

2 紫外線の状況

気象庁では、波長別の紫外線強度観測を行っているが、本報告では「紫外線の量」を、健康被害対策を目的として定義された红斑紫外線量、あるいはそれを日常使いやすい数値に指標化したUVインデックスとして示す。直接観測される紫外線の波長ごとの強度を、红斑紫外線量あるいはUVインデックスに換算する方法は用語解説「红斑紫外線量・UVインデックス」の項(p61)を参照。

2-1 国内の紫外線

2007年の日本国内の紫外線量は、参照値*と比べ、札幌とつくばで多く、那覇で並だった。
国内3地点の紫外線量は、1990年代初めから増加傾向にある。

2-1-1 2007年の国内の紫外線の状況

気象庁で観測している红斑紫外線量*日積算値の2007年における月平均値の推移を図2-1-1に示す。国内3地点の月平均値の評価は表2-1-1に示す。月ごとにみると、札幌における月平均红斑紫外線量は、6月と7月にその月として過去最大となった。つくばでは3月以降多い月が多く、3月と9月にはその月として過去最大となった。那覇では1年を通して並か少ない月が多く、4月はその月として過去最小だった。2007年の红斑紫外線量年積算値については参照値と比べ、札幌とつくばで多く、那覇で並だった。

なお、参照値からの差が標準偏差以内のときを「並」、それより大きいときを「多い」、それより小さいときを「少ない」とした。

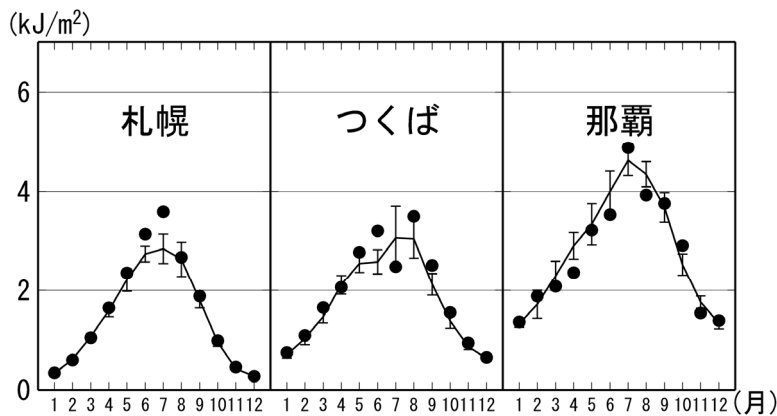


図2-1-1：2007年における红斑紫外線量日積算値の月平均値の推移

国内3地点（札幌、つくば、那覇）における红斑紫外線量日積算値の月平均値の推移。●印は2007年の月平均値。実線は参照値。縦線はその標準偏差。ただし、参照値は、札幌、那覇では1991～2006年、つくばでは1990～2006年の平均値である。

紫外線観測は台風等の悪天時や観測機器の調整時に停止することがあり、これらのデータを除いたまま月平均値を算出することは、その月の状況をみるうえで問題がある。そこで、観測を停止した時間帯の紫外線量については、オゾン量や気象データをもとに値を推定し、月平均値を算出した。

	札幌	つくば	那覇
1月	0	0	0
2月	0	0	0
3月	0	+(1)	0
4月	0	0	-(1)
5月	0	+	0
6月	+(1)	+	-
7月	+(1)	0	0
8月	0	+	-
9月	0	+(1)	0
10月	0	+	+
11月	0	+	-
12月	0	0	0

表 2-1-1: 2007年における红斑紫外線量日積算値の月平均値の評価

国内3地点（札幌、つくば、那覇）における红斑紫外線量日積算値の月平均値の評価。参照値との差が、標準偏差内であるときに「0」、それより多いときに「+」、それより少ないときに「-」とした。過去1位を記録した場合(1)と付記した。参照値は、札幌と那覇は1991～2006年、つくばは1990～2006年の平均値。

* は「用語解説」(p60～62)を参照。

2-1-2 国内の紫外線の経年変化

紫外線の経年変化

国内で観測を行っている1990年以降の紫外線量の長期変化をみるために、図2-1-2に紅斑紫外線(CIE)量年積算値の推移を示す。札幌、つくば、那覇の3地点で地表に到達する紫外線量の長期変化傾向は、札幌を除き統計的に有意ではない(有意水準5%)ものの、1990年代初めから増加傾向が見られる。

