

# 着衣の色，素材と日射透過率， 日射反射率，日射吸収率の関係

北海道大学 榎原浩平  
(共同研究者) 室内気候研究工房 窪田英樹  
北海道大学 濱田靖弘  
同 中村真人

## Relationship between Colors and Solar Transmittance, Reflectance and Absorptance of Clothing with Different Fabrics

by

Kouhei Kuwabara, Yasuhiro Hamada, Makoto Nakamura  
*Graduate School of Engineering,*  
*Hokkaido University*  
Hideki Kubota  
*Atelier for indoor climate research*

### ABSTRACT

Color value and solar transmittance  $\tau_{cl}$ , reflectance  $\rho_{cl}$ , and absorptance  $a_{cl}$  of clothing with different fabrics and luminance reflectance were measured in order to evaluate the effect of the different types of clothing on solar heat load received by the human body. Seven clothing were selected: 100% cotton T-shirt, 100% polyester T-shirt, 74% polyester/26% cotton T-shirt, 75% polyester/25% cotton mesh T-shirt, 100% nylon long-sleeved working shirt, 100% cotton sheeting working trousers and 60% cotton/40% polyester twill trousers. Mean skin temperature was calculated by using a simple model for predicting mean skin temperature based on solar operative temperature considering solar transmittance and reflectance of clothing. There was a liner relationship between luminance reflectance and solar reflectance and transmittance

of clothing. The difference in solar reflectance of 100% cotton T-shirt and the others was less than 0.1. The difference in the solar transmittance of 100% cotton T-shirt and the others was distributed within  $\pm 0.1$ . Mean skin temperature was calculated in the following case: case I)  $\tau_{cl}$ ,  $\rho_{cl}$ ,  $a_{cl}$  of 100% cotton T-shirt, case II)  $\rho_{cl}$ ,  $\tau_{cl} + 0.1$ ,  $a_{cl} - 0.1$ , case III)  $\rho_{cl}$ ,  $\tau_{cl} - 0.1$ ,  $a_{cl} + 0.1$ . Mean skin temperature in case III was lower than the others. This result indicates that decreasing solar radiation absorbed by skin surface decreases solar heat load received by the human body.

## 要 旨

衣服による日射受熱量の低減効果を検証することを目的として、視感反射率と素材の異なる衣服の表色値と日射透過率、日射反射率を測定し、平均皮膚温に与える影響を検証した。選定した衣服は、色と素材の異なる4種類の半袖Tシャツと1種類の長袖作業シャツ、2種類のパンツである。色彩色差計により表色値を測定し、全天日射計、アルベドメーターを用いて日射反射率と日射透過率を測定した。平均皮膚温は、衣服の日射透過率と日射反射率を考慮した日射作用温度を含む平均皮膚温予測式より計算した。結果、視感反射率と日射反射率、日射透過率は比例関係にあり、綿100%Tシャツを基準として素材による反射率の違いは0.1以下であったのに対し、透過率は $\pm 0.1$ 程度のばらつきがみられた。そこで日射反射率の等しい衣服で日射透過率を0.1増減させた場合に平均皮膚温に及ぼす影響を計算した結果、日射透過率-0.1、日射吸収率+0.1の場合に平均皮膚温が低くなった。このことから、皮膚表面で直接吸収される日射量を少なくすることが日射受熱量の低減に繋がること示された。

