生体影響紫外線 DUV の天気及び雲量・出現高さ・ 雲形に基づく天空状態別解析

EVALUATION AND CHARACTERISTIC ANALYSIS OF THE DUV (DAMAGING ULTRA VIOLET) VALUE ACCORDING TO THE SKY CONDITION BASED ON WEATHER CLASSIFICATION, CLOUD AMOUNT, APPEARANCE HEIGHT AND CLOUD FORM

新 聖子*, 垂水弘夫**, 久保猛志**

Masako SHIN, Hiroo TARUMI and Takeshi KUBO

The interest for the ultraviolet radiation of people is turned to not only quantitative increase by the ozone layer depletion but also effect on the human body. In order to understand the amount of ultraviolet radiation exposed in the daily life and to make an effective defense countermeasure, it becomes necessary to show the information on the ultraviolet radiation environment by regions, weather classification, seasons and time zones. In this study, the data of DUV value which is one of the biologically weighted ultraviolet radiation are analyzed and evaluated according to the sky conditions based on weather information, cloud amount, cloud appearance height and cloud form.

Keywords : Damaging Ultra Violet, Ultraviolet solar radiation, weather classification

生体影響紫外線 DUV, 紫外域日射, 天気分類

1. はじめに

オゾン層破壊による地上到達紫外域日射量の増大への懸念だけでなく、紫外域日射が及ぼす生体作用に対する人々の関心が高まってきた。わが国においても、2003年6月に、紫外線保健指導マニュアル¹⁾が環境省より発行されるなど、紫外線による健康影響及び防御への理解促進のための動きが見られる。日常生活で浴びる紫外域日射量を理解し、有効な防御策を施すためにも、地域や天候、季節や時間帯による紫外域日射環境の情報を提示する必要がある。

筆者らは、紫外域日射による生体影響を数値的に評価するために、紫外域日射に関する分光観測値^{注1)}と生体作用の重み付け係数を乗じて波長積算することで算定される、生体影響紫外線 DUV^{注2)}を用いて地域・季節特性解析を行ってきた。既報^{2)~5)}では、生体影響紫外線 DUV の特別特性を明らかにすることを目的として、金沢の晴天日における紫外域日射分光観測データを中心に、他の気象観測データである日射量や紫外域日射の全量観測値(UV-A, UV-B)などと対比させながら、季節変化も含めて解析した。本報では DUV に関する特別特性解析を、札幌、つくば、鹿児島、那覇を加え5地

域に展開し、地域による特徴を明らかにしていくこと、さらに、晴天日だけでなく雲の存在する日に注目した天空状態別の紫外域日射環境を明らかにすることを目的とする。雲量・出現高さ・雲形を分類項目とし、雲の出現状況から天空状態を識別した場合の、DUV 値による紫外域日射環境の相違を地域・月ごとに提示する。

紫外域日射について天空状態を加味した解析を行なった研究としては、佐々木⁶⁾、川西⁷⁾などによるものがあるが、晴天の放射輝度を解析対象としている。本研究では、水平面観測値を扱い、人体皮膚細胞中のDNAへの作用スペクトルを考慮した指標である DUV を軸に検討している点に特色がある。

解析に用いる紫外域日射分光観測値は、1990年以降 Brewer 観測機を設置した、气象台4地点及び金沢工業大学で観測された全蓄積データ^{注3)}、文献⁸⁾である。入手した分光観測値を全て、生体影響紫外線 DUV に変換し、特性解析に用いることとしている。天空状態を分類するための気象データは、各地域とも同期間の地上気象観測原簿⁹⁾を入手し、使用する。気象データからは、昼間天気概況及び3時間毎の特別天気及び雲の出現状況を示す項目を抽出して用いる。

* 金沢工業大学大学院建築学専攻 大学院生・修士(工学)

** 金沢工業大学建築系 教授・工博

Graduate Student, Dept. of Architecture, Kanazawa Institute of Technology, M. Eng.

Prof., Division of Architecture, Kanazawa Institute of Technology, Dr. Eng.

解析の流れとしては、地域・月毎の紫外域日射環境の日変動の相違を知るために、まず、晴天日における DUV 値の変動特性について明らかにし、次に毎時の気象データに基づき天空状態別の DUV 値の算定と特性解析を行っていくこととする。最初に晴天日の値を明確にしておくことで、天空の状態別に算定した DUV 値との比較解析を行うことが可能となり、紫外域日射環境の相対的な関係を提示することが出来る。

2. 天気及び雲の出現状況による天空状態の分類について

晴天日における DUV 日変動解析では、5 地域の 1990 年以降の全蓄積データの中から、晴天日を条件として抽出した時別値データを解析対象とする。解析対象日の抽出過程と条件は次のとおりである。

- 1) 地上気象観測原簿に記載されている 6～18 時の天気概況に「晴」の表記が含まれている日。
- 2) 日変動図を作成したとき、経時変化に雲の存在の影響と思われる急激な減衰が見られないこと（正午付近をピークとして、午前と午後になめらかな数値の上昇と下降が認められる日）。

以上の条件で抽出したデータを用いて、月ごとに DUV 時別値による日変動図を作成する。月別該当データ数を表 1 に示す。

天空状態別の DUV 算定では、時刻別に 9 時、12 時、15 時の値に注目し、該当該時刻の気象データに基づき分類・整理することで、各天空状態の紫外線量の比較を行なう。天空状態は、1) 天気による分類と、2) 雲の出現状況の組み合わせ毎に分類する。

また、用いる評価指標の DUV 値は、紫外域日射の人体における許容被照時間数^{註 4)}に換算可能な値であることから、値の大小関係だけでなく、長短関係という比較的理解しやすい時間数指標によってもまた、紫外域日射環境の相違について表現することとした。

天空状態は、雲量及び出現高さに関する天気と降水の有無を考慮し、代表的な 5 種の天気^{註 5)}、「快晴」、「晴」、「薄曇」、「曇」、「雨」に分類する方法と、雲の出現状況による分類を行う。天気の別による相違の大概を把握した上で、より詳細な雲の出現状況（雲量、出現高さ、雲形¹⁰⁾）^{註 6)}別に DUV の推定を行ない天空状態別紫外域日射環境の評価を行なうこととする。

なお、任意時刻の天空状態は、複数の種類の雲の出現により構成

されている場合もある。その場合は、出現している個々の雲の中で、最も広い範囲で空を占めている雲形を天空状態判別のための分類要素とした。

3. 地域・月ごとの時刻別平均 DUV 値算定結果

3. 1 晴天日における DUV 日変動解析

DUV 時別値による変化特性を明瞭に把握するために、雲の影響が小さい晴天日のデータから、時系列の変動特性を把握する必要がある。前項で示した抽出課程を経て得られたデータを地域・月別に整理したものが図 1 (1)～(5)である。夏季正午付近に現れる最大 DUV 値は低緯度地域ほど高くなり、夏季と冬季とでは、各地域とも 0.04W/m²前後の季節差が見られる。また、金沢における DUV の時別変動について解析した前報⁹⁾で一部報告したように、DUV の日変

表 1 解析対象データの地域・月別日数(単位:日)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
札幌	22	26	28	47	49	49	34	40	29	46	29	21	420
金沢	1	2	6	11	6	1	3	8	4	11	12	3	68
つくば	152	99	70	62	47	17	28	23	24	60	95	137	814
鹿児島	53	54	48	43	42	4	15	26	40	61	86	80	552
那覇	13	17	14	20	23	15	14	29	40	42	27	34	288

