

影山明美*・横浜康継*: 深所性緑藻の色素と光合成**

Akemi KAGEYAMA* and Yasutsugu YOKOHAMA*: Pigments and photosynthesis of deep-water green algae.**

沿岸深所の光は緑色であると言う¹⁻⁸⁾。そのような深所の海底に多くの緑藻が繁茂するという一見不思議な現象について、筆者等が得たデータをもとに考察してみたい。

海中光について

Fig. 1 は 1976年 8月 下田湾口において Techtum Quantaspectrometer QSM-2500⁴⁾

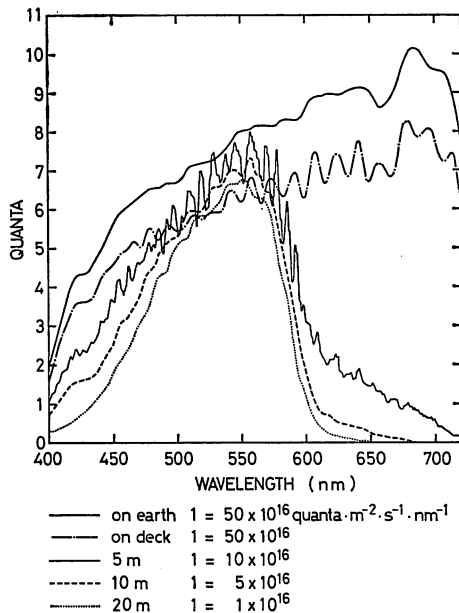


Fig. 1. Spectral distributions of light quanta on deck and under water at the entrance of Shimoda Bay, August 20 1976 and on earth at Shimoda Marine Research Center, August 21 1976.

* 筑波大学下田臨海実験センター (415 静岡県下田市 5-10-1)

Shimoda Marine Research Center, The University of Tsukuba, Shimoda, Shizuoka, 415 Japan.

** 筑波大学下田臨海実験センター業績 No. 316

Bull. Jap. Soc. Phycol. 25: 168-175, 1977.

を用いて測定した海中光の分光組成である。すでに水深 5m で赤色光はほとんど無くなり、緑色光が大部分を占める。この測点附近の水深 10m から 20m の海底にヤブレグサやタマミル等が豊富にみられる。

藻体の吸収スペクトル

Fig. 2 は *Ulva* の浅所種アナアオサと深所種ヤブレグサの吸収スペクトルである。後者は 540nm 附近に顕著なバンドをもち^{5),6)}、両者の差スペクトルは後者の藻体が緑色光を特異的に吸収する色素をかなり多量に含むことを示唆する。種々の緑藻の吸収スペクトルを調べたところ Fig. 3 のように 540nm 附近のバンドのみられない型とそれの顕著にみられる型に二分できることが分った。前者はすべて浅所種であるのに対して、深所種はすべて後者の型を示したので、前者を浅所型、後者を深所型と呼ぶことにした⁷⁾。

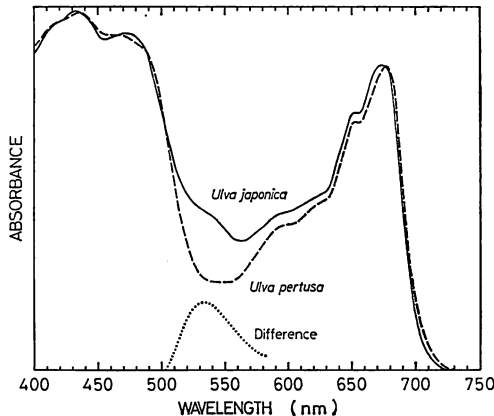


Fig. 2. *In vivo* absorption spectra of *Ulva pertusa* and *U. japonica* and the difference spectrum between them.

