

| | |
|------------------|---|
| Title | 光と化学物質が織り成す自然界の"なぜ" |
| Sub Title | |
| Author | 小瀬村, 誠治(Kosemura, Seiji) |
| Publisher | 慶應義塾大学法学部 |
| Publication year | 2008 |
| Jtitle | 慶應の教養学：慶應義塾創立一五〇年記念法学部論文集 (2008.) ,p.287- 296 |
| JaLC DOI | |
| Abstract | |
| Notes | |
| Genre | Book |
| URL | https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=BA88455348-00000012-0287 |

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

光と化学物質が織り成す
自然界の“なぜ”

小瀬村 誠治

- I はじめに
- II リンゴは“なぜ”赤いのか？
- III 植物は“なぜ”光の方向に曲がるのか？
- IV 目に見えない光の功罪
- V 環境ストレスにより生産される生態系破壊型物質
——いま、“なぜ”、ミミズの忌避物質なのか——

I はじめに

「草いろいろ おのおの花の 手柄かな」花の色や匂いを詠った芭蕉の俳句である。この句には「自由こそがすべての人を豊かにする多様性と創造性を育む」という願いが込められている。それはともかく、植物は“なぜ”色鮮やかに咲き誇り、ほのぼのと香るのだろうか。リンゴは“なぜ”赤く、また“なぜ”木から落ちるのだろうか。自然界の不思議は、そのほとんどが科学の言葉でひも解くことが出来る。この論文では、「光と化学物質が織り成す自然界の“なぜ”」について、著者の研究「植物の光屈性」および「UV-B ダメージにより植物から遊離されるミミズの忌避物質」などを例にあげて解説する。

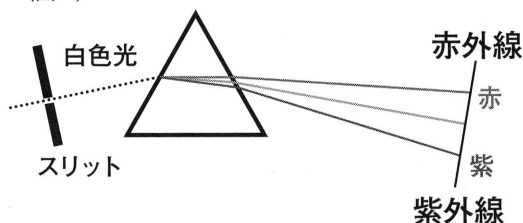
II リンゴは“なぜ”赤いのか？

初めに、光と色の基礎知識として、「リンゴが“なぜ”赤く見えるのか」を考えて見る。太陽光線は紫外線（UV）から赤外線（IR）まで幅の広い波長領域をもっている（図 A）。太陽光線がリンゴに当たると、その波長領域の中で可視光線（400～800 nm）の一部である青緑（490～510 nm）の光がリンゴの皮の化学成分の一つであるアントシアニンに吸収されて、それ以外の光が反射して私たちの目に入ってくる。赤い光の波長領域は 610～730 nm であるが、リンゴが赤く見えるのは、赤い光が選択的に網膜にまで達するからではなく、赤の補色である青緑の部分だけ欠けた光が人間の目に達するからである（図 B、C）。同様に、ニンジンカロチノイド（図 D は β -カロテン）という化学成分が波長 460 nm 付近の光を吸収するためニンジン色に見える。では、光と化学物質の関係は、リンゴやニンジン、その他の生物の色や紋様のためだけにあるのだろうか。

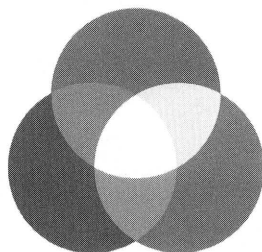
III 植物は“なぜ”光の方向に曲がるのか？

植物の化学成分といえば、最初に思い浮かぶのはクロロフィルである。ク

(図 A)

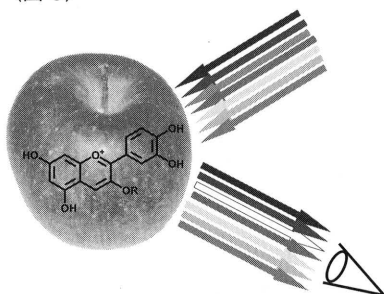


(図 B)

