

眼鏡装用による眼部紫外線防御効果

坂本 保夫, 小島 正美, 佐々木一之

金沢医科大学眼科学教室

要 約

目 的：眼鏡サイズと眼部の紫外線(UV)被曝防御効果の関係を検討した。

方 法：日本人女性の平均的な顔面形態に近いマネキンの脛裂部に UV センサー(感度波長 260~400 nm)を貼付し, 眼球表面の UV 被曝強度を測定した。測定は 3 月の晴天日の 12~15 時の間, 戸外で行った。マネキンに眼鏡枠(フレーム)のサイズと形状の異なる 4 種的眼鏡(UV-400 プラスチックレンズ, 屈折度数 0 D)を装用させ, 眼球表面部が受ける UV 被曝強度の差を検討した。また, 眼鏡と帽子両者の装用下での計測も行った。周囲環境からの反射による UV 強度分布は 26 面体センサー(鉛直方向を除く 25 方向)により測定した。

結 果：眼鏡フレームが大きくなるに従い, 眼部表面の UV 被曝強度は減少した。正面上方からの太陽光に対

しては, 小さなフレームでない限り紫外線防御効果は高かったが, 側面上方からの入射光に対しては, 脛裂耳側での防御効果はすべての眼鏡で低かった。後上方光による UV 被曝には眼鏡レンズの裏面反射が大きく関与しているものと思われた。

結 論：眼鏡装用時の UV 被曝は, ほとんどが眼鏡と前頭部の間隙からの直接入射光およびレンズ裏面反射と考えられた。特に小さなフレームの眼鏡は顔面にフィットしない限り, その防御効果は極めて低いものであった。(日眼会誌 103: 379-385, 1999)

キーワード：紫外線, 眼鏡, 紫外線計測, 白内障, サングラス

Effectiveness of Eyeglasses for Protection Against Ultraviolet Rays

Yasuo Sakamoto, Masami Kojima and Kazuyuki Sasaki

Department of Ophthalmology, Kanazawa Medical University

Abstract

Purpose : The relationship between eyeglass size and protection of the eye surface from the effects of solar ultraviolet (UV) rays was investigated.

Methods : Solar UV rays irradiating the eye surface were measured on a mannequin which modeled the standard facial bone structure of a Japanese female. UV sensor chips (photo-sensitivity : 260 ~ 400 nm) were attached to the ocular surface of the lid fissure. UV measurement was done from 12:00 to 15:00 on a sunny day in March. UV intensity was measured under the following conditions : 1) with or without eyeglasses, 2) wearing sunglasses with side protectors, and 3) wearing a cap with a 7 cm brim. Eyeglasses of four frame sizes (width : 48 ~ 57 mm) were put on the mannequin. All lenses were made of plastic and coated so as to be impervious to rays shorter than 400 nm. The refractive power was 0 diopters. At the same time, UV irradiation intensity from all directions (excluding from the earth direction) was measured using a polyhedron type UV sen-

sor with 25 sensor chips.

Results : Except for eyeglasses with the smallest frame size, eyeglasses effectively reduced UV exposure to sunlight from the upper front direction. However, protection against rays from the upper temporal direction was extremely poor. Sunlight from the upper back was reflected by the posterior surface of the eyeglasses and reached the eye surface.

Conclusion : The efficacy of eyeglasses against UV depends on their size. The shape of the eyeglasses and reflection from the posterior lens surface are also of great importance. Small eyeglasses do not offer ideal UV protection for the Japanese face shape. (J Jpn Ophthalmol Soc 103 : 379-385, 1999)

Key words : Ultraviolet rays, Eyeglasses, UV-dosimetry, Cataract, Sunglasses

別刷請求先 : 920-0293 石川県河北郡内灘町大学 1-1 金沢医科大学眼科学教室 坂本 保夫
(平成 10 年 9 月 18 日受付, 平成 10 年 11 月 25 日改訂受理)

Reprint requests to: Yasuo Sakamoto, D. Eng. Department of Ophthalmology, Kanazawa Medical University, 1-1 Daigaku, Uchinada-machi, Kahoku-gun, Ishikawa-ken 920-0293, Japan

(Received September 18, 1998 and accepted in revised form November 25, 1998)

