

生物圏科学
Biosphere Sci.
49 : 39–47 (2010)

広島湾における水中懸濁物と 大型褐藻クロメの葉上堆積物との光吸収特性の比較

新村陽子¹⁾・梶田 淳²⁾・寺脇利信³⁾・吉田吾郎^{3,4)}・浜口昌巳^{3,4)}・井関和夫⁴⁾

¹⁾ 海洋プランニング株式会社, 〒455-0036 愛知県名古屋港区浜2-10-11

²⁾ 水圏リサーチ株式会社, 〒730-0052 広島県広島市中区千田町3-11-7

³⁾ 独立行政法人 水産総合研究センター 瀬戸内海区水産研究所, 〒739-0452 広島県廿日市市丸石2-17-5

⁴⁾ 広島大学大学院生物圏科学研究科, 〒739-8528 広島県東広島市鏡山1-4-4

要 旨 海水中の懸濁物と、海藻の葉上堆積物は、ともに藻体表面に到達する光を質的かつ量的に変化させ、海藻の生産力に多大な影響を及ぼす。本研究では内湾域である広島湾における大型褐藻クロメの葉上堆積物とクロメ群落直近の海水中の懸濁物について、両者の光吸収係数を統一的手法（QFT法）に基づいて把握し、その特性を比較した。懸濁物と堆積物の全体の光吸収特性に明瞭な差は認められず、葉上堆積物の多くが沈降した懸濁物によって構成されていたことが推察された。懸濁物・堆積物ともに、デトリタスや微細藻類など多様な要素により構成されており、光合成有効波長域（400-700nm）のうち、短波長側の光は微細藻類の色素以外のデトリタスなどが、長波長側の光は微細藻類の光合成色素が吸収し、それぞれクロメの光吸収に大きく影響すると考えられた。

キーワード：吸収係数, クロメ, 懸濁物, 堆積物, 光, 広島湾

緒 言

藻場を構成する海藻類は、沿岸域の一次生産者として極めて重要な役割を果たしている。海藻類による光合成やそれに基づいた成長は光による制限を受けやすく、懸濁物の増加など水中の光環境の悪化に大きく影響を受ける。光合成に有効な光は、一般的に400-700nmの波長領域（PAR）にあり、海藻の一次生産は、その生育する海底に到達する光のスペクトル分布およびスペクトルごとの量に依存する（Morel 1991）。

海水中に入射した太陽光は、水深が深くなるに伴い、吸収・散乱によって指数関数的に減衰する（カーク 2002）。この入射光の減衰は海域や波長によって異なり、例えば、生物生産が活発な沿岸域において、青色光は表層でCDOM（有色溶存有機物）や植物プランクトンによって吸収されるため、深層まで届きにくい（Hoge *et al.* 1993）。海洋の光吸収に対する海水、CDOM、植物プランクトンおよびデトリタスなどの影響については、特に沿岸域の海色リモートセンシングの分野で関心が持たれており、これらの光吸収特性について多くの既往研究がある（例：平澤ら 2001；Kishino *et al.*, 1985；Ohi *et al.*, 2005）。特に、植物プランクトンやデトリタス等の懸濁物は、それぞれの特性に応じて光を吸収し、その量に応じて海底に到達する光を質・量的に変化させ、藻場の一次生産にも多大な影響を与えていると考えられるが、そのような観点からなされた研究は極めて少ない（例：Anastasiou 2009）。

一方、海藻や海草の葉上では一般的に「浮泥」と呼ばれることの多い粘土鉱物を核とする有機物も含む集合体の堆積がしばしば観察される。また、これら葉上の堆積物は微細藻類の着生基質となることも報告されており、葉上堆積物は、鉱物、デトリタスなど生物由来の有機物、および微細藻類の生細胞など、多様な

物性を有するものの凝集体であると考えられる（新村ら 2003, Niimura *et al.*, 2009）。過度の葉上堆積物は、藻体の表面に到達する光量を変化させるため（玉置ら1999; 寺脇ら 1991）、藻場の生産力の減少や群落の衰退の原因となる（Mukai and Iijima, 1995）。海藻の生育への影響を定量的に評価するためには、水中懸濁物の場合と同様に、葉上堆積物の光吸収特性を明らかにする必要があるが、そのような研究事例はこれまでにほとんど無い。

