

## 紫外域日射の評価に関する研究

## その3 金沢における生体影響紫外線 DUV の時別特性解析

新 聖子\*<sup>1</sup>、垂水 弘夫\*<sup>2</sup>\*<sup>1</sup> 金沢工業大学大学院建築学専攻\*<sup>2</sup> 金沢工業大学工学部建築系教授、工博**The Research on the Estimation of Ultraviolet Solar Radiation****Part 3 Characteristic Analysis of the Biologically weighted DUV (Damaging Ultra Violet)  
according to the Time in Kanazawa**Masako SHIN \*<sup>1</sup> and Hiroo TARUMI \*<sup>2</sup>\*<sup>1</sup> Graduate Student, Dept. of Architecture, Kanazawa Institute of Technology  
e-mail: shin1979@venus.kanazawa-it.ac.jp\*<sup>2</sup> Dr.Eng., Professor, Division of Architecture, Kanazawa Institute of Technology  
e-mail: tarumi@neptune.kanazawa-it.ac.jp

**ABSTRACT:** Ozone depletion in the stratosphere is now recognized as a major environmental problem, because which results in a significant increase in solar ultra-violet radiation that reaches the surface of the Earth. Increase of the UV radiation will have an influence on the human health. In this paper, characteristics of the biologically weighted ultra-violet solar radiation, DUV in Kanazawa was analyzed according to the time.

**1. はじめに**

本研究は、太陽光由来の紫外線環境を、生体影響を反映させた紫外線評価指標 DUV<sup>注1</sup> (Damaging UV) を用いて評価し、地域・季節・時間帯などのパラメータに基づく情報の提示を目指すものである。前報<sup>1),2)</sup>までに、日積算 DUV 値、及び WHO が公表している DUV の許容被曝量 30J/m<sup>2</sup> に基づき換算した許容被照時間数(sec)などについて、地域・季節特性を報告した。

本報では、紫外域日射環境の日変動に注目し、快晴日における時刻別 DUV 値を、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ので報告する。また、時刻別 DUV 値と天気との関係について基礎的な知見が得られたので、その結果も併せて報告する。

**2. 解析対象とする観測データについて**

本論文では、時刻毎の各観測値の比較を行なう必要性から、解析対象とするデータを金沢工業大学で蓄積している観測データに限定した。

金沢工業大学では、Brewer 分光観測機<sup>注2</sup>による紫外域日射分光観測の他、全天日射量、UV-A 及び UV-B<sup>注3</sup>の4種類のデータに関して同時観測を行なっており、1997年3月1日～2002年3月31日までのデータを解析対象とし、毎正時を含む30分間隔のデータを取り上げることとした。同期間の天候に関する気象情報は、金沢地方気象台の地上気象観測原簿<sup>3)</sup>を入手し、使用した。

**3. 快晴日における時別特性解析****3.1 時別平均値による月別日変動について**

生体影響紫外線 DUV の1日の変化特性を明瞭に把握するために、雲の影響が小さい快晴日についての解析を行った。快晴日データとしての抽出条件は、以下の通りである。

- 1) 気象データに記載されている6～18時の天気概況に「晴」の表記が含まれている日
- 2) 各観測データについて、30分間隔の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

Table.1 Average and coefficient of variation data according to the time in clear days.

