



|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | 着衣の断熱性能が人体の温熱生理特性に及ぼす影響   |
| Author(s)        | 松島, 潤治; 西村, 聡子; 大西, 晴夫 他  |
| Description      | 第2回衛生工学シンポジウム (平成6年11月10日 (木) -11日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 4 空調・エネルギー . P4-12        |
| Citation         | 衛生工学シンポジウム論文集, 2, 176-180   |
| Issue Date       | 1994-11-01  |
| Doc URL          | <a href="https://hdl.handle.net/2115/7607">https://hdl.handle.net/2115/7607</a> |
| Type             | departmental bulletin paper   |
| File Information | 2-4-12_p176-180.pdf   |



4-12

着衣の断熱性能が人体の温熱生理特性に及ぼす影響

松島潤治 (ダイキン工業)、西村聡子 (ダイキン工業)  
大西晴夫 (ダイキン工業)、持田 徹 (北海道大学)

1. はじめに

住居や事務室などの実在の空調環境には、温熱要素に対する様々な不均一要因あるいは非定常要因が存在し、またその中に在室する人体についても、着衣による被覆部分とそうでない露出部分が存在する。このような実在の環境条件に対しては、PMVあるいはSET\*といった温熱環境指標では、十分評価しきれない状態があることが推測される。以上のような背景の下に、より実在の空調環境およびその中に在室する人体の状態に適した熱的快適性評価を行なうことを目的とした研究の一環で、本報ではまず、着衣量の差が人体の温熱生理特性に及ぼす影響の実測を行ない、またそれらの総和と、全身の平均的な温熱特性を表す、SET\*を導く2-nodeモデルの理論値との比較検討を行なった。

2. 温熱生理特性に関する実験

2.1 被験者・実験装置・測定項目

実験は、表1に示す体格の健康な日本人成人男子を被験者として行なった。被験者の着衣は表2に示すように、ほぼ裸体である状態と夏用カジュアルウェア着用状態の2種類とした。

実験装置は2.5m立方の寸法で、気温・湿度・風速・放射温度の温熱4要素について、均一かつ定常な状態を実現するためのものである。実験室内の平均放射温度が気温と等しくなるよう壁および天井の室内側表面から約8~10cm離れた位置に、厚さ約0.7mmのカーテン状の布を設置し、また床には、精密体重計の表面を含めてカーペットを敷設した。なお実験室内の照明のため、天井中央部に蛍光灯(40W×2本)を設置した。また風速については、ほとんど感じない静穏状態の0.15m/s付近となるように調整した。温湿度制御は、被験者近傍の床上1.1mに設置した温湿度発信器により行なった。

人体側および環境側の測定項目・測定位置を表3に一覧する。人体側については、体重以外の各測定項目の測定位置は、平均皮膚温算出のためHardy-DuBoisの12点測定部位<sup>4)</sup>に従った。なおこの測定にて使用した風速計は無指向性であり、皮膚表面上5mmの位置の風速を測定するものである。環境側については、試験室内代表

表1 被験者の身体データ

| 被験者 | 年齢 | 身長<br>[cm] | 体重<br>[kg] | 体表面積(注)<br>[m <sup>2</sup> ] |
|-----|----|------------|------------|------------------------------|
| A   | 32 | 165        | 48         | 1.52                         |

注) 高比良の式<sup>1)</sup>より算出。

表2 被験者の着衣

| 着衣状態             | 着衣量<br>[clo] | 衣類の種類     | 重量<br>[g] | 総重量<br>[g] |
|------------------|--------------|-----------|-----------|------------|
| ほぼ裸体             | 注1)<br>0.17  | ブリーフ      | 66        | 176        |
|                  |              | トランクス     | 110       |            |
| 男性夏用<br>カジュアルウェア | 注2)<br>0.57  | ブリーフ      | 66        | 1556       |
|                  |              | 半袖アンダーシャツ | 105       |            |
|                  |              | 半袖カッター    | 140       |            |
|                  |              | 長ズボン      | 301       |            |
|                  |              | ベルト       | 77        |            |
|                  |              | ソックス      | 43        |            |
|                  |              | 革靴        | 824       |            |