広島湾の湾奥部から湾口部の岩礁域では、明瞭な大型海藻類の水平・垂直分布が認められ、最も深所ではクロメ群落形成される（寺脇ら 2001）。光条件は海藻類の垂直分布を制限する要因の1つと考えられ、これまでに水深別に群落を形成するアカモク、ノコギリモク、クロメの群落外縁部と下床部の光環境の解明と比較が行われた（新村ら 2003, 2004）。その中でも最も深所で形成されるクロメ群落では、クロメ藻体や海底基質上に堆積物が堆積しやすく、群落の形成や成長が大きく影響を受ける（川崎・山田 1991, Terawaki *et al.*, 2001）。そこで、本研究では、広島湾におけるクロメの葉上堆積物とクロメ群落直近の海水中の懸濁物について、両者の光吸収係数を統一的手法に基づいて把握し、その特性の比較から、クロメの生育に及ぼす影響の解明に資することとした。

材料と方法

1) 懸濁物と葉上堆積物の採集

2005年11月18日、広島湾の湾口部に位置する柱島新宮鼻（山口県岩国市）地先の水深8mの海底において、SCUBA潜水により、クロメの藻体3個体にビニール袋をかぶせ、極力海水が入らないように注意しながら採取した。また、クロメ群落直近における海底直上1mの海水を採取した。採取したクロメの藻体と海水を、クーラーボックスに入れて遮光し、冷暗状態で速やかに実験室に持ち帰った。クロメ藻体から葉部の一部を切り取り、0.02 μm フィルターでろ過したろ過海水中で洗浄し、葉上の堆積物を懸濁させた。さらに、葉上の堆積物を懸濁させた海水を300 μm メッシュのプランクトンネットでろ過して大型の藻類や動物群集を取り除き、試料とした。クロメ群落直近の海水についても、同様にプランクトンネットでろ過し、ネットを通過した水中懸濁物（以下、懸濁物と略す）を試料とした。なお、切り取った葉部についてはそれぞれ面積を測定した。

2) 懸濁物・葉上堆積物の現存量の測定

懸濁物・葉上堆積物の現存量の指標として、各試料をサブサンプルに分け、乾燥重量（DW）、乾燥有機物重量（AFDW; Ash free dry weight）およびクロロフィル *a*（CHL*a*）濃度をそれぞれ測定した。DWについては、500 $^{\circ}\text{C}$ で2時間焼いて重量を測定した25mmのグラスファイバーフィルター（Whatman, GF/F）上に試料をろ過し、オープン乾燥機中で60 $^{\circ}\text{C}$ で48時間以上、恒量に達するまで乾燥して、デシケーター中で放冷後、秤量計で測定した。DWを測定後、これらの試料をマッフル炉中で500 $^{\circ}\text{C}$ で4時間焼き、試料中の有機物を燃焼させ、灰分乾燥重量（AW; Ash weight）を測定した。このAWをDWから差し引いて、AFDWを求めた。さらに、25mmのGF/F上に試料をろ過して、N,N-ジメチルホルムアミド（DMF）で、5 $^{\circ}\text{C}$ 下で、24時間以上抽出後（Suzuki & Ishimaru 1990）、蛍光光度計（Turner Designs, 10-AU）を用いてCHL*a*濃度を測定した（Holm-Hansen *et al.*, 1965）。葉上堆積物量は、葉部の単位面積あたりに換算した。

3) 懸濁物・葉上堆積物の光吸収係数の測定と算出

光吸収特性の指標として、光吸収係数があるが、自然状態の海水は、懸濁態・溶存態の多様な物質を含むため、その任意の波長 λ における光吸収係数 $a(\lambda)$ は次のように示される。

$$a(\lambda) = a_w(\lambda) + a_p(\lambda) + a_g(\lambda) \quad \text{--- (式1)}$$

ここで、それぞれ $a_w(\lambda)$: 水、 $a_p(\lambda)$: 懸濁物、 $a_g(\lambda)$: 溶存態物質の吸収係数、

$$\text{さらに } a_p(\lambda) = a_{ph}(\lambda) + a_m(\lambda) \quad \text{--- (式2)}$$

ここで、 $a_{ph}(\lambda)$: 微細藻類の光合成色素、 $a_m(\lambda)$: 色素脱色後の微細藻類の細胞を含むデトリタスの任意の波長 λ における吸収係数である（Mitchell *et al.*, 2000）。

懸濁物質の光吸収係数を測定するのに特に広く用いられている手法が QFT 法 (Quantitative filter technique) である (Mitchell *et al.*, 2000; Sosik, 1999)。これはガラスファイバーフィルター上に試料を捕集し、その光吸収係数を分光光度計で測定するものである。その後、メタノールや次亜塩素酸ナトリウムで植物色素を抽出し、デトリタスの光吸収係数を測定し、各波長で色素抽出前後の光吸収係数の差を用いて微細藻類の色素による光吸収係数を算出する。本研究では、葉上堆積物の光吸収係数の測定においても、ろ過海水中に試料を懸濁させ、濃度を調整することで QFT 法を適用可能と判断されたことから、葉上堆積物・海水懸濁物の両者において、本手法を用いて光吸収係数を求めた。

