

サンスクリーンの *in vitro* 評価法の確立捨田利 濤[†], 國府田 宏輔^{†*}[†]茨城県立水戸第一高等学校 生物同好会部 〒310-0011 茨城県水戸市三の丸3-10-1

(2019年3月1日 受付; 2019年3月28日 受理)

Abstract

紫外線は、チミジンダイマーなどの DNA 損傷を引き起こし、紅斑や黒化を生じさせる。その結果、DNA 損傷の蓄積により皮膚ガンの要因ともなる。衣服やサングラスなどで覆うことができない部分は一般的に、サンスクリーン（日焼け止め）による紫外線防御が重要である。サンスクリーンの機能性は、主に UV-B の指標として SPF が、UV-A の指標として PA が用いられている。ところがこれらの評価法は、ヒトの生体を用いた *in vivo* 評価法であり、最小 10 名の被験者により有効データを得られればよい。このような *in vivo* 評価法の欠点として、被験者の個人差、塗り方の再現性、目視による判定のバラツキや難しさ、試験中における発汗などによる紫外線吸収の影響などは避けられない。本研究では、サンスクリーンの *in vitro* 評価法として、各種サンスクリーンの紫外線における吸収スペクトルを分光光度計により取得することで評価する方法を考案したので報告する。サンスクリーンを落とすための一般的なクレンジング剤中にサンスクリーンを懸濁し、分光光度計により紫外線の吸収スペクトルを得ることで、UV-B～UV-A における紫外線防止効果がどの程度あるのかという物性を評価することができた。また、独自の散乱光評価装置を考案し、サンスクリーンに含まれる酸化亜鉛や酸化チタンが、紫外線を散乱させていることを明らかにした報告する。

Introduction

我々生物の生命の設計図（遺伝情報）は、デオキシリボ核酸 deoxyribonucleic acid (DNA) と呼ばれる物質に刻まれてある。DNA は、4 種類のデオキシリボヌクレオチドが構成単位である。4 種類の塩基、すなわち、アデニン adenine (A)、チミン thymine (T)、グアニン guanine (G)、シトシン cytosine (C) を有するデオキシリボヌクレオチドが鎖状に連なり、二重らせんとして折り合わさった構造である。4 種類の塩基の並び（塩基配列）が、タンパク質の情報の暗号となっている。例えば、ATG という 3 つの塩基の組み合わせは、20 種類あるアミノ酸のメチオニンを指定する暗号である。酵素を始めとしたタンパク質は、細胞を作り上げるために最も重要な物質の一つである。

紫外線は波長 400 nm 未満の短波長の光を言い、波長が短い光ほど高いエネルギーを有する。紫外線は、DNA に傷害を引き起こすだけのエネルギーを有している。例えば、紫外線照射により引き起こされるチミジンダイマーと呼ばれる DNA 傷害は、本来は結合しないはずの、ヌクレオチド鎖上で隣り合うチミン同士が結合してしまったものである。この状態では、塩基付近の立体構造が大きく崩れ、DNA を複製するための酵素 DNA ポリメラーゼ DNA polymerase が結合できず、正しく複製されなくなる。結果的に、遺伝情報に変異が生じる原因となる。DNA 損傷を引き起こす原因は紫外線だけではなく、電離放射線や活性酸素、亜

硝酸などの化学物質、DNA 複製に伴うものなどが挙げられる。実際、ヒトの細胞では、1 日あたり 5 万～50 万回もの頻度で DNA 損傷が生じている。細胞には DNA 損傷を速やかに修復する仕組みがあるため、基本的には何事もなかったかのように遺伝情報は保たれる。とは言え、紫外線などによる DNA 損傷の機会が増えれば増えるほど、DNA 修復に失敗し、間違った遺伝情報となってしまう突然変異のリスクも上昇する。その結果、細胞のがん化（例えば皮膚ガン）を引き起こす可能性を増大させることにもつながる。

サンスクリーン（日焼け止め）は、主に太陽光に含まれる紫外線 ultraviolet (UV) から皮膚の細胞を守るための化粧品である。紫外線は、便宜上、UV-A (400～320 nm)、UV-B (320～290 nm)、UV-C (290～100 nm) に分類される（学問分野により定義が異なる場合もある）。波長の短い光は、オゾン層や酸素などに衝突しエネルギーが吸収されやすいため、UV-C の波長の紫外線は地上には到達しない。地上に到達する紫外線は、主に UV-A と UV-B の 2 種類である。

