

着衣の色と日射透過率, 日射反射率, 日射吸収率の関係

栞原浩平, 池田光毅, 窪田英樹, 濱田靖弘, 中村真人, 長野克則
北海道大学

Relationship between colors of clothing and solar reflectance, transmittance and absorptance.

Kouhei KUWABARA, Koki IKEDA, Hideki KUBOTA,
Yasuhiro HAMADA, Makoto Nakamura and Katsunori NAGANO
Hokkaido University

Abstract: Solar transmittance τ_{cl} , reflectance ρ_{cl} and absorptance α_{cl} of eight different colors of clothing were measured. Solar transmittance increased and solar reflectance decreased with decreasing solar incidence angle to clothing. Solar absorptance was constant regardless of solar incidence angle. The relationships between colors of clothing and solar transmittance, reflectance and absorptance were studied. Solar reflectance was expressed as a linear function of Munsell value regardless of hue and chroma. Solar transmittance, reflectance and absorptance were expressed as a function of luminance reflectance Y : $\tau_{cl} = 0.149 + 0.002Y$, $\rho_{cl} = 0.316 + 0.005Y$, $\alpha_{cl} = 0.535 - 0.007Y$.

Key Words: Clothing, color, solar transmittance, solar reflectance and solar absorptance

要旨: 8色の着衣(白, 黒, 灰, 赤, 青, 黄, オリーブ色Tシャツ, 紺色ハーフパンツ)の日射透過率 τ_{cl} , 日射反射率 ρ_{cl} , 日射吸収率 α_{cl} を実測した。着衣への日射入射角が小さくなるほど, 日射透過率は大きくなり, 日射反射率は小さくなることが示された。日射吸収率は, 両者が相殺され入射角に関わらずほぼ一定値を示した。着衣の表色値と日射反射率, 日射透過率, 日射吸収率の関係を検証した。マンセルバリュー(明度)と日射反射率は線形関係を示し, 日射反射率は色相, 彩度に関わらず明度により決まることが示された。また日射透過率等を視感反射率 Y の関数で示した: $\tau_{cl} = 0.149 + 0.002Y$, $\rho_{cl} = 0.316 + 0.005Y$, $\alpha_{cl} = 0.535 - 0.007Y$ 。

キーワード: 着衣, 色, 日射透過率, 日射反射率, 日射吸収率

1. はじめに

屋外環境における人体の平均皮膚温度等を予測するためには日射を考慮する必要がある。著者らは日射作用温度を平均皮膚温度予測式に組み込み, 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(栞原, 窪田ら, 2009a)。日射作用温度を算出するには, 日射を含まない環境作用温度と着衣の日射反射率, 日射透過率が必要である。著者らは, 有色グローブ温度計を用いて様々な屋外環境条件における環境グローブ温度を実測し, 環境作用温度の近似量を算定している(栞原, 窪田ら, 2009b)。着衣の日射吸収率に関して, 著者らは7色の着衣の日射透過率, 日射反射率を測定している。また渡邊ら(2009)は, 10種の着衣生地の日射吸収率を測定しており, 様々な着衣素材, 色の日射諸特性が明らかになりつつある。

本研究では, まず日射入射角が着衣の日射透過率等 に及ぼす影響を検証し, 次に着衣の表色値と日射透過

率等の関係を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

2.1 着衣の表色値

実験に用いた着衣の表色値は, 色彩色差計(コニカミノルタ, CR-410)を用いて, マンセル, XYZ, Yxy, $L^*a^*b^*$ 表色系の4種類で記録した。但し, 着衣の下の色の影響を防ぐために, 黒画用紙を着衣の下に設置して測定した。

2.2 日射透過率, 日射反射率, 日射吸収率の算出方法

着衣の日射透過率, 反射率の測定には, アルベドメーター(Pyranometer CM3, Kipp & Zonen)と全天日射計(MS-601F, 英弘精機)を用いた。Fig.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着衣で覆うことで透過日射量を測定した。この透過日射量とアルベドメーター上部の全天日射量との比から着衣の日射透過率 τ_{cl} を算出した。

