

## ICNIRP STATEMENT—PROTECTION OF WORKERS AGAINST ULTRAVIOLET RADIATION

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection\*

PUBLISHED IN: HEALTH PHYSICS 99(1):66 - 87; 2010

ICNIRP PUBLICATION – 2010

## 序論

紫外線放射 (UVR) への職業的曝露は、太陽、および、特殊ランプ、開放アーク工程、例えば溶接、のような人工光源から、発せられる。屋内労働者は、通常衣服や保護眼鏡で保護されているが、屋外労働者に対しては、同じレベルの保護は通常なされない。非常にしばしば、屋内労働者への過剰曝露が、安全対策あるいは保護設備の事故的失敗により生じる。屋外労働者は、太陽紫外放射への著しい曝露を受ける。それ故、目や皮膚の過剰紫外放射曝露に関連する、有害作用を被るリスクが増大する。皮膚に対するリスクの大きさは、気候的な因子と紫外放射に対する個人の感受性に大きく依存しており、後者は、皮膚の“光タイプ”と紫外放射への順化、すなわち適応の両方が合わさったものである。しかし、個人の感受性のこの大きな幅は、目に対しては存在しなく、すべての人種タイプの人々は、白内障およびその他の紫外放射関連眼疾患に感受性がある。

紫外放射に対する曝露ガイドラインは、国際放射線防護連盟およびアメリカ産業衛生専門家会議の初期の推奨に基づいて、ICNIRP により採択された。これらのガイドラインは、溶接アークや特殊ランプのような人工光源への屋内曝露に、容易に応用できる。これらの防護ガイドラインは、太陽紫外放射と人工の紫外放射源への曝露に応用できるが、屋外労働者は発生源に対する制御がないので、このガイドラインを屋外労働者に合わせる挑戦は非常に偉大である。欧州連合 EU は、紫外放射からの健康有害性に対して、労働者保護に関する文書を発行した。太陽の位置と曝露の幾何学は、目や皮膚に対する放射照度を決定する。ガイドラインの値は、特に、(30度より小さい) 低緯度値の、屋外労働者の状況には、ほとんど合わない。いずれにしても、種々の防護対策により、曝露が大きく減じうる。紫外放射曝露削減目標を達成するための重要な要因は、労働者の訓練と意識である。

どんな与えられた緯度でも、職業的曝露は、二つの広いグループに分類される。高、および低レベルの曝露である。建設業、レクリエーション (例えば、スキーリゾートガイド、ライフガード)、農業、園芸、漁業労働者は、一般に高レベルグループに属する。一方、教師、警察官、配達者、軍関係者を含む、主として屋内、あるいはほんの時々屋外に労働者は、一般的に低いレベルの紫外放射曝露を受ける。ただ、これは、レクリエーション目的の結果に関しては変化する。必要なら、屋外労働者は、帽子、サングラス、防護服、日焼け止めのような、個人防護具を供給されるべきである。太陽に敏感な労働者に対しては、ガイドラインを守って太陽紫外放射曝露を十分減ずることを達成することの困難は、これらの人々が屋外の仕事を避けたくないことに導く。温暖な気候では、屋外労働者の潜在的な曝露は、季節により大きく変化する。

限られた数の仕事の労働者は、屋内の職場で顕著なレベルの紫外放射に曝露されている。これらには、溶接工、テレビスタジオ

および演劇舞台のスタッフ、ある科学的、医学的労働者、フォトコーティング装置を使うグラフィックスおよび紙、その他の産業労働者、がいる。

## 背景

紫外放射は、最も高い光子エネルギーの、光学放射として分類される、スペクトルのより短いから成っている。紫外放射のスペクトルは、電離軟 X 線と可視放射の間に広がる。例えば、DNA に対する直接的な光子の影響のような、紫外放射の影響は、電離放射線の影響のある部分を分け合っている。紫外放射のスペクトルは、しばしば三つの光生物学的スペクトル帯に分割される (図 1)。

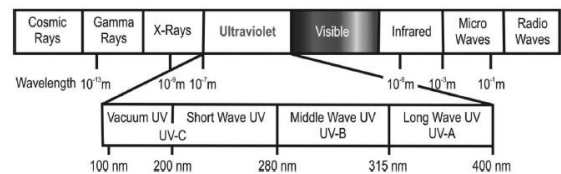


Fig. 1. The ultraviolet spectrum and the wavelength bands.

国際照明委員会 (CIE) が指定した紫外放射スペクトル帯は、UV-C (100~280nm)、UV-B (280~315nm)、UV-A (315~400nm) である。

地球上の太陽紫外放射は、主に UV-A と UV-B から成っている。人工光源だけが UV-C スペクトル帯にある放射エネルギーを出す。目と皮膚の紫外放射曝露の線量測定は、いくつかの放射測定学的な量と単位を用いる。放射照度 ( $Wm^{-2}$ ) は、表面の曝露量率で、 $Wm^{-2}$  である。放射輝度曝露 ( $Jm^{-2}$ ) は、単位面積あたりの蓄積放射エネルギーで、 $Jm^{-2}$  である。

放射束 radiant power (W) は、光源 ( $W=Js^{-1}$ ) の放出エネルギー率である。関連する光計測量光束 luminous flux (lm) は、目の感受性で重み付けされた光源のエネルギー放出率を記述している。このように、定義された放射束に関連した視知覚が関係している。フラッシュランプのようなパルス光源に対しては、放射輝度エネルギー radiant energy (J) はエネルギー放出を記述し、1J は 1秒に 1ワット、すなわち 1ws の放出に対応する。

## 生物学的影響

皮膚や目に紫外放射により惹き起こされた生物学的影響は、気づかれないまま職場環境でも起こりうる。故に、潜在的な生物学的な影響の理解が重要である。光生物学においては、生物学的影響量という概念は、決定的に重要である。紫外放射の作用スペク

トル action spectrum、 $S(\lambda)$  (図2) は、所定の影響に対する波長毎の相対的実効値を定義する。

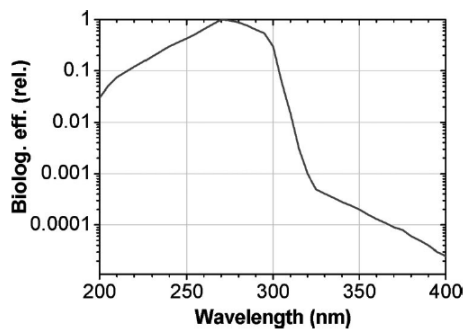


Fig. 2. Relative spectral effectiveness of UVR (ICNIRP 2004).

生物学的実効放射照度 biologically effective irradiance,  $E_{\text{eff}}$  ( $\text{Wm}^{-2}$ ) は、生物学的応答を示す作用スペクトルで放射照度を分光学的に重み付けすることにより計算される。数学的には、それぞれの波長の分光放射照度  $E_{\lambda}$  ( $\text{Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$ ) に同じ波長の生物学的応答  $S(\lambda)$  を、当該スペクトルの範囲内で掛け合わせ、波長毎の照度成分をすべて加算することによって得られる。実効放射照度曝露 effective radiant exposure  $H_{\text{eff}}$  ( $\text{Jm}^{-2}$ ) は、生物学的に実効的な放射照度に曝露時間を乗じたものである。

所定の影響に対する標的分子は、発色基 chromophore と呼ばれており、皮膚や目には多くの光化学的に活性な発色基があり、遅延性の影響に対して鍵となる発色基は DNA である。

### 生物学的組織による吸収

紫外放射は、すべての生体組織の成分により吸収される。生物分子のとの相互作用は、特異的な波長の吸収による結果として起こり、励起状態が生じる結果起こる。DNA の吸収ピークは 260nm 付近にあり、UV-B 帯で (数倍の大きさで) 急激に低下する。

325nm 以上の波長では吸収は検知されない。

トリプトファンのような、芳香族アミノ酸では UV-B 帯で吸収を起こし、UV-A 帯にまで広がる。DNA 鎖の破壊は、UV-B と UV-A により起こされる。

紫外放射の吸収は、酸素によって光感作される。また、UV-A の吸収は、DNA タンパクの架橋結合を生じ、そして、一般的に、すべての DNA 損傷は、細胞が分割する前に修復される。いくつかのメカニズムが関与しており、その構造体 (細胞:天野) での突然変異により遺伝子の不活性化が起こる。

### 皮膚への影響

皮膚の紫外放射照射で、ケラチノサイト keratinocytes によりいくつかの信号物質 (サイトカイン) が放出されるか、活性化されるか、合成される。これらのサイトカインは、種々の影響を発現する。最も顕著には、例えば熱のような、皮膚あるいは目、および体の中で炎症反応を起こす。ある種のサイトカインは、細胞の成長、識別あるいは死を制御し、あるものは色素細胞 (メラノサイト) を活性化し、一般に日やけと呼ばれる、新しく形成されたメラニン色素 (メラニン形成) で皮膚を黒くする。

### 皮膚に対する急性影響

「日やけ」は、紫外放射の過剰な曝露に続いて起こり、他のタイプの「熱傷」とは異なり、皮膚に対する光毒性効果の結果である。日やけ (皮膚の発赤あるいは「紅斑」) は、曝露後 4 時間前に検知されることは希で、8~12 時間後に最大に達し、数日で消失する。皮膚の赤色の発現 (紅斑) は、皮膚表面近くの血液量の増大に結果する。高い曝露量は、皮膚の痛みと腫脹 (浮腫) を起こし、24 時間後の遅延性細胞死 (アポトーシス) により、細胞の空白が外側へ広がり、皮膚の最も外側の層の、角質層に達する。そして、数日後に皮がむける。あるいは、実質細胞の崩壊 (ネクローシス) による急速な損傷により、急激に水疱が生じる。日やけの感受性は、実質的に顔貌や色で変化する。そして、これは最少日やけ反応を起こすのに必要な太陽曝露時間を反映している。例えば、白い肌では 15~30 分の太陽曝露、中程度に日やけした皮膚では 1~2 時間である。比較のために、黒く日やけした皮膚では、一日中の曝露でも日やけを明らかに示し得ない。しばしば、人は 6 つの太陽反応皮膚タイプの一つに分けられる。これらの皮膚タイプは、皮膚に色素、メラニンを産生しやすいか基づいて、3 つのより意味のあるグループに分けられる (表 1)。

特殊化された計測量が、日やけの感受性を記述するために、皮膚科学者により開発された。最少紅斑量 Minimal Erythmal Dose (MED) は、人の皮膚に (紫外放射が) 照射されて 8~24 時間後に、やっと知覚できる紅斑を生じうる紫外放射曝露として、定義される。この MED は、紫外放射源のスペクトル、人の日やけ容量、過去の曝露から得たすべての適応、により変化する。MED は特異的な人に関係しているので、紅斑を生じさせる光源の力を量るための、標準紅斑量 Standard Erythmal Dose (SED) と呼ばれる、関連した標準化された単位もある。1SED は、 $1\text{Jm}^{-2}$  の (CIE の紅斑作用スペクトルで分光学的に重み付けされた) 紅斑実効紫外放射曝露に等しい。この単位は、それ相応に広く、紅斑実効放射照度 erythemally effective irradiance ( $\text{Wm}^{-2}\text{eff}$  あるいは  $\text{SEDh}^{-1}$ ) に用いられている。さらにもう一つ、関係した量は、公衆衛生で所定の気候学的条件での日やけのリスクを記述するために用いられる紫外線指数 UV Index がある。UV Index 1 は、1 時間あたり 1SED よりわずかに小さい (正確には、 $0.025\text{Wm}^{-2}\text{eff}$ 、あるいは  $0.9\text{SEDh}^{-1}$ )。SED と UV Index の両

Table 1. Classification of skin types based on their susceptibility to sunburn in sunlight and their ability to tan.

