

The Tenth Symposium on Man-Thermal Environment System(Tokyo 1986)

PRESENTATION 45

FUNDAMENTAL STUDIES ON THERMAL COMFORT

Estimation of Radiant or Non-uniformity Environment

Yoshiki MITSUMINE, Motoyasu KAMATA, Yoshitaka CHIDA

University of Tokyo

Akihiro SHIMIZU

Takasago Thermal Engineering Co, ltd

Yuusuke KANAYAMA

Nihon Steel Co, ltd

Kazuaki BOHGAKI

Building Research Institute, Ministry of Construction

There are many thermal environmental conditions, such as the asymmetrical radiant field and the vertical temperature profile, for which it is difficult to predict the effects on human body. The purpose of these studies is to find thermal comfort limits of the human body under such conditions. Three types of experiments were carried out. The first experiment was carried out in order to compare the effect of air temperature (T_a) and mean radiant temperature (MRT) on thermal sensation. The second experiment was carried out in order to find the comfort limit of the difference between MRT on the right and MRT on the left. The third experiment was carried out in order to find the comfort limit corresponding to the vertical temperature profile. In each experiment series, 8 subjects were used; all of whom were college-age men and women. All exposure tests were conducted in a test chamber where T_a , 6 wall surfaces temperatures, air velocity and humidity were independently controlled. The exposure time was 90 minutes. Skin temperature, thermal sensation and comfort sensation were measured in order to find the effect on the subjects. The results were as follows.

- 1) The effect of T_a on thermal sensation was about three times that of MRT.
- 2) The comfort limit of the difference between right MRT and left MRT on the asymmetrical radiant field was about 10°C .
- 3) The minimum acceptable vertical temperature profile (height vs. T_a) was found to be 18°C at 15cm.
- 4) The unsteady state thermal sensation was found to be proportional to the heat balance equation on T_a with heat storage assumed equal to 0 and T_a equal to MRT.

研究発表 45

温熱感覚に関する基礎的研究

—— 輻射環境並びに不均一環境の評価 ——

東京大学 ○三ッ峰 吉樹 鎌田 元康 千田 善孝
高砂熱学工業 清水 昭浩 新日鉄 金山 祐介
建設省建築研究所 坊垣 和明

■ 緒言

人間の温熱感覚に作用する環境側の物理的因子には、気温、湿度、気流そして平均輻射温度がある。この最後の平均輻射温度は気温とほぼ等しい体感効果を持つことが従来より言われているものの、日本人の体格や体感を考慮にいれた報告例は少ない。本研究目的の1つはこの平均輻射温度と気温の体感効果の比を求めることである。

現実の居住空間(住宅)では、気密性や断熱性が十分でなかったり、冷暖房の立ち上がり時等が原因で、上下温度分布が生じたり、窓面からの不均一輻射の存在によって人体の快適感が損なわれることが少なくない。しかも、これらの不均一環境は、従来用いられてきたPMV, SET等の均一環境を想定して作られた指標で評価することは不可能である。従って、不均一環境をも評価する基準、あるいは指標を作ることも研究目的のうちの1つであり、最終的には、統計的手法等を用い、より現実に即した温熱感覚に対する指標の確立を試みる。

■ 均一輻射実験

実験概要

期日は85.7.25-8.10、場所は建築研究所内の試作温熱実験室である。気温 T_a は22から34℃、平均輻射温度MRTは22から36℃、風速は0.1-0.2m/s、相対湿度約50%であった。健康な青年男女各2名であり、着衣形態は、通常夏期着衣、裸体の2通りで行った。表1に被験者のデータを示す。人体側の測定項目としては、皮膚温(7点)、着衣表面温(5点)、舌下温、体重減少量、並びに表2に示すようなカテゴリスケールにのった温熱感申告である。物理量の測定項目は、気温、壁面温、グローブ温度、風速、湿度である。実験時間は、養生時間30分(気温26℃、相対湿度50%一定)、測定時間90分の計2時間であった。以下の解析は実験の最後のデータを用いて行った。

実験結果並びに考察

輻射の人体に与える影響^(注)

