

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—



東海大学総合科学技術研究所
佐々木 政子 著

地球環境研究センター

Center for Global Environmental Research



独立行政法人 国立環境研究所

National Institute for Environmental Studies, Japan



出版にあたって

地球環境研究センターでは地球環境モニタリング事業の一環として、太陽からの有害紫外線 UV-B (280-315nm) の地上への到達量を全国的に把握するため、各観測機関の協力を得て「有害紫外線モニタリングネットワーク」の整備を図っています。

成層圏オゾンの減少により有害紫外線の増大が懸念され、その影響に対する関心は急速に高まっていますが、紫外線がどのようなものなのか、また、太陽紫外線に対してどのように防御したらよいのかなどという考え方が、まだ日本には定着されていないように見受けられます。

本書は、「有害紫外線モニタリングネットワーク」の運営に対して専門家として係わっていただいている東海大学総合科学技術研究所佐々木政子教授に、太陽紫外線の特性やその防御対策についてわかりやすく丁寧に解説していただきました。

本書により、紫外線に関する正しい知識とさらなる関心をお持ちいただくことを期待しております。

2006年3月

独立行政法人 国立環境研究所
地球環境研究センター
総括研究管理官
井上 元

目次

出版にあたって	i
目次	ii
図目次	iv
表目次	vi
1章 はじめに	2
2章 太陽光を知る	6
2.1 太陽からの光 - 目に見える光と目には見えない光 -	6
2.2 光の特徴 - 可視光、赤外線、紫外線 -	8
1) 可視光の有用作用	10
2) 赤外線の温熱作用	11
3) 紫外線の化学作用	12
3章 太陽光がつくりだした地球環境	16
3.1 成層圏オゾンの生成と生命体の誕生	16
3.2 成層圏オゾンの生成反応と役割	17
3.3 成層圏オゾン破壊で増加する太陽紫外線 UV-B	19
1) 成層圏オゾン破壊とは	19
2) 成層圏オゾン破壊で太陽紫外線 UV-B の 地上到達量が増加する	22
3) 検証されている太陽紫外線 UV-B の増加	24
4) オゾン層保護について	26
4章 地上の太陽紫外線環境 - UV-B と UV-A の特徴 -	30
4.1 太陽紫外線の強度を変化させる因子	30
4.2 太陽紫外線の日内変動 (一日の変動)	32
4.3 太陽紫外線の季節変動 (年間変動)	34
4.4 太陽紫外線 UV-B とオゾン全量との相関	35
4.5 太陽紫外線 UV-B と UV-A の地域差	38
4.6 太陽紫外線の散乱特性	41
4.7 太陽紫外線の測り方 - 特徴と課題 -	44
5章 太陽紫外線の人体リスクを考える	50

6章 太陽紫外線の目と皮膚への作用.....	56
6.1 目への作用.....	56
1) 目への光透過特性と紫外線障害.....	56
2) 目の紫外線防御.....	56
6.2 皮膚への作用.....	58
1) 皮膚への光透過特性.....	58
2) 皮膚の紫外線障害.....	60
3) 日焼け効果とスキントイプ.....	62
4) 日焼け効果の男女差、年齢差.....	64
7章 太陽紫外線対策を考える.....	68
7.1 各国のサンプロテクションプログラム.....	69
7.2 UVインデックス.....	72
8章 屋外で人が浴びる太陽紫外線とその防御法.....	74
8.1 屋外環境で人が浴びる太陽紫外線.....	74
8.2 帽子の太陽紫外線防御効果.....	76
8.3 木陰の太陽紫外線防御効果.....	76
8.4 布の太陽紫外線防御効果.....	78
1) 布の紫外線防御効果は素材、織、色に依存する.....	78
2) 傘の色と紫外線防御効果.....	81
3) 布の紫外線防御指標.....	82
9章 太陽紫外線との賢いつきあい方.....	86
10章 おわりに.....	90
あとがき.....	94
参考文献.....	98
索引.....	110

目次

図 2.1 : 太陽の構造.....	6
図 2.2 : 地上に届く太陽放射スペクトル分布.....	6
図 2.3 : 地上に届く太陽光のおおよその組成 : 可視・赤外・紫外光量の割合.....	7
図 2.4 : 白色光は分光すると色の光に見える.....	7
図 2.5 : 電磁波の名称と波長領域.....	9
図 2.6 : 光の振動数と光子エネルギーの関係.....	9
図 2.7 : 目の構造とカメラの構造の比較.....	10
図 2.8 : 人の目の視感度曲線.....	11
図 2.9 : DNA の構造.....	13
図 2.10 : 紫外線の種類と主な人体作用.....	14
図 3.1 : 地球の酸素とオゾン生成と生物の進化.....	16
図 3.2 : 成層圏オゾンの鉛直分布.....	17
図 3.3 : オゾンの吸収と DNA 不活化吸収スペクトルの比較.....	18
図 3.4 : オゾンの紫外線吸収スペクトル.....	18
図 3.5 : 世界のオゾン層破壊の現状.....	21
図 3.6 : 日本上空でのオゾン層の減少傾向.....	21
図 3.7 : オゾン層破壊による太陽紫外線 スペクトルの変化 (推算結果).....	22
図 3.8 : 南極のオゾンホール.....	23
図 3.9 : スイスにおける太陽 UV-B の増加傾向.....	24
図 3.10 : カナダにおけるオゾン全量の減少傾向.....	25
図 3.11 : 日本上空 (平塚) でのオゾン層減少による 太陽 UV-B の増加トレンド.....	25
図 4.1 : 地上に届く太陽紫外線の強さと 大気層厚 (大気光路長) との関係.....	31
図 4.2 : 太陽 UV-B と日射の 5 分毎の瞬時値の月積算値の比較.....	33
図 4.3 : 太陽 UV-B と UV-A の一日の変動の比較.....	33
図 4.4 : 太陽 UV-B と UV-A の季節変動.....	34
図 4.5 : オゾン全量の季節変動.....	35
図 4.6 : 太陽 UV-B の季節変動.....	35
図 4.7 : オゾン全量と太陽 UV-B の季節変動の比較.....	36
図 4.8 : オゾン全量の実効オゾンへの変換.....	36
図 4.9 : 実効オゾンの季節変動.....	37
図 4.10 : 実効オゾンと太陽 UV-B の季節変動の比較.....	37
図 4.11 : 有害紫外線モニタリングネットワークの参加サイト一覧.....	39
図 4.12 : 有害 UV モニタリングネットワーク計測結果例.....	40
図 4.13 : 屋外の太陽紫外線 (直射・散乱・反射) の概念図.....	41

図 4.14 : 快晴日の天空写真と紫外線 UV-B と日射の 全天（直射＋散乱）放射量と散乱放射量の比較	41
図 4.15 : 快晴日の紫外線 UV-B と日射に占める 直射成分と散乱成分の割合	42
図 4.16 : 快晴日の紫外線 UV-B、UV-A と日射の 全天（直射＋散乱）放射量と散乱放射量の比較	42
図 4.17 : 曇天日の天空写真と紫外線 UV-B と日射の 全天（直射＋散乱）放射量と散乱放射量の比較	43
図 5.1 : ISO / 国際照明委員会 (CIE) の参照紅斑作用スペクトル	50
図 5.2 : 米国政府産業衛生官会議 (ACGIH) の 目に対する許容被曝作用スペクトル	51
図 5.3 : 夏と冬の快晴日の太陽紫外線スペクトル	53
図 5.4 : 夏と冬の紅斑効果量の比較 (図 5.1 と 5.3 による計算値)	53
図 6.1 : 目への光の透過特性	57
図 6.2 : 皮膚の構造と光の透過特性	59
図 6.3 : 皮膚の日焼けによる色素沈着過程	59
図 6.4 : 日焼けに要する紫外線量 (最少紅斑量) の男女差	65
図 6.5 : 日焼けに要する紫外線量 (最少紅斑量) の年齢差	65
図 7.1 : 雪の反射から目を守るスリット使用モデル (雪国の土偶)	68
図 7.2 : UV 防御に関する行動率	71
図 7.3 : オーストラリアがん協会の National Skin Cancer Action Week の新聞記事	71
図 7.4 : UV インデックス	72
図 8.1 : 屋外で人の顔の向きによる浴びる紫外線量の違い	75
図 8.2 : 帽子のつばの長さや形による UV 防御効果の違い	77
図 8.3 : 木陰の UV 防御効果	77
図 8.4 : 白色布と素材高分子フィルムの透過スペクトルの比較	78
図 8.5 : 白色布の織 (平織と綾織) と透過率・反射率の比較	79
図 8.6 : 綿染色布 (黄、青、赤、黒) と白色布の 透過・反射スペクトルの比較	80
図 8.7 : 黒い傘と白い傘の日射と紫外線 UV-B の防御効果	81
図 8.8 : 真夏の理想的な紫外線・熱中症防御スタイル	83
図 9.1 : 地域による年間紫外線曝露量の比較	86
図 9.2 : 太陽紫外線と上手につきあう法 (メリットを役立てる)	87
図 9.3 : 太陽紫外線と上手につきあう法 (デメリットを考え防御する)	88

図 10.1 : 太陽崇拜と回避の歴史.....	90
図 11.1 : 東海大学光環境計測システム	95

表目次

表 2.1 : 紫外線の波長区分と呼称.....	12
表 3.1 : これまでの成層圏オゾン（オゾン層）破壊に 関するできごと.....	20
表 4.1 : 太陽紫外線の地上到達量変化に影響する因子.....	30
表 4.2 : 紫外線計測法の分類と特徴.....	45
表 6.1 : 薬剤性光線過敏症の主な原因薬.....	61
表 6.2 : スキンタイプ分類	63
表 8.1 : 各種屋外環境で顔面が浴びる太陽 UV-B 紫外線量の比較.....	75



第 1 章

はじめに

太陽光は、空気、水、土と同じように、生き物の生存に不可欠な環境要素の一つです。しかし、私たちは、太陽光も水も空気も土も、いつでも、どこにでもあると考えてその大切さを時々忘れることがあります。しかし、地球を照らす太陽光が存在しなかったら地球上に生命体は生まれなかったでしょう。天地創造のとき、太陽から降り注ぐ光が地球上に生命体を誕生させました。太陽系の惑星の一つ火星にも、生き物が存在するに違いないと探査衛星バイキングが火星にいきましたが生き物を見つけることはできませんでした。太陽系の惑星の中でも、地球は生物が存在する特異な星なのです。地球誕生から 46 億年、地質時代に入って 6 億年、人類の誕生から 100 万年、あるいは 200 万年ともいわれます。地球の誕生日を 1 月 1 日とすると、人類は 12 月 31 日の午後 8 時頃に活動を始めたと想定することができます。地球上に存在した、または存在している生物が、陸上と水中で大きく異なる原因は、紫外線や放射線などの影響によると考えられています。原始生命が水中で生まれた理由は、水のフィルター効果で、紫外線と赤外線が減弱されたからです。さらに、水中から陸上に生命体が移動できたのは、大気中にオゾン層が生成され、このオゾン層が生命体の遺伝子 DNA を損傷させる紫外線を吸収して減少させたからです。大気組成が現在の状態に近づくとともに哺乳類が地球上に出現し、生物の多様化が展開されていきました。

人類が進化の過程で得た試練の中で、気温の変化は大きく、氷河期から温暖な気候への変化、緯度による生活圏の相違は予想をはるかに超えたものであったと考えられます。しかし、太陽光スペクトルの変化と強弱が生命体にとって最大因子として働き、人類の身体構造に大きく影響したと考えられます。北方型コーカソイド (Caucasian) は高緯度、高地に見られる白人系の原型で、南方型のネグロイド (Negroid) は強い太陽紫外線に耐える皮膚フィルターを持ち、モンゴロイド (Mongoloid) はその中間型といわれます。太陽光を受けることによって生まれる様々な機能が、生命の維持に必要な調節機能となったのは当然といえるでしょう。可視光は目の機能にとって重要な情報媒体で、外部からの光情報を捕らえることで生命体の生存を守っているのです。また、地球時間に生体リズムを合わせる

体内時計も可視光によって調節されています。赤外線は、直接、間接に人体の体温維持を行なっています。また、紫外線の役割の一つビタミン D₃ の生成反応も、人類の骨格形成に必要な不可欠な生命維持機構の一つと考えられます。現代では、様々な人工光源が人類の生存を支配するまでに発達してきました。しかし、人類の生存を支配しているのは疑いもなく太陽光です。生命維持を可能としているほとんどのエネルギー源は、原子力エネルギーを除いて、石油、石炭、天然ガスなどは昔の太陽光のカンヅメです。水力発電や風力発電も太陽エネルギーの変形利用です。太陽光に支配されて人類は地球上に生存しています。太陽光と共に進化してきた人類が、1970年代に始まったオゾン層破壊に直面し、紫外線の増加による生存の危機を認識して、オゾン層破壊阻止に立ち上がり、いまその成果が問われています。独立行政法人国立環境研究所の有害紫外線モニタリングネットワークでは、健全な太陽光環境を保全するために紫外線測定を実施しています。

この本は、太陽紫外線が人類生存と如何に深く係わっているかを理解するために書かれました。皆さんと一緒に地上の太陽光環境を考えていきたいと思えます。太陽光と賢く仲良くつきあっていくために、太陽光について理解しましょう。

■ 紫外線 UV-A、UV-B、UV-C 記号について ■

UV-A、UV-B、UV-C 記号は、国際照明委員会 (the International Commission on Illumination: CIE) で下記のように定義された紫外線の波長区分です。

紫外線 (ultraviolet radiation: UV; 専門用語は紫外放射*) は、波長が可視光の波長より短い光放射で、100～400 nm (1 ナノメートル: 1m の 10 億分の 1) の範囲を、通常、以下のように細区分します。

長波長紫外線 : UV-A 315 ～ 400 nm

中波長紫外線 : UV-B 280 ～ 315 nm

短波長紫外線 : UV-C 100 ～ 280 nm

なお、光医学、光生物学などの分野では、同じ記号に異なる波長 : UV-A 320 ～ 400 nm; UV-B 290 ～ 320 nm; UV-C 100 ～ 290 nm が通常適用されています。UV-A、UV-B、UV-C 記号を使う場合には、波長の併記が必要です。

*電気学会・電気専門用語集 No.13 照明 (1996.7)

用語

紫外線、紫外光、紫外放射、UVについて

用語は時代と共に変化していきます。日本では JIS 用語、電気専門用語、文部省学術用語などで、1980 年代後半から 1990 年にかけてそれまで常用されてきた“紫外線”が“紫外放射”に変更されるようになりました。それに伴って、可視光、あるいは可視光線、赤外線も同様に“可視放射”、“赤外放射”と呼称されるようになりました。その理由として、英語の "ultraviolet rays" が "ultraviolet radiation" に変更されたためと説明されています。しかし、未だに英語圏でも ultraviolet rays は一般向けの読み物だけでなく論文でも根強く使われています。さらに、日本では“放射”という用語は“放射線”として使用されてきた背景があり、紫外放射、可視放射、赤外放射という用語は専門家の間でも未だに定着したとは言い難いのです。また、学術用語集物理学編（2004）では、紫外放射、紫外線の両者を使用しています。なお、"Synchrotron radiation" はシンクロトロン放射という訳語ではなく“放射光”が研究者達に常用されているのが現状です。

本書では、専門用語としての紫外放射は使用せず、紫外線、紫外光、紫外放射、ultraviolet radiation、ultraviolet rays、ultraviolet light、UV (ultraviolet radiation の略表記) も全てを含めて、紫外線で統一することにし、必要に応じて、紫外光、可視光、赤外光、UV を使用しました。つまり、紫外線、紫外光と UV、赤外線と赤外光は同義語と考えてください。

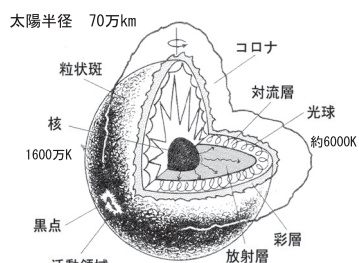
第 2 章

太陽光を知る

- 2.1 太陽からの光 - 目に見える光と目には見えない光 -
- 2.2 光の特徴 - 可視光、赤外線、紫外線 -
 - 1) 可視光の有用作用
 - 2) 赤外線の温熱作用
 - 3) 紫外線の化学作用

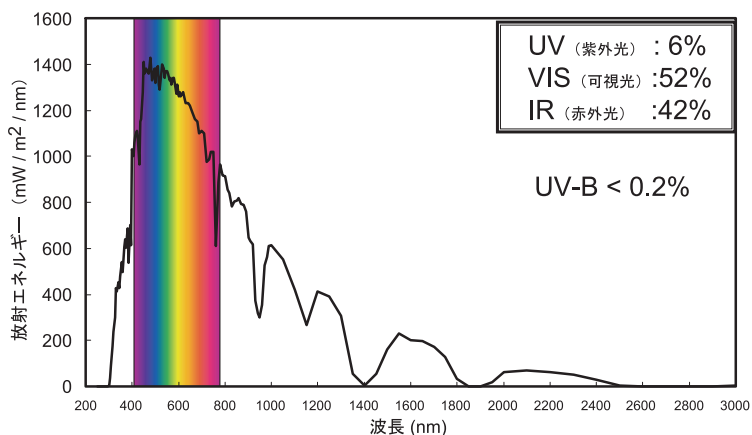
2.1 太陽からの光 一目にみえる光と目には見えない光一

太陽は半径約 6.96×10^5 km の巨大なガスの球体です。質量の約 2 分の 1 を占めるコアの内部で水素の核融合反応によって、ヘリウムを生成しながら巨大なエネルギーを放出しています (図 2.1)¹⁾。約 1 億 5,000 万 km の彼方から、地球に届けられるエネルギーは全太陽放射の約 20 億分の 1 です²⁾。地上に届く太陽光は、数 10^{11} m の γ 線から 10^5 m の電波までの電磁波エネルギーです。地上に届いた太陽光のスペクトルは、可視域と赤外域は 6000 K (K: 国際単位系による温度目盛で、摂氏 0 度は 273K (ケルビン)) の、紫外域は 4500 K の黒体放射スペクトルに近似されます。また、大気圏を通過する間にさまざまな分子による吸収や散乱をうけ図 2.2 に示されるようなスペクトル分布となって地上に届きます。ここで、注意していただきたいのは、地球に届く太陽光の現在の短波長限界は 290 nm です。なお、短波長限界とオゾン層との関わりについては次章で詳しく説明します。



(坂田, 1991)

図 2.1 太陽の構造



UV-B (280-315 nm), UV-A (315-400 nm), Total [UV + VIS + IR] (300-3000 nm)

© Tokai University

図 2.2 地上に届く太陽放射スペクトル分布

ここからは、本題である地上の太陽光について考えていきましょう。地上に届く太陽光には、目に見える可視光と目に見えない紫外光と赤外光が不可分的に含まれています。紫外光、可視光、赤外光が太陽光に占める割合をみると、可視光と赤外光がその大部分を占め、紫外光は約5～6%に過ぎません(図2.3)³⁾。波長域約400～800nmの光が可視光と呼ばれます。可視光は、ニュートン(Isaac Newton)が1666年に太陽光を初めて色の光(スペクトル)に分けたように⁴⁾、プリズムを通すと赤、橙、黄、緑、青、藍、紫の7色の光に分けることができます(図2.4)。7色に分かれた可視光の中で波長の最も長い光が赤色の光、波長の最も短い光が紫色の光です。プリズムでスペクトルに分けた光を、もう一度プリズムを通して混ぜ合わせると色はなくなります。色の光を混ぜ合わせた、色のない光は白色光と呼ばれます。太陽光は通常白色光として存在しています。

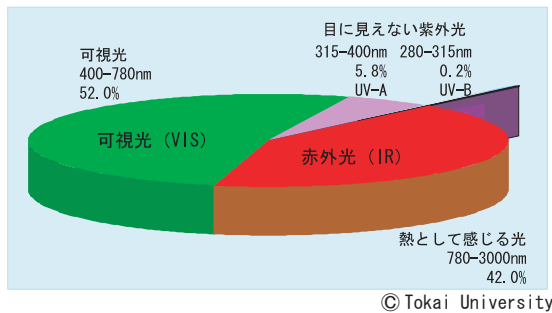


図 2.3 地上に届く太陽光のおおよその組成：可視・赤外・紫外光量の割合

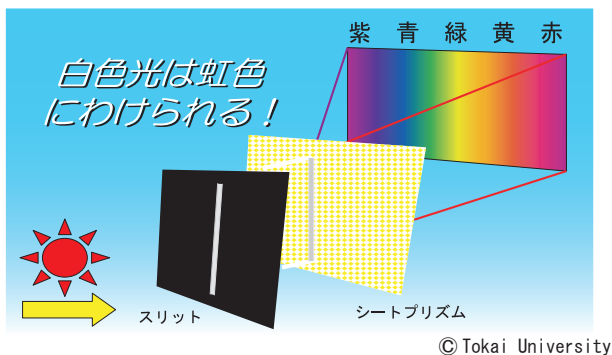


図 2.4 白色光は分光すると色の光に見える

可視光の長波長端の光は赤色の光です。可視光の赤より波長の長い光は、赤の外側にある光という意味で“赤外光あるいは赤外線”と呼ばれます。赤外光は目には見えない光ですが熱として感じるができるため、温熱線あるいは熱線とも呼ばれます。寒い冬に、日向ぼっこで身体が温まったり、洗濯物が乾くのは、この目には見えない赤外光のお蔭なのです。

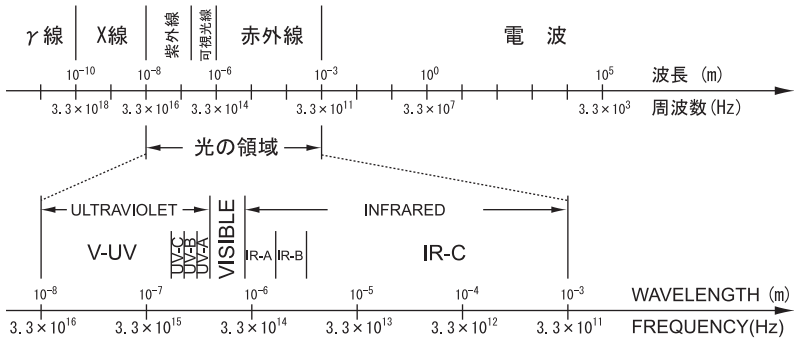
可視光の短波長端の光は紫色の光です。可視光の紫色より波長の短い光は、紫の外側にある光“紫外光あるいは紫外線”と呼ばれます。紫外光は可視光より波長が短い目には見えない光という意味です。また、地上に届いている紫外光は紫色に近い方から、波長の長いUV-A (315-400 nm) と波長の短いUV-B (280-315 nm) に分類されます。地上に届く全太陽光エネルギーに占める紫外光エネルギーの割合は、UV-A が約5～6%、UV-B は約0.2%弱です。

私たち人間・動物・植物が太陽光とどのように向き合うかは、地理条件、気象・大気条件などに依存した太陽光の変動を把握してはじめて決められることです。つまり、私たちは太陽光強度や太陽光変動を議論する場合、必ず時間、場所、太陽高度などを把握してはならないのです。このことについては必要に応じて説明していきます。

2.2 光の特徴 —可視光、赤外線、紫外線—

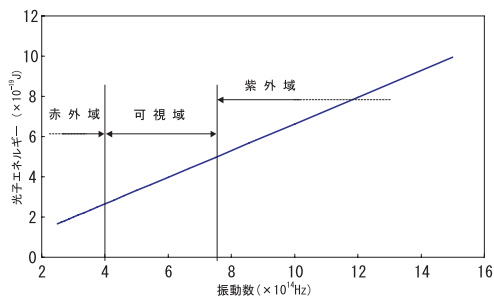
ここで、光について、もう少し詳しくみていきましょう。太陽をはじめとする様々な光源から放射される光の正体は、実は質量のないエネルギー粒子で光子と呼ばれます。光子は真空中を、 2.99792458×10^8 m/秒、つまり一秒間に地球を7周半するスピードで振動しながら伝播します。つまり、太陽から放射された光は約8分後には地球に届くのです。光子は波長と周波数（振動数）で分類されます（図2.5）⁵⁾。“光”という用語は、狭義には目に見える光、可視光を意味します。広義には、X線より波長が長く、電波より波長が短い電磁波—赤外線、可視光、紫外線の総称として使われます。

1 光子のもつエネルギー (E) は、プランク定数を h (6.63×10^{-34} J/s)、振動数を ν (Hz=1/s) で示すと、 $E = h \nu$ (J)---(1) と書けます。ここで、光の真空中の速度を c (m/s) とおくと、 ν は、 $\nu = c/\lambda$ ---(2) となり、これを式 (1) に代入すると、 $E = h \nu = hc/\lambda$ (J)---(3) が得られます。(3) 式から、1 光子エネルギーは、光の振動数に比例し、波長に逆比例することがわかります。つまり、波長の短い紫外線は、可視光や赤外線より光子エネルギーが大きいのです。図 2.6 に光の振動数と光子エネルギーとの関係を示します。この図からわかるように、紫外線は、可視光や赤外線より光子エネルギーが大きいために、物質に化学変化を起こさせやすいので化学線とも呼ばれます。紫外線が人に日焼けを起こさせたり、殺菌作用を示すのはこのためです。紫外線の化学作用については、後で詳しく説明します。



(佐々木, 1991)

図 2.5 電磁波の名称と波長領域



© Tokai University

図 2.6 光の振動数と光子エネルギーの関係

この本では、目に見えない光、紫外線が主人公です。しかし、紫外線の説明に入る前に、可視光と赤外線について、その働きをおさらいしておきましょう。

1) 可視光の有用作用

植物の光合成反応：可視光は、誰でもよく知っているように植物の光合成反応（炭酸同化作用： $6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ ）を担っています⁶⁾。植物はこの光合成で生成したデンプンやブドウ糖を養分として成長します。私たち人間は、植物とその植物を餌として生きる動物を食糧として生命を維持しています。植物の光合成が食物連鎖の起点と言われるのはこのためです。さらに、植物も人間を含む全ての動物も、植物の光合成過程で発生する酸素を呼吸燃料として生きています。