図2-1-2：紅斑紫外線量年積算値の推移

●印は札幌、つくば、那覇における紅斑紫外線量年積算値の観測開始から2007年までの推移。直線は全期間の長期的な傾向。

紅斑紫外線量年積算値は紅斑紫外線量日積算値の月平均値を年平均したものに1年の日数をかけたものである。

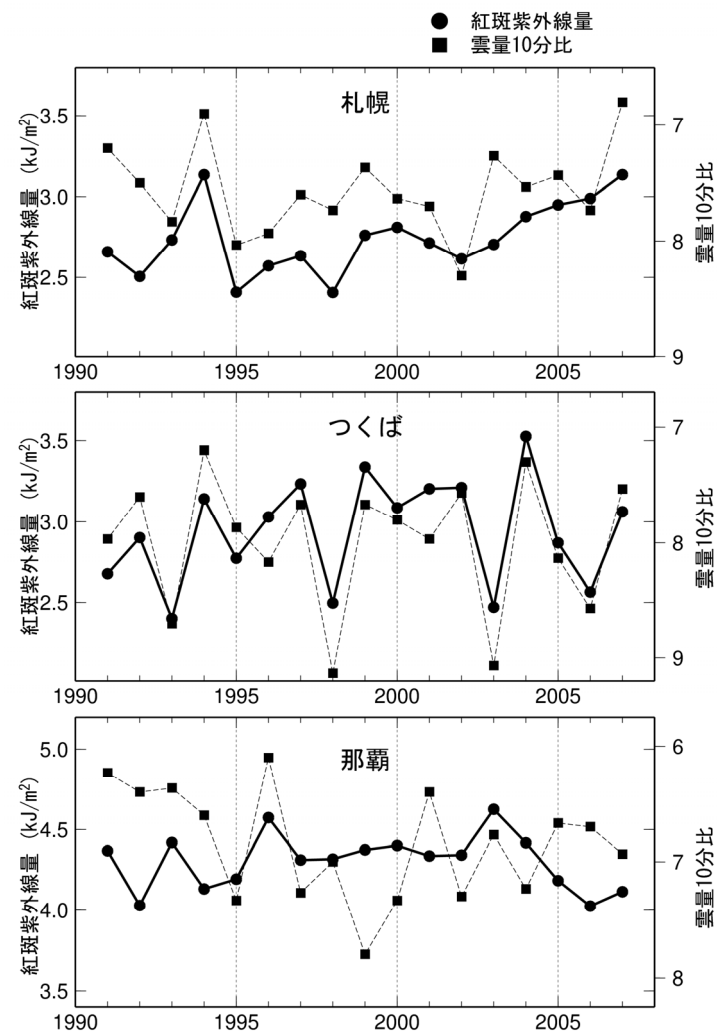
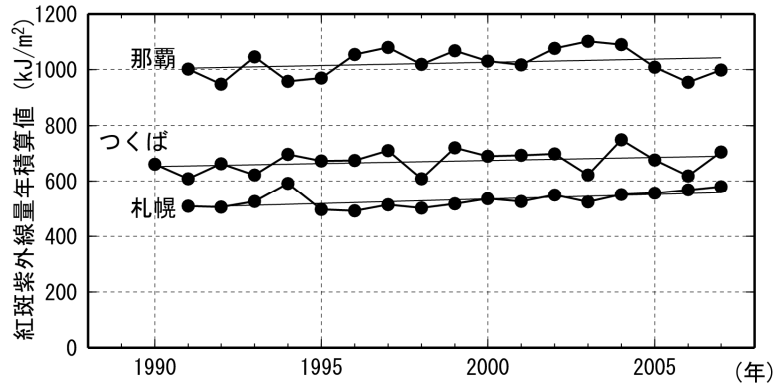


図2-1-3：国内3地点の夏季における日積算紅斑紫外線量及び日平均雲量の経年変化

各要素について6～8月の平均値を示す。●は紅斑紫外線量、■は雲量10分比を示す。

地表に到達する紫外線量は上空のオゾン量、エアロゾル量、雲の状況などによって変化する。1990年以降のオゾン量は、1990年代初めに最も少なく、その後はほとんど変化がないか、もしくは緩やかに増加している(1-2-2項参照)。このため、1990年以降、国内3地点の紫外線観測にみられる紫外線量の増加傾向をそのままオゾン量の変動に関連づけて説明することはできない。

紫外線量が多い夏季における紅斑紫外線量と、天気指標の一つとして目視観測による雲量の平均値の経年変化を図2-1-3に示す。この図をみると、札幌とつくばの紅斑紫外線量と雲量はよく対応して変動しているように見える。1991年から2007年の期間の相関係数は、札幌で-0.6、つくばで-0.8だった。しかし、那覇の紅斑紫外線量と雲量の相関係数は0.0であり、3地点すべてで紫外線量の変動と雲量の変動の対応がよいわけではない。また、いずれの地点においても、夏季の雲量に統計的に有意な減少トレンドはみられなかった。