紫外線により生じる“日焼け”は、サンバーン sunburn とサンタン suntan の 2 種類に分けることができる。サンバーンとは、紫外線に暴露した数時間後から現れる赤い日焼け（紅斑）を指す。一方サンタンとは、紅斑が消失した数日後に現れ、数週間から数カ月続く黒い日焼け（皮膚に色素沈着が起きたもの）のことである。サンバーンは、DNA 損傷反応により引き起こされるため、突然変異を誘発し、皮膚ガンの要因ともなり得る⁽¹⁾⁽²⁾。

Corresponding author. e-mail address: kouda.kousuke.research@*****
*****@gmail.com

UV-A が地上に届く全太陽光エネルギーに占める割合は、約 5~6% である。紫外線の中では比較的長波長のためエネルギーは低く、サンバーンへの影響は比較的小さいものの、窓ガラスを通して室内に届く。また、スキー場や海釣りなどで見られるように、強い UV-A が皮膚に当たり続けることで、皮膚が黒くなる現象(即時黒化)が引き起こされる。一般的には、このような現象でも DNA 損傷が生じているため、紫外線防御対策は必須である⁽¹⁾。

一方、UV-B が地上に届く全太陽光エネルギーに占める割合は、約 0.2% 弱である。UV-B が皮膚に照射されると、程度の差はあるものの、誰でもサンバーン(紅斑生成)と、それに次いでサンタン(遅発型黒化)が生じる。表皮組織のメラノサイトが、UV に応答してメラニン色素を生成するためである。メラニンは、紫外領域に高い吸収スペクトルを持つため、天然のサンスクリーン(サンスクリーン)と呼べる。先述の通り、サンバーンは DNA 損傷反応のため、皮膚ガンの要因となる⁽¹⁾。

このようなことから、皮膚に照射される紫外線を効果的に防ぐことは、美容面の重要性だけでなく、皮膚ガンなどの腫瘍形成から免れるためにも重要である。サングラスや衣服で隠せる部分は、覆うことで紫外線をカットすることができる一方で、覆うことのできない部分は、サンスクリーンを用いるのが一般的である。サンスクリーンは、紫外線防止剤が含まれている。紫外線防止剤には、紫外線散乱剤(無機系素材)及び紫外線吸収剤(有機系素材)の 2 種類がある。紫外線吸収剤は、白くならないという化粧品上優れた性質を有している。同時に、アレルギー反応を起こす場合もある。一方、紫外線散乱剤は、白くはなるものの、アレルギー反応を起こすのは稀である。子ども用や敏感肌用のサンスクリーンの多くは、紫外線散乱剤のみのものである(「紫外線吸収剤無配合」「紫外線吸収剤フリー」「ノンケミカルサンスクリーン」などと表示されている)。代表的な紫外線吸収剤としては、メトキシケイヒ酸エチルヘキシル(UV-B 吸収剤)や α -ブチルメトキシジベンゾイルメタン(UV-A 吸収剤)などがあり、現在非常に多くの合成有機物が紫外線吸収剤として開発されている。一方、紫外線散乱剤としては、UV-A に効果的な酸化亜鉛や、UV-B に効果的な酸化チタンなどが使われている。吸収剤に比べると、皮膚に塗った時に白く見えてしまうという商品上の問題点がある。これらサンスクリーンの日本における効果表示には、SPF(Sun Protection Factor)と PA(Protection grade of UV-A)が用いられている。

主として UV-B を防ぐ指標である SPF の測定は次の通りである。すなわち、ヒトの背中の中、何も塗って

ないところ(試料無塗布部)及び試料塗布部に、太陽光を模した人工照明を使い、数段階(5~6 段階)の量の紫外線を照射する。試料無塗布部、塗布部のそれぞれのうち、16~24 時間後にかすかに赤くなった場所のうち一番少ない紫外線量を最小紅斑量(MED, minimal erythema dose)と定義する(評価は熟練者の目視により行われる)。試料無塗布部の MED に対する試料塗布部の MED が、SPF の数値として定義される。すなわち、サンスクリーンを塗った場合に、塗らない場合に比べ何倍の紫外線量を当てた場合にかすかな紅斑が生じるのかを示した指標と言える⁽³⁾。

一方、UV-A を防ぐ指標である PA は、UV-A 照射を行い、照射 2~4 時間後に見られる皮膚の黒化を指標として、SPF と同様に試料無塗布部と塗布部の日を計算した値(これを PFA と定義する)から、これらを 4 階級(PA+, ++, +++, +++) に分けて表示しているものである(+が多いほど UV-A の防御効果が高いことを示す)⁽⁴⁾。

