水中の光環境の季節変動が褐藻アントクメの純生産量に与える影響

駒澤一朗 1* · 安藤和人 2 · 滝尾健二 3 · 川辺勝俊 4 · 坂西芳彦 5

『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)

2 東京都島しょ農林水産総合センター大島事業所 (〒100-0212 東京都大島町波浮港 18)

3公益財団法人東京都農林水産振興財団 (〒190-0013 東京都立川市富士見町3-8-1)

4 東京都小笠原水産センター (〒100-2101 東京都小笠原村父島字清瀬)

5独立行政法人水産総合研究センター日本海区水産研究所(〒951-8121 新潟県新潟市中央区水道町 1-5939-22)

Ichiro Komazawa^{1*}, Kazuto Ando², Kenji Takio³, Katsutoshi Kawabe⁴ and Yoshihiko Sakanishi⁵: The effects of seasonal change of underwater light climate on the net production of *Eckloniopsis radicosa* (Phaeophyceae). Jpn. J. Phycol. (Sôrui) 61: 81-86, July 10, 2013

In order to gain a better understanding of eco-physiological characteristic of *Eckloniopsis radicosa*, underwater light climate and net production of *E. radicosa* have been compared on the coast of Izu-Oshima Island, central Japan. Photosynthetically active radiation (PAR) on the population floor was calculated from following three elements, PAR on land, attenuation coefficient and depth. Photosynthesis and respiration at *in situ* temperatures were measured by a differential gas-volumeter with blade discs every month from March to September. Net production was estimated from the P-I curve equation and the diurnal changes of light intensity on a thallus surface in a kelp bed. As a result, attenuation coefficient showed minimum value of 0.18 in March, increased gradually from March to June, almost constant in the range of 0.21-0.24 from June to December. PAR on a thallus surface in a kelp bed showed the maximum value of 3.6 mol m⁻² day⁻¹ in March, and the minimum one of 2.0 mol m⁻² day⁻¹ in July. In contrast, estimated net production of *E. radicosa* showed the maximum value of 155.8 μL O₂ cm⁻² day⁻¹ in June, and the minimum one of 39.4 μL O₂ cm⁻² day⁻¹ in July. From the result mentioned above, we conclude that the main factor causing the low productivity of *E. radicosa* in July was low PAR on a thallus surface in this month.

Key Index Words: attenuation coefficient, Eckloniopsis radicosa, net production, photosynthesis, underwater light climate

¹ Hachijo Branch, Tokyo Metropolitan Islands Area Research and Development Center of Agriculture, Forestry and Fisheries, Hachijo-machi, Tokyo, 100-1511 Japan

²Oshima Branch, Tokyo Metropolitan Islands Area Research and Development Center of Agriculture, Forestry and Fisheries, Oshima-machi, Tokyo, 100-0212 Japan

³Tokyo Development Foundation for Agriculture, Forestry and Fisheries, Tachikawa, Tokyo 190-0013, Japan

⁴Tokyo Metropolitan Ogasawara Fisheries Research Center, Ogasawara-mura, Tokyo, 100-2101 Japan

⁵Japan Sea National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Suido-cho, Niigata, 951-8121 Japan

*Author for correspondence: Ichiro Komazawa@member.metro.tokyo.jp

緒士

アントクメ Eckloniopsis radicosa (Kjellman in Kjellman et Petersen) Okamura は褐藻コンブ目カジメ科に属する(吉田・吉永 2010)1 年生海藻で(駒澤ら 2010),日本の温帯域に分布する固有種である(川嶋 1993)。本種は、本州太平洋沿岸中・南部および日本海沿岸南部、四国、九州に分布しており(川嶋 1993),巨視的な胞子体と顕微鏡的な配偶体による典型的な異型世代交代を行う。胞子体は、水温が比較的低い冬から春にかけて著しく生長する(右田 1985、米山ら 1989,筒井・大野 1993,木村 1995,駒澤ら 2006,谷口2006)。夏に成熟した胞子体は子嚢斑を形成して遊走子を放出し、遊走子は遊泳後に岩などの基質に着生、発芽して雌雄の配偶体へと生長する。配偶体は一般に、水温が比較的高い夏に生長すると考えられている(横浜 2001, 2003,駒澤・坂西 2009)。

