

# 紫外線対策と衣服

佐々木 博 昭

## 1 はじめに

辞典によれば、光とは「①目に明るい感じを起こさせるもの。物理的には光は電磁波だが、普通目を感じる可視光線をさす。赤外線・紫外線を加えることもある。速さは真空中で秒速約30万 km。」と記述されている<sup>1)</sup>。この光と電磁波の関係について、「1864年にマクスウェルは光と電磁波の性質をあらわす数式が同じ形で、両者の伝播速度が計算上一致するなどのことから、光は電磁波であるとの予言をした。光の電磁波説といわれ、1880年代に実験で証明された。」とされている<sup>2)</sup>。また、現代物理学は、「光は粒子でもあるし、波でもある」と結論付けている<sup>3)</sup>。光が波であるとすれば、図1のように波長により規定されることになる。

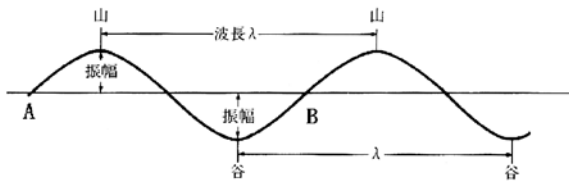


図1 波の波長

他の電磁波と一緒にみれば、テレビや携帯電話で使われている UHF 波は 1 m ~ 10 cm<sup>4)</sup>、赤外線は 100 μm ~ 800 nm、可視光線は 800 nm ~ 400 nm であり<sup>5)</sup>、紫外線は、波長が可視光線より短く、X 線より長い領域 (400 ~ 1 nm) の電磁波とされる<sup>6)</sup>。

オーストラリアでは、毎年 1,000 人以上が皮膚ガンで死亡するといわれ<sup>7)</sup>、オゾン層破壊のためとされている<sup>8)</sup>。そのため、屋外での活動には紫外線を遮蔽するため、衣服、サンクリームなどの手段を講じなければならないと言われる<sup>7)</sup>。太陽光に含まれる紫外線は、波長によって、UV-A (315 ~ 400 nm)、UV-B (280 ~ 315 nm)、UV-C (100 ~ 280 nm) に分類される。地上に届く全太陽光エネルギーに占める紫外光は 5 ~ 6 % でそのほとんどが UV-A である。UV-B は 0.2 % 足らずであるが、生物の DNA を損傷する<sup>9)</sup>。紫外線と DNA 損傷について現在は成層圏や対流圏の存在する酸素やオゾンにより 320 nm 以下の

波長の紫外線は吸収され、290 nm 以下の波長の紫外線はほとんど地球上に到達していないといわれている。しかし、酸素を発生する生物が現れるまでは 280 nm 以下の波長の紫外線 (UV-C) が大量に地表に降り注いでいた。生物は DNA、RNA、タンパク質や、その他の様々な生体物質によって構成されているが、それらの多くは紫外線を吸収すると損傷を受け、活性を失いさらには分解する。なかでも生命活動の基礎となる DNA は 280 nm に吸収のピークをもち、紫外線の影響を受けやすいとされる<sup>10)</sup>。

本稿では、まず紫外線防ぐための化粧品について取り上げ、その後衣服についての知見に言及した。

## 2 皮膚への影響とサンスクリーン

日焼けには 2 つの段階がある。はじめに皮膚が真っ赤にはれるサンバーンがおこる。主に UV-B の作用でおこると言われ、皮膚の血管が UV-B を吸収して拡張し、血流が増え、血管の透過性が充進し、皮膚が赤くなると言われる<sup>11)</sup>。ひどい時には水ぶくれも伴うサンバーンのあと、UV-A が皮膚の深部まで入り込み、メラニン色素の前駆物質が酸化され、メラニン色素が沈着して皮膚が黒ずむサンタンがおきる。このためサンスクリーンは重要であり、黒田は化粧品について解説している<sup>12)</sup>。「日焼け対策として用いられる製剤 (サンプロダクト) は 2 種類ある。一つは日焼け (サンタン、サンバーン) を防ぐサンスクリーン、もう一つはヒリヒリ感や水痘を起こさずに美しいサンタンを得るためのサンタン剤である。剤型としてはクリーム、乳液、ローション、オイル、ゲル、粉体である。目的、適用部位、用いる場所などによって適当な製品を選び、正しい使い方をすることが肝心である。サンスクリーンおよびサンタン剤として求められる条件は、まず安全性の高いこと、使用感のよいこと、使いやすいこと、効果が持続することなどがあげられる。これら製剤は紫外線を吸収する吸収剤と、紫外線を反射、散乱させる散乱剤とで処方されている。吸収剤としては、パラアミノ安息香酸、ベンゾフェノン、桂皮酸系があり、また散乱剤としては二酸化チタン、酸化亜鉛、酸化鉄、カオ

