

## 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査

## その7 許容度の検討

4.環境工学-10.温熱感

準会員 ○ 芥川光明<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  
許容度 快適感 適応

## 1. はじめに

近年は地球温暖化対策等により、節電に対する意識が高くなっている。このような状況中で2011年は、東日本大震災の影響により例年よりもさらに強く節電が叫ばれた。その結果、夏季に発生するのではないかと懸念された大規模停電等が発生する事もなく、無事に夏を乗り切る事ができた。しかしその裏でこの節電への強い意識により、過度な節電をする人が出てくるのではないかという報道もみられた。これは人々が温熱的許容度の限界をあまり知らないためと思われる。これらのことから住宅における許容度を調べ、日本の住宅における許容範囲を作ることは重要であると思われる。

許容範囲に関する研究は海外のオフィスでは多く行われているが<sup>1)3)</sup>、日本の住宅における年間通した実態調査は少ない<sup>4)</sup>。中谷らの研究では夏季のみの調査のため、1年間通しての上限値と下限値は示せておらず<sup>5)</sup>、飛田らの研究では冬季のみの調査であり、データ数不足で許容範囲の算出が行えていない<sup>6)</sup>。

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許容度などに関する熱的主観申告調査を行い、許容度と温熱環境や快適感などの関係性を評価し、許容範囲を明らかにする。

## 2. 調査方法

調査対象地域は岐阜県岐阜市近郊であり、平屋もしくは二階建ての住宅である。調査住戸数は30家族で調査人数は78名(男性:40名、女性:38名)で平均年齢は男性40.5才、女性41.3才である<sup>7)</sup>。調査期間は2010年5月13日~2011年5月31日である。室温、相対湿度はリビングで小型測定機器を用いて、10分間隔に測定した。また、許容感の申告は2段階尺度を用いて行った(表1)。快適感の申告は5段階尺度(表2)、温冷感の申告は9段階尺度で行った(図1)。得られた申告数は約21,000個である。

表1 許容感の尺度

尺度	項目
0	受け入れられない
1	受け入れられる

図1 温冷感の尺度

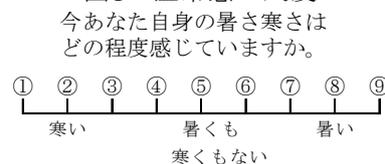


表2 快適感の尺度

尺度	項目
1	耐えられない
2	非常に不快
3	不快
4	やや不快
5	快適

## 3. 結果と考察

## 3.1 温熱環境

室内温熱環境の結果を表3に示す。主観申告回答時の温湿度をモード別に集計した。モードとは自然通風方式(以下、NV)、冷房(以下、AC)、暖房(以下、HT)の三種類である。NVは暖房や冷房などの機械空調を用いていない条件である。またACはエアコンによる冷房使用時、HTは暖房もしくはコタツ使用時である。

平均室温は、NVが22.7℃、ACが28.0℃、HTが17.6℃であり、モード間の平均室温は5K程度の差がある。また、絶対湿度は、NVが10.9g/kg(DA)、ACが14.3g/kg(DA)、HTが6.6g/kg(DA)であり、モード間の平均絶対湿度は4g/kg(DA)程度である。各モードの使用期間は、NVが年間を通じて採用されるのに対し、HTは冬季、ACは夏季である。

主観申告回答時の温熱環境の分布として図2に空気線図を示す。室温は広い範囲で分布している。相対湿度はビル衛生管理法<sup>8)</sup>の基準である40%~70%の範囲をみたしたデータが多い。また、絶対湿度は0.5~21.8g/kg(DA)の範囲であり、ASHRAE Standard<sup>9)</sup>の基準である12.0g/kg(DA)以下を満たしていない。

NVモードにおける室温と外気温の月ごとのグラフを図3に示す。夏は風などを取り込むために窓開閉を行うことから外気温に近い室温になっている。冬は外の冷たい空気を家の中に入れないように居住者ができる限り窓開閉などをしないことから外気温と差が大きい。

