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

¹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 μ L O₂ cm⁻² day⁻¹ in June, and the minimum one of 39.4 μ L 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

¹Hachijo Branch, Tokyo Metropolitan Islands Area Research and Development Center of Agriculture, Forestry and Fisheries, Hachijomachi, 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

緒言

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 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、近年頻発する磯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4~11%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。

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

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 cm² (3 月および 4 月)もしくは 3.3 cm² (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 m² 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 ~ 400 μ mol m⁻² s⁻¹の間の 0, 12.5, 25, 50, 100, 200, 400 μ mol m⁻² 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

135° E

140° E

145° E

130° E



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。

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

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			
	(m ⁻¹)	(°C)	$(\mu L O_2 \text{ cm}^2)$	$^{2}h^{-1}$) (µmol 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11mにおける水中光の瞬間値および水深11m のアントクメ群落の藻体の葉面1m²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 11m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 ~ 0.32 の間で変動 した。 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 ~ 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 mol m⁻² day⁻¹ (5 月 25 日),最小値は 2.4 mol m⁻² day⁻¹ (1 月 14 日) 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 mol m⁻² day⁻¹ (5 月 21 日 および 25 日),最小値は 0.2 mol m⁻² day⁻¹ (1 月 14 日および 11 月 11 日) 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 m⁻² day⁻¹)から3月(29.1 mol m⁻² day⁻¹)にかけて増大した後、 3月から6月にかけては29.1 ~ 31.3 mol m⁻² day⁻¹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 m⁻² day⁻¹で最大となった後、直線的に減少し、12月には13.7 mol m⁻² day⁻¹で最小となった。一方、水中光の月平均値は、1 月は1.4 mol m⁻² day⁻¹であったが、3月には3.6 mol m⁻² day⁻¹ で最大となり、以後、5月にかけて3 mol m⁻² day⁻¹以上で推 移した。5月から7月(2.0 mol m⁻² day⁻¹)にかけて直線的に 減少した後、8月には3.1 mol m⁻² day⁻¹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 m⁻² day⁻¹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 s⁻¹ 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 O₂ cm⁻² h⁻¹の 間で推移した。E_k は、3月には103.4 μ mol m⁻² s⁻¹ と他の月 (67.5~86.2 μ mol m⁻² s⁻¹) 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 O₂ cm⁻² h⁻¹ であったが、9月には2.8 μ LO₂ cm⁻² h⁻¹ 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 m² 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 ~ 3.6 mol m⁻² day⁻¹の間で推移 したが,その後,7月(2.0 mol m⁻² day⁻¹)にかけて減少した。 8月には 3.0 mol m⁻² day⁻¹と増大した後,9月には 2.2 mol m⁻² 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 μ LO₂ cm⁻² day⁻¹,4月には 80.1 μ LO₂ cm⁻² day⁻¹ であったが,その後,6月(155.8 μ LO₂ cm⁻² day⁻¹)にかけ て増大した。6月から7月(39.4 μ LO₂ cm⁻² 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 LO₂ cm⁻² day⁻¹ および 146.7 μ LO₂ 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 m²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 μ mol m⁻² 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 ~ 28 μ L O₂ cm⁻² 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 O₂ cm⁻² day⁻¹ であったが,曇 天時は 66.3 μ L O₂ cm⁻² day⁻¹,雨天時は -93.3 μ L O₂ 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℃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 µLO₂ 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 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

有賀祐勝 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: 223-228.
- 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)