一方、夏季の北日本では日照時間に約5%/10年の減少トレンドがあるという報告(渡辺、2004)もあり、天気の状態の変化が1990年以降の紫外線の長期変化の原因である可能性もある。ただし、北日本以外では夏季において統計的に有意な日照時間のトレンドはなく、国内の紅斑紫外線量の増加傾向の原因を天気の変化だけに求めることは難しい。

「科学アセスメント:2006」によれば、いくつかの汚染されていない場所での観測では、1990年代後半以降紫外線量が減少しているが、北半球中緯度のいくつかの観測点では、地表に到達する紫外線が10年あたり数%の割合で増加し続けている、と報告されている。また、この紫外線量の増加は、場所や波長帯、観測期間に依存しており、オゾン破壊だけでは説明できないとされ、1990年代初めからのエアロゾルの光学的消散や、大気汚染の減少傾向が起因しており、雲の減少の影響も一部考えられる、と報告されている。

図2-1-4に、国内の直達日射計の観測から求めた大気混濁係数(ホイスナー・デュボアの混濁係数)の経年変化を示す。1991年6月のピナトゥボ火山噴火にもなつて二酸化硫黄が成層圏に大量に注入され、その結果生成された硫酸塩エアロゾルにより成層圏は長期間にわたって混濁した。そのため大気混濁係数は、火山噴火の後数年間にわたり大幅な増加がみられた。その後、エアロゾル量は、1996年頃までにエルチヨン火山噴火前のレベルに戻り、その後もわずかながら減少している。この大気混濁度の低下が、1990年代以降にみられる紫外線量増加のひとつの要因として考えられる。

なお、気象庁における波長別の紫外線観測は世界でも先駆的に開始されたものであり、較正方法が確立されていなかった観測開始当初の観測データについては、現在の観測データの較正方法を踏まえて、再評価中である。そのため、今回の報告では、札幌の1994年1月以前と、つくばの1997年12月以前の期間については、紫外線の観測データと全天日射量等の気象要素との比較検討に基づいて決めた補正量(札幌の1994年1月以前の期間では-5%、つくばの1997年12月以前の期間では+5%)を加えて評価している。

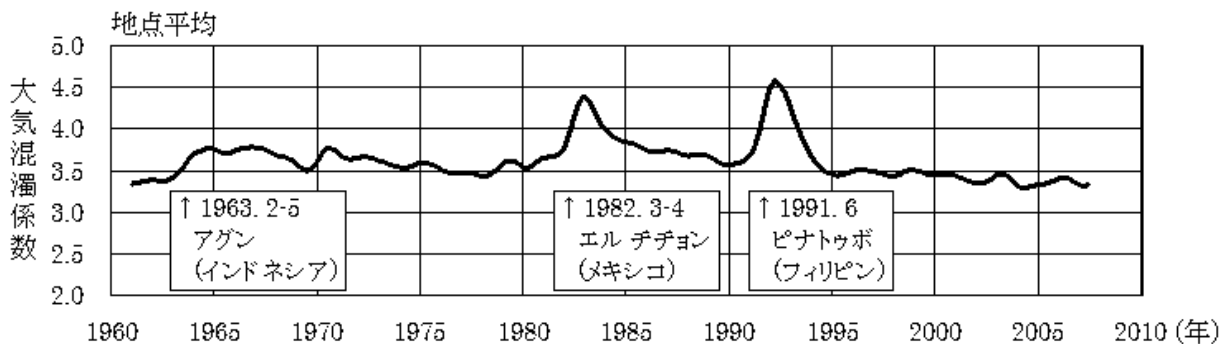


図2-1-4 大気混濁係数の経年変化(1961~2007年)

水蒸気や黄砂の影響を取り除くため月最小値を使用し、さらに季節変化およびそれより短い周期成分を取り除いた。

また、観測されたオゾン全量値をもとに、「天気の状態やエアロゾル量などに経年変化がない」と仮定した場合の紫外線の長期変化傾向を、放射伝達モデル(Aoki, 2002)を用いて求めると、1980年以前に比べ現在の紅斑紫外線量は、札幌の場合、年平均で2%、月により最大で9%程度増加していると推定される。

2-2 南極域における紫外線

2007年の南極昭和基地の紫外線量は、オゾンホール時期である9月から12月にかけて並だった。

2-2-1 2007年の南極域における紫外線の状況

オゾン全量の変動の大きい南極域では、紫外線量の変動にも大きな関心もたれている。

南極昭和基地における2007年紅斑紫外線量日積算値の月平均値の推移を図2-2-1に示す。南極昭和基地における紫外線量は、2月は参照値と比べ少なかった。オゾンホールの最盛期から消滅期である10～12月にかけては並だった。

