

原著論文

新潟県産ホンダワラ類5種の成長と生残に及ぼす温度の影響

馬場将輔* §

Effects of Temperature on the Growth and Survival of
Five Sargassaceous Species from Niigata Prefecture
in Laboratory Culture

Masasuke Baba* §

要約: 新潟県産ホンダワラ類5種の主枝(成体)について, 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。30日間の培養による主枝の成長適温はジョロモクとヤツマタモクが14~23°C, ヨレモクが17~20°C, イソモクとマメタワラが17~23°Cであった。10日間の温度接触による主枝の生育上限温度はイソモクとジョロモクが30°C, ヨレモクが31°C, ヤツマタモクとマメタワラが32°Cであった。ホンダワラ類の成長適温と生育上限温度について, 本研究の結果と既往知見をもとに, 各種の地理的分布との関連により概観した。

キーワード: ジョロモク属, ホンダワラ属, 成体, 地理的分布, 主枝, 成長適温, 生育上限温度

Abstract: Effects of temperature on the growth and survival of main branch (adult stage) in five Sargassaceous species collected from Niigata Prefecture, central Japan were examined under laboratory culture conditions. The optimal temperatures for growth after 30 days' culture were 14-23°C in *Myagropsis myagroides* and *Sargassum patens*, 17-20°C in *S. siliquastrum*, 17-23°C in *S. hemiphylum* and *S. piluliferum*, respectively. The upper critical temperature without affecting the survival of main branches after 10 days' incubation were as follows: 30°C in *S. hemiphylum* and *M. myagroides*, 31°C in *S. siliquastrum*, 32°C in *S. patens* and *S. piluliferum*. The optimal temperature for growth and the upper critical temperature in Sargassaceous species are reviewed based on the present results and the published literatures in relation to their geographical distributions.

Key words: *Myagropsis*, *Sargassum*, adult stage, geographical distribution, main branch, optimal temperature, upper critical temperature

まえがき

大型褐藻のホンダワラ類は沿岸域に大規模な藻場を形成し, 一次生産の場, 海のゆりかご, 海域環境保全の場として重要な役割を担っている(大野, 1985)。しかし, 日本沿岸の海水温の上昇傾向により, 藻場の衰退, 種組成や分布の変化が各地から報告されている(平岡ら, 2005; 寺脇ら, 2007; 吉田ら, 2009)。海藻類の分布を規制する

重要な要因のひとつは水温であり, 生育に適した季節での成長適温, 生育に不適な時期での上限温度と下限温度を把握することが, 今後の分布予測変化に不可欠である(Breeman, 1988; Lüning, 1990; 村瀬, 2010; Bartsch *et al.*, 2012)。

ホンダワラ類では, 成長適温が発芽体, 成体の各発育段階により異なることが指摘されている(松井・大貝, 1981; Choi *et al.*, 2008; 馬場, 2011a)。これまでにホンダワラ類の各種において,

(2013年12月1日受付, 2014年3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

発芽体の成長適温 (Norton, 1977a; Ohno, 1979; 小河, 1981; 松井・大貝, 1981; 月舘, 1984; Hales and Fletcher, 1989; 吉田ら, 1997; Yoshida *et al.*, 1999; 村瀬, 2001; 吉田, 2005; 川越ら, 2005; 馬場, 2007, 2011a; Choi *et al.*, 2008; Zhao *et al.*, 2008), 発芽体の生育上限温度 (馬場, 2011a, 2011b), 成体の成長適温 (Norton, 1977b; 松井・大貝, 1981; Hanisak and Samuel, 1987; Hwang *et al.*, 2004; 原口ら, 2005; Sun *et al.*, 2006; Choi *et al.*, 2008; Haraguchi *et al.*, 2009; 馬場, 2011a), 成体の生育上限温度 (原口ら, 2005; Haraguchi *et al.*, 2009; 馬場, 2011a) が報告されている。