プランクトンネットで濾過済みの堆積物・懸濁物の試料から、それぞれ3サブサンプルを20ml ずつ分取後、直ちに吸引ろ過し、フィルター上に試料を捕集した。フィルターには、 $\phi 25\text{mm}$ のガラスファイバーフィルター (Whatmann, GF/F) を用いた。吸引圧は、微細藻類の細胞の損傷を可能な限り抑えるため、100mmHg 以下とした (Taguchi and Laws, 1988)。なお、前ろ過から吸引ろ過の過程については、光による色素分解を避けるため (Suzuki and Ishimaru, 1990)、暗所にて行った。

堆積物・懸濁物を捕集したフィルターの吸光度 $OD_f(\lambda)$ を島津の分光光度計 Biospec-1600 を用いて測定した。ろ過海水で湿らせた GF/F フィルターを対照とし、同様に測定した。波長350-800nm の間において、0.5nm 間隔で、フィルター上の場所をずらしながら3回吸光度を測定した。さらに、測定した吸光度を730nm-760nm 間の吸収の平均値で標準化した (Sosik and Mitchell, 1995)。測定した吸光度はガラスファイバーフィルター内でおきる多重散乱の影響を受けて見かけ上の吸光度が大きくなるため、Cleveland and Weidemann (1993) の式によってフィルター上に捕集された状態の吸光度から懸濁状態の吸光度 $OD_s(\lambda)$ を換算した (式3)。

$$OD_s(\lambda) = 0.378 OD_f(\lambda) + 0.523 OD_f(\lambda)^2 \quad \text{--- (式3)}$$

各試料の吸収係数 $a_p(\lambda)$ は算出された $OD_s(\lambda)$ を用いて以下の式によって求めた。

$$a_p(\lambda) = 2.303 OD_s(\lambda) \beta / X \quad \text{--- (式4)}$$

ここで、2.303は \log_{10} から \log_e への換算値、 β はろ過面積、 X はろ水量である。

$a_p(\lambda)$ の測定後、フィルター試料を5ml 程度のメタノールに約1時間浸して、藻類に由来する色素を抽出した (Kishino *et al.*, 1985)。再度、色素抽出後の吸光度を測定し、式1、式2を用いて藻類以外の懸濁物に由来する吸収係数 $a_m(\lambda)$ を推定した。 $a_p(\lambda)$ から $a_m(\lambda)$ を差し引いて、堆積物・懸濁物中における微細藻類の色素による光吸収係数 $a_{ph}(\lambda)$ を求めた (式3)。

$$a_{ph}(\lambda) = a_p(\lambda) - a_m(\lambda) \quad \text{--- (式5)}$$

特に440、676nm の光吸収係数を CHLa の、500nm のそれをカロチノイド系色素の光吸収の指標とした。これらの吸収極大の比は各サンプルの光吸収特性を示し、特に $a_{ph}(\lambda)$ においてはサンプル中における個体群の光吸収特性の指標としてしばしば用いられる (例: Dupouy *et al.*, 2003)。ここでも、光吸収特性の指標として CHLa の光吸収極大の比 $a(440) / a(676)$ を B/R 比、青色領域とカロチノイド系色素による光吸収極大の比 $a(440) / a(550)$ を B/G 比とした。

結果および考察

1) 水中懸濁物と葉上堆積物の現存量

クロメの各個体から切り取った葉部の面積は 596.9 cm^2 , 154.3 cm^2 , 125.1 cm^2 であった。水中懸濁物 (懸濁物) の現存量 (DW) は 78.0 mg L^{-1} , 葉上堆積物は $0.69 \pm 0.19 \text{ mg cm}^{-2}$ であった。有機物量の指標となる AFDW は、葉上堆積物においては $0.20 \pm 0.20 \text{ mg cm}^{-2}$ であり、AFDW / DW は 0.25 ± 0.21 であった。葉上堆積物における有機物の含有率は、同一群落から採取したクロメ藻体であっても個体ごとに異なった。懸濁物の AFDW は 11.9 mg L^{-1} であり、AFDW / DW は 0.15 であった。有機物の含有率は葉上堆積物において高かった。

