

山口県山口湾に自生する

カイガラアマノリ *Pyropia tenuipedalis* (Miura) Kikuchi et Miyata の生育環境阿部真比古^{1†}・村瀬 昇¹・畑間俊弘²・鹿野陽介²・金井大成²Environmental characteristics of *Pyropia tenuipedalis* (Miura) Kikuchi et Miyata growing at Yamaguchi Bay, Yamaguchi PrefectureMahiko Abe^{1†}, Noboru Murase¹, Toshihiro Hatama², Yosuke Shikano², Taisei Kanai²

Abstract : This study surveyed environmental characteristics of *Pyropia tenuipedalis* foliose thallus growing at Yamaguchi Bay, Yamaguchi Prefecture from November to March, 2010–2014. Young foliose thallus of this species appeared in December and grew to maximum length from January to March. In March, mature thalli were observed. In 2012–2013, only 3–10 individuals were found in each survey. Water temperature from November to March was the range of 6–16° C, but early December in 2012 was lower than other years. Light reaching to the growing site of this species was $6.2 \pm 3.1\%$ of water surface in high tide. DIN (ammonia + nitrate + nitrite) at the sampling site was the range of $8.8 - 68.3 \mu\text{mol L}^{-1}$, and approximately 10 times higher compared with those of waters which assume to cause the discoloration of Susabi ? nori. Water temperature falling rate from November to December in 2012–2013 was $0.33^\circ\text{C day}^{-1}$ and this was higher value than those of other years. In this study, it was suggested that the growth of thalli from spherical cell was inhibited by long or short term rapid water temperature falling which occurred from November to December.

Key words : *Pyropia tenuipedalis*, environmental characteristics, foliose thallus, temperature falling

緒 言

カイガラアマノリ *Pyropia tenuipedalis* (Miura) Kikuchi et Miyata は、ウシケノリ目ウシケノリ科アマノリ属の紅藻で、環境省のレッドリストで絶滅危惧 I 類に指定されている¹⁾。本種は、他のアマノリ類のように貝殻に穿孔した糸状体から殻胞子を放出し葉状体に生長するのではなく、貝殻に穿孔した糸状体上に形成された球形細胞から直接葉状体に生長する特異な生活史を有するアマノリ類であり^{2, 3)}、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海の大坂湾内や広島県沿岸において分布が確認されている。山口県では佐波川河口域、秋穂湾、山口湾樺野川河口域および厚東川河口域の干潟で確認されている^{4–7)}。本種は、一般的に漸深帯に生育し、干

出することはないが³⁾、山口湾の自生地は潮間帯であり、冬の大潮の真夜中ならば干出し、容易に採集できるというやや特異な環境にある⁶⁾。山口湾の河口域においては、以前より本種を「アカノリ」や「赤いノリ」として地元で食しており、現在日本で最も多く養殖に使用されているナラワサビノリ *Pyropia yezoensis* (Ueda) Hwang et Choi f. *narawaensis* Kikuchi, Niwa e Nakada⁸⁾ よりもアラニンの含有量が高いことが報告されている^{4, 9)}。山口県は地域特産の養殖対象種としてカイガラアマノリに着目し、本種の自生地において増養殖技術の開発試験を実施してきた^{10–24)}。そして、平成20年度には商品化に成功し、試験販売している。

カイガラアマノリは、天然での季節変動など生育特性は

1 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産大学校生物生産学科 (Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University)

2 山口県水産研究センター内海研究部 (Inland Sea Division, Yamaguchi Prefectural Fisheries Research Center)

† 別刷り請求先 abemahi@fish-u.ac.jp

十分に把握されていない。特に、他海域の生育地とは異なり、山口湾のカイガラアマノリは潮間帯に生育することから、その生育には潮汐による環境変化が強く影響していると考えられる。本海域においては、岸岡ら⁶⁾が本種の天然での出現状況を報告している。その後に開始された養殖試験において、カイガラアマノリを新たに生育させるための増養殖基盤の開発・改良も並行して行われているが、年度ごとの生産量の変動の要因が環境条件に由来するものか、基盤の開発・改善によるものなのかは十分に検討されていない¹⁰⁻²⁴⁾。そこで本研究では、山口湾に自生するカイガラアマノリを対象として、複数年にわたる現場調査を実施することにより、葉状体の出現と水温、光量などの無機環境および窒素、リンの栄養塩環境との関係を明らかにし、絶滅危惧種である本種の保全のための基礎的知見、あるいは山口湾や厚東川で実施されている本種の増養殖生産に資する知見を集積することを目的とした。

材料と方法

調査地点

調査地点は山口県の瀬戸内海に面した山口湾奥部の樫野川河口の干潟域に位置する (Fig. 1)。この調査地点では、

平成9～13年に山口県水産研究センターによってカイガラアマノリの分布調査が行われた際に生育が確認された⁶⁾。その後、本海域は漁業者によるカイガラアマノリ増養殖地として平成23年度まで使用されていた。

カイガラアマノリ葉状体の採集、生長の測定

カイガラアマノリ葉状体を、2011年1～3月、2012年1～3月、2012年12月～2013年3月および2013年12月～2014年1月に毎月1～2回の計17回、夜間干潮時に採集した。貝殻に付着している葉状体を目視により確認した後、葉状体が付着している貝殻を10～15個ランダムに採集し、水産大学校藻場生態系保全研究室に持ち帰った。貝殻から葉状体を丁寧に外し、葉長の長い方から葉状体10個体をケント紙に広げ、葉長および葉幅を測定し、葉長/葉幅比を算出した。なお、2012年12月～2013年3月および2013年12月は視認できる天然の葉状体が少なく、調査毎に3～10個体しか発見できなかった。また、2014年2月および3月は、海況等により葉状体のサンプリングができなかった。これまでの調査では、4月に葉長が数mmの小型の葉状体が残存していることが報告されている⁶⁾。

