

八丈島産マクサの生長におよぼす温度の影響

駒澤一朗

東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業所
(〒100-1511 東京都八丈島八丈町三根 4222)

Ichiro Komazawa*: Effect of temperature on the growth of the agarophyte *Gelidium elegans* (Gelidiaceae, Rhodophyta) collected on the coast of Hachijo-jima Island, central Japan. Jpn. J. Phycol. (Sôri) 65: 1-5, March 10, 2016

Effect of temperature on the growth of branchlets in the agarophyte *Gelidium elegans* Kützinger collected on the coast of Hachijo-jima Island, central Japan was examined by culturing in the laboratory for ten days. The results are discussed in relation to the recent decrease of *Gelidium* beds around Hachijo-jima Island. The suitable temperature range in which branchlets grew was 18–28°C, while the optimal temperature for growth was 26°C. The upper limit temperature for survival was 32°C. The range of monthly averages of seawater temperature on the coast of the island in the past ten years (18.2–27.4°C) was within the suitable temperature range in which *G. elegans* could grow during the culture. The highest daily temperature during the summer period (29.8°C) was lower than the upper limit temperature obtained in the present study. Therefore, I conclude that the main factor causing the recent decrease of *Gelidium* bed might not have been higher seawater temperature.

Key Index Words: *Gelidium elegans*, growth, seawater temperature

Hachijo Branch, Tokyo Metropolitan Islands Area Research and Development Center of Agriculture, Forestry and Fisheries, Hachijo-machi, Tokyo 100-1511, Japan

*Author for correspondence: Ichiro_Komazawa@member.metro.tokyo.jp

緒言

紅藻綱テングサ目テングサ科に属するマクサ *Gelidium elegans* Kützinger は、北海道西岸から南西諸島に至る日本沿岸に広く分布し、低潮線付近から水深 20 m までの岩礁域に生育する多年生種である (岩橋 1998, 吉田 1998)。マクサを主体とするテングサ科藻類は主要な寒天原藻として重要で (藤田 2003), 2014 年の東京都のテングサ類生産量は、愛媛県、静岡県に次いで第 3 位であった (森田商店 2015)。東京都のテングサ類は、そのほぼすべてが大島から八丈島にかけての伊豆諸島で漁獲され、品質が良いことで知られている (東京都産業労働局島しょ農林水産総合センター振興企画室 2009)。

八丈島におけるテングサ類は、1984 年から 1995 年にかけて 200 t 以上 (湿重量) の漁獲量があり、最盛期の 1988 年には 667 t に達し、同島の漁獲量の 24.7% を占める最重要水産物であった (東京都労働経済局農林水産部水産課 1986～1997, 高瀬ら 2008)。しかし、1996 年には 31 t と大きく減少し、1997 年には 152 t と一時的に回復したものの、1998 年から 2002 年にかけては 14～54 t, 2003 年以降は 5 t 未満と非常に低水準で推移しており、2006 年、2008 年、2010 年から 2013 年にかけての水揚げは皆無であった (東京都労働経済局農林水産部水産課 1998～2001, 東京都産業労働局農林水産部水産課 2002～2015, 高瀬ら 2008)。また、東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業

所が毎年、テングサ漁の解禁前に実施している作柄調査の結果も漁獲量と同様の変動を示しており、2000 年代に入って非常に低水準で推移している (高瀬ら 2008)。このように、八丈島におけるマクサを中心としたテングサ資源の減少は漁獲量の変動および科学的な調査、その双方から明白な事実となっている。

八丈島においては 1990 年代の半ば以降、マクサ生長期である 1～5 月の水温が上昇傾向にあり、生長期の水温とマクサの着生量には負の相関があることも判明している (駒澤ら 2012)。また、伊豆半島および伊豆諸島におけるテングサ類の消長には、黒潮の流路変動による沿岸海洋環境の変化が大きく影響することが知られており (川名 1956, 山崎 1962), 八丈島におけるテングサの作柄は、2～4 月の平均水温が 18°C 以下であると良いとの報告がある (大道寺 1953)。さらに、近年の八丈島の海洋環境の下でわずかに残存しているマクサは、局所的な海底湧水が生じている場所に生えており、窒素が少ない環境下では陸域起源の窒素を利用してわずかに生育している可能性が指摘されている (高瀬ら 2008, 野原ら 2009)。したがって、近年の八丈島におけるマクサの減少には海洋環境、すなわち黒潮流路の変動に伴い八丈島が黒潮外側域に位置する期間が長くなり、その結果として高水温や貧栄養が継続したことの影響が大きいと考えられている (駒澤ら 2012)。

