

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 19 日現在

機関番号：33907

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350085

研究課題名(和文) 日傘による暑熱緩和効果の解明

研究課題名(英文) Reduction of heat stress on the human body with a parasol

研究代表者

渡邊 慎一 (Watanabe, Shinichi)

大同大学・工学部・教授

研究者番号：00340175

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：日傘は屋外において暑熱環境を緩和することができる持ち運び可能な手段の1つである。本研究は、まずアンケート調査によって日傘の使用実態を明らかにした。そして、日傘の温熱効果を明らかにすることを目的として、日傘下の熱環境の測定および日傘を用いた被験者実験を行った。測定データに基づいて日傘使用時の体感温度の算出し、日傘の温熱効果を定量的に示した。その結果、夏季の屋外において、日傘を使うことにより暑熱感覚が改善され、全身の体感温度が1～2℃低下し、頭部の体感温度が4～9℃低減することが明らかになった。さらに、日傘により熱中症の危険性も低減できることが示された。

研究成果の概要(英文)：A parasol is one of the portable means that can mitigate heat stress in summer. The use situation of parasols was revealed by a questionnaire survey for female college students. To clarify the thermal performance of a parasol, the measurements of environmental parameters under the parasols and a series of subjective experiments using the parasols were carried out in hot summer. Based on the measured data, the universal effective temperature (ETU) for the person using the parasol was calculated, and the thermal effect of the parasol was demonstrated quantitatively. Statistical analysis revealed that the parasols lowered the effective temperatures for whole-body in 1 to 2 degree Celsius and those at the head of parasol users in 4 to 9 degree Celsius, depending on the fabric of parasol. Consequently, the parasols can improve human thermal comfort and reduce the risk of heat illness in hot summer.

研究分野：建築環境工学

キーワード：日傘 暑熱環境 体感温度 熱中症 温熱的快適性

1. 研究開始当初の背景

近年、屋外における熱中症の危険性が問題となっている。これまで熱中症に関する研究は、主に労働環境やスポーツ環境を対象に行われてきた。しかし、熱中症の発症の実態をみると、激しい労働や運動に起因するものだけでなく、日常生活においても多く発生している。

屋外において熱中症の危険性を低減させるためには、日射を遮ることが効果的である。屋外空間においては建物や樹木等によって日射を遮ることができるが、連続した日陰を計画的に提供することは極めて困難である。日傘は、人々が日常的な屋外活動をするとき、暑さを和らげるために持ち運びができる最も簡便な手段の1つである。

これまで、日傘の温熱的な効果を扱った研究はいくつかあるが、これらの研究は日傘下の気温、あるいはグローブ温度を測定するに留まっている。日傘使用時の熱環境を適切に評価するためには、図1に示すように日射の直達成分・拡散成分・反射成分および長波長放射を把握し、人体に入射する熱量を定量化する必要がある。そして、これらに気温・湿度・気流の影響を含めて、日傘を使用している状態の体感温度を算出する必要がある。

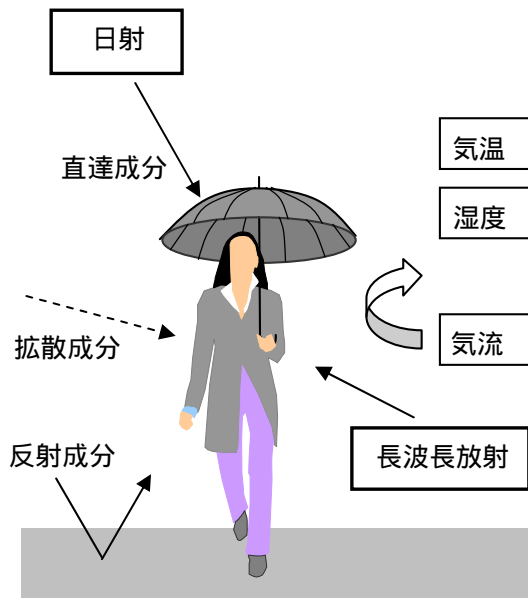


図1 日傘使用時の熱環境

2. 研究の目的

本研究は、日傘下に形成される熱環境の物理量測定および日傘を用いた被験者実験を行い、日傘による体感温度の低減効果および暑熱感覚の緩和効果を明らかにすることを目的とする。さらに、日傘による熱中症の危険度の低減効果も明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、以下に記述する5つの調査および実験を実施した。

