鹿児島湾桜島におけるホンダワラ属(ヒバマタ目)藻類4種,マメタワラ,ヤツマタモク,コブクロモク,キレバモクの季節的消長と生育環境

土屋勇太郎 1·坂口欣也 2·寺田竜太 1*

1 鹿児島大学水産学部水産学科(〒 890-0056 鹿児島県鹿児島市下荒田 4 丁目 50-20) 2 財団法人鹿児島県栽培漁業協会(〒 891-2116 鹿児島県垂水市柊原 3551 番)

Yutaro Tsuchiya¹, Yoshinari Sakaguchi² and Ryuta Terada^{1*}: Phenology and environmental characteristics of four *Sargassum* species (Fucales): *S. piluliferum*, *S. patens*, *S. crispifolium*, and *S. alternato-pinnatum* from Sakurajima, Kagoshima Bay, southern Japan. Jpn. J. Phycol. (Sôrui) 59: 1–8, March 10, 2011

The seasonal patterns in size and maturation of four Sargassum species (Fucales): S. piluliferum, S. patens, S. crispifolium and S. alternato-pinnatum, were examined from May 2009 to April 2010 at Sakurajima, Kagoshima Prefecture, Japan, located on the coast of Kagoshima Bay. A line-transect survey was conducted to elucidate their community structure. Dry weights of two species, S. piluliferum and S. patens, showed a peak in May accompanying maturation, whereas, two subtropical species, S. crispifolium and S. alternato-pinnatum, were peaked in July. After the latter two species matured, they disappeared completely from the substrata by September. Branches and branchlets of former two species also disappeared by September, but stems and holdfasts survived as well as short young shoots, which are available for next year's growth. The earliest regeneration of branches and the occurrence of new germlings were confirmed in February. Seawater temperature ranged from 15.6 °C in February to 29.4 °C in August, however, long term monitoring data from 1972 through 2010 indicates that average winter temperature (February) has increased by approximately 1 °C in the last 38 years.

Key Index Words: community structure, maturation, Sargassum, seasonal change, seaweed

- Department of Fisheries, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, Shimoarata 4-50-20, Kagoshima City, Kagoshima Prefecture, 890-0056, Japan
- ² Kagoshima Prefecture Mariculture Association, Kunugibaru 3551, Tarumizu City, Kagoshima Prefecture, 891-2116, Japan
- *Author for correspondence: terada@fish.kagoshima-u.ac.jp

緒言

ホンダワラ属藻類(褐藻綱ヒバマタ目)は北海道から南西諸島に至る全国各地に分布し、潮間帯下部から水深 10 m 前後にかけての岩礁域にガラモ場と呼ばれる群落を形成する(吉田 2004)。ガラモ場は沿岸域における基礎生産の場として機能し、海洋生物の生息や摂餌、産卵の場として重要な役割を担っており、種多様性の維持や水産資源の持続的利用等の観点からも重要視されている(大野 1985、新井 2002)。

九州南部の海藻植生は、温帯性種を中心とした海藻群落と 亜熱帯性種を中心とした海藻群落の推移帯(Ecotone)に位 置しており、温帯域に主な分布域を持つ温帯性海藻と亜熱帯 域に主な分布域を持つ亜熱帯性海藻が混生する海域として知 られている(寺田ら 2004)。本海域では、薩摩半島北西部等 に見られるアントクメ Eckloniopsis radicosa Okamura や鹿 児島湾を自然分布の南限とするワカメ Undaria pinnatifida (Harvey) Suringar を除き、ガラモ場が景観的に卓越する唯 一の海藻藻場となっている(寺田ら 2004)。特に、薩摩、大 隅両半島南部の外海に面した場所にはフタエモク Sargassum duplicatum Bory 等の亜熱帯性種が多く見られるのに対し、 鹿児島湾奥部にはマメタワラ Sargassum piluliferum (Tuner) C. Agardh 等の温帯性種が優占しており、鹿児島湾中南部 では両者の混生群落が見られる(田中・糸野 1969, 新村 1990, 島袋ら 2007a, b)。

1980年代以降,日本各地で藻場の減少が報告されており,藻場生態系の現状把握や保全,再生に関する事業が様々な枠組みで試みられている(大野 2003,水産庁 2009,環境省自然環境局生物多様性センター 2008)。 鹿児島湾中央部に位置する桜島の藻場については,野呂・南波(1989)が温帯性種のガラモ場を報告しているが,現在では当時の報告になかったキレバモク Sargassum alternato-pinnatum Yamada やマジリモク Sargassum carpophyllum J. Agardh が確認されるなど(土屋ら 2010),藻場構成種の変化が示唆されている。

藻場構成種の変化や分布変動に関しては、海水温の変化と関連することがいくつかの報告で示唆されている(平岡ら2005、島袋ら2007a,b)。特に、温帯・亜熱帯性海藻の推移帯である九州南部は、本海域を分布の北限または南限とする種類が多く、海水温の変化の影響を強く受けることが考えられる。このため、九州南部では藻場の群落構造や生育環境を的確に把握するとともに、今後の変化を予測するための各種の生長や至適水温の特性等の知見の集積が求められている。

