

鹿児島県笠沙におけるホンダワラ属藻類3種の季節変化と藻場垂直分布の長期変化

中島広樹^{1,2}・田中敏博^{3,4}・吉満敏^{3,5}・寺田竜太^{1*}

¹ 鹿児島大学水産学部 (〒 890-0056 鹿児島県鹿児島市下荒田 4 丁目 50-20)

² 現所属: 西海国立公園九十九島水族館「海きらら」(〒 858-0922 長崎県佐世保市鹿子前町 1008 番地)

³ 鹿児島県水産技術開発センター (〒 891-0315 鹿児島県指宿市岩本字高田上 160 番 10)

⁴ 現所属: 鹿児島県商工労働水産部 (〒 890-8577 鹿児島県鹿児島市鴨池新町 10-1)

⁵ 現所属: 鹿児島県鹿児島地域振興局 (〒 892-0817 鹿児島市小川町 3-56)

Hiroki Nakashima^{1,2}, Toshihiro Tanaka^{3,4}, Satoshi Yoshimitsu^{3,5} and Ryuta Terada^{1*}: Phenology of three species of *Sargassum* (Fucales) and the long-term change of seaweed community structure from Kasasa, Kagoshima Prefecture, Japan. Jpn. J. Phycol. (Sôru) 61: 97-105, July 10, 2013

We examined the vertical distributional characteristics of seaweed, seagrass and coral communities of Kasasa, Kagoshima Prefecture, Japan, which were located along the coast facing the East China Sea, and compared these characteristics to an identical 1978 survey using line-transects. The seasonal changes in size and maturation of three *Sargassum* species (Fucales): *S. ilicifolium* var. *conduplicatum*, *S. patens* and *S. piluliferum*, were also examined from May 2007 to May 2008. After 30 years, the dominant species of *Sargassum* appeared to shift from temperate species (*S. patens*) to subtropical species (*S. ilicifolium* var. *conduplicatum*). Moreover, this survey determined that corals (*Acropora solitaryensis* and *Pavona decussata*) that were not observed during the 1978 survey, dominated at depths of 4 m, suggesting that they had established in this area sometime during the past 30 years. Length and dry weight of the three species of *Sargassum* showed a peak in May accompanying maturation, and they mostly disappeared from the substrata by September. Monthly mean seawater temperature ranged from 13.7°C in February to 29.4°C in August, however, temperature above 28°C and 30°C occurred for 16 and 75 days in summer, respectively.

Key Index Words: community structure, long-term change, phenology, *Sargassum*, seasonal change

¹ Faculty of Fisheries, Kagoshima University, Shimoarata 4-50-20, Kagoshima City, Kagoshima Prefecture, 890-0056, Japan

² Present address: Saikai National Park Kujukushima Aquarium, Kashimaecho 1008, Sasebo City, Nagasaki Prefecture, 858-0922, Japan

³ Kagoshima Prefectural Fisheries Technology and Development Center (KPFTDC), Iwamoto 160-10, Ibusuki City, Kagoshima Prefecture, 891-0315 Japan

⁴ Present address: Department of Commerce, Industry, Labor and Fishery, Kagoshima Prefecture Government, Kamoike-Shinmachi 10-1, Kagoshima Prefecture, 890-8577 Japan

⁵ Present address: Kagoshima Branch Office, Kagoshima Prefecture Government, Kamoike-Shinmachi 10-1, Kagoshima Prefecture, 892-0817 Japan

*Author for correspondence: terada@fish.kagoshima-u.ac.jp

緒言

九州南部は、温帯域に主に分布域する海藻類(温帯性種)と亜熱帯や暖温帯(温帯域のうち亜熱帯に近い気候帯)に分布する種類(亜熱帯・暖温帯性種)の分布推移帯に位置しており、両種が混生する海域として知られている(寺田ら2004, 田中ら2013)。特に鹿児島県本土では、ワカメ *Undaria pinnatifida* とアントクメ *Eckloniopsis radicata* を除いてコンブ目藻類の藻場が見られないことから、ホンダワラ属藻類(ヒバマタ目)の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2011)。

本海域では、キレバモク *Sargassum alternato-pinnatum* やコブクロモク *Sargassum crispifolium*, シロコモク *Sargassum kushimotoense*, フタエモク *Sargassum duplicatum*, マメタワ

ラ *Sargassum piluliferum*, ヤツマタモク *Sargassum patens*, ヨレモクモドキ *Sargassum yamamotoi* などの生態が近年報告されており、種類や生育環境によって多様な生態を持つことが明らかになってきた(島袋ら2007a, b, 土屋ら2011, 2012)。特に、九州中部以南に広く分布するフタエモクやキレバモク、コブクロモクは春から夏に繁茂して枯死流失する一年生の季節性を有する一方、本州や九州に広く見られるヨレモクモドキやヤツマタモク、マメタワラは通年見られる多年生の生態を持つ。また、ヨレモクモドキなどの温帯性種は体長1 m以上に達するのに対し、フタエモクなどは1 m未満と小型であり、藻場の空間構造も構成種によって多様である。

近年、本海域では藻場構成種の変化が指摘されており、環境変動との関連が示唆されている。鹿児島湾の桜島では、野

呂・南波 (1989) の報告になかったキレバモクやマジリモク *Sargassum carpophyllum* が見られる一方、アントクメは分布南限の馬毛島沖で 10 年以上確認されていない (土屋ら 2011, 寺田 2011)。しかし、これらの報告は定性的な観察・採集によるものであり、藻場構成種や植生の長期変化は十分に把握されていない。このため、過去の報告と同じ調査地において垂直分布等の調査を行い、植生の変化や各種の生態を的確に把握することが求められている。

