

熱放射パネルによるスカート着用時の下肢への放射熱が 生理心理反応に及ぼす影響に関する研究

高橋 優子 1)、宮本 征一 2)

1) 摂南大学大学院 工学研究科 社会開発工学専攻 2) 摂南大学 理工学部 住環境デザイン学科

Study on influence that the regional thermal radiation by the heat radiation panel gives to physiological & psychological responses wearing skirt

Yuko TAKAHASHI 1) and Seiichi MIYAMOTO 2)

1) Division of Social Development Engineering, Graduate School of Engineering, Setsunan University and
2) Department of Living and Environmental Design, Faculty of Science and Engineering, Setsunan University

Abstract: The experiment to give the radiation heat of leg using the heat radiation panel was conducted for the young female, in ambient temperature 20°C and humidity 50%. In order to clear in detail the radiation heat between the heat radiation panel and leg region, the image of the human body was taken of a picture with a fish-eye lens. And the configuration factor between the heat radiation panel and the leg region was calculated. As a result, the configuration factor from the leg region to the heat radiation panel was 0.46. The regional energy of radiation whose regional thermal sensation is neutrality is 43W/m², and the regional energy of radiation with the most comfortable regional thermal comfortable sensation 104W/m² was obtained. Moreover, operative temperature in which the regional radiation environment was considered was calculated, and the most comfortable operative temperature obtained 23.2°C.

Key Words: thermal radiation, configuration factor, young female, thermal sensation, thermal comfortable sensation

要旨： 青年女性を対象に、WARMBIZ で推奨されている室温 20°C・湿度 50% 下で、熱放射パネルを用いて下肢へ放射熱を与える各部位の皮膚温と皮膚熱流束などの生理反応と温熱的快適感や温冷感などの心理反応を測定した生理心理実験と心理反応のみを測定した心理反応実験を行った。また、熱放射パネルと下肢間の放射熱授受を詳細に検討するために、魚眼レンズを用いて人体の像を撮り、下腿部前面と熱放射パネルとの形態係数を算出した。そして、下腿部前面の放射熱授受量と温冷感や温熱的快適感との関係を検討した。その結果、下腿部前面から熱放射パネルへの形態係数 0.46 を得た。熱放射パネルと下肢間の放射熱授受を明らかにし、局所温冷感が温熱的中立である局所放射熱量は 43W/m²、局所温熱的快適感が最も快適である局所放射熱量は 104W/m² が得られた。また、最も快適である局所放射環境を加味した作用温度は 23.2°C が得られた。

キーワード： 熱放射、形態係数、青年女性、温冷感、温熱的快適感

1. はじめに

近年、地球温暖化の抑制対策が急務であり、省エネルギー化が必然となっている。多大なエネルギーを投入し、快適な温熱環境を作り出すことは可能であるが、省エネルギーや環境に配慮することは恒常化とされつつある現在では、空間を使用する人が快適かつエネルギー消費を抑えるような空間を構築することが必須である。そのため、筆者らは、均一な温熱環境下で青年

女性を対象とし、スーツを着用した温熱的快適域を把握するため生理心理反応実験を行い、データの蓄積を行ってきている。また、人体の局所を暖める熱放射パネルを用いた被験者実験は、寺野ら (1995)、野原ら (1996) が挙げられ詳細に検討されている。そこで本研究では、室温 20°C・湿度 50% 下で、青年女性を対象に下肢への局所熱放射の有無またはスカートとパンツという着衣形状の相違が生理心理反応に及ぼす影響に

ついて明らかにすることを目的に被験者実験を行い、熱放射が入射している下腿部と熱放射パネルとの間の形態係数を算出し、下肢への局所放射熱量の把握および温冷感や温熱的快適感との関係を検討する。