本研究では、日本に広く分布するホンダワラ類5種について、成体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。さらに、ホンダワラ類の発芽体と成体について成長適温と生育上限温度の知見の現状を把握するために、文献情報を整理した。なお、本研究は、公益財団法人海洋生物環境研究所が経済産業省から受託した「火力・原子力関係環境審査調査 (温排水生物群集影響調査)」の事業成果 (海洋生物環境研究所, 2012) 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 主枝の成長および生育上限温度の各実験には、生殖器床が未形成である成長期の藻体を対象とし、ヤツマタモク *Sargassum patens* とヨレモク *S. siliquastrum* は2008年10月に、ジョロモク *Myagropsis myagroides* とマメタワラ *S. piluliferum* は2009年11月に、イソモク *S. hemiphylum* は2010年10月に、それぞれ新潟県柏崎市地先の岩礁域で採集した。これらは採集当日に、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°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。

培養と測定 成長に関する実験では、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10, 14, 17, 20, 23, 26, 29, 31, 33°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、10, 20, 30日目の藻体について湿重量を測定した。

生残に関する実験では、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°Cに設定した培養室内に設置して使用した。温度は28, 29, 30, 31, 32, 33, 34°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とした。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6回の反復とした。

成長率 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 は開始時の湿重量, A_t はt日後の湿重量。

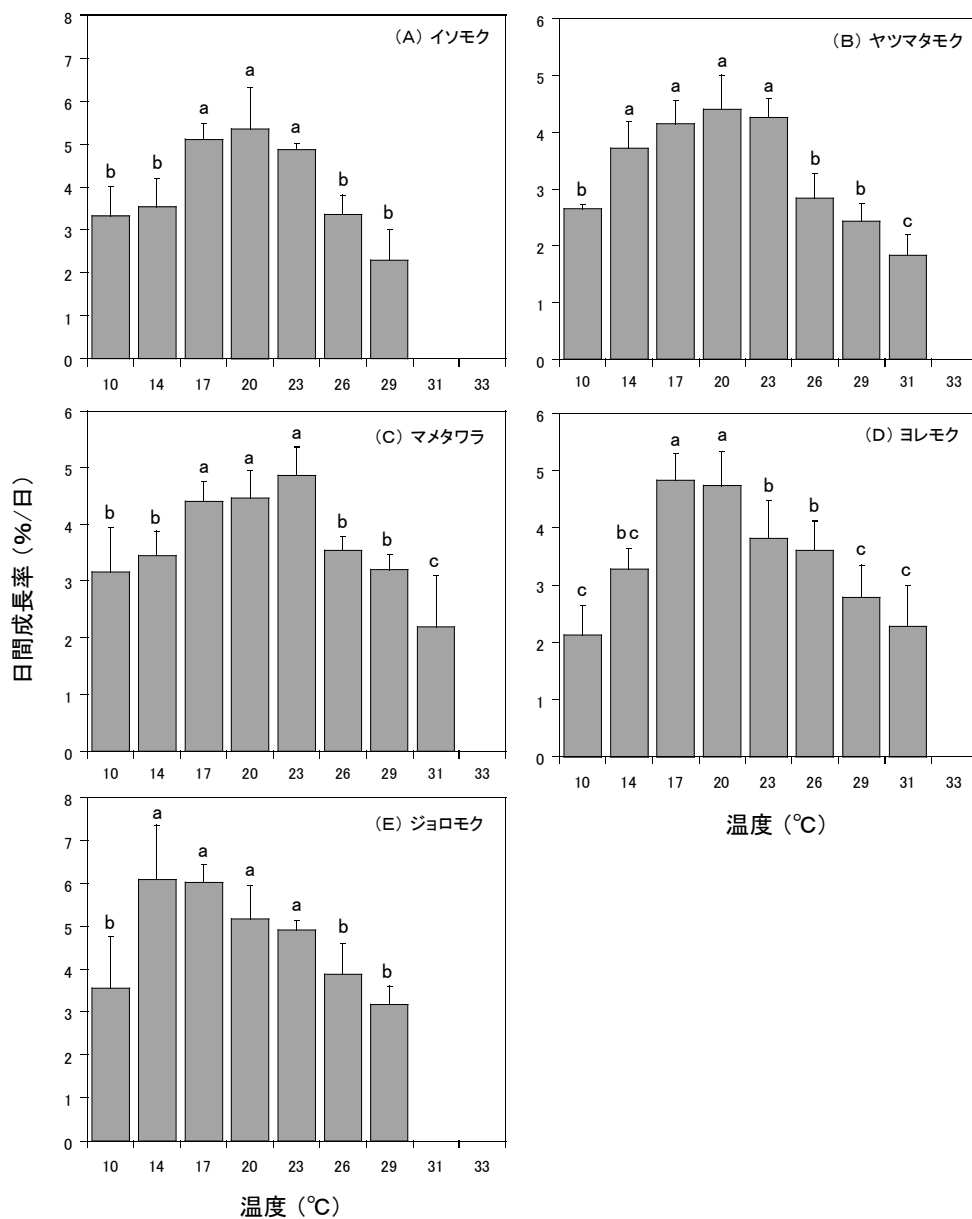
統計処理 データは一元配置の分散分析により検定を行い、有意差が認められた場合にTukey-Kramerの多重比較検定により各区間の平均値の有意差 ($P < 0.05$) を判定した。なお、日間成長率および生残率のデータは逆正弦変換を行い、統計処理を実施した。