(1) 日傘の使用実態調査

女子大学生を対象に日傘の使用実態に関するアンケート調査を実施した。アンケートは以下の項目から構成した。学年 日傘を使用するか 日傘を使用する目的 日傘の使用期間 日傘を持参するときの判断基準 使用する日傘の色 使用する日傘の種類 日傘を使用しない理由 今後、日傘を利用しようと思うか 自由記述である。

(2) 日傘下における短波長および長波長放射の実測

2013年7月22日、8月3日・5日・11日、9月10日に、大同大学 滝春校舎の広場において、日傘下の短波長および長波長放射を含む熱環境の実測を行った(図2)。測定には、市販されている色および素材・加工の異なる7種の日傘を用いた(表1)。表2に測定項目および測定機器を示す。



図2 日傘下の熱環境の測定状況

表1 実験に用いた日傘の特性

No.	色	加工	生地
1	黒	無加工	ポリエステル 65%+綿 35%
2	白		
3	黒	スパッタリング加工 (裏面ステンレスコーティング)	ポリエステル 100%
4	灰		
5	黒	ポリウレタンフィルム ラミネート加工 (強度のある遮光フィルムを熱融着)	
6	白		
7	黒	サラケール加工 (特殊セラミックを繊維内部に含有)	ポリエステル 70%+綿 30%

表2 測定項目および測定機器

測定項目	測定機器	測定間隔
照度・紫外線強度	照度 UV レコーダー (TR74Uj, TD)	30s
気温(日傘下)		
相対湿度(日傘下)		
長短波放射量	Thermal Sensors (NR-10, Hukseflux)	30s
気温(日向)	ウェザートランスミッター (WXT520, Vaisala)	30s
相対湿度(日向)		
風速		
全天日射量	日射計 (MS601S, EKO)	30s
地表面温度	サーモショット (F20, 日本アビオニクス)	15min
日傘外表面温度		

(3) 被験者による日傘使用時の温熱的快適性評価

2014年8月7日・18日・25日の午前および午後、大同大学 白水校舎 8号館(RC造5階建)の屋上にて、被験者実験を実施した

(図3)。被験者には18~22歳の健康な女性18名を採用し、各日それぞれ6名が実験に参加した。被験者の着衣は、ズボン・カットソー・キャミソール・下着・靴下とした。クロ値は0.48cloと推定した。

被験者は、メッシュ素材の椅子に太陽の方向を向いて着席した。日傘を差さない状態(日傘なし)で3分間滞在し、次に日傘を差した状態で8分間滞在した。これを3回繰り返し3種類の日傘を評価した。

実験には色および素材・加工の異なる3種類の日傘を用いた。日傘A(黒色)および日傘B(白色)は同一の素材(ポリエステル65%+綿35%)であり、色のみが異なる。日傘C(茶色)は、ポリウレタンフィルムがラミネート加工された日傘である。

被験者の心理反応は、全身・頭部・頭部以外の温冷感、快適感、受容度を回答させた。



図3 被験者実験の実施状況

(4) 日傘使用時の体感温度の算出

日傘使用時の温熱環境に総合有効温度ETU(universal effective temperature)を適用し、日傘使用時の体感温度を算出した。

体感温度の算出に必要な日傘による人体投射面積の遮蔽率は、女子大学生3名を用いた測定により定量化した。晴天時において、日傘使用者の地表水平面に形成される日影を撮影した。撮影した写像を画像処理ソフトによりゆがみを補正し、実面積を求めた。日傘によって遮蔽される人体投射面積(A_{shade})の人体全身の投射面積($A_{shade}+A_{sun}$)に対する比を日傘による人体投射面積遮蔽率と定義した(図4)。