## 緒 言

厚生労働省の人口動態統計によると、1994年以降熱中症による死亡数、年齢調整死亡率共に増

加傾向にあり、2007年には900名以上が死亡している<sup>1)</sup>。このうち半数以上は屋外での発生であり、屋外日射環境下での熱中症予防対策が重要である。著者らは、暑熱環境を的確かつ簡便に評価するための指標の構築を目的として、無効発汗や着衣のぬれ、日射の影響を考慮した平均皮膚温予測式を創案し、屋内外での被験者実験によりその有効性を検証してきた<sup>2)</sup>。平均皮膚温等予測式には日射の影響を考慮するために日射作用温度が導入されているが、日射作用温度の算出には着衣の日射反射率、日射透過率が必要である。衣服の日射吸収率に関する研究は数多く行われており、最近では渡邊ら<sup>3,4)</sup>が素材や色彩の異なる衣服の日射吸収率を測定し、その測定法に関する検討も行っている。著者らは、これまでに7色のTシャツ(綿100%)と1色のハーフパンツ(ポリエステル95%、綿5%)の日射透過率、日射反射率を測定し、着衣の表色値(色相、彩度、明度)と日射反射率等との関係の分析から、日射反射率は色相、彩度に関係無く明度(視感反射率)と線形関係にあることを示した<sup>5)</sup>。また宮本らは、衣服の素材により近赤外域(800~3000nm)での日射反射率が異なることを示しており<sup>6)</sup>、素材による日射反射性能を評価しておくことは重要である。日射透過率も色のみならず着衣厚や通気度等の物性により変化すると考えられ、様々な色や着衣素材の日射熱特性を体系的に整理することは、日射等の環境条件が人

体生理状態に与える影響や熱中症等暑熱障害の予防法を検討する上で非常に有用であると考えられる。また近年は暑熱環境対策として吸汗速乾性の高い着衣素材が販売されており、このような新素材の日射熱特性を把握しておくことも必要である。

そこで本研究では、視感反射率、素材の異なる数種類の衣服の表色値と日射透過率、日射反射率を測定して色特性と日射熱特性の関係を整理すると共に、平均皮膚温予測モデルを用いて衣服素材等が平均皮膚温に与える影響を検証することで、衣服による日射受熱量の低減効果を検証することを目的とする。

## 1. 研究方法

### 1.1 屋外環境における平均皮膚温予測式

著者らは下記の式 (1) で示される人体と環境との間の熱平衡式を基に、平均皮膚温  $t_{sk}$  を環境4要素 (気温, 湿度, 放射, 風速) と人体側2要素 (着衣量, 代謝量) の関数として導いている<sup>2)</sup>。

$$q_M - q_{wk} - q_{st} = q_{Sre} + q_{Lres} + q_{dif} + \{q_{sw} - (1 - k_{dr}) q_{dr}\} + q_{rc} \quad (1)$$

但し、

$k_{dr}$ : 有効発汗増加率 [N.D.]

$q_{dif}$ : 拡散による蒸散熱流量密度 [ $W/m^2$ ]

$q_{dr}$ : 無効発汗原量 [ $W/m^2$ ]

$q_{Lres}$ : 呼吸による蒸散熱流量密度 [ $W/m^2$ ]

$q_M$ : 代謝密度 [ $W/m^2$ ]

$q_{rc}$ : 放射・対流による熱流量密度 [ $W/m^2$ ]

$q_{Sres}$ : 呼吸による顕熱流量密度 [ $W/m^2$ ]

$q_{st}$ : 人体の単位時間当たりの蓄熱量密度 [ $W/m^2$ ]

$q_{sw}$ : 発汗による蒸散熱流量密度 [ $W/m^2$ ]

$q_{wk}$ : 外部仕事量密度 [ $W/m^2$ ]

ここで、上記各項は以下の式 (2) ~ (8) のように表される。

$$q_{Sres} = 0.0044q_M (34 - t_a) \quad (2)$$

$$q_{Lres} = 0.0173q_M (5.77 - p_a) \quad (3)$$

$$q_{dif} = (1 - w) k_{dif} (p_{sk} - p_a) \quad (4)$$

$$q_{sw} = q_{swe} + q_{swt} \quad (5)$$

$$q_{swe} = 0.42\{(q_M - q_{wk}) - 58.14\} \quad (6)$$

$$q_{swt} = k_{swsk} k_{adp} (t_{sk} - t_{sksw}) \quad (7)$$

$$q_{rc} = k_{rc} (t_{sk} - t_{opsun}) \quad (8)$$

但し、

$k_{adp}$ : 個人差係数 [N.D.]