本研究では,温帯性海藻のガラモ場に亜熱帯性種が混生する桜島のガラモ場を調査地とし,マメタワラ,ヤツマタモ

土屋ら

ク Sargassum patens C. Agardh, コブクロモク Sargassum crispifolium Yamada, キレバモクの群落構造と季節性, 生育環境を明らかにすることを目的とした。また, 調査地近傍の財団法人鹿児島県栽培漁業協会 (垂水市)が取水する海水温データ (1972 年から 2010 年)を解析し, 最高・最低水温等の年変化と藻場を取りまく今後の変化の可能性について考察をおこなった。

材料および方法

2

群落構造と季節変化、生育環境

季節的消長の調査については、鹿児島県鹿児島市桜島町袴 腰(大正溶岩)の岩礁域(31°35'N, 130°35'E)において、 2009年5月から2010年4月まで計8回実施した(Fig. 1)。 調査は SCUBA または素潜りで実施し、毎回それぞれの種に ついて大型個体を10個体採取した。採取した材料は鹿児島 大学水産学部に持ち帰り, 気胞や生殖器床の有無等を観察後, 藻長、乾重量を測定した。藻長は付着器の最下部から最長の 主枝の先端までとし、乾重量は藻体を乾燥器 (TSE Drying Oven, 三洋電機株式会社) で 60 °C, 48 時間以上乾燥させ てから電子天秤 (1212MP, Sartorius AG) で測定した。なお, 本研究での成熟は、藻体の葉腋上に生殖器床が形成された時 期とした。また、2009年5月から2009年7月に採集した マメタワラ (n=28) とヤツマタモク (n=30) について、測 定した個体の付着器から厚さ 1 mm 程度の切片を作成し、年 輪様組織(縦断面における暗帯の本数)を実体顕微鏡(SMZ) 1500、株式会社ニコン)で観察した。

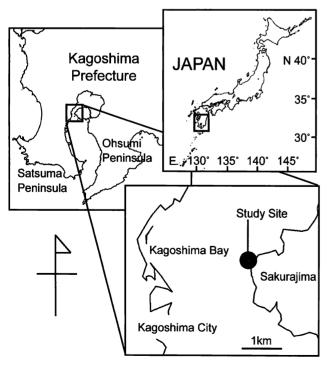


Fig. 1. Map of Japan and Kagoshima showing the study site in this study.

海藻群落の垂直分布構造の調査は、ライントランセクト法を用いて 2010 年 5 月 17 日に実施した。調査地の潮間帯最上部に 3 ヶ所の基点(測線 1:31°35.440′ N, 130°35.543′ E; 測線 2:31°35.445′ N, 130°35.551′ E; 測線 3:31°35.451′ N, 130°35.556′ E) を設置し、沖合(北西 320 度)に 50 mの調査測線を 3 本平行に設置した。各測線では、約 5 m の間隔で 50 cm 四方の方形枠を設置し、海藻類の被度と底質、水深を目視により記録した。

水質は、ハンディメーター(Model 85 または 556 MPS、YSI Incorporated)を用いて溶存酸素量(DO)と塩分 (psu)、水温を調査時に生育水深で毎回測定した。なお、データーロガー(HOBO Pendant Data Logger UA-002、Onset Computer Corporation)も併せて用い、2009 年 6 月 13 日から 2010 年 6 月 15 日の水温を毎日記録した。また、調査時には生育水深の海水を採水し、研究室において吸光光度計 (DR 2700、HACH Company)を用いて栄養塩(溶存無機窒素(DIN)、リン酸態リン(PO_4 -P))を測定した。なお、溶存無機窒素(DIN)は硝酸態窒素(NO_3 -N)、亜硝酸態窒素(NO_2 -N)、アンモニア態窒素(NH_4 -N)の合計値とし、硝酸態窒素の測定はカドミウム還元法、亜硝酸態窒素はジアゾ化法、アンモニア態窒素はサリチル酸法、リン酸態リンはアスコルビン酸法を用いた。

海水温の経年変化

1972 年から 2010 年までの鹿児島湾中央部の水温に関しては、調査地から約 15 km 南東に位置する財団法人鹿児島県栽培漁業協会が沖合 400 m、水深 8 m 付近で取水する海水の水温測定データを解析した。解析には、夏季 (8 月) 平均と冬季 (2 月) 平均,年平均水温の回帰直線を求め、伊藤・見延 (2010) に従い、それぞれの回帰係数の検定をおこなった。

結果

群落の分布構造

調査地の潮間帯は緩やかに傾斜する溶岩性の転石帯であり、潮間帯下部から漸深帯にかけての底質は岩盤(Bedrock)または岩塊(Rock)、大石(Boulder)で主に形成されていた。潮間帯下部では、水深 0-1 m にヒジキ Sargassum fusiforme (Harvey) Okamura が優占していた(Table 1)。また、水深 1-2 m にかけては、マメタワラやイソモク Sargassum hemiphyllum (Turner) C. Agardh が優占するガラモ場となっており、ヤツマタモクが混生した。一方、調査測線によっては同じ水深帯にコブクロモクやキレバモクも見られたが、マメタワラと同所的に見られる場所ではより深い場所に見られた。ガラモ場が形成されている場所では、ホンダワラ属藻類の被度が 50% 以上と優占したが、下草としてウミウチワ Padina arborescens Holmes やフクロノリ Colpomenia sinuosa (Mertens ex Roth) Derbes et Solier、マクサ Gelidium elegans Kützing、石灰藻類が見られた。調査地は大正時代

Table 1. Vertical and horizontal distribution of a seaweed community in Sakurajima, Kagoshima Bay, on May 17, 2010. Values for each species indicates the coverage of the quadrat (50 cm * 50 cm). [+] indicates less than 5% coverage.

