch, optimal temperature, upper critical temperature

#### まえがき

オオバモク *Sargassum ringgoldianum* とウミトラノオ *S. thunbergii* は、沿岸域にガラモ場と呼ばれる大きな藻場を形成するホンダワラ類の仲間である。このガラモ場は、水産有用種を含む様々な動植物に多様な生息場を提供するとともに、海域の環境保全の役割も担っていることが知られている(大野, 1981; 藤田ら, 2010)。しかし、近年には沿岸域の埋立や水質の悪化などに伴う藻場の衰退の進行や(秋本ら, 2009)、海水温の上昇傾向による海藻類の生育阻害および植食性魚類

による食害の拡大が報告されている(吉村ら, 2006; 寺脇ら, 2007)。

オオバモクは本州中部から九州までの太平洋岸と日本海沿岸に分布し、漸深帯上部の岩礁域に大きな群落を作る。また、ウミトラノオは日本各地に分布し、潮間帯の中部から下部に帯状の群落を作る(吉田, 1998)。この2種について各地で生態調査が実施されている(オオバモク: 中久, 1983; Umezaki, 1985b, 1986; 寺脇・後藤, 1986。ウミトラノオ: 中村ら, 1971; Umezaki, 1974; 丸伊ら, 1981; 新井ら, 1985; 栗原・飯間, 1999)。しかし、海藻類の生育を左右する重要な環境要因である温度について室内培養により検討した報告

(2010年12月1日受付, 2011年1月4日受理)

\* 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

はオオバモクでは見あたらず、ウミトラノオでは発芽体（小河，1981；Zhao *et al.*，2008）および主枝（原口ら，2005）を対象にしたものに限られている。

財団法人海洋生物環境研究所では、発電所温排水による昇温が沿岸域の生物群集に与える影響を予測するために必要な知見の集積を目的として、植食性動物と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、海藻類の成長と生残に及ぼす温度の影響を詳細に検討するために、オオバモクとウミトラノオの発芽体と成体について室内培養実験を行った。

### 材料と方法

**供試材料** 発芽体の培養実験に使用したウミトラノオの成熟藻体は2007年6月に新潟県柏崎市の潮間帯下部で、オオバモクの成熟藻体は2008年7月に千葉県勝浦市の漸深帯上部でそれぞれ採集し、生殖器床を形成した枝を切り取り、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、財団法人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。生殖器床の成熟状況を実体顕微鏡下で観察しながら、ピンセットで付着物を取り除いた。それらの生殖器床を滅菌海水で数回洗浄したのち、滅菌海水150mLを満たした直径15cmのガラス製シャーレに入れた。生殖器床からシャーレ底面に自然落下した幼胚をパスツールピペットで集め、滅菌海水で数回洗浄したのちに、単藻培養を開始した。実験開始時の幼胚の大きさは、オオバモクが長径 $210 \pm 15 \mu\text{m}$ （平均±標準偏差， $n=50$ ；以下も同様）、短径 $149 \pm 16 \mu\text{m}$ 、ウミトラノオが長径 $138 \pm 12 \mu\text{m}$ 、短径 $95 \pm 9 \mu\text{m}$ であった。

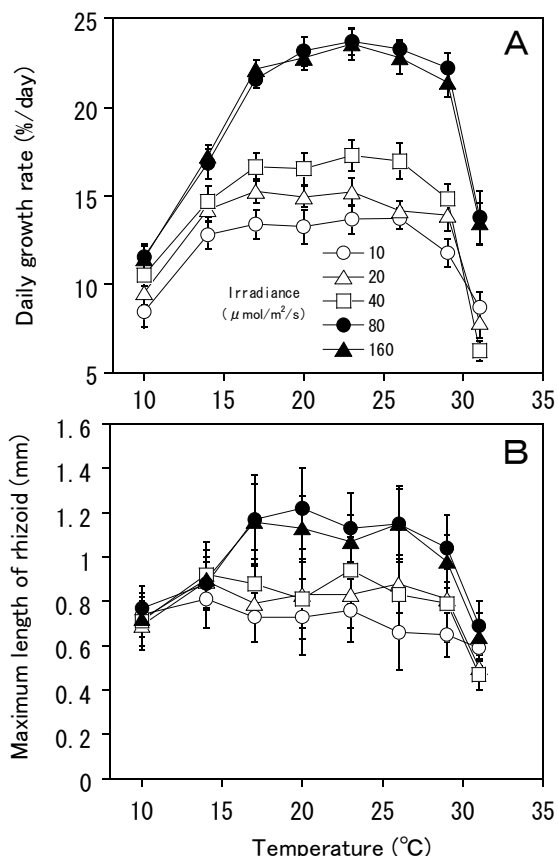
主枝の培養実験には生殖器床が未形成の成長期の藻体を使用し、前出の成熟藻体と同じ生育地で、ウミトラノオは2007年11月に、オオバモクは2008年4月に、それぞれ採集した。これらは採集当日に、財団法人海洋生物環境研究所実証試験場（新潟県柏崎市）に運び、培養操作を行った。主枝に付着している動植物をピンセットで取り除き、分裂組織のある先端部から長さ2cmの位置で切り取ったのち、滅菌海水で数回洗浄した。それらをPESI培地（Tatewaki，1966）を添加した滅菌海水5Lを満たした5L三角フラスコに60個体ず

