

## 岐阜県の住宅における好まれる温度に関する研究

## その5 好まれる温度の検討

4.環境工学－10.温熱感

準会員 ○ 菅野佑樹<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  
適温感 好まれる温度 適応モデル

## 1. はじめに

建築環境工学の対象とする分野の中で、室内環境を居住者の保健・衛生、快適性、作業性の面から最適に設計・管理していくことは非常に重要な課題である。そのためには、居住者が最も快適に感じたい好まれる温度 (Preferred temperature) を知ることは住宅の快適性を向上させるための重要な要素の 1 つであると考えられる。居住者は外気温度の変動に対し、体温調節行動を行い、快適温度を変化させていると考え、好まれる温度にも季節差が存在すると思われる。そこで、住宅の好まれる温度を調査し、その温度を居住者の好まれる温度とすれば、過度な冷暖房の使用を防ぐことが出来ると考えられる。つまり好まれる温度を知る事は、環境配慮・二酸化炭素排出量削減を意識した生活を送れるため重要であると考えられる。

日本の既往研究では現場実験からの結果から好まれる温度を検証したものが少なく、殆どが実験室実験であったが、実験室実験でも快適温度への室温変化後に好まれる温度の季節差について検証した研究がある<sup>1)</sup>。同じ温度でも季節が変わることで申告者の申告は変わることを検証した研究もある<sup>2)</sup>。また、適温感に関する分析がみられる<sup>3)</sup>が、適温感申告から「好まれる温度」を計算した研究は少ない。近年は好まれる温度を予測した研究がみられる<sup>4)</sup>。

そこで本研究では、岐阜県の住宅を対象に、年間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、居住者の適温感や好まれる温度の季節差について明らかにする。今回の検証対象地域が岐阜県の住宅であるが、研究成果は他の地域にも応用できると考えられる。

## 2. 調査方法

調査対象地域は岐阜県岐阜市近郊である。住戸種類は戸建住宅であり、平屋もしくは二階建てであった。調査住戸数は 30 家族、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 歳、女性 41.3 歳であった。本報で分析に使う主観申告は、適温感と温冷感である。適温感は McIntyre の 3 件法を用いた(表 1)。また温冷感は 9

段階を用いた。調査に用いた適温感申告は表 1 に示す。

調査は 2010 年 5 月 13 日から 2011 年 5 月 31 日である。外気環境のデータは、気象庁の公開データを用いた。観測地点は調査住戸の中心に位置する岐阜県岐阜を用いた。

表 1 適温感の尺度

今のこの部屋の暑さ寒さを、	
1	より暖かく
2	今のままでよい
3	より涼しく

今あなた自身の暑さ寒さはどの程度感じていますか



図 1 温冷感の尺度

## 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、「2.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<sup>3)</sup>でも好まれる温度を検証する。

$$T_p = T + (2 - P) / a \quad (1)$$

$T_p$ : Griffiths 法による好まれる温度(°C)、 $T$ :室温(°C)、 $P$ :適温感申告、 $a$ :回帰係数

Nicol らは Griffiths 法を適用するにあたって、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>6)</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>5)</sup>。本研究でこれらの値を用いて好まれる温度を検証する。3 つの回帰係数を 3 段階適温感尺度に換算する

と 1)0.08(=0.25×2/6)、2)0.11(=0.33×2/6)、3)0.17(=0.50×2/6)となる。

## 4. 結果と考察

### 4.1 温冷感と適温感の分布

図2、図3に年間を通しての度数を図で示す。自然換気している場合は NV モード、冷房機を使用している場合は AC モード、暖房機を使用している場合は HT モードとする。温冷感の平均値は NV モードで 5.0、AC モードで 5.6、HT モードで 4.2 である。NV モードでは「2 今のままでよい」が最も多く、居住者は居住空間にある程度快適に感じているといえる。適温感の平均値が 1.6~2.5 となっており、今この部屋の暑さ寒さを「2 今のままでよい」に近い申告になっており、居住者はある程度は快適に感じているといえる。

