

選択気温実験から見た個人差と温熱快適性

Experimental study on preferred air temperature

-Individual differences of physiological and psychological responses on thermal comfortable environment-

奈良女子大学生生活環境学部

Nara Women's University

久保博子

KUBO Hiroko

キーワード：温熱的快適性(Thermal Comfort)、
温冷感 (Thermal sensation)、皮膚温 (Skin temperature)、
深部体温(Core temperature)、個人差 (Individual difference)

1. はじめに

建築設備や空調機器により室内では快適な環境を創造できるようになり、様々な至適温度が提案されている。しかし多くは全体の80%の人に対する快適範囲¹⁾が設定され、個人差が大きいにもかかわらずそれに関して詳細な検討をされている研究は少ない。快適な範囲を検討する方法としてMcIntyre¹⁾が3つの方法を提案して比較しているが、本研究室では、温熱環境を選択気温における直接法での至適温熱環境に関する実験を行い、選択気温実験の結果から男女差、年齢差などを含む個人差に関して検討してきた^{3) -5)}。また、選択気温実験と同時に、設定条件の環境に滞在して評価する室温評価実験^{6) -8)}や日常生活での調査⁹⁾との比較も行ってきた。ここでは、青年女性被験者での実験を中心とした選択気温実験をもとにして、温熱的快適性の個人差を検討した研究結果を紹介する。

2. 青年男女の選択気温実験と選択決定要因の検討

青年男女を被験者として、好みの室温に直接設定する実験により、男女の好む気温の性差と個人差について検討することを目的とする。性差だけでなく、選択気温の決定要因について、皮膚温や温冷感など体温調節反応から選択気温との関連を検討することにより検討した。

2.1 選択気温実験の方法

実験条件を表1に示す。奈良女子大学の温湿度が制御可能な人工気候室で、28℃一定に調節し被験者は一人ずつ入室し20分間経過後、椅座安静状態を保ち、120分間手元の装置で随時自由にちょうど良い温度になるように気温を調節した。室温は、実験室内の手元のボタンで、随時自由に室温を調整することができ、ボタンは3段階あり1段階のボタンを1回押すと0.5℃室温が上昇または下降し安定するが、被験者は何度変化したかの情報を与えなかった。その間の室温など温熱環境要素、生理反応として皮膚温7点、直腸温、血圧等、心理反応として快適感・温冷感などの申告を表2に示す測定間隔で計測した。

被験者は、学生対象に募集を行い応募した青年女性31名、青年男性32名を採用し夏期に実施した。被験者は日本人の標準的な体格の健康な青年男女であった。着衣は、女性はTシャツ・スカート・ストッキング・下着、男性はTシャツ・ズボン・靴下を夏期標準着衣として準備して各自の下着の上に着用してもらった。用意した被験者用の着衣は男女ともほぼ同じ重量で、三平らの重量着衣式から0.4cloと推定した。被験者として、学生対象に募集を行い応募した青年女性31名、青年男性32名を被験者として採用した。夏期に3ヵ年にわたり実施した。表2に被験者の体格等身体的特徴を示す。これは、日本人の標準的な体格であった。着衣は、女性はTシャツ・スカート・ストッキング・下着、男性はTシャツ・ズボン・靴下を夏期標準着衣として準備して各自の下着の上に着用してもらった。用意した被験者用の着衣は男女ともほぼ同じ重量で、三平らの重量による着衣量の推定式⁷⁾から0.4cloと推定

した。

2.2 被験者の選択した気温

図1に被験者が選択した気温を床上0.6mの室温の経時変動で女性被験者の全員の結果を示す。気温選択が許された0分目から気温を変化させており、ほとんど変化しなかった者、徐々に上昇させた者と個人により異なった。しかし、選択後60分以降は概ね安定傾向にあり、約60分で好みの気温を選択出来ており、その後は変動は少なかった。男性被験者においてもほぼ同様の傾向にあった。そこで実験終了時(120分後)に選択された気温をその被験者の選択気温とした。

図2に選択気温の累積分布を男女別に示す。分布範囲は女性の方がやや広いが、男性 $26.3^{\circ}\text{C} \pm 1.3^{\circ}\text{C}$ 、女性 $26.5^{\circ}\text{C} \pm 1.9^{\circ}\text{C}$ で選択回数もほぼ同じであった。女性の選択気温については、佐々らの研究²⁾と同様の方法・手順で行ったが、約 1°C 低く、分布範囲もやや低い傾向にあった。どちらの時期も特に冷夏でもない通常の夏期であり、実験時期であった1995年の8,9月の奈良地区の平均気温は 25.25°C 、2005年7,8月および2007年の7,9月は 26.0°C と本実験の方がやや低い傾向があった。この影響があったかどうかはここでは判断できない。

3.2 生理反応と選択気温の関係

平均皮膚温度は気温に伴い変化し、気温の変化に伴い下降した。全体を通して男性の方が若干高かったが、変化の傾向はほぼ同様であり、平均値には有差は認められなかった。同様に、経時変動において、直腸温、心拍数もほぼ同様の経時変動を示し、その差はほとんど無く、有意差は認められなかった。血圧はあまり気温の影響を受けず、個人差が大きく、女性より男性の方が有意に高かった。

