温熱的生理心理反応の個人差に関する研究

—夏期における設定気温条件の場合—

EXPERIMENTAL STUDY ON INDIVIDUAL VARIATION OF THERMAL PHYSIOLOGICAL
AND PSYCHOLOGICAL RESPONSE

—Cases of designed air temperature in summer—

佐々尚美*, 久保博子**, 磯田憲生***, 梁瀬度子****

Naomi SASSA, Hiroko KUBO, Norio ISODA
and Takuko YANASE

The study aims to investigate the individual difference of thermal physiological and psychological responses to various air temperature conditions in summer. Healthy 29 women were exposed to air temperature (20°C, 24°C, 28°C and 32°C) during 120 minutes in a climate chamber.

The results were as follows ;

There were differences among individuals in skin temperature, especially peripheral parts of the body, thermal comfort and thermal sensation. The subjects grouped into three based on preferred air temperature to investigate the responses in detail. Consequently, differences among three groups were found in thermal sensation, skin temperature distribution and skin temperature v.s. thermal comfort.

Keywords : Individual variations, Thermal comfort, Thermal sensation, Skin temperature, Heat loss

個人差、快適感、温冷感、皮膚温、放熱量

1. はじめに

室内の温熱環境の快適性についてはこれまで多くの研究がなされており、種々の推奨温度が提唱されている。しかし、ASHRAEでも「全ての人が満足する環境は存在しない」¹⁾としている様にその推奨されている気温に室温が保たれていても、非常に快適と感じる人ばかりでなく、不快と感じる人も存在している。これまで、ASHRAEでは Individual Variations²⁾において、P.O.FangerらによるPMVとPPDとの関係より不満足率を予測し何%が不満かという手法を示し、日本では深井ら^{3), 4)}は温度に対する反応性の違いを認め個人差が大きいとし、江口ら⁵⁾は快適温の個人差について特徴を持った5群に分けることを試みているなど、個人差についての研究はあるが、その個人差がどの程度あるのか、また何が要因で生じているかの詳細な記述は少ない。そこで、その個人差を考慮し、より多くの人が快適と感じる温熱環境を創造する為には、気温に対する生理反応、心理反応に個人によりどの程度の反応差があるのかを把握し、それらを生じさせる要因が快適と感じる気温の差にどの様に及ぼすかを検討することが重要であり、その個人差を生じさせる要因別に応じた温熱環境を作り出すことが、これからの課題であると考えられる。これまで、筆者らは「ちょうど良い」と感じる様に自身自身で自由に気温を調節する選択気温実験⁶⁾を行った結果、「涼し

い」～「どちらでもない」と感じる様に気温を調節し、その気温は被験者間において7.2°Cの差、平均皮膚温には3.5°Cの差が認められるという結果を得ている。そこで本報告では、夏期において温熱環境下における生理心理反応の個人差の把握を行うことを目的とし、前述の選択気温実験と同じ被験者を用いて設定気温環境下に暴露した場合の生理心理反応について検討を行った。

2. 実験方法

2-1. 実験室

実験には奈良女子大学人工気候室A室（実験室）とB室（前室）⁷⁾を用いた。図1に人工気候室の平面図を示す。また、両室とも周囲壁面温度は気温とほぼ等しく設定され、0.1m/s以下の不感気流時でもほぼ設定温湿度に制御可能である。

2-2. 実験条件

表1に実験条件を示す。前室の気温を28°Cとし、実験室では、気温を20°C、24°C、28°C、32°Cの4段階に設定した。周囲壁面温度は気温とほぼ等しいとし、不感気流、相対湿度50%一定とした。人体側条件として、被験者は全て既報の⁶⁾「ちょうど良い」と感じる様に自由に気温を被験者自身で調節する「選択気温実験」において採用した被験者と同じ健康な女子大学生29名を採用した。ま

* 奈良女子大学大学院人間文化研究科博士後期課程
大学院生・家修

** 奈良女子大学生活環境学部生活環境学科
助教授・博士(学術)

*** 奈良女子大学大学院人間文化研究科 教授・工博

**** 武庫川女子大学生活環境学部 教授・医博

Graduate School of Human Culture, Nara Women's University, M. Home Eco.

