

樹木による日射遮蔽が温熱感覚に及ぼす影響 その2 夏季および冬季実測結果

野田恭宏 *1, 渡邊慎一 *2, 鈴木祥太 *1
*1 大同工業大学大学院 *2 大同工業大学

Thermal comfort in tree shade

Part 2 The measurement results in summer and winter

Yukihiro Noda *1, Shin-ichi Watanabe *2, Shota Suzuki *1

*1 Graduate School of Daido Institute of Technology, *2 Daido Institute of Technology

ABSTRACT : The objective of this paper is to clarify the thermal comfort on human body in tree shade. Sunshine and tree shade sites in Hakusui park were selected as measuring sites. Experiments were conducted four times (10:00, 12:00, 14:00 and 16:00) in four months (31 July and 12 November, 2001, 14 March and 7 June, 2002). There was no difference on air temperature and relative humidity in tree shade and sunshine. Globe temperature and wind velocity in sunshine were higher than that in tree shade. By the existence of solar radiation, subject in the tree shade feel colder than that in sunshine. In the range of these experiments, globe temperature is suitable index to evaluate the thermal sensation of human in outdoor.

1.はじめに

夏季における快適な屋外都市生活を実現する方策として、樹木による暑熱環境の緩和効果が期待され、多くの研究が報告されている。

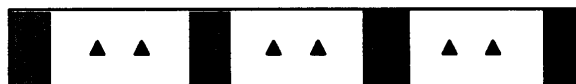
緑陰の快適性に関する研究として藤崎・半田¹⁾は、グローブ温度計を用いて樹林の内外を測定し、気温差は最大で1.6℃であり、グローブ温度では17.1℃の差があると報告している。さらに、グローブ温度は体感温度を評価するのに適していると報告している。中山ら²⁾は、緑陰が人間の快適性に与える影響について実測を行い、快適性は気温差による影響は小さいが、日射量に大きく依存すると報告した。石井ら³⁾は、快適感と既存の数種の温熱環境指標との対応を比較した。実験結果から、快適感と温冷感の相関が強いことを明らかにし、またSET*と快適感の相関が強く、SET*は屋外の温熱環境を評価するのに比較的適した指標であることを明らかにした。鄭ら⁴⁾は、市街地の日向・日陰と緑陰で、温熱環境物理測定と人体の生理心理反応測定を行った。日射を取り入れた人体熱収支に基づいた作用温度とET*を求め、都市緑地空間の暑熱時における有効性を示した。

これらの研究をふまえ、本研究は緑陰の熱的快適性評価手法の確立を目指し、夏季、冬季および中間期に日向

Table 1 Tree type and number of subjects

Date	Tree type	Number of subjects
2001/7/31	Acer buergerianum Miq, Deciduous Tree	13
2001/11/12	Acer buergerianum Miq, Deciduous Tree	11
2002/3/14	Cinnamomum camphora, Evergreen	10
2002/6/7	Acer buergerianum Miq, Deciduous Tree	6

10:00 10:30 11:00 11:30 12:00 12:30 13:00 13:30 14:00 14:30 15:00 15:30 16:00 16:30



▲ meteorological observation

Fig.1 Experimental schedule

Table 2 Instrumentation

Item	Instrument	Measuring height
Air temperature	Assmann's Psychrometer	GL+90 cm
Relative Humidity	Assmann's Psychrometer	GL+90 cm
Globe temperature	Globe thermometer	GL+90 cm
Air Velocity	anemometer	GL+90 cm
Solar radiation	Solarmeter	GL+0 cm
Long and short wave radiation	Long and short wave radiometer	GL+110 cm
Surface temperature	Infrared thermometer	-
Sky view factor	Digital camera+ Fisheye lens	GL+90 cm

と緑陰における温熱環境物理測定および被験者の心理反応測定を行い、比較検討を行うものである。

2. 実験計画

Table1 に実験日、樹種および被験者数を示す。測定点は公園内の樹木下の緑陰およびグラウンド中央の日向の2ヶ所とした。2002/3/14の実測では、常緑樹のクスノキを用い、その他の測定では落葉樹のトウカエデを用いた。