図3に気温選択前後の各部位の皮膚温の平均値を男女別に示す。

表1 実験概要・実験条件

期間	2005年7/1~9/11	2006年7/27~9/30
場所	奈良女子大学D棟1階	
被験者	青年女性21名	青年男性32名
気温条件	前室 : 28°C 実験室: 被験者が調節	
相対湿度	50%	
着衣量	0.4clo	
活動量	椅座安静状態	

表2 被験者の身体的特徴

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体表面積 (m ²)	体格指数 (kg/m ²)	体脂肪率 (%)	脂肪量 (kg)
男性	平均値	21.7	173.5	64.1	1.8	21.1	10.8
	標準偏差	2.0	5.7	6.7	0.1	2.0	2.6
	最大値	24.0	180.2	81.0	2.0	25.4	13.1
	最小値	18.0	162.9	55.2	1.6	17.9	6.3
女性	平均値	22.1	158.4	50.4	1.5	20.1	12.2
	標準偏差	1.1	3.7	5.4	0.1	2.0	2.9
	最大値	24.0	166.9	65.6	1.7	25.6	19.4
	最小値	20.0	153.0	44.2	1.4	17.6	8.4

表3 測定項目と実験手順

時間(分)	-20	0	20	40	60	80	100	120
環境条件	28°C		— 選択気温					
環境温度(0.1m・0.6m・1.1m・1.6m)	←		30秒間隔				→	
相対湿度・グローブ温度(0.6m)	←		30秒間隔				→	
皮膚温	←		30秒間隔				→	
直腸温	←		30秒間隔				→	
舌下温	←		10分間隔				→	
申告	←		10分間隔				→	
血圧	■	■	■	■	■	■	■	■
体重	△	△			△			△

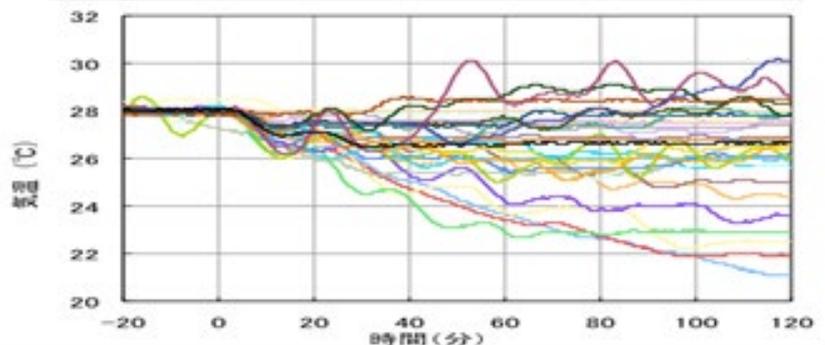


図1 被験者女性全員の選択気温の経時変動

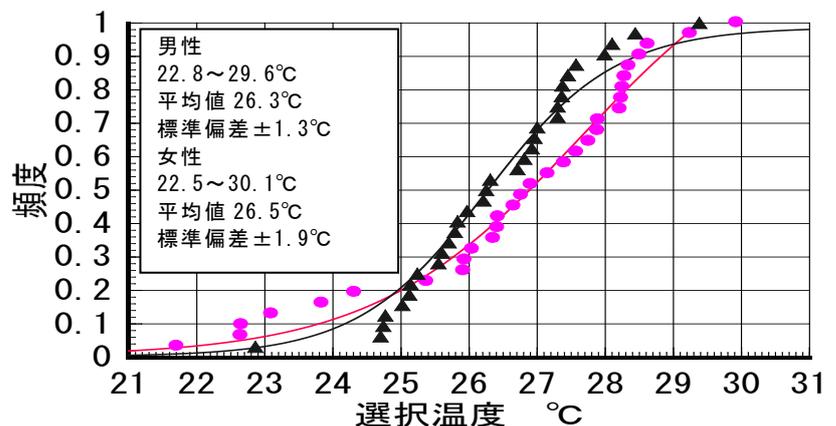
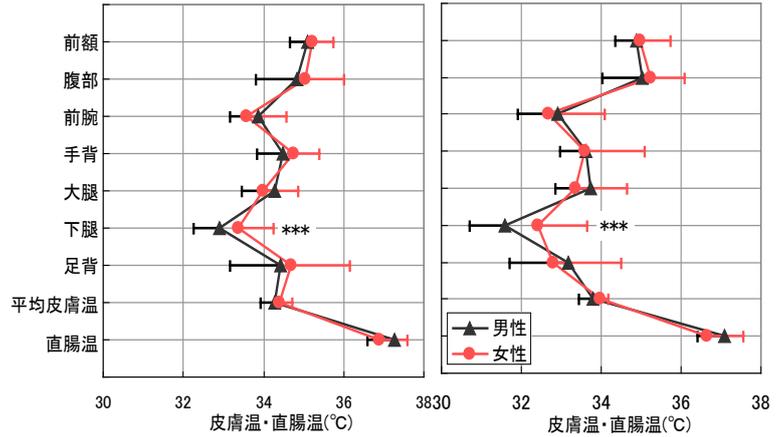