SPF も PA のいずれも、生体を用いた *in vivo* の評価法による指標である。しかしながら、これらの評価方法は最小 10 名の被験者により有効データを得られればよく、*in vivo* 評価法の欠点として、被験者の個人差、塗り方の再現性、目視による判定のバラツキや難しさ、試験中における発汗などによる紫外線吸収の影響などにより、サンスクリーンそのものの機能性評価としては、必ずしも優れた評価法とは言いがたい。そこで本研究では、サンスクリーンの *in vitro* 評価法として、各種サンスクリーンの紫外線における吸収スペクトルを分光光度計により取得することで評価する方法を考案したので報告する。また、サンスクリーンに含まれる散乱剤が、UV を散乱させていることを明らかにし、散乱剤の使用法の注意点を喚起する。

Experimental

分光光度計による紫外線吸光度の測定と吸収スペクトル測定

一定量のサンスクリーンを、市販クレンジング剤(サニーサイドアップ GINZA, C-クレンジングオイル、主成分はミネラルオイル)により 1000 倍または 2000 倍希釈し、ボルテックスミキサーにより激しく攪拌した。この懸濁液を石英セルに移し、分光光度計(ERMA AE-350)により 330 nm または 400 nm の吸光度測定を行った。同様の手法により、分光光度計(SHIMADZU UVmini-1240)を用い、300~450 nm の紫外線吸収スペクトルを調べた。ブランク補正、またはベースライン補正には、希釈に用いたクレンジング剤を用いた。市販サンスクリーンとして、3 社より成分や性質の異なる 5 製品、Sample A (SPF 15, PA 表示なし)、Sample B

(SPF 34, PA+++), Sample C (SPF 50+, PA+++), Sample D (SPF 50+, PA+++), Sample E (SPF 50+, PA++++))を抽出し用いた。

紫外線散乱剤の効果評価

Fig. 3 に示すような実験装置を組み立て、サンスクリーンを塗布した黒紙に対し垂直に紫外線を 1 min 照射した。散乱した紫外線散乱光は、向かい合った紫外線チェックシート（紫外線照射により紫色を呈色する紫外線感光性の色素を塗布してある）に照射されるよう設置した。感光後のチェックシートは、速やかにデジタルカメラ（Ricoh GR）で反射のないよう、一定の光源と露出で撮影した。チェックシートの呈色の定量では、Photoshop でグレー256 階調に変換した上で、反転処理を行い、明度を Image J により測定した。Image J を用い、光源から離れた方向に対する明度変化を定量した。

Results and Discussion

サンスクリーンの紫外線吸光度

本研究では、一般的な市販のサンスクリーンとして、成分や性質の異なる 5 製品 Sample A (SPF 15, PA 表示なし), Sample B (SPF 34, PA+++), Sample C (SPF 50+, PA+++), Sample D (SPF 50+, PA+++), Sample E (SPF 50+, PA++++))を用い実験を行った。これら市販の代表的なサンスクリーンの *in vitro* 評価を行うために、サンスクリーンをクレンジング剤に懸濁し、分光光度計により

紫外線 330 nm 及び 400 nm の吸光度を測定した (Fig. 1)。その結果、Sample A は、SPF が 15 であり UV-B (330 nm) の吸光度は 0.353, PA が表示なしで UV-A (400 nm) の吸光度は 0.045 であった。一方、Sample B は、SPF が 34 であり UV-B (330 nm) の吸光度は 0.615, PA が+++で UV-A (400 nm) の吸光度は 0.612 であった。この結果は、SPF/PA の表示と UV-B/UV-A 吸光度の測定値が一致した結果であることを示している。

ところが、Sample C と Sample D, Sample E の 3 つを比較すると、いずれのサンスクリーンも SPF は 50+ の表示であるにもかかわらず、330 nm の吸光度は 0.816 ~ 1.048 まで幅が見られた。さらに、驚くべきことに、Sample C と Sample D の 400 nm の吸光度を比較すると、いずれのサンスクリーンも PA+++表示であるにも関わらず、Sample C は 0.752, Sample D は 0.054 の吸光度であった。Sample D の 0.054 という吸光度は、PA 無表示の Sample A の吸光度とほとんど同一であることから、PA の表示と 400 nm における吸光特性に大きな乖離があることが明らかとなった。これらの結果から、SPF, PA ともに、表示数値と物性としての吸光度には必ずしも関連性がない場合があることが示された。