Table 1 Measured color specification values of clothing

		Munsell	XYZ			Yxz			L*a*b*		
			X	Y	Z	Y	x	z	L*	a*	b*
T-shirt	White	N8.1	60.11	61.27	72.38	61.27	0.3102	0.3162	82.52	0.07	0.04
	Gray	1.6RP 5.6/0.3	25.57	25.84	30.79	25.84	0.3111	0.3144	57.89	0.96	-0.33
	Black	7.6P 1.9/0.7	3.03	2.9	3.87	2.9	0.309	0.2956	19.62	3.31	-2.53
	Red	3.5R 3.0/10.4	12.6	6.76	4.12	6.76	0.5366	0.288	31.26	48.59	16.17
	Blue	7.8PB 2.7/7.4	6.82	5.52	18.81	5.52	0.219	0.1772	28.16	15.24	-32.22
	Yellow	2.4GY 8.0/3.3	54.31	59.39	44.09	59.39	0.3442	0.3764	81.51	-9.69	24.16
	Olive	1.3Y 3.1/0.7	7.01	7.07	7.08	7.07	0.3314	0.334	31.96	0.8	4.45
Half pants	Deep blue	8.3PB 2.2/2.4	3.96	3.69	7.01	3.69	0.2699	0.2515	22.6	5.06	-11.44

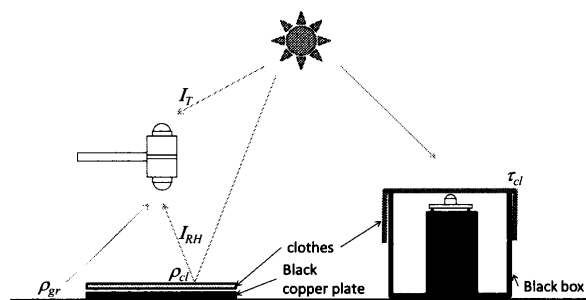


Fig.1 Measuring equipment

着衣の日射反射率 ρ_{cl} は、アルベドメーター下方に着衣を置き、実測した全天日射量 I_T 、反射日射量 I_{RH} とアルベドメーターから着衣への形態係数 F を用いて式(1)から算出した。着衣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、銅板の上に着衣を設置した。

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

着衣の日射吸収率 α_{cl} は、透過・反射・吸収の和が1となる式(2)より算出した。

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

2.3 実験概要

実験は、北海道大学工学部(6階建)屋上にて行われた。実験日時は、1) 2008年6月5日12~14時、2) 2008年6月12日7~11時、3) 2008年6月23日11~16時、4) 2009年7月30日12~16時の4回である。実験に使用した着衣は、綿100%のTシャツ(白、灰、黒、青、赤、黄、オリーブ)とポリエステル95%、綿5%のハーフパンツ(紺)の8種類である。

実験手順として、まず屋上表面の反射率を測定し、次に黒銅板の反射率を測定、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。6月5、12日には白、黒、灰色Tシャツ、紺色ハーフパンツを測定し、アルベドメーター下部と着衣の間の形態係数は $F=0.2$ であった。6月23日には白、黒、灰、赤、青、黄、オリーブ色Tシャツ、紺色ハーフパンツを、7月30日には白、黒、灰、青、赤、オリーブ色Tシャツを測定し、形態係数はいずれの日も $F=0.12$ であった。

