

## 紫外線吸収物質

御園生 拓

はじめに

太陽からの光は、地球上の生命系にとって多義的な意味を持っている。光合成生物のエネルギー源として生態系の根幹を支える一方、そのエネルギーによって生物にさまざまな障害を与える要因でもある。その中でも高いエネルギーを持つ紫外線は、生物にとって特に有害である。太陽からの紫外線を受けるさまざまな生育環境にある藻類における対紫外線生態戦略の一つと考えられる、海産紅藻における紫外線吸収物質の生理的な役割について紹介する。

紫外線と生体物質

生体を構成する種々の高分子は、有機分子の通例に洩れず 200 ~ 230nm の紫外域に吸収帯を持ち、いずれもこの波長域の紫外線を受けることによって変性・分解されてしまう。このような極短波長領域に加え、核酸は 260nm 付近、タンパク質は 280nm 付近にも特有の吸収帯を持ち、さらに紫外線の影響を受けやすい。タンパク質では、紫外線のエネルギーによって分子内・分子間の結合が切られるという形での分解が進むのに対し、核酸では隣接するヌクレオチドのピリミジン塩基同士が共有結合し、ピリミジン

フォトダイマーが形成される(図1)。このようなフォトダイマーは、DNAやRNA上の遺伝情報の複製・転写・翻訳に異常をもたらし、場合によっては突然変異や細胞死などを引き起こす。

紫外線はその波長によって、歴史的に UV-A (400 ~ 320nm), UV-B(320 ~ 280nm), UV-C(280 ~ 200nm)の3領域に分けられてきた。本来の太陽放射はこれら全ての領域を含んでいるが、成層圏に存在するオゾン層や大気中の酸素がUV-CおよびUV-Bの一部を特によく吸収するために、地表へは 300nm 以下の紫外光は届いていない。もちろん、そのおかげで我々を含む陸上生物が存在できるのであるが、地表に届く 300 ~ 400nm の紫外線が生体に対して影響がないというわけではない。核酸やタンパク質の吸収ピークは地表には届かないUV-C領域にあるのだが、吸収の裾は長波長側に広がっているために、地表に届く紫外線のエネルギーも多少なりともこれらの分子に吸収されることになる。この領域に吸収のある生体物質は、核酸やタンパク質以外にも種々存在しているが、これらの物質に吸収された紫外線のエネルギーは、場合によってはその分子に対して破壊的に働く。従って、紫外線を受けるような場所に生育する生物は、紫外線に

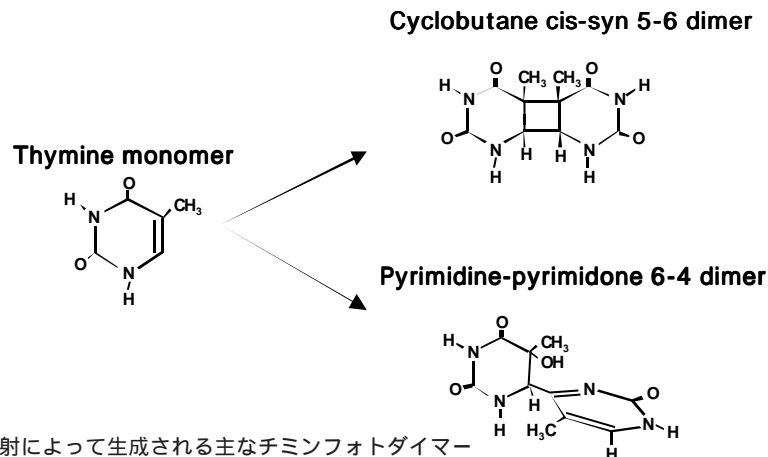


図1 紫外線照射によって生成される主なチミンフォトダイマー

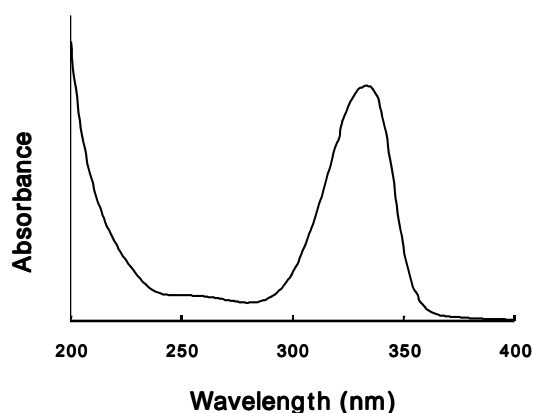


図2 スサビノリ UVAS は 334nm に吸収ピークを持つ

対する防御機構を備えなければならないのである。このような機構の一部として挙げられるのが、陸上植物における各種のフラボノイドやアントシアン、我々動物が持つメラニン色素などの紫外線を吸収する生体物質である。これらの物質は、主に体表において紫外線を吸収し、そのエネルギーが体内にまで到達しないようにしている。