まず、図1に作用温度OTと全身温冷感申告TSVとの関係を示す。同一OTでも気温 T_a と平均輻射温MRTの大小関係によりTSVの値が異なる。そこでTSVが T_a 、MRTに対して線形関係であるものと仮定し次式を用いて重回帰分析を行った。

$$TSV = a \cdot T_a + b \cdot MRT + k \quad K: \text{定数項}$$

a/b は従来言われている1.0前後という値に比べ大きな値を示す(表3参照。参考のため、測定機材等の非制御物の影響を除去するため、放射収支計から算出した値を用いた場合及びTSVのかわりに寒暑感申告HSVを用いた場合を表6の②、③に示した)。ここで実験中、各被

Table 1 Data of subjects

subject no.	sex	height (cm)	weight (kg)	surface area(m ²)	M (W/m ²)
S01	male	189	65	1.70	65.8
S02		163	51	1.49	66.9
S21	female	151	42	1.30	60.5
S22		156	48	1.41	56.4

Table 2 Category scale of subjective vote

Thermal sensation	Comfort sensation	HSV by SD methods
1 very hot	1 comfortable	1 very hot
2 hot	2 slightly uncomfortable	2 hot
3 warm	3 uncomfortable	3 slightly hot
4 slightly warm	4 very uncomfortable	4 neutral
5 neutral	Radiation vote	5 slightly cold
6 slightly cool		6 cold
7 cool	1 none 2 feel a bit 3 feel 4 extremely feel	7 very hot
8 cold		
9 very cold		

Table 3 Result of multiple regression

Dependent variable	Sex, clothed condition	Coefficiance a	Coefficiance b	Constant k	
①TSV	male clothed	-0.34	-0.12	17.3	used MRT
	male nude	-0.41	-0.13	20.2	
	female clothed	-0.32	-0.12	16.3	
	female nude	-0.42	-0.12	19.6	
②TSV	male clothed	-0.30	-0.14	16.9	used Tv
③HSV	male clothed	-0.19	-0.11	11.9	

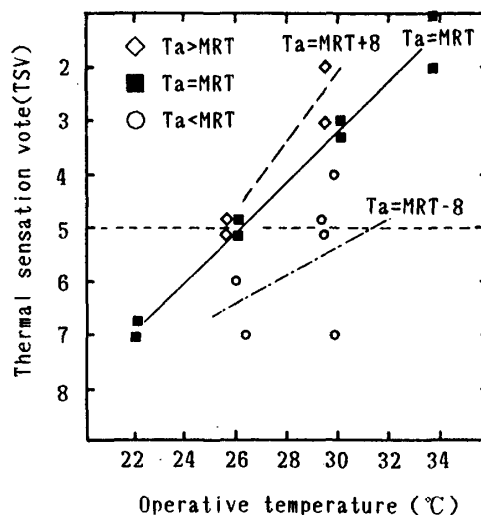


Fig 1. The relation between OT and TSV

Table 4 The relation between ΔT and hc

ΔT (°C)	0.0~3.0	3.0~5.0	5.0~7.0	7.0~
hc by Author	2.78	4.69	4.99	5.46
hc by Gagge	3.3 (W/°C)			

験者の代謝量が一定であったとみなすと (表1の代謝量の項参照)、対流熱伝達率 hc は次式により計算できる。

$$hc = (M - R - E) / (T_{cl} - T_a)$$

但し M は、差温 ΔT の小さい環境にて $hc = 3.3 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

で算出。 $\Delta T = T_{cl} - T_a$ (°C) M :代謝量 T_{cl} :着衣表面温

E :蒸発による熱損失 R :輻射による熱損失(W/m²)

表4に最終的に求めた対流熱伝達率を示す。差温 ΔT が大きくなるにつれて Gaggeの値から大きくずれる結果が得られた。筆者らは、以前より気温の体感効果が輻射の体感効果より大きくなるという結果を得ているが、実験が低風速領域下で行ったものであることを考えると、自然対流の影響がかなり大きかった実験であったと推察される。

■ 不均一輻射の体感実験

実験期日は85.8.27-9.7であり、場所は建築研究所内試作温熱実験室であった。被験者は青年男女各4名、通常夏期着衣で臨んでもらった。また、気温26°C、平均輻射温度26°C一定、風速0.1-0.2m/s、湿度約40%であった。測定法、測定項目は均一放射実験とほぼ同じであるが、不均一輻射

