

ヒジキ *Sargassum fusiforme* の 本邦北限分布域における季節的消長

南口 蒼太^{1*}・如澤 侑汰¹・日吉 海斗¹・水田 浩之²・宇治 利樹²・秋田 晋吾^{2*}

¹北海道大学大学院水産科学院 (〒 041-8611 北海道函館市港町 3-1-1)

²北海道大学大学院水産科学研究所 (〒 041-8611 北海道函館市港町 3-1-1)

Sota Minamiguchi^{1*}, Yuta Jozawa¹, Kaito Hiyoshi¹, Hiroyuki Mizuta², Toshiki Uji² and Shingo Akita^{2*}:
Phenology of *Sargassum fusiforme* in its northernmost distribution limit in Japan. Jpn. J. Phycol. (Sôru)
74: 1–8, March 10, 2026

Declines and local disappearances of *Sargassum fusiforme* populations have been reported in its southern distribution in Japan. The northernmost population has the potential to be an alternative harvesting ground of the edible alga. In the present study, we investigated the phenology of *S. fusiforme* at Cape Kattoshi, Hokuto, Hokkaido, from July 2022 to June 2023. Fifteen individuals were collected monthly from four sites, 700 m apart from each other. We measured the length and weight of the shoots and recorded the presence of damages on the shoots and the formation of receptacles. The average length and wet weight of shoots in all sites exhibited their maximum values in July 2022, and then decreased until September 2022. After the renewal of the shoots in October, they regrew until June 2023. More than 60% of shoots were damaged in August 2022, which was higher than those in other months (< 40%). Receptacles were formed from July to September in 2022 and June 2023. Comparison with phenological patterns at other locations revealed a delay in the lifecycle of the northernmost *S. fusiforme* population, likely due to the extended period of low water temperatures below 15°C.

Key Index Words: Hizikia fusiformis, morphology, northern distribution edge, phenology, *Sargassum fusiforme*

¹Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, 3-1-1 Minato, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan

²Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University, 3-1-1 Minato, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan

* Authors for correspondence: costariacostata@gmail.com, sakitam@fish.hokudai.ac.jp

緒言

ヒジキ *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell は東アジアにおける水産有用種である。本種は食用海藻として代表的であるが、抗酸化作用や抗菌作用 (Li *et al.* 2018), 抗腫瘍作用 (Chen *et al.* 2012, 2017, Wang *et al.* 2013, Yu *et al.* 2017, Fan *et al.* 2018, Ma *et al.* 2025) といった薬効成分の原藻としても期待されている。ヒジキの生産国は、中国、韓国 (Cai *et al.* 2021) や日本 (伊藤 2009) である。中国や韓国では大規模な養殖が主であり、湿重量で、中国においては 2007 年に少なくとも約 32,000 トン (Pang *et al.* 2008), 韓国においては 2018 年に約 36,000 トン (Hwang *et al.* 2020) の生産が報告されている。中国や韓国を中心にヒジキの養殖生産量は増加傾向にあり、2022 年には全世界で湿重量 347,000 トンの養殖生産が報告され、全海藻の養殖生産量の中では 8 番目に多かった (FAO 2025)。一方で、日本においてヒジキは天然採藻が主であり、湿重量で年間約 8,000–10,000 トンが生産されている (伊藤 2009)。本邦では養殖試験も行われているが、大規模な養殖の基盤となる、種苗の量産化を行うための設備が不十分である (伊藤 2013)。近年、南日本では生育地の消失 (寺田

ら 2021) や植食性魚類の食害による生育不良 (桐山ら 2002, 2005, 中西 2012) が報告されている。一方で、現在のヒジキの分布北限域にあたる北海道南部 (岡村 1936, 山田・木下 1948, 瀬川 1956, 福原 1959) では、ヒジキを食害する植食性魚類の分布は確認されておらず (中坊 2000), 安定的な天然ヒジキの代表的な産地となるポテンシャルが高い。持続的な天然資源利用のためには、生態情報の蓄積が必要である。特にその基礎となる季節的消長についてはこれまでに本邦各地で報告がある (神奈川県三崎: 須藤 1951, 神奈川県小田和湾: 寺脇 1985, 福岡県志賀島: 長門・川口 2003, 宮城県寒風沢島: 百瀬ら 2006, 和歌山県串本: 諏訪 2014, 山口県周防大島: Yoshida & Shimabukuro 2017)。しかしながら、北海道南部には、分布北限域という特殊性や、かつて報告された品種であるフクロヒジキ *Turbinaria fusiformis* f. *clavigera* (Harvey) Yendo のタイプ産地である函館が含まれる地域 (Yendo 1907) であるという意義、など重要な背景があるものの、長谷川 (1949) を除いて季節的消長に関する文献は見当たらない。長谷川 (1949) は、3–6 月のみでヒジキの形態データを集めており、包括的な季節的消長は不明のままである。そこで、本

研究では北海道南部のヒジキの季節的消長を調査し本邦の他地域と比較した。

材料と方法

採集および主枝の計測

ヒジキの採集は北海道道南地域の北斗市葛登支岬で行った。葛登支岬では海岸線に沿った約 3 km におよぶ平坦な岩盤が、干潮時に沖から岸へ向かっておよそ 100–300 m の幅で干出する。ヒジキはこの磯の潮間帯下部で優占している。岩盤全体のヒジキの季節的变化を比較するために、調査地の海岸線においてなるべく均等な距離に調査地点を設定することを念頭に、700 m ずつ離れた 4 つの採集地点 (地点 A, B, C, D) を設けた (Fig. 1)。各採集地点において、2022 年 7 月から 2023 年 6 月に毎月 1 回、15 株ずつ 1 m 以上の間隔を空けてヒジキを採集した。具体的な採集日は、各年月ごとに、2022 年 7 月 12 日 (地点 A, B), 13 日 (地点 C, D), 8 月 15 日 (地点 A, B, C, D), 9 月 9 日 (地点 A, B), 13 日 (地点 C, D), 10 月 11 日 (地点 A, B), 13 日 (地点 C, D), 11 月 8 日 (地点 C, D), 9 日 (地点 A, B), 12 月 21 日 (地点 A, B, C, D), 2023 年 1 月 19 日 (地点 C, D), 22 日 (地点 A, B), 2 月 19 日 (地点 C, D), 21 日 (地点 A, B), 3 月 18 日 (地点 C, D), 19 日 (地点 A, B), 4 月 22 日 (地点 A, B, C, D), 5 月 18 日 (地点 C, D), 20 日 (地点 A, B), 6 月 17 日 (地点 C, D), 20 日 (地点 A, B) であった。ヒジキの群落内では、繊維状付着器が複雑に絡み合うとともに、付着器上の複

