

素材の異なる衣服の日射透過率, 日射反射率, 日射吸収率

○栗原浩平, 谷地 誠, 窪田英樹, 池田光毅,
林健太郎, 濱田靖弘, 長野克則
北海道大学

Solar reflectance, transmittance and absorptance of different clothing materials

Kouhei KUWABARA, Makoto YACHI, Hideki KUBOTA, Koki IKEDA,
Kentaro HAYASHI, Yasuhiro HAMADA and Katsunori NAGANO
Hokkaido University

Abstract: Solar reflectance, transmittance and absorptance of different clothing materials were measured. Three T-shirts were selected: A(100% cotton), B(74% polyester and 26% cotton) and C(100% polyester). Regardless of clothing materials solar transmittance increased and reflectance decreased with increasing solar altitude. Relationship between luminance reflectance and solar reflectance, transmittance and absorptance was linear. Solar reflectance was almost same irrespective of clothing materials, while solar transmittance of T-shirt B was slightly higher than that of the others. The calculation of the effect of solar transmittance and absorptance on solar operative temperature under the same solar reflectance indicates that solar operative temperature decreases with decreasing solar transmittance and increasing solar absorptance of clothing.

Key Words: clothing, materials, solar reflectance, solar transmittance, solar operative temperature

要旨: 素材構成の異なる衣服の日射反射率 ρ_{cl} , 日射透過率 τ_{cl} , 日射吸収率 α_{cl} を実測し, 素材により表色値と日射熱特性の関係が異なるか検証した。色彩色差計により衣服の表色値を測定し, アルベドメーターと全天日射計より日射反射率, 日射透過率を測定した。衣服はA (綿100%), B (ポリエステル74%・綿26%), C (ポリエステル100%) のTシャツである。素材に関わらず太陽高度の上昇に伴い日射透過率は上昇し, 日射反射率は低下した。視感反射率と日射反射率, 日射透過率, 日射吸収率の関係を比較したところ, 日射反射率は殆ど差が見られなかったが, 日射透過率はTシャツBがやや高い結果となった。同 ρ_{cl} で τ_{cl} と α_{cl} を変化させ日射作用温度へ及ぼす影響を計算した結果, 衣服の日射透過を低減させると日射作用温は低下することを示した。
キーワード: 衣服, 素材, 日射反射率, 日射透過率, 日射作用温度

1. はじめに

著者らは屋外環境における平均皮膚温を予測することを目的として, 日射作用温度を組み込んだ平均皮膚温予測式を提案し, 屋外環境における被験者実験を通じてその有効性を確認してきた(栗原, 窪田ら, 2009)。屋外での熱ストレス対策として, 人体への日射熱負荷を低減させることが有効な対策の一つである。人体への日射熱負荷を低減する方法の一つとして, 衣服の色による調節が考えられる。著者らは既報において, 衣服の表色値と日射反射率, 日射透過率, 日射吸収率の関係を明らかにし, 衣服の色を基にした人体日射受熱量の算出を可能にした(栗原, 窪田ら, 2010)。衣服の日射吸収率に関しては, 渡邊ら(2009, 2010), 宮本・井上ら(2009)等, 数多くの研究が行われており, 様々

な衣服素材の日射諸特性が明らかになりつつある。本研究では, 衣服の素材が表色値と日射反射率等との関係に及ぼす影響を検討することを目的とする。

2. 実験方法

実験に使用した衣服の表色値は, 色彩色差計(コニカミノルタ, CR-410)を用いて, マンセル表色系, XYZ表色系, $L^*a^*b^*$ 表色系の3種類で記録した。測定の際は, 衣服の下部に黒画用紙を設置した。

衣服の日射透過率, 反射率の測定には, 全天日射計(MS-601F, 英弘精機)とアルベドメーター(Pyranometer CM3, Kipp&Zonen)を用いた。図1に示す通り, 全天日射計を黒塗りされた箱の内部に設置し, 日射計の上部を試験体の衣服で覆うことで透過日射量

