

屋外空間における 6 方向の紅斑紫外線量の実測

Measurement of 6-directions erythemal UV irradiances in outdoors

渡邊 慎一* 稲垣 昌紘* 石井 仁**

Shinichi WATANABE, Masahiro INAGAKI, Jin ISHII

Summary

According to World Health Organization (WHO), excessive exposure to ultraviolet radiation (UV) increases the risk of skin cancers and cataracts. In the current study, measurements of UV radiation and thermal environmental parameters were conducted in outdoors during summer and autumn periods to archive a fuller understanding of characteristics of UV radiation, and the following findings were obtained.

On the summer sunny day, the maximum erythemal UV on the upper horizontal plane was $27.79 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, and 11.1 in UV Index which was evaluated as 'extremely strong' UV environment based on the WHO rating category.

On the autumn sunny day, the erythemal UV on the upper horizontal plane in the shade of a five-story building decreased to approximately a quarter of that in the athletic field open to the sky. Furthermore, the erythemal UV in the shade of trees was reduced to approximately 1/16 of the athletic field. A southern vertical plane was irradiated with UV radiation of the same level on the upper horizontal plane. UV radiation irradiated on six-directional planes are affected by the sensor facing direction, the surrounding obstacles including buildings and trees, and the radiative properties of the ground surfaces. The UV protection factors (PF) of the building shade were ranged from 3.8 on the upper horizontal plane to 11.9 on the south vertical plane, which did not reach the required value of 15. In the shade of trees, the PFs of the west and south vertical planes were 11.7 and 14.9 respectively, and the other planes had the PF of 15 or more. The maximum value of universal thermal climate index (UTCI) was $23.5 \text{ }^\circ\text{C}$ on the terrace. Meanwhile, the minimum UTCI was recorded to be $8.2 \text{ }^\circ\text{C}$ in the building shade. The temperature difference between them was $15.3 \text{ }^\circ\text{C}$ in UTCI.

キーワード : 紫外線, 6 方向, 紅斑, UV インデックス, UTCI

Keywords : ultraviolet radiation, 6-direction, erythema, UV Index, UTCI

1. はじめに

WHO¹⁾によると、全世界で一年間に約 6 万人が過度な紫外線の照射が原因で死亡していると報告されている。特に、赤道に近く紫外線が強いオーストラリアでは、紫外線による皮膚がんが社会問題となっている。オーストラリアでは、70 歳までに 3 分の 2 の国民が皮膚がん

と診断され、年間に 2,000 人以上の国民が皮膚がん

亡している²⁾。日本においては、国立がん研究センター³⁾によると、2015 年に皮膚がん

で死亡した人数は、全国で 1,505 人 (男性: 745 人, 女性: 760 人) であり、その数は年々増加している。このような状況に対して、各国は過度な紫外線照射を防ぐための様々な取り組みを行っている。オーストラリアでは、1980 年代から皮膚がんを減少させることを目的とした「SunSmart」²⁾プログラムが実施されている。また、アメリカでは子供達を対

* 大同大学 工学部 建築学科

** 名城大学 理工学部 建築学科

象とした「SunWise」⁴⁾プログラムが実施されている。日本においては、環境省が「紫外線環境保健マニュアル」⁵⁾を発刊し、紫外線に関する情報を提供すると共に過度な紫外線の照射を避ける方法を示している。

一般に、紫外線の人体に対する影響は、CIE 作用スペクトルに基づいた红斑紫外線量を用いて評価される。さらに、より理解を容易にするため、红斑紫外線量から UV Index を算出し、評価・予防に用いられている^{6,7)}。

建築物等による紫外線の遮蔽効果は紫外線防御指数⁸⁾(Protection Factor, PF)で評価される。一般に、紫外領域の拡散成分の比率は日射領域よりも大きいいため、水平面だけでなく垂直面に照射する紫外線量も評価する必要がある⁵⁾。Gies et al.⁹⁾は、プールにおいてマネキンの肩と胸の紫外線量を測定し、庇の紫外線遮蔽効果を明らかにした。しかし、水平面および垂直面に照射する紫外線は、その面の方向、周囲の構造物の形状および放射特性、太陽位置等によって大きく変化する。したがって、ある地点の紫外線量を正確に評価するためには、少なくとも6方向(上下東西南北)の紫外線量を測定する必要があると考えられる。そこで、本研究は、屋外における紫外線環境の基礎資料を得ることを目的として、天空率および周囲の環境が異なる地点において6方向の红斑紫外線量を同時に実測した。併せて、熱環境の測定も実施し、各地点における体感温度を算出した。