(1) DUV																
	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	Mean
Jan.	-	-	-	0.0005	0.0021	0.0051	0.0075	0.0081	0.0066	0.0038	0.0013	0.0002	-	-	-	0.0039
Feb.	-	-	0.0001	0.0011	0.0040	0.0087	0.0132	0.0146	0.0120	0.0076	0.0034	0.0009	-	-	-	0.0066
Mar.	-	-	0.0005	0.0026	0.0071	0.0134	0.0214	0.0219	0.0167	0.0110	0.0053	0.0017	0.0003	-	-	0.0087
Apr.	-	0.0003	0.0021	0.0071	0.0152	0.0288	0.0390	0.0317	0.0241	0.0174	0.0092	0.0034	0.0008	-	-	0.0140
May.	-	0.0007	0.0032	0.0089	0.0202	0.0415	0.0625	0.0566	0.0406	0.0265	0.0105	0.0044	0.0012	0.0002	-	0.0145
Jun.	0.0001	0.0011	0.0044	0.0113	0.0222	0.0435	0.0645	0.0600	0.0435	0.0279	0.0129	0.0062	0.0020	0.0003	-	0.0133
Jul.	-	0.0006	0.0028	0.0078	0.0153	0.0282	0.0390	0.0300	0.0214	0.0148	0.0079	0.0048	0.0014	0.0002	-	0.0133
Aug.	-	0.0004	0.0026	0.0083	0.0178	0.0322	0.0456	0.0356	0.0256	0.0174	0.0092	0.0056	0.0022	0.0001	-	0.0165
Sep.	-	0.0001	0.0013	0.0051	0.0120	0.0234	0.0356	0.0256	0.0174	0.0113	0.0051	0.0015	0.0002	-	-	0.0104
Oct.	-	0.0006	0.0029	0.0077	0.0129	0.0159	0.0154	0.0113	0.0060	0.0022	0.0004	-	-	-	-	0.0072
Nov.	-	-	0.0003	0.0016	0.0048	0.0086	0.0108	0.0104	0.0075	0.0037	0.0011	0.0001	-	-	-	0.0051
Dec.	-	-	0.0005	0.0022	0.0045	0.0065	0.0067	0.0050	0.0026	0.0008	0.0001	-	-	-	-	0.0032
				29.3%	24.6%	23.4%	23.9%	23.1%	26.0%	27.9%	29.2%	31.4%				

(2) UV-B																
	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	Mean
Jan.	-	-	-	0.018	0.075	0.176	0.274	0.312	0.279	0.184	0.082	0.018	-	-	-	0.149
Feb.	-	-	0.004	0.044	0.156	0.337	0.513	0.589	0.522	0.381	0.203	0.068	0.009	-	-	0.270
Mar.	-	-	0.026	0.117	0.300	0.535	0.733	0.733	0.560	0.326	0.132	0.030	-	-	-	0.377
Apr.	-	0.012	0.088	0.290	0.603	1.010	1.310	1.131	0.858	0.511	0.232	0.066	0.007	-	-	0.583
May.	0.002	0.031	0.141	0.367	0.622	0.822	0.822	0.622	0.422	0.222	0.099	0.018	-	-	-	0.571
Jun.	0.003	0.037	0.165	0.406	0.636	0.836	0.836	0.636	0.436	0.236	0.099	0.018	0.001	-	-	0.571
Jul.	0.008	0.034	0.134	0.335	0.611	0.811	0.811	0.611	0.411	0.211	0.081	0.011	0.001	-	-	0.547
Aug.	-	0.019	0.111	0.321	0.634	0.834	0.834	0.634	0.434	0.234	0.099	0.018	0.001	-	-	0.599
Sep.	-	0.011	0.081	0.205	0.435	0.635	0.635	0.435	0.235	0.135	0.035	0.005	-	-	-	0.403
Oct.	-	0.024	0.109	0.276	0.471	0.599	0.612	0.513	0.340	0.159	0.041	0.003	-	-	-	0.286
Nov.	-	-	0.009	0.060	0.176	0.324	0.424	0.435	0.356	0.216	0.088	0.015	-	-	-	0.210
Dec.	-	-	0.016	0.076	0.170	0.256	0.279	0.234	0.144	0.056	0.008	-	-	-	-	0.138
				47.7%	24.1%	17.3%	17.2%	16.0%	17.1%	18.1%	27.9%	83.4%				