視覚発生：私たちが物体の存在を目で認識できるのは、可視光が物体表面で反射され、あるいは透明物体を透過した後に、目の網膜に届くからです。目の構造はカメラの構造に似ています（図 2.7）⁷⁾。光はレンズの働きをする角膜と水晶体で屈折率を調節されながら、網膜上に外界像を写し出します。網膜には明るい環境で光に応答する錐体と、暗い環境で光に応答する桿体という二種類の視細胞があります。これら視細胞は目に入ってきた光エネルギーを電気生化学エネルギー信号に変換して、視神経から脳へと伝達します。明るいところで物の形や色を感じる働きは主に錐体が担

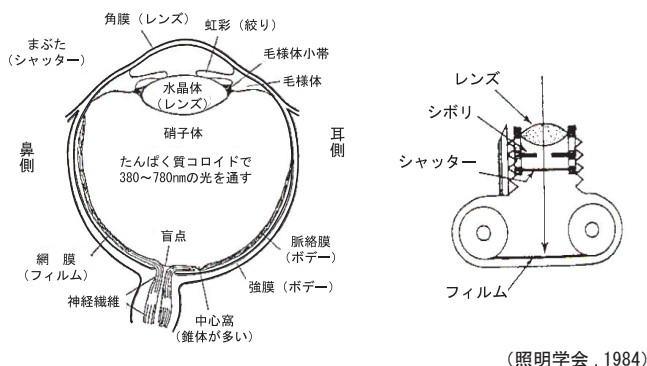


図 2.7 目の構造とカメラの構造の比較

い、桿体はほとんど明暗だけに応答するため暗いところでは、物の形や色は識別できにくくなります。また、視細胞の可視光に対する感度は波長ごとに異なり、錐体の場合は 555 nm の光を最も明るく感じます (図 2.8)⁸⁾。

体内時計調節：目に入る可視光は視覚以外の間接効果、体内時計 (バイオリズム・サーカディアンリズム) の調節も担います。私たちヒトの体内時計は約 25 時間です。朝、起床と共に明るい太陽光を目に取り込むと、脳の松果体で分泌されるメラトニンホルモンが抑制され、体内時計が 24 時間に調節されます⁹⁻¹⁰⁾。朝寝坊を続けると体内時計は 25 時間のままになり、昼夜の区別がつかなくなったり、不眠症になったりします。可視光の働きをまとめると、“可視光は食物連鎖の起点であり、ヒトの視覚発生とバイオリズム調節に寄与している” となります。

2) 赤外線の温熱作用

赤外線の温熱作用も光の重要作用の一つです。冬の日向ぼっこや屋上温水器などは赤外線の有効利用です。洗濯物が乾燥するのも赤外線のお蔭です。赤外線は熱作用を持つ光として、ハーシェル卿 (William Herschel) によって 1800 年に発見されました¹¹⁾。彼は太陽光を色の光に分光し、水銀温度計の球部を黒く塗り、紫の端から赤へと温度計を移動すると温度上昇が見られ、赤を越えたところでさらに温度が上昇するので仰天したそうです。彼はさらに、赤の外側の目に見えない光は可視光に適用される反射と

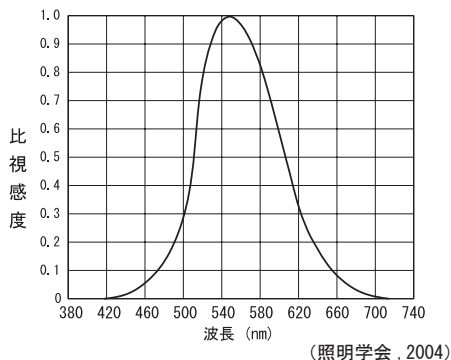


図 2.8 人の目の視感度曲線

屈折の法則に従うことも明らかにしました。なお、夏に熱中症にかかるのは赤外線の影響の一つです。真夏の日中に、日傘や帽子が必要な第一の理由はこの熱中症予防のためです。

3) 紫外線の化学作用

紫外線は、赤外線が発見された翌年 1801 年にリッター (Johann Wilhelm Ritter) によって発見されました¹²⁻¹³⁾。彼は当時すでに知られていた光による塩化銀の黒化反応を利用しました。分光した可視光の紫の外側で、紫色の光で生じるよりも強い黒化が起こることを発見し、紫の外側に目に見えない紫外線があることを示しました。紫外線の波長区分と名称を表 2.1 にまとめておきます。太陽光に不可分的に含まれている目に見えない紫外線は、生命体、物体、生態系に益と害をもたらす両刃の剣として作用します。

太陽光と人類とのつきあいは、紀元前から今日に到るまで長い歴史があります。詳細は省略しますが、古代から人類は紫外線を難治性皮膚病などの治療に利用してきました¹⁴⁾。ここでは紫外線の化学作用として重要と考えられる三項目について簡単に説明します。第一は成層圏オゾンの生成反応¹⁵⁾、第二は DNA 損傷反応¹⁶⁻¹⁷⁾、具体的には殺菌作用と人皮膚の日焼け (サンバーン) 反応¹⁸⁾、第三はビタミン D₃ 生成反応¹⁹⁻²⁰⁾ です。

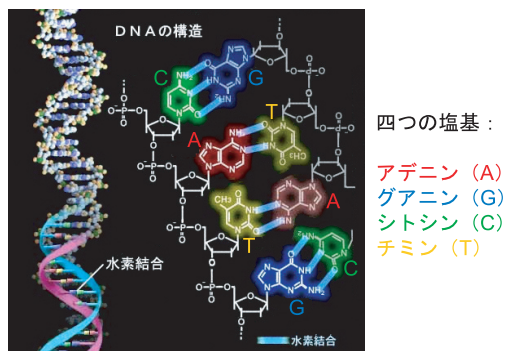
成層圏オゾンの生成反応：成層圏オゾンの生成については 3. 1 で詳しく述べますから、ここでは簡単に説明します。地上の生命体を守っている

表 2.1 紫外線の波長区分と呼称

呼 称	波長 (nm)	
長波長紫外線	UV-A	315-400 太陽があればいつでもある。 光エネルギーは UV-B、C より小。
中波長紫外線	UV-B	280-315 成層圏オゾンが減少すると増加する。 光エネルギーは UV-A より大。
短波長紫外線	UV-C	100-280 地上に届かない。殺菌灯からでている。 光エネルギーは UV-B より大。

成層圏オゾンとは、太陽から放射される紫外線と酸素の光化学反応でつくられます。オゾンは淡青色の気体分子で、三個の酸素原子からできています。オゾンは、地上の光合成で生成される酸素が成層圏にまで拡散し、そこで240 nmより短い太陽からの紫外線を吸収して原子状酸素に光分解する反応によって生成されます。後述するように、太陽から放射される紫外線はオゾンの生成と破壊の両方に関わっているのです。

DNA 損傷反応：DNA 損傷反応は、始めは細菌や細胞の致死作用として知られ、その研究の進展に伴って紫外線生物学 (Ultraviolet Photobiology) という学問領域を生み出しました。私たち生命体の遺伝子 DNA (デオキシリボ核酸) は四種類の塩基 (アデニン、グアニン、シトシン、チミン) と糖、リン酸が連なった二重らせん構造をしています (図 2.9)。遺伝子が紫外線作用で損傷される反応は、DNA 二本鎖が傷を負う反応です。図 2.9 に示したように、通常、塩基には二重らせんを形成するための相手塩基が決まっています。なお、チミンとシトシンはピリミジン塩基、アデニンとグアニンはプリン塩基と呼ばれます。DNA の紫外線損傷の多くは、ピリミジン塩基が隣同士になったところで紫外線が照射されると、チミン同士が結合した二量体 (チミンダイマー) ができる反応です。細菌やウイルスはチミンダイマーができると死んでしまいます。これが殺菌作用です。太



- 遺伝情報は四つの塩基の配列が担っている。
- DNAは相補的な配列で二本鎖を形成している。

© Tokai University

図 2.9 DNA の構造

陽紫外線による殺菌作用は、土壌や戸外環境の殺菌に大いに役立っています。しかし、日焼け（サンバーン：皮膚がやけどのように赤くなる紅斑産生反応）は、人の皮膚を構成するDNAにチミンダイマーができる反応です。遺伝子DNAの増殖過程で傷ができ間違った遺伝情報が伝達されていくと、がんの発症に繋がる可能性があります。つまり、サンバーンの繰り返しは皮膚がんの誘因なのです。人体にとってDNA損傷反応は紫外線の有害作用の一つです。

ビタミンD₃生成反応：ビタミンD₃は皮膚に存在する前駆体7-デヒドロコレステロールが紫外線UV-Bを吸収することによって形成されます。UV-Bを吸収して形成されるプレビタミンは、血液中で異性化し、さらに活性型ビタミンD₃に変換された後に、食物からのカルシウムとリンの吸収を促進し、骨や歯の形成や成長を助けます。活性型ビタミンD₃の血中濃度は一定に維持される仕組みを身体は持っているため、過剰に日光浴をしてもD₃生成反応としては無意味です。さらに、UV-Bを過度に浴びれば皮膚がんの引き金になります。身体に必要なビタミンD₃生成に必要なUV-B量は、1日15分程度の散歩で得られ、一年分では55MED（最少紅斑量：6.2（3）参照）に等価な量であると報告されています¹⁹⁻²⁰。

紫外線の主な人体作用を図2.10に簡単にまとめました。皮膚への有害作用については6章で説明します。

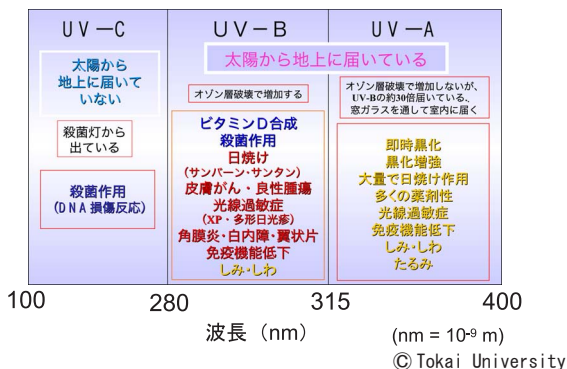


図 2.10 紫外線の種類と主な人体作用

第 3 章

太陽光がつくりだした 地球環境

- 3.1 成層圏オゾンの生成と生命体の誕生
- 3.2 成層圏オゾンの生成反応と役割
- 3.3 成層圏オゾン破壊で増加する太陽紫外線 UV-B
 - 1) 成層圏オゾン破壊とは
 - 2) 成層圏オゾン破壊で太陽紫外線 UV-B の
地上到達量が増加する
 - 3) 検証されている太陽紫外線 UV-B の増加
 - 4) オゾン層保護について

3.1 成層圏オゾンの生成と生命体の誕生

生命の星、地球は約46億年前に太陽系内の一つの惑星として誕生しました。それ以来、地球は常に太陽の影響下にあります。誕生したばかりの地球は高温で、どろどろした塊でした。地球をとりまく大気の主成分は二酸化炭素、水蒸気と窒素で、酸素はありませんでした。地球が冷えてくるにつれて液体の水が生成し、雨となって5000年の間降り注ぎ、原始海洋が形成されました。20億年前頃から海中で光合成細胞プロカリオティックセルによって酸素が生成されはじめ、これらの藻類の増殖に伴って酸素は大気中に拡散していきました。酸素濃度が現在の1%位にまで増えると徐々にオゾンが生成され、太陽からの遺伝子DNAに損傷を与える紫外線がカットされるようになり植物が陸上へ進出しはじめました。4億2000万年前頃になると動物プランクトンも発生し、動物が陸上に進出し始めました。大気の組成が現在のようになったのは約1億年前のことです(図3.1)¹⁾。この頃から、地殻変動による火山活動が大気を変化させ、太陽から降り注ぐ光のスペクトル分布は大気の吸収によるフィルター効果と共に変化していきました。大気組成の変化は、地球表面の温度や植物分布などと共に生物の生活環境を変化させ、ときどき出現する超新星からの強

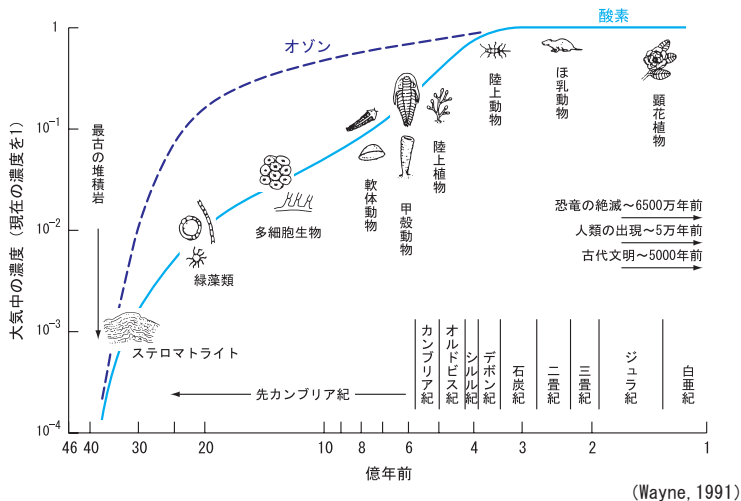
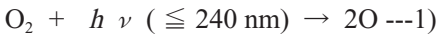


図 3.1 地球の酸素とオゾン生成と生物の進化

烈な放射線によって死滅と変成が繰り返されました。人類進化の過程で、太陽光のスペクトル変化と強度の変動がいかにかに大きい生存因子であったかは疑う余地のない事実です。現在も、将来も、太陽は、地球の支配者であり続けるのです。

3.2 成層圏オゾンの生成反応と役割

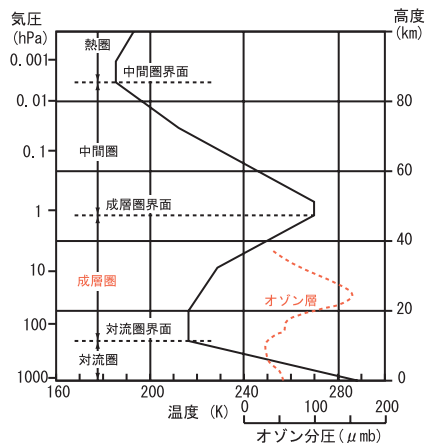
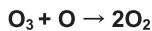
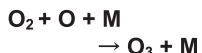
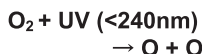
地球の上空 500 km 付近にまで広がる大気には酸素 (O_2) が容積比で約 21% 含まれています。大気中に拡散していく酸素濃度は、気圧と気温に依存して成層圏の中頃に高濃度になります。ここで大気中の酸素 (O_2) は、240nm より波長の短い太陽紫外線を吸収して原子状酸素に光解離し、オゾン (O_3) を生成します (反応式 1)、2) ²⁾。



つまり、大気中のオゾンは、地上から上空へ拡散されていく酸素の濃度が高く、かつ 240 nm より波長の短い太陽紫外線が強い成層圏の中程、高度約 25 km、富士山の約 7 倍の高度で効率よく生成されて最大濃度となります。このオゾン濃度が高い大気層を、私たちは「オゾン層」と呼ぶのです (図 3.2)。

オゾン分子の紫外吸収スペクトルは、私たち生き物の遺伝子 DNA 損傷スペクト

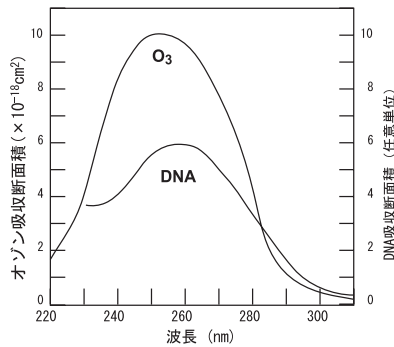
オゾン生成反応



(島崎, 1989)

図 3.2 成層圏オゾンの鉛直分布

ルとはほぼ一致します（図 3.3）³⁾。つまり、オゾン層が健全であれば、生命体の遺伝子 DNA に傷をつける紫外線 UV-B を吸収してくれるため地球上の生き物は生存可能なのです。オゾン層は何十億年もの間、地球の生命体を太陽紫外線から守る保護バールとして働いてきたのです。大気中のオゾン層を全部地表に集めて、標準状態（0℃、1 気圧）に圧縮すると約 3mm の厚さになってしまいます。このオゾン層が地球生態系を守っているのですから、オゾン層の役割がどんなに偉大かわかりになるでしょう。



(Blake ら, 1977)

図 3.3 オゾンの吸収と DNA 不活化吸収スペクトルの比較

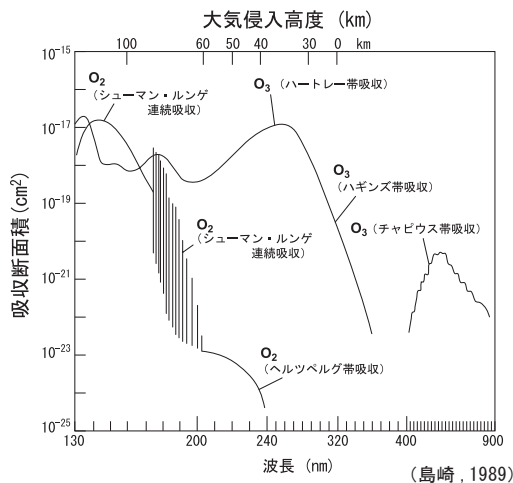


図 3.4 オゾンの紫外線吸収スペクトル

ここで、オゾンの太陽紫外吸収スペクトルを詳しく見てみます(図 3.4)⁴⁾。太陽から放射される紫外線は成層圏を通過する際に、オゾンの Hartley 帯 (200-300nm) に強く吸収され、さらに Haggins 帯 (300-340nm) に吸収されて弱められます。つまり、地上に届く太陽紫外線には、紫外線 UV-C は存在せず、UV-B が成層圏オゾンの増減と逆相関を示しながら地上に到達するのです。

3.3 成層圏オゾン破壊で増加する太陽紫外線 UV-B

1) 成層圏オゾン破壊とは

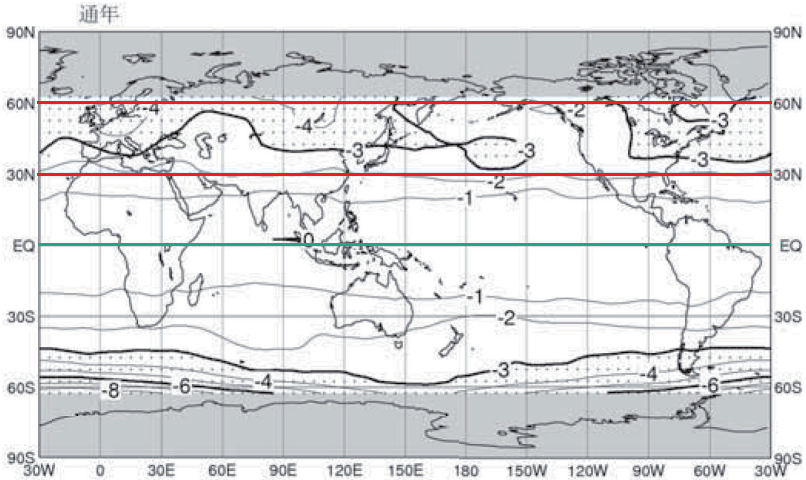
太陽光は、人類が地球上に生を獲得して以来、人類が生存するために必須の環境因子であることは食物連鎖の起点としての役割も含めて理解されているはずですが、しかし、空気、水、土が文明繁栄と産業発展の途上で汚染されてきたように、いま、私たちを取り巻いている太陽光環境にもその兆しが見え始めています。太陽からの紫外線を遮蔽し、地球生態系の生存を可能にしてきた成層圏オゾンがクロロフルオロカーボン類 (CFCs: 通称フロンと呼ばれている) によって破壊されはじめたからです⁵⁾⁶⁾。このオゾン層破壊がこのまま進み、地球上空からオゾンのベールが消失してしまったら人類を始めとする地上の生命体は核兵器の力を借りることもなく死滅への道を歩むこととなります。オゾンが無くなれば、太陽からの紫外線 UV-B が増加し、最悪の場合にはさらに波長の短い UV-C も加わって、遺伝子 DNA を直撃し、人類を含む全地球生態系が瀕死の状態になってしまいます。

オゾン層破壊問題は、歴史的にみると CFCs による破壊がはじめてではなく、水爆実験で生成する NO_x による破壊や超音速ジェット機 SST の生成する NO₂ による破壊が問題視されたこともありました(表 3.1)⁵⁾。しかし、いずれも確たる証拠が得られないままに終わりました。一方、1980 年代中頃に、CFCs による成層圏オゾンの破壊が現実問題になってしまいました⁶⁾。20 世紀の最も優れた発明品の一つといわれる CFCs は、化学的に極めて安定なため、一旦大気中に放出されると、分解されることなく大気圏に運ばれます。対流圏では安定な CFCs は、220 nm より波長の

短い紫外線に出会うと光分解を起こし、塩素原子 (Cl) を大量に遊離します。この塩素原子は ClO_x サイクルを形成してオゾンを分解します。1 個の Cl 原子は連鎖反応で数万個のオゾン分子を破壊します。さらに重大な問題は、CFCs は大気圏に 100 年以上は滞留すると考えられています。何十億年という長い歳月をかけて地球を包む大気の中に形成されてきたオゾン層が、最近の僅か 20 年という短期間に、北緯 30 度以北および南緯 20 度以南で有意な減少傾向を示しています。このオゾンの減少は高緯度ほど大きく、また北緯 60 度から南緯 60 度の平均値で $-1.3 \pm 0.6\%$ /10 年の有意な減少傾向にあります (図 3.5)⁷⁾。日本でも気象庁の観測点、札幌、つくば、鹿児島で、成層圏オゾンは明らかな減少傾向を示しています (図 3.6)⁸⁾。

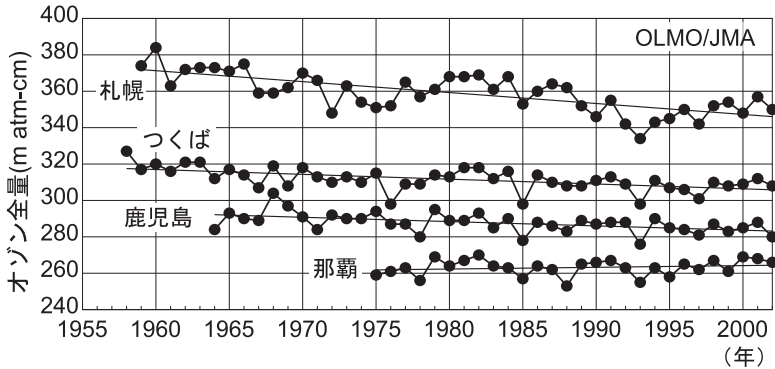
表 3.1 これまでの成層圏オゾン (オゾン層) 破壊に関するできごと

年 代	課 題
1960	水爆実験で生成した NO_x によるオゾン層破壊
1970	超音速旅客機 (SST) の生成する NO_x によるオゾン層破壊理論 窒素酸化物 (NO_2) による Crutzen のオゾン層破壊理論 スペースシャトルの放出塩素化合物によるオゾン層破壊に関する Cicerone 説
1974	クロロフルオロカーボン (フロン) による Molina と Rowland のオゾン層破壊理論
1995	南極下部成層圏に存在する極域成層圏雲 (PSC) が南極オゾンホール生成の元凶であることを解明したとして、Molina, Crutzen, Rowland がノーベル化学賞受賞



(気象庁, 2004)

図 3.5 世界のオゾン層破壊の現状

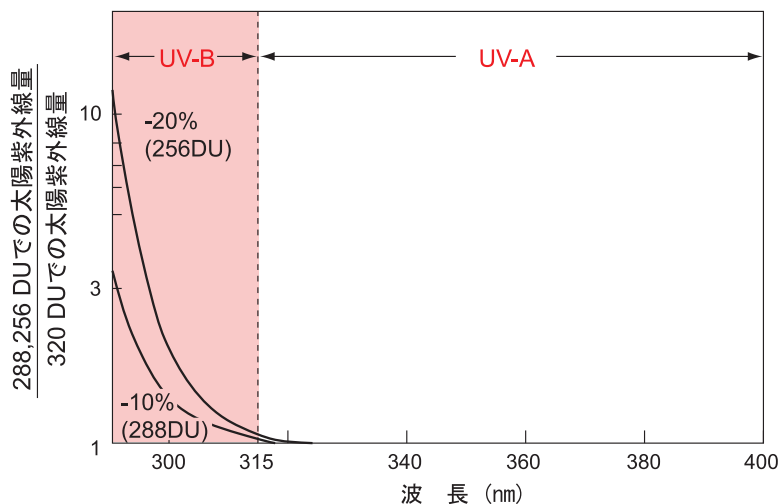


(気象庁, 2004)