つ収容し、 $20^{\circ}\text{C}$ 、光量 $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、12時間明期・12時間暗期（以下12L：12D）、通気条件で7日間の予備培養を行った。これらの主枝を先端部から長さ2cmに再度切り揃えて、実験に使用した。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培地を添加したものである。

**発芽体および主枝の培養と測定** 発芽体の成長に及ぼす温度と光量の実験では、培養液100mLを入れたガラス製腰高シャーレ（直径6cm、高さ6cm）を使用し、発芽体をそのなかに20個体入れ静置培養を行った。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，FLR40S・EX-N/M/36-H）を使い、光量は光量子計（Biospherical Instruments製，QSP-170/QSL-101システム）を培養容器の収容場所に置いて測定した。温度は予備実験の結果に基づいて、オオバモクが10，14，17，20，23，26，29，31， $33^{\circ}\text{C}$ の9段階、ウミトラノオが10，14，17，20，23，26，29，32，34， $36^{\circ}\text{C}$ の10段階、光量は2種ともに10，20，40，80， $160 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の5段階であり、これらを組み合わせオオバモクに45条件、ウミトラノオに50条件をそれぞれ設定し、明暗条件は12L：12Dとした。培養期間は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20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葉面積と最大仮根長を測定した。

主枝の成長に及ぼす温度の実験では、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10，14，17，20，23，26，29，31， $33^{\circ}\text{C}$ の9段階に設定し、光量 $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、明暗条件は12L：12Dとした。2L三角フラスコに培養液2Lを入れ10個体の試料を収容し、30日間の通気培養を行った。5日毎に培養液を交換し、30日目の藻体について10個体の全長と湿重量を測定した。

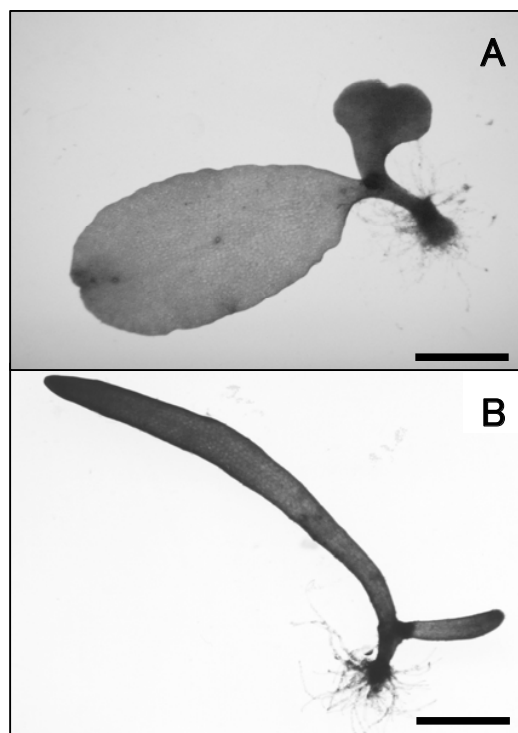
発芽体および主枝の生育上限温度に関する実験では、培養装置としてユニット恒温槽（タイテック製，サーモミランダールSX-10R）を $23^{\circ}\text{C}$ に設定した培養室内に設置して使用した。温度はオオバモクの発芽体、ウミトラノオの発芽体と主枝が30，31，32，33，34， $36^{\circ}\text{C}$ の7段階、オオバモクの主枝が28，29，30，31，32，33， $34^{\circ}\text{C}$ の7段階にそれぞれ設定した。光源には白色蛍光ランプを使い、光量 $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、明暗条件は12L：12D



**Fig. 1** Growth of germlings in *Sargassum ringgoldianum* after 21 days culture under different temperature and irradiance conditions. A: Daily growth rate of leaf area, B: Maximum length of rhizoid. Data are expressed as mean value  $\pm$  standard deviations ( $n = 20$ ). Symbols of irradiance are given in Fig. 1A.