注1) 花田ら<sup>2)</sup>による

注2) MuCulloughら<sup>3)</sup>による。

表3 測定項目・測定位置

|     | 測定項目         | 測定位置                              |
|-----|--------------|-----------------------------------|
| 人体側 | 温度           | 皮膚表面12点<br>(Hardy-DuBoisによる)      |
|     | 熱流量          |                                   |
|     | 温・湿度         | 皮膚表面近傍12点<br>(Hardy-DuBoisによる)    |
|     | 風速           | 実験中、被験者を積載                        |
|     | 体重量          | 全身・部位(12部位)                       |
|     | 温熱感覚<br>快適感覚 | 全身                                |
| 環境側 | 温度           | 被験者近傍の床上4点<br>(0.1,0.6,1.1,1.7 m) |
|     | 風速           |                                   |
|     | 温度           |                                   |
|     | 湿度           | 被験者近傍の床上1点<br>(室内代表点: 0.6 m)      |
|     | 風速<br>平均放射温度 |                                   |

点における温熱4要素の時間的定常性および室内温度・風速の空間的均一性(上下分布)を、実験開始前および実験中に測定した。その結果として、定常性については約4時間ほぼ一定、また均一性については、上下温度分布が $0.5^{\circ}\text{C}$ 以内、上下風速分布が、床上1.7m(人体に直接影響が無い領域)を除く各点における風速が $0.15\text{m/s}$ 以内となり、環境条件として十分な仕様であることを確認した。

表4 設定条件

|                                    | 着 衣 量              |                    |
|------------------------------------|--------------------|--------------------|
|                                    | 0.17clo            | 0.57clo            |
| 気温 $T_a$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]    | 28.1               | 28.4               |
| 平均放射温 $T_r$ [ $^{\circ}\text{C}$ ] | 28.3               | 28.5               |
| 湿度 R.H. [%]                        | 52.1               | 51.9               |
| 風速 $V$ [ $\text{m/s}$ ]            | 0.16               | 0.15               |
| 作業状態                               | 椅座・読書<br>(1.0 met) | 椅座・読書<br>(1.0 met) |
| SET* [ $^{\circ}\text{C}$ ]        | 25.4               | 27.9               |

## 2.2 実験方法

実験は、1993年10月に着衣量0.17cloの実験を行ない、同年11月に着衣量0.57cloの実験を行なった。設定条件は家庭用空調機についてのJIS規格における冷房能力試験での室内側空気条件( $27^{\circ}\text{CDB}$ ,  $19^{\circ}\text{CWB}$ )<sup>5)</sup>を目標値としたが、被験者の入室により若干の温度上昇があり、最終的に、最終的に表4

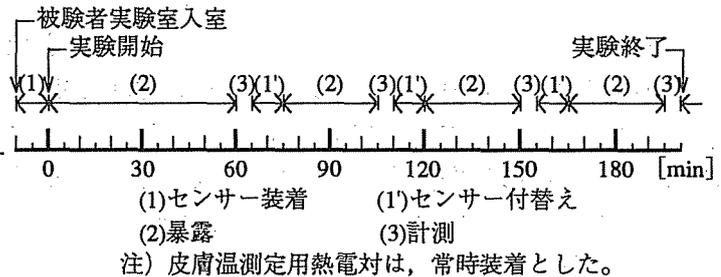


図1 実験のタイムスケジュール

に示す値で行なった。なおこの表中のSET\*は、文献6)に基づき算出した。

被験者は、実験日の1週間前から規則的な生活パターン(12時就寝・7時起床)を維持し体調調整を行なった。実験当日は、昼食摂取約1時間後の13時30分頃に条件設定を施した試験室に入室して各種センサーを装着し実験を開始した。実験のタイムスケジュールを図1に示す。ここで各部位の皮膚温は連続計測し、測定部位の変更から約20分後に、それが変更前の状態に戻ることを確認した。また風速については、センサ自体が発熱部を有するため、その影響が皮膚温に表れないよう、別途測定を行なった。実験回数については、測定値の再現性を確認するため各着衣量条件について3回行ない、そのうち初回を除く実験の習熟度が高い2回の平均値をもって最終的な測定結果とした。