$k_{dif}$ : 拡散による蒸散熱移動係数 [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

$k_{swsk}$ : 温熱性発汗の皮膚温に関する係数 (=28) [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

$p_a$ : 周囲大気の水蒸気圧 [kPa]

$p_{sk}$ : 平均皮膚温における飽和水蒸気圧 [kPa]

$q_{swe}$ : 運動性発汗による蒸散熱流量密度 [ $W/m^2$ ]

$q_{swt}$ : 温熱性発汗による蒸散熱流量密度 [ $W/m^2$ ]

$t_a$ : 気温 [ $^{\circ}C$ ]

$t_{sk}$ : 平均皮膚温 [ $^{\circ}C$ ]

$t_{sksw}$ : 温熱性発汗が始まる臨界平均皮膚温 [ $W/m^2$ ]

$w$ : ぬれ率 [N.D.]

本平均皮膚温予測式の特徴は以下の通りである。まず発汗による蒸散熱流量密度  $q_{sw}$  を式 (5) に示すように、代謝量の増加に伴う体内温度の上昇に起因する運動性発汗  $q_{swe}$  と高温環境下の皮膚温上昇に起因する温熱性発汗  $q_{swt}$  の和として定義している。また温熱性発汗密度  $q_{swt}$  を、平均皮膚温と温熱性発汗の開始する皮膚温との差に一次比例するとして式 (7) のように定義している。式 (7) 中の  $k_{swsk}$  は平均的発汗能を持つ人の温熱性発汗率であり、 $k_{adp}$  は個体差あるいは個体内の変動 (個人差係数と仮称) を表している。すなわち、平均的な発汗能を持つ人の  $k_{swsk}$  とし、本モデルでは  $28 W/(m^2 \cdot K)$  を適用し、 $k_{adp} = 1$  と定義している。個体間差あるいは個体内差を表す個人差係数  $k_{adp}$  は、既報<sup>7)</sup>にて  $k_{adp} = 0.4 \sim 1.2$  の範囲に分布することが示されている。さらに無効発汗に伴う着衣のぬれが有効発汗に寄与することを考慮するために、無効発汗原量  $q_{dr}$  と有効発汗増加率  $k_{dr}$  が定義されており、被験者実験により  $k_{dr}$  の具体値を得ている<sup>8)</sup>。

## 1.2 日射作用温度

着衣における日射の透過と反射を考慮した人体の日射受熱量を含む対流と放射による熱流量密度の算出式は式 (9) で表わされる。

$$q_{rc} = k_{rc} \{ (t_{sk} - t_{ope}) - (a_{clm}R_s + f_{cl}a_{skm}/k_{rc})I_{sun,cl} \} \quad (9)$$

$$= k_{rc} (t_{sk} - t_{opsun})$$

ここで、

$$I_{sun,cl} = A_{p,cl}I_{DN}/A_{cl} + A_{ef,cl} (I_{SH}F_{p,sky} + I_{RH}F_{p,gr})/A_{cl} \quad (10)$$

$$t_{opsun} = t_{ope} + (a_{clm}R_s + f_{cl}a_{skm}/k_{rc}) I_{sun,cl} \quad (11)$$

$$k_{rc} = 1 / (R_s / f_{cl} + k_{wd} R_{cl}) \quad (12)$$

但し、

$A_{cl}$  : 着衣表面積 [ $m^2$ ]

$A_{ef,cl}$  : 着衣時人体の有効放射面積 [ $m^2$ ]

$A_{p,cl}$  : 着衣時人体の投射面積 [ $m^2$ ]

$F_{p,gr}$  : 人体から地面への形態係数 [-]

$F_{p,sky}$  : 人体から天空への形態係数 [-]

$f_{cl}$  : 着衣面積増加率 [-]

$I_{DN}$  : 法線面直達日射量 [ $W/m^2$ ]

$I_{RH}$  : 水平面反射日射量 [ $W/m^2$ ]

$I_{SH}$  : 水平面拡散日射量 [ $W/m^2$ ]

$I_{sun,cl}$  : 着衣表面に到達する日射量 [ $W/m^2$ ]

$k_{rc}$  : 放射・対流による顕熱移動係数 [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

$k_{wd}$  : 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 [ $m^2 \cdot K/W$ ]