図 3.6 日本上空でのオゾン層の減少傾向

2) 成層圏オゾン破壊で太陽紫外線 UV-B の地上到達量が増加する

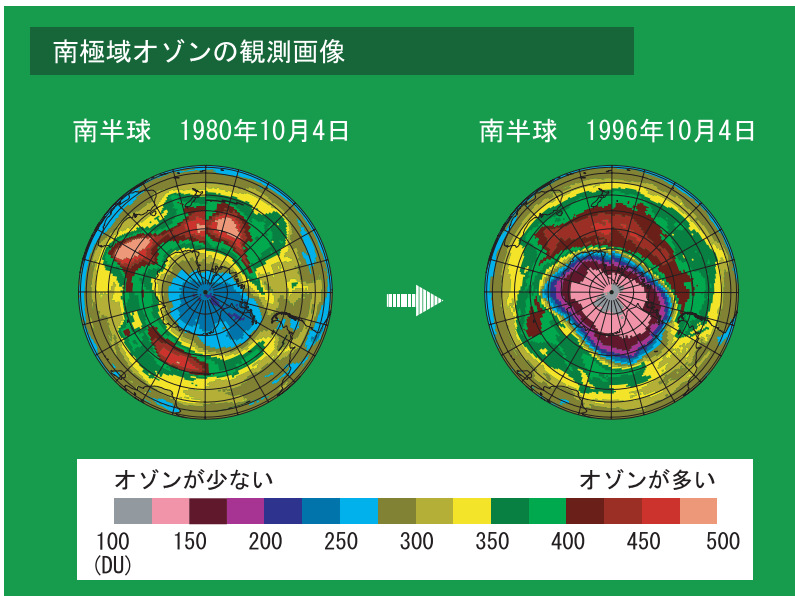
成層圏オゾンの減少は、何を地球にもたらすのでしょうか。それは太陽紫外線 UV-B の増加なのです。オゾンの減少によって、地上の太陽紫外線スペクトルがどのように変化するかを推算した結果を図 3.7 に示します⁹⁾。この図は、現在のオゾン全量の世界平均値 320 Dobson Unit (DU) (or m atm-cm) を横軸の基準線としてあります。例えば、オゾンが 10% 減少 (288DU) すると UV-B は 290 nm で見ると 3 倍に増加し、DNA 損傷効果は現在の 10 ~ 15 倍に増加すると予測されます。もしも、成層圏オゾンが現状より 30% 減少 (224DU) したら、UV-B は 290 nm で見ると 30 倍以上増加するという事態が起こりかねないのです。オゾン層破壊は決して見逃すことのできない地球環境問題なのです。なお、この図で注意していただきたいことがあります。それは、オゾン層破壊によって地上に増加する太陽紫外線は、UV-B であって、UV-A ではないということです。



© Tokai University

図 3.7 オゾン層破壊による太陽紫外線スペクトルの変化 (推算結果)

最近は UV-A の人体影響も盛んに伝えられますが、UV-A はオゾン層破壊で増加することはありません。最近の UV-A への関心の高まりは、UV-B の研究が進むに伴って UV-A の研究も進展していることを意味しているのです。太陽紫外線の課題で重要なことは、オゾン層破壊がこのまま継続するとすれば、現在はオゾン層によって完全に遮蔽されている太陽紫外線 UV-C まで地上に届く可能性が現実問題になるかもしれないということです。南極大陸では 1980 年代後半から毎年 10 月頃にオゾン全量が極端に少ない状態 (<220 DU)、つまりオゾンホールが観測されます (図 3.8)。



© NIES

図 3.8 南極のオゾンホール

3) 検証されている太陽紫外線 UV-B の増加

成層圏オゾンの減少に伴って 1980 年以降、太陽紫外線 UV-B は北緯 60 度から 30 度の人間活動圏で明らかな増加傾向をみせています。北半球中緯度帯に位置するスイスのユングフラウ山頂で 1981 年から 1989 年の期間に $1.1 \pm 0.4\%$ / 年の増加が観測されました (図 3.9)¹⁰⁾。また、カナダのトロント市で 1989 年から 1993 年の 5 年間に明らかなオゾン全量の減少が観測されました。このオゾン減少によって 300 nm の UV-B が冬 35% / 年、夏 7% / 年の増加傾向を示しました (図 3.10)¹¹⁾。日本でも神奈川県平塚市で 1990 年から 2000 年の期間に、全太陽放射中の UV-B 比が約 1.2% / 年の増加傾向を示しました (図 3.11)¹²⁾。

ここ数年、各国で UV-B 増加に関するレポートはほとんど公表されません。これは、国際的な CFCs 使用禁止の取り決めが効を奏してオゾン層破壊が終息した証ではなく、地球環境研究者の関心が地球温暖化に集中してしまったという社会現象の一つです。オゾン層破壊は、高緯度帯で特に大きいのです。世界のオゾン層破壊状況を NASA TOMS データをもう一度

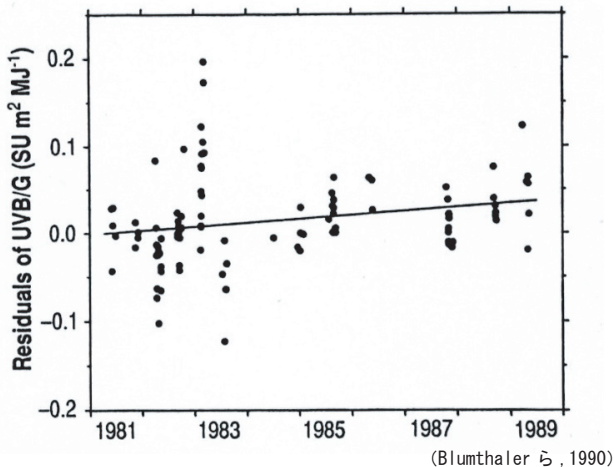


図 3.9 スイスにおける太陽 UV-B の増加傾向

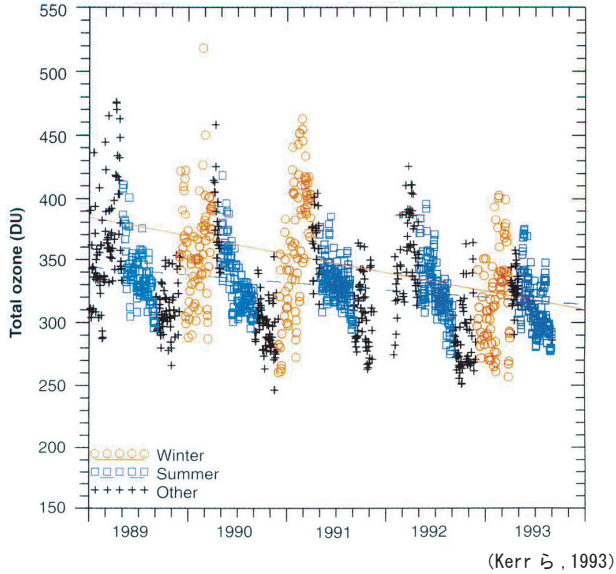
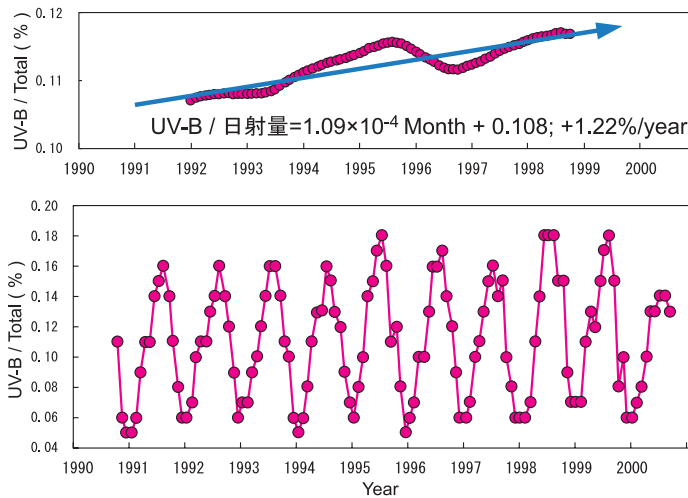


図 3.10 カナダにおけるオゾン全量の減少傾向

UV-B 放射量 / 日射量のトレンド (1日合計放射量の月平均値：
12ヶ月+26ヶ月移動平均)



© Tokai University

図 3.11 日本上空（平塚）でのオゾン層減少による太陽 UV-B の増加トレンド

見てみましょう(図 3.5)⁷⁾。オゾン層破壊は、もともとオゾン濃度が高く、紫外線 UV-B が少なかった高緯度帯で顕著なのです。図 3.6 に見るように、日本でも高緯度帯の北海道でオゾン層破壊が顕著に見られます。また、日本でのオゾン層破壊は冬期に顕著です。これらのことは何を意味するのでしょうか。日本を例に説明すると、もし、オゾン層破壊がこのまま進行すると、これまで UV-B の少なかった高緯度帯と冬期と早春に UV-B が増加するのです。つまり、最悪の場合、北海道に九州並みの UV-B が到達し、さらに、これまではほとんど問題のなかった冬期に、UV-B が日本中で強く観測されるようになる可能性があるということです。このような事態が起これば地球生態系の大変動を招きかねません。私たち人類がこの地球上に、今後とも生存を望むなら、オゾン層破壊は是非とも阻止しなくてはならない地球環境保全の命題の一つなのです。

4) オゾン層保護について

オゾン層破壊問題は、人類がこれまでに経験した中で“やり直し”という選択が功を奏するかもしれない語り継がれるべき出来事です。科学者達の警鐘が政治を動かし、企業に行動させ、国連が中立的情報を世界各国に伝え、各国が協力して地球規模の環境問題を解決できる糸口をつかんだという画期的な出来事なのです⁶⁾¹³⁾。オゾン層破壊、南極上空でのオゾンの異常減少を世界ではじめて観測したのは、気象庁気象研究所の忠鉢研究官です¹⁴⁾。その後、英国の南極基地でも同様のオゾン減少が観測され¹⁵⁾、オゾン層保護のための世界的な取り組みが本格化していきました。1985年には「オゾン層の保護のためのウィーン条約」が、1987年には「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」が採択され、これらの条約・議定書が各国の合意と共に実行に移されています。世界気象機関(World Meteorological Organization : WMO)と国連環境計画(United Nations Environmental Programme : UNEP)が発表した「オゾン層破壊の科学アセスメント:1998」には、1) 国際的なオゾン層保護の効果が徐々に現れており、2) オゾン層破壊物質の総量は2050年頃には1980年以前に回復の見通しであること、3) しかし、温室効果ガス増加の影響を受け、2020年頃まではオゾン層破壊は継続すると予測されています¹⁶⁾。

一方、我が国においても環境省に「成層圏オゾン層保護に関する検討会－科学分科会、環境影響分科会－」が設けられ、「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律」に基づき、①オゾン層、②オゾン層破壊物質等の大気中濃度、③太陽紫外線の状況の監視結果を取りまとめています¹⁷⁾。

第 4 章

地上の太陽紫外線環境 - UV-B と UV-A の特徴 -

- 4. 1 太陽紫外線の強度を変化させる因子
- 4. 2 太陽紫外線の日内変動（一日の変動）
- 4. 3 太陽紫外線の季節変動（年間変動）
- 4. 4 太陽紫外線 UV-B とオゾン全量との相関
- 4. 5 太陽紫外線 UV-B と UV-A の地域差
- 4. 6 太陽紫外線の散乱特性
- 4. 7 太陽紫外線の測り方 - 特徴と課題 -

4.1 太陽紫外線の強度を変化させる因子

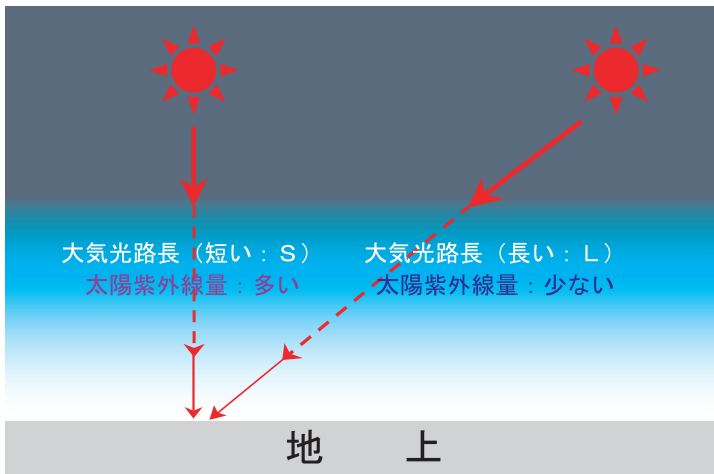
地上に届く太陽紫外線は、天文因子と気象因子に影響されて、空間的・時間的に変動します。天文因子には太陽地球間距離、測定地点の緯度と時刻（太陽高度）などが大きくかかわります（表 4.1）。気象因子としては、大気を構成する空気分子、エアロゾル、オゾン、酸素などの気体分子、水蒸気、雲などの吸収、散乱、反射などの分光学的諸特性が大きくかかわります。このため、太陽紫外線は地域、時刻、季節などに依存した日内変動（一日の変動）、季節変動（年間変動）を示します。天文因子の中では太陽高度が第一の影響因子です。また、UV-B では、太陽高度の次ぎにオゾンと雲が変動に大きく影響します。このため、太陽紫外線 UV-B の変動は、計測値をそのまま処理するのではなく、成層圏オゾンと雲の影響を除去して解析されます。

ここで、太陽紫外線に与える太陽高度の影響を太陽紫外線が通過する大気層の厚さで簡単に説明します（図 4.1）。太陽高度が高いとき、つまり太陽が頭上近くにある時には、太陽光が大気層を通過する距離（大気光路長）は短く（S）なります。一方、太陽高度が低くなれば太陽光が通過する大気光路長は長く（L）なります。紫外線は UV-B も UV-A も大気中を通過する間に、空気分子、エアロゾルなどの微粒子、雲などに反射・吸収・

表 4.1 太陽紫外線の地上到達量変化に影響する因子

1	太陽活動				
2	公転運動による太陽 - 地球間距離の変動				
3	太陽高度 (airmass)				
4	大気中の気体分子による吸収、散乱。特に、UV-B はオゾン分子による吸収				
5	大気中の汚染物質、浮遊物質による吸収				
6	雲による反射・散乱				
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>快晴時の影響</td> <td>$3 > 4 > 5 > 2 > 1$</td> </tr> <tr> <td>雲のあるときの影響</td> <td>$6 > 3 > 4 > 5 > 2 > 1$</td> </tr> </tbody> </table>		快晴時の影響	$3 > 4 > 5 > 2 > 1$	雲のあるときの影響	$6 > 3 > 4 > 5 > 2 > 1$
快晴時の影響	$3 > 4 > 5 > 2 > 1$				
雲のあるときの影響	$6 > 3 > 4 > 5 > 2 > 1$				

散乱されて減衰していきます。さらに、UV-Bは大気層に存在する主として成層圏オゾンに吸収されて減弱されます。つまり、地上に届く太陽紫外線の強さは、通過する大気光路長に大まかに反比例するといえます。大気光路長が短い(S)と地上に届く紫外線は強くなり、大気光路長が長い(L)と弱くなります。紫外線が日中に強く、早朝や夕方に弱くなるのはこのためです。一日の内では、太陽高度が最も高い、つまり太陽の位置が頭上近くになる南中前後に太陽紫外線の強さは最大になります。太陽高度は季節によっても変化するため、太陽紫外線の強さも季節変動を示します。また、日本は南北に長いので、南と北では緯度が大きく異なります。つまり、同じ日、同じ時刻でも地域によって太陽高度が大きく異なります。このため、同日、同時刻に沖縄と札幌で太陽紫外線の強さを測定すると、緯度の低い沖縄で強く、緯度の高い札幌では弱く観測されます。



© Tokai University

図 4.1 地上に届く太陽紫外線の強さと大気層厚（大気光路長）との関係

4.2 太陽紫外線の日内変動（一日の変動）

太陽紫外線 UV-B と UV-A あるいは日射の日内変動、つまり一日の変動の違いを、東海大学湘南校舎（神奈川県平塚市：35°N,139°E）で1990年以降計測されてきた実測データに基づいて示します¹⁴⁾。はじめに、UV-B と日射の一日の変動を5分毎計測値として図4.2で比較します。各丸(○)が5分毎の瞬時値です。一ヶ月分をまとめると、同じ時刻でも最小値から最大値まで大きくばらついていることに気づかされます。UV-B も日射も天候や雲の変動などに追従して大きく変化するため、出現頻度は定まらずばらつくことがわかります。しかし、日射には出現頻度の最も高いところ、つまりモードが示されます。一方、UV-B は日射に比べて散乱性も大きく、モードは出現しません。次の図4.3は真夏のある快晴日のUV-B と UV-A 強度の時間変化を示したものです。図4.2と図4.3から、一日の最大強度は、UV-B も UV-A も太陽高度が最も高い南中前後にあることがわかります。しかし、UV-B はオゾン、雲、大気状態などの影響を大きく受けるため一日の変動幅が大きく、一方 UV-A はゆるやかな1日の変動を示しています。ここで、紫外線 UV-B と UV-A それぞれの12時と8時の強度を比較します。UV-B は12時の値が8時の約5倍にもなっているのに対して、UV-A は2倍弱の違いです。また、南中を中心に計算してみると、1日のUV-B量の50%強が10時から13時の間に、UV-A では9時半から13時半の間に50%強が地上に届いていることがわかります。以上をまとめると、太陽紫外線 UV-B は南中に大きい値を示し、早朝や夕刻には非常に弱いこと、一方、UV-A は日の出から日の入りまで、大きな変動はなく、南中強度の二分の一程度の強さがほぼ一日中続いていることがおわかりいただけたでしょう。

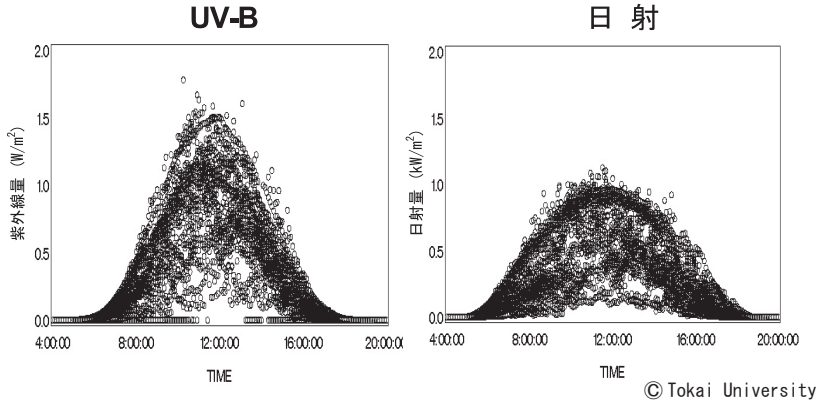


図 4.2 太陽 UV-B と日射の 5 分毎の瞬時値の月積算値の比較

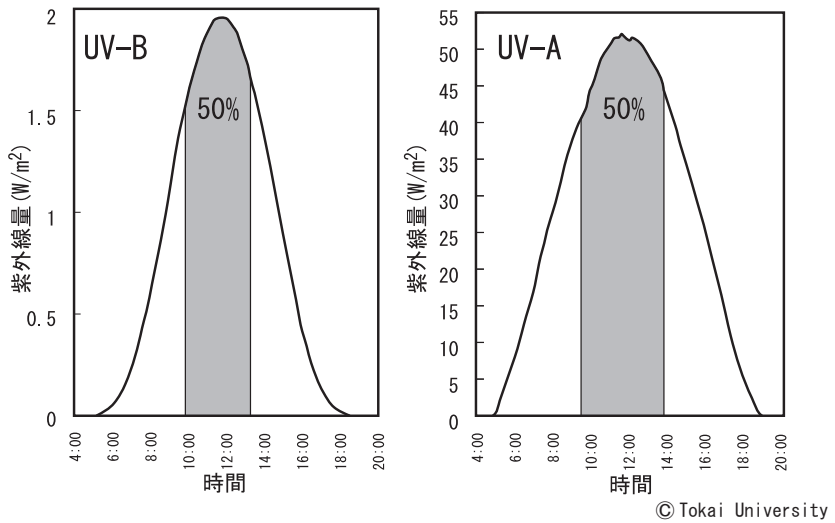


図 4.3 太陽 UV-B と UV-A の一日の変動の比較

4.3 太陽紫外線の季節変動（年間変動）

UV-B と UV-A の季節変動（年間変動）を図 4.4 で比較します。図には、平塚で測定された紫外線の一日合計量の月平均値が示してあります。1年を通してみると、最大強度を与える月は、UV-B は7～8月、UV-A は5月であることがわかります。UV-A の最大値は、関東や九州のように梅雨があるところでは、平塚と同じ5月頃です。しかし、梅雨の無い北海道や東北の一部では6月となります。太陽高度は、6月末の夏至に最も高くなります。つまり、日射量は夏至に最高になりますから、日射の中に常に約5～6% 存在する UV-A も夏至に最高値を示すこととなります。しかし、夏至の頃、日本は北海道と東北の一部を除いて梅雨に入るため、日本各地で UV-A の最大強度は5月となります。一方、UV-B は、オゾンによる吸収が少ない真夏の7月、8月に最大強度となります。

ここで、もう一度、図 4.4 の UV-B と UV-A の季節変動を見てください。UV-B は春3月、4月と、秋9月、10月に強度は夏の半分程度、冬11月から2月には夏の5～6分の1と非常に弱くなることがわかります。一方、UV-A の最大値（5月）と最小値（12月）の差は2倍弱です。つまり、

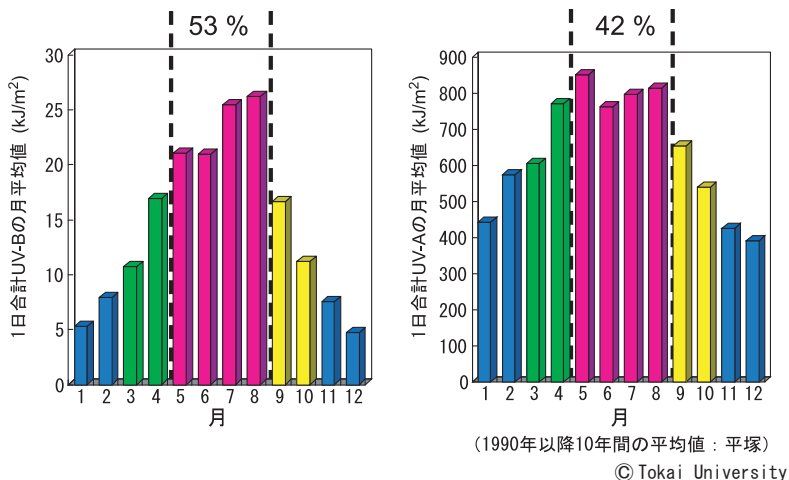


図 4.4 太陽 UV-B と UV-A の季節変動

UV-B は年間変動幅が大きいのに対して、UV-A の年間変動幅は小さく一年中相当量あるという認識が必要なのです。

4.4 太陽紫外線 UV-B とオゾン全量との相関

3.3 で太陽紫外線はオゾン層破壊で地上に増加すること、また、太陽紫外線 UV-B がオゾンに吸収されることを説明しました。では、UV-B の季節変動は一体何を意味しているのでしょうか。これは大気中のオゾン全量の変動に伴って、オゾンに吸収される UV-B 量が変動する、つまり、地上到達量が変化することを意味しているのです。UV-B が真夏の 7 月、8 月に強いのは、オゾン全量が少なくなるからです。一方、冬に UV-B 強度が弱くなるのはオゾン全量が冬に多くなるためです。

ここで、太陽紫外線 UV-B の季節変動とオゾン層の季節変動との相関について簡単に説明します。平塚ではオゾン全量を観測していません。そこで、平塚とほぼ等緯度にあるつくば（気象庁観測点）のオゾン全量を使用して UV-B との相関を解析します。つくばのオゾン全量の季節変動を図 4.5 に、この図の下に平塚で測定した UV-B の季節変動を図 4.6 に示します。オゾン層の減少に伴って、太陽紫外線 UV-B が増加するならば、図 4.5 でオゾン全量が最小値を示す月と図 4.6 で UV-B が最大値を示す月は、同じ月になるはずですが、オゾン全量が

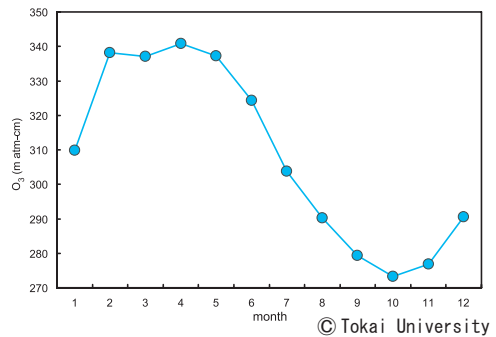


図 4.5 オゾン全量の季節変動

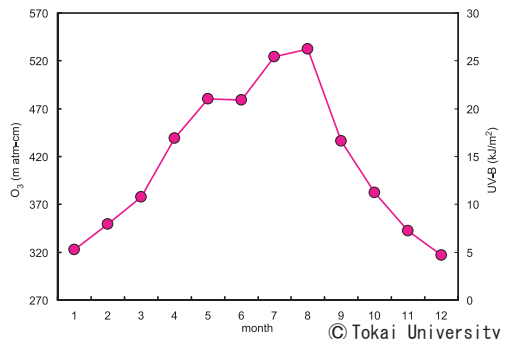


図 4.6 太陽 UV-B の季節変動

最小値を示す月と、UV-B が最大値を示す月は明らかに違っています (図 4.7)。実は、オゾン全量は地表から大気圏上限までの気柱に含まれる量として計測されているため、太陽高度の変化を反映して測定されている太陽紫外線 UV-B 量と 1 対 1 の対応を示さないのです。そこで、オゾン全量 (O_3) を、実際に太陽紫外線が測定されている大気光路長を加味したオゾン量(実効オゾン : eO_3) に次式を使って変換します (図 4.8) ⁴⁾。

$$eO_3 = O_3 \times \sec \theta \quad \text{--- ここで、} \theta \text{ は天頂角}$$

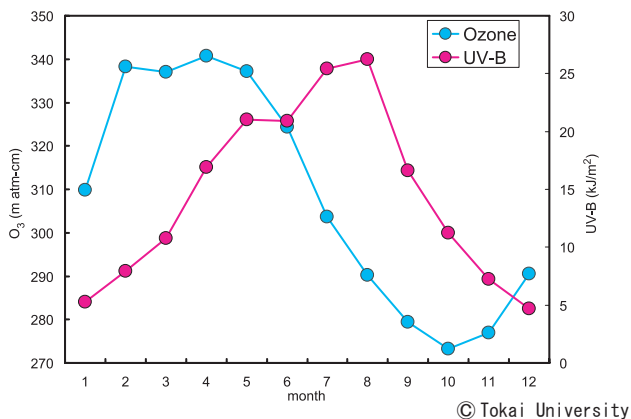


図 4.7 オゾン全量と太陽 UV-B の季節変動の比較

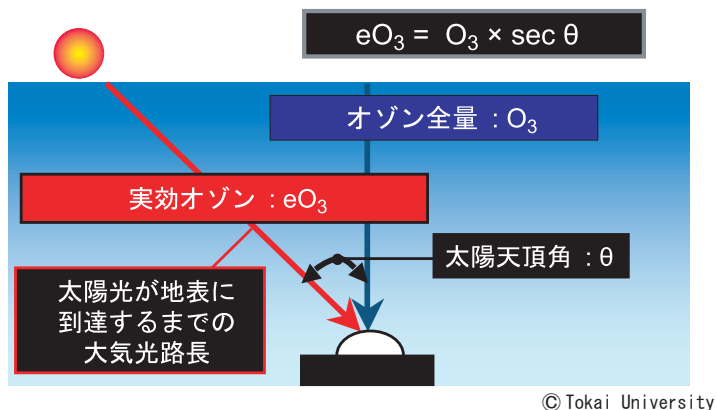


図 4.8 オゾン全量の実効オゾンへの変換

図 4.9 に、実効オゾン量の季節変動を示します。この図の最小値を与える月は、図 4.6 の太陽紫外線 UV-B が最大値を与える月と一致します(図 4.10)。このように、太陽高度を考慮することによって、太陽紫外線 UV-B と成層圏オゾンとは逆相関の関係にあることが明瞭に示されます⁴⁾。以上から、太陽紫外線 UV-B は成層圏オゾンの増減に逆比例して変動する、つまり、クロロフルオロカーボンなどによってオゾンが破壊されて減少すれば、生態系に悪影響を及ぼすポテンシャルを持つ UV-B は増加するのです。