Skin phototype	Sun sensitivity	Sunburn susceptibility <sup>a</sup>	Tanning achieved	Classes of individuals
I	Very sensitive	Always sunburn: <2 SED	No tan	Melano-compromised
II	Moderately sensitive	High: 2-3 SED	Light tan	Melano-compromised
III	Moderately insensitive	Moderate: 3-5 SED	Medium tan	Melano-competent
IV	Insensitive	Low: 5-7 SED	Dark tan	Melano-competent
V	Insensitive	Very low: 7-10 SED	Natural brown skin	Melano-protected
VI	Insensitive	Extremely low: >10 SED	Natural black skin	Melano-protected

<sup>a</sup> SED, standard erythmal dose.

方の単位は、CIEによって標準化されている。

光タイプ（表1）の間の太陽曝露への広い範囲の感受性は、大きくは、ユーメラニン eumelanin（暗黒褐色）とフェオメラニン pheomelanin（黄赤色）という、メラニン細胞によって産生される二つのタイプのメラニン色素に対応している。フェオメラニンは紫外放射光子を吸収し、過剰曝露により、光毒性を持つ活性酸素種 reactive oxygen species (ROS) を生み出す。安定なフリーラジカルであるユーメラニンは、紫外放射光子を吸収し、フリーラジカルを除去し、光防護的である。すべての人は、ユーメラニンとフェオメラニンを、体質に従って異なる比率で作る。その結果として、太陽への感受性と皮膚癌の発生率が大きく異なる。さらに、黒い皮膚タイプは、皮膚光タイプ I と II より、より効率的に DNA を修復する。

頻回の紫外放射曝露からの皮膚の適応は、「日やけ」すなわち「メラニン形成」という、皮膚の黒化の明らかな効果だけではなく、「皮膚の肥厚」、すなわち皮膚の上皮層の外側の、表皮の肥厚、過形成、による（表2）。

**Table 2.** Skin phototypes and average threshold exposure. MED<sub>1</sub> expressed in SED<sub>2</sub> for sunburn with and without adaptation.

Skin phototype	Individual MED without adaptation	Individual MED with adaptation <sup>a</sup>
I-II (Celtic)	2 SED <sup>b</sup>	5 SED
III-IV (Mediterranean)	5 SED	12 SED
V (Asians)	10 SED	60 SED
VI (Black)	15 SED	80 SED

<sup>a</sup> MED, Minimal Erythema Dose. Minimal Erythema Dose with adaptation implies three weeks of tanning from solar exposure without erythema.

<sup>b</sup> SED, Standard Erythema Dose. The ranges of SEDs are not prescriptive but only indicative of an MED with a large spread of values for each phototype.

皮膚の最も外側の層のこの肥厚は、UV-B 曝露への適応として作用する。UV-B へ数回曝露後1~7週間で表皮が3~5倍肥厚し、曝露停止から1~2ヶ月で通常の厚さに戻る。減衰は指数関数的に厚さと関係しているため、太陽曝露の結果としての表皮の肥厚は、紫外放射防護の増大と関係している。少し着色した皮膚のタイプでは、肥厚は恐らく、防護的に、日やけより重要である。しかしながら、黒く日やけした人は、その逆が恐らく正しい。日やけした皮膚はある程度の防護を与えるが、これは、皮膚の肥厚がない中で、2~3の因子の一つに過ぎない。すでに述べたように、メラニンによる防護の様式は、純粋に光学的ではなく、UV照射により生じた活性酸素 ROS を除去することによる化学的防護が重大に関わっている。表皮の肥厚と日やけとは別に、インターロイキン-1受容体の拮抗体の顕著な増大という、皮膚のサイトカインの基本的なシフトもまた、皮膚の適応に強く寄与している。

日やけを生じさせる波長は、紅斑を生じる波長と大変似通っている（図2）。太陽に反動的で、メラノ親和性（タイプIおよびタイプII、表2）を持つ人は、よく日やけするメラノ有能性（タイプIIIおよびタイプIV、表2）の人に比べ、日やけしない。メラニン産生性 melanogenesis は、UV-A 帯で紅斑を生じる量よりかなり低い太陽紫外放射量で、よく日やけする人に活性化される。

### 光感受性物質と作業環境

細胞成分への吸収された紫外放射光子の直接的な有害影響に加えて、光毒性反応は、光子を吸収後生き残っている細胞成分へ有害影響を及ぼす発色基により、媒介される。

ある種の化学物質は、このように、紫外放射（特に、UV-A）へ皮膚を感作させる。その過程は、「光感作性」、化学物質は「光感作物質」と呼ばれる。光感作された反応は、光感作物質の濃度と紫外放射曝露量の強さに比例している。光感作する分子は、内因性で、体によって作られる。あるいは、外因性で、外部から体に取り込まれる。外因性の光感作物質（表3）は、皮膚の表面、あるいは、体の各所に端を発して体に入る、血液から皮膚に入る。

外因性の光感作物質（表3）は、屋内の労働環境、屋外の職場、および工業的な職場で見出さる。さらに、最も強い光感作物質は、しばしば医学的目的で投与される。そして、紫外放射へ曝露される労働者は、この潜在性に気づくべきである。ある種の職業では、特異的な光感作物質に遭遇する。例えば、染料は繊維工業で遭遇するし、農業では光感作性植物があり、印刷業で見られるあるインクは光感作物質（例えば、アミルジエチルベンゾエイト）を含有している。屋根葺き職人や道路労働者は、光感作物質であるコールタールに遭遇する。

光感作物質に曝露されたり、光毒性反応を経験した人は、太陽に曝露された時でさえ、永久的な皮膚反応を呈する。これらの人々は、「慢性光反応者 chronic photo-reactor」と言われる。

いくつかの光毒性物質は、免疫反応を刺激する。これらの物質は、「光アレルギー photo-allergen」である。光アレルギー反応の大きさは、免疫アレルギー反応の振幅（許容度）にのみ依存し、曝露された皮膚を越える、光アレルギー反応の広がりにより認識される。

### 化学的光感作性を表す反応

臨床的研究と検査バッテリーの利用は、異常な皮膚反応の源を正確に同定することを、通常求められる。過大な日やけ反応は、全身的な薬剤（表3）の数に関連しているが、典型的には、中等量のジメチルクロロテトラサイクリン、あるいは、ドキシサイクリン doxycycline やクロプロマジン chlorpromazine のような、多量のその他のテトラサイクリンに関連している。例えば、通常は有害ではない UV-A 曝露は、マイルドな日やけを起こし、やっと認識できるくらいの紅斑を生じさせる UV-B 曝露は、重篤な反応を起こす。

コールタール、ピッチ、およびそれらの成分の多くは、太陽光曝露と結合して、曝露された皮膚に、直ちに体にチクチク感、すなわち日やけ感覚を生じる。太陽光への長い曝露は、「ピッチ痛 pitch smarts」の強度を増加させ、紅斑も生じ、膨疹と発赤反応を起こす。遅れて過度な色素沈着も生じ、もし跳ね返し（例えば、木の防腐剤）によるものであれば、奇異な形が出現する。最終的には、紫外放射光感作性により、植物性ソラレン psoralens に接触した時に最も典型的に現れる、水泡形成反応が起こる。この反応は、ソラレンを含む植物の樹液に接触することと、その後の太陽光曝露が、引き金となる。恐らく痛い、その植物に接触したことに明らかに関係するパターンに分布した、紅斑は24時間後に最初に見られる。次の24時間の間に水泡が形成され、そして、癒合して、時として葉っぱの痕跡を再生したような、局所的な表面パターンを作るが、1日以内で引く。着色の異常が発現し、1ヶ月は続く。紅斑と水泡形成の強度は、紫外放射曝露量と皮膚内の光感作物質の量に依存する。これらが少ない時は、紅斑のみが72時間かそれ以上潜伏して生じ、過度の着色が続いて起こる。



Table 3. Photosensitizers in the work environment.

Sources	Active ingredients
<b>A. Photosensitizers in the domestic work environment</b>	
Bacteriostats in soaps	Halogenated salicylanilides
Wood preservatives	Creosote
Vegetables	Psoralens in celery and parsnips
Perfumes and cosmetics	5-methoxypsoralen (Bergapten) in oil of Bergamot, musk ambrette, 6-ethylcoumarin
Sunscreens	p-aminobenzoic acid (PABA), ethoxyethyl-p-methoxycinnamate, isopropylidibenzoylmethane, butylmethoxydibenzoylmethane
Disinfectants and antiseptics	Methylene blue, eosin and rose bengal
Tattoos	Cadmium sulphide
<b>B. Photosensitizers in the outdoor work environment</b>	
Plants	Furocoumarins: psoralen, 8-methoxypsoralen, 5-methoxypsoralen, pimpinellin, sphondin, angelicin
Umbelliferae	
Giant hogweed ( <i>Heracleum mantegazzianum</i> )	
Cow parsnip ( <i>Heracleum sphondylium</i> )	
Wild parsnip ( <i>Pastinaca sativa</i> )	
Tromso palm ( <i>Heracleum laciniatum</i> )	
Rutaceae	
Common rue ( <i>Ruta graveolens</i> )	
Gas plant ( <i>Dictamnus alba</i> )	
Bergamot orange ( <i>Citrus bergamia</i> )	
Moraceae	
Fig ( <i>Ficus carica</i> )	
<b>C. Photosensitizers in the industrial/working environment</b>	
Anthraquinone based dyes	Benzanthrone; Disperse Blue 35
Polycyclic hydrocarbons	Pitch, coal tar, wood preservatives, anthracene, fluoranthrene
Drugs	Chlorpromazine, amiodarone
Printing ink	Amyl-o-dimethylaminobenzoic acid
Animal feed supplement	Quinoxaline-n-dioxide
<b>D. Major photosensitizers administered for medical purposes</b>	
Drugs	
Antibacterial	Tetracyclines, sulphonamides, nalidixic acid, 4-quinolones
Tranquilizer	Phenothiazines (chloromazine)
Antidepressant	Protryptiline
Diuretic	Chlorthiazides, frusemide
Antiarrhythmic	Amiodarone, methyl dopa, quindine, propranolol
Anti-inflammatory	Ibuprofen, azapropazone, naproxen
Antifungal	Griseofulvin
Bacteriostat	Halogenated salicylanilides, bithionol, buccosamide
Topical antifungal	Fenticlor, hexachlorophene
Antimalaric	Quinine
Photo therapies	
Photochemotherapy	8-methoxypsoralen, 5-methoxypsoralen, trimethylpsoralen, khellin
Photodynamic therapy	Photofrin II