Table 2 Color values of T-shirts

		Munsell	Yxy			L*a*b*		
			Y	x	y	L*	a*	b*
A	White	N8.1	61.27	0.3102	0.3162	82.52	0.07	0.04
	Gray	1.6RP 5.6/0.3	25.84	0.3111	0.3144	57.89	0.96	-0.33
	Black	7.6P 1.9/0.7	2.9	0.3090	0.2956	19.62	3.31	-2.53
B	White	6.7PB 7.8/0.4	55.94	0.3028	0.3139	79.58	0.13	-0.99
	Gray	3.4RP 5.5/0.3	24.61	0.3120	0.3142	56.69	1.28	-0.25
	Black	1.9R 1.3/0.4	1.63	0.3253	0.3094	13.39	2.98	0.02
C	White	9.2PB 8.3/0.4	65.34	0.3090	0.3144	84.66	0.31	-0.76
	Gray	1.7Y 7.0/0.5	42.37	0.3183	0.3245	71.13	0.02	3.54
	Black	8.9P 1.7/0.7	2.5	0.3108	0.2926	17.93	3.91	-2.7

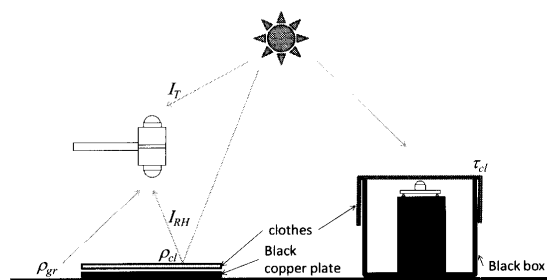


Fig.1 Measuring equipment

I_{TR} を測定し、全天日射量の比を日射透過率 τ_{cl} とした。衣服の日射反射率 ρ_{cl} は、アルベドメーター下方に衣服を置き、実測した全天日射量 I_T 、反射日射量 I_{RF} とアルベドメーターから見た衣服の形態係数 F を用いて式(1)より算出した。

$$\rho_{cl} \times F + \rho_{gr} \times (1 - F) = I_{RF} / I_T \quad (1)$$

衣服下部からの反射日射の影響を防ぐために、黒色銅板(40×45cm)を設置し、銅板の上に衣服を設置した。衣服の日射吸収率 α_{cl} は、日射透過率・日射反射率・日射吸収率の和が1となる式(2)より算出した。

$$\alpha_{cl} + \rho_{cl} + \tau_{cl} = 1 \quad (2)$$

実験場所は、北海道大学工学部(6階建)屋上の塔屋と転落防止柵に囲まれたスペース内である。衣服は吸汗速乾性のTシャツを2種類選定し、白・灰・黒色の3色を揃えた。Table 1に測定したTシャツの素材構成を示す。TシャツAは既報(桒原・窪田ら, 2010)にて測定された綿100%のTシャツである。TシャツBは2010年7月16日, 9月13,14日, 10月14日, TシャツCは2010年6月10日, 9月13日, 10月14日に測定を行った。いずれも晴天日で直達日射のある状況である。実験手順として、まず衣服を設置しない状態で屋上表面の反射率とBOX内の全天日射量を測定した。この結果よりアルベドメーターと全天日射計の日射量の補正を行っている。次に黒銅板の反射率を測定、

Table 1 Sample clothing

	Color	Component
T-shirt A	Black, gray, white	Cotton 100%
T-shirt B	Black, gray, white	Polyester 74% Cotton 26%
T-shirt C	Black, gray, white	Polyester 100%

その後Tシャツ等の透過率と反射率を5分毎に同時測定することを繰り返した。なお黒銅板の反射率はほぼ0に近いことを確認している。

3. 結果

TシャツB, Cの表色値の測定結果をマンセル表色値とYxy表色値, $L^*a^*b^*$ 表色値についてTable 2に示す。既報(2010)にて測定したTシャツAの表色値も併せて示す。同じ色で比較すると、白TシャツBは白TシャツCに比べ視感反射率が10低く、灰TシャツCは他の灰Tシャツに比べ視感反射率が高く、明るい灰色Tシャツであることが読み取れる。

Fig.2~4に、TシャツBとCの太陽高度と日射反射率、日射透過率、日射吸収率の関係を示す。全体として、日射反射率と日射透過率は白が最も高く黒が最も低くなっており、灰TシャツCは明るい灰色であるためTシャツBよりも反射率は高くなっている。日射反射率は、太陽高度が高くなるに従い日射入射角が小さくなるため低い値を示しており、反対に日射透過率は太陽高度が低いすなわち日射入射角が大きい程高い値を示している。日射吸収率は太陽高度に寄らずほぼ一定の値を示している。これらの結果は、既報の綿