数箇所から主枝が伸長するため、完全な株 (1 つのジェネット) の識別と分離は不可能である。また、ヒジキには茎が存在せず、付着器から直接主枝が発出する (Shimabukuro *et al.* 2016)。そこで、寺脇 (1985) を改変し、付着器上の 1 ヶ所から発出している主枝と、主枝の起点から 1 cm 以内にある付着器を含めた部分を 1 株とみなした。このとき、1 株につき 5 つ程度の主枝が認められた。

採集後、ヒジキは実験室に持ち帰り、1 株のうちの最長の主枝について全長、湿重量、損傷の有無および生殖器床形成の有無を記録した。損傷については、寺脇 (1985) および長門・川口 (2003) に従い定義し、葉や気胞を含む主枝の先端部分が明確に折損、崩壊、枯死あるいは流出した結果、先端部分が見当たらない状態とした。損傷の有無および生殖器床形成の有無については、それぞれ、主枝損傷率、生殖器床形成率として、15 株のうちの割合を毎月求めた。2022–2023 年の毎月の採集からは卵の詳細な放出日を特定できなかったため、2024 年と 2025 年の 7–8 月の大潮に毎日葛登支岬の地点 A, B, C, D に行き、野生個体で卵の放出の有無を確認し、放出が初めて認められた日付を、卵放出日として記録した。

主枝長と主枝湿重量の季節変化は、1 年の間に複数回の増減があることと、季節ごとの変化量が一定でないことから、一般化線形モデルではなく非線形回帰が可能な一般化加法モデル (GAM: Generalized Additive Model) を採用して推定した。GAM は、R v.4.4.2 (R core team 2024) のパッケージ mgcv v.1.9.4 (Wood 2011) 内における gam 関数で構築した。主枝

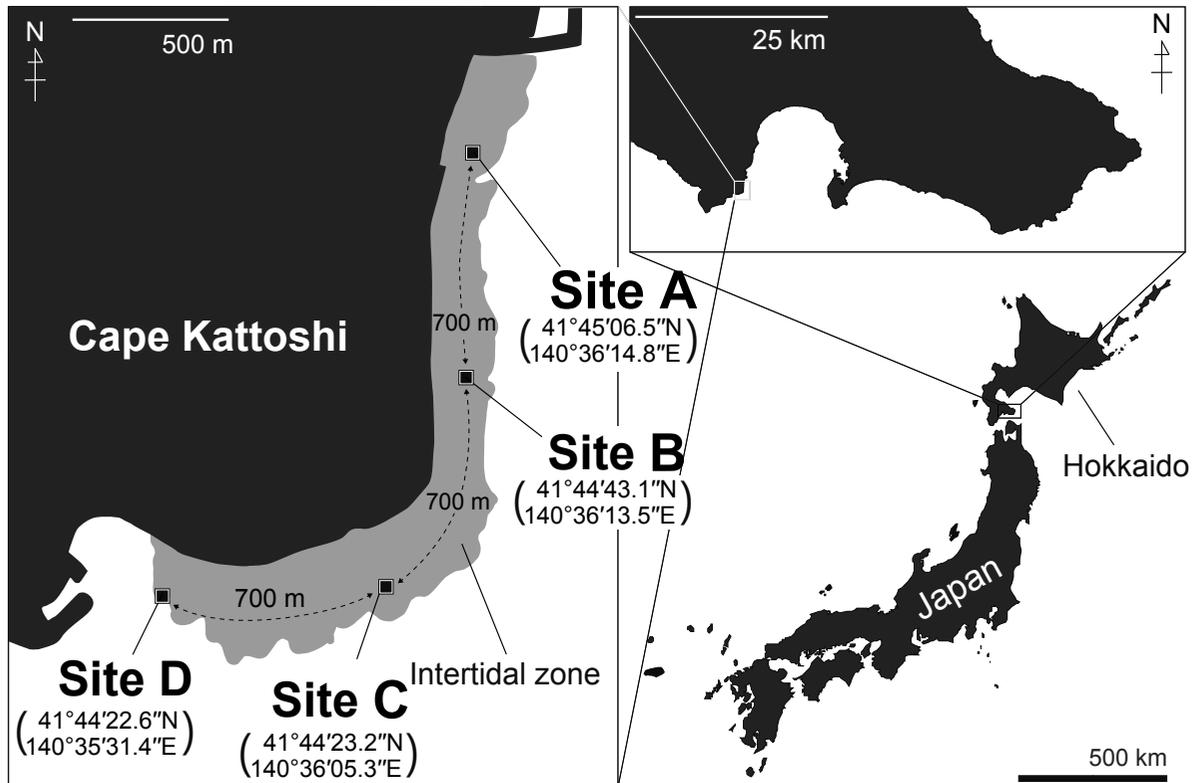


Fig. 1. Four sampling sites of *Sargassum fusiforme* in the present study, Sites A, B, C, and D, on Cape Kattoshi. Interval of each site is 700 m.