測定した葉状体においては、1～3月の各年度間でのTukey-Kramerの多重比較検定を行った。

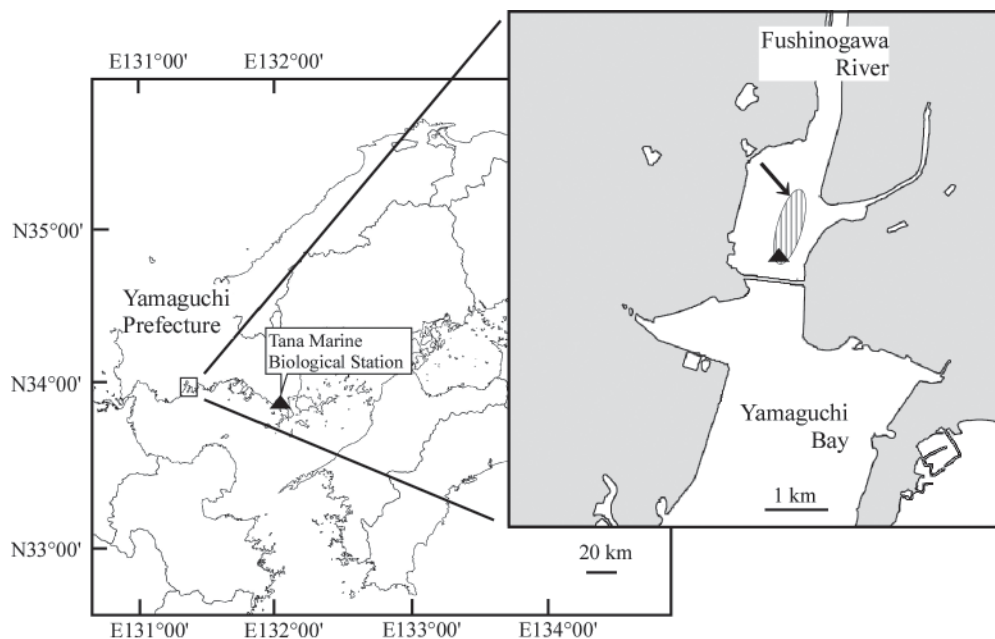


Fig. 1 Maps showing the sampling site (area indicated by arrow) and setting sites of the logger (▲) at Yamaguchi Bay (water) and Tana Marine Biological Station of National Fisheries University (air)

環境測定

調査海域の水温および照度を測定するために、データロガー（HOBO Pendant Temperature/Light Data Logger, Onset Computer Corporation, U. S. A）をC. D. L. (Chart Datum Line 潮位表基準面) 0 cm (N34° 02' 12.85", E131° 23' 25.24") に設置した。C. D. L.-10 ~ 0 cmは、本海域において岸岡ら⁶⁾ および岸岡・金井¹¹⁾ の分布調査で、カイガラアマノリが多く生育していた水深帯である。水温および照度の測定は、2010年11月25日~2011年3月9日、2011年11月25日~2012年3月9日、2012年11月25日~2013年3月9日および2013年11月25日~2014年3月9日に、5~60分間隔で行った。陸上照度は、調査地点から直線距離で東南東方向へ約63km離れた平生町に位置する水産大学校田名臨海実験実習場の屋上 (N33° 54' 48.47", E132° 03' 22.38") に同型データロガーを2010年12月16日~2012年10月4日まで設置し、5分間隔で記録した。照度は、光量子束密度に換算するために、本研究で使用したデータロガー（同上）、光量子センサー（LI-COR, LI-192SA）とライトメーター（LI-COR, LI-250A）および小型メモリー光量子計（JFEアドバンテック, DEFI-L）を用い、2015年12月22~23日の2日間の日射量の変化を10分間隔で測定した。データロガーおよび光量子計の測定値から $y = 0.0114x$ （ x : 照度, y : 光量子束密度）の換算式を作成し、照度を光量子束密度に換算した。また、本研究では、水中に設置したデータロガー表面への沈殿物や付着物を考慮し、水

中にデータロガーを設置あるいは交換した直後の2010年12月24~27日、2011年1月19~22日および2月18~21日のデータを採用し、陸上に設置したデータロガーについても同期間のデータを用いた。

調査海域におけるカイガラアマノリ葉状体出現期の栄養塩濃度を分析するために、2010年11月~2011年3月、2011年11月~2012年3月、2012年12月~2013年3月および2013年12月~2014年2月に毎月1~2回の計21回、夜間干潮時に底土から10cmほどの位置から採水を行った。採水試料はクーラーボックスと保冷剤を用いて低温下で水産大学校藻場生態系保全研究室に持ち帰り、ガラスフィルター（GF/C Whatman）でろ過後、リン酸態リン、アンモニア態窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素を分析した。リン酸態リンはアスコルビン酸法、アンモニア態窒素はサリチル酸塩法、硝酸態窒素はカドミウム還元法および亜硝酸態窒素はジアゾ化法を用いた。測定には吸光光度方式水質測定器（DR-2800, Hach Co. U. S. A.）を使用し、各項目とも3回測定した。測定結果は、リン酸態リンおよび溶存態無機窒素（DIN: アンモニア態、硝酸態、亜硝酸態窒素の総量）の濃度で示した。

結果

葉状体の季節生長

Fig. 2 には本調査期間中の2011年1月19日における調査地のカイガラアマノリ (a) および採集された葉状体 (b) を

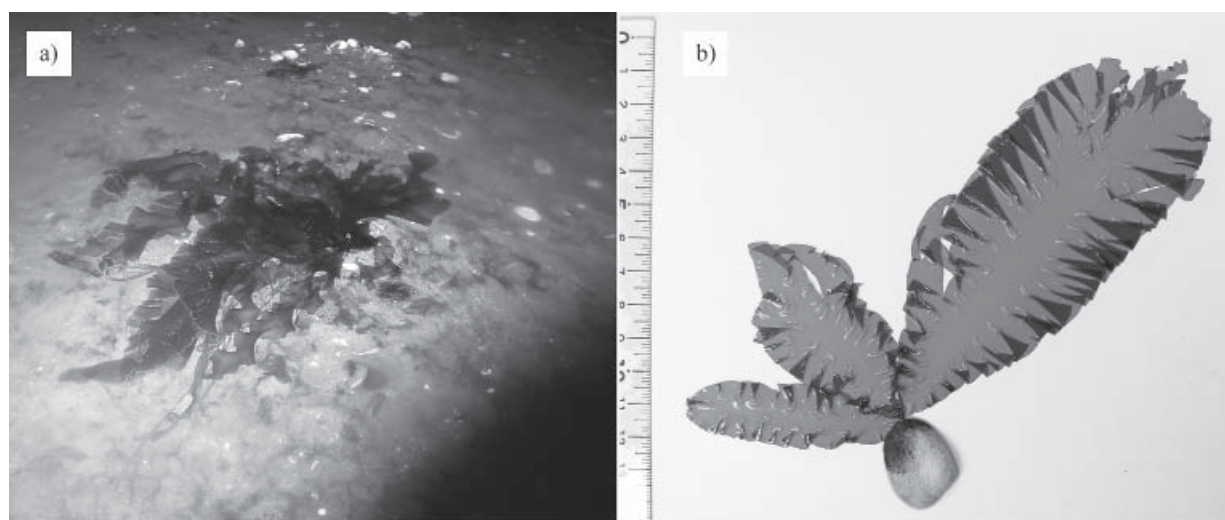


Fig. 2 *Pyropia tenuipedalis* foliose thallus growing in Yamaguchi Bay, Yamaguchi Prefecture (a) and collected samples (b) on January 19, 2011.

