

小学校における環境教育（Ⅲ）

～毛髪で知るオゾン層破壊～

Environmental Education on elementary School（Ⅲ）
Damaged Hairs indicate the Destructive Degree of Ozone Layer

曾我部 國久*・足立 栄美**

Kunihisa SOGABE Emi ADACHI

坂本 一光*

Ikko SAKAMOTO

要 旨

オゾン層破壊に伴って増加する有害紫外線の人体，特に毛髪に与える影響について，紫外線照射された毛髪を用いて，毛髪中に生じたラジカルの種類やその挙動を調べた結果，5種類のラジカルが生成することがわかった。このことは有害紫外線に曝されることよって，毛髪の構成分子の5箇所以上で毛髪が損傷を受けることを示唆している。そのうちの一つ，メラニン色素が関与したラジカルの挙動から，メラニン色素が有害紫外線を吸収し，頭皮に与える影響を緩和しており，サンスクリーニング剤と同様の作用をしていることがわかった。紫外線に対する毛髪の洗髪の効果や茶髪などへの脱色の影響についても興味ある知見を得た。皮膚が複雑化した毛髪などの身近な素材によってオゾン層破壊を直接的に知ることができ，地球規模の環境破壊にまで興味を持たせた環境教育の可能性を見出すことができた。

1. 緒言

20世紀における目覚ましい科学技術の進歩によって，我々は生活の利便性や豊かさを享受することができたが，一方ではかけがえのない地球環境を犠牲にしてしまった。フロン，PCB，ダイオキシンなど新たに創り出されたおびただしい数量の化学物質が自然界に放出されたために，自然界のバランスが崩れ，オゾン層破壊，地球温暖化，海洋汚染や酸性雨など地球規模の環境破壊が急速に進んで来た。

21世紀は，これまでに創り出された優秀な科学技術を利用し，環境破壊を抑え，自然との調和を図り，人間が自然と共生しつづけられる社会を構築しなければならない。そのために個々が，自分のためではなく周りの人のために賢明な意思決定ができるような力を身につけることが求め

*鳥根大学教育学部理科研究室

**出雲市立第一中学校

られている。すなわち、一人ひとりが多面的、総合的に考察し、環境に配慮した責任ある行動を取るため、グローバルな面からの環境政策・環境教育の重要性が求められている¹⁾。

日本では、『環境教育指導資料』（文部省、1991）に基づき、学校教育の中に環境教育が本格的に導入された。1996年のからは「総合的な学習」の時間の活動の一つ柱として「環境」が定着しようとしている。従来と異なり、これからの環境教育・環境学習^{2,3)}は、地域の環境や学校の実態に合わせて、生徒の関心を高め、無理なく環境に関する基本的概念が形成できるように配慮されている。

しかし、これまで学校で実施されてきた環境教育は、社会科で扱う都市公害型の個人の生活を中心に、身近で地域的な環境保護に視点を当て過ぎたために、地球規模の環境保護との融合がなされず、実生活とかけ離れた間接的体験の知識にのみ偏向し、時間経過とともに問題意識が薄れて来たという結果に終わっている。そのため、身近でしかも、地球規模の環境破壊問題までを包括できる教育教材を発掘する必要があると思われる。

地球環境問題の一つであるオゾン層破壊は、1980年代にオゾンホールが最初に南極で見つかった以来、オゾン層破壊によって地上に注がれる有害紫外線の増加と種々の病気との関連が指摘されており、グローバルな取り組みが急がれていた。しかしオゾン自身が強い毒性と青紫かかった無刺激臭のある気体であること、オゾン層破壊が地上25km上空で起こっている反応であることやオゾン層破壊の因の化学反応が複雑であると言う点が、子ども達と日常的・空間的に隔たりをもたせているため、環境教育の題材として取り入れることは非常に困難であると考えられ、教育現場から敬遠されていたものと思われる。

オゾン層破壊による有害紫外線の増加は人体に悪影響を及ぼすことが知られており、特に白内障や皮膚がんなどが急増するといわれている⁴⁾。皮膚が複雑化した毛髪は常に多量の紫外線に暴露している部分である上に、毛髪は非常に身近な素材であるため、黒髪や茶髪など毛髪が紫外線から受ける影響については児童生徒の興味・関心の的となることが予想され、オゾン層破壊防止を初めとする環境保全への関わりに主体的に働きかける強い動機付けとなるものと思われる。