長と主枝湿重量は常に正の値をとる連続変数であるから、誤差構造としてガンマ分布を、リンク関数として対数リンク関数を選択した。季節変動の周期性を考慮し、説明変数である調査日の平滑化のために、制限付き最尤法のもとで周期性3次回帰スプラインを使用した。具体的には、葛登支岬全体における主枝長と主枝湿重量の季節変化を推定するために、全サンプルの主枝長あるいは主枝湿重量を目的変数、2022年7月1日を1、2023年6月30日を365として計算した採集日を説明変数とするモデルを推定した。加えて、4つの採集地点ごとに主枝長と主枝湿重量の季節変化を把握し、地点差があるかを検証するために、各地点の主枝長あるいは主枝湿重量を目的変数、採集日および採集日と採集地点の交互作用を説明変数、採集地点を固定効果とするモデルを構築した。妥当な基底の次元数は、mgcv v.1.9.4によりk-indexと赤池情報量基準を算出し、それらに基づいて推定した。ヒジキの採集が計12回行われたため、基底の次元数は最大で12である。基底の次元数が6から12の範囲では、基底の次元数が12のときk-indexとそのp値が最も大きかったが、k-indexは1未満であった(Fig. S1A-D)。加えて、p値が全て0.05未満であった。そのため、k-indexが最大となるような基底の次元数が妥当だと単純に定めることはできなかった。この原因としては、同じ日に同じ地点で採集したサンプル間でも、主枝長と主枝湿重量のデータのばらつきが大きかったこと、あるいは採集日ごと、採集地点ごとのサンプル間で、データのばらつきの程度が異なっていたことなどが考えられる。次に、k-indexの値の変化に着目すると、全てのモデルにおいて、基底の次元数が10のとき、k-indexの増加の度合いが低下し、基底の次元数が10以上に増加しても値が大きく変化しなかった(Fig. S1A-D)。赤池情報量基準では逆に、基底の次元数が10のとき減少の度合いが低下し、基底の次元数が10以上に増加しても値が大きく変化しなかった(Fig. S2A-D)。よって基底の次元数が10から12の間では、モデルの実測値への当てはまりの良さがほぼ変わらないと推察された。そこで、モデルの過学習を防ぐために、全てのモデルにおいて、基底の次元数は10とした。また、基底の次元数が10のときのモデルの残差プロットを描き、モデルによる予測値がどのような値をとっても、残差のばらつきに明確な変動がみられないことを確認した(Fig. S3A-D)。採集地点間でのモデルの比較は、R v.4.4.2においてパッケージemmeans v.2.0.0(Lenth & Piaskowski 2025)のemmeans関数により行った。具体的には、モデルによる推定平均値であるEstimated marginal meansを地点ごとに算出したのち、Tukey法でp値を推定した。このとき、有意水準は5%とした。

ヒジキ群落上の温度

潮間帯のヒジキ群落上の温度(満潮時に水没したタイミングでは水温、干潮時に干出したタイミングでは気温)を記録するために、地点Dのヒジキ群落にて、ヒジキの付着器と同じ高さで1kgのダイビングウェイトに固定した

HOBO Pendant Temperature/Light 64K Data Logger (Onset Computer Corporation, MA, USA)を設置し、5分間隔で水温を記録した。ただし、ロガーの流出により、2022年5月19日から2022年9月13日の期間のみの記録となった。

結果

主枝長と主枝湿重量

4地点で採集した60株の主枝長(Fig. 2A)は、採集を開始した2022年7月12日および13日に観察期間における最大値の 340 ± 130 mmを示した。GAMでも2022年7月に最大値が観測され、それは7月27日で467 mmであった。翌月には 261 ± 143 mmとなり、7月からやや減少した。より大きな減少は8-9月に認められ、9月の主枝長は 53 ± 57 mmとなった。観察期間における主枝長の最小値は、測定値では10月11日および13日の 52 ± 24 mm、GAMの推定値では9月28日の41 mmであった。10月までは主枝の伸長が停滞し、その後、2023年5月の 184 ± 84 mmに至るまで主枝長の伸長傾向がみられたが、5-6月は主枝の伸長が停滞し、6月の主枝長は 182 ± 98 mmに留まった。これは、前年7月の半分程度の値であった。採集地点間の差異に注目すると、地点Dの主枝長のモデルによる推定平均値は、他の3地点と比べて有意に大きかった($p < 0.05$, Table S1, S2)。特に、2023年4-7月においてこの傾向が顕著であった(Fig. 2B)。主枝長が最長の時期でも地点差が認められ、地点A, C, Dでは2022年7月に主枝長が最長であったが、地点Bでのみ2022年8月に最長となった(Fig. 2B)。

4地点で採集した60株の主枝湿重量(Fig. 2C)は、2022年7月に観察期間における最大値の 16.6 ± 11.4 gであった。GAMでも2022年7月に最大値が観測され、それは7月26日の22.8gであった。翌月には 8.02 ± 7.65 g、9月には 0.94 ± 0.85 gと大幅な減少が続いた。その後、2022年12月まで主枝湿重量は微減した。主枝湿重量の最小値は観測値で12月22日の 0.57 ± 0.24 g、GAMの推定値で12月9日の0.53 gとなった。2023年1月には 1.51 ± 0.94 gと前月の3倍近い増加がみられたのち、2023年5月に 7.61 ± 5.68 gを記録するまで主枝湿重量は増加し続けた。その後、5-6月に主枝湿重量が停滞し6月は 6.44 ± 5.79 gであった。これは、前年7月の半分以下の値であった。同じ月の主枝湿重量を4地点で比べると、地点Dにおけるモデルによる推定平均値は、地点Aと比べて有意に大きかった($p < 0.05$, Table S3, S4)。また、月ごとの値の推移に着目すると、地点間で差異が認められた。具体的には、地点A, C, Dでは2022年7-8月に主枝湿重量が0.5倍以下に急減したが、地点Bでのみそれは0.93倍とほとんど減少しなかった(Fig. 2D)。

主枝の損傷および成熟

主枝損傷率は、2022年7月には31.7%、8月には65.0%となり、20%以下の他月を大きく上回った(Fig. 3A)。2022年7月に地点Dで損傷率が低かったこと、2022年8月に損傷率