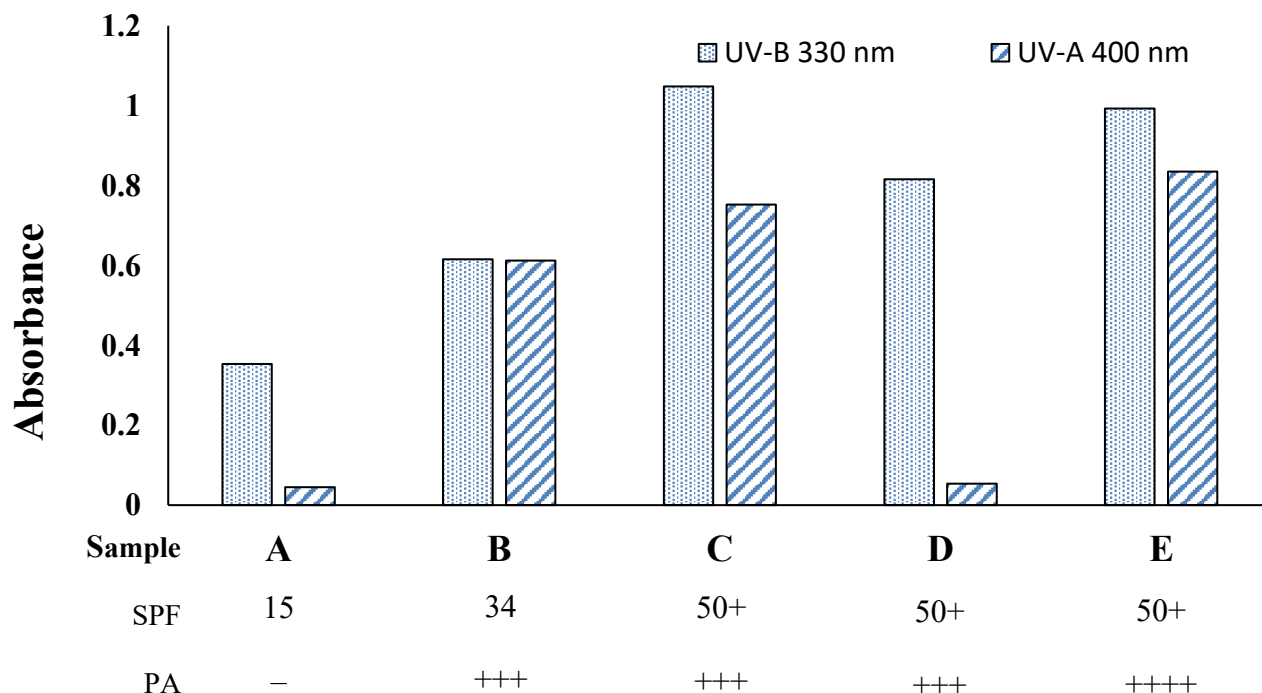


Fig. 1 市販品の SPF, PA 表示と紫外線吸光度

吸光度の値がおおよそ 0~1 の範囲になるように、330 nm の吸光度測定では、1000 倍希釈、400 nm の吸光度測定では、2000 倍希釈したものの結果を示してある。

