歩行移動に伴う連続した温度変化と温熱感評価

—相互移動可能な 3 つの部屋を用いた実験的研究—

THERMAL SENSATION WITH CONTINUOUS TEMPERATURE CHANGE IN WALKING

—Experiments in 3 chambers having doors between each other—

全 貞 ユン*, 田村 明 弘**

Chungyoon CHUN and Akihiro TAMURA

The purpose of this research is to find out psychological mechanism of thermal evaluation about continuous and various temperature change. After experience of continuous and various temperature change - subjects experienced it by their own walking between rooms -, subjects evaluated all of the route in total. This evaluation in total compared with that in walking. As one example of physiological responses, skin temperature was measured. This results were corresponded with psychological responses. Research method was as follows. We conducted three experiments. Experiments were designed to be able to see the influences of exposure temperature range, width, pattern and season. We made three chambers, and all of them are connected. Each chamber had 2 doors which could come in another two chambers. Temperature in three chambers were controlled respectively different. Subjects moved between these three chambers in many different order and evaluated their sensation. Subjects were 6 in experiment 1, and 27 in experiment 2 and 3. Results were as follows. Overall thermal evaluation was affected by temperature range of that course. Temperature was the most effective factor for evaluation in walking, but relative position of that temperature in a course was very important to evaluate in walking, also. This was different point compared to overall evaluation. Experienced temperature at first part was to be the standard to evaluate next temperature. Average skin temperature after walking, have linked to overall evaluation not to the evaluation in that point. Four factors which we selected in this experiment, didn't show significant relation to thermal comfortable sensation.

Keywords: thermal sensation, walking condition, temperature change, experimental room consisting of three chambers

温冷感、歩行移動、温度変化、3つの部屋からなる実験室

1. はじめに

本研究は人が歩いて移動することによって複数の異なる環境条件を経験したり、都市の半開放歩行者空間などで経験する不均一な温度変化¹⁾に対する温熱感評価が心理的面ではどのようなメカニズムから行われるかを探るものである。まず本研究と関連する既往研究を大きく 4 つに分けて述べながら研究の意義を説明する。

(1) 複合環境評価に関する研究：今まで主に個々に扱われてきた環境要因を複合的に捉える必要性があることから色彩や騒音が温冷感などに与える影響^{2) 3)}、気温や照度が温冷感や明るさ感に与える影響⁴⁾、等に関する研究があり、また環境音・室温・照度の複合環境に対する非特異的評価に関する研究⁵⁾などがある。今回我々は、気温という一つの要因ではあるが、その一つの要因の複合的な組み合わせによる刺激が温熱感に与える影響に関して調べた。要因の複合効果とは、要因の数だけではなく、単一の要因の多様な組み合わせについても考えられる。

(2) 経路の違いによる評価の変化に関する研究：歩行者空間における緑の量・交通量などの環境変化の過程が、場面の評価・態度に影響する

ことを指摘した研究⁶⁾がある。すなわち、同じ場面であっても、そこにたどり着くまでの経路の違いにより評価が変わる。温熱感評価においても同じことが言えるのではないかというのは、日ごろの生活経験からも予想できる。本研究ではこの仮説を実験を用いて検証している。

(3) 温熱環境の変化と人間の反応に関する研究：温熱環境変化と温熱感という概念は初期 ET の実験から取り入れてあると言えよう⁷⁾。Houghten と Yaglou は湿り空気室を A、B 二つ用意して室内の温度・湿度・風速を別々に調節し、被験者に A 室と B 室の間を移動しながらそのつど両室での温感を比較した。これは温熱環境の変化を比較して判断したという面から温熱環境変化と温熱感という研究領域に入りたい。日本では 1950 年代射場本勘市郎が「寒冷室へ出入時の過渡温感」⁸⁾や「温熱環境の急変に伴う衝撃温感の分析」⁹⁾などの研究を発表している。Heat Shock に関する数値的解析である。その後、川島らによって「環境温のステップ変化に対する人体の応答」¹⁰⁾の一連の研究が主に温熱生理学的観点から行われた。このステップ変化の他にランプ型変化に関する実験が成瀬によって行われ¹¹⁾、その後周期的変化に関しても研究¹²⁾を行っている。その後久野らが二次元温冷感モデルを提案し¹³⁾、これの検証を「Physiological and

* 横浜国立大学工学研究科計画建設学専攻 助手

** 横浜国立大学工学部建築学教室 教授・工博

Research Assoc., Dept. of Architecture, Graduate School of Engineering, Yokohama National Univ.
Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Yokohama National Univ., Dr. Eng.