$R_s$  : 着衣表面の熱伝達抵抗 [ $m^2 \cdot K/W$ ]

$t_{ope}$  : 環境作用温度 [ $^{\circ}C$ ]

$a_{clm}$  : 正味の着衣日射吸収率 [-]

$a_{skm}$  : 正味の皮膚表面日射吸収率 [-]

式 (9) の右辺第一項目は地表面等への長波長放射を含む顕熱流量を表し、第二項目が日射受熱量を表している。 $I_{sun,cl}$  は人体に到達する日射量であり、正味の着衣日射吸収率  $a_{clm}$ 、正味の皮膚日射吸収率  $a_{skm}$  を考慮することで日射受熱量を算出できる。ここで  $a_{clm}$ 、 $a_{skm}$  は衣服の日射

透過や着衣と皮膚間の多重反射を考慮して次式で表される。

$$a_{skm} = \tau_{cl} a_{sk} / \{1 - (1 - a_{sk}) \rho_{cl}\} \quad (13)$$

$$a_{clm} = a_{cl} [1 + \tau_{cl} (1 - a_{sk}) / \{1 - (1 - a_{sk}) \rho_{cl}\}] \quad (14)$$

但し、 $a_{sk}$  : 皮膚表面の日射吸収率 [-]

式 (11) で表わされる通り、日射作用温度  $t_{opsun}$  は日射の影響を含まない環境作用温度  $t_{ope}$  と日射受熱量を温度換算した項との和として定義されている。日射作用温度は、長波長放射量や日射量のみならず風速や着衣量、着衣のぬれ、そして着衣の日射透過率、日射反射率の影響を受けて変動することがわかる。

## 1.3 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(2.6Y 2.7/0.1)を設置した。衣服厚さの測定は定圧厚み測定器(尾崎製作所, FFA-11)を使用した。

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に示すように、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を測定し、全天日射量との比を日射透過率  $\tau_{cl}$  とした。衣服の日射反

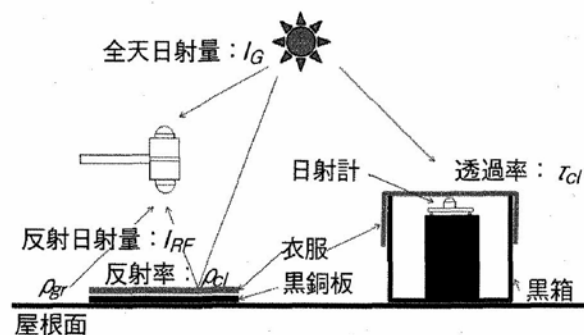


図1 日射反射率、日射透過率の測定装置

表1 実験に使用した衣服

種類	色	素材	厚さ(cm)	特記事項
A 半袖Tシャツ	白,灰,黒,赤,青,燕脂,黄,オリーブ	綿 100%	0.076	天竺
B 半袖Tシャツ	白,灰,濃灰,黒	ポリエステル 100%	0.067	吸汗速乾
C 半袖Tシャツ	白,灰,黒	ポリエステル 74%,綿 26%	0.070	吸汗速乾,天竺
D 半袖Tシャツ	白,灰,黒	ポリエステル 75%,綿 25%	0.084	吸汗速乾,メッシュ
E 長袖作業シャツ	緑,ベージュ	ナイロン 100%	0.033	吸汗速乾
F 作業ズボン	緑,灰	綿 100%	0.066	シーチング
G パンツ	白,ベージュ,黒	綿 60%,ポリエステル 40%	0.054	吸汗速乾,ツイル

射率  $\rho_{cl}$  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  $I_G$ 、反射日射量  $I_{RF}$ 、アルベドメーターから見た衣服の形態係数  $F$ 、周囲表面の日射反射率  $\rho_{gr}$  を用いて式 (15) より算出した。

$$\rho_{cl} \times F + \rho_{gr} \times (1 - F) = I_{RF} / I_G \quad (15)$$

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  $a_{cl}$  は、日射透過率・日射反射率・日射吸収率の和が1となる式 (16) より算出した。

$$\tau_{cl} + \rho_{cl} + a_{cl} = 1 \quad (16)$$

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。表1に示す4種類の半袖Tシャツと1種類の長袖作業シャツ、2種類のパンツを選定し、2色以上を揃えた。TシャツAは既報<sup>5)</sup>にて測定された綿100%のTシャツである。実験は2010年6～10月の間に行われ、いずれも晴天日で直達日射のある日であった。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全天日射量の補正を行っている。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。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。