示した。採集した葉状体は全て貝殻に付着し、干出時には葉状体は底質上に張り付くような状態であった。Fig. 3 に2011年1～3月、2012年1～3月および2012年12月～2013年3月および2013年12月～2014年1月のカイガラアマノリ葉状体の葉長、葉幅および葉長/葉幅比を示した。2014年2月および3月は、海況等により葉状体のサンプリングができなかった。2011年1月19日では、葉長は 15.4 ± 4.5 (平均値 \pm 標準偏差) cm、葉幅は 5.0 ± 2.1 cm、葉長/葉幅比は 3.5 ± 1.4 で倒卵形から倒披針形を示した。2月4日には葉長は 24.6 ± 5.4 cmと伸長し、葉幅も 7.7 ± 2.9 cmと幅広くなった。その後、2月18日および3月3日では、葉長はそれぞれ 24.9 ± 5.2 cmおよび 23.2 ± 3.9 cm、葉幅はそれぞれ 8.5 ± 3.6 cmおよび 5.7 ± 1.7 cmと大きな差は認め

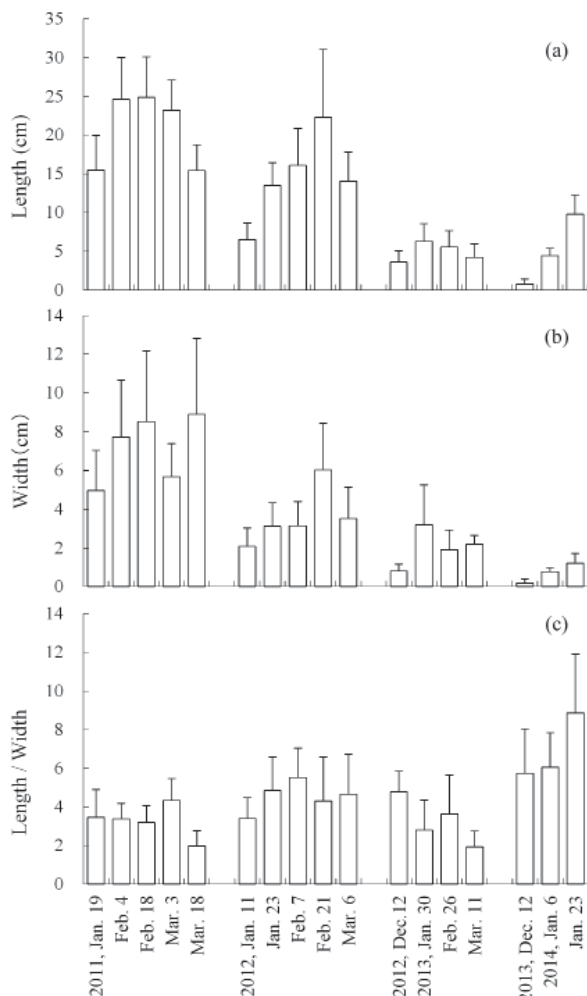


Fig. 3 Mean length (a), mean width (b) and length/width (c) of *Pyropia tenuipedalis* thalli collected at Yamaguchi Bay, Yamaguchi Prefecture, in 2010–2011, 2011–2012, 2012–2013 and 2013–2014. Bars indicate standard deviation

られなかった。3月3日には一部の葉状体に雌雄生殖細胞が観察された。3月18日にはほとんどの葉状体が成熟による崩壊を起こしており、葉長は 15.4 ± 3.3 cmと短くなった。葉幅は 8.9 ± 3.9 cmと大きな変化が認められなかったため、葉長/葉幅比は 2.0 ± 0.8 まで低下し、円形から倒卵形を示した。

2012年1月11日では、葉長は 6.5 ± 2.1 cm、葉幅は 2.1 ± 0.9 cmと前年度に比べて小型であったが、葉長/葉幅比は 3.4 ± 1.1 とほぼ同等であった。その後、2月21日まで葉長は 13.5 ± 2.9 cm、 16.1 ± 4.7 cm、 22.3 ± 8.8 cmと伸長し、葉幅も 6.0 ± 2.4 cmと幅広くなっていった。この間、葉長/葉幅比は $4.3 \pm 2.3 \sim 5.5 \pm 1.5$ の範囲にあった。3月6日には葉長が短くなり、一部の葉状体に雌雄生殖細胞が観察された。

2012年12月～2013年3月は視認された葉状体は著しく少なく、調査毎に3～10個体しか発見できなかった。2012年12月12日 (採集個体数 $n=6$) では、葉長は 3.6 ± 1.4 cm、葉幅は 0.8 ± 0.4 cmであった。2013年1月30日 ($n=10$) では、葉長は 6.3 ± 2.3 cm、葉幅は 3.2 ± 2.1 cm、葉長/葉幅比が 2.8 ± 1.6 と前年とほぼ同程度であった。しかしながら、その後の2月 ($n=8$) および3月 ($n=3$) においては、葉長がそれぞれ 5.5 ± 2.1 cmおよび 4.2 ± 1.8 cm、葉幅がそれぞれ 1.9 ± 1.0 cmおよび 2.2 ± 0.5 cmとほとんど生長しなかった。

2013年12月12日 ($n=5$) では、葉長は 0.8 ± 0.6 cm、葉幅は 0.2 ± 0.2 cm、葉長/葉幅比が 5.7 ± 2.3 と前年よりも小型で、倒披針形であった。その後、2014年1月には葉長は 4.5 ± 0.9 cmおよび 9.8 ± 2.5 cmと葉長を伸長させた。一方、葉幅は 0.8 ± 0.2 cmおよび 1.2 ± 0.5 cmと緩やかに生長したため、葉長/葉幅比が $6.1 \pm 1.8 \sim 8.9 \pm 3.0$ とやや線形に近い葉状体であった。

葉長および葉幅における1～3月の各月の年度間については、1月の葉長は2011年が有意に高く、2月および3月では2013年が有意に低くなった ($p < 0.05$)。また、葉幅については、1月は2011年が2012年および2014年に比べて有意に高く、2月および3月は2011年が2012年および2013年に比べて有意に高くなった ($p < 0.05$)。

水温の変動

Fig. 4に2010～2011年、2011～2012年、2012～2013年および2013～2014年における11月25日～3月8日までの水温または気温の変化の実測および24時間移動平均線を示し

