

椅座時の温熱性発汗、人体平均皮温、湿度感に関する基礎実験

著者	松尾 朋浩, 朝比奈 亮, 浜田 博之, 山越 健弘, 窪田 英樹
雑誌名	学術講演梗概集. D-2, 環境工学II, 熱, 湿気, 温熱感, 自然エネルギー, 気流・換気・排煙, 数値流体, 空気清浄, 暖冷房・空調, 熱源設備, 設備応用 = Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan. D-2, Environmental engineering II, Heat, moisture, thermal comfort, natural energy, air flow, ventilation, smoke exhaustion, computational fluid dynamics, indoor air quality heating, cooling and air-conditioning heat and cold sources, piping systems application of building services
巻	1999
ページ	327-328
発行年	1999-07-30
URL	http://hdl.handle.net/2297/14357

椅座時の温熱性発汗、人体平均皮膚温、湿度感に関する基礎実験

正会員○松尾朋浩*2

同 朝比奈亮*1

同 浜田博之*1

同 山越健弘*1

同 窪田英樹*3

発汗、平均皮膚温、湿度感

1. はじめに

30年前に発表された二つの温熱環境指標、PMVとSET*は今も広く使用されている。しかし、いずれも日本とは異なる気候風土の下で発想されただけに、例えば、日本では欠かすことのできない湿度環境評価には、必ずしも十分とは言えない。PMVは全身温感指標であり、Gagge らのTwo-Node-Modelを基にした不快感の指標でもある濡れ率も、「湿度感」とのかかわりは、不明である。

本論文では、まず、被験者実験を行い、その結果得た湿度が密接にかかわる温熱性発汗と平均皮膚表面温度との関係を示す。ついで、この結果を、既に提示した平均皮膚予測式に適用することにより皮膚表面の相対湿度を予測し、湿度感が皮膚表面の相対湿度の関数であることを今回の被験者実験で再確認し、その関係式も提示している。

2. 実験概要

実験1:1998年11月、恒温恒湿室において暑熱実験を行った。実験条件を表-1に示す。被験者は男子学生6名、着衣はトランクスのみで約0clo、実験時間は、中立室温の準備室で1時間滞在後、実験室へ移動して180分の測定を行う。皮膚温の測定(サーミスタ温度計を使用)は実験室、準備室を通して5分間隔で記録、体重測定(A&D HP-100K)は実験室のみで、測定間隔は15分である。その他、15分間隔で被験者に全身温感、湿度感を申告させた。なお、皮膚温の測定・平均皮膚温の計算にはHardy-DuBoisの7点法を用いた。実験2:1994年10月(80%)、1996年11月(50%)。被験者は男子学生6名、着衣条件は半袖Tシャツ、ショートパンツの0.3cloである。実験時間は中立室温の準備室が30分間、実験室30分間である^{1,5)}。皮膚温・体重など生理量の測定は行っていないことを除いて、測定環境要素と申告項目は実験1と同様である。

表-1 実験室の設定条件

流速 [m/s]	気温[℃]						
	28	30	31	32	33	34	36
0.1	○△●▲	○		△▲●		○△●▲	
0.3		△	○△		○△		○
0.6		△	○△		○△		○
1.2			○△		○△		○
1.8			△		△		○△

●: RH50% 0clo, ▲: RH70% 0clo(気温30℃のみRH80%)
○: RH50% 0.3clo, △: RH80% 0.3clo

3. 温熱性発汗密度 m_{swt} [g/hm²]の算定方法

発汗密度の計算方法を示す。

$$m_{mass} = m_{res} + m_{dir} + m_{swt} \quad [g/h \cdot m^2]$$

$$= m_{res} + (1 - w_{sw})k_{ndir}(p_{sk} - p_a) + m_{swt}$$

$$= m_{res} + [1 - m_{swt}/(k_{nmax}(p_{sk} - p_a))]k_{ndir}(p_{sk} - p_a) + m_{swt}$$

$$(1 - k_{ndir}/k_{nmax})m_{swt} = m_{mass} - m_{res} - k_{ndir}(p_{sk} - p_a)$$

$$m_{swt} = \{m_{mass} - m_{res} - k_{ndir}(p_{sk} - p_a)\} / (1 - k_{ndir}/k_{nmax}) \quad \dots (1)$$

m_{mass} : 体重減少密度 [g/h·m²]

m_{res} : 呼吸による体重減少密度 [g/h·m²]

m_{dir} : 拡散蒸散による体重減少密度 [g/h·m²]

m_{swt} : 温熱性発汗密度 [g/h·m²]

p_{sk} : 皮膚表面温度の飽和水蒸気圧 [kPa]

p_a : 空気の水蒸気圧 [kPa]

w_{sw} : (= E_{sw}/E_{max}) 発汗による濡れ率 [-]

k_{ndir} : (= k_{nr}/λ) 拡散蒸散係数 [g/h·m²·kPa]

k_{nmax} : (= k_{nmax}/λ) [g/h·m²·kPa]