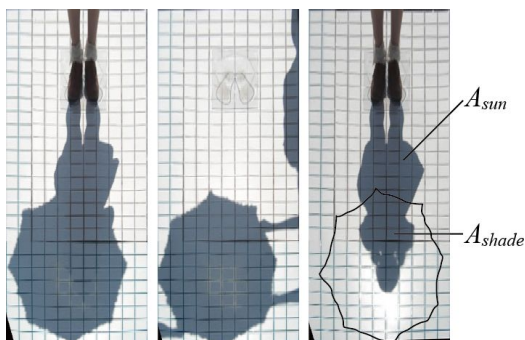


図4 日傘による人体投射面積遮蔽率の算定

(5) 日傘によるWBGT低減効果

2015年8月5日・6日・7日に、大同大学の第2グラウンドにて日傘下のWBGTの測定を実施した。4m間隔に測定用ポールを4台設置し、そのうちの3台に異なる日傘を取り付け、残りの1台は比較のため日傘は取り付けずに測定した(図5)。

日傘下の地面から0.1m、1.1m、1.7mの高さにオーガスト式乾湿計およびグローブ温度計を取り付け、30分間隔で測定した。測定およびWBGTの算出は、JIS Z 8504に準拠して実施した。



図5 日傘下のWBGT測定状況

4. 研究成果

(1) 日傘の使用実態調査

有効回答数は716件であった。日傘を使用する割合は女子大学生全体の31.4%であった。

図6に日傘の使用目的の結果を示す。日傘を使用している人の大多数(98.2%)が「紫外線を防ぐため」に日傘を使用していた。次いで「暑さを防ぐため」(64.0%)、「まぶしさを防ぐため」(39.6%)の回答が多かった。

日傘使用者の80%の人が日傘を使い始めている時期は7月上旬であり、80%の人が日傘を使い終わっている時期は9月下旬であった。

また、日傘使用者の77.3%が黒色日傘を所有し、27.6%が白色日傘を所有していた。

日傘を使用しない人の81.1%が「持ち運びが面倒である」という理由であった。

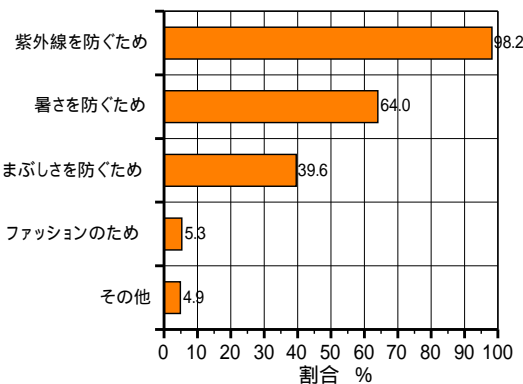


図6 日傘の使用目的(複数回答)

(2) 日傘下における短波長および長波長放射の実測

図7に各日傘の日射遮蔽率を示す。日傘の日射遮蔽率は、日向で測定した下向き短波長放射量に対する各日傘下の下向き短波長放射量の比を示す。特殊加工が施されていない「無加工(黒)」の日射遮蔽率は71.8%であり、「無加工(白)」は43.8%であった。このことから特殊加工が施されていない日傘では、黒の方が白よりも日射を多く遮蔽することが明らかとなった。

特殊加工が施された日傘を比較すると、「ラミネート加工」は黒の日射遮蔽率が99.8%であり、白が99.5%であった。本研究で採用した日傘の中で最も高い日射遮蔽率を示した。「スパッタリング加工」および「サラケール加工」の日射遮蔽率は約80%であった。

図8に晴天時における下向き長波長放射量の増加率を示す。下向き長波長放射量の増加率は、日向において測定した下向き長波長放射量に対する日傘下の下向き長波長放射量の比を示す。すなわち、日傘を差すことによって増加する長波長放射量の割合である。特殊加工が施されていない「無加工(黒)」の増加率は128.1%であり、「無加工(白)」は110.0%であった。「ラミネート加工」の黒および白が高い増加率を示し、それぞれ137.2%と128.1%であった。全ての日傘が、日傘を差すことによって下向きの長波長放射が増加することが示された。これは、日傘は日射を遮蔽すると同時に日射を吸収し、日傘の表面温度が上昇したため、下向きの長波長放射が増加したものと推察される。