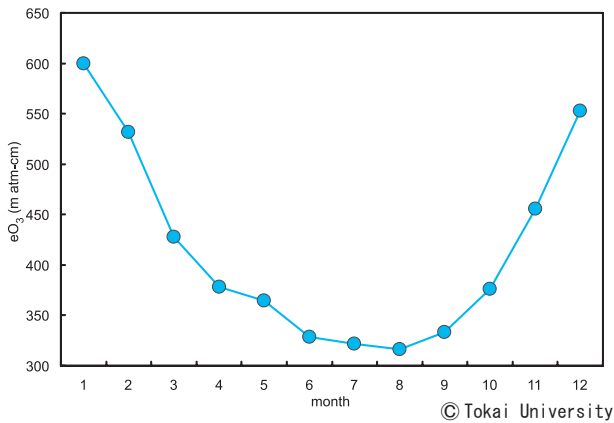


図 4.9 実効オゾンの季節変動

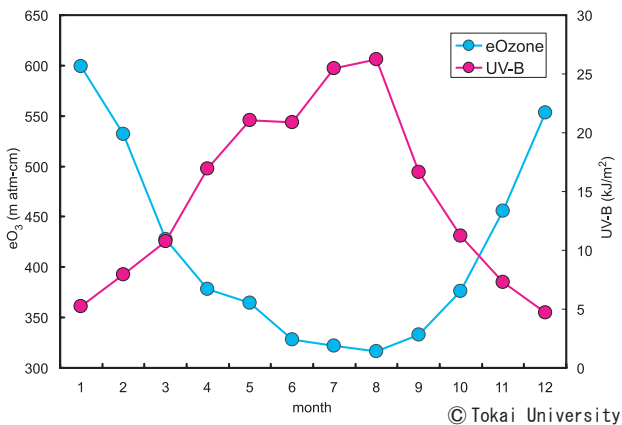
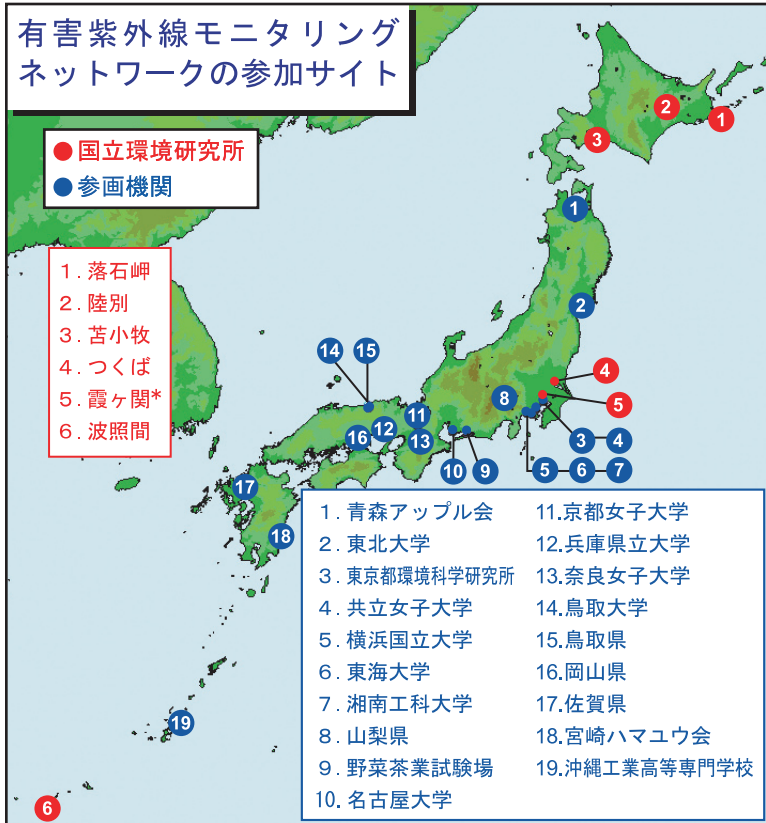


図 4.10 実効オゾンと太陽 UV-B の季節変動の比較

4.5 太陽紫外線 UV-B と UV-A の地域差

ここで、太陽紫外線の地域差を、気象庁の4観測点：札幌（43°03' N）、つくば（36°03' N）、鹿児島（31°33' N）、那覇（26°12' N）の1990年から2004年までのUV-Bの日積算値の月平均値（最大値）：札幌（26.31 kJ/m²）、つくば（30.83 kJ/m²）、鹿児島（34.67 kJ/m²）、那覇（37.89 kJ/m²）で比較します⁵⁾。那覇と札幌のUV-B量を比べると、那覇のUV-B量は明らかに札幌のUV-B量を大きく上回り、那覇は札幌の約1.44倍もあります。また、DNAを損傷させ、日焼け（サンバーン）効果が大きい波長300 nmの日積算値の月平均値で比較すると、那覇は234 J/m²、札幌は149 J/m²で、那覇は札幌の約2倍となります。このように地域によってUV-B量は大きく異なるのです。ここでは、日射量の約5%として概算値が見積可能なUV-Aについては省略します。日射量は1960年代から気象庁が全国で測定しており、理科年表（国立天文台編）に公表されています。これを利用すればUV-A量の概算値を求めることができます。なお、参考までにUV-BとUV-Aの放射量を、夏8月（平塚：1991年）の一日合計量の月積算値で比べると⁶⁾、UV-Bは28.4 kJ/m²、UV-Aは570 kJ/m²で、真夏にはUV-Bがエネルギー量としてUV-Aの約20分の1にも達することがわかります。

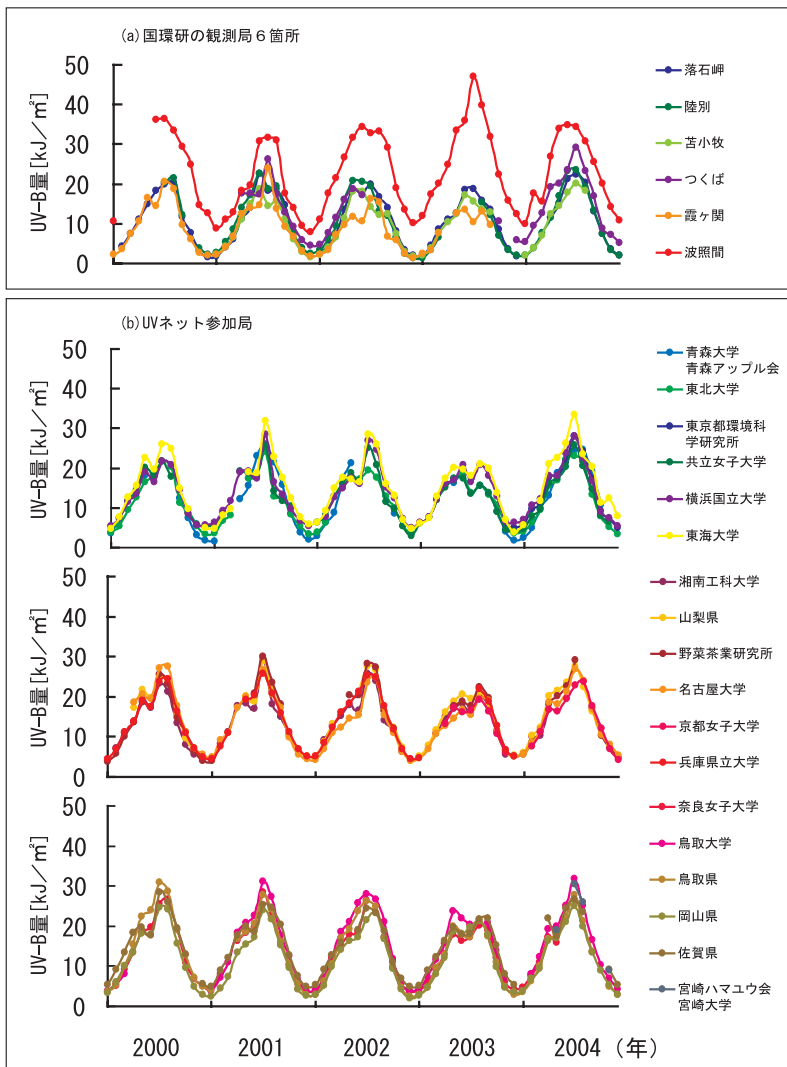
独立行政法人国立環境研究所では、2000年から有害紫外線モニタリングネットワークを全国の研究機関、大学等と共同で実施しています⁷⁻⁸⁾。南は沖縄県波照間から北は北海道落石岬までに30箇所のステーションを構築して観測を行っています(図4.11)。計測結果例を図4.12に示します。



* 霞ヶ関サイトは2003年9月に東京都環境科学研究所へ移設しました。

© NIES

図 4.11 有害紫外線モニタリングネットワークの参加サイト一覧

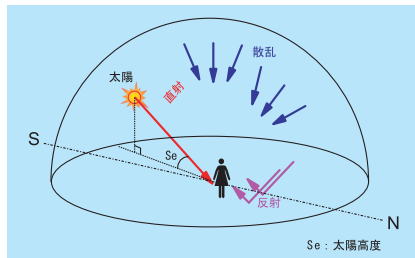


© NIES

図 4.12 有害 UV モニタリングネットワーク計測結果例

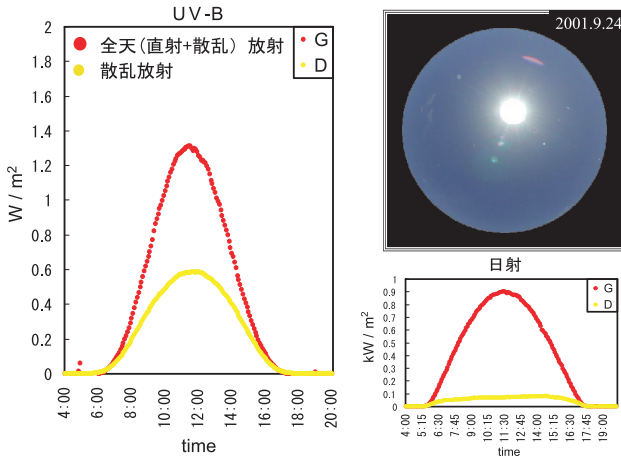
4.6 太陽紫外線の散乱特性

太陽紫外線は、2.2で述べたように赤外線や可視光に比べて波長の短い光です。このため、紫外線は大気中に存在する酸素分子、窒素分子、大気汚染物質などにぶつくと散乱しやすいのです。実際に測定される太陽紫外線には、太陽方向から散乱されずに届く直達光と、大気中の分子やエアロゾルや雲などに反射・散乱されて太陽方向以外からくる散乱光と地面などからの反射光が含まれています。このため、測定された紫外線は、一般に直達光、散乱光、反射光の総和です。屋外の紫外線の直射、散乱、反射の様子を図4.13に示します。なお、8章で述べるように、雪環境を除く



© Tokai University

図 4.13 屋外の太陽紫外線（直射・散乱・反射）の概念図

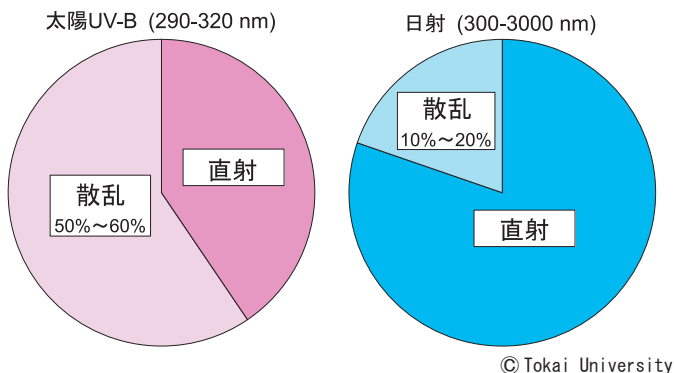


© Tokai University

図 4.14 快晴日の天空写真と紫外線 UV-B と日射の全天（直射+散乱）放射量と散乱放射量の比較

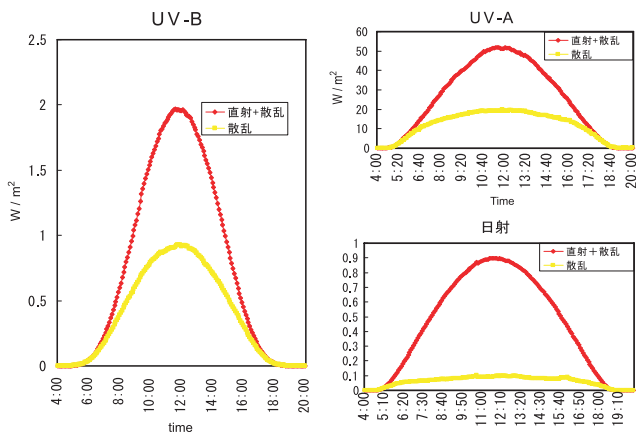
通常の戸外環境では反射光の影響はほとんど考慮する必要はありません。

ここでは、快晴日の UV-B (290 ~ 320nm) と日射 (300 ~ 3000nm) に占める散乱成分の割合を、一日の変動として、全天放射量 (直達光と散乱光の総和) と散乱放射量 (散乱光) を比較します (図 4.14)。図の右上には測定時の雲のない快晴状態を天空写真で示しました。図からわかることは、雲一つない快晴日でも、波長の短い UV-B は空気分子やエアロゾルな



© Tokai University

図 4.15 快晴日の紫外線 UV-B と日射に占める直射成分と散乱成分の割合



© Tokai University

図 4.16 快晴日の紫外線 UV-B、UV-A と日射の全天 (直射+散乱) 放射量と散乱放射量の比較

どに散乱され、散乱光が 50% を越えています¹⁻²⁾。一方、波長の長い光を主成分とする日射は、90% 以上が直達光（直射光）で散乱光は 10% 程度です。この関係をわかりやすく円グラフで示すと図 4. 15 となります。なお、UV-A も UV-B と同じように散乱性が大きいことが図 4. 16 からわかります。完全な曇り日についてみると、日射も UV-B も散乱光として存在していることがわかります（図 4. 17）。雲が天空一杯に広がっている状態は天空写真で示しました。

一年間を通してみると、快晴日は月に数日しかありません。一般に晴れの日と呼ばれる日の紫外線は約 80% 以上が散乱光です。つまり、私たちが日々浴びる紫外線は散乱光と考えてください。まとめると、地上に届く太陽紫外線は散乱光です⁹⁻¹²⁾。従って、紫外線の人体影響を考えるときには、散乱する紫外線への配慮が重要といえます。後述する UV 防御の決め手は、散乱光防御対策なのです。

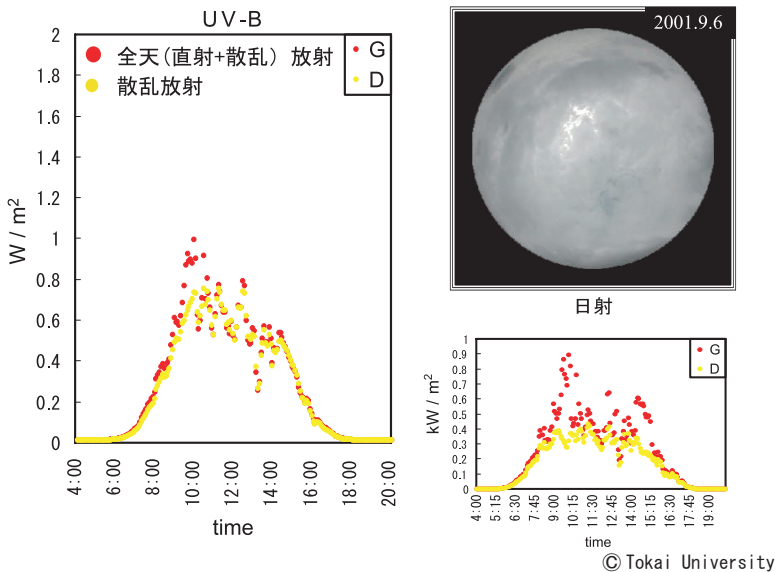


図 4. 17 曇天日の天空写真と紫外線 UV-B と日射の全天（直射＋散乱）放射量と散乱放射量の比較

4.7 太陽紫外線の測り方 ー特徴と課題ー

紫外線計測法は、大きく化学計測法、生物計測法、物理計測法に分類されます¹³⁾。さらに、対象が太陽光か人工光源かによって測定法は大きく異なります。太陽紫外線を測定する場合には、可視光や赤外線などの領域外光の除去が不可欠です。一方、人工光源の場合には領域外光を放射していない光源もありますから領域外光除去は必要がない場合も多いのです。紫外線計測の分類と特徴を表 4.2 に示します。以下に、太陽紫外線 UV の計測を例にとって、各測定法の違いを簡単に説明します。

生物計測法としては、宗像の開発した DNA 損傷効果を評価するバイオドシメトリーが実用されています¹⁴⁾。生物計測法の利点は太陽紫外線による生物損傷効果量を測定できることです。しかし、生物損傷効果は多種多様であり、さらに実時間測定ができないという欠点があります。詳細は参考文献をご覧ください。

化学計測法は種々開発されていますが、生物計測法と同様に実時間計測には不向きです。化学計測法としては、ホトクロミック物質の色変化を利用する手法が簡便性も伴って、種々考案されています。しかし、目視による定性的評価が一般的です。定量性のあるものとして、polysulphone film¹⁵⁾ が個人被曝量測定用としてヨーロッパで普及しています。なお、1930 年代の日本で、化学計測法による太陽紫外線計測が行われたという記録があります¹⁶⁾。

以上述べたように、生物計測法、化学計測法のいずれも実時間計測には不向きなため、全天候での実時間計測を目的とする太陽紫外線計測では、物理計測が主流となります。

物理計測法には大きく2種類、分光計測と帯域分光計測があります。分光計測法の代表は気象庁で使用している波長走査型分光光度計ブリューワ分光光度計です。波長スキャンによって太陽紫外域のスペクトルが測定できるという利点があります。しかし、高価であると同時に、何処でも誰でも計測できる計測法ではありません。一方、帯域分光計測は、物理計測法の中では簡便な取り扱いやすいものです。しかし、帯域分光ではUV-B波長域で理想的な矩形の分光感度を実現できないため、感度定数変動の把握が重要となります。生物効果量、人の紅斑効果量を測定する帯域分光型計測器もあります。しかし、生物効果量は千差万別なので、生物効果で重みづけた帯域分光での測定評価は目安と考えるのが妥当です。東海大学で開発した帯域型太陽紫外線UV-B計測器¹⁷⁻²¹⁾は独立行政法人国立環境研究所のUVモニタリングネットワークでも使われています。また、日本初の太陽紫外線UV-Bの気象庁による観測は、この計測器とブリューワ分光光度計とで行われました²²⁾。現在のところ、日本における太陽紫外UV-Bの計測では、簡便という利点を持つこの帯域分光型測定器による計測が主流と考えてよいでしょう。太陽紫外UV-A計測も帯域分光型が主流です。

表 4.2 紫外線計測法の分類と特徴

	計 測 量	光 検 出 器	検出 単位	備 考
化学計測	・系に吸収された 光子数	・化学物質（量子型）光化学 反応の収率	個 /m ² ・s	NIST 熱電対基準、 実時間計測不可
生物計測	・系に吸収された 光子数 ・作用効果量	・各種生物（量子型）生物の 光損傷効率	J/m ²	NIST 熱電対基準、 個々の生物に依存、 実時間計測不可
物理計測	・放射源の放射 スペクトル分布 ・放射源の放射 エネルギー	・光電変換素子（量子型） ・熱電対（熱型）	W/m ²	実時間計測可、 微弱光測定可、 検定基準なし、 素子の経年変化

(佐々木, 2002)

ここで、帯域分光型太陽紫外線計測器による計測の注意点をまとめます。

1. 太陽紫外計測器の校正基準は国内外で確立されていません。このため、計測器の感度校正法は製造メーカー毎に独立です。従って、異なるメーカーの計測器による測定値の直接比較はできない。比較は、計測器間の換算係数を求めた後に行うこと²³⁾。
2. 領域外光の除去と散乱光の有効補足が重要です。人工光源用計測器の使用はできるだけ避け、太陽紫外線専用の計測器を使用するように心がけること。注：人工光源用の計測器は、領域外光除去を必要としないため、領域外光除去対策が施れていない場合、このような計測器で太陽紫外線を計測すると地上に到達していない UV-C が検出されるという誤った測定となる場合があります（これは実際あった話）。
3. 計測器自身の太陽紫外線・熱による経時変化・劣化に配慮すること。精度の高い計測を実現するには、定期的校正（最低1回/年）を実施すること。
4. 屋外設置型の連続計測では、計測器の定期的メンテナンスを実施すること。

東海大学では1990年から、開発した計測器を使用して太陽紫外線UV-Bの連続観測を行ってきました。著者等は上記の問題点を認識した上で、

- 1) 絶対校正値は快晴時の分光計測結果に基づいて決定する。
- 2) 経時変化は複数本の分光放射照度標準電球で評価する。

の二本立てで計測値校正を行っています。過去10年間連続計測してきた太陽紫外線UV-Bのトレンド解析については文献⁴⁾を参照してください。

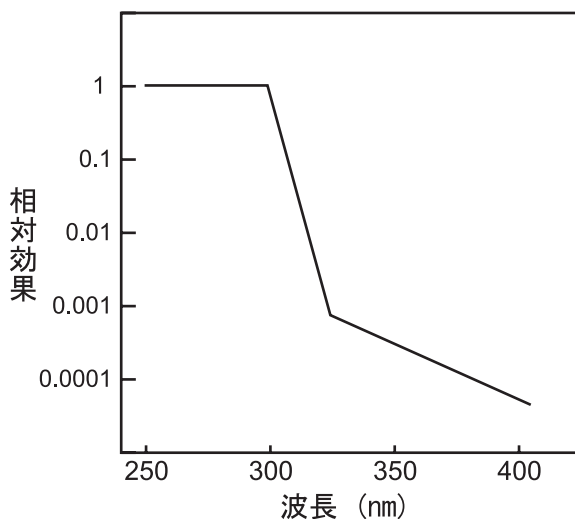
太陽紫外線の測定は、常に精度向上との戦いで、並大抵な努力では実現できません。当面の課題は、紫外線計測器の校正基準の確立²⁴⁻²⁵⁾、太陽紫外線の連続観測、太陽紫外線による人体リスク評価法の確立²⁶⁾などでしょう。これらの課題が解決し、国内外でデータが共有できた時に、太陽紫外線の計測課題は解消されたといえるのではないのでしょうか。

第 5 章

太陽紫外線の人体リスク を考える

最近“紫外線 (UV) は危険”という話題をよく耳にします。どのように、何故、紫外線は危険といわれるのか。その意味をここで考えて見ましょう。

紫外線は私たちの日常生活に欠かせない重要な光です。この本では言及しない人工光源から放射される紫外線は、電子部品や回路の精密加工、純水製造など IT 関連産業では必需品です¹⁾。さらに、日本で普及している蛍光灯の発光、水殺菌、光触媒作用等に、紫外線は日常生活の援軍として大活躍しています²⁻⁴⁾。これは2章で述べたように、紫外線の持つ化学作用力によるのです。しかし、見方を変えると、化学作用の大きい紫外線を人体が無防備に多量に浴びれば、露出されている皮膚や目で、細胞構成分子が化学変化を起こしたり、DNA 損傷反応が起こり、身体的損傷、つまり日焼け、皮膚がん、白内障、免疫機能低下による感染症の発症等が起こることは自明の理です。ここで、“紫外線は危険だから防御が必要”という理由をはっきりさせておきましょう。まず、紫外線が身体にどのような作用を引き起こすのか、紫外線が身体に与える“リスク”、つまり“危険度”について考えてみましょう。



(Mackinlay ら, 1987)