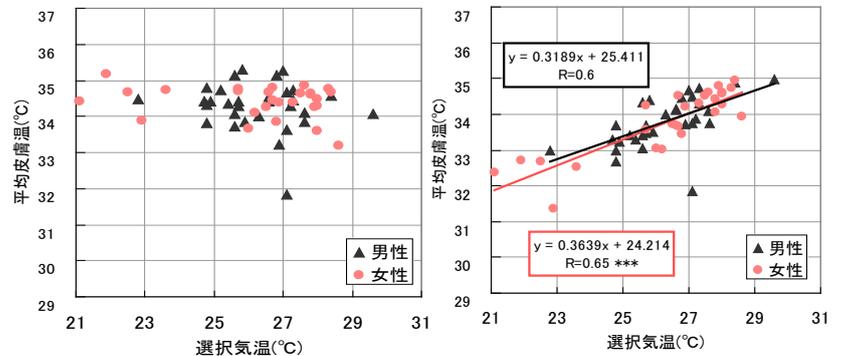
図2 被験者全員の選択気温の分布

気温選択前(-10-0分)は、前額部や腹部皮膚温といった躯幹部皮膚温は35℃程度の高めで足背の皮膚温が最も低く、33℃程度であった。気温選択後(120分)では、室温の低下に伴い皮膚温は全的に気温を選択することにより低下しており、最も低い下腿皮膚温は、1℃程度低下した。また下腿皮膚温において男性の方が有意に低かったが、これは着衣の影響により、女性はスカートであったがストッキングにより覆われていたが、男性も半ズボンと靴下であったため、下腿部が露出していたためと考えられる。深部体温である直腸温は、選択前も選択後もほとんど変化せず、37℃程度を保っており、男女差も認められなかった。



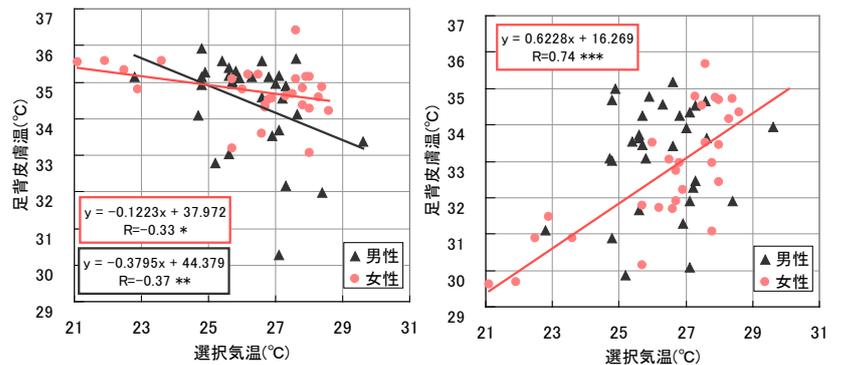
(1) 気温選択前(0分) (2) 気温選択後(120分)
図3 皮膚温、直腸温の平均値

図4、5に選択気温と気温選択前および後の平均皮膚温の関係を男女別に示す。平均皮膚温は選択前には明確な傾向が認められないが、選択後は選択気温が低いほど皮膚温も低くなり、男女とも正の相関関係が認められた。末梢部の足背皮膚温では、選択前皮膚温と選択気温で負の相関が認められ、足背皮膚温が低いものほど、選択気温が高い傾向が認められた。また、女性の選択後の足背皮膚温は選択気温が低いものほど皮膚温も低い傾向が認められた。男性においても同様の傾向ではあったが、相関係数が小さく有意な相関関係は認められなかった。



(1) 気温選択前(0分) (2) 気温選択後(120分)
図4 選択気温と平均皮膚温の関係

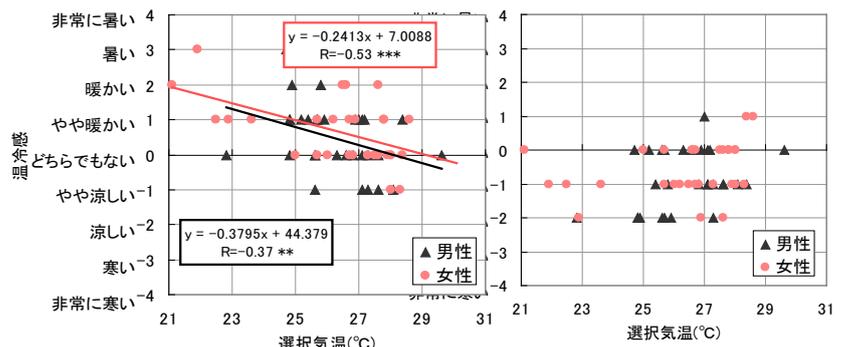
直腸温は全体を通して約36.5~38℃の間であったが、選択気との間には明確な傾向は認められなかった。男女差があった血圧も、個人差が大きかったが、気温の影響をあまり受けず、血圧と選択気温の関係は認められなかった。



(1) 気温選択前(0分) (2) 気温選択後(120分)
図5 選択気温と足背皮膚温の関係

3.3 心理反応と選択気温の関係

図5に選択気温と気温選択前および選択後温冷感の関係を男女別に示す。選択前に暖かい側の申告をしているものはより低い気温を選択する傾向が認められた。選択後は温冷感ほぼ「0:どちらでもない」~「1:やや涼しい」の申告となり、選択気温との明確な相関関係は認められなかった。快適感は選択後全被験者が快適



