

## 夏と秋における住宅の好まれる温度に関する研究

4.環境工学-10.温熱感

準会員 ○ 梅田真衣<sup>\*1</sup>正会員 H.B.リジャル<sup>\*2</sup>

住宅 リビング 適温感

申告 気温 好まれる温度

## 1. はじめに

人々が住宅で日常生活するにあたり、室内での適温感  
は、非常に重要である。夏場での暑さの中、いかに涼しく  
感じたいか、冬場での寒さの中、いかに暖かく感じたい  
かを常に考え、窓開閉や冷暖房の仕様による室内温度  
の調節がみられる。住宅は居住者が最も快適に感じたい  
好まれる温度 (Preferred temperature) に対応していれば、  
熱的快適性の観点からより住みやすい空間になると  
思われる。

好まれる温度の研究は英国のオフィスビル<sup>1)</sup>、バンコク  
のオフィスビルの過渡的空間<sup>2)</sup>、オーストラリアの半屋外  
や屋外でみられる<sup>3)</sup>。また、「適温感」に関する申告の分  
析がみられるが、「好まれる温度」の分析には至っていな  
い<sup>4)</sup>。このように、適温感に関する研究は、国外オフィス  
では多少行なわれているが、日本の住宅ではみられない。  
なお、「快適温度」に関する研究が多いが、居住者の好ま  
れる温度と快適温度が異なる可能性があるため、詳細に  
検討する必要がある。

そこで本研究では、関東地域の住宅を対象に、夏と秋  
における住宅の温熱環境の実測と居住者の温冷感や適温  
感の主観申告調査を行い、居住者が好まれる温度につい  
て明らかにする。

## 2. 調査方法

検討対象地域は、東京都と神奈川県である。住戸種類  
は、戸建住宅9戸、集合住宅2戸の計11戸である。調査  
期間は2010年7~10月である。温湿度は小型温湿度計  
を用いてリビングで10分間隔に測定した。測定高さは約  
110cmである。外気温度は気象庁のホームページから入  
手した。調査した住宅の概要を示す(表1)。居住者が実  
際に感じている適温感について5段階尺度で1日数回主  
観申告調査を行い(表2)、温冷感について7段階尺度で  
1日数回主観申告調査を行う(表3)。得られた申告数は  
2000個である。調査人数は29人(男性:15人、女性:  
14人)である。

表1.調査した住宅の概要

所在地	住宅名	種類	構造	冷房有無
東京	A	戸建て	木造	無
	B	集合住宅	鉄骨造	有
	C	戸建て	木造	有
横浜	D	戸建て	木造	無
	E	戸建て	木造	有
	F	集合住宅	鉄骨造	無
	G	集合住宅	鉄骨造	有
	H	アパート	RC造	有
	I	戸建て	木造	有
三浦	J	アパート	鉄骨造	有
	K	戸建て	木造	有

表2.適温感と尺度

今、気温をどのように して欲しいですか？	
尺度	項目
1	もっと暖かく
2	少し暖かく
3	このままで良い
4	少し涼しく
5	もっと涼しく

表3.温冷感と尺度

今、気温をどのように 感じていますか？	
尺度	項目
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

## 3. 好まれる温度の計算方法

本研究の好まれる温度は、回帰方法と Griffiths 法を用  
いて計算する。回帰法とは、室温と適温感申告の一次回  
帰から、「3. このままで良い」に相当する温度を求めて  
好まれる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上手く行かない場合もある  
ため、下記の式を用いて Griffiths 法でも好まれる温度を  
検証する<sup>5)</sup>。

$$T_p = T_i + (3 - P) / a^* \quad (1)$$

$T_p$ : Griffiths 法による好まれる温度(°C)、 $T_i$ :室温(°C)、 $P$ :適温感申告、 $a^*$ :回帰係数である。 $a^*$ は 0.5 と仮定する。

## 4. 結果と考察

### 4.1 温冷感と適温感の分布

図 1 に、自然換気している場合 (NV モード) とエアコンを使用している場合 (AC モード) の温冷感を示す。平均値は NV モードで 4.57、AC モードで 3.69 である。AC モードでは暑い申告が少ないが、NV モードでは多い。