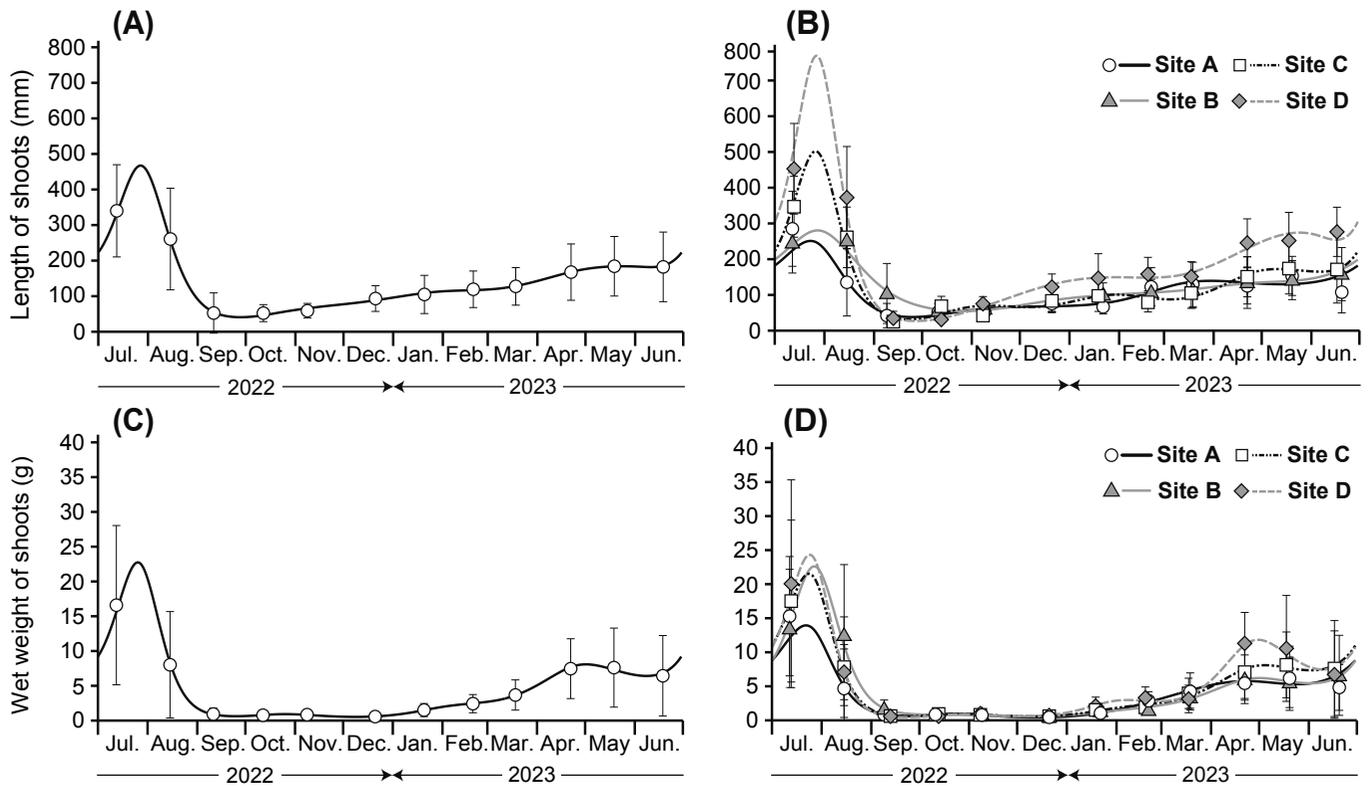


Fig. 2. Monthly changes in the length and wet weight of shoots of *Sargassum fusiforme* from July 2022 to June 2023 at the Cape Kattoshi in Hokuto, Hokkaido: mean shoot length of raw dataset of all sites with a line indicating estimated curve of generalized additive model (A) and those in the four sampling sites with lines indicating estimated curves of generalized additive model for each of four sampling sites (B), mean wet weight of raw dataset of all sites with a line indicating estimated curves of generalized additive model (C) and those in the four sampling sites with lines indicating estimated curves of generalized additive model for each of four sampling sites (D). Black vertical bars indicate the range of standard deviations for raw dataset.

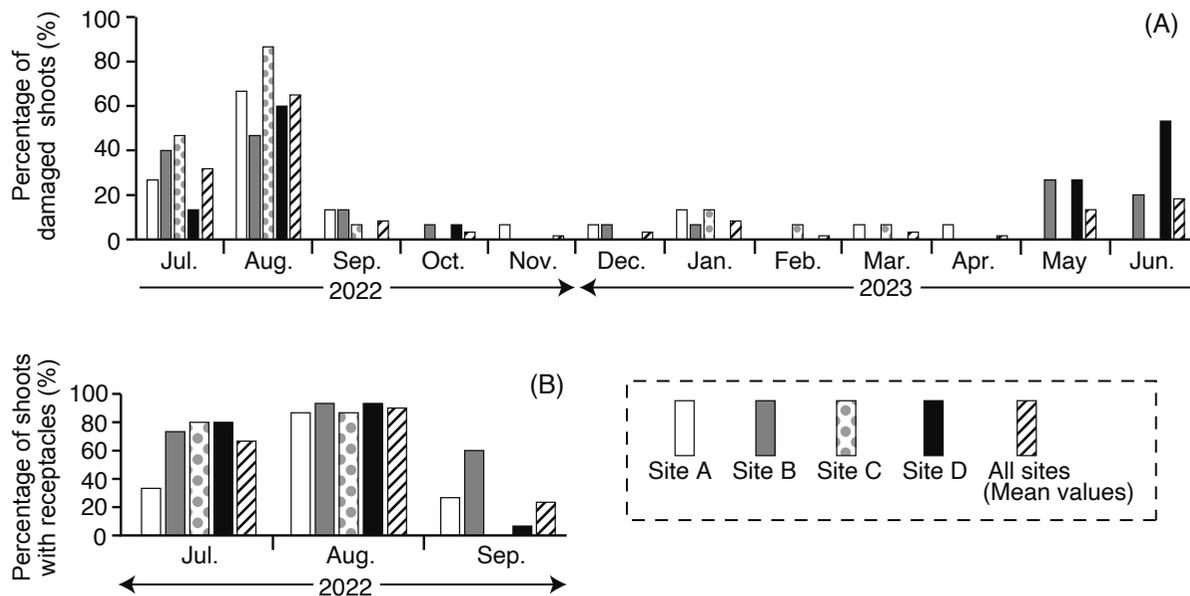


Fig. 3. Monthly changes in the percentage of damaged shoots (A) and shoots with receptacles (B) of *Sargassum fusiforme* at the Cape Kattoshi in Hokuto, Hokkaido.

が地点 B で低く C 地点で高かったこと、2023 年 5 月と 6 月に地点 B と地点 D で損傷率が高かったことを除き、地点間には著しい差異は認められなかった (Fig. 3A)。生殖器床形成率に地点間の差異は認められず、2022 年 7 月に 66.7%、2022 年 8 月に 90.0%、2022 年 9 月に 23.3% となった (Fig. 3B)。卵の放出は、2024 年は 8 月 8 日、2025 年は 8 月 10 日に確認された。

ヒジキ群落上の温度

ヒジキ群落上の温度を Fig. 4 に示す。日間平均温度は、2022 年 5 月下旬に 12.5–15.0°C、6 月に 13.0–17.7°C、7 月に 16.8–25.8°C、8 月に 21.6–24.6°C と上昇傾向が続いた。2022

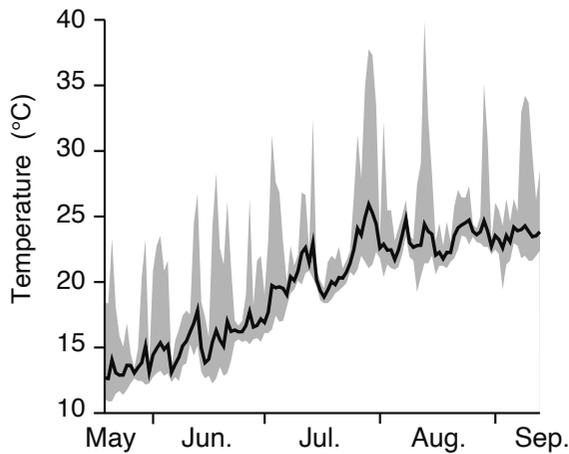


Fig. 4. Fluctuation of temperature recorded at *Sargassum fusiforme* beds in Site D at the Cape Kattoshi in Hokuto, Hokkaido. The gray area represents the daily temperature range, and the black line indicates the daily average.

