

同形世代交代型褐藻アミジグサの季節的消長と環境要因との関連

新井 嵩博¹・阿部 信一郎²・鈴木 秀和³・神谷 充伸^{3*}¹東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科 (〒 108-8477 東京都港区港南 4-5-7)²茨城大学教育学部 (〒 310-8512 茨城県水戸市文京 2-1-1)³東京海洋大学海洋環境科学部門 (〒 108-8477 東京都港区港南 4-5-7)

Takahiro Arai¹, Shin-ichiro Abe², Hidekazu Suzuki³ and Mitsunobu Kamiya^{3*}: Relationship between phenology and environmental factors of isomorphic brown alga *Dictyota dichotoma*. Jpn. J. Phycol. (Sôru) 70: 109–115, July 10, 2022

According to previous phenological studies, fertile sporophytes of isomorphic brown alga *Dictyota dichotoma* are dominant in many parts of Japan, but the detailed phenology of this species has never been examined in Japan. We conducted a monthly survey of thallus length and fertility throughout the year at Tateyama and Shimoda, and tried to specify environmental factors related to the phenology. In both sites, mean thallus length was highest in May, and thalli producing tetrasporangia (i.e., fertile sporophytes) were more than 50% of all collected samples from winter to spring; highest in spring at Tateyama and Shimoda, 87.7% and 100%, respectively. The percentage of fertile sporophytes was negatively affected by the mean water temperature and positively affected by the hour of sunshine during low tide. These results suggest that the sporophytes get fertile as the thalli grow until late spring, and most of the well-grown thalli are decreased by high irradiance during summer low tide. In contrast, thalli having sori of oogonia or antheridia (i.e., fertile gametophytes) were rarely found throughout the year and the reason of this unbalance between the phases was still unresolved.

Key Index Words: Brown algae, Fertile sporophyte, Fertility rate, Isomorphic alternation of generations

¹Graduate School of Marine Science and Technology, Tokyo University of Marine Science and Technology, 4-5-7 Konan, Minato-ku, Tokyo 108-8477, Japan

²College of Education, Ibaraki University, 2-1-1 Bunkyo, Mito, Ibaraki 310-8512, Japan

³Department of Ocean Sciences, Tokyo University of Marine Science and Technology, 4-5-7 Konan, Minato-ku, Tokyo 108-8477, Japan

* Author for correspondence: mkamiy0@kaiyodai.ac.jp

緒言

藻場を構成するような大型の海藻だけでなく、小型の海藻も様々な生物の生息場所や餌資源として生態的に重要である (Smith *et al.* 2014, 吉村ら 2015)。アミジグサ属海藻は、世界各地の潮間帯や潮下帯上部の岩場でよくみられる小型の褐藻で (Tronholm *et al.* 2010), その群落は様々な生物の重要な餌資源や生育場所となっている (Bogaert *et al.* 2020 による総説)。アミジグサ属海藻の生長や生殖器官の形成 (本稿ではこれを成熟と定義) についての季節変化は様々な地域で報告がある (Phillips 1988, Hwang *et al.* 2005, Tronholm *et al.* 2008, Gauna *et al.* 2013)。アミジグサ *Dictyota dichotoma* (Hudson) Lamouroux は、本属の中で最も広範囲に分布し、生物量も多いことから、生態学的な知見が蓄積している。例えば、カナリア諸島では冬から夏にかけて藻体が観察されるが、寒冷的な月に生物量が多くなり、秋にはほぼ完全に見られなくなる (Tronholm *et al.* 2008)。一方、韓国では冬を除いたすべての季節で藻体が豊富に観察されるため (Hwang *et al.* 2005), アミジグサの生物量は主に水温によって変動すると指摘されて

いる (Bogaert *et al.* 2020 による総説)。成熟については、カナリア諸島においては季節に関係なく常に成熟した孢子体と雌雄配偶体が観察されるが (Tronholm *et al.* 2008), アルゼンチンでは成熟した孢子体が夏以外で観察されている (Gauna *et al.* 2013)。韓国では夏から秋にかけて成熟孢子体が観察されている一方で、雌雄配偶体の成熟は通年観察されていない (Hwang *et al.* 2005)。以上のように、成熟個体の出現時期や世代は地域によって異なるものの、出現時期について環境要因との関連性を詳細に調べた研究はない。

アミジグサは、本邦でも北海道から南西諸島にかけて広く生育している (田中 1998)。本邦では、晩春から夏にかけて出現することや (瀬川 1956), 九州北岸で4月から10月にかけて成熟個体が得られることは報告されているが (川口 1993), 生長や成熟に関する詳細な季節変化は調査されていない。加えて、野外では成熟孢子体が多いことが本邦各地で報告されており (瀬川 1956, 西林・猪野 1959, 藪ら 1981, 川口 1993, 川井 2001), 本邦でアミジグサの成熟時期や成熟個体の世代を詳細に観察することにより、生長や成熟個体の

出現に影響を与える環境要因を特定できる可能性がある。そこで本研究では、潮間帯の主要な小型褐藻であるアミジグサの生長や成熟の季節変化、特に成熟個体の割合の変化と環境要因との関連を明らかにすることにより、本邦におけるアミジグサの生態学的知見を蓄積することを目的とした。