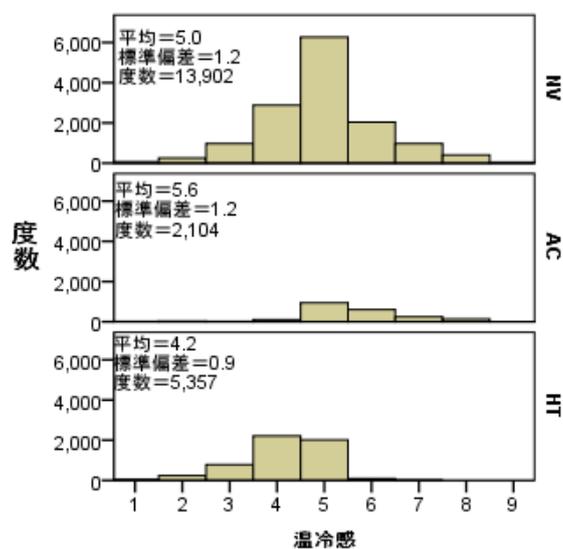


図2 温冷感の分布

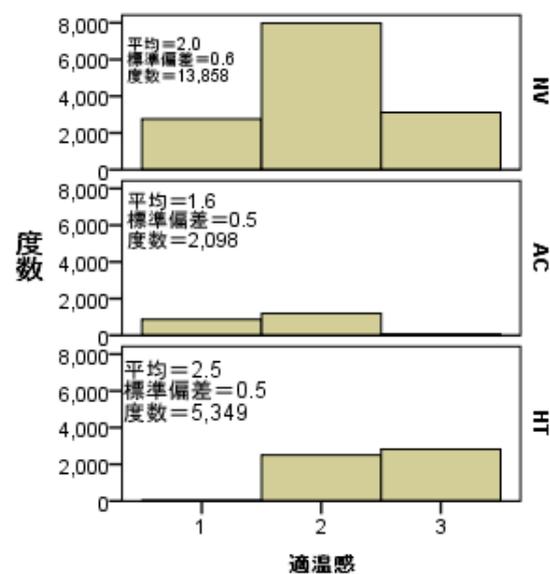


図3 適温感の分布

### 4.2 適温感と温冷感の関係

図4に年間を通しての適温感と温冷感の関係を示す。図4は温冷感の各カテゴリに対する適温感申告の「1より暖かく」、「2今のままでよい」、「3より涼しく」の累積頻度を示す。年間を通すと、(1)と(3)の交点は温冷感の「5暑くも寒くもない」と一致しており、その時の適温感「2今のままでよい」の割合が95%である。また、「1より暖かく」と「3より涼しく」はどの温冷感時でもほぼ相対的であるといえる。

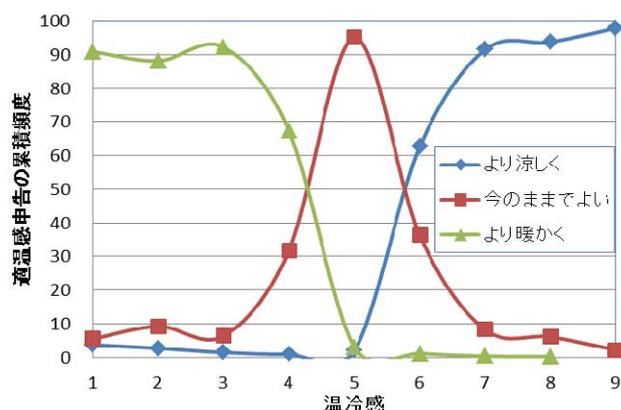


図4 温冷感と快適感申告の対応関係

図5は適温感と温冷感の関係を示す。図中には各モード別の一次回帰線を示す。相関係数は NV モード時 0.79、AC モード時 0.68、HT モード時 0.69 となっており、各モード時の適温感と温冷感申告には関係性があるといえる。