Fig. 1 に実験スケジュールを示す。各実験日 10 時 (Exp. 1)、12 時 (Exp. 2)、14 時 (Exp. 3)、16 時 (Exp. 4) の4回測定を行った。各測定時に被験者をグラウンド中央に集合させ、10 分間、太陽に正対するように立位の姿勢をとらせた。その後、樹木下の緑陰に移動し、10 分間立位の姿勢をとらせた。

測定項目をTable2 に示す。環境要素として、日向と緑陰で、気温、湿度、風向風速、グローブ温度を5分毎に測定した。日射量は日向において連続測定した。日向と緑陰において周辺の表面温度を測定した。長短波放射量は、緑陰では各測定時刻に陰ができる方向に幹から1m間隔でそれぞれ30秒間測定した。日向では測定位置に固定し10分間測定した。また、同一位置において天空率を測定した。

被験者の生理反応として、日向と緑陰において人体の表面温度を11点測定した。被験者の心理反応は、直線評定尺度および数値評定尺度を用いて、温冷感、乾湿感、気流感、放射感、涼暖感、熱的快適感を5分毎に申告させた。

3. 実験結果

3.1 温熱環境要素

Fig. 2 に日射量の日変動を示す。最大値はそれぞれ、7月31日が998W/m²、11月12日が665W/m²、3月14日が738W/m²、6月7日が862W/m²であった。

Fig. 3 に幹からの距離と上方からの短波長放射量との関係を示す。7月31日と6月7日は、ほぼ同様の傾向を示した。7月31日と6月7日は4m、11月12日は14m、3月14日は11m付近から急激に短波長放射量が上昇している。これは、樹冠部の影の周縁部で木漏れ日による影響と考えられる。

Fig. 4 に気温の変動を示す。各実験日の日向と緑陰の最大気温差は7月31日で0.3℃、11月12日で0.3℃、3月14日で0.2℃、6月7日で0.6℃であり、日向と緑陰とでは気温差はほとんど無いことが明らかになった。