### 慢性的影響—皮膚の老化の促進と皮膚癌

職業的曝露による光—老化は、顔や首の後ろ、手のような太陽に曝露される部位に、漁師や農夫に、伝統的に、特に観察されていた。光—老化した皮膚の臨床的兆候は、乾燥、深いしわ、強められた皮膚の深いしわ、たるみ、弾性の損失、まだらな着色、小さいがよく見える表面血管の出現、毛細管拡張症、である。これらの特徴は、表皮の中の重大な構造的変化を反映している。どの波長が光—老化に最も寄与しているかは全体的に明らかではないが、いくつかの研究では太陽の UV-A の寄与を指摘している。

### 皮膚癌

皮膚癌の三つの一般的な型を、発生率の高い順および重篤性の低い順に並べると、基底細胞癌、扁平上皮癌、悪性黒色腫である。皮膚癌症例の 90% くらいが、非黒色腫の基底細胞癌で、緯度により、扁平上皮癌の 4~8 倍くらい見られる。紫外放射への曝露が、癌の三つの型全てについて、主要な病因である。基底細胞癌と悪性黒色腫について、関与する波長あるいはリスクを生じる曝

露パターンのどちらも、確定していない。一方、扁平上皮癌については、UV-B と UV-A の両方が関係しており、紫外放射への蓄積生涯曝露と貧弱な日やけ応答が、主要なリスクファクターと思われる。皮膚癌を発現するリスクは、皮膚のタイプ (表 2) により大きく変化する。従って、日やけしやすい人は、皮膚癌が生じやすい傾向がある。実際、重篤な日やけの履歴は、より典型的には周期的なレクリエーションで起こるが、悪性黒色腫のリスクファクターである。紫外線角化症として知られている扁平上皮癌の前駆障害は、緯度によるが、50~60 歳の白い皮膚の屋外労働者に一般的に見られる。現在、UV-A の寄与は、全ての型の癌に対して、通常の太陽曝露では UV-B に比べて UV-A の量が非常に多いことを考慮して、UV-B の寄与と同様に危険であると考えられている。今日の証拠では、黒色腫と基底細胞癌について、(労働年齢以前の) 初期の生活での曝露が、重要のように見える。しかし、蓄積曝露は、疑いなく、いくつかの型の黒色腫の原因である。最も頻度の高い人の黒色腫を擬態した最近のマウスモデルは、生後すぐに曝露された、UV-B の重要な役割と UV-A の効能の明らかな欠如、を示した。

### 目への影響

紫外放射の目への曝露は、種々の障害に関連しており、まぶた、角膜、水晶体および、多分、網膜を含む。紫外放射の目への曝露は、皮膚への曝露に比べると、曝露の幾何学にかなり影響される。眉弓とまぶたが、あらゆる方向からの紫外放射から目を守っている。目を細めたりつぶっている間、上および下のまぶたが、紫外放射曝露から、部分的あるいは全体の目を守っている。透光体は、紫外放射を部分的に透過および屈折する。屈折は、直接的に、入射光をより高い照射へ集中させる（図3）。故に、太陽の目への影響は、第一に、目の外側の低い鼻の部分に位置する。

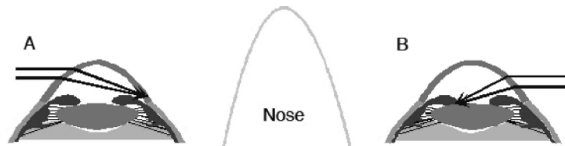


Fig. 3. Concentration of UVR in the eye by refraction, the Corneo Effect (Corneo 1990).

目の内部構造に到達した紫外放射は、入射光の波長に従って減衰する（図4）。

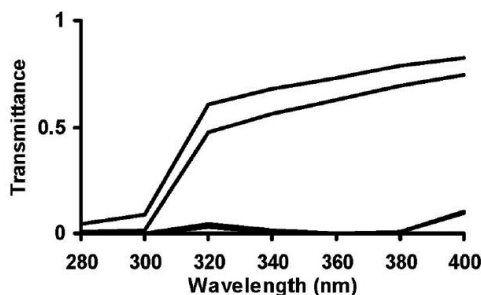


Fig. 4. UVR transmittance of the human eye (Boettner and Wolter 1962). The lines show from above the transmittance of UV-A and UV-B to the back surface of the cornea, the front surface of the lens, the back surface of the lens, and to the surface of the retina.

290nmより短い波長は、ほとんど全部角膜で減衰する。さらに、300~370nmの放射は、ほとんど全部水晶体で減衰する。加齢に伴い、水晶体による紫外放射の減衰が大きく増加する。もし水晶体が、紫外放射を吸収するレンズを移植されることなく（白内障外科で）取り除かれたら、あるいは、もし水晶体がなければ、すなわち、白内障手術後の無水晶体、これは今日では希であるが、入射した紫外放射の大部分が網膜に達する。これらの希な人々に対しては、特別な曝露限界、すなわち、国際標準化機構（ISO）の眼科安全基準 ISO15004-2 : 2007、が適用される。

角膜は、皮膚のように、繰り返し曝露には適応できないが、表皮の幾ばくかの肥厚、および他の変化が、季節に応じて生じる。目の透過体は、皮膚と対比して、どのようなメラニン色素も持たないので、目の紫外放射感受性と皮膚のタイプとの間には関係がない。明るい砂、あるいは雪から反射された、太陽光からの紫外放射に、1日中、曝露された、保護されていない目は、光線性角膜結膜炎として知られている、目の角膜と結膜に有害作用を起こすのに十分な量を蓄積しうる。皮膚の日やけと同様に、その症状は数時間遅れる。6時間以内には、搔痒感、目の中に砂が入った感じ、涙の増加から、角膜と結膜の表皮細胞の腫脹と損失に関連

している、ひどい目の痛み、羞明、光感受性へと、徐々に症状が移行する。24~48時間以内に、角膜表面の上皮再形成のために、痛みは減少し、光感受性は消失する。これらの状態は、一般的に「雪盲 snow blindness」あるいは「溶接工眼 welder's flash」といわれる。

角膜の傷害に加えて、実験室の研究では、人工光源あるいはレーザーにより放射される310nmより短い波長の紫外放射から、急性白内障の形成が示されている。紫外放射を吸収する水晶体あるいは移植された水晶体が存在しないという異常な状況下では、網膜の傷害は、約300nmよりも大きい波長で起こりうる。

いくつかの目への有害作用は、慢性的な紫外放射曝露と関係していることが分かってきた。例えば、翼状片、結膜に類似した組織の角膜表面の上皮増殖は、慢性的な紫外放射曝露に関連している。翼状片が進展すると、翼状片は角膜を覆い、視力を害する。さらに、瞼裂斑は、これは角膜の非悪性結合組織であるが、紫外放射への生涯曝露に帰されている。小滴角膜症は、透過性に有害影響を伴う、角膜中の限局的な脂肪の蓄積であるが、疫学的にも紫外放射への曝露に関連している。（紫外放射曝露により[天野]恐らく、最も重要であるが、視覚を妨げる水晶体の曇りである、白内障発症の時期が加速される。白内障は、目の自然的老化プロセスの一部分である。少なくとも、一つのタイプの白内障、すなわち皮質白内障は、太陽からの紫外放射曝露に関連しているが、専門家は、周囲温度と比較して、環境の太陽紫外放射曝露が演じる重要性の程度について、同意していない。

いくつかの疫学研究は、青光は網膜に対して有毒であるが、疫学的な証拠は決定的ではないことを示した。

### 全身的影響

皮膚に対する太陽紫外放射の最もよく確立された有益影響は、紫外放射によるビタミンD3の合成である。太陽光は、ビタミンD3が毒性レベルに達するのを排除するために、皮膚での余分な産生を制御し制限する。紅斑生成太陽光曝露以下の、わずかの短時間の日々の曝露が、ビタミンD3の最少毎日要求量を合成するのに必要である。ビタミンDは、体の適正なカルシウム摂取に必須であると知られている。カルシウムは健康な骨のために重要である。ビタミンDの合成を通じて、より高いレベルの太陽紫外放射が、内臓癌のリスクを低めることと関係しているように見える、といういくつかの科学的な仮説が提出されている。しかし、この理論は一般的に、実証されていない。

紫外放射への曝露は、健康な人に有害な全身の免疫的影響も及ぼし（感染症を悪化させること、あるいは皮膚癌の成長を許すこと）、あるいは、皮膚病、最もよく知られているのは乾癬、に治療的に使われる。

### 職業的な曝露限界と紫外安全基準

職業的健康と安全のガイドライン、規制および基準は、いくつかの国で、および紫外放射への潜在的な有害な曝露から労働者を守るための国際組織により、開発されてきた。曝露限界の一致点を開発する上で、防護のレベルの哲学的な違いが、困難をもたらしている。紫外放射曝露による健康有益性と皮膚癌に関連したリスクとの間で、なにがしかの矛盾がある。異なる皮膚のタイプを持つ人による皮膚癌への感受性の幅の広さ故に、全ての人に対す

る曝露ガイドラインを確立することに異議が出てくる。二つの最も広く利用されているガイドラインは、事実上同一である。

ICNIRP (ICNIRP 2004) とアメリカ政府産業衛生等会議

(ACGIH 2009) の、人への曝露に対するガイドラインの両方は、目と皮膚の両方を考慮した包絡作用スペクトル envelope action spectrum に基づいている。これらのガイドラインは、当初、角膜と上皮細胞で全ての急性で検出可能な変化 (急性影響) を予防することに基礎を置いていたが、これらの推奨される限界以下に曝露された人の目と皮膚の両方における遅延影響に対して、リスクは非常に小さい、あるいは検知できない、ということを示すために、それらは解析された。曝露限界は、目に対しては天井値だと考えられているが、皮膚に対しては (少なくともほとんどの皮膚の光タイプ (表 2) に対しては)、明らかに超えることが可能である。

実効放射照度  $E_{eff}$  ( $\mu\text{Wcm}^{-2}$  あるいは  $\text{Wm}^{-2}$ ) は、分光学的放射輝度  $E_{\lambda}$  ( $\mu\text{Wcm}^{-2}\text{nm}^{-1}$  あるいは  $\text{Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$ ) を、紫外放射作用スペクトル  $S(\lambda)$  (相対値) で、各波長間隔  $\Delta\lambda$  (nm) で、180~400nm の波長域内で、重み付けすることによって得られる (式 1)。

$$E_{eff} = \sum E_{\lambda} S(\lambda) \Delta\lambda \quad (1)$$

8 時間 (30000 秒) の、目と皮膚の紫外放射に対する最大人生物学的実効放射曝露の ICNIRP のガイドラインは、 $30\text{Jm}^{-2}$  ( $3\text{mJcm}^{-2}$ ) 実効値である (ICNIRP2004)。

もし放射照度が一定ならば、許容しうる曝露時間  $t_{max}(s)$  は、 $30\text{Jm}^{-2}$  という ICNIRP の曝露限界を実効照度 (式 2) で割ったものである。

$$t_{max}(s) = 30\text{Jm}^{-2} / E_{eff}(\text{Wm}^{-2}) \\ = 3\text{mJcm}^{-2} / E_{eff}(\text{mWcm}^{-2}) \quad (2)$$

