

資料

静岡市駿河区沿岸に生育する アカモクの成熟に伴う 粘質多糖およびフコキサンチン含有量の変化

二村和視*1・山崎資之*1・早川 優*2・高柳正夫*2・小泉鏡子*1・石原賢司*3

Changes in mucilage polysaccharide and fucoxanthin contents with the maturation of
Sargassum horneri growing along the coast of Suruga-ku, Shizuoka City

Kazumi NIMURA, Motoyuki YAMAZAKI, Yu HAYAKAWA, Masao TAKAYANAGI,
Kyoko KOIZUMI and Kenji ISHIHARA

A large population of *Sargassum horneri* exists in the wave-extinguishing block zone installed on the coast of Sekibe and Mochimune, Suruga-ku (south of Shizuoka City). We measured the content of crude fucoidan, alginic acid, and fucoxanthin at each maturation period to examine their utility value as food ingredients. Alginic acid and fucoxanthin contents were found to decrease with maturation, whereas crude fucoidan content increased with maturation and the receptacles of *S. horneri* showed, high values at all periods of maturation. These results indicated that the *S. horneri* in the study area had a high crude fucoidan content, while the contents of alginic acid and fucoxanthin were the same as those in other areas.

キーワード：アカモク, 成熟, 粘質多糖, フコキサンチン
2021年12月28日受付 2022年3月18日受理

静岡市南部に位置する駿河区石部および用宗地区の地先に設置された消波ブロック帯にはアカモク *Sargassum horneri* が多量に繁茂している。アカモクは褐藻綱ホンダワラ科ホンダワラ属に属する海藻であり、北海道から九州、および朝鮮半島、中国の沿岸に分布している（吉田 1998）。特に日本海沿岸では“ぎばさ”や“ながも”などの名称で呼ばれ、藻体を湯通した後に包丁で細かく刻むことでシャキシャキした食感のほか、特有の粘りが生じたものを食用としてきた。これらの地域では、以前には冬季に野菜の代用として珍重されてきた（戸松 2005, 池原 1987）。アカモクはフコイダン、アルギン酸等の

褐藻特有の粘質多糖を含み（木村ら 2007, 黒田ら 2008, 森山 2020）、これらは健康機能性を有することが知られている（山田 2000, 山田 2006）。また褐藻に含まれるカロテノイド類であるフコキサンチンでは抗酸化、抗肥満、脂質代謝改善などの機能性が知られている（金沢 2012）。近年では、従来は食用利用されていなかった福岡県や京都府でも食用利用されるようになったほか（篠原ら 2009, 西垣・道家 2014）、神奈川県では「鎌倉あかもく」としてブランド化されている。

アカモクが静岡市駿河区沿岸に分布することは知られているが（澤田 2000, 小西・林田 2004, 澤田 2008, 金原ら

*1 静岡県水産・海洋技術研究所
〒425-0032 静岡県焼津市鯛ヶ島 136-24
Shizuoka Prefectural Research Institute of Fishery and Ocean, Yaizu, Shizuoka 425-0032, Japan
Email: kazumi1_nimura@pref.shizuoka.lg.jp
*2 国立大学法人東京農工大学大学院農学府
*3 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所 横浜庁舎

2013), 成熟時期や粘質多糖の含有量等に関する報告はない。アカモクは松島湾, 瀬戸内海, 若狭湾では同じ湾内でも海域により成熟時期が異なることや(五十嵐・部 1995, Yoshida *et al.*, 2001, 西垣・道家 2014), 福岡県産のアカモクでは成熟時にフコイダン等の粘質多糖の含有量が変化することが知られている(木村ら 2007, 黒田ら 2008)。本研究では, 静岡市駿河区沿岸に産するアカモクについて, 各成熟時期の粗フコイダン, アルギン酸およびフコキサンチン含有量について調べた。