居住者が実際に感じている、各住宅の適温感と室温の平均値と標準偏差を示す(表 4)。適温感の平均値は、3.05 ~ 4.00 であり、今の温度を「3. このままでよい」または「4. 少し涼しく」と感じている申告が多いことがわかる。図 2 に NV と AC モードの適温感の分布を示す。両者とも、最も多く申告されるのが「3. そのままでよい」である。平均値は NV モードで 3.52、AC モードで 3.13 である。NV モードの方が今の温度を「4. より涼しく」してほしいと感じている。図 3 に適温感と温冷感の関係を示す。図中には、回帰線と 95%信頼区間の線を示す。図から、適温感と温冷感申告の関係があることが分かる。

表 4 各住宅の適温感と室温の平均値と標準偏差

所在地	住宅番号	度数	適温感		室温(°C)	
			平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
東京	A	34	4.00	1.04	29.6	3.0
	B	277	3.05	0.39	24.2	1.2
	C	155	3.32	0.66	27.3	2.8
横浜	D	78	3.94	0.67	29.3	2.6
	E	188	3.35	0.66	27.3	2.5
	F	396	3.44	0.62	29.8	1.6
	G	52	3.44	0.67	29.6	2.5
	H	186	3.12	0.51	27.3	1.5
	I	523	3.44	0.68	27.1	2.4
	J	145	3.46	0.75	27.8	2.7
三浦	K	73	3.33	0.75	28.2	2.3