鹿児島県南さつま市笠沙沿岸では 1978 年に藻場の垂直分布調査が行われており、ヤツマタモク、マメタワラなどが主要構成種として報告された (瀬戸口ら 1981)。しかし近年、笠沙近傍ではフタエモクやトサカモク *Sargassum cristaefolium*, フタエヒイラギモク *Sargassum ilicifolium* var. *conduplicatum* などの亜熱帯性種も見られるようになってきた。

そこで本研究では、南さつま市笠沙で 1978 年に行われた調査と同じ海岸で植生の垂直分布を調査し、約 30 年前との違いについて考察することを目的とした。また、マメタワラやヤツマタモク、フタエヒイラギモクをほぼ毎月採集し、体サイズの変化や成熟時期、群落の更新等の季節性を他地域の報告と比較することも行った。

材料および方法

調査は、鹿児島県南さつま市笠沙の崎山 (Site A: 31°25.516' N, 130°11.468' E) と小浦 (Site B: 31°24.500' N, 130°11.700' E) の 2 地点において、2007 年 5 月から 2008 年 5 月にかけて概ね月に 1 回の間隔で計 10 回実施した (Fig. 1)。藻場の植生調査ではライントランセクト法を用い、繁茂期の 2007 年 5 月 30 日に実施し、消失期の 9 月 10 日に同様の方法で追跡調査を実施した。調査測線は海岸線の基点 (大潮時最高高潮線 Maximum high water spring: MHWS) から海岸線に対して垂直方向に沖合へ 260 m (Site A 崎山: 基点から沖に東南東 100°) と 85 m (Site B 小浦: 基点から沖に北 0°) 設置し、測線上に設置した 50 cm 四方の方形枠内に生育する海藻の被度や底質を目視観察した。観察は概ね 10 m 間隔で行ったが、植生や底質が変化する場所でも方形枠を設置して随時観察した。観察終了後、ホンダワラ類が繁茂していた場所 (Site A: 離岸距離 50 m 地点のフタエヒイラギモク, Site B: 離岸距離 55 m のウミトラノオ, 65 m のマメタワラ) において 50 cm 四方の方形枠を別途設置し、枠内の該当種を全て採集した。採集した材料は研究室において個体数と湿重量、乾重量を計測した。なお、湿重量は海水中から藻体を取り上げ、すみやかに体表面の水分をペーパータオルで取り除いた後に、電子天秤 (1212 MP, Sartorius) で測定した。また、乾重量は定温乾燥器 (TSE Drying Oven, Sanyo) を用いて 60°C で 48 時間乾燥させた後に、電子天秤で測定した。

方形枠を設置した場所では調査時の実測水深を測定し、平成 19 年潮汐表第 1 巻 (海上保安庁 2007) を用いて平均海

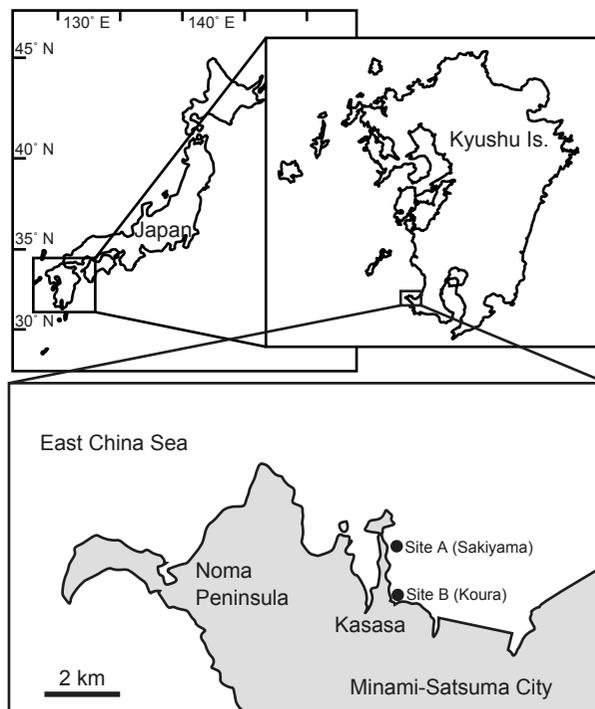


Fig. 1. Map of Japan and Kagoshima showing the study site in this study.

面 (潮高基準面より 1.55 m 上) からの水深に換算した。なお、Site A (崎山) は 1978 年 5 月 18 日に鹿児島県が実施したライン調査と同じ海岸、方向に測線を設置した (瀬戸口ら 1978)。

フタエヒイラギモク、ヤツマタモク、マメタワラの季節性の把握は、それぞれの優占群落が見られた場所 (フタエヒイラギモク: Site A, ヤツマタモクとマメタワラ: Site B) で調査を行った。毎回の調査でそれぞれ 10 個体を無作為に採集し、鹿児島大学水産学部の研究室において体長、茎数、主枝数、湿重量、乾重量を計測すると共に、葉や気胞、生殖器床の有無などの形態を観察した。体長は付着器の最下部から主枝の先端までの長さとし、湿重量と乾重量は上述の方法で行った。

水質は、ハンディメーター (Model 85, YSI Incorporated) を用いて溶存酸素濃度 (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、データロガー (TidbiT v2, Onset Computer Corporation) も調査地の水深 3 m に設置し、2006 年 10 月 1 日から 2008 年 5 月 30 日までの水温を 1 時間ごとに毎日記録した。計測データについては、日平均水温を算出し、季節変化を解析した。

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 (PO₄-P)) を測定した。なお、溶存無機窒素は硝酸態窒素 (NO₃-N), 亜硝酸態窒素 (NO₂-N), アンモニア態窒素 (NH₄-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

Table 2. Vertical and horizontal distribution of the seagrass community in Koura, Kasasa, Minami Satsuma City, Kagoshima Prefecture, on May 30, 2007. Values for each species indicate the coverage of the quadrat (50 cm × 50 cm). "+" indicates less than 5% coverage.