Assoc. Prof., Faculty of Human Life and Environment, Nara Women's University, Ph. D.

Prof., Graduate School of Human Culture, Nara Women's University, Dr. Eng.

Prof., School of Human Environmental Health, Mukogawa Women's University, Dr. Med.

図1 人工気候室平面図

た、着衣量 (Tシャツ、スカート、ストッキング、パンティ、ブラジャー) は 0.3 clo ^{8) 9)} とした。表2に被験者の身体的特徴を前述の選択気温実験⁶⁾にて得られた選択気温群別に示す。尚、低温群は選択気温 25°C 以下、中温群は選択気温 $25^\circ\text{C} \sim 29^\circ\text{C}$ 、高温群は選択気温 29°C 以上とした者である。体型体格は全国平均¹⁰⁾と比較すると、ほぼ標準的な被験者であった。

2-3. 測定項目および測定方法

(1) 測定項目

温熱環境要素として、室の中央にて気温の垂直分布、湿球温度、黒球温度、気流速度を測定した。生理的反応として、皮膚温・舌下温・体重減少量・心拍数・血圧、心理的反応として、快適感 (SD法 7段階)・温冷感 (9段階)・室温評価などを測定した。また、得られた測定値をSASを用い分散分析を行った。

(2) 測定方法

気温、気流速度、周囲壁面温度の測定を行った。気温は床上高さ 10 cm 、 60 cm 、 110 cm において、湿球温度と黒球温度は床上 60 cm において、 0.1 mm φの熱電対を用い多点温度計にて測定した。気流速度は被験者の位置において熱線風速計を用いて測定した。皮膚温は 0.1 mm φの熱電対をサージカルテープを用い、Hardy & DuBoisによる皮膚温7点¹²⁾に貼付し、多点温度計にて測定した。舌下温は婦人体温計を用いて5分間測定した。体重減少量は体重計を用い実験開始前と実験終了時の2回測定し、その差から算出した。申告は、紙上の申告項目について被験者自身で記入してもらった。

2-4. 実験手順

実験手順を図2に示す。被験者は気温 28°C に設定された人工気候室に入室し、設定着衣を着用後、熱電対を貼付し、椅座安静を保ち約30分間暴露した後、各条件に設定した人工気候室に入室し、120分間暴露した。測定は皮膚温は30秒間隔、舌下温・申告は10分間隔、心拍数・血圧は30分間隔、体重は実験室入室時と実験終了時に測定した。実験は1995年7月14日～8月5日にかけて行った。

3. 実験結果

3-1. 温熱環境条件

気温はほぼ設定気温 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ の範囲に保つことが出来た。また相対湿度は、ほぼ設定相対湿度 $50 \pm 0.5\%$ に維持出来た。室内上下気温分布は床上高さ 10 cm と 110 cm では 0.2°C 以内の差であった。人工気候室内の被験者の近傍では 0.1 m/s 以下の不感気流であった。

3-2. 皮膚温および温冷感、快適感の経時変動例

(1) 平均皮膚温の経時変動

図3に平均皮膚温の経時変動の一例として高温群のsub.A、中温群のsub.B、低温群のsub.Cの測定結果を気温別に示した。設定気温

表1 実験条件

設定気温	20°C 、 24°C 、 28°C 、 32°C
周囲壁面温度	気温とほぼ等しい
相対湿度	50%
気流速度	0.15 m/s 以下
被験者	健康な女子大学生 (29名)
着衣量	0.3 clo ^{8) 9)}
活動量	椅座安静

図2 実験手順

表2 被験者の身体的特徴

項目	年齢	身長	体重	体表面積	体格指数
選択気温群	才	cm	kg	m ²	kg/m ²
高温群 (n=4)	Avg 19.75 SD 1.30	158.00 3.09	50.19 2.79	1.50 0.04	20.11 1.12
中温群 (n=20)	Avg 19.95 SD 1.20	158.82 4.70	51.72 5.84	1.52 0.09	20.47 1.74
低温群 (n=5)	Avg 21.00 SD 0.89	156.82 2.66	49.85 7.85	1.48 0.09	20.31 3.37
全員 (n=29)	Avg 20.10 SD 1.26	158.36 4.36	51.19 6.09	1.51 0.09	20.39 2.09
全国平均 ¹⁰⁾	Avg 20	156.6	50.4	1.49	20.6

