

# 炬燵採暖が人体に及ぼす熱的影響とその評価方法

## THERMAL EFFECT OF HEATING FACILITY KOTATSU ON THE HUMAN BODY IN JAPANESE STYLE ROOM

渡邊 慎一\*1, 堀越 哲美\*2, 三好 結城\*3, 宮本 征一\*4, 水谷 章夫\*5  
 Shin-ichi WATANABE, Tetsumi HORIKOSHI, Yuuki MIYOSHI,  
 Seiichi MIYAMOTO and Akio MIZUTANI

KOTATSU is a well-known heating facility in Japan. It heats the lower extremities of a body by an infrared heater or wood coal fire in a box. The objective of this paper is to clarify the thermal effect of KOTATSU on a person. Experiments were carried out under the following combined conditions: air temperatures were 11°C, 14°C, 17°C, and 20°C and infrared lamp levels were 'off', 'low', 'middle' and 'high' which correspond to 0W, 87W, 91W and 181W infrared heater electric consumption, respectively. Five male subjects participated in those experiments. The following results were obtained: 1) The mean skin temperature at the lower extremities of the body rose and that at the upper extremities dropped respectively, while a subject was seated at the KOTATSU. 2) The corrected operative temperature to indicate the thermal effect of KOTATSU was introduced by the authors in the basis of heat balance equation of the human body. This index correlates with the modified mean skin temperature and the thermal sensation. Consequently, it is a suitable index to evaluate the thermal environment while a subject is seating at the KOTATSU.

**Keywords :** heating facility, KOTATSU, human body, physiological response, psychological response, OT  
 採暖器具, 炬燵, 人体, 生理反応, 心理反応, 作用温度

### 1. はじめに

冬季において温熱的な快適性を実現する手法としては、空間全体を暖める暖房と局所的に暖を採る採暖の2通りがあり、居住者はそれらを単独あるいは組み合わせて用いている。日本において炬燵は古くから用いられ、冬季には単なる採暖器具としてのみならず、住生活の中心としての役割も担ってきた。また、洋式の椅子座生活が広まった現在でも、炬燵は根強く用いられている<sup>1)</sup>。従来、炬燵の熱源としては練炭や炭火が用いられてきたが、現在では昭和30年代に開発された電気式の炬燵が広く普及している。

炬燵採暖に関する研究は、家具の使用実態の調査<sup>2-8)</sup>としては行われているが、炬燵採暖が人体に及ぼす心理的生理的影響を論じた研究<sup>9-13)</sup>は数少ない。また、人体の上半身及び下半身をそれぞれ異なった温熱環境に暴露し反応を捉えたものとしては、坊垣ら<sup>14)</sup>、田中ら<sup>15)</sup>の研究があるが、必ずしも炬燵を対象としているわけではなく、いずれも実際に炬燵を使用して行ってはいない。そこで本研究は、一般に普及している赤外線炬燵を使用し、炬燵採暖が人体に及ぼす影響を温熱的な観点から捉え、被験者実験を通して炬燵採暖の有効性を明らかにすることを目的としている。

### 2. 実験計画

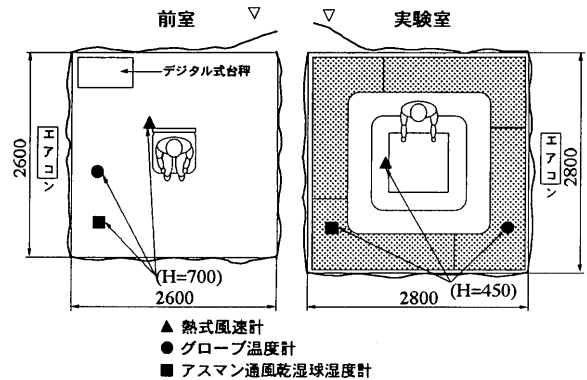


図1 前室及び実験室平面図

表1 設定条件

	気温 °C	ランプ条件				相対湿度 %	風速 m/s
		切 (N)	弱 (L)	中 (M)	強 (H)		
11	-	-	○	○	50	0.1以下	
14	○	○	○	-			
17	○	○	○	-			
20	○	○	○	-			

炬燵の消費電力量 (各ランプ条件毎の平均値)

「切」(N) 0W 「弱」(L) 86.2W  
 「中」(M) 91.1W 「強」(H) 181.4W

平均放射温度 = 気温

\*1 名古屋工業大学大学院社会開発工学専攻 院生・修士(工学)  
 \*2 名古屋工業大学大学院都市循環システム工学専攻 教授・工博  
 \*3 前田建設工業株式会社(元名古屋工業大学 学生)  
 \*4 名古屋工業大学社会開発工学科 助手・修士(工学)  
 \*5 名古屋工業大学社会開発工学科 助教授・工博

Graduate Student, Dept. of Architecture, Nagoya Institute of Technology, M. Eng.  
 Prof., Dept. of Environmental Technology and Urban Planning, Graduate School of Eng., Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.  
 Maeda Corporation (ex-student of N.I.T)  
 Research Assoc., Dept. of Architecture, Nagoya Institute of Technology, M. Eng.  
 Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

2-1. 実験室の概要

実験は1995年10月8日～11月13日と1996年3月6日～3月13日に、名古屋工業大学の環境実験室にて実施した。前室及び実験室平面図を図1に示す。環境実験室の床は、コンクリート床スラブ上にポリスチレンフォーム50mm、合板13mm、ポリスチレンフォーム20mmを積層させたものである。そこに図1に示す前室と炬燵を備えた実験室を設置した。実験室は床上に本畳4.5畳を敷き詰めた。炬燵は、炬燵用マットを敷き、炬燵槽を組み、炬燵掛け布団をかけ、天板を乗せ構成した。前室及び実験室とも周囲壁面及び天井を無彩色の布で覆った。実験には赤外線炬燵(松下電器産業株式会社製、DW-570A)を使用した。