とした。発芽体では、培養液50mLをあらかじめ入れた50mLガラス製管ビンに50個体を収容し、静置培養を行った。主枝では、培養液500mLをあらかじめ入れた500mL三角フラスコに10個体を収容し、通気培養を行った。各実験では、それぞれ4日間および10日間培養し、期間中に培養液の交換は行わなかった。温度接触が終了した時点で、培養液の全量を交換したのちに温度20°C、光量50  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、明暗条件は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、実験は発芽体と主枝ともに6回の反復とした。

**成長率** 発芽体および主枝の日間成長率 (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 $A_0$ は開始時の葉面積、全長あるいは湿重量。 $A_t$ はt日後の葉面積、全長あるいは湿重量。



**Fig. 2** Germlings of *Sargassum* spp. cultured for 21 days. A: *S. ringgoldianum* (23°C, 80  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ), B: *S. thunbergii* (23°C, 160  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ). Scale bars = 1mm.

**統計処理** データは一元配置また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-Keulsの検定、あるいはTukey-Kramerの多重比較検定により各区間の平均値の有意差 ( $P < 0.05$ ) を判定した。なお、日間成長率および生残率のデータは逆正弦変換を、また発芽体の仮根長のデータは対数変換をそれぞれ行い、統計処理を実施した。

## 結果

**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、オオバモクの発芽体は10~31°Cで成長し (Fig. 1A, 1B), 33°Cで実験開始後2日以内にすべて枯死した。Fig. 2Aに23°C, 80  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の条件で21日間培養した発芽体を示す。オオバモクの葉状部の日間成長率は6.2~23.7%の範囲にあり、20~26°Cの80  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , 23°Cの160  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ において、その他の実験区よりも有意に高い値を示した ( $P < 0.05$ )。光量区別にみた葉状部の成長は、10  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が14~26°C, 20  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が14~23°C, 40  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が17~26°C, 80  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が20~26°C, 160  $\mu\text{mol}/$

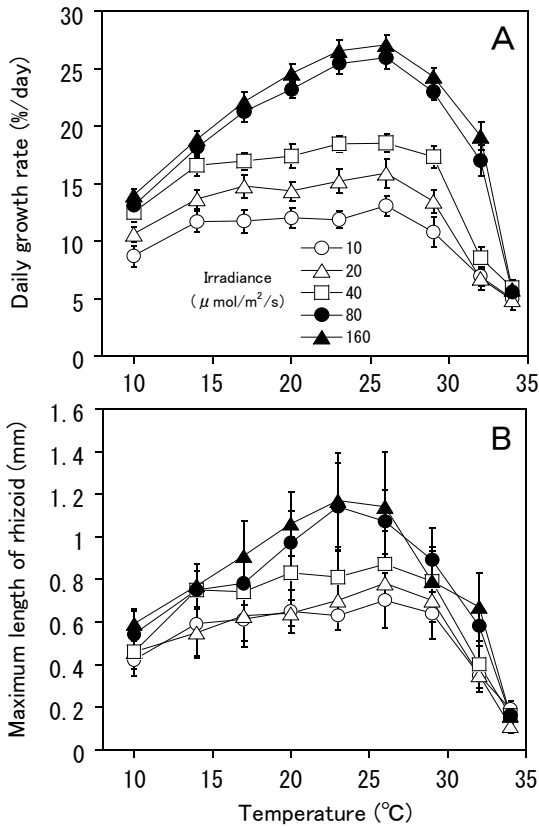


Fig. 3 Growth of germlings in *Sargassum thunbergii* after 21 days culture under different temperature and irradiance conditions. A: Daily growth rate of leaf area, B: Maximum length of rhizoid. Data are expressed as mean value  $\pm$  standard deviations ( $n = 20$ ). Symbols of irradiance are given in Fig. 3A.

