

# 温熱生理的快適性を考慮した衣服設計

生活環境デザイン学科 今井 素恵

## 1. はじめに

衣服の着用目的は、一つは自然環境に対応して身体を守り健康で快適な生活を維持すること、もう一つは社会環境に対応するため外観を整え装飾すること<sup>1)</sup>とされている。その内容は、保健衛生、生活活動、道德礼儀、装飾審美、標識類別<sup>1)</sup>に要約できる。その中で、衣服は、“体温の調節の補助”という形で健康に関わっている。冷暖房などの空調設備に比べて、衣服は持ち運び可能なエコな微少環境を提供する。また、衣服設計によって、寒冷環境、暑熱環境や宇宙環境にも対応できる。そこで、健康で快適な衣生活のために、温熱生理の仕組みや被服の熱移動の特性、快適な衣服設計について知っておくと役立つと思われる事柄について解説する。

## 2. 温熱生理のしくみ

### 2-1. 人体における体温調節

人体は体温調節の観点から、重要な脳のある頭部や臓器のある体幹内部 (core) と、皮下脂肪や皮膚などの外郭部 (Shell) に分けられる<sup>2)</sup>。その概要を図1に示す。人は体幹内部を  $37.0 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  に維持して健康を保っている。そのためには食物摂取に基づく体内での産熱と皮膚や呼吸気道からの放熱が均衡する必要がある。

人は衣服の着脱や空調で体温を調節するが、これを寒暑感によって意識的に行う行動性体温調節<sup>3)</sup>と言い、これに対して、不随意的な生理的体温調節<sup>4)</sup>がある。その仕組みを図2に示す。

生理的体温調節は、皮膚から知覚された気温低下の情報と脳などの体幹内部温の情報を総合して、間脳にある視床下部の体温調節中枢で行われる。手足などの末梢部の皮膚血管を収縮させて、血流量を減少させることにより皮膚温が低下し、外気温との温度差の縮小により放熱を抑制して恒体温を維持している。放熱の抑制が不十分な場合、鳥肌が立ったり、ふるえが起こることで産熱を増大して恒体温を得る。気温上昇による放熱の減少や運動による産熱増大の場合は、体温調節中枢の指令で末梢血管拡張により血流量を増大させ、皮膚温の上昇による放熱の促進で恒体温を維持<sup>4)</sup>する。

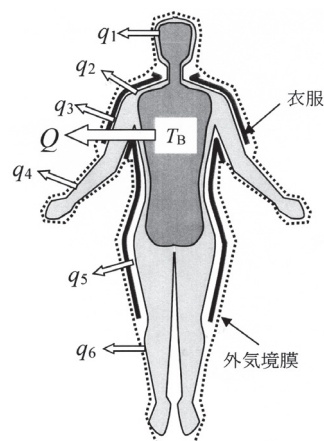


図1 人体からの熱放出<sup>3)</sup>

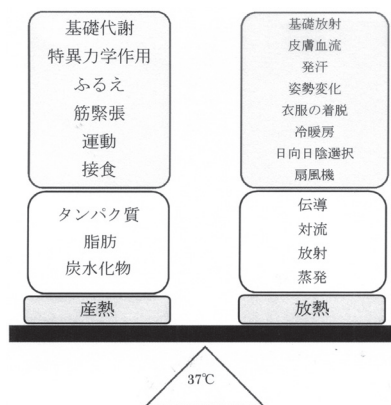


図2 産熱と放熱のバランス<sup>5)</sup>

## 2.2. 人体からの水分放散

人体からの水分放散で、発汗を知覚しない場合は不感蒸泄または不感蒸散<sup>6)</sup>と呼ばれている。不感蒸泄は約  $24\text{g}/(\text{m}^2\text{hr})$  で、 $1.6\text{ m}^2$  の体表面積の人の1日の不感蒸泄量に換算すると約  $900 \sim 1000\text{g/day}$ <sup>6)</sup> と言われている。安静状態では、全水分放散の約70%が皮膚から、約30%が呼吸気道からで、気温や個人による変動は少ない。発汗は  $30^\circ\text{C}$  以上の高温や運動によって起こり、汗の量は環境の温度・湿度や活動強度によって変化し、個人差がある。

発汗には、体熱放散に役立つ有効発汗と、役立たない無効発汗<sup>6)</sup>がある。無効発汗には、衣服への付着汗量と流れ去る流下汗量がある。有効発汗量は気流と温度・湿度により変化する。汗の成分には個人差があり、部位別、季節、労働条件などにより性質が異なる<sup>6)</sup>。

