関西地域の住宅における冬期の実態調査による中立温度・許容範囲の算出

CALCULATION OF NEUTRAL TEMPERATURE AND ACCEPTABLE RANGE BY THE FIELD STUDY OF HOUSES IN KANSAI AREA, JAPAN, IN WINTER

飛田 国人^{*1}, 中谷 岳史^{*2}, 松原 斎樹^{*3}, 藏 澄美仁^{*4}, 島田 理良^{*2}

*Kunihito TOBITA, Takashi NAKAYA, Naoki MATSUBARA,
Yoshihito KURAZUMI and Riryo SHIMADA*

Thermal environment of the houses in Kansai area, Japan, was investigated in winter. This paper discussed indoor climate and thermal comfort.

The main results are as follows; 1) the ratio of occupants who did warming action such as to use kotatsu or electric carpet, as well as using heating such as air-conditioning and heaters was higher than that of occupants who used heating only, 2) the neutral temperature was 9.9°C(ET*) when occupants didn't do warming action, 3) the neutral temperature was 9.9°C(Tg), 10.9°C(OT), 10.9°C(ET*) when occupants wore much clothing, 4) more than 90% of occupants responded "acceptable", despite 70% of the temperature data varying from ASHRAE Standard55.

Keywords: field study, thermal comfort, house, winter, neutral temperature, acceptable range

実態調査, 熱的快適性, 住宅, 冬期, 中立温度, 許容範囲

1. はじめに

温暖化対策は政府や企業だけでなく、一般家庭にも求められている。政府は夏期と冬期の空調に費やされるエネルギーが膨大であることから、住宅・ビル等の室温を冷房中は28℃以上¹⁾、暖房中は20℃以下²⁾にするよう、適切な空調管理を行うことを要請している。空調管理では、ISO7730³⁾や空調オフィス環境の基準であるASHRAE Standard⁴⁾などの、実験室実験をもとに定められた許容範囲などが用いられている。しかし、実態調査の方が実験室実験よりも居住者はより広い温度の幅を許容する⁵⁾ことが報告されており、この差異の原因の1つに居住者の適応行動がある⁶⁾。

国内でも温熱環境の調査に関する報告は多く、オフィスよりも住宅の方が自由意志で環境をコントロールできる立場にあり⁷⁾、住宅の居住者が断熱性能の差異によってさまざまな生活行為を行っていることが明らかにされている⁸⁾。そのような中で、住宅とビルに同じ基準を設け、実験室実験をもとに定められた海外の空調オフィスの基準を日本の住宅に用いることの是非を検討するためには、実態を調査してさまざまな検討を行う必要がある。しかし、中立温度・許容範囲を扱った日本の住宅での実態調査は少ない。中谷ら⁹⁾は関西地域の住宅の夏期の中立温度は28.6℃(ET*)、許容範囲の上限は28.0℃(OT)であったことを報告しているが、冬期の中立温度と許容

範囲については明らかにされていない。そこで本研究では関西地域の住宅を対象として、冬期の中立温度と許容範囲を求めることを試み、その結果について考察することを目的とする。

2. 調査概要

調査対象地域は兵庫県宝塚市および大阪府高槻市である。住戸種類は戸建住宅21戸および集合住宅20戸の計41戸である。調査人数は47人で男性3人、女性44人である。調査期間は2004年2月3日～3月6日である。

調査内容は、①室内の温熱環境、②温熱環境に対する主観申告、③生活時間の3種類であった。調査訪問時に、①の測定機器を設置するとともに、居住者に調査内容の説明をした。二日間の調査期間中は、居住者に②③の記入を依頼した。

調査日数は各住戸4日間である。各住戸には事前に連絡をして調査の承諾を得てから訪問を行った。調査初日は、再度調査協力の確認を行い、趣旨の説明、室内への調査器具設置の承諾、調査器具の説明、調査器具の設置、主観申告・生活時間調査用紙の説明を行い、被験者から質問がないか最後に尋ねた。また測定期間中は普段通りに生活するように教示を与えた。2日目と3日目に、被験者は主観申告及び生活時間調査用紙に記入を行い、測定器具で環境データを

^{*1} 有明工業高等専門学校建築学科 助手

^{*2} 大和ハウス工業㈱

^{*3} 京都府立大学人間環境学部環境デザイン学科 教授・工博

^{*4} 広島国際大学工学部住環境デザイン学科 教授・工博

Research Assoc., Dept. of Architecture, Ariake National College of Technology
Daiwa House Industry Co., Ltd.

Prof., Dept. of Environmental Design, Kyoto Pref. Univ., Dr. Eng.

Prof., Dept. of Socio-Environment Design, Faculty of Engineering, Hiroshima International Univ., Dr. Eng.