2. 測定方法

測定については、1地点における红斑紫外線量の経時変化を把握する測定①および異なる7地点の红斑紫外線量を把握する測定②を実施した。表1に測定日および測定時の気象観測結果を示す。測定①は、2016年8月11日(南中時刻 11:57, 南中時の太陽高度 70.1°)に大同大学 滝春校舎の中庭(地点 A)にて、11:00 から 17:00 まで実施した。地点 A の地表面は芝生であった。測定②は、2016年11月16日(南中時刻 11:37, 南中時の太陽高度 36.1°)に、大同大学 白水校舎およびその周辺の7地点(地点 B~H)を移動し、観測した。各地点における測定時間は5分間とした。

表2に各測定地点の状況および天空率を示す。天空率が最も大きいのは地点 B (屋上)における97.9%であり、最も小さいのは地点 H (樹陰)における4.8%であった。また、地表面仕上げも各地点によって異なる。

表3に測定項目および測定機器を示す。6方向(上下東西南北)の红斑紫外線量は、Biologically Weighted UV-B Detector (PMA2101, Solar Light)を、測定用に制作した金属フレームの上下東西南北の各面に取り付け測定した。気象観測は、5階建て建物屋上に設置した気象観測

表1 測定日および気象観測結果

測定	時間	気温 ℃	相対湿度 %	風速 m/s	日射量 W/m ²	測定 地点	天気 概況
測定① (2016/8/11)	11:00~ 17:00	33.6	46.6	1.63	602.9	A	薄曇
測定② (2016/11/16)	11:00~ 12:25	14.3	43.1	3.07	578.5	B~H	快晴

表2 各測定地点の状況および天空率





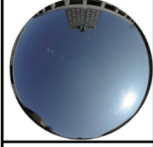
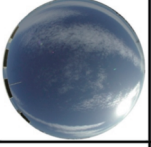







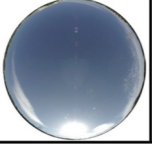
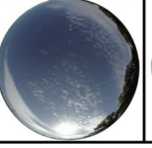
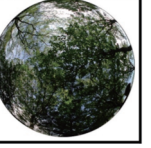
A: 広場 天空率: 82.4%	B: 屋上 97.9%	C: 建物陰 44.8%	D: 中庭 43.7%
			
			
E: テラス 49.0%	F: グラウンド 96.4%	G: 草地 90.8%	H: 樹陰 4.8%
			
			

表3 測定項目および測定機器

測定項目	測定機器	測定間隔
红斑紫外線量	Biologically Weighted UV-B Detector (PMA 2101, Solar Light)	1 min
気温・相対湿度・ 風速・日射量	気象観測装置 (Vantage Pro2, Davis)	1 min
上向き・下向き 長短波放射量	Net Radiometer (NR01, Hukseflux)	10 sec

表4 WHOによる紫外線の評価カテゴリ

UV Index	評価	推奨される行動
11+	極端に強い	特別な紫外線防御が必要です ・日中の外出は控えましょう。
8~10	非常に強い	・日影に入ることを心掛けて下さい。 ・必ずシャツ、日焼け止め、帽子を利用しよう。
6~7	強い	紫外線防御が必要です ・日中は日影を利用しよう。
3~5	中程度	・シャツ、日焼け止め、帽子を利用しよう。
<2	弱い	紫外線防御は必要ない ・屋外で安心して滞在できます。

装置(Vantage Pro2, Davis)を用いて測定した。紅斑紫外線量および気象要素の測定間隔は1分とした。また、測定②では、各地点において Net Radiometer (NR01, Hukseflux)を用いて、上向き・下向きの長短波放射量を10秒間隔で測定した。

3. 紫外線環境および温熱環境の評価方法

3.1 紫外線環境評価方法

本研究では、実測した紅斑紫外線量を用いて、上下東西南北6面のPFを算出した。PFは、次式に示すように、紫外線遮蔽構造物がない地点とある地点における紅斑紫外線量の比で表される⁸⁾。Parsons et al.¹⁰⁾は、屋外においてPFは15以上が望ましいとしている。

$$PF = \frac{UV_{sun-i}}{UV_{shade-i}} \quad (1)$$

ここで、

PF: 紫外線防御指数, dimensionless

UV_{sun-i} : 紫外線遮蔽構造物のない地点において i 面に照射する紅斑紫外線量, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

$UV_{shade-i}$: 紫外線遮蔽構造物下における i 面に照射する紅斑紫外線量, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

i: 上下東西南北の各面

また、紅斑紫外線量に基づいて UV Index が算出され、紫外線環境の評価等に用いられる。表4にWHO⁷⁾による紫外線評価カテゴリを示す。UV Index が3以上で紫外線防御が必要となり、8以上で特別な紫外線防御が必要となる。