8月から12月にかけての昭和基地における紅斑紫外線量日積算値の推移を、全天日射量日積算値およびオゾン全量の推移とともに図2-2-2に示す。オゾン全量の推移をみると、2007年11月の前半に一時期、参照値よりも多い時期があり、11月後半から12月中旬まではオゾン全量が少なかった。オゾン量の変動は地上に到達する紫外線量に影響を与える。このため、紅斑紫外線量日積算値は、11月前半は参照値より少なく、11月後半から12月中旬にかけて多くなったと考えられる。

全天日射量日積算値は、極夜の明けた後の8月から12月にかけて増加し、12月に最大となっている。これは南中時の太陽高度が高くなり、日照時間が長くなるためである。基本的には紫外線量の累年平均値もそれに対応して増加するという季節変化を示すが、全天日射量が最大になるよりかなり早い時期に紫外線量は最大レベルに達する。この理由は、昭和基地上空では11月から12月にかけてオゾンホールの消滅時期にあたり、早い時期ほどオゾン全量が少ないためである。

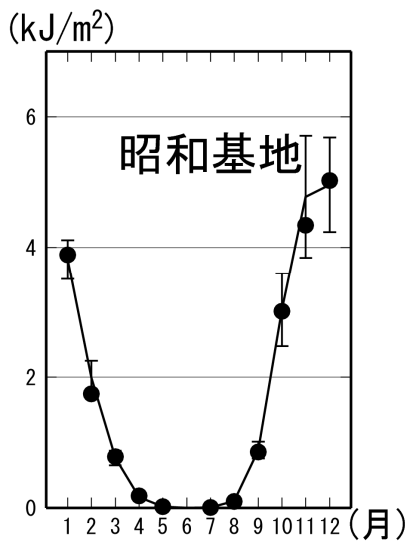


図2-2-1：2007年における紅斑紫外線量日積算値の月平均値の推移

南極昭和基地における紅斑紫外線量日積算値の月平均値の推移。●印は2007年の月平均値。実線は参照値。縦線はその標準偏差。ただし、参照値は1993～2006年の平均値。

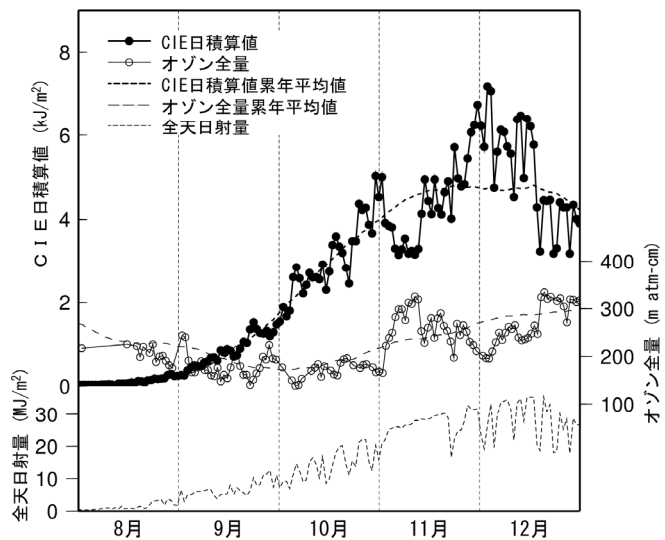


図2-2-2：南極昭和基地における紅斑紫外線量日積算値、オゾン全量及び全天日射量の2007年の推移

太実線は紅斑紫外線量(CIE)日積算値、細実線はオゾン全量、太破線は紅斑紫外線量日積算値累年平均値の15日移動平均、細破線はオゾン全量累年平均値の15日移動平均、点線は全天日射量日積算値。ここでの累年平均値は紅斑紫外線量、オゾン全量ともに1993年から2006年までの平均値。

2-2-2 南極域における紫外線の経年変化

南極昭和基地では1991年から紫外線の試験観測を行い、1994年2月から定常観測を開始した。

図2-2-3に1993年から2007年までの紅斑紫外線量日積算値の推移を示す。これによると、毎年11月から12月にかけて最大となるが、その最大値は年により大きく異なっており、その年のオゾンホール規模や消滅時期に大きく左右されている。

昭和基地における観測開始以来の最大のUVインデックスは、2006年11月23日に観測された12.0で、これは国内では九州および南西諸島における夏季の晴天時の観測値に相当する。紅斑紫外線量日積算値の最大値は、同じく2006年11月23日に観測されており(8.66kJ/m²)、これまで国内で観測された最大値7.09kJ/m²より22%も大きい。昭和基地は日本国内に比べ高緯度(南緯69度)に位置しており、最大時の太陽高度は国内に比べはるかに低いものの、オゾンホールの影響で上空のオゾン量が少ないこと、地表面が雪氷で覆われ反射率が高いこと、大気が清浄でエアロゾル量が少ないことといった要因が重なり合って紅斑紫外線量が増加し、UVインデックスを大きくする。さらに夏季期間の白夜により日照時間が国内に比べて長いことが、紅斑紫外線量日積算値を国内の最大値よりも大きくする要因となっている。