藻体の色素組成

深所型緑藻の全色素の有機溶媒抽出液の吸収スペクトルには 540nm 附近のバンドがみられない。生藻体を瞬間的に熱した場合もこのバンドの消失は起るので、このバンドの成因として本来もっと短波長側に吸収極大をもった色素の葉緑体たんぱくとの結合による吸収極大の Red shift (長波長側への移動) を想定することができる。そこでその色素を探してみることにした。Fig. 4 は前図と同じ種類の緑藻藻体の色素のセルロース薄層クロマトグラムであるが、深所型のもの (Nos. 6-11) のみに共通に Fig. I (オレ

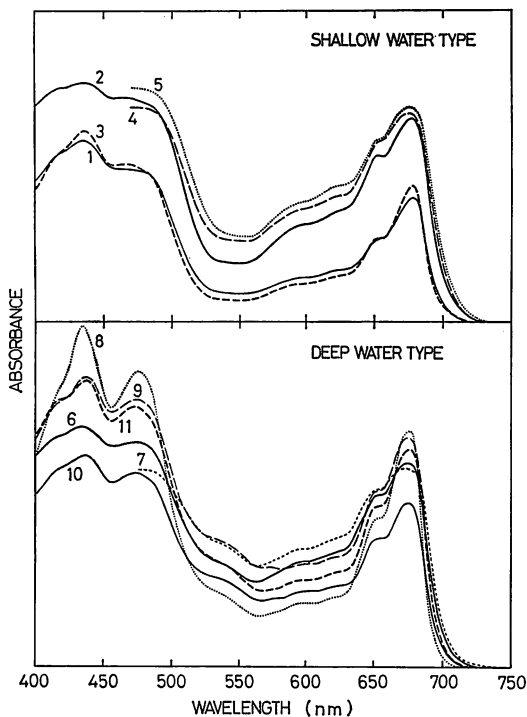


Fig. 3. *In vivo* absorption spectra of various chlorophycean seaweeds.

Samples: 1, *Monostroma nitidum*; 2, *Ulva pertusa*; 3, *Enteromorpha compressa*; 4, *Chaetomorpha crassa*; 5, *Cladophora* sp.; 6, *Ulva japonica*; 7, *Cladophora wrightiana*; 8, *Valonia macrophysa*; 9, *Codium adhaerens*; 10, *Codium mammosa*; 11, *Codium fragile*.

ンジ色) がみられる。他に深所型種に特異的で共通な色素は見出せないで、この色素が生体の 540 nm 附近の吸収バンドと相関して出現する唯一の色素と言える。ミルの仲間 (Nos. 9-11) にはこの他にもうひとつのオレンジ色素 (Fig. II) がみられる。Fig. I および Fig. II はそれぞれ Siphonaxanthin およびそのエステル siphonein⁸⁻¹²⁾ と同定された。Siphonaxanthin の有機溶媒中での吸収極大は 450 nm 附近にあるので、深所型緑藻生藻体の 540 nm 附近の吸収バンドはこの色素の吸収極大が 90 nm ほど Red shift することによって生じたものとみなすことができる⁷⁾。このような大幅な Red shift は褐藻や珪藻の Fucoxanthin についても想定されている^{13), 14)}。Table 1 は各緑藻における Siphonaxanthin およびクロロフィル *b* の含量のクロロフィル *a* 含量に対する分子比を示したものである。Siphonaxanthin の値は浅所型種では 0、深所型種で約 0.3、クロロフィル *b* の値はそれぞれ 0.5 から 0.7 および 0.8 から 1.1 であった。

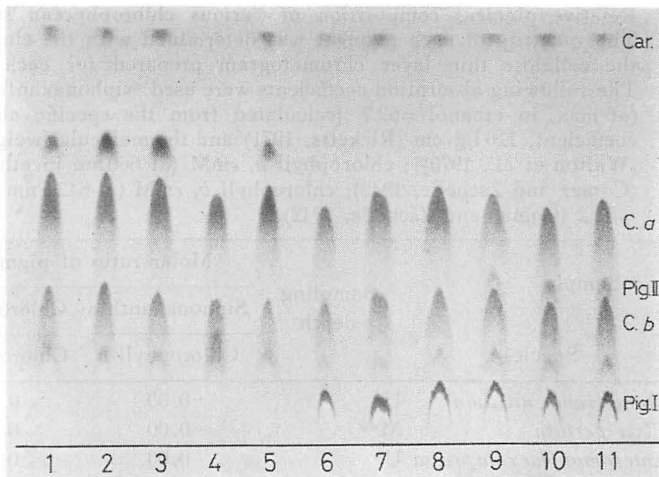


Fig. 4. Cellulose thin-layer chromatograms of pigments in various chlorophycean seaweeds. Samples are the same as those in Fig. 3. The developing solvent: n-hexane, diethylether and n-propanol (50:50:0.5, v/v/v). Car.=carotenes; C. a=chlorophyll a; C. b=chlorophyll b.