図 5.1 ISO/ 国際照明委員会 (CIE) の参照紅斑作用スペクトル

健康人が受ける“紫外線リスク”には、良く知られている日焼け、皮膚がん、白内障、免疫機能低下、光線過敏症などが挙げられます⁵⁾。リスク評価は、

1) 波長ごとの紫外線作用効果を示す作用スペクトルを知ること。

2) 自分が生活している住環境にある紫外線スペクトル分布を知ること。から始まります。一般に知られている作用スペクトルの代表例として、皮膚に対する ISO/CIE 参照紅斑作用スペクトル⁶⁻⁷⁾を図 5.1 に、目に対する ACGIH の許容被曝限界作用スペクトル⁸⁾を図 5.2 に示します。(ISO : International Organization for Standardization, 国際標準化機構、CIE : 国際照明委員会、ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 米国政府産業衛生官会議) これらの作用スペクトルから、どの波長の紫外線が危険かはすぐに判断できます。紫外線リスク、つまり危険度は、作用スペクトルに住環境の紫外線スペクトルを乗じて求めることができます。しかし、各人の住環境にある四季折々、時々刻々変化する紫外線スペクトルを知ることが不可能に近いでしょう。このため、紫外線リスクは、作用スペクトルと標準太陽紫外線スペクトルとの積として推算した

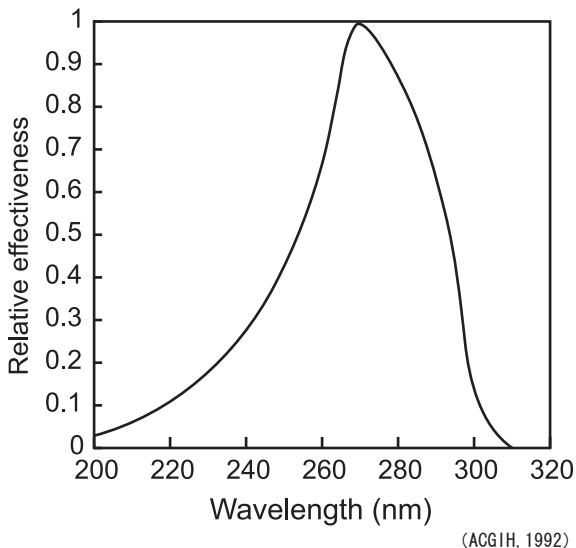


図 5.2 米国政府産業衛生官会議 (ACGIH) の目に対する許容被曝作用スペクトル

後に、防御法を考案する事になります。リスクあるいは防御のための標準太陽紫外線スペクトルが、オーストラリアやニュージーランドなどでは定められています⁹⁾。しかし、日本では紫外線リスク評価のための標準太陽紫外線スペクトルは未だ提案されていません。そこで、日本の中緯度に位置する平塚で実測された夏と冬の快晴日の太陽紫外線スペクトル(図 5.3)と図 5.1 の積として、夏と冬の紅斑効果を算出してみました(図 5.4)。夏と冬では紅斑量に大きい差がみられます。この結果を参考にすれば、夏の戸外活動には必ず紫外線防御が必要であるけれども、冬の短時間の戸外活動では紫外線防御にそれほど神経質になる必要は無いことがわかります。つまり、夏と冬では太陽紫外線の防御法は異なるということです。後述するように、冬の雪環境では UV-B、UV-A 防御は必須条件です。なお、ここで求めた値は参考値です。理由は、各人の紅斑量は、スキンタイプや住環境の太陽紫外線スペクトルに依存して異なるからです。将来、身体の部位別に、時間別・季節別に人体が受ける紫外線量が簡便に実測できるようになれば、リスク評価の信頼度は高まり、現在よりも効果的な紫外線防御法が提案できるでしょう。4章で示した屋外環境の太陽紫外線を参考に、次章で人の目と皮膚への紫外線作用を具体的に検討していきます。

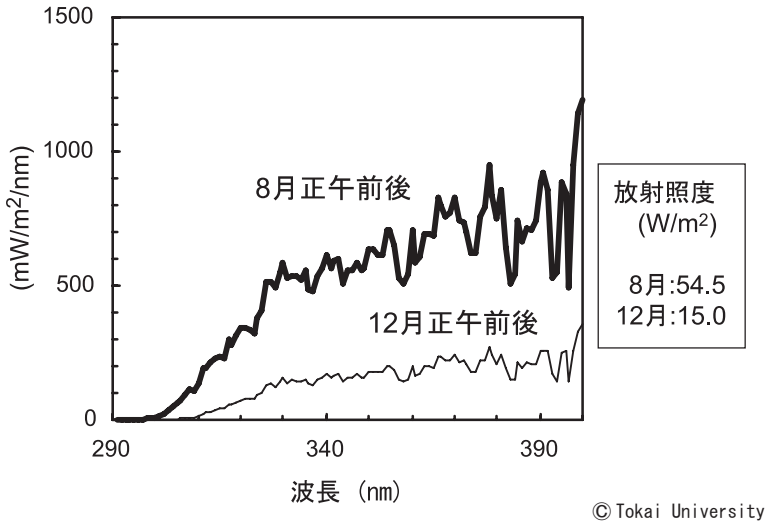


図 5.3 夏と冬の快晴日の太陽紫外線スペクトル

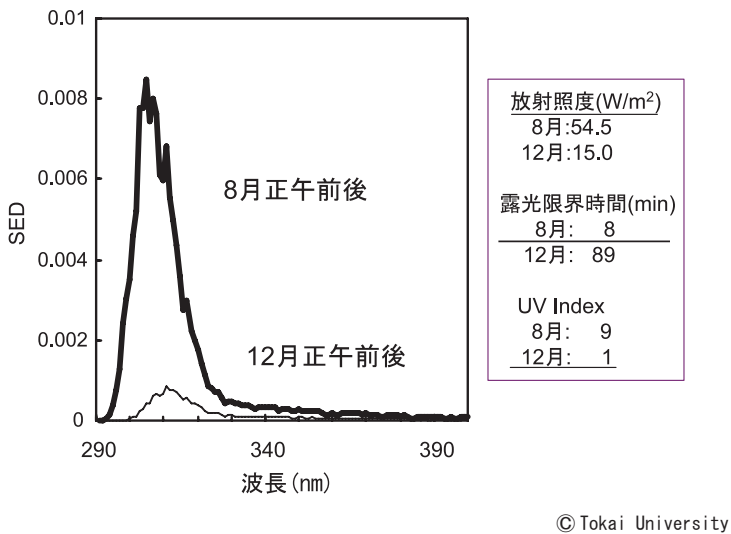


図 5.4 夏と冬の紅斑効果量の比較 (図 5.1 と 5.3 による計算値)

第 6 章

太陽紫外線の目と 皮膚への作用

6.1 目への作用

- 1) 目への光透過特性と紫外線障害
- 2) 目の紫外線防御

6.2 皮膚への作用

- 1) 皮膚への光透過特性
- 2) 皮膚の紫外線障害
- 3) 日焼け効果とスキンタイプ
- 4) 日焼け効果の男女差、年齢差

人体への紫外線リスクを考える場合、光に曝されやすい皮膚と目が標的になることは疑いのない事実です。さらに、免疫機能の低下を考える場合も、皮膚や目が受ける紫外線損傷の帰結と考えて差し支えないでしょう。そこで、本節では、紫外線が目と皮膚にどのように作用するかを見ていきます。

6.1 目への作用

1) 目への光透過特性と紫外線障害

紫外線の作用は、紫外線の透過・吸収特性に大きく依存します。まず目への紫外線の透過・吸収特性を可視光、赤外線との透過・吸収特性と一緒に示します(図 6.1)¹⁾。前述したように目の構造はカメラの構造に似ています。目の水晶体は結像レンズとして働くと同時に紫外線吸収フィルターの役割も担っています。水晶体蛋白質は、紫外線を吸収すると酸化凝集していきます。近年増加をみせている老人性白内障は、長寿命化に伴う長年月におよぶ UV-B や UV-A 曝露が主原因といわれます。最も一般的な紫外線障害は、角結膜炎で、雪面の UV-B 反射(雪目)や殺菌灯(紫外線 UV-C : 253.7 nm)²⁾に直接目をさらした時などに起こります。UV-B や UV-C を浴びている時には何等の自覚症状はなく、数時間の潜伏時間を経て激痛が起こります。通常、紫外線は角膜で吸収されるため、網膜には障害を与えずほとんど一過性ですが、繰り返すと白内障になります。前述した目およびその周辺部に対する紫外線の許容限界値(Threshold Limit Value: TLV)(図 5.2)³⁾が国際的に活用されており、日本でもこの値を基に JIS (Japanese Industrial Standard : 日本工業規格)が制定されています。

2) 目の紫外線防御

目の紫外線傷害は遮光眼鏡(サングラス)などの使用で完全に防止できます。屋外でのスポーツやアウトドア・レジャーなどでは、是非とも紫外線カット眼鏡の装着を習慣づけて欲しいと思います。なお、紫外線は可視光に比べて散乱性が高いので、長時間の戶外活動ではゴーグルタイプの眼鏡着用が望まれます。紫外線カット眼鏡を選ぶときの目安をここに示しておきます^{4,5)}。第一は、紫外線カットが表示された製品を選ぶこと。第二

は色のあまり濃くないものを選ぶこと。人の瞳（虹彩）は可視光の明暗に応答して開閉します。色の濃いサングラス使用時は瞳孔が開きます。しかし、紫外線カット処理が不十分な色の濃い眼鏡の場合は、入射する可視光が少ないために、さらに光を取り込もうと瞳孔が大きく開き、目に有害な紫外線を多く取り込む結果となります。しかし、太陽がギラギラ照りつける環境、海辺や雪面ではグレア（まぶしさ）もカットしなくてはなりませんので、色の濃い紫外線カット眼鏡が適しています。偏光眼鏡は海面からのギラギラ反射がカットされ海釣りには最適です。しかし、この眼鏡をかけたままの車運転はご法度です。トンネルから明るい外へでたところで事故を起こす危険性が伴います。眼鏡は用途別に選んで使ってください。第三は、軽量で衝撃にも強いプラスチック、特にポリカーボネートレンズがお勧めです。

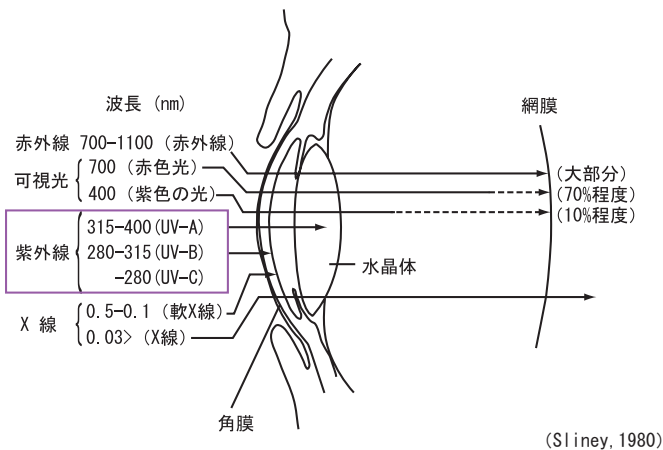


図 6.1 目への光の透過特性

6.2 皮膚への作用

1) 皮膚への光透過特性

皮膚は身体の最外層を覆う臓器です。内臓を守り、体温を調節し、光を必要なだけ取り込むフィルターとしても機能しています。また、肌色で健康状態も判断できるといわれます。身体の表面を覆う皮膚は弾力性や伸縮性に富み場所によって厚みが違います。大人では体重の約 15-16% を占め、総面積は約 1.6 m^2 あります。皮膚の構造は、表層から順に角質層、表皮、真皮、皮下組織となっています（図 6.2）⁶⁾。図には光の波長別透過特性も合わせて記載しました。表皮の最下層には基底細胞が基底層を形成し、この所々に紫外線を吸収してメラニン色素顆粒を生産するメラノサイトがあります。表皮の基底層では常に細胞分裂が起こり新しい細胞が生まれ、上層細胞へと分化し、最上層で核を失った死細胞となり、角質化し、垢として絶えずはがれ落ちています（図 6.3）⁷⁾。この細胞分化は表皮の turnover と呼ばれ、健康な普通の人の表皮では 26-28 日の周期で繰り返されます。紫外線で日焼けした肌も約一ヶ月後には元の肌色に戻るの、表皮のこの仕組みによるのです⁸⁾。

紫外線は図 6.2 にみるように、皮膚の表面でそのほとんどが吸収されてしまいます。UV-B は皮下 0.1 mm まで 2-8% 透過しますが、0.5 mm より深くには届きません。UV-A の透過率は、皮下 0.1 mm で 50-60%、0.5 mm で 7%、1.0 mm では 0.5% と低下しながら真皮にまで達します。皮膚の色は人種、生活環境によって異なりますが、白い皮膚では UV-A の平均 30-40% が反射され、黒い皮膚では 16% 程度しか反射されません。白い皮膚は反射によって、黒い皮膚は吸収によって紫外線障害から皮膚を守っているといわれています。しかし、日焼け（サンバーン）を起こす UV-B の皮膚透過性は皮膚色に無関係といわれています⁹⁾。つまり、皮膚がんを起こすような、過度の日焼け行為は全ての人が避けるべきことなのです。なお、これまで必要とされてきた幼児の日光浴は、太陽紫外線の有害性が明らかになるにつれ、見直しが必要とされ母子手帳からはなくなりました。

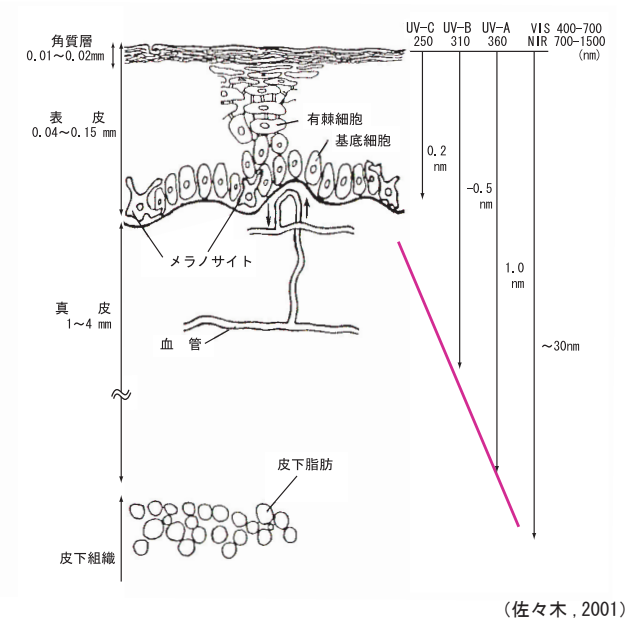
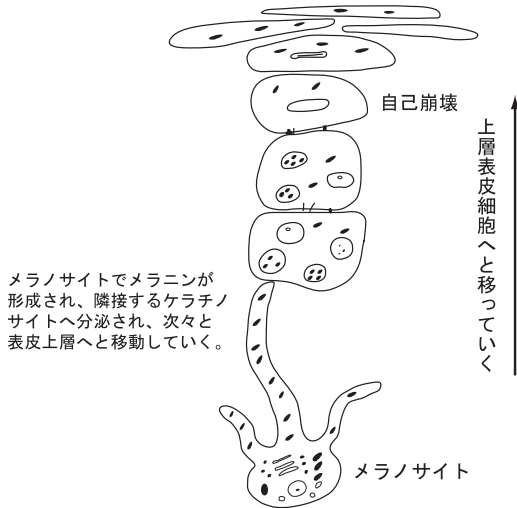


図 6.2 皮膚の構造と光の透過特性



色素沈着の仕組み

(坂田・佐々木, 1978)

図 6.3 皮膚の日焼けによる色素沈着過程

2) 皮膚の紫外線障害

皮膚に太陽紫外線 UV-B が当たると、程度の差はあれ誰にでも日焼けが起こります。日焼けは、皮膚が赤くなるサンバーン（紅斑生成）反応とそれに引き続いておこるサンタン（色素沈着）反応との総合反応です⁷⁾。普段余り紫外線にあたらない生活をしている人が、海水浴などにでかけた時に、急激に強い紫外線を浴びた数時間後から皮膚は真っ赤（紅斑）になり、ひどい時には水ぶくれを伴うこともあります。このような状態は8時間から12時間でピークに達し、数日間続くのがサンバーン反応です。サンバーンが治まると、メラニン色素の沈着による皮膚の黒化がはじまります。これがサンタンと呼ばれる日焼けで、皮膚に生成された自然のサンスクリーンです。サンタンは数週間から数ヶ月持続されます。サンバーンはDNA損傷反応ですから皮膚がんの要因にもなります。この原因となる紫外線は主にUV-Bです。日焼けの作用スペクトル（図5.2）を見ると、UV-C波長域で作用効果は最大となっています。しかし、地上に届く太陽光にはUV-Cはないので、屋外スポーツなどでの日焼けはUV-Bが原因光なのです。過度の日焼け（サンバーン）を繰り返せば、皮膚の老化を促進させ、良性・悪性腫瘍発症の誘因となります。また、紅斑が生じない程度の弱いUV-Bの長時間照射が発がん率を高め¹⁰⁾、成層圏オゾン破壊によるUV-Bの増加が皮膚がんを増加させ¹¹⁻¹²⁾、ストレスが日焼けに影響する¹³⁾などの報告もあります。太陽紫外線UV-Bが存在すると考えられる環境では、皮膚を安易にUV-Bに曝さないように気をつけましょう。なお、日本人の皮膚がん発生率は30年前に比較して約10倍になっていますから¹⁴⁾、屋外スポーツやアウトドア・レジャーではUV-Bカット対策が必須といえます。

日焼け以外に紫外線で起こる皮膚障害が知られています。遺伝的、あるいは病気から併発されるものではなく、普通の人でも条件が整えば誰でも発症するものに、光線過敏症¹⁵⁻¹⁷⁾があります。これは人体に何らかの形で取り込まれた物質と紫外線との相乗作用でサンバーン現象が誘起される反応です。この皮膚障害には、作用物質が皮膚に一定量蓄積され、さらに

一定量の作用光が曝露されると理論上 100% 発現する光毒性反応と特異な免疫機構を介して発現する光アレルギー性反応とが知られています。ほとんどの場合、紫外線 UV-A が作用光となります。光線過敏症の原因となる物質（光増感剤）は植物、食品、医薬品、化粧品、香料、化学工業薬品、除草剤、殺虫剤など様々な物質の中に数多く見いだされています。薬は病気を治すために不可欠です。しかし、高齢化社会を迎えた日本では薬の多用による光線過敏症も知られるようになってきました。これまでに光線過敏症を引き起こした薬を表 6.1 に示します¹⁸⁾。この表にある薬を使用中

表 6.1 薬剤性光線過敏症の主な原因薬

薬剤の種類	薬 剤 名
向精神薬	フェノチアジン系：クロルプロマジン、プロメタジン
筋弛緩薬	アフロクアロン
抗ヒスタミン薬	ジフェンヒドラミン、メキタジン
抗菌薬	ナリジクス酸、エノキサシン、オフロキサシン、シプロフロキサシン、ロメフロキサシン、スパルフロキサシン、フレロキサシン、トスフロキサシン、ドキシサイクリン
抗真菌薬	グリセオフルビン、フルシトシン、イトラコナゾール
消炎鎮痛薬	ケトプロフェン、チアプロフェン酸、スプロフェン、ピロキシカム、アンピロキシカム、アクタリット
血圧降下薬	ヒドロクロロチアジド、トリクロルメチアジド、メチ克蘭、クロフェナミド、トリパミド、メトラゾン、フロセミド、塩酸チリソロール、ピンドロール、塩酸ジルチアゼム、塩酸ニカルジピン、ニフェジピン、カプトプリル、リシノプリル
抗糖尿病薬	トルブタミド、クロルプロパミド、グリベンクラミド、カルブタミド、グリミジンナトリウム
痛風治療薬	ベンズブロマロン
抗腫瘍薬	5-FU、テガフル、ダカルバジン、フルタミド
高脂血症治療薬	シンバスタチン
前立腺肥大治療薬	タムスロシン
光化学療法剤	8-メトキシソラレン、トリオキシソラレン、ヘマトポルフィリン誘導体
ビタミン剤	エトレチナート、ピリドキシリン、VB12
局所麻酔薬	ジブカイン

(上出, 2003)

の方は担当医に相談されることをお勧めします。

なお、屋外スポーツでは、否応なく太陽紫外線を浴びます。日本人の生活習慣の変化に伴ってアウトドア・レジャーが盛んになり紫外線を浴びる機会は増える傾向にあります。日常生活で、UV-Bによる皮膚がんやUV-Aによる光線過敏症から身体を守るために、4章で述べた太陽紫外線UV-BとUV-Aの一日の変動や季節変動を把握しておくで役立つでしょう。また、サンバーン後に皮膚が黒くなるサンタンは、自分の身体につくられた紫外線カットスクリーンです。夏のバカンスシーズンには、休みに入った1日目には太陽紫外線に当たる時間を自分の最少紅斑反応時間より短い時間に設定し、数日かけて自然のUVカットスクリーンを皮膚に上手に形成させてから、戸外活動をエンジョイしてください。

3) 日焼け効果とスキントイプ

日焼け(サンバーン)の状態は、スキントイプによって大きく異なります。人のスキントイプは表 6.2 に示すように大まかに6段階に分けられています¹⁹⁾。日本人で一番多いスキントイプはⅢといわれています²⁰⁾。このスキントイプの人は、真夏の日中に太陽光を約20～25分浴びると僅かに日焼け(サンバーン)を起こします。赤み(紅斑)を生じる最少の紫外線エネルギーを最少紅斑量(MED: minimal erythema dose)といいます。ひどい日焼けを繰り返すと皮膚がんになるリスク度が高くなります。特にスキントイプⅠの人は用心が必要です。スキントイプⅠの人は最も紫外線による障害を受けやすく、UV-BによるDNA損傷はスキントイプⅢの3～5倍といわれます。しかし、どのスキントイプであっても、水ぶくれを伴うような日焼けは決してしないように、帽子、パラソル、長袖シャツ、日焼け止めクリーム、日陰を有効活用してください。

ここで、注意事項です。サンバーン反応(微かな日焼け)は太陽光を浴びるとすぐに目視できるわけではありません。太陽光を浴びた数時間後から、8～24時間後をピークに皮膚が真っ赤になり、ひどい時には水ぶくれを伴ったり、一見火傷状態になるのでサンバーンと呼ばれるのです。従って、真夏の海岸で真っ赤にならないから平気だよと紫外線防御対策をしな

いで長時間を過ごす、その日の夜に熱を出し、水ぶくれができて大騒ぎとなります。毎年、湘南海岸で一日中遊んだ挙句、重症のサンバーンを起こして大学病院に担ぎ込まれる人がいます。一晩中ウォーターベッドに寝かされて寝返りもできず大変です。紫外線防御対策は、夏の外遊びには不可欠なのです。サンバーンの消失に伴って皮膚は褐色になっていきます。この皮膚の黒化をサンタン（遅発型黒化）といいます。これは前述したメラニンによる天然のサンスクリーン生成です。サンタンは1ヶ月以上も持続します。この天然のサンスクリーンを上手に活用しましょう。

なお、皮膚科医は日本人のスキントイプを3タイプに分類します²¹⁻²²⁾。紫外線、紫外放射という用語の不統一と同様に、化粧品科学者と医学者との統一見解の醸成が望まれるところです。

表 6.2 スキントイプ分類

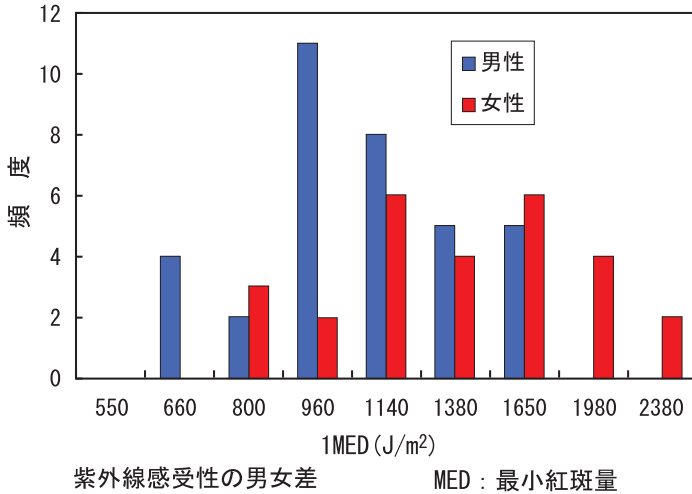
		日本人 (%)
I	すぐ日焼け（赤くなる）し、決して黒くならない	18
II	すぐ日焼け（赤くなる）し、わずかに黒くなる	28
III	日焼け（赤くなった）後、いつも黒くなる	30
IV	あまり日焼け（赤くなる）せず、すぐ黒くなる	16
V	滅多に日焼け（赤くなる）せず、非常に黒くなる	7
VI	決して日焼け（赤くなる）せず、非常に黒くなる	1

日本人の平均的最少紅斑量の目安：
夏の晴れた日の昼間に20～25分に受ける太陽紫外線量

(Fitzpatrick, 1988 と福田, 1991)

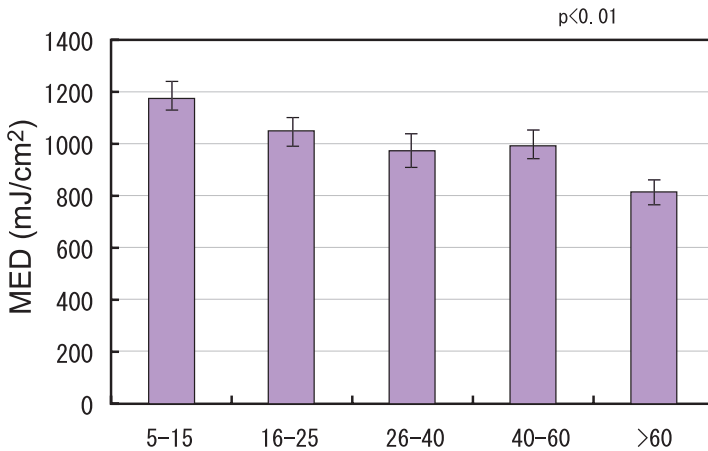
4) 日焼け効果の男女差、年齢差

残念なことに、男性は“日焼けリスク”や紫外線カットに対する認識が甘いのです。60歳以上の男性方のお顔を拝見すると、ほとんどの方に老人性色素斑とよばれるしみが発見できます。これは、若い頃に紫外線カットを軽視した証です。実は、サンバーンに必要な最小紫外線量（最少紅斑量）の平均値を男性と女性で比べてみると、男性の方が紫外線に対する感受性が高い、つまり男性が女性に比べて少ない紫外線量で日焼けすることが知られています²³⁻²⁴⁾（図 6.4）。この図に示したデータは日本人の場合ですが²³⁾、国外でも同様の結果が得られています²⁴⁾。人生 80 余歳の時代を迎えた日本では、男性も紫外線を防御する時代到来との認識が必要なのです。さらに、最少紅斑量は年齢と共に低下します（図 6.5）²⁴⁾。高齢者は免疫機能も低下していきますから、紫外線を浴びすぎて免疫機能低下をさらに促進させる必要はないでしょう。60歳を過ぎたら過度の日焼けは避けましょう。一方、子供や若者の最少紅斑量が大人より大きいからといって、紫外線を大量に浴びても大丈夫というわけではありません。人は20歳までに、一生涯に浴びる紫外線量の半分以上を浴びてしまうといわれています。これが、後年の皮膚がん、免疫機能低下などの引き金になるともいわれています。子供の頃から、長時間戸外で活動する際には、過度な日焼け（サンバーン）は避け、夏には自分自身のサンスクリーンが上手に保持できる日焼けの仕方を工夫して、さらに、衣服や帽子を着用し、日焼け止めをつけるなどの紫外線防御法を上手に利用することです。



