

## 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査

## その3 快適温度の検討

4.環境工学—10.温熱感

準会員 ○ 本庄 美穂<sup>\*1</sup>正会員 H.B.リジャル<sup>\*2</sup>正会員 中谷 岳史<sup>\*3</sup>

住宅	リビング	気温
季節	温冷感	快適性

## 1. はじめに

日本は高温多湿という気候のうえ近年の様々な異常気象の影響もあり、冷暖房などの機械に頼る状況が増えている。しかしながら、東日本大震災に伴って電力の節約がよびかけられ、以前に比べてエネルギーに頼ることが出来ない状況である。

快適温度は住宅の快適性を高めるために必要度が高いと考えられているため、住宅における快適温度を明らかにし、その温度に近づけるような様々な工夫を行えば冷暖房等のエネルギーの無駄遣いに役立つと考えられる。

現在までに快適温度に関するような研究<sup>1)~3)</sup> 国外の研究<sup>4)~7)</sup>等が行われている。しかし、1年間のデータをもとにした研究は少なく、季節差について明らかでない。実際、私たち日本人は一年間の四季における様々な気候の中で暮らしているため、住宅の快適性を向上させるためには、一年間のデータで快適温度の検討を行い、気候の変化による快適温度の変動を明らかにする必要がある。

本研究では、岐阜県の住宅における温熱環境の実測と、居住者の熱的主観申告調査を行い、1年間のリビングにおける快適温度の季節差について明らかにする。

## 2. 調査方法

調査対象住宅は岐阜県岐阜市近郊にある住居 30 軒で、住戸種類は戸建住宅であり、平屋もしくは二階建てである。調査期間は2010年5月13日に開始し1年間行った。外気温のデータは全て気象庁のデータを用いた。住宅の室温、相対湿度はリビングで小型測定機器を用いて、10分間隔で測定した。

申告対象者は、男性 40 名(平均年齢 40.5 歳)、女性 38 名(平均年齢 41.3 歳)の計 78 名である。温冷感の申告は 9 段階尺度で行った(図 1)。

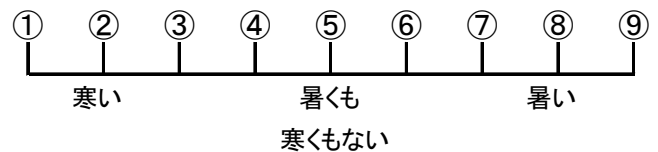


図 1 温冷感の尺度

## 3. 快適温度の算出法

快適温度は回帰方法と Griffiths 法を用いて計算する。回帰法では室温と温冷感申告の一次回帰から、「5. 暑くも寒くもない」に相当する温度を求めて快適温度とする方法である。フィールド調査では回帰法による快適温度の算出がうまくいかない場合もあるため、下記の式を用いて Griffiths 法<sup>8)</sup>でも快適温度を検証する。

$$T_c = T_i + (5 - C) / a \quad (1)$$

$T_c$ : Griffiths 法による快適温度(°C)、 $T_i$ : 室温(°C)、 $C$ : 温冷感申告、 $a$ : 回帰係数である。

Nicol らは Griffiths 法を適用するにあたって、7 段階尺度で 1)0.25、2)0.33、3)0.50 の 3 通りの回帰係数を用いている<sup>8)</sup>。1)0.25 はフィールド調査の既往研究から得られた係数値である。2)0.33 は Fanger の実験室実験から Probit 法によって得られた係数値である。3)0.50 は Humphreys らがよく用いる値である<sup>9)</sup>。本研究でもこれらの値を用いて、快適温度を検証する。3つの回帰係数を 9 段階温冷感尺度に換算すると 1) 0.33 (=0.25×8/6)、2) 0.44 (=0.33×8/6)、3) 0.67 (=0.50×8/6)となる。

## 4. 結果と考察

## 4.1 室温の分布

申告中の室温を明らかにするため図 1 に室温の分布を示す。また、各住宅の平均値を表 1 に示す。自然換気をしている時は NV モード、エアコンをつけている時は AC モード、暖房をつけている時は HT モードである。申告中の平均室温は NV モードで 22.7°C、AC モードで 28.0°C、HT モードで 17.6°C である。