(1) 気温選択前(0分) (2) 気温選択後(120分)
図6 選択気温と温冷感申告の関係

側に移行し、ほぼ全員「2:快適」であった。また、温冷感との関係では男性の方が女性より「涼しい側」のときに快適感を感じていた。

以上、末梢部皮膚温や血圧、温冷感等の体温調節反応には性差が認められたが、好みの選択気温には性差は認められなかった。しかし個人差は大きく、選択前に皮膚温が高く「暑い」と感じていた者ほど、選択気温を低くする傾向が認められた。また気温を選択した後は、皮膚温は周囲の室温の影響を受け、選択気温が低いものほど、皮膚温は低かった。しかし温冷感においては、選択後はあまり差がなく、ほぼ「0:どちらでもない」～「1:やや涼しい」で、快適感も高く、周囲環境の影響をうけておらず、この環境を好んでいたことといえる。

3. 夏期と冬期における足元の冷えと選択気温について

ISO やASHRAE は快適な温熱環境条件について、足元の温度が頭部の温度より3℃以上低くならない環境を推奨しているが、実際の住空間やオフィス空間では推奨範囲を超えた上下温度差がみられることも少なくない。オフィスの実測調査等で執務者に主観申告を得ると、足元が寒いため不快で室温を高めにしたとの訴えが得られ、このとき、室内上下温度差が2℃～5℃程度あったことが報告¹⁰⁾されている。足元の冷えは、女性では、冬期の暖房期だけでなく、夏期の冷房期にも聞かれることもある。このことより足元の冷えが、冬期の過暖房の要因の一つと考えられ、また、夏期でも冷房を忌避し、快適感が低い原因の一つと考えられる。

そこで、より足の冷えの訴えの多い、女性を被験者として、足の冷え感と室温選択との関連を検討するため、足元の冷えを自覚する被験者とそうでない被験者にて人工気候室における室温選択実験を行い、室温選択への影響を検討し、その時の生理心理反応についても検討した。

3.1 被験者選択のための予備実験

足元が冷える被験者を選定する予備実験として、35℃程度の非冷房室から24℃の人工気候室に1時間滞在させ、皮膚温4点、温冷感申告等を計測した。青年女子30名の被験者のうち足と全身の快適感が不快と答えた足冷え群(cold)、どちらともいえないと答えた普通群(normal)16名、足背も全身も快適と答えた足の冷えを訴えない群(warm)8名の3群に分類した。このうち、cold群6名とwarm群の計14名を選択気温実験の被験者として採用した。被験者の詳細を表3に示す。

3.2 実験条件

実験は奈良女子大学の環境調節室で既報や上記の選択気温実験と同様の手順で行った。夏期は約0.38cloの夏服を着用し、27℃で20分間安静を保った後、被験者は押しボタンにより随時自由に、ちょうど良い室温を120分間選択させた。同じ被験者で冬期には約1.1cloの冬服を着用し、17℃から同様に120分間室温を選択させた。皮膚温12点、温冷感・快適感は全身と10部位で申告を受けた。実験概要を表4に示す

3.3 選択された室温

群別の選択された気温を平均値で図7に示す。夏期において、両群とも選択開始より28℃から室温を低下させたが、cold群の方がやや高めの室温を選択し、120分後には、cold

図3 被験者の身体的特徴

		Age (years old)	Height (cm)	Weight (kg)	Body surface area (m ²)	BMI (kg/m ²)	Muscle weight (kg)	Body fat weight (%)
gr.F-cold (n=6)	average	19.3	156.1	48.5	1.47	19.9	33.6	26.5
	SD	1.03	2.60	5.00	0.07	1.82	2.64	5.50
gr.F-warm (n=6)	average	19.8	156.8	52.5	1.52	21.4	34.8	29.5
	SD	1.28	7.01	5.47	0.10	2.06	3.43	5.60

図4 実験概要

期間	夏期(2013/8/20-9/27)、	冬期(2014/2/28-4/6)
場所	奈良女子大学D棟1階環境調節室	
被験者	青年女子14名(大学生)	
着衣量	夏期 0.38clo 半袖Tシャツ、ショートパンツ +各自のブラジャー&パンティ	冬期 1.1clo 長袖Tシャツ、長袖トレーナー上下 +各自のブラジャー&パンティ
代謝量	1.2Met(椅座安静状態)	
実験条件	夏期 28℃・50%RH(30分) →ちょうどよい温度に室温選択(120分)	冬期 17℃・50%RH(30分) →ちょうどよい温度に室温選択(120分)
測定項目	環境	気温Ta(床上高さ0.1m、0.6m、1.1m、1.6m)、黒球温度(床上高さ0.6m)、相対湿度(床上高さ0.6m)、サーモグラフィ
	生理反応	皮膚温12点、舌下温、血圧、心拍数
	心理反応	室の温冷感・快適感、部位の温冷感・快適感など28項目
	質問紙	健康状態に関する調査票