3.2 熱環境評価方法

本研究では、温熱環境の評価指標として UTCI¹¹⁾ (Universal Thermal Climate Index)を用いた。UTCIは気温・相対湿度・風速・平均放射温度から、体感温度を算出する指標である。気温および相対湿度は、5階建て建物屋上で測定した実測値を用いた。UTCI算出のための風速は、地上高さ10mにおける風速を入力することが要求されている。そこで、5階建て建物屋上で測定した実測値(測定高さ:地上21.15m)を地上高さ10mの風速に変換して用いた。平均放射温度は、渡邊と堀越¹²⁾の手法に基づき、実測した上向き下向き長短波放射量から次式を用いて算出した。

$$t_{mrt} = \frac{1}{\sigma} \left(f_{eff} \left(\frac{a_k \cdot I_{dH} + S \uparrow}{\varepsilon_p} + \frac{L \downarrow + L \uparrow}{2} + \frac{a_k \cdot f_p \cdot I^*}{\varepsilon_p} \right) \right)^{0.25} - 273.2 \quad (2)$$

ここで、

t_{mrt} : 平均放射温度, °C

I^* : 法線面直達日射量, W/m^2

I_{dH} : 水平面拡散日射量, W/m^2

$S \uparrow$: 上向き短波長放射量, W/m^2

$L \downarrow$: 下向き長波長放射量, W/m^2

$L \uparrow$: 上向き長波長放射量, W/m^2

σ : Stefan-Boltzmann 定数 ($=5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$)

ε_p : 着衣人体の放射率 ($=0.97$), dimensionless

a_k : 短波長放射に対する吸収率 ($=0.69$), dimensionless

f_{eff} : 人体の有効放射面積率 ($=0.91$), dimensionless

f_p : 投射面積率, dimensionless

水平面拡散日射量 I_{dH} は、下向き短波長放射量 $S \downarrow$ を Reindl et al.¹³⁾のモデルによる直達成分と拡散成分に分離し算出した。着衣人体の短波長放射に対する吸収率は、Watanabe et al.¹⁴⁾による秋期の値である0.69を用いた。人体の有効放射面積率はHorikoshi et al.¹⁵⁾による立位着衣人体に対する0.91を用いた。また、人体の投射面積率はPark and Tuller¹⁶⁾が提案した歩行者に対する式を適用した。

4. 結果および考察

4.1 夏期における連続測定(測定①)

図2に2016年8月11日における6方向紅斑紫外線量の推移を示す。測定日の日射量の最大値は926.0 W/m^2 、測定中の平均値は602.9 W/m^2 であり、晴天であった。上面の紅斑紫外線量の最大値は、南中時刻11:57における27.79 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ であった。その後、時間の経過と共に徐々に低下した。下面の紅斑紫外線量は最大でも0.27 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ であり、極めて小さいことが示された。垂直面に着目すると、東面は測定開始時の11:00に最大値6.22 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ を記録した。南面および北面は南中時に最大値を記録し、それぞれ8.36 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ および3.22 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ であった。西面は西日を受け14:03に最大値8.59 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ を記録した。

図3に同日における6方向のUV Indexの推移を示す。上面のUV Indexの最大値は、11:57において11.1であった。WHO⁷⁾の評価カテゴリでは「極端に強い」(UV Index 11以上)紫外線環境であった。垂直各面のUV Indexの最大値は1.3~3.4であり「中程度」、下面は「弱い」と評価された。

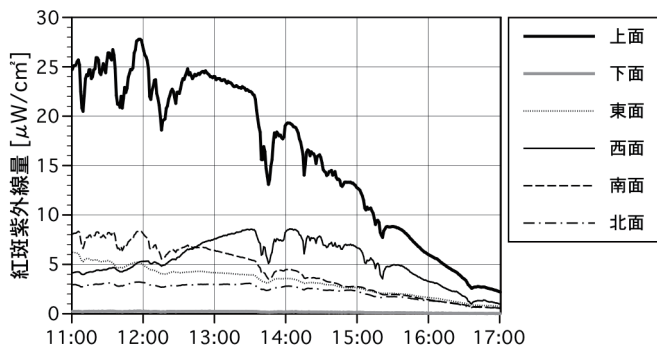


図2 紅斑紫外線量の推移 (2016/8/11, 地点 A)

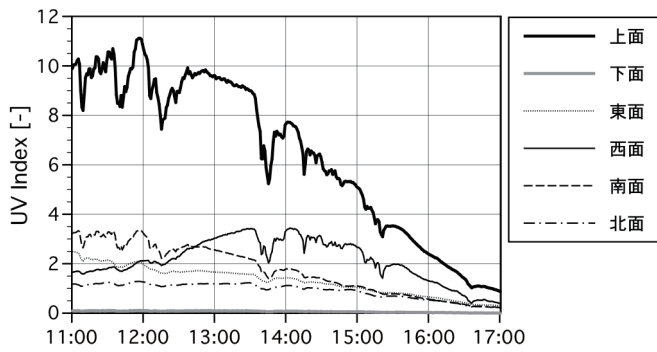


図3 UV Index の推移(2016/8/11, 地点 A)