Distance from MHWS (m)	0	10	15	25	30	35	40	45	50	55	60	62	65	70	75	80	85
Depth* (m)	0.2	-0.4	-0.6	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.2	-1.2	-1.5	-1.7	-1.7	-1.8	-1.8	-1.9	-1.9	-1.9
Species / Substrata	BR	BR	BR	C	C	C	C	MS	MS	MS	MS	P	MS	MS	MS	MS	MS
	R	R	R	P	P	P	P	P	P	P	P	C	P	P	P	P	P
	B	B	B					C	C	C	C		C	C	C	C	C
<i>Monostroma nitidum</i>	5	+															
<i>Ishige foliacea</i>	5	10	10	10	20	10											
<i>Caulacanthus ustulatus</i>			+	+	+	+											
<i>Sargassum thunbergii</i>								10	40	50	50	60					
<i>Polyopes affinis</i>								+	+								
<i>Jania adhaerens</i>												+	+				
<i>Pterocladia tenuis</i>												5					
<i>Sargassum piluliferum</i>													60	70	60		
<i>Sargassum patens</i>													30	20	30		
<i>Padina arborescens</i>														+	+		
Crustose coralline algae	+	+	+	10	10	10		+			5	+					
Ariculated coralline algae								+			5						
Others	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Origin: 31°24.500' N 130°11.700' E

Substratum: B: Boulder; BR: Bedrock; C: Cobble; MS: Muddy Sand; P: Pebble; R: Rock.

Datum of depth: 155 cm below mean sea level.

MHWS: Maximum high water spring.

*Depth from the mean sea level.

Table 3. Number of the stem and primary branch of three species of *Sargassum*: *S. ilicifolium* var. *conduplicatum*, *S. patens* and *S. piluliferum* from Kasasa, Kagoshima Prefecture.

	<i>S. ilicifolium</i> var. <i>conduplicatum</i>				<i>S. patens</i>				<i>S. piluliferum</i>			
	Stem		Primary Branch		Stem		Primary Branch		Stem		Primary Branch	
	Numbers	SD	Numbers	SD	Numbers	SD	Numbers	SD	Numbers	SD	Numbers	SD
30-May	1.4	0.9	2.6	1.3	1.0	0.0	2.7	1.6	1.0	0.0	2.6	1.1
22-Jun	1.2	0.4	1.4	0.7	1.2	0.4	2.7	1.4	1.3	0.6	1.9	1.2
19-Jul	1.7	0.8	3.5	1.3	1.3	0.5	2.6	1.1	1.5	0.7	3.5	1.7
10-Sep	1.3	0.5	1.1	0.3	1.1	0.3	2.6	1.0	1.0	0.0	1.1	0.3
31-Oct	1.3	0.5	1.3	0.5	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0
28-Nov	1.0	0.0	1.0	0.0	1.2	0.4	2.2	1.4	1.1	0.3	1.1	0.3
28-Jan	1.2	0.4	1.4	0.7	1.1	0.3	2.9	1.2	1.8	0.7	2.9	1.2
25-Feb	1.1	0.3	1.3	0.9	1.1	0.3	2.3	1.0	1.8	1.0	4.0	1.8

マモ *Zostera marina* の群落が見られ、離岸距離 170 m で被度 50% に達した。また、これらのアマモ場にはヤマトウミヒルモ *Halophila nipponica* が混生した。

フタエヒイラギモクを離岸距離 50 m (水深 2.4 m) 付近で杵取り採取 (50 cm 四方) した結果、1 m² あたり 124 個体、乾重量は 548 g (湿重量 2,867 g) だった。なお、9 月の調査では、ホンダワラ類と海草はいずれも確認されず、裸地が形成されていた。また、エンタクミドリイシとシコロサンゴの多くが白化していた。11 月以降の調査では、白化していた個体の多くは元の状態に回復していたが、一部はそのまま枯死していた。

Site B (小浦)

Site B の沿岸は海岸線から沖合にかけて遠浅の緩斜面となっており、離岸距離 85 m で水深 1.9 m だった。底質は、基点から離岸距離 40 m の範囲 (水深 1m 未満) で岩塊、転石であり、離岸距離 45 ~ 85 m の範囲 (水深 1.2 ~ 1.9 m) では砂礫地に岩塊、転石が点在した。それ以遠は砂泥底だった。

潮間帯ではイロロ *Ishige foliacea* が主に見られ、離岸距離 30 m (水深 0.9 m) で被度 20% に達した。離岸距離 45 ~ 65 m (水深 1.2 ~ 1.7 m) ではウミトラノオ *Sargassum thunbergii* が見られ、被度は最大 60% に達した (Table 2)。また、ウミトラノオを離岸距離 55 m 付近で杵取り採取 (50

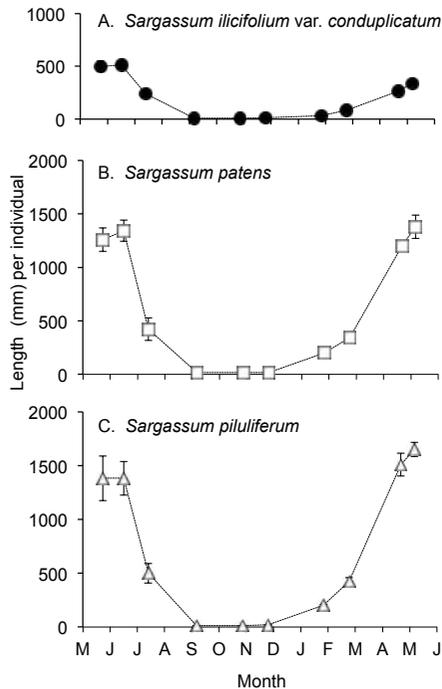


Fig. 2. Seasonal changes of the plant length of three *Sargassum* species, A: *S. ilicifolium* var. *conduplicatum*, B: *S. patens*, C: *S. piluliferum*, at Kasasa, Kagoshima Prefecture, from May 2007 through May 2008. Error bars: S. D.