## 2. 実験結果

### 2.1 衣服の色特性測定結果

表2に衣服の表色値のうちマンセル表色系、

$Y_{xy}$  表色系について示す。同じ色で比較すると、白TシャツCの視感反射率  $Y$  が最も高く、白TシャツDが最も低い。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。

### 2.2 太陽高度と日射熱特性の関係

太陽高度に対する日射反射率、日射透過率、日射吸収率の変化の関係をTシャツBとCについてのみ図2～4に示す。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Bは明るい灰色であるため灰TシャツCよりも日射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、綿100%TシャツAの結果<sup>5)</sup>とほぼ同様である。衣服の日射熱特性は太陽高度で変化するが、実際の着用状態における入射角の影響を考慮し、以降は平均値を用いて検討する。

### 2.3 色特性と日射熱特性の関係

著者らは既報<sup>5)</sup>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<sup>3)</sup>や宮本・井上ら<sup>6)</sup>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

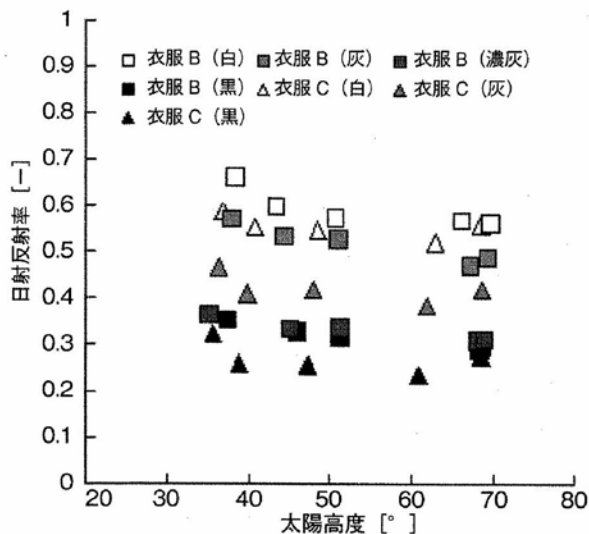


図2 太陽高度と日射反射率の関係

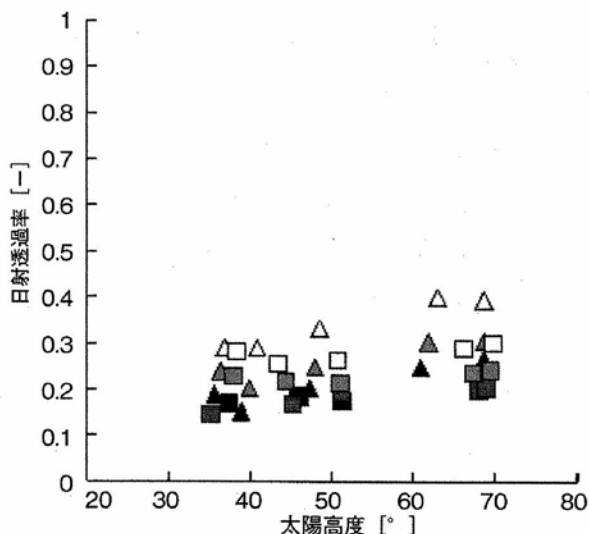


図3 太陽高度と日射透過率の関係

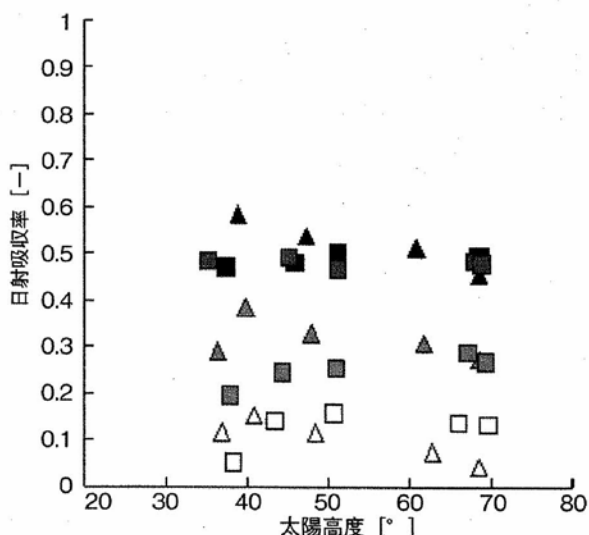


図4 太陽高度と日射吸収率の関係

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。そこで色特性と日射熱特性の関係が素材により異なるかを検証するために、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図5～7に示した。綿100%のTシャツA(実線)とTシャツB, C, Dを比較すると、TシャツB, Cの日射反射率はTシャツAと余り差が見られず、メッシュ編みのTシャツDはやや低い値を示した。その他の作業シャツやパンツの日射反射率もTシャツAよりもおおむね低い値を示しているが、TシャツAとの差は全て0.1以下であった。日射透過率をTシャツAと比較すると、TシャツC, Dと作業シャツEの日射