$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が $23^\circ\text{C}$ において、それぞれ他の温度区よりも有意に高い値を示した ( $P < 0.05$ )。オオバモクの最大仮根長 (Fig. 1B) は、10, 14,  $31^\circ\text{C}$ で光量の違いによる有意な差は認められなかったが ( $P > 0.05$ )、 $17\sim 29^\circ\text{C}$ で80,  $160 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が $10\sim 40 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ よりも有意に高い値を示したほか ( $P < 0.05$ )、 $26^\circ\text{C}$ を越える温度区で光量に係わらず低下する傾向にあった。

ウミトラノオの発芽体は、設定したすべての光量条件において $10\sim 34^\circ\text{C}$ で成長し (Fig. 3A, 3B)、 $36^\circ\text{C}$ では培養開始後7日以内にすべて枯死した。Fig. 2Bに $23^\circ\text{C}$ 、 $160 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の条件で21日間培養した発芽体を示す。ウミトラノオの葉状部の日間成長率は $4.9\sim 26.6\%$ の範囲にあり、 $23, 26^\circ\text{C}$ の $160 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ において、その他の実験区よりも有意に高い値を示した ( $P < 0.001$ )。光量区別にみた葉状部の成長は、 $10\sim 40 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が $14\sim 26^\circ\text{C}$ 、80,  $160 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が $23, 26^\circ\text{C}$ におい

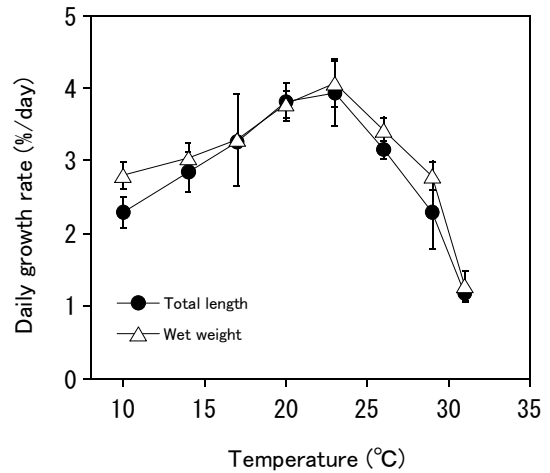


Fig. 4 Growth rate of main branches in *Sargassum ringgoldianum* after 30 days culture under different temperature conditions. Data are expressed as mean value  $\pm$  standard deviations ( $n = 10$ ).

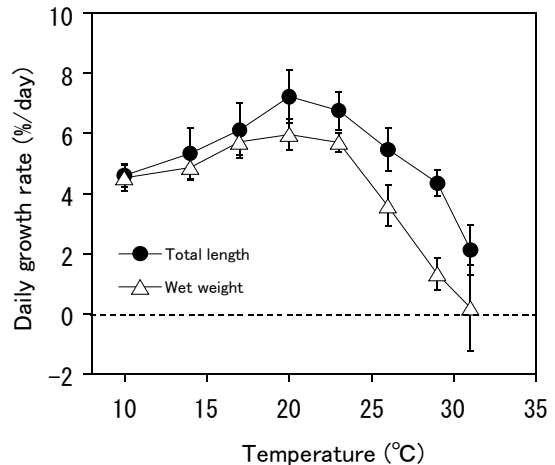


Fig. 5 Growth rate of main branches in *Sargassum thunbergii* after 30 days culture under different temperature conditions. Data are expressed as mean value  $\pm$  standard deviations ( $n = 10$ ).

て、それぞれ他の温度区よりも有意に高い値を示した ( $P < 0.05$ )。ウミトラノオの最大仮根長 (Fig. 3B) は、 $20\sim 26^\circ\text{C}$ で80,  $160 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ において、その他の実験区よりも有意に高い値を示したほか ( $P < 0.05$ )、 $10\sim 40 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が $10\sim 26^\circ\text{C}$ で、80,  $160 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ が $10\sim 23^\circ\text{C}$ で、それぞれ温度が高くなるに従い増大し、それを越える温度区で低下する傾向にあった。