材料と方法

季節変化に影響を及ぼす環境因子を特定しやすくするため、ほぼ同緯度に位置する千葉県館山市東京海洋大学坂田実習場地先と静岡県下田市恵比須島東岸を調査地とした。成熟個体の調査は2020年4月から2021年8月にかけて毎月1回実施した。なお、2020年4月の館山、2020年5月の館山および下田、2021年4月の館山は欠測である。ピンセットやスクレーパーを用いて、各調査地の潮間帯から藻体を100個体以上採集した。マット状に生育していた場合は5 cm程度の間隔を空けて塊ごと採集し、塊をほぐして選別した。田中(1998)によるアミジグサの記載に従い、枝の腋が狭く、頂端が鈍円で褐色の薄い膜質の藻体をもつアミジグサ属海藻をアミジグサと同定し、縁辺部が多層で、藻体が緑褐色のフクリンアミジグサ *Rugulopteryx okamurae* (E. Y. Dawson) I. K. Hwang, W. J. Lee & H. S. Kim や、より腋が広がるカズノアミジグサ *Dictyota divaricata* J. V. Lamouroux など、同所的に生育する近縁種と区別した。採集した藻体は保冷しながら研究室に持ち帰り、実体顕微鏡(SZX12, オリンパス, 東京)で生殖器官の有無を記録し、その後、腊葉標本を作成した。スキャナーで取り込んだ腊葉標本の画像データを用いて、Image J 1.52a (National Institutes of Health, USA)で藻体長を決定した。館山では2020年9月–2021年8月、下田では2020年8月–2021年7月の期間で、各月30個体ずつ藻体長を測定した。

潮間帯に生育するアミジグサでは、干出時の降雨や日照などの影響が大きい可能性が考えられたため、水温、降雨量、日照時間、干出時間だけでなく、干出時の積算降雨量と積算日照時間も環境要因として、生長や成熟との関連性を検証した。一部の月では調査月同士の間隔が短いため、水温、降雨量、日照時間は、採集日前14日間の平均値を求めた。館山と下田の水温は、それぞれ東京海洋大学館山ステーションと筑波大学下田臨海実験センターで記録されている観測値を利用した。館山および下田の降雨量と日照時間は、気象庁のデータ(<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>)のうち、館山の観測値(館山のデータとして利用)と石廊崎の観測値をそれぞれ用いた。また、両方の調査地において、本種は潮間帯下部から潮位50 cm付近の潮間帯中部までに生育していることが多かったため、潮汐表ウェブサイト(<https://tide736.net>)を参照して潮位50 cmにおける干出時間を概算し、採集日前14日間の積算干出時間を算出した。干出時積算降雨量および干出時積算日照時間については、採集日前14日間の干出時間における降雨量と日照時間の合計をそれぞれ概算した。

統計解析

すべての統計解析は統計解析フリーソフト R version 4.1.2 (R Core Team 2021) で実行した。各月の平均藻体長の差異は、Kruskal-Wallis 検定後に NSM3 パッケージ version 1.16 (Schneider *et al.* 2021) の Steel-Dwass 法で多重比較して調べた。地点間の平均藻体長の差は正規性を考慮して同月ごとに t 検定または Wilcoxon の順位和検定で検証した。今回の調査では成熟配偶体がほとんど観察できなかったため、成熟個体と環境要因の関連性の解析には成熟胞子体のみを用いた。成熟胞子体の割合および藻体長の平均と7つの環境要因(採集地点、平均水温、平均降雨量、平均日照時間、積算干出時間、干出時積算降雨量、干出時積算日照時間)との関係は、成熟胞子体数と平均藻体長を目的変数とし、各環境要因を説明変数とした一般化線形モデル(GLM)で解析した。なお、成熟胞子体のばらつきは疑似ポアソン分布を仮定し、個体数をオフセット項として、対数リンク関数を用いた。平均藻体長のばらつきはガンマ分布を仮定し、逆数リンク関数を用いた。変数の多重共線性は performance パッケージ version 0.80 (Lüdtke *et al.* 2021) を用いて分散拡大係数(VIF: Variance Inflation Factor)を計算して評価した。さらに、成熟胞子体の割合および平均藻体長の季節変化は時系列データであることを踏まえ、lmtest パッケージ version 0.9-39 (Zeileis & Hothorn 2002) の Durbin-Watson 検定を用いて誤差項の自己相関を解析した。いずれのモデルにおいても変数の多重共線性や誤差項の自己相関は認められなかった。

結果

各月の環境データは Table 1 に、各月に採集された成熟個体の割合と藻体長は Table 2 に示した。また、館山における成熟個体の割合の季節変化を Fig. 1A に、下田における成熟個体の割合の季節変化を Fig. 1B に示した。両地点でともに冬から春にかけて成熟胞子体が優占したが、夏から秋にかけてはほとんどの個体が未成熟であった。館山では、2020年7月と2021年2–5月に成熟胞子体が優占し、割合は採集した個体の半数を超えた。そのうち、2021年5月が87.7%と最も成熟胞子体の割合が高かった。未成熟個体は2020年8月–2021年1月と2021年6–8月に多く認められ、その割合は採集した個体の78%以上であった。下田で成熟胞子体の割合が採集した個体の半数を超えた期間は、2020年4月、7月および2021年1–5月であった。下田で最も成熟胞子体の割合が高かったのは2021年4月で100%であった。未成熟個体の割合が半数を超えたのは2020年6月、8–12月、2021年6–8月であった。成熟胞子体の割合を比較すると、下田の方が多い傾向があり、その差の最大は2021年1月で、60.1%であった。成熟した雌性配偶体と雄性配偶体の通年の割合は、館山で0–2.7%および0–0.9%、下田で0–4.4%および0–2.7%でほとんど採集されなかった。成熟胞子体の割合や藻体長をそれぞれの環境要因(平均水温、平均降雨量、平均日照時間、積算干出時間、干出時積算降雨量、干出時積算日照時間)と比較したところ、

Table 1. Environment data in each month. ND; no data, T; Tateyama, S; Shimoda.