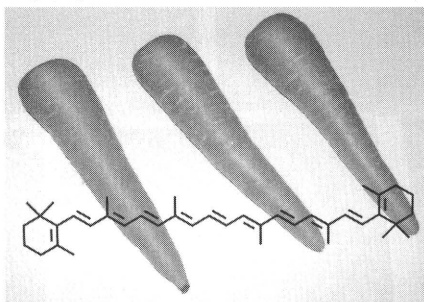


光の三原色とそれから合成される色

(図 C)



(図 D)

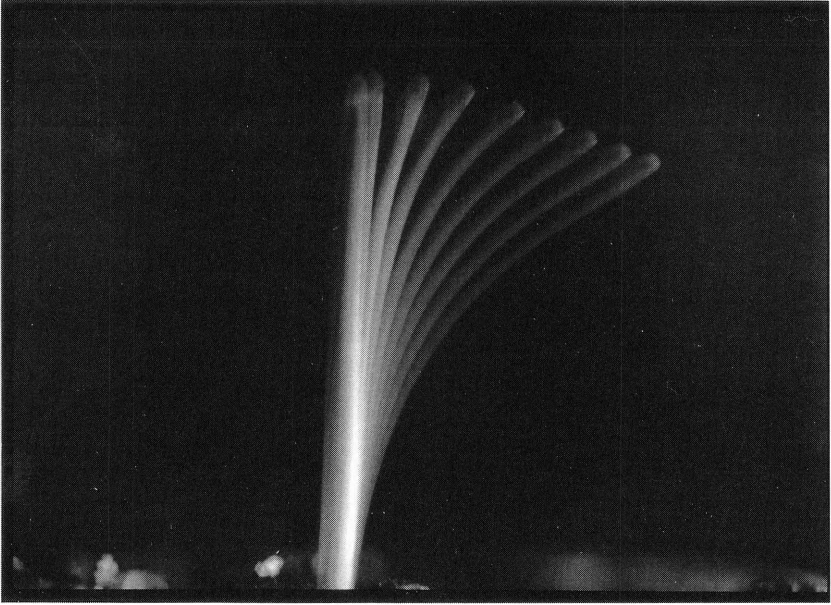


クロフィルは葉緑素ともいい、種子植物、藻類に含まれる光合成に必要な緑色色素である。そして、葉緑素を持つ植物は光のエネルギーを用いて吸収した二酸化炭素と水とから有機化合物を合成するが、このように光と化学物質とは、生物（生命）にとって本質的に重要な役目も担っている。

さて今、植物生理学の光屈性という研究分野の中で、光刺激と化学物質インドール酢酸（オーキシン）の関係について大論争が起こっている。

植物は少しでも多くの光を得ようと、その芽や茎は光に向かって伸びる性質がある（図 E）。進化論で有名なイギリスのチャールズ・ダーウィンとその息子フランシス・ダーウィンは、この現象を初めて生物学的に解析し、植物は芽の先端で光の刺激を感じとり何らかの刺激が先端から生長域へ伝えられ、その結果、光の方向へ屈曲するのだと結論した（1880）。その後、ボイセン-イエンセン（1910）やパール（1919）によって、光刺激の伝達には化学物質の移動によるものであることが示唆された。さらにウェントは、光刺激に