ささき ひろあき

〒950-8680 新潟市東区海老ヶ瀬 471 新潟県立大学

リン、タルクなどがある」。

目的にあった製品選びのポイントを3つ挙げている。第1のポイントは、自身の皮膚の紫外線に対する感受性である。日焼けに対する皮膚の感受性を示す単位をMED (Minimum Erythema Dose) といい、これは皮膚が紫外線によって、肉眼で認められる最小紅斑をおこすのに必要な時間とされている。日本人のMEDは平均で25分とされており、この値は真夏、快晴の海岸で測定して得られた値である。

第2のポイントは、紫外線の防御指数である。防御指数は、SPF (Sun Protection Factor) とよばれるもので、SPFが10であれば $25 \times 10 = 250$ 分の間皮膚を防御できることになる。

$$SPF = \frac{\text{塗布部分のMED}}{\text{不塗布部分のMED}}$$

25という数値はあくまで平均値であるから、皮膚の弱い人はSPF値の高い日焼け止めを使用しなければならない。

第3のポイントは、季節、時間帯、場所、高度などの外的条件である。紫外線の反射率は雪面で約85%、海辺で15%とされている。また高度によっても1,000mごとに10~20%上昇するといわれている。

2002年新潟市で測定されたUV照射強度が図2である。紫外線の照射量は、太陽の活動、天候(雲量)、オゾン層の全量(厚さ)、大気混濁度によって変化すると考えられる。雲の少ない晴天の測定値を結んだ曲線の形はよく似ていることがわかる。また、午前中から比較的高い値が得られ、7月下旬から8月上旬にかけて高くなっており、この傾向は2000年~2004年にかけて同様であった<sup>13)</sup>。

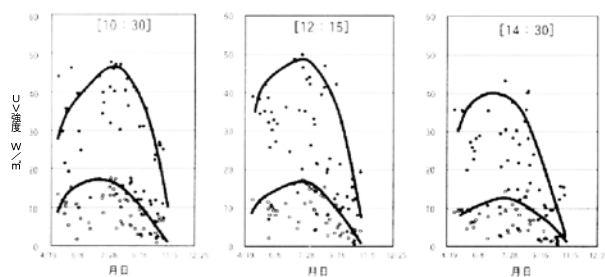


図2 新潟市周辺で測定されたUV照射強度  
(●): UV-A, (○): UV-B

黒沢と松本は資生堂のサンスクリーンについて、透明性の向上について紹介している<sup>14)</sup>。使用する際に気になる点は、塗ったときに「白くなる」ことを指摘した。サンスクリーンの役割は、「吸収」と「散乱」であるが、白くなるのは紫外線散乱剤が紫外線だけでなく可視光線も散乱させるためであるとしている。使用される紫外線散乱剤は主に酸化チタンと酸化亜鉛であり、これらが紫

外線遮蔽性能を有するのは屈折率が高く紫外線を散乱させる効果が高いことと、バンドギャップ間遷移による紫外線の吸収効果によるとしている。光の散乱強度は屈折率のほか、波長と粒径の関数に大きく依存する。紫外線散乱剤の粒子径が可視光線よりも十分に小さければ、散乱は非常に小さくなり白く見えることはない。しかし実際には克服しなければならない要素は他にも存在し、粒子径を最適に設計し、かつ肌に塗布したときに分散性が良くなめらかに均一に広がることで紫外線遮蔽性能と透明性が確保される。酸化亜鉛は3.2eVのバンドギャップエネルギーを持ち、直接遷移するので酸化チタンよりも長波長側にシャープな吸収を持ち、屈折率が酸化チタンに比べ小さく、紫外線の散乱強度は低いが、透明性は高い。資生堂は「花びら状酸化亜鉛」を開発し、高い紫外線防止効果を維持したままで透明性を向上させることに成功したとされる。