Psychological responses to neutral temperature following thermal discomfort condition at two ramp changes」¹⁴⁾「室温が不快条件から中立条件へ変化する時の生理・心理反応の季節差」¹⁵⁾などの研究で行っている。また、室温変化に対する主観申告や皮膚温のインパルス応答を求めて予測しようという研究が桜井らによって行われた¹⁶⁾。この他にも伊藤らの「過渡状態における温熱環境の評価に関する研究」¹⁷⁾梶井の「環境温度変化と皮膚表面温度」¹⁸⁾斎藤らの「室内温熱環境の変動性に関する研究」¹⁹⁾などもある。また、栃原らは高齢者と若年者の比較の観点から温度変化と生理・心理反応を調べた²⁰⁾。

しかし、これらは人が人工気候室の中にいてその人工気候室の温度を変えるか、あるいは二つの実験室をつなげて一つの部屋から他の部屋へ移ったあと定常に達するまでの変化の具合を調べたものである。

(4) 人間の移動と温熱環境に関する研究：(3)の温熱環境変化と温熱感に関する研究と少し視点を変えて、人間の移動と温熱感という研究領域がある。中村は「居住環境温度の測定の試み」²¹⁾という論文で「居住環境温度は人体を行動を伴った時間的連続体としてとらえた上で、人体が建築空間の中にあるときの環境の温度、と定義される。従って居住環境温度は一般に複数の建築空間が関係し、… (以下省略)。」と述べている。本研究はこの中村の考え方と同様の考え方に基づいて人間の歩行移動と温熱感、特に歩行移動することによって温度変化を連続的にそして非規則的に経験する時の温熱感に関して調べた実験である。これは実際の生活の中で我々が移動により経験する温度変化は単発的ではなく連続的である場合が多く、また、規則性や周期などが見られない複雑なものであるためである。

梅干野らは都市空間における移動実測を人間の歩行移動という概念にもとづいて行った²²⁾。また、田辺らも「半屋外を含む連続空間における温熱環境の研究」²³⁾で、実測やシミュレーションを行っている。しかし、これらは人間の反応はあまり調べていない。この歩行移動と温熱環境が主に現場での実測やシミュレーションによって行われた理由は実験室の中に実際に温熱環境が調節できる巨大な歩行空間を作ることが難しいためでもある。本研究ではその点を実験室で解決できる方法を考えた結果、3つの部屋を連結した実験室を考案した。ETの実験のように二つの部屋間を移動するだけでは2室間の比較しかできない。しかし、部屋を3つにするとその移動順番を色々変えることによって、多様な温度変化パターンを被験者に与えることができる。

以上のことを踏まえ、本論文では被験者が複数の温度が異なる部屋間を歩行移動しながら比較的短い周期の複雑な温度変化刺激を経験（これは歩行者空間などにおける温度変化刺激を想定）したあとの経験刺激全体の総合評価および移動中各刺激に対して行った評価はどのような要因によって決まってくるのだろうか、という心理的メカニズムを探っている。さらに、生理的反応の一例として皮膚表面温度を計り、心理量と生理量の対応も試みている。

2. 実験方法

1) 実験室

実験は横浜国立大学建築環境工学実験棟の中に設けられた、お互いに移動が可能な部屋（間口 2,400mm、奥行き 3,300mm、高さ 2,200mm）3つで構成されている実験室で行われた。この実験は歩行者空間などにおける温度変化を想定しているが、実際に温度コントロールのできる大規模な歩行空間を用意することは不可能である。そこで、どの部屋からどの部

屋にも移動可能な3つの部屋を設け実験を計画した。部屋が2つだと同じ温度の繰り返しになるし、部屋が4つだとある部屋からどの部屋にも移動を可能にすることが不可能になる。そこで、部屋を3つに決めて、実験室を作った。実験室の平面を図1に示す。全実験室は同じ材料、同じ仕上げ材、同じ照明器具を使い、同じデザインの椅子とエアコン、除湿機を同じ配置で設置した。天井と壁は合板仕上げで、床は灰色の絨毯を敷いた。照明には40ワットの蛍光灯を各部屋4灯ずつ天井に埋め込んだ。3室とも床幅、高さなどは一緒である。3室間の条件差をできるだけ無くすことによって、温度以外の要因が実験結果に影響するのを防いだ。

被験者は予め異なる温度に設定された3つの部屋を歩行移動することにより、温度の異なる空間を次々と経験しながら部屋の評価をすることが可能になる。実験者は、部屋の設定温度、実験初期に安静を保つ部屋、移動する部屋の順番などを操作することにより、多様な要因を取り入れた実験をすることができる。実験室は連結されたRC造の二つの残響室の中に作られた。そのため、日射による影響はない。また、各部屋に監視カメラが設置されていて、実験者は実験室外の操作デスクでモニターを見ながら実験を進行させる。尚、トラブル発生時に備えて実験室内と操作デスクの間は、マイクロフォンとスピーカを通じてコミュニケーションができるようにした。各部屋には中での移動のための部屋間のドア以外に、外（残響室の中）に通じるドアがあり、被験者が最初安静を保つ部屋に入るとき、実験が終わった後部屋から出る時はこのドアを利用することになる。

図1 実験室の平面図

2) 実験の枠組み

実験室の設定温度条件としては3つの部屋の空気温度を平均した値（以後基準温度と呼ぶ）は同一で部屋間の温度変化幅が変わる設定（実験Ⅰ、温度変化幅の影響を見る実験）、そして変化幅は一緒で基準温度が変わる設定（実験Ⅱ&Ⅲ、経験温度域の影響を見る実験）の2種類とした。図2は3つの部屋の各設定温度を実験別、条件別に示している。実験Ⅰは96年11月に、実験Ⅱは97年8月に実験Ⅲは98年1月に行った。実験ⅡとⅢでは同じ実験を夏と冬に行うことで季節間の違いを調べた。これらの実験間の相互の関連を図3に示す。実験Ⅰの被験者は横浜国立大学建築学コース1年生6名（男性3名、女性3名）で、一人あたり9試行に参加してもらった。この9試行の内訳は表1の個人差項目を参照していただきたい。すなわち、「い」の人は実験番号1、6、8…23、25の9試行の