海藻群落の成立を制限する要因として,光,温度,栄養 塩,水の流れ,底質などの物理化学的要因と,植食動物によ るグレージングやアレロパシーを含む種間競争などの生物的要因が考えられるが、その中において、光は漸深帯の海藻の生育を制限する最も重要な要因である。藻類の光合成および呼吸の測定法はすでに確立されており(Sakanishi et al. 1988)、アラメ Eisenia bicyclis (Kjellman) Setchell、カジメ Ecklonia cava Kjellman を中心とした暖海性コンブ目(川嶋 1993、田中 1997)については、植物の生長の基礎となる光合成に関する知見が徐々に蓄積されつつある(Maegawa et al. 1987、1988、Aruga et al. 1990a、1990b、Haroun et al. 1992、神林 1996、倉島ら 1996)。また、北海道産のコンブ目においては、実測した生育現場の光環境と光合成特性との関係から純生産量を明らかにするための試みも成されているが(坂西・飯泉 2001、2004、坂西ら 2001a、Sakanishi et al. 2004)、暖海性コンブ目においては、生育現場の光環境を長期間にわたり測定した研究は皆無である。

駒澤ら(2010)は、現存量法により求めた伊豆大島のアントクメ群落の純生産量は季節により大きく変動し、特に夏期

82 駒澤ら

以降小さくなることを報告しているが、その主要因については分かっていない。アントクメ群落の純生産量の変動に影響を与える要因が分かれば、群落の維持機構が明らかとなるばかりでなく、近年頻発する機焼け現象の解明にも繋がる可能性がある。今回、著者らは、アントクメの生育現場の光量子量の変動が純生産量の変動に影響しているのではないかと考え、伊豆大島における水中光量子量の変動を明らかにするとともに、光合成 - 光曲線のモデル式を用いて純生産量を試算し、両者の関係について考察を行った。

材料と方法

光量子量および吸光係数の測定

地上の光量子量の測定は、2006年1月1日から12月31日までの間、東京都大島町差木地クダッチ(北緯34°42′、139°26′)の東京都島しょ農林水産総合センター大島事業所職員住宅の駐車場において、コサイン型のセンサー(LI-190SA、LI-COR社製)を接続したデータロガー(LI-1400、LI-COR社製)により、5分間隔で実施し、蓄積されたデータは、一定期間ごとにパーソナルコンピューターで読み取った。

海水の吸光係数は、坂西ら(2001a, b)に従い、実測した水中の光量子量と深度との関係から以下のようにして求めた。地上の光量子量の測定地点から約 0.8 km 離れた波浮港避難桟橋(Fig. 1, 水深 15 m)において、水深 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0 mにおける光量子量を地上光と同時に測定した。光量子量はそれぞれ地上用および水中用の光量子センサー(LI-190SA および LI-192SA, LI-COR 社製)を組み合わせた光量子計(LI-1400, LI-COR 社製)を用いて3回ずつ測定した。

水中の光量子量と水深との関係は次の式で表される (Lambert-Beer の公式)。

$E_D = E_0 \exp(-kD) \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$

 E_D は水深 D (m) における水中の光量子量, E_0 は水面直下の光量子量(海面で反射される分は除く),k は海水の吸光係数を示す。1日あたりの海表面の光の反射率は北緯 40° 付近の中緯度海域では $4\sim11\%$ と報告されている(Campbell & Aarup 1989)。反射率は太陽高度に依存するため,伊豆大島付近の海域における反射率はこれらの値よりもわずかに小さくなると予想されるが,人工衛星を用いた光量子量の推定では緯度に関係なく 7% という反射率の値が用いられている(Frouin & Murakami 2007)ことから,海表面における光の反射率を 7% とした。地上の光量子量を E_L とすれば,水面直下の光量子量 E_0 は (1-0.07) E_L なので,(1)は(2)のように書き換えることができる。

 $E_D/E_L=0.93 \cdot \exp(-kD) \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$

実測した各水深における相対光量子量 E_D/E_L (各水深ごとに3回繰り返し測定した平均値) と水深Dとの関係はコン

ピューターソフトウェア (DeltaGraph Pro3, 日本ポラロイド社製) を用いて、(2) に曲線近似し、kの値を求めた。測定は 2006 年 1 月 8 日から 12 月 31 日にかけて、おおむね 1 ~ 2 日おきに 178 回行った。ただし、2 月は測定機器の保守、点検のため測定を行わなかった。測定は、太陽の南中時に近い 11:30 ~ 13:00 に行った。