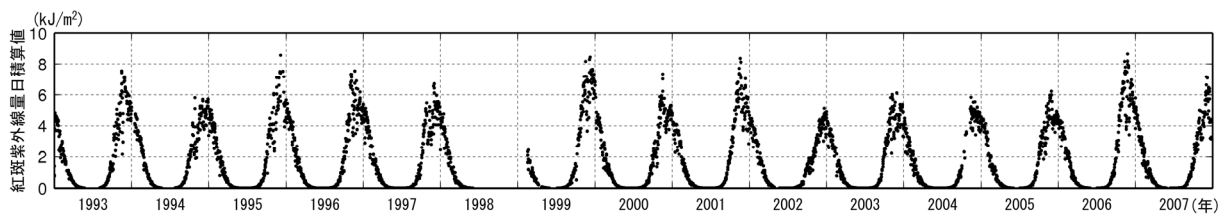


図 2-2-3 : 1993 年から 2007 年までの南極昭和基地における紅斑紫外線量日積算値の推移

解説8 紫外線についての知識

紫外線は日射の一部であるが、その減衰、散乱、地表面での反射などの性質は、日射一般（主に可視光）の性質とは異なる面がある。日射は一般に、大気分子、エアロゾル（大気中に浮遊する固体または液体の微粒子）、雲の吸収・散乱を受け、減衰しながら、直達光と散乱光として地表に到達する。紫外線は、日射一般に比べて吸収や散乱の効果を強く受け、特にオゾン層で強く吸収されるため、可視光に比べて大気圏外の強度から大きく減衰する。また、日射全体に占める散乱光の割合は10～20%程度であるが、紫外線の場合、散乱光の割合は50%以上に達するという特徴がある。

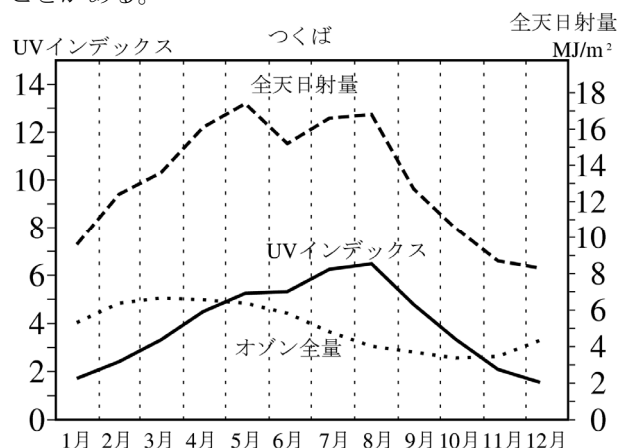
紫外線の減衰の程度は、大気を通過する経路の長さに依存するので、太陽の高度は地表における紫外線量を決める重要な因子である。また、紫外線の性質から、標高、上空のオゾン量、エアロゾル量、雲の状況、地表面反射率など、さまざまな因子の変化にともなって紫外線量は変動する。以下、これらの因子の変化にともなう紫外線量の変動の特徴を、地表に到達する紫外線量を算出する放射伝達モデルの計算結果も交えて解説する。

紫外線の季節変化

まず、実際に観測された紫外線の季節変化について述べる。これは、太陽高度やオゾン、雲、エアロゾルの季節変化に対応している。図E8-1につくばで観測された全天日射量、UVインデックスおよびオゾン全量の季節変化を示した。全天日射量が5月に最大となっているのは、この時期に太陽の高度がすでに高くなっている上に、一般的に晴天の日が多いためである。6月は、太陽の高度が1年のうちで最も高いものの、梅雨の影響があるため、全天日射量はやや小さくなっている。UVインデックスは、全天日射量の最大値が5月に現れているのとは異なり、8月に最大値が現れている。これは、中緯度のオゾン全量が春に最大になり、その後徐々に秋に向かって減少していくこと、またエアロゾル量が夏季に少なくなることを反映している。