(3) UV-A																
	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	Mean
Jan.	-	-	0.14	3.98	10.29	16.65	21.91	23.81	22.28	17.73	10.91	4.00	0.13	-	-	13.88
Feb.	-	-	1.21	7.30	15.47	23.85	29.89	28.88	24.88	17.51	9.11	2.29	-	-	-	18.37
Mar.	-	-	29.2%	17.0%	14.4%	13.4%	11.3%	10.2%	6.4%	10.7%	12.5%	12.8%	11.6%	-	-	23.26
Apr.	0.04	2.94	10.04	20.43	33.22	43.22	43.22	33.22	20.43	9.6%	11.8%	18.3%	70.4%	0.48	-	27.29
May.	0.88	5.90	14.86	25.22	35.22	35.22	25.22	14.86	5.90	7.3%	7.7%	12.7%	28.5%	-	-	28.43
Jun.	41.9%	19.5%	12.1%	11.3%	11.3%	11.3%	11.3%	11.3%	11.3%	11.3%	11.3%	11.3%	11.3%	11.3%	0.30	28.43
Jul.	1.36	7.04	16.19	26.88	33.22	33.22	26.88	16.19	7.04	8.1%	8.3%	7.0%	8.3%	-	-	27.46
Aug.	0.35	4.03	12.35	22.71	33.22	33.22	22.71	12.35	4.03	10.6%	10.8%	10.6%	10.8%	10.6%	0.30	27.34
Sep.	-	1.79	9.38	19.86	25.22	25.22	19.86	9.38	1.79	25.27	20.63	5.27	0.47	-	-	25.92
Oct.	-	0.17	4.68	13.12	22.35	22.35	13.12	4.68	0.17	7.3%	8.2%	13.8%	66.1%	-	-	19.96
Nov.	-	-	55.5%	15.5%	12.3%	7.3%	7.3%	7.3%	7.3%	8.5%	11.3%	15.4%	40.8%	150.9%	-	17.28
Dec.	-	-	29.6%	15.0%	9.5%	7.9%	7.7%	7.7%	7.7%	8.6%	11.2%	10.6%	108.3%	195.1%	-	14.42
				13.1%	15.1%	8.6%	6.6%	5.0%	5.7%	6.1%	7.0%	8.6%	15.7%	142.0%		

(4) Global solar radiation																
	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	Mean
Jan.	-	-	-	78.2	251.4	384.5	475.1	518.8	479.2	393.6	257.7	91.9	-	-	-	308.2
Feb.	-	-	19.2	175.2	360.8	506.7	589.8	608.8	528.8	397.9	218.5	39.2	-	-	-	392.1
Mar.	-	-	52.8%	19.0%	11.9%	7.7%	7.7%	7.7%	7.7%	7.6%	8.1%	30.2%	-	-	-	458.2
Apr.	4.4	118.8	315.8	463.8	528.8	528.8	463.8	315.8	118.8	345.3	143.0	3.9	-	-	-	503.3
May.	0.3	62.5	233.8	460.5	528.8	528.8	460.5	233.8	62.5	392.8	194.0	24.8	-	-	-	525.8
Jun.	154.9%	53.1%	32.1%	9.7%	9.7%	9.7%	9.7%	9.7%	9.7%	13.4%	23.8%	30.8%	-	-	-	525.8
Jul.	10.9	126.3	323.9	518.8	528.8	528.8	518.8	323.9	126.3	440.8	241.8	56.0	-	-	-	473.5
Aug.	19.3	150.7	326.7	519.2	528.8	528.8	519.2	326.7	150.7	392.4	205.6	34.9	0.1	-	-	475.5
Sep.	-	21.2	194.8	390.5	463.8	463.8	390.5	21.2	194.8	472.8	287.2	56.5	0.3	-	-	472.4
Oct.	-	37.2%	12.1%	9.7%	9.7%	9.7%	9.7%	9.7%	9.7%	6.3%	8.0%	28.2%	244.9%	-	-	377.3
Nov.	-	1.4	93.1	292.6	458.6	458.6	292.6	93.1	1.4	491.5	337.3	142.9	9.4	-	-	337.2
Dec.	-	-	209.5%	31.5%	12.3%	6.5%	6.5%	6.5%	6.5%	7.8%	11.4%	29.5%	150.1%	-	-	291.4
				46.3%	14.5%	7.9%	6.4%	5.6%	6.7%	8.3%	15.4%	222.5%	-	-	-	
				2.9	100.7	277.8	407.1	490.6	507.9	467.4	382.6	220.7	58.8	0.1	-	
				128.2%	29.5%	7.1%	3.9%	3.3%	3.2%	3.7%	5.9%	16.2%	344.2%	-	-	

\* Upper stage: Average[W/m<sup>2</sup>]. Lower stage: Coefficient of variation[%]. Mean: Average value from sunrise to sunset