表 1. 各月の環境データ. ND; データなし, T; 館山, S; 下田.

Year	Month	Mean water temperature (°C) ¹		Mean precipitation (mm) ¹		Mean hour of sunshine (h) ¹		Integration of low tide time (min.) ²		Integration of precipitation during low tide (mm) ²		Integration of sunshine hours during low tide (h) ²	
		T	S	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S
2020	Apr.	ND	16.7	ND	10.5	ND	6.4	ND	2480	ND	10.0	ND	12.2
	May	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Jun.	20.6	21.5	0.2	8.2	6.7	3.7	2640	2660	0	15.0	36.2	20.0
	Jul.	21.9	22.2	14.9	34.0	2.6	2.0	2740	2620	23.5	151.0	11.5	6.3
	Aug.	23.2	25.8	3.5	0	4.6	11.0	2720	2360	0	0	22.3	46.8
	Sep.	24.8	27.0	3.5	8.6	7.9	6.8	2351	2416	27.5	17.0	28.8	24.1
	Oct.	24.9	23.4	4.0	10.9	3.5	5.3	2580	2389	5.5	24.5	15.6	9.7
	Nov.	22.0	20.8	1.3	0.9	5.2	6.5	2480	2540	3.0	0	3.1	0
Dec.	20.9	16.7	0.7	0	5.0	7.6	2800	3000	0	0	0	0	
2021	Jan.	17.4	15.3	1.2	4.5	5.2	5.3	2980	2900	0	8.0	0	0
	Feb.	16.8	14.4	4.0	4.4	6.9	7.2	2940	2480	0.5	0.5	0	0
	Mar.	16.4	17.0	2.8	6.3	4.3	7.5	2280	2580	5.5	30.5	0	21.6
	Apr.	ND	16.9	ND	5.2	ND	7.9	ND	2620	ND	4.0	ND	17.5
	May	18.1	18.5	3.0	8.4	6.0	3.8	2160	2580	11.0	16.5	24.9	23.9
	Jun.	19.7	22.1	1.4	12.9	7.8	4.3	2620	2760	0	17.5	39.5	21.0
	Jul.	23.3	23.5	27.0	0.7	2.0	9.5	2680	2660	0	0	10.2	41.2
	Aug.	26.1	ND	8.4	ND	7.7	ND	2360	ND	37.5	ND	29.3	ND

¹Mean value of 14 days before the sampling date. ²Integration value of 14 days before the sampling date.¹ 採集日前 14 日間の平均値. ² 採集日前 14 日間の積算値.

Table 2. Biological data in each month. ND; no data, T; Tateyama, S; Shimoda.

表 2. 各月の生物データ. ND; データなし, T; 館山, S; 下田.

Year	Month	Fertile sporophyte (%) ¹		Fertile female gametophyte (%) ¹		Fertile male gametophyte (%) ¹		Sterile thallus (%) ¹		Mean thallus length (mm) ²	
		T	S	T	S	T	S	T	S	T	S
2020	Apr.	ND	61.8	ND	1.6	ND	0.5	ND	36.0	ND	ND
	May	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Jun.	35.2	24.0	0	1.0	0	2.0	64.8	73.0	ND	ND
	Jul.	50.5	69.9	0	4.4	0.5	2.7	49.0	23.0	ND	ND
	Aug.	0	2.0	0	1.0	0	0	100	97.0	ND	16.7
	Sep.	0.5	0.8	0	0	0	0	99.5	99.2	22.5	18.4
	Oct.	0.7	1.0	0	0	0	0	99.3	99.0	15.5	16.9
	Nov.	3.1	18.8	0	0	0	0	96.9	81.2	15.8	23.0
Dec.	4.0	47.6	0	0	0	0	96.0	52.4	22.0	27.0	
2021	Jan.	22.0	82.1	0	0	0	0	78.0	17.9	29.4	33.8
	Feb.	56.8	76.2	2.7	0	0	0	40.5	23.8	34.3	38.6
	Mar.	72.6	86.7	0.9	0	0.9	0	25.6	13.3	49.1	55.1
	Apr.	ND	100	ND	0	ND	0	ND	0	ND	71.0
	May	87.7	99.1	2.3	0	0.8	0.9	9.2	0	75.6	76.3
	Jun.	8.1	0.9	0	0	0	0	91.9	99.1	23.0	25.5
	Jul.	6.9	56.8	0	0	0	0	93.1	43.2	19.5	38.9
	Aug.	5.9	ND	0	ND	0	ND	94.1	ND	25.0	ND

¹The ratio of fertile thalli to all thalli examined in each month. ²The mean length of all thalli examined in each month.¹ 各月に採集した全個体に対する成熟個体の割合. ² 各月に採集した全個体の平均藻体長.