2-2. 設定条件

設定条件は炬燵が実際に使用される環境を考慮し、気温は冬季着衣状態の快適域<sup>16)</sup>より低い気温である11℃、14℃、17℃、20℃の4段階とし、炬燵側の条件は、赤外線ランプ調節ツマミの「切」、「弱」、「中」、「強」の4段階(以下、「切」をランプ条件N、「弱」をランプ条件L、「中」をランプ条件M、「強」をランプ条件Hと称す。)とし、これらを組み合わせた表1に示す各条件とした。使用した炬燵の暴露中の平均使用電力量は、ランプ条件Lで86.2W、ランプ条件Mで91.1W、ランプ条件Hで181.4Wであった。以下、設定条件を「設定気温・ランプ条件」で記す。相対湿度は50%を目標にした。気流は全実験を通して測定し、その結果0.15m/s以下の静穏気流であることを確認した。前室は、着衣状態において熱的中立となる気温25℃(=平均放射温度)、相対湿度50%、静穏気流とした。

2-3 被験者

被験者は健康な青年男子5名とした。被験者の身体データを表2に示す。表中の全体表面積は、日本人を対象とした算出式である藏澄ら<sup>17)</sup>の式を用いた。なお、被験者は実験内容を理解した善意の協力者で適切な報酬が支払われた。

2-4 着衣

本研究では実際に炬燵が使用される環境を想定し、被験者の着衣は表3に示す衣服とした。被験者は下着とTシャツを各自用意し、靴下、カッターシャツ、作業着はあらかじめ用意したものを着装した。作業着は、S・M・L・LLの各サイズを用意し、各自の体型に合わせて無理のないサイズを選択した。各被験者毎のクロ値を表2に示す。表中のクロ値の算出には花田ら<sup>18)</sup>の式を用いた。また、実験中は炬燵使用時のくつろいだ場面を想定し、カッターシャツの第1ボタンをはずした着衣条件とした。

2-5 実験スケジュール

実験スケジュールを図2に示す。被験者は環境実験室に到着後、温度制御された前室にて脱衣し、下着のみのほぼ裸体の状態で体重を測定した。その後所定の衣服を着衣し、熱電対及び熱流計を装着した。装着完了後、再び体重の測定を行い、測定後に実験を開始した。前室での作業は椅子安静とした。前室で30分滞在後、体重を測定し、実験室に入室し、実験室では、中央に設置された炬燵に投足<sup>19)</sup>の姿勢で60分間、設定条件に制御した環境に暴露した。暴露終了後、再び前室に移動し、体重測定後に熱電対及び熱流計を取り外し、下着のみのほぼ裸体状態で再び体重を測定し、実験を終了した。被験者の座る位置は、各被験者が最も座りやすい位置とし、全条件を通して同一の位置とした。実験中は読書を許可した。また、

表2 被験者身体データ

被験者	年齢	身長 cm	体重 kg	体表面積* m <sup>2</sup>	着衣clo値** clo	出身地	性別
IT	22	170.5	59.5	1.69	0.89	愛知県	男性
IM	23	165.1	59.5	1.65	0.87	愛知県	
OS	21	176.7	56.1	1.69	0.89	愛知県	
FS	21	177.5	73.0	1.88	0.92	愛知県	
KT	22	174.2	75.5	1.88	0.89	岐阜県	

\* 藏澄らの式  $S=100.315W^{0.383}H^{0.693}$  W: 体重kg H: 身長cm

\*\* 花田らの式  $Y=0.000558W+0.068$  W: 着衣の総重量g

表3 着衣データ

着衣	重量g
作業着(上下)	950
	M 1020
	L 1060
	LL 1110
Yシャツ	210
Tシャツ	95
トランクス	60
靴下	50

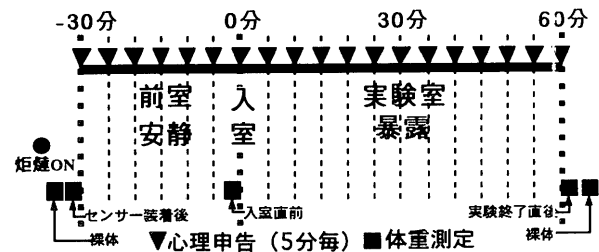


図2 実験スケジュール

表4 測定項目及び測定方法

環境側

	測定項目	測定機器	測定位置
炬燵	気温	アスマン通風乾湿球湿度計 0.2mmφT型熱電対	床上45cm 床上10cm 床上100cm 床上180cm
	相対湿度	アスマン通風乾湿球湿度計 0.2mmφT型熱電対	床上45cm
外	グローブ温度	グローブ温度計	床上45cm
	風速	熱式風速計	床上45cm
炬燵内	表面温度	0.3mmφT型熱電対	床・壁・天井・炬燵掛け布団・天板
	気温	アルミ箔による放射遮蔽を施した0.2mmφT型熱電対	床上9cm 床上14cm 床上24cm
	グローブ温度	グローブ温度計	床上9cm
	風速	熱式風速計	床上9cm
内	表面温度	0.3mmφT型熱電対	炬燵内部床・壁・天井
	熱流量	熱流計	アルミ反射板・赤外線ランプ表面
	使用電力量	電力計	

人体側

測定項目	測定機器	測定位置
皮膚温	0.2mmφT型熱電対	Hardy-DuBoisの12点の各部位
舌下温	0.2mmφT型熱電対	舌下
着衣温	0.2mmφT型熱電対	皮膚温測定位置と対応する着衣表面
熱流量	熱流計	Ramanathanの4点+大腿後
体重減少量	デジタル台秤	

温冷感

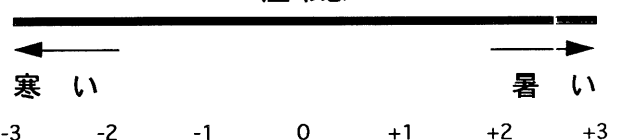


図3 直線評定尺度及び数値評定尺度

飲食が実験にできるだけ影響を及ぼさないよう配慮するため、実験室到着の1時間前までに食事を済ませるように依頼した。

2-6 測定項目及び測定方法

2-6-1 温熱環境条件

温熱環境条件の測定項目及び測定機器を表4に示す。前室及び実験室において、アスマン通風乾湿球湿度計で気温及び相対湿度、グローブ温度計でグローブ温度、熱式風速計で風速、0.3 mm φ T型熱電対で各壁面表面温度を30秒毎に自動測定した。測定高さは、前室においては椅座人体の体中心に近い床上70 cmとし、実験室においては、人体の座高の約1/2である床上45 cmとした。炬燵の内部(以下、庫内と称す。)においては、アルミ箔で放射遮蔽をした0.2 mm φ T型熱電対で気温、グローブ温度計でグローブ温度、熱式風速計で風速、0.3 mm φ T型熱電対で各空間構成面表面温度を30秒毎に自動測定した。