アントクメ葉片の光合成速度の測定

アントクメの胞子体は、伊豆大島の南部、波浮港 (Fig. 1) の水深 11 m 付近に形成されているアントクメ群落において、2006 年 3 月から 9 月にかけて毎月 1 回、SCUBA 潜水により採集し、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大島事業所に運んだ。また、これらの胞子体は、実験の前処理を行うまで同センター内の屋外流水槽中に保存し、各藻体の中央付近からコルクボーラーで $1.65~{\rm cm}^2$ (3 月および4月) もしくは $3.3~{\rm cm}^2$ (5 月~9月)の円形葉片を打ち抜いて試料とした。打ち抜いた葉片は流海水中に 3 時間以上浸した後 (Sakanishi et al. 1988)、採集時の水温下で光量子量 50 μ mol ${\rm m}^2~{\rm s}^1$ の連続照射を行い、12 時間以上の培養を行った後、実験に用いた(倉島ら 1996)。

現場水温下における胞子体の光合成 - 光曲線は,葉片 6 枚について,それぞれ $0 \sim 400~\mu\,\mathrm{mol}~\mathrm{m}^2~\mathrm{s}^1$ の間の 0, 12.5, 25, 50, 100, 200, 400 $\mu\,\mathrm{mol}~\mathrm{m}^2~\mathrm{s}^1$ の 7 段階の光量子量での純光合成速度を求めて作成した。各光量子量における純光合成速度の測定は 30 分間行い,温度は採集月の平均水温に設定した。光合成および呼吸速度の測定には差働式検容計(プロダクトメーター,Yokohama & Ichimura 1969)を用い,コルクボー

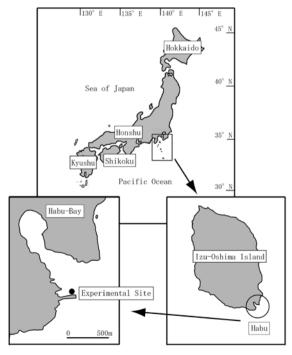


Fig. 1. Maps showing the experimental site at Habu-Bay of Izu-Oshima Island, Tokyo Metropolitan area, central Japan.

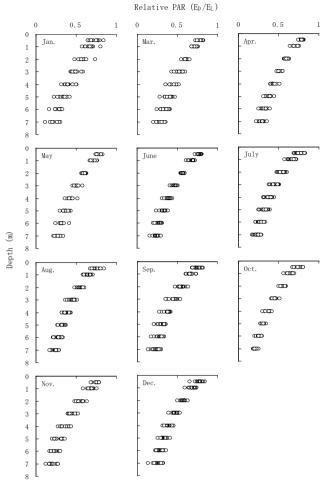


Fig. 2. Attenuation of light in the subtidal zone at Habu-Bay of Izu-Oshima Island from January to December 2006. Underwater light measurements were performed 178 times for a year with 3 replications for each measurement. Each plot shows one measurement.

ラーで打ち抜いた円形葉片を 10 ml のろ過海水と共に反応容器 (容積約 35 ml の三角コルベン型ガラス容器) に入れて測定を行った。光源にはスライドプロジェクター (S-300, ELMO 社製) を用い、ニュートラルフィルター (ND 22-6, 24-6, 28-6, S・H・O 社製) で光量子量を調節した。光量子量の測定には光量子計 (LI-250A, LI-COR 社製) を用いた。光合成速度と光量子量との関係は、坂西・飯泉 (2001) および Sakanishi *et al.* (2004) に従い、Gallegos & Platt (1981) の式 (3) に曲線近似させ、各月の現場水温下における光合成 - 光曲線のモデル式を求めた。

$$P=P_{max} \cdot tanh(E/E_k)-R \cdot \cdot \cdot \cdot (3)$$

P は純光合成速度, P_{max} は最大光合成速度,E は光量子量, E_k は光合成 - 光曲線の初期勾配を与える直線と光飽和した直線の交点から求められるパラメーター,R は暗呼吸速度を示す。

葉面積指数の算出

光合成速度測定用のアントクメ葉片を採集した同日同地点

Table 1. Seasonal changes in attenuation coefficient of seawater and parameters of the photosynthesis-light curves at *in situ* temperatures for sporophytes of *Eckloniopsis radicosa*. The measurements of attenuation coefficient were performed from January and March through December 2006. Determined of parameters of the photosynthesis-light curves were performed from March to September 2006.