図3は、人体から衣服を通して熱と水分の移動における温度と水蒸気分圧の分布を示す<sup>3)</sup>。各衣服部位の温度差や水蒸気分圧差は顕熱移動抵抗や水分移動抵抗の大きさを反映し、全体の移動抵抗は各部位の面積を考慮した移動抵抗の総和となる。

温度差に基づく伝導・対流、放射による熱移動を顕熱移動と呼び、皮膚や呼吸器からの水分の蒸発による熱移動を潜熱移動<sup>4)</sup>と言う。顕熱移動における布の移動抵抗は衣服間空隙や外気境膜に比べて小さい<sup>7)</sup>が、水分移動における布の移動抵抗は比較的大きく<sup>8)</sup>、潜熱移動における布の役割は大きい。また、布の吸湿により水分を衣服内で留め、蒸気としての衣服外への移動を抑制することで衣服の保温性を高めることができる<sup>9)</sup>。

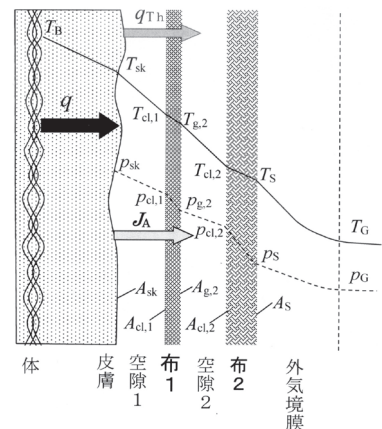


図3 衣服を通しての熱と水分の移動<sup>3)</sup>

## 3. 熱移動の基本的機構と人体からの熱移動

体表面からの放熱には、伝導、対流、放射、蒸発の4つの物理的な機構が関与している。

### 3.1. 伝導による熱移動

伝導 (conduction)<sup>10)</sup> は、物体を構成する分子の熱運動エネルギーが物体中を伝わることで、例えば金属棒の一方を加熱すると他方に熱さが伝わってくるような熱の移動の仕方である。同じ温度の場合、伝導による熱移動は空気中より水中の方が大きい。気体中では分子運動により高速の分子 (高温) と低速の分子 (低温) が混合することにより分子運動速度が平均化され、これにより高温側から低温側に熱が移動することになる。液体や固体では気体に比べて分子間距離が短く、分子の衝突頻度が大きくなり、この衝突によってもエネルギーの移動が起こり気体に比べて熱の移動速度は大きくなる。金属中ではさらに自由電子によるエネルギーの移動が起こるので熱移動速度は非常に大きくなる。布や繊維のような固体あるいは衣服の間隙のような静止した流体中の熱移動は伝導で起こる。

単位時間、単位面積あたりに伝導で移動する熱量として伝導熱移動速度  $q_{\text{cond}} [\text{J}/(\text{m}^2\text{s}) = \text{W}/\text{m}^2]$  を定義すると、熱移動速度は温度勾配に比例し (フーリエの法則<sup>10)</sup>)、次式で表される。 $q_{\text{cond}} = -k (dT/dz) = (k/l) (T_1 - T_2)$  第3辺は定常状態で温度勾配は  $dT/dz = (T_2$

$-T_1)/l$  となることによる。 $T$  [K] は温度、 $z$  [m] は距離を表し、比例係数  $k$  [W/(m・K)] は熱伝導率、 $l$  [m] は布などの厚さである。熱移動速度は、通常、温度差に比例するので  $q_{\text{cond}} = h_{\text{cond}} (T_1 - T_2)$  と表される。その比例定数を伝導熱移動係数  $h_{\text{cond}}$  [W/(m<sup>2</sup>K)] (Heat transfer coefficient、伝熱係数、熱伝達係数など) という。布のような板状の物体の熱移動係数は (熱伝導率)/(厚さ) で与えられる。熱移動係数が与えられれば、温度差に対してどれだけの熱が移動するかを求めることができる。

### 3-2. 対流による熱移動

対流 (convection)<sup>10)</sup> は空気や水などの流体中の渦運動により熱が運ばれる現象で、渦運動による混合は分子運動による混合に比べて速く、対流熱移動速度は伝導熱移動速度に比べて遥かに大きい。このことは風呂のお湯をかき混ぜる (強制対流) とすぐに一樣な温度になることで実感できる。空気や水が動いていても体表面に接する空気または水中には渦の生じない層 (境膜) ができ、境膜中では熱は伝導で移動し、境膜の厚さによって熱移動速度が左右される。空気が静止していても体の周囲の空気は皮膚により暖められて軽くなり上昇する。この気流による渦運動を自然対流という。風が吹いたり水が流れたり、流れの中で強制的に生み出される渦運動を強制対流という。強制対流による熱移動速度は自然対流によるものより大きく、流れの中では自然対流と強制対流が重なっているとみられる。