微細藻類の現存量の指標となる CHLa 濃度は、海水中では $5.1 \mu\text{g L}^{-1}$, 葉上では $0.25 \pm 0.16 \mu\text{g cm}^{-2}$ であった。微細藻類の分解物の指標であるフェオ色素濃度は、海水中では $1.0 \mu\text{g L}^{-1}$, 葉上では $0.11 \pm 0.08 \mu\text{g cm}^{-2}$ であった。全色素に占める CHLa の比は、懸濁物では 0.83 , 堆積物中では 0.70 ± 0.03 と懸濁物中においてやや高い数値を示した。

2) 懸濁物と堆積物の各波長の吸光度および光吸収係数

懸濁物や堆積物の吸光度 ($OD(\lambda)$) はフィルター上の捕集量に依存し、堆積物において高かった (Fig. 1)。懸濁物・堆積物共に CHL a による吸収極大がそれぞれ赤色光領域の676nm、青色光領域の440nm 付近に認められる点で両者は共通していた。水中懸濁物と葉上堆積物の400-700nm の光吸収係数 $a_p(\lambda) \cdot a_m(\lambda) \cdot a_{ph}(\lambda)$ を、それぞれ Fig. 2, 3に示す。そのうち440, 500, 676nm の光吸収係数を Table 1に示した。その結果、堆積物・懸濁物ともに植物色素を除いた光吸収 $a_m(\lambda)$ は短波長側の440nm, 500nm において、微細藻類の光

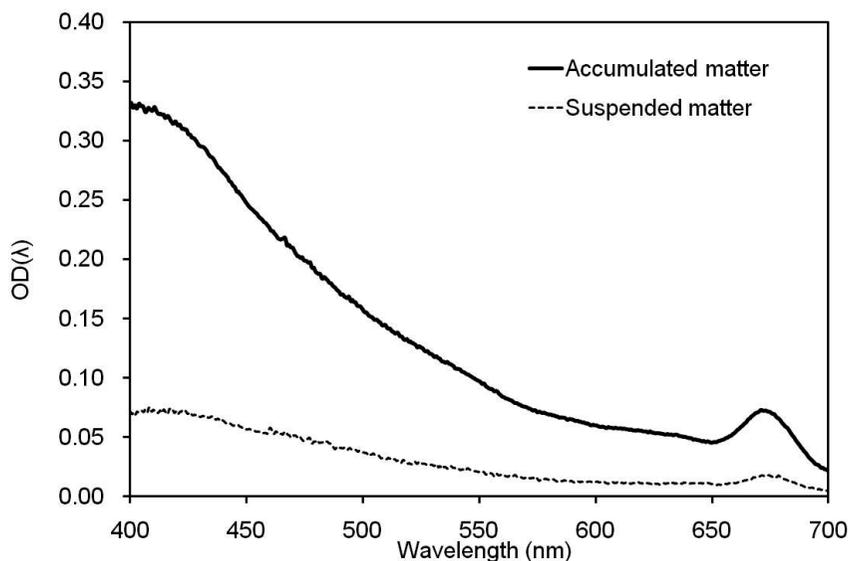


Fig. 1. Optical density ($OD(\lambda)$) of suspended matter in the vicinity of *Ecklonia* bed and accumulated matter on the thalli of *Ecklonia kurome*.

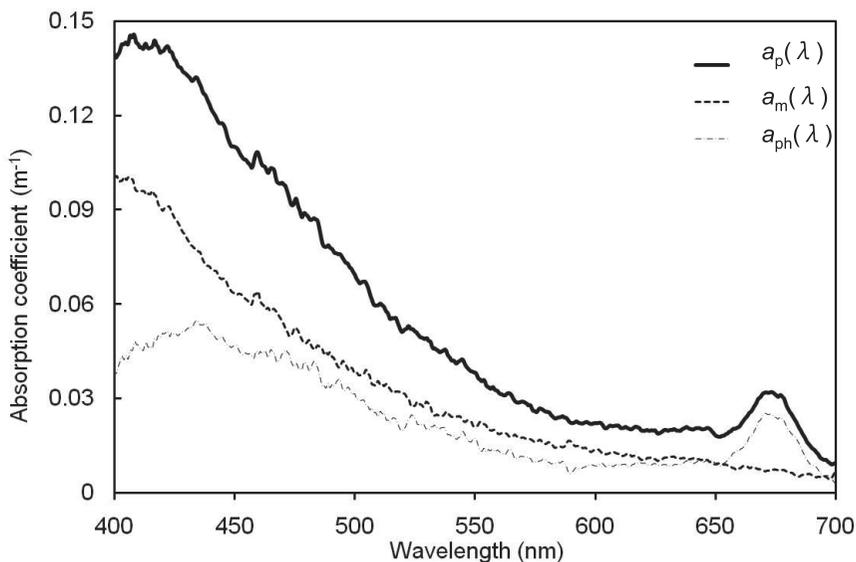


Fig. 2. Spectral values of the absorption coefficient for total particulate (a_p), non-algal particles (a_m), and microalgae (a_{ph}) at the water sample in the vicinity of *Ecklonia* bed.