2. 研究計画

2009 年 12 月下旬～2010 年 3 月下旬に、摂南大学 8 号館環境工学実験室内に設置された図 1 に示す恒温恒湿室 (ESPEC 製: TBR-3HAOPX) において表 1 に示すような健康な青年女性 10 名を用いて、生理量や心理量を測定した生理心理反応実験と心理量のみを測定した心理反応実験を行った。被験者は図 1 に示すように室中央にて椅座位姿勢とし、下腿部に放射熱が入射するように熱放射パネル (DH-204 400mm×400mm) を水平に 2 枚並べて、床から 50mm の高さで被験者の膝蓋骨中央点から前方 150mm の距離に配置した。

曝露条件は、室温 20℃、湿度 50%、壁面温度≒室温とし、風速は静穏気流とした。実験条件は、着衣がパンツで局所放射熱量が 0W を P0 条件、着衣条件がスカートで局所放射熱量が 0W・200W・400W を S0・S200・S400 条件とし、計 4 条件とした。

環境物理量は、アスマン通風乾湿計を用いて室温と湿度を、グローブ温度計を用いてグローブ温度を、T 型熱電対を用いて上下温度分布 (床上 100mm・600mm・1100mm)、床・天井・壁、机天板裏、机天板直下の床および熱放射パネルの表面温度を、データロガ (江藤製: THERMDAC EF) に接続して 10 秒毎に測定した。また、熱線式風速計 (カノマックス製: model 6533) を用いて被験者の近傍域の風速を測定したところ静穏気流 (0.15m/s 以下) であった。

生理量は、T 型熱電対を用いて舌下温と DuBois の 7 点と臀部および熱放射が入射する下腿部前面と入射しない下腿部後面の皮膚温を、熱流束センサーを用いて皮膚温を測定した同部位の皮膚熱流束を、データロガに接続して 10 秒毎に測定した。

実験手順としては、生理心理反応実験は曝露前の影響をなくすため、実験開始 30 分前にカーテンで囲まれタイルカーペットが敷かれた前室に入室させ、暑くも寒くもない温熱環境下で椅座安静を保持させた。その後、被験者を恒温恒湿室に入室させ、身体測定後、スーツに着替えさせ、電子体温計により舌下温を測定しながら熱電対と熱流束センサーを装着した。装着完了時を曝露開始時として、10 分間隔で全身温冷感、各部位の温冷感 (頭部・体幹部・手部・足部)、温熱的快適感、下腿前面と後面の局所温冷感および局所温熱的快適感を申告させた。局所熱放射がある S200 条件と S400 条件の場合は、被験者が入室する前に熱放射パネルに通電し、表面温度が定常状態になるようにした。そのため、曝露開始時までは熱放射パネルと被験者の間に

衝立をし、曝露開始 0 分から衝立を外して被験者に放射熱を入射させた。放射熱が下腿前面に均等に入射するように下腿が垂直になるように姿勢を保持させた。60 分間の曝露終了後、舌下温を測定しながらセンサーを取り外し、体重を測定した。また、心理反応実験は生理心理反応実験と同様な手順とした。

表 2 に被験者の衣服アイテム重量および着衣量を示す。被験者の着衣量は、電磁はかりを用いて衣服総重量を測定し、花田らの式より推定した。

熱放射パネルと下肢間の放射熱授受を詳細に検討するため、土川ら (1991) と同様に部位の形態係数を求めることとした。魚眼レンズ (Nikon Fisheye Converter FC-E8) を用いて、熱放射パネルの位置から被験者 3