衣服に接する空気中の熱移動は対流と放射の2つの機構で起こる。衣服表面温度を  $T_s$ 、外気温度を  $T_G$  とすると、対流熱移動速度は  $q_{\text{con}} = h_{\text{con}}(T_s - T_G) = (k/\delta)(T_s - T_G)$  となる。ここで、 $h_{\text{con}}$  [W/(m<sup>2</sup>K)] は対流熱移動係数、 $\delta$  [m] は境膜の厚さである。境膜が薄くなると温度勾配が大きくなるので熱移動速度は増大する。境膜内では渦運動はなく境膜の外では渦運動により完全に乱れているとする境膜は仮想的な膜で便宜的に使用される。このモデルでは温度差は全て境膜内に生じ境膜の外では温度は一樣になる。<sup>3)</sup>

### 3-3. 放射による熱移動

放射 (radiation)<sup>10)</sup> は熱線 (電磁波) による熱の移動をいう。太陽光線も電磁波であり、物体間で電磁波によって熱エネルギーが伝播される現象を放射熱移動といい、真空中でも移動する。放射エネルギーのすべてを吸収する黒体の放射熱移動量  $E$  は、物体表面の絶対温度を  $T_1$ 、相手物体の絶対温度を  $T_2$  とすると、ステファン - ボルツマンの法則<sup>10)</sup> により  $E = \sigma (T_1^4 - T_2^4)$  で与えられる。ここで、 $\sigma$  はステファン - ボルツマン定数  $5.67 \times 10^{-8}$  W/(m<sup>2</sup>・K<sup>4</sup>) である。実際の固体表面の放射熱移動速度  $q_{\text{rad}}$  は上式の右辺に射出率  $\varepsilon$  がかり、 $q_{\text{rad}} = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_G^4) = \varepsilon \sigma (T_s + T_G)(T_s^2 + T_G^2)(T_s - T_G)$  で与えられる。放射熱移動係数  $h_{\text{rad}}$  [W/(m<sup>2</sup>K)] を  $q_{\text{rad}} = h_{\text{rad}}(T_s - T_G)$  で定義すると、 $h_{\text{rad}} = \varepsilon \sigma (T_s + T_G)(T_s^2 + T_G^2)$  となる。 $T$  は絶対温度であるので、常温近くの温度では放射熱移動係数は大きく変化することはない。空気中の熱移動速度  $q$  は  $q = q_{\text{con}} + q_{\text{rad}} = h_G(T_s - T_G)$  で与えられ、熱移動係数  $h_G$  は  $h_G = h_{\text{rad}} + h_{\text{con}}$  となる。

### 3-4. 蒸発による熱移動

水の蒸発<sup>10)</sup> 潜熱  $\lambda$  [J/kg] は温度上昇により減少し、33℃では  $\lambda = 2.424$  [kJ/kg (43.62 kJ/mol)] である。人体表面からの汗の蒸発量が  $P$  [g] のとき、蒸発放熱量  $Q$  [J] は、 $Q = \lambda P = 2.424 P$  となり、水分蒸発量に比例する。汗の蒸発量は、体重の減少量から求められる。