	Attenuation	Seawater	P _{max}	E _k	R
Month	coefficient	temperature	- max	₽ _K	
	(m^{-1})	(°C)	$(\mu L~O_2~cm^{\text{-}2}$	$h^{1})\;(\mu mol\;m^{2}\;s^{1})$	$(\mu L~O_2~cm^{^{-2}}~h^{^{-1}})$
Jan.	0.22				
Feb.					
Mar.	0.18	15.5	33.5	103.4	5.3
Apr.	0.19	16.0	36.1	84.2	7.3
May	0.19	18.5	29.4	67.5	5.4
Jun.	0.22	20.0	40.3	86.2	3.6
Jul.	0.23	20.0	36.7	77.7	6.4
Aug.	0.23	23.0	36.2	81.7	6.2
Sep.	0.23	26.3	35.9	75.2	2.8
Oct.	0.24				
Nov.	0.24				
Dec.	0.21				

において、SCUBA 潜水により 100 cm×50 cm の方形枠 2 枠を任意の場所に設置し、枠内の全てのアントクメを付着器ごと着生基盤から剥がして採集した。採集したアントクメは東京都島しょ農林水産総合センター大島事業所へ持ち帰り、各個体を葉状部と付着器・茎部に切り分けた。葉状部は各個体ごとにスケール(1 辺が 1 cm もしくは 4 cm の正方形、個体の大きさにより使い分けた。)と共にデジタルカメラで撮影し、画像処理ソフト(Photoshop、Adobe 社製)を使ってスケールおよび葉状部の画素数を求め、その比より葉面積を求めた。このようにして求めた方形枠 2 枠の各個体ごとの葉面積を合計して、葉面積指数(1 m² あたりの葉面積)を求めた。

地上光、水中光および純生産量の算出

5分間隔で測定した地上光の1日あたりのデータを積分して、1日あたりの積算光量子量を算出した。また、地上光の瞬間値、海水の吸光係数の月平均値、アントクメ群落の葉面積指数から倉島(2003)および Sakanishi et al.(2004)に従い、水深11 mにおける水中光の瞬間値および水深11 mのアントクメ群落の藻体の葉面1 m²で捕集することができる光量子量の瞬間値を求め、これらの光量子量の瞬間値を積分して1日あたりの積算光量子量を求めた。さらに、水深11 mのアントクメ群落が捕集することができる光量子量の日周変動データと各月ごとの光合成-光曲線のモデル式から種々の天候条件下でのアントクメの日純生産量を推定した。

結果

波浮港避難桟橋における各測定日ごとの相対光量子量と水深の関係を Fig. 2 に示した。測定日ごとに相対光量子量を近似させて得られた海水の吸光係数は, $0.15\sim0.32$ の間で変動した。

84 駒澤ら

海水の吸光係数の月平均値の季節変化を Table 1 に示した。 1 月の吸光係数は 0.22 であった。また、3 月の吸光係数は 0.18 であったが,その後,6 月にかけて大きくなり,6 月から 12 月にかけては $0.21 \sim 0.24$ の間で推移した。最大値は 0.24(10 月および 11 月),最小値は 0.18(3 月)であった。

伊豆大島における地上および水深 11 m の水中の日積算光量子量の季節変化を Fig. 3a に示した。地上の日積算光量子量はいずれの月においても日ごとの変動が大きかった。測定期間における最大値は $54.7 \text{ mol m}^2 \text{ day}^{-1} (5 \text{ 月 25 日})$, 最小値は $2.4 \text{ mol m}^2 \text{ day}^1 (1 \text{ 月 14 H})$ であった。また,水深 11 m の水中の日積算光量子量の最大値は $6.0 \text{ mol m}^2 \text{ day}^{-1} (5 \text{ 月 21 H})$ および 25 H),最小値は $0.2 \text{ mol m}^2 \text{ day}^{-1} (1 \text{ 月 14 H})$ であった。

地上光および水深 11 m の水中光の月平均値の季節変化を Fig. 3b に示した。地上光の月平均値は,1月(16.3 mol m² day¹)から 3月(29.1 mol m² day¹)にかけて増大した後,3月から 6月にかけては 29.1 \sim 31.3 mol m² day¹ の間で推移した。7月にはやや小さくなったが,8月には 39.5 mol m² day¹ で最大となった後,直線的に減少し,12月には 13.7 mol m² day¹ で最小となった。一方,水中光の月平均値は,1月は 1.4 mol m² day¹ であったが,3月には 3.6 mol m² day¹ で最大となり,以後,5月にかけて 3 mol m² day¹ 以上で推移した。5月から 7月(2.0 mol m² day¹ と増大した。8月から 11月にかけて直線的に小さくなり,11月および 12月は 1.2 mol m² day¹ で最小となった。