2-6-2 人体反応

人体の各部皮膚温はHardy-DuBoisの12点法<sup>20)</sup>における各部位について、0.2 mm φ T型熱電対を透湿性テープで直接皮膚面に貼付して測定を行った。舌下温は、消毒した0.2 mm φ T型熱電対を直接口腔舌下に留めて測定した。着衣温は、Hardy-DuBoisの12点法の各部位に対応する着衣表面に、0.2 mm φ T型熱電対をセロハンテープで貼付し測定を行った。皮膚温及び着衣温ともに30秒毎に自動計測した。熱流計はRamanathanの4点<sup>21)</sup>に、床との接触部である大腿後の1点を加えた計5点で測定した。熱流計は透湿性テープを用いて直接皮膚表面に貼付した。記録は多点式ペンレコーダーにより、実験開始時より連続測定した。

被験者の心理的な反応は、全身、上半身、下半身のそれぞれの温冷感、快適感、放射感を、図3に示す直線評定尺度<sup>22)</sup>及び数値評定尺度を用いて測定した。また、全身に対しては乾湿感、気流感、涼暖感も合わせて測定した。直線評定尺度により得られた反応は、直線の全長を100として数値に換算し処理した。本論文では、温冷感及び快適感を中心に検討する。

3. 炬燵使用時の温熱環境表現方法

3-1. 炬燵使用時の作用温度

炬燵使用時には、従来多く研究の対象とされてきた立位あるいは椅座における状況とは、異なった特殊な温熱環境に曝される。したがって、炬燵使用時の温熱環境を従来の温熱指標で評価することは適当とはいえない。そこで、炬燵使用時の温熱環境を総合的に評価する指標として、人体の熱収支理論に基づいた炬燵使用時に適用できる作用温度を新たに導出した。(以下、これを炬燵作用温度と称す。)

人体を炬燵庫内及び庫外に分割し、庫内においては放射、対流、そして床との伝導による放熱の経路を考慮し、庫外においては放射及び対流による放熱の経路を考慮する。庫内外における、人体と環境との間で交換される顕熱放熱量を記述すると次式を得る。負の値となる場合は受熱を表すこととなる。

$$Q_{total} = (C_{in} + R_{in})f_{in} + (C_{out} + R_{out})f_{out} + Cd f_{Cd} \quad \dots \dots (1)$$

$Q_{total}$ : 全身顕熱放熱量 W/ m<sup>2</sup>

$C_{in}$ : 庫内対流熱放熱量 W/ m<sup>2</sup>

$R_{in}$ : 庫内放射熱放熱量 W/ m<sup>2</sup>

$C_{out}$ : 庫外対流熱放熱量 W/ m<sup>2</sup>

$R_{out}$ : 庫外放射熱放熱量 W/ m<sup>2</sup>

$Cd$ : 伝導熱放熱量 W/ m<sup>2</sup>

$f_{in}$ : 人体庫内部分の全体表面積に対する比nd (=  $A_{in} / A_s$ )

$f_{out}$ : 人体庫外部分の全体表面積に対する比nd (=  $A_{out} / A_s$ )

$f_{Cd}$ : 床との接触面積の庫内面積に対する比nd (=  $A_{Cd} / A_s$ )

$A_{in}$ : 庫内部分の体表面積 m<sup>2</sup>

$A_{out}$ : 庫外部分の体表面積 m<sup>2</sup>

$A_{Cd}$ : 床との接触部分の体表面積 m<sup>2</sup>

$A_s$ : 人体の全体表面積 m<sup>2</sup>

ここで、 $f_{in} + f_{out} + f_{Cd} = 1$ である。

ここで、人体各部における皮膚温が平均皮膚温に等しいと仮定すると次式を得る。

$$Q_{total} = h_{c-in} F_{cl-in} f_{cl} (t_s - t_{a-in}) f_{in} + h_{r-in} F_{cl-in} F_{eff-in} (t_s - t_{r-in}) f_{in} + h_{c-out} F_{cl-out} f_{cl} (t_s - t_{a-out}) f_{out} + h_{r-out} F_{cl-out} F_{eff-out} (t_s - t_{r-out}) f_{out} + h_d (t_s - t_b) f_{Cd} \quad \dots \dots (2)$$

$h_{c-in}$ : 庫内対流熱伝達率 W/ m<sup>2</sup>°C

$h_{r-in}$ : 庫内放射熱伝達率 W/ m<sup>2</sup>°C

$h_d$ : 床(畳+マット)の熱コンダクタンス W/ m<sup>2</sup>°C

$h_{c-out}$ : 庫外対流熱伝達率 W/ m<sup>2</sup>°C

$h_{r-out}$ : 庫外放射熱伝達率 W/ m<sup>2</sup>°C

$t_s$ : 平均皮膚温 °C

$t_{a-in}$ : 庫内気温 °C

$t_{r-in}$ : 庫内平均放射温度 °C

$t_{a-out}$ : 庫外気温 °C

$t_{r-out}$ : 庫外平均放射温度 °C

$t_b$ : 接触部畳下面温 °C

$F_{cl-in}$ : 庫内の着衣伝熱効率nd

$F_{cl-out}$ : 庫外の着衣伝熱効率nd

$F_{eff-in}$ : 庫内の有効放射面積率nd

$F_{eff-out}$ : 庫外の有効放射面積率nd

$f_{cl}$ : 対流に関わる着衣の有効面積率nd

ここで、Winslowら<sup>23)</sup>の作用温度導出の手法を用いて変形すると次式を得る。

$$h = (t_s - OT^*) \quad \dots \dots (3)$$

$h$ : 総合熱伝達率 W/ m<sup>2</sup>°C

$OT^*$ : 炬燵作用温度 °C

ここで、

$$h = h_{c-in} F_{cl-in} f_{cl} f_{in} + h_{r-in} F_{cl-in} F_{eff-in} f_{in} + h_{c-out} F_{cl-out} f_{cl} f_{out} + h_{r-out} F_{cl-out} F_{eff-out} f_{out} + h_d f_{Cd} \quad \dots \dots (4)$$

$$OT^* = (h_{c-in} F_{cl-in} f_{cl} f_{in} t_{a-in} + h_{r-in} F_{cl-in} F_{eff-in} f_{in} t_{r-in} + h_{c-out} F_{cl-out} f_{cl} f_{out} t_{a-out} + h_{r-out} F_{cl-out} F_{eff-out} f_{out} t_{r-out} + h_g f_{cd} t_g) / h \quad (5)$$