表 1 代謝量および主観申告尺度

調査項目	カテゴリ
代謝量	1. 立って作業をしていた (2.0met) 2. 立って軽い作業をしていた (1.6met) 3. 座って作業をしていた (1.2met) 4. 座ってくつろいでいた (1.0met) 5. 横たわっていた (0.8met)
温冷感	1. 寒い 2. 涼しい 3. やや涼しい 4. どちらでもない 5. やや暖かい 6. 暖かい 7. 暑い
許容感	1. とても許容できない 2. 許容できない 3. やや許容できない 4. やや許容できる 5. 許容できる 6. とても許容できる
熱的快適感	1. とても不快 2. 不快 3. やや不快 4. どちらでもない 5. やや快適 6. 快適 7. とても快適

表 2 主観申告時の暖房行為と採暖行為

項	申告数	割合(%)
暖房 + 採暖行為	151	38.1
暖房行為のみ	133	33.6
採暖行為のみ	41	10.4
行為無	71	17.9
合計 (全申告)	396	100

自動記録した。4 日目に用紙及び測定器具の回収を行い、用紙の記入に不備があれば口頭で補足した。調査終了後に、相当分の謝礼を全被験者に手渡した。室内の温熱環境の測定項目は、環境側 4 条件(空気温度 T_a ・グローブ温度 T_g ・湿度 RH・風速 v)と人体側 2 条件(代謝量 M ・着衣量 I_{cl})である。環境側条件の測定は、グローブ温度計 ($\phi=150\text{mm}$)、携帯型データロガー(エスベック社製 RS-11, RT-11)、熱線風速計(KANOMAX 社製, Model6021)を用いた。測定点は、気温:床上 0.1m, 0.7m, 1.1m, 湿度, 気流速:床上 1.1m, 黒球温度計:床上 0.7m とした。測定間隔は 5 分である。人体側条件のうち、着衣量は調査期間中の日中・夜間・就寝時の着衣を記入させた。代謝量は主観申告回答時に記入させた。代謝量は主観申告の際に 5 段階の作業強度(0.8～2.0met)を記入させることで推定した⁴⁾(表 1)。主観申告は、居住者自身に記入させた。測定したデータをもとに、温熱指標である作用温度、新有効温度、標準新有効温度(以後、OT, ET^* , SET^*)を求めた。

主観申告は、温冷感、熱的許容度、熱的快適感を用いた(表 1)。温冷感申告は、ASHRAE の 7 段階の温冷感尺度の日本語訳を用いた。熱的許容度は、6 段階の両極尺度であり、環境に対する感じ方を尋ねる申告である。熱的快適感は、7 段階の両極尺度を用いた。申告をするにあたり、温冷感、熱的快適感は回答者自身の身体の感じ方を、熱的許容度は室内の熱環境を受け入れられるかを評価するように教示を与えた¹⁰⁾。被験者には事前に、申告時の部屋の熱環境を評価するよう依頼した。主観申告は①午前 8 時から午後 12 時まで 2 時間毎の指定申告、②一日中かつ時間指定なしの自由申告、および③暖房器具や採暖器具の on/off を変更した際の申告とした。また「エアコン使用開始直後」「帰宅直後」「入室直後」「入浴直後」などの状況にあてはまるかを、申告の際に記入させた。エアコンの使用開始による室温の急激な上昇状態や、帰宅直後や入浴後の体温が上昇した状態の申告は、「室滞在者の許容範囲の算出」に適さないと判断して分析から除外した。

生活時間調査¹¹⁾に用いた調査用紙は、横軸に時間軸、縦軸に行方を軸を 10 分単位で記入させた。調査対象となる居住者行動は、生活必需時間「睡眠、食事、身の回りの用事」に加え、暖房器具・採暖器具の使用時間、窓開閉時間である。

表 3 温熱環境の調査結果

項	平均	標準偏差	最小値	最大値
T_a [$^{\circ}\text{C}$]	17.4	3.5	5.9	26.8
RH [%]	51.7	9.7	27.7	82.0
AH [$\text{g}/\text{kg}^{\circ}$]	6.5	1.7	2.7	11.9
T_g [$^{\circ}\text{C}$]	16.5	3.3	6.8	26.7
T_{fl} [$^{\circ}\text{C}$]	14.7	3.1	5.6	22.3
$T_a - T_{fl}$ [$^{\circ}\text{C}$]	3.0	2.2	-3.2	9.5
T_r [$^{\circ}\text{C}$]	16.5	3.3	6.8	26.7
OT [$^{\circ}\text{C}$]	16.9	3.3	6.4	25.2
ET^* [$^{\circ}\text{C}$]	16.9	3.3	6.3	25.1
SET^* [$^{\circ}\text{C}$]	19.3	3.5	7.2	29.5
代謝率 [met]	1.3	0.4	0.8	2.0
着衣量 [clo]	0.79	0.2	0.42	1.11