平均外気温は NV モードで 18.8°C、AC モードで 28.9°C、

HTモードで6.7℃である。標準偏差はNVモードで7.6℃、ACモードで2.9℃、HTモードで5.1℃である。

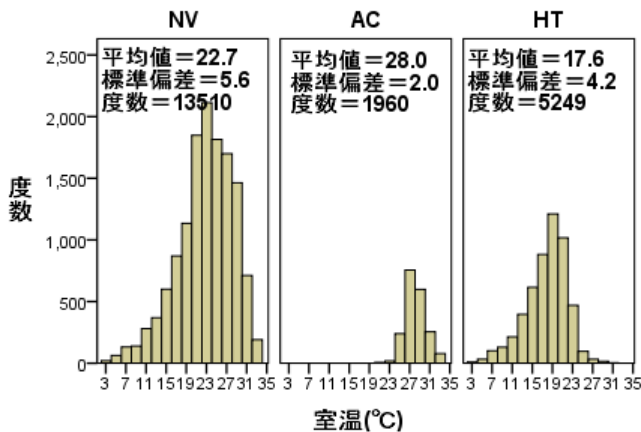


図2 申告中の室温の分布

表1 各住宅の平均室温

グループ	器具番号	度数	平均値(℃)	標準偏差(℃)
A	1	1367	23.8	4.7
	2	738	22.6	4.4
	3	688	21.1	5.8
	4	821	21.7	4.8
	5	202	25.1	3.1
	6	803	20.4	6.1
	7	799	22.1	6.4
	8	583	23.9	4.4
	9	340	24.2	4.9
	10	600	22.4	4.5
B	1	725	21.7	5.7
	2	718	20.7	6.9
	3	735	17.5	8.3
	4	540	22.9	5.2
	5	455	21.6	5.9
	6	1533	20.7	5.6
	7	331	20.6	6.6
	8	758	23.1	4.4
	9	225	22.8	4.8
	10	192	25.4	3.9
C	1	767	20.4	6.3
	2	346	20.1	7.7
	3	807	22.6	4.8
	4	727	22.9	5.3
	5	134	25.7	4.6
	6	1320	21.4	5.8
	7	844	20.7	7.9
	8	641	24.6	5.3
	9	1129	22.5	4.7
	10	851	21.6	3.7

## 4.2 温冷感の分布

居住者の温熱感覚を明らかにするため、図2にNV、ACとHTモードの温冷感の分布を示す。温冷感申告の平均値はNVモードで5.0、ACモードで5.6、HTモードで4.2である。ACモードでは5以上の「暑い」と感じている居住者がやや多く、HTモードでは5以下の「寒い」と申告している居住者がやや多い。居住者が冷暖房を利用して「暑い」または「寒い」と感じている場合がある。NVモードは「5. 暑くも寒くもない」の申告が多いので、NVモードで多くの居住者が温熱環境を最も快適と感じ、満足しているといえる。これは居住者が日本の気候風土に適温しながら暮らしているためと思われる。

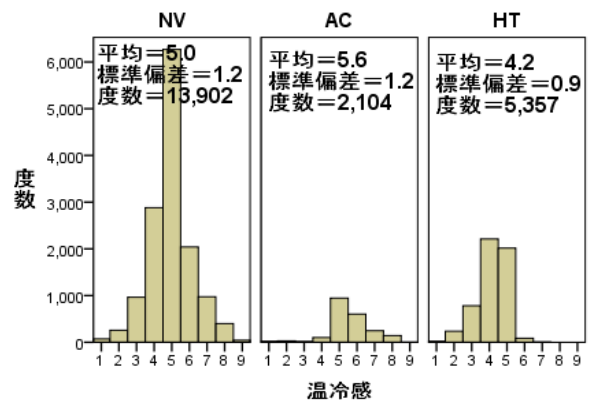


図3 各モードの温冷感の分布

## 4.3 回帰法による快適温度の検討

まず温冷感と室温の回帰分析を行い、快適温度の予測を行う。図4にNV・AC・HTモードの温冷感と室温の散布図を示す。回帰分析から温冷感申告(C)と室温( $T_i$ 、℃)の間に下記の式が得られた。