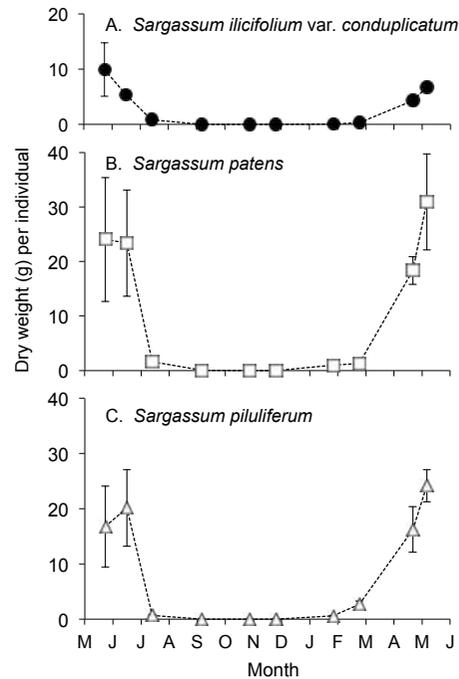


Fig. 3. Seasonal changes of the dry weight of three *Sargassum* species, A: *S. ilicifolium* var. *conduplicatum*, B: *S. patens*, C: *S. piluliferum*, at Kasasa, Kagoshima Prefecture, from May 2007 through May 2008. Error bars: S. D.

cm 四方) した結果, 1 m² あたりの密度は 236 個体, 乾重量は 679 g (湿重量 3,792 g) だった。一方, 離岸距離 65 m から 75 m の範囲(水深 1.8 ~ 1.9 m) ではマメタワラが優占し, 離岸距離 65 m で被度 70% に達した。また, 同地付近で枠取り採取 (50 cm 四方) したマメタワラの密度は 1 m² あたり 100 個体となり, 乾重量は 807 g (湿重量 5,676 g) だった。一方, 9 月の調査では, ホンダワラ類が確認されず, 裸地が形成されていた。

ホンダワラ類 3 種の生長と成熟

フタエヒイラギモクは, 2007 年 5 月 30 日に 1 個体当たりの乾重量が 9.95 g (湿重量 52.9 g), 体長 499 mm を示し, 6 月 22 日には乾重量 5.40 g (湿重量 36.9 g), 体長 513 mm となった (Figs 2, 3)。生殖器床は 5 月から 6 月にかけて形成され, 生殖器床を形成した個体の割合は 5 月 30 日に 10% だったが, 6 月 22 日には 100% となり, 7 月 19 日には藻体の多くが脱落して生殖器床が見られず, 1 個体あたりの乾重量は乾重量 0.84 g (湿重量 4.91 g), 体長 240 mm まで減少した。藻体は 9 月までに付着器を含めてほぼ枯死流失したが, 10 月 31 日に体長 9.6 mm 程度の残存個体が見られた。乾重量は 11 月 28 日に 0.002 g (湿重量 0.015 g) となり, 最低を示した。一方, 新規加入個体は 2008 年 1 月から見られ, 2 月 25 日は体長 85 mm, 乾重量 0.29 g (湿重量 2.86 g) と増加し始めていた。4 月は体長 264 mm, 乾重量 4.28 g (湿重量 37.4 g) と急速に増加し, 2008 年 5 月には体長 338 mm, 乾重量 6.72 g (湿重量 55.5 g) となり, 前年のピーク

時と同等の水準にまで増加した。なお, フタエヒイラギモクの茎は調査期間を通してほぼ 1 本であり, 1 ~ 3 本の主枝が茎の上に形成されていた (Table 3)。

ヤツマタモクは, 2007 年 5 月 30 日に乾重量 24.0 g (湿重量 164.5 g), 体長 1,260 mm となり, 体長は 6 月 22 日に 1,343 mm とピークを示した (Figs 2, 3)。生殖器床は 5 月から 7 月にかけて見られ, 生殖器床を形成した個体の割合は 5 月 30 日に 90%, 6 月 22 日には 100%, 7 月 19 日には 70% だった。一方で, 葉や気胞は徐々に脱落し, 7 月 19 日は体長 421 mm, 乾重量 1.62 g (湿重量 7.92 g) となった。9 月 10 日には主枝以上がほぼ脱落しており, 体長 15 mm, 乾重量 0.06 g (湿重量 0.22 g), 10 月 31 日には乾重量 0.009 g を示し, 最低となった。新規加入個体や主枝の再生は 2008 年 1 月から見られ, 1 月は体長 201 mm, 乾重量 0.97 g (湿重量 7.40 g) だった。一方, 4 月 22 日には体長 1,202 mm, 乾重量 18.4 g (湿重量 133.9 g) を示し, 5 月 7 日には体長 1,381 mm, 乾重量 30.9 g (湿重量 192.5 g) に達した。なお, ヤツマタモクの茎は調査期間を通してほぼ 1 本であり, 1 ~ 3 本の主枝が茎の上に形成されていた (Table 3)。

マメタワラは, 2007 年 6 月 22 日に体長 1,383 mm, 乾重量 20.2 g (湿重量 129.8 g) となり, ピークを示した (Figs 2, 3)。生殖器床は 5 月から 7 月にかけて見られ, 生殖器床を形成した個体の割合は 5 月 30 日に 90%, 6 月 22 日に 100%, 7 月 19 日には 50% だった。一方で, 葉や気胞は徐々に脱落し, 7 月 19 日には体長 499 mm, 乾重量 0.72 g (湿重量 2.82 g) となった。9 月 10 日や 10 月 31 日には主枝以上がほぼ

Table 4. Seawater temperature (WT), dissolved oxygen (DO), salinity, dissolved inorganic nitrogen (DIN) and phosphorus (PO₄-P) at the study sites (Kasasa, Kagoshima Prefecture) during May 2007 to May 2008.