図 1 温度と相対湿度の累積確率

3. 調査結果

3.1 暖房・採暖行為

全温冷感申告の暖房行為と採暖行為^{注2)}(ホットカーベット、こたつ¹¹⁾¹²⁾、暖房器具の採暖的使用¹³⁾¹⁴⁾^{注3)}、カイロ¹⁵⁾、ひざ掛け)の割合を表 2 に示す。全温冷感申告($N=396$)のうち暖房、採暖行為ともに行っていない申告は全体の 17.9%($N=71$)、暖房行為のうちエアコン使用は 20.2%($N=80$)、石油・ガストーブなどエアコン以外の暖房行為は 44.2%($N=175$)であった。採暖行為のうちホットカーベット使用は 27.3%($N=108$)、暖房器具の採暖的使用は 20.2%($N=80$)、こたつ使用は 3.5%($N=14$)、カイロ使用は 2.3%($N=9$)、ひざ掛け使用は 2.0%($N=8$)であった。また、暖房行為と採暖行為を同時に行っていた申告の比率は全申告の 38.1%($N=151$)であり、暖房行為のみの 33.6%($N=133$)を上回っていた。多くの居住者が暖房のみでは寒さをしのぎ切れず、補助的に採暖行為を行っていたと推測される。

3.2 温熱環境

主観申告回答時の室内の温熱環境の調査結果を表 3 示す。また図 1 に気温と相対湿度の累積確率を示す。気温 T_a (FL1.1m)データの 45%がビル衛生管理法¹⁶⁾の基準(気温 17°C 以上)から、70%が ASHRAE Standard⁴⁾の快適域($20\sim 23.9^{\circ}\text{C}$)¹⁷⁾から外れた低温な環境であった。上下温度差の最大値は 9.5°C であり、ISO7730³⁾の基準(3°C)外であった。相対湿度ではデータの 80%がビル衛生管理法¹⁶⁾の基準(湿度 $40\sim 70\%$)を満たし、また絶対湿度は $2.7\sim 11.9\text{g}/\text{kg}^{\circ}$ の範囲内であったので、ASHRAE が定める基準($12.0\text{g}/\text{kg}^{\circ}$ 以下)⁴⁾を満たした。風速は測定器の制約により全住戸の測定はできなかったが、14 件の測定データの平均値を解析に用いた。測定結果は $0\sim 0.19\text{m}/\text{s}$ の範囲で変動し、平均値は $0.09\text{m}/\text{s}$ であった。放射温度(以迄 T_r)の算出には(1)式¹⁸⁾を用いた。

図2 代謝率および着衣量の分布

表4 各種温熱感覚の申告結果

項	平均	標準偏差	最小値	最大値	N
温冷感	5.2	1.2	1.0	7.0	396
乾湿感	3.8	0.6	2.0	6.0	391
熱的許容度	4.7	0.6	2.0	6.0	390
湿度許容度	4.6	0.6	2.0	6.0	391
熱的快適感	5.2	0.9	2.0	7.0	391

$$Tr = \left[\frac{6.32 \cdot d^{-0.4} \cdot v^{0.5}}{\sigma \epsilon} (Tg - Ta) + Tg^4 \right]^{0.25} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad \cdots (1)$$

Tr は 6.8～26.7℃の範囲で変動し、平均値 16.5℃であった。

測定期間中の各温熱指標を算定した。OT は 6.4～25.2℃の範囲で変動し、平均値 16.9℃であった。ET* は 6.3～25.1℃の範囲で変動し、平均値 16.9℃であった。SET* は 7.2～29.5℃の範囲で変動し、平均値 19.3℃であった。

代謝率の作業強度は ASHRAE Standard⁴⁾から引用しており、「座って作業をしていた」「座ってくつろいでいた」の「座る(seated)」という表現は椅座を示している。日本では椅座、床座の混在した生活が行われており、椅座と床座では代謝率も異なる¹⁹⁾²⁰⁾が、本調査では椅座と床座を便宜的に同じ代謝率として推定した。申告された代謝率の分布を図2に示す。代謝率は平均 1.3met であった。これは室内の軽い作業に相当する作業強度である。着衣量の推定は、日本人の着衣生活実態を反映していると考えられる花田ら^{21)・23)}の方法を用いた。着衣量の分布を図2に示す。着衣量は 0.42～1.11(平均 0.79)clo であった。代表的な着衣例は、トレーナー、長袖シャツ、ジーンズ、下着といった組み合わせであった。

3.3 温熱感覚

温熱感覚の申告結果を表4に、分布を図3に示す。温冷感は平均値 5.2 であり、「どちらでもない(4)」～「暖かい(6)」に申告が分布している。熱的許容度は平均値 4.7 であり、「やや許容できる(4)」～「許容できる(5)」に申告の多くが分布していた。乾湿感は平均値 3.8 であり、「やや乾燥している(3)」～「どちらでもない(4)」に申告が分布している。湿度の許容度は平均値 4.6 であり、「やや許容できる(4)」～「許容できる(5)」に申告の大部分が分布していた。熱的快適感は平均値 5.2 であり、「やや快適(5)」～「快適(6)」に申告の大部分が分布していた。