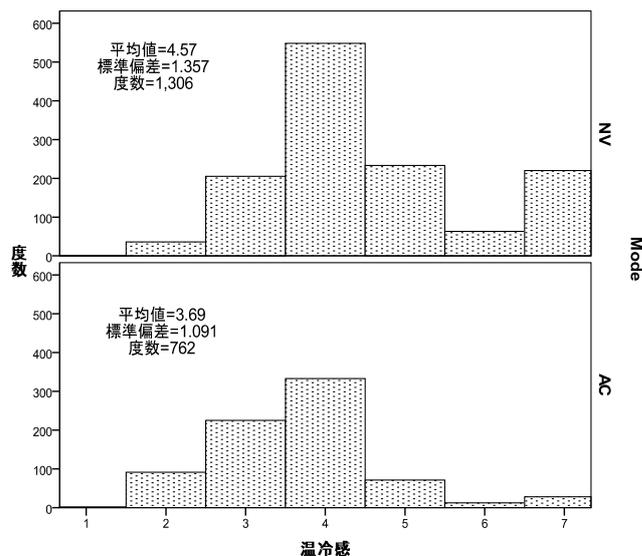


図 1 温冷感の分布

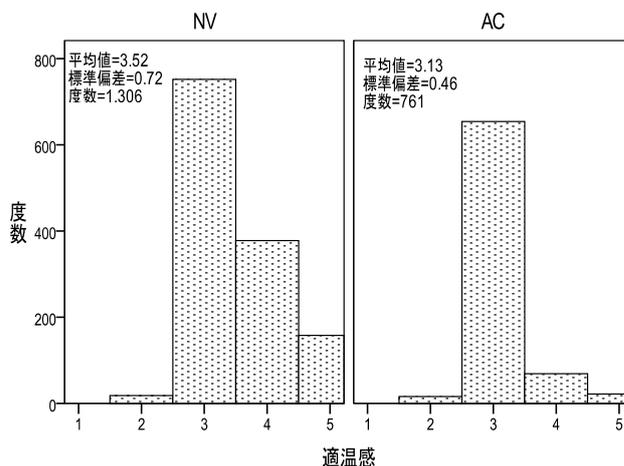


図 2 適温感の分布

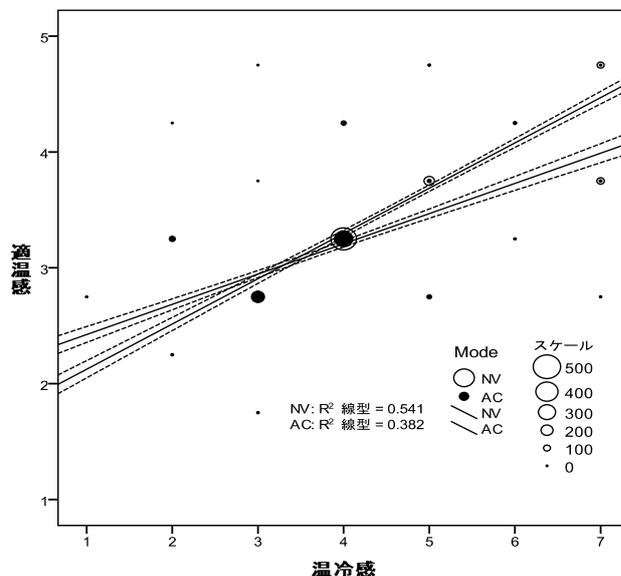


図 3 適温感と温冷感

## 4.2 室温分布

各住宅の平均室温は、24.2～29.8 である(表 2)。また、B 邸の室温が他の家と比較して低いのは、冷房中心の生活をして温度調整を行っているためである。図 4 に NV と AC モードの室温分布を示す。平均値は NV モードで 28.4℃、AC モードで 26.3℃であり、2.1℃の差がみられる。

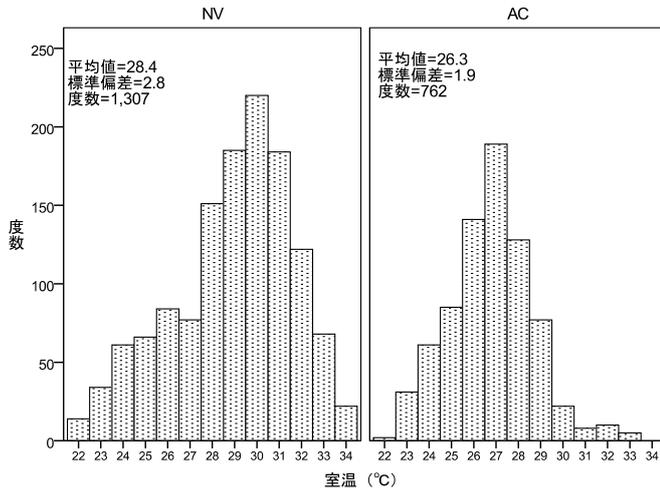


図 4 申告中における室温分布

## 4.3 回帰法による好まれる温度の予測

居住者の好まれる温度を明らかにするために、回帰法を用いて検証する。図 5 に NV と AC モードにおける適温感と室温の関係を示す。図中には回帰線と 95%信頼区間の線を示す。回帰分析の結果、下記の式が得られた。

$$NV \quad P=0.134 T_i - 0.294 \quad (n=1306, r=0.53, p<0.001) \quad (2)$$

$$AC \quad P=0.06 T_i - 1.546 \quad (n=761, r=0.25, p<0.001) \quad (3)$$

$P$ : 適温感申告、 $T_i$ : 室温(℃)、 $n$ : サンプル数、 $r$ : 相関係数、 $p$ : 有意水準である。NV モードの回帰係数や相関係数は AC モードより大きい。NV と AC モードの回帰係数が小さいのは、居住者がそれぞれの温熱環境に適応しているためと思われる。これらの回帰式に適温感「3. このままでよい」を代入すると、好まれる温度は NV モードで 24.6℃、AC モードで 24.2℃となり、両者の差が小さい。また、NV モードの快適範囲の上限値を計算するため「4. 少し涼しく」を代入すると、好まれる温度は NV モードで 32.4℃となる。主に夏の調査であるので、「2. 少し暖かく」はサンプル数が少ないため、快適範囲の下限値は予測していない。