被験者になる。ただし、一人あたりは一日に 1 回の試行のみに制限し、一週間に 3 回参加してもらった。同じ実験を男性群、女性群、それぞれ行ったので、各性別 3 名×9 試行×男女=54 回の試行になる。この計 54 回の試行を約 3 週間にわたって行った。実験Ⅱ・Ⅲの被験者は 18 歳から 29 歳までの健康な男女 27 名であった。但し、夏冬両方参加したのは 23 名、夏のみが 4 名、冬のみが 4 名であった。男女の内訳は夏冬共に、男性 17 名、女性 10 名であった。こうして一人 1 回の試行で計 27 回の試行を夏と冬に行った。各試行の詳細内容は後の<表 1>で説明する。

実験Ⅰ. 温度変化幅の影響を見る実験 (1996 年 11 月)

(3つの部屋の各設定温度) 条件①18-24-30°C 条件②20-24-28°C
条件③22-24-26°C

実験Ⅱ・Ⅲ. 経験温度域の影響を見る実験 (1997 年 8 月 (Ⅱ)、1998 年 1 月 (Ⅲ))

(3つの部屋の各設定温度) 条件①18-21-24°C 条件②21-24-27°C
条件③24-27-30°C

図2 各実験の温度設定条件

図3 実験間の関連

3) 田口の直交表による要因の割付

本研究は温度の異なる空間を人が連続的に歩行移動した時の、温熱感評価について調べることが目的であり、そのような空間での温熱感評価に影響を及ぼすと思われる温度に関連する要因として、温度条件、初期値、配分比率、そして経験温度変化パターンを取り上げた。温度以外に温熱感に影響を及ぼす物理要因(湿度、風速、放射温度)と人間側の要因(衣服量、代謝量)は同じ条件に制御して、その条件下での以下の 4 要因の影響を調べる。

- ①温度条件; 移動中経験した温度とその変化幅、あるいは温度変化域、すなわち 3 つの部屋の温度の組み合わせ。
- ②経験温度変化パターン; 経験する温度変化の形、すなわち各部屋を移動するルートのパターン
- ③配分比率; 各温度の経験比率、すなわち移動のうち各部屋に止まった回数比率
- ④初期値; 移動を始める前に安静を保つ部屋の温度

また、実験Ⅰではこれ以外に個人差も要因の一つとして取り入れた。

以上の要因の効果を調べるためには、膨大な数の試行が必要になってくる。そこで、田口の直交表²⁴⁾を用いて、実験要因の割付を行った。この直交表の目的は、「試行回数を少なくし、しかも偏りのないデータを得る。」という点にある。水準の数が 3 である要因を直交して割り付ける直交表 L_{27} を使用した。表 1 は各要因(実験Ⅰは 5 個、実験Ⅱ・Ⅲは 4 個)の割付を示す。同じ要因でも実験Ⅰと実験Ⅱ・Ⅲで若干割り付けが違う。実験Ⅰでは温度条件を主効果のみが分析できる列に割り付けたが、実験Ⅱ・Ⅲでは温度条件の代わりに温度変化パターンをその列に割り付けた。また実験Ⅰでは個人差を要因の一つとして組み入れ、男性 3 人を割り付けた 27 回の試行と女性 3 人を割り付けた 27 回の試行を行った。一方、実験Ⅱ・Ⅲでは 27 回の試行に各個人を完全にランダムに割り振り、個人差の影響を誤差項に含めて要因効果の分析を行うことにした。実験ⅡとⅢでは同じ被験者を使う予定であったが、都合が合わない被験者が 4 名出てきた。そのため、各試行番号への割り振りを新しくランダムに行った。従って、ⅡとⅢで同じ試行番号でも被験者は違う。なお、初期値部屋以後の部屋の移動順番は「配分比率」と「パターン」の組み合わせによって決まってくる。例えば配分比率 1 (同比率) で、パターンが a (高→低)

<表 1> 田口の直交表 L_{27} を用いた各要因の割り付け

実験Ⅰ						実験ⅡⅢ				
列番号	1	2	5	9	10	1	2	5	9	
試行 番号	初期 値	パタ ー ン	配分 比率	温度 条件	個人 差	試行 番号	温度 条件	初期 値	配分 比率	パタ ー ン
1	H	a	1	①	い	1	①	H	1	a
2	H	a	2	②	ろ	2	①	H	2	b
3	H	a	3	③	は	3	①	H	3	c
4	H	b	1	②	ろ	4	①	M	1	b
5	H	b	2	③	は	5	①	M	2	c
6	H	b	3	①	い	6	①	M	3	a
7	H	c	1	③	は	7	①	L	1	c
8	H	c	2	①	い	8	①	L	2	a
9	H	c	3	②	ろ	9	①	L	3	b
10	M	a	1	②	は	10	②	H	1	b
11	M	a	2	③	い	11	②	H	2	c
12	M	a	3	①	ろ	12	②	H	3	a
13	M	b	1	③	い	13	②	M	1	c
14	M	b	2	①	ろ	14	②	M	2	a
15	M	b	3	②	は	15	②	M	3	b
16	M	c	1	①	ろ	16	②	L	1	a
17	M	c	2	②	は	17	②	L	2	b
18	M	c	3	③	い	18	②	L	3	c
19	L	a	1	③	ろ	19	③	H	1	c
20	L	a	2	①	は	20	③	H	2	a
21	L	a	3	②	い	21	③	H	3	b
22	L	b	1	①	は	22	③	M	1	a
23	L	b	2	②	い	23	③	M	2	b
24	L	b	3	③	ろ	24	③	M	3	c
25	L	c	1	②	い	25	③	L	1	b
26	L	c	2	③	ろ	26	③	L	2	c
27	L	c	3	①	は	27	③	L	3	a