材料と方法

材料のアカモクは 2019 年 2 月から 4 月まで, 静岡市駿河区石部地区地先の定点(北緯 34°54'55.8", 東経 138°21'34.5")付近において計 5 回, Standup Paddle Board を用いて海上から観察, 採集した(表 1)。成熟の状態は黒田ら(2008)を参考に, 未成熟, 成熟 I (生殖器官である生殖器床は確認できるが未発達), 成熟 II (雌雄の生殖器床が十分伸長し, 雌個体から放卵可能), 衰退期(放卵後で流出直前)の 4 段階とし, それぞれ 2 月 7 日, 3 月 15 日, 4 月 7 日, 4 月 27 日に採集したサンプルを分析に供した。なお, 採集部位は, 通常食用に供される藻体の先端部とした。藻体の先端部は海面付近にあり, 船上で収穫しやすいことも, 対象とした理由である。採集したアカモクは -40°C で凍結し, 凍結乾燥機(FDU-1100, 東京理化学器械株式会社)により減圧下で凍結乾燥させた。乾燥物を家庭用電動ミル(岩谷産業株式会社)により粉末化し, 各試験に供した。また, 成熟したアカモクについては雌雄を判別後, 乾燥物の一部を生殖器床とそれ以外の部位(葉, 気胞, 枝)に分け, 再度凍結乾燥して乾燥重量を測定した後, 分析に供した。なお, 未成熟藻体は外見から雌雄の区別がつかないため, 雌雄を分けずに扱った。

粗フコイダンおよびアルギン酸含有量は, 木村ら(2007)の方法に従い測定した。それぞれ成熟段階毎の測定は各 3 検体を分析し, 平均値±標準偏差で表記した。生殖器床とそれ以外の部位に分けた検体については各サンプル 2 検体を分析し, 平均値を表記した。総フコキサンチン含有量は Terasaki *et al.*(2009)に従い, 高速液体クロマトグラフィーを用いて各

表 1. 2019 年の静岡市駿河区でのアカモク採集状況

採集年月日	採集サンプルの成熟状況
2019年 2月 7日	未成熟*
2月26日	未成熟(一部成熟 I)
3月15日	未成熟, 成熟 I *
4月 7日	成熟 I、成熟 II *
4月27日	衰退期 *

* 分析に供したサンプル

サンプル 2 検体を分析した。これにより得られたフコキサンチンおよびフコキサンチン異性体の量を合計し, 総フコキサンチン含有量を平均値として表記した。

粗フコイダンおよびアルギン酸での成熟段階毎の平均値の差は, 統計解析ソフト SPSS (ver.16.0) を用いて, Tukey HSD により検定した。

結果および考察

粗フコイダン含有量は未成熟藻体では乾燥重量当たり 2.6±0.6g/100g であったが, 成熟 II になると雄では 7.2±0.2g/100g, 雌では 11.7±1.8g/100g となり, 雌では有意に増加した(表 2)。

表 2. アカモクの雌雄, 成熟段階の粗フコイダン含有量 (g/100g)

成熟段階	雄	雌
未成熟	2.6 ± 0.6 ^a	
成熟 I	7.2 ± 0.2 ^{ab}	11.7 ± 1.8 ^{bc}
成熟 II	10.7 ± 1.3 ^{bc}	15.5 ± 4.2 ^c
衰退期	12.6 ± 0.8 ^c	12.9 ± 1.0 ^c

(平均値±標準偏差, n=3, tukey HSD, p<0.05)
異なる符号は有意差を表す

その後, 成熟 II では雌雄共に未成熟期に比べて有意に増加し, 雄では 10.7±1.3g/100g, 雌では 15.5±4.2g/100g を示した。衰退期は雌雄共に成熟 II と差はなく, 12.6~12.9g/100g であった。また, 部位別の粗フコイダン含有量はすべての成熟段階において雌雄共に, 生殖器床で葉・気胞・枝に比べて高い傾向がみられた(表 3)。

表 3. アカモクの部位別の粗フコイダン含有量 (g/100g)

成熟段階		部位	
		葉・気胞・枝	生殖器床
雄	成熟 I	2.7	14.1
	成熟 II	4.9	16.8
	衰退期	6.8	19.7
雌	成熟 I	3.1	31.4
	成熟 II	3.5	24.5
	衰退期	6.4	20.3

(平均値, n=2)

食用にする際に重要な粘りについては, 未成熟藻体では粘りがなく, 成熟後の藻体では目視で粘りが確認できた。生殖器床の粗フコイダン含有量は成熟 I, 成熟 II で 14.1~31.4%と

高く (表 3), 成熟した藻体において, 生殖器床の乾燥重量比は, 成熟I, 成熟IIで 37.4 ~ 58.3%と乾燥重量の約半分を占めることから (表 4), 成熟藻体における高い粗フコイダン含有量は, 主に生殖器床に含まれる粗フコイダンに由来するものと考えられた。福岡県産アカモクでは, 粗フコイダンの蓄積は成長よりも成熟に関連しているとされ (木村ら 2007), 大部分は生殖器床に含まれていた (黒田ら 2008)。本研究から, 生育地が大きく異なる静岡県産のアカモクでも, 福岡県産と同様の現象が確認できた。

