

温熱的中立～寒冷環境における温冷刺激を知覚する温度と不快を 知覚する温度に関する研究 青年男性被験者の頭部と末梢部の場合

宮本征一¹⁾, 大浦理沙²⁾

¹⁾摂南大学理工学部建築学科, ²⁾摂南大学理工学研究科

Study on the temperature to perceive warm or cool stimulation and the temperature to perceive unpleasantness under thermally neutral environment to cooling environment

Seiichi MIYAMOTO¹⁾, Risa OURA²⁾

¹⁾ Setsunan University, ²⁾ Graduate school, Setsunan University

Abstract: The head and the distal portion of young male subjects were given the warm or cold stimulation in constant temperature and humidity room controlled to ambient temperature 8~28 degrees Celsius, relative humidity 50%. The temperature to perceive warm or cool stimulation and the temperature to perceive unpleasantness were calculated, and the differences with the skin temperature were calculated. As a result, the individual differences were seen in the decrease of the warm or cool sensitivity with the decrease of skin temperature. The decrease of skin temperature decreased the sensitivity of the distal portion than the head, and it decreased the warm sensitivity than the cool sensitivity.

Key words: warm sensitivity, cold sensitivity, perception, unpleasantness, skin temperature

要旨: 温熱的中立な環境である室温 28℃から寒冷な環境である室温 8℃までの 5℃間隔で、湿度 50%に制御した恒温恒湿室において、青年男性被験者 10 名の頭部、手部、足部に対して、25mm 角のプロープの温冷感閾値計 (Intercross-210) を用いて、毎秒±0.1℃、±0.3℃、±0.5℃で接触部の温度を変化させて温刺激または冷刺激を与えた。温覚または冷覚を知覚した時の温度と温熱的不快感を知覚する温度を測定して、温冷刺激を与え始める時の皮膚温との差を知覚開始温度差と不快知覚温度差として算出した。その結果、温冷刺激を与え始める時の皮膚温が温冷覚の感受性に与える影響には、個人差が見られることを明らかにし、皮膚温低下に伴う感受性の低下は、頭部より末梢部のほうが大きく、冷覚より温覚のほうが大きくなることを明らかにした。

キーワード: 温感受性、冷感受性、知覚、不快感、皮膚温

1. はじめに

人体の冷覚や温覚に関する研究は、冷点の分布密度と冷覚の感受性との関係を明らかにした研究 (李ら、1995)、温点の分布密度と温覚の感受性との関係を明らかにした研究 (田村ら、1995)、各部位の温覚の感受性の差異を明らかにした研究 (宮本、2009) など多数あるが、持続的に温冷刺激を知覚していない温熱的中立な環境下において温冷覚の感受性が把握されることが多い。しかし、現実の空間においては、暑熱環境から寒冷環境まで幅広い温熱環境下に人体は曝露されることとなる。曝露される温度が異なると、各部位の皮膚温は大きく異なり、温冷覚の感受性も異なると考えられる。そのため、皮膚温の違いが温冷覚の感受性に与える影響を把握することは有意義であると考えられる。また、既往の研究では、温冷刺激を与え始める時の

皮膚温と温冷刺激を知覚し始める時の温度との差を温冷覚の閾値 (温冷覚の感受性) として把握されることが多いが、温熱的不快感を知覚する時の温度やその温度差を把握することは、局所的な温冷刺激を有する環境における温熱的快適感 (不快感) を把握するために有意義であると考えられる。

本研究では、温熱的中立な環境である 28℃から寒冷環境である 8℃までの環境において、青年男性被験者を曝露して、寒冷環境下においても被服されず環境に曝露される可能性がある頭部、手部、足部における温冷刺激を知覚する温度 (知覚開始温度) と温熱的不快感を知覚する温度 (不快知覚温度) を、一定の温度変化速度で加熱または冷却できる温冷覚閾値計を用いて測定した。そして、室温-皮膚温-温冷覚の感受性の関係を明らかにすることを目的とする。

2. 研究計画

恒温恒湿室 (ESPEC 製: TBR-3HAOPX) 内に、被験者の姿勢を保持するための椅子と測定機器を置く机を設置し、温冷感閾値計 (Intercross-210) と測定用の PC を設置した。恒温恒湿室を、相対湿度を 50% に固定して、室温を 28°C、23°C、18°C、13°C、8°C の 5 条件で制御した。恒温恒湿室内の乾球温度と湿球温度は、通風式白金乾湿度計を用いて測定し、概ね設定した室温と相対湿度であることを確認した。