水温は藻類の水平分布に影響を与える主要因の一つであ

り (横浜 1986, van den Hoek & Breeman 1989), 我が国沿岸においても培養実験で得られた対象種の生育および成熟の限界・適温と実際の生育現場の水温を比較する試みが行われている (Morita *et al.* 2003a, b, 原口ら 2005)。また, 伊豆半島のアントクメ *Eckloniopsis radicata* とカジメ *Ecklonia cava*, 三重県沿岸のワカメ *Undaria pinnatifida* とヒロメ *U. undarioides* では, 1~5°Cの水温環境の違いが種の水平分布を決定する要因となることが示されている。(神林 1996, Morita *et al.* 2003a, b)。日本産マクサの温度特性に関する培養実験には, 松村ら (2005) や馬場 (2010) の報告があり, これらの実験の温度間隔は, 松村ら (2005) が 10°Cから 30°Cまでの 5°C間隔, 馬場 (2010) が, 生長については 10°Cから 30°Cまでの 5°C間隔と 32°C, 生残率については 15°Cから 25°Cまでの 5°C間隔と 28°Cから 34°Cまでの 2°C間隔であり, 種の生長の適温および限界温度と生育現場との関係を論じるにはやや粗い。また, 駒澤ら (2012) は, 八丈島におけるマクサ生長期の水温範囲と, 松村ら (2005) の温度別培養実験の結果から, 同島のマクサの減少には高水温の影響より栄養塩濃度の多寡の影響が大きいと考察しているが, この考察ではマクサの生育限界温度を考慮していない。ある種の藻類の消長を水温環境から考察するには, 生長適温のみに基づく考察だけでは不十分であり, 生育現場の夏季の水温と生育上限温度の関係を明らかにする必要がある。

本研究では, マクサの生長におよぼす温度の影響を明らかにするため, 精密な温度制御装置を使った培養実験 (Morita *et al.* 2003a, b) を行い, マクサ枝先の生長と温度との関係を調べた。

材料と方法

実験に用いたマクサは, 2009年5月から6月にかけて八丈島の西部に位置する大賀郷地区旧八重根港地先の水深 2~3 m の地点において, 未成熟の個体を選んで採集した。採集したマクサは, 海水に浸した状態で早急に東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業所に持ち帰り, 側枝を含む枝先を長さ約 2 cm に切断した。切断した枝先は, 20%PESI 海水 (Tatewaki 1966) を入れた 500 mL 枝付丸型フラスコに 5 片ずつ入れ, 水温 20°C, 光量子量 $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (12L:12D) の条件で微弱な通気 (80 mL min^{-1}) を行いながら, 24 時間の予備培養を行った。培養に用いた海水は, 砂ろ過海水をメンブレンフィルター (MF-Millipore, 孔径 $0.45 \mu\text{m}$, Merck Millipore 社製) で吸引ろ過後, オートクレーブで滅菌した海水 (121°Cで 20 min) を使用した。培養に用いた海水の塩分は 33.5~34.5 psu の範囲内にあった。

実験には, $\pm 0.1^\circ\text{C}$ の精度で温度制御ができる温度勾配培養装置 (Morita *et al.* 2003a, b) を使用した。また, 蛍光灯から照射される紫外線による生長阻害を防ぐため, Maegawa *et al.* (1993) に従い実験に用いた蛍光灯と小型恒温水槽の間に厚さ 2 mm のアクリル板を設置し, 紫外線を遮断した。実験は, マクサの生長適温を明らかにするために, 10, 12,

