



Title	暖房標準環境における人体部位別温熱生理特性の計測・評価
Author(s)	松島, 潤治; 西村, 聡子; 持田, 徹
Description	第3回衛生工学シンポジウム (平成7年11月9日 (木) -10日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 2 測定・評価 . P2-7
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 3, 122-125
Issue Date	1995-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7895
Type	departmental bulletin paper
File Information	3-2-7_p122-125.pdf



2-7

暖房標準環境における人体部位別温熱生理特性の計測・評価

松島潤治（ダイキン工業）、西村聡子（ダイキン工業）、持田 徹（北海道大学）

1. はじめに

昨今、住居や事務室などの空調環境について、高度な快適性あるいは健康性が求められており、在室者各人の個人差を考慮した空調の重要性が増しつつある。このような背景のもと、本報では暖房標準環境における人体の部位別温熱生理特性を、9名の被験者について実測し、その平均的特性および個人差を明らかにした。また、これらの値を、全身の平均的な体温調節モデルである2-nodeモデルと比較検討したので、報告する。

2. 部位別温熱特性に関する実験

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9名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、冬用ビジネススーツ着用状態とした。

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、皮膚温・熱流量の測定位置は、平均皮膚温算出のためHardy-DuBoisの12点測定部位3)に従った。環境側については、試験室内代表点における

表1 被験者の身体データ

被験者	年齢	身長 [cm]	体重 [kg]	体表面積注) [m ²]
KO	24	168	61	1.71
AK	25	170	59	1.70
YK	31	176	67	1.84
SS	29	165	58	1.65
YS	30	170	66	1.78
ST	34	163	56	1.61
KN	26	180	70	1.90
TY	26	178	70	1.89
KY	28	177	71	1.89

注) 高比良の式¹⁾より算出。

表2 被験者の着衣

着衣状態	着衣量 [clo]	衣類の種類
男性冬用 ビジネススーツ	注) 1.0	ブリーフ
		半袖アンダーシャツ
		長袖カッター
		スーツ
		長ズボン
		ベルト
		ソックス
		革靴
		ネクタイ

注) MuCulloughら²⁾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
	熱流量	(Hardy-DuBoisによる)
	温・湿度	皮膚表面近傍3点 (腹部・背部・大腿前)
	体重	実験中、被験者を積載
	温熱感覚	全身・部位(12部位)
	快適感覚	全身
環境側	温度	被験者近傍の床上4点 (0.1,0.6,1.1,1.7 m)
	風速	
	湿度	
	風速	被験者近傍の床上1点 (室内代表点: 0.6 m)
	平均放射温度	

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℃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ほぼ0.15m/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。

2.2 実験方法

実験は、1994年2月から3月にかけて行なった。設定条件は、ASHRAE STANDARD 55-1992における冬期快適域のほぼ中央となるよう設定した。各被験者毎の実験条件を表4に示す。なおこの表中のSET*は、文献4)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)をできる限り維持し、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。環境への暴露時間を1時間とし、1時間経過後の5分間の測定値の平均値を測定結果とした。

表4 実験条件

	被験者									平均値
	YS	SS	AK	TY	ST	KY	KO	YK	KN	
室温 [℃]	23.0	22.7	23.6	23.2	23.1	23.2	22.8	23.0	23.0	23.1
平均放射温度 [℃]	23.1	22.9	23.8	23.4	23.2	23.3	22.9	23.1	23.1	23.2
相対湿度 [%]	52.8	51.6	52.5	53.5	53.1	53.3	52.6	52.3	52.2	52.7
風速 [m/s]	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.12	0.13	0.16	0.16	0.13
作業状態	椅座・読書									椅座・読書
活動量 [met]	1.0									1.0
SET* [℃]	25.1	24.8	25.6	25.3	25.2	25.2	24.9	24.8	24.9	25.1

3. 実験結果および考察

3.1 皮膚温の部位別分布

部位別の皮膚温分布を図1に示す。

この図から、熱的にほぼ中立と言われる温熱環境における人体の部位毎の皮膚温度分布状態が、ほぼ上半身体幹部・上半身抹消部・下半身抹消部の順に低くなっていることが、分かる。ここで、大腿後部については着座部の影響、また足背部については革靴の影響による皮膚温の上昇が見られた。