4. 実験結果

a. 発汗量

実験データの分析には、被験者6名の平均値を用いる。図-1は、測定項目の経時変化の典型的な例である。実験開始60分以降はほぼ一定の値を示している。以後、それぞれの実験条件を代表する値として実験開始後60~180分の平均値を使用する。

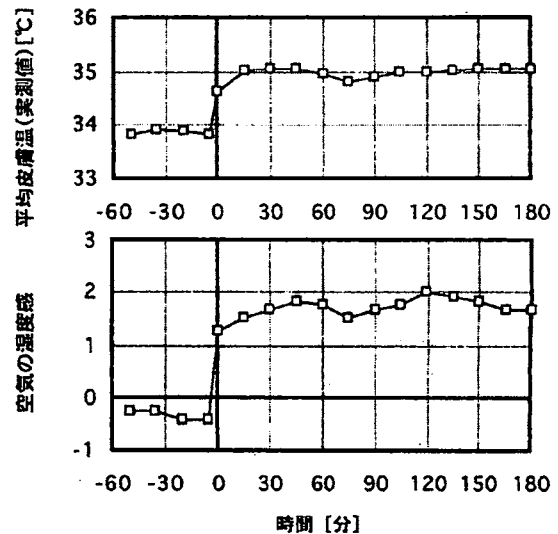


図-1 主な測定値・申告項目の経時変化(33℃,70%)

Experimental studies on sweat rate, mean skin temperature and air humidity sensation

MATSUO Tomohiro, KUBOTA Hideki, ASAHINA Ryo, HAMADA Hiroyuki and YAMAKOSHI Takehiro

実験から得られたデータをもとに式(1)を用いて実験条件ごとの発汗密度を特定する。図-2に平均皮膚温と発汗密度を示す。図中のプロット○と●は今回の実験結果で、○は被験者ごと、●は被験者6名の実験条件ごとの平均値である。その他のプロットは既存の実験結果⁶⁻¹¹⁾を示したものである。同図より平均皮膚温と発汗密度がほぼ一次比例することが読み取れる。次式は今回の被験者6名の平均値から得られた回帰式である。

$$m_{swr} = 42.7 (t_{sk} - 33.8) \quad [g/h \cdot m^2] \quad \dots(2)$$

温熱性発汗係数: 42.7 $[g/h \cdot m^2 \cdot K]$
 温熱性発汗開始皮膚温: 33.8 $[^{\circ}C]$

次に上で得られた発汗特性式(2)を用いて平均皮膚温を理論的に求める。図-3は理論値と実験値の60~180分の平均値を比較したものである。平均皮膚温モデル¹²⁾が実験結果を良く表していることが分かる。

b. 空気の湿度感と皮膚表面の相対湿度 $RH_{sk} [-]$

皮膚表面の空気の相対湿度 RH_{sk} は次式で表される。

$$RH_{sk} = w + (1 - w) p_{sk} / p_{atm} \quad [-] \quad \dots(3)$$

w : $(= w_{dir} + w_{sw})$ 濡れ率 $[-]$
 w_{dir} : 拡散蒸散による濡れ率 $[-]$
 w_{sw} : 発汗による濡れ率 $[-]$

図-4は空気の湿度感と RH_{sk} の関係である。図中のプロットは被験者6名の実験条件ごとの平均値である。 RH_{sk} 、濡れ率 w 算出に必要な平均皮膚表面温度は、実験1の場合は皮膚温の実測値を、実験2では皮膚温の計測を行っていないため平均皮膚温モデル¹²⁾を用いて理論的に予測した値を用いた。どのグループもほぼ同一直線上に並ぶことがわかる。次に回帰式を示す。

$$AHS = 5.6 (RH_{sk} - 0.42) \quad [-] \quad \dots(4)$$

AHS: 空気の湿度感 (Air Humidity Sensation)

5. まとめ

被験者実験 (男性6名) により発汗密度を皮膚温の一次式で表した。

$$m_{swr} = 42.7 (t_{sk} - 33.8) \quad [g/h \cdot m^2]$$

温熱性発汗係数: 42.7 $[g/h \cdot m^2 \cdot K]$
 温熱性発汗開始皮膚温: 33.8 $[^{\circ}C]$

皮膚表面の相対湿度と空気の湿度感の関係式を示した。

$$AHS = 5.6 (RH_{sk} - 0.42) \quad [-]$$

AHS: 空気の湿度感 (Air Humidity Sensation)