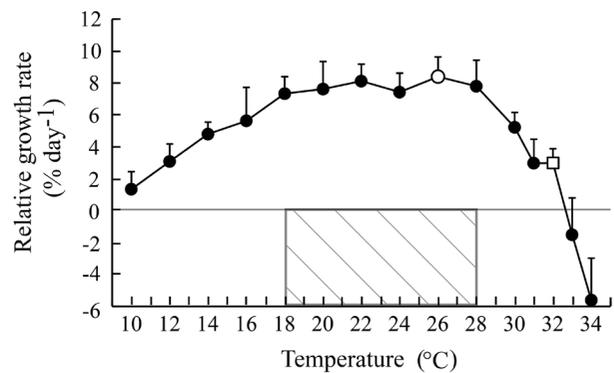


Fig. 1. Relative growth rates ($n = 5$) of the branchlets of *Gelidium elegans* cultured in the range from 10 to 35°C for 10 days. Experimentally determined suitable temperature range in which branchlets grew is represented as the enclosed area. The optimal temperature for growth and the upper limit temperature for survival were represented as an open circle and an open square, respectively. The rate obtained in 34°C is the average over the four branchlets that survived. The branchlets of *G. elegans* cultured at 35°C bleached and died in 4 days. Vertical bars indicate standard deviation.

14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30°Cの 2°C間隔で行った。次に生育上限温度を明らかにするために, 31, 32, 33, 34, 35°Cの 1°C間隔で実験を行い, 併せて 16 段階の温度条件で実験を実施した。実験には 500 mL 枝付丸型フラスコを使用し, 各フラスコ中にはマクサ枝先を 5 片ずつ入れて, 予備培養と同様の条件で通気しながら培養を行った。いずれの培養実験も光量子量を $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (12L:12D) とし, 培地は 20%PESI 海水を用い, 1 日おきに交換した。マクサの生長の測定は, 森田 (2004) に従い以下の手順で行った。まず, 培養海水を少量入れたプラスチック製シャーレの蓋 (直径 9 cm) の凹面を上にして実験台に置き, これに 500 mL 枝付きフラスコから取り出したマクサをピンセットで 1 片ずつ入れた。そしてこのシャーレの蓋の中に, シャーレ本体 (直径 8.6 cm) を底面が下になるようにして入れた。このように広げたマクサの画像をデジタルスキャナー (ES-8000, EPSON 社製) でパソコンに取り込み, 画像処理ソフト (Photoshop, Adobe 社製) を使って面積を求めた。生長の測定, すなわち, マクサ枝先のデジタル画像の撮影は, 初日を 0 日目として 10 日目まで 1 日おきに行った。実験期間中の相対生長速度を Morita *et al.* (2003b) に従い, 以下の式により算出した。

$$\text{相対生長速度 (\% day}^{-1}\text{)} = \log_e (A/B) \times 100/T$$

ただし, A: 10 日目の枝先の面積, B: 0 日目の枝先の面積, T: 実験日数である。

実験区ごとの相対生長速度は, Tukey-Kramer 法を用い

て有意水準 5% で多重比較検定を行った。

さらに、八丈島における海水温の月変化とマクサの温度特性との関係を明らかにするために、2006年から2015年までの同島の神湊漁港の月平均水温を求めた。神湊漁港の水温は、東京都島しょ農林水産総合センターが同漁港の水深 5 m の地点で毎日午前 9 時に測定した値を用いた。これらの値から各年の月平均水温を算出した後、2006年から2015年までの月平均水温の平均値を求めた。

結果

マクサ枝先の相対生長速度と温度の関係を Fig. 1 に示した。マクサ枝先の相対生長速度は 10°C の 1.3% day⁻¹ から 16°C にかけて高くなり、16°C から 28°C の範囲で 5.6% day⁻¹ から 8.4% day⁻¹ の間で高い値を示し、この温度範囲で有意な差は認められなかった (Tukey-Kramer test, $p > 0.05$)。28°C から 32°C にかけて相対生長速度は小さくなった後、33°C でマイナスの値となり、34°C では実験開始後 10 日目に 1 片が枯死し、35°C では、実験開始後 4 日目までにすべての枝先が退色して白化し、枯死した。

各温度における培養前後のマクサ枝先の形態の変化を Fig. 2 に示した。枝先の形態は 10°C から 22°C にかけて温度が高くなるに従い、羽状分枝する側枝が密に形成される傾向が認められた。22°C から 30°C の範囲で羽状分枝の密度はほぼ一定となり、30°C 以上では側枝の形成が抑制される傾向にあった。

八丈島神湊漁港における 2006 年から 2015 年までの月平均水温を Fig. 3 に示した。月平均水温は、1 月から 3 月にかけて 18°C 台であり、3 月に 18.2°C で最低値となった。3 月以降、5 月には 20.4°C、7 月には 25.6°C と徐々に上昇し、8 月には 27.4°C で最高値となった。8 月以降、10 月には 24.9°C となり、12 月には 19.8°C となった。また、2006 年から 2015 年までの日最高水温は 2010 年 8 月 31 日および 2013 年 8 月 14、15 日の 29.8°C、日最低水温は 2009 年 3 月 12 日の 13.9°C であった。