Fig. 5 に相対湿度の変動を示す。相対湿度の最大差は7

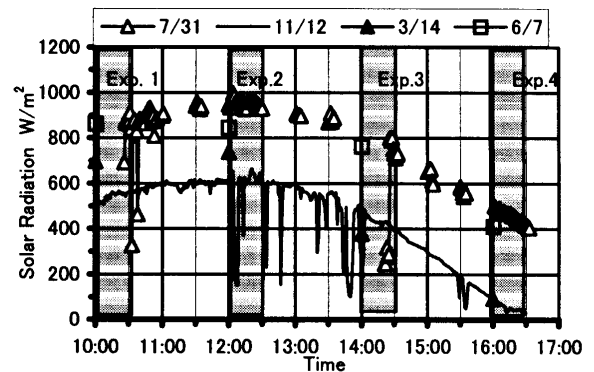


Fig.2 Change of solar radiation

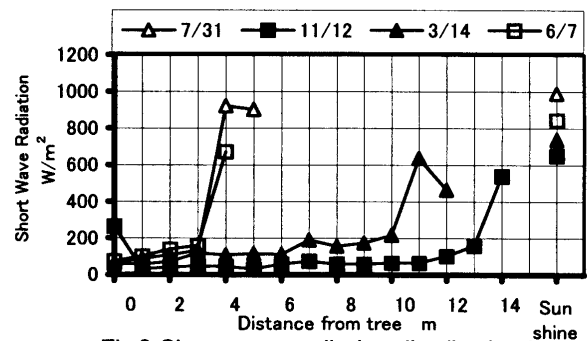


Fig.3 Short wave radiation distribution in treeshade

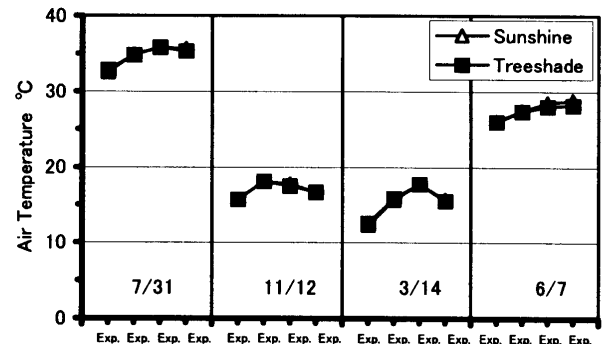


Fig.4 Change of air temperature

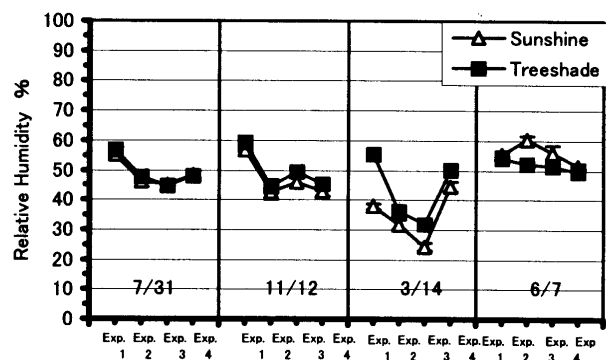


Fig.5 Change of relative humidity

月31日で1.8%、11月12日で3.4%、3月14日で5.6%、6月7日で8.1%で、6月7日のみ日向の方が高い値を示した。

Fig. 6 にグローブ温度の変動を示す。グローブ温度の最大差は、7月31日で9.0℃、11月12日で10.4℃、3月14日で14.9℃、6月7日で13.9℃の差を示した。また、3月14日のExp. 4で、日向と緑陰の差が0.5℃と差はほとんど見られない。これは、日射量が93W/m²と、小さい値のためと考えられる。

Fig. 7 に風速の変動を示す。緑陰に比べ日向の風速の最大差が7月31日で1.0m/s、11月12日で0.3m/s、3月14日で1.3 m/s、6月7日で1.2 m/s 高い値を示した。

3.2 被験者の生理心理反応

Fig. 8 に人体表面温度の変動を示す。日向から緑陰に移動すると、日向に比べ緑陰では人体表面温度が7月31日で4.0℃、11月12日で2.0℃、3月14日で4.7℃、6月7日で3.6℃低下することが示された。

Fig. 9 に温冷感の変動を示す。いずれの実測日においても、日向から緑陰に移動すると、日向に比べ寒い側へ移行している。日向の温冷感が極めて暑熱となる夏季においては、日向から緑陰に移動することによる温冷感の低下は、他の季節に比べてその度合いが小さい。11月12日と3月14日のExp. 4で、日向・緑陰ともに温冷感が極めて寒冷側となっている。これは、各測定時刻において日射量が小さいことが影響しているものと考えられる。

4. 考察

Fig. 10 に気温と温冷感との関係を示す。日向・緑陰ともに、気温が上昇するとともに温冷感が暑い側となる傾向が示された。気温はグローブ温度や SET*よりも温冷感との相関が若干弱いことが示された。温冷感が中立となるとき気温は日向で14.3℃、緑陰で25.5℃であった。

Fig. 11 にグローブ温度と温冷感との関係を示す。グローブ温度は気温や SET*よりも温冷感との相関が強いことが示された。回帰直線に着目すると、日向と緑陰でほぼ同様の傾向を示した。温冷感が中立となるグローブ温度は日向で26.7℃、緑陰で28.1℃であった。

Fig12. に SET*と温冷感の関係を示す。SET*算出において気温、相対湿度、風速は実測値を用いた。屋外平均放射温度は、まず測定日時から太陽高度および太陽方位角を求め、実測した日射量から、宇田川と木村の式⁵⁾を用いて水平面拡散日射量を算出した。また、上方からの短波長放射量から水平面拡散日射量に天空率をかけたもの