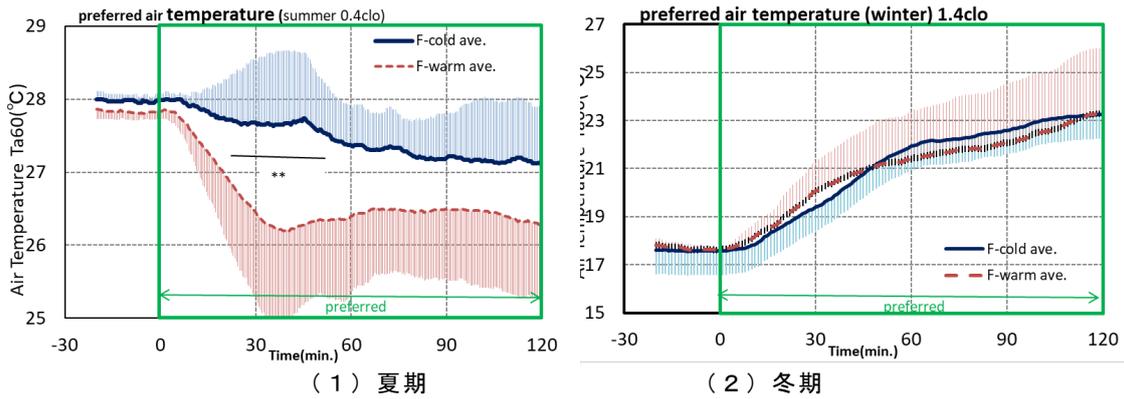


図7 選択気温の経時変動

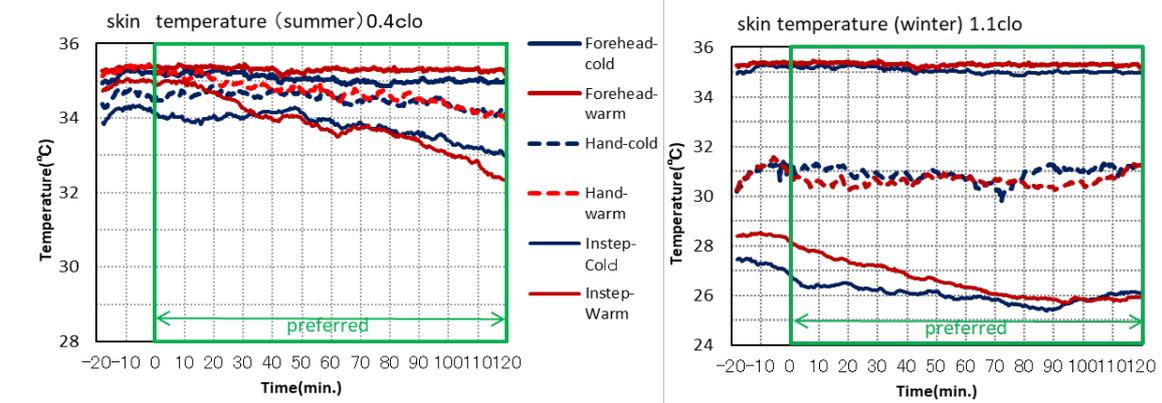


図8 選択気温時の皮膚温の経時変動

群は $27.1 \pm 0.76^{\circ}\text{C}$ 、warm 群は $26.3 \pm 1.03^{\circ}\text{C}$ となった。両群間では、120 分目においては有意な差は認められなかったが、気温選択が許可された最初のころの20分から50分には有意な差が認められた。一方冬期においては、 17°C から室温を徐々に上昇させ、両群とも120分後には 23°C になった。冬期においては、両群での差はほとんど認められなかった。

120 分後の夏期と冬期の選択気温を SET* に換算すると、夏期においては、cold 群では $\text{SET}^*25.9^{\circ}\text{C}$ 、warm 群は $\text{SET}^*25.1^{\circ}\text{C}$ に相当した。冬期においては、両群とも $\text{SET}^*26.4^{\circ}\text{C}$ に相当し、夏期に比べて冬期の方が両群とも $0.5^{\circ}\text{C} \sim 1.3^{\circ}\text{C}$ を選択しており、高温を好んでいた。

3.4 皮膚温

図8に夏期と冬期の前額、手背、足背の皮膚温の経時変動を群別に平均値で示す。夏期において、前額皮膚温はほとんど変化がなかったが、手背、足背皮膚温は徐々に低下し足背の皮膚温は、120分後には 33°C 以下に低下した。warm 群と cold 群とを比較すると、warm 群は、より低い気温を選択していたが、前額皮膚温は120分間全体的に高めを推移していた。warm 群の足背皮膚温は室温選択前は前額皮膚温や手背皮膚温とほぼ同じ皮膚温であったが、室温の低下に伴い徐々に低下し、0分目から低めであった cold 群よりも低くなった。しかし、ばらつきが大きく有意な差とは言えなかった。

冬期においては、前額皮膚温は夏期より若干高く、室温の変化によらずほとんど変化はなかった。末梢部の皮膚温は寒冷馴化により夏期よりかなり低く、手背皮膚温は 31°C 程度で推移しておりほぼ一定であったが、足背皮膚温は室温が $5 \sim 6^{\circ}\text{C}$ 程度も上昇したにもかかわらず、やや低下 26°C 程度であった。warm 群と cold 群の両群での差は認められなかった。