## 3. 部位毎の人体表面から環境への放熱量

定常状態において、人は環境との間で、対流・放射・蒸汗・呼吸の4種類の主な経路を通して熱交換を行なっている。このうち、人体表面からの放熱経路は、対流・放射・蒸汗の3種類である。本論文においては、表3に示すように、皮膚温・熱流量・風速等を人体の各部位毎に実測し、その結果に基づいて、人体の各部位表面から環境への放熱量を求めた。

## 4. 実験結果および考察

### 4.1 皮膚温への影響

着衣量の差が、人体各部位および全身の平均の皮膚温へ及ぼす影響を、図2に示す。前額部を除く人体各部位および全身の平均皮膚温について、着衣量の増加による温度上昇が見られ、この傾向は特に、下腿部・足背部において顕著であった。以下にこの理由について考察する<sup>7),8)</sup>。

着衣量が少ないときは、人体の中核温度を維持するために、皮膚表層の血管収縮・血流量減

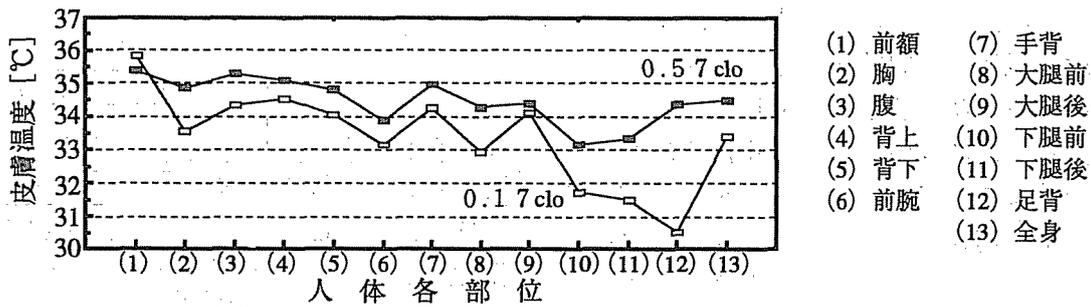


図2 皮膚温に対する着衣量の影響

少が起こり、この部分への熱の移送・伝導が抑制され、皮膚温の低下が起こる。特に四肢については、動静脈間の対向熱交換量が多くなるため、皮膚温の低下は体幹部よりも大きく、本研究では下腿部および足背部において、それが顕著となったと考えられる。

一方、これと代謝量がほぼ等しく着衣量が多いときは、人体の熱平衡状態を維持するために、熱放散を促進する必要が生じる。そのため、皮膚表層の血管拡張・血流量増加が起こり、この部分への熱の移送・伝導が促進され、皮膚温の上昇が起こったと考えられる。特に四肢については、動静脈間の対向熱交換量が少なくなるため、着衣量が少ないときよりもその皮膚温の上昇は顕著となり、前腕部および手背部のように、露出している部位についてもその傾向が表れたと考えられる。

大腿後部については、常時着座部分と接触していたため、着衣量の違いによる影響があまり表われなかったと考えられる。また、全身の平均皮膚温については、着衣量の差に関わらず、おおよそ一般に温熱的に中立とされる範囲内 (33.5~34.5°C<sup>9)</sup>) となった。

#### 4.2 熱流量への影響

着衣量の差が人体各部位および全身の顕熱(対流+放射)放熱量へ及ぼす影響を、図3に示す。この図で、全身の放熱量については、単位表面積(1.0m<sup>2</sup>)あたりのものを示しており、また各部位からの放熱量については、平均皮膚温算出のためのHardy-DuBoisの12点測定部位に対する重み付けを含んでいる。