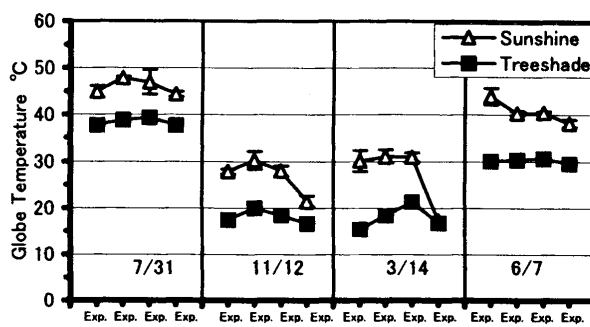


Fig.6 Change of globe temperature

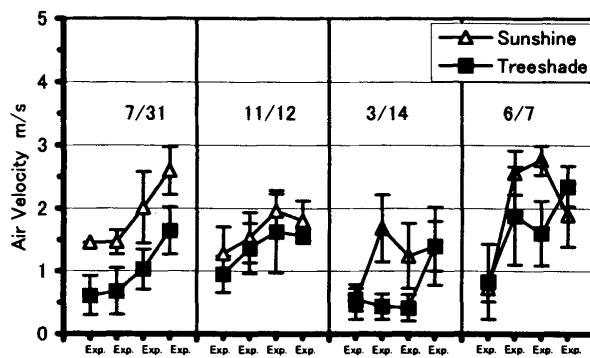


Fig.7 Change of air velocity

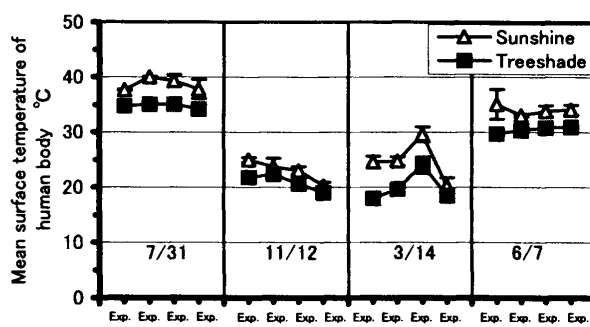


Fig.8 Change of mean surface temperature of human body

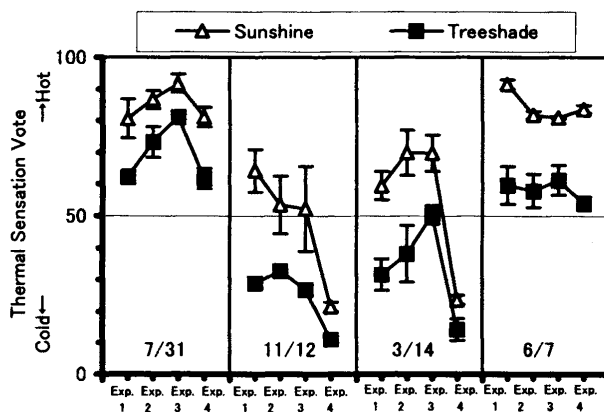


Fig.9 Change of thermal sensation vote

を減じた値を直達日射量とした。拡散日射量は上述した水平面拡散日射量と下方からの短波長放射量の平均とした。長波長放射量は、実測した上下の長短波放射量の平均とした。これらの値に体投射面積率⁶⁾および有効放射面積率を乗じて受熱量を算出し、この人体の受熱量と等しくなるよう MRT を求めた。クロ値はアンケート調査から衣服単品クロ加算によってクロ値を推定⁷⁾し、代謝量は立位安静時の 1.2met とした。

温冷感が中立となる SET* は日向で 15.2℃、緑陰で 23.4℃であった。日向において熱的に中立となる温度が、これまで提案されてきた、室内における快適域より大幅に低温側となる結果が得られた。これは、屋外における強い日射に対する被験者の感覚が、室内における感覚より過大になるためではないかと推察される。この点については、今後、日射に対する感覚を被験者実験等を通して明らかにする必要がある。

5. まとめ

緑陰の熱的快適性評価を手法の確立を目指して、被験者実験を行い、以下の知見を得た。

1. 緑陰と日向において、気温と相対湿度はほとんど差は無く、グローブ温度と風速は日向が高い値を示した。
2. いずれの季節においても日向に比べ緑陰では、温冷感は寒い側に移行する。夏季においては、日向から緑陰に移動することによる温冷感の低下は、他の季節に比べてその度合いが小さい。
3. 本研究においては、グローブ温度が最も温冷感との対応が良いことが示された。