3.5 温冷感及び快適感

図9と図10に夏期と冬期の全身と顔及び足部位の温冷感を群別の経時変動で示す。夏期においては、0分以降室温を低下させたので、全身温冷感も涼しい側に移行した。より低い温度を選択した warm 群の方が cold 群より0.5段階～1段階程度「涼しい」側の申告しており、120分後には、warm 群は「-1: やや涼しい」「-2: 涼しい」、cold 群は「0: どちらともいえない」「-1: やや涼しい」の

申告になった。部位でみると、顔と足とも全身とほぼ同程度の温冷感申告をしており、頭部は低い温度を選択した warm 群の方が cold 群よりやや「涼しい」側の申告していたが、足部の申告は差が小さくほぼ同じ程度であった。

冬期においては、両群も 120 分間徐々に室温を上昇させ、ており、それに伴い全身の室温も暖かい側に移行したが、両群はほぼ同じ室温を選択していたが、warm 群の方が cold 群より「暖かい」側の申告の傾向があり、その差は 1 段階程度あり、120 分後には、warm 群「+1：やや暖かい」～「+2：暖かい」、cold 群「0：どちらともいえない」～「+1：やや暖かい」になった。部位別にみると、顔の

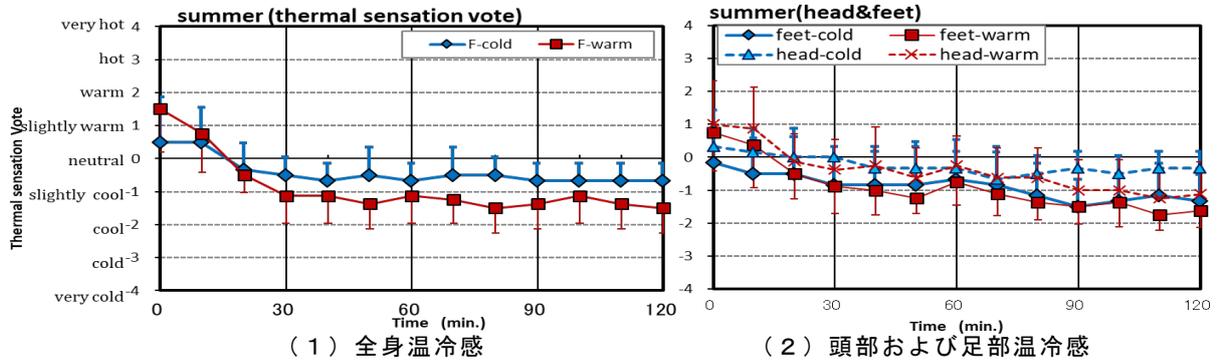


図9 夏期における温冷感の経時変動

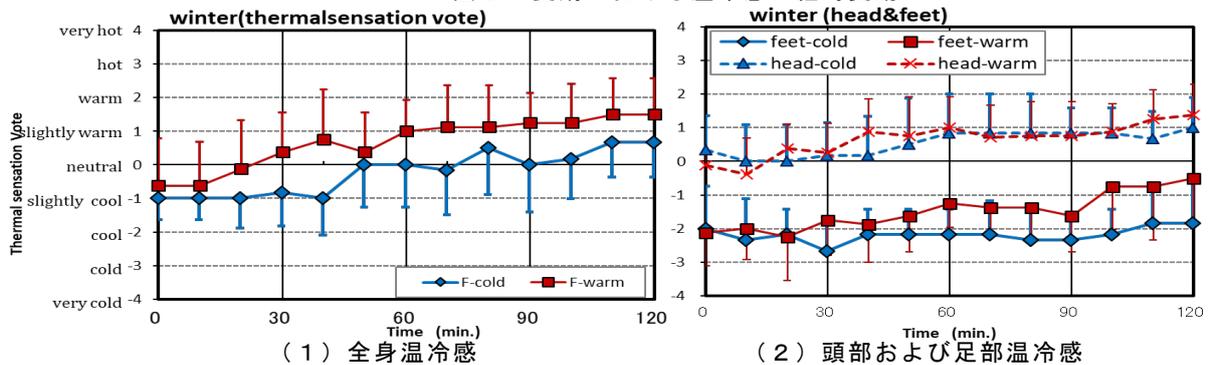


図10 冬期における温冷感の経時変動

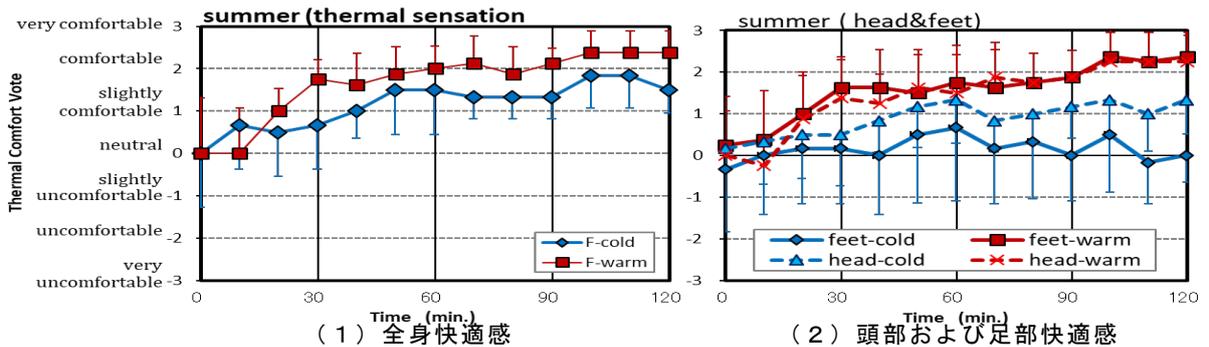


図11 夏期における快適感の経時変動

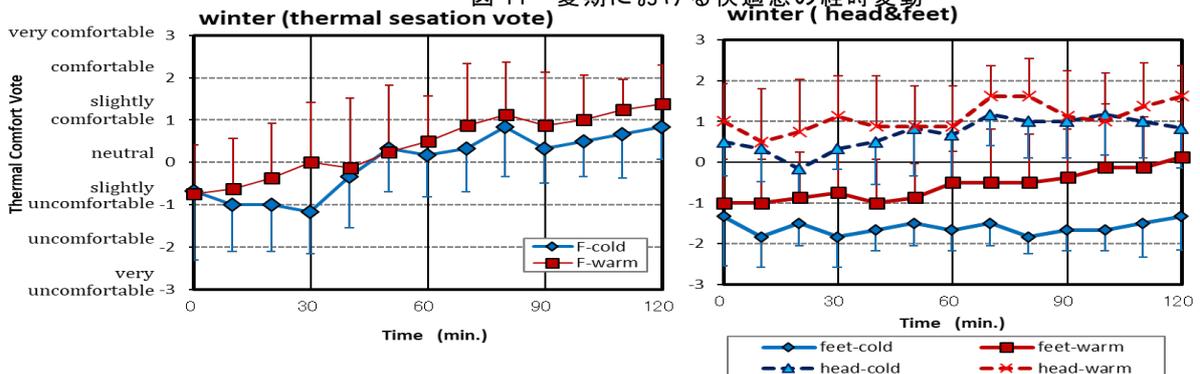


図12 冬期における快適感の経時変動

温冷感は全身の温冷感とほぼ同じであるが、足部温冷感は、120 分後も寒い側で顔部より 2 から 3 段階低く、群別にみると warm 群の方が cold 群より、「暖かい」側の申告であった。120 分後には cold 群はより寒い側で「-2：涼しい」で室温を上昇させたにもかかわらず、温冷感はほとんど暖かい側に上昇しなかった。