図3 各種温熱感覚の申告分布

図4 温冷感と SET*の関係

4. 考察

4.1 温冷感と SET*の関係

温冷感との SET*との関係を図4に示す。SET*は 7.2～29.5℃の範囲で変動し、平均値は 19.3℃である。温冷感の申告総数は N=396、「やや暖かい(5)」が N=88(22.2%)、「暖かい(6)」が N=214(54.0%) となり、冬期の調査にも関わらず「暑い」側の申告が多くみられる。「やや暖かい(5)」、「暖かい(6)」と申告されたときの温度範囲も広い。また、「どちらでもない(4)」と申告されたときの温度範囲は 12.7～25.6℃(0.4～1.1clo) となり、ASHRAE が示している冬期の快適域 (20～23.9℃(SET*))¹⁷⁾から低い側にかなり広い。井関ら²⁴⁾は温冷感申告に 9 段階の申告法を用いて分析を行い、休息時の温冷感申告では「暖かい(3)」の申告が多くみられ、「どちらともいえない(5)」と申告された温度も 12～20℃(Tg) と範囲がかなり広いことを報告している。本調査の結果も同様の傾向がみられた。

4.2 中立温度

中立温度とは、温冷感尺度の「どちらでもない(4)」に相当する温度である。中立温度は目的変数に温冷感尺度を用い、説明変数を ET*として、重み付け線形回帰分析により求めた。

説明変数として過去の研究に用いられてきたものには、PMV、OT、ET*、SET*、Ta、Tg、To(外気温)の7種類がある。今回調査した住宅は ASHRAE Standard の快適域よりもかなり低温であり、ビル管理法の温度基準も 45%が満たさない低温環境であった。極端な暑熱・寒冷環境への PMV の適用は不適切とされる²⁵⁾ため、本調査では PMV を用いないこととした。また、図5に Ta を説明変数とした Tg、Tr、OT の単回帰分析の結果を示す。3つの回帰式

図5 TaとTg, Tr, OTとの関係

表5 各種温度と温冷感との相関(採暖の有無による分類)

	採暖あり	採暖なし
Ta	0.673**	0.743**
Tg	0.424*	0.571**
OT	0.548**	0.757**
ET*	0.556**	0.792**
SET*	0.339+	0.412*

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$, + : $p < 0.1$

は近似しており、Tgのみで十分な可能性もある。しかし、冬期の冷放射によりTgが気温よりも低い場合、Tgと人間の体感との対応には注意する必要がある²⁶⁾、本調査の結果だけではTgのみで十分であるとは断言できない。

目的変数となる温冷感は体感温度に関係する。体感温度は採暖の有無によって異なるため、本研究では主観申告回答時に採暖行為を行っているかどうかを調査し、申告を①採暖行為時主観申告、(以降、採暖あり)、②非採暖行為時主観申告(以降、採暖なし)に分類して考察を行った。「採暖あり」時の申告は表2の「暖房+採暖行為」「採暖行為のみ」の申告であり、「採暖なし」時の申告は表2の「暖房行為のみ」「行為無」の申告である。

また、居住者の環境調節行動の1つとして、着衣量の調節がある。着衣量の大小によっても体感温度は異なるため、着衣量の四分位点で居住者を①着衣量の多い(0.81~1.11clo)居住者 25%(以降、厚着の居住者)、②中程度の着衣量(0.63~0.81clo)の居住者 50%(以降、中程度の居住者)、③着衣量の少ない(0.42~0.63clo)居住者 25%(以降、薄着の居住者)に分類して考察を行った。

4.2.1 中立温度(採暖の有無で申告を分類した場合)

温度(Ta, Tg, OT, ET*, SET*)と温冷感の相関を調べた結果(表5)、それぞれ正の相関(ピアソンの相関係数 $r = 0.339 \sim 0.792$)が観察された。しかし、SET*と温冷感の相関係数は他の値に比べて小さいので($r = 0.339, 0.412$)、説明変数として用いるのは不適当と判断した。SET*は湿度、風速、代謝率、着衣量を統制した標準環境における値を示す温度指標であるため、各居住者の体感温度を同一条件下で比較できる。ゆえに、温熱感覚に全く個人差がなければ、各居住者は同じ体感温度(SET*)で同じ温冷感を申告し、今回用いた温度の中ではSET*がもっとも温冷感との相関が高くなるはずである。しかし、そうならなかった理由について、一つの推論を試みる。

各居住者の温熱感覚の個人差が大きく、好みの体感温度が異なる

図6 平均温冷感申告値とET*の関係(採暖なし時)

表6 各種温度と温冷感との相関(着衣量による分類)

	薄着	中程度	厚着
Ta	0.167	0.552**	0.752**
Tg	-0.139	0.502**	0.736**
OT	-0.017	0.508**	0.720**
ET*	0.155	0.462*	0.660**
SET*	0.087	0.380*	0.524**

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$, + : $p < 0.1$

場合、居住者は着衣や代謝を調節することで好みの体感温度を得ていると考えられる。従って、環境条件を統制するために着衣や代謝を体感温度に換算するSET*は、むしろET*やOTよりも温冷感との相関が低くなることもあり得ると推測される。以上より、本研究でSET*と温冷感の相関が低かった原因は、居住者の温熱感覚の個人差が大きかったためであると考察できるのではないだろうか。