参考文献

1) 窪田英樹 (1995. 8) : 平均皮膚温に着目した体温調節モデル, 日本建築学会大会学術講演要録集, 785-786.
 2) 窪田英樹, 伊地知健, 堀井康司, 松尾朋浩 (1996. 3) : 人体平均皮膚表面温度に着目した温熱環境評価, 空気調和・衛生工学北海道支部第30回学術講演要録文集, 57-60.
 3) L. G. Berglund, D. J. Cunningham (1986) : Parameters of humid discomfort in warm environments, ASHRAE Transactions Vol. 92, Part 2B: 732-746.
 4) 窪田英樹, 竹内崇, 松尾朋浩, 堀井康司, 鎌田紀彦 (1997. 9) : 夏期室内暑熱環境の評価(1)(快・不快感と温感, 発汗感, 湿度感, 気流感との関係), 日本建築学会大会学術講演要録集(関東).
 5) 松尾朋浩, 窪田英樹, 竹内崇, 堀井康司, 鎌田紀彦 (1997. 9) : 夏期室内暑熱環境の

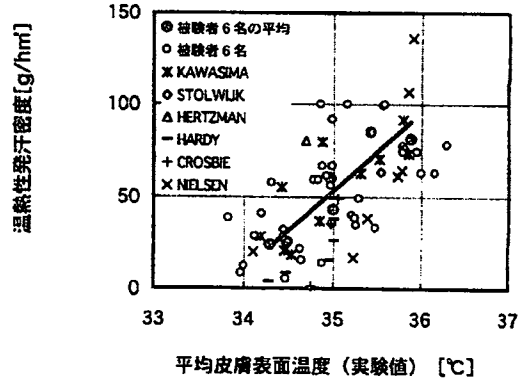


図-2 平均皮膚表面温度と温熱性発汗密度の関係

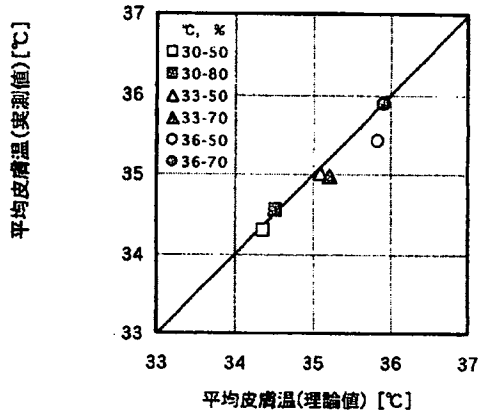


図-3 平均皮膚温: 理論値と実測値(60~180分の平均)

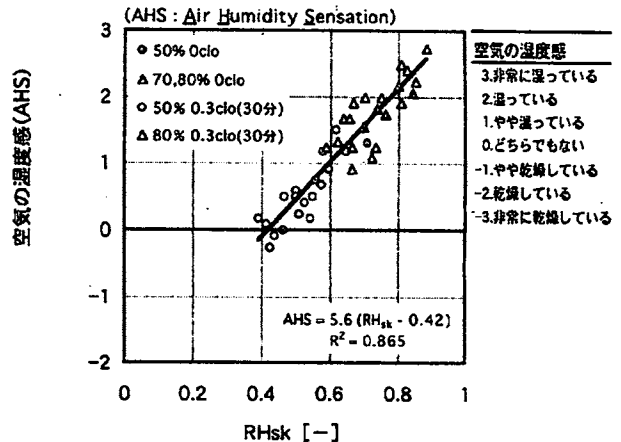


図-4 皮膚表面の相対湿度(RH_{sk})と空気の湿度感

評価(2)(空気の湿度感に関する一考察).
 6) 川島英樹: 人間熱環境系編集委員会編: 「人間・熱環境系」, p.44-46, 日刊工業新聞社, 1989.
 7) Stolwijk, J.A.J., Hardy, J.D.: Partial calorimetric studies of response of man to thermal transients, J. Appl. Physiol. Vol.21, No.3, pp.967-977, 1966.
 8) Hertzman, A.B., Randall, W.C., Peiss, C.N., Seckendorf, R.: Regional rates of evaporation from the skin at various environmental temperatures, J. Appl. Physiol., Vol.5, No.4, pp.153-161, 1952.
 9) James, D., Hardy, J.D., et al.: Differences between men and women in their response to heat and cold, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 26: pp.389-398, 1940.
 10) Crosbie, R.J., Hardy, J.D., et al.: Fessenden: Electrical analog simulation of temperature regulation in man, in 「temperature: its measurement and control in science and industry」, Vol.3: pp.627-675, New York, 1958.
 11) Nielsen, B.: thermal regulation in rest and exercise, Acta Physiologica Scandinavia Supplementum 323, 1969.

*1 室蘭工業大学大学院修士課程 Graduate Student. Muroran Inst. of Tech.
 *2 室蘭工業大学大学院博士課程 工学 Graduate Student. Muroran Inst. of Tech. M. Eng.
 *3 室蘭工業大学工学部建設システム工学科 教授・工博 Prof., Dept. of Civil Eng. & Architecture, Muroran Ins. of Tech., Dr. Eng.