各部位毎の皮膚温度の個人差による偏差は、上半身体幹部で小さく、下半身末梢部に至るほど大きくなることが分かる。これは、抹消部から始まる血管の拡大・収縮による体温調節に、大きな個人差が存在することを示している。また上半身の体幹部については、今回の設定条件では、血管の拡大・収縮による体温調節が作用していないこと、またこの部位は、着衣による断熱性が良く、皮膚表面上に安定した温熱環境が形成され易いこと等の理由により皮膚温度の個人差による偏差が小さくなっていると考えられる。全身の平均皮膚温については、各部位における皮膚温の個人差による偏差が吸収され、また2-nodeモデルによる計算値ともほぼ等しい結果となった。

3.2 熱流量の部位別分布

部位別の顕熱流量分布を図2に示す。

熱流量の分布については、各部位毎に個人差による偏差は非常に大きく、一般的な傾向は正確には見られなかったが、特に上半身体幹部の胸部・腹部での熱流量の偏差が、他の部位に比べて小さく、皮膚表面上に安定した温熱環境を形成するという、着衣による断熱効果が現われていると考えられる。また全身の平均熱流量については皮膚温の場合と同様に、各部位における熱流量の個人差による偏差が吸収される結果となった。

各被験者の熱平衡状態は、代謝量と放熱量の熱収支により規定され、これには人体組織の熱容量や着衣による断熱状態および人体の体温調節機能が影響している。特に今回の実験のように調節発汗が起らない環境では、各人の熱平衡状態は、体温調節機能の個人差を反映して、最終的に皮膚温度分布に現れていると考えられる。

なお本研究における設定条件は、熱的に中立とされる $SET^*=25^{\circ}C$ 付近で行ったが、厳密に言うと、表4に示すように、 $SET^*=24.8\sim 25.6^{\circ}C$ の範囲であった。この設定条件のばらつきによる皮膚温度・熱流量への影響については、2-nodeモデルで検討した結果、皮膚温度については $0.04^{\circ}C$ 、熱流量については $3.25W/m^2$ となり、ほとんど影響ないと判断した。

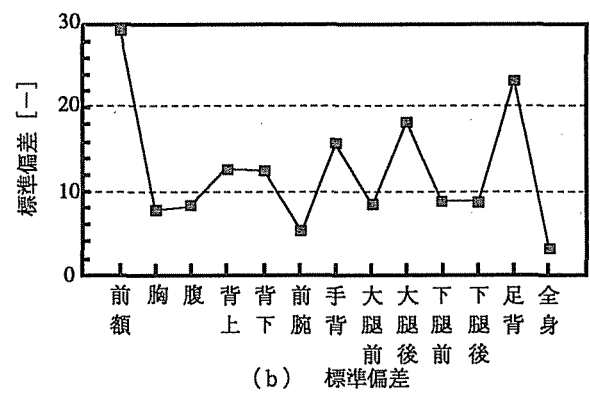
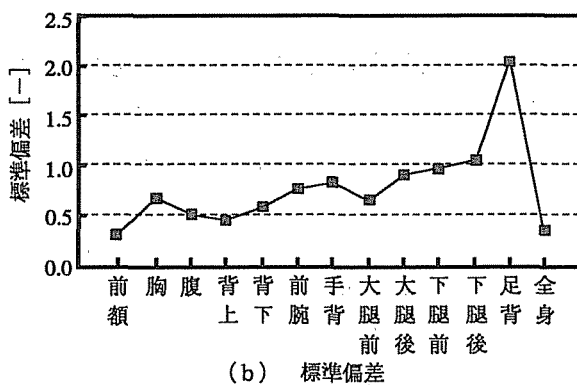
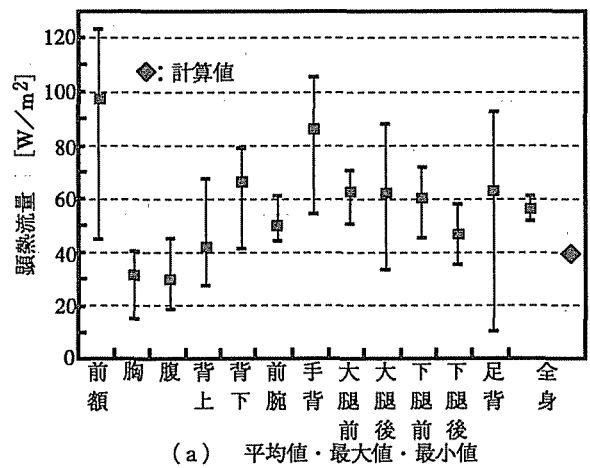
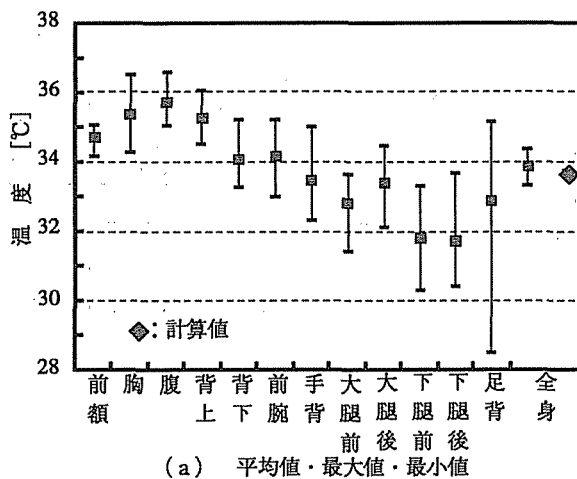