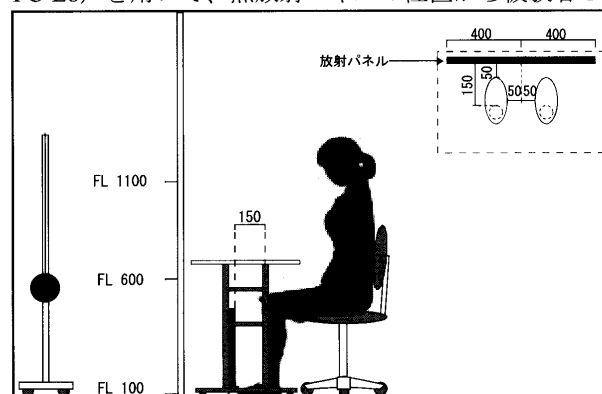


図 1 恒温恒湿室断面図および熱放射パネル詳細図

表 1 被験者身体特性

	生理心理反応実験				心理反応実験			
	Ave.	SD	Max	Min	Ave.	SD	Max	Min
身長 mm	1566	40	1601	1499	1597	55	1680	1544
平均体重 kg	48.8	3.4	52.4	45.5	52.1	2.1	55.4	49.6
BMI kg/m ²	19.9	1.0	20.8	18.2	20.5	1.9	22.6	18.3
体表面積 m ²	1.46	0.06	1.53	1.38	1.53	0.04	1.58	1.48
体脂肪率 %	26.3	1.0	28.0	25.2	25.9	2.0	27.6	23.7
年齢 歳	22	1	23	21	21	1	23	20

表2 衣服アイテム重量および着衣量

		生理心理反応実験				心理反応実験			
		Ave.	SD	Max	Min	Ave.	SD	Max	Min
スーツ 上衣		341.8	32.2	399.3	324.4	344.4	21.9	367.8	313.1
スーツ下衣 (スカート)		158.7	10.0	170.8	143.0	162.4	17.0	188.1	145.0
スーツ下衣 (パンツ)		280.3	15.8	305.9	262.9	306.3	28.3	344.5	273.5
ブラウス		140.4	10.2	152.7	129.4	166.4	29.2	208.7	130.1
キャミソール		71.5	4.2	74.5	68.5	62.3	12.0	70.8	53.9
下着 上		54.7	4.4	61.3	49.4	54.0	13.9	67.9	35.8
下着 下		23.1	4.1	29.9	19.5	32.0	17.5	62.9	20.6
ストッキング		17.0	1.7	18.6	14.6	16.8	3.4	20.1	12.9
スリッパ		142.7	---	142.7	142.7	142.7	---	142.7	142.7
スカート 条件	総重量 g	906.9	35.5	956.6	866.3	943.6	65.2	992.2	831.0
	着衣量 clo	0.91	0.04	0.96	0.87	0.95	0.07	1.00	0.83
パンツ 条件	総重量 g	1028.5	45.8	1091.7	969.1	1087.6	76.3	1133.1	955.5
	着衣量 clo	1.03	0.05	1.10	0.97	1.10	0.08	1.14	0.96

名の人体の像を撮り、熱放射パネルから下腿部前面への形態係数 $\varphi_{p \rightarrow f}$ を算出することとした。人体は左右対称とみなし、左側の熱放射パネル上の 100mm × 100mm の格子点上で計 25 点実測した。また、下腿部の表面積 A_f は、左右対称とみなし、各被験者の左下腿部を下腿部前面、下腿部後面に分けて、非伸縮性のテープを用いて測定した。下腿部両足間の相互反射が考えられるため、下腿部を円柱とみなし、2 無限円柱間の形態係数から有効放射面積率を概算し、下腿部前面の有効放射面積を算出した。 $\varphi_{p \rightarrow f}$ 、熱放射パネル表面積、下腿部前面の有効放射面積から相反原理を用いて、下腿部前面から熱放射パネルへの形態係数 $\varphi_{f \rightarrow p}$ を算出した。 $\varphi_{f \rightarrow p}$ を用いて、下腿部前面の MRT を算出し、下腿部前面に入射する局所放射熱量を算出した。

本研究では、局所放射熱が人体に入射する方向を正 (+) として扱うこととする。また、パンツ条件における局所放射熱量の算出時に、着衣表面温度が必要であるため、スーツ着用時の椅座における下腿部の着衣熱抵抗 0.27clo を用いて算出した。作用温度は下腿部前面の MRT とその他の部位の MRT を体表面積重み付けして算出した。