考察

本実験におけるマクサ枝先の相対生長速度は 16°C から 28°C の範囲で有意差が認められなかった。また、その形態は 22°C から 30°C において羽状分枝が密に形成されたが、各温度における相対生長速度を、平均値が最高値を記録した 26°C における値を 100% とした相対値で表すと、18°C から 28°C の範囲で 85% 以上の値を示した。したがって、八丈島産マクサの生長適温は 18 ~ 28°C、最適温度は 26°C と判断した (Fig. 1)。

マクサの培養実験下における生長適温については、静岡県産が 22°C (山田 1967)、富山県産が本実験と同じ 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の光量子量下で 20 ~ 25°C (松村ら 2005)、千葉県産が 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の光量子量下で 20 ~ 25°C (馬場 2010) と報告されている。また、鹿児島県産マクサの酸素

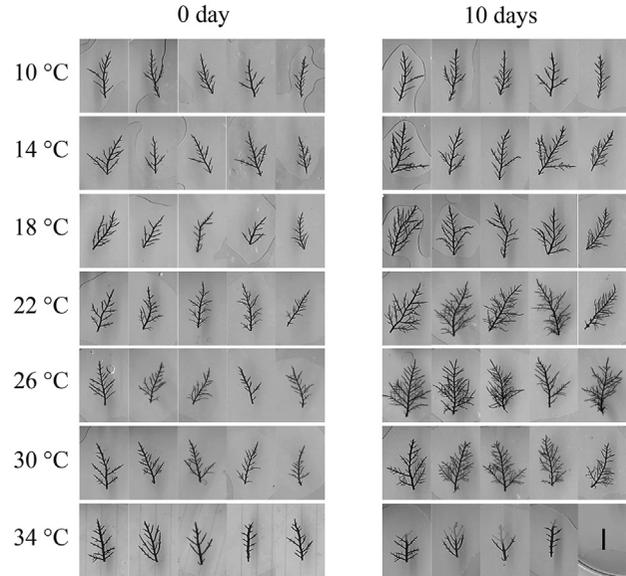


Fig. 2. Photographs showing the branchlets of *Gelidium elegans* at the start and after cultured at different temperatures for 10 days. Scale bar = 1 cm.

電極とパルス変調クロロフィル蛍光測定法による総光合成速度は、20.7 ~ 28.0°C で高い値を示したことが報告されている (Fujimoto *et al.* 2014)。本実験における八丈島産マクサの生長適温は、おおむね他産地のそれと一致しており、特に鹿児島産マクサの光合成の適温に近かった。Fujimoto *et al.* (2014) は、鹿児島産マクサの生育地における年間の水温変動範囲は 16 ~ 29°C、繁茂期である 7 ~ 8 月の水温は 20 ~ 28°C の範囲内にあり、その温度特性は生育地における繁茂期の水温に良く適応しているが、高温側の許容温度の境界に近いと報告している。すでに述べたように、2006 年から 2015 年までの八丈島の月平均水温は 18.2 ~ 27.4°C の範囲内にあり、日最高水温は 29.8°C であった。また、同島のマクサ繁茂期である 5 ~ 8 月の水温は 20.4 ~ 27.4°C と鹿児島産マクサの生育地の水温環境と良く似ている。八丈島は鹿児島県沿岸と同様、日本沿岸におけるマクサの生育南限域に近いと考えられ、両地点における水温環境の類似性、特に夏季の水温がマクサの生育上限温度に近いことが、その温度特性の類似性に現れている可能性がある。

本実験において、33°C で培養したマクサの相対生長速度はマイナスの値となり、34°C では 1 片が枯死した。この両温度下では、生存していた個体も部分的に退色して白化し、枯死した部分が多かったことから、培養を継続した場合には枯死した可能性が高いと考えられた。また、35°C では実験開始後 4 日目までにすべての枝先が枯死した。さらに、30°C 以上の温度では側枝の形成が抑制される傾向にあった。これらのことから、八丈島産マクサの生育上限温度は 32°C

と判断した。馬場 (2010) は、千葉県産マクサの 32°C, 32 psu の条件下での 96 時間後の生残率は 100% であったのに対し、34°C で 40% に低下すると報告しており、八丈島産と千葉県産のマクサの間で生育上限温度の差異は認められなかった。