ここで、 $OT^*$ が炬燵使用時に適用する作用温度（炬燵作用温度）である。この温熱指標は各放熱経路に関わる温度を各経路の熱コンダクタンスで重み平均したものである。

### 3-2. 庫内外の形態係数及び有効放射面積率

熱放射環境を的確に評価するためには、人体と空間構成面との形態係数及び有効放射面積率が必要であることが知られている。特に炬燵採暖のように高温の放射体が人体近傍にあるような場合は、形態係数及び有効放射面積率は必要不可欠である。本研究では、庫内外において全く異なる熱放射環境に曝されるため、庫内外それぞれにおける人体と空間構成面との形態係数及び有効放射面積率を求める必要がある。

本研究においては、立体角放射法則に基づく写真法<sup>24)</sup>によりその値を求める。被験者には健康な青年男子1名を用いた。被験者は実験にも参加したIMを用いた。被験者の姿勢は実験における姿勢と同一の投足の姿勢とし、両腕は手背を炬燵天板の上に載せる姿勢とした。

写真の撮影は、自作の可動式撮影装置に立体角放射カメラ（Nikon F2 と OP Fish-eye Nikkor f:5.6, 9m/m）を装着して撮影した。撮影のための庫外部分の座標系を図4に示す。座標の中心位置は床面上の炬燵の中心とし、50cm×50cmの格子状の点から撮影した。また、庫内部分（図5）の撮影は、12cm×12cmの格子状の点から撮影した。さらに、庫内において人体により強い放射の影響を及ぼすと考えられる赤外線ランプおよびアルミ反射板の部分は、6cm×6cmの格子状の点から撮影した。

立体角放射カメラにより得られた写像是、スキャナーによりコンピューターに取り込み、画像処理ソフトを用いて人体部分の面積を測定した。各点における形態係数は、得られた人体部分の面積の写像全体面積に対する比から算出した。各点における形態係数の値を用い、各空間構成面毎に数値積分を行い形態係数及び有効放射面積を求めた。なお、等間隔の数値積分にはNewton-Cotes法を用い、不等間隔の数値積分にはLagrangeの補間多項式で補間し積分を行った。また、人体と接触床面との熱授受は伝導により行われるものと考え、床との接触部分は形態係数を0として取り扱った。

庫内外の人体と各空間構成面との形態係数及び有効放射面積率を表5に示す。庫外部分の有効放射面積は、0.823 m<sup>2</sup>であり、庫外部分の体表面積で除した有効放射面積率は0.669となった。庫内部分の有効放射面積は0.374 m<sup>2</sup>であり、庫内部分の有効放射面積率は0.891となった。

### 3-3. 修正平均皮膚温

炬燵使用時の平均皮膚温（以下、修正平均皮膚温と称する。）を算出するためにHardy-DuBoisの12点<sup>20)</sup>の重み係数を、暴露実験に参加した被験者全員の接触部の皮膚表面積の実測により修正し、新たに炬燵使用時の平均皮膚温算出のための重み係数を導出した。導出した重み係数を表6に示す。被験者の床面との接触面積は、感

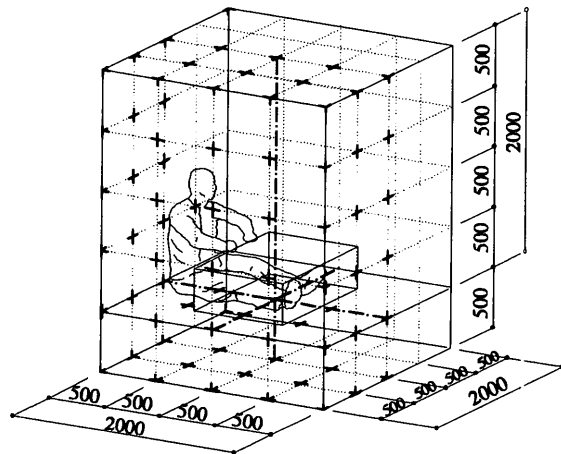


図4 形態係数及び有効放射面積の測定座標系（人体庫外部分と空間構成面との位置関係）

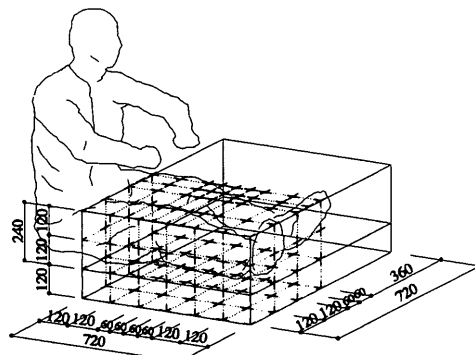


図5 形態係数及び有効放射面積の測定座標系（人体庫内部分と空間構成面との位置関係）

表5 庫内外における人体と空間構成面との形態係数及び有効放射面積率

	庫外	庫内		
有効放射面積率	0.669	0.891		
形態係数	側面(右)	0.161	側面(右)	0.085
	側面(左)	0.161	側面(左)	0.085
	前面	0.066	前面	0.084
	背面	0.335	背面	0.115
	天井	0.098	床	0.167
	床	0.179	天井	0.385
			赤外線ランプ	0.016
			アルミ反射板	0.063
合計	1	合計	1	