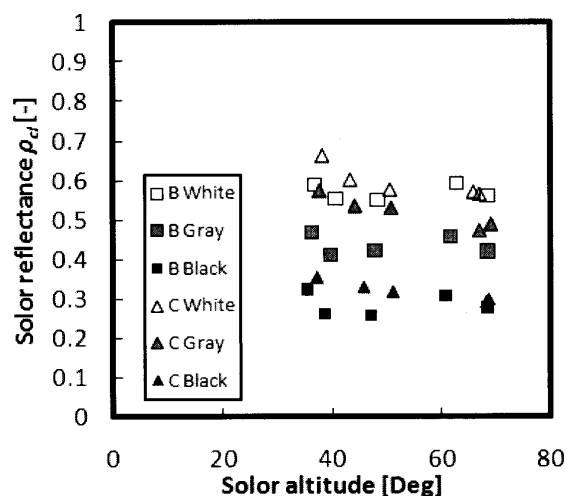


Fig.2 Relationship between solar altitude and solar reflectance of T-shirt B and C

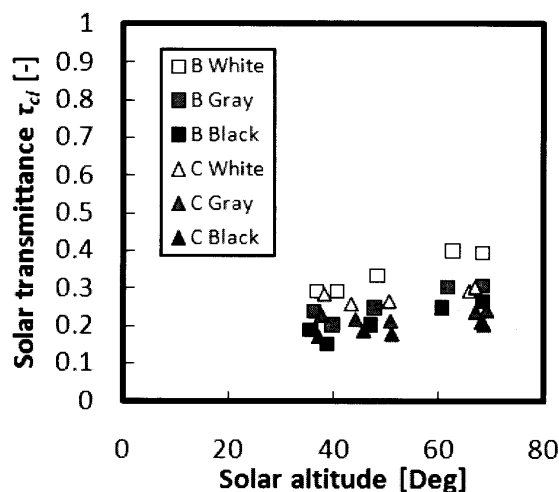


Fig.3 Relationship between solar altitude and solar transmittance of T-shirt B and C

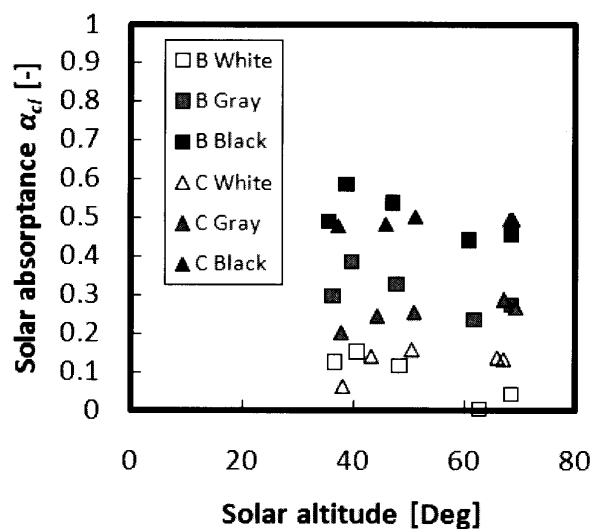


Fig.4 Relationship between solar altitude and solar absorbance of T-shirt B and C

100%T シャツの結果とほぼ同様である。

4. 考察

4.1 表色値と日射透過率, 日射反射率の関係

著者ら (2010) は既報において, 明度・視感反射率と日射反射率, 日射透過率, 日射吸収率は線形関係にあることを示した。また渡邊ら (2009) や宮本・井上ら (2009) は衣服の素材により日射反射性能に差があることを示しており, 特に宮本らは近赤外域での日射反射性能が素材により異なることを示している。そこで視感反射率と日射反射率等の関係が, 素材により異なるかを検証するために Fig.5~7 に図示した。綿 100% の T シャツ A (実線) と T シャツ B, C を比較すると, 日射反射率においては殆ど差が見られず, 日射透過率においてポリエステルと綿混合の T シャツ B がやや高い値を示している。その結果, 日射吸収率では B がや