八丈島におけるマクサを主としたテングサ類の漁獲量は、1984 年から 1995 年にかけて 200 t 以上 (湿重量) あったが、それ以降、急激に減少し、2010 年から 2013 年にかけては皆無になった (東京都労働経済局農林水産部水産課 1986 ~ 2001, 東京都産業労働局農林水産部水産課 2002 ~ 2015, 高瀬ら 2008, 駒澤ら 2012)。駒澤ら (2012) は、八丈島の 1981 年以降 30 年間の水温の解析を行い、秋季および冬季の水温が上昇傾向にあることを明らかにしている。しかし、Fig. 3 に示したように、2006 年から 2015 年までの 10 年間の八丈島の月平均水温は 18.2 (3 月) ~ 27.4°C (8 月) の範囲で、本研究で示されたマクサの生長適温の範囲内にあり、日最高水温も生育上限温度に達していない。また、近年の八丈島の海洋環境下でわずかに残存しているマクサは、比較的、栄養塩が豊富な海底湧水が生じている場所に生えていることが明らかとなっている (高瀬ら 2008, 野原ら 2009)。さらに、駒澤ら (2012) は、八丈島における水温と溶存態無機窒素およびリン酸態リンの濃度の間には負の相関があったことを報告している。これらのことから、八丈島におけるテングサ類減少には水温の上昇ではなく、栄養塩濃度の減少が影響している可能性がある。

今世紀末の八丈島における 8 月の海面水温は、気候変動モデルのシミュレーションによると 2.0 ~ 2.5°C 上昇すると予想されている (Bartsch *et al.* 2012)。このことから、今後、八丈島における 8 月の月平均水温は 30°C 近くへと上昇し、日最高水温は生育上限温度を超え、マクサ群落の更なる衰退が予想される。また、高知県沿岸では 1976 年以降の 30 年間に、水温上昇に伴って優占するホンダワラ属藻類が温帯性種から熱帯性種へと変化したことが報告されている (Tanaka *et al.* 2012)。Fujimoto *et al.* (2014, 2015) はテングサ目藻類の光合成特性について調べ、熱帯性種のシマテングサ *Gelidiella acerosa* は温帯性種のマクサおよびオバクサ *Pterocladia tenuis* と比べて高水温に適応していることを明らかにしている。八丈島においても高知県のホンダワラ属藻類のように優占するテングサ目藻類が温帯性種から熱帯性種へと変化する可能性もある。今後はマクサのみならず、他のテングサ目藻類についても生育状況を把握し、水温上昇との関連を把握する必要がある。

近年、日本の太平洋沿岸の各地で有用藻類群落の消失や衰退現象、いわゆる磯焼けが頻発しており (水産庁 2015)、それらの要因の一つとして水温の上昇が挙げられている (Serisawa *et al.* 2004, Tanaka *et al.* 2012)。しかし、八丈島では過去 30 年間の水温に上昇の傾向が認められたものの (駒澤ら 2012)、近年の年間の水温変動範囲は培養実験から得られた生長適温および生育上限温度の範囲内にあり、水

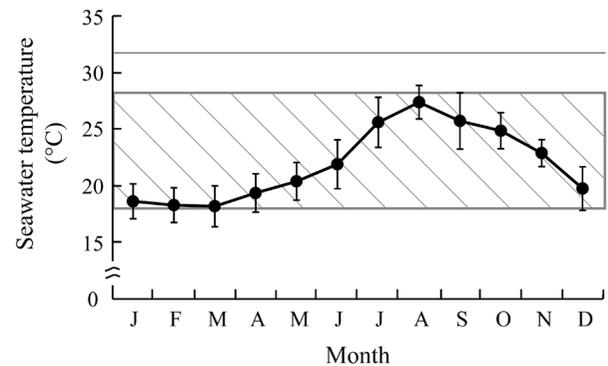


Fig. 3. Seasonal changes in seawater temperature monitored at a depth of 5 m at Kaminato Fishing Port in Hachijo-jima Island. Seawater temperature data were shown as the monthly averages from 2006 to 2015. The box shows the range of suitable temperature for growth and the line shows the upper limit temperature of survival during the 10 days culture of *Gelidium elegans* branchlets (see Fig. 1). Vertical bars indicate standard deviation of monthly average.