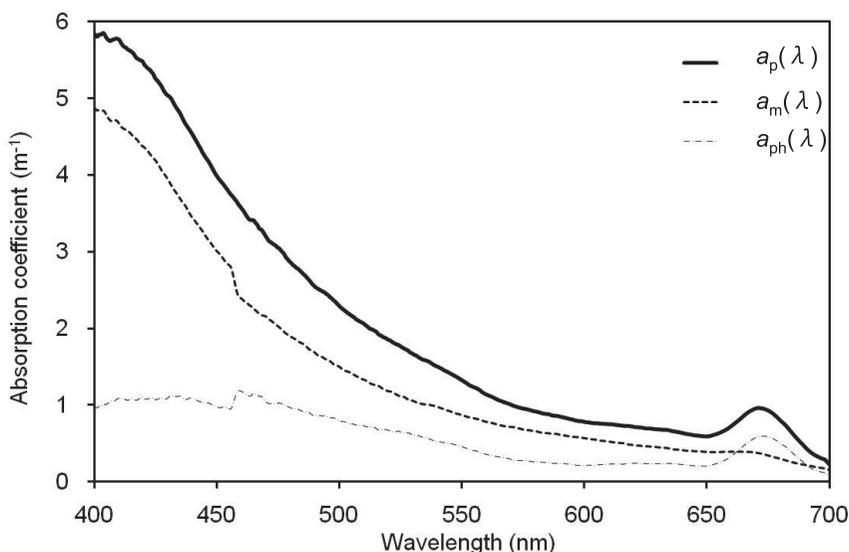


Fig. 3. Spectral values of the absorption coefficient for total particulate (a_p), non-algal particles (a_m), and microalgae (a_{ph}) of accumulated matter on the thalli of *Ecklonia kurome*.

Table 1. The spectral values of absorption coefficient (m^{-1}) for the accumulated matter on thalli of *Ecklonia kurome* and the suspended matter in the water in the vicinity of *Ecklonia* bed.

Wavelength	Sediment			Seawater		
	a_p	a_m	a_{ph}	a_p	a_m	a_{ph}
440nm	4.57	3.57	1.17	0.136	0.073	0.062
500nm	2.31	1.54	0.86	0.076	0.038	0.037
676nm	0.92	0.34	0.60	0.033	0.008	0.026

合成色素による光吸収 $a_{ph}(\lambda)$ は長波長側の676nmにおいてそれぞれ大きかった。したがって、広島湾の大型褐藻クロメの葉上堆積物とクロメ群落直近の海水中の懸濁物によるクロメの光吸収を阻害する原因物質はスペクトルによって異なる。

藻場が成立するような内湾において、青色光は海面の表層で CDOM や植物プランクトンによって吸収されるために深所まで届かず、一般的な制限要因となる (Hoge *et al.*, 1993)。そのような環境下で生育するクロメなどの褐藻類による光吸収のピークは、CHL_a やキサントフィルカロチノイドによる440nm, 500-570nm, 675nm 付近に認められる (例: カーク 2002)。クロメなど大型褐藻類はカロチノイドなどの補助色素によって広い範囲の光を取り込むことによって (カーク 2002; Malick 2004), 青色光が制限された環境下に適応しているとされる。

堆積物や懸濁物の量が葉上または水柱において増加すると、葉に到達する光子量は減衰する (例: Brush and Nixon, 2002; 玉置ら1999)。さらに堆積物や懸濁物中に、珪藻類等の微細藻類が増加すれば、褐藻類と類似した吸収スペクトルを持つ為に、減衰した光の中で光競合が起こり、クロメの生産力が低下すると考えられる。

3) 懸濁物と堆積物の光吸収特性

懸濁物と堆積物の各吸収係数から B/R 比と B/G 比を求め、それを Table 2 に示した。その結果、懸濁物と堆積物における吸収係数の B/G 比, B/R 比は概ねよく似た値を示しており、クロメ場近傍の懸濁物と堆積

Table 2. B / G and B / R ratio of the spectral values of absorption coefficient (m^{-1}) for the accumulated matter on thalli of *Ecklonia kurome* and the suspended matter in the water in the vicinity of *Ecklonia* bed.