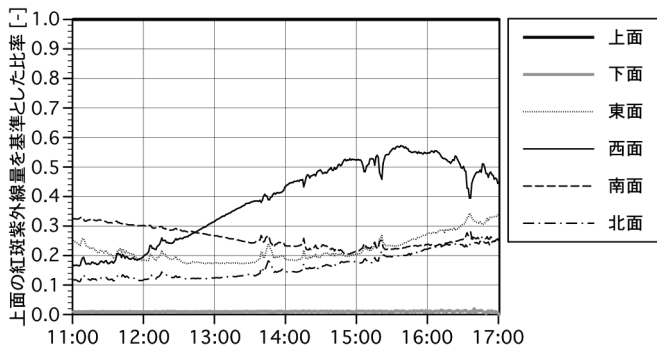


図4 上面の紅斑紫外線量を基準とした各面の比率 (2016/8/11, 地点 A)

図4に上面の紅斑紫外線量を基準とした各面に照射する紅斑紫外線量の比率を示す。下面の比率は紫外線反射率を示しており、平均で0.010(1.0%)と極めて小さな値であった。遠藤ら¹⁷⁾は、芝生の紫外線反射率を0.0%と報告しており、本研究でも同様の結果となった。西面の比率は、15:37に最大0.57となった。これは西日による影響であると推察される。東面・南面・北面の比率は0.11~0.34の間で推移した。

図5に全天日射量とUV Index(上面)との関係を示す。全天日射量が増加するにしたがって、UV Indexも高くなるが見て取れる。回帰直線に着目すると、特別な紫外線防御が要求される「非常に強い」紫外線環境

(UV Indexが8以上)となるのは、全天日射量が727.1 W/m²以上のときであることが読み取れる。一方、紫外線防御が必要でない「弱い」紫外線環境(UV Indexが3

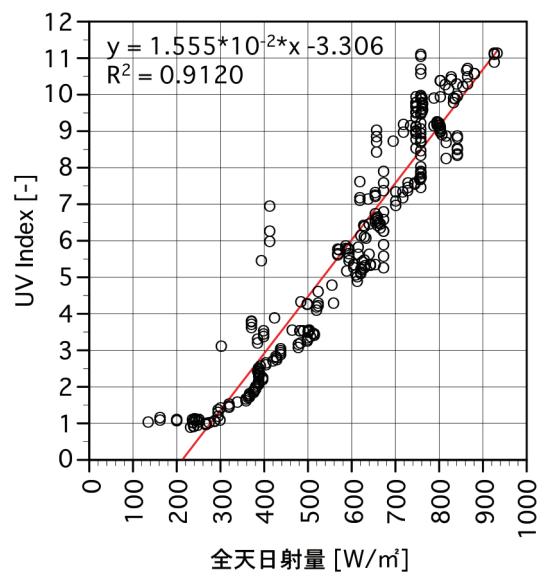


図5 全天日射量とUV Indexとの関係 (2016/8/11, 地点 A)

未満)となるのは、全天日射量が405.5 W/m²未満のときであることが示された。これらの閾値は、本研究の測定日である8月11日の測定結果に基づくものであり、季節や気象状況によって異なることが予想される。今後、年間を通じた観測を行い、全天日射量とUV Indexとの関係を明らかにする必要がある。

4.2 秋期における移動測定(測定②)

4.2.1 熱環境

図6に2016年11月16日における気温・相対湿度・風速の推移を示す。図中のB~Hは測定地点を示す。測定時の平均気温は14.3℃、平均相対湿度は43.1%、平均風速は3.07 m/sであった。また、測定時の日射量の平均は578.5 W/m²であり、名古屋地方気象台の天気概況によると快晴であった。

図7に上向き・下向き短波放射量の推移を示す。下向き短波長放射量は、直達日射を遮る構造物がない場所では600 W/m²程度であった。一方、C:建物やH:樹木によって直達日射が遮られる地点では、下向き短波長放射量はそれぞれ35.0 W/m²および46.4 W/m²であった。上向き短波長放射量が最も多いのは、B:屋上であり、平均277.8 W/m²であった。これは、当該建物の屋上に高反射性塗料が塗布されていたためと考えられる。これに次いで、F:グラウンドおよびG:草地における上向き短波長放射量が大きく、それぞれ158.7 W/m²および122.7 W/m²であった。日射反射率は、B:屋上が最も大きく、0.46であり、次いで、H:樹陰が0.28、F:グラウンドが0.27、G:草地が0.20であった。これら以外の地点では0.09~0.11であった。下向き長波長放射量は、259.3 W/m²~332.0 W/m²に分布していた。天空率の大きい地点で下向き長