筆者らは、ESRによってX線や紫外線照射された天然繊維中に生じるラジカルの同定を行い、天然繊維の構造変化に関する報告をしてきている。^{5,6)}これらの結果を基に、化学的処理や紫外線照射等によって毛髪が損傷を受けた際に生じるラジカルの種類や毛髪の構造変化を容易に解明し、毛髪の劣化のメカニズムを検討するとともにオゾン層破壊との関連を視覚的に捉えさせることが可能である。

また、世界の人々は、黒髪、金髪、銀髪、赤毛、白髪など人種によって様々な毛髪の色など、遺伝子によって受け継がれてきているがその色の源になっているのはメラニン色素である。メラニンは非常に複雑な高分子であって、紫外線によって引き起こされるメラニン分子の構造変化にはまだ不明な点が多い。このメラニンの存在と毛髪の劣化についての知見を得る事が可能である。

2. 実験

毛髪は、22歳女性、50歳女性、17歳男性、55歳男性の毛髪を使用し、(1)水洗浄後室温乾燥させた髪、(2)3日間洗髪しなかった髪、(3)過酸化水素水で適度な茶色になるまで漂白処理した髪、(4)0.01モル水酸化ナトリウム水溶液で2時間アルカリ処理を行った後、洗浄、室

温乾燥させた髪の毛の4種類の髪を用いた。^{7,8)}

約6mgの試料を内径4mmの石英試料管に入れ、室温でウシオ社製低圧水銀灯からの紫外線を約30分間照射した。東芝硝子株式会社製の色ガラスフィルターにより紫外線の波長を決定した。

ESR スペクトルの測定は日本電子製 JEOL 1 FX スペクトロメーターを用い、室温で行った。

3. 結果と考察

水洗いした毛髪 (黒髪), 3日間洗髪しなかった毛髪 (黒髪), 漂白処理した毛髪 (茶髪), 金髪, 白髪の5種類の毛髪の紫外線照射前後の ESR スペクトルを図1に示している。

白髪以外の毛髪には紫外線照射前からすでに2個のラジカル, ラジカル A ($g=2.004$, 線幅 0.6mT) とラジカル D ($g=2.000$, 線幅 0.22mT) の存在が見られた。このラジカル A と D の生成は, 毛髪が日常的に何らかの構造破壊を受けていることを示していると考えられる。

ラジカル A の生成量は, 黒髪, 茶髪, 金髪の順で減少し, 白髪に至ってはラジカル A は認められなかった。色が薄くなるにつれ, ラジカル A が減少する傾向にあった。また(c)から分かるように, 漂白した毛髪ではラジカル A の発生が著しく抑制され, ラジカル D が多量に生成している。

これらのことから, ラジカル A は毛髪の色源であるメラニン色素に関与

していると思われる。メラニン色素が紫外線を吸収し, 構造破壊を受けた際に生じたラジカルは漂白されることにより, メラニン色素と共に消失したのと考えられる。

一方, 漂白によって増加したラジカル D はメラニン色素が離脱した際に生じる毛髪の構造破壊が原因であると考えられ, このラジカルは毛髪の成分骨格であるペプチド結合が紫外線などによって損傷を受けて生じた窒素中心のラジカルあるいは炭素中心のラジカルと思われる

この5種類の毛髪に紫外線を照射すると, 図1の実線に見られる複雑な ESR スペクトルが得られた。このスペクトルはいくつかのラジカルのスペクトルが重なったパターンであると考えられる。ラジカル A の左側には2種類のラジカル, B と C が存在が確認された。また, 茶髪には,