<各要因別水準設定の内容>

◇温度条件

3つの部屋の空気温度の組み合わせ。

- ①：30℃-24℃-18℃（実験Ⅰ）、30℃-27℃-24℃（実験Ⅱ&Ⅲ）
- ②：28℃-24℃-20℃（実験Ⅰ）、27℃-24℃-21℃（実験Ⅱ&Ⅲ）
- ③：26℃-24℃-22℃（実験Ⅰ）、24℃-21℃-18℃（実験Ⅱ&Ⅲ）

◇初期値

H：高温の部屋で20分間安静にしてからスタートする

（実験Ⅰ：30, 28, 26℃、実験Ⅱ&Ⅲ：30, 27, 24℃）

M：中温の部屋で20分間安静にしてからスタートする

（実験Ⅰ：24℃、実験Ⅱ&Ⅲ：27, 24, 21℃）

L：低温の部屋で20分間安静にしてからスタートする

（実験Ⅰ：18, 20, 22℃、実験Ⅱ&Ⅲ：24, 21, 18℃）

◇配分比率

移動中経験した温度の比率。

< 高温の部屋：中温の部屋：低温の部屋 >

- 1：同比率 < 6回：6回：6回 >
- 2：高温多 低温少 < 9回：6回：3回 >
- 3：高温少 低温多 < 3回：6回：9回 >

◇経験温度変化パターン

移動を前半・中・後半の3つの構成とした場合の経験温度変化の形。

- a：高一低、前半に高温、後半に低温の部屋を多く経験する。
- b：均一、前半、中、後半を通して均一な温度変動経験。
- c：低一高、前半に低温、後半に高温の部屋を多く経験する。

◇個人差

男性 女性

い：M君 Kさん

ろ：N君 Tさん

は：H君 Iさん

の場合、18回の移動中各部屋に入った数は6回ずつにして、移動前半の6回は高温を多めに、中の6回は各部屋を均等に、後半の6回は低温を多めに割り振らなければ行けない。こうして、配分比率とパターンの組み合わせによる移動順番は<表2>の通りになる。部屋間の移動回数を18回にしたのはこのような要因の割り付けを考えたからでもある。

<表2> 「配分比率」と「パターン」の組み合わせによる移動順番

配分比率	パターン	部屋の順番 (各温度条件の中でその部屋の相対的温度)
1	a	高中高低高中 高中低高中低 中低高低中低
1	b	高中低高中低 中低高中低高 低高中低高中
1	c	低中低高低中 高中低高中低 中高低高中高
2	a	高中高中高中 高中高低高中 高低高中高低
2	b	高中高低高中 高中高低高中 高中高低高中
2	c	低高中高低高 中高低高中高 中高中高中高
3	a	高低中低高低 中低高低中低 中低中低中低
3	b	低中低高低中 低中低高低中 低中低高低中
3	c	低中低中低中 低中低高低中 低高低中低高

4) 実験の流れ

図4は実験の流れを示す。まず被験者は実験棟の中の別部屋に集合してもらい、15分ほど座った状態で安静にしていってもらう。その15分間、

実験に関する教示を行い、また個人データに関する質問紙に記入してもらった。その後、図1に示す実験室へ移動し、更衣室に入り、実験者が用意した服装に着替えてもらい、皮膚温センサーを取り付け、3部屋のいずれか（初期値の部屋）に入ってもらった。皮膚温センサーは0.2mmφT型熱電対を用い、小型のデータローガー（江藤電気、THERMIC Model 2100A）に2秒間隔で連続測定・記録した。被験者は実験中このデータローガーをウエストポーチに入れ、腰に付けていた。