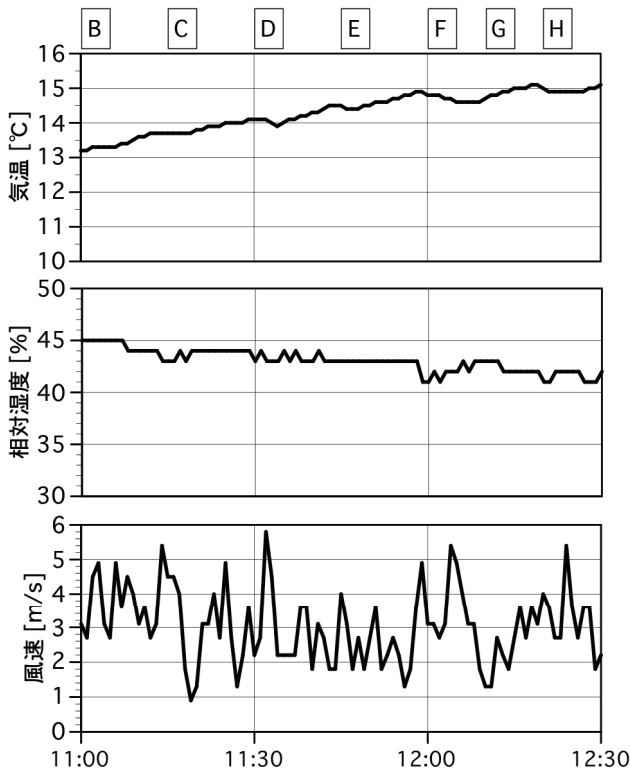


図6 気温・相対湿度・風速の推移 (2016/11/16)

波長放射量が小さくなる傾向が見て取れる。一方、上向き長波長放射量は $386.2 \text{ W/m}^2 \sim 488.8 \text{ W/m}^2$ に分布していた。最も大きな値を記録したのはE:テラスであった。これは、テラスの素材がプラスチックであり、日射を吸収して高温となり、上向き長波長放射が増加したものと考えられる。

図8に平均放射温度の推移を示す。平均放射温度は測定地点によって大きく異なることが見て取れる。E:テラスが最も高温となり、 54.6°C であった。次いで、B:屋上が 54.2°C 、D:中庭が 48.9°C であった。一方、直達日射が遮られたC:建物陰およびH:樹陰の平均放射温度は低温となり、それぞれの平均放射温度は 11.5°C および 18.2°C であった。このように測定地点によって平均放射温度が大きく異なった最大の原因は、まず直達日射が照射するか否かである。さらに、測定地点の天空率および地表面の放射特性も影響すると考えられる。

図9に体感温度UTCIの推移を示す。UTCI値は、風速および平均放射温度に大きく影響を受けていることが見て取れる。直達日射が照射される地点におけるUTCIは、F:グラウンドの 20.1°C からE:テラスの 23.9°C に分布していた。一方、直達日射が遮蔽されたC:建物陰は 8.2°C 、H:樹陰は 10.4°C と低温となった。E:テラスとC:建物陰の温度差は 15.7°C であった。測定地点はいずれも近接した場所であるが、直達日射の有無や天空率および地表面の放射特性の違いによって、体感温度が 15°C も異なることが示された。

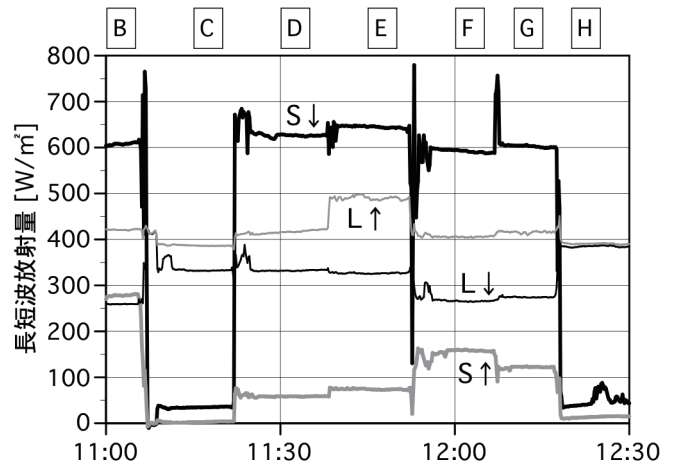


図7 長短波放射量の推移 (2016/11/16)

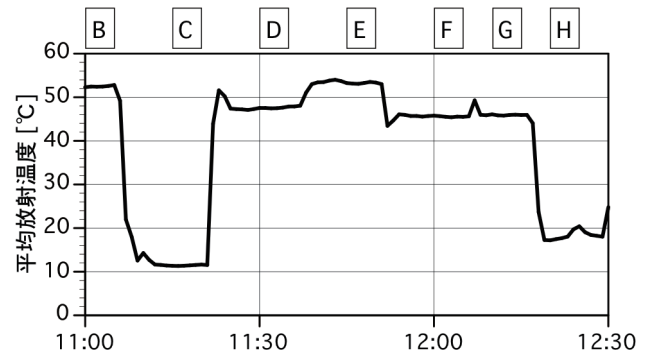


図8 平均放射温度の推移 (2016/11/16)