**主枝の成長に及ぼす温度の影響** オオバモクの主枝は $10\sim 31^\circ\text{C}$ で成長し (Fig. 4)、 $33^\circ\text{C}$ では培養開始後2日以内にすべて枯死した。その日間成長



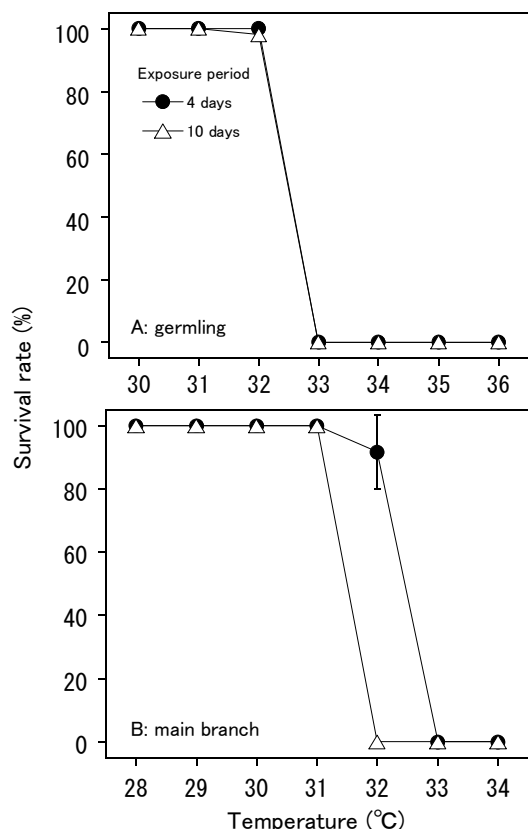


Fig. 6 Survival rates of germlings (A) and main branches (B) in *Sargassum ringgoldianum* after 4 and 10 days exposures under different temperature conditions. Data are expressed as mean value  $\pm$  standard deviations (six replicates).

率は全長が1.2~3.9%, 湿重量が1.3~4.1%であり, 全長, 湿重量ともに20, 23°Cがその他の温度区よりも有意に高い値を示した ( $P < 0.05$ )。ウミトラノオの主枝は10~31°Cで成長し (Fig. 5), 33°Cでは実験開始後4日以内にすべて枯死した。その日間成長率は全長が2.1~7.2%, 湿重量が0.2~5.9%であり, 全長, 湿重量ともに17~23°Cがその他の温度区よりも有意に高い値を示した ( $P < 0.05$ )。

**発芽体および主枝の生育上限温度** オオバモク発芽体の4日間の高温接触における生残率 (Fig. 6A)は, 30~32°Cが100%, 33~36°Cが0%であり, 10日間の接触における生残率は32°Cが98%, 33~36°Cが0%であった。オオバモク主枝の4日間の高温接触における生残率 (Fig. 6B)は, 32°Cが92%, 33, 34°Cが0%であったが, 10日間の接触における生残率は32°C以上が0%であった。ウミトラノオ発芽体の4日間の高温接触における生残

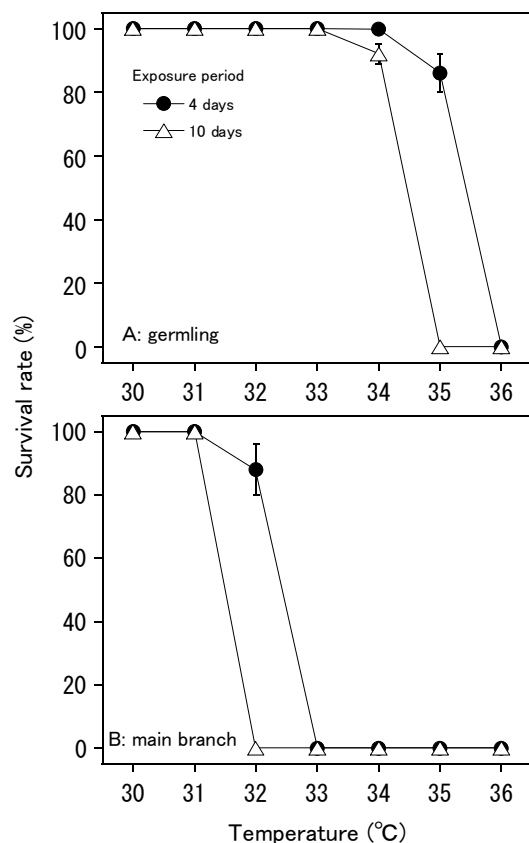


Fig. 7 Survival rates of germlings (A) and main branches (B) in *Sargassum thunbergii* after 4 and 10 days exposures under different temperature conditions. Data are expressed as mean value  $\pm$  standard deviations (six replicates).

率 (Fig. 7A)は, 30~34°Cが100%, 35°Cが86%, 36°Cが0%であったが, 10日間の接触における生残率は34°Cが92%, 35°Cが0%であった。ウミトラノオ主枝の4日間の高温接触における生残率 (Fig. 7B)は, 30, 31°Cが100%, 32°Cが88%, 33~36°Cが0%であったが, 10日間の接触における生残率は, 30, 31°Cが100%, 32~36°Cが0%であった。

## 考 察

これまでにオオバモクの成長と温度の関係を室内培養により調べた例はなく, 現場調査により本種の成長・成熟と水温の関係が報告されているのみである。神奈川県三浦半島では, 4~6月で15~20°Cの時期に枝が急速に伸長し, 6~10月で20~26°Cの期間に成熟する (寺脇・後藤, 1986)。徳島県由岐町では, 5~10月が顕著な伸長期であり現存量は9月に最大に達し, 9~11月で18~