図 11 と図 12 に夏期と冬期の全身と顔及び足部位の快適感を群別の経時変動で示す。夏期において、全身の快適感は、室温を低下させたことにより、不快側から快適側に移行し、warm 群の方が cold 群より 0.5 段階～1 段階程度若干快適感が高くなった。120 分後には、warm 群は「+2：快適」から「+3：非常に快適」に、cold 群は「+1：やや快適」から「+2：快適」となった。部位別では、warm 群は頭部も足部も快適感が高く、120 分後には、warm 群は「+2：快適」から「+3：非常に快適」となったが、cold 群は、頭部は「+1：やや快適」程度に上昇しているが、足部は 120 分後も「0：どちらでもない」を推移し快適側の申告が得られなかった。

冬期においては、室温を上昇させたことにより全身の快適感は快適側に変化し、warm 群の方が cold 群より快適感が高い傾向にあり、その差は 0.5 段階程度で、「+1：やや快適」程度であった。部位別には、warm 群と cold 群の両群とも、頭部の快適感と足部の快適感はかなり異なり、頭部は快適側、足部は不快側であった。warm 群では、頭部は徐々に上昇し、120 分目には「+1：やや快適」から「+2：快適」であったが、足部は不快側から「0：どちらでもない」となった。cold 群では、頭部は「+1：やや快適」程度の申告であり、足部は「-1：やや不快」から「-2：不快」程度の申告で、120 分経過後も積極的快適といえる快適側にならなかった。

3.6 選択気温における足元の冷えの検討

図 13 に足部における皮膚温と快適感を群別に夏期と冬期で示す。夏期には warm 群は皮膚温 32℃程度の低い方が快適な申告が得られ、35℃程度の場合は「0：どちらともいえない」の申告になるが、cold 群では、皮膚温は 33℃～34℃と狭い範囲にあり、快適感申告も「0：どちらともいえない」の当たりでほとんど編かがなく、偏差が大きく両者に関連性はない。冬期においては、warm 群、cold 群とも皮膚温の変化は小さく、快適感も不快側に多くあり、変化が少なく、皮膚温と快適感の関連性が見られなかった。

以上より、夏期と冬期の選択気温を SET*で着衣を換算して比較すると、120 分後には冬期の方がやや高めを選択しており、これは一般に夏期は涼しい環境を好み、冬期は暖かい環境を好むことから説明できると考える。この実験の結果からも選択時の温冷感が夏期は「涼しい」側、冬期が「暖かい」側であったことから、上記の関係がわかる。夏期においては、cold 群では選択気温はやや高かったため、温冷感は「0：どちらでもない」の中性から「-1：やや涼しい」と warm 群に比べあまり「涼しい」申告が見られず、快適感では足部は「快適」の申告がみられず、120 分好みの気温に室温選択した後も足の不快感が解消されなかった。