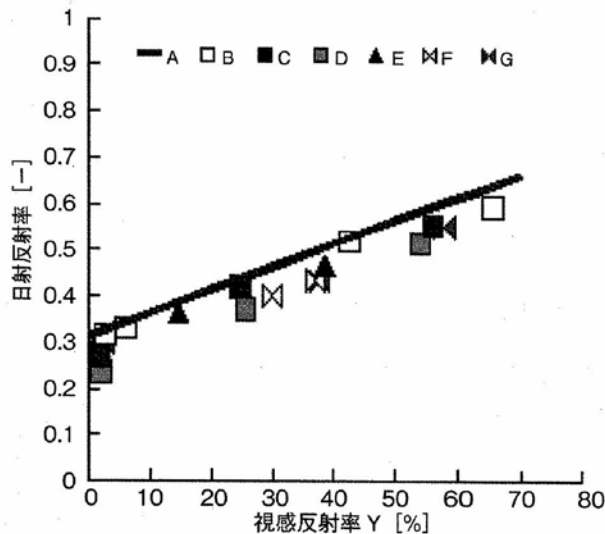


図5 視感反射率と日射反射率の関係

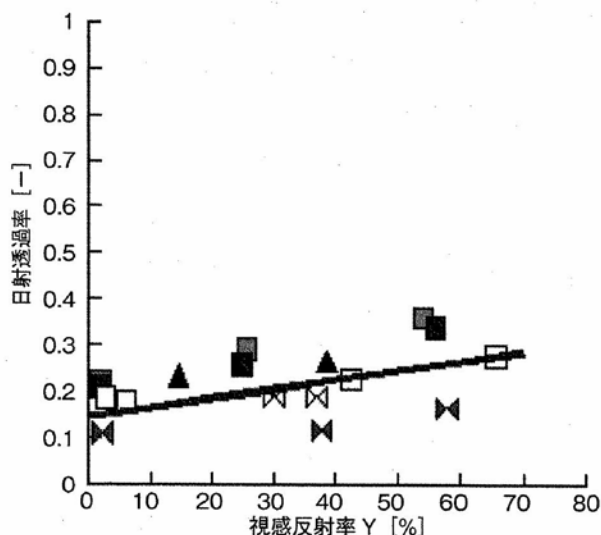


図6 視感反射率と日射透過率の関係

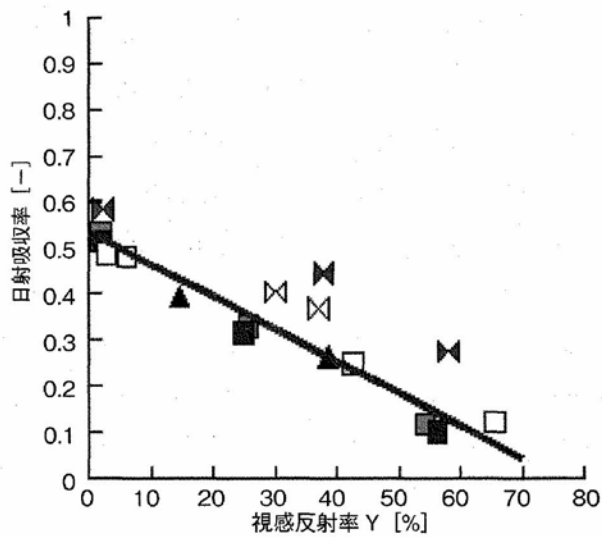


図7 視感反射率と日射吸収率の関係

透過率は高い値を示し、パンツ類は低い値を示した。日射吸収率はTシャツAの付近に分布しているが、作業ズボンFとパンツGはTシャツ類よりも高い日射吸収率を示している。

### 3. 考察

今回選定した吸汗速乾性衣服の日射熱特性を測定した結果、綿100%Tシャツと比較して日射反射率の差はほぼ0.1以下であったのに対し、日射透過率の差は約±0.1の範囲内に分布していた。小川<sup>9)</sup>は、熱線反射は衣服表面の粗さに関係し、熱線透過度は直通気孔面積が大きい程熱線透過度も大きくなることを示している。そこで気孔面積を簡易に推定し、日射透過率との関係について検討を行った。蛍光灯を光源として携帯型顕微鏡(KENKO, STV-40M)で衣服を拡大した画像をデジタルカメラで撮影し、画像を二値化処理することにより白の面積割合を気孔面積率とした。気孔面積率と日射透過率の関係を図8に示す。繊維自身の透過率の影響を防ぐために黒い衣服A, B, C, D, Gのみ図示した。図より、気孔面積率と日射透過率は比例関係にあることがわかる。TシャツDはメッシュ編みで最も気孔面積が大きいいため日射透過率も高く、T

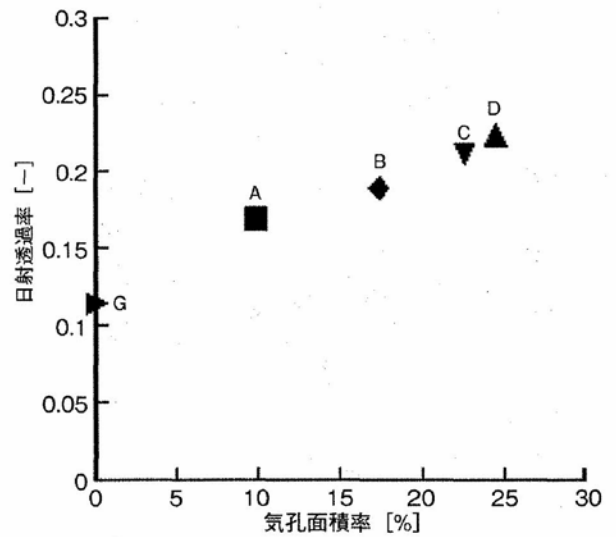