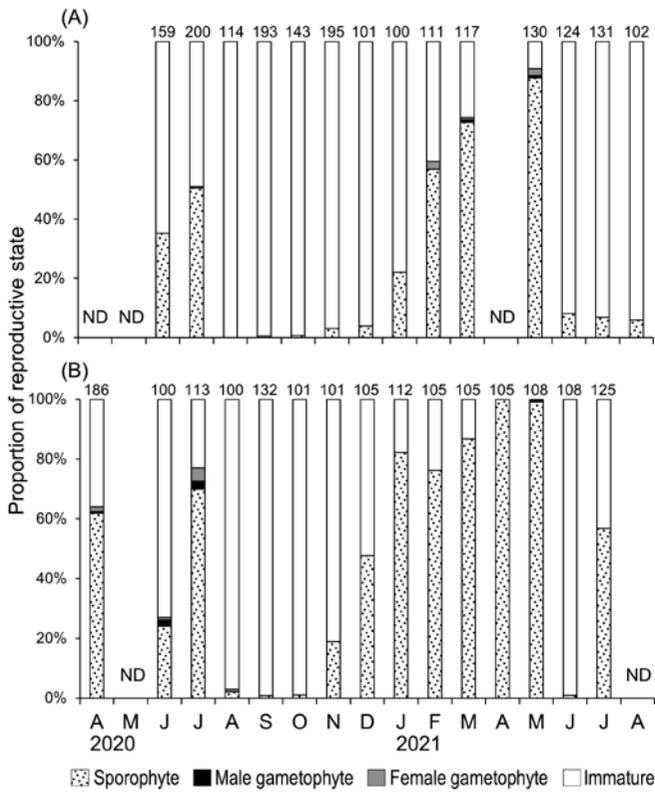


Fig. 1. Proportion of reproductive state of *Dictyota dichotoma* from April 2020 to August 2021 in Tateyama (A) and Shimoda (B). The number of thalli collected in each month is shown above each bar. ND is no data.

図1. 2020年4月から2021年8月までの館山(A)と下田(B)におけるアマジグサの成熟・未成熟個体の割合。棒グラフ上の数値は各月に採集した藻体数、NDは未調査の月を示す。

いずれの環境要因についても顕著な関係性は見られなかった (Fig. 2)。成熟孢子体の割合と環境要因の GLM 解析では、平均水温が有意な負の影響 ($p < 0.001$, Table 3), 干出時積算日照時間が有意な正の影響を示した ($p < 0.05$, Table 3)。

採集個体の平均藻体長の季節変化は Fig. 3 に示した。いずれの地点も測定を開始した 2020 年 8 月以降, 2021 年 5 月まで藻体長が伸長し続ける傾向がみられたが, 翌 6 月には生長した藻体の多くが消失し, 匍匐して重なり合った藻体が残存していた。採集個体の平均藻体長と環境要因との GLM では, 平均水温が有意な正の影響 ($p < 0.001$, Table 3), 干出時積算日照時間が有意な負の影響を示していた ($p < 0.01$, Table 3)。地点間で藻体長を比較した場合, 2020 年 12 月, 2021 年 1 月, 3 月, 6 月, 7 月は有意に下田の方が大きく ($p < 0.05$, *t*-test, Wilcoxon rank sum test), 特に 2021 年 7 月は平均で 19.4 mm と顕著な差がみられた。

考察

本研究により, 本邦の太平洋沿岸の中部においては, 冬から春に成熟した孢子体が優占することが明らかとなった。藻体長と成熟孢子体の割合に有意な強い正の相関が見られたことから ($\rho = 0.89, p < 0.001$, Spearman's rank correlation test), 生長に伴って孢子体の成熟が進むことが示唆された。配偶体については, 成熟した個体数が少なく, 藻体長と成熟の関連を見出すことができなかった。平均藻体長と成熟孢子体数はいずれの調査地点においても 10 月から増加し 5 月にピークがみられたが, それらの値は共に 6 月に急激に低下した。藻体長と環境要因の GLM の解析結果では, 水温は正の影響を, 干出時積算日照時間は負の影響を示したことから, 水温が高