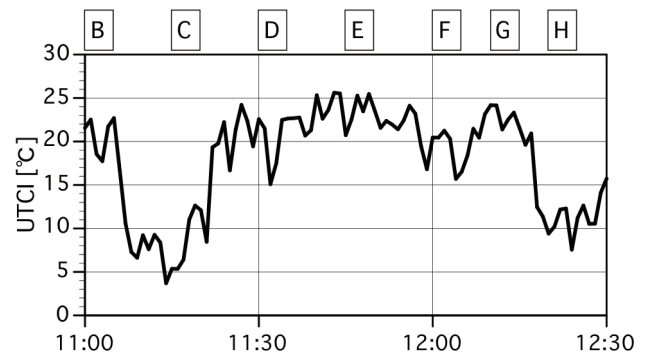


図9 体感温度 UTCI の推移 (2016/11/16)

4.2.2 紫外線環境

図10に2016年11月16日における各地点の6方向紅斑紫外線量の推移を示す。各測定地点において、上面の紅斑紫外線量が他面よりも値が大きい傾向が示された。上面の紅斑紫外線量が最も大きいのは、F:グラウンドにおける平均 $8.26 \mu\text{W/cm}^2$ であった。前述した8月11日の測定では、最大値が $27.79 \mu\text{W/cm}^2$ であり、11月16日の値はそれよりも約 $20 \mu\text{W/cm}^2$ 小さい。これは、季節によって太陽高度が異なるためであると考えられる。8月11日の南中時の太陽高度が 70.1° に対して11月16日の南中時の太陽高度は 36.1° である。したがって、同時刻であっても

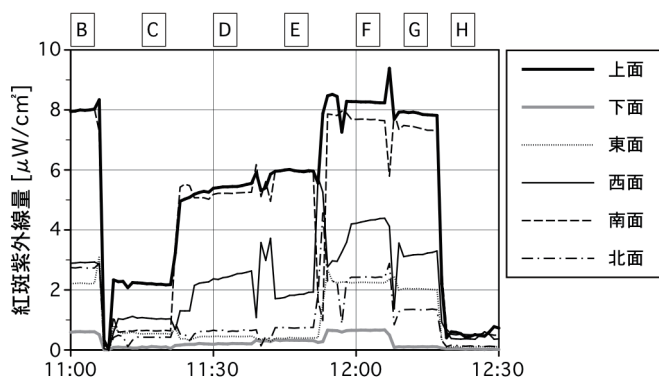


図 10 紅斑紫外線量の推移 (2016/11/16)

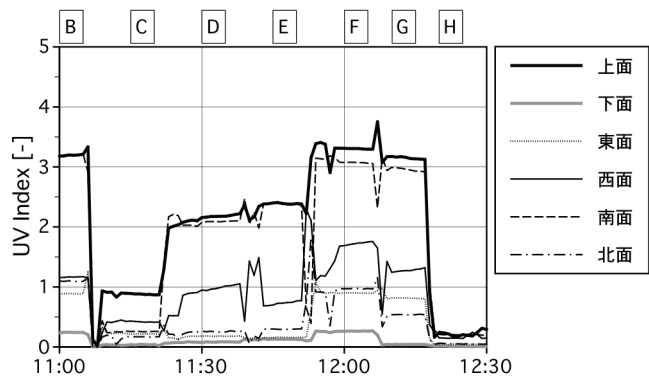


図 11 UV Index の推移 (2016/11/16)

11月の方が8月より太陽高度が低いいため、上面に入射する紅斑紫外線量が小さくなったと考えられる。

図11に各地点におけるUV Indexの推移を示す。天空に開放された測定点において、上面と南面のUV Indexがほぼ等しい値であった。上面のUV Indexが最も大きい測定点はF:グラウンドであり、その値は平均3.30であった。これは、WHO⁷⁾の評価カテゴリにおいて示されている「中程度」の紫外線環境に相当する。8月の測定では「極端に強い」評価であったが、11月の測定では「中程度」の評価に軽減された。季節によって紫外線環境が大きく変化することが見て取れる。

図12に各地点における6方向の紅斑紫外線量の比較を示す。天空率の大きいB:屋上・F:グラウンド・G:草地では、上面の紅斑紫外線量が多い。一方、直達成分が遮蔽されたC:建物陰およびH:樹陰では、上面の紅斑紫外線量が小さくなる傾向が示された。F:グラウンドとC:建物陰を比較すると、上面の紅斑紫外線量は約1/4に低下し、H:樹陰と比較すると約1/16に低下した。