上の要求に加えて、ICNIRP のガイドライン (2004) に従うと、目への曝露はまた、重み付けされていない UV-A で、30000 秒、すなわち 8 時間の労働日で、 $10000\text{Jm}^{-2}$  ( $1\text{Jcm}^{-2}$ ) に制限される。すなわち、UV-A からの寄与が優勢などな曝露も、UV-A の制限と  $S(\lambda)$  で分光学的に重み付けされた紫外放射の両方で、評価される必要がある。それは、二つの曝露制限のうち一つがより制限的な限界である、分光学的分布に依存する。

UV-A 分光帯における UV-A の放射照度  $E_{uva}(\text{Wm}^{-2})$  は、各波長の分光放射照度を、315nm から 400nm まで合計したものである (式 3)。

$$E_{uva} = \sum E_{\lambda} \times \Delta\lambda \quad (3)$$

一定の放射照度に対して、UV-A の限界に関係する曝露の最大時間は、重み付けしていない UV-A の ICNIRP ガイドラインと UV-A 放射照度の比として推定される (式 4)。

$$t_{max} = 10\text{kJm}^{-2} / E_{uva}\text{Wm}^{-2} \\ = 1\text{Jcm}^{-2} / E_{uva}\text{Wcm}^{-2} \quad (4)$$

ACGIH は、全放射曝露として表現される UVA 曝露限界を、わずか 1000 秒 (16.7 分) までとし、1000 秒を超える時間に対しては、全放射照度を  $10\text{Wm}^{-2}$  ( $1\text{mWcm}^{-2}$ ) に制限している。それは、連続 8 時間曝露に対して、 $10000\text{Jm}^{-2}$  ( $1\text{Jcm}^{-2}$ ) という放射輝度曝露制限は、ACGIH ガイドライン (2009) の  $10\text{Wm}^{-2}$

( $1\text{mWcm}^{-2}$ ) に等価であり、ICNIRP ガイドライン (2004) の  $0.33\text{Wm}^{-2}$  ( $33\mu\text{Wcm}^{-2}$ ) と等価であることを示している。

### 皮膚に対する ICNIRP ガイドラインの適用

太陽曝露からの急性皮膚影響について、ICNIRP のガイドラインは、 $30\text{Jm}^{-2}$  の紫外放射に対する目と皮膚への、最大人生物学的実効放射輝度曝露、は約  $1.0\sim 1.3\text{ SED}$  と等価である、すなわち、皮膚に対する MED の約 2 分の 1 である、そこでは、SED に比較される曝露レベルは、CIE の紅斑実効曲線 erythema effectiveness curve (CIE 1998) で重み付けされている。殺菌用のランプに対しては、 $30\text{Jm}^{-2}$  という曝露限界は、おおそ  $10\text{ SED}$  に等しい。このレベルにおいては、検出可能な分子の損傷は、24 時間以内に完全に修復されるように見える。10~12 時間の拡張シフト (あるいは、二重シフト) の屋内労働者であり得る、8 時間以上の連続曝露の場合では、特別な保護がとられる必要がある。曝露のガイドラインは、曝露が中断した後に細胞修復ができるように正常な 24 時間明暗サイクルに基づいている。

### 目に対する ICNIRP 曝露限界の適用

人間の目は、かなりの程度、屋外の太陽紫外放射への上からの暴露から自然的に防護されている。屋内環境では、目は同様に頭上の光源からの紫外放射曝露に感受性が小さいが、溶接アーク等の、直接的に通常の視野内にある光源には非常に感受性が高い。さらに、太陽光の高いレベルの紫外放射は、目の曝露を減ずるために虹彩を収縮させ、目を細くして見る、ことを導く、非常に明るい環境と関連しているが、ランプ光源 (例えば、低圧水銀殺菌灯) は、ある程度の時間直接的に見ることができる、相対的に低レベルの可視光である。このような要因は、屋内作業環境での目への紫外放射曝露の有害性を評価する時には、考慮されなければならない。ICNIRP (2004) のガイドラインは、そのような評価を行う際の、受け入れ可能な限界角を明示している。屋内、屋外の両方の環境で、リスクを評価するために、水平の紫外放射照度だけを使うのは不適切である。

### 曝露ガイドラインの幾何学的見地

曝露限界と比較されるべき曝露レベルの測定に対し、検出器の絞り径と視野が、測定された曝露レベルに影響を与える。レーザー曝露を除くと、非常に局所化された曝露は、一般的には遭遇しない。ICNIRP ガイドライン (2004) は、**波動光源に対しては 1mm 以上、あるいは、連続光源に対しては 3.5mm 以上の面について、放射照度は平均されるべきではない**、と明記している (レーザーのガイドライン ICNIRP2000 に明記している)。皮膚の代表的工業曝露に対して、より大きい平均的開口 (絞り) が使われる。人の皮膚の方向的な感受性は、それは平面的な表面を想定しているが、コサイン依存性に従うので、検出器は、**普通以上に**大きな角度にまで、その性能によりコサイン応答が要求される。しかし、これは、拡大された光源、すなわち、点光源ではない光源に対してのみに関連している。目に対する有害性の評価では、検出器の FOV (Field Of View 視野)、受光角は減ずることが可能で、 $80^\circ$  に制限できる (正常から  $\pm 40^\circ$ )。



**Table 4.** IEC lamp risk groups.<sup>a</sup>

Type of hazard	Exempt No Hazard Exposure limit not exceeded for exposure durations up to: (i.e. exceeded for exposure durations beyond:) (s)	Risk Group 1 Low-Risk	Risk Group 2 Moderate-Risk	Risk Group 3 High-Risk Exposure limit exceeded within: (s)
Actinic UV (skin and eye)	30,000	10,000	1,000	<1,000
UVA (lens)	1,000 (~16 min)	300	100	<100
Photochemical (retina)	10,000 (~2.8 h)	100	0.25 (natural aversion)	<0.25
Thermal (retina)	10	10	0.25 (natural aversion)	<0.25
Infrared (cornea, lens)	1,000	100	10	<10

<sup>a</sup> NOTE: The IEC (IEC 2006) exempt group regarding the un-weighted UVA limit was based on the ACGIH integration duration of 1,000 s (ACGIH 2009) and exposure to such lamps from a distance of 20 cm for longer than 16 min might lead to exposures above the limit as recommended by ICNIRP, where the integration duration is 8 h.

#### ランプに対する CIE/IEC のリスクグループ

ANSI 米国規格協会は、ランプによってもたらされる潜在的な光生物学的なリスクを示すために、ランプとランプシステムに対する技術的基準を作った。この基準はまた、CIES009 (CIE2006a) と同一である、国際電気標準会議 IEC に IEC62471 : 2006 として採択され、そして、リスクグループを特定するための製造者の基準として発展した。

リスクグループの定義は、最大許容曝露時間の違いに基づいている (表 4)。

このように、免除グループに対しては、ランプに対する基準距離における実効曝露は、特別な紫外放射ランプでは 20cm、目に対する 8 時間紫外放射曝露限界を下回る。リスクグループ 3 では、20cm における紫外放射の曝露限界は、**時間で 1000 秒**、すなわち 16 分より短い。ランプのリスクグループは、紫外放射の曝露限界だけでなく、表 4 に示しているように、他の全ての関連曝露限界に基づいている。表 4 ではまた、基準距離における個々の安全曝露時間が示されている。その意味では、CIE のランプ安全基準は、人の曝露を特徴付けるといよりは、実際の距離と曝露時間に依存した、光源の放射に関係している。

意図された使用に対する、リスクグループの分類のための基準には、二つの異なる測定距離が定義されている。一般的な照明用のランプに対しては 500 ルクスに等しい距離、及び、一般的な照明用ではないランプに対しては 20cm である。適切な量の紫外放射があるほとんどのランプは、非照明的な光源である。

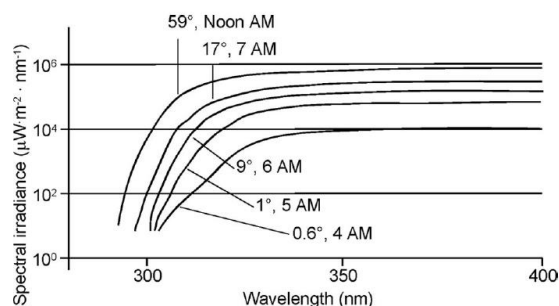
CIE 基準に従うリスクグループの分類は、ある種のランプの有害性分析を促進するための有用な情報を提供している。免除グループのランプでは、UVA ランプへの曝露に対して、非常に短い曝露距離が長時間曝露を除いて、追加的な有害性分析は必要ではない。しかし、リスクグループの決定は、多くの実際的な応用には現実的ではない、20cm の距離における測定に基礎を置いてい

ることに注意すべきである。より大きな距離においては、許される曝露時間という意味において、距離の増大に応じて、リスクは減少する。

#### 屋外労働者 — 太陽光への職業的曝露

##### 太陽光紫外放射

地球上の太陽光スペクトルの紫外成分は、放射エネルギーのわずか 5% である。しかし、この成分は、太陽曝露の有害影響の大部分の原因である (図 5)。



**Fig. 5.** Solar UV irradiance by solar elevation angle and time of day, 18 June 2000, Chilton, UK, detector perpendicular to earth surface. (Modified from UK Health Protection Agency.)

290nm 以下の短波長の紫外放射は、地球大気のアオゾン層を貫通しない、ということに注意せよ。

地上紫外放射の質 (スペクトル) と量 (放射照度) の両方は、水平からの太陽の上昇角、太陽天頂角、あるいは、天頂からの角度の反対の角度に伴って変化する (表 5)。

**Table 5.** Measured ICNIRP effective UVB from the sky with a 40° cone field of view.

Sky conditions location, elevation	Zenith reading ( $\mu\text{W cm}^{-2} \text{sr}^{-1}$ )	Directly at sun ( $\mu\text{W cm}^{-2} \text{sr}^{-1}$ )	Opposite sun ( $\mu\text{W cm}^{-2} \text{sr}^{-1}$ )	Horizon sky ( $\mu\text{W cm}^{-2} \text{sr}^{-1}$ )
Clear sky, dry, sea level	0.1	1.4	Z = 70°	0.27
Clear sky, humid, sea level	0.27	4.1	Z = 50°	0.24
Ground fog, sea level	0.04	0.19	Z = 75°	0.03
Hazy humid, sea level	0.014	1.4	Z = 70°	0.54
Cloudy bright, 700 m	0.54	0.44	Z = 45°	0.05
Hazy beach	0.54	0.60	Z = 75°	0.60
Hazy beach	0.38	3.5	Z = 40°	0.44
Clear mtn top 2,750 m	0.54	1.6	Z = 25°	0.08