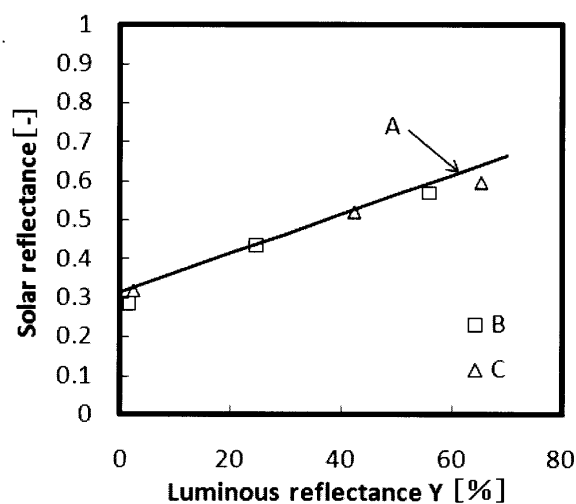


Fig. 5 Relationship between luminous reflectance Y and solar reflectance ρ_{cl}

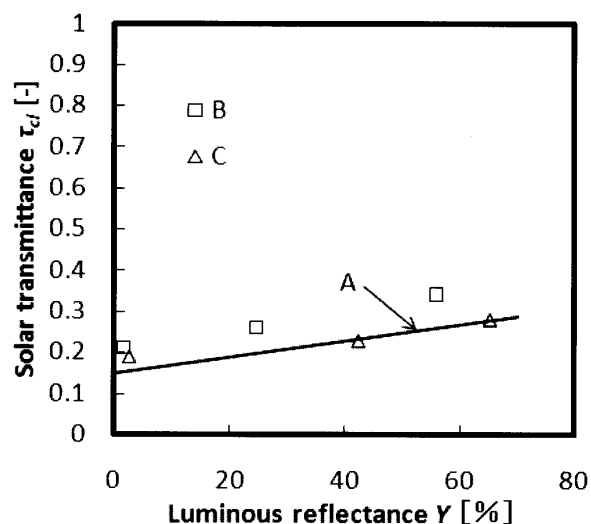


Fig. 6 Relationship between luminous reflectance Y and solar transmittance τ_{cl}

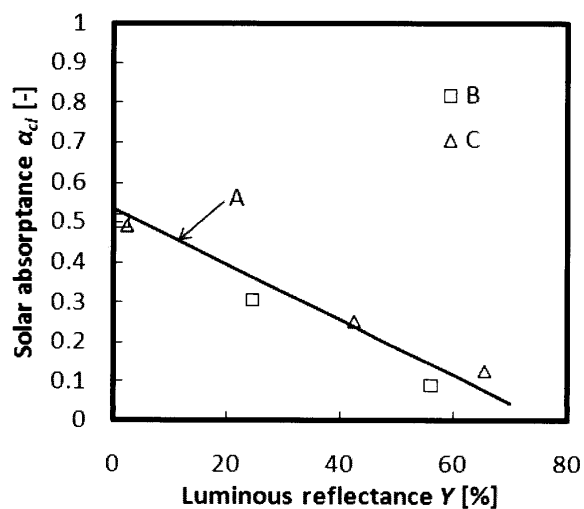


Fig. 7 Relationship between luminous reflectance Y and solar absorbance α_{cl}

や低い値を示すこととなった。日射透過率の差については、Tシャツ B,C は太陽高度 35~70° の平均値であるのに対し、Tシャツ A は 20~70° の平均値であることから、さらに太陽高度が低い状態で実測することにより Tシャツ A に近づくことも考えられる。

4.2 日射透過率の変化が日射作用温度に及ぼす影響

本結果より衣服の日射反射率はほぼ同値で日射透過率が高くなる（すなわち日射吸収率は低くなる）可能性が示されたことから、これらの変化が日射作用温度に及ぼす影響を試算した。日射作用温度には次式に示す通り、衣服および皮膚表面の正味の日射吸収率や着衣熱抵抗等が含まれている。

$$t_{op\ sun} = t_{ope} + \{R_s \alpha_{clm} + (R_s + k_{wd} R_{cl} f_{cl}) \alpha_{skm}\} I_{sun,cl} \quad (3)$$

$$\alpha_{skm} = \frac{\tau_{cl} \alpha_{sk}}{1 - (1 - \alpha_{sk}) \rho_{cl}} \quad (4)$$

$$\alpha_{clm} = \alpha_{cl} \left\{ 1 + \frac{\tau_{cl} (1 - \alpha_{sk})}{1 - (1 - \alpha_{sk}) \rho_{cl}} \right\} \quad (5)$$

ここで、 q_{rc} : 着衣のぬれと日射の影響を考慮した放射・対流による顕熱流量密度[W/m²]、 t_{sk} : 平均皮膚温[°C]、 t_{ope} : 環境作用温度[°C]、 R_s : 着衣表面の熱伝達抵抗[m²・K/W]、 f_{cl} : 着衣面積増加率[-]、 k_{wd} : 着衣乾き度係数（着衣が乾いている場合は 1）[-]、 R_{cl} : 常態着衣熱抵抗[m²・K/W]、 α_{clm} : 正味の着衣日射吸収率[-]、 α_{skm} : 正味の皮膚表面日射吸収率[-]、 $I_{sun,cl}$: 着衣表面に到達する日射量[W/m²]、 α_{sk} : 皮膚表面の日射吸収率[-]