両実験とも服装は全季節・全員同じものにした。下着の上に木綿のジャージ上下をはおり、靴下と体育館用シューズを履いた。clo値はネビンスらの式から算出すると約0.8cloである²⁵⁾。被験者は、初期値の部屋で椅座安静状態で15分間電子ゲームをした。これは退屈防止のためである。15分経つと実験者が鳴らすベルの音がスピーカから流れ、被験者は電子ゲームを止め5分間なにもしないまま安静にする。5分後ベルが鳴ると被験者は実験者が事前に渡した評価用紙の指示に従いドアを開けて最初の部屋へ移動し、ドアを直ちに閉めた後、その部屋の中央にある床に印をつけた評価ポイントに立ち、1枚のアンケート用紙を開いて、温冷感、温熱的快適感などの評価（以下、移動中瞬時評価）をし、次の移動を知らせるベルの音を待つ。こうしてベルが鳴れば歩行移動し、評価して行くことを繰り返し行なった。部屋間の移動速度を調整するために、実験者は外からモニターを見ながら移動開始をベルで指示した。このベルと次のベルの間の時間は約20秒であった。このことによって、全ての被験者が約6分間で18回部屋を同じ歩行速度で移動することができた。次の部屋に関する指示はアンケート用紙ごとの末尾に文章で“Aのドアを開けて下さい”、“Bのドアを開けて下さい”と教示した。各ドアには事前にA、Bの印をつけてある。所定の移動を終えたら、どのコースでも24℃に設定してある部屋に戻るよう指示した。これは同じ温度に対するそこまでの経路の違いによる評価の差を見るためである。24℃の部屋についたら、椅子に座り、直ちに現在の温熱感評価（以下、移動後瞬時評価）と移動が始まってからそれまでの総合温熱感評価（以下、移動後総合評価）をしてもらう。また、5分後にベルがなり、もう一度移動後瞬時評価と移動後総合評価をして1回の試行は終了である。

min. 行為

図4 実験の進行手順

実験は一人づつ行われ、試行 1 回の所要時間は平均 55 分であった。こうして、移動中が 18 回、移動後が 2 回、延べ 20 回の評価が 1 回の試行でなされた。温冷感と快適感の評価尺度は図 5 の通りであった。総合評価の場合は同じ尺度であるが教示の文書が「立ち上がってからここまで歩いてきたコースの温冷感（温熱的快適感）を全体的に評価すると？」になる。実験の順序は実験室の環境調節の関係で温度条件に依存し、実験 I では温度条件 I を終えてから II、そして III と、実験 II では温度条件 A を終えてから B、そして C へ、実験 III では温度条件 C から B、そして A の順で進めて行った。

5) 実験室内の環境調節

温度は業務用エアコンを各部屋に設置し、それぞれ調節した。室内温度均一化のため、家庭用扇風機を各部屋に壁向きに設置、サーキュレータとして使った。エアコンも扇風機も風が被験者に直接当たらないよう風向を調節した。湿度は夏は家庭用除湿機、冬は家庭用加湿器を各部屋に置いて、できるだけ相対湿度 50% 付近に調整した。換気は各部屋にある全熱交換型換気扇により行った。各部屋の温度設定条件が変わる時は 1 日以上かけて安定させた後に次の試行を行った。温度は各部屋床上 10 cm と 110 cm の 2 点で、湿度については床上 110 cm のみでサーモレコーダー（タバイ エスベック、RS10）を用いて、主観評価と同じ位置（部屋の中央）で同時に 2 秒間隔で連続測定した。また、風速の測定は床上 110 cm に風速計（KANOMAX、クリモマスター）を設置し同じく連続測定した。平均風速は 0.1m/sec 弱であった。実験室内温湿度制御の結果を<表 3>に示す。設定値からの変動が多少見られるが、ほぼ満足できるものであった。

・今、あなたの温冷感はいかがですか？

どちら

やや 暖かい 暖かい 涼しい 涼しい 寒い

(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)

・今、あなたは温熱的においはいかがですか？

どちら

非常に 快適 快適 不快 不快 非常に 不快

(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)

図 5 温冷感と温熱的快適感の評価尺度（瞬時評価の場合）

3. 実験結果

まず言葉の定義を再度行う。

移動中瞬時評価：18 回の移動中各部屋で立つて行われた温熱感の評価

移動後瞬時評価：最後の部屋（24℃）で座って行われた温熱感の評価

移動後総合評価：最後の部屋でそれまでのコースを振り返って総合して行った評価

実験 I では個人差を要因の一つとして要因の割り付けを行っているが、結果の処理では、個人別にデータを標本として分散分析することにより他の 4 つの要因（温度条件、温度変化パターン、温度の配分比率、初期値）の影響について検討した。実験 II、III では、被験者を各試行にランダムに割り付ける手法により個人差を誤差項に含めて各要因の効果を分散分析した。結果はそのような手続きを踏まえた上、主観有意な要因の効果を平均値で示す。なお、移動後の評価は 2 回行っているが、本論文では初回のデータを分析している。移動後の時間変化については本論文とは別のテーマともなるので次回に報告したい。