紫外線遮蔽剤については山崎の報告がある<sup>11)</sup>。米国では、1978年紫外線の遮断剤について、安全性と有効性から再評価され、芳香族系有機化合物や酸化チタンなど21物質が規定された。

### 3 紫外線遮蔽繊維の評価

紫外線遮蔽性の評価法は、分光光度計を用いて透過率を測定する方法が一般的であるが、紫外線をサンプルに照射した時の透過量を紫外線強度積算計で測定し、サンプルのない場合と比較して透過率を求める方法も考案されている<sup>15)、16)</sup>。また、蛍光増白剤が共存する場合は特殊フィルターを使用する必要があるとしている。図3にポリエステル分光透過率曲線を示した<sup>17)</sup>。

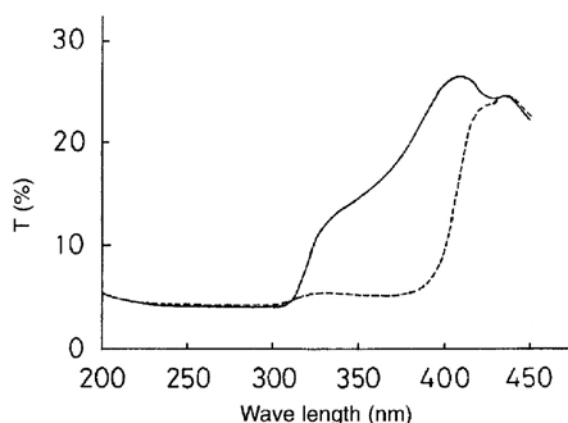


図3 UV transmission spectra of dyed polyester fabrics (—: dyed in absence of UV-abs; ---: dyed with application of UV-abs)

### 4 繊維素材と紫外線遮蔽繊維

繊維素材としては芳香族ポリエステル繊維、次いで羊毛が他素材より高い遮蔽性を有している<sup>18)</sup>。これはポリ

エステルが分子内に芳香環をもっており、羊毛は分子中に芳香族系のアミノ酸を含んでいるためである。

紫外線遮蔽機能性を付与された繊維製品を得る方法としては、繊維ポリマーを改質する方法と布地に後加工して改質する方法がある。前者はポリマーの製造工程でUVカット成分を添加するか、溶融または溶解ポリマーに同成分を練り込んだ後に製糸する方法が用いられている。後者は糸や生地を染色または仕上工程で、UVカット成分を繊維に吸着させるか又はバインダー樹脂を併用して付着させる方法で製造される<sup>19)</sup>。透過率10%で遮蔽効果があるとすれば、ポリエステルの場合UV-Aに対し効果がないと考えられるが、紫外線吸収剤を染色と同時に浸透させるとUV-AからUV-Bにかけて10%以下を達成することができる(図3)。

## 5 布帛の構造

坂本ら<sup>18)</sup>は、布帛の仕様と紫外線遮蔽性の関係について、次のような結論を得ている。

- (1) 目付の高い布帛ほど遮蔽性が優れている。
- (2) 通気度の小さい布帛ほど紫外線を遮蔽する。
- (3) 透け性が小さいほど遮蔽性が高い。
- (4) 織物の方が編物より遮蔽性が優れている。
- (5) 使用される繊維がステープルファイバーの方がフィラメントヤーンより紫外線を遮蔽する。

綿とポリエステル布について佐々木ら<sup>20)</sup>は、「布の織密度と織組織(表面形態)に依存する。綿とポリエステル白布の透過率は綾織が平織より低く、反射率は綾織が高い。平面重が同じ場合、ポリエステル白布の透過率は綿布より低い。綾織・平織ともに反射率はポリエステルより綿布が高い」ことを見出している。

## 6 色彩

坂本ら<sup>18)</sup>は、布帛の色相が暗いほど、また濃色であるほど紫外線遮蔽性が高い、同じ色調であれば明度L\*の低下と共に遮蔽性は直線的に向上すると述べている。