年 9 月上旬の日間平均温度は 22.5–24.1°C であり、8 月とほぼ同じであった。日間最低温度と日間平均温度との差は最大でも 4.9°C であったのに対して、日間最高温度と日間平均温度との差ははるかに大きく、最大で 15.5°C であった。2022 年 7–9 月に日間最高温度が 30°C を超える日があり、8 月 13 日には干潮時に最高値 39.7°C を記録した。

考察

葛登支岬全体のヒジキの主枝長と主枝湿重量は、2022 年 7 月にともに最大値を記録し、2023 年 6 月よりも著しく大きな値であった。その後、2022 年の 7–8 月には 6 割以上の主枝が生殖器床を形成し、それは 9 月まで認められた。2024 年と 2025 年の観察から葛登支岬での卵放出は、8 月に発生しているようである。主枝損傷率については、2022 年 7–8 月が最大で、主枝長も短くなった。2022 年 10 月以降には小型の主枝のみが確認されたことから、10 月までに成熟後の主枝が枯死し次年度の主枝と入れ替わったと考えられる。

本邦の中心的天然ヒジキ産地である本州や九州に生育するヒジキでは、Table 1 に示すように、主枝長最長期が 5–7 月、生殖器床形成期が 5–8 月、および最長主枝長が約 400–800 mm であった (神奈川県小田和湾: 寺脇 1985, 福岡県志賀島: 長門・川口 2003, 宮城県寒風沢島: 百瀬ら 2006, 山口県周防大島: Yoshida & Shimabukuro 2017)。また、主枝損傷期は、5–8 月であった (寺脇 1985, 長門・川口 2003, 百瀬ら 2006, Yoshida & Shimabukuro 2017)。これらを本研究の結果と比較すると、葛登支岬のヒジキでは、春夏期の主枝の生長、損傷や生殖器床の形成といった季節的消長のサイクルが、本州や九州と比べて遅い傾向を示した。具体的には、主枝長最長期は、本州中部～九州と比べて 1–2 ヶ月遅く、本州北部の宮城県寒風沢島と同じであった。葛登支岬のヒジキで生殖器

Table 1. Comparison of the period of phenological events described in the present study and previous researches.

	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	MB Max. (mm)	SWT (°C)
Cape Kattoshi, Hokkaido Pref. ^(a)	-	-	-	max rcp dmg	- rcp dmg	- rcp	-	340 ± 130	8.4–14.6
Sabusawajima Isl., Miyagi Pref. ^(b)	-	-	-	max rcp dmg	- - dmg	- -	-	435	ca. 7.2–10
Odawa Bay, Kanagawa Pref. ^(c)	-	max rcp dmg	- rcp dmg	- rcp dmg	- -	- -	-	ca. 800	ca. 12–19
Suooshima Isl., Yamaguchi Pref. ^(d)	-	-	max rcp dmg	- rcp dmg	- -	- -	-	574	ca. 11–16
Shikanoshima Isl., Fukuoka Pref. ^(e)	-	-	max rcp	max rcp dmg	- rcp dmg	- -	-	409 ± 100	9.5–18.9

MB Max.: maximum of shoots, SWT: sea water temperature from January to May, max: the period of maximum in shoots, rcp: period of bearing receptacles, dmg: period of thalli with damages, (a): This study, (b): Momose *et al.* (2006), (c): Terawaki (1985), (d): Yoshida & Shimabukuro (2017), and (e): Nagato & Kawaguchi (2003).

床が形成されはじめる7月は、本州や九州のヒジキの生殖器床形成時期の後半にあたり、9月まで生殖器床が残存するのは葛登支岬のヒジキだけであった。また、最長主枝長は道南地域では本州や九州に比べて短い可能性があるが、近隣の産地でも環境条件によっては藻体サイズが変わることがある(長谷川 1949, 諏訪 2014)。また、GAMによる推定から、2022年7月の採集日(7月12日および13日)を過ぎた後も7月末(7月27日)ごろまで主枝の急激な伸長が継続し、主枝長が本州や九州のヒジキで観測されたものと同程度の400 mm以上に達する可能性が示唆された。とりわけ、葛登支岬の中でも主枝長が最大であったD地点では、観察期間の最大値(観測値: 463 ± 130 mm, GAMの推定値: 787 mm)が、本州や九州のヒジキと同程度であった。本研究の7月にD地点で採集したヒジキには、主枝長732 mmの個体が含まれていた。よって、北海道南部のヒジキの最大主枝長を理解するためには夏季に集中的な調査を実施する必要がある。

長崎県(桐山ら 2002, 2005)や徳島県(中西 2012)での事例のように、南日本ではアイゴ *Siganus fuscescens* (Houttuyn) を主として、ブダイ *Calotomus japonicus* (Valenciennes), ノトイスマミ *Kyphosus bigibbus* Lacepède などの植食性魚類による食害の影響で、ヒジキの藻体サイズが小型になる場合がある。しかしながら、葛登支岬を含め北海道沿岸には、ヒジキを食害する植食性魚類が分布しない(中坊 2000)。加えて、北海道における主要な植食動物であり磯焼けの持続要因となるキタムラサキウニ *Mesocentrotus nudus* (A. Agassiz) (例えば、藤田 1989, 名畑ら 1992) は、ヒジキが生育するような波あたりの強い環境を避ける(町口ら 1998, Yatsuya & Matsumoto 2023)。そのため、植食動物食害ではなく環境条件が、葛登支岬のヒジキの藻体サイズに影響を与えている可能性が高い。