温がマクサ減少の主要因ではないことが推察された。一方で、磯焼けが持続する要因として水温上昇に起因する植食性動物の生息域の拡大および摂餌期間の延長が挙げられている (Yamaguchi *et al.* 2010, Takao *et al.* 2015)。八丈島においても、ブダイ *Calotomus japonicus* やアイゴ *Siganus fuscescens*、イスズミ類 *Kyphosus* spp. など、藻類への過剰摂食が問題となっている植食性魚類や、マクサを選択的に摂餌するアオウミガメ *Chelonia mydas* も多数生息しており (高瀬 2008)、マクサ群落衰退の持続要因となっている可能性がある。また、富山湾のマクサ群落におけるモニタリング調査では、夏季の水温が 30°C を超えた年にも群落は衰退せず、降水量が極端に多かった年に境に衰退したことが報告されている (Fujita *et al.* 2006)。このように、八丈島のマクサの衰退にも複数の要因が関わっている可能性がある。今後は光量子量や栄養塩などマクサの生理・生態に影響をおよぼす基礎的な環境要因の生育限界・至適特性を明らかにするとともに、植食性動物の摂餌の影響や降水量の多寡など種々の環境変動がマクサにおよぼす影響についても調査を行い、八丈島におけるマクサ減少の要因を明らかにしていく必要がある。

引用文献

- 馬場将輔 2010. 紅藻マクサの生育に及ぼす温度、光量、塩分の影響. 海生研報 13: 61-74.
- Bartsch, I., Wiencke, C. & Laepple, T. 2012. Global seaweed biogeography under a changing climate: The prospected effects of temperature. In: Wiencke, C & Bischof, K. (eds.) *Seaweed Biology* 219. pp. 383-406. Springer-Verlag, Berlin.
- 大田寺重夫 1953. テングサの豊凶と気象との関連. 産業気象調査報告