水は紫外線を吸収する性質を持つが、実際には 300-400nm の紫外線の平均エネルギーは海面下 2m においても海表面の 50% に達するので(前

川, 私信), 海の浅所に生育する生物は, 地表と同様に紫外線を受けていると考えられる。しかし, 一般に水中の生物は地表生物に比べて紫外線による障害を受けにくいと考えられてきたために, 彼らがどのような抗紫外線戦略をとっているのかについての研究はほとんどなされてこなかった。

#### 海産生物の紫外線吸収物質

一方, このような海の浅所に生育する海藻には紫外線を吸収する物質 (Ultraviolet Absorbing Substances : UVAS) が含まれていることが知られている。UVAS は, 紅藻スサビノリなどに含まれる 330nm 付近の紫外線を特異的に高効率で吸収する物質として, 辻野と斉藤(1961)によって最初に報告された(図 2)。その後の純化と構造解析の結果, 紅藻 UVAS の本体は mycosporine 様アミノ酸誘導体 (Mycosporine-like Amino Acid : MAA) であることが示された (Takano et al. 1979, Karentz et al. 1991 など)。MAA は, 紅藻以外にもシアノバクテリアやプロクロロン, あるいはサンゴやクラゲなど種々の海産動物にも含まれることが報告され, 現在まで十数種類が知られている。

MAA の生理的な役割については, 藻類において吸収した紫外線のエネルギーを蛍光として放出する光合成補助色素であるという報告もなされたが, 我々は, 紅藻スサビノリ UVAS の蛍光および吸収エネルギーの変換機構について詳細に検討し, 吸収されたエネルギーの 99.9% 以上が熱として放出されており, 光合成に利用できるレベルの蛍光は出されないことを明らかにした (Inoue et al. 2002)。すなわちスサビノリ UVAS はもっぱら藻体の保護にのみ働いている可能性が示された (Inoue et al. 2002)。このような保護機能について

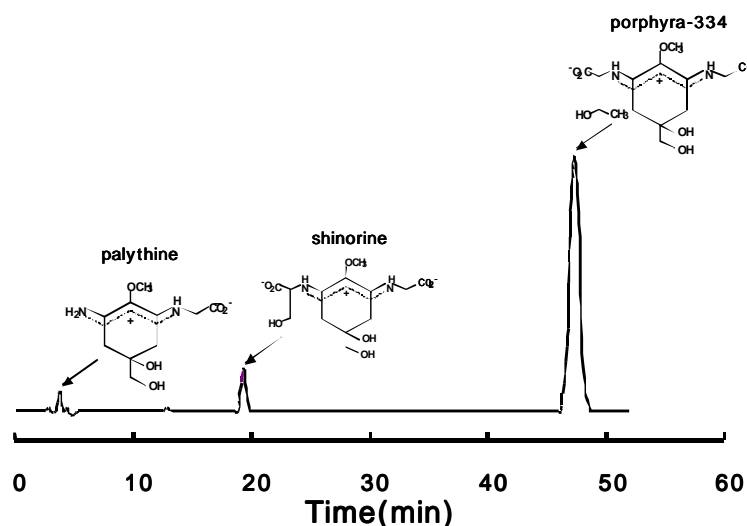


図3 スサビノリ MAA の HPLC クロマトグラム

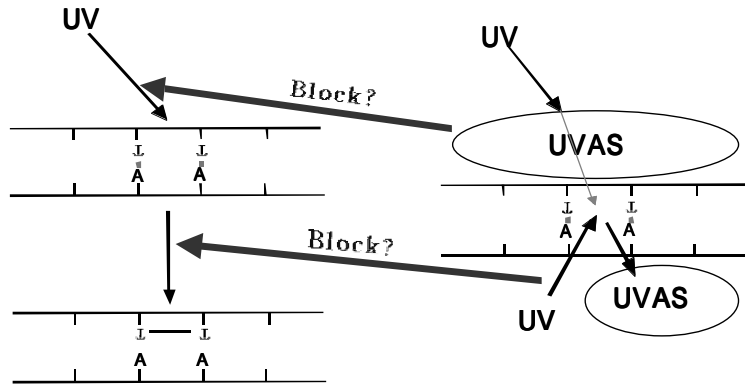


図4 UVASによるDNA保護には二通りの機構が考えられる

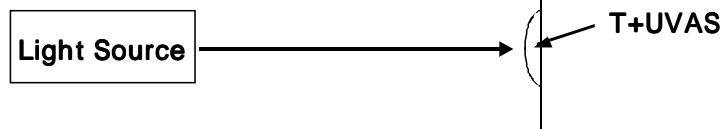
は、藻類を初めとしたさまざまな海産生物において、MAAが紫外線のバイオフィルターとして働いていることが示唆されては来たが、実際にはどのような生化学的な機構によって生体を保護しているのかは不明であった。そこで我々は、UVASが大量に含まれていることで知られるスサビノリを材料として、UVASのDNA保護機構について生化学的な解析を行った(Misonou et al. 2002)。