温冷覚閾値計は、25mm 角のプロープを用いて、人体と接触させた部分に一定の温度変化速度で温刺激または冷刺激を与えることができる機器である。接触させる皮膚温に近い温度の状態プロープを各部位に密着させると、接触時の熱流束が $\pm 30\text{W/m}^2$ 以下 (温かくも冷たくもない状態) となるように自動制御されてから、温刺激または冷刺激が与えられることとなる。

被験者として、表 1 に示す身体特性の青年男性被験者 10 名を用いた。BMI は 18.5 未満 (痩せ型) が 1 名、18.5 以上 25 未満 (普通体重) が 6 名、25 (肥満) 以上が 3 名であった。被験者の着衣は、各室温条件において体幹部が温熱的に中立となるような着衣とし、温冷刺激を与える部位 (頭部: 額、頬、頸後、手部: 掌、手背、足部: 足背、踵、土踏まず) は、着衣で覆わずに空気に曝した状態を保たせた。

実験手順は、前室にて実験着に着替えてもらい、身長と体重を測定した後に、恒温恒湿室に入室させ、椅座安静で 30 分~40 分程度の休息を取らせた。末梢部が曝露されている室温に順応した状態であることを確認してから、温冷覚閾値計のプロープを被験者の皮膚に密着させて、加熱または冷却を開始した。温度変化速度は、毎秒 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 、 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 、 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ の 3 条件とした。加熱または冷却を開始した後に、温かさまたは冷たさを知覚した時、被験者にスイッチを押させることにより温または冷刺激を知覚し始めた温度 (知覚開始温度) を測定した。さらに、プロープを加熱または冷却し続けて、不快と知覚した時、被験者にスイッチを押させることにより温または冷刺激を不快に知覚した温度 (不快知覚温度) を測定した。温刺激または冷刺激を与え始める時の皮膚温 (開始皮膚温) と、温覚または冷覚の知覚開始温度や不快知覚温度との温度差を、知覚開始温度差、不快知覚温度差として算出した。

3. 結果および考察

3.1 温度変化速度の影響

既往研究において温冷覚を把握する実験が多々行われているが、温度変化速度は異なっている。温冷刺激を知覚してからスイッチを押す動作までの時間の影響を少なくしたい場合は、毎秒 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ が良い。そのため、

表 1 被験者の身体特性

被験者	身長 mm	体重 kg	BMI kg/m^2	年齢 歳
平均値	1725	67.4	22.6	21.2
標準偏差	56	10.7	3.2	1.1
最小値	1625	49.9	17.4	20
最大値	1811	82.8	27.2	23