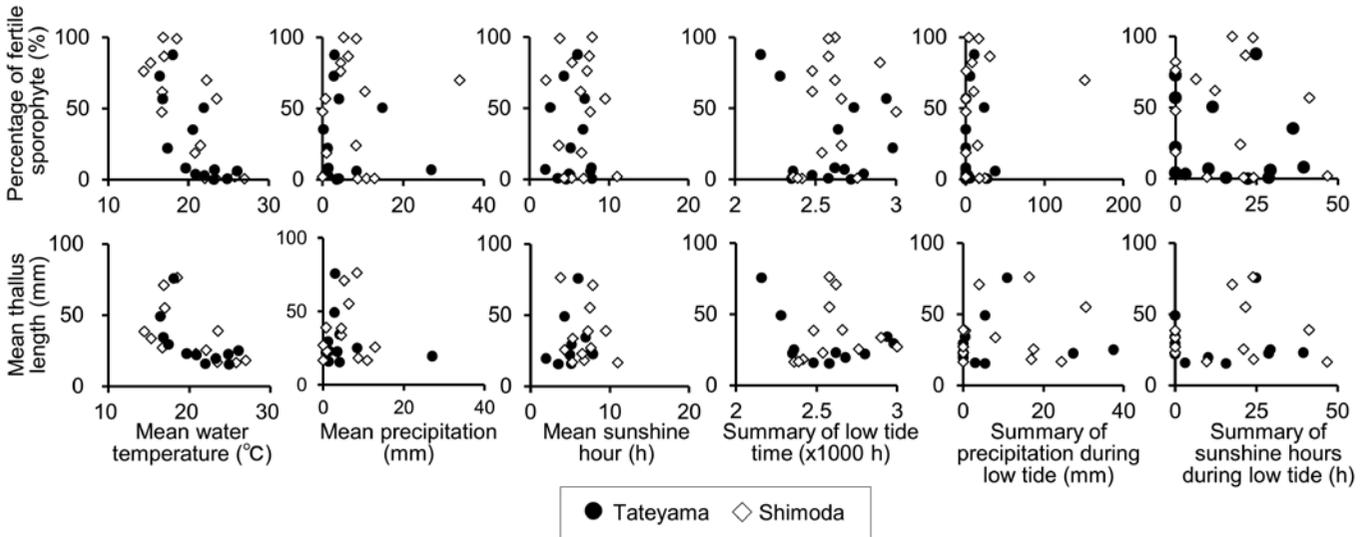


Fig. 2. Scatter plot showing relationship between the biological factors (percentage of fertile sporophyte or mean thallus length) and the environmental factors (mean water temperature, mean precipitation, mean sunshine hour, integration of low tide time, integration of precipitation during low tide, or integration of sunshine hours during low tide).

図2. 生物因子(成熟孢子体の割合, 平均藻体長)と環境因子(平均水温, 平均降雨量, 平均日照時間, 積算干出時間, 干出時積算降雨量, 干出時積算日照時間)の関係を示す散布図。

Table 3. The result of Generalized linear model.

表 3. 一般化線形モデルの解析結果.

Model	Mean water temperature	Mean precipitation	Mean hour of sunshine	Integration of low tide time	Integration of precipitation during low tide	Integration of sunshine hours during low tide	Site
Fertile sporophyte rate	-3.41e-01 ***	6.08e-03	-1.11e-01	7.09e-05	9.56e-03	3.38e-02 *	-9.67e-02
Thallus length	4.35e-03 ***	6.77e-05	1.87e-03	1.26e-05	-9.36e-05	-6.42e-04 **	3.30e-03

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

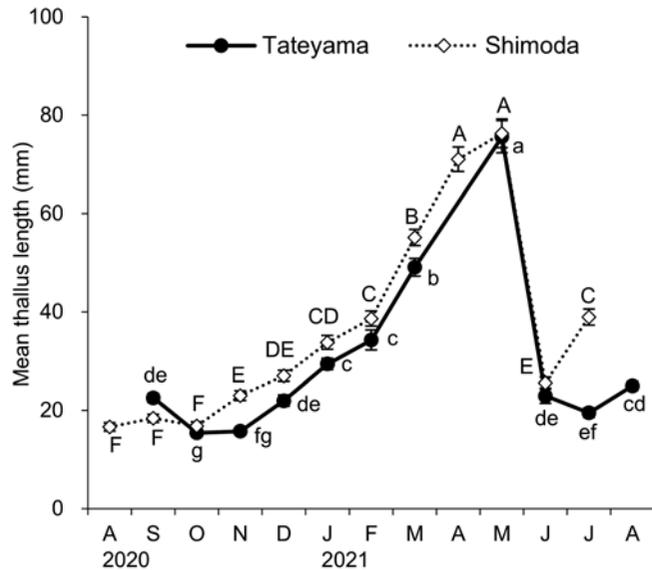


Fig. 3. Mean thallus length ($n = 30$) of *Dictyota dichotoma* in each sampling month at Tateyama and at Shimoda. Error-bar indicates standard error. Different small and capital letters show significant differences of mean thallus length ($p < 0.05$) among months based on Steel-Dwass test at Tateyama and Shimoda, respectively.

図 3. 館山と下田で各月に採集したアマミグサ ($n = 30$) の平均藻体長。エラーバーは標準誤差を表し、異なる小文字と大文字は、それぞれ館山と下田において月間で平均藻体長に有意差 ($p < 0.05$; スティール・ドゥワース検定) があることを示す。

ければ藻体長が増加するが、日中の干出時間が長くなると藻体長が減少することが示唆された。太平洋沿岸では、春季から夏季は昼間に潮が引くため、日射量や紫外線量の増加とともに潮間帯に生育する海藻へのダメージは大きくなる(矢部ら 1997)。アマミグサでも紫外線が生長を低下させることが報告されているため(Kuhlenkamp *et al.* 2001)、生長したアマミグサの多くが6月に消失したのは、水温の上昇よりも干出時の日照時間の増加が主な要因と考えられる。一方、成熟胞子体数のGLM解析では、藻体長の解析結果とは逆に、水温が負の影響を、干出時積算日照時間が正の影響を示した。成熟胞子体数と藻体長のピークは同時期であったが、成熟胞子体数は12月頃から急増するのに対し、藻体長は3月以降に急増するため、このような増加時期の違いがGLM解析の結果に影響したと考えられる。