### 3.5. 放熱モデル

体表面からの放熱は顕熱移動と潜熱移動で行われ、放熱速度  $q$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] は  $q = q_{\text{Th}} + q_{\lambda}$  で与えられる。ここで、 $q_{\text{Th}}[\text{W}/\text{m}^2]$  は顕熱移動速度、 $q_{\lambda}[\text{W}/\text{m}^2]$  は潜熱移動速度である。皮膚表面温度  $T_{\text{sk}}$  と外気温度  $T_{\text{G}}$  の差によって移動する顕熱移動速度は  $q_{\text{Th}} = h_{\text{T}} (T_{\text{sk}} - T_{\text{G}})$  で与えられる。ここで、 $h_{\text{T}} [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$  は衣服を構成する布と衣服間空隙および外気を通しての熱移動全体に対する局所総括熱移動係数である。 $q_{\lambda}$  は汗の蒸発に伴い皮膚表面で失われる蒸発潜熱による潜熱移動速度で、 $q_{\lambda} = \lambda J_{\text{W}}$  で与えられる。ここで、 $\lambda$  [ $\text{J}/\text{mol}$ ] は水のモル蒸発潜熱で、 $J_{\text{W}} [\text{mol}/(\text{m}^2\text{s})]$  は汗の蒸発速度である。汗の蒸発速度は皮膚表面と外気の水蒸気濃度差に比例し、 $J_{\text{W}} = K_{\text{G}} (p_{\text{sk}} - p_{\text{G}})$  で与えられる。ここで、 $K_{\text{G}} [\text{mol}/(\text{m}^2\text{s Pa})]$  は衣服や衣服間空隙および外気を通しての水分移動全体の総括物質動係数で、空気中の水蒸気濃度は水蒸気分圧で表され、 $p_{\text{sk}} [\text{Pa}]$  は皮膚表面の水蒸気分圧、 $p_{\text{G}} [\text{Pa}]$  は外気の水蒸気分圧である。環境条件に対応する放熱速度  $q$  は、熱移動係数  $h_{\text{T}}$  と物質移動係数  $K_{\text{G}}$  を用いて計算で求められる。水蒸気分圧は分率で表した相対湿度  $H_{\text{R}} [-]$  とその温度における水の蒸気圧  $p_{\text{W}} [\text{Pa}]$  の積  $H_{\text{R}} p_{\text{W}}$  で与えられる。 $p_{\text{W}}$  は温度とともに増大する(蒸気圧表あるいは Antoine 式により求められ、0, 10, 20, 25, 30, 33, 40, 100℃における水の蒸気圧はそれぞれ 0.611, 1.227, 2.337, 3.166, 4.242, 5.029, 7.375, 101.3kPa である)ので、外気温度が皮膚表面より低い時は皮膚表面と外気の相対湿度が同じでも  $p_{\text{sk}}$  は  $p_{\text{G}}$  より大きくなる。

## 4. 人体と快適な衣服内気候について

### 4.1. 快適な被服内気候の条件

人体の暑熱または寒冷感の外環境から直接受けるのではなく、皮膚面と衣服との間に形成される微少空間からの影響をより強く受ける。この局所気候を被服気候あるいは衣服内気候<sup>4)</sup>と呼んでいる。体幹部に接する空気層の気候が温度  $32 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度  $50 \pm 10\%$ 、気流  $25 \pm 15\text{cm/s}$  となる衣服を調整して着用することが快適条件の目安<sup>4)</sup>とされている。

衣服の保温性は、クロー値 (clo 値) による衣服全体の熱移動抵抗で表されている。「1clo の保温力とは、気温  $21.2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 50% 以下、気流  $10\text{cm/s}$  の室内に、椅座位安静の成人男子 (代謝  $50\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{hr}) = 58.1\text{W}/\text{m}^2$  のエネルギー代謝) が快適で、平均皮膚温を約  $33^\circ\text{C}$  に維持できるような衣服の保温力<sup>5)</sup>」をいう。Gagge らはこの定義をもとに 1clo の被服の熱移動抵抗 (1clo =  $0.155\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ) を求め、種々の被服の clo 値を算出したり、任意の環境に適する衣服の clo 値を推測した<sup>5)</sup>。

熱移動抵抗  $R_{\text{Th}}[\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$  は熱移動係数の逆数で例えば  $R_{\text{Th,T}} = 1/h_{\text{T}}$  のように明確に与えられる。また、水分の移動 (物質移動) に対する物質移動抵抗  $R_{\text{M}}[\text{m}^2\text{s Pa}/\text{mol}]$  は物質移動係数の逆数で  $R_{\text{M,T}} = 1/K_{\text{G}}$  のように与えられる。SI 単位による熱移動抵抗や物質移動抵抗を用いた普遍的な方法と考えられる。

### 4.2. 衣服を構成する布の熱移動抵抗

衣服の保温性は、衣服内気候の形成に最も大きな役割を果たしている。衣服を構成する布は繊維と空気を含み、その空気は微細な気孔内で静止している。静止した空気中では熱



は伝導で移動し、空気の熱伝導率は小さいので熱の移動を抑制<sup>6)</sup>する。また、放熱は布だけでなく、衣服間空隙および衣服周りの空気層を通して行われる。