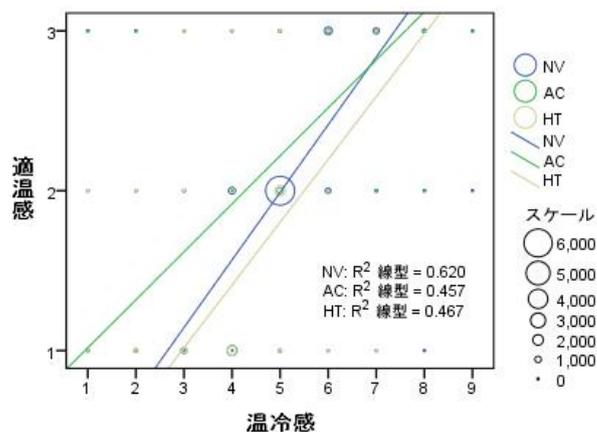


図5 適温感と温冷感の関係

### 4.3 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6に NV モードと AC・HT モードにおける適温感と室温の関係を示した。回帰分析の結果、下記の式が得られた。

$$\text{NV} \quad P=0.084T_i+0.058 \quad (n=13,427, R^2=0.52, p<0.001) \quad (2)$$

$$\text{AC} \quad P=0.048T_i+1.048 \quad (n=1,949, R^2=0.04, p<0.001) \quad (3)$$

$$\text{HT} \quad P=0.037T_i+0.824 \quad (n=5,232, R^2=0.10, p<0.001) \quad (4)$$

P: 適温感、 $T_i$ : 室温、n: サンプル数、 $R^2$ : 決定係数

この回帰式に  $P=2$  を代入すると、最も好まれる室温は NV モードで  $23.1^{\circ}\text{C}$ 、AC モードで  $19.8^{\circ}\text{C}$ 、HT モードで  $31.7^{\circ}\text{C}$  となる。AC モードは冷房使用時の好まれる温度のために一番低い温度であるといえる。HT モードは暖房使用時の好まれる温度ではあるが室温が  $31^{\circ}\text{C}$  という高い結果になっている。理由としては冬の期間であるために他の季節よりも体感的に寒く感じている、または身体の部分的に寒いと感じているためだといえる。

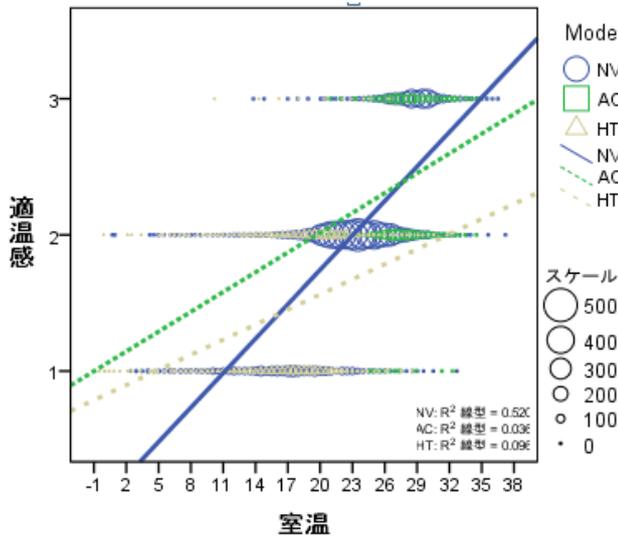


図6 適温感と室温の関係

#### 4.4 好まれる温度の季節差

図7にはNVモードでの季節ごとの好まれる温度の推移を示す。好まれる温度は夏(6~8月)で  $25^{\circ}\text{C}$  付近、秋(9~11月)では  $24^{\circ}\text{C}$  付近、春(3~5月)では  $22^{\circ}\text{C}$  付近、冬(12~2月)では  $18^{\circ}\text{C}$  付近が好まれる温度となっている。夏と冬の好まれる温度差は  $7^{\circ}\text{C}$  近くになっている。中村ら<sup>7)</sup>と同程度の季節差が得られた。これは日本の住宅では夏と冬の好まれる温度には着衣量込みで数度以上の差があるといえる。