注) 有効放射面積率の有効桁は2桁程度であると推測されるから数値の整合性を取るために、3桁表示としている。

表6 修正平均皮膚温算出のための重み係数

部位	Hardy-DuBois12点	修正平均皮膚温 <sup>注</sup>
前額	0.07	0.07
胸乳	0.0875	0.0875
臍	0.0875	0.0875
肩甲棘	0.0875	0.0875
腸骨嵴	0.0875	0.1305
前脛外	0.14	0.14
手背	0.05	0.05
大腿前	0.0950	0.090
大腿後	0.0950	0.057
下腿前	0.0650	0.108
下腿後	0.0650	0.022
足背	0.07	0.07
合計	1	1

光紙上に暴露実験と同様に投足の姿勢で座らせ、接触部以外を感光させ、定着後、デジタイザーで計測し、接触面積を求めた。掛け布団との接触面積は、非伸縮性の布テープを直接皮膚表面に貼付し、接触部を着色後、平面展開し、デジタイザーで計測し求めた。

4. 実験結果

4-1 温熱環境条件測定結果

4-1-1 実験室

各設定条件における実験室及び前室の気温・相対湿度・グローブ温度の測定結果を表7に示す。表中の上段は平均値を示し、下段は標準偏差を示す。表に示すようにほぼ設定条件を満足できたものと考えられる。

4-1-2 庫内

図6に暴露60分後の庫内の上下気温分布を示す。ランプ条件Nでは、上下の気温差はわずかである。ランプ条件L,Mでは共に、上下で約10℃の差が認められる。ランプ条件Hでは、上下の差が約20℃にも達している。また、各ランプ条件で、設定気温が高いほど庫内温度も高い傾向が示されている。炬燵作用温度等の算出には庫内に入っている人体下肢の平均高さのほぼ中心である高さ9cmにおける気温を、庫内気温として取り扱った。

4-2 皮膚温・舌下温・修正平均皮膚温の時間的変動

図7~9に皮膚温・舌下温・修正平均皮膚温の時間的変動を被験者OSを一例として示す。他の被験者についても大差のない結果であった。各図の上部に示す数値は、数値評定尺度による全身冷感(TSV: -3~+3)と全身快適感(CV: 1~4)の申告値を示す。

設定気温11℃、ランプ条件Mの場合を図7に示す。舌下温は実験中はほぼ一定であった。臍皮膚温は僅かに上昇し、その後36.0℃付近で一定となった。胸乳皮膚温は入室後下降し、その後34.8℃で一定となった。人体背部に位置する肩甲棘及び腸骨髁皮膚温は時間の経過と共に下降し、暴露終了時にはそれぞれ、1℃と3℃の皮膚温

表7 環境測定結果

設定条件 気温 ℃	ランプ条件	実験室			前室		
		乾球温度 ℃	相対湿度 %	グローブ温度 ℃	前室乾球 ℃	前室湿度 %	前室グローブ ℃
11	M	11.4 0.9	49.4 2.7	13.1 1.0	25.4 1.4	38.7 3.5	24.5 0.8
	H	11.1 0.9	51.2 3.4	12.7 0.9	24.3 1.1	41.7 1.8	23.6 0.7
14	N	13.9 0.7	65.6 4.0	14.8 0.5	25.1 1.0	43.7 4.7	24.7 1.0
	L	14.1 0.8	61.1 4.5	15.4 0.7	25.2 1.4	45.1 6.1	24.8 0.7
17	M	14.2 0.8	61.9 4.7	15.0 0.5	25.3 0.9	51.4 10.3	24.7 0.8
	N	17.1 0.6	67.4 6.5	17.7 0.4	24.7 1.2	50.7 4.7	24.7 0.9
20	L	17.0 0.6	62.1 7.6	17.5 0.4	25.1 1.1	45.6 5.2	24.7 0.6
	M	17.1 0.6	61.3 5.3	17.6 0.5	24.9 1.6	53.6 10.2	24.6 1.1
20	N	19.9 0.8	64.4 7.6	20.2 0.5	24.9 1.1	50.9 8.0	24.9 0.8
	L	20.1 0.5	63.2 7.7	20.3 0.3	25.3 1.1	52.1 3.6	25.0 0.5
20	M	20.0 0.7	62.7 4.6	20.1 0.5	25.1 1.1	53.6 5.5	25.1 0.9

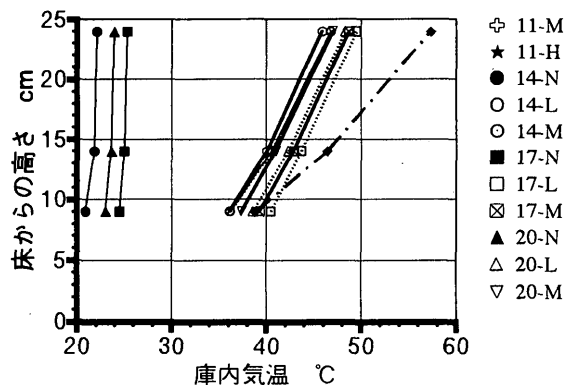
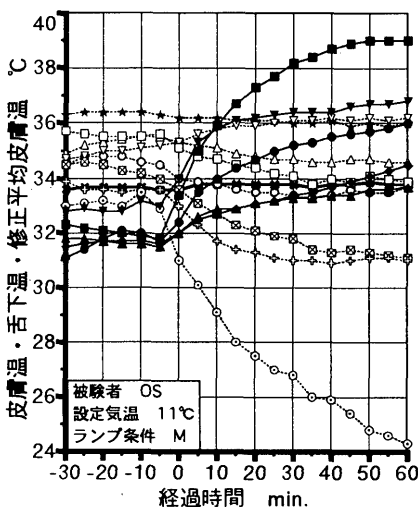