伊豆大島の現場水温と、同水温下における 3 月から 9 月の 各月の光合成 - 光曲線の各パラメーターの値を Table 1 に示した。いずれの月においても 400 μ mol m² s¹ までの範囲では、強光阻害は認められなかった。3 月から 9 月の伊豆大島の現場水温は、3 月には 15.5℃で最低値を示したが、その後、9 月にかけて上昇し、26.3℃で最高値となった。最大光合成速度 (P_{max}) は、29.4(5 月)~40.3(6 月) μ L O_2 cm² h¹ の間で推移した。 E_k は、3 月には 103.4 μ mol m² s¹ と他の月(67.5~86.2 μ mol m² s¹)と比べて大きかった。また、暗呼吸速度(R)は、3 月から 8 月にかけては 3.6~7.3 μ L O_2 cm² h¹ であったが、9 月には 2.8 μ L O_2 cm² h¹ と小さくなった。

水深 11 m のアントクメ群落の藻体の葉面 1 m^2 で捕集することができる光量子量(1 日あたりの光量子量の月平均値)を Fig. 4a に,アントクメの日純生産量の月平均値を Fig. 4b に示した。アントクメ群落が捕集することができる光量子量は,3 月から 5 月にかけては $3.4 \sim 3.6 \,\mathrm{mol}\,\mathrm{m}^2\,\mathrm{day}^1$ の間で推移したが,その後,7 月($2.0\,\mathrm{mol}\,\mathrm{m}^2\,\mathrm{day}^1$)にかけて減少した。 8 月には $3.0\,\mathrm{mol}\,\mathrm{m}^2\,\mathrm{day}^1$ と増大した後,9 月には $2.2\,\mathrm{mol}\,\mathrm{m}^2\,\mathrm{day}^1$ となった。一方,アントクメの日純生産量は,3 月には $95.1\,\mu\mathrm{L}\,\mathrm{O}_2\,\mathrm{cm}^2\,\mathrm{day}^1$,4 月には $80.1\,\mu\mathrm{L}\,\mathrm{O}_2\,\mathrm{cm}^2\,\mathrm{day}^1$ であったが,その後,6 月($155.8\,\mu\mathrm{L}\,\mathrm{O}_2\,\mathrm{cm}^2\,\mathrm{day}^1$)にかけて増大した。6 月から 7 月($39.4\,\mu\mathrm{L}\,\mathrm{O}_2\,\mathrm{cm}^2\,\mathrm{day}^1$)にかけて

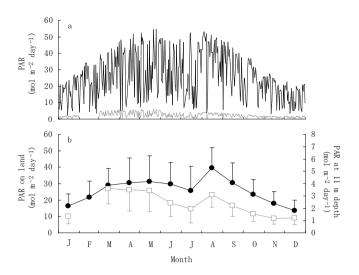


Fig. 3. Seasonal changes in PAR on land and at 11 m depth at Habu-Bay of Izu-Oshima Island from January to December 2006. (a), daily PAR on land and 11 m depth; (b), monthly averages of daily PAR on land and 11 m depth. Vertical bars denote SD of means in (b).

急激に減少した後、8月および9月はそれぞれ113.2 μ L O_2 cm⁻² day⁻¹ および146.7 μ L O_2 cm⁻² day⁻¹ となった。

7月の晴天、曇天、雨天時の水深 11 m のアントクメ群落 の藻体の葉面 1 m^2 で捕集することができる光量子量の日周変動、および同月の数式化されたアントクメの光合成 - 光曲線から求めた群落内のアントクメの純光合成速度の日周変動を Fig. 5a に示した。7月の晴天時には、11 時 30 分頃から 12 時 30 分ぐらいにかけて光量子量が $140 \mu \text{ mol m}^2 \text{ s}^{-1}$ 付近で極大に達した。一方、純光合成速度は 9 時 30 分頃から 14 時 30 分ぐらいにかけて $27 \sim 28 \mu \text{L}$ $O_2 \text{ cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ で極大に達すると見積もられた。また、曇天および雨天時には純光合成速度の増減は光量子量の増減によって変化し、雨天時の純光合成速度はマイナスで推移することが多かった。

7月の純光合成速度の日周変動を積分して求めたアントクメの日純生産量を Fig. 5b に示した。アントクメの日純生産量は,晴天時には 185.5 μ L O_2 cm⁻² day⁻¹ であったが,曇天時は 66.3 μ L O_2 cm⁻² day⁻¹, 雨天時は -93.3 μ L O_2 cm⁻² day⁻¹ であった。曇天時の日純生産量は晴天時の 35.7%であり,雨天時のそれはマイナスとなった。