葛登支岬のヒジキでは、本州や九州のヒジキより季節的消長のサイクルが遅れる原因は、低い温度をより長く経験することだと推察される。中国の分布域の高緯度に生育するヒジキでも、成熟時期が遅れる傾向が報告されている(曾・陸 2000)。低水温がヒジキに与える影響では、水温 15°C 以下で光合成効率が低下し生長が鈍い(森田ら 2014, Kokubu *et al.* 2015, 村瀬ら 2015) こと、生長期間の温度の累積が成熟時期に影響する(Zou *et al.* 2006) ことが明らかになっている。津軽海峡海域では、低水温期である1-5月の海水温がおおよそ $8-15^{\circ}\text{C}$ である(気象庁 海面水温 津軽海峡 2023年; <https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/db/kaikyoo/series/engan/txt/area115.txt>)。一方、本州中部~九州ではおおよそ $10-19^{\circ}\text{C}$ であり(寺脇 1985, 長門・川口 2003, Yoshida & Shimabukuro 2017), 津軽海峡沿岸では 15°C 以下の期間が長い。したがって、低水温期間が長期間であることにより、生長が遅れ、最大主枝長や成熟時期の遅延がみられると考えられる。なお、毎年、1-2月の夜の大潮でヒジキの表面が凍結することを筆者らは観察している。また、Table 1に示す通り、本州北部の宮城県寒風沢島周辺では、1-5月の海水温が津軽海峡と同等

かそれ以下であった(おおよそ $7.2-10.0^{\circ}\text{C}$)。寒風沢島のヒジキでは、主枝長最長期は、葛登支岬のヒジキと同じく7月であった(百瀬ら 2006)。このことから、低水温期間は、主枝の生長をはじめとしたヒジキの季節的消長のサイクルに影響を与えているだろう。ただし、寒風沢島のヒジキの生殖器床形成時期は6-7月で、葛登支岬のヒジキよりも早い時期であったため、低水温期間と成熟の関連性については、さらなるデータを蓄積して検証することが必要である。また、南日本での研究(寺脇 1985, 長門・川口 2003, Yoshida & Shimabukuro 2017)で報告された水温の最高値(日間および月間平均値, $26-28^{\circ}\text{C}$)は、葛登支岬で観測された水温の最高値(日間平均値, 24.6°C)よりも少し高かったため、夏季の水温の差が、ヒジキの季節的消長のサイクルに影響する可能性があるが、本研究を除けば、干出時も含めたヒジキ群落上の温度を計測した例はない。葛登支岬においては、夏季にヒジキ群落が干出したタイミングで、日間平均値よりも 10°C 以上高い温度だった場合があり、 30°C を超える温度も計測された。夏季の温度と季節的消長のサイクルとの関連を詳細に明らかにするためには、他の地域でも、干潮時を含めたヒジキ群落上の温度の計測が必要であると考えられる。

葛登支岬のヒジキでは、2022年の9-12月、および2023年の5-6月に主枝長や主枝湿重量の変化がほとんどなく、生長が停滞していたとみられる。ホンダワラ属(*Sargassum*)では、南日本において、高水温(鹿児島県指宿市のイソモク *Sargassum hemiphylum* (Turner) C. Agardh; 倉堀ら 2022, 鹿児島県種子島のタマナシモク *Sargassum nipponicum* Yendo; Endo *et al.* 2024) や植食性魚類による食害(ヒジキ: 桐山ら 2002) の影響により、秋季の成長停滞が引き起こされたとみられる事例が存在する。ヒジキの北限分布域である北海道南部の葛登支岬においては、干潮時に 30°C 以上の温度が記録された2022年9月を除けば、ヒジキがダメージを受けるような高水温にさらされる頻度は低い。そのうえ、植食性魚類が分布しない。それにもかかわらずヒジキの秋季における生長停滞が確認されたことは注目に値する。また、本邦の他地点のヒジキにおいては、秋季の生長停滞がみられる場合(福岡県志賀島: 長門・川口 2003) とみられない場合(神奈川県小田和湾: 寺脇 1985, 宮城県寒風沢島: 百瀬ら 2006, 山口県周防大島: Yoshida & Shimabukuro 2017) の両方があり、地域的な傾向が不明である。加えて、数百 m の範囲に、秋季の生長停滞がみられる地点とみられない地点の両方が存在する事例(和歌山県串本: 諏訪 2014) があることから、生育地の基質や波浪などの環境条件、生育地に存在する植食動物の量や種組成といった、生育地ごとの局所的な条件が秋季の生長停滞に影響を与えていることが推測される。しかしながら、具体的にどの条件の影響が大きいのか検証した研究はなく、今後の検討が待たれる。一方で春季の生長停滞については、本州中部~九州のヒジキにおいても一貫している(神奈川県小田和湾: 寺脇 1985, 福岡県志賀島: 長門・川口 2003, 山口県周防大島: Yoshida & Shimabukuro 2017)。宮城県寒風沢

島のヒジキでは(百瀬ら 2006), 1-4月のデータを欠いているため, 春季の生長停滞が起きていたのか判断できなかった。春季の生長停滞が起こる理由として, 全国的に, 春季の大潮期間において日中の干潮時に著しく潮位が低下する可能性が挙げられる(久保田 2006)。潮間帯に生育するヒジキは乾燥への耐性が高いものの, 長期間の乾燥と強光条件が重なった場合には, 光化学系への不可逆的なダメージが生じることが示されている(Yonemori *et al.* 2023)。