- 16: 255–258.
- Fujimoto, M., Nishihara, G. N. & Terada, R. 2014. The effect of irradiance and temperature on the photosynthesis of two agarophytes *Gelidium elegans* and *Pterocladia tenuis* (Gelidiales) from Kagoshima, Japan. *Fish. Sci.* 80: 695–703.
- Fujimoto, M., Nishihara, G. N., Prathep, A. & Terada, R. 2015. The effect of irradiance and temperature on the photosynthesis of an agarophyte *Gelidiella acerosa* (Gelidiales, Rhodophyta), from Krabi, Thailand. *J. Appl. Phycol.* 27: 1235–1242.
- 藤田大介 2003. テングサ. 能登谷正浩 (編) 藻場の海藻と造成技術. pp. 145–160. 成山堂書店. 東京.
- Fujita, D., Ishikawa, T., Kodama, S., Kato, Y. & Notoya, M. 2006. Distribution and recent reduction of *Gelidium* beds in Toyama Bay, Japan. *J. Appl. Phycol.* 18: 591–598.
- 原口展子・村瀬昇・水上讓・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.
- 岩橋義人 1998. テングサの生態. 伊豆の天草漁業編纂会 (編) 伊豆の天草漁業. pp. 11–29. 成山堂書店. 東京.
- 神林友広 1996. 褐藻アントクメ及びカジメにおける光合成の環境適応. 筑波大学修士学位論文. 茨城.
- 川名武 1956. 近年に於ける天草の磯焼けについて. 水産増殖 3: 1–11.
- 駒澤一朗・高瀬智洋・田中優平・早川浩一 2012. 八丈島におけるマクサの生長と成熟におよぼす黒潮流路変動の影響. 水産増殖 60: 169–177.
- Maegawa, M., Kunieda, M. & Kida, W. 1993. The influence of ultraviolet radiation on the photosynthetic activity of several red algae from different depths. *Jpn. J. Phycol.* 41: 207–214.
- 松村航・渡辺健・南條暢聡・浦邊清治・林正敏・池田知司・藤田大介 2005. 海洋深層水を用いたマクサの培養と富山湾深層水放水域での成長予測. 海洋深層水研究 6: 1–8.
- 森田商店 2015. 全国のてんぐさ入札 (生産) 量 (http://tengusa.jp/reports/nyuusatsu_2015.html).
- 森田晃夫 2004. 日本産ワカメ属 3 種の温度および光特性. 三重大学博士学位論文. 三重.
- Morita, T., Kurashima, A. & Maegawa, M. 2003a. Temperature requirements for the growth and maturation of the gametophytes of *Undaria pinnatifida* and *U. undarioides* (Laminariales, Phaeophyta). *Phycol. Res.* 51: 154–160.
- Morita, T., Kurashima, A. & Maegawa, M. 2003b. Temperature requirements for the growth of young sporophytes of *Undaria pinnatifida* and *U. undarioides* (Laminariales, Phaeophyta). *Phycol. Res.* 51: 266–270.
- 野原精一・佐竹潔・高瀬智洋・黒川信 2009. 伊豆・小笠原島嶼における陸水・沿岸水の栄養塩環境の特徴. 陸水学雑誌 70: 225–238.
- Serisawa, Y., Imoto Z., Ishikawa T. & Ohno M. 2004. Decline of the *Ecklonia cava* population associated with increased seawater temperature in Tosa Bay, southern Japan. *Fish. Sci.* 70: 189–191.
- 水産庁 2015. 改訂 磯焼け対策ガイドライン. 水産庁. 東京.
- Takao, S., Kumagai, N. H., Yamano, H., Fujii, M. & Yamanaka, Y. 2015. Projecting the impacts of rising seawater temperatures on the distribution of seaweeds around Japan under multiple climate change scenarios. *Ecology and Evolution* 5: 213–223.
- 高瀬智洋 2008. 八丈島のテングサを救え! 藻場の衰退防止に挑む. 東京都島しょ農林水産総合センター振興企画室 (編) 平成 19 年度東京都島しょ農林水産総合センター主要成果集. pp. 9–10. 東京都島しょ農林水産総合センター. 東京.
- 高瀬智洋・田中優平・黒川信・野原精一 2008. 伊豆諸島八丈島におけるテングサの磯焼け. 日水誌 74: 889–891.
- Tanaka, K., Taino, S., Haraguchi, H., Prendergast, G. & Hiraoka, M. 2012. Warming off southwestern Japan linked to distributional shifts of subtidal canopy-forming seaweeds. *Ecology and Evolution* 2: 2854–2865.
- Tatewaki, M. 1966. Formation of a crustaceous sporophyte with unilocular sporangia in *Scytosiphon lomentaria*. *Phycologia* 6: 62–66.
- 東京都労働経済局農林水産部水産課 1986–2001. 魚種別・海區別漁獲数量. 東京都の水産. 昭和 60 年版–平成 12 年版.
- 東京都産業労働局農林水産部水産課 2002–2015. 魚種別・海區別漁獲数量. 東京都の水産. 平成 13 年版–平成 27 年版.
- 東京都産業労働局島しょ農林水産総合センター振興企画室 2009. テングサの生産力向上・販売力向上への取組. 東京都島しょ農林水産総合センター振興企画室 (編) 明日葉・天草 緊急プロジェクト報告 (平成 18 年度–20 年度). pp. 23–32. 東京都島しょ農林水産総合センター振興企画室. 東京.
- van den Hoek, C. & Breeman, A. M. 1989. Seaweed biogeography of the North Atlantic: Where are we now? In: Garbary, D. J. & South, G. R. (eds.) *Evolutionary Biogeography of the Marine Algae of the North Atlantic*. NATO ASI Series VOL. G22. pp. 55–67. Springer-Verlag. Berlin.
- 山田信夫 1967. 寒天原藻テングサ類の施肥に関する研究. 静岡水試伊豆分場研報 32: 1–96.
- Yamaguchi, A., Furumitsu, K., Yagishita, N. & Kume, G. 2010. Biology of herbivorous fish in the coastal areas of western Japan. In: Ishimatsu, A. & Lie, H. J. (eds.) *Coastal environmental and ecosystem issues of the East China Sea*. pp. 181–190. TERRAPUB, Tokyo.
- 山崎浩 1962. テングサ類増殖に関する基礎的研究. 静岡水試伊豆分場研報 19: 1–92.
- 横浜康継 1986. 海藻の分布と環境要因. 秋山優・有賀祐勝・坂本充・横浜康継 (編) 藻類の生態. pp. 251–308. 内田老鶴圃. 東京.
- 吉田忠生 1998. テングサ目. 新日本海藻誌. pp. 628–643. 内田老鶴圃. 東京.

(Received Aug 26, 2016; Accepted Dec 7, 2016)