考察

伊豆大島における海水の吸光係数の月平均値は、年間を通して 0.18 ~ 0.24 の間で推移した (Table 1)。海水の吸光係数は、日本沿岸では概ね 0.10 ~ 0.30 の範囲にあり、プランクトンや懸濁物質が少ない澄んだ外洋域では 0.1 程度、平均的な沿岸域では 0.2 程度、養殖が盛んに行われているような濁りが強い内湾の湾奥部、赤潮発生時の海域では 0.3 程度とされている (有賀 1973、大山 1998)。本研究で得られた海水の吸光係数は、我が国における平均的な沿岸域の範囲内にあった。伊豆大島において、海水の吸光係数を長期に渡り継続して実測した報告は他になく、今後、同島沿岸域に生育す

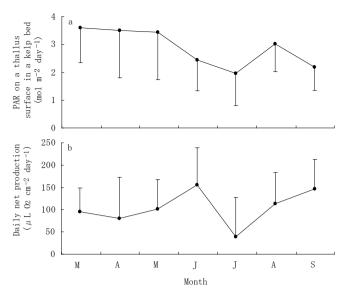


Fig. 4. Seasonal changes of the PAR on a thallus surface in a kelp bed at the depth of 11 m (a) and the daily net production (b) of *Eckloniopsis radicosa* from March to September 2006. Vertical bars denote SD of means.

る藻類の生理・生態特性を解明して行く上で、貴重な環境データになる。

伊豆大島の水深 11 m の水中光の月平均値の季節変動は、地上光のそれと概ね同じ傾向を示した(Fig. 3b)。しかし、5 月から 6 月にかけては、海水の吸光係数が大きくなったため(Table 1)、水中光は著しく減少した(Fig. 3b)。逆に、11 月から 12 月にかけては海水の吸光係数が小さくなったため(Table 1)、地上光は減少したが、水中光はほとんど変化しなかった(Fig. 3b)。

現場水温下におけるアントクメの光合成 - 光曲線の各パラメーター(P_{max} , E_k , R)に明瞭な季節変化は認められなかった(Table 1)。Sakanishi $et\ al.$ (1989)は,カジメの光合成 - 光曲線の各パラメーターについて,現場水温下では本研究と同様に明瞭な季節変化が認められなかったが、水温を 20° Cで周年一定にして測定した場合,純光合成速度は冬期に大きく、夏期に小さくなるという季節変化を示したと報告している。アントクメについても現場水温での測定だけではなく,水温を一定にした場合についても光合成速度の測定を行い,各パラメーターの季節変動を把握する必要がある。

水深 11 mのアントクメ群落が捕集することができる光量子量は、7月に最も小さくなり(Fig. 4a)、日純生産量も同月に最低値を示した(Fig. 4b)。また、7月の日純生産量は、天候の違いによって変わる光量子量の影響を大きく受けた(Fig. 5b)。伊豆大島では例年、6月後半から7月中旬もしくは下旬にかけて梅雨入りする。7月の日純生産量の低下は、梅雨の影響により地上光が減少し(Fig. 3b)、かつ、吸光係数も0.23と比較的大きかったために(Table 1)、アントクメ群落が捕集することができる光量子量が減少したことにより生じたものと思われた。

アントクメの夏期の日純生産量は、上記のように7月に最

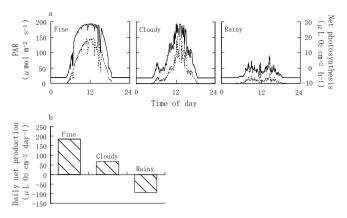


Fig. 5. (a), Diurnal changes in estimated net photosynthetic rates of *Eckloniopsis radicosa* sporophytes (solid line) and PAR on a thallus surface (dotted line) in a kelp bed at 11 m depth in July under different weather conditions. (b), Daily net production of *E. radicosa* sporophytes at 11 m depth under different weather conditions, whose values were calculated from (a).

小値となった後、8月および9月は100 μ LO₂ cm⁻² day⁻¹以 上に増大した (Fig. 4b)。一方, 現存量法により求めたアン トクメの日純生産量は、7月以降、低い水準のまま推移した ことが報告されている (駒澤ら 2010)。本研究における7月 の日純生産量の低下は、先に述べたように、アントクメ群落 が捕集可能な光量子量の低下が主要因であることが明らかと なった。しかし8月および9月は、捕集可能な光量子量が7 月より大きくなり、それに伴って日純生産量は増大するとい うように、現存量法により求めた日純生産量と異なる変動を 示した。伊豆大島におけるアントクメ胞子体は7月中旬以降 に子嚢斑を形成する(駒澤ら 2006, 2007, 2009, 2013)。 子嚢斑形成には大量の光合成産物が費やされるため、この時 期には光合成による純生産量が現存量法によるそれに反映さ れず、両者の推定値にズレが生じたものと推察される。しか し、この点については今後、本研究と同様に光合成 - 光曲線 のモデル式を用いた純生産量の推定値と現存量法によるそれ を同時に調査して比較を行い,加えて,成熟が純生産量へ与 える影響を調べて明らかにする必要があろう。