今回の調査ではSET*と温冷感との相関は低かったが、一般的にはより多くの温熱要素を取り入れるほど温熱指標の評価精度が高くなることが期待される²⁷⁾。そこで本研究では回帰分析の説明変数に、OT, ET*を用いた。そして説明変数ごとに重み付け線形回帰分析を用いて回帰式を算出し、中立温度を検討する。

回帰分析には0.5°C単位で切り上げたOT, ET*に対応する温冷感申告値の平均値を目的変数として用い、プロットした平均温冷感のサンプル数に応じた重み付け線形回帰分析を行った。

採暖なし時の温冷感を目的変数、説明変数をOT, ET*として分析を行った結果、ET*を説明変数とした場合にのみ、温冷感申告=4となる温度はかろうじて内挿となり、以下の回帰式から中立温度を求めることができた。

$$TSV = 0.12 ET^* + 2.81 \quad [TSV: \text{温冷感申告値}] \quad \dots (2)$$

回帰式は統計的に有意であり($p < 0.0001, R^2 = 0.489$)、中立温度は9.9°C(ET*)となった(図6)。OTでは温冷感申告=4となる温度は外挿となり信頼性が低いため、有効な中立温度は求めることはできなかった。

採暖あり時においても同様の方法で中立温度を予測しようとしたが、温冷感申告=4となる温度は外挿となったので、有効な中立温度は求めることはできなかったといえる。

4.2.2 中立温度(着衣量で居住者を分類した場合)

図7 平均温冷感申告値とOTの関係(厚着居住者)

表7 間接的許容と熱的快適感の関係

		熱の快適感		
		快適側	不快側	合計
温冷感	1 非許容	5(83.3%)	1(16.7%)	6
	2	4(80%)	1(20%)	5
	3	24(80%)	6(20%)	30
	4 許容	49(98%)	1(2%)	50
	5	84(95.5%)	4(4.5%)	88
	6	210(98.1%)	4(1.9%)	214
	7 非許容	3(100%)	0(0%)	3
合計		379	17	396

温度(T_a , T_g , OT , ET^* , SET^*)と温冷感の相関を調べた結果(表6), 薄着の居住者の申告と温度との相関はほとんどなかった。薄着の居住者には低温でも温冷感を「どちらでもない」などと申告する傾向があったため, 相関が低くなっている。この原因としては「薄着の居住者は寒さに強い」, あるいは「温冷感が適切に申告されていない」などが考えられるが, 本調査の結果のみでは明言できない。

厚着および中程度の居住者では, 正の相関 ($r=0.380\sim0.752$)が観察された。そこで, 相関係数が大きく, 複数の温熱要素を加味している T_g , OT , ET^* を用いた。そして先の方法と同様に重み付け線形回帰分析により, 厚着および中程度の居住者の中立温度を求めた。

厚着の居住者について分析を行った結果, 温冷感申告=4となる温度はかろうじて内挿となり, 以下の回帰式から中立温度を求めることができた。

$$TSV = 0.13T_g + 2.70 \quad (p < 0.001, R^2 = 0.338) \quad \dots (3)$$

$$TSV = 0.14OT + 2.47 \quad (p < 0.001, R^2 = 0.391) \quad \dots (4)$$

$$TSV = 0.14ET^* + 2.45 \quad (p < 0.001, R^2 = 0.403) \quad \dots (5)$$

回帰式は統計的に有意であり, 中立温度は 9.9°C (T_g), 10.9°C (OT), 10.9°C (ET^*)となった(図7)。 SET^* では温冷感申告=4となる温度は外挿となり, 有効な中立温度を求めることはできなかった。

中程度の居住者においても同様の方法で中立温度を予測しようとしたが, 温冷感申告=4となる温度は外挿となり, 有効な中立温度は求めることはできなかった。

以下で各国の既往研究と比較する。Fato, et al.²⁸⁾は南イタリアにある大学を対象として調査を行い, 冬期の中立温度が 20.7°C (OT)と報告している。Oseland²⁹⁾が英国の住宅で行った調査では, 冬期の中立温度は 17.0°C (OT)であった。リジャルら³⁰⁾のネパールの住宅を対象とした調査では, 冬期の中立温度は冷帯で 13.4°C (T_g)であった。居住者の温熱感覚に関する研究では, 室温に対する期待感や環

図8 温冷感と熱的快適感の関係

表8 直接的許容と熱的快適感の関係

	熱的快適感		合計
	快適側	不快側	
許容側	363(96.3%)	14(3.7%)	377
	4(33.3%)	8(66.7%)	12
合計	367(94.3%)	22(5.7%)	389

境調節行動の影響も指摘されており³¹⁾, 本研究では採暖の有無と着衣量の観点から考察を行った。しかし本調査の中立温度は既往研究よりもかなり低温の値であり, 採暖や着衣量などの環境調節行動の影響だけでは説明できない程低温の値であったと言える。しかし, 今回求められた値は回帰線の端部に近いため誤差も大きく, 信頼性が低いと思われる, 今後も検討が必要である。