Date	Site A (Sakiyama)					Site B (Koura)					
	WT °C	DO mg L ⁻¹	Salinity psu	DIN μM	PO ₄ -P μM	WT °C	DO mg L ⁻¹	Salinity psu	DIN μM	PO ₄ -P μM	
2007	30-May	22.1	-	-	2.40	0.08	22.2	-	-	2.28	0.10
	22-Jun	24.5	-	-	1.83	0.06	24.5	-	-	-	-
	19-Jul	25.7	-	-	1.42	0.04	25.8	-	-	2.08	0.06
	10-Sep	29.8	5.21	-	0.82	0.07	30.6	5.29	-	1.68	0.19
	31-Oct	24.8	6.21	33.8	1.13	0.05	24.5	6.09	33.7	0.77	0.00
	28-Nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008	28-Jan	18.2	6.09	30.8	0.78	0.08	17.0	6.69	31.5	0.56	0.05
	25-Feb	15.6	-	32.0	0.45	0.05	15.1	-	32.3	-	-
	22-Apr	21.4	8.31	32.7	-	-	21.3	6.57	32.6	-	-
	7-May	22.0	-	-	-	-	22.0	-	-	-	-

-: No data

脱落しており、体長 12 mm、乾重量 0.002 g (湿重量 0.004 g) を示し、最低となった。新規加入個体や主枝の再生は 2008 年 1 月から見られ、1 月は体長 202 mm、乾重量 0.581 g (湿重量 4.28 g) であった。一方、4 月 22 日には体長 1,509 mm、乾重量 16.3 g (湿重量 114.0 g)、5 月 7 日には体長 1,652 mm、乾重量 24.2 g (湿重量 142.5 g) に達した。なお、マメタワラの茎は調査期間を通してほぼ 1~2 本であり、1~4 本の主枝が茎の上に形成されていた (Table 3)。

水温、溶存酸素、塩分、栄養塩

調査時の実測水温は、最低 15.1°C (2008 年 2 月 25 日, Site B) から最高 30.6°C (2007 年 9 月 10 日, Site B) の間で推移した (Table 4)。また、データロガーが記録した水温を解析した結果、一日の平均水温は Site A と Site B でそれぞれ最低 12.6°C と 12.2°C (共に 2007 年 3 月 9 日)、最高 31.5°C と 31.6°C (共に 2007 年 8 月 29 日) だったが、月平均水温は最低 15.6°C と 13.7°C (共に 2008 年 2 月)、最高水温は両サイトとも 29.4°C (2007 年 8 月) だった (Fig. 4)。調査期間中、水温 30°C 以上の日が 8 月 17 日から 9 月 1 日まで 16 日間連続し、28°C 以上の期間が 7 月 24 日から 10 月 6 日までの 75 日間続いた。

塩分は最低 30.8 psu (2008 年 1 月 28 日, Site A) から最高 33.8 psu (2007 年 10 月 31 日, Site A) の間で推移し、溶存酸素濃度 (DO) は最低 5.21 mg L⁻¹ (2007 年 9 月 10 日, Site A) から 8.31 mg L⁻¹ (2008 年 5 月 7 日, Site A) の間で推移した (Table 4)。また、栄養塩は、溶存無機窒素 (DIN) は 0.45 μM (2008 年 2 月 25 日, Site A) から 2.40 μM (2007 年 5 月 30 日, Site A) の間で推移し、溶存無機リン (DIP) は 0.04 μM (2007 年 7 月 19 日, Site A) から 0.19 μM (2007 年 9 月 10 日, Site B) の範囲だった。

考察

Site A (崎山) と Site B (小浦) の両地点において、植生が離岸距離と水深、底質で変化する顕著な垂直分布が見られ

た。Site A では、水深 2~4 m にはフタエヒイラギモクが優占する群落が見られ、ヤツマタモクが混生した。また、沖合の水深 4~4.5 m にはエンタクミドリイシやシコロサンゴなどの造礁サンゴが高密度で見られ、その沖側の砂泥底にはアマモ場が見られた。また、Site B ではウミトラノオとヤツマタモク、マメタワラによるガラモ場が見られ、ガラモ場の下限は遠く砂泥底となっていた。