	Sediment			Suspended materials		
	a_p	a_m	a_{ph}	a_p	a_m	a_{ph}
B / G ratio	1.98	2.32	1.36	1.79	1.92	1.68
B / R ratio	4.97	10.50	1.95	4.12	9.13	2.38

Table 3. The spectral values of chl *a* specific absorption coefficient ($m^2 \text{ mg CHL}a^{-1}$) for the accumulated matter on thalli of *Ecklonia kurome* and the suspended matter in the water in the vicinity of *Ecklonia* bed.

Wavelength	Sediment	Suspended materials
$a^*(440)$	0.017 ± 0.006	0.043
$a^*(676)$	0.010 ± 0.002	0.017
B / R ratio	1.82	2.54

物がほぼ同質のものであることが示唆された。すなわち、クロメの葉上堆積物の多くが沈降した懸濁物によって構成されていたと推察された。

分光光度計から推定された $a_{ph}(\lambda)$ の400-700nm までの平均値を求め、蛍光光度計で測定した CHL *a* 濃度で割ると微細藻類の単位 CHL *a* あたりの比吸収係数 a^* を算出できるが、これで藻類の単位光合成色素量あたりの光吸収効率を比較することができる。懸濁物と堆積物の比吸収係数 a^* を求めた結果、懸濁物では $0.020 \text{ m}^2[\text{mgCHL}a]^{-1}$ 、堆積物では $0.008 \sim 0.013 \text{ m}^2[\text{mgCHL}a]^{-1}$ と後者でほぼ半減した。したがって、懸濁物に比べて堆積物において藻類の単位色素量あたりの光吸収効率が低いことが明らかとなった (Duysens, 1956)。さらに、比吸収係数 a^*_{ph} を CHL *a* の吸収ピークの波長440, 676nm で比較した結果、懸濁物の $a^*_{ph}(440)$ および $a^*_{ph}(676)$ は、それぞれ0.043, $0.017 \text{ m}^2[\text{mgCHL}a]^{-1}$ であり、外洋などにおける $a^*(\lambda)$ 値 (例: Babin *et al.*, 1993; Ohi *et al.*, 2005) と明瞭な差は認められなかった。一方、堆積物の $a^*_{ph}(440)$ および $a^*_{ph}(676)$ は、それぞれ 0.017 ± 0.006 , $0.010 \pm 0.002 \text{ m}^2[\text{mgCHL}a]^{-1}$ と、懸濁物に比べて明らかに低かった (Table 3)。この微細藻類の比吸収係数 a^*_{ph} の差は、藻類がデトリタスや無機物と共に凝集して存在している堆積物中においては特に微細藻類の細胞外での光吸収が大きく、海水中に懸濁した状態に比べて「パッケージ効果」の影響が著しいために光吸収効率が低下し、生じたと考えられた (Kirk, 1975; Morel and Bricaud, 1981)。また、CHL *a* の吸収ピークにおける懸濁物と堆積物の $a^*_{ph}(\lambda)$ の B / R 比はそれぞれ2.54, 1.82となり、懸濁物と堆積物の $a_{ph}(\lambda)$ の B / R 比と同じ傾向を示し、微細藻類の比吸収係数 a^*_{ph} の特性は吸収係数 a_{ph} に反映された。

さらに今後は、クロメの生育に及ぼす影響の解明に資する上で、葉上堆積物による藻体への光吸収の影響を明らかにし、海藻群落が成立する各水深帯における波長組成と現場の海藻類による光吸収特性を把握する必要がある。また、褐藻類はカロチノイドの効率よい光吸収に依存しているため (カーク, 2002)、その光吸収に対する堆積物の「質」すなわち組成の変化に伴う吸収の変化を調べる必要があるだろう。今回は、サイドオン型の分光光度計を用いたが、測定ノイズを少なくするためにはエンドオン型・積分球型を用いることが望ましいとされる (平澤ら 2001)。本研究では粒状物による光吸収のみを扱い溶存物質、特に CDOM による光吸収を無視したが、溶存物質による吸収係数 $a_{dom}(\lambda)$ は400-700nm の波長帯において、 $a(\lambda)$ の20%以上を占めることが報告されているため (Sasaki *et al.* 2001)、今後これにも焦点を当てていく必要がある。

謝 辞

機器類の使用に際し、快く便宜を図ってくださった独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所 環境動態研究室の樽谷賢治室長および化学環境部の藤井一則室長をはじめ、ご協力くださった研究所関係者の皆様に深く感謝申し上げます。また、本稿作成にご理解くださった海洋プランニング(株)の同僚諸氏に謝意を表します。