図 1 晴天日の地域・月別 DUV 日変動

表 2 日積算値に対する DUV 及び日射時別値の割合の比較(金沢、単位:%)

		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
DUV	12時※ ¹	23.5	22.6	20.5	18.9	17.3	17.6	17.4	18.4	19.4	20.5	21.6	22.7
	10～14時※ ²	17.7	15.8	14.1	13.2	12.6	12.1	12.5	13.1	13.9	15.1	16.1	17.4
全天 日射量	12時	90.1	86.2	82.7	78.0	74.1	73.6	73.4	76.5	79.0	82.1	84.3	88.1
	10～14時	76.8	70.6	65.1	61.4	58.6	56.5	58.8	60.8	64.2	69.2	72.4	77.3

※1 12時・時別値の日積算値に占める割合

※2 10～14時の時別積算値の日積算値に占める割合

動は全天日射^{注7)}に比べ、正午までの立ち上がりが遅く、夕方にかけての減衰が速やかであることに特徴がある^{注8)}。日射日変動との比較として、毎正時の日射量データが得られる金沢について、日積算値に占める DUV 及び日射時別値の比率を月毎に算定し、表 2 に示した。尚、気象庁で公表されている日射量は、毎正時の瞬間値ではなく、前 1 時間の積算値であることから、金沢を除く 4 地域では、概算となるため、金沢での算出結果から考察することとした。DUV 値は、正午の値で 17.3~23.5%，10 時から 14 時の積算量では、夏季に 1 日の照射量の約 70~80%を、冬季には約 90%を占めていた。一方、全天日射量では、正午の値で 12.1~17.7%，10 時から 14 時の積算量では、夏季に約 60%，冬季で 80%弱と DUV 値の正午付近における日積算値に対する量の割合の高さが示された。

図 2 は、DUV 時別値の変動パターンを地域ごとに把握するために、図 1 (1) ~ (5) の時別平均値について、正午の値を基準 (1.0) とした比率を求めたものである。札幌・金沢・つくばの 3 地点では 11~12 時に、鹿児島・那覇では 12~13 時の時間帯に DUV 値はピークを迎え、正午を挟んだ午前と午後とは地域によって紫外域日射量は異なることが確認される。これは、日本標準時である明石の東経 135 度を境に、南中時刻が地域によって異なるためである。しかし、最大 DUV 値を迎える時間帯を中心に増加・減少の率を結んだ折れ線グラフの形自体は、札幌、那覇を問わず、各地域ともほぼ同じ様であり、日中の紫外域日射量のピーク時を挟んだ前後の時刻毎の増加・減少の割合については地域による差の小さいことが明らかとなった。

3. 2 天気 5 分類による時別 DUV 値の提示

天空の状態を簡単に表現する方法として、天気がある。そこで、時別 DUV 値を気象データに基づき天気毎に 5 分類を行い、地域・月別に平均値を算定し、表 3 に整理した。天気・月別の値のばらつきを示すために、12 時の値に関して変動係数も併せて表示した。表中の網掛け部分は、紫外域日射に関する許容被照時間数に換算した際の階級表示であり、15 分以内 (DUV 値で 0.033W/m²以上)、15~30 分 (0.017 W/m²以上、0.033 W/m²未満)、そして 30 分~60 分 (0.008 W/m²以上、0.017 W/m²未満) の 3 ランクの階級を設定した。このランク設定にあたっては、60 進の時間数として分かり易いこと (60 分、30 分、15 分)、最短の許容被照時間数が 10 分程度であること、エネルギー量としての DUV 値で見た場合にも倍数に近い関係になっていること、などを考慮した。全体的な特徴として、「快晴」、「晴」、「薄曇」、「曇」、「雨」の順に、DUV 値が低下する傾向が見てとれる。また、変動係数は雲の様々な出現状況の影響を受け、ほぼこの天気の順に大きくなっている。

また、表中の「比率」は 12 時の快晴時の DUV 値を基準 (1.0) とした各値の比を算定し、示したものであり、「割合」は各地域における夫々の天気の出現傾向を示したものである。「快晴」の出現割合の高いのはつくばであり、「晴」では那覇が各時刻とも約 40%の高い出現割合を示している。太平洋側のつくばでは雲の少ない晴天日が多く、那覇では四方を海に囲まれている地理的条件から比較的雲が出現しやすく、天気分類で「晴」の出現頻度が高くなっているものと考えられる。また、各地域とも「曇」の出現頻度が 30%程度、「雨」では 10%強と同程度の値である。

12 時の札幌・金沢・つくば・鹿児島・那覇の DUV 値は「快晴」、「晴」、

図 2 正午の値を基準(1.0)とした比率

※ 図 1(1)~(5)から作成

「薄曇」の順に 10%あるいは 5%程度ずつ低下する様子が見られるが、那覇では天気分類によらず同程度の値をとることが示された。

また、雲の出現している天気に加え、降水の有無による差異を示すために「雨」の分類項目を設けてある。「雨」の値に注目すると、「快晴」に対して 1/3 程度の値であり、夏季においてはどの時刻の値を見ても「曇」の 1/2 程度の値となっている。その中で最も大きい値をとったのは、那覇 7 月の 12 時の 0.020W/m²であり、この値は那覇の夏季「快晴」9 時の DUV 値よりも高く、札幌の夏季「快晴」9 時の値とほぼ同じであった。「雨」では「曇」天時よりも DUV 値は低くなるものの、やはり低緯度地域においては高い値をとり、許容被照時間数ランクで見ても 30 分以内となる紫外線環境であることが示された。

表中に示した比率で比較すると、「快晴」で 9 時の値は 12 時に比べ、高緯度地域では約 1/2、鹿児島・那覇で 1/4~1/5 となっているのに対し、15 時で見ると比率値は逆転している。すなわち、15 時の値は 12 時に比べ、札幌・金沢・つくばで約 1/4、鹿児島・那覇で 2/5~1/2 程度となっているのである。

次に 9 時、12 時、15 時と時刻別に値を見ていくこととする。まず、9 時の時間帯について見ると、最も高い DUV 値を示すのは、金沢・6 月の「快晴」時の 0.023W/m²で、次いで、札幌の 0.022W/m²、つくばの 0.021W/m²と、高緯度 3 地域の晴天時で鹿児島・那覇の値を上回っている。また、許容被照時間数が 30 分以内となるランクは、那覇を除く 4 地域の夏季で該当しており、夏季においては那覇よりも他の 4 地域の方が生体影響の大きい紫外線環境にあることが示されている。

次に 12 時の値に注目すると、この時間帯では、那覇の 8 月「快晴」が 0.058W/m²と最も高く、9 時の同天気の値の 4 倍程度にまで上昇している。また、12 時に許容被照時間数が 15 分以内となるランクの DUV 値は、那覇から札幌まで全地域に広がっている。しかし、金沢とつくばの高緯度地域では、夏季を中心とした「快晴」、「晴」、「薄曇」がこれに該当するのに対し、鹿児島及び那覇では該当範囲が広がる傾向が顕著である。鹿児島では 4 月や 9 月、那覇では 3 月や 10 月までも、このランクに含まれ、両地域の夏季では「曇」であってもこのランクとなっている。正午付近の生体影響紫外線については緯度の高低にかかわらず、全国的に夏季を中心とした好天下で防御対策を要するとともに、低緯度地域では、春、秋を含む季節や曇天時の活動においても、晴天時と同等の防御策を講ずる必要がある。