**Table 1** Comparison of optimal temperature for germling growth of *Sargassum* and *Myagropsis* species

Species	Collection site	Optimal temperature (°C)	Reference
<i>S. confusum</i>	Niigata Pref.	25	Baba (2007)
<i>S. filicinum</i>	Hiroshima Pref.	20, 25	Yoshida <i>et al.</i> (1999)
<i>S. fusiforme</i>	Chiba Pref.	25, 30	Baba (2007)
<i>S. hemiphyllum</i>	Niigata Pref.	25, 30	Baba (2007)
<i>S. horneri</i>	Not stated	18, 21, 24, 27	Matsui and Ohgai (1981)
	Hiroshima Pref.	20, 25	Yoshida <i>et al.</i> (1999)
	Niigata Pref.	25	Baba (2007)
	Kyungbuk, South Korea	25	Choi <i>et al.</i> (2008)
<i>S. macrocarpum</i>	Hiroshima Pref.	25, 30	Yoshida <i>et al.</i> (1997)
	Yamaguchi Pref.	20, 25	Murase (2001)
<i>S. muticum</i>	Washington, U.S.A.	25	Norton (1977)
	Hiroshima Pref.	20, 25	Yoshida (2005)
<i>S. patens</i>	Not stated	25, 28	Matsui and Ohgai (1981)
	Yamaguchi and Ohita Pref.	20	Tsukidate (1984)
	Hiroshima Pref.	25	Yoshida (2005)
	Niigata Pref.	25	Baba (2007)
<i>S. piluliferum</i>	Kochi Pref.	18, 20	Ohno (1979)
	Niigata Pref.	25, 30	Baba (2007)
<i>S. ringgoldianum</i>	Chiba Pref.	20, 23, 26	Present study
<i>S. siliquastrum</i>	Hiroshima Pref.	15, 20	Tsukidate (1984)
	Niigata Pref.	25	Baba (2007)
<i>S. thunbergii</i>	Miyagi Pref.	25	Ogawa (1981)
	Niigata Pref.	23, 26	Present study
<i>M. myagroides</i>	Niigata Pref.	20, 25	Baba (2007)

24°Cの時期に成熟し卵を放出する(中久, 1983)。このほか、福井県小浜湾では、7～9月で23～25°Cの時期が伸長期であり、9月に湿重量が最大になり、9～10月で21.5°Cに下降する時期に成熟する(Umezaki, 1986)。したがって、本研究の室内培養で得られたオオバモク主枝の成長適温(20～23°C)は、現場から報告されている伸長期の水温の範囲内にあることが分かったほか、オオバモク発芽体の成長適温(20～26°C)は、成熟期の水温とほぼ一致することが推測された。

ウミトラノオについては、その成長適温は、発芽体が23～26°C、主枝が17～23°Cであることが明らかになった。これまでに本種の成長と温度の関係については室内培養により、発芽体は宮城県産(小河, 1981)及び中国青島産(Zhao *et al.*, 2008)が25°C、主枝は山口県産が15～25°C(原口ら, 2005)であることが知られている。現場調査によるウミトラノオの主枝伸長期は、福井県若狭

湾では14～22°Cに水温が上昇する4～6月(梅崎, 1985a)と報告されている。また、本種の成熟時期の水温は、福井県若狭湾では19～26°Cに上昇する6～7月(梅崎, 1985a)、千葉県小湊海岸では18～25°Cになる5～7月と9～12月の年2回(新井ら, 1985;水温はFig. 3からの読み取り)と報告されている。したがって、新潟県産の材料を使用した本研究でのウミトラノオの成長適温は、これらの現場データと概ね類似する結果が得られた。

発芽体の成長と光量の関係について、中久(1978)は徳島県産オオバモクとウミトラノオを比較した結果、低光量(800 lux $\approx$ 10.5  $\mu$ mol/m<sup>2</sup>/s)条件での成長低下がオオバモクよりもウミトラノオで顕著であり、その理由として潮間帯に生育するウミトラノオは漸深帯に生育するオオバモクよりも、成長により多くの光が必要であるためと推測している。本研究の結果では、14～23°Cにおける10, 20  $\mu$ mol/m<sup>2</sup>/sの日間成長率はウミトラ