瀬戸口ら (1981) による Site A の垂直分布の図では、本研究とほぼ同じ離岸距離と水深帯にガラモ場とアマモ場が報告されているが、ガラモ場の優占種はヤツマタモクとマメタワラであり、一部にナンカイモクが点在すると図示されている (和名のみ記載)。ナンカイモク *Sargassum sandei* は現在、フタエモクの異名であることから、葉の縁辺に杯状の部分を持つ藻体であったことが推察される。フタエモクとフタエヒイラギモクは形態がよく似ていることから、1978 年に下草程度に生えていた藻体と本研究におけるフタエヒイラギモクはおそらく同じ種類であると思われる。瀬戸口ら (1981) と本研究の結果を比較した結果、1978 年当時のヤツマタモク (にフタエヒイラギモクが一部混生していた) 群落は、2007 年ではフタエヒイラギモク (にヤツマタモクが一部混生する) 群落に優占種が置き換わったと推察された。ただし、本研究でも Site B においてヤツマタモクとマメタワラが優占する藻場が見られたことから、優占種の交代は海域全体で均一に見られるのではなく、1978 年当時とは下草程度だった亜熱帯・暖温帯性のホンダワラ類が、場所によって優占種と変化した可能性が推察された。1 m² あたりのフタエヒイラギモク (Site A) とマメタワラ (Site B) の乾重量はマメタワラの方が多く、マメタワラよりやや浅所に生育していたウミトラノオもフタエヒイラギモクより多かった。藻場構成種の交代は、藻場の生物量の変化をもたらすことが推察されるが、この点についてはさらに調査を進め、生産力の変化などについても明らかにしていく必要があると思われる。なお、2008 年と 2012 年に実施した追跡調査でもフタエヒイラギモクの群落が見られており、Site A では安定し

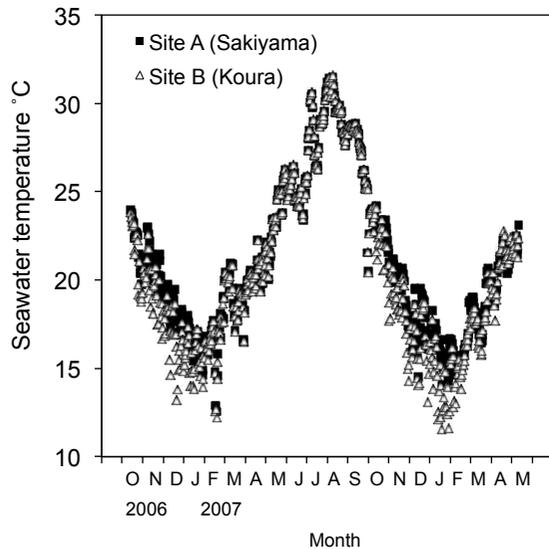


Fig. 4. Seasonal changes of seawater temperature at Kasasa, Kagoshima Prefecture from October 2006 through May 2008. Measurement was conducted by data loggers at the depth of seaweed community at 3 m deep.

て本種が優占する傾向にあると思われる(寺田, 未発表)。2月の月平均水温は Site A の方が Site B よりも 1.9°C 高かったが、夏季の水温はほぼ同じであることから、冬季水温のわずかな差がそれぞれの場所で両種の繁茂を可能にしていると推察された。

フタエヒイラギモク、ヤツマタモク、マメタワラの3種はそれぞれ2月から5月にかけて生長し、生殖器床を形成する季節性を示した。また、フタエヒイラギモクは一部の残存個体の付着器を除いて夏季にほぼすべて枯死流失した。本種の季節性は、島袋ら(2007a)が薩摩半島南部の穎娃で報告したフタエモクとほぼ同じ傾向を示し、生長期や成熟期の水温も概ね一致したことから、一部の残存個体の再生を除いて単年性の個体群であることが示唆された。ヤツマタモクとマメタワラは付着器や茎の一部が夏季に残存していたが、探さなければ見つからないほど限定的だった。一般に、ヤツマタモクやマメタワラは多年生の個体群として知られており、夏季には付着器と茎状部、翌年用の主枝の新芽が見られる(谷口・山田 1978, 月舘 1984, 土屋ら 2011)。本研究では、両種ともわずかに残った残存個体においても、新主枝の伸長は9月から2月にかけて停滞し、群落はほぼ裸地に近い状態が継続した。また、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、鹿児島産のヤツマタモクとマメタワラを垂下養殖で観察した寺脇ら(1982, 1983)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。また飯田湾のヤツマタモクは、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、鹿児島県笠沙の

ヤツマタモクは、夏以降の生残、生長で飯田湾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、脱落していることが示唆された。

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°C (馬場 2007), ヤツマタモクで 20~25°C (原口ら 2005, 吉田 2005) または 25°C (馬場 2007) と報告されている。一方、鹿児島県桜島産のヤツマタモクとマメタワラでは、純光合成速度の光合成活性が高い(最高値に対して有意に低くない)範囲は、それぞれ 12~28°C と 16~28°C と報告されている(土屋ら 2012)。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県笠沙産両種の生長・成熟時期の水温に概ね一致していた。また、両種の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°C (原口ら 2005) または 32°C (馬場 2007) と報告されている。調査期間中の水温は 30°C 以上の日が8月17日から9月1日まで16日間連続し、28°C 以上の期間が7月24日から10月6日までの75日間持続した。28°C 以上の高水温期間の持続は、過去の報告で指摘されている至適水温の範囲の境界にあるかほぼ超えており、生育の限界水温かそれに近い状況であると推察される。

水温は9月以降低下するが、12月上旬で 20°C 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°C を下回り、12月下旬には 10°C まで低下している(谷口・山田 1978)。鹿児島県笠沙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県笠沙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, 1983)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思われる。

付着器から伸びる茎の数は、3種とも1本または2本であり、1個体から出る主枝の数はフタエヒイラギモクで1~2本、ヤツマタモクで1~3本、マメタワラで1~4本だった。一般に、ヤツマタモクとマメタワラは盤状の付着器から数本の茎を生ずることが知られているが(吉田