種々の布の熱移動係数<sup>7)</sup>を図4に示す。図中には熱移動係数が布厚さに半比例する関係が破線で示されている。綿布および麻布の熱移動係数は、破線に沿って変化している。羊毛、絹、ポリエステル布の熱移動係数も綿布よりは小さいが破線に沿っている。繊維の熱伝導率は空気の熱伝導率に比べて、綿で17.5倍、ナイロンで10倍、羊毛で7.3倍、絹とポリエステルで7倍であり<sup>11)</sup>、熱伝導率が布の熱移動係数に影響している。布は繊維と空気で構成されている。図には熱移動係数の推算値 $h_{cl, max}$ と $h_{cl, min}$ も示されている。 $h_{cl, max}$ は繊維と空気の熱移動抵抗が並列に、 $h_{cl, min}$ は直列になるとして算出されている。布の熱移動係数として $h_{cloth} = 0.7h_{cl, min} + 0.3h_{cl, max}$ とすると計算値と実測値がよく一致する。布の熱移動係数は布の厚さが大きく、繊維体積分率が小さく、繊維の熱伝導率が小さいと小さくなり、熱移動抵抗は大きくなって保温性は高くなる。しかし、図4に示した織物では熱移動抵抗は $0.01\text{m}^2\text{K/W}$ 以下となり、冬季に求められる衣服の熱移動抵抗 $0.4\text{m}^2\text{K/W}$ に比べて小さすぎる。編物は、織物よりも厚さが大きく、繊維体積分率も小さいので保温性は高い。ダウンコートのような詰め物衣服では、織物に比べて繊維体積分率が二桁も小さく、厚さも一桁以上大きいので保温性は非常に高い。繊維体積分率が小さく、厚さが大きくなると次節で示すように伝導熱移動よりも放射熱移動が重要になり、詰め物の繊維が細くて表面積が大きいほど放射熱移動は抑制され、ダウンコートの熱移動抵抗は $0.4\text{m}^2\text{K/W}$ 程度<sup>12)</sup>になる。

#### 4.3. 衣服間空隙の熱移動抵抗

図5では、衣服間空隙の熱移動抵抗 $R_{gap}$ の空隙厚さによる変化を実測値と計算値と比較<sup>13)</sup>する。実測値と計算値はよく一致し、 $R_{gap}$ は空隙厚さとともに空隙10mmまでは急激に増大するが頭打ちになる。空隙10mmの熱移動抵抗は約 $0.1\text{m}^2\text{K/W}$ で、織物の布の熱移動抵抗に比べて10倍以上大きく、衣服全体の保温性にとって衣服間空隙の熱移動抵抗は重要である。

文献では熱移動抵抗が最大になる空隙厚さがあり<sup>14)</sup>、その最大値が現れるのは開放系の空隙の場合で、密閉系では空隙10mm以上の熱移動抵抗の減少はないこと<sup>15)</sup>が報告

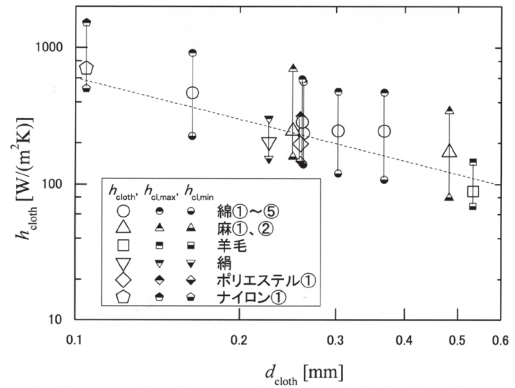


図4 布の熱移動係数<sup>7)</sup>

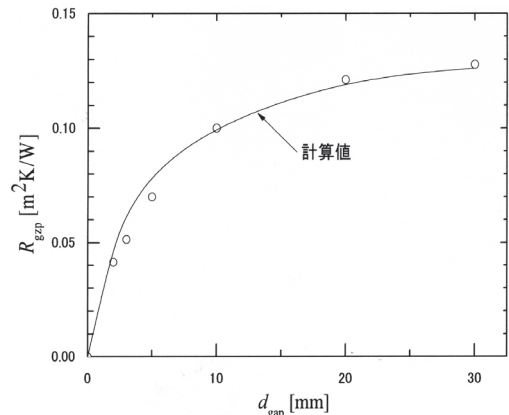


図5 空隙の熱移動抵抗<sup>13)</sup>

されている。図5に示したように空隙の熱移動抵抗が空隙厚さに対して頭打ちになるのは、放射熱移動と対流熱移動の和と与えられる空気中の熱移動において、空隙厚さが大きくなると厚さに依存しない放射熱移動が支配的になるためである。これを説明するために計算で得られた空隙厚さに対する放射熱移動係数  $h_{\text{gap,rad}}$ 、伝導熱移動係数  $h_{\text{gap,cond}}$  および空隙における自然対流の影響を考慮した対流熱移動係数  $h_{\text{gap,con}}$ <sup>13)</sup> を図6に示す。放射熱移動係数は、空隙厚さが増加しても殆ど変化しないが、伝導熱移動係数は空隙厚さに反比例して減少し、空隙厚さ 20mm では放射熱移動係数の約 1/4 になる。対流熱移動係数は伝導熱移動係数より少し大きくなるが、大きな空隙厚さでは放射熱移動係数に比べてずっと小さくなる。空隙の熱移動係数は、放射熱移動係数と対流熱移動係数を加えたものなので、空隙厚さが小さいときは伝導熱移動係数と変わらない対流熱移動係数が放射熱移動係数より大きくなり、空隙厚さが大きくなると放射熱移動係数が支配的<sup>13)</sup> になる。