結果

成長に及ぼす温度の影響 イソモクの主枝は10~29°Cで成長し、33°Cでは培養開始後4日目までに、31°Cでは培養開始後10日目までにすべて枯死した (第1図A)。その間の日間成長率は2.3~5.4%であ

り、17～23℃がその他の温度区よりも有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。ヤツマタモクの主枝は10～31℃で成長し、33℃では培養開始後5日目までにすべて枯死した (第1図B)。日間成長率は2.1～4.8%であり、17～20℃がその他の温度区よりも有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。ジョロモクの主枝は10～29℃で成長し、31、33℃では培養開始後7日目までにすべて枯死した (第1図E)。日間成長率は3.2～6.1%であり、14～23℃がその他の温度区よりも有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。ヨレ

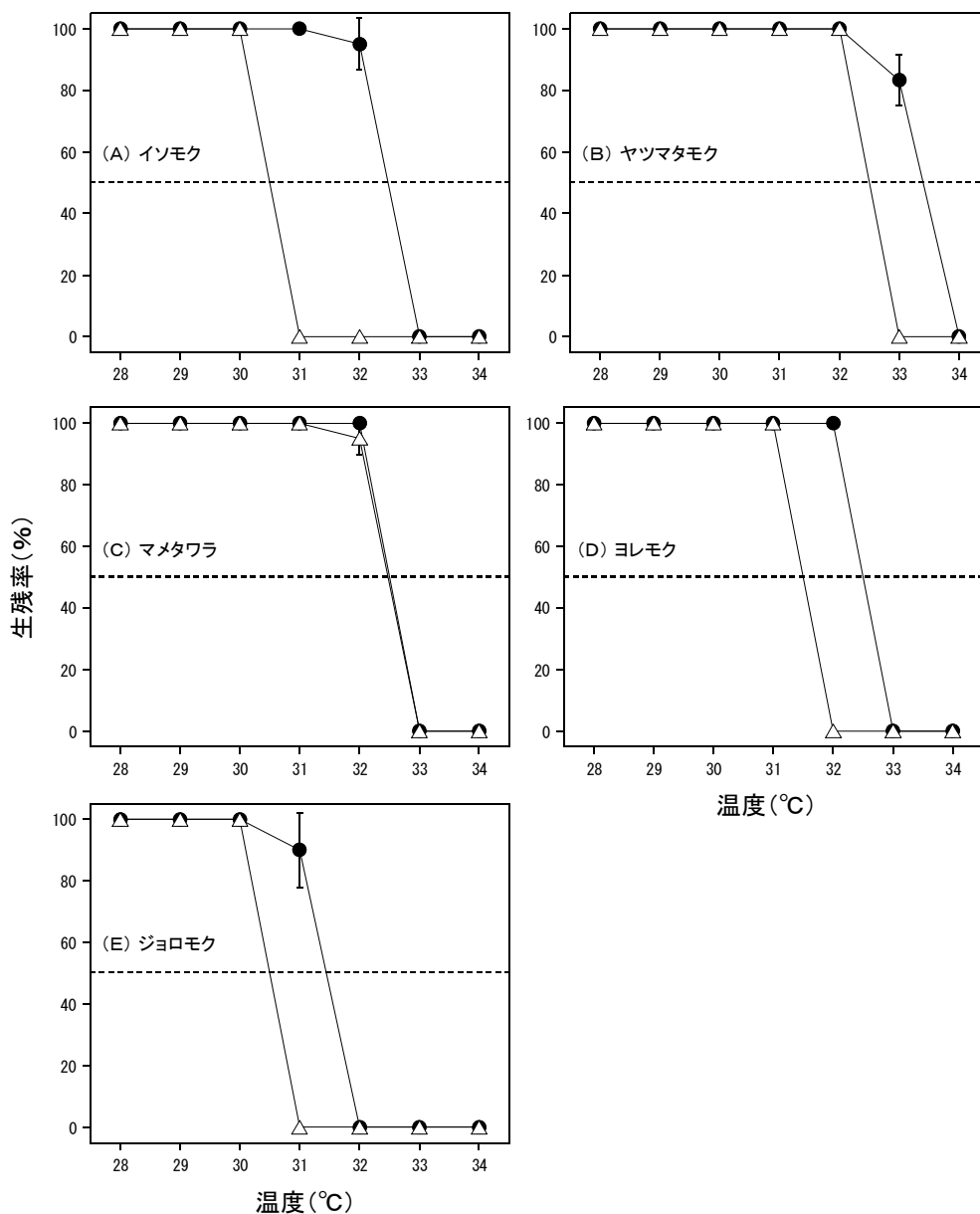
モクの主枝は10～31℃で成長し、33℃では培養開始後4日目までにすべて枯死した (第1図C)。日間成長率は2.3～5.4%であり、17～23℃がその他の温度区よりも有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。ヨレモクの主枝は10～29℃で成長し、31、33℃では培養開始後7日目までにすべて枯死した (第1図D)。日間成長率は3.2～6.1%であり、14～23℃がその他の温度区よりも有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。