Transect #1											
Distance from M.H.W.S. (m)*	23	24	26	27	28	30	36	42	46	48	51
Depth (m)*	0.5	0.0	-0.4	-0.8	-1.2	-1.9	-4.3	-2.6	-4.3	-5.7	-8.0
	BR	BR	BR	BR	BR						
Substratum	В	В	В	В	В	BR		BR	BR	BR	
<u> </u>	С	<u> </u>	С	С	C	В	BR	В	В	<u>B</u> _	В
Sargassum fusiforme	80	60	40	10							
Sargassum piluliferum		30	50	80	30						
Sargassum crispifolium					5		5				
Sargassum patens							+				
Undaria pinnatifida								+			
Chondracanthus intermedius	5										
Crustose coralline algae	+			5	+	+	+	+	+	+	20
Articulated coraline algae	+		+		+	+			+	5	
Jania adhaerens			+	+	+	20					
Ceramium sp.			+	+	+	+	+		+	+	5
Peyssonnelia sp.				5			+			+	20
Codium intricatum					+		5	5			
Colpomenia sinuosa					10	10		+	10		
Gelidium elegans					15	5	10		10	20	5
Padina arborescens					5	20	20			10	
Asparagopsis taxiformis						5					
Caulerpa racemosa var. late-vi	irens					+					
Ulva sp.						+			+		
Portieria hornemannii							+		+	+	
Others	5_	10	10		10	10	10	5	10	10	_5_
Transect #2											
Distance from M.H.W.S. (m)*	25	26	27	28	29	30	31	34	37	39	
Depth (m)*	0.7 BR	0.6 BR	0.1 BR	-1.2 BR	-1.3	-1.5	-1.8	-3.9	-4.9	-5.7	

Distance from M.H.W.S. (m)*	25	26	27	28	29	30	31	34	37	39
Depth (m)*	0.7 BR	0.6 BR	0.1 BR	-1.2 BR	-1.3	-1.5	-1.8	-3.9	-4.9	-5.7
Substratum	В	В	В	В	BR	BR	BR	BR	BR	BR
	С	С	C	С	В	В	В	В	В	В
Sargassum fusiforme		60	80	10						
Sargassum hemiphyllum			5	20						
Sargassum piluliferum			10		40	40		20		
Sargassum crispifolium					40	30	10			
Sargassum patens						10				
Sargassum alternato-pinnatum							60		+	
Chondracanthus intermedius	20									
Caulacanthus ustulatus	5									
Crustose coralline algae		10				+	+	+	+	+
Articulated coraline algae		+				+	+	+	+	5
Padina arborescens				10	5	10	5	40	40	5
Colpomenia sinuosa							20	+	10	5
Gelidium elegans							+	10	5	20
Portieria hornemannii							+	+		+
Ceramium sp.							+	5		10
Jania adhaerens								5		
Peyssonnelia sp.								+	+	+
Ceramium sp.										+
Codium intricatum										+
Others	+	+	+	5	5	10	10	10	10	20

Distance from M.H.W.S. (m)*	25	26	28	30	32	35	39
Depth (m)*	0.1 BR	-0.2 BR	-0.4 BR	-1.4	-1.6	-2.6	-4.3
Substratum	В	В	В	BR	BR	BR	BR
	С	C	C	В	В	<u>B</u> _	В
Sargassum fusiforme	40	30					
Sargassum patens		+	5				
Sargassum piluliferum			30	5			
Sargassum hemiphyllum			40	10			
Sargassum crispifolium				30			
Colpomenia sinuosa			+	5	30		
Padina arborescens			+	10	5	+	20
Crustose coralline algae			+	+	+	+	+
Articulated coraline algae			+	+	+	+	+
Gelidium elegans						10	40
Asparagopsis taxiformis						10	10
Caulerpa racemosa var. late-vi	rens						+
Jania adhaerens							+
Others	10	10	5	10	10	10	20

B: Boulders, BR: Bedrock, C: Cobbles, MS: Muddy sand, P: Pebbles. Datum of depth: 1.5m below mean sea level.

M.H.W.S.:Maximum high water spring.

の噴火で流出した溶岩の先端部に位置し、漸深帯は離岸距離 50 mで水深約8 m と急峻に落ち込んでいた。

季節的消長

マメタワラは 2009 年 5 月に藻長 1313 mm, 乾重量 29.99 g を示して最大となり, 5 月から 7 月にかけて成熟した (Fig. 2, 3)。成熟後, 葉や気胞, 枝の脱落に伴って藻長, 乾重量共に減少し, 9 月に藻長 35 mm, 乾重量 1.54 g, 10 月には 25 mm, 0.58 g まで減少し, 最低となった。本種の古い主枝は成熟後に枯死流失したが, 付着器と翌年生長する新主枝は生残した。秋季から冬季にかけて生長は停滞し, 2010 年 1 月は藻長 44 mm, 乾重量 0.96 g となった。その後, 新主枝が急速に伸長し, 3 月に藻長 104 mm, 乾重量 0.99 g, 4 月に605 mm, 6.62 g と生長した。