体表面積 (As) $As = 100.315 W^{0.725} H^{1.725}$ ¹²⁾ <選択気温群>⁶⁾ 高温群; 選択気温 29°C 以上
 W : 体重 (kg) H : 身長 (cm) 中温群; 選択気温 $25^\circ\text{C} \sim 29^\circ\text{C}$
 低温群; 選択気温 25°C 以下

20°C では、sub.Aは気温の影響を受け120分間徐々に低下し 31°C まで低下した。sub.Cでは入室20分後以降はsub.Bとほぼ同様に低下し、120分間他よりも高い皮膚温であった。設定気温 24°C では、sub.Aは入室60分後まで徐々に皮膚温は低下したが、以後安定していた。一方、sub.Cはゆるやかに皮膚温は低下した。設定気温 28°C では、sub.Aは多少の変動は認められるが、120分間ほぼ安定したが、sub.B・sub.Cは入室20分後まで緩やかに上昇し、以後安定した。設定気温 32°C ではsub.Aは入室60分後まで緩やかに皮膚温が上昇し、以後若干低下する傾向がみられたが、sub.B・sub.Cは若干変動は認められるが、緩やかに上昇し続けた。

(2) 温冷感の経時変動

図4に温冷感の経時変動を同様に示す。設定気温 20°C では、入室40分後までsub.C、sub.B、sub.Aの順に一段階づつより寒い側の申告で一定であったが、sub.Bは入室50分後に、sub.Cは110分後に一段階寒い側に評価が変化した。設定気温 24°C では、sub.Cは「やや涼しい」、sub.Bは「涼しい」の申告でほぼ一定であったが、sub.Aは「やや涼しい」～「涼しい」の間を変動し、入室100分後以降は「寒い」の申告で一定となり、各被験者間は1段階の申告差となった。設定気温 28°C では、sub.B・sub.Cは暑い側、sub.Aは寒い側で変動した。設定気温 32°C では、各被験者とも1段階変動したが、入室60分後以降はsub.A、sub.B、sub.Cの順に一段階づつより暑い側の申告でほぼ一定であった。

(3) 快適感の経時変動

図5に快適感の経時変動を同様に示す。設定気温 20°C では、120分間sub.Aは不快側、sub.Cは快適側の申告であったが、sub.Bは入室40分後まで快適側の申告であったのが、不快側に移動し、sub.Aとsub.Cは4段階の申告差となった。設定気温 24°C では、120分間sub.Aはほぼ不快側、sub.B・sub.Cは快適側の申告であり、sub.Aとsub.Cは4段階の申告差となった。設定気温 28°C では、sub.B・sub.Cは120分間ほぼ「どちらでもない」の申告で一定であったが、sub.Aは入室60分後以降快適感が増しほぼ「快適」の申告となった。設定気温 32°C では、sub.Aは120分間「どちらでもない」の申告であったが、sub.B・sub.Cは不快側であり、入室60分後以降不快感が増し、sub.Aとsub.Cは3段階の申告差となった。

図3 平均皮膚温の経時変動の一例

図4 温冷感の経時変動の一例

図5 快適感の経時変動の一例

3-3. 皮膚温および温冷感、快適感の分布

(1) 設定気温別の各部位別皮膚温の分布

図6に全被験者における各部位別皮膚温を設定気温別に平均値と標準偏差で示す。設定気温の違いによる各部位皮膚温の平均値の差は設定気温28°Cと32°Cの腹部以外は有意に認められ、特に足背が最も大きく、設定気温20°Cと32°Cにおける皮膚温には10°Cの差が認められ、次いで、手背、腕、下腿の順に大きく見られた。また、各設定気温別に部位別皮膚温を検討すると、設定気温28°C、32°Cでは、各部位別の皮膚温にはあまり差は認められなかったが、低温になる程、皮膚温分布が大きくなり、気温が皮膚温に及ぼす影響の違いが認められ、特に腕、手背、下腿、足背等の末梢部にかなり差が認められた。低温になるにつれ各部位別の皮膚温の標準偏差が大きくなり、特に末梢部の皮膚温の標準偏差が大きかった。