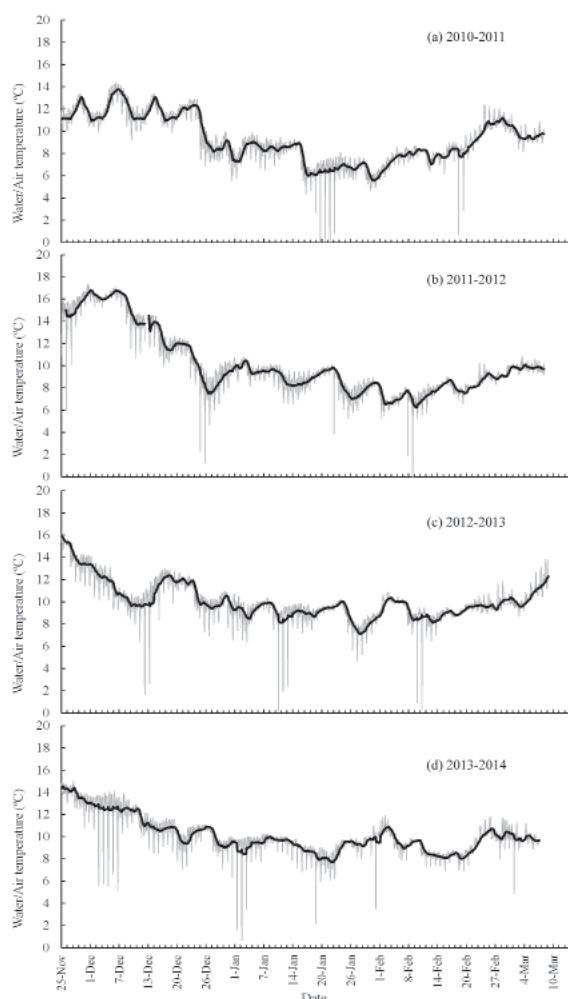


Fig. 4 Water temperature changes from 25 November to 8 March in 2010–2011 (a), 2011–2012 (b), 2012–2013 (c) and 2013–2014 (d). Grey lines indicate the measured water temperature. Black lines indicate the moving average per a day.

た。調査地点は潮汐により満潮時には最大水深約320 cm (C. D. L.) に達し、干潮時には干出する場合もあった。調査期間中における潮汐およびデータロガーに記録された急激な温度変化からC. D. L. 0 cm地点では、干出は夜間に

起こり、干出時間は最大1時間35分と推定された。干出時は外気温の影響を受け、最大8.1°Cの温度低下が認められた。11～3月の24時間移動平均温度は、概ね6～16°Cの範囲にあり、1月下旬から2月上旬に最低となった。2011年11月25日～12月10日にかけての24時間移動平均温度は、それ以外の年の同時期と比較して高かった。一方、2012年は12月1～10日にかけて24時間移動平均温度は、それ以外の同時期と比較して低い値を示した。

24時間移動平均温度の結果から、2010～2011年、2011～2012年、2012～2013年および2013～2014年の11月25日から12月上旬にかけて移動平均温度が2°C降下する日数を調べ、Table 1に示した。その結果、それぞれ32、22、6および16日であった。これらから1日あたりの温度降下速度は、0.06°C (2010～2011年)、0.09°C (2011～2012年)、0.33°C (2012～2013年) および0.13°C (2013～2014年) と算出された。温度降下速度が最も速かったのは、2012～2013年であり、次いで、2013～2014年であった。

光量子束密度の日変化

2010年12月～2011年3月および2011年11月～2013年3月における月平均日長は、11～1月は10時間28分 ± 5分 (平均値 ± 標準偏差) ～10時間56分 ± 1分、2～3月は11時間23分 ± 16分～12時間27分 ± 21分であり、調査期間中は短日から中日への移行時期であった。

陸上および水中の光量子束密度については、水中に設置したデータロガー表面への沈殿物や付着物を考慮し、データロガーを設置あるいは交換した直後から4日間の測定データを採用し、Fig. 5に示した。2010年12月24～27日、2011年1月19～22日および2月18～21日では、12月27日のみ曇天であり、それ以外は晴天であった。調査期間中、調査地点において海底に到達する最大光量子束密度は282.7 μmol photons m⁻² s⁻¹ (2011年2月20日15:30、潮位

Table 1 Date to which the water temperature fell more than 2°C from Nov. 25 and temperature falling rate.

Year	Water temperature on Nov. 25 (°C)	Date to which the water temperature fell more than 2 °C from Nov. 25 (Date)	days	Temperature falling rate (°C day ⁻¹)
2010	11.2	Dec. 26	32	0.06
2011	15.0	Dec. 16	22	0.09
2012	15.4	Nov. 30	6	0.33
2013	14.3	Dec. 10	16	0.13