ヤツマタモクは 2009 年 5 月に藻長 941 mm, 乾重量 17.00 gを示し、乾重量が最大となった。また、6 月には藻長 994 mm, 乾重量 15.51 gとなって藻長も最大に達し、5 月から 7 月にかけて成熟した。成熟後、各部位の枯死流失に伴って藻長、乾重量共に減少し、9 月に藻長 35 mm, 乾重量 1.57 g, 10 月には 26 mm, 0.58 gまで減少し、最低となった。マメタワラと同様に、ヤツマタモクも付着器と新主枝が生残したが、秋季から冬季にかけて生長は停滞し、2010 年 1 月は藻長 48 mm, 乾重量 0.90 gだった。その後、新主枝が急速に伸長し、3 月に藻長 105 mm, 乾重量 0.97 g, 4 月に 480 mm, 3.38 gと生長した。マメタワラ、ヤツマタモクの年輪様組織は、共に最大 3 本まで確認できたが、最も多く見られたのは 2 本だった(Fig. 4, 5)。一方、年輪様組織の見られない大型個体は観察されなかった。

Table 2. Water temperature, salinity, dissolved oxygen (DO), dissolved inorganic nitrogen (DIN) and phosphorus (PO4-P) at the study site (Sakurajima, Kagoshima Prefecture, Japan) during May 2009 to April 2010.

Date	W.T.	Salinity	DO	DIN	PO₄-P
	(°C)	(psu)	$(mg L^{-1})$	(μ M)	(μM)
May. 17	21.8	34.4	9.20	2.50	0.32
Jun. 7	21.9	34.4	7.08	3.21	0.32
Jul. 3	24.3	33.1	9.93	3.29	0.21
Sep. 7	28.9	32.6	7.21	4.50	0.97
Oct. 26	22.9	33.2	7.71	2.07	0.42
Jan. 30	17.0	31.1	9.21	2.79	0.65
Mar. 1	16.6	32.0	7.55	1.71	0.65
Apr. 14	16.6	30.0	8.38	1.71	0.32

土屋ら

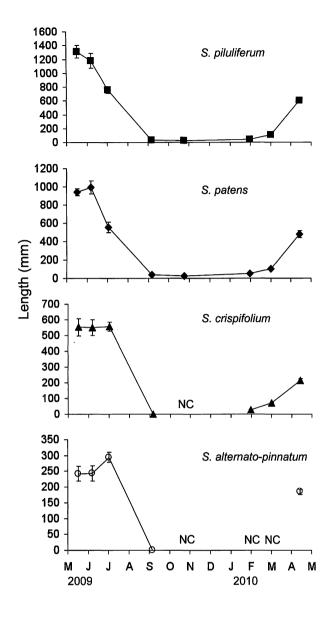


Fig. 2. Seasonal changes of the plant length of four Sargassum species, S. piluliferum, S. patens, S. crispifolium, S. alternatopinnatum, at Sakurajima, Kagoshima Prefecture, from May 2009 through April 2010. Error bars: S. D., NC: Not collected.

月に 212 mm, 2.03 g と徐々に生長が見られた。

キレバモクは 2009 年 5 月に藻長 242 mm, 乾重量 2.27 g, 6 月に 243 mm, 2.68 g, 7 月には 294 mm, 3.70 g と体サイズは徐々に生長し,6 月から7 月にかけて成熟した。成熟後,藻体は枯死流失し,コブクロモクと同様に9 月には消失した。その後,2010 年 4 月に本種の新規個体が確認され,藻長 184 mm, 乾重量 0.47 g だった。

生育環境

調査期間中にデーターロガーで計測した水温は、最低 15.6 °C (2 月 7 日) から最高 29.4 °C (8 月 31 日) の間で推移した (Fig. 6)。特に、水温は 4 月から 7 月にかけて 17 °C 前

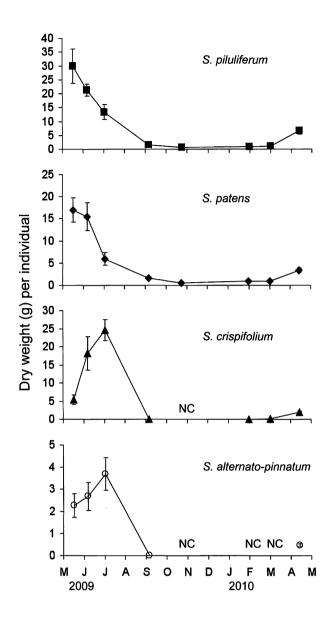


Fig. 3. Seasonal changes of the dry weight of four Sargassum species, S. piluliferum, S. patens, S. crispifolium, S. alternatopinnatum, at Sakurajima, Kagoshima Prefecture, from May 2009 through April 2010. Error bars: S. D., NC: Not collected.