(2) 設定気温別の温冷感の分布

図7に設定気温別の温冷感の分布を申告人数と各設定気温別の平均値±標準偏差で示す。また、球の直径は申告者数を示す。各設定気温内では設定気温20°Cと24°Cでは、被験者により「-4：非常に寒い」あるいは「-3：寒い」～「0：どちらでもない」の約5段階の申告の差、設定気温32°Cでは、「-1：やや涼しい」～「+4：非常に暑い」の6段階の申告の差が認められ、標準偏差も大きかった。設定気温28°Cでは、ほぼ「0：どちらでもない」を中心に±1段階の違いであり、最も被験者による温冷感申告の差が小さかった。

(3) 設定気温別の快適感の分布

図8に設定気温別の快適感の分布を同様に示す。各設定気温内では設定気温20°Cでは、被験者により「-3：非常に不快」～「+2：快適」の6段階の申告の差、次いで設定気温24°Cでは「-2：不快」～「+2：快適」の5段階の申告の差であり、快適側から不快側まで被験者により評価に差が認められ、標準偏差も大きかった。設定気温32°Cでは、ほぼ全ての被験者が「0：どちらでもない」より不快側の申告であった。設定気温28°Cでは、全ての被験者が「0：ど

ちでもない」より快適側の申告であり、温冷感申告と同様に快適感申告の被験者による差が最も小さかった。更に、温冷感と快適感の関係を検討すると、欧米では Houghten と Yaglou による「暑くも寒くもない状態」が快適である⁽¹⁾としているが、日本では夏期は「涼しい」と感じる時を快適とすると報告⁽¹⁴⁾があり、本結果も同様であった。これらの違いは申告に用いた言語

図6 設定気温別の各部位皮膚温別の分布尺度の語感の影響が要因となっていると考えられる。

(4) 温冷感申告別の平均皮膚温の分布

図9に温冷感申告別の平均皮膚温の分布を示す。「0：どちらでもない」より「暖かい・暑い」側では、申告の違いによる平均皮膚温の差も小さく、また温冷感が「+4：非常に暑い」になるにつれ、同じ温冷感申告となる平均皮膚温の差が小さくなった。一方、「0：どちらでもない」より「涼しい・寒い」側では、申告の違いによる平均皮膚温の差が大きく、また、同じ温冷感となる平均皮膚温にも差が大きく、特に「-2：涼しい」と感じる平均皮膚温は30.5°C～35.3°Cの範囲、「-1：やや涼しい」では31.2°C～35.5°Cの範囲であり4°C～5°Cの差が認められた。これらの事より、暑い側と寒い側で平均皮膚温と温冷感申告との関係には違いが見られ、寒い側で被験者による差が大きく示された。

4. 考察

健康な女子大学生を対象に行い、年齢、性別、体格、生活パターン等を同一にして実験をしたにもかかわらず、低温において部位皮膚温、特に末梢部の皮膚温の差が大きく、温冷感、快適感も5段階から6段階異なり、また、寒い側の同じ温冷感となる平均皮膚温にも差がみられ、個人により生理心理反応には差が大きく認められた。この個人差を考慮せずこのまま全体を平均化し、至適温度の提案を行うのには問題があると考えられる。そこで、これらの個人差をグループ別に検討する為に、住宅熱環境評価研究委員会による58年度住宅熱環境評価基準値¹⁵⁾である27℃±2℃と、既報⁶⁾による「ちょうど良い」と感じる様に被験者自身が自由に調節すると全員の平均と標準偏差が27℃±2℃という結果より、前述と同様に気温を25℃以下に調節した被験者を低温群、29℃以上に調節した被験者を高温群、25℃～29℃の範囲に調節した被験者を中温群として3つの群に分けて検討した。

