

関東地方における住宅の快適温度と適応モデルに関する研究

準会員 ○吉村咲希*
正会員 H.B.リジャル**

住宅 リビング 温冷感
気温 快適温度 適応モデル

1. はじめに

住宅は生活の基本である「衣食住」の1つでもあり、その重要性は幅広く知られている。例えば、住環境同様に重要視されている衣類は消費者が状況に応じて個人にとって最も快適な衣類を選んで着用している。このように消費者は「衣食住」に対して個人の好みに合った最も快適性の高いものを選ぶ傾向がみられる。特に利用頻度の高い住宅の快適性は重要である。

快適温度は住宅の快適性を向上させるために重要な要素の1つであると考えられている。また、住宅の快適温度を調査することで、その温度を住宅の習慣温度とすれば夏場の過度な冷房の使用や設定温度を回避することができ、家計の経済的な負担を軽くすることができる。

これまで、住宅の快適温度について様々な研究が行われてきた。関西地方を対象とした研究¹⁾²⁾、国外の研究³⁾⁶⁾等がある。しかし、研究によっては、調査期間が短いものや、サンプル数が少ないものもある。国内の研究は関西地方を対象としたものが多く、関東地方ではあまりみられない。また、気温が時間帯によって異なるため、快適温度も時間帯によって異なると思われるが、それらを分析した研究がみられない。

本研究では、関東地方における夏と秋の一般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、居住者の快適温度について明らかにする。また、時間帯によって快適温度はどの程度異なるのかを検証する。さらに、外気温度から室内快適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

調査は東京都と神奈川の11世帯で行った。調査期間は7~10月、温熱環境の測定は小型温湿度計を用いて10分間隔で行った。測定高さはリビングの床上約110cmである。また、温冷感申告は7段階ASHRAE尺度を用いて行った(表1)。29人の居住者から集めた申告数は2,109個である。外気温度は最も近い気象台のデータを用いた。

表1 温冷感の尺度

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. 分析方法

3.1 快適温度の算出法

快適温度は回帰法と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、「4.どちらでもない」に相当する温度を求めると快適温度となる。Griffiths法

では下記の式を用いて快適温度を検証する³⁾⁴⁾。

$$T_c = T_i + (4 - C) / a^* \quad (1)$$

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。 a^* は0.5と仮定する。

3.2 移動平均外気温の算出法

移動平均外気温(T_{m} , °C)は日平均外気温を用いて、次式で計算した。

$$T_m = \alpha T_{m-1} + (1 - \alpha) T_{od-1} \quad (2)$$

T_{m-1} は前日の移動平均外気温(°C)、 T_{od-1} は前日の日平均外気温(°C)である。なお、初日の T_{m-1} は T_{od-1} と仮定した。 α は0と1の間の定数であり、移動平均外気温に対する反応速度であり、本研究では0.8と仮定した。

4. 結果と考察

4.1 温冷感申告・温熱環境

各邸の温冷感申告と平均室温の概要を示す。NVモード(自然換気時)とACモード(冷房使用時)の温冷感申告をみると、「4.どちらでもない」と申告した割合はNVモードで42%、ACモードで43.7%と最も多いが、その割合は住宅によってかなり異なっている⁸⁾。申告中の平均室温はNVモードで28.6°C、ACモードで26.3°Cである。

4.2 回帰法による快適温度の予測

回帰法による快適温度を予測するために、温冷感と室温の相関分析を行う。図1にNVとACモードの温冷感と室温の散布図を示す。なお、冷房モードには除湿モード(n=112)のデータも含めた。図中に一次回帰線と95%の信頼区間の線を示す。温冷感申告(C)と室温(T_i , °C)の間に下記の1次回帰式が得られた。

$$NV \quad C = 0.257T_i - 2.726 \quad (n=1,306, r=0.54, p<0.001) \quad (3)$$

$$AC \quad C = 0.157T_i - 0.439 \quad (n=762, r=0.28, p<0.001) \quad (4)$$

NVモードの回帰係数や相関係数はACモードより高い。式(3)(4)を用いて、温冷感「4.どちらでもない」時の快適温度を予測すると、NVモードで26.2°C、ACモードで28.3°Cとなる。NVモードの快適温度はACモードより2.1°C低い。こ

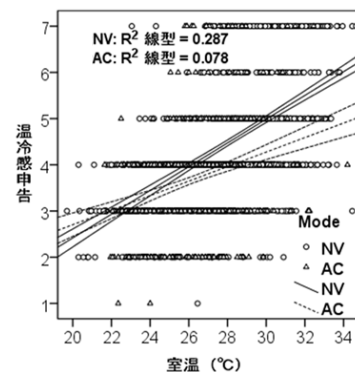


図1 温冷感と室温の関係

これは居住者が冷房によって涼しく感じたためと思われる。また、温冷感「3. やや涼しい」、「5. やや暖かい」を用いて、NV モードの快適範囲を予測すると、22.3~30.1℃で、妥当な値である。既往研究の快適温度は 21~30℃で変動しており、本研究の結果と類似している(表 2)。地域によって、快適温度に差がみられたが、関東と関西で大きな差がない。

表 2 既往研究と本研究の比較

調査場所	参考文献	回帰式	快適温度(℃)	調査時期
関東	本研究(NV)	$C=0.257T_i - 2.726$	26.2	夏と秋
関西	1	$C_m=0.63T_{om} - 13.45$	27.6	夏
ネパール	3	$C=0.0576T_g - 1.2669$	21~30	夏
パキスタン	4, 5	$C=0.19T_g - 0.59$	26.7~29.9	夏
イギリス	6	-	22.9	夏