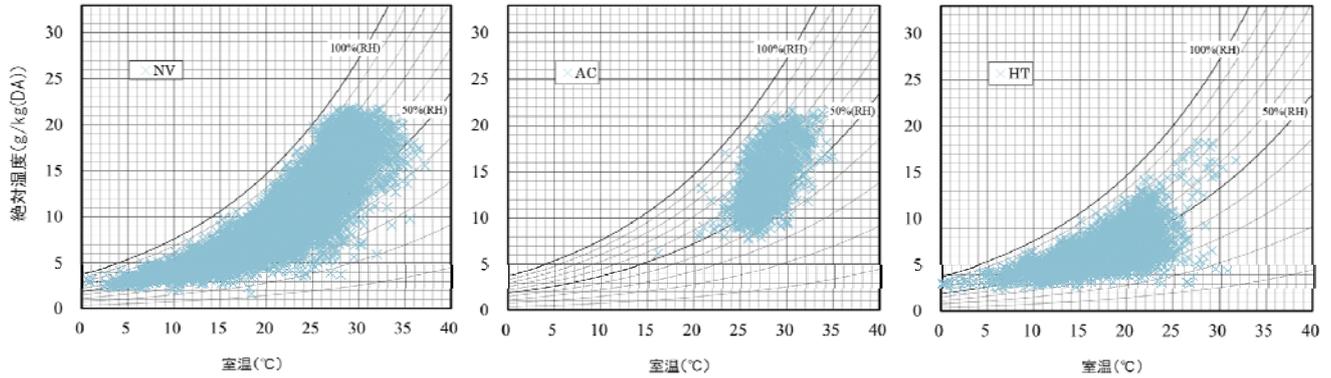


図2 申告時の空気線図

表3 申告時の温熱環境

項目	Mode	度数	平均値	標準偏差
室温 (°C)	NV	13,510	22.7	5.6
	AC	1,960	28.0	2.0
	HT	5,249	17.6	4.2
相対湿度 (%)	NV	13,602	59.6	11.6
	AC	1,966	59.9	10.1
	HT	5,323	52.3	11.2
絶対湿度 (g/kg(DA))	NV	13,602	10.9	4.5
	AC	1,966	14.3	3.1
	HT	5,323	6.6	2.0

NV では中間の「5 暑くも寒くもない」申告が多く、AC では「5 暑くも寒くもない」～「6」申告が多く、HT では「4」が多い。快適感の平均値は NV で 4.3、AC で 4.2、HT で 4.3 であり、どのモードにおいても「4 やや不快」～「5 快適」申告が多い。

これらのことから居住者はどのモードでも申告時の温熱環境を許容し、快適に感じているといえる。

表4 申告結果の度数分布表

項目	Mode	度数	平均値	標準偏差
許容度	NV	13,893	0.9	0.3
	AC	2,103	0.9	0.3
	HT	5,350	0.9	0.2
温冷感	NV	13,902	5.0	1.2
	AC	2,104	5.6	1.2
	HT	5,357	4.2	0.9
快適感	NV	13,878	4.3	0.8
	AC	2,101	4.2	1.0
	HT	5,350	4.3	0.7

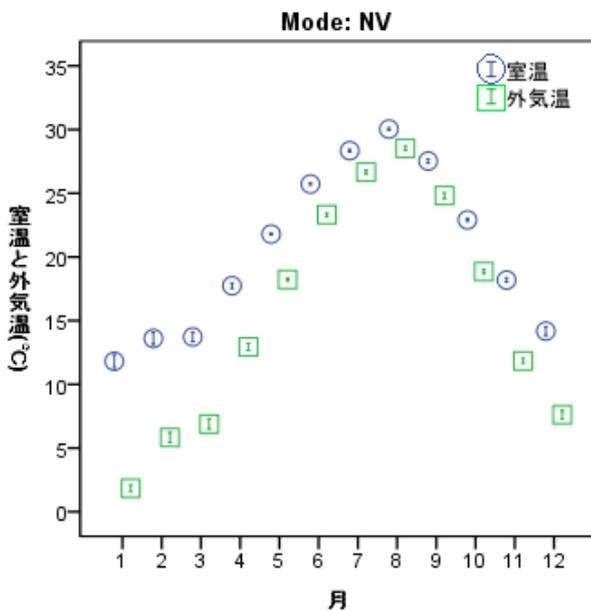


図3 各月の平均室温と外気温と95%信頼区間

### 3.2 申告結果の分布

許容度の実態を明らかにするために、表4に許容度、温冷感、快適感の申告結果を示す。許容度の平均値はNVで0.9、ACで0.9、HTで0.9であり、どのモードにおいても「1受け入れられる」申告が大部分を占めている。温冷感の平均値はNVで5.0、ACで5.6、HTで4.2であり、

### 3.3 許容度と室温の関係

許容度には直接的許容(許容度の実際の申告)と間接的許容(温冷感7段階尺度の中央3段階を許容とするのが一般的)の2つの尺度を用いる<sup>5)</sup>。なお本研究では温冷感尺度に9段階を使用している。

直接的許容及び間接的許容と空気温度の関係を図4と図5に示す。回帰線から低温や高温になるに連れて許容率が低下しているのがわかる。回帰分析から得られた2次回帰式を下記に示す。

直接的許容

$$Ad=0.0628T_i-0.0015T_i^2+0.2926 \quad (n=13464, R^2=0.052, p<0.001) \quad (1)$$

間接的許容

$$Ai=0.1379T_i-0.0033T_i^2-0.5131 \quad (n=13472, R^2=0.135, p<0.001) \quad (2)$$