(1) 設定気温と平均皮膚温の関係

図10に各設定気温における入室100～120分後の平均皮膚温を群別の平均値±標準偏差で示す。3群とも気温が高いほど平均皮膚温も高かった。また、平均値について群別に検討すると設定気温20℃、24℃、28℃では、低温群は他群より皮膚温が高かったが、設定気温24℃において各群の間に有意差が認められた。さらに、設定気温20℃と設定気温32℃の群別の平均皮膚温の差は低温群は3.4℃、中温群は3.9℃、高温群は4.1℃であり高温群において気温の違いによる皮膚温への影響が最も大きかった。

(2) 設定気温別の部位別皮膚温の分布

図11に各設定気温における入室100～120分後の部位別皮膚温を群別の平均値で示す。各設定気温ごとの部位の皮膚温の分布は3群とも、躯幹部が高く、末梢部が低く分布していた。各群内の部位の皮膚温差は設定気温20℃で差が10℃と最も大きくなり、気温が高くなると皮膚温差は小さくなった。また、群別に比較すると、設定気温20℃では低温は手背の皮膚温は低い、脚部は他群より約0.7

～1.3℃高い皮膚温であった。平均皮膚温で各群間に有意差が認められた設定気温24℃においては、どの部位も高温群は他群より1℃前後低い皮膚温であった。設定気温28℃、32℃では3群ともほぼ同じ皮膚温であったが、高温群の各部位の皮膚温は他群より高く、特に手背、大腿、足背の末梢部などの皮膚温が他群よりも高くなっていた。有意な差は認められなかったが、低温群は設定気温20℃において脚部の皮膚温が他群より下がらず、一方、高温群は特に手背や足背などの末梢部の皮膚温が他群に比べ環境の影響を受けやすく、前述の58年度住宅熱環境評価基準値¹⁵⁾の下限に近い設定気温24℃において他群より皮膚温が低くなるという特徴が認められ、更に生理学的な面から検討する必要がある。

(3) 設定気温と放熱量の関係

図12に設定気温別の「水分蒸発放熱量」¹⁷⁾「対流+放射放熱量」^{17) 18)}「総放熱量」を群別の平均値と標準偏差で示す。「水分蒸発放熱量」は、設定気温が高い程多かった。各設定気温の群別の平均値では設定気温が高い程群差が大きくなり、設定気温32℃では低温群の方が高温群に比べ約8.6w/m²多くなり、低温群は発汗調節領域に入りつつあると考えられる。「対流+放射放熱量」は気温が高い程少なく、設定気温24℃において有意差が認められた。「総放熱量」も気温が高い程少なく、「対流+放射放熱量」と同様の傾向を示した。また、各設定気温別の群別の平均値では、設定気温24℃、24℃、32℃では約8w/m²～10w/m²の群差が認められ、高温群、中温群、低温群の順に放熱量が多くなる傾向にあり、設定気温24℃において高温群と低温群・中温群との間に有意差が認められた。

(4) 設定気温と温冷感の関係

図13に各設定気温における入室100～120分後の温冷感を群別の平均値±標準偏差で示す。3群とも設定気温が低い程寒い側に、設定気温が高い程暑い側に申告した。平均値について群別に検討すると、設定気温20℃～28℃では、高温群は同じ気温を他群より、約1段階から2段階より寒い側に有意に評価しており、設定気温28℃ま

図7 設定気温別の温冷感の分布

図8 設定気温別の快適感の分布

図9 温冷感申告別の平均皮膚温の分布

図10 設定気温と平均皮膚温の関係
(注) 有意差検定 * : p < 0.05

図11 設定気温別の群別部位皮膚温の分布
(注) 群間の有意差検定 低温群と中温群の有意差検定 * : p < 0.05
中温群と高温群の有意差検定 * : p < 0.05
低温群と高温群の有意差検定 + : p < 0.05

で寒い側の申告であった。また、1段階の差は最大4℃程度の気温差に対応すると考えられる。また、設定気温20℃では中温群は低温群より約1段階寒い側に有意に評価したが他は低温群とほぼ同じ評価であった。温熱的中性申告は低温群と中温群は気温28℃近傍で、高温群は気温29℃近傍で認められた。また、設定気温の違いによる温冷感の差は最大で低温群は4段階、中温群は4～5段階、高温群は5～6段階異なっており、高温群は他群より気温の違いによる温冷感の変化が大きかった。