藻体長の平均値が最も小さい秋季と大きい春季で比較すると、館山は 1.6 ± 0.34 cm および 7.6 ± 1.8 cm、下田は 1.7 ± 0.46 cm および 7.6 ± 1.6 cm で、両地点でともに最大と最小の差は6 cmであった。この変動幅は、カナリア諸島の5.5 cm (冬季に最小: 6.1 ± 1.0 cm, 夏季に最大: 11.6 ± 3.2 cm; Tronholm *et al.* 2008) やアルゼンチンの6.1 cm (冬季に最小: 4.6 ± 1.5 cm, 夏季に最大: 10.7 ± 2.7 cm; Gauna *et al.* 2013) と同程度である。一方、韓国では藻体長に9 cm以上の差がある(冬季に最小で約1 cm, 夏季に最大で約10 cm; Hwang *et al.* 2005)。上記の季節間の水温差を比較すると、館山と下田ではそれぞれ7°Cと6°C、カナリア諸島では約5°C (Barton *et al.* 1998)、アルゼンチンでは約5°C (Gauna *et al.* 2013)であるのに対し、韓国では約18°C (Hwang *et al.* 2005) と季節間の水温差が顕著に大きいことから、季節による水温の変化が大きいほど藻体長の差も大きくなる可能性がある。

これまでの報告(瀬川 1956, 西林・猪野 1959, 藪ら 1981, 川口 1993, 川井 2001)と同様、本研究においても野外では成熟した胞子体が多く、成熟した配偶体は通年ほとんど発見できなかった。アマミグサを室内で培養した場合、放出された四分胞子は3週間から1ヶ月で成熟した配偶体になり、1ヶ月半から2ヶ月で生活環が完結することがわかっている(藪ら 1981, Hwang *et al.* 2005)。そのため、野外でも正常に世代交代が行われていれば、成熟胞子体が優占した春季以降に配偶体が増加するはずである。しかし、夏から秋に採集した藻体はほとんどが未成熟であったため、世代を決定することができなかった。成熟した配偶体がほとんど観察されなかった要因として、配偶体の成熟時期や分布が限定されている可能性が考えられる。Williams (1905) は、イギリスのアミジグサの配偶子形成のタイミングと潮汐の変化との関連を指摘しており、配偶子形成は大潮と同調的に2週間ごとに生じると報告している。南オーストラリアのアミジグサやアマミジグサ属の一種 *Dictyota diemensis* Kützing では、満月の11, 12日後に配偶子を放出し始めるため、配偶子嚢を形成している期間はごく短い(Phillips 1988)。本研究では、大潮に合わせて約1ヶ月ごとに採集を実施したが、その間隔が配偶子嚢形成のタイミングと合わなかったために、わずかな成熟配偶体しか観察できなかった可能性がある。また、サンタクルスウミウチワ *Padina sanctae-crucis* Borgesen の場合、タイドプールに胞子体が、タイドプールから離れた海岸に配偶体が生育しており、世代によって生育環境が異なることが指摘されて

いる (Liddle 1971)。今後は、アミジグサでも世代間で成熟時期や生育環境が異なっている可能性を考慮し、採集間隔や採集地点の範囲の拡大を検討した季節変化の調査が肝要である。

エゾヤハズ *Dictyopteris divaricata* (Okamura) Okamura (藪ら 1993), オキナウチワ *Padina japonica* Yamada (Allender 1977), ウミウチワ *Padina arborescens* Holmes (川井 2001), シマオオギ *Zonaria diesingiana* J. Agardh (Indyら 2006) においても、成熟胞子体が優占することが報告されており、成熟配偶体はほとんど観察されていない。このような世代の偏りはアミジグサ目海藻に共通した現象と考えられ、一般的に知られる生活環とは異なる繁殖様式で個体群が維持されている可能性が指摘されている (Phillips 1988)。朝鮮半島東岸のアミジグサ (Hwang *et al.* 2005) やフランスのウミウチワ属の一種 *Padina pavonica* (Linnaeus) Thivy (Gaillard 1972) では、胞子体から放出された胞子が再び胞子体に生長する無性生殖の存在が示唆されている。また、仮根や藻体の断片からの再生が複数のアミジグサ属藻類で観察されており (Herren *et al.* 2006, Tanaka *et al.* 2017), このような無性生殖や栄養生殖が胞子体の優占に関与している可能性がある。

アミジグサ目海藻では野外で成熟胞子体が多い傾向が見られるが、アルゼンチンでは、アミジグサの成熟配偶体が通年優占している (Gauna *et al.* 2013)。この要因は特定されていないが、胞子体と配偶体が受ける選択圧が地域によって異なっていることが考えられるため、環境が大きく異なる地点間で世代の割合を調査する必要がある。スギノリ科紅藻では、世代によって異なるタイプのカラギーナンを含有しており、比色試験によって世代を識別可能であるため (Craigie & Leigh 1978), 世代間で生態的特性を比較する研究が数多く報告されている (例えば Scrosati & Mudge 2004, Bellgrove & Aoki 2008, Garbary *et al.* 2011, Kamiya *et al.* 2021)。しかしながら、同形世代交代型の緑藻や褐藻では、研究例が極めて少ない。アオサ類では、野外から採集した藻体を培養して成熟させ、放出された配偶子の形態をもとに世代比や性比を判別しているため (Hiraoka & Yoshida 2010), 著者らもアミジグサの未成熟個体を培養して成熟誘導を試みている。また、大型藻類でもゲノム情報が蓄積しつつあり (西辻 2019), 世代や性を判別できる分子マーカーの開発も進んでいる (例えば Guillemain *et al.* 2012, Horinouchi & Togashi 2021, Shim *et al.* 2021)。将来的には、より簡便で正確な世代判別法を開発し、異なる生育環境や季節で世代比を比較調査することにより、本種の繁殖様式や生存戦略を解明したい。