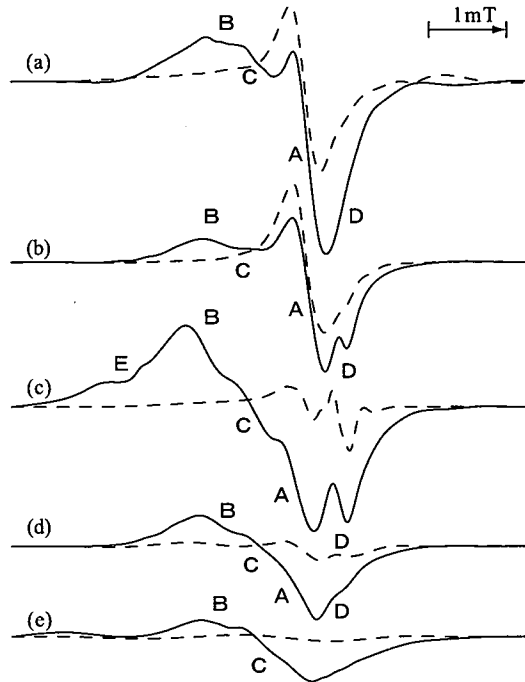


図1 紫外線照射直後の毛髪の ESR スペクトル (破線は紫外線照射前)
 (a) 水洗いした毛髪
 (b) 3日間洗髪しなかった毛髪
 (c) 漂白処理した毛髪 (茶髪)
 (d) 金髪
 (e) 白髪

特有のラジカル E の生成が確認された。

また、ここで注目したのは水洗いした毛髪と 3 日間洗髪しなかった毛髪におけるラジカル A の生成量の違いである。水洗いした毛髪では、紫外線照射によりラジカル A の生成量が約 1.2 倍に増加するのに対し、3 日間洗髪しなかった毛髪では、照射前後でラジカル A の生成量はほとんど変化がなかった。このことは、3 日間洗髪しなかった毛髪は、毛髪の繊維表面に皮脂や汚れなどが保護膜となり、ラジカル生成を抑制しているものと思われる。

次に、水洗いした毛髪中に生じるラジカルに及ぼすアルカリ処理の影響について検討した。その結果が図 2 である。アルカリ処理後、毛髪は茶色に退色し、メラニンの色素が溶脱されていたが、そのことを裏付けるように、アルカリ処理によりラジカル A が増加した。

3 日間洗髪しなかった毛髪のアルカリ処理の影響を調べた結果が図 3 である。ここでも、アルカリ処理によってラジカル量の増加が見られた。しかし、その増加の割合は水洗いした毛髪よりもずっと小さく、これは、3 日間洗髪しなかった毛髪に付着し取り除かれなかった皮脂や汗などが、毛髪を弱酸性にし、アルカリを中和したためだと思われる。

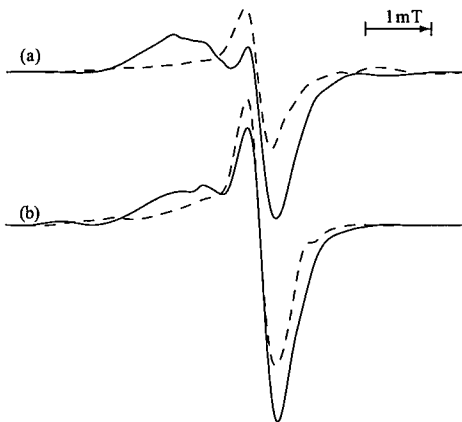


図 2 毛髪の ESR スペクトルに及ぼすアルカリ処理の影響
破線は紫外線照射前、実践は紫外線照射直後
(a) 水洗いのみ
(b) アルカリ処理後水洗いした毛髪

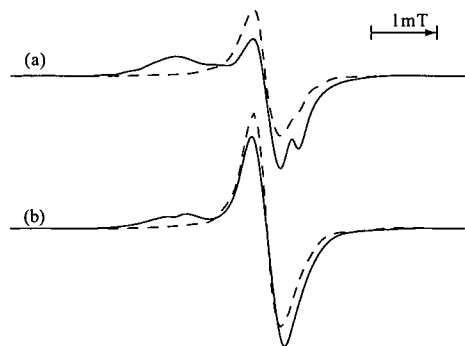


図 3 毛髪の ESR に及ぼすアルカリ処理の毛髪は 3 日間洗髪しなかったもの
破線は紫外線照射前、実践は紫外線照射直後
(a) 未処理
(b) アルカリ処理後、水洗いした毛髪