第1図 異なる温度条件で培養したホンダワラ類5種の主枝の日間成長率。(A) イソモク、(B) ヤツマタモク、(C) マメタワラ、(D) ヨレモク、(E) ジョロモク。30日間の日間成長率を平均±標準偏差で示す ($n=10$)。図中の棒グラフ上のアルファベットは、異なる場合に温度区間の値に有意差が認められたことを示す ($P < 0.05$)。

生残に及ぼす温度の影響 ホンダワラ類5種の温度接触による生残率を第2図に示す。イソモク主枝の4日間の接触における生残率は、28～31℃が100%、32℃が95%、33、34℃が0%であったが、10日間の接触における生残率は、28～30℃が100%、31～34℃が0%であった（第2図A）。ヤツマタモク主枝の4日間の接触における生残率は、28～32℃が100%、33℃が83%、34℃が0%であったが、10日間の接触における生残率は、28～31℃が100%、32～34℃が0%であった（第2図D）。ジョロモク主枝の4日間の接触における生残率は、28～30℃が100%、31℃が89%、32～34℃が0%であったが、10日間の接触における生残率は、28～30℃が100%、31～34℃が0%であった（第2図E）。

28～32℃が100%、33、34℃が0%であったが、10日間の接触における生残率は、28～31℃が100%、32℃が95%、33、34℃が0%であった（第2図C）。ヨレモク主枝の4日間の接触における生残率は、28～32℃が100%、33、34℃が0%であったが、10日間の接触における生残率は、28～31℃が100%、32～34℃が0%であった（第2図D）。ジョロモク主枝の4日間の接触における生残率は、28～30℃が100%、31℃が89%、32～34℃が0%であったが、10日間の接触における生残率は、28～30℃が100%、31～34℃が0%であった（第2図E）。



第2図 温度接触によるホンダワラ類5種の主枝の生残率。(A) イソモク、(B) ヤツマタモク、(C) マメタワラ、(D) ヨレモク、(E) ジョロモクについて、4日間 (●) と10日間 (△) の生残率をそれぞれ平均±標準偏差で示す(6回反復)。

考 察

本研究では新潟県産ホンダワラ類5種の成体について、成長と生残に及ぼす温度の影響を室内培養により検討した。その結果、主枝の成長適温はヤツマタモクとジョロモクが14~23℃、ヨレモクが17~20℃、イソモクとマメタワラが17~23℃、また、主枝の生育上限温度はイソモクとジョロモクが30℃、ヨレモクが31℃、ヤツマタモクとマメタワラが32℃であることが明らかになった。原口ら(2005)は山口県産ホンダワラ類9種の主枝の培養結果をもとに成長適温範囲の類型化を試み、その範囲の違いから15~20℃の低温型、20~25℃あるいは25℃の高温型、10~25℃あるいは15~25℃の広温型に区別し、成長適温と成熟時期の水温との関連を指摘した。この区分に従うと、本研究で扱った新潟県産5種のうちヨレモクが低温型に、その他4種が広温型に相当すると考えられる。