ると言えよう。

更に 15 時の時間帯について見ると、各地域の 15 時における最大値は、札幌とつくばは 7 月「快晴」の 0.015W/m²、金沢では 6 月の「快晴」における 0.014W/m²、同じく鹿児島と那覇でも 6 月の「快晴」で夫々 0.030W/m²、0.034W/m²となっている。低緯度地域の 2 地域が他の 3 地域の 2 倍以上の値となっているほか、DUV 値のランクでは那覇において許容被照時間数で 15 分以内の月や天候があり、依然として防衛対策の必要性の高い時間帯であることが判る。

4. 天空状態別 DUV 値の推定

4. 1 各地域における天空状態の出現傾向

天空状態は、雲の出現状況によって多種多様である。前項では、雲量を中心とする天気概況によって天空状態の分類を行ったが、同一天気であっても、幅広い数値のデータが含まれてしまう場合がある。特に天気「晴」には、雲量 2～8 の状態が含まれるため、雲の出現状況によって更にデータを分類し、解析を行う必要があると思われる。また、

「雨」においても同様で、天気概況では降水の有無により判断されているため、雲の状況によって、紫外線量は異なるものと推測される。そこで、気象データ中の雲の出現状況を表す項目を用いて、より実態に近い天空状態別 DUV の算定を行なうこととした。

図 3 は、5 地域における出

現傾向を把握するために、出現高さ (CL: 下層雲, CM: 中層雲, CH: 上層雲) による出現率を月ごとに求めた結果であり、12 時の出現雲について示している。

全体的に下層雲の出現率が高くなっているが、これは一般的によく見られる雲である積雲 Cu の出現が大半を占めているためである。CH の出現率が最も高いのは、金沢における夏季で、CM の出現率が高くなるのは低緯度地域の春季であることが読み取れる。札幌では、

表 3 時刻・天気別 DUV 値算定結果一覧(単位: W/m²)