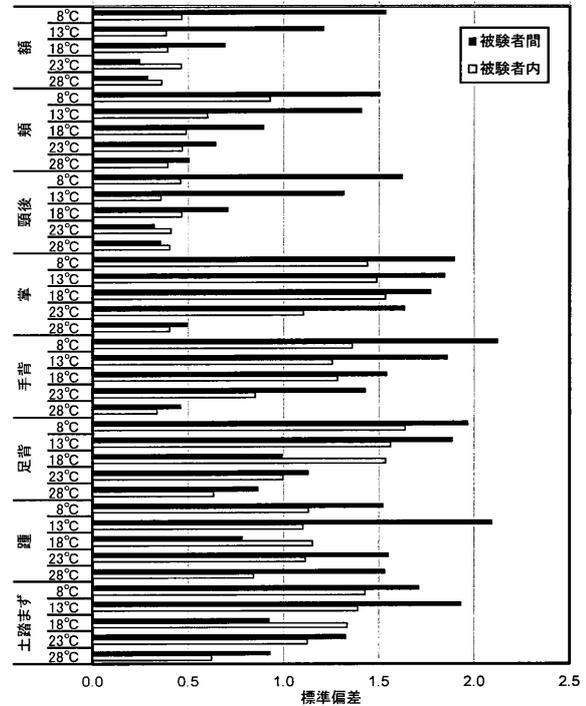


図 1 皮膚温の再現性と個人差

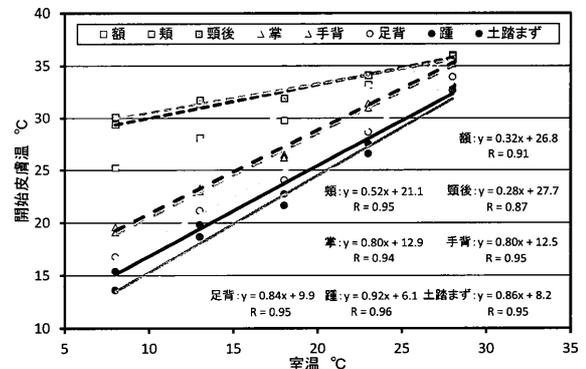


図 2 室温と開始皮膚温との関係

高齢者を対象とした実験では毎秒 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ で行われることが多い。しかし、温度変化速度が遅いと、温冷覚が鈍い部位では温冷刺激を知覚する瞬間が曖昧となる場合があることや、実験時間が長くなることから、青年を対象とした実験では、毎秒 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 、 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ で行われることが多い。本実験においても、実験後のインタビューで温度変化速度について同様な意見があった。

本研究では、室温条件と部位毎のデータに対して、温度変化速度と温冷覚に正または負の相関が見られる場合に、母平均の差の検討を行ったが、温度変化速度による有意な差異は見られなかった。そのため、本研

究では、温度変化速度の影響は少ないと考えて、毎秒 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ の温度変化速度が異なるデータを同質なデータとして扱うこととした。

3.2 室温と温冷刺激を与え始める時の皮膚温の関係

同一被験者の同一部位において、同一室温条件下で6つの開始皮膚温を測定しているため、被験者内のバラツキ（再現性）と被験者間のバラツキ（個人差）の大小を把握することとした。図1に、部位と室温条件毎の皮膚温の再現性と個人差を示す。室温 28°C と 23°C の額と頸後、 18°C の足背、踵と土踏まずを除く、室温条件と部位において、被験者間の標準偏差（個人差）より被験者内の標準偏差（再現性）のほうが小さな値となった。このことから、それぞれの室温に順応した皮膚温の状態で測定されていたと考えられる。

図2に、室温と温冷刺激を与え始める時の皮膚温（開始皮膚温）との関係を示す。各部位300データにより求められた回帰式は、各々相関が高く、室温の低下に伴う皮膚温の低下が見られた。室温 28°C 条件と室温 8°C 条件を比較すると、頭部の頸後では、 $35.9 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ と $30.1 \pm 1.6^{\circ}\text{C}$ であり 5.8°C の差異がみられるのに対して、足部の踵では、 $32.7 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ と $13.6 \pm 1.8^{\circ}\text{C}$ であり 19.0°C の差異がみられる。室温 10°C 低下すると頭部は $3^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$ の低下が、末梢部（手部と足部）は $8^{\circ}\text{C} \sim 9^{\circ}\text{C}$ の低下がみられ、頭部と比べて末梢部は大きく低下することが明らかとなった。

3.3 知覚開始温度差と不快知覚温度差の個人差

知覚開始温度差または不快知覚温度差と開始皮膚温の関係の例として、図3～図6に手背の場合を示す。

図3の温覚の知覚開始温度差は、全ての被験者において皮膚温が低くなると大きくなったが、皮膚温の低下に伴う知覚開始温度差の変化は、被験者によって異なり、回帰直線の傾きは、 $-0.160 \sim -0.657$ の範囲となった。図4の温覚の不快知覚温度差は、図3と同様に皮膚温の低下に伴う不快知覚温度差の変化は、被験者によって異なり、回帰直線の傾きは、 $-0.319 \sim -1.264$ の範囲となった。被験者Cは、手背のみならず多くの部位において皮膚温の低下に伴う知覚開始温度差や不快知覚温度差の変化が大きいため、室温の影響を最も受けやすい被験者であるといえる。同様に、被験者Dは皮膚温の低下に伴う温度差の変化が小さいため、室温の影響を最も受けにくい被験者であるといえる。

図5の冷覚の知覚開始温度差も、全ての被験者において皮膚温が低くなると大きくなったが、皮膚温の低下に伴う知覚開始温度差の変化は、被験者によって異なり、回帰直線の傾きは、 $0.0025 \sim 0.224$ の範囲となった。図6の冷覚の不快知覚温度差は、図5と同様に皮膚温の低下に伴う変化は、被験者によって異なり、回帰直線の傾きは、 $0.0283 \sim 0.556$ の範囲となった。