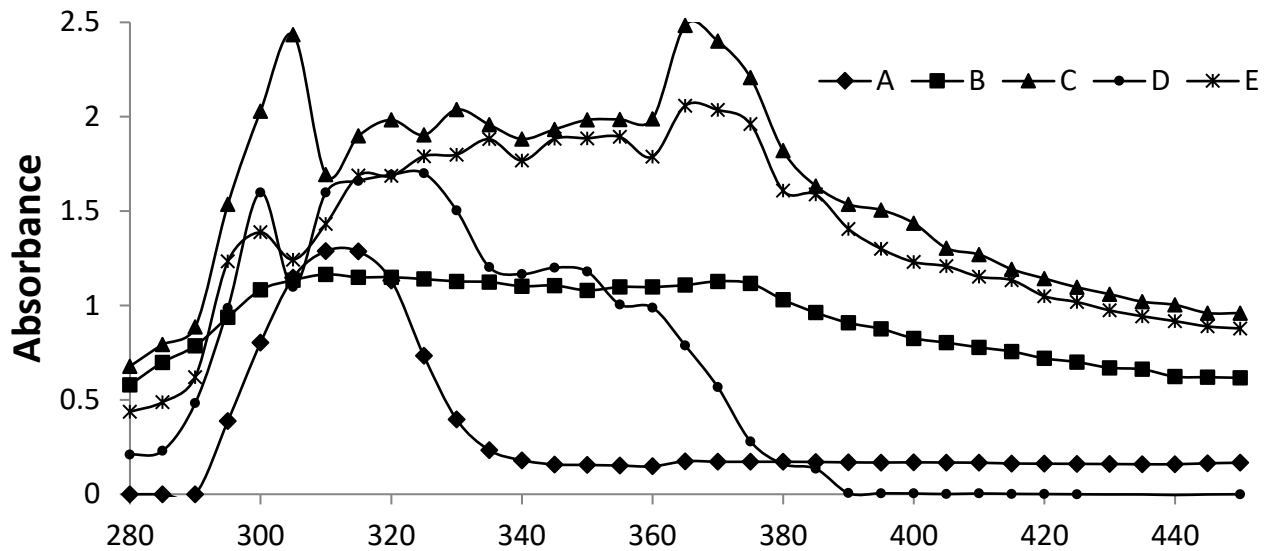


Fig.2 各社サンスクリーンの紫外線の吸収スペクトル

各社のサンスクリーンを1000倍希釈し、分光光度計により紫外線域の吸収スペクトルを測定した。ただし図中のマークは、以下の通りである；◆: Sample A, ■: Sample B, ▲: Sample C, ●: Sample D, *: Sample E。

サンスクリーンの紫外線吸収スペクトル

サンスクリーンの物性をより詳しく調べるため、サンスクリーンの紫外線域の電磁波の吸収スペクトルを調べた (Fig. 2)。その結果、Sample C (SPF50+, PA+++)や Sample E (SPF50+, PA+++)は、パッケージ表示と一致して、UV-A から UV-B の広範囲に渡って高い吸光度を示した。2つともに見られる365~370 nm 近辺に見られるピークは、酸化亜鉛そのものの吸収極大に一致し、いずれのサンスクリーンも酸化亜鉛が十分に機能していることが示唆される。

一方、Sample D は長波長側 (UV-A) にわたって低い吸光スペクトルを示した。このことから、Sample D は、PA+++ の表示にも関わらず、サンスクリーンの物性はUV-A に吸光スペクトルが見られないという矛盾した結果が明らかとなった。同様に、Sample B は SPF 34 であるにもかかわらず、305~320 nm の領域で、SPF 15 の Sample A よりも低い吸光度を示し、ばらつきが大きい。これらのことから、SPF や PA などの評価と、サンスクリーンの物性には乖離があることが明らかとなった。

紫外線散乱剤の散乱効果の評価

酸化亜鉛や酸化チタンは、紫外線を散乱させることにより皮膚細胞への紫外線照射量を減少させると言われている。これにより、サンスクリーン塗布部の皮膚細胞は紫外線照射量を減少させることができると考えられるものの、散乱剤により紫外線が本当に散乱しているのかどうか、また、散乱される紫外線がどの程度散乱するのかは明らかとなっていない。すなわち、塗

布部への皮膚への紫外線照射は防げたとしても、散乱光により紫外線照射を受ける可能性がある。

まず、メーカー公表の紫外線防止剤を表にまとめた (Table 1)。UV 吸収剤と UV 散乱剤に分けて示した。塗布したサンスクリーンから、紫外線は散乱するのかを検証するために、Fig. 3 に示すような実験装置を組み立てた。Fig. 3 (A) は考案した装置の外観の写真であり、(B) は装置と紫外線の光路を模式的に示した図である。サンスクリーンを塗布した黒紙に紫外線を照射し、散乱した紫外線を紫外線チェックシートに照射されるかどうかを調べた。紫外線チェックシートとは、紫外線照射により可逆的に紫色を呈色する紫外線感光性の色素が塗布された紙である。その結果が Fig. 4 に示してある。Fig. 4 (A) は、実際のチェックシートの写真を示してあり、(B) は、写真をもとに、ImageJ を用いて定量化した結果である。写真の左側が UV ライトが設置している側であり、散乱が生じれば、左側で感光し色素が呈色するはずである。呈色の定量化では、Photoshop でグレー256 階調に変換した上で、光源から離れた方向で明度変化を ImageJ により定量化した。グラフ横軸の原点は UV ライトの設置点を示し、数値が大きくなるほど光源から離れていることを示す。縦軸は、明度を示し、大きいほど色素が呈色していることを示す。

Negative control として、台紙である黒紙だけで UV 照射を行ったところ、グラフは横軸にほぼ水平であり、散乱は全く観察されなかったことが確認された。一方、Positive control として、台紙の上に、紫外線を反射することが知られているアルミホイルを敷き UV 照射を行ったところ、光源付近で反射が観察された。このこと