	9時の天気別DUV						12時の天気別DUV						15時の天気別DUV					
	快晴	晴	薄曇	曇	雨		快晴	晴	薄曇	曇	雨		快晴	晴	薄曇	曇	雨	
札幌	1月	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.004	(0.35)	0.003	(0.25)	0.003	(0.26)	0.003	(0.31)	0.002	(0.39)	0.000	0.000
	2月	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.008	(0.39)	0.006	(0.24)	0.005	(0.24)	0.005	(0.40)	0.003	(0.51)	0.002	0.001
	3月	0.005	0.005	0.004	0.003	0.003	0.013	(0.25)	0.012	(0.28)	0.010	(0.27)	0.007	(0.36)	0.006	(0.61)	0.003	0.003
	4月	0.010	0.009	0.009	0.006	0.004	0.020	(0.18)	0.019	(0.29)	0.018	(0.22)	0.009	(0.46)	0.007	(0.86)	0.006	0.005
	5月	0.016	0.016	0.015	0.008	0.004	0.029	(0.21)	0.026	(0.26)	0.025	(0.25)	0.014	(0.47)	0.007	(0.80)	0.009	0.008
	6月	0.022	0.020	0.016	0.011	0.007	0.037	(0.16)	0.035	(0.17)	0.033	(0.24)	0.017	(0.55)	0.008	(0.60)	0.014	0.012
	7月	0.022	0.022	0.022	0.013	0.007	0.040	(0.14)	0.038	(0.20)	0.036	(0.25)	0.021	(0.49)	0.011	(0.65)	0.015	0.013
	8月	0.023	0.020	0.014	0.012	0.006	0.040	(0.17)	0.036	(0.27)	0.032	(0.26)	0.022	(0.45)	0.010	(0.60)	0.013	0.011
	9月	0.013	0.012	0.012	0.008	0.004	0.023	(0.23)	0.023	(0.29)	0.019	(0.25)	0.015	(0.41)	0.007	(0.69)	0.006	0.006
	10月	0.007	0.006	0.006	0.004	0.002	0.013	(0.30)	0.011	(0.37)	0.012	(0.29)	0.007	(0.49)	0.004	(0.67)	0.002	0.002
	11月	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.006	(0.30)	0.005	(0.35)	0.004	(0.42)	0.003	(0.45)	0.003	(0.60)	0.001	0.000
	12月	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.003	(0.28)	0.003	(0.21)	0.003	(0.26)	0.002	(0.27)	0.002	(0.49)	0.000	0.000
	比率	0.45	0.42	0.40	0.26	0.17	1.00		0.90		0.82		0.56		0.36		0.23	0.21
割合	15%	27%	11%	33%	11%	11%		32%		11%		32%		13%		12%	29%	
金沢	1月	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.009	(0.18)	0.007	(0.32)	0.007	—	0.004	(0.65)	0.003	(0.54)	0.002	0.001
	2月	0.004	0.003	0.002	0.002	0.001	0.013	(0.20)	0.011	(0.30)	0.008	(0.27)	0.005	(0.60)	0.004	(1.30)	0.004	0.002
	3月	0.007	0.007	0.006	0.005	0.002	0.018	(0.34)	0.015	(0.45)	0.010	(0.48)	0.009	(0.80)	0.006	(1.19)	0.005	0.005
	4月	0.011	0.013	0.012	0.009	0.004	0.023	(0.33)	0.024	(0.41)	0.021	(0.39)	0.016	(0.67)	0.011	(1.10)	0.008	0.008
	5月	0.017	0.018	0.018	0.010	0.006	0.033	(0.34)	0.036	(0.29)	0.030	(0.39)	0.018	(0.77)	0.016	(0.78)	0.011	0.010
	6月	0.023	0.020	0.015	0.011	0.007	0.040	(0.18)	0.036	(0.36)	0.033	(0.48)	0.019	(0.67)	0.011	(0.78)	0.014	0.013
	7月	0.019	0.020	0.020	0.013	0.006	0.039	(0.20)	0.035	(0.30)	0.034	(0.38)	0.023	(0.59)	0.015	(0.85)	0.012	0.013
	8月	0.016	0.017	0.015	0.013	0.006	0.035	(0.26)	0.033	(0.35)	0.031	(0.30)	0.019	(0.59)	0.010	(0.61)	0.011	0.010
	9月	0.013	0.012	0.013	0.009	0.005	0.022	(0.25)	0.022	(0.41)	0.019	(0.38)	0.017	(0.50)	0.007	(0.97)	0.006	0.006
	10月	0.009	0.008	0.008	0.004	0.003	0.017	(0.32)	0.017	(0.31)	0.016	(0.26)	0.011	(0.65)	0.005	(0.73)	0.003	0.003
	11月	0.005	0.004	0.005	0.003	0.001	0.010	(0.30)	0.008	(0.41)	0.009	(0.30)	0.005	(0.47)	0.003	(0.63)	0.001	0.001
	12月	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.007	(0.23)	0.006	(0.31)	0.006	(0.33)	0.004	(0.47)	0.002	(0.74)	0.001	0.001
	比率	0.43	0.41	0.39	0.27	0.15	1.00		0.90		0.84		0.53		0.34		0.25	0.23
割合	15%	23%	8%	37%	15%	14%		27%		10%		31%		15%		14%	26%	
つくば	1月	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.008	(0.23)	0.008	(0.26)	0.007	(0.20)	0.005	(0.43)	0.002	(0.65)	0.001	0.001
	2月	0.004	0.003	0.003	0.002	0.001	0.011	(0.22)	0.011	(0.31)	0.009	(0.37)	0.007	(0.51)	0.004	(0.92)	0.003	0.002
	3月	0.007	0.008	0.006	0.005	0.002	0.018	(0.23)	0.018	(0.34)	0.013	(0.29)	0.012	(0.52)	0.005	(0.68)	0.005	0.004
	4月	0.013	0.013	0.012	0.008	0.004	0.025	(0.22)	0.024	(0.34)	0.021	(0.34)	0.016	(0.63)	0.007	(0.77)	0.007	0.007
	5月	0.017	0.018	0.018	0.011	0.005	0.033	(0.25)	0.031	(0.27)	0.028	(0.29)	0.018	(0.55)	0.010	(0.62)	0.010	0.009
	6月	0.019	0.018	0.015	0.012	0.006	0.037	(0.18)	0.035	(0.26)	0.031	(0.29)	0.021	(0.55)	0.011	(0.76)	0.013	0.012
	7月	0.021	0.020	0.013	0.013	0.006	0.041	(0.19)	0.040	(0.27)	0.033	(0.33)	0.023	(0.60)	0.012	(0.73)	0.015	0.015
	8月	0.024	0.019	0.016	0.013	0.011	0.040	(0.24)	0.038	(0.26)	0.035	(0.33)	0.027	(0.49)	0.013	(0.92)	0.013	0.013
	9月	0.015	0.015	0.013	0.010	0.005	0.022	(0.15)	0.021	(0.27)	0.020	(0.17)	0.020	(0.47)	0.009	(0.77)	0.008	0.007
	10月	0.010	0.009	0.009	0.006	0.003	0.019	(0.23)	0.018	(0.28)	0.016	(0.31)	0.012	(0.46)	0.005	(0.65)	0.003	0.003
	11月	0.005	0.005	0.004	0.003	0.001	0.011	(0.25)	0.010	(0.26)	0.009	(0.36)	0.006	(0.52)	0.003	(0.62)	0.001	0.001
	12月	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.007	(0.19)	0.007	(0.26)	0.006	(0.19)	0.005	(0.49)	0.002	(0.55)	0.001	0.001
	比率	0.45	0.43	0.41	0.29	0.14	1.00		0.96		0.87		0.61		0.30		0.25	0.24
割合	24%	20%	6%	35%	12%	23%		25%		9%		29%		11%		20%	27%	
鹿児島	1月	0.002	0.002	0.003	0.001	0.001	0.014	(0.19)	0.013	(0.27)	0.010	(0.40)	0.008	(0.47)	0.004	(0.60)	0.005	0.005
	2月	0.003	0.003	0.003	0.002	0.001	0.021	(0.21)	0.017	(0.26)	0.017	(0.21)	0.011	(0.47)	0.006	(0.75)	0.009	0.008
	3月	0.006	0.006	0.005	0.003	0.001	0.031	(0.21)	0.027	(0.23)	0.024	(0.33)	0.014	(0.55)	0.006	(0.82)	0.014	0.012
	4月	0.011	0.011	0.010	0.006	0.002	0.039	(0.12)	0.036	(0.25)	0.031	(0.31)	0.020	(0.53)	0.008	(0.70)	0.018	0.016
	5月	0.014	0.014	0.012	0.008	0.003	0.042	(0.17)	0.041	(0.23)	0.036	(0.30)	0.023	(0.47)	0.010	(0.70)	0.020	0.019
	6月	0.015	0.016	0.014	0.010	0.004	0.045	(0.24)	0.046	(0.26)	0.038	(0.24)	0.026	(0.48)	0.010	(0.82)	0.022	0.021
	7月	0.017	0.016	0.015	0.011	0.005	0.051	(0.26)	0.051	(0.26)	0.053	(0.22)	0.034	(0.48)	0.017	(0.94)	0.033	0.033
	8月	0.015	0.016	0.015	0.011	0.005	0.048	(0.18)	0.052	(0.23)	0.046	(0.26)	0.036	(0.46)	0.018	(0.79)	0.027	0.027
	9月	0.011	0.011	0.012	0.008	0.004	0.038	(0.20)	0.038	(0.27)	0.036	(0.28)	0.025	(0.53)	0.012	(0.74)	0.015	0.016
	10月	0.008	0.007	0.007	0.005	0.002	0.022	(0.15)	0.022	(0.22)	0.024	(0.24)	0.017	(0.48)	0.009	(0.67)	0.008	0.009
	11月	0.004	0.004	0.004	0.003	0.002	0.016	(0.19)	0.017	(0.27)	0.016	(0.33)	0.011	(0.51)	0.005	(0.64)	0.005	0.005
	12月	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.014	(0.14)	0.012	(0.19)	0.011	(0.29)	0.008	(0.41)	0.004	(0.63)	0.004	0.004
	比率	0.25	0.25	0.23	0.16	0.07	1.00		0.95		0.85		0.58		0.28		0.41	0.40
割合	21%	25%	6%	31%	14%	16%		30%		7%		30%		14%		16%	29%	
那覇	1月	0.002	0.002	0.003	0.001	0.001	0.021	(0.18)	0.021	(0.18)	0.021	(0.13)	0.012	(0.46)	0.007	(0.62)	0.011	0.010
	2月	0.004	0.003	0.003	0.002	0.001	0.031	(0.19)	0.027	(0.24)	0.024	(0.15)	0.014	(0.50)	0.007	(0.72)	0.015	0.013
	3月	0.006	0.006	0.006	0.004	0.002	0.043	(0.15)	0.037	(0.27)	0.037	(0.25)	0.019	(0.54)	0.009	(0.77)	0.022	0.020
	4月	0.011	0.011	0.010	0.007	0.003	0.047	(0.12)	0.045	(0.22)	0.046	(0.15)	0.025	(0.53)	0.014	(0.88)	0.033	0.033
	5月	0.014	0.014	0.012	0.009	0.004	0.049	(0.08)	0.048	(0.26)	0.043	(0.30)	0.031	(0.47)	0.013	(0.74)	0.033	0.033
	6月	0.013	0.016	0.016	0.012	0.003	0.046	(0.18)	0.055	(0.26)	0.055	(0.25)	0.040	(0.40)	0.012	(0.78)	0.034	0.033
	7月	0.016	0.015	0.015	0.012	0.006	0.045	—	0.053	(0.22)	0.057	(0.17)	0.042	(0.38)	0.020	(0.91)	0.033	0.034
	8月	0.014	0.014	0.013	0.010	0.007	0.058	(0.12)	0.053	(0.25)	0.051	(0.24)	0.043	(0.38)	0.016	(0.73)	0.033	0.033
	9月	0.012	0.011	0.011	0.008	0.003	0.049	(0.14)	0.046	(0.26)	0.044	(0.19)	0.032	(0.41)	0.012	(0.86)	0.025	0.025
	10月	0.008	0.008	0.009	0.005	0.004	0.036	(0.17)	0.034	(0.26)	0.032	(0.29)	0.023	(0.43)	0.014	(0.38)	0.012	0.013
	11月	0.006	0.005	0.005	0.003	0.002	0.027	(0.10)	0.026	(0.22)	0.026	(0.21)	0.017	(0.37)	0.008	(0.59)	0.009	0.008
	12月	0.003	0.003	0.003	0.002	0.001	0.022	(0.09)	0.020	(0.18)	0.019	(0.39)	0.012	(0.46)	0.006	(0.39)	0.008	0.007
	比率	0.22	0.22	0.21	0.15	0.07	1.00		0.99		0.96		0.64		0.30		0.50	0.49
割合	8%	38%	3%	37%	12%	4%		41%		3%		38%		11%		4%	40%	