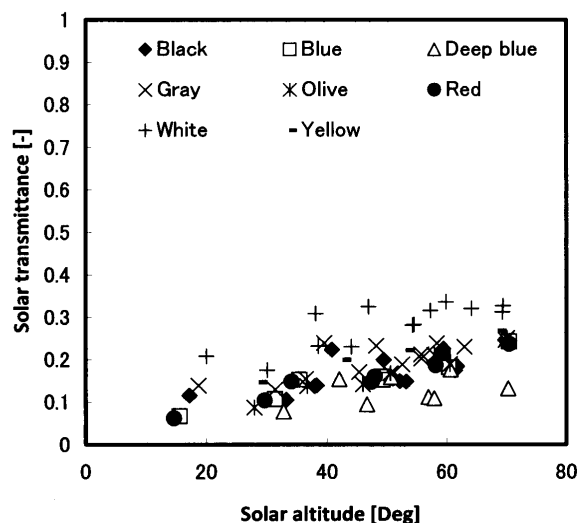


Fig.2 Relationship between solar altitude and solar transmittance of clothing

3. 結果

3.1 着衣の表色値と物性値測定結果

Table 1に着衣の表色値を示す。着衣表面の5ヶ所で測定を行い、その平均値を示している。Tシャツの厚さは0.063cm、平面重は0.0147g/cm²、見かけの比重は0.23g/cm³、綿の比重を1.53とする(小川, 1964)と含気率は85%であった。ハーフパンツの厚さは0.116cm、平面重は0.0325g/cm²、見かけの比重は0.28g/cm³、ポリエステルの比重を1.38とする(小川, 1964)と含気率は80%であった。

3.2 着衣の日射透過率、日射反射率、日射吸収率測定結果

Fig.2に、太陽高度と日射透過率の関係を示す。透過率が最も大きいのは白Tシャツで、最も小さいのは紺ハーフパンツであった。黒Tシャツよりも紺ハーフパンツの透過率が小さかったのは、ハーフパンツの着衣厚がTシャツの倍あったためと考えられる。白以外のTシャツはほぼ同じ値を示している。太陽高度別にみると、太陽高度が高くなる、すなわち着衣への入射角が小さくなるにつれて日射透過率は大きくなるのがわかる。Tシャツについては、ばらつきはあるものの、20~70°の間で約0.1大きくなっていることが見

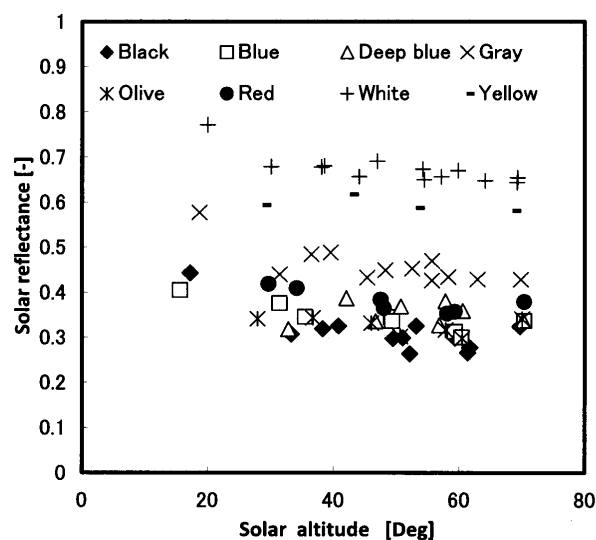


Fig.3 Relationship between solar altitude and solar reflectance of clothing

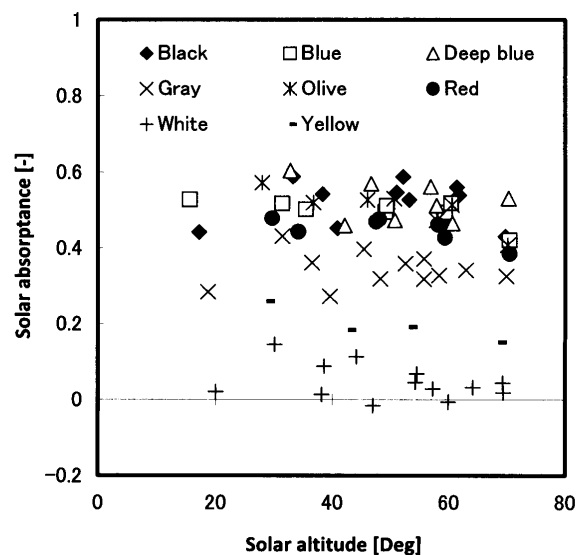


Fig.4 Relationship between solar altitude and solar absorptance of clothing

Table 2 Mean values of solar transmittance, reflectance and absorptance

		Black	Blue	Gray	Olive	Red	White	Yellow	Deep blue
Solar transmittance	mean	0.17	0.16	0.20	0.17	0.16	0.28	0.21	0.13
	sd	0.04	0.05	0.04	0.05	0.06	0.05	0.05	0.03
Solar reflectance	mean	0.31	0.34	0.46	0.32	0.38	0.67	0.59	0.35
	sd	0.05	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03
Solar absorptance	mean	0.52	0.50	0.34	0.51	0.45	0.05	0.20	0.52
	sd	0.05	0.03	0.04	0.05	0.03	0.05	0.05	0.05