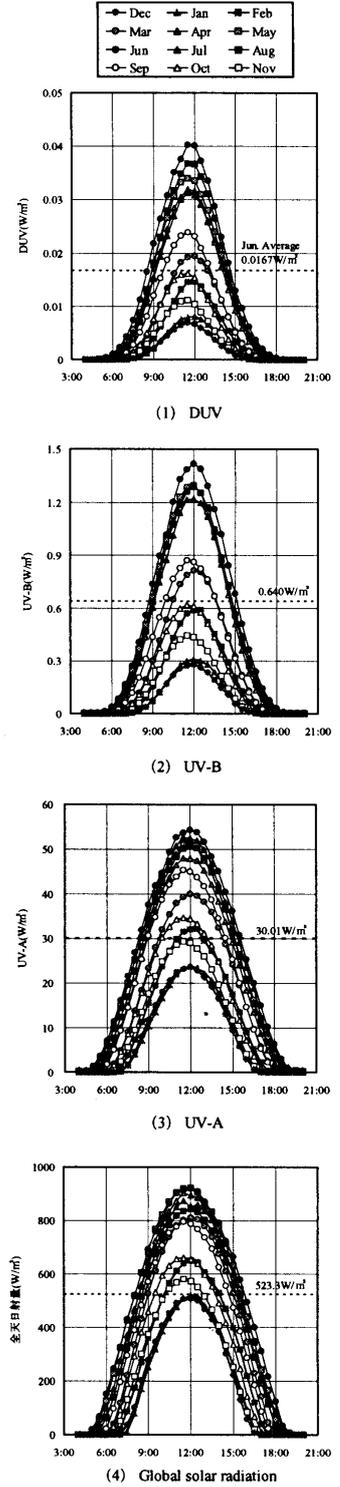


Fig.1 Hourly average data of clear days in each month.

Table.1 は、先ほどの条件で抽出した快晴日の DUV、UV-B、UV-A および全天日射量について、毎正時の時刻別平均値と変動係数を月別に整理したものである。また、Fig.1 は、毎正時を含む 30 分間隔の月別日変動を示している。Table.1 の右欄の時刻別平均値のうち、4 種類のデー

タを通じて数値の高い 6 月の値を基準に選び、それよりも高い値をとる各月の時刻別値に網掛けを施した。網掛け部分の出現月に注目すると、(4)の全天日射量は 2~11 月の 10 箇月間に及ぶのに対し、(3)の UV-A は 2~10 月の 9 箇月間、(2)の UV-B と(1)の DUV では 3~9 月の 7 箇

月間となっている。また、網掛け部分の時間帯についても、上述の順に時間数が短くなる様子が認められる。これらのことから、DUV や UV-B のように、波長が短波長側に寄るほど、全天日射量との傾向の相違が顕著になり、太陽高度が低下する季節や時間帯において、日射量よりも速やかに DUV や UV-B の数値が低下することが明らかとなった。

Fig.2 において、DUV と全天日射量について比較すると、正午までの値の立ち上がり方と夕方にかけての減衰傾向に相違がみられる。どの季節においても、朝は全天日射に比べて DUV の立ち上がりが遅く、夕方は全天日射よりも早く DUV が減衰する様子が認められる。これらのことから、生体影響紫外線 DUV は、熱的に知覚し易い日射とは季節的にも、また、時間的にも異なる変化を示すことが明らかとなった。また、UV-B と UV-A の日変動を見ると、UV-B は DUV に、UV-A は全天日射に近い形の変動となっており、同じ紫外域でも A 領域と B 領域とでは、1日の時間帯によってピーク値(12 時前後)に対する割合等が大きく異なることが確認された。

### 3.2 6月と12月の特別値の比較検討

次に、夏至を含む6月と冬至を含む12月を取り上げ、DUVを中心とする日変動パターンの比較検討を行なった。Fig.2 は、快晴日における DUV 及び全天日射量の時刻別平均値を示している。12月の正午付近のピークの日射量は約508W/m<sup>2</sup>で、6月の約920W/m<sup>2</sup>のおよそ55%に相当している。同様に DUV についてみると、12月の値は6月のおよそ17%に相当し、単位日射量あたりの DUV 値は、快晴日の正午付近で12月は6月の3分の1程度にまで低下していることが判る。

Fig.3 は、DUV と全天日射量について、1日の平均値を1.0として各時刻の値を比率で表現したものである。6月の DUV と全天日射量の日変化を追うと、全天日射量は、正午付近になだらかなピークを有している。一方、DUV について見ると、全天日射量の場合と比べて1.0を上回る時間が短くなっているのと、正午前後へのピークの立ち上がり方が、より急峻的であるという特徴を有している。12月における両者の関係にも、ほぼ同様の傾向を読み取ることができる。

また、全天日射量に対する DUV と UV-A の比率を6月と12月の時刻ごとに求め、Fig.4 に示した。図より UV-A に比べ DUV の方が、正午付近と朝晩との差が大きくなっている様子がみられ、季節間の差異が顕著であることも見受けられる。特に、6月の DUV の時刻による変化は大き