（図 E）

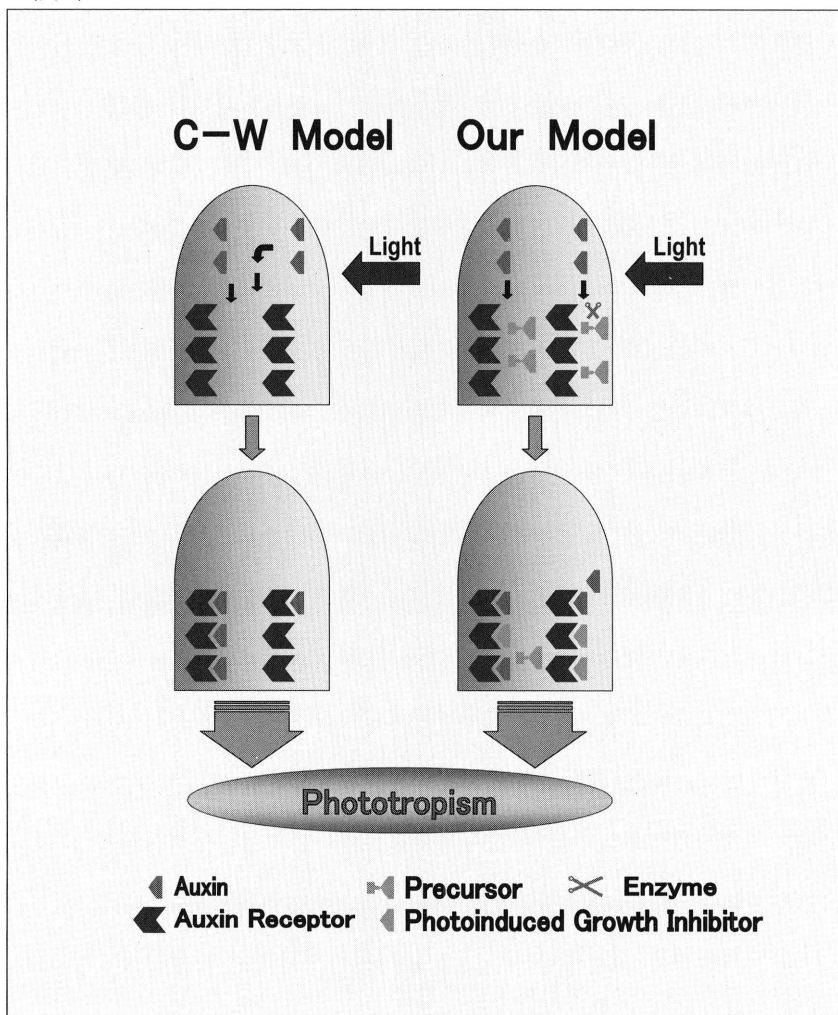


よってアベナ葉幼鞘先端でつくられた生長促進物質（インドール酢酸）が光側から影側に横移動して、その結果として生じる生長促進物質の不等分布によって屈曲が起こると考えた（1928）。同じ頃、コロドニーにより重力屈性が同じような仕組みで引き起こされることが示唆され、1937年、ウェントらにより、植物の光・重力屈性はオーキシシン（インドール酢酸）の光・影側、あるいは上・下側の偏差分布によって引き起こされるという「コロドニー・ウェント説」が提唱され、今日まで定説とされてきた（図F左）。

これに対してプリンスらは、ヒマワリ下胚軸を用いて光屈性におけるインドール酢酸の分布に関して初めて機器分析を行い、インドール酢酸は光側・影側組織で均等に分布していることを示した。さらに、生長抑制物質が光側で蓄積することを明らかにし、コロドニー・ウェント説に疑問を呈した（1975）。

以来、植物の光屈性発現機構は「影側の生長促進によるものなのか、それとも光側の生長抑制によるものなのか」という論争が続いてきた。

(図 F)



著者らは、この光と化学物質の織り成す植物の光屈性発現機構を解明すべく、ダイコン、トウモロコシ、キャベツなどの植物を用いて光屈性の研究を行い、個々の植物でそれぞれ固有の光誘起生長抑制物質が関与していることを明らかにした(図F右)。さらに、これら光誘起生長抑制物質の前駆体(配

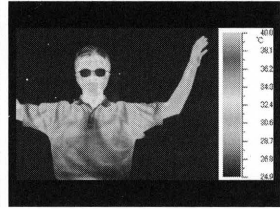
(図 G)