謝辞

調査の際にご協力頂いた東京海洋大学館山ステーションの教職員の皆様、観測データを提供して頂いた筑波大学下田臨海実験センターの教職員の皆様に感謝申し上げます。本研究は、日本科学協会の笹川科学研究助成 (2021-4011; 新井) と JSPS 科研費 (19K06806; 神谷) の助成を受けて実施しました。

引用文献

- Allender, B. M. 1977. Ecological experimentation with the generations of *Padina japonica* Yamada (Dictyotales: Phaeophyta). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 26: 225–234.
- Barton, E. D., Aristegui, J., Tett, P. *et al.* 1998. The transition zone of the Canary Current upwelling region. *Prog. Oceanogr.* 41: 455–504.
- Bellgrove, A. & Aoki, M. N. 2008. Variation in gametophyte dominance in populations of *Chondrus verrucosus* (Gigartinales, Rhodophyta). *Phycol. Res.* 56: 246–254.
- Bogaert, K. A., Delva, S. & De Clerck, O. 2020. Concise review of the genus *Dictyota* J.V. Lamouroux. *J. Appl. Phycol.* 32: 1521–1543.
- Craigie, J. S. & Leigh, C. 1978. Carrageenans and agars. In: Hellebust, J. A. & Craigie, J. S. (eds.) *Handbook of Phycological Methods: Phycological and Biochemical Methods*. pp. 109–131. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gaillard, J. 1972. Quelques remarques sur le cycle reproducteur des Dictyotales et sur ses variations. *Bull. Soc. Bot. Fr. Mém.* 119: 145–150.
- Garbary, D. J., Tompkins, E., White, K., Corey, P. & Kim, J. K. 2011. Temporal and spatial variation in the distribution of life history phases of *Chondrus crispus* (Gigartinales, Rhodophyta). *Algae* 26: 61–71.
- Gauna, M. C., Cáceres, E. J. & Parodi, E. R. 2013. Temporal variations of vegetative features, sex ratios and reproductive phenology in a *Dictyota dichotoma* (Dictyotales, Phaeophyceae) population of Argentina. *Helgoland Mar. Res.* 67: 721–732.
- Guillemain, M. L., Huanel, O. R. & Martínez, E. A. 2012. Characterization of genetic markers linked to sex determination in the haploid-diploid red alga *Gracilaria chilensis*. *J. Phycol.* 48: 365–372.
- Herren, L. W., Walters, L. J. & Beach, K. S. 2006. Fragment generation, survival, and attachment of *Dictyota* spp. at Conch Reef in the Florida Keys, USA. *Coral Reefs* 25: 287–295.
- Hiraoka, M. & Yoshida, G. 2010. Temporal variation in isomorphic phase and sex ratios of a natural population of *Ulva pertusa* (Chlorophyta). *J. Phycol.* 46: 882–888.
- Horinouchi, Y. & Togashi, T. 2021. Identification of genomic differences between the sexes and sex-specific molecular markers in *Monostroma angicava* (Ulvophyceae). *J. Phycol.* 57: 447–453.
- Hwang, I. K., Kim, H. S. & Lee, W. J. 2005. Polymorphism in the brown alga *Dictyota dichotoma* (Dictyotales, Phaeophyceae) from Korea. *Mar. Biol.* 147: 999–1015.
- Indy, J. R.・香村眞徳・川越力・土屋誠・安井肇 2006. 沖縄産褐藻シマオオギ *Zonaria diesingiana* の季節的消長. *水産増殖* 54: 101–105.
- Kamiya, M., Inoue, N., Suzuki, C. & Abe, S. 2021. Ecological, physiological, and biomechanical differences between gametophytes and sporophytes of *Chondrus ocellatus* (Gigartinales, Rhodophyta). *J. Phycol.* 57: 1590–1603.
- 川口栄男 1993. *Dictyota dichotoma* (Hudson) Lamouroux (アミジグサ). In: 堀輝三 (編). *藻類の生活史集成*. 第2巻 褐藻・紅藻類. pp. 96–97. 内田老鶴圃. 東京.
- 川井浩史 2001. 神戸の海藻. 新・神戸の自然シリーズ4. 神戸市体育協会. 兵庫.
- Kuhlenkamp, R., Franklin, L. A. & Lüning, K. 2001. Effect of solar ultraviolet radiation on growth in the marine macroalga *Dictyota dichotoma* (Phaeophyceae) at Helgoland and its ecological consequences. *Helgoland Mar. Res.* 55: 77–86.
- Lüdecke, D., Ben-Shachar, M. S., Patil, I., Waggoner, P. & Makowski, D. 2021. performance: An R package for assessment, comparison and testing of statistical models. *J. Open Source Softw.* 6(60): 3139. <https://doi.org/10.21105/joss.03139>