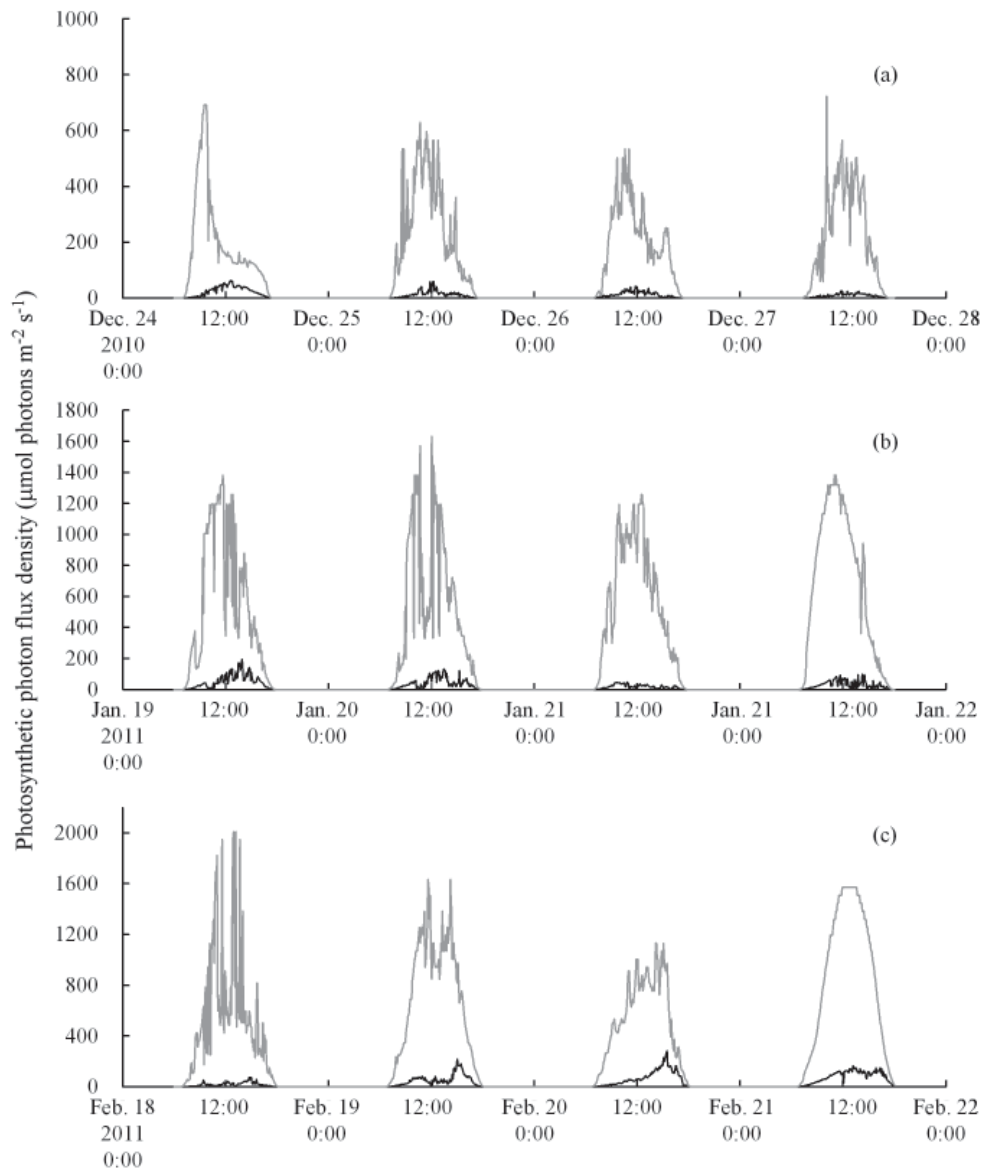


Fig. 5 Daily irradiance changes in air (grey line) and in water at the grow site (black line) during 24–27 December 2010(a), 19–22 January 2011(b) and 18–21 February 2011(c).

34.0 cm C. D. L.) であり、最大相対光量子束密度は海面に対して72.4% (2011年2月20日16:35, 潮位24 cm C. D. L.) であった。Table 2に、水深が最も深くなる満潮時(水深285.5~320.7 cm C. D. L.) の前後1時間における調査地点での海底に到達する相対光量子束密度を示した。カイガラアマノリの生育水深帯に到達する光量子束密度は、海面に対して3.7~14.7% ($6.2 \pm 3.1\%$ 平均値 \pm 標準偏差) であった。

栄養塩の変動

Fig. 6 に2010年11月~2011年3月, 2011年11月~2012年

3月, 2012年12月~2013年3月および2013年12月~2014年2月の夜間干潮時におけるリン酸態リンおよび溶存態無機窒素の濃度を示した。なお, DINについては, 本研究で調査ごとに3回ずつ測定したアンモニア態窒素濃度, 硝酸態窒素濃度および亜硝酸態窒素濃度のそれぞれの平均値の和を示した。リン酸態リン濃度は, 2010年11月~2013年3月までは, 2.37 ± 0.37 (平均値 \pm 標準偏差) ~ 15.71 ± 2.27 $\mu\text{mol L}^{-1}$ の範囲にあったが, 2013年12月~2014年2月では 1.51 ± 0.93 ~ 3.55 ± 0.000 $\mu\text{mol L}^{-1}$ と低い値を示した。また, DIN濃度は2010年11月~2013年3月までは 8.8 ~ 68.3 $\mu\text{mol L}^{-1}$ の範囲にあった。

Table 2 Relative light intensities to sea surface reached on the bottom of the growing site for 1 hours before and after high tide. S.D. indicates standard deviation.

Date	Relative light intensity (%)
Dec. 24, 2010	14.7
Dec. 25	6.0
Dec. 26	8.4
Dec. 27	3.7
Jan. 19, 2011	5.3
Jan. 20	3.9
Jan. 21	4.4
Jan. 22	3.9
Feb. 18	3.8
Feb. 19	6.3
Feb. 20	5.9
Feb. 21	7.6
Avg.±S.D.	6.2 ± 3.1

考 察

カイガラアマノリは絶滅危惧 I 類に指定されている¹⁾ことから、野外における調査は分布調査が主であった^{5, 25, 26)}。一方、山口県内では本種を食用として利用してきたことから、増養殖に向けて2001年から分布調査とともに、生育環境調査等が行われてきた^{6, 10-13)}。これらの調査では、葉状体の出現時期は12月頃から始まり、2月に最大葉長に達し、成熟が起こるとともに、3月には個体数を減らしている⁶⁾。本研究の2010~2011年および2011~2012年においては山口湾に生育するカイガラアマノリは12月頃から視認でき、2~3月の間に最も大きく生長した葉状体が見られ(最大葉長は2010~2011年: 32.5 cm, 2011~2012年: 33.4 cm)、3月に入ると成熟・流失が起こり、過去の研究結果と一致した。一方で、2012~2013年においては1月に葉長が最大(最大葉長10.0 cm)となり、その後はほとんど生長しないなど、差異も認められた。鹿野ら²²⁾が同海域で行った増養殖試験で2014年2月14日に得た葉状体の最大葉長は22.6 cmであり、2010~2011年および2011~2012年の同時期と比較して10 cm程度小型であった。葉状体が視認可能になる時期については年度による差はほとんどないが、視認できる個体数については年により大きく異なり、特に、2012~2013年は12~3月まで、2013~2014年は12月に視認できる個体数が少なかった。本研究では、山口湾においてカイガラアマノリが多く生育するC. D. L.-10~0 cmは、11~3月の夜間大潮時に最大1時間35分干出することが明らかとなった。また、干出時には葉状体は底質上に張り付くような状態であった(Fig. 2-a)。カイガラアマノリは一般的に干出しない漸深帯に生育している^{3, 6)}。このため、乾燥に弱く1時間の送風乾燥で一部の細胞が枯死し、2時間以上の乾燥では細胞がすべて枯死することが報告されている²⁷⁾。山口湾のカイガラアマノリの生育地は海底勾配が緩やかで、底質環境は泥分率が7~16%の砂泥質である⁶⁾ため、底質の保水力が高いと考えられる。本海域ではカイガラアマノリの葉状体の干出時間が2時間以内であることに加えて、底質の保水力が高く、干出時に葉状体が底質上に張り付くような状態になることから、乾燥しにくくなっていることが考えられた。これらの理由から、本海域においてはカイガラアマノリが潮間帯でも生育可能であると考えられる。

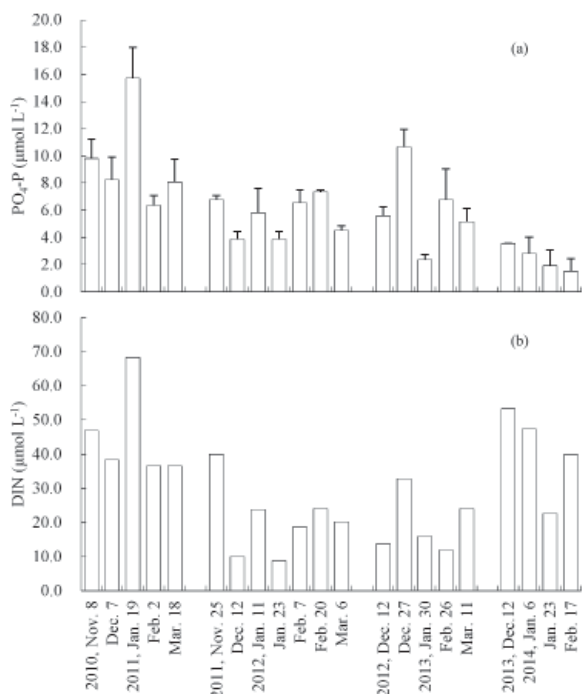


Fig. 6 Phosphate(a) and dissolved inorganic nitrogen (DIN, b) at Yamaguchi bay, Yamaguchi Prefecture in 2010-2011, 2011-2012, 2012-2013 and 2013-2014. Bars indicate standard deviation.