(長沼ら, 1995)

図 6.4 日焼けに要する紫外線量 (最少紅斑量) の男女差



(Amblad, P. ら, 1982)

図 6.5 日焼けに要する紫外線量 (最少紅斑量) の年齢差

第 7 章

太陽紫外線対策を考える

- 7.1 各国のサンプロテクションプログラム
- 7.2 UV インデックス

太陽紫外線防御という考え方は日本では未だに定着していません。紫外線防御は女性に広まっていますが、その防御法には多々間違いも見られます。さらに問題なのは、最も考慮されるべき幼児、児童、生徒への教育現場での紫外線防御に対する真剣な取り組みがほとんど見られないことです。環境省は「紫外線保健指導マニュアル」を平成15年6月に策定しましたが、学校教育の現場で十分に活用されているとは言いがたいのが現状です。

この現状と対照的なのが、古くからの伝統です。紫外線が一年中強い地方では、紫外線の防御対策はしっかりと行われています。昔から漁は早朝に行われ、日中は農作業を休む習慣が守られています。日中の農作業のいでたちは、長袖、長ズボン、手甲、タオルで顔を包んで散乱光をさけ、さらにつばの広い麦わら帽子を被るなどが実行されています。最近では、サングラスが加わり理想的な形が普及し、その上、熱中症予防の飲み物も上手に利用されています。雪国でも、反射光を避ける工夫が古くから行われていました。その一例は、反射の少ない緋を着ることと目を守る工夫です。エスキモーのスリットを利用する遮光法は、氷や雪からの強い紫外線反射から目を守る工夫です。これと同じ工夫が、日本でも雪国の土偶に残されています（図7.1）。



青森県木造町亀ヶ岡遺跡出土
縄文時代/前1000~400年
北方民族のイヌイットが雪中の
光除けに着用した「遮光器」に
似ていることから「遮光器土偶」
と呼ばれ、東北地方の晩期土偶の
特色となっている。

(弘前大学 皮膚科学教室
花田勝美教授 写真提供)

図7.1 雪の反射から目を守るスリット使用モデル（雪国の土偶）

暑い夏に太陽光を避ける理由は大きく三つあります。第一は熱中症にかからないように赤外線（熱線）から身を守ること、第二は水ぶくれを伴う火傷のような日焼け（サンバーン）をしないように紫外線から身体を防御することです。第三はぎらつく太陽から目を守ることです。太陽光防御を怠ったために、皮膚がんや白内障になる人もいます。さらに、日焼けは免疫機能を低下させるため、感染症にかかりやすくなります。この章では、紫外線防御に早くから取り組んでいる諸外国の例を概観します。

7.1 各国のサンプロテクションプログラム

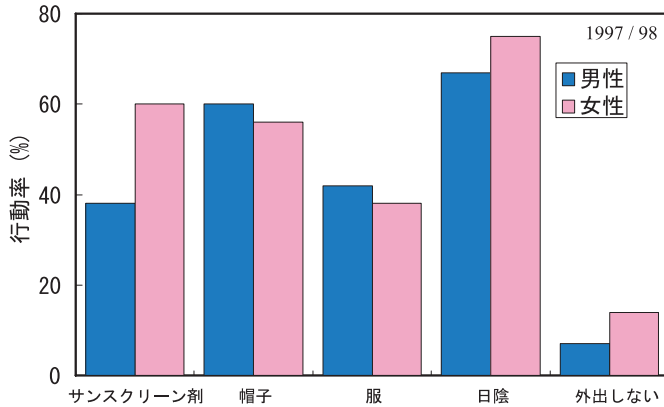
近年紫外線対策を論ずる場合、世界保健機関 (World Health Organization : WHO) をはじめとして "Sun Protection" という用語が使われ、"UV Protection" は使われません。この表現は各国に共通で、オーストラリアでは "SunSmart" が、米国では "SunWise" が、太陽紫外線防御プログラムとして実施されています。太陽紫外線とその環境関連課題は、この約 20 年の間に、太陽紫外線計測法も含めて格段の進歩をとげました。オゾン層が 1% 破壊されると、太陽紫外線 UV-B が 2% 増加し、皮膚がん、白内障、免疫機能の低下が 3-6% 増加するという UNEP などによる予測¹⁻²⁾ が出はじめた 1980 年代後半当時とは比べ物にならない研究の進展です。太陽紫外線の有害性だけでなく、人類が太陽紫外線と共に進化を遂げてきたメカニズムの解明も進み、紫外線防御という表現がサンプロテクションに変化したのは当然と考えられます。太陽紫外線だけでなく、夏の赤外線による熱中症防御も考慮すれば、私たちに必要なのはサンプロテクションという言い方が理に叶っているということでしょう。また、WHO では、将来を担う子供を教育することが、サンプロテクション普及の近道であるとの見解の下に、大人ではなく子供へのサンプロテクションプログラム推進を強調しています。"SunSmart" を推進しているオーストラリアがん協議会 (The Cancer Council Australia)、"SunWise" プログラムを進めている米国環境保護庁 (United States Environmental Protection Agency : EPA) も同じアプローチで Sun Protection Program を展開しています。著者も "太陽と賢く仲よく元気よく" をキーワードに "SunFriend Program" を開発し、普及に努めているところです。

サンプロテクション先進国のオーストラリアでは、Slip on a shirt, Slop on sunscreen, Slap on hat & Wrap on sunglasses（シャツを着よう、サンスクリーンを塗ろう、帽子を被ろう、サングラスをかけよう）の標語と共に、服・サンスクリーン剤・帽子・サングラスによるUV防御が、子供はもとより一般市民にも徹底しています。UV防御行動率なども調べられており、1997/1998年の夏のニューサウスウェールズでの18歳以上の人に対するアンケート結果（図7.2）は興味深いものです³⁾。この図を見ると、40%以上の人が日陰、帽子を利用し、服によるUV防御を心がけています。オーストラリアは太陽紫外線による皮膚がん発生率世界一というお国柄によると考えられますが、子供が親しみやすいかもめキャラクターを使った街頭キャンペーンなどが定着し、National Skin Cancer Action Weekが設けられています（図7.3）。また、オーストラリアがん協議会による教育用のテキストが発行され、教育現場で子供と教師が太陽紫外線防御対策を学べるように指導しています。

WHOでは2003年に報告書"Artificial tanning sunbeds -risks and guidance-"を刊行し、sunbedの不適切な使用による、皮膚がん、皮膚老化、眼に対する危険性を指摘するとともに、各国政府の法律によるsunbedの規制を訴えています。特に、18歳以下の若者の使用禁止を強く求めています。ここで使われているsunbedとは、我が国でも若者の間で一時流行したいわゆる日焼けサロンのことを指します。

各国のHP情報を以下に示します。いずれも更新されたり、休止することがあります。

WHO: Intersun, The Global UV Project	http://www.who.int/phe/uv
Australia: The Queensland Cancer Fund	http://www.sunsmart.com.au
USA: United States Environmental Protection Agency	http://www.epa.gov/sunwise/
Canada: Children's UV Index Sun Awareness program	http://www.msc-smc.ec.gc.ca/uvindex/
France: Vivre avec Le soleil	http://www.infosoleil.com/vivresveclesoleil.php
Northern Ireland: Care in the Sun	http://www.careinthesun.org/
United Kingdom: Sunsafe	http://www.doh.gov.uk/sunSAFE



(NWS Health Department and NSW Cancer Council, 2001)

図 7.2 UV 防御に関する行動率

National Skin Cancer Action Week *The Sun* Advertising Feature

Sid says enjoy sunshine safely

THE Queensland Cancer Fund is urging North Queenslanders to become sun aware and take action that could save lives.

National Skin Cancer Action Week, from November 14 to 20, aims to increase awareness of the importance of prevention, early detection and treatment of skin cancer.

In the twin cities, an NQ Skin Cancer Action Day is planned for the Willows Markets on Sunday with a host of displays all aimed to protect people from the sun's harsh rays.

Prizes for the most fun items children and adults will be awarded and fashion parades are scheduled for Pam, Ilean and Ilean.

Members of the public will also be able to get a skin type assessment, vital in knowing just how long you can spend safely in the sunshine and kids can meet Queensland Cancer Fund mascot, Sid Segul.

Queensland Cancer Fund Executive Director, Dr Jeff Dunn, said it is important that Queenslanders remain Sun Smart throughout the whole year.

-This Action Week provides a special opportunity to highlight the benefits of being sun aware," he said.

Skin cancers account for 80 per cent of all newly diagnosed cancers in Australia each year, with nearly 700,000 suspected skin cancers removed annually.

The North Qld Skin Cancer Network is hosting the local event which begins at 9am on Sunday.

Queensland has the highest rate of skin cancer in the world with more than 100 Queenslanders dying from melanomas of the skin in 2001.

National Skin Cancer Action Week has been a joint initiative of the Cancer Council, Australia and the Australian College of Dermatologists since 1985.

The week provides the chance to emphasise the development and implementation of sustainable, year-round skin cancer prevention programs.

Last year, the Queensland Cancer Fund Cancer Helpline assisted 3600 North Queenslanders with cancer information, advice and support, including skin cancer.

太陽UVIによる皮膚癌発生率世界一

図 7.3 オーストラリアがん協会の National Skin Cancer Action Week の新聞記事




7.2 UV インデックス

オーストラリアとニュージーランドで生まれた UV インデックス (UV Index : 紫外線防御指数) が、2003 年に国際照明委員会 (International Commission on Illumination : CIE) の国際標準⁴⁾として世界に発信され、2005 年 5 月から気象庁も UV インデックス情報の発信を開始しました。UV インデックス (I_{UV}) は、人に日焼けを起こす紫外線の効果量を示す指標として、次式で定義されます。

$$I_{UV} = k_{er} \int_{250nm}^{400nm} E_{\lambda} S_{er}(\lambda) d\lambda$$

ここで、 E_{λ} は水平面の太陽スペクトル、 $S_{er}(\lambda)$ は ISO / CIE 参照紅斑スペクトル、 k_{er} は定数 $40m^2/W$ ($0.025 W/m^2$)。小数点以下は四捨五入する。実用的には、下記に示すように、0 から 11+ までの数値で表示されます。

UV インデックス (WHO 資料を基に国立環境研究所で作成)

11+	極端に強い		日中の外出は出来るだけ控えよう。 必ず、長袖シャツ、日焼け止めクリーム、帽子を利用しよう。
10	非常に強い		
9			
8			
7	強い		日中は出来るだけ日陰を利用しよう。 出来るだけ、長袖シャツ、日焼け止めクリーム、帽子を利用しよう。
6	中程度		
5			
4			
3			
2	弱い		安心して外で過ごせます。
1			

* UV インデックスは、ISO/CIE (国際照明委員会) の紅斑紫外線量から求めた指標です。紫外線に対する皮膚の反応は、メラニン色素の量やスキントップなどにより一人一人異なります。ここに示したガイドラインはあくまでも大まかな目安であることに留意してください。

環境省 紫外線保健指導マニュアル (平成 16 年 4 月)

© NIES

図 7.4 UV インデックス

第 8 章

屋外で人が浴びる 太陽紫外線とその防御法

- 8.1 屋外環境で人が浴びる太陽紫外線
- 8.2 帽子の太陽紫外線防御効果
- 8.3 木陰の太陽紫外線防御効果
- 8.4 布の太陽紫外線防御効果
 - 1) 布の紫外線防御効果は素材、織、色に依存する
 - 2) 傘の色と紫外線防御効果
 - 3) 布の紫外線防御指標

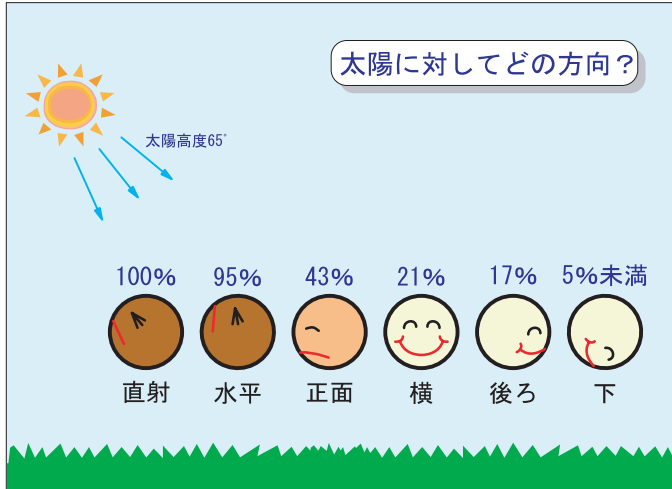
8.1 屋外環境で人が浴びる太陽紫外線

人体の中で顔はいつも外気に曝されている紫外線を浴びやすいところです。はじめに、日本の成人が直立したときの平均顔面の高さで、顔面が浴びる紫外線 UV-B と UV-A の量を、土、コンクリート、芝、海辺の砂、雪の5種類の異なる環境で測定した結果を示します¹⁻³⁾。

土、コンクリート、芝、海辺の砂の環境で測定した結果、太陽光に向かう直射方向の紫外線量 (UV-B、UV-A) を 100% として、顔面が浴びる紫外線量は頭上 95%、正面 50%、側面 20%、後頭部 15% 程度で、下からの反射率は 5% 未満でした (図 8.1)。結論として、人の顔面が浴びる紫外線量は顔が太陽の方向を向いているかどうかで決まるといえます。しかし、冬の雪環境では、雪面からの UV-B 反射率は約 80% と大きく、直射方向の UV-B 量に対して、正面、側面、後頭部が浴びる割合も、他の環境に比べて約 20% 高く測定されました (表 8.1)。太陽高度の低い冬は、直射紫外線量は同時刻の夏の2分の1程度と見積もられます。しかし、雪面で顔が浴びる紫外線量は、反射で増強されるため、夏の紫外線量と同等か、それ以上に強い紫外線に曝されるとわかりました。雪面では、反射する紫外線を防御する対策が是非とも必要といえます。

なお、スキー場や海釣りなどでは、一般的な夏の日焼けと一味違う日焼け、真っ赤な日焼けではなく真っ黒な日焼けを体験した方は案外多いのではないのでしょうか。波長の長い UV-A が大量に皮膚にあたると直後にどす黒くなる現象は即時型黒化とよばれ、通常は1時間以内で消えてしまいます。しかし、強い UV-A が当たり続けると2時間後まで、どんどん色が黒くなり24時間以上続くため、これは持続型即時黒化と呼ばれます。スキー場や海上には反射光があふれています。そのため顔にはあらゆる方向から強い紫外線 UV-A と UV-B が照射されます。また、スキーや海釣りでは長時間その場所に滞留します。このような条件下では、強い UV-A を長時間浴び続けるために即時黒化が持続し、さらに UV-B による日焼け作用も加わり赤くではなく、黒みを帯びた「黒焼け」を生じると考えられます。黒

焼けも紅斑同様、皮膚がさびる－老化現象ですから DNA 損傷もおこります。真っ赤に焼けないからと安心せずに紫外線防御対策には充分気を配ることをお勧めします。



©Tokai University

図 8.1 屋外で人の顔の向きによる浴びる紫外線量の違い

表 8.1 各種屋外環境で顔面が浴びる太陽 UV-B 紫外線量の比較

(W /m² (%))

	太陽高度 65°				太陽高度 30°	
	コンクリート	芝	砂	土	コンクリート	雪
直射	1.68 (100.0)	1.97 (100.0)	1.96 (100.0)	1.82 (100.0)	0.38 (100.0)	0.95 (100.0)
正面	0.74 (44.0)	0.83 (42.1)	0.89 (45.4)	0.77 (42.5)	0.26 (68.4)	0.88 (94.8)
横	0.36 (21.1)	0.43 (21.9)	0.46 (23.2)	0.35 (19.0)	0.13 (34.2)	0.48 (42.9)
後ろ	0.25 (14.9)	0.37 (18.8)	0.41 (20.9)	0.24 (13.4)	0.10 (26.3)	0.43 (36.9)
水平上	1.59 (94.6)	1.91 (97.0)	1.85 (94.4)	1.71 (94.0)	0.38 (100.0)	0.74 (67.7)
水平下	0.04 (2.4)	0.00 (0.0)	0.05 (2.5)	0.02 (1.1)	0.00 (0.0)	0.50 (48.3)

©Tokai University

8.2 帽子の太陽紫外線防御効果

夏、強い日差しを避けるために帽子を被るのは常套手段の一つです。そこで、帽子の紫外線カット効果を調べました¹⁾。太陽高度 65 度の初夏の快晴日に、帽子のつばの長さを 3 cm から 13 cm まで、2 cm ずつ変化させて紫外線カット効果を調べました。標準的なキャップタイプ帽子のつばの長さは約 7 cm で、顔の正面が浴びる紫外線量は 60% 程度カットできました（図 8.2）。しかし、帽子のつばを 13 cm まで伸ばしても、キャップタイプ、全周つばの帽子にしても散乱する紫外線は完全にはカットできません。また、雪面では反射が強いため帽子を被っても被らない場合と同程度の紫外線量を浴びることがわかりました。これらの結果は UV-B、UV-A に共通でした。

8.3 木陰の太陽紫外線防御効果

夏には木陰で涼む場合がしばしばあります。木の高さ 15 m の茂ったけやきの下で、影の長さ 6 m の時に、後方がオープンスペースの街路樹を想定して、1 m ずつ木陰に入っていく方法で紫外線量を測定しました¹⁾。木陰では木に近づくにつれて、太陽に向かう顔面が浴びる紫外線量は木に遮られて大きく減少しました（図 8.3）。しかし、後頭部は日向にいるときに浴びる紫外線量とほぼ同程度で、街路樹などの木陰にいても散乱光があることが確認されました。

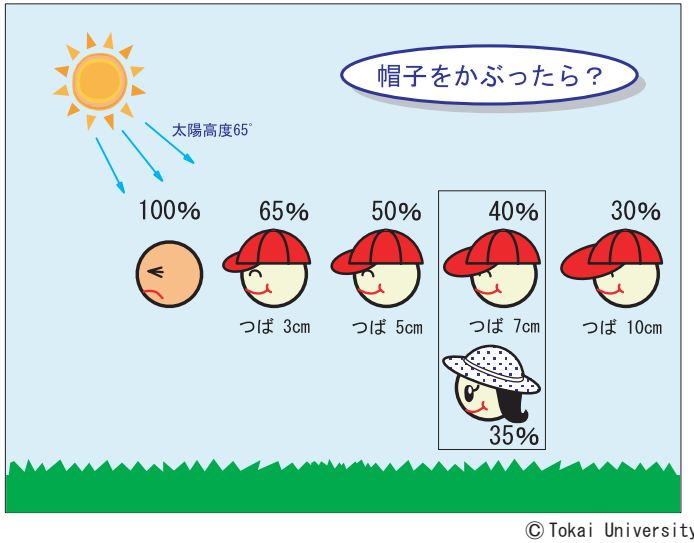
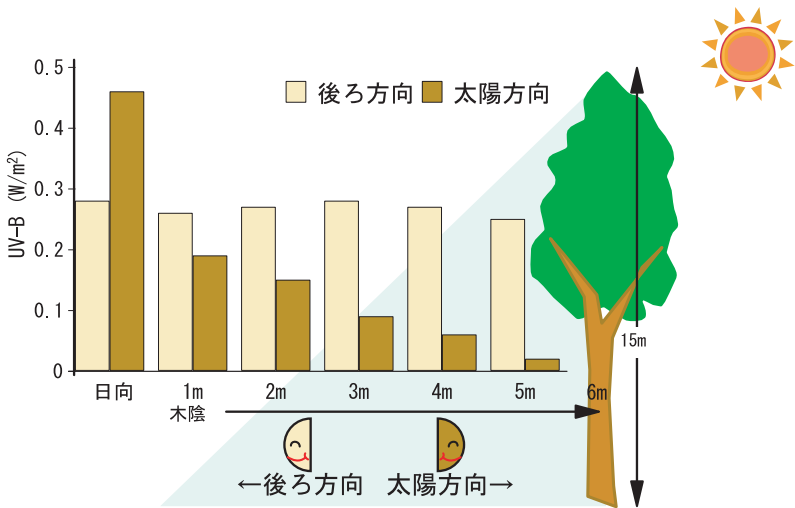


図 8.2 帽子のつばの長さや形による UV 防御効果の違い



木陰のUV: 直射UVはカットできるが散乱UVは日向と同じ

© Tokai University

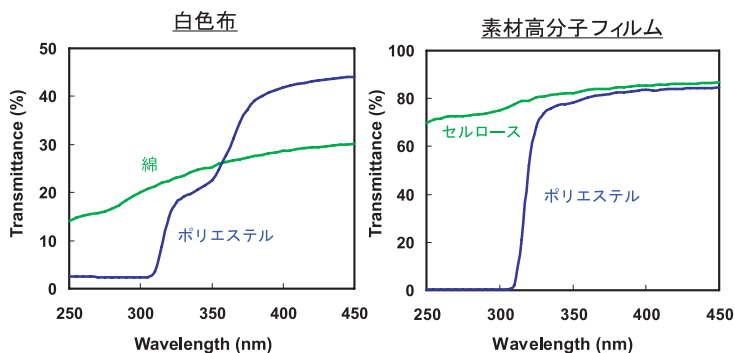
図 8.3 木陰の UV 防御効果

8.4 布の太陽紫外線防御効果

最近、紫外線カットに黒い衣服や黒い傘が流行しています。色が黒いということは、目に見える可視光がすべて吸収されていることを示しています。しかし、ほとんどの黒は色が混ざり合って黒に見えるというものが多く熱線である赤外線が透過して皮膚の温度上昇を促し、着ているだけで暑くなってきます。また、完全な黒色布は赤外線の吸収率が高く反射率が低いので、熱がこもることになります。つまり、黒い布地の衣服は身体には暑く感じられ、布地は熱線吸収で傷みが早まります。体力消耗をきたす高温・多湿の日本の夏には、熱を溜め込む黒は避ける方が賢明なのです。

1) 布の紫外線防御効果は素材、織、色に依存する

布地の紫外線防御効果は、第一に素材、つまり布を構成する素材高分子物質に^{4,6)}、第二に布の織に^{4,6)}、第三に色に⁷⁾依存します。素材が綿あるいはポリエステルなどの合成繊維なのか、織は表面が平坦な平織なのかあるいは表面の凸凹した綾織なのかなどによって、さらに、白色布か染色布かによって、紫外線の透過率と反射率が違ってきます。



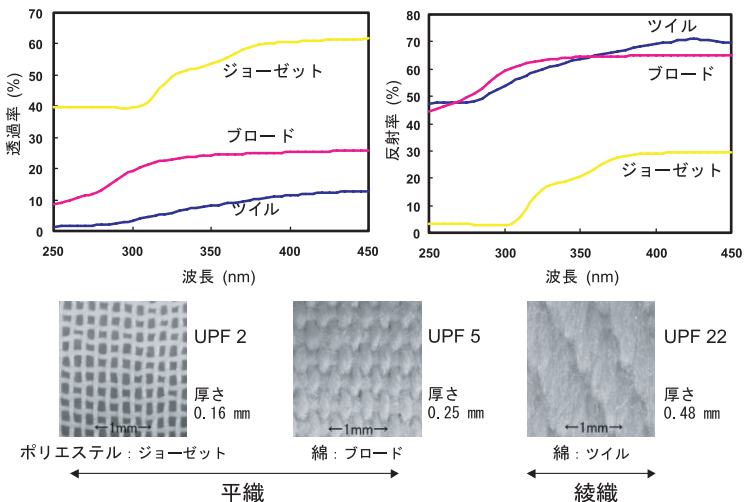
布の透過特性は素材高分子の特性を反映し、さらに厚さと織構造の影響を受ける。ポリエステルはUV-B域をほとんど透過しないのでUV-B防御に適している。

(Sasaki ら, 2003)

図 8.4 白色布と素材高分子フィルムの透過スペクトルの比較

綿とポリエステル白色布と、綿素材セルロースフィルムとポリエステル素材フィルムの透過率を図 8.4 で比較します。図の左が布の透過率、右が素材高分子フィルムの透過率です。この図から、綿布は 250 ~ 400 nm の紫外線を透過させることがわかります。一方、ポリエステル布は 250 ~ 320 nm 域の紫外線を吸収しますが、320 nm より長波長の紫外線は透過することがわかります。この二種類の白色布の透過特性は、図の右に示した素材高分子フィルムの透過特性を反映しています。つまり、布の紫外線防御能は、素材高分子の紫外線吸収特性に大きく依存するのです。ポリエステル高分子は、紫外線 UV-B を吸収する、UV-B 防御能を持つ布素材なのです。