- Liddle, L. B. 1971. Development of gametophyte and sporophyte populations of *Padina sanctae-crucis* Borg. in the field and laboratory. International Symposium on Seaweed Research, 7th, Sapporo: 80–82.
- 西林長朗・猪野俊平 1959. アミジグサ科植物の生活史について I. アミジグサ, エゾヤハズ, オキナウチワの四分孢子発生. 植物学雑誌 72: 261–268.
- 西辻光希 2019. 未開拓な大型海藻ゲノムの現状とこれから. 藻類 67: 81–87.
- R Core Team 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Phillips, J. A. 1988. Reproduction in southern Australian species of the Dictyotales (Phaeophyta). Bot. Mar. 31: 437–445.
- Schneider, G., Chicken, E. & Becvarik, R. 2021. NSM3: Functions and Datasets to Accompany Hollander, Wolfe, and Chicken - Nonparametric Statistical Methods, Third Edition. R package version 1.16. <https://CRAN.R-project.org/package=NSM3>
- Scrosati, R. & Mudge, B. 2004. Effects of elevation, wave exposure, and year on the proportion of gametophytes and tetrasporophytes in *Mazzaella parksii* (Rhodophyta, Gigartinales) populations. Hydrobiologia 520: 199–205.
- 瀬川宗吉 1956. 原色日本海藻図鑑. 保育社. 大阪.
- Shim, E., Zuccarello, G. C. & Kim, G. H. 2021. Sex-specific genes and their expression in the life history of the red alga *Bostrychia moritziana* (Ceramiales, Rhodomelaceae). J. Phycol. 57: 528–540.
- Smith, J. R., Vogt, S. C., Creedon, F., Lucas, B. J. & Eernisse, D. J. 2014. The non-native turf-forming alga *Caulacanthus ustulatus* displaces space-occupants but increases diversity. Biol. Invasions 16: 2195–2208.
- Tanaka, A., Hoshino, Y., Nagasato, C. & Motomura, T. 2017. Branch regeneration induced by severe damage in the brown alga *Dictyota dichotoma* (Dictyotales, Phaeophyceae). Protoplasma 254: 1341–1351.
- 田中次郎 1998. あみじぐさ目. In: 吉田忠生 (著). 新日本海藻誌. pp. 205–234. 内田老鶴圃. 東京.
- Tronholm, A., Sansón, M., Afonso-Carrillo, J. & De Clerck, O. 2008. Distinctive morphological features, life-cycle phases and seasonal variations in subtropical populations of *Dictyota dichotoma* (Dictyotales, Phaeophyceae). Bot. Mar. 51: 132–144.
- Tronholm, A., Sansón, M., Afonso-Carrillo, J., Verbruggen, H. & De Clerck, O. 2010. Niche partitioning and the coexistence of two cryptic *Dictyota* (Dictyotales, Phaeophyceae) species from the Canary Islands. J. Phycol. 46: 1075–1087.
- Williams, L. J. 1905. Studies in the Dictyotaceae. III. The periodicity of the sexual cells in *Dictyota dichotoma*. Ann. Bot. 19: 531–560.
- 矢部和夫・牧野愛・鈴木稔 1997. 海洋生物におよぼす紫外線の影響 2. 紫外線が潮間帯産海藻の光合成および紫外線吸収物質放出に与える影響. 藻類 45: 157–162.
- 藪熙・能登谷正浩・杉本清 1981. アミジグサとコモングサの培養と細胞学的研究. 藻類 29: 129–134.
- 藪熙・四ツ倉典滋・佐々木剛 1993. 褐藻エゾヤハズ四分孢子の培養による雌雄配偶体の形成. 藻類 41: 137–141.
- 吉村拓・八谷光介・清本節夫 2015. 小型海藻藻場の重要性と磯焼け域におけるその回復の試み. 水産工学 51: 239–245.
- Zeileis, A. & Hothorn, T. 2002. Diagnostic checking in regression relationships. R News 2(3): 7–10. <https://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>

(2022年2月28日受付, 2022年5月30日受理)

通信担当編集委員: 倉島 彰

会 告

和文誌「藻類」の学会ホームページでの即時公開 および「藻類」の著作権ポリシー（公開許諾の方針）について

これまで、「藻類」の公開については、報文・記事の著者最終版の転載が発行1年後に可能となり、2年後に「藻類」のPDFファイルが学会ホームページで公開となっていました。今年より、学会ホームページで「藻類」が即時公開されています。ただし、大会発表要旨については、これまでどおり2年後に公開となります。

「藻類」の著作権ポリシー（公開許諾の方針）も改定されていますので、学会ホームページよりご確認ください（刊行物一和文誌「藻類」を参照ください）。「藻類」に掲載された報文・記事の著者は、著者個人のウェブサイトや機関リポジトリに、その報文・記事の掲載版を発行後すぐに転載することができるようになっています。掲載の際に、学会ホームページで公開されたPDFファイルを使用していただくこともできます。これらの転載については、学会が認めると著作権ポリシーに示していますので、学会事務局へ問い合わせる必要はありません。ただし、出版物への転載、商業利用に関わるものについては、これまでどおり、学会事務局へ問い合わせる必要があります。

日本藻類学会事務局