<表 3> 温・湿度制御結果

実験 I	実験 II	実験 III
18-24-30℃設定	18-21-24℃設定	18-21-24℃設定
18 : 18.4±0.2 (61.4±1.3)	18 : 18.8±0.3 (62.7±1.8)	18 : 18.5±0.2 (62.2±0.7)
24 : 24.3±0.1 (48.0±0.2)	21 : 21.6±0.2 (59.2±1.1)	21 : 22.7±0.2 (50.9±1.1)
30 : 30.1±0.4 (37.5±1.1)	24 : 23.5±0.2 (51.3±1.3)	24 : 23.8±0.1 (48.7±0.9)
20-24-28℃設定	21-24-27℃設定	21-24-27℃設定
20 : 20.2±0.3 (53.2±1.3)	21 : 20.9±0.3 (55.6±1.6)	21 : 21.3±0.2 (49.5±0.4)
24 : 24.0±0.1 (45.4±0.4)	24 : 24.5±0.2 (47.4±1.2)	24 : 24.2±0.1 (49.5±0.4)
28 : 28.1±0.2 (45.0±1.2)	27 : 26.7±0.3 (51.1±1.3)	27 : 27.4±0.2 (51.1±1.4)
22-24-26℃設定	24-27-30℃設定	24-27-30℃設定
22 : 22.5±0.2 (44.7±0.9)	24 : 23.9±0.2 (50.1±1.2)	24 : 24.4±0.2 (44.6±0.8)
24 : 24.6±0.1 (43.0±0.3)	27 : 27.5±0.3 (48.8±0.8)	27 : 26.9±0.2 (45.5±0.7)
26 : 26.3±0.2 (44.1±0.9)	30 : 29.9±0.1 (44.4±0.5)	30 : 29.7±0.3 (42.1±1.0)

目標温度：平均温度±SD

測定高さ：床上 110cm

(平均相対湿度±SD)

1) 移動後総合評価に影響を及ぼす要因

分散分析の結果、移動後総合温冷感評価への効果が認められたのは「温度条件」の主効果のみであった（図 6）。実験 I における各温度条件別総合温冷感評価の平均値を図 7 に示す。図 7 で平均の差が有意であったのは 18-24-30℃条件と 20-24-28℃条件間であった。18-24-30℃条件では比較的に暖かい側に、そして 20-24-28℃条件では比較的に涼しい側に評価しており、18-24-30℃条件下では 30℃の影響が、20-24-28℃の条件下では 20℃の影響がそれぞれ総合温冷感評価に強く作用したと考えられる。実験 II と III は温度条件の総合温冷感に対する影響が高温域（24-27-30℃）、中温域（21-24-27℃）、低温域（18-21-24℃）に分かれていて、温度の高低がそのまま反映している（図 8）。それぞれの平均の差もほとんど全て有意であった。

図 6 移動後総合温冷感評価に対する各要因の影響

図 7 総合温冷感と温度条件（実験 I）

図8 総合温冷感と温度条件 (実験Ⅱ&Ⅲ)

以上の結果から、複合的温度変化を経験したあと、その経験したコース全体を振り返って評価させると、コース全体の温度変化域に相応する評価をする (実験Ⅱ&Ⅲ)。しかし、平均値は一緒でも温度変化の幅が違う場合は総合評価に一貫した傾向は見られず、強い影響を与える温度が条件によって異なってくると考えられる (実験Ⅰ)。

また、今回移動後総合快適感評価に有意な影響を及ぼしている要因を見出すことはできなかった。

2) 移動後瞬時評価に影響を及ぼす要因

移動後瞬時評価への有意な効果が認められた要因は実験Ⅰの「経験温度変化パターン」、そして実験ⅡとⅢの「温度条件」の主効果であった (図9)。交互作用はどれも認められなかった。実験Ⅰへの経験温度変化パターンの影響の具合を図10に示す。平均の差の検定で有意差が認められたのは「高→中→低」と「低→中→高」の間のみではあったが、温度変化パターンが「高→中→低」の場合、評価が涼しいほうへ移行する傾向が見える。これは最初高温の部屋にたびたび行くと、最後の24℃に対して他の条件より涼しく感じることを意味する。これは最初の部分で経験した温度が評価の基準になったためではないかと考えられる。しかし、その効果が実験Ⅰだけで、それも「高→中→低」だけに強く現れた理由は明らかではない。

図11は実験ⅡとⅢでの各温度条件別移動後瞬時温冷感の平均値を示したグラフである。同じ24℃でも低温域条件 (18-21-24) ではより暖かく、高温域条件 (24-27-30) ではより涼しく評価していることがわかる。すなわち、各温度条件の中の24℃の相対的位置が評価されていた。また、この図から季節による違いが伺え、高温域に比べて低温域で季節による評価値の差が大きくなっている。季節間の平均の差の検定結果、18-21-24℃の条件だけが有意な差として認められたが、全体的に高温域条件から低温域条件に行くにつれ、差の有意水準は高くなっていく。

また、移動後瞬時快適感評価において有意な効果が認められた要因はなかった。

図9 移動後瞬時評価に対する各要因の影響

図10 移動後瞬時温冷感に対する温度変化パターンの影響 (実験Ⅰ)

図11 移動後瞬時温冷感と温度条件 (実験ⅡとⅢ)

3) 移動中瞬時評価に影響を及ぼす要因

移動中瞬時温冷感評価の平均に対する各要因の影響を図12に示す。まず、移動中瞬時温冷感評価の平均に対する温度配分比率の影響は納得が行く結果である。すなわち、高温の部屋に多く行った時は温冷感評価の平均が暖かい側へ移り、低温の部屋に多く行ったときは涼しい側へ移ったという結果を示している (図13)。次に実験ⅠとⅢで有意に認められた移動中温冷感評価の平均に対する初期値の効果を図14に示す。図14から、初期温度 (最初の20分間座っていた部屋の温度) が高ければ高いほど