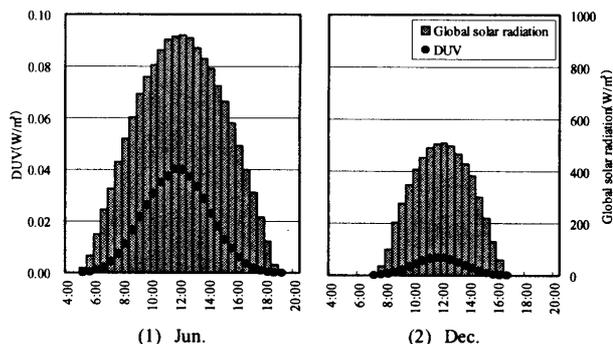


Fig.2 Hourly average data of DUV and global solar radiation. (Jun., Dec.)

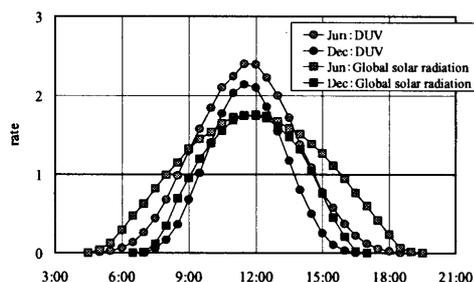


Fig.3 Rate of the hourly average to the daily average concerned to DUV and global solar radiation. (Jun., Dec.)

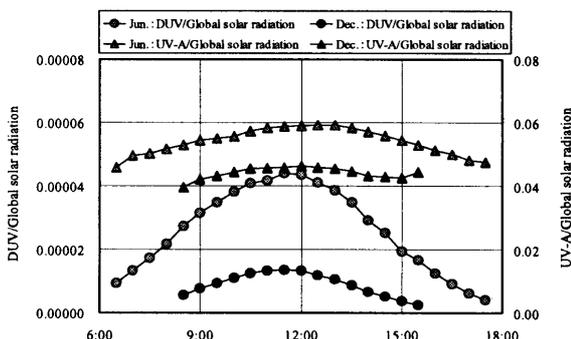


Fig.4 Ratio of [DUV] and [UV-A] / [global solar radiation] (Jun.: 6:30~17:30, Dec.: 8:30~15:30)

い。この結果、紫外域日射においても、A領域全量値と生体影響を考慮した DUV 値とでは、時刻変化に目立った相違があり、6月など太陽高度が上がる時期において、正午付近の紫外域日射に対する防御対策が重要であることが判る。

### 4. 天気別 DUV 値算定結果

前項までは、快晴日における日変動に着目した特別特性解析結果について述べてきたが、次に天気別の特別値算定結果について紹介する。気象データ中の9・12・15時の「天気」を示す項目から、各値を時刻別に雲量に関する5種類<sup>注4</sup>の天気<sup>注4</sup>に分類し、平均値として算定した。

Fig.5 は代表月として 6 月の時刻・天気別の値を示したものである。

全体的に見てとれるのは、以下の 3 点である。

- 1) 各値とも、「快晴」、「晴」、「薄曇」、「曇」、「雨」の、天気の順に小さくなっている。
- 2) 「薄曇」と「曇」は、同じ雲量(天空に締める雲の割合が 9~10)の天気であるにもかかわらず、出現している雲の相違により、「薄曇」の値は「曇」より高目の値をとる。
- 3) 降水のある場合は更に低く、「曇」の半分程度の値にまで低下する。

また、正午の値と午前・午後の値との比率は、天気別の値で見ても、本報の前半で述べたような、より短い領域の紫外線と DUV 値で高くなる傾向が見られる。

Table.2 は、6 月の 12 時の値について、快晴の値を基準(100)とした場合の夫々の比率である。更に快晴日の全天日射量に対する DUV の比率[ratio]についても提示した。上述した天気の順での低下傾向は、DUV 値で大きく、日射量で小さいという結果が得られた。また、[ratio]で見ると、「晴」104、「薄曇」109、「曇」136、「雨」195 と天候の悪化につれて高くなっている。つまり、雲によって直達光が遮られ、日射の熱的成分があまり感じられないような天空状態の場合においても、紫外域日射量の低下は全天日射量ほどではないと言うことができよう。以上、生体影響紫外線 DUV の 1 つの特徴が示された。