の人体生理に与える影響を調べるために着衣表面温の代わりに、左右に皮膚温測定点を5点加えた。図2、3に、左右の輻射温度の差 ΔMRT と全身温冷感申告TSV、快適感申告CVとの関係を示す。これをみると作用温度OTが一定(26°C)であるにもかかわらず、TSVが ΔMRT が大きくなるにつれて暑い側にひっぱられており、CVの申告が不快となる一因となっていると思われる。図4、5は輻射感に対するCV並びにTSVの関係である。これから輻射を感じるにともないCVが損なわれ、TSVが暑い側に引っ張られていることが分かる。TSVが暑い側に引っ張られた原因としては、実験期間が夏期であったため、人体が暑さに対して敏感に反応したこと、快適感が損なわれた原因としては、不均一輻射環境により人体生理に不均一性が生じたことなどが考えられる。

■ 上下温度分布の体感実験

実験期日は、85.11.18-12.13であり、東京大学工学部総合試験所内人工気候室にて行った。被験者は青年男女各4名であり、通常冬期着衣で実験に臨んでもらった。風速は0.1から0.3m/s、湿度は35-45%の範囲内であった。測定法・測定項目ともにほぼ前実験と同じであるが、体重減少量は測定していない。従って生理的な解析よりも、物理量と心理量の相関について統計的解析を行った。図6、7に局所作用温度と局所温冷感申告との関係の一例を示す。頭部に対して、下腿では温冷的中立点(各部位の温冷感申告が5

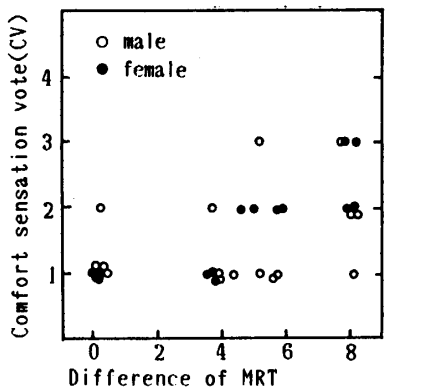


Fig 2. The relation between ΔMRT and CV

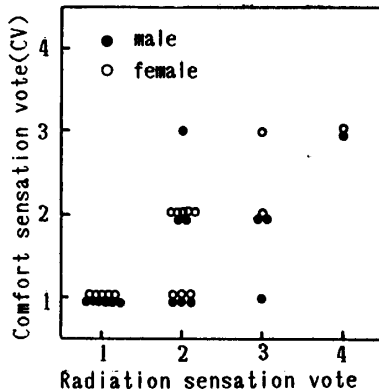


Fig 4. The relation between radiant sensation vote and CV

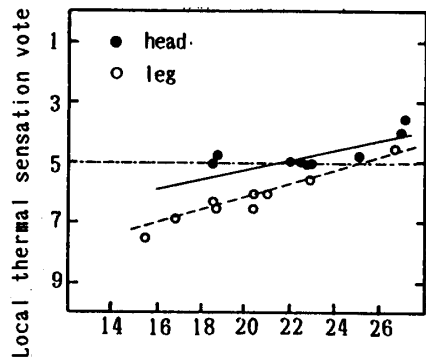


Fig 6. The relation between local OT and local TSV(male)