I 緒 言

紫外線(UV)によるヒト健康への影響が近年話題になっている。これまでに皮膚癌、光線角・結膜炎など限られた疾患はこの検討対象になっていたが、大気環境汚染、中でもクロロフルオロカーボン(CFC)などによるオゾン層の破壊¹⁾²⁾が世界的に注目されてから、世界保健機関(WHO)、我が国でもこの問題に対して本格的な検討が行われている。眼科領域では前述の光線角・結膜炎の他、翼状片、白内障などがUV被曝に関連深い疾患として当面取り上げられているが、WHOはこの他にも幾つかの疾患をUV関連眼病変として注目している³⁾。

紫外線B波(UV-B)の被曝が皮膚によい影響を与えないことは広く知られており、スキンケア用品も数多く開発されているが、前眼部(角膜、結膜、水晶体)をUVから保護する手段としては、一般的にはサングラスの装着程度の認識しかない。眼鏡によるUV防御効果は個々の眼鏡枠(フレーム)サイズ、スタイル、レンズの光学特性などに依存するはずである。しかし、これを具体的に提示した眼科成書・論文⁴⁾⁵⁾は知る限りでは少ない。本研究はフレームサイズの異なる種々の眼鏡を装着した状態で、どの程度太陽紫外線が眼部表面に到達しているか、自作のマネキン型UV計測装置⁶⁾により検討した。

II 方 法

1. UV計測システム

UV計測システムはUV強度計測部と計測状態検出部から成り、パーソナルコンピュータと接続している。UV強度の検出には4(縦)×4(横)×1.5mm(厚み)の微小半導体UVセンサー(G5842, 浜松フォトニクス)を用いた。感度波長域は260~400nmで、紫外線A波(UV-A, ピーク370nm)およびUV-B(ピーク290nm)を合わせたUV強度が検出される(図1)。計測時のシステム設置状態は、システム下部に内蔵したジャイロコンパスで計測方位、前後左右の傾きとして同時記録した。計測時刻はコンピュータの内部時計を利用して記録した。

眼部のUV強度計測には日本人女性の平均的顔面形態⁷⁾⁸⁾に近いマネキンモデル頭部を用い、左右眼の眼裂に沿って耳側、中央、鼻側の各3か所と額中央1か所の計7か所に上記の微小UVセンサーを取り付けて計測した(図2a)。太陽方向以外からの反射、散乱UV強度分布を知るために、同様の微小UVセンサーを添付した26面体を作製し、鉛直方向を除く上下45°、水平の各8方位および天頂の計25方向からの環境UV強度を計測した(図2b)。

2. 使用眼鏡

フレームサイズが48□19-138, 54□15-132, 56□15-140および57□15-145(ISOボクシングシステム表記, 玉型幅□レンズ間距離—テンプレの長さ)⁹⁾の4種眼鏡を

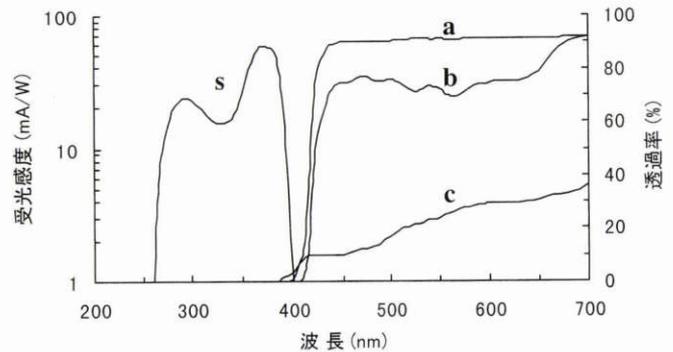


図1 半導体紫外線(UV)センサーの受光感度と眼鏡レンズの分光透過率。

a: UV 400 プラスチックレンズの分光透過率, b: サイドプロテクター付きサングラス光学部の分光透過率, c: サイドプロテクター部の分光透過率, s: 半導体UVセンサー(G5842, 浜松フォトニクス)の受光感度



図2 紫外線計測システム。

a: 眼部UV計測用のマネキン型UVセンサー(計測部位: 各眼眼裂上の耳側, 中央, 鼻側の3か所および額中央1か所). b: 周辺環境からの反射・散乱UVを計測する26面体UVセンサー(鉛直方向を除く, 上方45°, 水平, 下方45°および天頂の25方向). システム下部に内蔵したジャイロコンパスにより, 方位, 傾斜角をUV強度と共に同時記録する。