図13に各地点における上面の紅斑紫外線量を基準とした各面の比率を示す。C:建物陰を除いて南面の比率が0.9以上であり、当該測定日において、上面に照射される紅斑紫外線量と同程度の紫外線が南面に照射していたことが示された。各地点における垂直面の比率は、方位によって大きく異なる。特に、D:中庭およびE:テラスでは、東面の比率が小さい。これは、東側にある5階

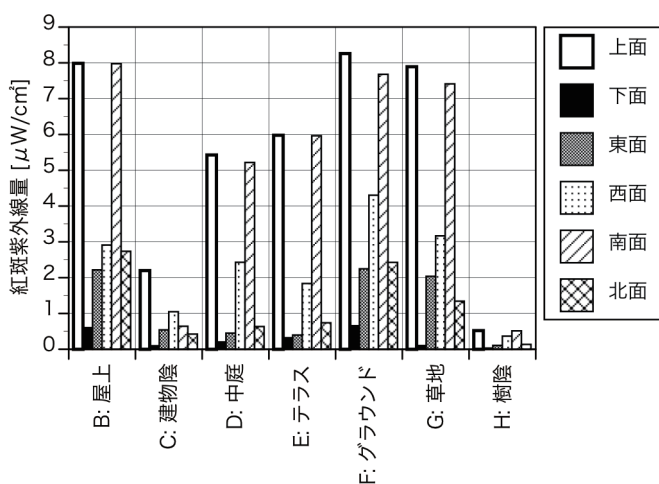


図 12 各地点における6方向の紅斑紫外線量の比較 (2016/11/16)

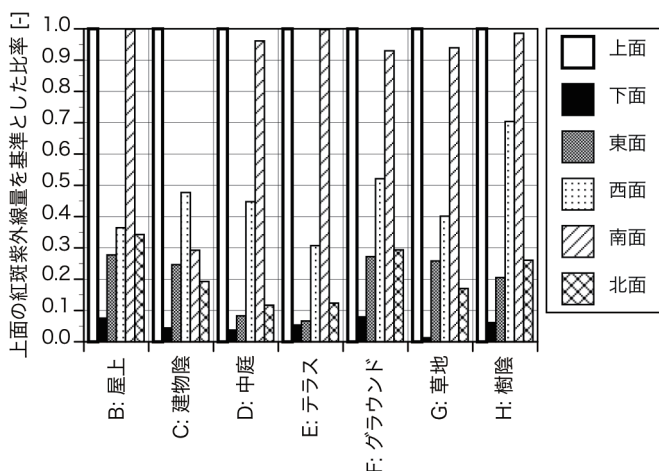


図 13 各地点における上面の紅斑紫外線量を基準とした比率 (2016/11/16)

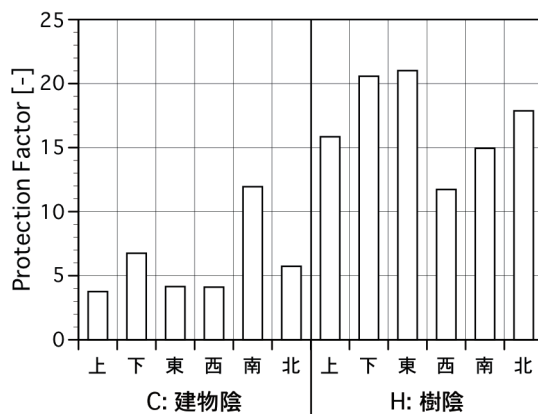


図 14 建物陰および樹陰における Protection Factor (2016/11/16)

建ての建物によって紫外線が遮られたためと推察される。下面の比率は紫外線反射率を示している。最小値は草地における0.01であった。遠藤ら¹⁷⁾は地表面がコンクリート、芝、砂、土の地点においてUV-Bを測定し、芝の紫外線反射率が0.00、土が0.01、砂が0.03であることを示した。本研究も先行研究の知見を支持する結

果であった。紫外線反射率の最大値は屋上およびグラウンドにおける 0.08 であった。これらの結果から、6 方向の紅斑紫外線量は、センサが面する方向、周囲の建物等の構造物、地表面の素材によって異なることが示された。

図 14 に紫外線の直達成分が遮蔽された建物陰および樹陰における Protection Factor(PF)を示す。Parsons et al.¹⁰⁾ は屋外においては PF を 15 以上とすることが望ましいとしている。C:建物陰では、南面の PF が最も大きく 11.9 であった。これは、測定点が建物北側であったため、南からの紫外線拡散成分の多くを建物が遮ったためと考えられる。しかし、PF は 15 には達していなかった。南面以外の PF は 3.8~6.8 であった。H:樹陰では、西面の PF が 11.7、南面が 14.9 であり、それ以外は基準値 15 以上であった。したがって、本研究で測定した樹陰は、紫外線防御の観点からは概ね望ましい環境であったと推察される。