4.3 許容範囲

ASHRAE Standard⁴⁾では, 熱的許容範囲を「不満足率が20%以下となるような空間を実現する温度範囲を定めたもの」と定義している。本研究では, この定義を用いて熱的許容範囲を算出する。

熱的許容範囲の算出方法には, 間接的許容(Indirect Acceptable)と直接的許容(Direct Acceptable)の2種類の方法がある。間接的許容は7段階の温冷感尺度の中央3段階(やや涼しい～やや暖かい)を, 一方, 直接的許容は6段階の熱的許容尺度の許容側(やや～非常に許容できる)を許容申告とする方法である。

表7に間接的許容と熱的快適感のクロス集計を示す。熱的快適感には「とても不快(1)」～「やや不快(3)」を不快側, 「どちらでもない(4)」～「とても快適(6)」を快適側とした。間接的許容の定義では暑い側の不快領域である「暑い」「暖かい」の申告時にも, ほぼ全申告が熱的に「快適」と回答している。すなわち間接的許容の定義を満たさないため, 本研究の分析には不適当である。

本調査では温冷感申告としてASHRAEの7段階尺度の日本語訳を用いた。しかし, 英米語と日本語における意味の不一致等を理由に, 「涼しい」－「寒い」と「暖かい」－「暑い」との一次的配置については疑問視されている³²⁾³³⁾。また, 「暖かい」は比較的中庸な温度感覚とともに「快適さ」や「安らぎ」の感情をも含む³⁴⁾ことが示されており, 本研究でも「暖かい」で熱的快適感がもっとも快適な側にあった。温冷感と熱的快適感の関係を図8に示す。横軸は温冷感尺度, 縦軸は熱的快適感尺度, 円の半径は申告数を表している。全体的に右上がりの分布であり, 温冷感が「暖かい」のときに快適感の平均値が最も高かった。この尺度には前述のような問題点もあるが, 既往研究と比較することを重視してASHRAEの7段階

尺度の日本語訳を用いた。

次に表 8 に、直接的許容と熱的快適感のクロス集計を示す。熱的許容度で非許容側の場合、66%以上が熱的快適感では不快側の申告となっており、間接的許容よりも妥当な結果であるが、それでも全申告に対して非許容側 3% (N=12)、不快側 5.7%(N=22)と申告数とともに少ないため、許容範囲は算出できなかった。以下に算出手順を示す。

許容範囲を算出するため、ET*, OT を 0.5℃単位で切り上げ、その温度ごとに熱的許容度申告を非許容側(1~3)と許容側(4~6)の 2 種類にまとめた。熱的許容範囲の算出には許容度の不快側を分析に用い、温度ごとの全申告に対する非許容申告の割合である非許容率を目的変数とした。説明変数を ET*, OT として、プロットした非許容率のサンプル数に応じた 2 次の重み付け重回帰分析を行った。そして非許容率が 20%以下となる温度範囲を許容範囲として求めようと試みたが、採暖あり時、採暖なし時ともに許容側の申告が多く、非許容率が常に 20%未満であったために許容範囲を求めることができなかった。

4.4 許容率と居住者の価値観

許容率の算出は、熱的許容度の許容側申告が全申告に占める割合を求める。熱環境を許容側に申告した割合は、全申告で 92.9%、採暖あり時の申告では 95.8%、採暖なし時の申告では 90.2%であり、ほとんどの居住者が今回調査した熱環境を「許容できる」と申告していた。今回調査した住宅の熱環境は、ASHRAE Standard⁴⁾に示された快適域からはかなり逸脱していたにも関わらず、許容率が 90%を超えていたことは注目に値する。

我が国で居住者が低温の環境を許容していることについては、いくつか報告がある。長谷川ら³⁵⁾は東北地方の住宅の実態調査から、『廊下が寒いのは当然である』という意識を居住者は持っているとして述べている。佐藤豊ら³⁶⁾は栃木県の戸建住宅の実態調査から、低温の室内環境にありながらも居住者の不満や改善意欲はそれほど強くないことを明らかにした。佐藤勝泰ら³⁷⁾は徳島県・兵庫県では夏の冷房対応が重要視され、暖房に対する費用は特別なものとして認識されていること、まず衣類の調整によって寒さに対応していることを示した。

また、松原ら³⁸⁾³⁹⁾は京都市内の居住者の対応・適応行動に関する階層構造のモデル化を行い、たとえ「不快な」環境であっても居住者の価値観・好みによっては「満足」が得られるとしている。今回調査を行った関西地域の居住者は低温な熱環境でも許容できると申告していたが、これは節約意識や長年の経験から構成される寒さへのイメージなど、寒さを許容するなんらかの意識・価値観を持っていたためではないだろうか。今後、居住者の意識・価値観と温熱感覚を関連付けた研究を行う必要があると思われる。

5. まとめ

関西地域の住宅を対象として、室内の熱環境に関する冬期の実態調査を行った。温熱環境と温熱感覚の調査結果を、生活時間調査に基づいて整理・分析した結果を以下にまとめる。