から, この実験系が紫外線の反射・散乱を検出することができる実験系として成立することが確認された。

Table 1 市販品の成分組成

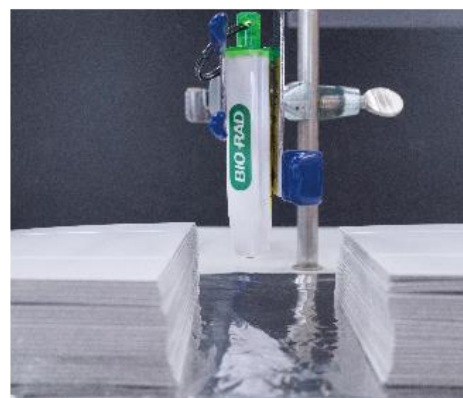
メーカー公表の成分を示してある。

商品名	UV 吸収剤	UV 散乱剤
Sample A	メトキシケイヒ酸 エチルヘキシル	酸化亜鉛
Sample B	—	酸化亜鉛, 酸化チタン
Sample C	—	酸化亜鉛, 酸化チタン
Sample D	メトキシケイヒ酸エチルヘキシル, ビスエチルヘキシルオキシフェノールメトキシフェニルトリアジン, エチルヘキシルトリアゾン, ジエチルアミノヒドロキシベンゾイル安息香酸ヘキシル	—
Sample E	メトキシケイヒ酸エチルヘキシル, ジエチルアミノヒドロキシベンゾイル	酸化亜鉛, 酸化チタン

サンスクリーンの成分である酸化亜鉛や酸化チタンの物性を調べるため, これら酸化亜鉛及び酸化チタン(ルチル型, アナターゼ型)の粉末を黒紙上に散布し, UV 照射を行った。その結果, Fig. 4 に示されるように, 光源付近に散乱が観察された。このことから, 酸化亜鉛及び酸化チタン(ルチル型, アナターゼ型)が, 紫外線を散乱させる効果があることが確認された。

次に, 実際のサンスクリーンで散乱が生じるかどうかを検証した。Fig. 4 に示されるように, Sample A, Sample B, Sample C, Sample E において, 酸化亜鉛及び酸化チタンの粉末を散布した場合と同様の散乱が観察された。一方, 酸化亜鉛も酸化チタンも含まない Sample D ではこの散乱が観察されなかった。これらのことから, サンスクリーンに含まれている酸化亜鉛や酸化チタンなどの紫外線散乱剤は, 照射された紫外線を散乱させていることが明らかとなった。これらの紫外線防止剤は, 照射された紫外線を散乱させることで, サンスクリーン塗布部への紫外線照射を防いでいることが示唆される。サンスクリーンの紫外線散乱剤の効果評価の実験 (Fig. 4) から, 酸化亜鉛や酸化チタンには紫外線を散乱させる機構があることが明らかとなっ

(A)



(B)

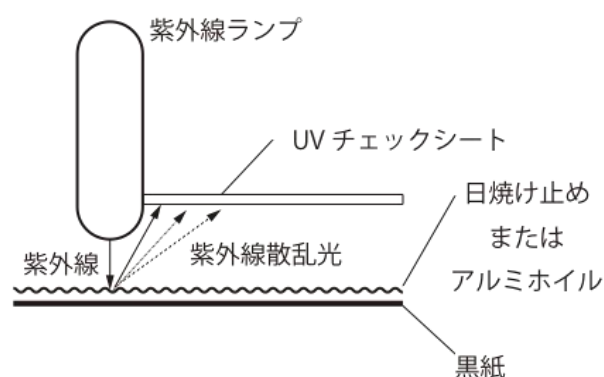


Fig. 3 散乱剤の散乱効果を評価するための装置

サンスクリーンの散乱剤により, 紫外線が散乱するかを調べるための装置を組み立てた。紫外線の光源として, 紫外線 LED を用いた (A)。(B)は模式的な光路図を示している。

た。Fig. 4 (B)のグラフにおいて, アルミホイルのグラフと, 酸化亜鉛のグラフを比較すると, 次のことが示唆される。すなわち, 両者のグラフは, UV ランプからの距離0から離れていくに従い, 明度の減少が見られる。それぞれの傾き方に明らかな違いが認められる。アルミホイルの場合は, 距離0から離れるにつれ, 急速に明度(つまり反射した紫外線量)が減少している。これは, アルミホイルが紫外線を反射していることを意味している。一方, 酸化亜鉛や酸化チタンの場合は, 明度の減少が比較的緩やかである。このことから, 酸化亜鉛や酸化チタンは, 反射ではなく, 紫外線を散乱させていることを示唆している。つまり, 酸化亜鉛の粒子が紫外線を散乱し, その散乱光が近傍にある別な粒子に照射され, その散乱光がさらに散乱されていることが考えられる。結果として, 反射の場合に比べ, グラフの明度減少が緩やかに, つまり, より広範囲に紫外線が散乱されていることが支持される。このことは, サンスクリーンの結果についても同様なことが言える。