C: 温冷感, C_m : 平均温冷感申告, T_i : 室温(℃), T_{om} : 平均室内作用温度(℃), T_g : グローブ温度(℃)

4.3 時刻別の快適温度の予測

時間帯別の快適温度を比較するため、NV と AC モードの全てのデータをランダムに 4 つの朝昼夕晩の時間帯に分類した(表 3)。ほとんどの時間帯で NV モードの回帰係数や相関係数は AC モードより高い。NV モードの時間帯別の快適温度は多少の差がみられ、朝や夜の快適温度は昼や夕より高い。同様な傾向が AC モードでもみられる。

表 3 NV と AC モードの時間帯別の快適温度

モード	時間帯	式	n	r	p	T_c	T_{eg}
NV	4:31	$C=0.164T_i - 0.392$	323	0.33	<0.001	26.8	27.4
	10:00	$C=0.276T_i - 2.904$	325	0.59	<0.001	25.0	26.7
	15:19	$C=0.261T_i - 2.677$	323	0.53	<0.001	25.6	27.3
	22:00	$C=0.182T_i - 0.959$	335	0.45	<0.001	27.2	27.4
AC	3:37	$C=0.124T_i + 0.413$	156	0.20	<0.001	28.9	27.4
	13:24	$C=0.141T_i + 0.070$	225	0.27	<0.001	27.9	26.6
	20:53	$C=0.170T_i - 0.749$	192	0.24	<0.001	27.9	27.0
	23:15	$C=0.183T_i - 1.221$	189	0.36	<0.001	28.5	26.7

n: サンプル数, r: 相関係数, p: 有意水準, T_c : 快適温度(℃), T_{eg} : Griffiths法による快適温度(℃) C: 温冷感申告, T_i : 室温(℃)

4.4 Griffiths 法による快適温度

Griffiths 法を用いて NV と AC モードの快適温度をさらに検証する。平均快適温度は、NV モードで 27.2℃、AC モードで 26.9℃であり、両者の差が 0.3℃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 Griffiths 法の方が 1℃高いが、AC モードは回帰法の方が 1~3℃高い。この差は Griffiths 法の回帰係数を 0.5 と仮定したためである。

4.5 適応モデルの提案

適応モデルとは外気温を用いて室内快適温度を予測するモデルである⁷⁾。本研究ではリビングの適応モデルを提案するために、図 2 に Griffiths 法で計算した快適温度(T_c , ℃)と移動平均外気温度(T_m , ℃)の関係を示す。図中に一次回帰の線と 95%の信頼区間の線を示す。主に夏の調査であるため、 $T_m < 25$ ℃のデータ数が少ない。図の快適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が、

このようならばつきは CEN 基準の元データにもみられる⁹⁾。得られた回帰式を下記に示す。

$$NV \quad T_c = 0.415T_m + 16.189 \quad (n=1,306, r=0.43, p<0.001) \quad (5)$$

$$AC \quad T_c = 0.155T_m + 22.560 \quad (n=762, r=0.10, p=0.004) \quad (6)$$

NV モードの回帰係数や相関係数は AC モードより高い。CEN 基準の回帰係数は NV モードで 0.33、AC モードで 0.09 であり⁹⁾⁻¹⁰⁾、本研究の方が両者とも高い。移動平均外気温度を 28℃と仮定すると、快適温度は NV モードで 27.8℃、AC モードで 26.9℃となる。このように、外気温度が分かれば、室内快適温度を予測できる。

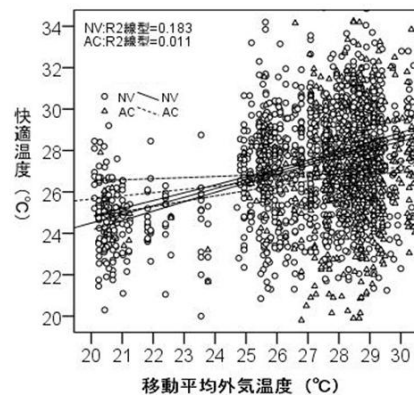


図 2 快適温度と移動平均外気温の関係

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. 自然換気モード (NV) の快適温度は回帰法で 26.2℃、Griffiths 法で 27.2℃である。また、冷房モード (AC) の快適温度は回帰法で 28.3℃、Griffiths 法で 26.9℃である。本研究の快適温度は既往研究の範囲内にある。
2. NV モードと AC モードの時間帯別の快適温度に多少の差がみられ、朝や夜の快適温度は昼や夕より高い。
3. 快適温度と外気温に相関関係があり、提案した適応モデルを用いて室内快適温度を予測できる。

参考文献

1. 中谷ら: 日本建築学会環境系論文集 第 597 号, pp.51-56, 2005.11
2. 飛田ら: 日本建築学会環境系論文集, 第 646 号, pp.1291-1297, 2009.12
3. Rijal et al. : *Building and Environment* 45(12)(2012), pp. 2743-2753
4. Nicol et al. : A survey of thermal comfort in Pakistan toward new indoor temperature standards. Oxford Brookes University, School of Architecture, 1994.
5. Nicol & Roaf : *Energy and Buildings* 23 (1996) 169-174
6. Rijal & Stevenson : 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.
7. Humphreys : *Building Research and Practice (J. CIB)* 6(2)(1978), pp. 92-105.
8. 吉村、リジヤル : 日本建築学会関東支部研究発表会, pp. 113-116, 2011.3.
9. Nicol & Humphreys : *Solar Energy* 81 (3)(2007), pp 295-304
10. リジヤル、梅宮: 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.