引用文献

- Anastasiou, C.J. 2009. Characterization of the underwater light environment and its relevance to seagrass recovery and sustainability in Tampa Bay, Florida. p.132 (Ph.D. dissertation).
- Babin M., Morel, A., Gagnon, R., 1993. Extent of variations in the specific absorption coefficient for natural phytoplankton assemblages: Impact on estimation of primary production. *Limnol. Oceanogr.*, **38**: 154- 177.
- Brush, M.J., Nixon, S.W. 2002. Direct measurements of light attenuation by epiphytes on eelgrass *Zostera marina*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **238**: 73-79.
- Cleveland, J.S., Weidemann, A.D., 1993. Quantifying absorption by aquatic particles: A multiple scattering correction for glass-fiber filters. *Limnol. Oceanogr.*, **38**: 1321-1327.
- Dupouy, C., Loisel H., Neveux, J., Brown, S.L., Moulin, C., Blanchot, J., Le Bouteiller, A., Landry, M.R., 2003. Microbial absorption and backscattering coefficients from in situ and POLDER satellite data during an El Niño-Southern Oscillation cold phase in the equatorial Pacific (180°). *Journal of Geophysical Research.*, **108(C12)**, 8138, doi:10.1029/2001JC001298.
- Duysens, L.N.M. 1956. The flattening of the absorption spectrum of suspensions as compared to that of solutions. *Biochem. Biophys. Acta*, **19**: 1-12.
- 平澤亨・鈴木光次・岸野元彰・古谷研・田口哲・齋藤誠一・才野敏郎・松本和彦・播本孝史・佐々木宏明・藤木徹一・古原慎一・柏俊行. 2001. QFT 法および現場型水中分光吸光度計による植物プランクトンの光吸収スペクトル測定プロトコル. *海の研究*, **10**: 471-484.
- Hoge, F.E., Vodacek, A., Blough, N.V., 1993. Inherent optical properties of the ocean: Retrieval of the absorption coefficient of chromophoric dissolved organic matter from fluorescence measurements. *Limnol. Oceanogr.*, **38**: 1394-1402.
- Holm-Hansen, O.C., Lorenzen, C.J., Holmes, R.W. Strickland, D.H., 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. *J. du Councell.*, **30**: 3-15.
- 川崎保夫・山田貞夫. 1991. 海中砂漠緑化技術の開発 第5報 アラメ, カジメ, クロメの配偶体および幼孢子体に対する成長限界光量と堆積物堆積量. *電力中央研究所報告 U91034*: 1-22.
- Kirk, J.T.O. 1975. A theoretical analysis of the contribution of algal cells to attenuation of light within waters, II, Spherical cells. *New Phytol.*, **75**: 21-36.
- カーク, J.T.O., 2002. 水圏の生物生産と光合成. (山本民治 訳), 恒星社厚生閣, 東京 pp387.
- Kishino, M., Takahashi, M., Okami, N., Ichimura, S., 1985. Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea. *Bull. Mar. Science*, **37**: 634-642.
- Malick, L.A., 2004. Light quality and phytoplankton viability. University of South Florida.
- Mitchell, B.G., Bricaud, A., Carder, K., Cleveland, J., Ferrari, G., Could, R., Kahru, M., Kishino, M., Maske, H., Moisan, T., Moore, L., Nelson, N., Phinney, D., Reynolds, R., Sosik, H., Stramski, D., Tassan, S., Trees, C., Weidemann, A., Wieland, J., Vodacek, A., 2000. Chapter 12: Determination of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. In "Ocean optics protocols for satellite ocean color sensor validation, Revision 2", Ed. Fargion and Mueller, Goddard Space Flight Space Center, Maryland. 125-153.
- Morel, A., 1991. Light and marine photosynthesis: a spectral model with geochemical and climatological