$$NV\ C=0.149T_i-1.588\ (n=13,471, R^2=0.48, p<0.001) \quad (2)$$

$$AC\ C=0.130T_i-1.946\ (n=1,955, R^2=0.05, p<0.001) \quad (3)$$

$$HT\ C=0.064T_i-3.043\ (n=5,240, R^2=0.10, p<0.001) \quad (4)$$

NVモードの回帰係数や相関係数はACモードより高い。これらの式を用いて、温冷感「5. 暑くも寒くもない」を代入して快適温度を予測すると、NVモードで22.8℃、ACモードで23.5℃、HTモードで30.6℃となる。HTモードの快適温度は高い結果になっているが、既往研究で言われているように、回帰法に問題があると思われるため、次節ではGriffiths法を用いて快適温度を検証する。また、NVモードの快適温度はACモードより0.7℃低い。この差は、NVモードでは風などによって涼しく感じたためと思われる。

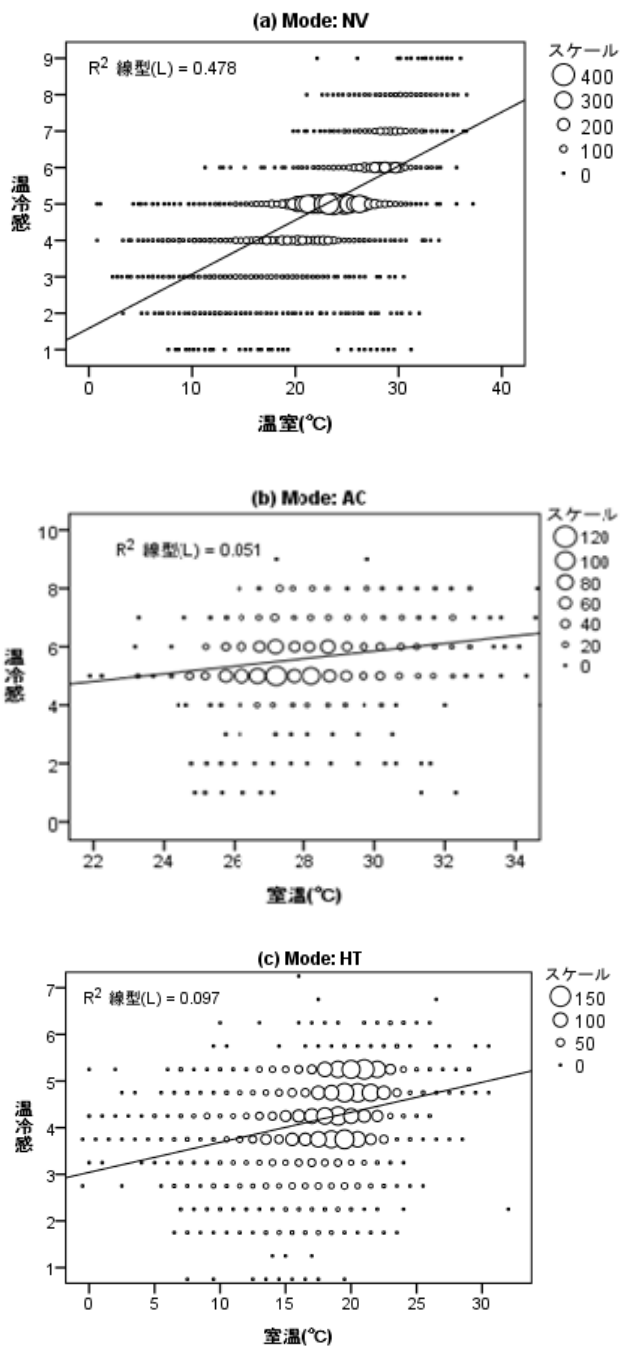


図4 各モードの温冷感と室温の関係

#### 4.4 Griffiths法による快適温度の予測

Griffiths法でも各モードの快適温度を検証する。表1と図5に各申告と室温から計算したGriffiths法による温度の分布を示す。まず、0.33、0.44、0.67の3通りの回帰係数で快適温度にどの程度の差が現れるかを検討する(表1)。各回帰係数の平均快適温度の差が小さいため、以後はHumphreysらがよく用いる値である0.67を用いて快適温度を分析する。