使用した。フレームの材質は玉型幅48~56mmの眼鏡がメタル系で, 57mmの眼鏡がプラスチック系である。レンズはすべて同材質でUV400マルチコーティング(400nm以下をカット)を施したプラスチックレンズである(図1)。度数はすべて0Dとした。この他サイドプロテクター付きサングラス(サイズ: 65□7-148, 分光透過率: 図1), ゴーグルタイプ, 丸小型のサングラスおよび縁なしのファッションングラスを装着した状態, また帽子(つば7cm)を着用した時と, この帽子の着用時に玉型幅54mmの眼鏡を併用した時の眼部UV被曝防御効果についても併せて検討した。



図 3 測定場所と周辺環境.

計測日：1998 年 3 月, 12:00~15:00, 天候：晴れ

3. UV 計測方法

計測は 1998 年 3 月の快晴時に著者らの施設内(屋外)で行った。時間帯は 12:00~15:00 である。計測環境は地表面がコンクリート, 前方は芝生, 左側面は白い壁, 右側面はガラス窓, 後方は窓付きの茶褐色の壁であり, 計測装置は地表から 1.6 m の高さに設置した。マネキンセンサーは水平レベルより 10°~15° 下方に向け, 視太陽がマネキンの正面(実測値: 左眼耳側 5°, 左眼耳側(86.2°), 右眼後方(146.6°)に位置した 3 時点で眼部に到達する UV 強度を計測した。各時点の視太陽とマネキンの向きとの相対仰角は 45.3° (視太陽: 正面), 61.6° (左眼耳側), 50.5° (右眼後方)であった(図 3)。

この条件下で 4 種の眼鏡を装着した時と非装着時の計測を行い, 計測時間による環境 UV 強度値の差は眼鏡非装着時の額中央部の値を基準にして補正した。得られた計測値は International Light 社製の UV センサー (Radiometer/Photometer, model:IL1,400A) の UV-B 強度値 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) に換算して用いた。

サイドプロテクター付きサングラスは, サイドプロテクター部を取り付けた状態と取り外した状態での UV 被曝率(サングラス非装着状態に対する値, 右眼で計測)を比較した。また, 帽子着用時の計測は視太陽が正面と左眼耳側の時点で行った。

III 結 果

1. フレームサイズの異なる眼鏡装着状態での眼部 UV 被曝状況

視太陽の位置が正面, 耳側, 後方いずれの場合でも, フレームサイズが大きいほど眼部の UV 被曝程度は低く, また, 鼻側より耳側の被曝強度が高い傾向にあった。レンズの最も小さい眼鏡(48□19-138)では, 正面上方からの光線に対する被曝の程度は眼鏡非装着時とほとんど変わらず, 角膜中央部には 20~30% の強度の UV が到達していた。左眼側面からの太陽光に対しては, 左眼表面の UV