本研究の結果も含め、これまでに室内培養によるホンダワラ類の温度特性は、成長適温が発芽体13種および成体21種、生育上限温度が発芽体10種および成体12種で明らかにされている(第1表)。冷温帯と暖温帯に分布する種の知見は、フシスジモク *S. confusum*、アカモク *S. horneri*、タマハハキモク *S. muticum* の3種であり、アカモクの知見が最も多い。冷温帯、暖温帯および熱帯に分布する種の知見は、ヒジキ *S. fusiforme* とウミトラノオの2種であり、いずれも潮間帯に生育する(吉田, 1998)。ウミトラノオ発芽体の生育上限温度は

34℃であり、これまでに報告されているホンダワラ類発芽体のなかで最も高温に対する耐性を持つ種である。中国では人工栽培したウミトラノオをナマコ養殖用餌料にするため、本種の成長適温が調査されている(Sun *et al.*, 2006; Zhao *et al.*, 2008)。暖温帯では10種の知見があり、いずれも漸深帯で大きな群落を形成する。そのうち、トゲモク *S. micracanthum* とヒラネジモク *S. okamurae* では、3月と10月の生育時期が異なる材料による温度特性が明らかになっている(Haraguchi *et al.*, 2009)。これらの暖温帯に分布する10種の成長適温は、発芽体では成長適温が15~26℃、成体が15~30℃の範囲にある。暖温帯と熱帯に分布する種の知見はヤツマタモク、フタエモク *S. ilicifolium*、キシウモク *S. siliquosum* の3種であり、ヤツマモクの温度特性の知見が最も多い。高知県沿岸では1970年代から2000年代にかけてホンダワラ藻場の分布と優占種が年代別に詳細に記録されており、フタエモクの分布範囲の拡大傾向が確認されている(平岡ら, 2005; Haraguchi and Sekida, 2008; Tanaka *et al.*, 2012)。熱帯からは6種の成体に関する知見が報告され、そのうちアツバモク *S. crassifolium* とコバモク *S. polycystum* の2種が国内にも分布している。熱帯に分布する種の成長適温は、暖温帯あるいは冷温帯に分布する種よりも高くなる傾向がみられ、いずれの種も成長適温の上限側は25℃あるいは30℃である。Xie *et al.* (2013)は中国広東省で熱帯に分布する *S. naozhouense* の栽培試験の結果から、本種の成体は高温に対する

種名	分布域の水温と 発育段階	温度(℃)																																		出典
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35				
イソモク	分布域の水温																																		馬場(2007, 2011b) 本研究
	発芽体																																		
	成体●																																		
マメタワラ	分布域の水温																																		馬場(2007, 2011b) 本研究
	発芽体																																		
	成体●																																		
ヨレモク	分布域の水温																																		馬場(2007, 2011b) 本研究
	発芽体																																		
	成体●																																		
ジョロモク	分布域の水温																																		馬場(2007, 2011b) 本研究
	発芽体																																		
	成体●																																		
ヤツマタモク	分布域の水温																																		馬場(2007, 2011b) 本研究
	発芽体																																		
	成体●																																		

第3図 同一産地の材料に基づくホンダワラ類5種の発育段階別の成長適温と生育上限温度。図中の■は成長適温範囲、●は生育上限温度を示す。分布域の水温は須藤(1992)による。