Griffiths法による平均快適温度は、NVモードで22.8℃、ACモードで27.1℃、HTモードで18.9℃である。回帰法とGriffiths法による快適温度を比較すると、NVモードは差が

ないが、ACモードでは、Griffiths法の方が3.6℃低く、HTモードで11.7℃低い。Griffiths法の方が平均快適温度は平均室温と近いことから回帰法よりGriffiths法の方が妥当な数値だといえる。

表2 各回帰係数における快適温度

Mode	回帰係数	度数	快適温度(℃)	
			平均	標準偏差
NV	0.33	13,472	22.8	4.0
	0.44	13,472	22.8	4.2
	0.67	13,472	22.7	4.5
AC	0.33	1,956	26.2	3.7
	0.44	1,956	26.7	3.0
	0.67	1,956	27.1	2.4
HT	0.33	5,241	20.1	4.2
	0.44	5,241	19.5	4.1
	0.67	5,241	18.9	4.0

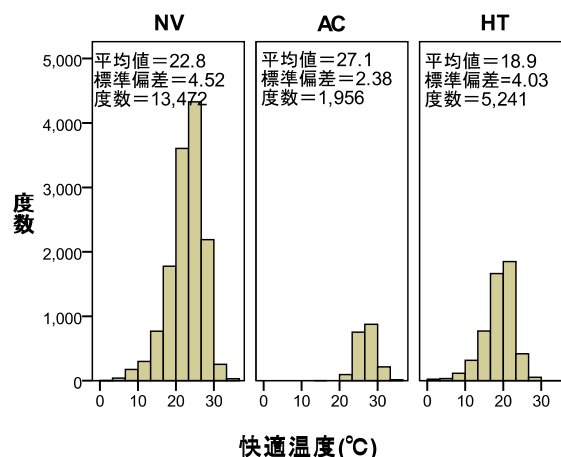


図5 各モードにおけるGriffiths法の快適温度の分布(回帰係数0.67)

#### 4.5 各季節の快適温度

この節では、季節ごとの快適温度を検討し、季節差を明らかにする。まず、快適温度を比較するためGriffiths法を用いて図6に各月の快適温度を示す。各季節の快適温度を図7に示す。冬や夏の月の快適温度に差が小さく、春や秋の月に差が大きい。このことから、快適温度には気候の変動に伴い変動し、春や秋は室温と共に快適温度の変動が大きいと思われる。各季節におけるGriffiths法での快適温度は、NVモードでは春が20.7℃、夏が26.1℃、秋が23.6℃、冬が15.6℃であった。また、快適温度に最大10.5℃の季節差があり、既往研究と同様な結果が得られた。

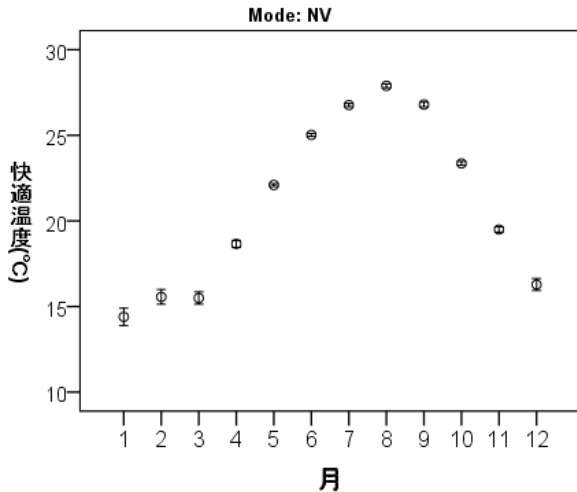


図6 各月の快適温度(回帰係数0.67)