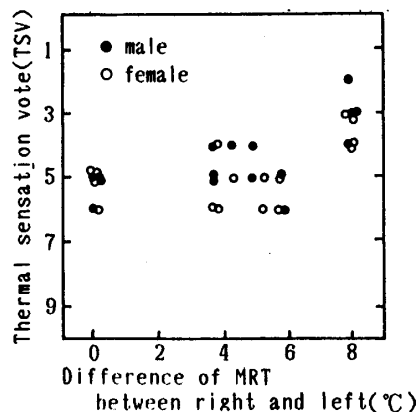


Fig 3. The relation between ΔMRT and TSV

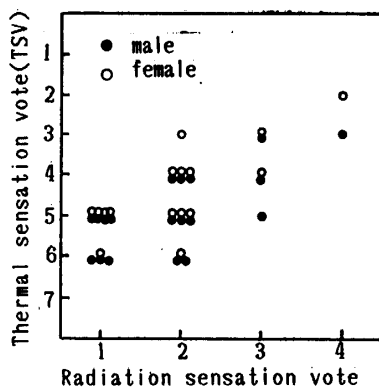


Fig 5. The relation between radiant sensation vote and TSV

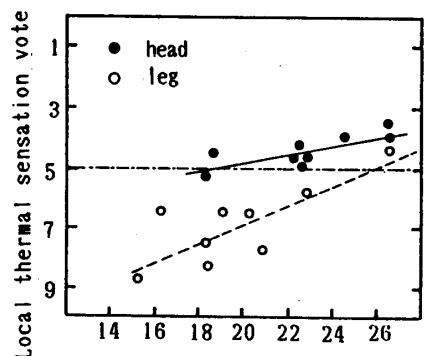


Fig 7. The relation between local OT and local TSV(female)

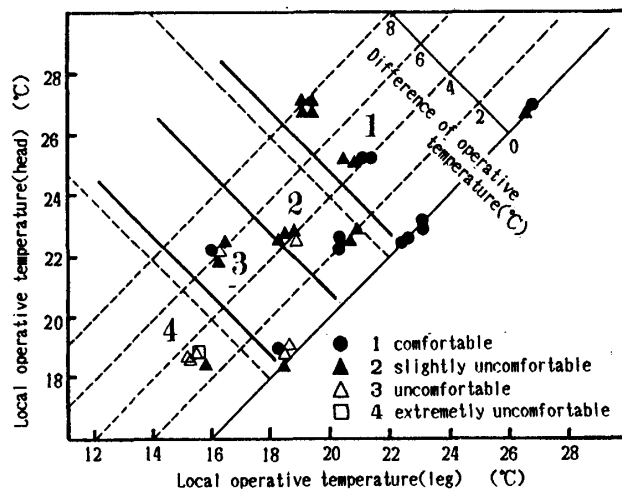


Fig 8. The result of comfort area on vertical temperature profile(male)

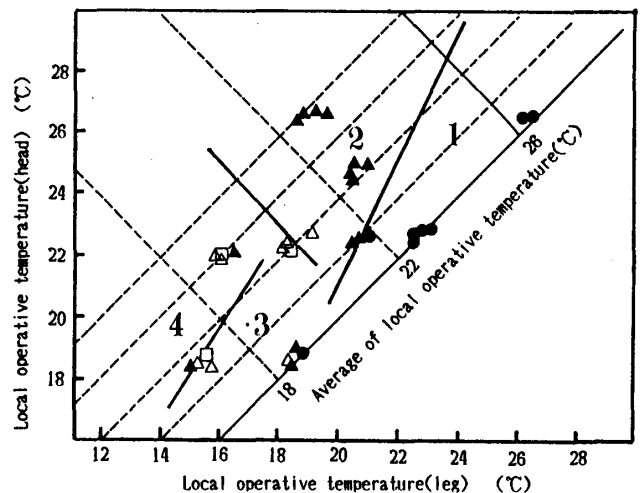


Fig 9. The result of comfort area on vertical temperature profile(female)

の位置)を与える作用温度が高い。各部位の相互作用を考慮していないが、従来言われ続けられてきた“頭寒足熱”を端的に示している。

図8、9に上下温度分布が快適感申告へ与える影響を示す。図中の実線は快適感申告を判別分析して得られた結果である。男子の場合(図8)は上下温度分布が快適感申告に影響を及ぼしていない。これは、データ数が少ないことも原因の1つであるが、男女の着衣量並びに形態の違い(男子のズボン、女子のスカート)、また生理的な違いによるものと考えられる。従って、上下温度分布の許容域は女子の場合(図9)を中心に考えて良いと思われる。