- implications. *Prog. Oceanogr.*, **26**: 263-306.
- Morel, A., Bricaud, A., 1981. Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and application to specific absorption of phytoplankton. *Deep-Sea Res.*, **28**: 1375-1393.
- Mukai, H., Iijima, A., 1995. Grazing effect of a gammaridean Amphipoda, *Ampithoe* sp., on the seagrass, *Syringodium isoetifolium*, and epiphytes in a tropical Seagrass bed of Fiji. *Ecol. Res.*, **10**: 243-257.
- 新村陽子・内村真之・薄浩則・吉川浩二・吉田吾郎・玉置仁・寺脇利信. 2003. 広島湾の藻場の外縁部における水環境と光透過. *水産工学*, **40**: 7-14.
- 新村陽子・玉置仁・吉田吾郎・寺脇利信. 2003. アマモ類の葉上堆積物における付着珪藻類の役割. *日本藻類学会第27回大会要旨集*, 100
- 新村陽子・吉田吾郎・玉置仁・寺脇利信. 2004. 広島湾に生育する大型褐藻群落の内部における光環境の違い. *水産工学*, **41**: 133-138.
- Niimura, Y., Tamaki, H., Yoshida, G., Terawaki, T., Iseki, K., 2009. Variation in biomass and species composition of epiphytic community on the different aged leaves of *Zostera marina* (Chlorophyta). *J. Grad. Sch. Biosp. Sci., Hiroshima Univ.*, **48**: 55-61.
- Oh, N., Saito, H., Taguchi, S., 2005. Diel patterns in chlorophyll a specific absorption coefficient and absorption efficiency factor of picoplankton. *J. Oceanogr.*, **61**: 379-388.
- Sasaki, H., Saitoh, H., Kishino, M., 2001. Bio-optical properties of seawater in the western subarctic gyre and Alaskan Gyre in the subarctic North Pacific and the Southern Bering Sea during the Summer of 1997. *J. Oceanogr.*, **57**: 275-284.
- Sosik, H. M., 1999. Storage of marine particulate samples for light-absorption measurements. *Limnol. Oceanogr.*, **44**: 1131-1141.
- Sosik, H. M., Mitchell, B. G., 1995. Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System. *Deep-Sea Research I*, **42**: 1717-1748.
- Suzuki, R., Ishimaru, T., 1990. An improved method for the determination of phytoplankton chlorophyll using N, N-Dimethylformamide. *J. Oceanogr. Soc. Jap.*, **46**: 190-194.
- Taguchi, S., Laws, E. A., 1988. On the microparticles which pass through glass fiber filter type GF/F in coastal and open waters. *J. Plankton Res.*, **10**: 999-1008.
- 玉置仁・西嶋渉・新井省吾・寺脇利信・岡田光正. 1999. アマモ生育に及ぼす葉上堆積物の影響. *水環境学会誌*, **22**: 663-667.
- 寺脇利信・後藤弘・本多正樹. 1991. 海中林造成技術の実証 第1報 技術動向の文献・事例調査, *電力中央研究所・調査報告*: **U91021**: pp. 38.
- Terawaki, T., Hasegawa, H., Arai, S., Ohno, M., 2001. Management-free techniques for restoration of *Eisenia* and *Ecklonia* beds along the central Pacific coast of Japan. *J. Appl. Phyc.*, **13**: 13-17.
- 寺脇利信・吉川浩二・吉田吾郎・内村真之・新井章吾. 2001. 広島湾における大型海藻類の水平・垂直分布様式. *瀬戸内海区水産研究所報告*, **3**: 73-81.

Comparison of absorption coefficients between accumulated matter on the thalli of *Ecklonia kurome* and suspended matter in the water surrounding *Ecklonia* bed

Yoko NIIMURA¹, Atsushi KAJITA², Toshinobu TERAWAKI³, Goro YOSHIDA^{3,4},
Masami HAMAGUCHI^{3,4} and Kazuo ISEKI⁴

1) Oceanic Planning Corporation, 2-10-11 Hama, Minato, Nagoya, Aichi 455-0036, JAPAN

2) Aquatic Research Inc., Senda, 3-11-7, Naka, Hiroshima 730-0052, JAPAN

3) National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea,
2-17-5 Maruishi, Hatsukaichi, Hiroshima 739-0452, JAPAN

4) Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University,
1-4-4 Kagamiyama, Higashi -Hiroshima, Hiroshima 739-8528, JAPAN

Abstract Light is the primary limiting factor for macroalgal production. Understanding not only the quantity but also the quality of light reaching algal thalli is important to the success of algal recovery and sustainability. This study explores the optical properties of accumulated matter on the thalli of *Ecklonia kurome* and suspended matter in the water surrounding an *Ecklonia* bed in Hiroshima Bay, based on spectral absorption coefficient estimated by the quantitative filter technique (QFT) method.

According to the experiments, minimal difference of optical properties between suspended matter and accumulated matter was recognized. It is assumed that suspended matter in the water formed the accumulated matter on the thalli of *E. kurome*. Both suspended matter and accumulated matter were composed of multiple components, various kinds of microalgae, detritus and inorganic matter. In the wavelength-specific photosynthetically active radiation (400-700nm), detritus and inorganic matter formed the primary absorber of blue light, while microalgal pigments was the primary absorber of red light. Each absorber in suspended and accumulated matter might attenuate specific wavelength and change the quality of light reaching the thalli of *E. kurome*.

Keywords: absorption coefficients, accumulated matter, *Ecklonia kurome*, Hiroshima Bay, light, suspended matter