このような太陽角は、一日の時刻、一年の日付、地理的な高度に依存している。太陽紫外放射の質と量は、大気経路によって大きく変動する。雲は、地球表面に到達する紫外放射を、再分配し、一般的には減じる。しかし、しばしば、曇った日に日やけすると、普通の人が期待する、にはほど遠い。雲の水蒸気は、紫外波長よりもはるかに多く、太陽赤外放射 IRR を強く吸収する。紫外放射への過曝露は、故に、赤外放射の欠落により温感覚が減じるために、増大する。青い空に散らばる明るい雲は、太陽を直接覆うのでなければ、紫外放射照度は、ほとんど違いがない。一方、明るい曇りは、地球上の紫外放射を、晴天の日よりも2分の1以下に減じる可能性がある。そして、より重要なことは、明るい曇りあるいは部分的な曇りの状態は、一般的により多くの紫外放射を水平線の空に再分配する、従って、目の曝露を増加させる。重い雲のカバーによってさえも、散らばった太陽の紫外成分は、紫外放射を拡散し、晴天下の紫外放射の10%より小さいことはほとんどない。重い嵐の雲のみが、地球上の紫外放射を除去することができる。雲の層は高い山より谷の方が厚いので、高度は何らかの役割を演じる。高高度では、紫外放射の減衰が小さいが、大気汚染とオゾン濃度が、緯度のみによる、真の変化を隠蔽しうる。地上や雪、砂、ある種のタイプのコンクリート、銅の屋根等からの太陽紫外放射の反射は、直接的な曝露に加えて、重要な役割を演じる。ほとんどの都会の地表は10%、草は1%、新しい雪は約90%を反射する。水は、太陽からの直接的な紫外放射を、全空からの拡散した成分と合わせて反射する。従って、開かれた水の上で働く労働者に対しては、空がふさがれていれば5%から、水表面から全空が見える場合は20%まで、反射成分が変化しうる(表6)。

人太陽曝露

人は太陽光に包まれている、故に、太陽曝露の自然条件に、いくつかの方法で適応してきた。それと対照的に、溶接アークのような多くのタイプの人工光源からの曝露は、このような適応をすり抜けている。解剖学および行動学的要因が、太陽光曝露の重篤性を減じることに役立っている。従って、太陽光への職業的曝露は、この二つが別々に扱われる。個人の紫外放射曝露は、四つの基本的因子に依存している。すなわち、1) 環境中の太陽紫外放射、2) 異なる解剖学的部位がうける環境曝露の分画、3) 個人の行動、4) 屋外で過ごした時間、である。このように、特殊な屋外労働環境に対する有害性の評価は、判定量的でしかない。労働現場と労働課題に関する研究が、個々の労働者の曝露の指標を提供することができる。

Table 6. Reflectance of ICNIRP effective solar UVB from terrain surfaces.<sup>a</sup>

Terrain surfaces	Diffuse reflectance ICNIRP effective solar UVB %
Green mountain grassland	0.8–1.6
Dry grassland	2.0–3.7
Wooden boat dock	6.4
Black asphalt	5–9.0
Concrete pavement	8–12
Atlantic beach sand (dry)	15–18
Atlantic beach sand (wet)	7
Above open water (large lakes, wide rivers, ocean)	18–22
Sea foam (surf)	25–30
Glass-covered building	5–40 (specular—angle-dependent)
Aluminum structures	50 (up to 90 if polished)
Dirty snow	59
Fresh snow	88

<sup>a</sup> Adapted from Sliney (1986).

曝露は一日の中の時間や季節により大きく変化するので、このスキームでの部位に特異的な測定役割は、限られている。この点に関して、地域的な資源から利用できる、WHO 等による UV インデックス (2002) は、基準曝露値を確立するために有用である(表7)。

太陽紫外放射への個人曝露を減ずるために、いくつかの方法が利用できる。目や皮膚の紫外放射曝露は、サングラス、ゴーグル、帽子、衣服、日よけのような個人保護具の使用で緩和しうる。環境中の紫外放射は、時折、屋外労働環境で測定される。研究のためには、紫外放射感受性線量計、すなわちフィルムバッジが使われている。三つ全ての方法、一つずつ、あるいは組み合わせで、研究分野では、データを得るために、およびモデル化するために使われている。

このような研究は、ほとんどの人と同様に、屋内労働者は、(ほとんど週末と休日の) 太陽曝露から、概して年約 300SED を経験しうる。同緯度の屋外労働者は、(これらの屋内労働者の) 3 倍から 5 倍の暴露量を受け、年 1000SED を超えるのは確実である。目の曝露は、例えば、雪の反射のような、通常ではない条件を除くと、1日曝露に対する ICNIRP のガイドラインを減多に超えない。労働実践は一般的に、環境中の紫外放射の季節的変化(図6)により要求される、異なるレベルの防護の経験と認識に基づいている。

時刻の関数としての、目の相対的実効紫外放射曝露は、皮膚曝露観察では、劇的な変化を示さない。眼瞼を開くことによる変動が大きな役割を演じる。曇りの日では、眼瞼はより開き、UV-B 放射照度は雲の覆いで減じるが、空に分散したもののからの目への実際の UV-B 量率は、実際に増加するか、少なくともほとんど減少しない。目への曝露は、皮膚が曝露されるよりはるかに、曝露の幾何学に影響される。皮膚よりも角膜は、紫外放射損傷に敏感であるが、急性の角膜損傷は、上眼瞼および眉毛による、および、目に直射日光が入ることに対する回避行動による防護のために、減多に経験しない。人は、太陽を見ると非常に有害である時は、直接に頭上を見ない。一方、水平線近くで、太陽が心地よく(安全な)時は、人は夕日を眺める。

Table 7. The Global UV Index.<sup>a</sup>

Exposure category	UV Index range
Low	<2
Moderate	3 to 5
High	6 to 7
Very high	8 to 10
Extreme	11+

<sup>a</sup> Adapted from WHO et al. (2002).



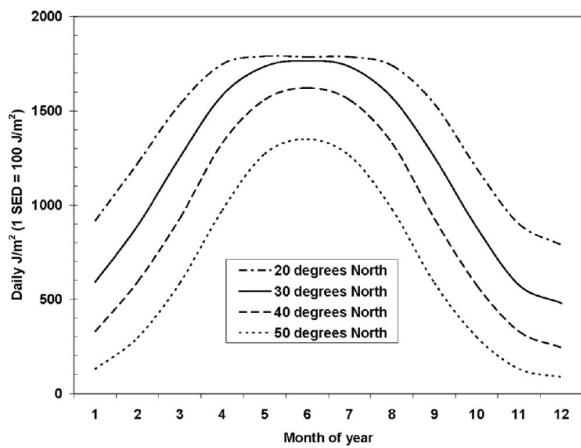


Fig. 6. Seasonal variation in daily erythemal exposure for four latitudes, assuming a 2 h midday exposure. An exposure of 1 SED is approximately the ICNIRP guideline for a daily exposure limit (adapted from Sliny and Wengratis 2006).

太陽から目に届く紫外放射は、大気により拡散的に分散した、および、地上からの反射による、ほとんど全体的に間接的な紫外放射に限られている。ランプや溶接アーク、あるいはレーザーのような、人工光源からの曝露の幾何学は、それ故、太陽からの曝露と非常に異なりうる。

日の入りでは、紫外放射の瀉波、および大気による青光が、太陽の直視を許す。太陽の角度が、地平線から 10 度を超えれば、目を細める行動が見られる。その行動により、直接的な曝露から角膜と網膜を効果的に覆うことができる。この因子は、頭上の曝露に降り注ぐ量の、角膜の曝露を最大 5% 減じる。しかし、もし地上の反射が 15% を超えれば、光線角膜炎が、夏の昼間の曝露の 1~2 時間後に生じる。目を細める行動とは別に、光線角膜炎の閾値が、**昼間の夏の太陽光に対する 15 分より少ない曝露で、達成された**。太陽が空の高い位置にある時は、雪 (表 6) から反射される太陽光への目の曝露は、雪盲を生じさせる。

#### 屋外労働における太陽の位置が曝露に及ぼす影響

すでに述べたように、目や皮膚が受ける曝露に対して、太陽の位置への強い依存性 (緯度、太陽の高度、および高度) は、労働者の曝露を決定し、最も適切な制御対策を樹立する上で、主要な役割を演じる。目および皮膚の曝露は、姿勢、曝露時間、特殊環境、日中の時間、および季節に依存しているため、労働課題と交代勤務は、紫外放射量に大きく影響する。環境中の紫外放射曝露は真昼の時間帯に最も大きくなることから、労働時間と昼の休憩時間は、毎日の紫外放射曝露に影響しうる。例えば、警察官の仕事、先生のための屋外休暇時間、配達労働者屋外時間、軍隊や船員の訓練時間等、ある種の労働は間欠的である。幾ばくかの漁師は、朝早くか遅くに、実質的な屋外労働のみをしている。一方、他の漁師の労働は、日中の時間帯である。氷の上の北極の漁は、通常ではない高い表面反射因子をもたらす。ある種の交代労働は、昼間の時間帯すらカバーしない。通常の屋外労働から適応が達成されていなければ、重篤な日やけのリスク、および恐らく黒色腫が、屋外曝露の間欠的な性質故に、重要な要因となり得る。

#### 季節の影響

園芸やあるタイプの屋外のレクリエーション監督のように、いくつかの職業的課題は、非常に季節的である。屋外の建設や道路工

事では、環境温度が仕事に及ぼす影響故に、高緯度地域では夏の期間のみにしばしば仕事が行われる。それに対して、漁業、農業、および冬季スポーツのいくつかの課題は、環境中の紫外放射が低い冬期月間のみに行われるが、雪からの地上反射は高い。

#### 太陽曝露への ICNIRP 曝露限界の摘要

屋外環境への ICNIRP 曝露ガイドラインの利用は、目と皮膚の両方に対する適切な曝露量の評価に多くの問題を投げかける。

特に真夏における、目の太陽曝露は、相対的に短い曝露時間でも、常態として、ICNIRP 限界を超えている。30Jm<sup>2</sup> (実効値) という毎日の曝露限界に対する ICNIRP ガイドライン限界は、夏の晴天下で水平表面で、あるいは、熱帯地方で正午近くの太陽の 6 分以内に測定されれば、超過する。もちろん、この水平曝露は、現実的ではないが、**太陽に向かって、目がうつむけになった位置に技術的に応用したものである**。

ほとんどの条件下で、目の曝露は、数時間にまで曝露時間を拡張したより大きな曝露でも、現実には超えない。実際、光角膜結膜炎の閾値を開発した研究は、一日の多くを砂漠環境下に曝露した、人角膜の検査は、閾値の光角膜炎の症状をまさに示さんとした症状であった、ことを示した。このことは、地上の反射が高い、通常ではない、過酷な条件のみが、人に、角膜の曝露限界を超えさせる、ということを示している。確かに、雪盲や光線角膜結膜炎は、雪が地上にあり、太陽の上昇角が十分高くなければ、屋外では滅多に経験されない。

皮膚の曝露に対して、同じ条件下で、CIE の紅斑スペクトル実効値関数を用いて、1SED (100Jm<sup>2</sup>) を起こす時間は、おおよそ 5 分である。一日の内のその他の時間では、この時間はより長くなる。これは明らかに、光皮膚タイプ 1~4 の屋外労働者は、そのような環境では十分に防護される必要がある、ことを示している。環境中の紫外放射が、平均 40SED であると推定すると、衣服に覆われていない体の部分は、一日曝露で、腕や足に 1 日あたり ~10SED を受ける。肩は例外的に太陽曝露に脆弱で、同じ条件下で、20~30SED の曝露がある。しばしば、多くの労働者は日やけを経験しなく、彼らの皮膚が太陽曝露に適応していることを意味している。しかし、顕著な太陽紫外放射の蓄積は、人生後半の皮膚癌の発生に、依然として深い関連がある。屋外労働者の紫外放射曝露を最小化することは、明らかに今後の課題である。