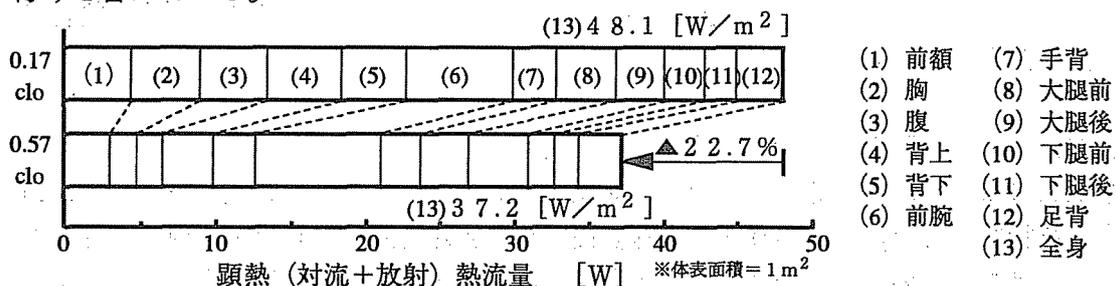


図3 顕熱放熱量に対する着衣量の影響

4.1で述べたとおり、皮膚温の上昇は熱放散を促進し、その低下は熱放散を抑制するための生理反応であるが、本研究では着衣量の増加による断熱性向上の影響が大きく、着衣量が多く皮膚温が高いときのほうが、着衣量が少なく皮膚温が低いときよりも、熱放散の顕熱分は全身で約20%減少する結果となった。

部位毎にみると、着衣量が多い場合の被覆部については、常時着座部分と接触していた大腿後部以外の顕熱放熱量が、着衣の熱抵抗の影響を受けて減少しており、特に下着・上着の重ね着および衣服内の空気層厚さの影響でその熱抵抗が大きいと考えられる、上半身の胸部・腹部

においてその減少が顕著であった。

一方、着衣量が多い場合の露出部については、前腕部において顕熱放熱量の増加が認められた。同様に露出していた部位で前額部および手背部については、顕熱放熱量の増加が見られなかったが、前額部については前髪の影響が、また手背部については測定時のこれの向きの影響があったのではないかと考えられる。またこのとき、全身の顕熱放熱量に占める露出部すなわち前額部・前腕部・手背部の顕熱放熱量の合計の割合は、着衣量0.17cloでの30.5%から着衣量0.57cloでの37.6%へと、増加する結果となった。

#### 4.3 衣服内温・湿度への影響

着衣量の差が衣服内の人体各部位の温・湿度へ及ぼす影響を、図4に示す。

衣服内温度については皮膚温度とほぼ同様の傾向が見られた。着衣量が多い場合においても露出していた前腕部および手背部では、4.1で示した着衣量の増加による皮膚温上昇の影響を受けたものと考えられる。

衣服内湿度については、人体各部位において、着衣量の増加による絶対湿度の上昇が見られた。これは、着衣量が多いときに若干の調節発汗が生じたと推測されること、および着衣による被覆部については、衣服と空気層から成る透湿抵抗と蒸気容量を持つ層が形成されたこと、によるものと考えられる。特に胸部・腹部においては、4.2で述べたように、下着・上着の重ね着や衣服内の空気層厚さの影響で、また足背部においては、革靴を着用した影響で、その透湿抵抗および蒸気容量が他の部位より大きくなり、絶対湿度の上昇が顕著となったと考えられる。