Siphonaxanthin の機能

Fig. 5 は *Ulva* の深所種ヤブレグサと浅所種アナアオサについて Fig. 6 のような分光特性をもつ白色光と緑色光のもとで得た光合成—光曲線である。アナアオサは陽生植物的傾向を示すばかりでなく、緑色光を白色光の約70%の効率でしか吸収利用できない。これに対し、ヤブレグサは緑色光を白色光とほぼ等しい効率で吸収利用できる。この結果からも 540 nm 附近の吸収バンドと緑色光利用能力との密接な関係がうかがえる。さらに直接的な証明は藻体のクロロフィル a から発する蛍光に対する励起スペクトルの比較によって得られた¹⁵⁾。室温でヤブレグサやアナアオサの藻体に各波長の光を当てると 685 nm に極大をもつ蛍光が発する。Fig. 7 は 685 nm の蛍光に対する励起スペクトルであるが、吸収スペクトルの場合と同様にヤブレグサのみに 540 nm 附近の明瞭なバンドがみられる。このことから Siphonaxanthin によって吸収された 540 nm 附近の緑色光のエネルギーが効率よくクロロフィル a に伝達されるとみなすことができる。

以上のようにして深所性緑藻の藻体はクロロフィル b を高い比で含むばかりでなく Siphonaxanthin を特異的に含むことが明らかとなり、さらにこの色素は葉緑体内では緑色光を特異的に吸収する光合成色素として存在するものと推定された。深所性緑藻はこのような深所型の色素構成のおかげで沿岸深所の緑色光下でも生育できるのであろう。Siphonaxanthin は系統的には Siphonous algae に特異的に分布するとされ、系統を

Table 1. Relative pigment composition of various chlorophycean seaweeds. The quantity of each pigment was determined with the eluate from the cellulose thin layer chromatogram prepared for each species. The following absorption coefficients were used: siphonaxanthin, ϵ M (at max. in ethanol)=69.7 [calculated from the specific absorption coefficient, 116 l/g·cm (Ricketts, 1971) and the molecular weight, 600.9 (Walton et al., 1970)]; chlorophyll *a*, ϵ M (at 660 nm in ether)=91.1 (Comar and Zscheile, 1942); chlorophyll *b*, ϵ M (at 642.5 nm in ether)=52.2 (Comar and Zscheile, 1942).

No.	Sample Species	Sampling depth	Molar ratio of pigments	
			Siphonaxanthin	Chlorophyll <i>b</i>
			Chlorophyll <i>a</i>	Chlorophyll <i>a</i>
1	<i>Monostroma nitidum</i>	U*	0.00	0.58
2	<i>Ulva pertusa</i>	M**	0.00	0.70
3	<i>Enteromorpha compressa</i>	U*	0.00	0.60
4	<i>Chaetomorpha crassa</i>	0.5 m	0.00	0.69
5	<i>Cladophora</i> sp.	U*	0.00	0.49
6	<i>Ulva japonica</i>	10 m	0.27	0.81
7	<i>Cladophora wrightiana</i>	2 m (shade)***	0.28	0.88
8	<i>Valonia macrophysa</i>	2 m (shade)***	0.35	0.95
9	<i>Codium adhaerens</i>	2 m (shade)***	0.28	1.01
10	<i>Codium mamilloso</i>	18 m	0.27	1.12
11	<i>Codium fragile</i>	0.5 m	0.25	0.91

* Upper intertidal zone.