イギリスの空調されているオフィスビルの快適感調査では、適温感と室温の間に下記の式が得られた<sup>1)</sup>。

$$AC \text{ モード} \quad P=0.296 T_i - 04.129 \quad (4)$$

回帰係数は、本研究より高いが、適温感「3.このままでよい」を代入すると、好まれる温度は、24.1℃になり、本研究とほぼ同じ値である。

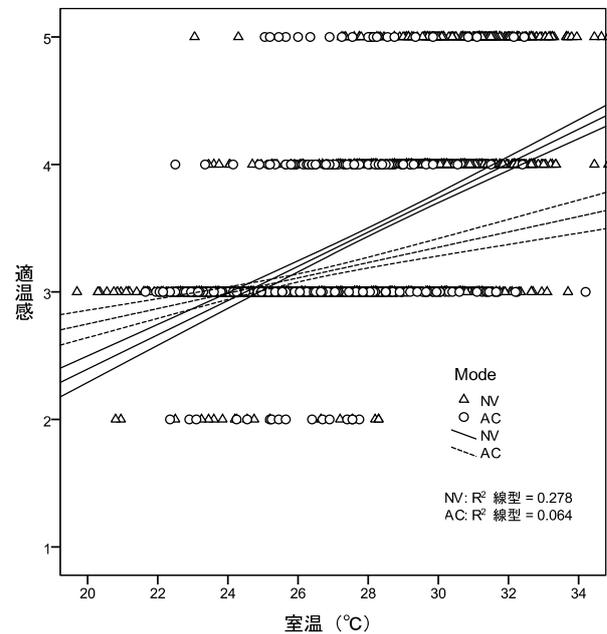


図 5 適温感と室温の関係

## 4.4 Griffiths 法による好まれる温度

図 4 に NV と AC モードにおける Griffiths 法による快適温度の分布を示す。平均値は NV モードで 27.3、AC モードで 26.0 であり、1.3℃の差がある。また、回帰法と Griffiths 法での好まれる温度は、NV モードで 2.7℃、AC モードで 1.8℃の差がみられた。回帰法と Griffiths 法での違いが大きいのは、Griffiths 法では、温冷感と室温の回帰係数を 0.5 と仮定したためである。回帰係数の妥当性について、今後、更に検討する必要がある。

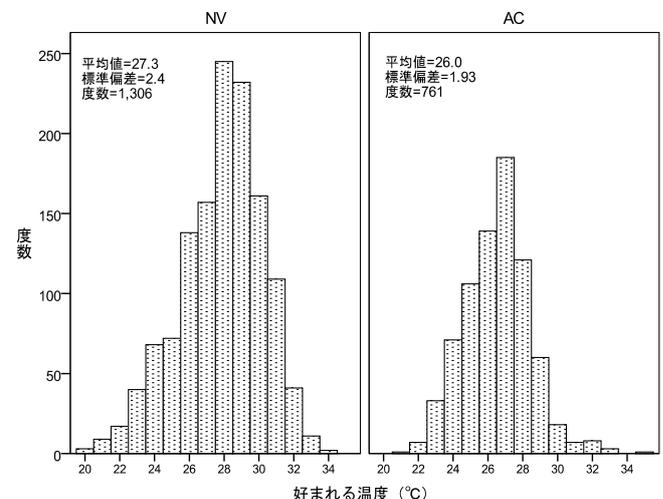


図 6 Griffiths 法による好まれる温度の分布

#### 4.5 適応モデル(Adaptive model)の提案

適応モデルは外気温度を用いて、室温快適温度を予測するモデルである<sup>6)</sup>。適応モデルを提案するために、好まれる温度と外気温度の関係を明らかにする。図5にNVとACモードにおけるGriffiths法で計算した好まれる温度と日平均外気温の関係を示す。図中には回帰線と95%信頼区間の線を示す。2010年は残暑が長かったため、 $T_{od} < 24^{\circ}\text{C}$ のデータが少ない。図の好まれる温度は各申告と室温から予測した値であるため、大きなばらつきがみられる。快適温度も同じようになっている<sup>7)</sup>。回帰分析から下記の式が得られた。

$$\text{NV } T_p = 0.452 T_{od} + 15.458 \quad (n=1306, r=0.69, p<0.001) \quad (4)$$

$$\text{AC } T_p = 0.091 T_{od} + 23.455 \quad (n=761, r=0.09, p=0.01) \quad (5)$$