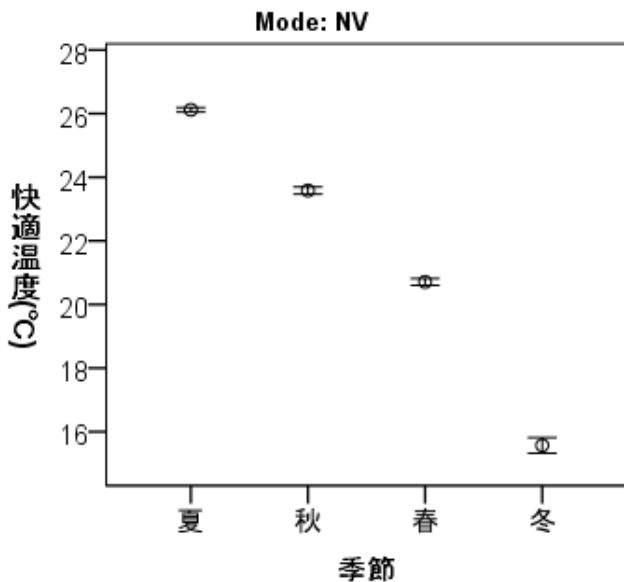


図7 各季節における快適温度(回帰係数0.67)

## 5. まとめ

本研究では、岐阜県の住宅を対象に1年間のリビングにおける温熱環境と居住者の熱的主観の申告調査を行い、下記の結果が得られた。

1. NV モードで最も多く申告されたのは「5.暑くも寒くもない」である。NV モードにおける温熱環境に居住者は満足しているといえる。
2. Griffiths 法での快適温度は NV モードでは 22.8°Cで、AC モードでは 27.1°C、HT モードでは 18.9°Cであった。
3. 春と秋ではほとんど差がみられなかったが、冬と夏の快適温度を比較すると、10.5°Cの季節差がある。

## 謝辞

実測調査には丸平建設株式会社の林重元氏に多大なご

協力を頂いた。記して謝意を表す。

## 参考文献

1. 中谷岳史、松原斎樹、藏澄美仁：関西地域の住宅における熱的快適性に関する実態調査-夏季の中立温度と許容範囲-：日本建築学会環境系論文集 第 597 号、pp.51-56、2005.11
2. 吉村咲希、リジャル H.B.：夏と秋における住宅の快適温度に関する研究、日本建築学会関東支部研究発表会、pp. 113-116、2011.3.
3. 西村美沙紀、リジャル H.B.：夏と秋における寝室の快適温度と睡眠の質に関する研究、日本建築学会関東支部研究発表会、pp. 109-112、2011.3.
4. Rijal H.B., Yoshida H., Umemiya N. (2010), Seasonal and regional differences in neutral temperatures in Nepalese traditional vernacular houses, *Building and Environment* 45(12), pp. 2743-2753
5. Nicol F, Jamiy GN, Sykes O, Humphreys M, Roaf S, Hancock M.: A survey of thermal comfort in Pakistan toward new indoor temperature standards. Oxford Brookes University, School of Architecture; 1994.
6. Nicol. F, Roaf. S, Pioneering new indoor temperature standards: the Pakistan project, *Energy and Buildings* 23 (1996) 169-174
7. Rijal H.B. and Stevenson F. (2010), Thermal comfort in UK housing to avoid overheating: lessons from a 'Zero Carbon' case study, Proceedings of Conference: Adapting to change: New thinking on comfort, Windsor, UK, 9-11 April 2010. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings.
8. リジャル H.B、吉田治典、梅宮典子：住宅におけるネパール人の夏と冬の温熱感覚、日本建築学会環境系論文集、第 565 号、pp. 17-pp. 24、2003.
9. Rijal H.B., Tuohy P., Humphreys M.A., Nicol J.F., Samuel A., Raja I.A. and Clarke J. (2008), Development of adaptive algorithms for the operation of windows, fans and doors to predict thermal comfort and energy use in Pakistani buildings, *ASHRAE Transactions* 114(2), pp. 555-573.

\*1 東京都市大学環境情報学部 学部生

\*2 東京都市大学環境情報学部 講師・博士(工学)

\*3 岐阜工業高等専門学校 講師・修士(工学)