スサビノリ紫外線吸収物質の生理的役割

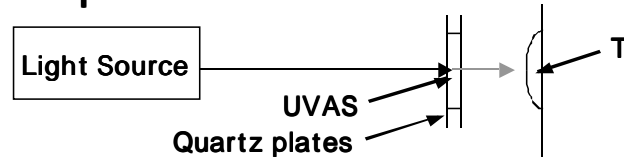
スサビノリUVASのDNAピリミジンフォトダイマー形成阻害機構としては、1)UVASがあら

かじめ紫外線を吸収することによってDNAに吸収される紫外線のエネルギーを減少させるというバイオフィルター機能、および、2)吸収された紫外線のエネルギーによるピリミジン塩基の励起状態を緩和して基底状態に戻すクエンチャー機能、の2通りの可能性が考えられる(図4)。これらを検証するために、図5のようなシステムによってチミン塩基に対する照射実験を行った。生成されたチミンフォトダイマーをHPLCによって分析した結果、フィルター効果のみの実験系Bに対して、フィルター効果にクエンチャーとしての効果も加わった実験系Aの方が、*sis-cyn* 5-6および6-4のいずれのダイマーについても生成阻害率が高いことが示された(図

A : Mixed



B : Separated



Irradiation Condition Xe : >300nm(3.5MJ/m<sup>2</sup>)

図5 照射実験系：A フィルター+クエンチャー機能，B フィルター機能

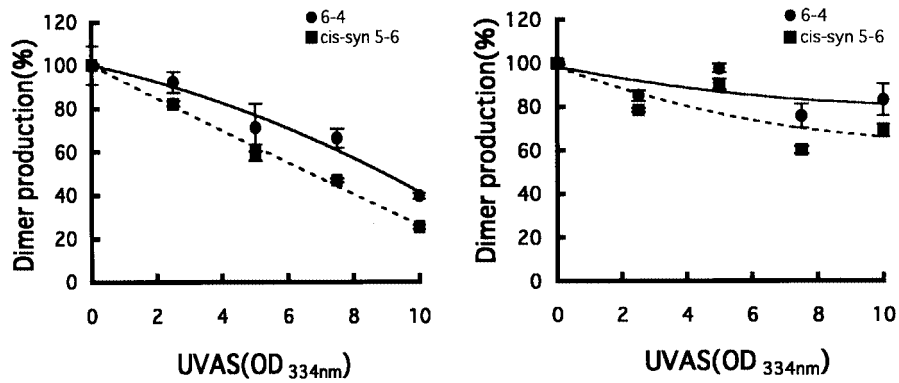


図 6 ダイマー形成阻害効果は実験系 A の方が大きい (Misonou et al. 2002 改変)

6 )

Sivalingam ら(1976)によると, スサピノリ UVASは葉緑体に局在しているので, UVASは核内であって核タンパクと結合していると考えられる核ゲノムDNAよりも, 葉緑体内にほぼ裸で存在していると考えられる葉緑体DNAを上記2通りの機構によって保護していると考えられる。

今後, UVASの機能についてのさらに詳しい解析が行われることにより, 藻類の対紫外線生態戦略が明らかになることが期待される。

#### 文献

- Inoue, Y., Hori, H., Sakurai, T., Tokitomo, Y., Saito, J. and Misonou, T. 2002. Measurement of fluorescence quantum yield of ultraviolet-absorbing substance extracted from red alga: *Porphyra yezoensis* and its photo-thermal spectroscopy. *Opt. Rev.* 9:75-80.
- Karentz, D., McEuen, S. F. and Dunlap, C. W. 1991.

Survey of mycosporine like amino acid compounds in Antarctic marine organisms: potential protection from ultraviolet exposure. *Marine Biol.* 108: 157-166.

Misonou, T., Saito, J., Oshiba, S., Tokitomo, Y., Maegawa, M., Inoue, Y., Hori, H. and Sakurai, T. 2002. UV absorbing substances in the red alga *Porphyra yezoensis* (Bangiales, Rhodophyta) block thymine photodimer production. *J. Mar. Biotech.* in press.

Sivalingam, P. M., Ikawa, T. and Nisizawa, K. 1976. Physiological roles of a substance 334 in algae. *Bot. Mar.* 19:9-21.

Takano, S., Nakanishi, A., Uemura, D. and Hirata, Y. 1979. Isolation and structure of a 334 nm UV-absorbing substance, pophyra-334 from the red alga *Porphyra tenera* Kjellman. *Chemistry Let.* 1979: 419-420.

辻野勇, 斎藤恒行. 1961. 海藻の特殊成分の研究 I 紅藻に特有な紫外線吸収物質について. *北大水産彙報* 12:49-58.

(山梨大学工学部)