図6 庫内の上下気温分布

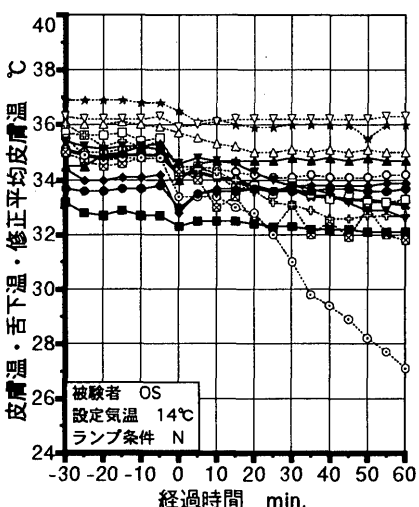
低下を示した。末梢部である前膊外及び手背皮膚温は時間の経過と共に下降した。中でも寒い室内の空気に直接曝されている手背皮膚温は、急激に降下しその降下度は約7℃で、暴露終了時には約24℃となった。庫内に位置する各皮膚温は全て上昇した。中でも赤外線ランプ近傍である下腿前皮膚温は約7℃上昇し、暴露終了時には39

TSV 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0  
CV 4 3 4 4 4 4 4 4 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3



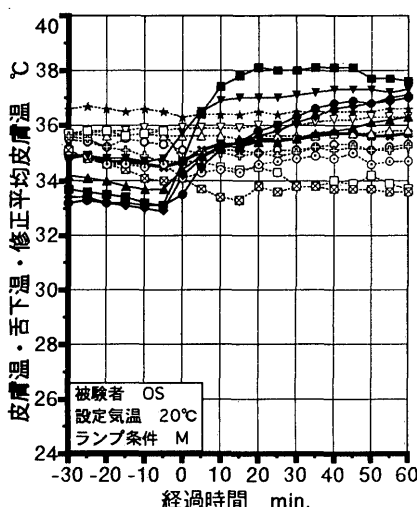
★修正平均皮膚温 ★舌下 ○前額 △胸乳  
▽臍 □肩甲棘 ⊗腸骨髁 ⊕前膊外 ○手背  
●大腿前 ▲大腿後 ■下腿前 ◆下腿後 ▼足背

TSV 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 -1 -1 -2 -2 -2 -2  
CV 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 3 4 3 3



★修正平均皮膚温 ★舌下 ○前額 △胸乳  
▽臍 □肩甲棘 ⊗腸骨髁 ⊕前膊外 ○手背  
●大腿前 ▲大腿後 ■下腿前 ◆下腿後 ▼足背

TSV 0 0 1 0 0 0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 2 3 3  
CV 3 3 3 3 3 3 3 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2



★修正平均皮膚温 ★舌下 ○前額 △胸乳  
▽臍 □肩甲棘 ⊗腸骨髁 ⊕前膊外 ○手背  
●大腿前 ▲大腿後 ■下腿前 ◆下腿後 ▼足背

図7 皮膚温・舌下温・修正平均皮膚温の時間的変動 (被験者OS, 設定気温 11℃, ランプ条件 M)

図8 皮膚温・舌下温・修正平均皮膚温の時間的変動 (被験者OS, 設定気温 14℃, ランプ条件 N)

図9 皮膚温・舌下温・修正平均皮膚温の時間的変動 (被験者OS, 設定気温 20℃, ランプ条件 M)

℃となった。修正平均皮膚温は約34℃でほぼ一定であった。全身温冷感は暴露中は暑くも寒くもない熱的中立である「0」で一定であった。快適感は前室においては最も快適である「4」であったが、暴露中は一段階下がって「3」で一定となった。

設定気温14℃、ランプ条件Nの場合を図8に示す。舌下温及び前額・臍の皮膚温はほぼ一定であった。手背皮膚温は暴露直後から急激に下降し、27.0℃に達した。足背皮膚温も入室時から下降を始め暴露終了時まで約2℃下降した。大腿前・下腿前や床との接触部である大腿後は、ほぼ一定で推移したが、下腿後は暴露直後1.5℃程度上昇し、その後ほぼ一定となった。修正平均皮膚温は約1℃下降した。全身温冷感は前室においては熱的中立であったが、暴露中は時間の経過と共に寒い側の反応となった。快適感は暴露の前半は快適の反応であったが、その後快適感が下がった。

設定気温20℃、ランプ条件Mの場合を図9に示す。舌下温及び上半身の各皮膚温はほぼ一定で推移した。庫内に位置する下半身の各皮膚温は暴露直後から急激に上昇し、温度上昇の度合いが最も大きい下腿前は、暴露終了時には38℃を越えた。修正平均皮膚温は暴露中徐々に上昇し、暴露終了時には約1℃上昇した。全身温冷感は前室においては暑くも寒くもない熱的中立であったが、暴露開始時に暑い側の反応となり、その後時間の経過と共にさらに暑い側に移行した。快適感は前室においては快適側であったが、暴露中は不快側の反応となった。

5. 考察

図7~9に例示したように、全実験を通して舌下温は実験中ほぼ一定で推移した。上半身の各皮膚温は設定気温が低くなるほど時間の経過と共に下降する傾向がみられた。中でも、上半身の末梢部であり、直接室内空気に曝される手背皮膚温は大きな皮膚温の下降を示した。また、庫内に位置する下半身の各皮膚温は赤外線ランプ点

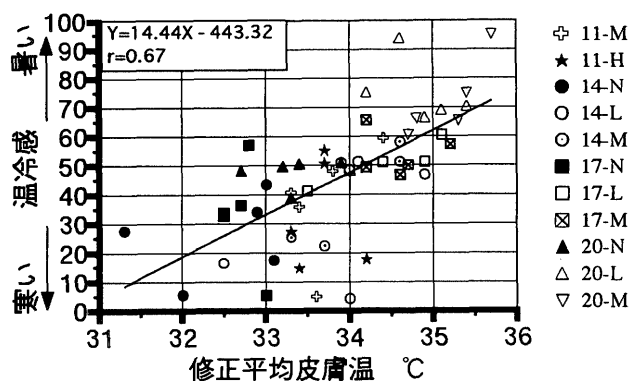


図10 修正平均皮膚温と全身温冷感との関係

灯条件では全て上昇しており、特に、赤外線ランプに最も近い下腿前皮膚温は大きな皮膚温上昇を示した。これらの反応は、人体が寒い環境においては皮膚温を低下させ、暑い環境においては皮膚温を上昇させて、人体と環境との間の放熱を制御し、体温を一定に保とうとする体温調節機序の働きが現れたものと考えられる。赤外線ランプを点灯しない条件においては、庫外の末梢部と比較してその下降の度合いは少ない。これは、赤外線ランプを点灯しなくても、人体からの発熱と炬燵の保温性のため、庫内の気温が上昇し庫外気温より高くなるためと考えられる。