カイガラアマノリは、スサビノリ *Py. yezoensis* (Ueda) Hwang et Choi やアサクサノリ *Py. tenera* (Kjellman) Kikuchi, Miyata, Hwang et Choi などのアマノリ類とは異

なり、糸状体上に形成された球形細胞が分裂・伸長し直接葉状体に生長するため、葉状体と糸状体が同所に生育することになる。アマノリ類の糸状体は、葉状体に比べ直射日光や乾燥、紫外線に対する抵抗性が低い²⁸⁻³⁰。このため、アマノリ類の糸状体は葉状体の生育域とは異なり、一般に干出ししない沖の貝殻などに穿孔しているとされている²⁸⁻³⁰。葉状体と糸状体とが同所的に生育するカイガラアマノリでは、糸状体の耐乾性などによって着生帯が決められている可能性がある。したがって、本生育地のカイガラアマノリの着生帯についてより詳細に考察するためには、葉状体だけでなく糸状体の生育場所や生理的特性も解明していく必要がある。また、葉状体の出現数の多少の原因を考察するには、葉状体が視認できる前の球形細胞の形成や初期生長時の環境を精査することが重要と考えられた。

カイガラアマノリ葉状体の出現の多少に関して考察するために、本研究で得られた各年11月25日から3月9日までの温度データと、気象庁における山口県山口市の気温データ (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>) および山口県徳山における潮位データ (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/suisan/index.php>) を照らし合わせ、葉状体の出現数や生長具合との比較を行った。調査期間中、カイガラアマノリ葉状体の出現が少なかった2012年については、12月上旬の日平均気温の月平均が4.9°Cと他の年に比べ2.7~4.4°C低かった。また、同時期の平均水温も11.3°Cと他の年に比べ0.9~4.7°C低かった。2012年同様に葉状体の出現が少なかった2013年については、12月上旬に夜間の潮位がC. D. L. -10~1cmになり、24時間移動平均温度が5.5~6.8°Cと気温(3.1~5.2°C)とほぼ同等の値にまで急激に低下した。これは、干潮時に生育地が干出していたためと考えられる。一方、葉状体の出現が多かった2010年と2011年では、12月上旬の24時間移動平均温度が12~16°Cであり、急激な温度変化がないことから、潮汐による干出も起こっていなかったと考えられる。これらのことから、カイガラアマノリが糸状体や球形細胞あるいは単列藻体のような微視的な状況にある12月上旬において、10°C程度の低温や急激な温度変化ももたらす干出は生長に大きな影響を与えていると考えられた。

2012~2013年に関しては、視認される葉状体が著しく少ないだけでなく、2~3月における葉長も2011年や2012年に平均葉長が25 cm程度に対して、2013年では平均葉長は5.5 ± 2.1 cmと短かった。さらに、2013~2014年では、1月中に観察された葉状体がやや小型化する傾向にあった。

スサビノリの養殖では、育苗期における適正な水温降下が1日0.13~0.20°C(10~15日で2°Cの降下)とされ、これよりも水温降下が長引くと生産量が低下、水温が速く降下しても生産量が少ない傾向があることが報告されている³¹。また、初秋の水温が低いと、それに合わせた採苗を行うために、葉体の生理障害を引き起こし大凶作になることも報告されている³²。本研究結果から得られた温度降下速度は、葉状体のごくわずかしこ発見できなかった2012~2013年が0.33°C day⁻¹と最も速く、次いで、1月上旬まで葉状体の生長が遅かった2013~2014年で0.13°C day⁻¹であった。現在、スサビノリ養殖では「水温の降下が速い」、「水温の降下時期が早い」ということはほとんど聞かれなくなった。しかし、カイガラアマノリについては、天然条件下で糸状体上に形成された球形細胞や単列藻体の生長が、温度降下により影響をうける可能性が示唆された。適正な水温降下はスサビノリやカイガラアマノリで異なるものの、カイガラアマノリの出現や生長には、緩やかな水温降下が必要と考えられる。

能登谷ら³³は、カイガラアマノリの糸状体の室内培養実験を行い、糸状体は15~20°C、短日条件(光周期10L:14D)で培養2週目から球形細胞が形成されること、10°Cでは球形細胞は形成されなかったことを報告している。また、葉状体についても15°Cで良く生長するが、10°Cでは培養20週間でも葉長1 cm程度と報告している³³。山口湾では水温が20°Cから15°Cへ降下し、短日化する10月下旬(データ未表示)から11月下旬にかけて球形細胞が形成されていると考えられる。山口湾で2012年や2013年に観察された葉状体の出現数の減少は、早い温度降下や潮汐による干出により、糸状体上に形成された球形細胞から単列藻体への分裂もしくは単列藻体から葉状体への生長が抑制されたためと考えられる。また、山口湾では葉状体が視認される12月下旬から3月まで水温が10°C程度まで低下するが、2月~3月に採集される葉状体は最大30 cm程度にまで生長していた。千葉県浦安市沿岸や広島県廿日市市地御前でも、本研究と同様に低水温期の2月から3月にカイガラアマノリの葉状体が採集されている^{5, 25}。これらからは、カイガラアマノリ葉状体の生長は、水温が10°C程度まで低下しても阻害されていないと推察され、能登谷ら³³の結果とは異なる。今後、葉状体を室内培養実験することによって明らかにする必要がある。