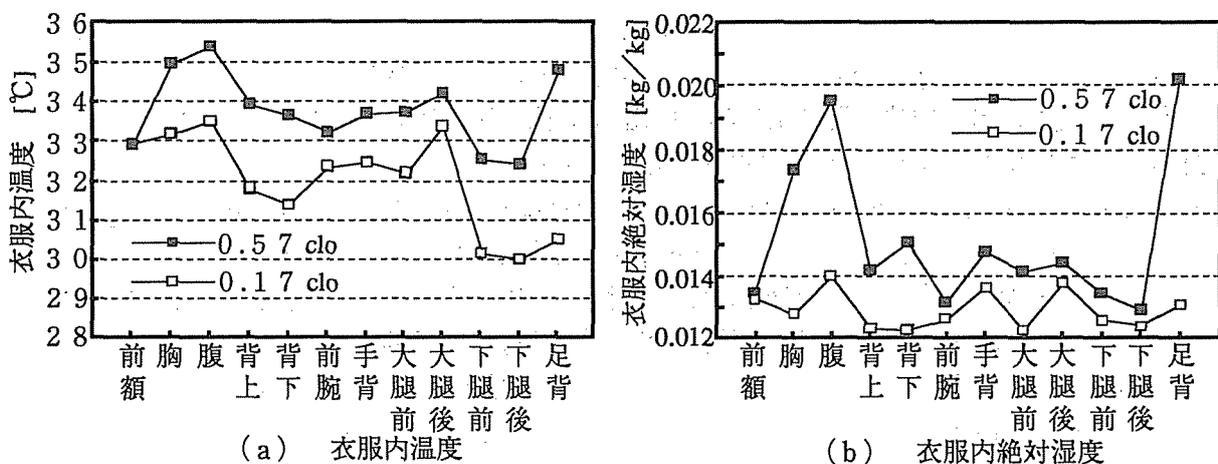


図4 衣服内温・湿度に対する着衣量の影響

#### 4.4 2-nodeモデルとの比較

着衣量の差が全身の平均皮膚温および顕熱放熱量へ及ぼす影響を、実験値とSET\*を導く2-nodeモデルによる理論値とを比較して図5に示す。ただし理論値の計算は、被験者の代謝量を椅座時の平均値58W/m<sup>2</sup>、すなわち1metとし、文献6)に基づいて行なった。平均皮膚温および顕熱放熱量ともに、実験値と理論値は定性的に比較的良い一致を示した。しかし定量的には若干の違いがあり、特に顕熱放熱量については実験値の方が計算値より約30%高い値を示した。これらの差については、被験者数を増やした実験を継続することにより、今後検討してゆく予定である。

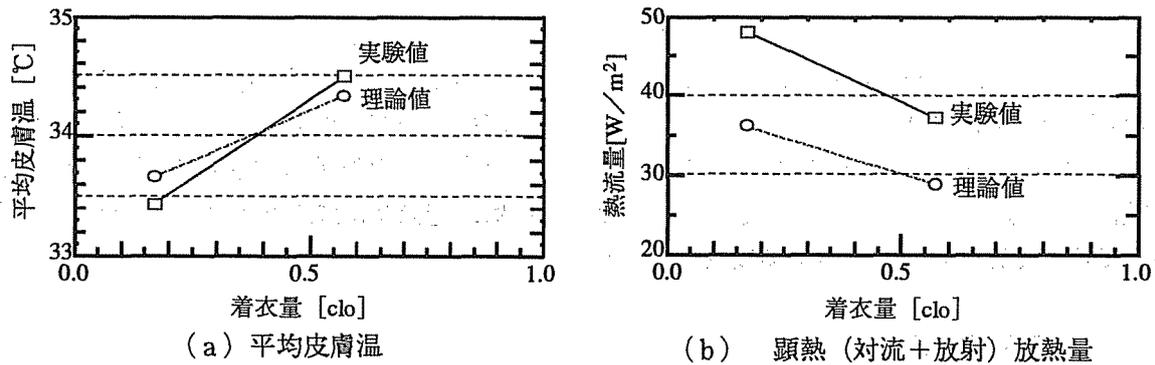


図5 理論値と実験値の比較

## 5. おわりに

以上本報では、着衣量の差が人体の放熱特性に及ぼす影響の実測および、それらの総和と、SET\*を導く2-nodeモデルの理論値との比較検討を行なった。

今後は、本研究で得られた結果を基に、省エネルギー性も考慮した上で、より実在の空調環境および人体の状態に適した熱的快適性の評価を行なってゆく予定である。

## 【参考文献】

- 1) 佐々木隆：エネルギー代謝，温熱生理学，中山昭雄編，理工学社，p.73/95，1981
- 2) 花田嘉代子・三平和雄ほか：男性用下着類の熱抵抗の計測に関する研究，繊維製品消費科学会誌，24-8，p.31/37，1983
- 3) E.A.McCullough, B.W.Jones and T.Tamura：A Data Base for Determining the Evaporative Resistance of Clothing, ASHRAE Trans., 95-2, p.316/327, 1989
- 4) 佐々木隆：体温測定法，温熱生理学，中山昭雄編，理工学社，p.24/32，1981
- 5) ルームエアコンディショナ，JIS C 9612-1989，p.38
- 6) A.P.Gagge, A.P.Fobelets and L.G.Berglund：A Standard Predictive Index of Human Response to the Thermal Environment, ASHRAE Trans., 92-2B, p.709/731, 1986
- 7) 佐々木隆・大原孝吉：体温の分布，温熱生理学，中山昭雄編，理工学社，p.7/17，1981
- 8) R.N.ハーディ著・佐々木隆訳：熱放散，温度と動物，朝倉書店，p.34/42，1980
- 9) 磯田憲正ら：風洞内気流と人体皮膚温との関係に関する実験的研究（着衣）—中間期・暖房期および冷房期の場合，日本建築学会論文報告集第229号，p.121/128，1975