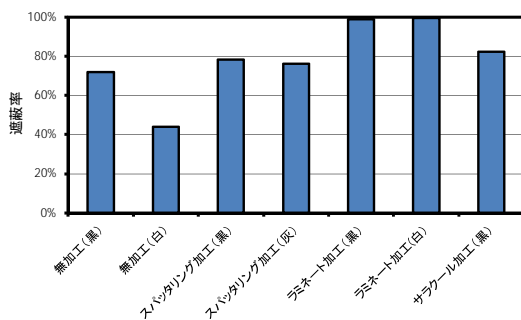


図7 各種日傘の日射遮蔽率(晴天時)

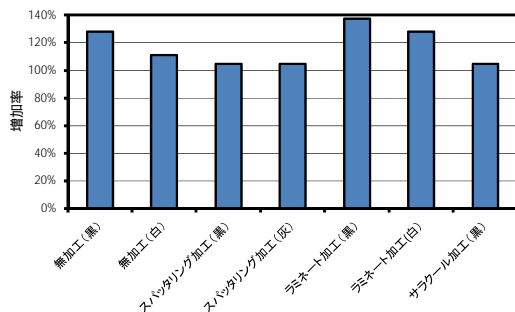


図8 下向き長波長放射量の増加率(晴天時)

(3) 被験者による日傘使用時の温熱的快適性評価

図9に全身温冷感の比較を示す。日傘を使用しない状態(日傘なし)の全身温冷感の平均は2.65であり、「+2:暖かい」と「+3:暑い」の間の評価であった。一方、3種の日傘の全身温冷感「0:暑くも寒くもない」から「+1:やや暖かい」の間に分布していた。一元配置分散分析を行ったところ、危険率1%で有意差が認められた。さらに、多重比較を行ったところ、日向と全ての日傘との間で1%の危険率で有意差が認められた。このことから日向において日傘を使用することによって暑さの感覚が緩和されることが示された。また、日傘B(白色)と日傘C(茶色)との間で5%の危険率で有意差が認められた。

快適感(快適性)は日向と全ての日傘との間で1%の危険率で有意差が認められた。このことから夏季に日傘を使用することによって、快適感が改善されることが示された。

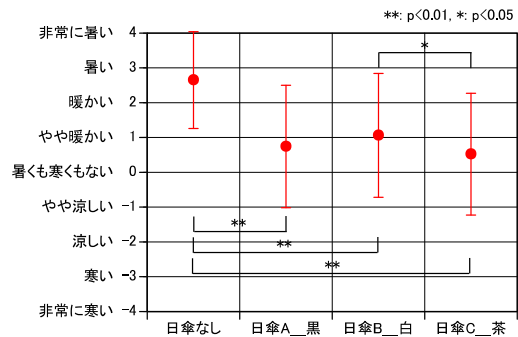


図9 全身温冷感の比較

(4) 日傘使用時の体感温度の算出

図10に太陽高度 h と日傘による人体投射面積遮蔽率 f_{p_shade} との関係を示す。全被験者のデータを付置した散佈図から次式を得た。この式を用いることにより、日傘によって人体のどの程度が直達日射から遮蔽されるのか推定することが可能である。