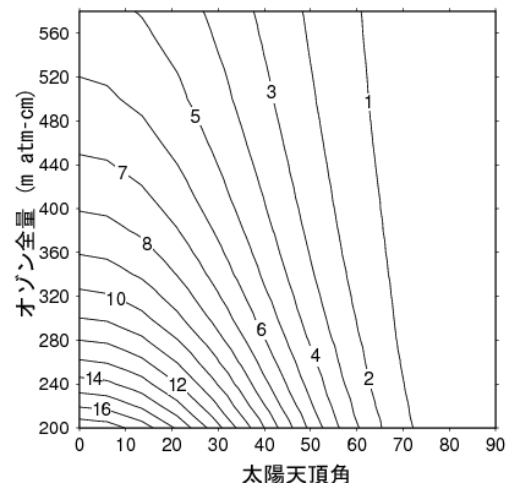
オゾンと紫外線

図E8-2に、放射伝達モデルを用いて算出した太陽天頂角（太陽が頭上にあるときが0度、地平線上にあるときが90度となる）の変化に対するUVインデックスの変化をオゾン全量200～570 m atm-cmの範囲について示す。これは大気中にエアロゾルがないと仮定したときの計算例である。オゾン全量が多いと、紫外線はオゾンによる吸収を強く受けて減少するが、太陽が低い位置にあると、地表に到達する紫外線はオゾン層を斜めに通過するため、やはりオゾンによる吸収の影響を受けて大きく減少する。本州付近における夏の正午頃の太陽天頂角はおよそ15度であり、オゾン全量はおおむね250～400の範囲内となる。このときオゾン全量が1 m atm-cm減少するとUVインデックスは約0.4%増加する。このようにUVインデックスは日々のオゾン量の変化に対応して変動する。オゾン量の変化により、数日でUVインデックスが2以上変化することがある。



図E8-1：全天日射量とUVインデックスの季節変化

つくばで観測された日積算全天日射量（破線）および日最大 UV インデックス（実線）の月平均値の季節変化。点線はオゾン全量の1年の変化を示す（統計期間：1991～2003年）。



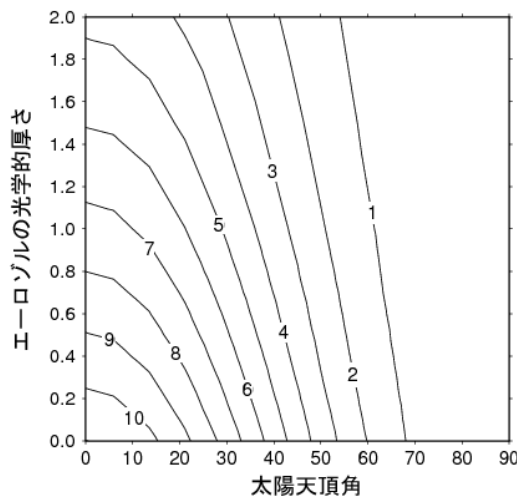
図E8-2：オゾン全量と太陽天頂角に対するUVインデックス

放射伝達モデルを用いて計算した太陽天頂角（横軸）とオゾン全量（縦軸）に対する UV インデックスの大きさ。

紫外線は、大気中のオゾン以外の気体成分によっても吸収される。例えば二酸化硫黄は紫外線領域に強い吸収帯をもっている。通常、その効果は無視できるほど小さいが、活動中の火山からは二酸化硫黄が放出されるので、その近辺では顕著な紫外線の減少がみられる。大気汚染の深刻な地域では、二酸化窒素、硝酸、ホルムアルデヒド等による吸収も無視できない(WMO, 2003)。