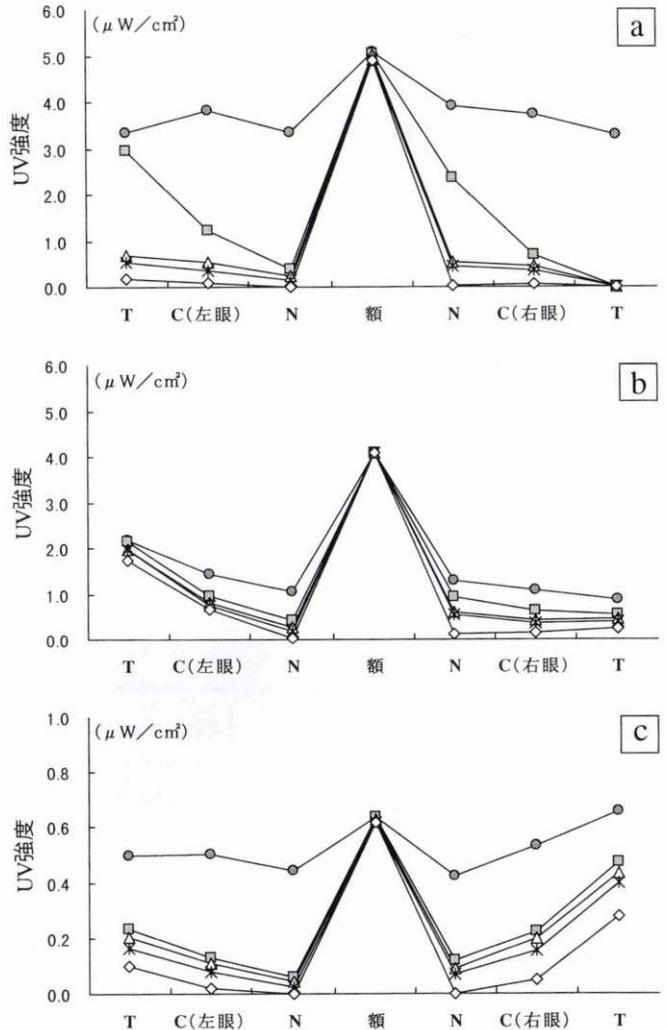


図 4 各太陽の位置における眼鏡装着時の眼部 UV 被曝強度.

視太陽の位置は a: (左眼耳側 5°, 相対仰角 45.3°), b: (左眼耳側 86.2°, 相対仰角 61.6°), c: (右眼後方 146.6°, 相対仰角 50.5°) である。N: 脛裂鼻側, C: 脛裂中央, T: 脛裂耳側

●: 眼鏡非装着状態, ■: フレームサイズ 48□19-138, △: 54□15-132, *: 56□15-140, ◇: 57□15-145

被曝率は耳側で約 90%, 角膜中央部で約 50% を示し, フレームサイズによる差は少なかった。右眼後方からの光による角膜中央部の UV 被曝強度は非装着時の約 10~50% であった(図 4, 5)。

2. サイドプロテクター付きサングラスによる UV 被曝防御効果

正面光に対しては, 脛裂耳側でも被曝率は 10% 以下であり, サイドプロテクターの有無による差はなかった。側面からの光に対しては, 脛裂鼻側はサイドプロテクターの有無にかかわらず UV を防御していたが, 脛裂中央部と耳側はともに 90% 以上の被曝率を示した。右眼後方からの光に対しては, サイドプロテクターを装着すると脛裂耳側部の被曝率はほぼ半減したが, 脛裂中央部の被曝率はサイドプロテクターがない場合とほとんど変わら

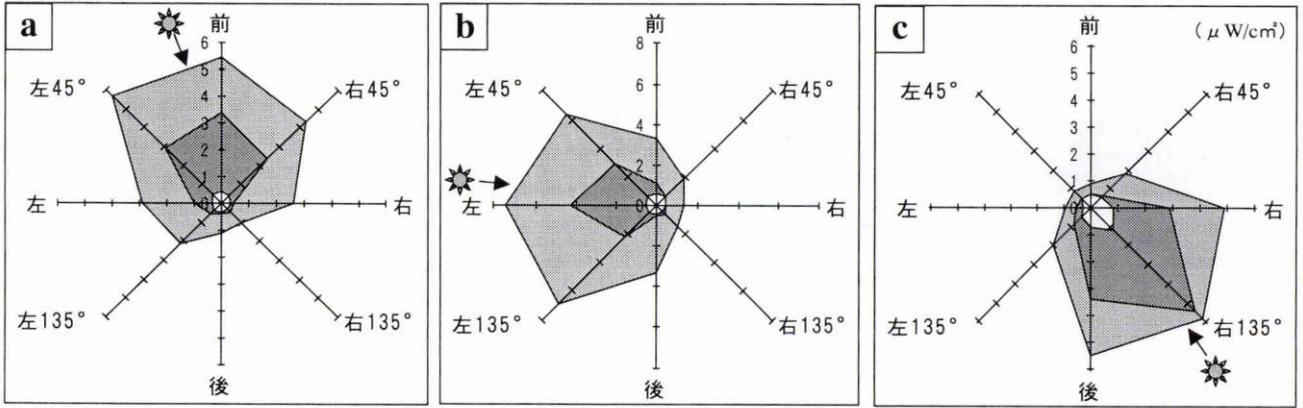


図5 各太陽の位置における周辺環境からの反射・散乱 UV 強度分布.