4. 2 雲の出現状況別 DUV 値の算定

前項の結果を踏まえ、12 時の時間帯を対象に、雲の出現状況に応じた天空状態別の分類を行った。雲量及び天気、高さ、雲形を基に天空状態別に算定した DUV を表 4 に示す。雲形は国際分類に基づく 10 種の分類項目を設け、天気「晴」については、雲量で 2~4 と 5~8 に分け、表 3 同様、許容被照時間数によるランク分けを施した。本論文で取り上げることの出来る分光観測値の蓄積が、最大でも 10 年程度であるため、雲量、出現高さ、雲形などを用いて分類した場合、個々には十分なサンプルが得られないケースも生じるが、現時点でも傾向を把握することが重要であると考え、解析を行ったものである。

各地域における最大 DUV 値は 6~8 月に現れ、その値は、札幌では 0.054 W/m²、金沢 0.059 W/m²、つくば 0.055 W/m²、鹿児島 0.066 W/m²、那覇 0.063 W/m² であり、表 1 の天気分類で見られた最大値よりも高い値となった。その最大値をとる天空状態は、つくばでは「快晴」時に下層雲が出現している状態であるが、他の 4 地域では「晴」または「薄曇」の天気、上層雲が出現している状態であった。雲の全く無い晴天時よりも、多少の雲や上層雲が出現している方が、反射等の影響により地上到達紫外線量は増大するものと推察される。

全体的に見て、雲量 0~1 の場合、雲形による DUV 値の差異は小さく、雲量 2~4 と 5~8 の同じ雲形では冬季に開きが見られるものの、夏季には同程度の数値となっている。また、雲量 9~10 では、上層雲の出現時に、より高い DUV 値をとること、中層雲の出現時には、各月の値が Ac (高積雲)、As (高層雲)、Ns (乱層雲、主に雨雲) の順に DUV 値が低くなる傾向にあることが全地域で見られた。雲量 9~10 の下層雲の出現時に、Sc (層積雲) の値が夏季において比較的高かったことから、灰色がかった雲の曇の日でも意外と紫外線量が多いという認識を持つ必要があると言えよう。

夏季を中心に許容被照時間数が 15 分以内となる天空状態は、札幌、金沢、つくばにおいては、少ない雲量の天空状態から上層雲で雲量 9~10 の場合までであるが、鹿児島、那覇では中層・下層雲で雲量 9~10 の場合でも該当している。許容被照時間数 30 分以内となる月

図 3 雲の出現高さ別出現割合
※ CH: 上層雲, CM: 中層雲, CL: 下層雲

表 4 天空状態別 DUV 値算定結果及び許容被照時間数による紫外域日射環境評価(単位: W/m²)

(1) 札幌		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
0-1 (快晴)	CH	Ci	0.003	0.007	0.012	0.023	0.030	0.036	0.041	0.043	0.024	0.014	0.003
	上層	Cc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	中層	Ac	-	-	0.014	0.018	0.034	-	0.042	-	-	-	-
	中層	As	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	中層	Ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	Sc	-	-	-	-	0.039	-	-	0.021	-	-	-
	下層	St	-	-	-	-	-	-	0.042	-	-	-	-
	下層	Cu	0.004	0.008	0.013	0.020	0.030	0.037	0.040	0.039	0.027	0.012	0.006
	下層	Cb	0.004	0.007	0.008	-	-	-	0.036	-	-	-	0.005
	下層	Ci	0.004	0.006	0.012	0.021	0.031	0.034	0.039	0.040	0.025	0.013	0.006
2-4 (晴)	CH	Ci	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	上層	Cc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	中層	Ac	0.003	0.006	-	0.021	0.024	0.039	0.038	0.049	-	0.009	0.005
	中層	As	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	中層	Ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	Sc	0.003	-	0.023	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	St	-	-	-	-	-	-	0.040	-	-	-	-
	下層	Cu	0.004	0.007	0.012	0.021	0.028	0.035	0.040	0.037	0.024	0.011	0.005
	下層	Cb	0.003	0.007	0.010	-	-	-	-	-	-	-	0.005
	下層	Ci	0.004	0.006	0.012	0.022	0.025	0.036	0.042	0.040	0.025	0.013	0.005
5-8 (晴)	CH	Ci	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	上層	Cc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	中層	Ac	0.003	0.007	0.010	0.018	0.032	0.036	0.037	0.032	0.027	0.010	0.005
	中層	As	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	中層	Ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	Sc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	St	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	Cu	0.003	0.006	0.012	0.021	0.028	0.035	0.033	0.031	0.021	0.011	0.005
	下層	Cb	0.003	0.006	0.011	0.016	0.012	-	0.030	-	-	-	0.006
	下層	Ci	0.003	0.006	0.010	0.018	0.024	0.028	0.034	0.032	0.020	0.011	0.004
9-10 (曇・雨)	CH	Ci	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	上層	Cc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	中層	Ac	0.003	0.005	0.009	0.015	0.023	0.030	0.030	0.031	0.016	0.010	0.003
	中層	As	0.003	0.005	0.009	0.015	0.022	0.022	0.020	0.013	0.006	0.003	0.002
	中層	Ns	0.002	0.003	0.006	0.009	0.011	0.015	0.017	0.014	0.011	0.005	0.003
	下層	Sc	0.003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	St	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	Cu	0.001	0.003	0.003	0.005	0.007	0.015	0.024	0.018	0.010	0.004	0.002
	下層	Cb	0.002	0.004	0.007	0.008	0.011	0.015	0.017	0.018	0.013	0.006	0.003
	下層	Ci	0.002	0.003	0.006	0.009	0.007	0.003	0.001	0.002	0.007	0.005	0.002

DUV : 0.033W/m²以上 (許容被照時間数15分以内)
DUV : 0.017W/m²以上0.033W/m²未満 (許容被照時間数15分~30分)

(2) 金沢

雲量(天気)		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
0-1 (快晴)	CH	Ci	-	0.012	0.014	0.021	0.033	0.045	0.043	-	0.027	0.020	0.010
	上層	Cc	-	-	-	-	-	-	0.041	-	-	-	-
	中層	Ac	0.008	-	-	-	0.031	-	-	0.023	0.022	0.010	0.008
	中層	As	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	中層	Ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	Sc	-	-	-	-	-	-	-	0.026	0.017	0.008	0.005
	下層	St	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	Cu	0.011	-	0.018	0.026	0.032	0.038	0.038	0.035	0.028	0.014	0.007
	下層	Cb	-	-	-	-	-	0.051	0.033	-	-	-	-
	下層	Ci	0.009	0.012	0.023	0.025	0.035	0.041	0.038	0.039	0.026	0.015	0.009
2-4 (晴)	CH	Ci	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	上層	Cc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	中層	Ac	0.006	0.011	-	-	0.034	-	0.036	-	0.022	0.020	0.013
	中層	As	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	中層	Ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	Sc	-	-	-	-	-	-	-	-	0.021	0.013	0.009
	下層	St	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	Cu	0.011	0.011	0.017	0.029	0.044	0.038	0.035	0.032	0.027	0.019	0.010
	下層	Cb	-	-	-	-	-	-	-	-	0.006	-	-
	下層	Ci	0.009	0.012	0.023	0.025	0.035	0.041	0.038	0.039	0.026	0.015	0.009
5-8 (晴)	CH	Ci	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	上層	Cc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	中層	Ac	0.006	0.011	-	-	0.034	-	0.036	-	0.022	0.020	0.013
	中層	As	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	中層	Ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	Sc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	St	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	Cu	0.006	0.010	0.018	0.029	0.044	0.038	0.035	0.032	0.027	0.019	0.010
	下層	Cb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	Ci	0.009	0.012	0.023	0.025	0.035	0.041	0.038	0.039	0.026	0.015	0.009
9-10 (曇・雨)	CH	Ci	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	上層	Cc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	中層	Ac	0.004	0.005	0.002	0.016	0.020	0.017	0.024	0.023	0.016	0.012	0.005
	中層	As	0.003	0.006	0.010	0.011	0.017	0.014	-	-	0.004	0.004	0.002
	中層	Ns	0.002	0.003	0.009	0.013	-	0.008	0.014	-	-	0.007	0.002
	下層	Sc	0.008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	St	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	Cu	0.004	0.004	0.008	0.013	0.012	0.013	0.015	0.013	0.011	0.009	0.004
	下層	Cb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	Ci	0.005	0.009	0.017	0.022	0.027	0.034	0.035	0.031	0.026	0.015	0.008