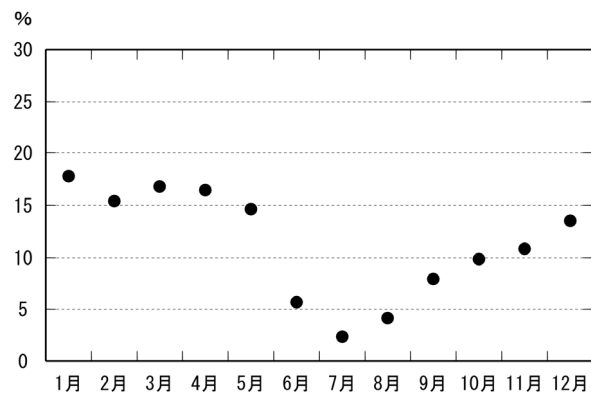
エアロゾルと紫外線

エアロゾルは紫外線を吸収・散乱するため、紫外線の強度はエアロゾルの性質や分布に対応して変化する。太陽天頂角とエアロゾルの光学的厚さ(AOD: Aerosol Optical Depth)が変化するとき、UVインデックスがどのように変化するかを放射伝達モデルを用いて推定したのが図E8-3である。ここでは、オゾン全量は300m atm-cm、エアロゾルのタイプは陸上の標準的なエアロゾルの組成や粒径であると仮定し、縦軸は368nmにおけるAODを示している。AODが増加すると、紫外線はエアロゾルの吸収・散乱の効果を強く受けて減少する。関東付近の春から夏にかけての時期(太陽天頂角は15~20度程度)には、AODがおおよそ0.2から0.9の間で変化する。この日々のAODの変化にともない、UVインデックスは2程度変化することがわかる。図E8-4に、那覇における観測から導出されたエアロゾルによるUVインデックスの減衰率を示す。これは、太陽直射光があるときに観測された12時のUVインデックスと、このときのオゾン全量をもとに、大気中にエアロゾルが存在しないと仮定して放射伝達モデルで計算した12時のUVインデックスの比を月平均して求めた。那覇の場合、夏季は海洋性の気団に覆われ、エアロゾル量が減少するため、エアロゾルによる減衰率は小さい。夏季以外はエアロゾルの多い気団に覆われ、冬季から春季にかけてのエアロゾルによるUVインデックスの減衰率はおよそ15%である。札幌やつくばでも、那覇ほど顕著ではないが、夏季に減衰率の低下がみられる。年平均値でみると、UVインデックスはエアロゾルの効果により札幌とつくばで約20%、那覇で約10%減衰する。このようにエアロゾルがUVインデックスに及ぼす影響は地域、季節によって異なる。エアロゾル量は日々大きく変動し、さらにエアロゾルの種類もさまざまであるため、エアロゾルが紫外線量へ及ぼす影響の大きさは一定ではない。一般に、煙やすず、砂塵などのエアロゾルが大気中に多く存在する場合、紫外線量は大きく減少する。2003年にシベリアで発生した森林火災の煙が北日本に流入したとき、札幌での紫外線量は通常より65%減少した(気象庁, 2004)。



図E8-3: エアロゾルの光学的厚さと太陽天頂角に対するUVインデックス

放射伝達モデルを用いて計算した、太陽天頂角(横軸)と368nmにおけるエアロゾルの光学的厚さ(縦軸)に対するUVインデックスの大きさを示す。なお、オゾン全量は300m atm-cm、エアロゾルのタイプは陸上の標準的なエアロゾルの組成や粒径であると仮定している。

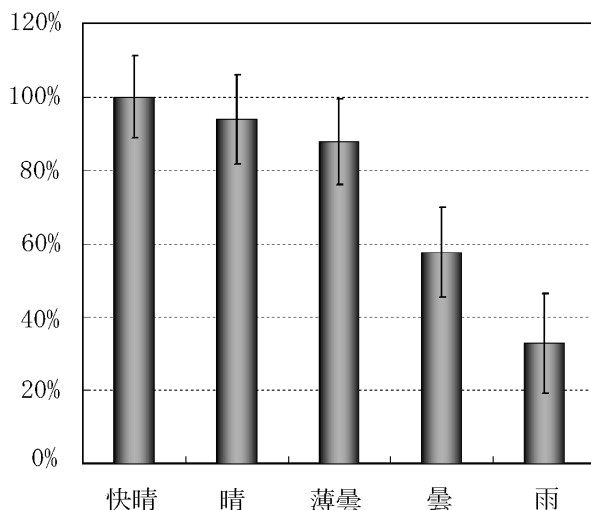


図E8-4: エアロゾルによるUVインデックスの減衰率(那覇)

太陽方向に雲がないときに観測された12時のUVインデックスと、このときのオゾン全量をもとにエアロゾルがないと仮定して放射伝達モデルを用いて計算したUVインデックスとの比を月別に示す(1997~2003年の平均値)。

雲と紫外線

雲は太陽光を遮るため、雲量や雲の状態、すなわち天気の変化は紫外線量を顕著に変動させる。図E8-5に、快晴の日のUVインデックスを基準とした、天気ごとのUVインデックスの相対的な割合を示す。これは、放射伝達モデルで推定される晴天時の紫外線量と、実際に観測された紫外線量を比較したものである。晴、薄曇、曇、雨と天気の変化するにつれ、快晴の場合に比べてUVインデックスは減少していく。雨が降っている場合には、快晴時の20～40%まで減少する。同様に、日照時間や降水の有無と紫外線量の関係が得られる。なお、雲は太陽光を遮るばかりでなく、散乱効果により紫外線を増加させる場合もある。太陽に雲がかかっておらず、かつ太陽の近くに積雲が点在しているような場合には、散乱成分が多くなるので、快晴時に比べて25%を超える紫外線の増加が観測されることがある(Estupinan et al., 1996)。また、これまでに国内で観測された紅斑紫外線量の特別値が最大値となった事例(付表参照)を見てみると、全ての事例で全天の80%以上が雲に覆われている状況であった。これらの観測事例からわかるように、雲が多くても太陽からの直達光が地表に届く場合は、紫外線量は短時間ではあるが散乱効果により多くなる可能性がある。



図E8-5 : 天気とUVインデックスの関係

快晴時のUVインデックスを基準とした、天気毎のUVインデックスの相対的な比を示す。札幌、つくば、鹿児島、那覇の1997～2003年のデータを用いて算出した。縦線は標準偏差。

付表：これまでに観測された最大の紅斑紫外線量（札幌、那覇は1991～2007年、つくばは1990～2007年、鹿児島は1991～2005年3月、南極昭和基地は1993～2007年）