ノオがオオバモクよりも有意に低くなり ( $P < 0.05$ ), これら2種の光量に対する生育反応の違いを確認することができた。

本研究を含めこれまでに報告されている日本産ホンダワラ類13種の発芽体について、成長に適した温度をTable 1に示す。発芽体の成長に適した温度は、各種の卵放出期の水温範囲か、あるいはそれよりもやや高くなる傾向が認められている (De Wreede, 1976, 1978; 梅崎, 1985a; 馬場, 2007; Zhao *et al.*, 2008)。さらに発育段階別にみたホンダワラ類の成長適温は、本研究の結果から、オオバモクでは発芽体が20~26°Cおよび成体が20~23°C, ウミトラノオでは発芽体が23~26°Cおよび成体が17~23°Cであることが明らかになった。このほか、ヤツマタモク *S. patens* では発芽体が25~28°Cおよび成体が21~30°C (松井・大貝, 1981), アカモク *S. horneri* では発芽体が18~27°C および成体が15~21°C (松井・大貝, 1981), 同種の韓国産 (Choi *et al.*, 2008) では発芽体が25°Cおよび主枝が15°C, 米国ワシントン州産タマハハキモク *S. muticum* (Norton, 1977) では発芽体および側枝がそれぞれ25°Cであると報告されている。したがって、これらの知見から、タマハハキモク以外の4種では、発育段階が進むと成長適温が低温側に広がる傾向が認められる。

ホンダワラ類の生育上限温度は、主枝について培養により検討されているが (原口ら, 2005; Haraguchi *et al.*, 2009), 発芽体と主枝 (成体) などの発育段階別に比較した例はない。本研究の結果から発育段階別の生育上限温度は、オオバモクでは発芽体が32°Cおよび主枝が31°C, また、ウミトラノオでは発芽体が34°Cおよび主枝が31°Cであり、発芽体よりも主枝で低下する可能性が示唆された。本研究では、オオバモクとウミトラノオの発芽体と主枝について、成長適温と生育上限温度の違いを明らかにした。今後は、藻場を構成するホンダワラ類各種について、環境変動に対する変化予測を行うために、異なる発育段階について成長や生残に関する温度特性及び光量、塩分の影響を詳細に比較することが望まれる。

## 謝 辞

著者は本論文を御校閲下さった、東京大学名誉教授 沖山宗雄博士、東京大学名誉教授 日野明徳博士、(財)海洋生物環境研究所顧問 城戸勝利博

士、同理事 清野通康博士に深謝いたします。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火力・原子力関係環境審査調査 (大規模発電所取放水影響調査) 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す。

## 引用文献

- 秋本 泰・片山洋一・松村知明・村田眞司 (2009). 日本全国の藻場分布. 月刊海洋, **41**, 598-604.
- 新井朱美・新井章吾・三浦昭雄 (1985). 千葉県小湊におけるウミトラノオの生長と成熟. 藻類, **33**, 160-166.
- 馬場将輔 (2007). ホンダワラ類8種の初期成長に及ぼす温度と光量の影響. 海生研研報, **No. 10**, 9-20.
- Choi, H.G., Lee, K.H., Yoo, H.I., Kang, P.J., Kim, Y.S. and Nam, K.W. (2008). Physiological differences in the growth of *Sargassum horneri* between the germling and adult stages. *J. Appl. Phycol.*, **20**, 729-735.
- De Wreede, R.E. (1976). The phenology of three species of *Sargassum* (Sargassaceae, Phaeophyta) in Hawaii. *Phycologia*, **15**, 175-183.
- De Wreede, R.E. (1978). Growth in varying culture conditions of embryos of three Hawaiian species of *Sargassum* (Phaeophyta, Sargassaceae). *Phycologia*, **17**, 23-31.
- 藤田大介・村瀬 昇・桑原久実 編著 (2010). 藻場を見守り育てる知恵と技術. 成山堂書店, 東京, 口絵1-8, xiv + 278 pp.
- 原口展子・村瀬 昇・水上 譲・野田幹雄・吉田吾郎・寺脇利信 (2005). 山口県沿岸のホンダワラ類の生育適温と上限温度. 藻類, **53**, 7-13.
- Haraguchi, H., Hiraoka, M., Murase, N., Imoto, Z. and Okuda, K. (2009). Field and culture study of the temperature related growth rates of the temperate *Sargassum* species, *Sargassum okamurae* Yoshida and *S. micracanthum* (Kützinger) Endlicher (Fucales, Phaeophyceae) in Tosa Bay, southern Japan. *Algal Resources*, **2**, 27-37.
- 栗原 暁・飯間雅文 (1999). 長崎県南部におけるウミトラノオ個体群の成長と成熟. 藻類,