### 5. まとめ

本報では、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、金沢の紫外域日射分光観測データを中心に解析を行ったものである。研究成果を以下にまとめる。

- (1) 金沢で蓄積された DUV、UV-B、UV-A および全天日射量データの中から快晴日の抽出作業を行ない、月別・時刻別のデータ整理を通じて、生体影響紫外線 DUV の季節ならびに特別変化の基本的特徴を提示した。
- (2) 代表月を取り上げた DUV の日変動解析結果から、全天日射量や紫外域の全量値である UV-A との、特別値出現傾向の相違を明確にした。
- (3) 天気分類に基づき、6 月の正午の DUV、UV-B、UV-A、及び全天日射量を分析したところ、DUV は天候の悪化に伴う数値の低下が最も小さい傾向にあることが明らかとなった。

今後は、DUV の特別特性解析を、分光観測を行っている、他の 4 地点にも展開し、地理的・気象的条件を含めた生体影響紫外線環境を提示していく予定である。

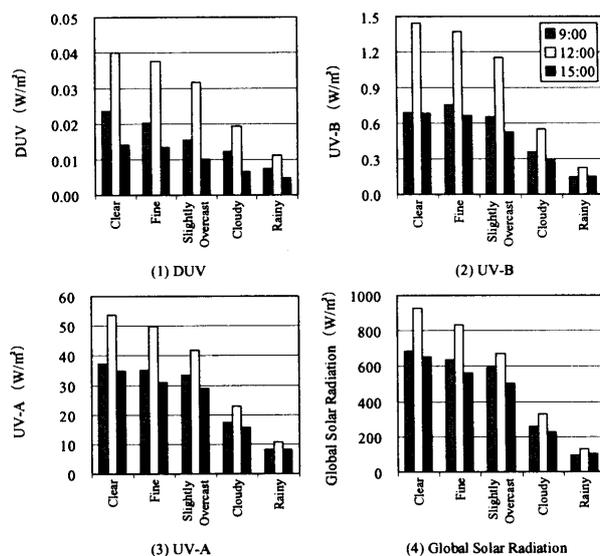


Fig.5 Radiation intensity in each weather classification. (Jun.)

Table.2 The index display based on the intensity at noon in June.

	Clear	Fine	Slightly Overcast	Cloudy	Rainy
DUV	100	94	79	48	28
UV-B	100	95	80	38	16
UV-A	100	93	78	42	20
Solar*	100	90	73	35	14
ratio**	100	104	109	136	195

\* Global Soalr Radiation, \*\*DUV/ Global Soalr Radiation

### 《注 釈》

- 1) 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。  

$$AS(L) = 1 - 0.36(L - 270)^2 \cdot 10^{-6} \quad 290 \leq L \leq 300 \text{nm}$$

$$AS(L) = 0.3 \times 0.7356^{(L-300)} + 10^{-(2-0.0163L)} \quad 300 < L \leq 325 \text{nm}$$
 また、DUV による被曝基準値(30J/m²)を用いることで、紫外域日射に対する許容被照時間数の算定が可能となる。
- 2) 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。金沢工業大学での測定時間間隔は 30 分となっている。
- 3) 全天日射計は英弘精機株式会社製の MS-801 で、測定波長域が 300~2800nm。A 領域紫外域日射計は同社製の MS-210A で、測定波長域は 315~400 nm。B 領域紫外域日射計は同社製の MS-210W で、測定波長域は 280~315 nm
- 4) 地上気象観測原簿日報中の「天気」の項目より  
 快晴(Clear): 雲量 0~1  
 晴(Fine): 雲量 2~8  
 薄曇(Slightly Overcast): 主に上層雲、雲量 9~10  
 曇(Cloudy): 主に中層・下層雲、雲量 9~10  
 雨(Rainy): 雨が降っている状態

### 《参考文献》

- 1) 垂水弘夫、新聖子: 紫外域日射の評価に関する研究 その 1 気象条件に基づく生体影響紫外線 DUV の推定、第 25 回人間-生活環境系シンポジウム研究報告集 p15-18, 2001.12
- 2) 新聖子、垂水弘夫: 紫外域日射観測データの気象条件に基づく解析 その 2 許容被照時間数を指標とする地域特性評価、第 25 回人間-生活環境系シンポジウム研究報告集 p19-22, 2001.12
- 3) 日本気象協会北陸支店: 金沢地方気象台・地上気象観測原簿、1997.3.1~2002.3.31