(図 H)



(図 I)



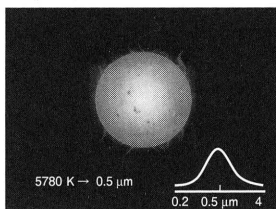
サーモグラフィーにより目に見えない赤外線を捉える（温度分布による紋様が見られる）

糖体）の単離にも成功し、光刺激による加水分解酵素の活性化と光誘起生長抑制物質の遊離機構も明らかになりつつある。平成 10 年、高等学校の生物の教科書において、これまでの説に加えて新しい説が併記されるに至った。「教科書には確かなことしか載せない」ということを考えると、著者らの研究が認められたものと考えているが、まだ、教科書を書き換えるまでには至っていない。さらにこの研究を行っているとき、目に見えない光が見え始めてきた。さて、目に見えない光が見え始めてきたとはどういうことであろうか。

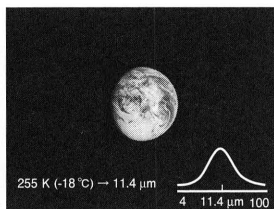
Ⅳ 目に見えない光の功罪

図を見ていただきたい（図 G、H、I）。これは暗室で写した私の写真である。顔には不気味な紋様が見られるが、暗室の中で“なぜ”このような写真が撮れたのであろうか。それは私の体表面の温度分布に対応して、そこから目に見えない光（赤外線）が放射され、それを特殊なレンズを通して捉えて画像処理したからである。化石燃料の大量消費や森林破壊等により大気中に放出された二酸化炭素（実際は、動物および植物による呼吸や微生物による落葉などの分解による二酸化炭素の放出が圧倒的に多い）も、地球表面から放射された目に見えない光（ $4 \sim 100 \mu\text{m}$ ）のある波長領域を吸収するために地球温暖化の原因物質という汚名を着せられている（図 J、K、L）。さて、目に見えない光には、可視光線（ $400 \sim 800 \text{ nm}$ ）より波長の短い紫外線も含まれる。20 世紀に発見されたもっとも優れた物質といわれ、半導体などの精密部品の洗浄剤や冷蔵庫、クーラーの冷媒などとして使用されたフロン（クロルフルオロ

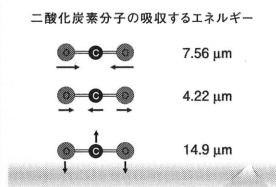
(図 J)



(図 K)

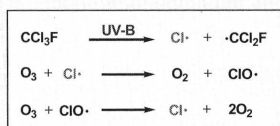


(図 L)



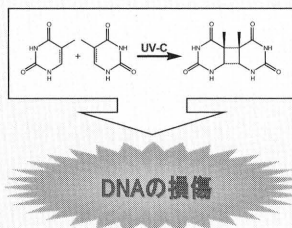
ウィーン法則により計算された太陽および地球から放射される光の波長領域、および二酸化炭素の吸収波長

(図 M)



オゾン層の破壊

(図 N)

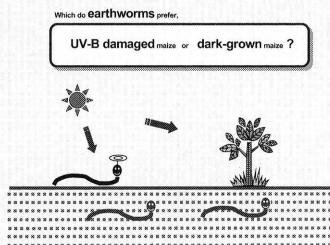


カーボン) ガスは対流圏では安定で、無害であるが、10 年近くかけて対流圏の上にある成層圏に到達すると、そこにあるオゾン分子を破壊してオゾンホールを出現させてしまう (図 M)。すなわち“紫外の窓”が開いた状態になり、地表に生きる生物に対して紫外線による被害をもたらすことになったのである (図 N)。実は、植物の光屈性の研究を行っているときに、もし、光刺激が目に見えない光、紫外線だったらどんな結果が得られるのだろうと考えた。