$$f_{p_shade} = 9.75 \times 10^{-3} \cdot h - 7.66 \times 10^{-2}$$

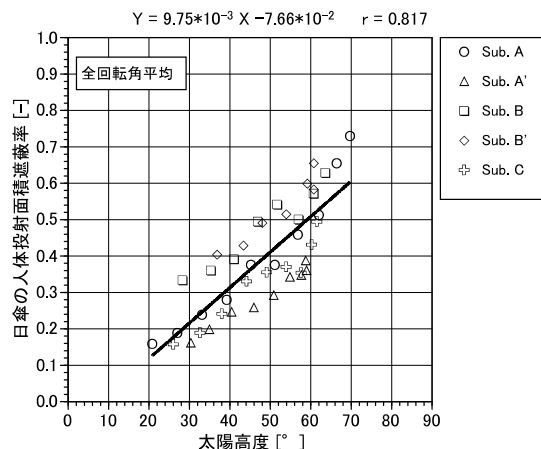


図10 太陽高度と日傘による人体投射面積遮蔽率との関係

晴天時の測定データを用いて、日向（日傘なし）および各種日傘使用時の体感温度 ETU を算出した。日傘なしの ETU は平均 40.2 であるのに対して、日傘を使用したときの ETU は 38.3℃～39.1 であった（図 11）。

図 12 に各日傘による体感温度低減効果を示す。図より、日傘を使用することによって、全身の体感温度が 1～2 低下することが明らかになった。特に、頭部の体感温度は日傘を使用することによって 3.9～9.3 低下した。

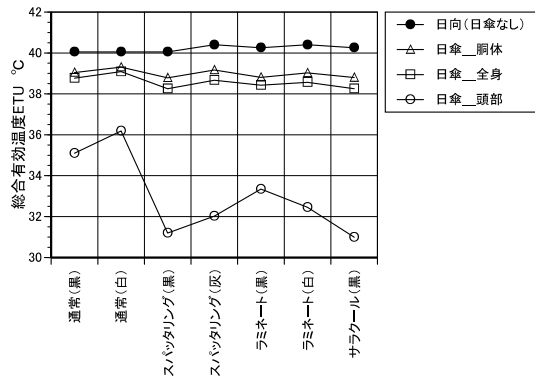


図 11 各日傘の総合有効温度 ETU の比較

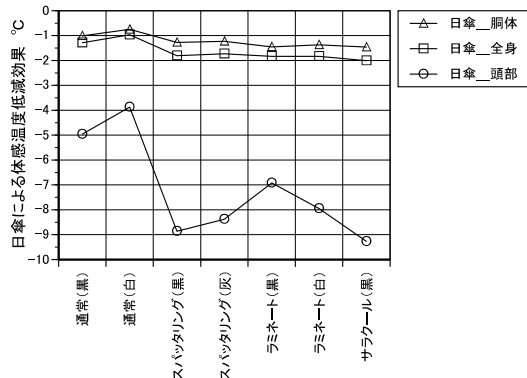


図 12 各日傘の ETU 低減効果

(5) 日傘による WBGT 低減効果

図 13 に 8 月 7 日（晴天）における WBGT (GL+1.7m : 頭部) の経時変化を示す。日傘なしの WBGT の平均は 32.6 であり、日傘 A (黒色) は 31.2、日傘 B (白色) は 31.7、日傘 C (茶色) は 31.0 であった。いずれの日傘も日傘なしに比べて WBGT が低くなった。日傘なしと最も差が大きかったのは、日傘 C (茶色) と日傘 A (黒色) であり、それぞれ 11:00 と 14:00 において -2.0 であった。

図 14 に日射量と全身 WBGT との関係を示す。この分析には、測定した 3 日間の全データを用いた。日傘なしおよび全ての日傘ともに、日射量が増加するに従って全身 WBGT が上昇する傾向が示された。得られた回帰式を用いて、日射量が 1000W/m² の時の全身 WBGT を算出すると、日傘なしが 32.9、日傘 A (黒色) が 32.3、日傘 B (白色) が 32.4、日傘 C (茶色) が 31.9 であった。日傘なしとの差

はそれぞれ -0.6、-0.5、-1.0 であった。これらの結果より、晴天時において、日傘は全身 WBGT を最大 1.0 低減する効果があることが明らかになった。