後から 28 °C 前後に著しく上昇した (Table 2)。一方,主枝が脱落した 8 月以降は 1 月にかけて徐々に低下し,9月7日 に28.9 °C,10月26日に22.9 °C,1月30日に17.0 °C だった。

海水中の溶存酸素量 (DO) は、 7.08 mg L^{-1} (6月7日) から 9.93 mg L^{-1} (7月3日) の間を示し、貧酸素環境は見られなかった。塩分は 30.0 psu (4月14日) から 34.4 psu (5月17日) で推移したが、雨天時を除いて概ね 33-34 psu だった。

海水中の溶存無機窒素 (DIN) は $1.71 \mu M$ (3月7日) から $4.50 \mu M$ (9月7日) で推移し、溶存無機リン (DIP) は $0.21 \mu M$ (7月3日) から $0.97 \mu M$ (9月7日) の間を示した。

海水温の経年変化

1972 年から 2010 年にかけての鹿児島県栽培漁業協会の取水水温を Fig. 7 に示した。期間中の平均水温は 21.4 °C だったが、年ごとの年間平均水温は 1998 年が 22.5 °C と最も高く、最低は 1982 年の 20.8 °C だった。夏季平均水温 (8 月の1ヶ月平均) は、1998 年の 30.1 °C が最も高く、最低は 1992 年の 25.5 °C だった。冬季平均水温(2 月の1ヶ月平均)は、2010 年の 17.3 °C が最も高く、最低は 1978 年の 14.3 °C だった。年平均、夏季、冬季水温は年によって増減したが、回帰直線は年平均水温で y=0.0058x+9.899、夏季平均水温で y=0.0173x-6.4277、冬季平均水温で y=0.0286x-41.184となり、年平均や夏季水温はほぼ横ばいだったが、冬季水温は 38 年間で約 1 °C 上昇していた。それぞれの回帰直線の回帰係数を検定した結果、年平均と夏季平均水温の回帰係数が 0 ではないことに対しては有意と認められなかったが、冬季平均水温は有意と認められた (p<0.05)。

考察

桜島の袴腰(大正溶岩)では、マメタワラ、ヤツマタモク、イソモク、ヒジキ、コブクロモク、キレバモクによる高密度なガラモ場が確認された。このうち、マメタワラやイソモク、ヤツマタモクは本州中南部太平洋岸から九州にかけての地域と本州日本海岸に分布し、温帯性のガラモ場を構成する種類として知られている(野呂・南波 1989、吉田 1998、Yoshida et al. 2004、Shimabukuro et al. 2008)。一方、キレバモクは本州中南部太平洋岸から九州、南西諸島に分布し、コブクロモクは本州中南部太平洋岸から九州に分布する(吉田 1998、Shimabukuro et al. 2008)。調査測線上には見られなかったが、周辺にはコナフキモク Sargassum incanum Grunow、トサカモク Sargassum cristaefolium C. Agardh、マジリモク、フタエモク等の亜熱帯性種も見られたことから、

桜島袴腰のガラモ場は、温帯性種と亜熱帯性種が混生する群 落であると考えられた。

マメタワラ,ヤツマタモク,コブクロモク,キレバモクとも春季に生長して夏季までに成熟し,夏季に主枝が脱落する季節性を示したが,体サイズが最大に達する時期や主枝脱落後の個体の生残等で異なった。

マメタワラは、3月以降急速に生長し、5月に藻長、乾重量共に最大に達して生殖器床を形成した。幼胚放出後、主枝は枯死流失したが、流失前に新主枝が茎に形成され、この状態で越夏した。しかし、9月から2月にかけて新主枝の伸長は停滞し、群落は数 cm の主枝を除いて裸地に近い状態が継続した。ヤツマタモクも3月以降急速に生長し、藻長が6月に、乾重量が5月に最大に達した。幼胚放出後に主枝は脱落したが、流失前に新主枝が見られ、越夏した。マメタワラと同様に、9月から2月にかけて新主枝の伸長は停滞し、群落は数 cm の主枝を除いて裸地に近い状態が継続した。なお、両種が著しく生長・成熟する3月から5月にかけての水温は約17°Cから22°Cで推移した。これらの結果は、鹿児島産のマメタワラとヤツマタモクを垂下養殖で観察した寺脇ら(1982、1983a)の報告と概ね一致した。

谷口・山田 (1978) は、石川県能登半島飯田湾のヤツマタモクについて報告しており、5月頃に形成された新主枝は8月以降著しく伸長し、1月に約212 cm に達すると報告している。また、月舘 (1984) は、瀬戸内海のヤツマタモクの新主枝は7-8月頃より生長し、12月頃に生長のピークに達すると報告している。これらの場所では、水温が最低となる2-3月に生長は一時停滞するが、4月以降再び急速に伸長し、5月にかけて最大サイズに達している。一方、鹿児島湾桜島のヤツマタモクは、新主枝と茎、付着器が残存したが、夏以降の生長でこれらの報告と大きく異なり、藻体が2月以降の短期間の生長で最大サイズに達し、成熟、脱落していること

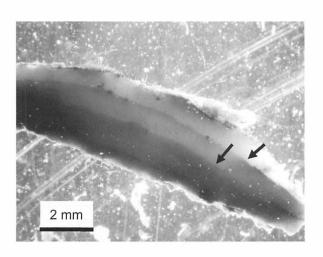


Fig. 4. Vertical section of the holdfast of *Sargassum piluliferum*, showing two lines that lie along the surface of the holdfast. (arrows)

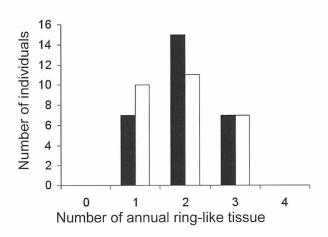


Fig. 5. Annual ring-like tissue (line) composition of *Sargassum patens* (White, n=30) and *Sargassum piluliferum* (Black, n=28) collected from May to July in 2009.