** Middle intertidal zone.

*** These materials were collected from shaded sites in shallow water though these species are luxuriant in deep water.

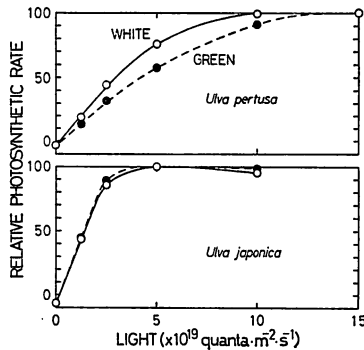


Fig. 5. Photosynthesis-light relationships under white and green light in *Ulva pertusa* collected from the intertidal zone and *U. japonica* from 20 m depth. Temperature was 25°C.

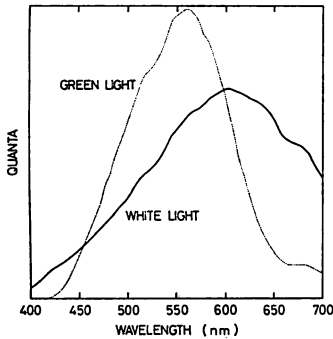


Fig. 6. Spectral distributions of white light and green light used for the experiments to obtain the results shown in Fig. 5.

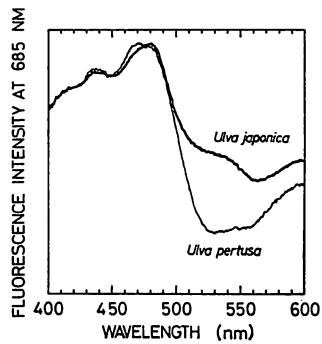


Fig. 7. Excitation spectra of 685 nm fluorescence of the thalli of *Ulva pertusa* and *U. japonica* measured at room temperature. Fluorescence intensity at 685 nm (half-bandwidth, 7 nm) per incident energy was recorded against wavelength of excitation light. Half-bandwidth for the excitation, 5 nm.

論ずる根拠にもされている¹⁶⁾。しかしそれらとは縁の遠い Ulvales の深所種ヤブレグサが Siphonaxanthin を含むという事実は、Siphonous algae の多くが深所性であるという事実と共に、この色素が緑藻における系統進化と生態や環境との関連を追求する上の重要な鍵となる可能性を示唆していると言えよう。

Summary

In vivo absorption spectra of deep-water green algae are distinguished from those of the popular shallow-water ones. The former show a distinct band around 540 nm (green region), which the latter lack. Therefore, the former were referred to as “deep water type” and the latter “shallow water type”. The 540 nm band of the absorption spectrum of deep water type was considered to be the band of a green light-absorbing pigment, the chromophore of which was siphonaxanthin because this carotenoid was the only common and specific pigment of the green algae of deep water type.

Siphonaxanthin can be regarded as an effective photosynthetic pigment of system II because the excitation spectra of chlorophyll *a* fluorescence of the deep-water species showed a distinct band around 540 nm at room temperature. *Ulva japonica*, a deep-water species, collected at the depth of 20 m utilized green light, which was similar to light in the coastal deep waters, by the same

efficiency as white light, while in *Ulva pertusa*, a shallow-water species, the efficiency of green light was about 70% of that of white light.

Siphonaxanthin is presumed to be an efficient photosynthetic pigment important for the green algae living in deep coastal waters where green light is predominant as this pigment in the *in vivo* state is considered to absorb green light specifically and efficiently transfer its excitation energy to chlorophyll *a*.