1998), 1年目の個体の茎は1本と報告されている(寺脇ら1982, 1983)。実際, 土屋ら(2011)が報告した鹿児島県桜島のヤツタモクとマメタワラでは, 幼体の茎は1本だが, 成体では3~6本の茎が見られる(寺田, 未発表)。鹿児島県笠沙のヤツタモクとマメタワラでは, 夏季に生残した個体が少なく, 群落の景観はほぼ裸地となった。春に見られる個体の茎の数も1~2本に限られたことから, 生育する個体の多くは夏季に枯死流失し, 群落は1年目や2年目などの年級群に限られている可能性が推察された。実際, 夏季の水温は両種の生育上限水温に達しており, 高水温期間の持続は夏季の茎や主枝の残存, 幼体の生残に影響を与えている可能性も考えられる。ただし, 本研究では越夏個体の生残率や付着器の年輪状組織に基づく年級構成, 幼体の温度耐性については調査できなかった。また, 両種において2本目の付着器が生ずる時期も明らかになっていないことから, 笠沙の両種の温度耐性等について今後さらに研究を続ける必要があると考える。

本研究で見られたSite Aのアマモは夏季にすべて枯死流失したことから, 河野ら(2012)が報告した鹿児島湾南部の日本産アマモの分布南限個体群と同様に単年性の個体群であると考えられた。ただし, 指宿の群落は生育水深が2m前後だったのに対し, Site Aのアマモは水深4~6mで見られた。この要因としては海水の透明度が指宿よりも高い可能性と, 浅所域の底質がアマモの生育に不適な岩塊や礫であることが影響していると考えられるが, 本研究では調査地の水中光量と消散係数を測定していないことから, 結論に至らなかった。また, 瀬戸口ら(1981)による1978年の報告には, 今回の調査でアマモが見られた場所に「コアマモ」が記載されている。Site Aのガラモ場優占種が変化したように, 海草もコアマモからアマモに変化した可能性もあるが, 単年生アマモは一般的な多年生のアマモと比べて葉の幅が細く, 一見するとアマモと同定してよいか判断に迷うこともある。鹿児島県水産技術開発センターの標本庫には調査当時の標本がなかったことから結論に至らないが, 現在と同じ単年生のアマモであった可能性も否めない。

Site Aでは, 水深4~5mにかけてエンタクミドリイシとシコロサンゴの高密度な群集が確認された。瀬戸口ら(1981)による1978年の報告には, この水深帯がアマモ場の生育上限となっており, ウミヒルモ(ニヤマトウミヒルモ), フクロノリ, イバラノリ類が記載されている。当時の調査が藻場を対象としていたことから, サンゴが存在しても記録されなかった可能性は否定できないが, エンタクミドリイシの成長速度を考慮すると(野島・岡本2008), 当時には現在のような規模のサンゴ群集があったとは考えにくく, 過去30年間の間に加入した造礁サンゴが繁茂したと推察された。

エンタクミドリイシやシコロサンゴは造礁サンゴの中で比較的高緯度に分布する種類だが, 九州や本州中南部・四

国太平洋沿岸での分布拡大が指摘されている(野島・岡本2008, 山野・浪崎2009)。また, 熱帯性造礁サンゴの北上も報告されており, スギノキミドリイシ *Acropora formosa* では年間14kmの速度で北上していると試算されている(杉原ら2009, Yamano *et al.* 2011, 2012)。

Site Aの造礁サンゴ群集はガラモ場, アマモ場と異なる離岸距離・水深に見られた。これらは底質や水深等のハビタットで住み分けているように見えるが, サンゴの加入によって1978年に記載されているウミヒルモやイバラノリ類の底質が奪われた可能性も十分考えられる。造礁サンゴが各地で加入・拡大していく場合, サンゴ群集と藻場の至適水深や底質が一致する場所では競合する可能性も懸念される。ただし, 造礁サンゴも高水温や低水温によって白化や斃死することが知られており(野島・岡本2008), サンゴと藻場の盛衰には水温が強く影響していると思われる。実際, 9月の追跡調査では大規模な白化が観察され, 当年は夏季の高水温で大規模な白化が各地で報告されて社会問題にもなった(前川・鈴木2007, Okamoto *et al.* 2007, 野島・岡本2008)。水温が30°Cを超えると共生藻の褐虫藻が抜けだして白化するが, 調査地でも30°C以上の日が16日間連続したことから, このことが調査地のサンゴの白化の原因であると推察された。今後は, 温帯性海藻群落の衰退のメカニズム解明と共に, 造礁サンゴとの競合関係や両者の温度耐性等についても明らかにしていく必要があると思われる。

調査地は薩摩半島南西部に位置するが, 塩分は雨天等を除いて33~34psuを示し, 外海域の塩分に近い環境だった。また, DINは2.5 μM 未満, PO₄-Pは0.2 μM 未満だった。鹿児島県薩摩半島南部のDINは8 μM 未満, PO₄-Pは0.9 μM 未満(島袋ら2007b), 高知県土佐湾のDINは9 μM 未満, PO₄-Pは0.6 μM 未満とされており(山中1985), 調査地の栄養塩はこれらの報告よりも貧栄養であることが考えられた。

ヤツタモクとマメタワラは薩摩半島と大隅半島の西岸や東岸に見られるが, 大隅海峡に面した南岸には見られないことから, 調査地の個体群は両種の分布南限に近いと考えられる。分布の南限や北限に位置する群落は水温等の至適範囲の限界に近いと考えられることから, 環境の変化に伴う影響を受けやすいと考えられる(寺田2011)。本研究で見られた海藻群落は水温や生物群集の変化によって長期的に影響を受け, 変化していくことが懸念されており, 長期的にモニタリングを行うことが重要と考える。

謝辞

本研究は, 農林水産技術会議(農林水産省)の「本邦南西水域の環境変化に対応した藻場の回復・拡大技術の高度化」事業の一部として実施したことを付記し, 本事業の関係各位に謝意を表す。また, 造礁サンゴの同定については独立行政法人国立環境研究所生物・生態系環境研究セン