次に、ラジカル A, B, C, D, E のラジカル生成に及ぼす紫外線の波長を調べるために、色ガラスフィルターを用いて特定波長を選択的に照射した。それぞれ、3 日間洗髪しなかったときの毛髪 (図 4)、漂白処理した毛髪 (図 5) の紫外線照射後の ESR スペクトルである。その結果、ラジカル A は 330nm 以上の波長の光で、ラジカル B, C, D は 330nm 以下の紫外線で生成すると考えられ、ラジカル E は 290nm 以下の紫外線によって生成すると結論できた。

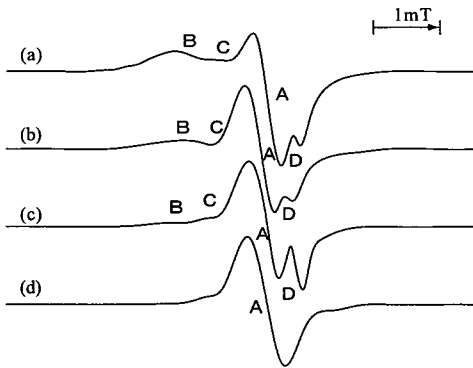


図4 紫外線照射直後の毛髪のESRスペクトル
毛髪は3日間洗髪しなかったもの
(a) UV (全波長) (b) UV (250nm以上)
(c) UV (290nm以上) (d) UV(330nm以上)

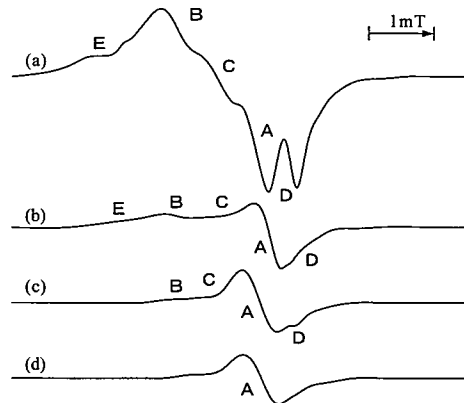


図5 紫外線照射直後の毛髪のESRスペクトル
毛髪は漂白処理したもの(茶髪)
(a) UV (全波長) (b) UV (250nm以上)
(c) UV (290nm以上) (d) UV(330nm以上)

毛髪に生じたラジカルのg値と線幅を表1にまとめた。

表1 毛髪に生じたラジカルのESRパラメーター (*:推測値)

ラジカル種	g 値	線幅(mT)
A	2.0042	0.6
B	2.011*	1.6*
C	2.008*	0.88*
D	2.001	0.22
E	2.021*	1.12*

有色の毛髪のみ共通して得られた安定したラジカルAは、メラニン色素の構造破壊に関与している。メラニンの構造については幾つかの説¹⁰⁾が提案されているが、Hempel¹¹⁾の分析によると、メラニン分子の主鎖は、ドーパキノン、インドール-5・6-キノン、インドール-5・6-キノン-2-カルボン酸が、3:2:1の構成比からなる共重合体であると言われている。ラジカルAはアルカリ処理の脱アミノ化により生成量が増加したことと、 $g=2.0042$ という値から、おそらくメラニン分子構造中のイミノ基の結合(N-H)が切断されたことによる窒素起因のラジカルであると推測される。ラジカルB、Cは、メラニン量の多少やアルカリ処理に関係なく紫外線照射によって生成していることから、メラニン色素に関与しないものと考えられるが、その詳細については不明である。ラジカルDは、アルカリ処理による脱アミノ化により生成量が増加している点と、 $g=2.001$ という値から、ラジカルAとは別の骨格を有する窒素起因のラジカルであると推測される。ラジカルEは、現段階では解析できない。

以上、紫外線照射によって毛髪繊維中には、 $g=2.0006\sim 2.021$ の広範囲に分布する5種類のラジカルが観測された。毛髪の色之源になっているメラニン色素は、地上に降り注ぐ紫外線を吸収