参 考 文 献

- 1) LEVRING, T. (1967) Photosynthesis of some marine algae in clear, tropical oceanic water. *Bot. Mar.* **11**: 72-80.
- 2) ————— (1969) Light conditions, photosynthesis and growth of marine algae in coastal and clear oceanic water. *Proc. Intern. Seaweed Symp.* **6**: 235-244.
- 3) JERLOV, N.G. (1968) *Optical Oceanography*. Elsevier Publishing Co. Amsterdam.
- 4) HALLDAL, P. and HALLDAL, K. (1973) Phytoplankton, chlorophyll, and submarine light conditions in Kings Bay, Spitsbergen, July 1971. *Norw. J. Bot.* **3**: 99-108.
- 5) 横浜康継 (1971) 海洋植物の生態. *海洋科学* **11**: 27-34.
- 6) ————— (1973) 生育深度を異にする緑藻の光合成特性. *藻類* **21**: 70-75.
- 7) YOKOHAMA, Y., KAGEYAMA, A., IKAWA, T. and SHIMURA, S. (1977) A carotenoid characteristic of chlorophycean seaweeds living in deep coastal waters. *Bot. Mar.* **20** (in press).
- 8) STRAIN, H.H. (1951) The pigment of algae, In *Manual of Phycology* (G.M. SMITH, ed.). Chronica Botanica Co., Waltham, Mas.: 243-262.
- 9) KLEINIG, H. and EGGER, K. (1967) Zur Struktur von Siphonaxanthin und Siphonein, den Hauptcarotinoiden siphonaler Grünalgen. *Phytochemistry*, **6**: 1681-1686.
- 10) JEFFREY, S.W. (1968) Quantitative thin-layer chromatography of chlorophylls and carotenoids from marine algae. *Biochim. Biophys. Acta* **162**: 271-285.
- 11) RICKETTS, T.R. (1971) The structures of siphonein and siphonaxanthin from *Codium fragile*. *Phytochemistry* **10**: 155-160.
- 12) WEBER, A. and F.C. CZYGAN (1972) Chlorophylle und Carotinoide der *Chaetophorineae* (*Chlorophyceae*, *Ulotrichales*). 1. Siphonaxanthin in *Microthamnion kuetzingianum* Naegeli. *Arch. Mikrobiol.* **84**: 243-253.

- 13) TANADA, T. (1951) The photosynthetic efficiency of carotenoid pigments in *Navicula minima*. Amer. J. Bot. **38**: 276-283.
- 14) GOEDHEER, J.C. (1970) On the pigment system of brown algae. Photosynthetica **4**: 97-106.
- 15) KAGEYAMA, A., YOKOHAMA, Y., SHIMURA, S. and IKAWA, T. (1977) Function of siphonaxanthin in a deep-growing green alga. Plant and Cell Physiol. **18**: 447-480.
- 16) KLEINIG, H. (1969) Carotenoids of siphonous green algae: A chemotaxonomical study. J. Phycol. **5**: 281-284.

会誌「藻類」の表紙原稿の募集

本学会の会誌「藻類」は、現在の A5判を、53年度26巻から B5判 (182×257mm) に、判を大きくして出版することになっています。B5判に変えるに当たって表紙もそれにふさわしいものになりたいと思います。表紙原案を会員諸氏から募集します。

1. 表表紙は巻号、年月、目次を配し、藻類の文字 (大きさの変更は可)、学会名を入れる。
2. 裏表紙は英文目次の他、現在のままの内容を入れる。字の大きさの変更は可。
3. 原稿の大きさは B5判、厚紙とし、地色や着色部分は色指定、できれば着色。
4. 12月末日迄に学会事務局宛に送付して下さい。

〔賛助会員〕

社団法人北海道水産資源技術開発協会 060 札幌市中央区北3条西7-1 水産会館内
 海藻資源開発株式会社 160 東京都新宿区新宿1-29-8 財団法人公衆衛生ビル内
 協和醸酵工業株式会社農水産開発室 100 東京都千代田区大手町1-6-1 大手町ビル
 全国海苔貝類漁業協同組合連合会 108 東京都港区高輪2-16-5
 K. K. 白寿保健科学研究所・原昭邦 173 東京都板橋区大山東町32-17
 浜野顕微鏡商店 113 東京都文京区本郷5-25-18
 株式会社ヤクルト本社研究所 189 東京都国立市保谷1796
 山本海苔研究所 143 東京都大田区大森東5-2-12
 弘学出版株式会社 森田悦郎 214 川崎市多摩区生田8580-61
 永田克己 410-21 田方郡韭山町四日町227-1
 全漁連海苔海藻類養殖研究センター 440 豊橋市吉田町69-6
 神協産業株式会社 742-15 熊毛郡田布施町波野962-1