アルギン酸含有量は, 未成熟藻体で $31.4 \pm 3.4\text{g}/100\text{g}$ と含有量が最も高く, 成熟後は $17.0 \sim 26.1\text{g}/100\text{g}$ にまで減少した (表 5)。特に成熟IIの雌で低い値を示した。部位別のアルギン酸含有量は, 生殖器床でそれ以外の部位よりも低い含有量を示した (表 6)。これらの結果から, 生殖器床のアルギン酸含有量の低さが可食部全体に影響していたと考えられる。

アルギン酸含有量については, 福岡県産および三重県産アカモクにおいても, 乾燥重量あたり $26.7 \sim 34.1\text{g}/100\text{g}$ (木村ら 2007), 乾燥重量比 18 ~ 33% (浅川ら 1984) の範囲と変動が比較的小さいこと, 成熟した藻体の枝葉部で生殖器床の2倍の含有量であることが報告されている (黒田ら 2008)。本研究においても, アルギン酸含有量の変動は粗フコイダンに比べて小さく (表 5, 6), また未成熟藻体および成熟藻体の葉・気泡・枝に多く含まれる傾向があった。

生殖器床の粗フコイダンおよびアルギン酸含有量は雌雄で異なっていた (表 2, 5)。この理由は明らかではないが, 雌

表 4. アカモクの各部位が全体の乾燥重量に占める割合 (%)

成熟段階	部位	
	葉・気泡・枝	生殖器床
雄	成熟 I	41.5
	成熟 II	52.3
	衰退期	57.8
雌	成熟 I	37.4
	成熟 II	58.3
	衰退期	57.2

表 5. アカモクの雌雄、成熟段階毎のアルギン酸含有量 (g/100g)

成熟段階	雄	雌
未成熟	31.4 ± 3.4^a	
成熟 I	24.4 ± 1.6^b	24.8 ± 2.5^b
成熟 II	26.1 ± 0.8^{ab}	17.0 ± 2.7^c
衰退期	23.5 ± 1.3^b	22.1 ± 1.1^{bc}

(平均値±標準偏差, n=3, tukey HSD, $p < 0.05$)
異なる符号は有意差を表す

表 6. アカモクの部位別のアルギン酸含有量 (g/100g)

成熟段階	部位	
	葉・気泡・枝	生殖器床
雄	成熟 I	23.3
	成熟 II	22.7
	衰退期	23.1
雌	成熟 I	15.2
	成熟 II	14.5
	衰退期	22.0

(平均値, n=2)

性生殖器床では生殖器巢から長径 200 ~ 300 μm の卵を放出するのに対し, 雄性生殖器床に形成される生殖器巢からは数 μm の精子が放出されることから (寺脇 1993), 放出する生殖細胞の種類や大きさの違いにより, 生殖器官の構成も異なっていると推察された。

本研究により, 当海域のアカモクは 3月中旬に成熟し始め, 4月上旬に成熟期を迎えることが明らかとなった (表 1)。アカモクの成熟時期は個体群毎に遺伝的に固定されているエコタイプであると考えられている (Yoshida *et al.*, 2001)。これらから, 今後も遺伝的な特性が保たれると仮定すると, 静岡市駿河区産のアカモクは毎年同様の時期に成熟すると予想される。しかし, 環境要因により成熟時期が前後する可能性もあるため, 収穫前に成熟状態を確認する必要があると考えられた。また, 成熟した藻体は高いフコイダン含有量を示した (表 2-3)。成熟時期の藻体を食用利用することは, 再生産に重要な生殖器床を収穫することになる。よって, 今後, 当該地域での継続的なアカモクの利用を考える際には, 再生産に及ぼす影響を考慮しながら収穫を行う必要がある。

総フコキサンチン含有量は未成熟の場合, $103.1\text{mg}/100\text{g}$ であった (表 7)。その後, 成熟に伴って総フコキサンチン含有量は雌雄共に減少する傾向がみられ, 衰退期には雄および雌でそれぞれ $63.8, 67.9\text{mg}/100\text{g}$ まで減少した。北海道函館市産アカモクのフコキサンチン含有量について, $16.5\text{mg}/100\text{g}$ 新鮮物 (水分量 83.8%) と報告されている (金沢 2012)。こ

表 7. アカモクの雌雄、成熟段階毎の総フコキサンチン含有量 (g/100g)

成熟段階	雄	雌
未成熟	103.1	
成熟 I	126.7	96.3
成熟 II	84.4	75.8
衰退期	63.8	67.9

(平均値, n=2)