視太陽の位置は a: 正面上方(天頂の UV 強度 $3.86 \mu\text{W}/\text{cm}^2$), b: 左眼側上方(天頂の UV 強度 $5.17 \mu\text{W}/\text{cm}^2$), c: 右眼後上方(天頂の UV 強度 $3.58 \mu\text{W}/\text{cm}^2$)

■: 上方 45°, ▨: 水平方向, □: 下方 45°, ☆: 視太陽の位置

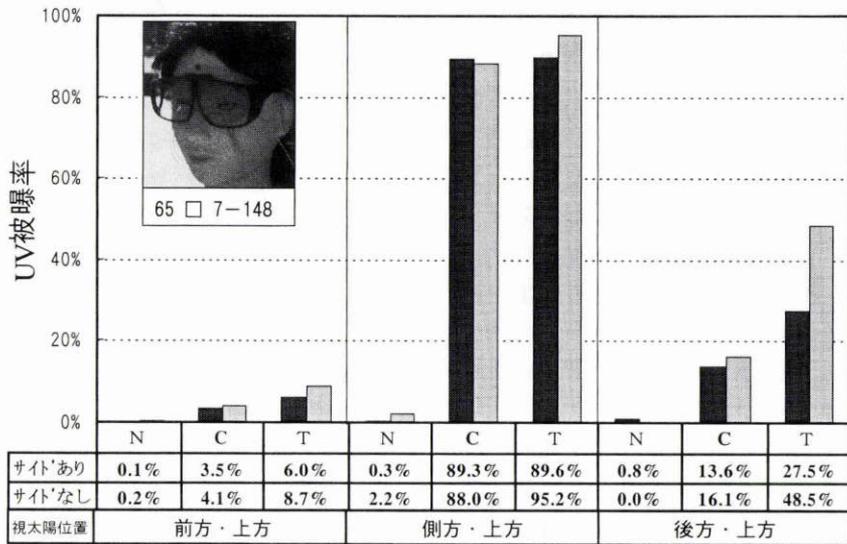


図6 サイドプロテクターの有無による眼部 UV 被曝率の比較.

サングラス非装用時に対する UV 被曝率(右眼で計測). サイドプロテクターは後方光に対する UV 防御には多少効果があるが, 耳側上方光に対してはほとんど効果がない. N: 眼裂鼻側, C: 眼裂中央, T: 眼裂耳側

■: サイドプロテクター装着時, ▨: サイドプロテクターを取り外した時

ず, サングラス非装用状態の約 15% の UV が到達していた(図6).

3. 帽子と眼鏡の併用状態での UV 被曝率

帽子を着用するだけで正面光に対する眼部 UV 被曝率は 20% に減少し, これに眼鏡を併用するとほとんど UV を防御していた. しかし, 側方からの光に対しては帽子のみでは 40% 前後, 眼鏡を併用しても 10~20% の UV が眼部に到達していた(図7).

4. サイズ・スタイルの異なる眼鏡(サングラス)での眼部 UV 被曝率

縁なしフレームでテンプルにつながる部分(智)に装飾が施されているファッショングラス(レンズ: UV 400 プラスチックレンズ, サイズ: 56□16-135)を装用した時は, 正面, 側面, 後方からの光に対して 20~94% の被曝率

を示したが, 丸小型のサングラスでは 22~115% と非装用時よりも被曝強度が高い場合もあった. ゴーグルタイプのサングラスでは 2~8% の UV 被曝率であった(図8).

IV 考 按

多量の UV を浴びる危険性がある特殊な職業に携わる者を除いても, 日常生活の中で我々が被曝している太陽紫外線量は少ないものではない^{3)~5)}. しかし, 長期間にわたり UV を受けても, 眼組織は皮膚癌のような重篤な病変が誘発されることは少なく, 一般に太陽紫外線による眼部傷害の認識は低い. 仮にその傷害内容を知っていたとしても, サングラスの装用で対応できるという程度に思われている. 我々の日常生活に UV 防御手段として取り入れられているものには, サングラス以外にも日傘, 帽