- 1) 暖房・採暖行為を同時に行っていた比率は全申告の 38.1%であり、暖房行為のみの 33.6%を上回っていた。暖房のみでは寒さをしの

ぎ切れず、多くの居住者が補助的に採暖行為を行っていたと推測される。

- 2) 中立温度は採暖なし時で 9.9℃(ET*), また、厚着(0.81~1.11clo)をしている居住者で 9.9℃(Tg), 10.9℃(OT), 10.9℃(ET*)と、海外の報告よりもかなり低温の値が求められた。しかし、この値は回帰線の端部近くで求められた値であるため、誤差の影響が否めない。また、薄着、中間の居住者および採暖あり時の中立温度を求めることはできなかった。
- 3) 熱的許容範囲の算出において、温冷感から求める間接的許容は定義が満たされなかったので用いなかった。一方、熱的許容度から求める直接的許容では非許容側の申告数が全申告に対して 3%と著しく少なかったため、熱的許容範囲は求められなかった。
- 4) 測定期間中の室温は 45%がビル衛生管理法¹⁶⁾の基準(気温 17℃以上)を下回る低温な環境であったが、許容率は 90%を超えており、居住者の多くが低温の温熱環境を容認していた。

今回の調査では低温の室内環境を多くの居住者が許容していたが、健康面から見れば過度な寒さは好ましくない。また、居住者が寒さを許容し、「暖かい」と申告したのは採暖行為や着衣量の調節などの環境調節行為による影響だけでなく、居住者が寒さを許容するなんらかの意識・価値観を持っていることが影響した可能性がある。ゆえに温熱感覚の測定法を検討して調査を行うとともに、環境調節行為だけでなく居住者の意識・価値観と温熱感覚を関連付けた研究する必要がある。

謝辞

調査にご協力いただいた居住者の皆様に感謝いたします。なお、本研究の一部に平成 18 年度文部科学省科学研究費補助金基盤研究 B(代表：松原斎樹 課題番号 18300242)の助成を受けた。

注

注 1) 生活時間調査は日記法を中心に行い、面接法で補足をした⁴⁰⁾。日記法とは、被験者に 1 日の行動を所定の用紙に記入させる方式である。この方式の欠点は、誤りが生じやすいことや、記入の細かさや丁寧さに個人差が生じることである。そこで事前に入念な説明をした上で記入例を添付した。また用紙回収の際には、記入用紙をもとに面接を行った。特に朝・夕食前後は複数の生活行動が生じ、終了する為、注意深く確認した。

注 2) 本研究ではこたつ¹¹⁾¹²⁾やホットカーペットなどの採暖器具だけでなく、ひざかけによる一時的な着衣量の増加とカイロ¹⁵⁾、暖房器具の採暖的使用¹³⁾¹⁴⁾が居住者の温熱感覚に及ぼす影響も無視できないと考えた。そのため、カイロやひざ掛けの使用、暖房器具の採暖的使用も採暖行為として扱うこととし、主観申告時に採暖行為を行っているか否かを記入してもらうことで採暖行為の有無を調査した。

注 3) 筆者らは文献 14)で、居住者が、本来ならば部屋全体の空気を暖め、寒さそのものを取り除くために用いる暖房機器を、温風や放射が直達する向きに調節して採暖を行っていることに注目した。本報でも暖房器具の放射や温風を期待した使用法に注目し、「暖房器具の採暖的使用」とした。

参考文献

- 1) 省エネルギー・省資源対策推進会議省庁連絡会議：夏季の省エネルギーについて、2002
- 2) 省エネルギー・省資源対策推進会議省庁連絡会議：冬季の省エネルギーについて、2002
- 3) ISO：ISO international standard7730, 1994
- 4) ASHRAE：ASHRAE Standard55-2004, 2004