て取れる。

Fig.3 に、太陽高度と日射反射率の関係を示す。白 T シャツの日射反射率が最も大きく、次いで黄 T シャツ、灰 T シャツと続き、それら以外は 0.3~0.4 の範囲に分布していることが見て取れる。太陽高度別では、日射透過率とは逆に太陽高度が低くなる、すなわち着衣への入射角が大きくなるにつれて T シャツの日射反射率は大きくなっていることがわかる。

Fig.4 に、太陽高度と日射吸収率の関係を示す。図より、白 T シャツの日射吸収率はほぼ 0 であり、黒 T シャツや紺ハーフパンツは 0.5 付近に分布していることが見て取れる。太陽高度別にみると、日射透過率と日射反射率の影響が相殺され、日射吸収率はほぼ一定値を示していることがわかる。

Table 2 に日射透過率、日射反射率、日射吸収率の平均値と標準偏差を示す。日射透過率と日射反射率は、白、黄、灰 T シャツの順に大きく、その他の色はほぼ同程度の値を示していることがわかる。日射吸収率は逆に白、黄、灰 T シャツの順に小さく、その他の色はほぼ 0.5 程度の値を示していることがわかる。

4. 考察

着衣の日射透過率、日射反射率、日射吸収率について、

小川 (1964) は日射反射率と表面状態との関係、日射透過率と有孔性との関係、日射吸収率と色相との関係から論じている。また渡邊ら (2008) は、5 色、2 種の着衣素材の日射吸収率と日射反射率を測定し、色彩間で日射吸収率に有意差が認められたと報告している。色により日射反射、吸収特性が異なることは自明であるが、色を定量的に表示した表色値と日射反射率等の関係を明らかにすれば、人体モデルによる皮膚温等の予測や人体への日射熱負荷を算定する場合に有用であると考えられる。小川は色相別の日射吸収率を比較しているが、白、灰、黒といった無彩色の場合は色相を数値で示すことができないので、本研究では明るさと日射反射率等の関係を検討した。

Fig.5 に、Table 1 のマンセルバリュー (明度) と Table 2 の日射反射率の関係を示す。図には、表色値が示されている渡邊ら (2009) の結果もプロットした。本研究結果と渡邊らの結果共に、明度 1.6~9.3 の範囲では線形関係を示していることが明らかになった。しかし本研究と渡邊らの回帰式では系統的な差が見られた。これは日射反射率測定において着衣の下に、本研究では黒銅板 (反射率<0.04) を、渡邊らは肌色合板 (5Y 9/3, 反射率 0.64) を設置したことが原因であるか、または着衣厚の差が原因であると考えられる。また着衣素材

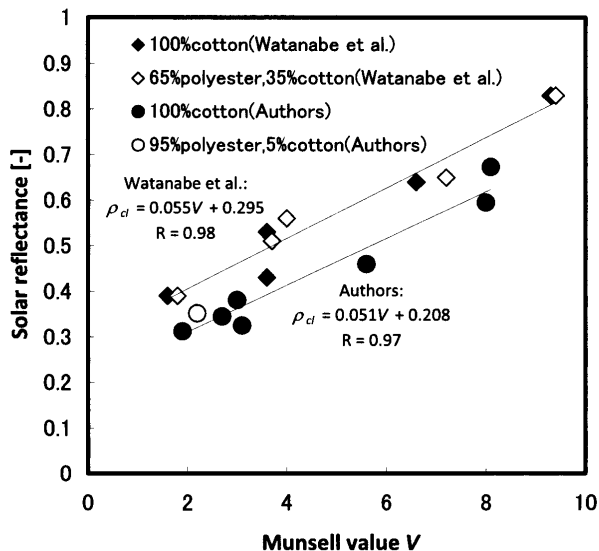


Fig.5 Relationship between Munsell value and solar reflectance

(綿, ポリエステル) は, 明度と日射反射率の関係にほとんど影響を及ぼさないことが見て取れる。日射反射率は, 色相, 彩度に関わらず, 明度のみで決まることが明らかとなった。