ICNIRP(2004)および ACGIH(2009)のガイドラインは、故に、紫外放射限界は、目に対しては“天井値”として、皮膚に対しては望ましい目標と考えるべきである、ことを推奨している。現在の実践的な有害性評価とリスクアセスメントでは、それは、ACGIH TLV (閾限値) を適用し、通常の出来事のもっと悪い条件下で、角膜の曝露に直接的に適用できる限界であることを認識した、多くの人々に通例となっている。しかし、よく適応した皮膚に対する、TLV の上の可動域は、重篤なリスクを生じない、と多くの人が考えている。確かに、このより高い皮膚曝露は、常態として、屋外労働環境に受け入れられている。重篤な自然日やけがあるいくつかの光タイプでは、確かに、感受性の高い皮膚光タイプを持つケルト族由来の人々と同じような、急性あるいは慢性の両方の同じリスクを経験しない。

#### 習慣的および防護的着衣と帽子

着衣と帽子は、職業、環境温度、文化および安全要求に依存して大きく変化する。ほとんどの夏の衣類は、10 以上の減衰因子

(防護因子)を備えている。デニムのカバーオールのように、重労働用の作業着は、紫外放射減衰因子は10000より大きい。ほとんどの織布は、多かれ少なかれ、一律に太陽紫外放射スペクトルを吸収する。別の言葉で言うと、木、天蓋、およびビーチアンブレラのような他の陰と同様に、ほとんどの衣服は、質的(分光学的)というよりは、主要には量的に皮膚の紫外放射曝露を減じる。重さ、伸びおよび湿気のような要因、ある種の場合は色さえも、減衰因子に影響するが、主要な因子は、繊維のカバー範囲である。

「紫外線防護因子 UPF」(いくつかの国では「衣服防護因子 CPF」としても知られる)は、所定の布を用いた単位である。この因子は、日焼け止めで引き合いに出される太陽防護因子(SPF)と紅斑的に相対する比として、定義されている。

衣服はいつも皮膚を守るのに好ましいものであるが、紫外放射インデックスが、メラノ親和性の皮膚に対しては3あるいはそれ以上の時、メラノ耐性皮膚光タイプに対しては5の時、SPFが少なくとも30の広域帯の外日焼け止めが、曝露された皮膚面にふんだんに使われるべきである。日焼け止めの摘要は、二次的な防護方法であり、衣服によってたやすく防護できない皮膚の部分を保護するためのみに使われるべきことが、助言される。衣服と違って、日焼け止めが適用された場合、体のどの部分が見逃されているか見るのが難しい。日焼け止めは、例えば、光アレルギーのような、ある種の環境では、有害な皮膚反応をもたらす。一端適用すると、防護レベルは、予知できないで、時間とともに減少し、それは、皮膚とどう結びついているか、発汗、表皮剥脱、液浸に依存する。

目と顔の防護は、顔と首を陰にする広いつばの帽子、好ましくは、首覆い neck flaps、包み込むようなデザインの保護眼鏡、あるいはサイドパネルのついたサングラス、が最もよい。目に密着する「回りを覆う wrap around」眼鏡、あるいはゴーグルは、より開いたデザインのものよりは、目をよく保護する。サングラスを装着する時は、虹彩と眼瞼は、サングラスの暗さに比例して開き、横覆いのない場合の目の周辺の曝露は、相当のものとなり得る。目の曝露は、雪上、水上、あるいは砂上も、紫外放射の反射が高い時最大となる。紫外放射防護ゴーグルは、雪の反射から目の紫外放射曝露を減じるのに効果的である。

屋外環境での電気アーク溶接の間は、顔覆いおよび皮膚防護の形で追加的な防護が求められる。

## 工学的制御 — 日陰構造

ビルディング、木、山、その他の日陰構造は、皮膚や目の全紫外放射曝露を顕著に減じうる。確かに、水平の空の直接的眺望が遮られると、紫外放射への目の曝露は大きく減じられる。見張りのような、労働者が相対的に固定的な位置にいるような屋外労働においては、日陰構造が、直接的太陽曝露を大きく減じるために採用される。その他の例では、地上を動く設備の天蓋、足場の日よけ、一次的な屋外ミーティングの天幕、がある。しかし、これらはしばしば、目の曝露を決める空に拡散した放射や地上の反射を遮断するには、効果的でない。もし日陰構造が直接的な太陽曝露のみを遮断するのであれば、人は、現実には拡散した空の放射からの日焼けを経験する。仮設建築のガラスや車のガラスの囲いは、分光学的にほとんどのUV-Bを遮断するが、かなりの量のUV-Aを通す。実際、視覚的に透明な材料は、程度の差はあっても、紫外放射を吸収する。例えば、窓のガラスは、310nm以下の何らかの放射を透過する。一方、Perspex®あるいはLucite®のようなポリメチルメタクリレート polymethyl-methacrylate および

ポリカーボネイト polycarbonate は、370nm以下を通さない。一般に、車の風よけはUV-AとUV-Bの両方を遮断する。飛行機のcockpitの風よけは、UV-BとUV-Aを遮断する。

## 管理的な制御対策

全ての屋外労働者にとって、適切な季節的な訓練は重要である。特に、北緯30度から南緯30度の間の熱帯に住む皮膚の白い人は、一年中太陽防護が必要である。一方、温暖な40度から60度に住む人は、太陽を意識するのは、一般的に、夏至を中心とする6ヶ月に限られる。例えば、北半球の4月から9月で、その時は、UV Indexは3を超える。労働実践は、春から夏にかけての正午の前後、直接的な太陽光曝露を避けること、および昼の休憩時は日陰を探すこと、の価値を強調すべきである **where work practices permit**。労働者は、紫外放射から適切なレベルの防護を提供する衣服と目の保護具の情報を告知されるべきである。労働者は、サンベッドを使用する紫外放射曝露のような、不必要な追加的な電磁紫外放射曝露を避けるよう助言されるべきである。

これらの対策が、適切かつ組み合わせられて使われると、安全に行うことができる屋外活動の範囲をひどく制限することなく、太陽紫外放射曝露を受容できるレベル内に減じることが可能である。防護的対策は適切であるべきであるが、行われている仕事のタイプに一貫しており、仕事の効率を損なったり、追加的な危険を生み出してはならない。誰でも、**全ての人種**に対して、目の防護は重要であるが、皮膚の防護は、(メラノコンプロマイズな)太陽に敏感な皮膚をもつ労働者にとって、より重要である。従って、皮膚の防護において、労働者の後者のカテゴリーを訓練する次のガイダンスが重要である。

訓練プログラムは、地域の環境に適合させなければならない。熱帯地域の屋外労働者に対するプログラムは、より温暖な地域の労働者に対しては不適切である。屋外労働の性質、社会的習慣および皮膚の光タイプが、教育プログラムを開発する際に考慮されなければならない。訓練プログラムは、紫外放射の気づきに関する入門の話があり、仕事に適切な防護の助言があり、そして、新しい仕事に移動する時のような、適切な時に、再教育 **refresher briefings** が提供されるべきである。監督者は、労働者への紫外放射のリスクに関して、追加的な訓練を要求してよい。WHO等のUV Indexお値の増加により変化する、追加された制御対策の応用の訓練に沿った、紫外放射曝露リスクと安全実践に関するファクトシートは、有用である。UV Indexを職場に掲示することは、労働者の意識を持続させる。労働者は、一日の間の紫外放射の変化と、種々の雲の条件の影響を理解せねばならない。そして、雲の裂け目は、紫外放射のレベルを晴天の条件と同じ、もしくはそれ以上に増加させること、および、日々の紫外放射量を顕著に増加させることを、理解せねばならない。このように、重篤な日焼けがしばしば、平均的な人が太陽の暖かさを感じることもない、曇った夏の日に発生している。しかし、思い、曇りの空は、何らかの防護を提供する。監督者や安全担当者は、ネックフラップのついた適切なシャツや帽子を示し(提供)すべきであり、ゆるい衣服、長袖のシャツ、およびズボンが、必ずしも「暑く」ないことも説明しなければならない。

多くの屋外労働者に効果的である一つの簡単なルールは、「影法則」である。この影法則は、単純に、もしあなたの影が身長より短ければ、紫外放射防護の前注意は特に重要である、と助言する。これは、大気斜めの経路が重要なことを認識したものである。世界気候機関 WMO、世界保健機関 WHO および国際非電離

放射線防護委員会 ICNIRP が、日中の紫外放射曝露条件に関して一定のメッセージを伝達するために定式化した WHO 等(2002)の UV Index は、一般的なリスクレベルを示している。一方、影法則は、影により、いつ UV Index が 4 を超えるかを定める単純な方法を提供する。太陽の上昇角および天頂角の両方が 45 度(影法則)で UV Index が 4 まででは、適応していない感受性の皮膚は、約 2 時間の曝露で検知できる日焼けを経験する。「スリッパ、スラップ、スロップ、日陰を探そう」「短い影、日陰を探そう」という標語もまた価値がある。

### 感受性

異なる光タイプに依存する、個人の感受性に幅広い変化は、一般的な労働者訓練プログラムに、特殊な挑戦を投げかける。労働者は、自分の光タイプ、有害な紫外放射環境の中での労働とリスクとの関係、を告知されるべきである。例えば、石油プラットフォームで働く光タイプ 1 か 2 の (メラノ親和的な) 人は、高い太陽紫外放射環境で働くことによる増大するリスク、および適切な防護対策を十分 fully 助言されるべきである。何人かの労働者は、より少ない危険の環境の雇用を探すべきだと決めるかも知れない。

地上の反射からの紫外放射曝露の増大は、開放された空間の水の中および周辺、あるいは早春の氷あるいは雪の上で働く人々のような、ある種の職業にとって重要であろう。彼らの真昼の 4 時間の屋外労働は、紫外放射からの最も大きいリスクをもたらすので、可能などころでは避けるべきである。昼食と休憩時間は、日陰でとるのが最もよい。多くの熱帯地方の国の社会的習慣は、拡張した昼休み(昼寝と昼食)を大事にする。しかし、そのような行いの長所にもかかわらず、現代の仕事にそれを適用するのは困難であろう。もし、建物建設にあるような、多面的な労働課題があれば、屋内か日陰で行うそれらの作業は、可能であればどこでも、昼の時間帯にスケジュールされるのが最もよい。

## 屋内労働者 — 人工光源への職業的曝露

### 人工光源

光源は、アーク放電光源(溶接アーク、金属ハロゲンランプ)、白熱ランプ(タングステンハロゲンランプ)、半導体放射体(発光ダイオード LED) およびレーザー(エキシマレーザー)のように特徴付けられる。人工光源は、電気的、例えば、サンベッドでの日光浴、美容用日焼け、あるいは医学的治療からの、追加的な曝露を提供しうる、あるいは、電気アーク溶接のような、職業の結果として発生する。