これは乾燥重量あたりに換算すると約 100mg/100g であり、本研究での未成熟および成熟初期の藻体の含有量と同等であった。フコキサンチンには各種の機能性が認められているが、藻体内ではフコキサンチン-クロロフィル-タンパク複合体を形成しており、クロロフィルが触媒となりフコキサンチンが分解されることが知られている（金沢 2012）。また、アカモクでは湯通し加工品の保存中に色調が大きく変わることが報告されており（篠原ら 2009）、今後は保存や加工による総フコキサンチン含有量の変化を明らかにする必要がある。

以上から、静岡市駿河区沿岸に産するアカモクは、粗フコイダン含有量が高く、またアルギン酸およびフコキサンチンも他の地域と同様に含まれていることが明らかになった。

謝 辞

サンプル調査等において御協力賜った清水漁協用宗支所故小林伸彰支所長並びに青壮年部の斉藤貴浩部長を始めとする部員の方々に、厚く御礼申し上げます。

文 献

- 浅川明彦・大和田紘一・田中信彦（1984）英虞湾周辺における褐藻類数種（アラメ、アカモク、マメダワラ、カゴメノリ）の主要化学成分の季節変動。養殖研報, 6, 65-69.
- 五十嵐輝夫・薮 太郎（1995）松島湾でみられたアカモクの冬季成熟群。宮城水セ研報, 14, 11-15.
- 池原宏二（1987）日本海沿岸における食用としてのホンダワラとアカモク。藻類, 35, 233-234.
- 金沢和樹（2012）生体内で有効な機能を発揮する褐藻カロテノイドのフコキサンチン。日本食品科学工学会誌, 59, 49-55.
- 金原昂平・米谷雅俊・芹澤（松山）和世・芹澤如比古（2013）駿河湾西岸、焼津市浜当目の海藻相とその近傍の温度環境。山梨大学教育人間科学部紀要, 15, 263-272.
- 木村太郎・上田京子・黒田理恵子（2007）福岡県大島産褐藻アカモク *Sargassum horneri* 中に含まれる多糖類の季節変動。日水誌, 73, 739-744.
- 小西由高・林田文朗（2004）駿河湾における海藻植生について。東海大学紀要海洋学部, 2, 15-27.
- 黒田理恵子・上田京子・木村太郎・赤尾哲之・篠原直哉・後川龍男・深川敦平・秋本恒基（2008）福岡県筑前海産褐藻アカモク *Sargassum horneri* の成熟と粘質多糖量の変化。日水誌, 74, 166-170.
- 森山 充（2020）福岡県雄島周辺における低利用海藻の粘質多糖含量。水産技術, 13, 9-12.
- 西垣友和・道家章生（2014）若狭湾西部海域におけるアカモク 2 個体群の生長および成熟。京都府農林水産技術センター海洋センター研究報告, 36, 1-5.
- 澤田 威（2000）駿河湾西岸の海藻。文化洞, 静岡, 135p.
- 澤田 威（2008）駿河湾西岸を主とした原色海藻図鑑。文化洞, 静岡, 151p.
- 篠原直哉・後川龍男・深川敦平・秋本恒基・上田京子・木村太郎・黒田理恵子・赤尾哲之（2009）福岡県大島産アカモク *Sargassum horneri* の成熟と湯通し加工品の品質との関係。日水誌, 75, 70-76.
- Terasakia M, Hirose A, Narayan B, Baba Y, Kawagoe C, Yasui H, Saga N, Hosokawa M, Miyashita K（2009）Evaluation of recoverable functional lipid components of several brown seaweeds (Phaeophyta) from Japan with special reference to fucoxanthin and fucosterol contents. *J. Phycol.*, 45, 974-980.
- 寺脇利信（1993）藻類の生活史集成 第2巻褐藻・紅藻類（堀輝三編）、内田老鶴圃、東京、pp. 160-161.
- 戸松 誠（2005）あかもく加工品「全国水産加工品総覧」（福田 裕、山澤正勝、岡崎恵美子監修）、光琳、東京、pp. 550-551.
- 山田信夫（2000）海藻利用の科学。成山堂書店、東京、pp. 85-136.
- 山田信夫（2006）海藻フコイダンの科学。成山堂書店、東京、176p.
- Yoshida G, Yoshikawa K, Terawaki T（2001）Growth and maturation of two populations of *Sargassum horneri* (Fuciales, Phaeophyta) in Hiroshima bay, the Seto inland sea. *Fish. Sci.*, 67, 1023-1029.
- 吉田忠生（1998）新日本海藻誌。内田老鶴圃、東京、pp. 386-387.