土屋ら

が示唆された。

6

マメタワラが成熟する時期の水温は約 19-26°C (高知県: Ohno 1979, 長崎県:四井ら 1984, 三重県:横山ら 1999), ヤツマタモクの成熟期の水温は約 17-26°C(石川県:谷口・ 山田 1978, 長崎県:四井ら 1984, 三重県:横山ら 1999) と報告されている。また、培養試験等によるこれらの種類の 生長至適水温は、マメタワラで 15-20°C (原口ら 2005) ま たは 25-30 ℃ (馬場 2007), ヤツマタモクで 20-25 ℃ (原 口ら2005, 吉田2005) または25°C (馬場2007) と報告 されている。実験条件や材料の生育地が異なることから水温 帯が若干異なる点はあるが、これらの水温は鹿児島産両種の 生長・成熟時期の水温に概ね一致していた。また、両種生育 上限水温はヤツマタモクで30°C(吉田2005)または31°C(原 口ら 2005), 34°C (松井・大貝 1981, 馬場 2007), マメタ ワラで30℃(原口ら2005) または32℃(馬場2007) と 報告されている。調査期間中に水温が30℃以上になること はなかったが、28 ℃以上の期間が8月2日から9月11日 までの 40 日間持続し、最高 29.4 °C に達した。水温は 9 月 以降低下するが、12月上旬で20℃前後と水温の低下は緩 やかだった。一方, 能登半島飯田湾のヤツマタモク群落では, 水温が8月に最高に達した後,9月以降水温は低下し,10月 で20℃を下回り,12月下旬には10℃まで低下している(谷 口・山田 1978)。鹿児島産のヤツマタモクやマメタワラの新 規加入個体や新主枝の生長が秋に見られないのは、当該期の 水温環境が鹿児島と他地域で異なる可能性が第一に考えられ る。また、寺脇ら (1982、1983a) は、藻食生物による食圧 が秋季に多く見られたことを指摘している。藻食生物の食圧 は低水温条件では抑制されることがアイゴで報告されており (木村 2006、川俣 2006)、秋季に他地域よりも高水温であ る鹿児島県は食圧の影響をより強く受ける可能性も考えられ る。本研究では食圧に注目した観察や実験をおこなっていな

いことから明確な結論には至らなかったが,今後は当該群落 の再生産に及ぼす藻食生物の有無や食圧の程度についても明 らかにする必要があると考える。

ヤナギモク Sargassum ringgoldianum Harvey ssp. coreanum (J. Agardh) Yoshida やノコギリモク Sargassum macrocarpus C. Agardh などの多年生のホンダワラ属藻類では、付着器断面に形成される年輪様組織が年級と相関することが知られている(Yoshida 1960、村瀬 2001)。本研究のヤツマタモクやマメタワラでも村瀬(2001)と同様な年輪様組織が見られたことから、両種の群落は3年程度の複数年級群で構成されていると示唆された。ただし、両種ではすべての個体で年輪様組織が観察された。本研究では群落の林冠を形成する大型個体を採集しているため、越年個体は1年目の新規個体よりも体サイズが大きく、新規個体は採集から漏れた可能性が示唆された。

コブクロモクは4月以降生長し、藻長、乾重量共に7月に最大に達した。特に、5月以降は藻長に著しい変化が見られなかったが、葉や側枝の増加によって乾重量が増加した。生殖器床は6月に確認され、幼胚放出後に藻体は枯死流失し、群落は9月までに消失した。一方、本種の新規個体は1月に確認された。本種の生長や成熟は、寺脇ら(1983b)による垂下養殖株の結果と概ね一致した。キレバモクもコブクロモクと同様に4月以降生長し、藻長、乾重量共に7月に最大に達した。生殖器床は6月に確認され、幼胚放出後に藻体は枯死流失し、群落が9月までに消失した。本種の新規個体は2010年4月に初めて見られたが、藻長は既に185 mmあったことから、4月以前には出現していたことが示唆された。両種とも、夏季は一部の付着器を除いて消失したことから、1年で生活史が完結することが考えられた。

鹿児島県薩摩半島南部のフタエモクは春季に生長し、6月 に藻長、重量ともに最大に達した後、夏までに枯死流失する

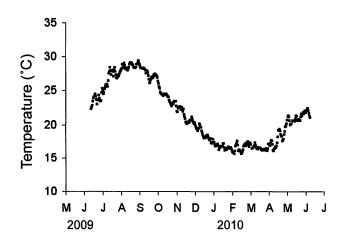


Fig. 6. Seasonal changes of surface seawater temperature at the offshore of Kagoshima City (study site) from June 2009 through June 2010.

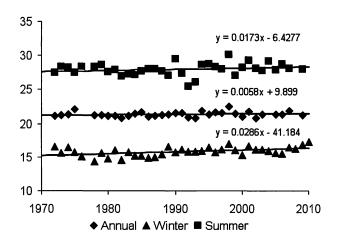


Fig. 7. Annual, Winter (February) and Summer (August) seawater temperature at Kagoshima Prefecture Mariculture Association in Tarumizu City, Kagoshima Bay from 1972 through 2010.