(5) 設定気温別の部位別温冷感の関係

図14に各設定気温における入室100～120分後の部位別温冷感を群別の平均値で示す。部位別皮膚温の分布と同様に、3群とも各設定気温における部位の温冷感の分布は、設定気温20℃では、最も部位差が大きく、設定気温24℃、28℃、32℃になるにつれ部位差が小さくなった。また、群別に比較すると、設定気温20℃では、低温群は他群に比べ各部位の温冷感は約1段階～2段階「どちらでもない」側であり、低温群はどの部位もあまり寒さを感じていなかったと考えられる。設定気温24℃では、高温群のみ部位の温冷感の差が大きく、また他群より約1段階～2段階より寒い側の申告であり、特に腕部に顕著に見られ設定気温20℃における温冷感とほぼ同じ申告であった。設定気温28℃では、3群とも各部位の温冷感はほぼ「どちらでもない」近傍であり、群差は小さいが、「どちらでもない」を中心に高温群は涼しい側にあるのに対し、中温群と低温群は暖かい側であり、その差は四肢末梢部において大きかった。設定気温32℃においては、最も3群の申告の差が小さかった。以上より、＜暑さに対する感覚＞より＜寒さに対する感覚＞が群により異なっていた。

(6) 設定気温と快適感の関係

図15に各設定気温における入室100分後～120分後の快適感を群別の平均値±標準偏差で示す。設定気温20℃、24℃、28℃で各群に有意差が認められた。また、低温群は20℃～28℃、中温群は22℃～30℃、高温群は26℃～30℃の範囲において快適側の申告であり、低温群、中温群、高温群の順により高温側を快適とすると考えられる。また、最も快適と申告されると想定される気温は低温群は24℃、中温群は24℃～28℃の間、高温群は26℃～28℃となり、群間には4℃の差が認められた。本結果と選択気温実験結果⁹⁾との間に若干の差が認められたのは、設定気温評価実験ではその時の感覚が大きく反映され、選択気温実験では、被験者の好みにより現れるという実験方法の違いの影響によると考えられる。

(7) 平均皮膚温と温冷感・快適感の関係

図16に入室100分後～120分後の平均皮膚温と温冷感との関係を群別に示す。平均皮膚温が高くなると温冷感も暑い側になった。ま

た、平均皮膚温が低い方が群差が大きくなり、「-3:寒い」と感じる皮膚温には約0.8℃の差が認められるが、平均皮膚温が高いとほぼ同じであった。また、低温群、中温群は平均皮膚温と温冷感の関係はほぼ同じであるが、高温群は同じ皮膚温をより涼しい側に申告しており、温熱的中性申告は低温群、中温群は約33.7℃、高温群は約34.2℃で得られると考えられ、約0.5℃の差が認められた。

図17に入室100分後～120分後の平均皮膚温と快適感との関係を群別に示す。快適側の申告と想定される平均皮膚温の範囲は、低温群は30.2℃～34.2℃、中温群は31.2℃～34.4℃、高温群は31.9℃～34.7℃の範囲と想定され、低温群、中温群、高温群の順に高い平均皮膚温範囲を快適とした。これらの平均皮膚温の範囲の内、最下限の平均皮膚温は高温群、中温群、低温群の順に低い平均皮膚温であり、低温群と高温群には約1.7℃の差が認められた。同様に最上限の平均皮膚温は低温群と高温群には約0.5℃の差が認められ、快適と感じる最下限の皮膚温の差が大きかった。また、最も高い快適感が得られる平均皮膚温は低温群は32.2℃、中温群は32.8℃、高温群は33.4℃と想定され、最も高い快適感が得られる平均皮膚温には約1.2℃の差が認められ、温熱的中性申告が得られると考えられる皮膚温の差よりも大きかった。これらの平均皮膚温は温冷感申告で「やや涼しい」時の各群の平均皮膚温とほぼ一致した。また、既報⁶⁾による「ちょうど良い」と感じる様に被験者自身が自由に調節した時、低温群は33.2℃、中温群は33.8℃、高温群は34.8℃であり、何れの群も本結果の方が約1℃低く、特に高温群の差が大きかった。既往研究では、C-E.A.Winslow¹⁸⁾らは平均皮膚温33℃付近で最も快適とし、磯田ら¹⁹⁾は平均皮膚温34℃、志村ら²⁰⁾による提案による至適温度状態では平均皮膚温は男女とも33～34℃の範囲であることと比較すると、快適とする平均皮膚温範囲は本結果の方がやや低い側で快適となった。榎本ら²¹⁾による「青年に比較して同じ気温・気流速度で高齢者は平均皮膚温が低く、温冷感は涼しい側、2～3℃高温側で快適感が得られる」ことを考慮すると、高温群は高齢者に近い生理心理反応を示すとも考えられる。