図12 移動中瞬時温冷感評価への各要因の影響

図13 移動中温冷感評価の平均に対する配分比率の効果

図 14 移動中温冷感評価の平均に対する初期値の効果

図 15 移動中温冷感評価の平均に対する温度変化パターンの効果

移動中温冷感評価の平均が涼しい側へ移行する傾向が見える。また、図 15 の温度変化パターンの移動中瞬時温冷感評価の平均に対する影響からも、同じ傾向が認められる。すなわち、最初の部分で経験した温度が基準になって次々と評価をしていく傾向がある。

今回の実験で、移動後総合評価や移動後瞬時評価には温度条件が大きい影響を及ぼしていたのにくらべて、移動中瞬時温冷感評価の平均ではその効果がみとめられなかったのはなぜであろうか。その疑問から各実験での移動中の各温度に対する平均瞬時温冷感を図 16 に示した。基準温度を変えずに温度変化の幅だけを変えた実験 I ではどの条件でもその温度に相応する評価をし、ほぼ一直線になっている。他方、温度変化の幅は変えずに基準温度を変えた実験 II と III では各設定条件によって、同じ温度に対する温冷感評価が大きく変わっている。これは季節と関係なく表われた。実験条件によって被験者は同じ 24℃でもやや暑いからやや寒いまで、大きく異なる評価をしていた。これは移動後の 24℃の部屋での瞬時温冷感評価でもすでに示した (図 11)。またどちらでもない評価される中立温度が 21℃から 27℃までと各条件によって大きく違うことが分かる。我々はこの評価の特性を瞬時評価における相対的評価の性質と名づけた。図 16 から推測されるように、各温度条件ごとの全評価の平均を求めるとその値がほとんど変わらなかったため、温度条件の移動中瞬時温冷感評価の平均への効果が認められなかったのである。

以上の結果から、移動中瞬時温冷感を平均することにより移動後総合温冷感評価を予測することは困難であることが示された。

4) 移動直後の平均皮膚温と心理量の関係

今回、皮膚表面温を三箇所ずつ計った。実験 I は衣服内 (上胸、上腕、上腿)、実験 II と III は露出部 (額、両手の甲) である。18 回の移動が終了して、24℃の部屋にたどり着くと、被験者は 2 種類の温冷感を評価する。移動後瞬時評価と移動後総合評価である。その時の皮膚表面温を図 17 に示す。実験 I は Robert らの 3 点法を、実験 II と III では単純算術平均値を

平均皮膚温として採用した。この図 17 と前述の図 7、8、及び 11 と比較してみると、実験 I では明確でないが、実験 II と III では総合評価がそれぞれの平均皮膚温と正の相関があり、移動後瞬時評価は負の相関を見せている。この移動後瞬時評価と皮膚温との負の相関関係は定常状態での評価とは違う「移動中温冷感評価」の特徴的な面であると思われる。また冬期の実験 III ではどの条件下でも夏期の実験 II より皮膚温は 1℃強低くな

図 16 移動中の各温度に対する平均瞬時温冷感

図 17 温度条件別移動直後平均皮膚温

っているが、これは図4に示す実験の進行手順でコントロールできるものではなく、実験時期の違いが基本になっていると考えられる。このことが図8及び図11の低温域条件で冬季の温冷感が暖かい側にくることと関連すると考えられるが、今回の実験からは断定できない。

4. まとめ

人が複数の温度が異なる部屋を歩行移動する時の温熱感の心理的評価構造を温度の異なる3つの部屋（広さ、仕上げ、照明などは同じ条件）で構成された実験室を用いた実験により検討した。放射温度、気流速度、湿度、衣服量、代謝量の条件は同じであった。その結果、

- 1) 移動後総合温冷感評価はコース全体の温度変化域と大きく関係していた。
- 2) 移動後瞬時温冷感評価は各温度条件の中でのその部屋の温度の相対的位置を評価していた。また、移動ルートの最初の部分で経験した温度が評価の基準となる傾向が見られた。
- 3) 移動中温冷感評価は移動後瞬時評価と同じく温度条件の中でのその温度の相対的位置が評価を決定していた。
- 4) 移動直後の皮膚温は移動後総合温冷感評価と対応していた。
- 5) 移動中瞬時温冷感評価と移動後の総合温冷感評価とは異なる心理的評価構造を持ち、前者の単純平均から後者を予測することは困難である。
- 6) 今回我々が取り上げた4つの要因は温冷感とは関係が見えたが、温熱的快適感とは明確な関係が見られなかった。
- 7) 季節の影響は移動後瞬時温冷感と平均皮膚温で見られた。高温域暴露後に比べて低温域暴露後で同じ24℃に対する評価に季節の差が大きくなった。冬場でより暖かく（夏場でより涼しく）評価している。一方、平均皮膚温は冬場に1℃強低くなっている。

今回の実験は温度に関する複数の要因を統計的実験計画法を用いて比較的小試行で偏らない実験結果を得たこと、そして3つの部屋を相互に連結する新しい試みの実験室を作り、歩行移動の実験室実験を可能にしたことに特徴があると思われる。その中で、瞬時評価とともに総合評価という概念を提示し、それらの評価構造の差を示した。今後は両方の評価が実際の生活の場でどのように表われるのかを検証し、実際の場での両評価の意義に関して考えて行きたいと思う。また、各要因の効果が見られなかった温熱的快適感と温冷感の関係、瞬時温冷感評価の移動中の変化過程、移動後評価の時間的変化などについては、その後追加した実験結果を加えて、次回に報告していく所存である。