- 47, 179-186.
- 丸伊 満・稲井宏臣・吉田忠生 (1981). 北海道忍路湾におけるホンダワラ類の生長と成熟について. 藻類, **29**, 277-281.
- 松井敏夫・大貝政治 (1981). ホンダワラ類 (ヤツマタモクとアカモク) の生長と水温. 大量温排水に対する水産環境アセスメント総合調査 昭和50~55年度総括報告書. 水産庁東海区研究所, 東京, pp. 213-217.
- 村瀬 昇 (2001). 褐藻ノコギリモク *Sargassum macrocarpum* C. Agardh の生態学的研究. 水産大研報, **49**, 131-212.
- 中久喜昭 (1978). 褐藻類の発芽・生長に及ぼす光量の影響について. 徳島水試事報, 昭和40年~昭和46年追補 昭和47年~昭和51年, 徳島県水産試験場, 徳島, pp. 260-262.
- 中久喜昭 (1983). オオバモクの生態と群落造成. 水産土木, **20**, 45-49.
- 中村義輝・館脇正和・中原紘之・斎藤捷一・増田道夫 (1971). 海藻群落の生産力に関する研究—ウミトラノオ (*Sargassum thunbergii*) の現存量の季節的变化—. 海洋生物群集の総合的研究, 昭和45年度業績報告, pp. 15-17.
- Norton, T.A. (1977). Ecological experiments with *Sargassum muticum*. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, **57**, 33-43.
- 小河久朗 (1981). ホンダワラ類の幼胚の発生に及ぼす温度・光・塩分濃度の影響について. 藻場 (ガラモ場) の生態の総合的研究 昭和55年度文部省科学研究費補助金 (総合研究A) 研究成果報告書, pp. 51-54.
- Ohno, M. (1979). Culture and field survey of *Sargassum piluliferum*. *Rept. Usa Mar. Biol. Inst.*, **No. 1**, 25-32.
- 大野正夫 (1981). ガラモ場内の環境. 「藻場・海中林」(日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 75-92.
- Tatewaki, M. (1966). Formation of a crustaceous sporophyte with unilocular sporangia in *Scytosiphon lomentaria*. *Phycologia*, **6**, 62-66.
- 寺脇利信・後藤 弘 (1986). 三浦半島小田和湾におけるオオバモクの生長と成熟. 水産増殖, **34**, 141-146.
- 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.
- 月舘潤一 (1984). ヤツマタモクとヨレモクの幼体の最適生長条件について. 南西水研報, **No. 16**, 1-9.
- Umezaki, I. (1974). Ecological studies of *Sargassum thunbergii* (Mertens) O. Kunze in Maizuru Bay, Japan Sea. *Bot. Mag., Tokyo*, **87**, 285-292.
- 梅崎 勇 (1985a). ホンダワラ群落の周年変化. 月刊 海洋科学, **17**, 32-37.
- Umezaki, I. (1985b). Growth of the stem in *Sargassum ringgoldianum* HARV. subsp. *coreanum* (J. AG.) YOSHIDA in Obama Bay, Japan Sea. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **51**, 1441-1445.
- Umezaki, I. (1986). Growth of the primary laterals in *Sargassum ringgoldianum* HARV. subsp. *coreanum* (J. AG.) YOSHIDA in Obama Bay, Japan Sea. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **52**, 957-963.
- 吉田吾郎 (2005). 広島湾における褐藻アカモクのフェノロジーとその個体群間分化に関する研究. 水研センター研報, **No. 15**, 27-126.
- 吉田吾郎・新井章吾・寺脇利信 (1997). 広島湾大野瀬戸産ノコギリモク幼体の成長に及ぼす光量・水温の影響. 南西水研研報, **No. 30**, 137-145.
- Yoshida, G., Murase, N. and Terawaki, T. (1999). Comparisons of germling growth abilities under various culture conditions among two *Sargassum horneri* populations and *S. filicinum* in Hiroshima Bay. *Bull. Fish. Environ. Inland Sea*, **No. 1**, 45-54.
- 吉田忠生 (1998). 新日本海藻誌. 内田老鶴舗, 東京, 1-25 + 1222 pp.
- 吉村 拓・桐山隆哉・清本節夫 (2006). 変わりゆく九州西岸域の藻場. 「海藻を食べる魚たち」(藤田大介・野田幹雄・桑原久実 編著), 成山堂書店, 東京, pp. 33-50.
- Zhao, Z., Zhao, F., Yao, J., Lu, J., Ang, P.O.Jr., and Duan, D. (2008). Early development of germlings of *Sargassum thunbergii* (Fucales, Phaeophyta) under laboratory conditions. *J. Appl. Phycol.*, **20**, 925-931.