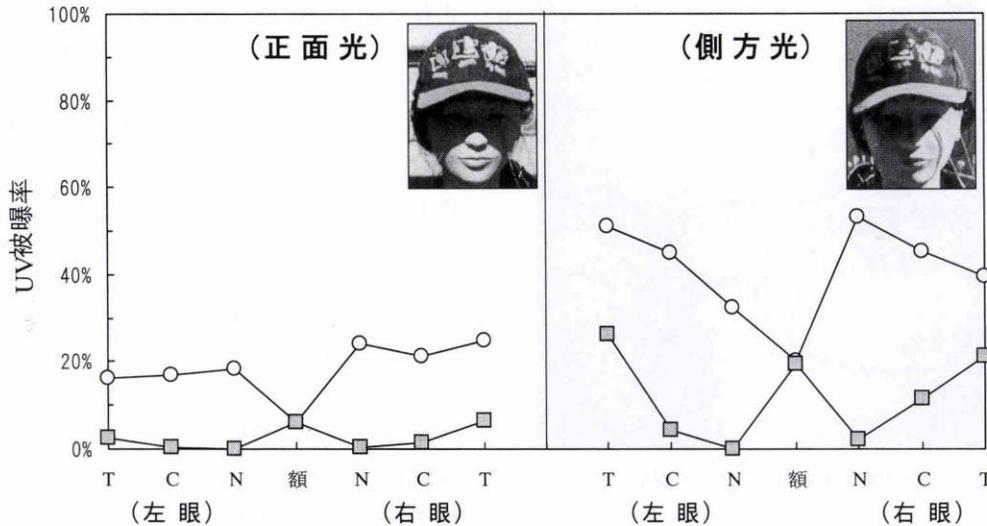


図 7 帽子のみと眼鏡を併用した時の眼部 UV 被曝率.

正面上方からの光は帽子の装用により, UV 被曝率を 20% まで減少させる. 眼鏡を併用するとほとんど UV を防御する. 耳側上方光に対しては, その効果は低下する. N: 瞼裂鼻側, C: 瞼裂中央, T: 瞼裂耳側
○: 帽子のみ装用, ■: 帽子と眼鏡 (54□15-132) を併用

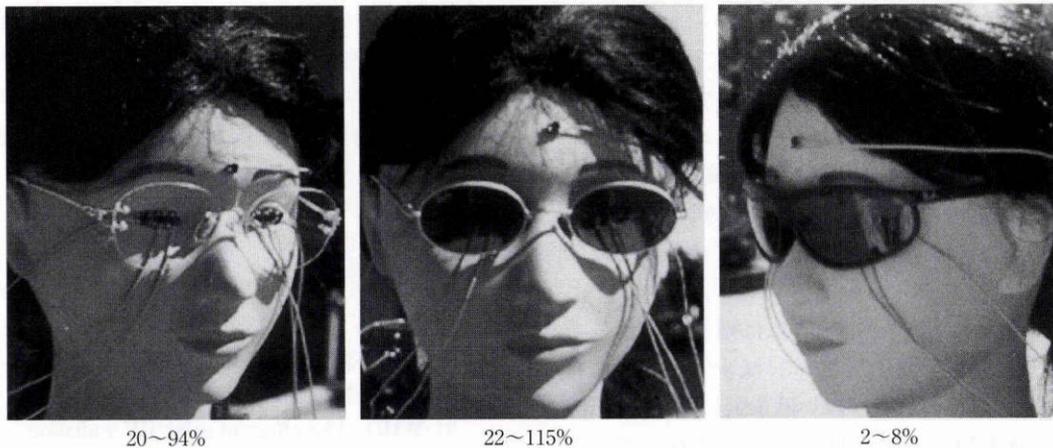


図 8 サイズ・スタイルの異なる眼鏡(サングラス)での眼部 UV 被曝率の例.

被曝率は視太陽が正面上方, 側面上方, 後上方に位置する時の最小値から最大値である. 左: 緑なしのファッションングラス(レンズ: UV 400 プラスチックレンズ), 中: 丸小型のサングラス, 右: ゴーグルタイプのサングラス

子および最近では UV カットコンタクトレンズなどがあるが, 具体的にこれらがどれほどの UV 防御効果を有しているのかは明確にされていない. 本研究は UV 防止コーティングを施した眼鏡の装用下で, 眼球表面への UV 遮断効果をマネキン型 UV センサーから評価することを目的としたものである.

UV-B が実験動物の水晶体に混濁を誘発することはよく知られたことであり, 白内障研究の中では確立された実験モデルに位置付けされている¹⁰⁾. これとは別に, 慢性的な太陽紫外線被曝がヒトでも白内障の誘発・進行因子となるという懸念が, オゾン層破壊現象の発現を機に話題となってきた. 疫学的には現時点で白内障発現・進行の確実な危険因子であるとは十分に立証されていないが,

太陽紫外線量が大きく異なる地域(海外の数か所を含む)で行われてきた白内障疫学調査^{11)~13)}の結果から, UV 被曝が白内障発現・進行に何らかの影響を与えていることが伺われる. 本研究の目的には眼部の UV 被曝が光線角・結膜炎, 翼状片, 白内障などの眼病変を誘発する危険性を持つということが背景にある.