(3) つくば

雲量(天気)		層	雲形	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
0-1 (快晴)	上層	CH	Ci	0.008	0.012	0.021	0.025	0.032	-	0.049	0.045	0.036	0.019	0.010	0.007	
		Cc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	中層	Ac	0.008	0.012	0.017	0.023	0.040	0.037	0.046	0.045	0.031	0.019	0.011	0.007		
		As	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	下層	CL	Sc	0.008	0.012	0.020	0.026	-	-	0.055	-	0.038	0.025	0.010	0.007	
		St	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Cu	0.008	0.011	0.017	0.025	0.030	0.038	0.040	0.038	0.030	0.019	0.011	0.007		
		Cb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.017	-	-	-	
2-4 (晴)	上層	CH	Ci	0.008	0.011	0.020	0.026	0.034	0.034	0.045	0.041	0.031	0.018	0.010	0.006	
		Cc	-	-	0.019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	中層	Ac	0.008	0.013	0.020	0.009	0.027	0.039	0.042	0.036	0.028	0.021	0.011	0.006		
		As	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	下層	CL	Sc	0.008	0.011	0.018	0.022	0.029	-	-	-	-	0.047	0.020	0.009	0.008
		St	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Cu	0.008	0.011	0.015	0.027	0.032	0.031	0.038	0.039	0.029	0.018	0.009	0.007		
		Cb	-	-	-	-	-	-	-	-	0.031	-	-	-	-	
5-8 (晴)	上層	CH	Ci	0.007	0.010	0.020	0.026	0.030	0.039	0.039	0.034	0.028	0.019	0.010	0.007	
		Cc	-	0.014	-	-	-	0.038	0.022	-	-	-	0.018	-	-	
		Cs	-	-	-	-	0.046	0.031	-	-	-	-	-	-	-	
	中層	Ac	0.007	0.007	0.017	0.021	0.024	0.037	0.043	0.038	0.028	0.020	0.008	0.007		
		As	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	下層	CL	Sc	0.007	0.012	0.018	0.018	0.017	0.031	0.031	0.042	0.024	0.014	0.008	0.007	
		St	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Cu	0.006	0.011	0.015	0.023	0.028	0.033	0.040	0.038	0.028	0.018	0.010	0.006		
		Cb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9-10 (薄曇)	上層	CH	Ci	0.006	0.009	0.018	0.021	0.027	0.030	0.033	0.032	0.027	0.015	0.009	0.006	
		Cc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Cs	0.007	0.010	0.020	0.022	0.027	0.029	0.032	0.037	0.014	0.016	0.008	0.006		
	中層	Ac	0.005	0.009	0.012	0.015	0.019	0.021	0.024	0.024	0.019	0.012	0.006	0.004		
		As	0.003	0.004	0.006	0.009	0.014	0.015	0.016	0.033	0.010	0.006	0.003	0.002		
		Ns	0.002	0.004	0.003	0.003	0.002	0.011	0.008	-	0.008	0.003	0.002	-	-	
	下層	CL	Sc	0.004	0.006	0.011	0.015	0.012	0.016	0.016	0.019	0.017	0.009	0.005	0.004	
		St	0.002	0.004	0.005	0.004	0.008	0.009	0.009	0.009	0.012	0.007	0.003	0.002		
		Cu	0.005	0.008	0.010	0.013	0.017	0.017	0.018	0.027	0.015	0.011	0.005	0.005		
		Cb	-	-	-	0.020	-	-	-	-	0.003	0.001	0.001	-	-	

表 4 天空状態別 DUV 値算定結果及び許容被照時間数による紫外域日射環境評価(単位: W/m²)

(4) 鹿児島														
雲量(天気)	層	雲形	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
0-1 (快晴)	CH	Ci	0.013	0.022	0.030	0.040	0.043	0.047		0.052	0.037	0.028	0.018	0.014
	上層	Cc												
		Cs												
	CM	Ac	0.014	0.022	0.034	0.037	0.059			0.062	0.037	0.028	0.019	0.014
	中層	As												
		Ns												
	CL	Sc	0.021	0.024									0.018	0.012
	下層	St		0.019									0.021	
		Cu	0.014	0.021	0.031	0.039	0.042	0.043	0.051	0.049	0.038	0.028	0.018	0.014
		Cb												
2-4 (晴)	CH	Ci	0.014	0.022	0.026	0.034	0.043	0.043	0.056	0.054	0.035	0.026	0.020	0.012
	上層	Cc				0.046								
		Cs				0.008								
	CM	Ac	0.014	0.017		0.044	0.034			0.049	0.033	0.028	0.018	0.013
	中層	As												
		Ns							0.058		0.046	0.026	0.016	0.013
	CL	Sc	0.012	0.019							0.046	0.026	0.016	0.013
	下層	St												
		Cu	0.015	0.019	0.027	0.039	0.041	0.051	0.054	0.056	0.041	0.027	0.018	0.013
		Cb												
5-8 (晴)	CH	Ci	0.013	0.016	0.030	0.038	0.043	0.045	0.054	0.054	0.040	0.028	0.016	0.012
	上層	Cc										0.031	0.020	0.012
		Cs				0.027	0.039		0.045			0.022		
	CM	Ac	0.013	0.016	0.030	0.032	0.040	0.042	0.042	0.046	0.039	0.025	0.018	0.012
	中層	As												
		Ns												
	CL	Sc	0.011	0.019		0.022		0.041			0.044	0.029	0.017	0.012
	下層	St												
		Cu	0.013	0.015	0.027	0.029	0.034	0.047	0.046	0.047	0.035	0.025	0.015	0.011
		Cb								0.039				
9-10 (曇登)	CH	Ci	0.012	0.016	0.024	0.032	0.033	0.035	0.046	0.043	0.034	0.023	0.014	0.010
	上層	Cc				0.030	0.045				0.031			
		Cs	0.005	0.021	0.025	0.029	0.034	0.035	0.048	0.056	0.031		0.020	
	CM	Ac	0.009	0.010	0.014	0.019	0.023	0.023	0.029	0.031	0.022	0.017	0.011	0.008
	中層	As	0.005	0.006	0.008	0.011	0.015	0.014	0.022	0.022	0.012	0.010	0.005	0.004
		Ns	0.003	0.005	0.003	0.004	0.009	0.007	0.002		0.001			
	CL	Sc	0.008	0.007	0.015	0.020	0.017	0.024		0.041	0.017	0.023	0.007	0.008
	下層	St	0.007		0.004	0.008	0.008	0.007	0.002			0.002		
		Cu	0.007	0.011	0.011	0.013	0.013	0.018	0.027	0.026	0.025	0.016	0.008	0.007
		Cb	0.004		0.000			0.003	0.028	0.008				0.001