図10に修正平均皮膚温と全身温冷感との関係を示す。値は暴露60分後の測定値を用いた。修正平均皮膚温の上昇と共に全身温冷感が暑い側の反応となる傾向が認められる。回帰直線に着目すると熱的中立である温冷感50における修正平均皮膚温は34.2℃である。

図11に気温・作用温度・炬燵作用温度と修正平均皮膚温との関係を示す。全ての指標において温度の上昇と共に平均皮膚温も上昇する傾向が認められる。しかし、気温及び作用温度と修正平均皮膚

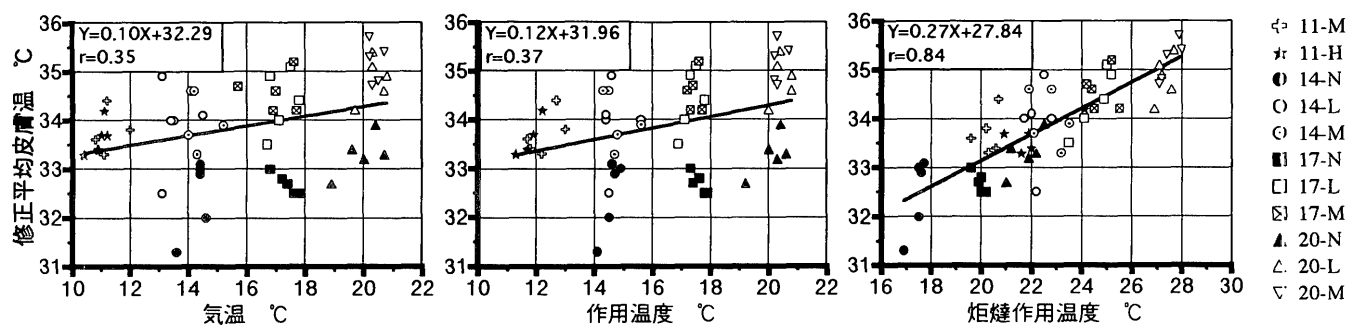


図11 気温・作用温度・炬燵作用温度と修正平均皮膚温との関係

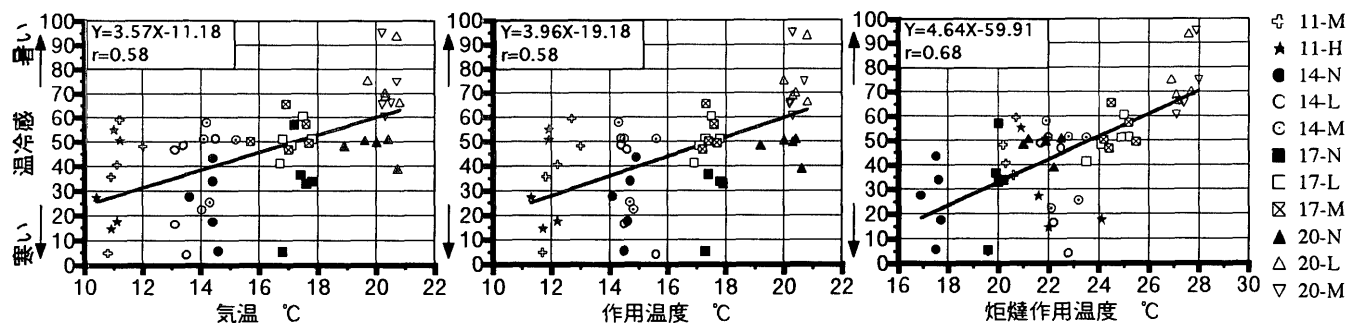


図12 気温・作用温度・炬燵作用温度と全身温冷感との関係

温との対応では、かなりばらつきがあり、相関係数もそれぞれ0.35と0.37と低い値である。これは、気温及び作用温度は庫外の温熱環境のみを評価し、庫内の温熱環境の影響が全く考慮されていないためと考えられる。一方、庫内外の温熱環境を考慮した炬燵作用温度と修正平均皮膚温との関係を見ると明確に直線的な関係が認められ、相関係数も0.84と高い値を示している。これらのことより、炬燵作用温度は炬燵使用時の人体の生理反応である平均皮膚温と良く対応する指標であると言える。

図12に気温・作用温度・炬燵作用温度と全身温冷感との関係を示す。全ての指標において温度の上昇と共に全身温冷感が暑い側の反応に移行する傾向が認められる。気温及び作用温度と全身温冷感との対応では、相関係数が共に0.58であり、かなりばらつきがある。一方、炬燵作用温度と全身温冷感との対応を見ると、相関係数は0.68であり、気温や作用温度と比較すると相関は強くなり、プロットした点がまとまる傾向が見られる。従って、気温や作用温度より庫内外の温熱環境を考慮した炬燵作用温度の方が、炬燵使用時の被験者の全身温冷感を表現するのにふさわしい指標であると考えられる。ここで、各指標の回帰直線に着目し、暑くも寒くもない熱的中立である温冷感50での各指標の温度を算出すると、気温では17.1℃、作用温度では17.5℃、炬燵作用温度では23.7℃となる。熱的中立での環境を気温や作用温度を用いて評価すると、上述のように一般に考えられている至適範囲に比べかなり低い数値となる。これは、気温や作用温度では炬燵の効果が全く考慮できていないためと考えられる。一方、炬燵作用温度を用いて表現すると、従来の冬季着衣状態での至適範囲<sup>10)</sup>と数値的にもほぼ一致する。すなわち、炬燵作用温度は修正平均皮膚温及び全身温冷感と良く対応し、熱的中立の状態において、その値が従来の気温による至適範囲と数値的に一致することから、炬燵使用時の温熱環境を気温換算して的確に表現しうる指標であると考えられる。