項目	観測地点				
	札幌	つくば	鹿児島	那覇	南極昭和基地
特別値 (mW/m ²)	244	276	327	349	300
観測日時 (現地時間)	1997. 7. 27 12h	1997. 7. 9 12h	1996. 6. 28 13h	1996. 8. 5 13h	2006. 11. 23 12h
日積算値 (kJ/m ²)	5. 22	5. 67	7. 09	6. 60	8. 66
観測日	1993. 6. 17	1999. 7. 27	1996. 6. 28	1999. 6. 16	2006. 11. 23
日積算値の月平均値 (kJ/m ²)	3. 59	4. 14	4. 69	5. 17	6. 89
観測月	2007. 7	2001. 7	2004. 8	2003. 7	1999. 12

紫外線と散乱光

地表面での反射（散乱）率が大きいと、紫外線量は増加する。地表面での反射率は地表面の状態により大きく異なり、草地やアスファルトの反射率は10%以下であるが、砂浜では25%、新雪では80%以上に達する。地表面での紫外線の反射は、大気と地表面の間で繰り返される散乱（多重散乱）をもたらすため、上空からの下向きの散乱光も強める。南極昭和基地の観測によると、多重散乱の効果により、積雪がない場合と比較して、UVインデックスは40～50%増加した。中緯度では積雪があっても、観測点の周囲には、樹木や家屋、道路等の反射率の低い部分が混在することが多いため、反射率は大きく変わるが、平均すると30～40%程度であると考えられる(Schwander et al., 1999)。日本国内の積雪地帯では、一般的にUVイン

デックスは、積雪がない場合に比べ10～20%程度大きくなると見積もられる。なお、UVインデックスなど紫外線の強度は、単位面積の水平面に照射する下向きの紫外線の総量として定義されるが、地表に立っている人は、周辺の地表面から反射してくる上向きの紫外線も浴びていることに注意を払う必要がある。

解説9 世界の晴天時 UV インデックス分布

図4に晴天時UVインデックスの2007年7月と10月の月平均の様子を示す。これは、欧州宇宙機構(ESA)の地球観測衛星 ENVISAT に搭載されているセンサー (SCIAMACHY) によるオゾン全量観測等から解析された日々の太陽南中時における晴天時の紫外線量 (UV インデックス) を基に気象庁で月平均したものである。

7月の場合、北半球低緯度で紫外線量が最も多くなり、北半球中高緯度では緯度が高くなるにつれて紫外線量が減少する分布となっている。これは7月に北半球低緯度で太陽高度が最も高くなるためである。また、紫外線は標高が高いほど強くなることを反映し、チベット付近は同じ緯度と比較して紫外線量が多い様子が解析されている。

10月は太陽高度の高い緯度が赤道付近に移るため、紫外線量の最も多い緯度帯は赤道付近となる。一方、南緯 60 度付近では、経度 0 度付近を中心に同じ緯度と比較して紫外線量が多い領域が見られる。10月は南極付近でオゾンホールが最も発達した時期であることから、紫外線量が多い領域とオゾン全量の少ない領域が良く対応している。

解説10 紫外線対策へのUVインデックスの活用方法

地球規模で進んでいるオゾン層の破壊により、地表に到達する有害紫外線が増加して、皮膚がんや白内障等の病気の発生率が増加したり、体内免疫力が低下することが危惧されている。特に、メラニン色素の少ない人に、皮膚がん、悪性腫瘍が世界的に増加しているとも言われており、日射を浴びることが健康的であるとする生活習慣や、オゾン層の破壊は、その影響を深刻化することにつながりかねない。このような状況を受け、2002年7月に、世界保健機関 (WHO)、世界気象機関 (WMO)、国連環境計画 (UNEP) などは共同で、「UVインデックスの運用ガイド」を刊行し、UVインデックスを活用した紫外線対策の実施を推奨している (WHO, 2002)。

運用ガイドでは、公衆衛生の観点から、もっとも影響を受けやすい人々 (メラニン色素の少ない人や子ども達) を基準にして、UVインデックスに応じた対処法をわかりやすく人々に伝えるよう提唱している。これによれば、UVインデックスが3～7の場合には、できるだけ日陰を利用し、長袖シャツ等を利用することを、またUVインデックスが8以上の場合には、外出を控えるとともに、必ず長袖シャツ等を利用することを推奨している。我が国でも、2003年に環境省から、紫外線対策の普及を目的として、保健師などを対象に「紫外線保健指導マニュアル」が刊行され (環境省, 2003)、2006年にはその改訂版 (環境省, 2006) が刊行されている。

表：UVインデックスに応じた紫外線対策 (環境省「紫外線保健指導マニュアル」による)

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