よく指摘されることではあるが, 太陽紫外線被曝は視線方向からの光線のみによるものではない. つまり, 地表への直達紫外線量がそのまま眼部被曝量となっているわけでもない⁵⁾⁶⁾. 上方, 側方, 下方, さらに後方からの反射・散乱光も眼部に到達している筈である. 眼鏡は眼部に入射してくる UV を効果的に遮断するが, この効果もほとんどが正面光に対するものである. これは全方向の

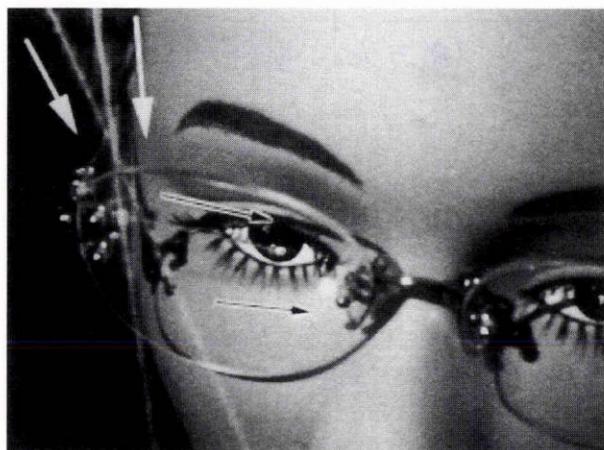


図9 半導体レーザー(波長 635 nm)による眼鏡レンズの裏面反射。

レーザー光は⇨方向から入射し、⇨方向に眼鏡レンズ裏面で反射して、眼球表面および内眼角部に到達する。

照射光に対してフレームサイズが大きいほど、UV 被曝強度を減少させた結果からも示される。より効果的とされるサイドプロテクター付眼鏡は真横からの照射光も遮るが、上下、後方からの光線をすべて遮断しているわけではない。実測の結果からも側面上方光に対する防御効果は 10% に満たっていない。

今回の計測では視太陽の位置は仰角で約 50°、マネキンの向きが下方約 10° であり、マネキンの向きに対し相対的に約 60° 上方から太陽光が照射されていることになる。この光線が眼鏡フレームのテンプルおよびフロント上部から進入したと考えられる。これは帽子を装着して上方光を遮ると、被曝率が 10~20% に減少する結果からも明らかである。顔面の彫りが深い欧米人に比べ、標準的な日本人の顔面形態を有する眼には、最近流行しているファッション性の高い小型の眼鏡は期待するほどの UV 防御効果は得られないことも示し得たと考える。効果的な UV 遮断を目的とするなら、眼科医はフレームまでの知識をもユーザーに与えてよいと考える。ただし、ファッション性を重視する眼鏡を求める場合にはこの限りではない。少なくとも本結果は眼鏡の処方に関わる者に対して、有用な情報であると考えられる。

眼鏡を装着した場合、後方からの光もかなり眼部に到達していることはあまり理解されていない。正面光に比較して後方からの光の被曝防御効果が得られないのは、眼鏡レンズの裏面反射によるものであろう。635 nm の半導体レーザー光を頭部後方から照射すると、その光線は瞼裂鼻側のみならず、瞼裂中央部までにも到達する(図 9)。したがって、屈折率の大きい UV はさらに瞼裂中央寄りに到達している筈である。

最近の眼鏡レンズには反射防止コーティングが施されているが、3 層防止膜でも反射防止効果があるのは可視光域であり、紫外域は 10% 以上反射する¹⁴⁾。また、反射防

止膜により可視光の乱反射は減少し、眩しさが抑えられるため、瞼裂高、瞳孔径の変化は少ない。さらに、光線透過率の低い(色の濃い)レンズを用いると瞳孔径は大きくなる¹⁵⁾¹⁶⁾。この状態は反射 UV の眼内進入量の増加につながる。Coroneo ら¹⁷⁾、Malooof ら¹⁸⁾は角膜周辺部から眼内に入射した光線は反対側の水晶体赤道部に集光するとの考えを提唱している。どれほどの UV が水晶体内に進入しているかは不明であるが、妥当な理論として容認できる。この理論に従えば、外側方から照射される光の危険性も無視できない。