馬場：ホンダワラ類の成長と生残に及ぼす温度影響

第1表 ホンダワラ類の発芽体と成体に関する成長適温と生育上限温度の比較

生物地理区分 ^{*1}	種名	発育段階	産地	成長適温 (°C)	生育上限温度 (°C)	出典
冷温帯, 暖温帯	フシスジモク	発芽体	北海道	15	—	川越ら (2005)
			新潟県	25	32	馬場 (2007, 2011b)
冷温帯, 暖温帯	アカモク	発芽体	(記述なし)	18-27	—	松井・大貝 (1981)
			広島県	20-25	—	Yoshida <i>et al.</i> (1999)
			新潟県	25	31	馬場 (2007, 2011b)
			韓国	25	—	Choi <i>et al.</i> (2008)
		成体	(記述なし)	15-21	—	松井・大貝 (1981)
			山口県	15-20	27	原口ら (2005)
冷温帯, 暖温帯	タマハハキモク	発芽体	米国ワシントン州	25	—	Norton (1977a)
			英国ハンプシャー州	25	—	Hales and Fletcher (1989)
			広島県	20-25	—	吉田 (2005)
		成体	米国ワシントン州	25	—	Norton (1977b)
冷温帯, 暖温帯, 熱帯	ヒジキ	発芽体	千葉県	25-30	32	馬場 (2007, 2011b)
冷温帯, 暖温帯, 熱帯	ウミトラノオ	発芽体	宮城県	25	—	小河 (1981)
			中国山東省	25	—	Zao <i>et al.</i> (2008)
			新潟県	23-26	34	馬場 (2011a)
		成体	山口県	15-25	31	原口ら (2005)
			中国山東省	16	—	Sun <i>et al.</i> (2006)
			新潟県	17-23	31	馬場 (2011a)
暖温帯	シダモク	発芽体	広島県	20-25	—	Yoshida <i>et al.</i> (1999)
暖温帯	ホンダワラ	成体	山口県	20-25	30	原口ら (2005)
暖温帯	イソモク	発芽体	新潟県	25-30	32	馬場 (2007, 2011b)
			山口県	15-20	27	原口ら (2005)
		成体	新潟県	17-23	30	本研究
暖温帯	ノコギリモク	発芽体	広島県	25-30	—	吉田ら (1997)
			山口県	20-25	—	村瀬 (2001)
		成体	山口県	25	31	原口ら (2005)
暖温帯	トゲモク	成体	山口県	15-20	27	原口ら (2005)
			高知県	20 ^{*2} , 25 ^{*3}	31 ^{*2}	Haraguchi <i>et al.</i> (2009)
暖温帯	ヒラネジモク	成体	高知県	15-30 ^{*2} , 25 ^{*3}	32 ^{*2}	Haraguchi <i>et al.</i> (2009)
暖温帯	マメタワラ	発芽体	高知県	18-20	—	Ohno (1979)
			新潟県	25-30	32	馬場 (2007, 2011b)
		成体	山口県	15-20	30	原口ら (2005)
			新潟県	17-23	32	本研究
暖温帯	オオバモク	発芽体	千葉県	20-26	32	馬場 (2011a)
			千葉県	20-23	31	馬場 (2011a)
暖温帯	ジョロモク	発芽体	新潟県	20-25	31	馬場 (2007, 2011b)
			山口県	10-25	30	原口ら (2005)
		成体	新潟県	14-23	30	本研究
暖温帯	ヨレモク	発芽体	広島県	15-20	—	月館 (1984)
			新潟県	25	32	馬場 (2007, 2011b)
		成体	新潟県	17-20	31	本研究
暖温帯, 熱帯	ヤツマタモク	発芽体	(記述なし)	25-28	—	松井・大貝 (1981)
			山口県, 大分県	20	—	月館 (1984)
			広島県	25	—	吉田 (2005)
			新潟県	25	33	馬場 (2007, 2011b)
		成体	(記述なし)	21-30	—	松井・大貝 (1981)
			山口県	20-25	31	原口ら (2005)
暖温帯, 熱帯	フタエモク	成体	台湾南部	25	—	Hwang <i>et al.</i> (2004) ^{*4}
			台湾南部	30	—	Hwang <i>et al.</i> (2004)

(継続)

第1表 (継続) ホンダワラ類の発芽体と成体に関する成長適温と生育上限温度の比較

生物地理区分 ^{*1}	種名	発育段階	産地	成長適温 (°C)	生育上限温度 (°C)	出典
熱帯	アツバモク	成体	台湾南部	20-25	—	Hwang <i>et al.</i> (2004) ^{*5}
熱帯	コバモク	成体	台湾南部	25	—	Hwang <i>et al.</i> (2004)
熱帯	<i>Sargassum cymosum</i>	成体	米国フロリダ州	24-30	—	Hanisak and Samuel (1987)
熱帯	<i>Sargassum filipendula</i>	成体	米国フロリダ州	24-30	—	Hanisak and Samuel (1987)
熱帯	<i>Sargassum natans</i>	成体	米国フロリダ州	18-30	—	Hanisak and Samuel (1987)
熱帯	<i>Sargassum pteropleuron</i>	成体	米国フロリダ州	18-30	—	Hanisak and Samuel (1987)