次に、織の違いによる白色布の紫外線透過特性を薄手のポリエステルと厚手の綿布で比べます。図 8.5 に二種類の織、平織（ポリエステル:ジョーゼットと綿:ブロード）と綾織（綿:ツイル）の透過率と反射率を示します。平織のジョーゼットとブロードを見比べてください。織の目が密なほど、UV 域の透過率は低く（吸収率が高い）、反射率が高いことがわかります。

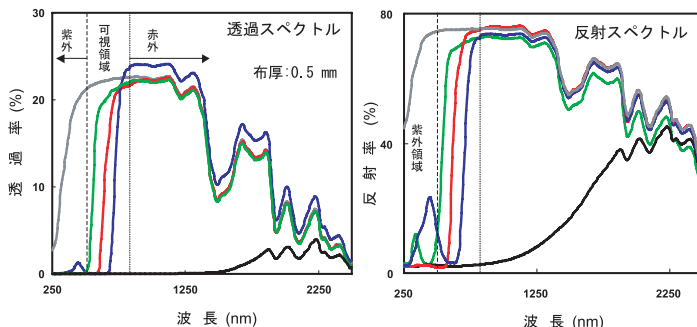


(Sasaki ら, 2003)

図 8.5 白色布の織（平織と綾織）と透過率・反射率の比較

つまり、織密度が高い布は紫外線防御効果が大きいのです。ポリエステルは素材としてはUV-Bカット素材です。しかし、目を粗く、薄い布にすればUV-Bは透過してしまうのです。綿ブロード白色布が古くから夏のワイシャツ地に使用されてきた理由がわかるとと思います。次に、平織のブロードと綾織（凹凸織）のツイルを比べてみてください。綾織のツイルの方が、透過率が低く反射率が高いことがわかります。つまり、布目が密で、厚みがあり、表面が凸凹している布ほどUV防御効果が高いといえます。

では、色の効果はどうでしょうか。250～400nmの紫外域を透過する綿ブロードで染色効果を比較しました（図8.6）。染色するといずれの色でも白色布に比較して紫外部の吸収は増加します。理由はどんな色素も紫外線を吸収するからです。黒色は、前述したように全ての可視光を吸収するという事です。完全な黒は、紫外部の吸収効率は上がりますが、同時に熱線と言われる赤外線も吸収しますから熱を溜め込む事になります。さらに、可視域から赤外域までの反射率も低下します。紫外線の強い夏の紫外線防御対策には、熱線も吸収する黒は好ましくありません。日焼け、後



黒は目に見える全ての可視光を吸収するという意味です。
色をもつ布は、染料が紫外線を吸収するので紫外線防御能を持ちます。
黒色布は赤外線（熱線）も吸収するので、着用したときに暑く、熱を溜め込みます。
夏、高温多湿の日本では、着心地の点から、黒以外の明るい色がお勧めです。

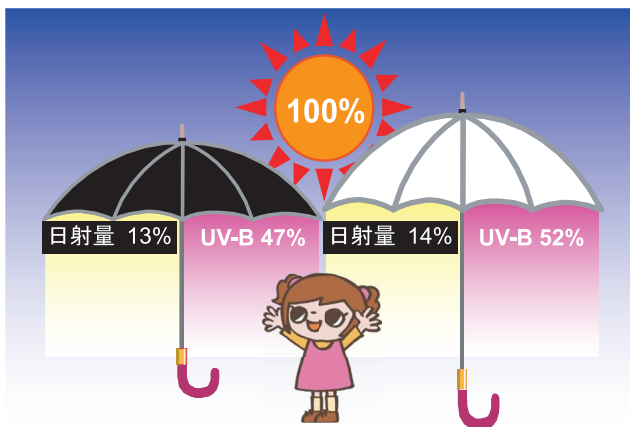
(Sasaki ら, 2005)

図 8.6 綿染色布（黄、青、赤、黒）と白色布の透過・反射スペクトルの比較

年の皮膚がん、免疫機能低下を防ぐには、厚手の白や綾織の白、薄い色付きの布地で作ったさわやかな衣服、傘、帽子の着用がお勧めです。帽子の表は白や薄い色にして紫外線を反射させ、つばの裏は散乱光を和らげる濃い色や黒とするなどの工夫が望まれます。赤外線を吸収し、熱を溜め込む黒は日本の夏にはお勧めできません。さわやかに暑さを避ける知恵を働かせましょう。

2) 傘の色と太陽紫外線防御効果

実際に、黒い傘と白い傘の日射 (300 ~ 3000 nm) と UV-B (280 ~ 315 nm) の防御効率を比較実験してみました (図 8.7)^{3) 8)}。図からわかるように、黒は確かに日射と UV-B の防御効率が白より数%高く測定されます。しかし、この程度の差では、黒と白の防御効果は同等と見なしてよいのです。重要なことは、白でも黒でもほとんど完璧に日射を防御するのに対して、紫外線 UV-B は 50% 程度の防御効果だということです。波長の長い成分が 90% 強を占める日射は、傘によってほぼ完全に防御できます。しかし、散乱性が高い UV-B は日傘では完全にカットできないのです。紫外線防御効率に黒と白の差はほとんどないこと、さらに散乱性の高い UV-B や UV-A の日傘や帽子による防御効率は 50% 程度であるという認識が必



(Sasaki, 2003)

図 8.7 黒い傘と白い傘の日射と紫外線 UV-B の防御効果

要です。傘や帽子の利用目的は、日陰を作って、日陰を伴って行動するという事です。真夏の日傘と帽子の効用の第一は、日射病（熱中症）予防です。第二が紫外線防御です。散乱性の高い紫外線を傘や帽子だけで完全にカットするのは無理ですし、傘や帽子で紫外線を完全にカットしようとするのは愚です。真夏の日中は外出を控えるなどの古来からの良識活用が必要です。

3) 布の紫外線防御指標

布の紫外線防御指標として、ニュージーランド・オーストラリアで標準化された UPF があります⁹⁾。UPF とは Ultraviolet Protection Factor の略で紫外線防御指標と訳せます。この指標は、人の日焼け効果つまり、紅斑反応を防御する効果量を数値化したものです。UPF は次の式で定義されます。布が無い時の紫外線量と布がある時の紫外線量の比として、布がどの程度紫外線を防御できるかを示す値です。

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

ここで、

E_{λ} : CIE 紅斑スペクトル (CIE J. 6:17-22,1987)、

S_{λ} : 太陽放射スペクトル (W/m²/nm)

(メルボルン: 38° S、1990/1/17 正午)、

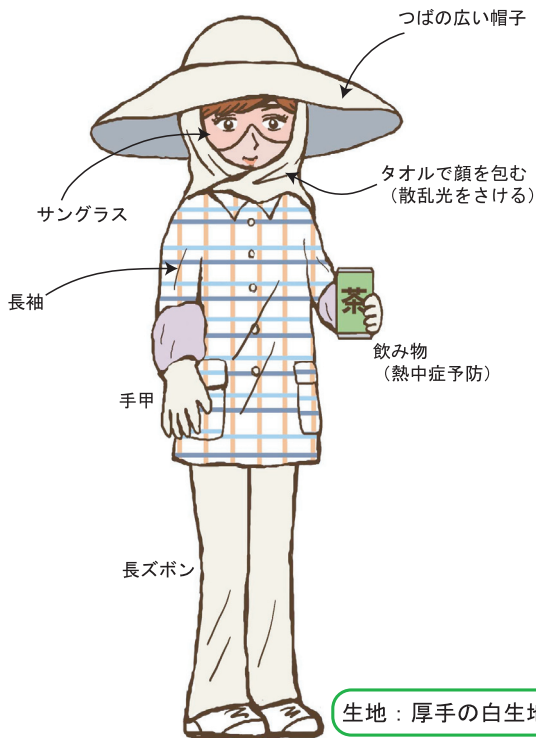
T_{λ} : 透過率 (%)、

Δ_{λ} : 波長間隔 (nm)。

UPF 値は、15 以上、布の透過率 (T) 6.7% 以下の時に防御効果ありとされます。級分類は、15 ~ 24 が good protection, 25 ~ 35 が very good protection, 40 以上で excellent protection となっています。図 8.5 をもう一度見てください。布地の顕微鏡写真右横上の数値は、UPF 値です。布目の詰まった厚手の綾織の UPF が高いことが一目瞭然です。

以上 1) から 3) をまとめると、日傘や帽子を利用する第一の目的は熱線防御、熱中症予防であり、紫外線防御は木陰の利用と同等と考えられます。日傘や帽子での紫外線防御は完全にと考える必要はありません。普段の生活では、50% カットを目標にしてください。

夏に湿度が比較的高く、反射はさほど無く、暑さを避けたい農作業などでは、涼しく、さらに、紫外線を吸収・反射し、可視光と赤外線を反射する白あるいは薄い着色の着衣が大変理にかなっていると考えられます。沖縄石垣島の農作業者のいでたちを再現すると図 8.8 のようになります¹⁰⁻¹¹⁾。生地は厚手の白生地です。薄い生地や黒生地では太陽が刺すと表現されます。しかし、風が吹き、熱がこもる心配もなく、むしろ熱を奪われる場所—海上や雪面などの反射が強い場所では、反射を避け、熱吸収が効率良く起こる黒や濃い色が好まれます。なお、ゴルフや海辺歩きに、色の濃淡のはっきりしている色柄や縞柄のシャツを着ると後で背中がまだら模様の日焼けする恐れがあります。



© Tokai University

図 8.8 真夏の理想的な紫外線・熱中症防御スタイル

第 9 章

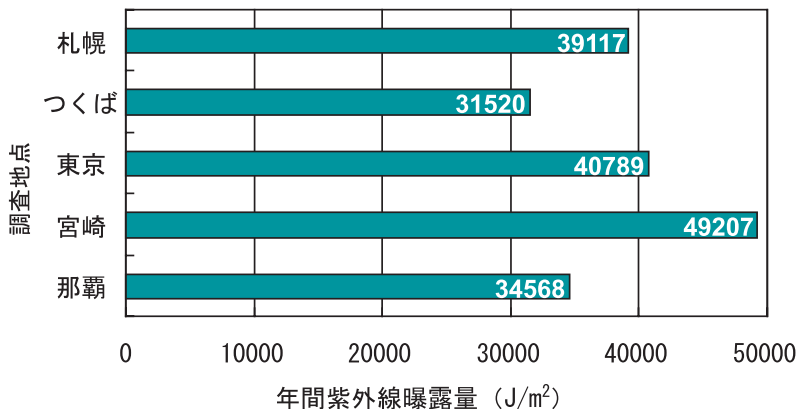
太陽紫外線との賢い つきあい方

紫外線は南に行くほど強いのに、実際に浴びた量は札幌市の小学生のほうが那覇市の小学生より多い…。そんな結果が環境庁（当時）が1994年から1995年にかけて行った調査で明らかになりました¹⁾。

調査は、児童の紫外線対策に役立てようと札幌市、つくば市、東京都杉並区、宮崎県国富町及び那覇市で実施され、それぞれの小学生40人に、紫外線の強さによって変色するバッチを1日中つけてもらい、変色の程度と外で過ごした時間を記録し、これを季節ごとに1週間続け、年間紫外線曝露量を算出しました（図9.1）。

年間紫外線曝露量が最も多いのは宮崎県で49207 J/m²ですが、注目すべきは札幌の方が那覇よりも紫外線曝露量が多いことです（札幌：39117 J/m²、那覇：34568 J/m²）。那覇市の児童は夏に外で過ごす時間が5ヶ所のうちで最短で、午前9時～午後3時に外にいるのも年平均で2番目に短かったのです。一方、札幌市の児童は同じ時間帯に外にいるのが最長でした。

大人になって皮膚のダメージに悩まないためにも紫外線対策は必要ですが、子供への対策はほとんど進んでいないのが実状なのです。



(Onoら, 2005)

図 9.1 地域による年間紫外線曝露量の比較

太陽との賢いつきあい方の原則は、太陽光の益と害、メリットとデメリットを良く考えて行動することです²⁻⁵⁾。ここで、太陽紫外線とのつきあい方を図 9.2、図 9.3 にまとめておきます。皮膚がんや白内障を発症させないで、免疫機能の低下を防ぐためには、紫外線 UV-B の強い時間帯や季節には、肌や目を守る防御対策をしっかりする必要があります。なお、紫外線 UV-A は一日中、一年中強いため、UV-A で光線過敏症になる人や後年の白内障対策としては、常に紫外線防御対策を心がける必要があります。天気予報と一緒に身近な紫外線防御指標としての UV インデックス情報も是非ご活用ください。

太陽と上手につきあう法

(メリットとリスクをよく知る)

メリットを役立てる工夫が必要

可視光	生体リズムの調節、気分爽快、消化液の分泌、胃腸の働き快調。
赤外線	血行をよくする、神経・筋肉の緊張を解く。
紫外線	ビタミンD ₃ の合成、Ca ⁺ の吸収促進、殺菌、新陳代謝の促進。

© Tokai University

図 9.2 太陽紫外線と上手につきあう法 (メリットを役立てる)

太陽と上手につきあう法

(メリットとリスクをよく知る)

リスクを避け目と肌を守る工夫が必要

紫外線・赤外線の影響を浴びすぎに注意する。

1日の内、正午を挟む2～3時間は注意。

1年の内、4月～9月の期間の晴れの日には紫外線・赤外線の影響を浴びすぎに注意する。

日中の戸外活動（車の運転）には紫外・赤外線カット対策。日傘、帽子、着衣、手袋、メガネ、サンスクリーン等で

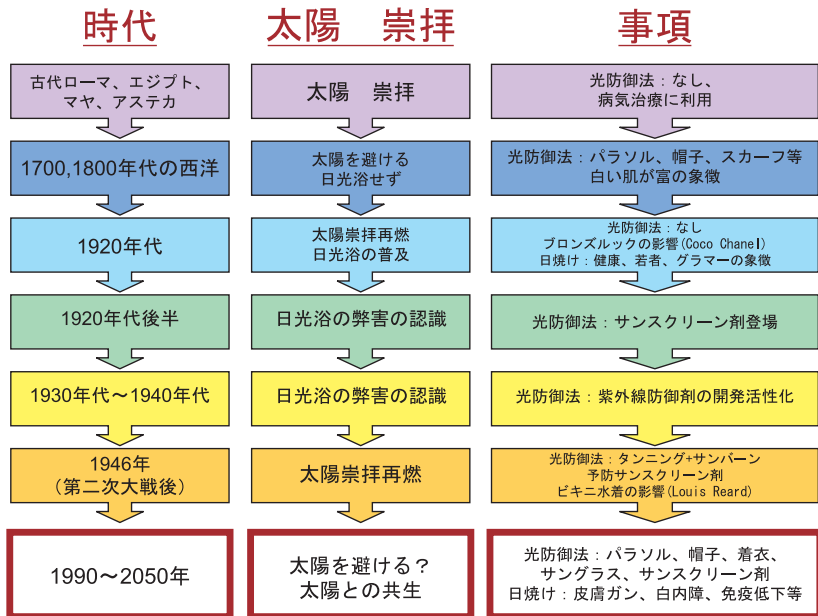
©Tokai University

図 9.3 太陽紫外線と上手につきあう法（デメリットを考え防御する）

第 1 0 章

おわりに

人類はこれまで太陽崇拝と回避の歴史を繰り返してきました。古代ローマ、ギリシャ、エジプトでは太陽は恵みそのものでした。日の出と共に起床し、日没と共に就寝し、太陽の恵みの食物で生命を維持し、病気さえも太陽光が治してくれると太陽を信仰しました。18、19世紀の西欧では、白い肌が富の象徴とされ太陽を避けるための帽子やパラソルが日常生活に定着しました。人々の生活状況の変化と共に太陽を避ける弊害も知られるようになりました。人々を再び太陽崇拝に駆り立てたのは、1920年代にココ・シャネルが発表したブロンズルックです。ブロンズルックに触発された若者達は日焼け礼賛に走り、これが引き金となって日焼けの害が広まると、1930-40年代に太陽は再び避けるべきものとして防御法が盛んに研究されるようになりました。サンスクリーン剤の研究が進んだのもこの頃です。小麦色の肌が健康のシンボルとなったのは1946年以降のことです。第二次世界大戦の荒廃の中に登場したビキニスタイルが、全世界の人々の心を再び太陽への憧れに変えたのです。いま、オゾン層破壊を契機として、



© Tokai University

図 10.1 太陽崇拝と回避の歴史

私たちは日常的に太陽紫外線とどの様につきあっていくかを考える時代を再び迎えています。太陽崇拜と回避の歴史を図 10.1 にまとめました¹⁾。

オゾン層保護は、3.3で述べたように、「オゾン層の保護のためのウィーン条約」、「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」の国際協力と共に進行中です。しかし、オゾン層破壊は2050年頃までは続くと予測されています²⁾⁶⁾。つまり、紫外線UV-Bの増加は当分続くと考えられます。日本の位置する北半球の中緯度帯では、冬期にUV-Bが増加傾向にあります⁵⁾。このまま、オゾン層破壊が継続すれば、現在はUV-Bが少ない日本の冬や春にUV-Bカット対策が必要になるのかもしれませんが。

日本では古くから「色の白いは七難かくす」と言い伝えられてきたように、多くの女性は色白を好む傾向があります。また、最近では紫外線は危険と考えるあまり太陽を避けようという風潮が伺えます。皮膚科の先生方によると、女性の光線過々敏症患者が増加傾向にあるといわれます。思い込みによる過敏症によって、紫外線過剰防衛をする。帽子を2枚被って、さらに日傘をさして、遮光眼鏡をして外出する。あるいは、全く外出を差し控えてしまう。このため、紫外線だけでなく、赤外線も、可視光も不十分になり体内時計に狂いが生じる事例が多発傾向にあるといわれます。しかし、太陽光を極端に避ける生活は好ましいものではありません。イタリア民謡“おおーわが太陽”で名高いナポリには、「太陽のこないところに医者がかかる」という格言があります。太陽光は生命にとって、今も昔も欠くことのできない大切なものなのです。人体は太陽から驚くほど多くの恩恵を受けています。前述したことをここで再確認しましょう。紫外線UV-Bのエネルギーは、体内にビタミンD₃を合成しカルシウム代謝を促します。また、私たちは目に入ってくる可視光と細胞の働きで物を見ることができます。さらに、24時間の体内時計も可視光でスイッチオンされ、ホルモン量も調節されます。太陽を悪者扱いするばかりでなく、太陽と賢く上手につきあっていきましょう(図9.2、9.3)。

最後にもう一度、太陽紫外線の防御対策をまとめておきます。太陽紫外線防御の基本は肌や目を強い直射光と散乱光から避ける工夫です。この場合、肌から遠いところからが基本です。はじめから日焼け止めではなく、日傘、帽子、長袖シャツ、サングラス、最後に日焼け止めです。肌が弱い人などが日焼け止めでかぶれたりしないためです。初夏を迎える4月から残暑の厳しい9月過ぎまで、晴れの日には、先人が範を示したように、正午をはさんで2-3時間は戸外活動を控え、戸外活動には着衣、帽子、日傘、サングラス、サンスクリーンなどで防御対策を心がけるのが賢明です。



あとかき

この報告書は、光科学に魅せられた研究者が、太陽紫外線 UV-B の計測と変動解析という難事業に取り組んできた研究成果の一端です。光科学の研究に不可欠な光放射計測は、重要であるにもかかわらず、従来から相対値計測で十分とされ、絶対値計測はそれほど真剣に取り組まれない課題でした。1960年代の一般研究室での光放射計測では、オーダー（桁数）が合えばその測定は適合と見なされていました。しかし、現在増加が心配されている太陽 UV-B 計測では、絶対値計測が問われているのです。

オゾン層破壊で太陽 UV-B が増加するという警告が出された 1970 年代中頃の日本には、太陽 UV-B 計測器は存在していませんでした。当時著者は、東海大学で、医学部皮膚科学・分子生物学などの先生方とメディカルフォトケミストリーという新分野の研究を開始したところでした。この研究の延長線上で、DNA の紫外線損傷を物理量として実時間計測できる日本最初の太陽 UV-B 計測器を開発しました。この研究を通して、古澤佳也博士（現 独立行政法人放射線医学総合研究所）、竹下秀博士（現 東海大学総合科学技術研究所）が誕生しました。なお、この太陽 UV-B 計測器の実用化までには多くの方々にご協力を頂きました。特に、(株)英弘精機 三宅行美氏の多大なご協力がありました。1989 年の太陽 UV-B 計測器の完成と同時に、「光環境計測と光生物・光化学反応の有効利用 —地球規模最適光環境の保全と設計—」のテーマで、日本私学振興財団学術振興資金の交付が決まり、東海大学光環境計測システム (Tokai Solar Radiation Monitoring System: T-SORMOS) が構築されました。その結果、1990 年 10 月に太陽 UV-B の連続測定が開始されました。しかし、測定開始直後は思わぬハプニング続きでした。20 秒間隔で計測されるデータは、たちまちパーソナルコンピューターの格納能力を越え、電子計算機室との交渉、計測値の処理方法の再検討など、計測開始 1 週間は夢中の内に過ぎました。計測の目的は太陽 UV-B 増加の検証です。そのため、太陽 UV-B だけでなく日射と UV-A も計測するシステムとし、日射は増加していないのに UV-B だけが増加しているという変動解析を可能にしました。さらに、散乱性が高く人工衛星でも back scattering で測定している太陽 UV は、地上で計測できないという説を覆すために、日射の散乱光測定で使用されてい

る遮蔽バンドを UV-A 計と UV-B 計に取り付ける工夫をしました。つまり、日射、UV-A、UV-B の全天放射量（直達放射量＋散乱放射量）を遮蔽バンド無しで計測し、遮蔽バンドを付けて直達放射をカットし、散乱放射量のみを測定するという構成にしました（図 11.1）。この計測手法によって、紫外線は UV-A、UV-B 共に散乱性が大きい光であること、しかし、地上計測は可能であることが実証できました。さらに、地上に届く太陽 UV-A と UV-B には、雲一つない快晴日でも 50% 程度の散乱成分が含まれていることを明らかにしました。太陽 UV-B の連続測定と変動解析は、日々のメンテナンス、計測器の定期的校正、測定データの確度検証等が必須ですから、年毎の工学部光工学科などの卒業研究生、修士の学生達の協力があった始めて成し得たことなのです。

この太陽紫外線に関する研究は、太陽 UV-B 天空輝度計の開発（文部省科学研究費補助金基盤研究 (B)(1) : 平成 7-8 年度 07458125: 太陽 (B 領域) 紫外環境の変動解析に関する基礎研究) と UV-B 人体被曝線量計開発 (同 (B)(1) 平成 9-10 年度 09558073 : 太陽 UV-B の人体被曝線量計の試作と実用展開のための基礎研究) に進展しました。



図 11.1 東海大学光環境計測システム

なお、現在も継続している国立環境研究所（現独立行政法人）との共同研究は、オゾン特研セミナー（1990.7.5）での講演「太陽紫外線計測とその意義」で開始され、紫外線増加の人の健康に対する影響に関するワークショップ（1991.3.20）では、「太陽紫外線量測定の最近の動向」について講演させていただきました。また、世界各国から約120名の研究者が参加して開催されたオゾン層破壊とその環境影響を討論した The Tsukuba Ozone Workshop –Global Environment Tsukuba '94- (Feb. 16-18, 1994) では、Working Group 2 UV-B で「Ground-based observation of biologically active solar ultraviolet-B irradiance by a band-spectral radiometer」を講演しました。この Working Group では、気象庁の伊藤朋之氏が「UV-B observation by Japan Meteorological Agency」と題して、札幌、つくば、鹿児島、那覇の1991年から1993年のデータを公表されました（つくばのみ1990年から）。この時点では、日本の太陽UV-B計測は4年を超えていないため、トレンド解析は将来課題とされ、長期連続観測の重要性が確認されました。招待講演者カリフォルニア大学の Dr. Dan Lubin が、UV-A計測の重要性をこのオゾンワークショップで講演され、納得がいかない私は、次の日に面談を申し込み長時間にわたって討論したことが思い出されます。「現在はUV-B計測が重要だが、次はUV-A計測が重要だから」と主張した彼との討論は10年を経過したいま納得するところとなっています。国立環境研究所の「有害紫外線モニタリングネットワーク」でも、UV-Bと共にUV-A、日射を計測し、日本を縦断する地域ごとの太陽放射データの特徴抽出に努めています。これらの計測データは、児童・生徒だけでなく市民の健康生活に役立つと共に、農業をはじめとする様々な産業に利用可能です。多くの方々が太陽紫外線・日射と賢く仲良くつきあって行かれることを希望します。

この報告書に掲載されている多くの太陽UVデータは、T-SORMOSによる計測結果です。私達が開発した太陽UV-B計測器は、日本最初の気象庁による太陽UV-B計測に使われるという榮譽を担い、さらに現在、国立環境研究所の有害紫外線モニタリングネットワークで活躍している幸せに感謝しつつ、この報告書が多くの方々に役立つことを願っています。

参考文献

2章 太陽光を知る

- 1) 坂田俊文 (1991) 1. 太陽の一生とリズム 太陽は大きな核融合炉. 「太陽」を解説する, 情報センター出版局, 30.
- 2) Rusin, N. P., Flit, L. A. (1973) 太陽エネルギーと地球. 竹内均・木下肇共訳, 東京図書.
- 3) International Commission on Illumination (1972) Recommendation for integrated irradiance and the spectral distribution of simulated solar radiation for testing purposes. CIE Publication No.20(TC-2.2), 47.
- 4) Newton, I. (1672) A new theory about light and colours. Phil. Trans. R. Soc. Lond., 6, 3075-3087.
- 5) 佐々木政子 (1991) 太陽光のスペクトル. 遺伝, 45(10), 66-67.
- 6) L.O. ビヨルン. (1976) 2. 生物界へのエネルギーのとりこみ・光合成. 宮地重遠監訳, 光と生命—光生物学入門—, 理工学社.
- 7) 照明学会編 (1984) 第3章 見ることの生理的しくみ. 最新やさしい明視論, 照明学会, 21.
- 8) 照明学会編 (2004) 2. 光と明かりの基礎知識 2.1 光とは. 新・照明教室 光源 改訂版, 照明学会普及部, 8.
- 9) R.J. プルトマン (1983) 人体にとって光とは何か. One point Science, 日経サイエンス社.
- 10) Thorington, L., Hughes, P.C. (1986) 人工光における分光分布の最適設計. 藤田斉・佐々木政子共訳, 照明学会誌, 70, 472-479.
- 11) Herschel, W. (1800) Experiments on the refrangibility of invisible rays of the sun. Phil. Trans. R. Soc. Lond., 90, 255-283, 284-292, 293-326.
- 12) Ritter, J. W. (1801) 6. Von den Herren Ritter und Backmann. Annalen der Physik, 7, 527.
- 13) 佐々木政子 (1996) UV 発見の歴史をひもとく. 光化学, 21, 55-57.
- 14) 佐々木政子 (1993) 10. 病気も光で治る. 「光が活躍する」一億人の化学 15, 日本化学会, 大日本図書, 203-229.
- 15) 島崎達夫 (1989) 4. オゾン層の生成理論. 成層圏オゾン, 第2版 東京大学出版会.