美馬ら<sup>21)、22)</sup>は、直接染料染色綿布を用いて紫外線遮蔽効果を調べた。その結果、白布に比べ染色布は遮蔽効果が向上したもののUV-Bの吸光係数だけで染色布の紫外線遮蔽効果を決定できないことを認めている。染色布の視感反射率と紫外線遮蔽率は反比例するので、濃度が濃く染められた布は遮蔽性が高くなるといえる。さらに青、黄色染料を加えて検討し、紫外線遮蔽効果は黄色がもっと優れ、赤、青の順になるとしている。また、塩原ら<sup>23)</sup>は、カナキン(厚さ約0.3mm)以上の厚さでは、染料濃度3% o.w.f.以上で10%以下の低い透過率が得られることを見出している。ただし、最近綿布は反応染料

で染色されるケースも多く、染料の特性に大きく依存することから、今後のデータの集積が望まれる。

## 7 その他

布は、繊維と空隙とからなる複雑な構造を有するため、紫外線透過は複雑な挙動を示すことになる。桑原ら<sup>24)</sup>は紫外線透過性の布間の差には、散乱係数よりも吸光係数の影響が強いことを報告している。また、異種の布を2枚重ねた場合、それぞれの単体試料の透過率を掛け合わせた値と一致せず、2枚の試料間で反射が繰り返されると仮定すると説明できることを示した<sup>25)</sup>。

塩原ら<sup>26)</sup>は洗濯による影響を検討し、蛍光剤を含まない洗剤では遮蔽性の向上は見られないが、蛍光剤が含まれる洗剤で洗濯すると遮蔽性が向上することを見出した。

Hilfikerら<sup>27)</sup>は、UV吸収剤(あるいは染料や光沢剤)のタイプや濃度と同様に、布の種類、厚さ、多孔度のような異なったパラメータの函数として布のSPF値を予測することを可能にするモデルを提案している。

Algabaら<sup>28)</sup>は、考慮に入れるべき因子に対して、アパレルテキストスタイルによって与えられる紫外線の防御性測定に関するいくつかの概念を述べている。

## 8 最近の動向

布のUltraviolet Protection Factor (UPF)とは、オーストラリアとニュージーランドで考案され、2006年にCIE国際指標となったもので、布の紫外線防御効果は算出されたUPFの値によって3段階評価される<sup>23)、28)、29)</sup>。

$$UPF = \frac{\sum_{290}^{400} E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta_{\lambda}}{\sum_{290}^{400} E_{\lambda} S_{\lambda} T_{\lambda} \Delta_{\lambda}}$$

ここで、それぞれ $E_{\lambda}$ は、ISO/CIE標準紅斑作用スペクトル、 $S_{\lambda}$ は太陽放射スペクトル(W/m<sup>2</sup>/nm)メルボルン(38°S)1990/1/17正午、 $T_{\lambda}$ は布の透過率、 $\Delta_{\lambda}$ は測定波長間隔(nm)である。UPFは人体の紅斑作用スペクトルと太陽放射スペクトルとの積として求められていることから、どのくらい皮膚が紅くなる標準指標があつて、ある日ある時間でのメルボルンで放射された太陽光を浴びたとき、布があるときと無いときの割合がどうなるかを計算したものと考えられる。さらに下辺に布の透過率が入っているので、光が透過しやすい布は $T_{\lambda}$ が大きく、UPFは小さくなることを示しながら、分光学的には測定各波長での合計を計算していることになる。そのUPFの計算値と紫外線防御カテゴリーの関係が表1である。

表1 UPF 値および UV 防御カテゴリー

UPF	UV 防御カテゴリー
15 ~ 24	Good Protection
25 ~ 39	Very Good Protection
40 ~	Excellent Protection