^{*1}Lüning (1990)による生物地理区分。冷温帯(北海道, 本州北部), 暖温帯(本州南部, 四国, 九州), 熱帯(南西諸島以南)

^{*2}10月採集個体, ^{*3}3月採集個体, ^{*4}*S. sandei*の学名を使用, ^{*5}*S. berberifolium*の学名を使用

耐性が強く, 33.7°Cでも生育できると報告している。このように, ホンダワラ類の温度特性の知見は, ほとんどが発芽体あるいは主枝を用いたものであるが, 八谷ら (2012) は長崎県産マメタワラについて付着器の高温耐性を検討し, その再生能力は主枝が生育できない高水温 (32.5°C) でも維持される可能性を示唆している。

ホンダワラ類の発育段階と温度の関係は, 発育段階が進むと成長適温が低下することが, ヤツマタモク (松井・大貝, 1981), アカモク (松井・大貝, 1981; Choi *et al.*, 2008), ウミトラノオ (馬場, 2011a), オオバモク *S. ringgoldianum* (馬場, 2011a) で報告されている。このほか, 吉田ら (2008) はマメタワラの生活環を長期室内培養で調べた結果から, 主枝を伸長させる時期は幼体期よりも相対的に低水温が適していることを指摘している。本研究では新潟県産ホンダワラ類5種の主枝の温度特性を明らかにしたが, 馬場 (2007, 2011b) はそれらと同一地点で得られた発芽体を用いた成長適温と生育上限温度を報告している。その知見と分布域の水温の関係を整理した結果を第3図に示す。これら5種でも発芽体よりも成体で成長適温が低温側に移行することから, 発育段階と温度の関係に関する既往知見と一致することが分かった。また, 生育上限温度は, イソモク, ヨレモク, ジョロモク, ヤツマタモクでは発芽体よりも成体で1~2°C低くなったが, マメタワラでは発芽体と成体が同じ値であった。これら5種が分布する海域の夏季水温の上限は27~28°Cである (須藤, 1992)。各種の生育上限温度をこの夏季水温の上

限値と比較すると, イソモクが2~4°C, マメタワラが5°C, ヨレモクが4~5°C, ジョロモクが3~4°C, ヤツマタモクが4~5°C, それぞれ高くなる傾向がみられる。このことから, 近年の日本沿岸域での夏季の水温上昇傾向に対して, 枯死に至るまでにある程度の許容範囲があることが推測される。桑原ら (2006) はホンダワラ類のウガノモク *Cystoseira hakodatensis*, ヤツマタモク, ノコギリモク *S. macrocarpum* について, 生育域の水温範囲に基づき今後100年間の分布域の変化予測を試み, これらの種では30年後を想定した1°Cの海水温上昇では影響がなく, 100年後を想定した3°Cの海水温上昇で減少傾向にあると推定している。

本研究の成果および既往知見も含めホンダワラ類24種の温度特性を整理した結果から, 暖温帯に分布する種の知見が多く, それに比較すると熱帯に分布する南方系ホンダワラ類の情報が少ないことが分かった。近年の海水温上昇傾向により, 南方系ホンダワラ類の分布拡大が九州および高知県から報告されている (高柳, 2009; Tanaka *et al.*, 2012)。今後の温暖化がホンダワラ藻場へ与える影響を予測評価するために, これらの種も含めより多くの種で温度と成長に関する情報を集積することが望まれる。

謝 辞

著者は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環研究所中央研究所 道津光生博士に謹んで感謝いたします。