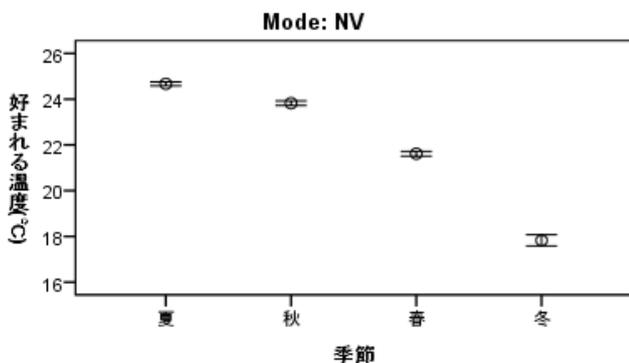


図7 各季節の平均好まれる温度と95%信頼区間

#### 4.5 好まれる温度の月差

図8には好まれる温度の月ごとの推移を示す。図6に比べて同じ季節内でも好まれる温度に変化がある。2月3月はほぼ変化が見られないが他の月では好まれる温度に変化がある。

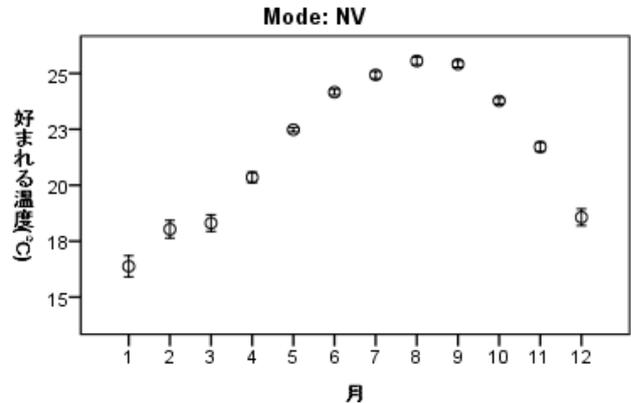


図8 各月の平均好まれる温度と95%信頼区間

#### 4.6 適応モデルの提案

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>8)</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9にNVモードとACモードとHTモードにおけるGriffiths法で計算した好まれる温度と移動平均外気温度の関係を示す。図中には一次回帰式を示す。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。回帰分析から下記の式が得られた。

$$NV T_c = 0.320T_{rm} + 16.7 \quad (n=13,427, R^2=0.34, p<0.001) \quad (5)$$

$$AC T_c = 0.360T_{rm} + 15.5 \quad (n=1,949, R^2=0.05, p<0.001) \quad (6)$$

$$HT T_c = 0.246T_{rm} + 18.8 \quad (n=5,232, R^2=0.06, p<0.001) \quad (7)$$

$T_c$ : Griffiths法による好まれる温度( $^{\circ}\text{C}$ )、 $T_{rm}$ : 移動平均外気温度( $^{\circ}\text{C}$ )、n: サンプル数、 $R^2$ : 決定係数である。

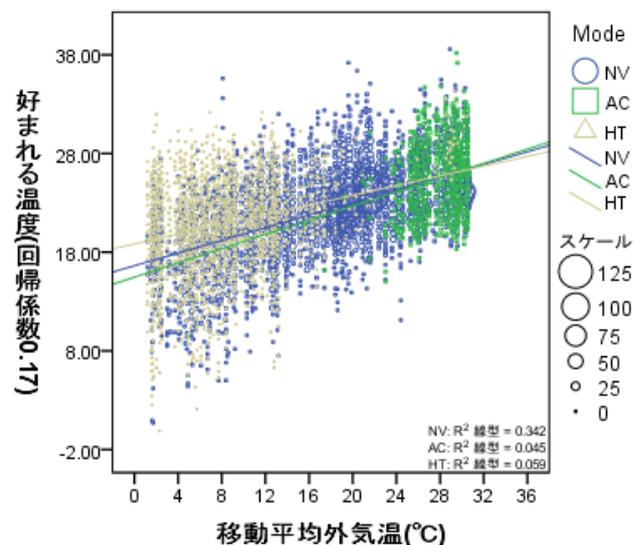


図9 好まれる温度と移動平均外気

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 モードがほぼ同じで、AC モードは値が小さい。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、注目すべき点である。