$Ad$ : 直接的許容、 $Ai$ : 間接的許容、 $T_i$ : 室温(°C)

許容率80%になるのは直接的許容で約11～31°C、間接的許容で約14～28°Cである。またこれらの2次式を微分して $Ad$ と $Ai$ に0を代入すると、最も許容できる室温は

どちらの場合でも 20.9℃となり、定義が異なる場合でも同一の温度が得られた。

AC・HT モードでも同様の分析をしたが、有意な式が得られなかった。これは AC・HT モードの場合は、居住者が居住空間を許容できるように温度設定しているためと考えられる。よって以降の分析は NV のみで行う。

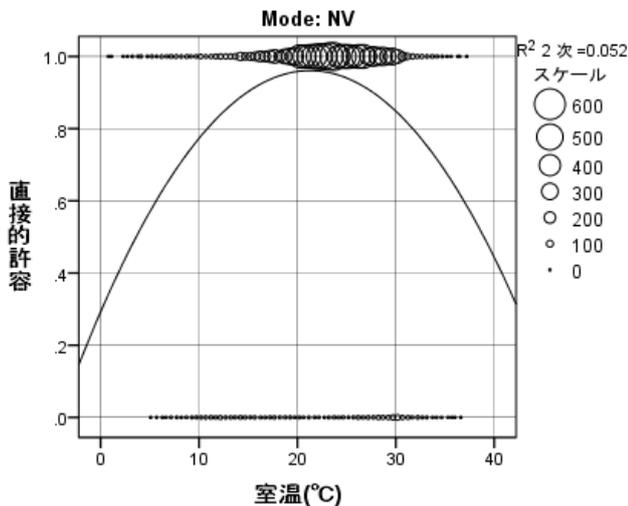


図4 直接的許容と室温の関係

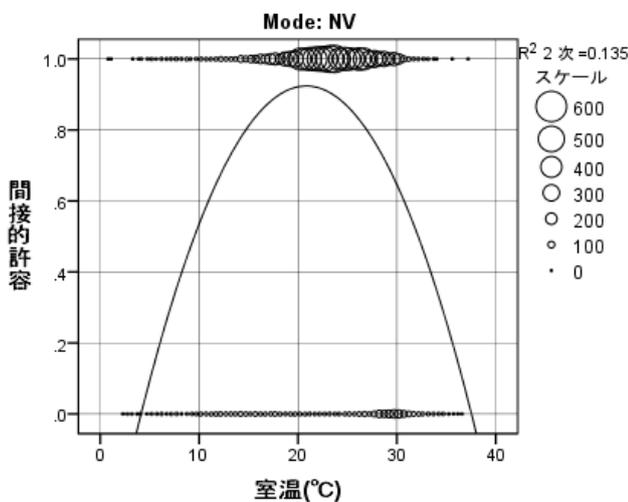


図5 間接的許容と室温の関係

### 3.4 許容範囲

熱的許容範囲は ASHRAE Standard55-2004 で「不満足者率が 20%以下となるような空間」の条件を満たす範囲と定義している<sup>9)</sup>。本研究ではこの定義を用いて熱的許容範囲を算出する。

まず直接的許容及び間接的許容と熱的快適感のクロス集計を表 5 と表 6 に示す。この表では熱的快適感尺度の 1

～4 を「不快」、5 を「快適」としている。直接的許容では許容側であり、不快側であるのが 50.4%と多いが、非許容側であり、不快側であるのも 89.9%と多い。間接的許容では非許容側であり、不快側である申告がかなり少ない。また全申告中の許容できると申告した割合は直接的許容で 90%、間接的許容で 80%であり、居住者は今回の調査期間の温熱環境をほぼ許容している。既往研究では、ハワイの自然通風の小学校で 86%など暑熱地域においてもほとんどの申告が許容側にある<sup>10)</sup>。許容範囲は直接的許容で 8～30℃、間接的許容で 17～27℃である。この結果と回帰法で算出した数値を比較すると、直接的許容の場合では上限値 1℃、下限値 3℃の差があり、間接的許容の場合では上限値 1℃、下限値 3℃の差がある。算出された許容範囲と既往研究を比較すると、上限値に差はほとんどみられないが、下限値はかなりの差がある。

表5 直接的許容と熱的快適感のクロス集計表

項目		熱的快適感		合計
		快適側	不快側	
直接的許容	許容側	6,635 52.5%	6,014 47.5%	12,649
	非許容側	91 7.5%	1,123 92.5%	1,214
合計		6,726 48.5%	7,137 51.5%	13,863

表6 間接的許容と熱的快適感のクロス集計表

項目		熱的快適感		合計
		快適側	不快側	
間接的許容	許容側	6,634 59%	4,534 41%	11,168
	非許容側	94 3.5%	2,610 96.5%	2,704
合計		6,728 48.5%	7,144 51.5%	13,872