最後に、眼鏡レンズの UV 裏面反射については、これまで注目されることは少なく、製造業界から眼科医あるいは販売者への十分な情報提供もなかった。今後の眼鏡開発において、レンズ前面には UV 反射膜を、後面には UV 吸収膜を施すような工夫があってもよいと考える。理想的な UV 防御眼鏡はゴーグルタイプであろうが、その使用は限られた範囲にとどまっておろ、UV のヒト健康への傷害が話題となってきた今日、新たな観点から眼鏡のあり方を考えてもよいと思う。

本研究の一部は平成 9 年度環境庁環境研究総合推進費に係わる研究「白内障の実態把握並びに、白内障発症と紫外線暴露との関連性解明に関する国際比較研究」、および平成 10 年度文部省科学研究費、基盤研究(C), No. 09671821(佐々木一之)の援助を受けた。ここに記して深謝いたします。

文 献

- 1) 環境庁：平成 8 年版環境白書，第 4 章 環境の現状，第 1 節 大気環境の現状。大蔵省印刷局，1997。
- 2) 赤木万哲：最近のオゾン層の状況と今後の行方。資源環境対策 33：27—36，1997。
- 3) WHO：The effect of solar UV radiation on the eye. Report of an informal consultation. Geneva, 30 August-3 September. WHO/PBL/94. 1, 1993。
- 4) Davis JK：The sunglass standard and its radiationale. Optom Vis Sci 67：414—430，1990。
- 5) Sliney DH：UV radiation ocular exposure dosimetry. J Photochem Photobiol B 31：69—77，1995。
- 6) Sakamoto Y, Kojima M, Emori Y, Sasaki K：Ultraviolet dosimetry utilizing a mannequin model. In：Sasaki K, et al.(Eds)：Cataract Epidemiology. Dev Ophthalmol 27：50—55，1997。
- 7) 中川 喬, 志賀 満, 大川 忠, 竹田 真：日本人の眼瞼の形態および上眼瞼挙筋機能。臨眼 28：689—692，1974。
- 8) 高野邦雄：顔面規格写真を用いた成人女子の顔面計測。昭医会誌 56：393—401，1996。
- 9) 田口一郎：眼鏡フレーム。あたらしい眼科 5：521—527，1988。
- 10) Hatano H, Kojima M：UV-B induced cataract model in brown Norway rat eyes combined with pre-administration of butionine sulfoximine. Ophthalmic Res 28(suppl 1)：54—63，1996。

- 11) **Taylor HR, West SK, Rosenthal FS, Munoz B, Newland HS**, et al: Effect of ultraviolet radiation on cataract formation. *New Engl J Med* 319: 1429—1433, 1988.
- 12) **佐々木一之, 小野雅司, 青木功喜, 加藤信世, 森根優, 中泉裕子**, 他: 生活環境の異なる三地域に在住する住民を対象とした白内障の疫学調査—第 1 報 有所見率, 病型を中心として—. *日眼会誌* 99: 204—211, 1995.
- 13) **Sasaki K**: Epidemiology—Search for risk factors of cataract formation. *Nova Acta Leopoldina NF* 75 Nr 299: 25—36, 1997.
- 14) **魚里 博**: 反射防止コート. 湖崎 克, 他(編): 眼科診療のための眼鏡ハンドブック, 医学書院, 東京, 57—72, 1990.
- 15) **Sliney DH**: Epidemiological studies of sunlight and cataract: The critical factor of ultraviolet exposure geometry. *Ophthalmic Epidemiol* 1: 107—119, 1994.
- 16) **Sliney DH**: Ocular exposure to environmental light and the impact of lid opening and sky conditions. In: Sasaki K, et al(Eds): *Cataract Epidemiology*. *Dev Ophthalmol* 27: 63—75, 1997.
- 17) **Coroneo MT, Muller-Stolzenburg NW, Ho A**: Peripheral light focussing by the anterior eye and the ophthalmohelioses. *Ophthalmic Surg* 22: 705—711, 1991.
- 18) **Maloof AJ, Ho A, Coroneo MT**: Influence of corneal shape on limbal light focussing. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 35: 2592—2598, 1994.