ことが報告されている (島袋ら 2007b)。コブクロモクとキレバモクはフタエモクよりも成熟時期がやや遅い傾向が見られたが、概ね同様の季節性を示した。

調査地の海藻群落は、水深 0-1 m にヒジキが優占し、その下部の水深 1-2 m にマメタワラやイソモク、ヤツマタモクの生育帯が見られた。コブクロモクやキレバモクの群落も水深 1-3 m にかけてパッチ状に見られたが、マメタワラやヤツマタモクが生育する場所ではコブクロモクやキレバモクの方がより深い場所に生育する傾向が見られた(Table 1)。

マメタワラやヤツマタモクは5月頃に最大サイズに達した後に主枝が脱落するのに対し、コブクロモクやキレバモクは1-2ヶ月遅れて最大サイズに達した。そのため、調査地の藻場は、4-5月頃は藻長1m以上に達する空間スケールの大きなガラモ場を呈するが、6-7月は藻長50cmに満たない亜熱帯性のガラモ場に似た景観を呈した。マメタワラとヤツマタモク、コブクロモク、キレバモクには、時空間スケールで生育場所を巡る競争が発生していると考えられる。特に、マメタワラとヤツマタモクは2年以上の年級群で構成されており、コブクロモクとキレバモクよりも早い時期に繁茂している。また、同所的に4種が生育する場所では、コブクロモクとキレバモクの方がより深い場所に見られており、マメタワラとヤツマタモクの衰退期や生育下限以深にコブクロモクとキレバモクが繁茂する群落構造であると考えられた。

生育地は鹿児島湾中央部に位置するが、塩分は雨天等を除いて33-34 psuを示し、黒潮水系の外海域の塩分に近い環境だった。また、溶存無機窒素(DIN)は5 μM 未満、リン酸態リン(PO₄-P)は1 μM 未満だった。鹿児島県薩摩半島南部の DIN は8 μM 未満、リン酸態リンは0.9 μM 未満(島袋ら2007b)、高知県土佐湾の DIN は9 μM 未満、リン酸態リンは0.6 μM 未満とされており(山中1985)、これら黒潮水系の影響を受ける海域と本海域の栄養塩は概ね一致した。本海域は内湾にもかかわらず、黒潮水系の影響を受ける貧栄養環境であると考えられた。

鹿児島県栽培漁業協会の取水水温を解析した結果, 本海 域における 1972 年から 2010 年の平均水温は 21.4 ℃ だっ た。特に、冬季平均水温は上昇の傾向にあり、38年間で約 1 °C の上昇が見られた。島袋ら(2007a)は、鹿児島県本 土南東部の志布志湾に生育する温帯性2種、ヨレモクモド キ Sargassum yamamotoi Yoshida とシロコモク Sargassum kushimotense Yendo の生態と水温環境の長期変化を報告し、 志布志湾の冬季水温が過去25年で上昇傾向にあることを指 摘している。同じような傾向は土佐湾でも報告されており(平 岡ら 2005)、海水温変化の長期予測に基づいて全国的な海藻 植生の変化も懸念されている (桑原ら 2006)。温帯・亜熱帯 推移帯では、冬季の低水温が亜熱帯性海藻の生残制限要因の ひとつとなっていることや、低水温によって藻食生物の食圧 が抑制されることで当該期間に藻場が繁茂することが示唆さ れている(吉田 2009)。冬季水温の上昇は、亜熱帯性海藻 の新たな繁茂や藻食生物の食圧抑制効果の低減など、当該海 域の海藻群落構造に何らかの影響を与える可能性が考えられた。

南西諸島におけるヤツマタモクの記録と分類学的位置についてはいくつかの意見があるが、温帯域で藻場を形成する狭義のヤツマタモクの分布南限はマメタワラと並んで鹿児島県本土として知られている(Yoshida et al. 2004、Shimabukuro et al. 2008)。ヤツマタモクやマメタワラは鹿児島湾や薩摩半島北西部に見られるが、分布南限域における大規模群落として桜島周辺の藻場は希少性が高い。九州南部は温帯性と亜熱帯性海藻の分布境界域に位置し、植生の変化が捉えやすいことから、長期的に藻場の経年変化を継続して観察すると共に、藻場構成種の温度耐生や群落変動のメカニズムを明らかにしていく必要があると考える。

謝辞

本論文を取り纏めるにあたり、有益なご助言を賜りました 鹿児島大学水産学部長の野呂忠秀教授、鹿児島県商工労働水 産部水産振興課の田中敏博氏、鹿児島県大隅地域振興局の 和田実氏、長崎大学環東シナ海海洋資源環境研究センターの Gregory N. Nishihara 氏、独立行政法人水産総合研究セン ターの島袋寛盛氏に深く御礼申し上げます。本研究は科学研 究費補助金(基盤 (C):10008021)の一部で遂行されたこ とを付記し、ご協力いただいた鹿児島大学水産学部の関係各 位に謝意を表します。

引用文献

新井章吾 2002. 藻場. 堀 輝三・大野正夫・堀口建雄(編), 21 世紀初 頭の藻学の現況, pp. 85-88. 日本藻類学会,

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. 海生研報 10: 9-20.

鹿児島県水産試験場 1979. 昭和 53 年度鹿児島県水産試験場報告書.

環境省自然環境局生物多様性センター 2008. 第7回自然環境保全基礎調査浅海域生態系調査(藻場調査)報告書. 環境省.