近年、日本の太平洋沿岸の各地で有用海藻群落の消失や衰退現象、いわゆる磯焼けが頻発している(前川・栗藤 1996、谷口 1996、芹澤ら 2000、谷口ら 2001、長谷川ら 2003)。伊豆大島においてもアントクメ群落の衰退が確認されているが(駒澤ら 2006、2007)、その原因については明らかとなっていない。一方、暖海性コンブ目において、水温に関しては、実験下で得られた生理的生育限界・至適特性と実測した生育現場のそれを比較する試みがいくつか成されている(Morita et al. 2003a、b、駒澤・坂西 2009)。しかし、光量子量について同様の研究はないのが現状である。今回、実験下で得られた光合成 - 光曲線のモデル式、生育現場の光環境、その両者より得られた日純生産量を比較することにより、アントクメ群落が捕集可能な光量子量の低下が日純生産量の低下に影響していることが明らかとなった。さらに、成熟が日純生産量へ影響している可能性についても明らかにすることができ

86 駒澤ら

た。磯焼け現象が頻発している根本原因が明らかとなっていない現在、対象種の光、水温、栄養塩を中心とした生理的生育限界・至適特性を明らかにし、それと生育期間全般に渡る種々の環境要因の比較を行い、種の盛衰に影響を与える要因を一つずつ解明することにより、磯焼け現象の原因解明に繋がる可能性がある。

謝辞

本研究の遂行にあたり、潜水調査に多大なるご協力をいただいた東京都島しょ農林水産総合センター大島事業所調査船「かもめ」の船長向山常比古氏に心からの謝意を表する。元南三陸町自然環境活用センター所長の横浜康継博士には原稿の校閲を賜った。東京都島しょ農林水産総合センターの米沢純爾副参事研究員には積分の方法についてご助言を賜った。記して謝意を表する。

引用文献

- 有質祐勝 1973. 水界植物群落の物質生産 II 植物プランクトン . 共立出版,東京 . Aruga, Y., Toyoshima, M. & Yokohama, Y. 1990a. Comparative photosynthetic studies of *Ecklonia cava* bladelets with and without zoosporangial sori. Jpn. J. Phycol. 38:
- Aruga, Y., Toyoshima, M. & Yokohama, Y. 1990b. Comparative photosynthetic studies of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta) bladelets with and without zoosporangial sori. Hydrobiologia 204/205: 473-477.
- Campbell, J. W. & Aarup, T. 1989. Photosynthetically available radiation at high latitudes. Limnol. Oceanogr. 34: 1490-1499.
- Frouin, R. & Murakami H. 2007. Estimating photosynthetically available radiation at the ocean surface from ADEOS-II global imager data. J. Oceanogr. 63: 493-503.
- Gallegos, C. & Platt, T. 1981. Photosynthesis measurements on natural populations of phytoplankton: Numerical analysis. Fish. Res. Board Canada Bull. 210: 103-112.
- Haroun, R., Aruga, Y. & Yokohama, Y. 1992. Seasonal variation of photosynthetic properties of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta) in Nabeta Bay, central Japan. La mer 30: 339-348.
- 長谷川雅俊・小泉康二・小長谷輝夫・野田幹雄 2003. 静岡県榛南海域における 磯焼けの持続要因としての魚類の食害. 静岡水試研報 38: 19-25.
- 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.
- 川嶋昭二 1993. 日本産コンブ類図鑑. 北日本海洋センター. 札幌.
- 木村創 1995. 和歌山県沿岸のヒロメ, アントクメ. 日水誌 61: 109-110.
- 駒澤一朗・安藤和人・滝尾健二・川辺勝俊・坂西芳彦 2013. 伊豆大島における 暖海性コンブ目アントクメの生活年周期. 水産増殖 61: 73-80.
- 駒澤一朗・安藤和人・滝尾健二・川辺勝俊・坂西芳彦・横浜康継 2010. 伊豆大 島における暖海性コンブ目アントクメ群落の純生産量. 藻類 58: 173-178.
- 駒澤一朗・坂西芳彦 2009. 暖海性コンブ目アントクメ配偶体の生長と成熟におよぼす温度の影響. 藻類 57: 129-133.
- 駒澤一朗・杉野隆・滝尾健二・安藤和人・有馬孝和 2007. 伊豆大島におけるスポアバック法を用いたアントクメ群落復活の試み、水産増殖 55: 213-218.
- 駒澤一朗・杉野隆・滝尾健二・安藤和人・横浜康継 2006. 伊豆大島におけるアントクメの生長と成熟. 水産増殖 54: 489-494.
- 倉島彰 2003. 現場における光強度の測定. 竹内 均(編)地球環境調査計測辞典 第 3 巻沿岸域編. pp.955-957. フジテクノシステム. 東京.