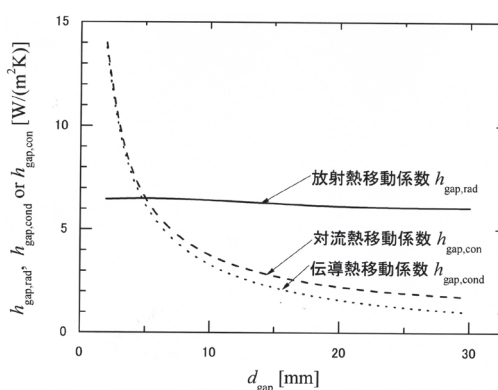


図6 空隙の熱移動係数の計算値<sup>13)</sup>

#### 4.4. 衣服の熱移動抵抗に及ぼす風の影響

図1に示した衣服周りの空気層に加えて衣服間空隙の熱移動抵抗も風の影響を受ける。風があると衣服の熱移動抵抗が減少するが、その大部分は衣服周りの空気層の抵抗減少に起因する。この空気層の熱移動は風がない自然対流下と風がある強制対流下に分けてみる必要がある。前者では対流熱移動より放射熱移動が優勢であり、後者では逆に風速により対流熱移動係数は大きく増大する<sup>16)</sup>。境界厚さは自然対流下では 7mm 程度であるが、2m/s の風速下では 1.5mm まで小さくなる。衣服間空隙の熱移動抵抗も布の通気性によっては風の影響を受けて減少する<sup>17)</sup>。衣服の最外部に通気抵抗の大きい布を使用することで保温性は保たれる。

## 5. 開口および被服面積との関係

### 5.1. 開口の効果

被服内の熱・水分・空気の移動が被服内空気の出入り口となる衿、袖口、裾、明きなどの開口<sup>5)</sup>の大きさや形状によって左右される。開口の効果と人体表面の空気流が深く関連している。人体皮膚表面の温められた空気は密度が小さくなり、上方へ体表に沿うように自然対流が生じ、同様に湿度も高いと空気密度は小さくなる。上向き・下向き開口がともに開放している場合、煙突効果<sup>5)</sup>によって自然対流が促進され放熱は増大する。上向き開口のみ開放の場合も次に放熱効果が大きい。ネクタイやマフラーを外して衿元が開放された場合の熱気流の上昇からも熱移動の促進が感じられる。また、上向き開口を閉じた場合は、熱気流が上方にたまり、上向き開口部付近で布を通じての熱流換気<sup>5)</sup>が盛んになる。サーモグラフィで胸部周辺の熱量を調べると、あんどん効果<sup>5)</sup>をみることができる。

スカートのように下向き開口がある場合も歩行などの動作によって換気が促進されて放熱量が増大し、ふいご効果<sup>5)</sup>をみることができる。布の長さ、開口部の大きさによってその効果は変動する。

一般に上向き開口は煙突効果により、下向き開口はふいご効果により熱・水分・空気の移動量が大きく、水平開口では小さい<sup>18)</sup>といわれている。

花田<sup>19)</sup>は、ワンピースの熱遮断効果の特徴を知るために、ゆとり量との関係を調べている。5cm以上のゆとり量をもつ部位では、ゆとりを増加してもほとんど熱遮断効果の変化はなく、この部分では、対流の影響があると想像している。この点は上述の空隙の熱移動抵抗で説明される。また、ゆとり量が15cmを超えると対流によるマイナス面があらわれてくる<sup>19)</sup>と述べている。

## 5.2. 重ねの効果

重ね着をすると被服と被服の間に空気層が形成され、熱、空気、水分の移動に影響を及ぼし、重ねによる保温効果は顕著<sup>5)</sup>である。図7に重ね着の熱移動抵抗の計算結果<sup>13)</sup>を示す。空隙の厚さを大きくしても空隙熱移動抵抗は大きくならない。空隙熱移動抵抗を大きくするには、空隙を分割して空隙数を増やすことが有効で、重ね着により空隙数が増えて保温性は高くなる。