次に XYZ 表色系で表わされる Y は視感反射率であり, 明るさの感じを表わす値であることから, 視感反射率 Y と日射透過率, 日射反射率, 日射吸収率との関係を Fig.6 に示した。視感反射率と日射反射率等は線形関係にあることが見て取れる。視感反射率 Y は可視光の波長域 ($0.4 \sim 0.7 \mu\text{m}$) における色刺激を積分した値であり, 本研究の日射反射率は赤外線を含む波長域 ($0.4 \sim 2.8 \text{mm}$) で積分した日射量から算出していることから波長域は異なるが, 日射反射率等を視感反射率 Y の関数として表わすことは可能であると考えられる。

日射透過率は, 表色値よりも糸密度や気孔面積等の着衣の物性値に依存すると考えられるが, 本研究では視感反射率が高くなると共にやや大きくなることが見て取れる。着衣の明るさが増すにつれ, 繊維からの反射日射の一部が着衣を透過し, 日射透過率の増大に寄与したと考えられる。

日射反射率, 日射透過率が視感反射率の増加と共に大きくなることから, 日射吸収率は逆に減少することが見て取れる。明るい色の服を着用することにより, 日射透過率は若干大きくなるものの, 日射吸収率は小さくなることから, 人体への日射熱負荷は軽減されることが考えられる。

5. おわりに

色の異なる着衣の日射透過率, 日射反射率, 日射吸収率を太陽高度別に実測し, 表色値と日射反射率等の

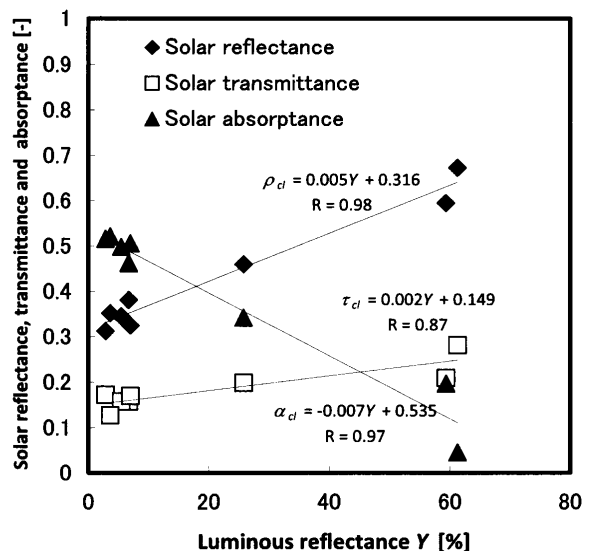


Fig.6 Relationship between luminous reflectance Y and solar reflectance, transmittance and absorptance of clothing

関係について考察した。得られた結果を以下に示す。

- 1) 着衣への日射入射角が小さいほど日射透過率は大きくなり, 日射反射率は小さくなる。その結果, 日射吸収率は入射角に関わらずほぼ一定値を示した。
- 2) 日射反射率は, 色相, 彩度に関わらず, 明度のみで決まることが示された。
- 3) 日射透過率, 日射反射率, 日射吸収率を視感反射率 Y の関数として示した。

$$\text{日射透過率: } \tau_{cl} = 0.149 + 0.002Y$$

$$\text{日射反射率: } \rho_{cl} = 0.316 + 0.005Y$$

$$\text{日射吸収率: } \alpha_{cl} = 0.535 - 0.007Y$$

謝辞 色彩色差計を用いた表色値の測定に際し, 札幌市立大学の斉藤雅也先生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, 窪田英樹他, 2009a: 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, 窪田英樹他, 2009b: 有色グローブ温度計による環境グローブ温度の実測, 日生氣誌, 46(3), S61
- 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
- 小川安朗, 1964: 応用被服材料学, 光生館

<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科

E-mail アドレス: kuwa@eng.hokudai.ac.jp