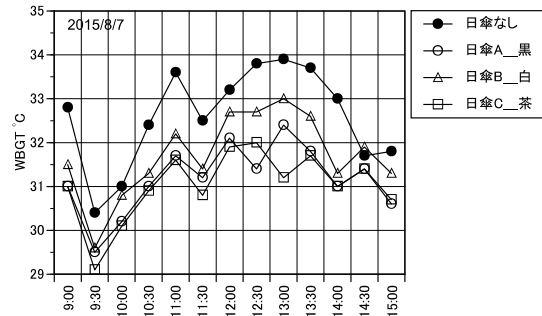


図 13 頭部 WBGT (GL+1.7m) の経時変化

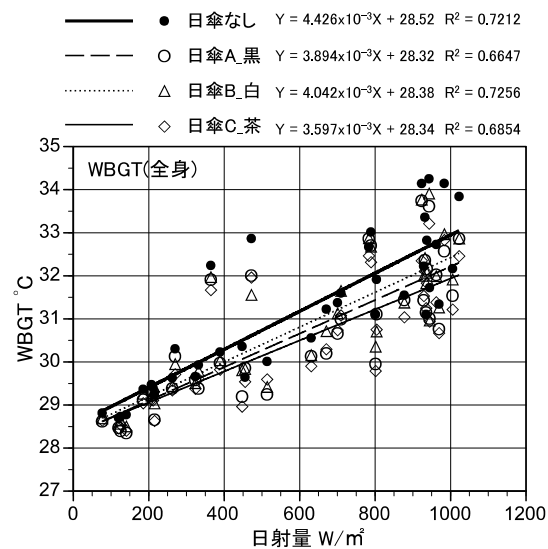


図 14 日射量と全身 WBGT との関係

以上のことから、屋外暑熱環境において日傘を用いることにより、日傘直下の頭部では WBGT を 2.0 低下させ、全身では WBGT を 1.0 低下させる効果があることが示された。

本研究では、日傘を水平に保持して実測を行ったが、実生活では太陽位置に応じて日傘を傾けて使用することが想定され、より WBGT の低減効果が大きくなる可能性もある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

渡邊 慎一、石井 仁、長野 和雄、冨田 明美、堀越 哲美: 日傘による直達日射の人体投射面積遮蔽率、人間と生活環境、査読あり、Vol.21, No.2, 2014, pp.93-98

[学会発表](計 6 件)

渡邊 慎一、石井 仁、冨田 明美: 女子大学生を対象とした日傘の使用実態に関する調査、第 37 回 人間-生活環境系シンポジウム、2013 年 11 月 30 日、神戸大学

(神戸)

久野 貴義, 堀 雄祐, 小橋 愛実, 渡邊 慎一, 石井 仁: 各種日傘下における短波長および長波長放射の実測, 第 37 回 人間-生活環境系シンポジウム, 2013 年 11 月 30 日, 神戸大学(神戸)

渡邊 慎一, 石井 仁, 長野 和雄: 日傘使用時の体感温度の算出, 第 38 回 人間-生活環境系シンポジウム, 2014 年 12 月 6 日, 長崎県立大学(長崎)

杉浦 正純, 小田 加奈子, 渡邊 慎一, 石井 仁: 被験者による日傘使用時の温熱的快適性評価, 第 38 回 人間-生活環境系シンポジウム, 2014 年 12 月 6 日, 長崎県立大学(長崎)

渡邊 慎一, 石井 仁, 長野 和雄, 富田 明美: 日傘による体感温度低減効果の実証的研究, 日本家政学会中部支部 第 60 回大会, 2015 年 9 月 5 日, 椋山女学園大学(名古屋)

川嶋 摩奈, 犬塚 加奈, 渡邊 慎一, 石井 仁: 日傘による WBGT 低減効果の実証的研究, 第 39 回 人間-生活環境系シンポジウム, 2015 年 11 月 20 日, 産業技術総合研究所(東京)

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊 慎一 (WATANABE, Shinichi)

大同大学・工学部・教授

研究者番号: 00340175

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者

・ 富田 明美 (TOMITA, Akemi)

椋山女学園大学・生活科学部・教授

研究者番号: 60065042

・ 長野 和雄 (NAGANO, Kazuo)

京都府立大学・生命環境学部・准教授

研究者番号: 90322297

・ 石井 仁 (ISHII, Jin)

名城大学・理工学部・准教授

研究者番号: 70321479