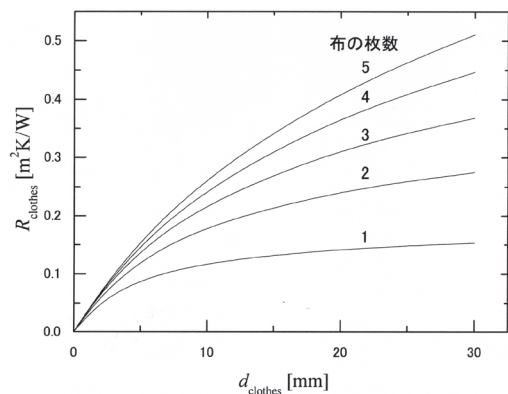


図7 重ね着の熱移動抵抗<sup>13)</sup>

冬場の安静時に必要な熱移動抵抗は約 0.5 m² K/W であるが、図1に示す外気境膜の熱移動抵抗 0.1 m² K/W を差し引くと、図7から4枚程度の衣服を重ね全体の厚さが30mm程度になることで対応できる。

衣服の保温性にとって着装したときの空隙のでき方が重要である。空隙のでき方には布の力学的特性が大きく関わっている。図7では重ねによる熱移動抵抗は1～3枚で大きく、それ以上では効果が減少する。ダウンコートのような詰め物では放射熱移動が抑えられ、布を5枚重ねたときと同程度の熱移動抵抗になる。

重ねすぎは保温性の効果がなくなり、重量の増加で体への負担や、動作の拘束を招くことになるので、効果的な重ね着としては、外側に着る被服ほどゆとりの大きいもので、概ね被服の空気層をつぶさないような配慮が必要<sup>5)</sup>である。また、有風下では含気性の大きい編物等の布地を内側に、通気性の小さい緻密質の織物を外側に着用するのが効果的<sup>5)</sup>である。

## 6. 保温性の測定法

保温性の測定としては、人体着用実験(生理的測定)、サーマルマネキンによる測定(物理的測定法)、その他のシミュレーション<sup>18)</sup>による測定法がある。

人体の温熱生理的反応による快適感覚の評価の測定法として、官能評価・電気生理的評

価<sup>18)</sup>がある。代謝量、深部体温、皮膚温など身体熱移動にかかわる諸事項について測定するが、再現性が低い。計測装置を用いた快適感覚計測評価の測定法としてサーマルマネキン実験、発熱円筒や発熱平板等の着衣モデル<sup>18)</sup>がある。サーマルマネキン<sup>18)</sup>は、等身大の金属製人形に電熱線が組み込まれており、人体と同様の皮膚温分布となるように加熱される。再現性は高く、姿勢変化ができるもの、発汗を考慮したものなどもある。

布地の熱抵抗を測定する方法<sup>10)</sup>は、相対的な値である保温率を求める方法として、JISに規定されている冷却法装置、恒温法装置がある。布の一面が大気に暴露された状態での熱移動抵抗の測定である。他にサーモラボ法装置(熱伝導率法)<sup>10)</sup>もあり、絶対的な数値である熱移動抵抗を求める方法で、布の両面がプレートに覆われた状態での熱伝導抵抗の測定である。

## 7. 衣服間空隙の測定

衣服の快適性に関わる空隙量の測定<sup>20)</sup>についての一例を図8に示す。ブラウスはポリエステル100%、綿100%の2種類を試料として製作したものである。シルエットの計測は、ヌードボディとボディにブラウスを着装させた状態で行った。ブラウスはA体型7ARに着装させ、タックインを想定し、ウエスト部分で40mmブラウジングさせウエストベルトで固定した。ブラウスを人台に着装させ、コニカミノルタ製非接触3次元計測入力

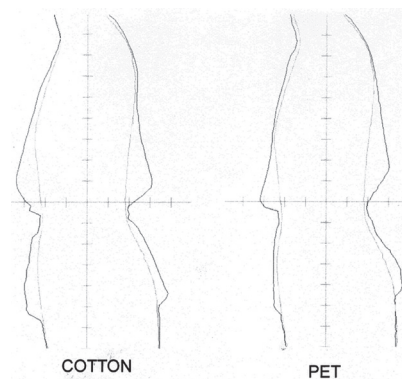


図8 ブラウスのシルエットと空隙

機 VIVID700 を用いて3次元データを計測した。データは、(株)メディックエンジニアリング製の三次元画像解析ソフト「3D - Rugle3」を用いて解析したものである。ブラウスのシルエットとともに人台とブラウスの間にできる空隙の状態を示す。

綿のブラウスのウエスト上部は、空隙が大きいため熱移動抵抗が大きくなると考えられる。胸部、背部は、綿及びポリエステルともに空隙が小さくなっているため、熱移動抵抗が小さくなると考えられる。ポリエステルの方が綿に比べ偏りがあり、空隙が小さくなっているため、熱移動抵抗が小さくなると考えられる。