$T_p$ : 好まれる温度( $^{\circ}\text{C}$ )、 $T_{od}$ : 日平均外気温( $^{\circ}\text{C}$ )である。オフィスビルの適応モデルでは、回帰係数はNVモードで0.33、ACモードで0.09である<sup>7)</sup>。回帰係数は本研究のNVモードの方が大きい、ACモードと同じである。しかし、既往研究では、温冷感に基づいた快適温度と移動平均外気温度から得られた値であり、本研究と直接は比較できないが、注目に値する結果である。

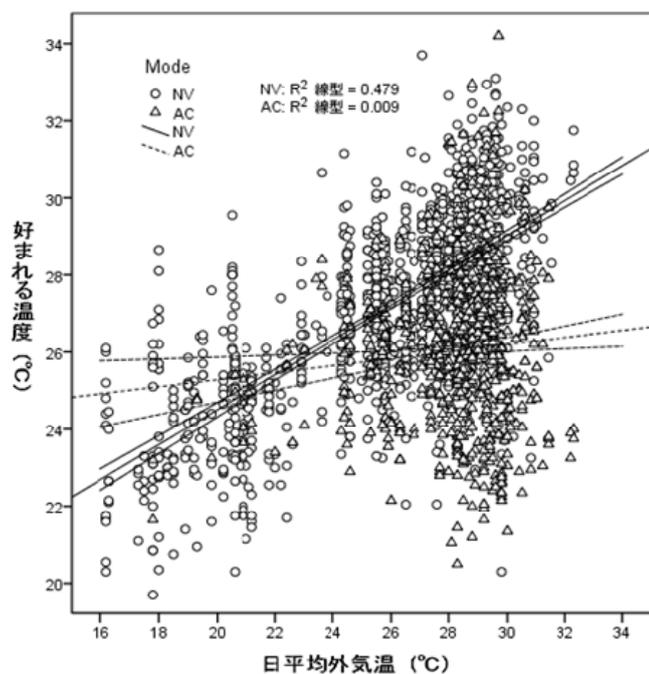


図7 好まれる温度と日平均外気温の関係

#### 5. まとめ

本研究では、関東地域の住宅を対象に夏と秋のリビングにおける温熱環境と居住者の適温感の申告調査を行い、下記の結果が得られた。

1. 適温感の平均値はNVモードで3.52、ACモードで

3.13であり、最も多く申告されたのは「3. そのままでよい」である。居住者の住宅における熱的満足度が高いといえる。

2. 各住宅の平均室温はNVモードで $28.4^{\circ}\text{C}$ 、ACモードで $26.3^{\circ}\text{C}$ である。
3. 居住者が好まれる温度の範囲は、 $24.2^{\circ}\text{C}$ であり、既往研究と類似している。
4. Griffiths法と回帰法での好まれる温度の差はNVモードで $2.7^{\circ}\text{C}$ 、ACモードで $1.8^{\circ}\text{C}$ である。
5. 好まれる温度と外気温度に強い相関関係がみられ、提案した適応モデルを用いて室内の好まれる温度を予測できる。

#### 謝辞

実測調査と申告調査に居住者の方々に多大なご協力を頂いた。また、データ入力に同僚の小澤真之、勝野二郎、酒井匠、重野悠、田屋博貴、西村美沙紀、細川陽平、室本真紀、吉村咲希と和田拓記にご協力して頂いた。記して謝意を表す。

#### 参考文献

1. British Council for Offices, 24 degrees study: comfort, productivity and energy consumption - case study, 2010.
2. Jitkhajornwanich K, Pitts AC, Malama A, Sharples S (1998) Thermal comfort in transitional spaces in the cool season in Bangkok, ASHRAE Transactions Part 1B: 1181-1193.
3. Spagnolo J, de Dear R (2003) A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. Building and Environment 38: 721-738.
4. 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, 日本建築学会計画系論文集, 第565号, pp. 17-24, 2003.3
5. 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.
6. Homphreys M.A. (1978), Outdoor temperatures and comfort indoors, *Building Research and Practice (J.CIB)* 6(2), pp.92-105
7. Rijal H.B., 梅宮典子訳: 建物における熱的快適性の適応的基準 (Nicol F.), 空気調和・衛生工学会 第83巻 第6号, pp.421-427, 2009.6

\*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)