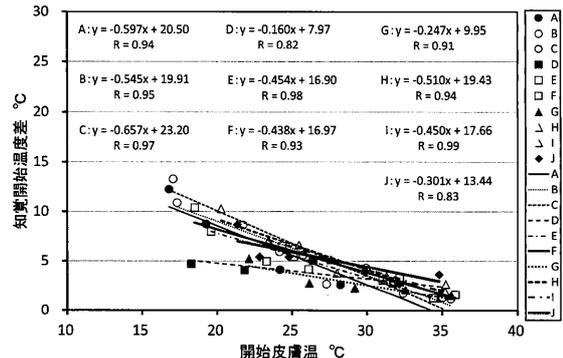


図3 手背の温覚の知覚開始温度差

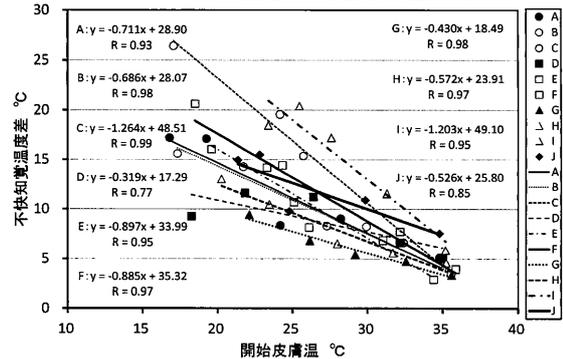


図4 手背の温覚の不快知覚温度差

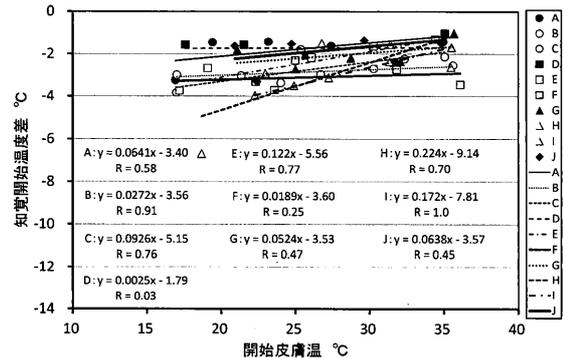


図5 手背の冷覚の知覚開始温度差

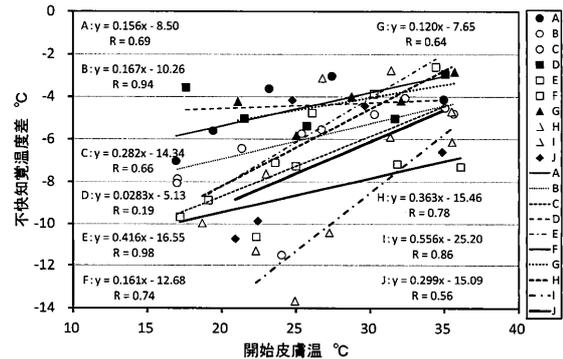


図6 手背の冷覚の不快知覚温度差

温覚の場合より皮膚温の低下に伴う知覚開始温度差や不快知覚温度差の変化は小さいが、知覚開始温度差においては被験者Hが多く部位において室温の影響を最も受けやすく、被験者Dが最も受けにくい被験者であった。不快知覚温度差においては被験者Cが多く部位において室温の影響を最も受けやすく、被験者Dが最も受けにくい被験者であった。

3.4 知覚開始温度差と不快知覚温度差の部位間差

図7~図10に、温覚または冷覚の知覚開始温度差または不快知覚温度差と開始皮膚温との関係を示す。

図7の温覚の知覚開始温度差は、部位毎に開始皮膚温との相関が見られ、開始皮膚温が低くなると知覚開始温度差は大きくなり、開始皮膚温が低い状態のほうが、知覚開始温度差のバラツキは大きくなった。知覚開始温度差が大きい足部のほうが、知覚開始温度差が小さい頭部と手部より個人差が大きくバラツキが大きくなった。図8の温覚の不快開始温度差は、知覚開始温度差と開始皮膚温の関係と同様な傾向が見られた。開始皮膚温の低下に伴う温感受性の低下は、頭部より末梢部の部位のほうが大きいため、開始皮膚温が低くなるほど、部位間差は大きくなった。

図9の冷覚の知覚開始温度差は、頬以外の部位では開始皮膚温との相関があまり見られなかった。開始皮膚温が低くなると頭部では知覚開始温度差が多少大きくなる傾向が見られるが、末梢部では傾きが正であるものの知覚開始温度差はほぼ一定となった。図10の冷覚の不快開始温度差は、頬と踵以外の部位では相関があまり見られず、知覚開始温度差と開始皮膚温の関係と同様な傾向が見られた。開始皮膚温の低下に伴う冷感受性の低下は、温感受性の低下と異なりあまり見られなかった。これは、温覚と冷覚では受容器が異なること、無関帯から持続性冷覚が生じる範囲での曝露であったことが影響していると考えられる。