5. まとめ

屋外空間において、紫外線環境および熱環境の実測を行い、以下の知見を得た。

- 1) 夏期晴天日において、上面に照射する紅斑紫外線量は最大で $27.79\mu\text{W}/\text{cm}^2$ であった。これは、UV Index では 11.1 であり、WHO の評価カテゴリに照らし合わせると「極端に強い」紫外線環境であった。
- 2) 秋期晴天日において、開放されたグラウンドから建物陰に入ると、上面の紅斑紫外線量は約 1/4 になり、グラウンドから樹陰に入ると約 1/16 に低減された。また、建物陰を除いて南面に照射する紫外線比率は 0.9 以上であり、上面に照射する紅斑紫外線量と同程度の紫外線が南面に照射した。6 方向の紅斑紫外線量は、センサの面する方向、周囲の建物、地表面の素材に影響される。
- 4) 秋期晴天日において、建物陰では南面の PF が最も大きく 11.9 であったが、PF の基準値である 15 には達していなかった。南面以外の PF は 3.8~6.8 であった。樹陰では、西面の PF が 11.7、南面が 14.9 であり、それ以外は基準値の 15 以上であった。したがって、樹陰は紫外線防御の観点からは概ね望ましい環境であったと考えられる。
- 5) 秋期晴天日において、体感温度 UTCI が最も高かったのは直達日射が照射するテラスであり、その値は 23.9°C であった。一方、直達日射が遮蔽される建物陰の体感温度は 8.2°C 、樹陰は 10.4°C であった。テラスと建物陰における体感温度差は 15.7°C であった。測定地点はいずれも近接した場所であるが、直達日

射の有無や天空率および地表面の放射特性の違いによって、体感温度が 15°C も異なることが示された。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP16K00799 の助成を受けた。

参考文献

- 1) Lucas, R., McMichael, T., Smith, W., Armstrong, B. K., Prüss-Üstün, A., World Health Organization: Solar ultraviolet radiation: global burden of disease from solar ultraviolet radiation, 2006
- 2) Cancer Council Victoria, SunSmart, <https://www.sunsmart.com.au/skin-cancer/skin-cancer-facts-stats> 2017/9/19 閲覧
- 3) 国立がん研究センター: がん情報サービス「がん登録・統計」
http://ganjoho.jp/reg_stat/statistics/dl/index.html 2017/9/4 閲覧
- 4) National Environmental Education Foundation: SunWise, <https://www.neefusa.org/sunwise> 2017/9/19 閲覧
- 5) 環境省: 紫外線環境保健マニュアル, <https://www.env.go.jp/chemi/matsigaisen2015/full.pdf> 2015
- 6) 気象庁: UV インデックスとは, http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/uvhp/3-50uvindex_manual.html 2017/9/19 閲覧
- 7) World Health Organization: Global Solar UV Index, <http://www.who.int/uv/publications/en/UVIGuide.pdf> 2017/9/19 閲覧
- 8) Gies, P., Mackay, C.: Measurements of the solar UVR protection provided by shade structures in New Zealand primary schools, *Photochemistry and photobiology*, 80(2), pp. 334-339, 2004
- 9) Gies, P., Makin, J., Dobbins, S., Javorniczky, J., Henderson, S., Guilfoyle, R., Lock, J.: Shade provision for toddlers at swimming pools in Melbourne, *Photochemistry and photobiology*, 89(4), pp. 968-973, 2013
- 10) Parsons, P. G., Neale, R., Wolski, P., Green, A.: The shady side of solar protection, *The Medical Journal of Australia*, 168(7), pp. 327-330, 1998
- 11) Jendritzky, G., de Dear, R., Havenith, G.: UTCI—Why another thermal index?, *International journal of biometeorology*, 56(3), pp. 421-428, 2012
- 12) 渡邊慎一, 堀越哲美: 測定に基づいた屋外における平均放射温度の算出方法, *日本生気象学会雑誌*, 49(2), pp. 49-59, 2012

- 13) Reindl, D. T., Beckman, W. A., Duffie, J. A.: Diffuse fraction correlations, *Solar energy*, 45(1), pp. 1-7, 1990
- 14) Watanabe, S., Horikoshi, T., Ishii, J., Tomita, A.: The measurement of the solar absorptance of the clothed human body—The case of Japanese, college-aged male subjects, *Building and Environment*, 59, pp. 492-500, 2013
- 15) Horikoshi, T., Tsuchikawa, T., Kobayashi, Y., Miwa, E., Kurazumi, Y., Hirayama, K.: The effective radiation area and angle factor between man and a rectangular plane near him, *ASHRAE Transactions*, 96, pp. 60-66, 1990
- 16) Park, S., Tuller, S. E.: Human body area factors for radiation exchange analysis: standing and walking postures. *International journal of biometeorology*, 55(5), pp. 695-709, 2011
- 17) 遠藤恵子, 松江浩二, 竹下秀, 坂田俊文, 佐々木政子: 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), pp. 877-883, 1998