### 3.5 既往研究との比較

本研究で算出した許容範囲と既往研究の比較を表 7 に示す。また既往研究では ASHRAE Standard 55 では 22.8～26.1℃<sup>9)</sup>、中谷らの論文では 22.1～26.7℃<sup>5)</sup>、de Dear らの論文では 22.0～29.5℃<sup>11)</sup>、Busch らの論文では 22.0～30.5℃<sup>12)</sup>となっている。また飛田ら<sup>6)</sup>の論文では許容範囲が算出できていない<sup>5)</sup>。

表7 既往研究との比較<sup>5)</sup>

	調査地域	著者	年度	調査方法	建物種別	許容範囲
本研究 (NV)	本研究		2012	実態調査	住宅	回帰法：直接的許容11~31°C( $T_i$ ) 間接的許容14~28°C( $T_i$ ) ASHRAEの定義：直接的許容8~30°C( $T_i$ ) 間接的許容17~27°C( $T_i$ )
NV	日本 <sup>5)</sup>	中谷	2003	実態調査	住宅	22.1~26.7(SET <sup>*</sup> )
	日本 <sup>6)</sup>	飛田	2004	実態調査	住宅	-
	シンガポール <sup>11)</sup>	de Dear	1991	実態調査	オフィス	22.0~29.5(ET <sup>*</sup> )
	タイ <sup>12)</sup>	Busch	1990	実態調査	オフィス	22.0~30.5(ET <sup>*</sup> )
AC	日本 <sup>5)</sup>	中谷	2003	実態調査	住宅	~28.4( $T_o$ )
	日本 <sup>6)</sup>	飛田	2004	実態調査	住宅	-
	シンガポール <sup>11)</sup>	de Dear	1991	実態調査	オフィス	22.5~30.5(ET <sup>*</sup> )
	タイ <sup>12)</sup>	Busch	1990	実態調査	オフィス	22.0~30.5(ET <sup>*</sup> )
ASHRAE Standard 55			2004	研究室実験		22.8~26.1(SET <sup>*</sup> )

#### 4. まとめ

本研究では、岐阜の住宅を対象におよそ1年間のリビングにおける温熱環境と居住者の温熱的許容度の申告調査を行い、下記の結果が得られた。

1. 日本の温熱環境は夏と冬で温湿度共にかなりの差がみられるが、居住者のほとんどが許容できると申告している。
2. 許容度と室温の回帰分析を行った結果、最も許容できる室温は直接的許容・間接的許容共に20.9°Cであり、許容率80%の範囲は直接的許容で約11~31°C、間接的許容で約14~28°Cである。
3. 本研究の許容範囲は直接的許容で8~30°C、間接的許容で17~27°Cである。
4. 算出された許容範囲と既往研究を比較すると、上限値に差はほとんどみられないが、下限値はかなりの差がある。

#### 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. Cândido C., de Dear R., Lamberts R.: Combined thermal acceptability and air movement assessments in a hot humid climate, *Building and Environment* 46, pp. 379-385, 2011
2. Andreasi W.A, Lamberts R., Cândido C.: Thermal acceptability assessment in buildings located in hot and humid regions in Brazil, *Building and Environment* 45, pp.1225-1232, 2009.11.
3. Berglund L.G.: Thermal acceptability, *ASHRAE Transactions* 85(2), pp.825-834, 1979
4. 和田拓記、リジャル H.B.: 夏と秋における住宅のオ

ーバーヒーティングに関する研究、日本建築学会関東支部研究報告集、pp.129-132、2010

5. 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、*日本建築学会環境系論文集 第597号*、pp.51-56、2005
6. 飛田国人、中谷岳史、松原斎樹、藏澄美仁、島田理良：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、*日本建築学会環境系論文集 第614号*、pp.71-77、2007
7. 中谷岳史、石川孝二、山崎真理子、佐々木康寿、リジャル H.B.、林重元：岐阜県における蒸暑期間の温熱的快適性に関する実態調査、*東海支部研究報告集*、pp.313-316、2011
8. 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
9. ASHRAE: *ASHRAE Standard 55-2004*, 2004
10. Kwok A.G.: Thermal comfort in tropical classrooms, *ASHRAE Transactions* 104(1B), pp.1031-1047, 1998
11. de Dear R.J., Leow K.G., Foo S.C.: Thermal comfort in the humid tropics: Field experiments in air conditioned and naturally ventilated buildings in Singapore, *International Journal of Biometeorology* 34, pp.259-265, 1991
12. Busch J.F.: Thermal responses to the Thai office environment, *ASHRAE Transactions* 96(1), pp.859-872, 1990

\*1 東京都市大学環境情報学部 学部長

\*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)