図8 黒衣服の気孔面積率と日射透過率の関係

シャツAは気孔面積が小さいため日射透過率が低いことが示された。

吸汗速乾性衣服の日射透過率にばらつきがみられたことから、衣服の日射透過率の変化が平均皮膚温に及ぼす影響を試算した。札幌で実測された屋外気象条件における平均皮膚温の計算を以下のケースで実施した：ケースI) TシャツAの日射熱特性  $\rho_{cl}$ ,  $\tau_{cl}$ ,  $a_{cl}$ , ケースII)  $\rho_{cl}$ ,  $\tau_{cl} + 0.1$ ,  $a_{cl} - 0.1$ , ケースIII)  $\rho_{cl}$ ,  $\tau_{cl} - 0.1$ ,  $a_{cl} + 0.1$ 。いずれのケースも日射熱特性を全身に一樣に適用した。0.35clo, 0.7cloの着衣量での計算結果を図9に示す。衣服の日射透過率が0.1高く日射吸収率が0.1低いケースIIは、0.35cloで0.2℃, 0.7cloで0.5℃程度の平均皮膚温の上昇となり、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高いケースIIIでは、平均皮膚温は低下した。これは衣服の日射透過率の低下による正味の皮膚表面日射吸収率  $a_{skm}$  の低下の影響が、衣服の日射吸収率の上昇による正味の衣服表面日射吸収率  $a_{clm}$  の上昇の影響を上回ることが原因と考えられる。このことから屋外環境における日射受熱量の低減のためには  $a_{skm}$  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