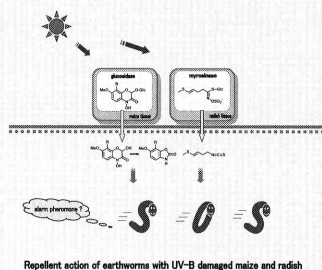
V 環境ストレスにより生産される生態系破壊型物質——いま、“なぜ”、ミミズの忌避物質なのか——

近年、オゾン層の破壊等による気圏環境の劣化により地表での紫外線照射量の増加が問題となっており、生命への悪影響が懸念されている。そのため、

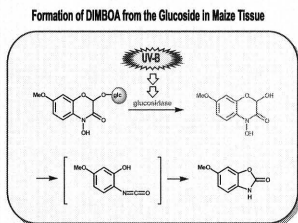
(図 O)



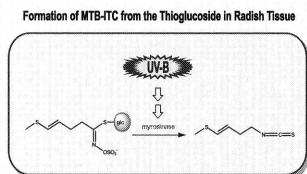
(図 P)



(図 Q)



(図 R)



植物細胞への影響に関連した研究も盛んに報告されるようになった。しかし、その研究報告の多くは植物の生理学的・形態学的な研究であった。そこで、紫外線照射量の増加による生物の直接的なダメージではなく、紫外線照射量（特に、UV-B）の増加によりダメージを受けた植物組織（日焼けをイメージしていただきたい）から遊離される化学物質とそれが生態系に及ぼす影響についての研究を行った。

生態系有用生物、特にミミズは畑や林の土地を良い状態に保つためになくしてはならない重要な生物である。チャールズ・ダーウィンもその著書『ミミズの作用による栽培土壌の形成およびその習性の観察』の中で、「鋤は最も古くからある、最も価値ある人間の発明品の一つだが、人間が存在するずっと以前から、大地は実はミミズによって規則正しく耕されていたし、また今もなお耕され続けている。この下等な生き物ほど、世界の歴史に重要な役割

を果たしてきた動物が、他にも多くいるかどうか疑問である」とミミズの強さと偉大さを讃えている。ミミズの弱点の一つに「光」が挙げられるが（図 O）、確かに、ミミズは農薬に対して強い抵抗力を持っている。そんな「強くて偉大なミミズ」が栽培土壌から逃げ出そうとしている、“なぜ”であろうか。以下に研究の一部を紹介する。

UV-B を照射してダメージを与えたトウモロコシの芽生えやダイコンと、暗室の中で栽培したトウモロコシの芽生えやダイコンを、それぞれ暗室の中に置き（ミミズは光を嫌うので）ミミズがどちらのトウモロコシやダイコンに対して忌避行動をとるのかを観察したところ、明らかに UV-B ダメージを与えたものに対して忌避行動を示した。この結果は、UV-B という光刺激によりトウモロコシ等からミミズに忌避行動を起こさせるような化学物質が遊離したためである（図 Q）。そこで、これらの植物に含まれる化学成分を分離・精製したところ、トウモロコシからはヒドロキサム酸を、ダイコンからはイソチオシアナートをそれぞれミミズの忌避物質として単離することに成功した（図 Q、R）。先ほど、ミミズは農薬に対して強い抵抗力を持っているといったが、硫酸アンモニウムは苦手らしい。そのミミズが、硫酸アンモニウムより UV-B ダメージを与えたトウモロコシ等から単離した化学物質に対して強い忌避行動をとった。また、驚くことに、ミミズ自身が忌避行動をとる際に警報物質（alarm pheromone かどうかはまだ証明できていない）を放出していることも確認した（図 P）。

自然生態系において、UV-B ダメージにより遊離された忌避物質に対してミミズが忌避行動を取り大地からその数を減らすということは、肥沃な土地の減少を意味している。地球の経済が究極的には、海洋・森林・農業のような基礎的な生態系に依存していることを考えると、オゾン層の破壊等による気圏環境の劣化は絶対に防がなければならない。