■ 非定常下における人体の生理量と温熱感覚

非定常下での人体心理を決定する因子の一つとして人体生理の環境への適応度が考えられる。ここで人体生理反応として平均皮膚温 T_{sk} とぬれ率 ω を取り上げ、同一設定に対する T_{sk} と ω の関係を次に示す人体における熱平衡式を T_a について蓄熱 $S=0$ と仮定して解いてみる。

$$M=R+C+E+S \quad C: \text{対流による熱損失 (W/m}^2\text{)}$$

ここで、図10中に示す様な具体的な数値を上式に代入し飽和水蒸気圧曲線を2次式で近似し気温 T_a について解くと以下のような関係式となる。(図10中、太線はGaggeの理論値に基づく。)

$$T_a = f(T_{sk}, \omega)$$

この T_a は、任意の T_{sk} 、 ω において、人体生理が適応すべき仮想環境の温度と言えるもので、これを生理量温度 T_{ph} とする。図11には非定常下での温熱感と生理量温度を示している。実験の範囲内(養生時の設定が快適な環境であった等)ではあるが、提案した生理量温度の考えがある程度適用できることがわかる。今後これらの生理量を中心とした解析を積み重ねることにより、非定常下の心理量を予測できる指標の可能性が示されたと思われる。

■ 終わりに 今回の実験の範囲では以上の様な結果、ならびに結論がえられた。今後、より現実に即した基準、指標等を設けるためには、更なるデータの蓄積、また各部位の生理的な機構の解明並びに、人体の心理量に関する統計手法の確立が必要と思われる。

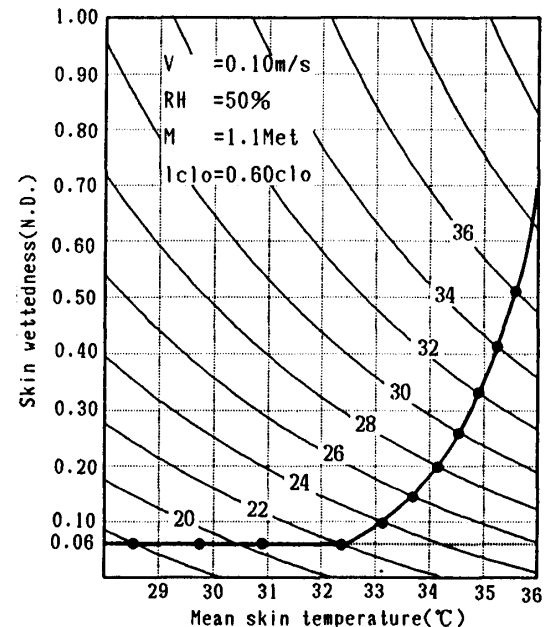


Fig 10. Tph on the heat balance equation

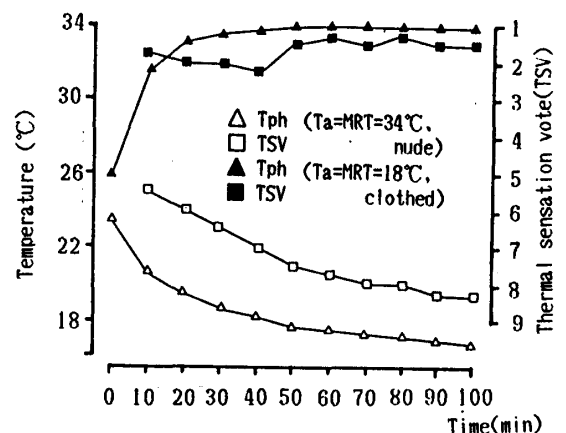


Fig 11. The change of TSV and Tph on time series

参考文献 堀越他：人体モデルとしての直方体と矩形面との間の形態係数に関する研究、昭和51年度日本建築学会学術講演梗概集
清水他：温熱感覚に関する基礎的研究(その7、8、9)、昭和60、61年度日本建築学会学術講演梗概集
American Society Heating, Refrigerating and Airconditioning engineer; ASHRAE Handbook of Fundamentals 1981, Chapter 8

(注)

$$OT = (hc \cdot T_a + hr \cdot MRT) / (hc + hr)$$

$$hc = \max[8.3 \cdot V^{0.6}, 3.3]$$

$$hr = C_b \cdot \epsilon \cdot f_{a,11} \cdot K = 3.8 \sim 4.0 \text{ (W/m}^2\text{°C)}$$