4. まとめ

温熱的に中立的な環境から寒冷環境下までにおいて、青年男性被験者の頭部、手部、足部の温冷刺激を知覚する温度と温熱的不快を知覚する温度を測定した。

その結果、室温の低下に伴う皮膚温の低下は、頭部と比べて末梢部のほうが著しくなった。温冷刺激を与え始める時の皮膚温が温冷覚の感受性に与える影響には個人差が見られた。皮膚温低下に伴う感受性の低下は、頭部より末梢部のほうが大きく、冷覚より温覚のほうが大きくなることを明らかにした。

5. 文献

李 旭子、田村 照子 1995：人体表面の温度点分布（第1報）冷点分布密度の部位差、人間と生活環境、No.2、pp.30-36
 田村 照子、李 旭子 1995：人体表面の温度点分布（第2報）温点分布密度の部位差、人間と生活環境、No.2、pp.37-42
 宮本 征一 2009：局所冷刺激を与えたときの青年男性被験者の身体各部位の冷感受性、人間と生活環境、No.16、pp.11-17

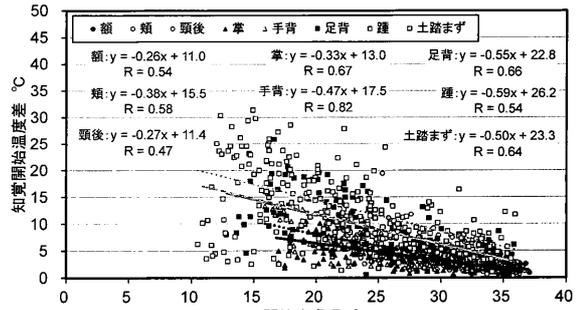


図7 開始皮膚温と温覚の知覚開始温度差の関係

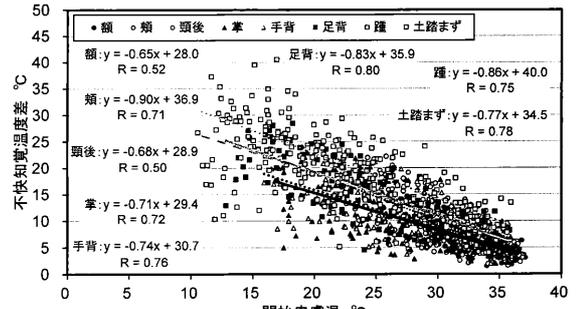


図8 開始皮膚温と温覚の不快知覚温度差の関係

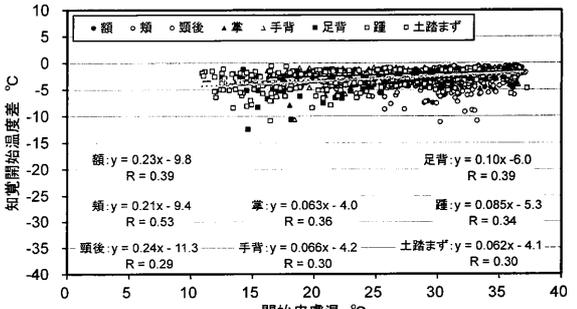


図9 開始皮膚温と冷覚の知覚開始温度差の関係

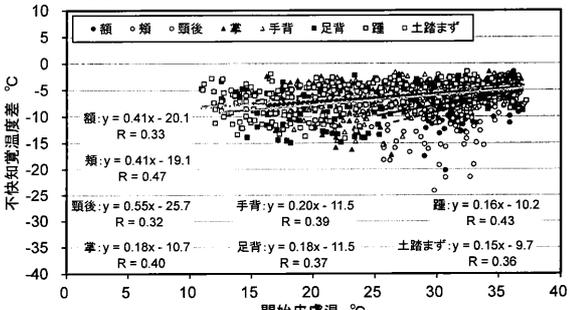


図10 開始皮膚温と冷覚の不快知覚温度差の関係

謝辞 本研究の実験を行った摂南大学の学生および被験者に感謝の意を表します。なお、本研究の研究費の一部として科学研究補助金挑戦的萌芽研究（課題番号25630241）を使用した。

<連絡先>

連絡先氏名 宮本 征一
 住所 大阪府寝屋川市池田中町 17-8
 所属 摂南大学理工学部建築学科
 E-mail アドレス miyamoto@arc.setsunan.ac.jp