葛登支岬のヒジキについて, 採集地点間の差異に着目すると, 地点Dのヒジキの主枝長が他の3地点全てよりも有意に長く, 2023年の4-7月に他地点との差が最も顕著であった。葛登支岬に隣接する茂辺地地先においても同様に, 3-6月にかけて, 数百m離れた地点に生育するヒジキの主枝長にばらつきが見られたようである(長谷川 1949)。ヒジキと同じく潮間帯に生育するホンダワラ属では, 野外環境下において形態に影響を与える要素の特定が試みられており, *Sargassum polyceratum* Montagneにおける形態および生育密度と波あたりの強さとの関連(Engelen *et al.* 2005)や, ウミトラノオ *Sargassum thunbergii* (Mertens ex Roth) Kuntzeにおける形態と様々な環境条件の複合条件との関連(Kim *et al.* 2022)が示唆されている。よってヒジキについて, 形態, 生育密度, 環境条件の関連を包括的に調査する必要がある。また, 地点Bでは, 主枝長が最長となる時期が, 地点A, C, Dよりも1ヶ月遅い2022年8月で, 主枝損傷率も最も低かった。加えて, 2022年7-8月の主枝湿重量の減少の度合いが, 地点A, C, Dよりも著しく小さかった。培養実験では32°Cを超えるような高い温度が主枝の損傷や枯死の原因となったこと(村瀬ら 2015), 葛登支岬のヒジキ群落上では実際に夏季の干潮時において32°C以上の温度が計測されたことから, 地点Bの岩盤の局所的な構造により, 地点A, C, Dよりも水温が低かったことや, ヒジキ群落が干出する時間が短かったことが推定される。また, ヒジキでは基本的に成熟と主枝の損傷・枯死が連動するもの(寺脇 1985, 長門・川口 2003, 百瀬ら 2006, Yoshida & Shimabukuro 2017), 生長の遅延が認められた地点Bの卵放日, 地点A, C, Dの卵放日と同じであった。よって, 成熟と主枝の損傷・枯死の連動と関連したプロセスに要する期間は一定ではなく, 局所的なスケールで多少異なる可能性が示唆される。今後, このような局所スケールのばらつきも考慮して, ヒジキの季節的消長をより詳細に明らかにするためには, 1つのヒジキ群落の内部において, 温度や標準海面からの高さなど, 局所的な環境条件の違いに着目し, これらが季節的消長におよぼす影響を比較検証する必要がある。

本研究では, 本邦の北限分布域である北海道南部の葛登支岬に生育するヒジキの季節的消長の特徴が, 本邦の他地点に生育するヒジキと比較して, 1-2ヶ月遅い季節的消長のサイクルを示すこと, 藻体サイズが小型である可能性を明らかにした。このような北海道南部のヒジキの季節的消長に関する特徴は, 北限分布域ゆえの低水温期間の長さに関与すること

が示唆された。加えて, 局所的な環境条件の差異が, ヒジキの生育密度や形態, 季節的消長に影響を与えている可能性が考えられた。本研究で得られた情報は, 北海道南部における天然ヒジキの持続可能な安定生産を可能とするための, 適切な採藻地や採藻時期を具体的に定めることに寄与するものと考えられる。

謝辞

ヒジキの観察や採集を許可して下さった上磯漁業共同組合はまなす支所の皆様, 野外調査にご協力いただいた北海道大学水産学部海藻学教室の皆様感謝申し上げます。本研究の一部は, 公益信託ミキモト海洋生態研究助成基金(助成番号 Grant no. 091-30-3)およびJST次世代研究者挑戦的研究プログラムJPMJSP2119の支援を受けて遂行された。

引用文献

- Cai, J., Lovatelli, A., Aguilar-Manjarrez, J. *et al.* 2021. Seaweeds and microalgae: an overview for unlocking their potential in global aquaculture development. FAO Fisheries and Aquaculture Circular 1229.
- Chen, H., Zhang, L., Long, X. *et al.* 2017. *Sargassum fusiforme* polysaccharides inhibit VEGF-A-related angiogenesis and proliferation of lung cancer in vitro and in vivo. *Biomed. Pharmacother.* 85: 22-27.
- Chen, X., Nie, W., Yu, G. *et al.* 2012. Antitumor and immunomodulatory activity of polysaccharides from *Sargassum fusiforme*. *Food Chem. Toxicol.* 50: 695-700.
- Endo, H., Kodama, M., Kawashima, R. *et al.* 2024. Tissue-specific tolerance to high-temperature and nutrient-poor conditions in a canopy-forming macroalga, surviving at an ocean warming hotspot. *Plants* 13: 1689.
- Engelen, A. H., Åberg, P., Olsen, J. L., Stam, W. T. & Breeman, A. M. 2005. Effects of wave exposure and depth on biomass, density and fertility of the furoid seaweed *Sargassum polyceratum* (Phaeophyta, Sargassaceae). *Eur. J. Phycol.* 40: 149-158.
- Fan, S., Yu, G., Nie, W., Jin, J., Chen, L. & Chen, X. 2018. Antitumor activity and underlying mechanism of *Sargassum fusiforme* polysaccharides in CNE-bearing mice. *Int. J. Biol. Macromol.* 112: 516-522.
- FAO 2025. Fishery and Aquaculture Statistics - Yearbook 2022. FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics. FAO. Rome. doi.org/10.4060/cd4312en
- 藤田大介 1989. 北海道大成町の磯焼け地帯の海藻の分布. *南紀生物* 31: 109-114.
- 福原英司 1959. 北海道におけるヒジキの分布について. *北水試月報* 16: 76-78.
- 長谷川由雄 1949. ヒジキの増殖に関する生態学的研究. *北水試研報* 1: 25-31.
- Hwang, E. K., Choi, H. G. & Kim, J. K. 2020. Seaweed resources of Korea. *Bot. Mar.* 63: 395-405.
- 伊藤龍星 2009. 挟み込み法によるヒジキ養殖技術の確立と種苗生産技術開発. *海洋と生物* 185: 667-671.
- 伊藤龍星 2013. 褐藻ヒジキ *Sargassum fusiforme* の挟み込み養殖と人工種苗生産に関する研究. *大分県農林水産セ研報* 3: 21-56.