参考文献

- 1) CHUN, C. & TAMURA, A.: Thermal Environment and Human Responses in Underground Shopping Malls vs Department Stores in Japan, Building and Environment, Vol.33, pp.151-158, 1998
- 2) Fanger, P.O., Breun, N.O. & Jerking, E.: Can colour and noise influence man's thermal comfort?, Ergonomics, Vol. 20, pp. 11-18, 1977
- 3) 大野秀夫、久野 覚、木田光郎、中原信生：居住者の温冷感覚に及ぼす温熱環境と色彩環境の複合効果に関する研究、日本建築学会計画系論文報告集、No.374, pp.8-18, 1987
- 4) Ishii, J. & Horikoshi, T.: The combined effect of air temperature and illuminance on the human physiological and psychological responses, Archives of Complex Environmental Studies, Vol.7, No. 3-4, pp. 1-8, 1995
- 5) 長野和雄、松原奇樹、齋藤美仁、合草 頌、伊藤香苗、鳴海大典：環境音・室温・照度の複合環境評価に関する基礎的考察—特異的評価と非特異的評価の関係、日本建築学会計画系論文報告集、No.490, pp.55-61, 1996

- 6) 田村明弘：環境変化過程と場への態度に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.71-72, 1990
- 7) Yagloglou C.P. & Houghten F. C.: Determining lines of equal comfort, ASHVE Transactions, pp.163-176, 1923
- 8) 射場本勘市郎：暖冷室へ出入時の過渡温感、日本建築学会論文集 No.48, pp.87-91, 1954
- 9) 射場本勘市郎：温熱環境の急変に伴う過渡温感の分析、日本建築学会論文報告集 No.57, pp.113-116, 1957
- 10) 川島美勝、後藤滋：環境温のステップ変化に対する人体の応答（第6次実験）-体温調節系と温熱環境評価の研究（5）-、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.347-348, 1975
- 11) 成瀬哲生、太田洋一、大倉良司、池澤嘉悟：室温のランブ的变化時の人の皮膚温及び温冷感・快適感について-その4. 季節別（夏・秋・冬期）、0.7do 時の快適温度域・快適時の平均皮膚温-、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.263-264, 1987
- 12) 大倉良司、成瀬哲生、太田洋一：室温の周期的変化時の人体応答-その4. 周期別、上昇・下降別の人体応答-、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.887-888, 1989
- 13) Kuno, S. & Ohno, H. & Nakahara N.: A two - dimensional model expressing thermal sensation in transitional conditions. ASHRAE TRANSACTIONS, pp. 396 ~ 406, 1987.
- 14) Ohno, H. & Kuno, S. & Kida, M. & Nakahara N.: Physiological and Psychological Responses to Neutral Temperature Following Thermal Discomfort Condition at Two Ramp Changes, 日本建築学会計画系論文報告集、No.398, pp.21-31, 1989
- 15) 斎藤聖孝、久野覚、大野秀夫、木田光郎、中原信生：室温が不快条件から中立条件へ変化するときの生理・心理反応の季節差、日本建築学会計画系論文報告集、No.441, pp.33-42, 1992
- 16) Sakurai, Y., Matsubara, N., Morimoto, H.: Transient response of human sensory system to changes in thermal environment, ASHRAE Transactions, Vol.97, Part II, pp.170-178, 1991
- 17) 伊藤直明、石野久彌、梶田孝一、大塚 淳、佐々木元康：過渡状態における温熱環境の評価に関する研究、空調調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.301-304, 1989年
- 18) 梶井宏修：環境温度変化と皮膚表面温度-実験時間が4時間で温度変化周期が0.5、1、2、3及び4時間の場合（その2）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.885-886, 1989
- 19) 斎藤正文、今福正幸、向野元昭、小池武雄：室内温熱環境の変動性に関する研究-その2 種々の等温パルス変動気流の人体に及ぼす影響の比較-、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.889-890, 1989
- 20) Tochihara, Y., Ohnaka, T., Watanabe, Y., Tokuda, T. & Kawashima, Y.: A study on body temperature regulation and residential thermal environments of the elderly (5) Physiological response and thermal sensation of the elderly in various thermal environments, International conference on human-environment system (Tokyo 1991), pp. 207-210, 1991
- 21) 中村泰人：居住環境温度の測定の試み、日本建築学会大会講演梗概集、pp.297-298, 1987
- 22) 皇住朝子、梅干野晃、宮永俊之：都市における生活空間を対象とした移動実測による熱環境調査、日本建築学会関東支部研究報告集、pp.205-206, 1997
- 23) 中野淳太、金政秀、鶴田靖子、堀仁美、高山真、堀川晋、大高一博、田辺新一、木村健一：半屋外を含む連続空間における温熱環境評価の研究-その1 実測方法と冬季実測結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.375-376, 1998
- 24) 田口玄一：新版 実験計画法 上、丸善、pp.78-111, 1982
- 25) 長田泰公、池田耕一、他：環境衛生入門、オーム社、pp.76, 1990

(1999年6月9日原稿受理、2000年1月28日採用決定)