図1 部位別皮膚温度分布

図2 部位別顕熱流量分布

3.3 衣服内温度・湿度状態

衣服内の空気は人体の皮膚表面に直接接触しているため、その温度・湿度の状態が、人間の温熱感覚に及ぼす影響は非常に大きいと考えられる。

そこで今回の研究では、表3に示すように、腹部・背部・大腿前部の3点について衣服内温

表5 衣服内温度・湿度

(a) 衣服内温度と平均皮膚温

	腹部	背部	大腿前部
衣服内温度 (実測値) [°C]	34.84	34.09	31.64
平均皮膚温 (計算値) [°C]	33.66		
温度差 [°C]	1.18	0.43	-2.02

(b) 衣服内相対湿度と皮膚表面平均相対湿度

	腹部	背部	大腿前部
衣服内相対湿度 (実測値) [%]	35.18	32.31	34.03
皮膚表面平均相対湿度 (計算値) [%]	32.76		
相対湿度差 [%]	2.42	-0.45	1.27

(c) 衣服内絶対湿度と皮膚表面平均絶対湿度

	腹部	背部	大腿前部
衣服内絶対湿度 (実測値) [g/kg]	12.33	10.79	9.88
皮膚表面平均絶対湿度 (計算値) [g/kg]	10.68		
絶対湿度差 [g/kg]	1.65	0.11	-0.80

(d) 衣服内水蒸気分圧と皮膚表面平均水蒸気分圧

	腹部	背部	大腿前部
衣服内水蒸気分圧 (実測値) [kPa]	1.97	1.72	1.58
皮膚表面平均水蒸気分圧 (計算値) [kPa]	1.71		
水蒸気分圧差 [kPa]	0.26	0.01	-0.13

度・湿度を実測し、またこれらの値と、2-nodeモデルによる計算値との比較検討を試みた。

衣服内温度・湿度の被験者全員についての平均値と2-nodeモデルによる計算値および両者の差を整理して、表5に示す。

これらの結果から、2-nodeモデルによる全身の皮膚表面の温度・湿度状態は、背部の衣服内の温度・湿度状態と比較的近い値を示すことが分かる。

これらの結果を用いることにより、着衣状態の人体の熱的快適性に及ぼす影響が大きいと考えられる衣服内温度・湿度状態を、2-nodeモデルにより比較的簡易に予測できるのではないかと考えられる。

ただし今回の研究では、設定条件として調節発汗のない環境を選定しており、これが発生する暑熱環境については、別途検討する必要がある。

4. おわりに

以上、本報では、暖房標準環境における人体の部位別温熱生理特性を、9名の被験者について実測し、その平均的特性および個人差を明らかにした。また、これらの値を、全身の平均的な体温調節モデルである2-nodeモデルと比較検討した。

今後は、本研究で得られた結果を基に、快適性と省エネルギー性を両立しうる空調システムの開発の加速を図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）（1981），p.73，理工学社
- 2) E.A.McCullough, B.W.Jones and T.Tamura：A Data Base for Determining the Evaporative Resistance of Clothing, ASHRAE Trans., 95-2(1989), p.316/328
- 3) 佐々木隆：体温測定法，温熱生理学（中山昭雄 編）（1981），p.24，理工学社
- 4) 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 (1986), p.709/726