## 6. 結論

炬燵採暖が人体に及ぼす温熱的な影響を明らかにするため、男性5名を用いた被験者実験を行い以下の知見を得た。

1. 炬燵使用時の温熱環境を総合的に評価する指標として炬燵作用温度を提案し、その導出方法を示した。
2. 庫内外における人体と環境との間の形態係数及び有効放射面積率を立体角放射法則に基づく写真法により実測し、その値を示した。
3. 床との接触による伝導を考慮するため、人体と床との接触面積を実測し、Hardy-DuBoisの12点を修正し、炬燵使用時の平均皮膚温算出のための重み係数を示した。
4. 炬燵使用時には、寒い環境においては庫外末梢部皮膚温を降下させ、庫内の暑い環境においては皮膚温を上昇させて、人体と環境との放熱を制御し、体温を一定に保とうとする体温調節機序の働きが現れる。
6. 炬燵使用時の熱的中立における環境条件は、炬燵作用温度で22.8℃であり、その時の修正平均皮膚温は33.7℃であった。
7. 本研究で導出した炬燵作用温度は、平均皮膚温および温冷感と良く対応しており、既存の至適域の値とも一致し、炬燵使用時の温熱環境を的確に表現し得る指標である。

## 【引用文献】

- 1) 沢田：イス坐家具導入過程からみた起居様式の指向性 現代住宅における起居様式の容容過程に関する研究 (その1)、日本建築学会計画系論文報告集、第438号、pp.33~42,1992.
- 2) 長谷川、吉野：東北地方の各種住宅における冬期の室温に関する調査研究、日本建築学会計画系論文報告集、第371号、pp.18~26,1987.
- 3) 野口、足達：北海道の住生活様式 積雪寒冷地の住戸計画に関する研究 (1)、日本建築学会計画系論文報告集、第312号、pp.84~91,1982.
- 4) 澤地、松尾、羽田野、福島：暖房行為発生起の決定要因と許容室温範囲に関する検討 住宅の室内気候形成に寄与する居住者の行動に関する研究 その1、日本建築学会計画系論文報告集、第382号、pp.84~91,1987.
- 5) 足立、赤林、吉野、真保、坊垣、澤地：住宅におけるエネルギー消費量と住まい方に関する実態調査、日本建築学会計画系論文報告集、第465号、pp.49~59,1994.
- 6) 松原、澤島：京都市近辺地域における冬期住宅居間の熱環境と居住者の住まい方に関する事例研究 ~暖房機器使用の特徴と団らん時の起居様式~、日本建築学会計画系論文報告集、第488号、pp.75~84,1996.
- 7) 垂水、久保、酒井：北陸の戸建住宅における温冷感を中心とした居住者意識調査 断熱仕様・暖房の実態と快適性評価の高い住宅の抽出、日本建築学会計画系論文報告集、第488号、pp.25~34,1996.
- 8) 鈴木、松原、森田、澤地、坊垣：札幌、京都、那覇の公営集合住宅における暖房環境の比較分析 暖房使用に関する意識と住まい方の地域特性と省エネルギー対策の研究 その1、日本建築学会計画系論文報告集、第475号、pp.17~24,1995.
- 9) 渡邊、宮本、堀越：炬燵使用時の人体に対する温熱環境評価に関する研究、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.693~696,1995.
- 10) 三好、渡邊、宮本、堀越：室内空間における炬燵使用時の人体に対する温熱環境評価に関する研究 その1 皮膚温変動への影響：秋季実験、日本建築学会東海支部研究報告、pp.361~364,1996.
- 11) 渡邊、三好、宮本、堀越：室内空間における炬燵使用時の人体に対する温熱環境評価に関する研究 その2 修正平均皮膚温と心理反応の関係：秋季実験、日本建築学会東海支部研究報告、pp.365~368,1996.
- 12) 渡邊、堀越、宮本：炬燵採暖が人体に及ぼす影響とその評価方法 その1. 男性被験者の場合、日本建築学会大会学術講演概集、pp.363~364,1996.
- 13) 渡邊、堀越、宮本：炬燵採暖が人体に及ぼす影響とその評価方法 その1. 女性被験者の場合、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.105~108,1996.
- 14) 坊垣、今川、伊藤、大森、山田：上下温度差のある環境の人体影響に関する研究、日本建築学会計画系論文報告集、第417号、pp.31~42,1990.
- 15) 田中、大中、山崎、伊香輪、吉田、枋原：上下気温差と体温、第9回 人間・熱環境系シンポジウム報告集、pp.136~137,1985.
- 16) 志村、野原、宮本、堀越：日本人を対象とした室内温湿度条件の至適域に関する実験研究 その2 夏季及び冬季の至適域について、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集2、pp.701~704,1995.
- 17) 藏澄、堀越、土川、松原：日本人の体表面積に関する研究、日本生気象学会誌31(1)、pp.5~29,1994.
- 18) 花田、三平、佐藤：男子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 Vol.24 No.8、pp.31~37,1983.
- 19) 日本建築学会編：建築設計資料集成 単位空間1、丸善.
- 20) Hardy, J. D. & DuBois, E. F. : The Technic of Measuring Radiation and Convection, Journal of Nutrition Vol. 15 No. 5, pp.461~475, 1938.
- 21) Ramanathan, N. J. : A new weighting system for mean surface temperature of the human body, Journal of Applied Physiology 19, pp.531~533, 1964.
- 22) 堀越、磯田、小林：風洞内温熱条件の人体に及ぼす影響に関する実験的研究 (男子裸体) その2 夏期-平均皮膚温と温冷感申告、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.27~30, 1974.
- 23) C. E. A. Winslow, L. P. Herrington, A. P. Gagge : Physiological Reactions of The Human Body to Varying Environmental Temperatures, The American Journal of Physiology Vol. 20, No. 1, pp.1~22, 1937.
- 24) 堀越、宮原、小林：人体と矩形面との間の形態係数及び人体の有効ぶく射面積に関する研究 1. 算出理論と椅座着衣の場合の実測、日本建築学会論文報告集、第268号、pp.109~119, 1978.

(1996年11月10日原稿受理、1997年2月25日採用決定)