(A)

NC.
(黒紙)

PC.
アルミホイル
(反射)

PC.
酸化亜鉛
(散乱)

PC.
酸化チタン
(ルチル型)

PC.
酸化チタン
(アナターゼ型)



Sample A

Sample B

Sample C

Sample D

Sample E



(B)

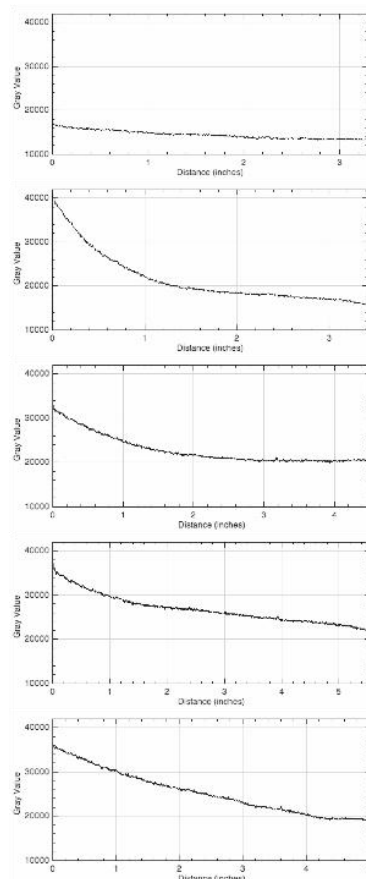
NC.
(黒紙)

PC.
アルミホイル
(反射)

PC.
酸化亜鉛
(散乱)

PC.
酸化チタン
(ルチル型)

PC.
酸化チタン
(アナターゼ型)



Sample A

Sample B

Sample C

Sample D

Sample E

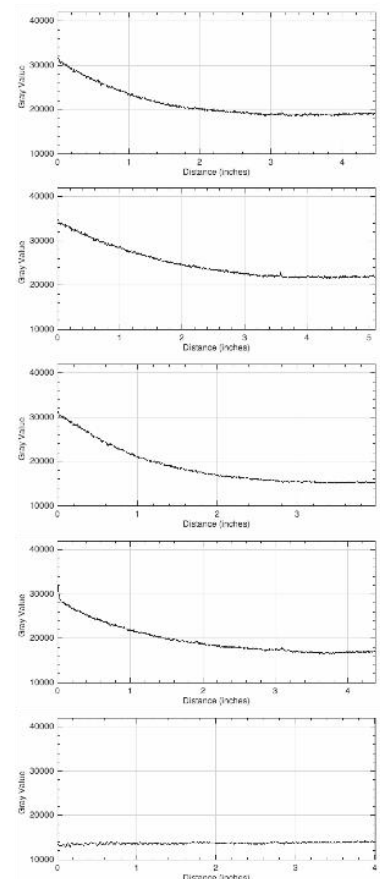


Fig. 4 各社サンスクリーンの紫外線散乱の半定量実験

NC.: negative control, PC.: positive control. (A) Fig. 3 に示す散乱実験により調べた、紫外線チェックシートの色相変化。写真の左端が UV ランプ側。反射・散乱が生じることで、チェックシートの左側が紫色に変色した。(B) (A) の写真をもとに、Image J を用い定量化した。定量化した範囲は、(A) の図中に矢印 (↔) で示した。横軸は UV ライトからの距離を示し、縦軸は明度を示した。グレイ変換により紫色の変色を明度で表した。

サンスクリーンの機能性評価法の考察

Fig. 1~2 と Table 1 を見ればわかるように、紫外線吸収剤や散乱剤の成分が入っているからといってその成分の配合量や状態（散乱剤であれば、粒径などの状態も重要である）は異なっているため、パッケージとしてのサンスクリーンにどのような吸光特性があるかは判断しようもない。これらのことから、サンスクリーンを販売しているメーカーが、ウェブページなどを通して、*in vitro* 実験によって調べられたサンスクリーンの吸光スペクトルも合わせて開示すれば、より明快なデータに基づいてサンスクリーンを選択することができるだろう。