- Kim, S., Choi, S. K., Van, S., Kim, S. T., Kang, Y. H. & Park, S. R. 2022. Geographic differentiation of morphological characteristics in the brown seaweed *Sargassum thunbergii* along the Korean coast: A response to local environmental conditions. *J. Mar. Sci. Eng.* 10: 549.
- 桐山隆哉・藤井明彦・藤田雄二 2005. 藻食性魚類によるヒジキの摂食と摂食痕の特徴. *水産増殖* 53: 355–365.
- 桐山隆哉・藤井明彦・四井敏雄 2002. 長崎県下で広く認められたヒジキの生育阻害の原因. *水産増殖* 50: 295–300.
- Kokubu, S., Nishihara, G. N., Watanabe, Y., Tsuchiya, Y., Amamo, Y. & Terada, R. 2015. The effect of irradiance and temperature on the photosynthesis of a native alga *Sargassum fusiforme* (Fucales) from Kagoshima, Japan. *Phycologia* 54: 235–247.
- 久保田効 2006. 彼岸潮は年極小. *海の気象* 51: 18–25.
- 倉堀宇弘・島袋寛盛・猪狩忠光・寺田竜太 2022. 鹿児島湾産ホンダワラ属藻類2種、イソモクとコナフキモク（ヒバマタ目）の季節的消長と生育環境. *日本水産学会誌* 88: 12–19.
- Lenth, R. & Piaskowski, J. 2025. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least Squares Means. R package version 2.0.0. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- Li, Y. T., Chen, B. J., Wu, W. D. *et al.* 2018. Antioxidant and antimicrobial evaluation of carboxymethylated and hydroxamated degraded polysaccharides from *Sargassum fusiforme*. *Int. J. Biol. Macromol.* 118: 1550–1557.
- Ma, Y., Ma, J., Li, Y. *et al.* 2025. Structural characterization of a fucoidan from *Sargassum fusiforme* and its antagonistic effect on T cell proliferation-inhibition induced by CAFs. *Int. J. Biol. Macromol.* 318: 145107.
- 町口裕二・山下卓也・伊東公人・谷野賢二 1998. 岩礁性底棲生物の波浪環境下における棲み場の評価……ウニ稚仔について. *海洋開発論文集* 14: 35–40.
- 百瀬陽介・伊藤絹子・吾妻行雄・谷口和也 2006. 褐藻ヒジキの光強度、水温、塩分濃度に対する光合成特性～付着珪藻の着生との関係～. *水産増殖* 54: 383–390.
- 森田晃央・小黑敏行・斎藤洋一ら 2014. ヒジキ幼体の生長と形態形成におよぼす水温の影響. *藻類* 62: 93–98.
- 村瀬昇・阿部真比古・野田幹雄・杉浦義正 2015. 山口県沿岸のヒジキの生育適温と生育上限温度. *水産大学校研究報告* 63: 238–243.
- 名畑進一・阿部英治・垣内政宏 1992. 北海道南西部大成町の磯焼け. *北水試研報* 38: 1–14.
- 長門祐子・川口栄男 2003. 主枝重量の変動からみた九州北岸志賀島におけるヒジキの季節的消長. *日本水産学会誌* 69: 30–35.
- 中坊徹次 2000. 日本産魚類検索 全種の同定, 第二版. 東海大学出版会, 神奈川.
- 中西達也 2012. 牟岐町地先におけるヒジキの生育不良原因. *徳島水研報* 8: 23–26.
- 岡村金太郎 1936. 日本海藻誌. 内田老鶴圃, 東京.
- Pang, S. J., Shan, T. F., Zhang, Z. H. & Sun, J. Z. 2008. Cultivation of the intertidal brown alga *Hizikia fusiformis* (Harvey) Okamura: Mass production of zygote - derived seedlings under commercial cultivation conditions, a case study experience. *Aquacult. Res.* 39: 1408–1415.
- R Core Team 2024. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- 瀬川宗吉 1956. 原色日本海藻図鑑. 保育社, 大阪.
- Shimabukuro, H., Terawaki, T. & Yoshida, G. 2016. *Sargassum fusiforme* (Fucales, Phaeophyceae) has no characteristic stem in the genus *Sargassum*. *J. Jpn Bot.* 91: 32–39.
- 須藤俊造 1951. ヒジキの株の成長について. *日本水産学会誌* 17: 13–14.
- 諏訪剛 2014. 和歌山県串本町姫の鯖島と仙右エ門出シで観察されたヒジキの生長特性. *Algal Resour.* 7: 61–65.
- 寺田竜太・進藤蒼・田中美和・江崎聡 2021. 鹿児島県長島における藻場の長期変化, 特に東シナ海に面した沿岸からの藻場の消失. *日本水産学会誌* 87: 631–641.
- 寺脇利信 1985. 三浦半島小田和湾におけるヒジキの生長と成熟. *水産増殖* 33: 115–118.
- 曾呈奎・陸保仁 2000. 中国海藻志 第三卷 褐藻門 第二冊 墨角藻目. 科学出版社, 北京 (in Chinese).
- Wang, W., Lu, J. B., Wang, C. *et al.* 2013. Effects of *Sargassum fusiforme* polysaccharides on antioxidant activities and intestinal functions in mice. *Int. J. Biol. Macromol.* 58: 127–132.
- Wood, S. N. 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *J. R. Stat. Soc. Ser. B Stat. Methodol.* 73: 3–36.
- 山田幸男・木下虎一郎 1948. 北海道海産動植物図譜 海藻篇 第2輯. 北海道水産試験場, 札幌.
- Yatsuya, K. & Matsumoto, Y. 2023. Grazing pressure of sea urchin *Mesocentrotus nudus* estimated from seawater temperature and wave height, and its effects on the early growth of annual kelp *Saccharina japonica* in northeastern Japan. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 569: 151953.
- Yendo, K. 1907. The Fucales of Japan. *Journal of the College of Science, Tokyo Imperial University* 21: 1–174.
- Yonemori, Y., Kokubu, S., Nishihara, G. N., Endo, H. & Terada, R. 2023. The effects of desiccation and salinity gradients on the PSII photochemical efficiency of an intertidal brown alga, *Sargassum fusiforme* from Kagoshima, Japan. *Phycol. Res.* 71: 3–12.
- Yoshida, G. & Shimabukuro, H. 2017. Seasonal population dynamics of *Sargassum fusiforme* (Fucales, Phaeophyta), Suo-Oshima Is., Seto Inland Sea, Japan—development processes of a stand characterized by high density and productivity. *J. Appl. Phycol.* 29: 639–648.
- Yu, M., Ji, Y., Qi, Z. *et al.* 2017. Anti-tumor activity of sulfated polysaccharides from *Sargassum fusiforme*. *Saudi Pharm. J.* 25: 464–468.
- Zou, D., Gao, K., & Ruan, Z. 2006. Seasonal pattern of reproduction of *Hizikia fusiformis* (Sargassaceae, Phaeophyta) from Nanao Island, Shantou, China. *J. Appl. Phycol.* 18: 195–201.

(2025年10月24日受付, 2026年1月28日受理)

通信担当編集委員: 倉島彰

補足資料

日本藻類学会の Web サイト上で論文と同時に公開される。

- Fig. S1. Values of k-index at each basis dimension.
- Fig. S2. Values of Akaike information criterion at each basis dimension.
- Fig. S3. The plots of deviance residuals against linear predictors estimated from generalized additive models.
- Table S1. Values of estimated marginal means of shoot length in four sampling sites.
- Table S2. Results of *p*-values from Tukey's test for shoot length in four sampling sites.
- Table S3. Values of estimated marginal means of wet weight of shoots in four sampling sites.
- Table S4. Results of *p*-values from Tukey's test for wet weight of shoots in four sampling sites.