3. 結果および考察

表 3 に被験者 3 名における下腿部表面積の測定値および下腿部と熱放射パネルとの形態係数を示す。下腿部表面積 A_f は DuBois の重み付けでは全体表面積に対する下腿部の割合は 13% とされており、今回実測した値 A_f と全体表面積 A_d の割合は同等な値であった。このことから下腿部表面積の実測した値は妥当な値が得られたと考えられる。また、下腿部前面から熱放射パネルへの形態係数 $\varphi_{f \rightarrow p}$ の平均値は 0.46 となった。

図 2 に生理心理反応実験のデータを用いて、下腿部前面に入射した局所放射熱量と各部位（下腿部前面・下腿部後面・大腿部・下腿部・足背部・手背部）の皮膚温との関係を示す。下腿部前面・大腿部・下腿部・足背部に相関が見られ相関係数はそれぞれ、0.95、0.74、0.60、0.84 となった。熱放射が入射していない末梢部である手背部においても相関がみられ、相関係数が 0.45 となった。実験条件毎に t 検定を行ったところ、S0 条件と S400 条件間において 5% の有意水準で差が見られた。そのため、手背部においても皮膚温に影響を及ぼすと考えられる。

図 3 に生理心理反応実験のデータを用いて、各部位（頭部・体幹部・手部・足部）と下腿部前面・下腿部後面の皮膚温と各部位の温冷感との関係を示す。頭部・体幹部においては、放射熱が入射していないため、ほぼ一定の皮膚温であり、相関が見られなかった。足部・手部においては放射熱が入射している足部だけでなく、入射していない手部においても相関が見られ、相

表 3 下腿部表面積および形態係数

被験者	下腿部前面 (左) 表面積 cm ²	下腿部後面 (左) 表面積 cm ²	下腿部 表面積 A_f cm ²	体表面積 A_d cm ²	A_f/A_d %	形態係数 (下腿部前面→ 放射パネル) $\varphi_{f \rightarrow p}$
F01	430	548	1957	14513	13.5	0.47
F02	516	517	2066	15241	13.6	0.44
F03	408	467	1750	13770	12.7	0.46
Ave.	451	511	1924	14508	13.2	0.46

$$A_d = 71.84 \times W^{0.425} \times H^{0.725} \quad W = \text{体重 (kg)} \quad H = \text{身長 (cm)}$$