肩上部から肩甲骨付近では、空隙が0mmに近く、保温性の増大はあまり期待できない。フリル、衿をつけるなどしてこれらの部位の保温性を高めるようなデザインの工夫やスカーフなどで空気層を保持すると保温性が効果的に得られる。

## 8. おわりに

気温の低い冬季には、保温性の高い衣服素材、重ね着、通気抵抗や透湿抵抗が大きい布などによる放熱抑制で対応し、夏季は気温が高く、顕熱移動速度は小さくなるため、発汗による潜熱移動を利用して放熱を促進する必要がある。放熱を促進すると考えられる衣服



の要素として、衣服には大きな開口部、少ない布枚数、小さい衣服間空隙、通気性がよい薄手の布が適する。また、汗で濡れた布は潜熱移動を促進させ、密度が小さい高温・高湿の衣服内空気の流れによる煙突効果、衣服の揺動によるふいご効果も放熱には有効と考えられる。空隙内の気流により熱を排除する方法として、衣服内に小型のファンを設けて強制的に気流を通し、顕熱と潜熱を排除するなどの工夫することも考えられている。

外界の温熱環境条件とは異なる快適な局所気候を形成するように努めることが求められる。

## 引用・参考文献

- 1) 中橋美智子 吉田敬一 「新しい衣服衛生」改訂第2版 南江堂 (2006)
- 2) 日本家政学会被服衛生部会編 「衣服と健康の科学」丸善株式会社 (2003)
- 3) 楊燕 高橋勝六 中山晃 富田明美 「衣服の保温性能評価指標としての人体周囲空気層における熱移動特性」 日本家政学会誌 Vol.59 19 - 28 (2008)
- 4) 丹羽雅子 「アパレル科学 美しく快適な被服を科学する」朝倉書店 (1997)
- 5) 田村照子 「基礎被服衛生学」文化出版局 (1985)
- 6) 弓削治 「朝倉生活科学シリーズ 被服衛生学」朝倉書店 (1969)
- 7) 楊燕 富田明美 高橋勝六 「衣服の保温性能評価指標としての布の熱移動特性」 日本家政学会誌 Vol.59 583 - 593 (2008)
- 8) 中村けい 井上尚子 富田明美 高橋勝六 「布を通した水分移動における物質移動係数と屈曲係数」 日本家政学会誌 Vol.61 287 - 297 (2010)
- 9) 井上尚子 上甲恭平 高橋勝六 「衣服の保温性に関わる布の吸湿に伴う温度上昇の動的解析」 日本家政学会誌 Vol.65 575 - 585 (2014)
- 10) 田村照子「衣環境の科学」建帛社 (2004)
- 11) 島崎恒蔵 團野哲也 林正之 森俊夫 「衣服材料の科学」建帛社 (2000)
- 12) 須田成美 河田敏勝 上甲恭平 井上尚子 高橋勝六 「衣服の保温性のための詰め物による放射熱移動の遮へい性」 日本家政学会誌 Vol.67 14 - 22 (2016)
- 13) 富田明美 楊燕 井上尚子 高橋勝六 「衣服の保温機能における衣服空隙の熱移動抵抗」 日本家政学会誌 Vol.60 3 - 10 (2009)
- 14) 渡辺ミチ 茂木朋子 「熱遮断能から見た衣服の着方－衣服下の空気層の厚さの最適値」 日本家政学会誌 Vol.5 416 - 418 (1954)
- 15) 岩崎房子 丸山康子 笠原さつき 田村照子 「サーマルマネキンによる被服の熱抵抗に関する研究 (第3報)－被服下空気層と熱抵抗の関係－」 文化女子大紀要 Vol.18 22 - 33 (1987)
- 16) 楊燕 高橋勝六 中山晃 富田明美 「衣服の保温性能評価指標としての人体周囲空気層における熱移動特性」 日本家政学会誌 Vol.59 19 - 28 (2008)
- 17) 富田明美 水野早香 井上尚子 中村けい 高橋勝六 「衣服間空隙の熱移動抵抗に及ぼす風速の影響」 日本家政学会誌 Vol.62 13 - 22 (2011)
- 18) 谷田貝麻美子 間瀬清美 「衣生活の科学－健康な衣の環境をめざして－」 アイ・ケイコーポレーション (2006)
- 19) 花田嘉代子「着衣の局所別熱抵抗に関する研究 (第2報)－ワンピースウェアについて－」 繊維製品消費科学会誌 Vol.20 No.8 305 - 310 (1979)
- 20) 村上真知子 今井素恵「三次元計測装置を用いたブラウス着用時の空隙量の計測」 日本家政学会第49回中部支部総会要旨集 16 (2003)