- 5) Busch, J. F. : Thermal Responses to the Thai Office Environment, ASHRAE Transactions, 96(1), 859-872, 1990
- 6) Humphreys, M. A., and Nicol, J. F. : Understanding the Adaptive Approach to Thermal Comfort, ASHRAE Transaction, 104, 991-1004, 1998
- 7) 中村泰人：オフィスと住宅の至適温度の差異に関する考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，903-904，1995
- 8) 澤島智明他：住宅の断熱性能による冬期居間の温熱環境と暖房の仕方の差異一関西地域における住宅の温熱環境と居住者の住まい方に関する事例研究 その1一，日本建築学会計画系論文集，No. 565, 75-81, 2003, 3
- 9) 中谷岳史他：関西地域の住宅における熱的快適性に関する実態調査一夏期中立温度と許容範囲一，No. 597, 日本建築学会環境系論文集，2005, 11
- 10) 梅宮典子・中村泰人：温熱環境評価研究における温感申告調査法の変遷 海外の研究における Thermal Comfort の申告調査法，日本建築学会計画系論文集，No. 518, 13-20, 1999, 4
- 11) 渡邊慎一他：炬燵使用時における人体の熱的快適性の検討とその温熱効果の定量化，日本建築学会計画系論文集，No. 497, 47-52, 1997, 7
- 12) 渡邊慎一他：炬燵と電気カーベットの併用が人体に及ぼす影響と温熱効果，日本建築学会計画系論文集，No. 515, 63-68, 1999, 1
- 13) 絵内正道，荒谷登：居住室の温熱環境の実態一その2 寒さに応じた住い方と設定室温について一，日本建築学会論文報告集，No. 265, 105-113, 1978, 3
- 14) 松原斎樹，澤島智明：京都市近辺地域における冬期住宅居間の熱環境と居住者の住まい方に関する事例研究一暖房機器使用の特徴と団らん時の起居様式一，日本建築学会計画系論文集，No. 488, 75-84, 1996, 10
- 15) 大道等：携帯用カイロの温熱効果一保温防寒具の運動科学一，体育の科学，46(1), 44-52, 1996
- 16) 建築物における衛生的環境の確保に関する法律，昭和45年法律第20号
- 17) 西安信：温熱環境の評価 空気調和・衛生工学会「快適な温熱環境のメカニズム」，55-59, 1997
- 18) Benton, C. C. et al : A field measurement system for the study of thermal comfort, ASHRAE Transaction, 96, 623-633, 1990
- 19) 蔵澄美仁他：姿勢の違いと日本人青年女性の安静時代謝量，日本生気象学会雑誌，36(1), 21-29, 1999
- 20) 蔵澄美仁他：作用温度 28℃における日本人青年の安静時代謝量に及ぼす姿勢の影響，日本生気象学会雑誌，37(1), 27-37, 2000
- 21) 花田嘉代子他：男子用下着類の熱抵抗の計測に関する研究，繊維製品消費科学会誌，24, 363-369, 1983
- 22) 花田嘉代子他：婦人用下着類の熱抵抗の計測に関する研究，繊維製品消費科学会誌，22, 430-437, 1981
- 23) 花田嘉代子他：男女洋服の熱抵抗の測定，大阪市立大学生生活科学部紀要，35, 111-121, 1987
- 24) 井関恵子他：住宅熱環境の実態調査（第2報）一住宅温熱環境の居住者への影響について，日本家政学会誌，39(8), 879-884, 1988
- 25) 堀越哲美：PMVと快適方程式の検討，空気調和衛生工学，60(10), 963-969, 1986
- 26) 半澤久：放射とその計測法 空気調和・衛生工学会「快適な温熱環境のメカニズム」，98-105, 1997
- 27) 石井昭夫：温熱指標 空気調和・衛生工学会「快適な温熱環境のメカニズム」，67-71, 1997
- 28) Fato, I. et al : Thermal Comfort in the Climatic Conditions of Southern Italy, ASHRAE Transaction, 110(2), 578-593, 2004
- 29) Oseland, N. A. : A comparison of the predicted and reported thermal sensation vote in homes during winter and summer, Energy and Buildings, 21, 45-54, 1994
- 30) リジャール・ホーム・バハドゥル他：住宅におけるネパール人の夏と冬の温熱感覚，日本建築学会計画系論文報告集，No. 565, 17-24, 2003, 3
- 31) Brager, G. and de Dear, R. : Thermal adaptation in the build environment : a literature review, Energy and Buildings, 27, 53-96, 1998
- 32) 堀越哲美：熱環境の快適性・温冷感に関する一考察，日本建築学会大会学術講演梗概集 D, 707-708, 1991
- 33) 大野秀夫，久野覚：温熱環境評価用語の日本語と英語の対応について，日本建築学会大会学術講演梗概集 D, 451-452, 1992
- 34) 室恵子他：言語イメージの構造化に関する研究(3)，日本建築学会大会学術講演梗概集 D, 477-478, 1992
- 35) 長谷川房雄他：東北地方都市部の木造独立住宅における冬期の温熱環境に関する調査研究，日本建築学会論文報告集，No. 326, 91-101, 1983, 4
- 36) 佐藤豊，郡公子：栃木県における住宅の熱環境と住まい方に関する研究一冬期の暖房室・非暖房室の熱環境と意識・住まい方一，日本建築学会計画系論文集，No. 522, 7-14, 1999, 8
- 37) 佐藤勝泰他：戸建住宅における冬期の住戸内外の温度環境と居住者意識・生活行動一徳島県兵庫県，北海道，カナダにおける生活実態調査の比較検討一，日本建築学会計画系論文集，No. 546, 45-52, 2001, 8
- 38) 松原斎樹，澤島智明：冬期の住宅居間の熱環境と居住者の意識・住まい方一その3居住者による環境形成と評価のモデル化一，日本建築学会大会学術講演梗概集 D, 449-450, 1992
- 39) Matsubara, N. et al. : Consciousness and behavior of the people and the indoor climate of houses in Japan, Proc. 1998 International Symposium of Human Biometeorology, 29-34, 1999
- 40) 矢野眞和：生活時間の社会学 社会の時間・個人の時間，東京大学出版会，1995

(2006年4月10日原稿受理，2006年12月18日採用決定)