表 2 快適温度と移動平均外気温度の関係

好まれる温度の算出	回帰係数	モード	回帰式	n	R <sup>2</sup>	p	T <sub>ep</sub> (°C)
T <sub>i</sub>	0.08	NV	$T_e = -0.100 T_m + 25.0$	13,427	0.02	<0.001	23
		AC	$T_e = 0.373 T_m + 12.4$	1,949	0.01	<0.001	22.8
		HT	$T_e = 0.095 T_m + 23.5$	5,232	0.01	<0.001	24.5
	0.11	NV	$T_e = 0.117 T_m + 20.7$	13,427	0.04	<0.001	23.0
		AC	$T_e = 0.367 T_m + 14.0$	1,949	0.02	<0.001	24.3
		HT	$T_e = 0.173 T_m + 21.1$	5,232	0.02	<0.001	22.8
	0.17	NV	$T_e = 0.32 T_m + 16.7$	13,427	0.34	<0.001	23.1
		AC	$T_e = 0.360 T_m + 15.5$	1,949	0.05	<0.001	25.6
		HT	$T_e = 0.246 T_m + 18.8$	5,232	0.06	<0.001	21.3

T<sub>i</sub>:室温(°C)、T<sub>e</sub>:Griffiths法による好まれる温度(°C)、T<sub>m</sub>:移動平均外気温度(°C)、n:サンプル数、R<sup>2</sup>:決定係数、p:回帰係数の有意水準、T<sub>ep</sub>:予想好まれる温度(°C)(NV=20°C、AC=28°C、HT=10°Cの場合)

## 5. まとめ

岐阜県の住宅を対象に、一年間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、下記の結果が得られた。

1. 適温感の平均値はNVモードで2.0、ACモードで1.6、HTモードで2.5であり、最も多く申告されたのは「2 今のままでよい」である。居住者はある程度は快適満足度が高いといえる。
2. 適温感申告の「1 より暖かく」、「2 今のままでよい」の交点は温冷感の「5 暑くも寒くもない」と一致しており、他の温冷感尺度でも相関関係がみられた。
3. 好まれる温度は月平均でも違いがみられ、季節ごとにも違いがみられた。
4. 調査対象地では居住者の好まれる温度の範囲は既往研究と同じである。
5. 中立温度に 6°Cを超える季節差があることを指摘している既往研究と同程度の結果を得た。
6. 好まれる温度と外気温に相関関係がみられ、提案した適応モデルを用いて室温の好まれる温度を予測できる。

## 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. 大野智之、久野覚、大野秀夫、斉藤輝幸、中原信生：中立温度への室温変化後に好まれる温度の季節差について、*日本建築学会大会学術講演梗概集、D*、

133-134、1988

2. McIntyre D.A.: Three approaches to thermal comfort ASHRAE Transactions Part1 vol.84, 1978
3. 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
4. 梅田真衣、リジャル H.B.：住宅における好まれる温度と適応モデルに関する研究、*日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)*、D-2、pp. 29-30、2011.8.
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. 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
7. 中村泰人、岡村圭子：各種の実態調査にみられる至適温度の季節順化に関する生起分析、*日本建築学会計画系論文集 (495)*、pp.85-91、1997
8. Nicol J.F., Rijal H.B.(2010), 24 degrees study: comfort, productivity and energy consumption - case study, British Council for Offices.
9. Jitkhajornwanich K, Pitts AC, Malama A, Sharples S (1998), Thermal comfort in transitional spaces in the cool season in Bangkok, *ASHRAE Transactions, Part 1B*: pp.1181-1193.
10. 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*, pp.721-738.
11. 深澤たまき、須永修通：人間側の条件と好みによる快適温度域の検討、*日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2*、559-560、2004

\*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)