札幌で実測された屋外気象条件における日射作用温度の計算例を視感反射率に対して示したのが Fig.8 である。0.35clo, 0.7clo の着衣量で衣服の日射透過率を $\tau_{cl} + 0.1$, $\tau_{cl} - 0.1$ として算出した。衣服の日射透過率が 0.1 高く日射吸収率が 0.1 低い場合は、0.35clo で 1°C, 0.7clo で 2°C 程度の日射作用温度の上昇となり、暑熱負担が増すことが示された。反対に日射透過率が 0.1 低く日射吸収率が 0.1 高い場合は、日射作用温度は低下した。これは衣服の日射透過率の低下による α_{skm} の低下が、衣服の日射吸収率の上昇による α_{clm} の上昇の影響を上回ることが原因と考えられる。このことから日射受熱量低減のためには α_{skm} を低下させる、すなわち皮膚表面で直接吸収される日射量を出来るだけ少なくすることが重要である。但し本報では着衣のぬれの影響は等しいものと仮定していることから、今後着衣のぬれの影響も含めて検証していく必要がある。

5. まとめ

ポリエステル 74%・綿 26%、ポリエステル 100%の T

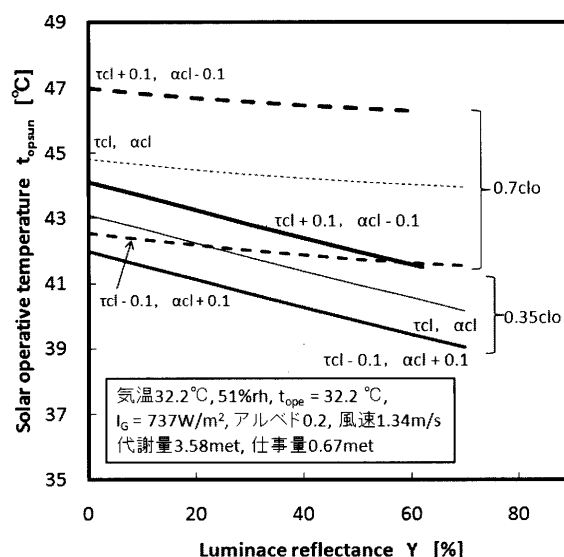


Fig.8 Effect of solar transmittance τ_{cl} and absorptance α_{cl} on solar operative temperature under the same ρ_{cl}

シャツの日射反射率、日射透過率を測定し、綿 100% の視感反射率と日射反射率等の関係と比較した結果、日射反射率は殆ど差が見られず、日射透過率はポリエステルと綿の混合 Tシャツがやや高い値を示した。また日射透過率の増減が日射作用温度に及ぼす影響を試算した結果、衣服の日射透過率が低下すると日射作用温度も低下することを示した。

謝辞 表色値の測定に際し、北海道大学大学院工学研究院の長谷川拓哉准教授に多大なるご協力を頂いた。記して謝意を表す。

6. 文献

- 栗原浩平, 窪田英樹ほか, 2009: 無効発汗・着衣のぬれを考慮した屋外環境における平均皮膚表面温度の予測, 空気調和・衛生工学会論文集, 144, 1/10
- 栗原浩平, 窪田英樹, 濱田靖弘, 長野克則, 2010: 表色値と衣服の日射透過率, 日射反射率, 日射吸収率の関係, 日本建築学会環境系論文集, 75(654), 691/696
- 渡邊慎一, 小金澤真二, 堀越哲美, 富田明美, 2009: 屋外における熱快適性評価のための着衣素材の日射吸収率の実測, 日生氣誌, 45(4), 121/129
- 宮本敦史, 井上隆ほか, 2009: 近赤外日射の反射による都市街路環境への影響に関する研究 (第 1 報) 高反射外装材と衣服の日射反射性能評価, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 577/580
- 渡邊慎一, 堀越哲美, 富田明美, 2010: 着衣素材日射特性の屋外測定における放射測定器位置が日射吸収率に及ぼす影響, 日生氣誌 47(1), 25-33

<連絡先>

著者名: 栗原浩平
住 所: 札幌市北区北 13 条西 8 丁目
所 属: 北海道大学大学院工学研究院
E-mail アドレス: kuwa@eng.hokudai.ac.jp