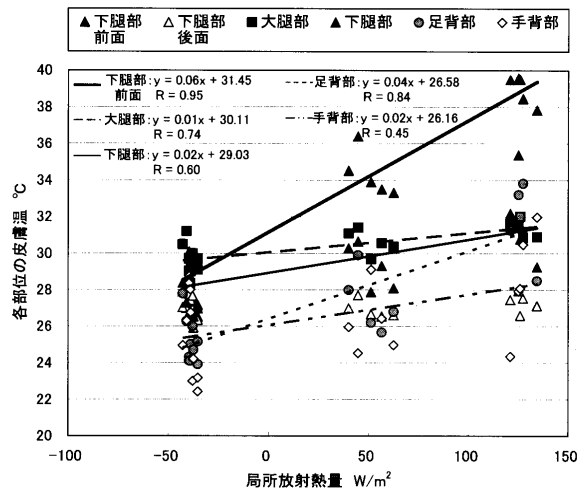


図 2 局所放射熱量と各部位の皮膚温の関係

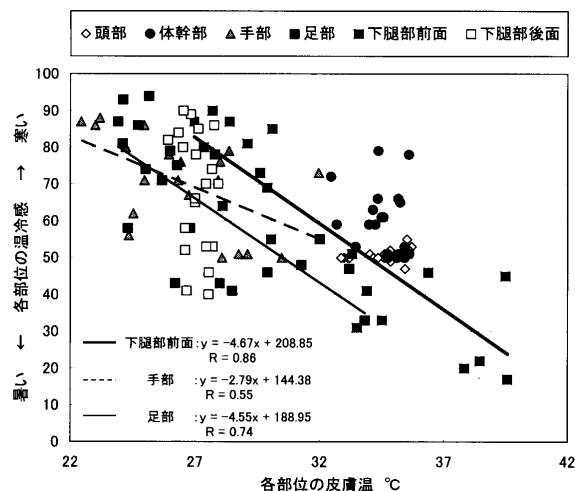


図 3 各部位の皮膚温と温冷感の関係

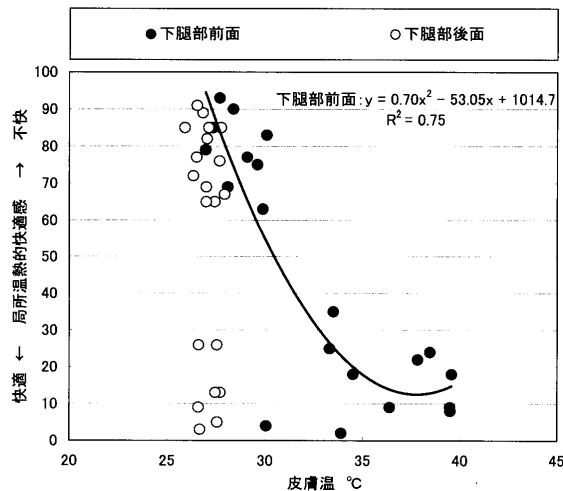


図 4 下腿部前面・後面の皮膚温と温熱的快適感の関係

関係数は 0.74、0.55 となった。下腿部後面においては、下腿部前面への放射熱の入射により下腿部後面の皮膚温が上がっていても暖かく感じる被験者もいれば、逆に寒く感じる被験者もあり、個人差が大きく、申告がばらついたため相関が見られなかった。直接放射熱を入射している下腿部前面においては、強い相関が見られ、相関係数は 0.86 であった。下腿部前面の温冷感が温熱的中立である 50 のときの皮膚温は回帰式より 34.0℃ となった。

図 4 に生理心理反応実験のデータを用いて、下腿部前面および下腿部後面の皮膚温と局所温熱的快適感との関係を示す。放射熱が直接入射されていない下腿部後面においては、快適側に申告したものは S200 および S400 条件の熱放射がある場合であり、下腿部前面に放射熱が入射することにより下腿部後面も快適側に移行したと考えられる。下腿部前面の皮膚温と局所温熱的快適感に相関が見られ、決定係数は 0.75 となった。局所温熱的快適感が最も快適となる下腿部前面の皮膚温は回帰式より 37.8℃ となった。

心理反応実験のデータにおいて、局所放射熱量および作用温度は生理心理反応実験データの実験条件毎における平均値を用いて考察することとした。

図 5 に生理心理反応実験と心理反応実験のデータを用いて、下腿部前面における局所放射熱量と局所温冷感および局所温熱的快適感との関係を示す。局所放射熱量と局所温冷感の相関係数は 0.74 と強い相関がみられた。局所温冷感が温熱的中立である 50 のときの局所放射熱量は回帰式より 43W/m² であった。局所放射熱量と局所温熱的快適感の決定係数は 0.72 となった。最も快適となる局所放射熱量は回帰曲線から 104W/m² と算出された。冬の寒さによる下肢の不快感を緩和させるためには、約 100W/m² の熱放射を下肢に与えるか、それ相当の着衣熱抵抗の増加が必要と考えられる。

図 6 に生理心理反応実験と心理反応実験のデータを用いて、作用温度と全身温冷感および温熱的快適感の関係を示す。作用温度と全身温冷感との相関が見られ、相関係数は 0.70 となった。作用温度と温熱的快適感の決定係数は 0.46 となった。最も快適となる作用温度は回帰曲線から 23.2℃ と算出された。