し、構造破壊を生じる。そのため毛髪中のメラニン色素自身が有害紫外線を吸収し毛髪が覆っている頭部への有害紫外線の到達を防ぐ働きを持つものと思われる。したがって、白髪のように退色した場合や脱色によってメラニン色素を分解した場合には毛髪による頭部の保護効果は薄れるのではないかと推察できる。若者の中に茶髪を始めとする黒髪からの脱色が流行であるが、オゾン層破壊によって増える有害紫外線が白内障と同時に頭部への何らかの傷害をもたらすことを警告すべき事実を得たように思える。

また、頭髪、頭皮を清潔に保つことがヘアケア¹⁰⁾の基本であるが、3日間洗髪しなかった毛髪では、メラニン色素起因のラジカルの生成が抑制されているという結果を得た。これは毛髪に付着した皮脂や汗が紫外線を遮断、もしくは吸収したものと推測できる。また、アルカリ処理に対しても、皮脂や汗などが毛髪を保護することが判った。したがって、石けん洗浄などを行って、

髪のパHがアルカリ側に傾いた場合でも、十分な皮脂の分泌が行われていれば、皮脂によって髪のパHが中和していると考えられる。また、皮脂や汗は、皮膚を弱酸性に保つことで、微生物の繁殖を防いだり、皮膚や毛髪の摩擦抵抗を減らし、表面をなめらかにするなどの働きがあるといわれている¹⁰⁾。

以上のことは、紫外線から毛髪を保護するという観点に立てば、毎日洗髪して頭皮、頭髪の油分を取り除くことをしてはいけないことを示唆している。つまり、毛髪には常に適度の皮脂が分泌されていることが理想的であると言える。例えば、外で活動する時間が長く、皮脂分泌が盛んな若い人では、過剰な皮脂を落とすために、洗顔・洗髪の回数を増やすことが必要であるが、年をとって、皮脂の分泌が少なくなり、汗をかく機会が減った場合には、洗顔・洗髪の回数を減らし、洗浄よりも失われた油分や保湿成分を補う必要があるだろう。

本研究で観測されたESRスペクトルは、たんぱく質という高分子の毛髪を対象としたため、ESRスペクトルが複雑でブロードなものとなりラジカルの詳細な同定はできなかったが、有害紫外線に曝された毛髪が損傷を受けると髪の色が茶髪などになる事実から、オゾン層破壊を身近に感じるようになると思われる。オゾン層破壊の進行と種々の病気の原因の多様化などを考慮すると、ますますオゾン層破壊による被害を最小限に食い止める方策を指導すべきである。特に、夏場の日差しの強い海辺や山などでは必ず帽子の着用を義務付ける指導が必要であろう。

4. 参考文献

- 1) 田中春男 化学と教育 46巻2号(1998), 日本化学会, p. 84, (1998).
- 2) キーワードから探るこれからの理科教育, 日本理科教育学会 編集 東洋館出版社, p. 20, (1998).
- 3) 中学校学習指導要領(平成10年12月) 解説一理科編一, 文部省 著, p. 10-18, (1998).
- 4) 佐々木幸子 化学と教育 45巻2号(1997), 日本化学会, p. 81, (1997).
- 5) 曾我部国久, 金山良子, 坂本一光, 島根大学教育学部附属教育実践研究指導センター紀要 第9巻, p. 23, (1998).
- 6) K.Sogabe and C.Alexander, Radiat.Research, 208, 125-132, (1985). ; I.Miyagawa, K.Sogabe, M.Ohuchi, and K.Hukao, Chem..Phys.Letters, 225. 364-368, (1994). ; 曾我部国久, 米田和

- 夫，越野和胤，石川純二，高橋泰道，原一夫，坂本一光 島根大学教育学部紀要 25巻，p. 7，
(1991).
- 7) 林孝三 編，植物色素—実験・研究の手引き—，養賢堂，p. 251，(1980).
- 8) 阿南功一・紺野邦夫・田村善蔵・松橋通生・松本重一郎 編著，生化学実験法4，丸善株式会社，p. 155，(1975).
- 9) Hempel,K.,Structure and Control of the Melanocyte,p. 170 (1966).
- 10) 服部道廣 著，スキンケアの科学，裳華房，p. 73，(1997).