佐々木ら<sup>20)</sup>は、布の UPF が UV-B の防御指標であり、UV-A の防御指標ではないと考えている。

参考文献

1) 松村明他監修、辞林21、三省堂、p1703 (1993)  
 2) 八杉龍一、図解 科学の歴史、東京教学社、p23 (2008)  
 3) 西本吉助、量子化学のすすめ、化学同人、p30 (1983)  
 4) 吉村和昭、安居院猛、倉持内武、電波のひみつ、技術評論社、p37 (2002)  
 5) 金原寿郎編、基礎物理学 下巻、p164 (1966)  
 6) 梅棹忠夫他監修、「日本語大辞典」、第二版、講談社、p914 (1995)  
 7) M.T.Pailthorpe、オーストラリアにおける紫外線照射の現状と繊維加工技術による対応、染色工業、Vol.47、pp117-119 (1999)  
 8) M.J. Molina & F.S. Rowland, Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone, Nature, Vol.249, pp810-812 (1974)  
 9) 那須川真澄、OVERVIEW 日やけの季節 紫外線と賢く付き合う、化学と工業、Vol.61、pp775-779 (2008)  
 10) 近藤矩朗、生命誕生時における紫外線による DNA 損傷と防御、化学と工業、Vol.56、pp550-553 (1999)  
 11) 山崎義一、紫外線カット繊維製品の現状、繊維製品消費科学会誌、Vol.33、pp129-134 (1992)  
 12) 黒田能子、紫外線と化粧品、化学と工業、Vol.40、pp467-468 (1987)  
 13) 呑海信雄、大代由美子、佐々木博昭、新潟市の紫外線照射量とオゾン層について、県立新潟女子短期大学研究紀要、No.14、pp137-142 (2005)  
 14) 黒沢卓文、松本俊、紫外線の害とサンケア化粧品—快適ライフのための紫外線ケア—、化学と工業、Vol.52、pp710-712 (1999)  
 15) 上田充夫、吉村由利香、金谷薫、染色工業、Vol.40、pp59-65 (1992)  
 16) 坂本光、桑原久治、紫外線遮蔽布帛に関する研究 (第1報)—紫外線遮蔽性評価法—、繊維製品消費科学会誌、Vol.34、pp349-355 (1993)  
 17) H. Sasaki, N. Maruyama, T. Sano, S. Shikada, Properties Of UV-Cut Processed Polyester Fabric,

American Dyestuff Reporter, Vol.84, No.12, pp51-52 (1995)  
 18) 坂本光、桑原久治、「紫外線遮蔽布帛に関する研究 (第2報)—各種布帛の紫外線遮蔽性—」、繊維製品消費科学会誌、Vol.34、pp652-659 (1993)  
 19) 坂本光、紫外線カット、繊維と工業、Vol.50、P396-P398 (1994)  
 20) 佐々木政子、三島栄治、加賀見悦成、竹下秀、塩原みゆき、斎藤昌子、白布の紫外線防御効果への素材と織の影響—透過率・反射率・空隙率および UPF による評価—、繊維学会誌、Vol.64、pp163-170 (2008)  
 21) 美馬朋子、佐藤昌子、染色布の紫外線遮蔽性能に関する研究 (第1報)—Direct Red 綿染色布について—、繊維製品消費科学会誌、Vol.41、pp342-351 (2000)  
 22) 美馬朋子、佐藤昌子、染色布の紫外線遮蔽性能に関する研究 (第2報)—直接染料の可視部吸収特性の影響—、繊維製品消費科学会誌、Vol.42、pp841-855 (2001)  
 23) 塩原みゆき、斎藤昌子、佐々木政子、竹下秀、布の紫外線防御に与える染色の効果、繊維学会誌、Vol.65、pp229-235 (2009)  
 24) 桑原宣彰、尾畑納子、布の紫外線透過機構に関する研究、繊維学会誌、Vol.50、pp357-363 (1994)  
 25) 桑原宣彰、尾畑納子、2枚重ね布の紫外線透過に関する研究、繊維製品消費科学会誌、Vol.39、pp254-259 (1998)  
 26) 塩原みゆき、竹下秀、佐々木政子、斎藤昌子、洗濯による布の紫外線防御能の変化—洗剤中の蛍光増白剤の効果—、繊維製品消費科学会誌、Vol.50、pp1080-1088 (2009)  
 27) R. Hilfiker, W. Kaufmann, G. Reinert, and E. Schmidt, Improving Sun Protection Factors of Fabrics by Applying UV-Absorbers, Textile Research Journal, Vol.66, pp61-70 (1996)  
 28) I. Algaba and A. Riva, In vitro measurement of the ultraviolet protection factor of apparel textiles, Coloration Technology, Vol.110, pp52-58 (2002)  
 29) 美馬朋子、佐藤昌子、染色布の紫外線遮蔽性能に関する研究 (第3報)—ポリエステル染色布について—、繊維製品消費科学会誌、Vol.45、pp134-144 (2004)