ターの杉原薫氏にご助言をいただいた。また、独立行政法人水産総合研究センターの島袋寛盛氏、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 氏には論文の取り纏めに際してご助言をいただいた。この場を借りて御礼申し上げる。

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. 海洋生物環境研究所研究報告 10 : 9-20.
- 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.
- 海上保安庁 2007. 平成 19 年潮汐表第 1 巻, 日本及び附近. 海上保安庁, 東京.
- 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.
- 河野敬史・Gregory N. Nishihara・寺田竜太 2012. 日本産アマモ *Zostera marina* の分布南限群落における季節的消長と光合成特性. 日本水産学会誌 78 : 692-704.
- 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.
- 前川聡・鈴木智子 2007. 2007 年夏季の白保サンゴ礁におけるサンゴの白化の現状と被度の変化. pp. 1-11. WWF ジャパン, 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.
- Mattio, L., Payri, C. E. & Verlaque, M. 2009. Taxonomic revision and geographic distribution of the subgenus *Sargassum* (Fucales, Phaeophyceae) in the western and central Pacific Islands based on morphological and molecular analyses. *Journal of Phycology* 45: 1213-1227.
- Mattio, L., Payri, C. E., Verlaque, M. & de Reviers, B. 2010. Taxonomic revision of *Sargassum* sect. *Acanthocarpicae* (Fucales, Phaeophyceae). *Taxon* 59: 896-904.
- 野島哲・岡本峰雄 2008. 造礁サンゴの北上と白化. 日本水産学会誌 74 : 884-888.
- 野呂忠秀・南波聡 1989. 桜島での海藻の分布と季節的消長. 鹿兒島大学水産学部紀要 38 : 69-76.
- Ohno, M. 1979. Culture and field survey of *Sargassum piluliferum*. Reports of the Usa Marine Biological Institute, Kochi University 1: 25-32.
- Okamoto, M., Nojima, S. & Furushima, Y. 2007. Temperature environments during coral bleaching events in Sekisei Lagoon. *Bulletin of Japanese Society of Fisheries Oceanography* 71: 112-121.
- 瀬戸口勇・久万田一巳・新村巖・福留巳樹夫・神野芳久・中間健一郎・茂利敦雄・田畑睦雄・中村敏郎・松本幹・佐野悦郎・若松清・瀬戸山公義・加塩昇・本高義治・松元利夫・井上慶幸・志摩彦之丞・下窪論・宮内昭吾・前田和宏・酒井理生・岡田正・山口厚人・古賀吾一 1981. 鹿兒島県沿岸域の藻場・干潟分布調査. 沿岸海域藻場調査, 九州西岸海域藻場・干潟分布調査報告, pp. 243-327. 西海区水産研究所, 長崎.
- 島袋寛盛・樋口福久・寺田竜太・野呂忠秀 2007a. 鹿兒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. 日本水産学会誌 73 : 244-249.
- 島袋寛盛・寺田竜太・外林純・Gregory N. Nishihara・野呂忠秀 2007b. 鹿兒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. 日本水産学会誌 73 : 454-460.
- 杉原薫・園田直樹・今福太郎・永田俊輔・指宿敏幸・山野博哉 2009. 九州西岸から隠岐諸島にかけての造礁サンゴ群集の緯度変化. 日本サンゴ礁学会誌 11 : 51-67.
- 田中敏博・吉満敏・今吉裕二・石賀好恵・寺田竜太 2013. 鹿兒島湾における藻場の分布と特性. 日本水産学会誌 79 : 20-30.
- 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. 日本海区水産研究所研究報告 29 : 239-253.
- 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.
- 寺田竜太 2011. 藻場の長期モニタリング, 背景と課題. 海洋と生物 195 : 291-297.
- 寺脇利信・野沢治治・新村巖 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・野沢治治・新村巖 1983. 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.
- 土屋勇太郎, 坂口欣也, 寺田竜太 2011. 鹿兒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. 藻類 59 : 1-8.
- 土屋勇太郎・Gregory N. Nishihara・寺田竜太 2012. 酸素電極法とパルス変調クロロフィル蛍光法を用いた鹿兒島産ホンダワラ属 (ヒバマタ目) 藻類 5 種, マメタワラ, ヤツマタモク, ヒジギ, コブクロモク, キレバモクの光合成・温度特性. 日本水産学会誌 78 : 189-197.
- 月館潤一 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. 南西海区水産研究所研究報告 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.
- 山野博哉・浪崎直子 2009. 最前線のサンゴ: 千葉県館山のエンタクミドリイシ群集の変化. 日本サンゴ礁学会誌 11 : 71-72.
- Yamano, H., Sugihara, K. & Nomura, K. 2011. Rapid poleward range expansion of tropical reef corals in response to rising sea surface temperatures. *Geophysical Research Letters* 38: L04601. doi:10.1029/2010GL046474.
- Yamano, H., Sugihara, K., Watanabe, T., Shimamura, M. & Hyeong, K. 2012. Coral reefs at 34°N, Japan: Exploring the end of environmental gradients. *Geology* 40: 835-838.
- 横山寿・石樋由香・豊川雅哉・山本茂也・鯨坂哲朗 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. 養殖研究所研究報告 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. 水産総合研究センター研究報告 15 : 27-126.
- 吉田忠生 1998. 新日本海藻誌. 内田老鶴圃, 東京.
- 吉田忠生・吉永一男 2010. 日本産海藻目録 (2010 年改訂版). 藻類 58 : 69-122.
- 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. 長崎県水産試験場研究報告 10 : 57-61.

(Received Apl. 24, 2013; Accepted Jun. 7, 2013)