- 倉島彰・横浜康継・有賀祐勝 1996. 褐藻アラメ・カジメの生理特性. 藻類 44: 87-94
- Maegawa, M., Kida, W., Yokohama, Y. & Aruga, Y. 1988. Comparative studies on critical light condition for young *Eisenia bicyclis* and *Ecklonia cava*. Jpn. J. Phycol. 36: 166-174.
- 前川行幸・栗藤和治 1996. 三重県尾鷲湾におけるアラメ群落の生育環境と消長. 藻類 44: 95-102.
- Maegawa, M., Yokohama, Y. & Aruga, Y. 1987. Critical light conditions for young Ecklonia cava and Eisenia bicyclis with reference to photosynthesis. Hydrobiologia 151/152: 447-455.
- 右田清治 1985. アントクメの生活史と養殖試験 . 長崎大学水産学部研報 58: 105-111.
- 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.
- 大山温美 1998. 三重県錦湾におけるカジメ群落の構造と生産力. 三重大学生物 資源学部修士学位論文. 三重.
- 坂西芳彦・飯泉仁 2001. 北海道東部沿岸に生育する寒海産コンブ目数種の夏季 の光合成-光特性, 藻類 49:1-6.
- 坂西芳彦・飯泉仁 2004. 北海道根室半島沿岸の水中光量子量 . コンブ目藻類の 生育限界水深との関係 - 藻類 52: 141-148.
- Sakanishi, Y., Ito, H. & Iizumi, H. 2004. Photosynthetic light-response curves in cold water species of Laminariales at the eastern Pacific coast of Hokkaido. Jpn. J. Phycol. 52 (Suppl.) : 33-39.
- 坂西芳彦・鈴木健吾・宇田川徹・飯泉仁・山本正昭 2001a. ナガコンブの光合成 及び生産力と関連した水中の光環境について、 藻類 49:117-123.
- 坂西芳彦・鈴木健吾・宇田川徹・飯泉仁・山本正昭 2001b. 釧路市沿岸における 夏季のナガコンブの日補償深度. 北海道区水産研究所研究報告 65: 45-54.
- Sakanishi, Y., Yokohama, Y. & Aruga, Y. 1988. Photosynthesis measurement of blade segments of brown algae *Ecklonia cava* Kjellman and *Eisenia bicyclis* Setchell. Jpn. J. Phycol. 36: 24-28.
- Sakanishi, Y., Yokohama, Y. & Aruga, Y. 1989. Seasonal changes of photosynthetic activity of a brown alga *Ecklonia cava* Kjellman. Bot. Mag. Tokyo 102: 34-51.
- 芹澤如比古・井本善次・大野正夫 2000. 土佐湾, 手結地先における大規模な磯焼けの発生. 高知大学海洋生物研究センター研究報告 20: 29-33.
- 田中次郎 1997. 褐藻 (コンブ目, ヒバマタ目, アミジグサ目) の分布にもとづく 海藻相解析. 藻類 45: 5-13.
- 谷口和也 1996. 海中林造成の基礎と実践. 藻類 44: 103-108.
- 谷口和也・山根英人・佐々木國隆・吾妻行雄・荒川久幸 2001. 磯焼け域におけるポーラスコンクリート製海藻礁によるアラメ海中林の造成. 日水誌 67: 858-865.
- 谷口秀策 2006. 温帯性コンブ科藻類の生態学的研究. 東京海洋大学修士学位論 文. 東京
- 筒井功・大野正夫 1993. 高知県須崎湾に生育するワカメ, ヒロメ, アントクメの成長と成熟. 水産増殖 41: 55-60.
- 横浜康継 2001. 海の森の物語. 新潮社. 東京.
- 横浜康継 2003. 海の森と地球環境. 海洋と生物 25:80-84.
- Yokohama, Y. & Ichimura, S. 1969. A new device of defferential gas-volumeter for ecological studies on small aquatic organisms. J. Oceanogr. Soc. Japan 25: 75-80.
- 米山純夫・斎藤実・堤清樹・河西一彦・江川紳一郎 1989. 伊豆大島におけるメガイアワビの季節成長. 水産増殖 37: 147-154.
- 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.

(Received Oct 18, 2012; Accepted May 29, 2013)