(5) 那覇														
雲量(天気)	層	雲形	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
0-1 (快晴)	CH	Ci		0.032			0.049	0.036						
	上層	Cc												
		Cs												
	CM	Ac			0.049	0.049	0.043	0.050					0.025	
	中層	As												
		Ns												
	CL	Sc												0.026
	下層	St												
		Cu	0.022	0.031	0.043	0.047	0.050	0.051	0.045	0.058	0.049	0.036	0.027	0.022
		Cb												
2-4 (晴)	CH	Ci	0.022	0.026	0.052	0.054	0.046	0.062	0.047	0.062	0.051	0.040	0.030	0.019
	上層	Cc				0.041							0.030	
		Cs												
	CM	Ac	0.023	0.030	0.049	0.043		0.053			0.047	0.033	0.030	0.022
	中層	As												
		Ns												
	CL	Sc	0.024	0.024								0.023	0.025	0.022
	下層	St												
		Cu	0.021	0.031	0.040	0.047	0.047	0.059	0.057	0.057	0.047	0.035	0.027	0.021
		Cb												
5-8 (晴)	CH	Ci	0.022	0.028	0.038	0.050	0.052	0.060	0.057	0.055	0.046	0.042	0.029	0.023
	上層	Cc								0.059	0.018		0.027	
		Cs						0.038	0.046	0.063	0.057			
	CM	Ac	0.023	0.024	0.041	0.045	0.050	0.050	0.058	0.054	0.047	0.034	0.027	0.020
	中層	As												
		Ns												
	CL	Sc	0.018	0.026	0.033	0.044	0.037				0.047	0.036	0.021	0.017
	下層	St												
		Cu	0.020	0.026	0.033	0.043	0.048	0.053	0.054	0.049	0.044	0.032	0.025	0.019
		Cb												
9-10 (曇登)	CH	Ci	0.020	0.021	0.035	0.042	0.047	0.055	0.052	0.048	0.045	0.041	0.029	0.021
	上層	Cc				0.048			0.056	0.061		0.059	0.023	0.021
		Cs	0.022	0.026	0.033	0.033	0.050	0.049	0.049	0.039	0.039	0.030	0.021	
	CM	Ac	0.012	0.015	0.020	0.023	0.025	0.031	0.034	0.036	0.025	0.021	0.017	0.014
	中層	As	0.008	0.008	0.010	0.014	0.015	0.016	0.023	0.026	0.019	0.015	0.009	0.007
		Ns												
	CL	Sc	0.010	0.011	0.015	0.021	0.029	0.013		0.023	0.020	0.018	0.014	0.010
	下層	St					0.055	0.060						
		Cu	0.011	0.010	0.017	0.023	0.026	0.035	0.034	0.036	0.027	0.021	0.012	0.011
		Cb							0.028	0.008				

は、札幌では4~9月、金沢とつくばでは3~10月、鹿児島では冬季2ヶ月を除く2~11月、那覇では、曇・雨天時を除く全ての場合が該当し、低緯度地域ほど短い許容被照時間ランクの出現期間に広がりが見られた。また、全体的な傾向として、雲による DUV 値の減衰は、積雲より層状雲、薄い雲より厚い雲において、一層大きくなることが読み取れた。

4. 3 天空状態が及ぼす DUV 及び日射量の減衰傾向について

次に金沢を対象として、特別天気と雲の出現状況を取り入れた代表的な天空状態における DUV 値と日射量の減衰傾向について解析を行った結果を記す。金沢における12時の全天日射量瞬間値^{注7)}は、本学で観測された値を用いている。

図4に金沢(12時)の天気・雲の出現状況別に算定した DUV 値と日射量の月平均値を、表5には6~8月3ヶ月分の快晴時データを基準とした各種天空状態における DUV 値と日射量の比率を、数値として掲げている。図4(1)及び(2)より、夫々の天空状態における月平均値の最大値を比較すると、値の減衰は DUV で0.040 W/m²から0.013 W/m²への約68%の落ち込みであるのに対し、日射量は962 W/m²から231 W/m²までの76%の低下が見られる。減衰率の相違から、日射に対する紫外線量の割合は天空状態によって異なるものと考えられ、さらに全天日射量に対する DUV の割合を算出し、図4(3)として図示した。その結果、雲量が8以上の天気で「薄曇」より「曇」、そして「雨」の順で日射量に対する紫外域日射量の割合が高くなる事が示され、日射の減衰に比べて生体作用に関する紫外線量の天空状態による減衰は小さいことが明らかとなった。また、晴天時では、日射に対する割合が高くなる月は6~8月で、冬季とは0.003%程度の季節変動が見られ、「薄曇」、「曇」、「雨」の順で季節間の変動幅が大きくなることも示された。

表5の数値を読むと、雲量により2分類した「晴」において、雲量2~4では DUV、日射とも「快晴」とほぼ変わらないが、雲量5~8では夫々15%程度の低下が見られた。「薄曇」では、Ci(巻雲)とCs(巻層雲)の比較を行ったところ、同じ高度の雲であっても、

図4 天気・雲の出現状態別 DUV と日射量(金沢 12 時)

表 5 快晴時を基準(1.00)とした各種天空状態における DUV 及び全天日射量の比率

	快晴		晴		薄曇		曇		雨	
	雲無し	雲量	雲量	雲量	雲形	雲形	雲の出現層	雲の出現層	雲の出現層	雲の出現層
	—	0-1	2-4	5-8	Ci	Cs	CM	CL	CM	CL
DUV	0.88	1.00	0.97	0.85	0.87	0.54	0.55	0.43	0.37	0.27
日射	1.00	1.00	1.00	0.86	0.78	0.55	0.43	0.34	0.24	0.19
N	4	51	59	73	42	6	60	55	21	25

※ 金沢、夏季・12時の6~8月全データを用いて作成。Nはデータ数。

層状の雲の方が顕著な減衰が確認されるなど、DUV、日射とも雲形による減衰傾向に相違が見られた。「曇」と「雨」では、CL(下層雲)とCM(中層雲)の雲の出現層による比較を行った。その結果、

CL と CM における DUV 値の比率に 1 割弱の差異が認められたことから、DUV の減衰が顕著なのは、CL の方であることが数値レベルで示された。また DUV と日射の減衰率にも 1 割弱の差が生じており、曇天時の快晴時に対する紫外線の低下率は日射に比べて低いことも明らかとなった。以上、天気分類としては同じ天気であっても、雲の出現状況によって紫外域を含む日射環境は異なることを数値として明示したものである。