-
- 16) Jagger, J. (1985) 3. Near-UV Killing. In: Solar-UV Actions on Living cells, Praeger Publishers.
 - 17) 野津敬一 (1975) 紫外線の生物作用－核酸を中心として－. 共立出版.
 - 18) 佐藤吉昭監修 (2002) 光線過敏症 A 太陽光線と皮膚改訂第3版. 金原出版.
 - 19) Follick, M. F. et al. (1982) 7. The Photochemistry and Photobiology of Vitamin D₃. In: The Science of Photomedicine, Regan, J. D., J. A. Parrish(eds.), Plenum Press.
 - 20) Health Council of the Netherlands (1986) UV radiation: Human exposure to ultraviolet radiation. The Hague, Health Council of Netherlands (Report 1986/93).

3章 太陽光がつくりだした地球環境

- 1) Wayne, R. P. (1991) 9. Evolution and change in atmospheres and climates. Chemistry of Atmospheres Second Edition, Clarendon Press Oxford, 404.
- 2) 島崎達夫 (1989) 4. オゾン層の生成理論. 成層圏オゾン第2版, 東京大学出版会, 19-24.
- 3) Blake, A. J., Carver, J. H. (1977) The Evolution Role of Atmospheric Ozone, J. Atmospheric Sci. 34, 720-728.
- 4) 島崎達夫 (1989) 3. 太陽光線のスペクトル, 成層圏オゾン第2版, 東京大学出版会, 17.
- 5) 大多喜敏一 (1989) (1) フロンによるオゾン層破壊. オゾン層破壊問題と各国の対応, 現代化学221(8), 58-62.
- 6) Molina, M. J., Rowland, F. S. (1974) Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine Atomic Catalysed Destruction of Ozone. Nature, 249, 810-812.
- 7) 気象庁 (2005) 図3-2-5: TOMS によるオゾン全量トレンドの全球分布. オゾン層観測報告: 2004, 27.
- 8) 気象庁 (2005) 3 オゾン層の長期変化傾向. オゾン層観測報告: 2004, 30.
- 9) 佐々木政子・竹下秀 (1993) 太陽紫外放射スペクトルの実測値とモデル計算. 太陽紫外線防御研究委員会学術報告, 3 (2), 74-80.

- 10) Blumthaler, M., W. Ambach (1990) Indication of increasing solar ultraviolet-B radiation flux in Alpine regions. *Science*, 248, 206-208.
- 11) Kerr, J. B., C. T. McElroy (1993) Evidence for Large Upward Trends of Ultraviolet-B Radiation Linked to Ozone Depletion. *Science*, 262, 1032-1034.
- 12) Sasaki, M., S. Takeshita, T. Oyanagi, Y. Miyake, T. Sakata. (2002) Increasing trend of biologically active solar UV-B irradiance in mid-latitude Japan in 1990s. *Opt. Eng.*, 41(12), 3062-3069.
- 13) Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Randers. (1992) Chap. 5 Back from Beyond the Limit: The Ozone Story. *BEYOND THE LIMITS*. Chelse Green Pub Co.
- 14) Chubachi, S. (1984) Preliminary result of ozone observations at Showa station from February 1982 to January 1983, *Proceedings of the Sixth Symp. Polar Meteorol. Glaciol. National Inst. Polar Research, Special Issue No.34*, 13-19.
- 15) Farman, J. C. et al. (1985) Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction. *Nature*, 315, 207-210.
- 16) WMO (1998) *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998. Global Ozone Research and Monitoring Project-Report*, 44.
- 17) 環境省 (2005) 平成16年度 オゾン層等の監視結果に関する年次報告書

4章 地上の太陽紫外線環境 - UV-B と UV-A の特徴 -

- 1) Sasaki, M., S. Takeshita, M. Sugiura, N. Sudo, Y. Miyake, Y. Furusawa, T. Sakata. (1993) Ground-based observation of biologically active solar ultraviolet-B Irradiance at 35°N latitude in Japan. *J. Geomag. Geoelectr.*, 45, 473-485.
- 2) 竹下秀・佐々木政子他 (1993) 太陽紫外放射の変動解析. 東海大学紀要工学部, 33, 91-100.
- 3) Sasaki, M., S. Takeshita, M. Sugiura, T. Sakata. (1994) An increase in the global solar ultraviolet-B irradiance at 35°N in Japan since 1990. *J. Geomag. Geoelectr.*, 46, 827-834.

- 4) Sasaki, M., S. Takeshita, T. Oyanagi, Y. Miyake, T. Sakata. (2002) Increasing trend of biologically active solar UV-B irradiance in mid-latitude Japan in 1990s. *Opt. Eng.*, 41(12), 3062-3069.
- 5) 気象庁 (2005) 表4-1-1 これまでに観測された紫外線の各要素の最大値。オゾン層観測報告: 2004, 43.
- 6) 佐々木政子 (1997) 紫外線の測定－太陽UVA とUVB の特徴－. *日本化粧品科学会誌*, 21(1), 24-32.
- 7) 国立環境研究所地球環境研究センター (2004) 有害紫外線モニタリングネットワーク. <http://www-cger2.nies.go.jp/ozone/uv/uv.html>
- 8) 国立環境研究所地球環境研究センター (2005) 3. 有害紫外線モニタリングネットワーク参加サイト情報. 有害紫外線モニタリングネットワーク活動報告, 23.
- 9) 佐々木政子 (1998) 紫外線環境と計測. *日本化粧品科学会誌*, 22(2), 102-110.
- 10) 佐々木政子・竹下秀 (1998) 2. UV 放射源. UV と生物産業, 照明学会, 養賢堂, 11-22.
- 11) 佐々木政子 (2000) 1 オゾン層破壊と地表の太陽紫外線. 光が拓く生命科学 第4巻 生物の光障害とその防御機構, 日本光生物学協会, 共立出版, 1-35.
- 12) International Commission on Illumination (1972) Recommendation for integrated irradiance and the spectral distribution of simulated solar radiation for testing purposes. CIE Publication No.20(TC-2.2), 47.
- 13) 佐々木政子 (2002) 第6節紫外線量の計測. 地球環境調査計測事典 第1巻陸域編, 竹内均監修, フジテクノシステム, 369-380.
- 14) Munakata, N. (2000) Spore dosimetry of solar UV radiation: applications to monitoring of daily irradiance and personal exposure. *Adv. Space Res.*, 26, 1995-2003.
- 15) Diffey, B.L. (1989) Ultraviolet radiation dosimetry with polysulphone film. In: *Radiation measurement in photobiology*, Academic Press, 135-139.
- 16) 加賀乙彦 (1997) 永遠の都 I. 夏の海辺, 新潮文庫.

- 17) 佐々木政子・古沢佳也 (1989) 新しい UV-B 紫外線量計の開発とその応用. フレグランスジャーナル, (1989-9), 83-85.
- 18) Furusawa, Y., K. Suzuki, M. Sasaki. (1990) Biological and Physical Dosimeters for Monitoring Solar UV-B Light. *J. Radiat. Res.*, 31, 189-206.
- 19) Sasaki, M., S. Takeshita, M. Sugiura, N. Sudo, Y. Miyake, Y. Furusawa, T. Sakata. (1993) Ground-based observation of biologically active solar ultraviolet-B Irradiance at 35°N latitude in Japan. *J. Geomag. Geoelectr.*, 45, 473-485.
- 20) 竹下秀・坂田俊文・佐々木政子 (1994) 太陽紫外UV-B 放射計の開発と諸特性の評価. 照明学会誌, 78(10), 537-544.
- 21) Takeshita, S., T. Sakata, M. Sasaki. (1996) Development and Evaluation of a Solar Ultraviolet-B Radiometer. *J. Light & Vis. Env.*, 20(1), 51-59.
- 22) 高層気象台時報 (1990) 紫外域日射観測の開始. 29, (1990.2), 2.
- 23) Furusawa, Y. M. Sasaki et al. (1991) Comparative measurement of performances of six commercially available ultraviolet-A radiometers. *Photomed. Photobiol.*, 13, 101-104.
- 24) 佐々木政子 (2003) 紫外線計測の問題点. 太陽紫外線防御研究委員会学術報告書, 13(1), 65-70.
- 25) 佐々木政子 (2005) VI 生命と光. 光科学研究の最前線, 光科学研究の最前線 編集委員会, 強光子場科学研究懇談会, 360-361.
- 26) 佐々木政子 (2004) 生活紫外線計測の課題. 太陽紫外線防御研究委員会学術報告書, 14(1), 51-55.

5章 太陽紫外線の人体リスクを考える

- 1) 佐々木政子 (2004) 未来を拓く UV 利用技術. 照明学会誌, 88(4), 188-191.
- 2) Phillips, R. (1983) Sources and Applications of ultraviolet radiation. Academic Press Inc.
- 3) Masschelein, W. J. (2004) 紫外線による水処理と衛生管理. 海賀信好訳, 技報堂出版.
- 4) 佐々木政子 (1994) 最近の光環境の変化. 日本病院薬剤師会雑誌, 30(5), 5-18.

-
- 5) International Commission Non-Ionization Radiation Protection (1998) Measurements of Optical Radiation Hazards ICNIRP6/98: CIEx016-1998.
 - 6) Mackinlay, A. F., B. L. Diffey, B. Meul. (1987) A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. CIE Journal, 6, 17-22.
 - 7) International Commission on Illumination (1999) Erythema Reference Action Spectrum and Standard Erythema Dose. ISO17166/CIE S007, p4.
 - 8) American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) (1992) Documentation for Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment. 4th Edition, Cincinnati, OH.
 - 9) Australian/New Zealand Standard 4399 (1996) Sun protective clothing - Evaluation and classification. Table B2 Relative energy value of solar spectral irradiance (S_{λ}), 13.

6章 紫外線の目と皮膚への作用

- 1) Sliney, D. H., Wolbarsht, M. (1980) UV absorbance by ocular tissues. In: Safety with Lasers and other optical sources. NY, Plenum.
- 2) 佐々木政子 (2003) 第5章 紫外線量の測定と日常生活における紫外線対策. 皮膚の光老化とサンケアの科学 化粧品選書3, 市橋正光, フレグランスジャーナル社, 125.
- 3) American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) (1992) Documentation for Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment. 4th Edition, Cincinnati, OH.
- 4) 辻末久 (1997) サングラスの選び方—産業、日常生活での太陽光、人工光の紫外線防御. 太陽紫外線防御研究委員会学術報告, 7(1), 101-110.
- 5) WMO (1994) 14.11 Eye Protection. Ultraviolet Radiation, Environmental Criteria 160, 250-252.
- 6) 佐々木政子 (2001) 光とからだ—目と皮膚への作用—. 運動生化学, 11/12, 4.

- 7) 坂田俊文・佐々木政子 (1978) メディカルフォトケミストリーー光化学療法についてー. 化学工業, 29(3), 309-316.
- 8) 松尾聿朗 (2000) 3-1 光ではじまる皮膚障害ーサンバーンとサンタン. 光が拓く生命科学 第4 巻 生物の光障害とその防御機構, 日本光生物学協会編, 共立出版, 65-79.
- 9) 清寺眞・高橋正昭・棚橋善郎 (1973) II ヒト皮膚の光線に対する防御機構について. 光と皮膚ー光線過敏症と光防御ー, 金原出版, 76.
- 10) Parrish, J. A. et al. (1979) Chap.101 Dermatology in a General Medicine. Photomedicine in Dermatology in General Medicine, 2nd ed, Fitzpatrick TB et al.(eds.), McGraw Hill Book Co.
- 11) 中山靖久 (1981) 光放射の皮膚に対する傷害についての最近の研究ー皮膚ガンの発生要因としての光放射ほかー. 照明学会研究会資料集, AR-81-22 ~23, 12-14.
- 12) Medows, D. H., D. L. Medows J. Randers. (1992) Chapt. 5 Back from Beyond the Limit: The Ozone Story. BEYOND THE LIMITS, Chelsea Green Publishing Co.
- 13) Kaminaga, H. (1993) Photomed. Photobiol., 15, 113-116.
- 14) 上田正登 (1999) 紫外線と皮膚がん. 遺伝, 53 (5), 25-29.
- 15) Harber, L. C., Bickers, D. R. (1984) 日光過敏性疾患 その診断と治療. 堀尾武訳, 医学書院サウンダース.
- 16) DeLEO, V. A. (1992) 6. Photosensitivity to systemic agents. In Topics in clinical Dermatology, Photosensitivity. IGAKU-SHOIN New York-Tokyo. 56-83.
- 17) 市橋正光・堀尾武編 (2002) 光線過敏症 改訂第3 版. 金原出版.
- 18) 上出良一 (2003) 表「薬剤性光線過敏症の主な原因薬」、外因性光感作物質による光線過敏症、光線による皮膚障害、動物性皮膚症、環境因子による皮膚障害. 最新皮膚科学大系16, 玉置邦彦総編集, 中山書店, 290-300.
- 19) Fitzpatrick, T. B. (1988) The validity and practicability of sun-reactive skin types I through VI. Archives Dermatol., 124, 869-871.
- 20) 福田實 (1991) 日本人の肌タイプ調査結果. 香粧会誌, 15(2), 103-105.

-
- 21) Satoh, Y., Kawada, A. (1986) Action spectrum for melanin pigmentation to ultraviolet light, and Japanese skin typing. Fitzpatrick TB et al.(eds), Brown Melanoderma. Univ. Tokyo Press, 87-95.
 - 22) 環境省 (2003) 第3章紫外線による健康影響. 紫外線保健指導マニュアル, 20-21.
 - 23) 長沼雅子・福田実他 (1995) 紫外線感受性の性差. 日本皮膚科科学雑誌, 105(11), 1427-1430.
 - 24) Amblad, P. et al. (1982) Statistical study of individual variations in sunburn sensitivity in 303 volunteers without photodermatitis. Arch. Dermatol., 274, 195-206.

7章 太陽紫外線防御対策を考える

- 1) UNEP (1989) Environmental Effects Panel Report. UNEP.
- 2) Meadows, D. H., D. L. Meadows J. Randers (1992) Chap.5 Back from Beyond the Limit: The Ozone Story. BEYOND THE LIMITS, Chelsea Green Pub Co.
- 3) NWS Health Department and NSW Cancer Council (2001) Sun Protection: A Guide to Develop Better Protection in Skin Cancer Protection in NSW.
- 4) International Commission on Illumination (2003) International Standard Global Solar UV index. CIE S 013/E.

8章 屋外で人が浴びる太陽紫外線とその防御法

- 1) 遠藤恵子・佐々木政子他 (1998) 屋外の各種環境における太陽紫外UV-BとUV-A放射量の測定と評価. 照明学会誌, 82(11), 877-884.
- 2) 佐々木政子 (1999) 太陽紫外線の科学. 日本皮膚科学会誌, 108(12), 1540-1545.
- 3) 佐々木政子 (2002) 太陽紫外線と防御対策. セイフティダイジェスト, 48(4), 2-9.

- 4) Sasaki, M. et al. (2003) Studies on Protection of the Human Body from UV Radiation -Transmittance and Reflectance of UV by White Fabrics-. Proceedings of 25th Session of the CIE, 2 (25 June- 2July 2003) D6-52-D6-55.
- 5) Sasaki, M. et al. (2003) Evaluation of UV Protection Efficiency of White Fabrics for Ordinary Clothing. Photomed. Photobiol. 25(1), 51-54.
- 6) 佐々木政子 (2004) 太陽UV と布による有効な防御法. 第11回日本照明委員会セミナー資料「人体と太陽UV 防御」, 1-4.
- 7) 佐々木政子他 (2005) 染色布のUV 防御効果. 平成17年度照明学会第38回全国大会講演論文集, 277.
- 8) Sasaki, M. (2003) Solar ultraviolet radiation and ozone hole (太陽紫外線とオゾンホール). J. Adv. Science, 15(34), 68-74.
- 9) Australian/New Zealand Standard AS/NZS 4399 (1996) Sun protective clothing- Evaluation and classification.
- 10) 佐々木政子 (1999) オゾンホールと紫外線. マルホ皮膚科セミナー放送内容集, 138, 26.
- 11) 佐々木政子 (1999) 太陽紫外線UV-B とUV-A の地域差・季節変動とその防御法. Creabeaux 8, 11-16.

9章 太陽紫外線とのつきあい方

- 1) Ono, M., Munakata, N., Watanabe, S. (2005) UV Exposure of Elementary School Children in Five Japanese Cities. Photochemistry and Photobiology, 81, 437-445.
- 2) 佐々木政子 (2005) 国内外のサンプロテクション. 太陽紫外線防御研究委員会学術報告, 7(1), 101-110.
- 3) 佐々木政子監修 (2004) 紫外線のこと知っていますか. 社団法人宮崎県薬剤師会 学校薬剤師部会.
- 4) 佐々木政子 (1999) 太陽紫外線UV-B とUV-A の地域差・季節変動とその防御法. Creabeaux 8, 11-16.

-
- 5) Sasaki, M. (1999) The Effects of Solar Ultraviolet Radiation on the Human Body (Plenary Lecture). Proceedings of “ Science and Technology for Global Ecology”, 11th International Conference of Women Engineers and Scientists, 18-21.

10章 おわりに

- 1) ウイリアム・C・ワガナ編 (1995) 10. サンスクリーン剤の有用性. 安部隆監訳, 化粧品臨床研究指針—安全性と有効性—, フレグランスジャーナル社, 231-233.
- 2) WMO (1998) Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998. Global Ozone Research and Monitoring Project-Report, 44.
- 3) Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Randers. (1992) Chap. 5 Back from Beyond the Limit: The Ozone Story. BEYOND THE LIMITS, Chelsea Green Pub Co.
- 4) トーマス・E・グレーデル, ポール・J・クルツェン (1997) 気候変動21世紀の地球とその後. 松野太郎監修, 日経サイエンス.
- 5) 気象庁 (2003) 3 オゾン層の長期変化傾向 3-3 日本上空のオゾン層の長期変化. オゾン層観測報告: 2002, 29-33.
- 6) The Japan Times (2005.12.8) Chemicals leaks to delay ozone hole's recovery by two decades.



索引

索引

[A-Z]

CFCs 19-20,24
CIE 3,50-51,72,82
DNA 2,12-14,16-19,22,38,
44,50,60,62,75,94
NASA 24
SST 19-20
Sun Protection 69
SunSmart 69-70
SunWise 69-70
SunFriend Program 69
TOMS 24
turnover 58
UNEP 26,69
UV インデックス 72,87
UPF 79,82
WHO 69-70,72
WMO 26
X 線 8-9,57

[あ]

ウィーン条約 26,91
オゾン層 2-3,6,14,17-27,
35,69,90-91,94,96
温室効果ガス 26

[か]

カルシウム 14,91
傘 12,78,81-82,88,91-92
化学計測法 44-45
基底細胞 58-59
クロロフルオロカーボン類 19-20,37
光合成 10,13,16
光子 8-9
光線過敏症 14,51,60-62,87,91
紅斑反応 62,82
紅斑スペクトル 82
コーカソイド 2
国際照明委員会 (参照) CIE
国連環境計画 (参照) UNEP
ココ・シャネル 90

[さ]

作用スペクトル 51
サンスクリーン 60,63-64,70-71,
88,90,92
サンタン 14,60,62-63

サンバーン	12,14,38, 58,60,62-64,69,90
散乱放射量	41-43,95
紫外線防御指標	82,87
紫外線リスク	51-52,56
紫外線保健指導マニュアル	68
色素沈着	59-60
実効オゾン	36-37
遮光眼鏡	56,91
食物連鎖	10-11,19
振動数	8-9
水晶体	10,56-57
水晶体蛋白質	56
スキンタイプ	52,62-63,72
スペクトル	2,6-7,16-19,22, 45,50-53,60,72,78,80,82
成層圏	13,17,19-20
成層圏オゾン	12-13,16-17,19-20, 22,24,27,30-31,37,60
生物計測法	44-45
世界気象機関	(参照) WMO
世界保健機関	(参照) WHO
全天放射量	95

【た】

帯域分光計測	45
大気光路長	30-31,36
体内時計	3,11,91
太陽系	2,16
太陽放射スペクトル	6,82
チミンダイマー	13-14

デオキシリボ核酸	13
電磁波	6,8-9
電波	6,8
透過率	58,78-80,82

【な】

二重らせん	13
ニュートン	7
布	78-82
ネグロイド	2
熱線	8,69,78,80,82
熱中症	12,68-69,82-83

【は】

ハーシェル	11
バイオリズム	11
白色光	7-8
白人系	2
波長	3,6-9,11-12,14,17-19, 38,41-43,45,50-51,53,57-58,60, 74,79,81-82
ビタミン D ₃	3,12,14,87,91
皮膚発がん	14
日焼け	9,12,14,38,50-51,58-60, 62-65,69-70,72,74,80,82-83,90,92
ピリミジン塩基	13
物理計測法	44-45
プリズム	7
フロン	19-20
ブロンズルック	90
分光計測	45,47

放射線2,4,17,94
ポリエステル 78-80

【ま】

メラトニン11
メラニン（色素） (58),59, (60),
63, (72)
メラノサイト 58-59
綿 78-80
モンゴロイド2
モントリオール議定書26,91

【や】

有害紫外線 3,38-39,96

【ら】

リスク評価 47,51-52
リッター12
老人性白内障56

著者紹介 佐々木 政子 (ささき まさこ)

●略歴

- 東京都出身。東京理科大学理学部化学科卒。東京大学工学博士。東京大学生産技術研究所文部技官・文部教官助手を経て、東海大学情報技術センター専任講師。同大学開発技術研究所助教授・教授・同大学院工学研究科兼任を経て、現在、総合科学技術研究所教授。
- 東海大学総合研究機構研究奨励委員会委員長、文部省学術審議会専門委員、日本研究皮膚科学会評議員、日本皮膚科学会倫理委員会委員、第19期日本学術会議第4部理学振興研究連絡委員会委員、日本光生物学協会会長 (2001-2002)などを歴任。
- 現在、国立環境研究所地球環境モニタリング検討会専門委員、日本光医学・光生物学会理事、太陽紫外線防御研究委員会理事、日本照明委員会 ISO/CIE 規格国内審議委員会委員、日本女性科学者の会会長 (2003-)、内閣府男女共同参画推進局男女共同参画推進連携会議議員など。
- 日本印刷学会論文賞、東海大学松前賞、東京理科大学坊っちゃん賞 受賞。

●主な所属学協会

日本化学会、日本光医学・光生物学会、照明学会 (専門会員)、日本研究皮膚科学会、太陽紫外線防御研究委員会、日本光生物学協会、日本女性科学者の会、米国光生物学会

●専門

工業物理化学、応用光科学

●研究テーマ

光機能材料開発、生命と環境にかかわる光科学

●主な論文

Increasing trend of biologically active solar ultraviolet-B irradiance in mid-latitude Japan in the 1990s (Opt. Eng., 41, 3062-3069, 2002)

Neutral liposome-mediated delivery process of fluorescein-modified oligonucleotides in cultured human keratinocytes (J. Photochem. Photobiol., 60, 120-128, 2001)

Evidence for uptake of 8-methoxypsoralen and 5-methoxypsoralen by cellular nuclei (Mut. Res., 197, 51-58, 1998)

Spectroscopic mimicry for the protonated retinal Schiff base *in vivo* with modified amphiphilic clay ineterlayers as a possible model of opsin environment (Photochem. Photobiol., 66, 716-718, 1997)

Studies on photosensitive dichromated materials (Report of the Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, 27(1), 1-58, 1978)

●主な共著書

第1章 オゾン層破壊と地表の太陽紫外線、「生物の光障害とその防御機構」(日本光生物学協会編 共立出版, 2000)

第5章 紫外線量の測定と日常生活における紫外線対策「皮膚の光老化とサンケアの科学」(市橋正光編 フレグランスジャーナル社, 2000)

光化学 I (井上・高木・佐々木・朴著 丸善, 1999)

2. UV放射線 2.1 太陽 UV「UV と生物産業」(照明学会編 養賢堂, 1998)

10 病気も光で治る「一億人の化学 15 光が活躍する」(日本化学会編 大日本図書, 1993)

●特許

特許第 1001032 号 塩基性色素増感重クロム酸アンモニウム系感光層の製造法、特許第 2710352 号 紫外線計

執筆者：東海大学総合科学技術研究所
佐々木政子（教授）

編集者：東海大学総合科学技術研究所
竹下秀（講師）

国立環境研究所
環境健康研究領域 疫学・国際保健研究室
小野雅司（室長）

地球環境研究センター
藤沼康実（研究管理官）
丹羽忍（観測第一係長）
多田容子（研究補助員）

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—

[CGER REPORT : ISSN 1341-4356, CGER-M018-2006]

2006年3月発行

発行元

独立行政法人国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

電話：029-850-2384

FAX：029-858-2645

E-mail：www-cger@nies.go.jp

http://www.nies.go.jp

© 2006 NIES

本書を国立環境研究所に無断で転載・複製することを禁じます。
この報告書は再生紙を使用しています。