川俣茂 2006. アイゴのアラメ,カジメ摂食に及ぼす流動と水温の影響. 藤田大介・野田幹雄・桑原久実(編),海藻を食べる魚たち – 生態から利用まで-. pp. 137-147. 成山堂. 東京.

木村創 2006. 造成藻場も養殖海藻も食われる. 藤田大介・野田幹雄・桑原久実(編),海藻を食べる魚たち – 生態から利用まで -. pp. 62-76. 成山堂、東京、

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.

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.

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 27: 485-493.

伊藤久徳・見延庄士郎 2010. 気象学と海洋物理学で用いられるデータ解析法. 気象研究ノート第 221 号. 日本気象学会, 東京.

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, pp. 213-217. 水産庁東海区水産研究所, 東京

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.

野呂忠秀・南波聡 1989. 桜島での海藻の分布と季節的消長。鹿大水産紀 要 38: 69-76,

- 大野正夫 1985. 概論. 月刊海洋科学 17: 4-10.
- 大野正夫 2003. 地球温暖化に順応した藻場創生. 日本水産生物保護協会 月報 460: 9-12.
- Ohno, M. 1979. Culture and field survey of *Sargassum piluliferum*. Rept. Usa. Mar. Biol. Inst., 1: 25-32.
- 島袋寛盛・樋口福久・寺田竜太・野呂忠秀 2007a. 鹿児島県志布志湾 における褐藻ヨレモクモドキとシロコモクの季節消長. 日水誌 73: 244-249.
- 島袋寛盛・寺田竜太・Gregory N. Nishihara・野呂忠秀 2007b. 鹿児島県薩摩半島南部における褐藻フタエモク Sargassum duplicatum (Fucales, Phaeophyceae) の季節的消長、日水誌 73: 454-460.
- Shimabukuro, T., Terada, R., Noro, T. & Yoshida, T. 2008. Taxonomic study of two *Sargassum* species from the Ryukyu Islands, southern Japan: *Sargassum ryukyuense* sp. nov. and *Sargassum pinnatifidum*. Botanica Marina 51: 26-33.
- 新村巌 1990,鹿児島県産海藻目録,鹿児島水試紀要 13: 1-122.
- 水産庁 2009. 平成 21 年度水産白書. 水産庁.
- 田中剛・糸野洋 1969. 桜島・神瀬・沖小島・知林ヶ島・長崎鼻・佐多岬 の海藻、霧島屋久国立公園錦江湾海中公園調査報告書. pp. 83-102. 鹿児島県,
- 谷口和也・山田悦正 1978. 能登飯田湾の漸深帯における褐藻ヤツマタモ クとノコギリモクの生態. 日水研報 29: 239-253.
- 土屋勇太郎・Gregory N. Nishihara・寺田竜太 2010. 鹿児島県桜島におけるホンダワラ属 4 種の季節変化と生長特性. 藻類 58: 63.
- 寺田竜太・田中敏博・島袋寛盛・野呂忠秀 2004. 温帯亜熱帯境界域におけるガラモ場の特性、月刊海洋 36: 784-790.
- 寺脇利信・野沢洽治・新村巌 1982. ホンダワラ類の初期形態形成に関する研究 I マメタワラ. 藻類 30: 305-310.
- 寺脇利信・野沢洽治・新村巌 1983a. ホンダワラ類の初期形態形成に関

- する研究 II ヤツマタモク. 藻類 31: 38-43.
- 寺脇利信・野沢洽治・新村巌 1983b. ホンダワラ類の初期形態形成に関する研究 V コブクロモク. 藻類 31: 196-201.
- 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 16: 1-9.
- 山中弘雄 1985. 土佐湾 化学. 日本海洋学会沿岸海洋研究部会(編),日本全国沿岸海洋誌. pp.736-740. 東海大学出版会,東京.
- 横山寿・石樋由香・豊川雅哉・山本茂也・鰺坂哲朗 1999. 五ヶ所湾のガラモ場における生物群集の構造 II. ホンダワラ類の季節的消長と海藻類生産量,養殖研報 28: 27-37.
- 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 15: 27-126.
- 吉田吾郎 2009. 海の砂漠化? 広がる海の異変と温暖化 独立行政法 人水産総合研究センター編. 地球温暖化とさかな. pp. 122-137. 成 山堂, 東京.
- Yoshida, T. 1960. On the growth rings found in the root of Sargassum ringgoldianum Harvey (Fucales), Bull. Japan. Soc. Sci. Fish. 26: 673-678
- 吉田忠生 1998. 新日本海藻誌. 1222p. 内田老鶴圃, 東京.
- 吉田忠生 2004. ヒバマタ目類. 大野正夫編, 有用海藻誌. 111-132. 内田老鶴圃, 東京.
- Yoshida, T., Ajisaka, T., Noro, T. & Horiguchi, T. 2004. Species of the genus *Sargassum* subgenus *Schizophycus*. Abbott, I. A. & McDermid, K. J. (eds.), Taxonomy of Economic Seaweeds, with reference to the Pacific and other locations. Vol. IX. pp.93-106. Hawaii Sea Grant College Program, University of Hawaii, Honolulu.
- 四井敏雄・中村伸司・前迫信彦 1984. 長崎県野母崎沿岸におけるホンダ ワラ類 8 種の成熟期. 長崎水試研究報告 10: 57-61.

(Received Sep. 15, 2010; Accepted Dec. 15, 2010)