4. おわりに

青年女性を対象に、室温 20℃・湿度 50% で、熱放射パネルを用いて下肢へ放射熱を与える曝露実験を行った。直接放射熱が入射している下腿部前面と熱放射パネルとの形態係数 0.46 が得られた。局所温冷感が温熱的中立である局所放射熱量は 43W/m²、局所温熱的快適感が最も快適である局所放射熱量は 104W/m² が得られた。また、局所放射環境を加味した作用温度を算出し、最も快適である作用温度は 23.2℃ が得られた。

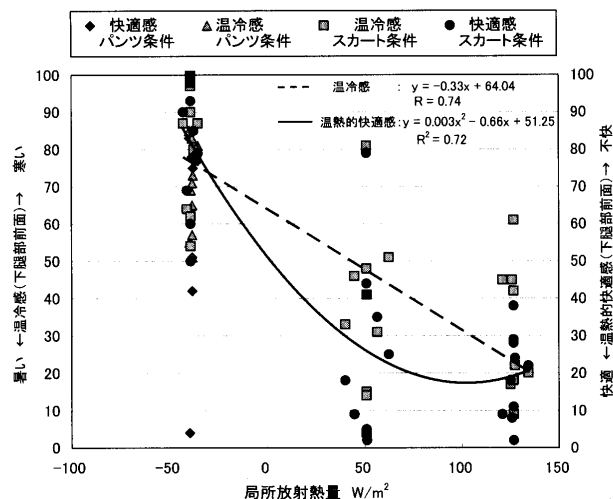


図5 局所放射熱量と局所温冷感・温熱的快適感の関係

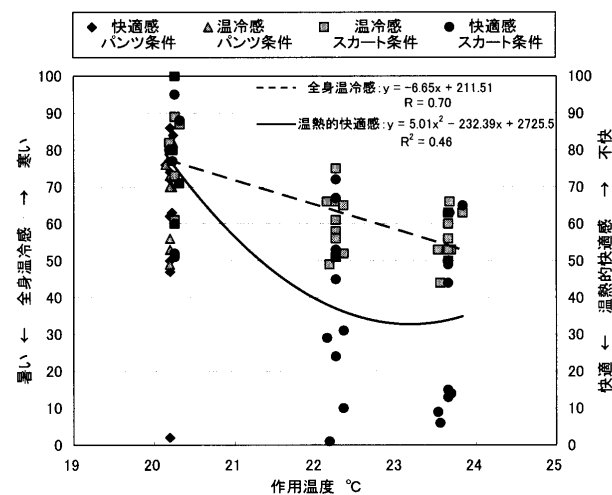


図6 作用温度と全身温冷感・温熱的快適感の関係

5. 文献

- 寺野 真明, 片山 弘典, 釜谷 周滋, 久野 覚, 1995: 脚部放射加熱時の温熱快適性に関する研究, 人間と生活環境, 2 (1), 48/57
- 土川 忠浩, 堀越 哲美, 近藤 恵美, 蔵澄 美仁, 平山 慶太郎, 小林 陽太郎, 1991: 実測による人体の有効放射面積および人体と矩形面との間の形態係数に関する研究 その 2 青年女子に対する実測および青年男子の部位に対する実測, 日本建築学会環境系論文 No.428, 67/75
- 野原 宗道, 志村 欣一, 宮本 征一, 堀越 哲美, 1996: 熱放射源の位置が人体皮膚温・温冷感に及ぼす影響, 人間と生活環境, 3 (1), 29/37
- 堀越 哲美, 宮原 英男, 小林 陽太郎, 1978: 人体と矩形面との間の形態係数および人体の有効ふ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 日本建築学会計画系論文報告集, No.268, 109/119

<連絡先>

著者名: 高橋 優子
住 所: 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8
所 属: 摂南大学大学院
工学研究科 社会開発工学専攻
E-mail アドレス: mays_sys@yahoo.co.jp