本種は、東京湾の千葉県側では、水深3~5 m付近で確認されている³⁴など、一般的に漸深帯に生育する。山口湾

では、本種は潮間帯のC. D. L. -20~+30cmの範囲に分布し、他の生育地よりも浅所に生育している^{6,11)}。本生育地におけるカイガラアマノリの生育水深が他の生育地に比べ浅くなる要因として、緩やかな海底勾配、干出時の海水の残留および海水の濁りが挙げられている⁶⁾。海底勾配や干出時の海水の残留に関わる底質環境に関してはこれまで調べられてきたが⁶⁾、海水の濁りが影響する光環境については、調査されてこなかった。本研究で得られた光量子束密度のデータ（照度データから換算した値）の変化からは、潮汐による水深変化が生育場所に到達する光量子束密度に大きく影響を及ぼしていることが明らかとなった。また、大潮の満潮時（最大水深C. D. L. 285.5~320.7cm）に海底に到達する相対光量子束密度の平均値は、海面に対して $6.2 \pm 3.1\%$ であった。先に述べたようにカイガラアマノリは東京湾では水深3~5m付近で確認されている。八木ら³⁵⁾は、東京湾最大の河口干潟を有する多摩川河口域の海水の濁り具合を表す消散係数を0.6~1.0と報告している。消散係数と相対光量子束密度をパラメータとして、Beer-Lambertの式 $I = I_0 e^{-kD}$ （ I ：任意の水深 D mにおける光量子束密度； I_0 ：海水面の光量子束密度； k ：消散係数³⁶⁾）から $I/I_0 = 0.062$ として多摩川河口域におけるカイガラアマノリが生育できる水深帯を算出したところ、生育可能な水深帯は2.8~4.6mとなり、東京湾でカイガラアマノリが観察された水深帯とほぼ一致した。山口湾における消散係数は0.43~0.76であり³⁷⁾、同様に生育可能な水深帯を算出した結果、山口湾では水深3.7~6.5mまで生育が可能と推定された。推定された水深3.7m程度については、本生育地の満潮時の水深帯とほぼ一致するが、本海域においてカイガラアマノリが水深6.5m前後まで生育しているかどうかは調べる必要がある。カイガラアマノリの増養殖を考慮した場合、満潮時に海面に対して6%程度の光量子束密度が必要であると考えられた。

山口湾河口域の干潮時におけるDIN濃度は、8.8~68.3 $\mu\text{mol L}^{-1}$ と同海域での既往文献値（60~95.5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ ）¹³⁾よりも低い時もあったが、同程度であった。一方、リン酸態リン濃度は $6.35 \pm 0.75 \sim 15.71 \pm 2.27 \mu\text{mol L}^{-1}$ と文献値（1.28~1.73 $\mu\text{mol L}^{-1}$ ）¹³⁾よりも高い値を示した。これは、今回の調査では干潮時の底層水を採水したため、海水よりも栄養塩濃度の高い底質間隙水や地下水の影響が考えられる。カイガラアマノリの生育地の栄養塩濃度をより正確に把握するためには、今後も引き続き水質分析を続けていく必要がある。スサビノリ養殖場では、DIN濃度が瀬戸

内海で3 $\mu\text{mol L}^{-1}$ 以上、有明海で7 $\mu\text{mol L}^{-1}$ 以上であれば良いとされる^{38,39)}。このため、山口湾に生育するカイガラアマノリは養殖ノリが色落ちするとされているDIN濃度に比べ最大10倍程度高い値を示す海域に生育しているといえる。山口湾は干潮時と満潮時では、干潮時の栄養塩濃度が満潮時のそれよりも10倍程度高くなることが報告されている¹³⁾。一方で、カイガラアマノリが生育するような干潟の直上水は、河口や岸に近い場所ほど上げ潮時に底質間隙水や地下水の湧出や底質の攪乱が起これ、栄養塩濃度はさらに高くなり、引き潮時に徐々に低下していくことが報告されている⁴⁰⁻⁴²⁾。したがって、干潟の直上に生育しているカイガラアマノリは常時高い栄養塩濃度下にある可能性もある。山口湾に生育するカイガラアマノリは、栄養塩濃度が低くなる湾口に向かうにつれて葉状体が小型化し、色調も薄くなる⁶⁾。また、本海域は、塩分が干潮時には約15~22psu、満潮時には約32psuと河川水の影響を大きく受け変動することも報告されている¹⁴⁾。本種の生育地は潮汐による水温や塩分、栄養塩濃度などが短期的に大きく変化する。カイガラアマノリ葉状体は、底質直上で貝殻から横たわるように生育していることから、底質間隙水や地下水の湧出が本種の生育環境を安定化させている可能性も考えられ、今後調査する必要がある。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、山口県漁業協同組合吉佐支店山口きらら支所の皆様に多大なるご協力を賜りましたことを厚く御礼申し上げます。また、本研究の一部は平成22年度海苔増殖振興会「海苔養殖の長期的・基礎的研究に関する助成研究」の助成を受け、実施した。

引用文献

- 1) 環境省：植物Ⅱ（藻類）環境省レッドリスト2015（<http://www.env.go.jp/press/files/jp/28077.pdf>）（2015）
- 2) Miura A : A new species of *Porphyra* and its *Conchochlis*-phase in nature. *J Tokyo Univ Fish*, 47, 305-311 (1961)
- 3) 菊地則雄：日本産紅藻アマノリ属藻類－特に分類、生活史、絶滅危惧種について－。海藻資源, 22, 2-21 (2010)