紫外放射の人工源は、労働環境の中で、多くの異なる用途に使われている。いくつかのケースでは、紫外放射源は、通常環境のもとで、囲いの中によく包まれ、人への曝露リスクはない。しかし、防護的囲いの失敗により、事故的な曝露があり得る。他の応用では、アーク溶接のような、通常の労働環境のもとで、労働者が曝露されることは避けたい。これらのケースでは、曝露は直接的なものだけではなく、近接した表面からの反射/分散したものからもある。

太陽光とは違って、ほとんどの人工光源は、労働日の間中、スペクトルあるいは実効放射照度に大きな変化はない。しかし、多くの光源が、間欠的にのみ使われており、紫外放射源に対する労働者の位置は大きく変化する。皮膚のタイプと合わせて、皮膚に

対する、三つの主要な要因が、潜在的な健康リスクに影響する。1) 光源のスペクトルと生物学的に影響のある紫外放射の放出、2) 光源からの労働者の距離と位置、3) 労働者の曝露時間、である。

太陽に対して、人工紫外放射源は、非常にしばしば、労働の通常の直視野内にあり、目の直接曝露を許す。表 8 は、多くのタイプの人工光源に対する安全予防策を要約したものである。

### 異なる応用での代表的な曝露源

アーク溶接は、紫外放射の潜在的に有害なレベルへの、労働者の主要な曝露源の代表である。一方、ガス溶接は、重大な紫外放射レベルを生み出さない。アーク電流、シールドガス、および溶接される金属は放出に影響し、従って、特異化された目の防護は変化する。例えば、アルミニウムのアーク溶接は、同じ電流では、鉄の溶接よりも多くの紫外放射を生み出す。

250~265nm の波長域の短波長の UVC の殺菌への応用は、紫外放射へのもう一つの潜在的労働者曝露の代表である。低圧の水銀放電ランプは、しばしば選択源となる、それは、90%以上の放出されたエネルギーが、254nm の放出ラインにあるからである。これらのランプはウィルス、細菌およびカビを標的にしており、それ故、一般的に殺菌 germicidal ランプ、殺菌 bactericidal ランプ、あるいは単に紫外ランプと称される。囲いや遮蔽板のような工学的な対策は、通常有害な曝露を予防する。しかし、裸のランプへの近距離での曝露は、ほんの数秒で目や皮膚の曝露限界を超えるので、事故的な曝露が、安全装置の欠陥、不適切な設備から、あるいは不適切に訓練されたサービス者から、起こりうる。

ラッカー、インク、グルーおよびシーラントの硬化(紫外放射「乾燥」)のような、紫外線硬化は、多くの産業過程で採用されている。UV-A 光源が最も代表的である。しかし、特別な応用では、光源は、UV-B および UV-C も放射する。強力放電ランプは、一般的に人を守るために、連動した組み立てに装備されている。このように、有害な曝露が最もしばしば、連動機能が悪かったり防護装置が除去されている時に、発生する。

UV-A “紫外線灯” ランプは、多くの応用で、刺激的な蛍光を発生するために使われている。例えば、銀行出納係や現金支払機による銀行記録のチェック、および紫外線写真である。正常な使用では、遮蔽板が直接曝露から目を保護し、目あるいは皮膚への職業的な紫外放射有害性は生じない。

UV-A ランプはまた、ディスコ、劇場、バーおよびその他の娯楽施設で、衣服、ポスター、およびその他の蛍光物質の蛍光を可視化させるために、使われている。これらの UV-A 曝露は、通常は十分曝露限界以下である。材料の検査や研究施設で、蛍光を発生させるために使われている UV-A ランプもまた、通常は低いレベルで使われている。曝露限界を超えるケースでは、手はグローブで保護され、目は、ランプへの直接的な視野を遮蔽することにより、通常保護することができる。

紫外放射の医学的応用は、皮膚科治療施設に典型的で、多くの光治療ランプが高いレベルの紫外放射を放出している。看護師や医師が、携帯式のパワーモニターでランプの出力をチェックする時は、特に、キャビネットに入った高出力ランプでは、目と皮膚の個人保護具が必要である。美容日焼け用の紫外放射太陽ランプは、広く普及しており、取扱者は潜在的に有害な職業曝露を経験しうる。従って、不必要な曝露を除外するための適切な訓練が重要である。



Table 8. Safety precautions against indoor UVR exposure health risks.<sup>a</sup>

Source	Potential for overexposure	Hazard description	Safety precautions
Open arcs (e.g. electric welding)	Very high	Welding arcs can exceed the UV radiation exposure limits in seconds within a few meters of the arc. Workers, bystanders and passers-by can be overexposed to UVR from the arcs if engineering controls are not adequate.	Engineering and administrative controls, Personal Protective Equipment (PPE) and training.
Germicidal lamps for sterilization and disinfection	High	UVC emitting lamps used to sterilize work areas in hospitals, food industry and laboratories.	Engineering controls to reduce exposure.
Photocuring, photohardening and etching	Medium	UV lamps are usually inside cabinets, but UV radiation emitted through openings can potentially exceed the UV exposure limit in seconds.	Engineering controls to close openings. Training.
“Black lights” used in non destructive testing (NDT)	Medium to low	UVA lamps used in NDT in banking, commerce, materials inspection, and entertainment. “Black lights” used for insect control and entertainment are usually below exposure limits.	Engineering controls to reduce eye exposure (for instance by shields). If not possible or for higher power (arc) lamps used in NDT: PPE. No precautions needed for insect control and entertainment lamps, or lower power NDT lamps.
Phototherapy lamps	High	UVR used in dermatological applications generally exceed exposure limits for the patients. Medical personnel must be protected from UVR exposure.	Administrative and engineering controls, PPE and training.
UV lasers	High	Sources of intense UV radiation at a single wavelength. Both the direct beam and stray light can exceed the UV exposure limits in a few seconds.	Administrative and engineering controls, PPE and training.
Sunlamps or tanning lamps	High to medium	Most tanning lamps emit mostly UVA radiation but modern lamps also emit UVB. Tanning lamps generally must exceed occupational exposure limits in order to cause tanning.	PPE (eye protection) and training.
General lighting	Low	Most lamps used for lighting are made to emit little or no UVR. When UVR is emitted such as in high intensity discharge lamps, the UVR is absorbed by the envelope or covering of the lamp. If the protective envelope is broken, overexposure can occur.	No precautions needed under normal conditions. Caution should be taken if protective envelope is broken or cracked.

<sup>a</sup> The actual potential for overexposure for a given source strongly depends on exposure distance and exposure duration. Please note that this table is intended as guidance only and is not comprehensive.

事務室、家庭および工場で一般的な照明に使われる蛍光灯は、少量の UV-A と UV-B を放出する。UV-B の放出は、ガラス球の中の不純物に依存する。しかし、ランプと照明装置の光生物学的安全基準 (CIE2006a) は、**exempt lamp** は、輝度が 500lux に等しい距離において、 $0.1 \mu\text{Wcm}^{-2}$  (**1mWcm<sup>-2</sup>**) 以下となるように、および、紫外放射遮蔽筒 **blocking envelope** が、タングステン-ハロゲンランプからの有害な紫外放射の放出を不可能にするよう、要求している。最近、いくつかのコンパクトな蛍光灯で、ガラスの厚さが薄い曲がったところから、少量の 254nm の水銀線 (すなわち、UV-C) が放出していることが発見された。強力放電 HID 水銀ランプおよび HID 水銀蛍光灯が、道路照明、高い **ベイ bay** の照明および建設現場照明に代表的に使われている。これらのランプでは、外被 **envelope** が通常有害な紫外放射を遮断する。しかし、もしその外被が壊れれば、内部の紫外放射放電ランプは作動し続け、目や皮膚に重篤な過度の曝露が起こりうる。体育館、飛行機の格納庫および大きな工場のような高いベイの電球を交換する作業者は、ランプの損傷を同定する、および如何に安全に交換するか、訓練されなければならない。UV-A ランプは、補虫器に使われているが、通常の使用下では、職業的および公衆的の両方の紫外放射曝露は、非常に低く、有害性はない。

## 曝露の評価と対策

労働者への曝露評価は、しばしば、紫外放射の測定あるいはモニター装置を用いずに、光源の知識と労働課題の分析により行われている。しかし、人工光源あるいは太陽からの紫外放射を測定あるいはモニターすることは、事故的曝露の際の労働者曝露を評価するために、あるいは安全性の面から、要求される。精巧なさまざまな装置がある。特殊な装置の選択は、要求される測定に対して、正確さおよび/あるいは使用しやすさに依存しよう。一日の時間および季節で一定して変わる太陽の位置、および変化する気候条件は、ほとんどの屋外の職業の予測的リスクアセスメントのための、場所に特異的な紫外放射測定の有効性を制限する。しかし、労働者への現在の曝露条件および防護の必要性を示すために、一つの装置を使うことができる。太陽紫外放射を測定するための国家ネットワークは、**UV-Index** 形で、データを予防的な目的で公衆に毎日、提供している。**UV-Index** に対する知識と日陰法則は、屋外労働者が防護的測定のレベルを選択するのを助けることができる。

光源の情報あるいは計算が曝露評価のための基礎を提供するのに十分な時は、対策がいつも求められるわけではない。多くのアプローチが開発されている。例えば、紫外放射源は、CIE が開発したランプのリスクグループ (表 4) のような、製造者により提供された異なるリスクカテゴリーにグループ分けすることが

できる。光源の「免除 exempt」カテゴリーは、さらなる有害性評価あるいは防護対策を求めないし、リスクグループ 1 (表 4) に対する防護対策は、短距離における長時間曝露にのみ必要である。多くの刊行物が、溶接アークも含めて、商業的な紫外放射源の代表的な紫外放射放出特性を提供している。詳細な対策は、曝露が曝露限界にあるか近いのかの場合に、その時にのみ要求される。もし曝露が明らかに非常に低く、曝露限界を下回っていれば、何らの行動も必要ない。もし紫外放射源が、カプセル (シールド) の外側に曝露が起こらないよう、カプセルに包まれて (遮蔽されて) いても、暴露評価は必要ない。もし、溶接作業におけるように、曝露が明らかに職業曝露限界よりはるか上にあれば、厳しい防護対策が求められる。この場合、適正に防護されていれば、溶接作業者あるいはその補助者に対する、曝露の正確な定量は必要とされない。しかし、放射源から遠い他の防護されていない人に対しては、対策が必要である。光源の特性が一般的に固定的で労働が繰り返されるところで、紫外放射への屋内曝露を評価する時に、対策は、最も価値がありうる。

### 屋内労働者の曝露対策

曝露源のシールドあるいは個人の防護のような防護対策が、適用されるために、曝露レベルを特徴付ける測定あるいは計算は、曝露限界を超えるかどうか決定するために必要である。そのような評価がなされると、最も悪いケースの曝露を予想することで、いくつかの測定を減じるまたは除外することが、しばしば可能となる。これは、製造業者のデータあるいは光源の一回の放出測定で可能である。もし、最も大きな値を選択することで、結果が曝露限界を超えなければ、さらなる評価は必要ない。しかし、特別な労働課題に対する光源を分析する時は、注意が必要である。他の職場の有害性とは違って、紫外放射曝露レベルは、労働者の行動あるいは用いられるプロセスに依存して、劇的に変化する。例えば、溶接に対して、紫外放射放出は、溶接過程および用いられる材料により、大きく変化する。もし、事故調査のために、あるいは病気との関係を申し立てられたために、測定が必要となれば、不明なパラメーターのために最大値を選択することにより、測定経費を減じることは、しばしば可能ではない。全ての曝露指標が、可能な限り正確に決定される必要がある。労働現場の測定に加えて、放射源の放出およびスペクトルを決めるために、実験室での測定がなされる。例えば、ランプのリスクグループ (表 4) が明確にされ、建築物の材料の反射特性が推定される。このような情報は、防護のスクリーン、障壁あるいは目の防護のようなフィルター、必要な減衰を選択するために使われる。