冬期においては、選択気温には両群で差がなかったが、室温を上昇させて、120 分間好みの気温を選択したが、足

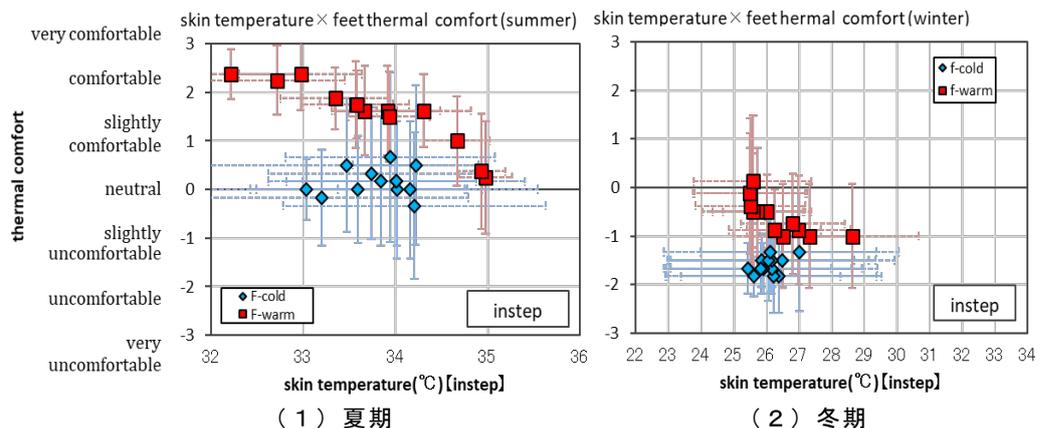


図 13 足部の皮膚温と快適感の関係

部の温冷感は「-2：涼しい」の申告のまま変化せず、快適感も上昇しなかった。cold 群においては、選択気温が十分高く選択できなかったことが考えられるが、これ以上室

温を上げると頭部が暖かくなりすぎるとの意見も聞かれ、足部を十分快適だと感じる室温にならなかったと考えられる。

cold群のように足が冷えると訴える者は、やや高めの室温が好みであるが、足部を十分快適と感じるようにすることができなかつたことから、冷房により足部の不快感を感じ高めの室温を選択すると考えられ、冬期には足元の感覚に合わせて過暖房を選択する傾向があると考えられる。しかし、夏期も冬期の足背の皮膚温には、季節での寒冷馴化の影響がみられ、冬期に皮膚温は120分間室温が上昇しても上昇がみられなかつたが、両群間の皮膚温には大きな差が認められなかつたことから、足部が冷えているわけではなかつた。体温に関しても舌下温には大きな差が認められなかつた。

同じ被験者で、室温を28℃～24℃に低下させる設定気温環境¹¹⁾で、体の冷えを測定した実験においても、cold群では、皮膚温、直腸温、温冷感には差が認められず、快適感には若干の差があり、特に、足部の快適感が2段階以上不快側になるというような傾向が見られ、足背の快適感は室の快適感との相関が低く、他の部位との相関はほとんどみられなかつた。このことから、足元が冷えて不快な被験者にとって足背の快適感は体温や皮膚温など冷えとはり離された感覚であり、足元の不快感には足元にのみ対策を講じればよいということが示唆された。

謝辞 ご協力いただいた被験者の皆様と卒業論文、修士論文として取り組んだ水田由美子さん、栗山直子さん、西田朱里さん（当時奈良女子大学）に深謝を表します。

参考文献

- 1) ASHRAE;ASHRAE Standard55,Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, P5, ANSI/ASHRAE, 2001
- 2) McIntyre et.al. : Three approach of comfort, ASHRAE Tras. Vo..84, VPart1 No.2475,1978
- 3) 佐々尚美、久保博子、磯田憲生：夏期に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
- 4) 佐々尚美、久保博子、磯田憲生：冬期における好まれる気温に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第 541 号、pp.17-22、2001
- 5) 佐々尚美、久保博子、磯田憲生：高齢者の選択気温からみた心理生理反応特性、日本建築学会計画系論文集、第 655 号、pp.815-820、2010
- 6) 佐々尚美、久保博子、磯田憲生：温熱的生理心理反応の個人差に関する研究 ー夏期における設定気温条件の場合一、日本建築学会計画系論文集、第 542 号、pp.35-40、2001
- 7) 佐々尚美、久保博子、磯田憲生：高齢者の選択気温と設定気温下の人体反応特性、日本建築学会計画系論文集、第 676 号、pp.475-479、2012
- 8) 水田祐美子、久保博子、磯田憲生：至適温熱環境の個人差に関する研究、日本人間工学会第 47 回大会論文集、2006
- 9) 衣笠奈々恵、佐々尚美、久保博子、磯田憲生：高齢者の至適温熱環境に関する実験的研究、日本人間工学会関西支部大会講演集、pp.65-68、2005
- 10) 久保博子、杉崎智子他：ビル用マルチエアコンにおける実運転時の省エネルギー性に関するスタディー(第 3 報)オフィス執務者の温熱的快適性に関する検討、空気調和衛生工学会学術発表会論文集, pp. 57-60、2013
- 11) 栗山直子、久保博子、磯田憲生：冷房環境下における足元の不快感に関する実験的研究 空気調和衛生工学会近畿支部研究発表会論文集、A-60、2014