- 4) 宮後富博：藻類優良品種養殖振興試験事業（山口湾自生のカイガラアマノリについて－I）。平成11年度山口県水産研究センター事業報告, 276-277 (2001)
- 5) 菊地則雄, 島村嘉一, 尾上一明：浦安市沿岸における絶滅危惧種カイガラアマノリ（紅藻綱ウシケノリ目）の生育。千葉生物誌, 52, 71-74 (2003)
- 6) 岸岡正伸, 松野 進, 多賀 茂：カイガラアマノリ分布調査。平成13年度山口県水産研究センター事業報告, 145-149 (2003)
- 7) 阿部真比古, 村瀬 昇, 畑間俊弘, 鹿野陽介, 金井大成：カイガラアマノリの新産地～山口県厚東川河口域～。水産大学校研究報告, 63, 244-248 (2015)
- 8) Kikuchi N, Nakada T, Niwa K：Proposals of a new combination and a valid name for two Bangiales taxa (Rhodophyta) used for Nori cultivation In Japan. *J Jap Bot*, 90, 380-385 (2015)
- 9) 宮後富博, 安成 淳：山口県樺野川河口域で採集されたカイガラアマノリ：2, 3の性状と養殖試験。山口県水産研究センター研究報告, 2, 113-116 (2004)
- 10) 岸岡正伸, 金井大成：藻類優良品種養殖振興試験事業(1) カイガラアマノリ養殖試験。平成14年度山口県水産研究センター事業報告, 177-181 (2003)
- 11) 岸岡正伸, 金井大成：藻類優良品種養殖振興試験事業(1) カイガラアマノリ養殖試験。平成15年度山口県水産研究センター事業報告, 216-220 (2004)
- 12) 畑間俊弘, 和西昭仁, 金井大成：藻類優良品種養殖振興試験事業(1) カイガラアマノリ養殖試験。平成16年度山口県水産研究センター事業報告, 180-185 (2005)
- 13) 畑間俊弘, 和西昭仁, 齋藤義之, 金井大成, 松尾圭司：藻類優良品種養殖振興試験事業(1) カイガラアマノリ養殖試験。平成17年度山口県水産研究センター事業報告, 142-146 (2006)
- 14) 畑間俊弘, 和西昭仁, 白木信彦, 金井大成, 松尾圭司：藻類優良品種養殖振興試験事業(1) カイガラアマノリ養殖試験。平成18年度山口県水産研究センター事業報告, 219-223 (2007)
- 15) 畑間俊弘, 和西昭仁, 金井大成, 松尾圭司, 田原栄一郎, 井上存夫：藻類優良品種養殖振興試験事業(1) カイガラアマノリ養殖試験。平成19年度山口県水産研究センター事業報告, 219-222 (2008)
- 16) 畑間俊弘, 和西昭仁, 金井大成, 松尾圭司, 田原栄一郎, 井上存夫：藻類優良品種養殖振興試験事業(1) カイガラアマノリ養殖試験。平成20年度山口県水産研究センター事業報告, 184-186 (2009)
- 17) 畑間俊弘, 和西昭仁, 金井大成, 小川 強, 原川康弘, 廣畑二郎, 茅野昌大：カイガラアマノリ養殖実用化試験事業。平成23・24年度山口県水産研究センター事業報告, 39-40 (2014a)
- 18) 畑間俊弘, 和西昭仁, 金井大成, 小川 強, 原川泰弘：カイガラアマノリ増養殖技術開発試験事業(1) プレート粗放管理試験。平成23・24年度山口県水産研究センター事業報告, 52-53 (2014b)
- 19) 畑間俊弘, 和西昭仁, 金井大成, 小川 強, 原川泰弘：カイガラアマノリ増養殖技術開発試験事業(2) プレート改良試験。平成23・24年度山口県水産研究センター事業報告, 54-55 (2014c)
- 20) 畑間俊弘, 和西昭仁, 金井大成, 小川 強, 原川泰弘：カイガラアマノリ増養殖技術開発試験事業(3) ネットタイプ基質開発試験。平成23・24年度山口県水産研究センター事業報告, 56-57 (2014d)
- 21) 畑間俊弘, 多賀 茂, 和西昭仁, 石田祐二：カイガラアマノリ増養殖技術開発試験事業(4) 新規展開場所探索試験。平成23・24年度山口県水産研究センター事業報告, 58-59 (2014e)
- 22) 鹿野陽介, 畑間俊弘, 和西昭仁：カイガラアマノリ増養殖技術開発試験事業(1) ネットタイプ基質開発試験。平成25年度山口県水産研究センター事業報告, 48-49 (2015a)
- 23) 鹿野陽介, 畑間俊弘, 和西昭仁：カイガラアマノリ増養殖技術開発試験事業(2) プレート型基質改良試験。平成25年度山口県水産研究センター事業報告, 50-51 (2015b)
- 24) 鹿野陽介, 畑間俊弘, 和西昭仁, 石田祐二, 廣畑二郎, 齋藤義之：カイガラアマノリ増養殖技術開発試験事業(3) 新規展開場所探索試験。平成25年度山口県水産研究センター事業報告, 52-53 (2015c)
- 25) 菊地則雄, 吉田忠生, 吉永一男：絶滅が危惧される紅藻アマノリ属植物数種の生育状況。エコソフィア, 9, 112-117 (2002)
- 26) 島村嘉一, 菊地則雄：千葉県浦安市沿岸における絶滅危惧種カイガラアマノリ *Porphyra tenuipedalis* (紅藻ウシケノリ目) の生育地について。千葉県立中央博物館自然誌研究報告, 9, 55-61 (2007)
- 27) 阿知波英明：カイガラアマノリ葉状体の冷凍および乾

- 燥耐性について. 愛知水試研報告, 3, 49-51 (1996)
- 28) 竹内卓三, 下中元信, 福原昭典, 山崎 浩: 1956. アサクサノリ *Porphyra tenera* Kjellm. 糸状体の生態 - III. 糸状体の致死条件について. 日水誌, 22, 16-20 (1956)
- 29) 齋藤雄之助: アサクサノリ糸状体の生長成熟に及ぼす二, 三の要因の影響について. 日水誌, 22, 21-29 (1956)
- 30) 前川行幸: 12. 紫外線吸収物質. 能登谷正浩(編), 有用海藻のバイオテクノロジー. 恒星者厚生閣, 東京, 135-141 (1997)
- 31) 松村眞作, 藤澤邦保, 篠原基之, 杉野博之: 岡山県における水温とノリの秋芽網生産量の関係. 岡山水試報, 18, 16-23 (2003)
- 32) 片田 実: ノリ漁場の生産管理. 水産土木, 5, 19-25 (1968)
- 33) 能登谷正浩, 菊地則雄, 有賀祐勝, 三浦昭雄: 紅藻カイガラアマノリの室内培養における生活史. *Lamer*, 31, 125-130 (1993)
- 34) 能登谷正浩: 有用海藻の生物学10. アマノリ類. 大野正夫(編), 有用海藻誌. 内田老鶴圃, 東京, 160-200 (2004)
- 35) 八木 宏, 灘岡和夫, 渡邊 敦: 1-2 東京湾・羽田周辺水域の流動構造と土砂・懸濁物質動態に関する調査解析. 平成20年度羽田周辺水域環境調査研究成果報告, 7-12 (2009)
- 36) Abe M, Hashimoto N, Kurashima A, Maegawa M: 2003. Estimation of light requirement for the growth of *Zostera marina* in central Japan. *Fish Sci*, 69, 890-895 (2003)
- 37) 山口県: 山口県アマモ場造成指針. (2006)
- 38) 渡辺康憲, 川村嘉広, 半田亮司: ノリ養殖と栄養塩ダイナミックス. 沿岸海洋研究, 42, 47-54 (2004)
- 39) 松岡 聡, 吉松貞昭, 小野 哲, 一見和彦, 藤原宗弘, 本田恵二, 多田邦尚: 備讃瀬戸東部(香川県沿岸)におけるノリ色落ちと水質環境. 沿岸海洋研究, 43, 77-84 (2005)
- 40) 野村宗弘, 中村由行: 盤洲干潟における潮汐に伴う水質変動に関する現地観測. 水環境学会誌, 25, 217-225 (2002)
- 41) 神尾光一郎, 野村宗弘, 中村由行: 盤洲干潟周辺海域における岸沖方向の水質構造の観測及びモデル化. 海岸工学論文集, 51, 1011-1015 (2004)
- 42) 石射広嗣, 村上和男, 佐々木奈々, 大浦 剛, 桑江朝比呂: 季節間における干潟域の栄養塩フラックスと堆積物が直上水に及ぼす影響の検討. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 66, 1071-1075 (2010)