引用文献

- 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.
- 馬場将輔 (2011a). 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. 海生研研報, **No.14**, 1-8.
- 馬場将輔 (2011b). ホンダワラ類8種の発芽体の高温耐性. 海生研研報, **No.14**, 25-28.
- Bartsch, I., Wiencke, C. and Laepple, T. (2012). Global seaweed biogeography under a changing climate: the prospected effects of temperature. In "Seaweed Biology" (eds. Wiencke, C. and Bischof, K.), Ecological Studies 219, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 383-406.
- Breeman, A.M. (1988). Relative importance of temperature and other factors in determining geographic boundaries of seaweeds: experimental and phenological evidence. *Helgol. Meeresunters*, **42**, 199-241.
- 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.
- Hales, J.M. and Fletcher, R.L. (1989). Studies on the recently introduced brown alga *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt. IV. The effect of temperature, irradiance and salinity on germling growth. *Bot. Mar.*, **32**, 167-176.
- Hanisak, M.D. and Samuel, M.A. (1987). Growth rates in culture of several species of *Sargassum* from Florida, USA. *Hydrobiologia*, **151/152**, 399-404.
- Haraguchi, H. and Sekida, S. (2008). Recent changes in the distribution of *Sargassum* species in Kochi, Japan. *Kuroshio Science*, **2**, 41-46.
- 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.
- 平岡雅規・浦 吉徳・原口展子 (2005). 土佐湾沿岸における水温上昇と藻場の変化. 海洋と生物, **No.160**, 485-493.
- Hwang, R.-L., Tsai, C.-C., and Lee, T.-M. (2004). Assessment of temperature and nutrient limitation on seasonal dynamics among species of *Sargassum* from a coral reef in southern Taiwan. *J. Phycol.*, **40**, 463-473.
- 海洋生物環境研究所 (2012) 平成23年度火力・原子力関係環境審査調査 (温排水生物群集影響調査) 報告書. 海洋生物環境研究所, 東京, 1-191.
- 川越 力・谷 敬志・J.R.Indy・水田浩之・安井肇 (2005). 異なる水温が北海道産フシスジモクの受精卵, 幼胚, 幼体に及ぼす影響. 水産増殖, **53**, 181-187.
- 桑原久実・明田定満・小林 聡・竹下 彰・山下洋・城戸勝利 (2006). 温暖化による我が国水産生物の分布域の変化予測. 地球環境, **11**, 49-57.
- Lüning, K. (1990). Seaweeds. Their environment, biogeography, and ecophysiology. Wiley, New York, i-xiii+1-527.
- 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, 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.
- 村瀬 昇 (2010). 水温一高温の影響の現れ方. 「藻場を見守り育てる知恵と技術」(藤田大介・村瀬 昇・桑原久実 編著), 成山堂書店, 東京, 33-38.
- Norton, T.A. (1977a). The growth and development of *Sargassum muticum* (Yendo) Fensholt. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **26**, 41-53.
- Norton, T.A. (1977b). 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. 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。藻場（ガラモ場）の生態の総合的研究, 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 (1985). 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, 75-92.
- Sun, X.T., Wang, F.J. and Liu, G.Z. (2006). The optimization of indoor culture of young tress of *Sargassum thunbergii*. *Mar. Fish. Res.*, **27**, 7-12.
- 須藤俊造 (1992). 海藻・海草相とその環境条件との関連をより詰めて求める試み. *藻類*, **40**, 289-305.
- 高柳和史 (2009). 地球温暖化の漁業および海洋生物への影響. *地球環境*, **14**, 223-230.
- Tanaka, K., Taino, S., Haraguchi, H., Prendergast, G. and Hiraoka, H. (2012). Warming off southwestern Japan linked to distributional shifts of subtidal canopy-forming species. *Ecology and Evolution*, **2**, 2854-2865.
- Tatewaki, M. (1966). Formation of a crustaceous sporophyte with unilocular sporangia in *Scytosiphon lomentaria*. *Phycologia*, **6**, 62-66.
- 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.
- Xie, E.Y., Liu, D.C., Jia, C., Chen, X.L. and Yan, B. (2013). Artificial seed production and cultivation of the edible brown alga *Sargassum naozhouense* Tseng et Lu. *J. Appl. Phycol.*, **25**, 513-522.
- 八谷光介・清本節夫・吉田吾郎・吉村 拓 (2012). 九州西岸に生育するホンダワラ類13種の付着器からの再生能力. *藻類*, **60**, 41-45.
- 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). Comparison 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.
- 吉田吾郎・荒武久道・寺脇利信 (2008). 室内培養下の褐藻マメタワラの成長・成熟特性. *藻類*, **56**, 179-184.
- 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 水産総合研究センター編著), 成山堂書店, 東京, 122-137.
- 吉田忠生 (1998). 新日本海藻誌. 内田老鶴圃, 東京, 1-25+1-1222.
- Zhao, Z.G., Zhao, F.J., Yao, J.T., Lu, J.G., 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.