図12 設定気温下の放熱量

図13 設定気温と温冷感の関係

図14 設定気温別の部位別温冷感の分布

(注) 有意差検定 * : $p < 0.05$

図15 設定気温と快適感の関係

図16 平均皮膚温と温冷感の関係

図17 平均皮膚温と快適感の関係

5. 結論

本論文において、設定気温下に暴露する実験を行い、気温・皮膚温・体重減少量・温冷感・快適感などを測定し、設定気温下における生理心理反応の個人差を明らかにし、それらをまとめて群別に検討し、群別の快適性の違いについて検討した。それらの結果は以下の様にまとめられる。

(1) 皮膚温は、設定気温20℃、24℃において個人により差が認められ、特に末梢部において顕著であった。また群別には設定気温20℃～28℃は低温群、中温群、高温群の順に皮膚温が低く、特に設定気温24℃において有意な差が認められた。また、高温群が最も気温の影響を受けていた。

(2) 水分蒸発放熱量は、設定気温32℃において低温群は高温群より多い傾向が認められた。

(3) 温冷感は、設定気温20℃、24℃において個人により最大で4～5段階申告が異なった。また群別には高温群は他群より同じ気温を1段階～2段階寒い側に有意に評価していた。

(4) 快適感は、設定気温20℃、24℃において個人により最大で5～6段階申告が異なった。また群別には低温群、中温群、高温群の順により高い気温範囲を快適側に評価した。

(5) 同じ温冷感申告となる平均皮膚温の分布は、温冷感の暑い側と寒い側では違いが見られ、寒い側で同じ温冷感となる平均皮膚温には個人差が大きく示された。

(6) 平均皮膚温と温冷感・快適感の関係は、高温群が同じ平均皮膚温を他群より寒い側に評価し、同じ温冷感となる平均皮膚温には最大約0.8℃の差が認められた。また、低温群、中温群、高温群の順により高い平均皮膚温範囲を快適側に評価した。温熱的中性申告が得られる平均皮膚温は低温群・中温群、高温群の順に高く、約0.5℃の群差が認められ、同様に最も快適が得られると考えられる平均皮膚温も低温群、中温群、高温群の順に高く、約1.4℃の群差が認められた。

以上より、生理心理反応に個人差が認められたが、好まれる気温別に低温群、中温群、高温群の3群に分けることにより、その個人差がそれぞれの特徴を持った群となった。これらの差が生じる要因として、代謝量の違いなどについて検討し、より多くの人が快適と感じる気温範囲の提案を行うことが今後の課題であると考えられる。

