

## 住宅における好まれる温度と適応モデルに関する研究

準会員 ○梅田真衣\*  
正会員 H.B.リジャル\*\*

住宅 リビング 適温感  
気温 好まれる温度 適応モデル

## 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、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<sup>4)</sup>、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熱的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。また、外気温から好まれる温度を予測するために適応モデルを提案する。

## 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。外気温は最も近い気象台のデータを用いた。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1)、温冷感について7段階ASHRAE尺度で1日数回主観申告調査を行った。得られた申告数は2,068個である。調査人数は29人(男性:15人、女性:14人)である。

表1 適温感の尺度

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

## 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>4)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

本研究では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)と示す。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<sup>6)</sup>。次に適温感について明らかにする。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.少し涼しく」してほしいと感じている。また、適温感と温冷感の相関係数がNVモードで0.74、ACモードで0.62であり、NVモードの方が適温感と温冷感の関連性がある<sup>6)</sup>。

## 4.2 室温分布

申告中の平均室温はNVモードで28.4°C、ACモードで26.3°Cであり、NVモードの方が2.1°C高い<sup>6)</sup>。

## 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1にNVとACモードにおける適温感と室温の散布図を示す。図中には回帰線と95%の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。

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

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

$P$ : 適温感申告、 $T_i$ : 室温(°C)、 $n$ はサンプル数、 $r$ は相関係数、 $p$ は有意水準である。

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、

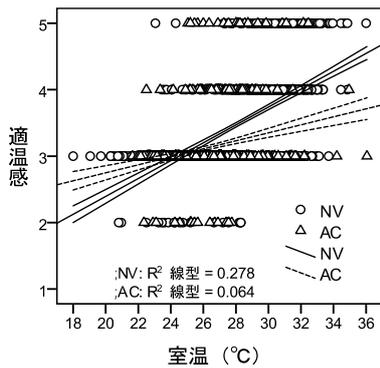


図1 適温感と室温の関係

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予測するため「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>。

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

回帰係数は、本研究より高いが、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、24.1℃になり、本研究とほぼ同じ値である。

#### 4.4 Griffiths 法による好まれる温度の予測

平均値は NV モードで 27.3℃、AC モードで 26.0℃であり、NV モードの方が 1.3℃高い<sup>6)</sup>。また、回帰法と Griffiths 法の好まれる温度の差は、NV モードで 2.7℃、AC モードで 1.8℃である。回帰法と Griffiths 法での違いが大きいのは、Griffiths 法では、温冷感と室温の関係から得られた回帰係数(=0.5)を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。

#### 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>7)</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2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度の関係を示す。図中には回帰線と 95%の信頼区間の線を示す。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。しかし、同様ならばきは CEN 基準の快適温度にもみられる<sup>8)</sup>。回帰分析から下記の式が得られた。

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

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

$T_p$  は好まれる温度(℃)、 $T_{od}$  は日平均外気温度(℃)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>8)</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。

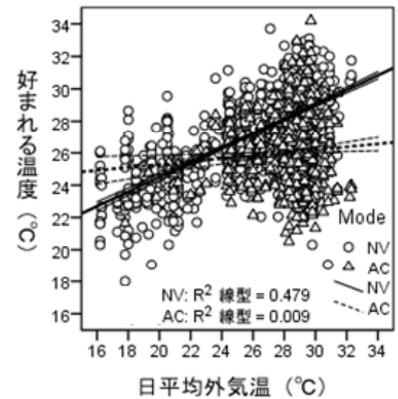


図2 適応モデルの提案

#### 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. 全住宅の平均室温は NV モードで 28.4℃、AC モードで 26.3℃である。
3. 居住者が好まれる温度は 24.2℃であり、既往研究と類似している。
4. Griffiths 法と回帰法の好まれる温度の差は NV モードで 2.7℃、AC モードで 1.8℃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。

#### 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. リジャール H.B., 吉田治典, 梅宮典子: 住宅におけるネパール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. 梅田真衣、リジャール H.B: 夏と秋における住宅の好まれる温度に関する研究、日本建築学会関東支部研究発表会、pp. 117-120、2011.3.
7. Humphreys M.A. (1978), Outdoor temperatures and comfort indoors, *Building Research and Practice(J.CIB)*6(2), pp.92-105
8. 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

\*東京都市大学 環境情報学科 学部生

\*\*東京都市大学 環境情報学科 講師・博士(工学)

\* Undergraduate student, Tokyo City University

\*\* Lecturer, Tokyo City University, Dr. Eng.