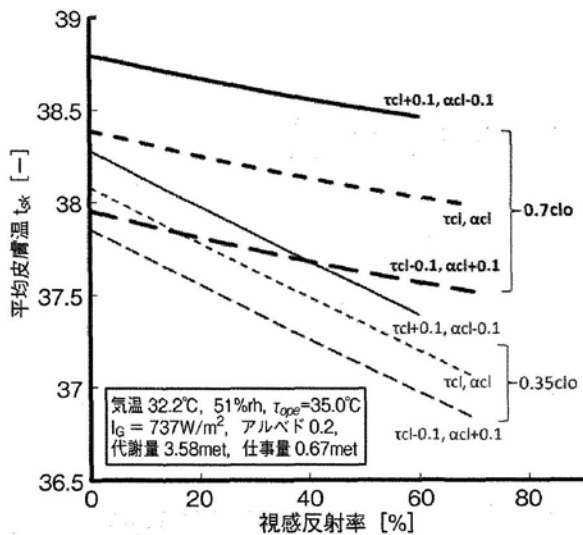


図9 0.35clo, 0.7clo時の日射透過率の変化が平均皮膚温に及ぼす影響

である。また 0.35clo 程度の薄着では日射透過率の増減よりも視感反射率（日射反射率）の増減が平均皮膚温の変化に大きく影響しているのに対し、0.7clo の着衣量では日射透過率の増減の方が視感反射率よりも平均皮膚温に大きく影響を及ぼしていることが読み取れる。これは薄着の場合には色による調節が有効であり、厚着になるに従い色よりも透過率の抑制が暑熱負担の軽減に有効であることを示している。但し、気孔面積の増大は通気性を向上させ着衣熱抵抗を減少させる方向に働くと考えられるが本研究ではその影響を考慮していない。また着衣のぬれの影響も等しいと仮定していることから、今後着熱抵抗や着衣のぬれの影響も含めて総合的に検証していく必要がある。

### 謝 辞

本研究に対し助成賜りました財団法人石本記

念デサントスポーツ科学振興財団に深謝致します。また本研究の遂行に当たり多大なるご協力を賜りました、北海道大学大学院工学研究院長野克則教授、長谷川拓哉准教授、大学院工学院修士課程の池田光毅氏、工学部4年谷地誠氏に厚く御礼申し上げます。

### 文 献

- 1) 澤田晋一, 楽原浩平, 17.室内で起こる熱中症, からだと温度の事典(彼末一之監修), 朝倉書店, 391-393(2010)
- 2) 楽原浩平, 窪田英樹, 濱田靖弘, 中村真人ほか, 無効発汗と着衣の濡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(2009)
- 3) 渡邊慎一, 小金澤真二, 堀越哲美, 富田明美, 屋外における熱的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(2008)
- 4) 渡邊慎一, 堀越哲美, 富田明美, 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(2010)
- 5) 楽原浩平, 窪田英樹, 濱田靖弘, 長野克則, 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
- 6) 宮本敦史, 井上 隆ほか, 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(2009)
- 7) 楽原浩平, 窪田英樹, 濱田靖弘, 中村真人, 暑熱障害発症リスクに及ぼす温熱性発汗の個人差の影響, デサントスポーツ科学, 28, 89-96(2007)
- 8) 窪田英樹, 楽原浩平, 濱田靖弘, 中村真人ほか, 無効発汗と着衣の濡れを考慮した人体皮膚表面温度の予測, 空気調和・衛生工学会論文集, 137, 9-17(2008)
- 9) 小川安朗, 応用被服材料学, 光生館(1964)