謝辞 本研究の一部は、平成 13 年度日比科学技術研究助成金の助成を受けた。

引用文献

- 1) 藤崎, 半田: 公園, 街路等の植栽が微気象に及ぼす影響, 造園雑誌, 57 (5), pp.151-156, 1994
- 2) 中山, 田畑, 小林, 三沢, 田代: 緑陰の微気象と快適性に関する研究, 造園雑誌, 54 (1), pp.1-6, 1990
- 3) 石井, 片山, 塩月, 吉水, 安部: 屋外気候環境における快適性に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 386 号, pp. 28-37, 1988
- 4) 鄭, 堀越, 福岡, 水谷: 都市空間における人体への日射負荷の緑陰による緩和効果, 人間と生活環境, 3 (1), pp.20-28, 1996
- 5) 宇田川, 木村: 水平面全天日射量観測値よりの直達日射量の推定, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 267 号, pp. 83-89, 1978
- 6) 宮本, 堀越, 広川: 各種着衣条件下における立位姿勢の人体の投射面積率に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 513 号, pp. 47-52, 1998
- 7) 花田: 着衣量, 温冷感シンポジウム「温熱環境測定法」, 空気調和・衛生工学会 空気調和設備委員会・温冷感小委員会, 空気調和衛生工学会, 1992

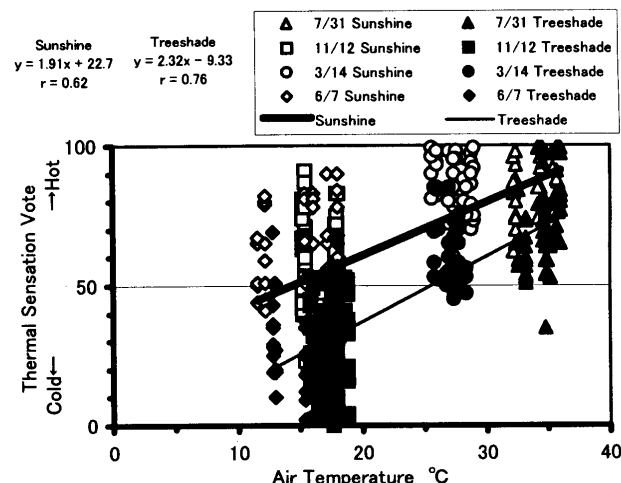


Fig.10 Relation between air temperature and thermal sensation vote

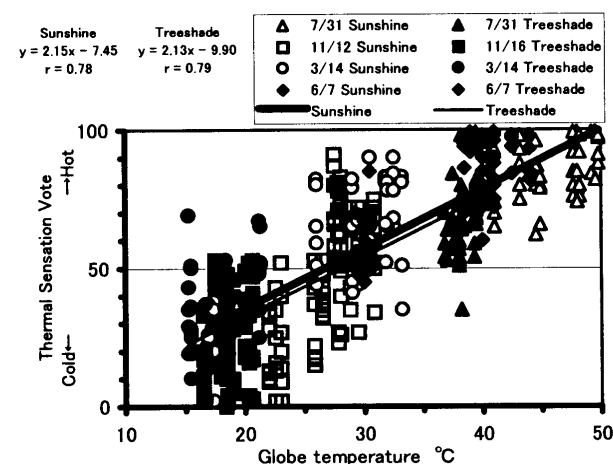


Fig.11 Relation between globe temperature and thermal sensation vote

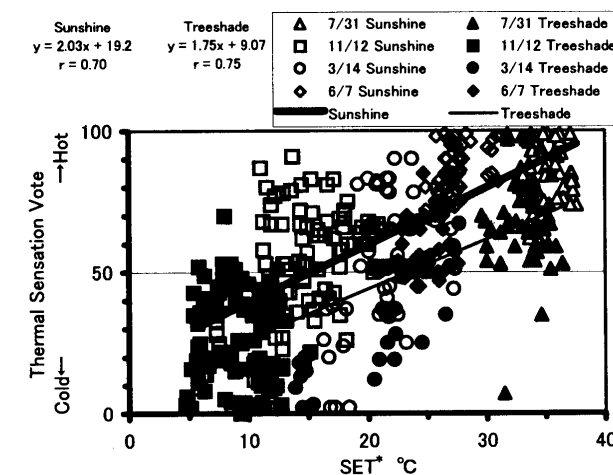


Fig.12 Relation between SET* and thermal sensation vote