5. まとめ

本研究の成果を以下にまとめる。

- 1) 紫外域日射量の時刻変動特性を知るために、全国 5 地域の晴天日データによる DUV 日変動図を作成した。その結果、全日射と比較して朝夕よりも正午付近の数値の増大が著しいこと、9 時よりも 15 時における地域差が大きいこと、さらに、各地域のピーク出現時刻を挟む前後の特別増減率の地域差は小さいこと、などが明らかとなった。
- 2) 特別 DUV 値に関して地域・月ごとに天気 5 分類を行い整理した。その結果、12 時の札幌・金沢・つくば・鹿児島では「快晴」、「晴」、「薄曇」の順に 10%あるいは 5%程度ずつ低下する様子が見られるが、那覇では天気分類によらず同程度の値をとることが示された。また、「曇」だけでなく「雨」においても、特に低緯度地域で相当量の生体影響紫外線が存在することが確認された。
- 3) 天空状態を表す雲量、雲の出現高さ、雲形のマトリックスとして、地域別・月別 DUV 値を提示した。数値の減衰は、積雲より層状雲、薄い雲より厚い雲で大きいという傾向を明らかにすることが出来た。また、雲の出現状況に基づく「晴」や「薄曇」の細分類において、その最大値が天気 5 分類の結果よりも大きいことから、雲の全く無い晴天時よりも、多少の雲や上層雲が出現している条件下において、地上到達紫外線量は増大するものと推察された。
- 4) 天空状態による DUV 値と全日射量の快晴時に対する減衰傾向を明らかにするために、金沢の 12 時の値を対象に解析を行った。その結果、同じ天空状態において快晴時に対する DUV と日射の減衰率には差が生じ、雲出現時において DUV 値の方が減衰率は低いことが確認された。

今後は、水平面だけでなく、鉛直面や角度・方位を持った斜面に入射する紫外域日射量についても観測・解析を実施し、人体と紫外線環境に関する具体的な照射モデルの提示に向けて検討を進める予定である。

注 釈

- 1) Brewer 紫外域日射分光観測機^{2)~5)}。カナダの SCI-TEC 社製。観測波長帯は 290~325nm であり、0.5nm 刻みで分光測定を実施。
- 2) 分光観測を行った各波長の UV 値に、皮膚細胞中の DNA への波長別影響割合を考慮した次式で示されるアクション・スペクトル (AS(L), L は波長) を乗じ、集計することによって求められる値である^{2)~5)}。

$$AS(L) = 1 - 0.36 \{ (L - 270) / 20 \}^{1.64} \quad 290 \leq L \leq 300 \text{nm}$$

$$AS(L) = 0.3 \times 0.7356^{(L-300)} + 10^{(2-0.0163L)} \quad 300 < L \leq 325 \text{nm}$$
- 3) 札幌、つくば、鹿児島、那覇は気象台で観測され、気象業務支援センターを通じて公開されているデータ⁸⁾を、金沢は金沢工業大学における観測値を用いる。地点の詳細及び使用期間は表 A に示す通りである。
- 4) 許容被照時間数については、既報⁴⁾に詳しいが、DUV による被曝基準値(30J/m²)¹⁰⁾を用いることで算定可能な時間数のことである。
 許容被照時間数(sec) = 30(J/m²) / DUV の特別値(W/m²)
 この DUV に関する許容被曝量 30J/m² は、ACGIH (米国政府産業衛生学者

会議)が皮膚細胞中の DNA の紫外放射吸収、眼の白内障への作用など、種々の人体作用スペクトルの外縁線として定め、WHO によって採用されている DUV の波長帯域別の重み付けの数値に、分光観測された紫外域日射量乗じ、それを時間積分した被曝量の許容値として表わされている。スキントタイプ I¹⁾に属する白色人種の感受性の高い人を基準に定められている数値である。労働環境だけでなく、一般の環境にも適用される。現在のところ日本人や黄色人種に関する基準許容被曝量は公表されていないので、本研究では、この基準値を用いて解析を行った。

- 5) 気象データ中の 3 時間毎に気象庁天気種類表で記載されている「天気」の項目を採用している。分類項目は表 B に示す 5 種の天気とした。分類に用いた下記の天気の他に、「煙霧」、「砂じんあらし」、「地ふぶき」、「霧」、「霧雨」、「みぞれ」、「雪」、「あられ」、「ひょう」、「雷」がある¹¹⁾。
- 6) 雲は高度により上層雲、中層雲、下層雲に分けられ、巻雲・層雲・積雲など 10 種類の雲形に分類される¹¹⁾。この 10 種類は 1956 年版の国際雲図帖の分類に従うものである。
 上層雲 CH: 巻雲 Ci, 巻積雲 Cc, 巻層雲 Cs
 中層雲 CM: 高積雲 Ac, 高層雲 As, 乱層雲 Ns
 下層雲 CL: 層積雲 Sc, 層雲 St, 積雲 Cu, 積乱雲 Cb
- 7) 全日射計は英弘精機株式会社製の MS-801 で、測定波長域は 300~2800nm。
- 8) 図 A に既報⁵⁾で提示した値を用いて、12 時を基準とした DUV 及び全日射時刻値による日変動の相違を示す。DUV の方がより急峻な変動を見えている。

表 A 観測地域及び解析対象データについて

地域	緯度	経度	解析対象データ	高度(m)	設置機関
札幌	43°03' N	141°20' E	1991.1~2000.12	25.7	気象台
金沢	36°31' N	136°37' E	1997.3~2002.9	42.5	金沢工業大学
つくば(館野)	36°03' N	140°08' E	1990.1~2000.12	30.5	気象台
鹿児島	31°33' N	130°33' E	1991.1~2000.12	31.1	気象台
那覇	26°12' N	127°41' E	1991.1~2000.12	26.7	気象台

表 B 代表天気 5 種の解説

天気	解説
快晴	雲量が1以下
晴	雲量が2以上8以下
薄曇	雲量が9以上であって、巻雲、巻積雲または巻層雲が見かけ上最も多い状態
曇	雲量が9以上であって、高積雲、高層雲、乱層雲、層積雲、層雲、積雲、または積乱雲が見かけ上最も多い状態
雨	雨が降っている状態

図 A 12 時の値を基準(1.0)とした DUV と日射日変動の比較
※ 金沢 6 月の値⁵⁾より作図

文 献

- 1) 環境省：紫外線保健指導マニュアル，2003.6
http://www.env.go.jp/chemi/uv/uv_manual.html
- 2) 垂水弘夫，宮村壽，上出亘弘：紫外域日射分光観測に基づく生体影響紫外域日射量 DUV の特性解析，日本建築学会計画系論文集，第 532 号，pp.73~78，2000.6
- 3) 垂水弘夫，上出亘弘：生体影響紫外域日射 DUV の雲量および簡易天気分類に基づく解析，日本建築学会計画系論文集，第 545 号，pp.87~92，2001.7
- 4) 垂水弘夫，新聖子：紫外域日射に関する許容被照時間数の地域特性解析，日本建築学会計画系論文集，第 554 号，pp.63~68，2002.4
- 5) 新聖子，垂水弘夫：生体影響紫外線 DUV の特別特性解析—金沢における紫外域日射及び気象観測データを用いて—，日本建築学会計画系論文集，第 564 号，pp.79~84，2003.2
- 6) 小松秀隆，竹下秀，坂田俊文，佐々木政子：晴天日の太陽 UV-B 放射の天空輝度分布，照明学会誌，第 83 巻，第 8A 号，pp.548~555，1999
- 7) 桐生伸喜，川西利昌，井川憲男，矢口浩一：晴天の天空紫外放射輝度分布と紫外域光率に関する基礎的研究，日本建築学会計画系論文集，第 540 号，pp.347~352，2001.2
- 8) 気象業務支援センター：大気・海洋環境観測報告 第 2 号，2002
- 9) 気象業務支援センター：地上気象観測原簿データ，1990~2002
- 10) WHO: "Ultraviolet Radiation, Environmental Health Criteria 160", 1994 pp.231-234
- 11) 日本気象学会：気象科学事典，東京書籍，1998

(2003年9月10日原稿受理，2004年2月23日採用決定)