この PA と吸光スペクトルの違いの原因には、さまざまな要因が考えられる。*in vivo* での PA や SPF の評価法では、集めた被験者の遺伝的な特性として偏りがあるような場合や、偶然評価の高い結果を示す数値として現れてしまった場合、被験者の皮膚の状態（汗など）、紫外線照射装置のスペクトル特性の影響なども考えられるだろう。当然、目視による判定の誤差（場合によっては恣意的な目視判断も否定できなくなる）もあるだろうし、塗り方の再現性は、この評価方法ではバラツキが避けられない。一方で、吸光度測定の評価方法の場合は、サンスクリーンを懸濁する溶液の違いや、サンスクリーンの分散させる程度などの影響も十分に考えられるだろう。あるいは、サンスクリーンの粒径が、分光光度計の紫外線照射の方法と関連性がある可能性もある。これらの要因により、*in vitro* 実験で調べられた吸光スペクトルとの間に結果から考えられる機能性に関して乖離が生じてしまったと考えられる。どのようにサンスクリーンの機能性を評価するのかは今後も課題の一つと言えるのではないだろうか。

紫外線吸収剤は、合成有機物であり、皮膚への負荷は高い。アレルギー反応が生じる場合もある。このため、一概にどの吸収剤を含んだものかといえるとは言えない。さらに、吸収剤の中には、DNA 損傷を引き起こす毒性のもつものも報告されている。例えば PABA（4-アミノ安息香酸）は、皮膚細胞の DNA 損傷を誘導し皮膚ガンを誘発することが明らかとなっている⁶⁾。

一方、紫外線散乱剤である酸化亜鉛や酸化チタンは安全かという点、一概に安全とは言えない。例えば、酸化チタンは代表的な光触媒であり、紫外線を照射することで有機物の分解を促進する。酸化亜鉛も酸化チタンほどではないが紫外線により光触媒活性を有する。一般的には細胞表面には、多くのタンパク質や糖タンパク質が発現している。光触媒である酸化チタンなどが皮膚に塗布され、そこに紫外線を含む太陽光が照射されるということは、細胞表面の有機物を分解する反応も促進されている可能性が高い。ただし、皮膚

表皮の最上層は、すでに核を失った細胞となり角質化して、絶えず剥がれ落ちて、26~28 日周期で表皮は turnover されている。最上層の角質層にダメージを受けたからといって即座に皮膚ガンになるとは考えにくい。さらに、最近のサンスクリーンに含まれる散乱剤は、光触媒活性による皮膚有機物の傷害を低減するため、樹脂コーティングしてあるものもある。

これら散乱剤は、あくまで紫外線を散乱させるだけである。Fig. 4 (B)で示したように、アルミホイルは紫外線を反射するのに対して、酸化亜鉛や酸化チタンは紫外線を散乱させていることが示唆された。すなわち、酸化亜鉛の粒子に照射された紫外線が、近傍にある別な粒子に照射され、それがさらに散乱していると考えられる。従って反射と比較して、より広範囲に紫外線が散乱していくことを意味する。散乱された紫外線によって、細胞へ影響を及ぼすという可能性も考えられる。例えば、胸元にサンスクリーンを塗布したとしても、胸元に照射された紫外線は散乱され、一部は顔（顎）に照射される可能性も十分考えられる。

Conclusions

本研究から、SPF や PA の評価法は、本来の紫外線吸収剤や散乱剤などの物性とは一致しない結果が得られた。SPF や PA の評価法は、「数値が高ければ効果が低い」、「プラスの数が多ければ効果が低い」など、商品パッケージとしてわかりやすく、消費者にとってメリットもある。パッケージに紫外線の吸収スペクトルが書かれてあってもピンとくる消費者は少ないだろう。しかし、本研究の結果からもわかるように、必ずしも物性を反映しているわけではない。今後、どのようにサンスクリーンの機能性を評価するのが、課題の一つと言えるのではないだろうか。

References

- 1) 紫外線 環境保健マニュアル 2008, 環境省 (2008)
- 2) 佐々木政子, “絵とデータで読む 太陽紫外線 -太陽と賢く仲良くつきあう法-” 地球環境研究センター (2006)
- 3) 日本化粧品工業連合会 SPF 測定法基準 <2007 年改定版>, 日本化粧品工業連合会 (2007)
- 4) 日本化粧品工業連合会 UVA 防止効果測定法基準, 日本化粧品工業連合会 (1995)
- 5) P. J. Osgood, S. H. Moss, D. J. Davies “The sensitization of near-ultraviolet radiation killing of mammalian cells by the sunscreen agent para-aminobenzoic acid” *Journal of Investigative Dermatology*, (1982), 79, 354-357.