謝辞

実験にご協力頂いた被験者の方々、当時卒論生であった門脇友美さん、ならびに奨学寄付金を頂いたダイソー工業（株）に深謝します。

参考文献

- ASHRAE:ASHRAE Standard, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, pp.5, ANSI/ASHRAE 55,1992
- ASHRAE:1993ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS;Chapter 8, Physiological Principles and Thermal Comfort,pp.8.18,1993
- 深井一夫, 斎藤純司, 後藤滋, 伊藤宏: 標準新有効温度 (SET) と日本人の温熱感覚に関する実験的研究, 第1報—冬季被験者実験による検討 空気調和・衛生工学会論文集, No.48, pp.21～28, 1992.2
- 深井一夫, 伊藤宏, 後藤滋, 阿久井哲, 斎藤純司: 標準新有効温度 (SET) と日本人の温熱感覚に関する実験的研究, 第2報—冬季および夏季における温熱感覚の比較 空気調和・衛生工学会論文集, No.51, pp.139～147, 1993.2
- 江口和雄, 坊垣和明: 体感気候に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp.353～354, 昭和50年10月
- 佐々尚美, 久保博子, 磯田憲生, 梁瀬度子: 夏期における好まれる気温の個人差に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第531号, pp.31～35, 2000.5
- N.Isoda et al.: Performance of man-thermal environmental test system, The tenth symposium on man-thermal environment system, pp.162～135, 1986
- 花田嘉代子, 三平和雄, 大幡久仁子: 婦人用下着類の熱抵抗の計測に関する研究, 繊維誌 Vol.22, No.10 pp.34～41, 1981
- 磯田憲生: 生活と衣服に関する一考察, 衣生活研究, No.6, pp.15～20, 1980.11
- 理科年表, 97年度版, pp.928
- 蔵澄美仁, 堀越哲美, 土川忠浩, 松原斎樹: 日本人の体表面積に関する研究, 日本生気象学会雑誌, 第31巻, 第1号, pp.5～29, 1994.4
- J.D.Hardy et al.: The technic of measuring radiation and convection, Journal of Nutrition, 15, pp.461-475, 1938
- F.C. Houghton & C.P. Yaglou: Determining lines of equal comfort, ASHVE Trans., (9), pp.163-176, pp.361-384, 1923
- 久保博子, 磯田憲生, 梁瀬度子: 温冷感と快適感の季節差に関する実験的研究, 人間と生活環境, 第1巻第1号, pp.5～57, 1994
- 川島美勝, 後藤滋, 大平通泰: 住宅熱環境の調査と評価法 (4) 環境体温計の開発と住宅熱環境法, 第1回人間熱環境系シンポジウム報告集, pp.104～107, 1983, 12
- C.-E.A. Winslow, L.P. Herrington and A.P. Gagge: The determination of radiation and convection exchanges by perfornal calorimetry Am.J. Physiol. vol.116, pp.669-684, 1936
- 西安信: 人体と環境の熱交換 温熱生理学 理工学社, pp.33～39,
- Winslow, C.-E.A., Herrington, L.P. and Gagge, A.P.: Temperature and Human Life, Princeton Univ. Press, 1949 (北・竹村訳: 温度と人間, 人間と技術 社, 1974)
- 磯田憲生, 小林陽太郎, 堀越哲美, 池田信己: 風洞内気流と人体皮膚温の関係に関する実験的研究 (着衣), 中間期, 暖房機および冷房機の場合, 日本建築学会論文報告集, 229, pp.121～128, 1975.3
- 志村欣一, 堀越哲美, 山岸明浩: 日本人を対象とした室内温度条件の至適域に関する実験研究 夏季至適域の提案, 日本建築学会計画系論文集, 第480号, pp.15～24, 1996.2
- 榎本ヒカル, 久保博子, 磯田憲生, 梁瀬度子: 夏期における温熱環境の高齢者への影響, 人間工学, 第30号 特別号, pp.280～281, 1994

注1: 本論文は1996年度建築学会全国大会 (近畿), および第2回熱シンポジウムにおいて発表されたものをまとめたものである。

注2: 「対流・放射放熱量」は以下の式を用いた。また、本研究では気温と周囲壁面温度が等しいので、 $T_o = T_a$ とした。

$$C + R = h / (1 + 0.155h \cdot I_{clo}) \times (T_s - T_o)$$

$$h = h_r + h_c$$

$$h_r: \text{放射熱伝達率} (=4.65) \quad (W / m^2 \cdot ^\circ C)$$

$$h_c: \text{対流熱伝達率} (=3.7) \quad (W / m^2 \cdot ^\circ C)$$

$$I_{clo}: \text{衣服の熱抵抗}$$

$$T_s: \text{平均皮膚温} \quad (^\circ C)$$

$$T_o: \text{作用温度} (=T_a: \text{気温}) \quad (^\circ C)$$

(2000年1月6日原稿受理, 2000年11月15日採用決定)