### 不確実性の測定

測定過程の不確実性は、放射曝露量を決めるための曝露時間を決めることも含めて、曝露限界を超えたかどうかを決めることが可能なために、十分小さくあるべきである。すなわち、もし曝露が曝露限界のはるか下であれば、不確実性に関する要求は、非常に要求的ではなく、荒い推定で十分である。しかし、もし曝露レベルが、曝露限界に近ければ、低い不確実性が必要である。広域帯の測定器は、光源のスペクトル分布に強く依存しているため、実際の不確実性は、スペクトル測定をしないと、決めがたい。

### 個人線量計

衣類あるいは帽子に装着し、労働日の間身につける、小さい、広域帯安全メーターが、個人線量計として使われる。個人用の電気-光線量計は、線量を連続的に合計もする、あるいは労働日の後読まれるべき、変化する放射照度の時間を記録する。これらの電気-光線量計に加えて、化学物質あるいは生物学的材料の光誘発変化に基礎を置いた、多くのフィルム線量計が開発されている。変化の大きさは、実行し外放射量に関する。フィルム線量計は、このように、指定された時間曝露を蓄積し、その後実験室で分析される。曝露と測定結果の間の時間的な差により、フィルム線量計は曝露レベルの科学研究に適切であるのみだけでなく、過度な曝露があっても装着者に警告することもない。

### 屋内での過度の曝露を避けるための実践的過程

紫外放射源が少なくとも幾分か可視放射を放出しないということもまた希であり、放出源そのものを見ることが出来る。しかし、我々は、紫外放射源が単に見えるものによると判断しないよう注意せねばならない。例えば、職場内の反射の性質は、可視スペクトル材料の特徴からだと、しばしば判断されない。ほとんどの白いペイントのような、多くの物質が、紫外放射体、特に UV-B と UV-C 帯を反射しない。ある種の金属、特にアルミニウムは、紫外放射波長帯を高く反射するかも知れない。例えば、もし、顔を覆うなどの防護対策が、全ての方向からの放射に対して防護しなければ、反射が意味を持つてくる。

有害性の警告サインは、曝露が推奨の曝露限界を超えそうな時、潜在的な紫外放射有害性の存在を示すために、および、もし、適切な個人防護が必要であれば、アクセス制限 (図 7) を示すために、使われるべきである。

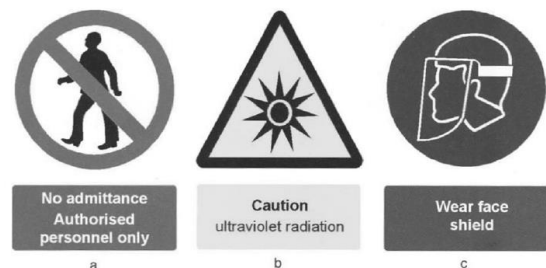


Fig. 7. Typical signs used in the work environment to advise of hazards and recommend the use of personal protective equipment.



Fig. 8. Welder with appropriate personal protective equipment (NRPB 2002).

### 装置が稼働中であることを示すために、警告灯も使われるべきである

溶接工は、吸収フィルターを装着した溶接ヘルメットあるいはマスクで守られるべきであり、それは、図 8 に示したような、適切な基準を満たしているものである。

屋外職業使用用の目の防具 eyewera は、直接的および目の周辺曝露の両方に、防護を提供すべきである。紫外、可視および赤外放射に低透過性の密着した顔面マスクが、防護に用いられるべきである。

### 健康調査

屋外労働者に対する職業健康プログラムがあるところでは、太陽の紫外放射曝露の有害性を話すことが重要である。もし医学的調査が行われるのなら、目と皮膚の両方の検査をすることが適切である。

- ・皮膚の検査は、ほくろ、角質および異常な着色に焦点を当てること、および
- ・目の検査は、まぶたの腫瘍、瞼裂斑、翼状片、角膜混濁、白内障、光角膜結膜炎に焦点を当てるべきである。

### 屋外労働者のためのリスクマネジメント

気候と政府の政策に依存して、リスクアセスメントへのアプローチは異なる。監督当局の役割は、国の法律や規制により変化する。しかし、どんなリスクマネジメントプログラムにおいても、通常言われているいくつかの基礎的概念がある。例えば、

- ・太陽の紫外放射は、全ての屋外労働者に対して職業的有害性であるという認識；
- ・屋外労働者は、屋内労働者の何倍もの紫外放射量を受けることができる；
- ・関連する国の当局は、行動をとるために、過剰レベルの紫外放射の健康リスクを確信しなければならない；
- ・雇用主は、その責任を悟らなければならない；および
- ・曝露される労働者人口の健康リスクアセスメントに基礎を置いて、プログラムに対する要求事項を同定することが必要である；次のことを考慮しながら：
  - (a) 実効的な環境紫外放射曝露の季節的变化の評価；
  - (b) 太陽の紫外放射曝露；グローバル UV-Index；
  - (c) 防護されていない皮膚と目に対する実効紫外放射曝露の評価；および
  - (d) 屋外着および特別な作業着の遮蔽の潜在力

労働者を教育することは、最高に重要である。監督者や安全担当者は、予防の重要性について伝達すべきである。効果的であることが証明されていることがいくつかある：

- ・情報提供、漫画を取り入れた簡単なポスター、標語の使用、および UV Index および陰法則の簡単な説明；
- ・ネックフラップのついた適切なシャツや帽子の展示および配布；
- ・体に密着しない loose-fitting、長袖シャツの推進；および

- ・日よけ幕の使用の推進、労働現場に日焼け止めクリームของディスペンサーが設置されるべきである。

### プログラムの評価

いくつかの過去の紫外放射教育キャンペーンでは、各夏の後に評価フォームや定期的インタビューにより、見直しが行われた。例えば、用いられた日よけ幕の質および帽子をかぶって適切な着衣をしている労働者の割合の評価のために、労働時間中に撮られた写真、が分析された。ランダムに選択された労働者のインタビューは、予防と”皮膚によい”あるいは皮膚癌リスクの減少、という、目標との間の関係に焦点が置かれた。

そのような見直しの中で、一般的に、キャンペーンの責任者は、そのキャンペーンの必要性をまず確信しなければならない、ということが分かった。若い労働者は、一般的に、古い労働者の水洗することに、より不満を持っている。地方新聞、ラジオ、テレビでレポートすることは、屋外労働者や一般人口の気づきを増加させる。労働者に取り入れられる適切な夏服の開発が推奨される。非油性の日焼け止めクリームของディスペンサーが、数多く配置され、簡単に利用できるようになっている。

紫外放射曝露は、多くの対策で減じうるし、これらは全て、特殊なタイプの労働者や地域に対して評価される必要がある。これらには、次のことを含む。

- ・屋外の労働時間を調整すること；
- ・昼食やその他の休憩時の日陰構造；および
- ・帽子、着衣、日よけ幕、および保護メガによる个人防护

キャンペーンは、情報責任者、行動責任者、および監督者により、会議やリーフレットを使って実行され、および、リーフレットや目を引くポスター、ステッカー、およびプラスチックの情報カードを用いて、労働者に情報提供すること、により実行される。いくつかの、前準備的情報が強調されるべきである。

- ・いつでも可能な限り、日陰で働く、特に 11 時から 15 時の間（地方の太陽正午が 13 時と仮定して）；
- ・長いズボンと長袖のシャツ（あるいは、少なくとも t-シャツ）を着用する
- ・つばの広い帽子 broad-brimmed hat、ハンチング帽子（peaked cap てつぺんが平らな円形でひさしのついた帽子）（あるいは、安全帽 hard hat）をかぶる；および
- ・防護因子が 2 時間毎に 15-30 で日焼け止めを塗る。

もう一つの防護政策問題は、サングラスのしよう目の感受性に関係している。種々の皮膚タイプの全ての労働者は、多かれ少なかれ、紫外放射に関連した白内障、翼状片、およびその他の目の疾病に同じ感受性を持っている。しかし、紫外放射を伴う環境温度の役割は、まだはっきり理解されていない。そして、核性白内障事例における緯度の変化は、環境温度がある役割を演じていることを示唆している。もし、サングラスをかけるのであれば、角膜周辺部に焦点 limbal focusing が当たるのを避けるために、回りが包まれたデザインが必要とされる。



## 結 論

紫外放射のリスクと便益の間の境界は、はっきりと定義されていない。目や皮膚への過剰紫外放射曝露に関連した健康リスクは、よく特性が示されており、かつ知られている。労働現場における人工的紫外放射源に対して、すなわち、“屋内”働者の曝露に対して、ICNIRPの曝露限界を超えるレベルの皮膚と目の曝露は、光学的な制御（遮蔽）あるいは個人保護具により、通常予防することができる。ICNIRPの曝露限界を超えるレベルにおいて紫外放射曝露からの便益があるかどうかは明らかではない。皮膚の紫外放射曝露のリスクは、皮膚の光タイプに大きく依存しているということは、認識されている。黒い皮膚の人に対して、角質層の中のメラニンの位置と質が、UV-Bに対する非常に重要なシールドを提供する。従って、皮膚の保護は、皮膚の光タイプ I-IV（表 2）に対して強調されなければならない。しかし、紫外放射に対する目の保護は、全ての皮膚の光タイプ、特に高い地上反射を伴う場合、に対して、強調されるべきである。紫外放射曝露の幾何学は、目の暴露量を決定するのに重要な役割を演じる。

重篤な日焼けと紫外放射曝露の蓄積は、皮膚癌の原因として認識されるべき、二つの要因である。ICNIRPとWHOは、皮膚癌の負荷を減らすために紫外放射曝露を減じることを強く推奨する。紫外放射の健康リスクは、皮膚の光タイプに強く依存している。従って、リスクコミュニケーションが、全ての人に対して、特に、メラノ親和性の労働者に焦点を当てて、適切であることを狙って改善されるべきであり、季節的に適切であるべきである。

UV-Indexが3以上の時は、広い縁のついた帽子をかぶるべきである。緩い作業着のデザインに使われうる太陽防止布地の改善が必要である。これは、熱ストレスの防止が要求される所では、特に重要である。予防対策として、労働者が日焼け止めを実際に使うことは、紅斑を減じるその効果にもかかわらず、信頼性がないことが示されている。日焼け止めによる防護は、その他の対策が実際のでない時のみの対策であるべきである。紫外放射に対する保護眼鏡は、もし、側面からと同じように、眼鏡の縁の周辺からの放射エネルギーが目には届くのであれば、**対抗予防的 counter protective** である。