

岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査

その8 忍耐度の検討

4.環境工学-10.温熱感

準会員 ○ 佐藤 翔平^{*1}正会員 H.B.リジャル^{*2}正会員 中谷岳史^{*3}住宅 リビング 気温
温冷感 快適感 忍耐度

1. はじめに

私たちは大半の時間を建物・住宅内で過ごす。しかし、その建物内で、適切な温度で過ごしているのだろうか。住宅によって、夏の暑さ・冬の寒さは違い、人によって耐えられる温度も違う。

昔の住宅には冷暖房がなく、急激な気温の上昇に耐えられないことが一因となり、数多くの人が命を落とした例もある。近年では冷暖房も充実し、耐えられない室温であると感じると、冷暖房を稼働させ、室温を調整する人も多い。室温の管理はとても大切である。

国内では、夏のオーバーヒーティングや忍耐度に関する研究はいくつか例があるが、年間を通しての忍耐度に関する研究はみられない。

本研究では、岐阜の住宅を対象に1年間を通して、温熱環境の測定と居住者の忍耐度に関する申告調査を行い、居住者が、どれぐらいの温度で耐えられなくなるのかを、夏季・冬季に分けて明らかにする。

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る。調査住戸数は30軒である。平均年齢は男性40.5歳、女性41.3歳で調査人数は78名（男性40名、女性38名）である。調査期間は2010年5月13日～2011年5月30日である。居住者の申告調査を1日数回任意で行った。サンプル数は約21,000個である。室温、相対湿度はリビングで小型測定機器を用いて、10分間隔で測定した。また、忍耐度の申告は「今の暑さ/寒さに耐えられますか？」という質問に対して、2段階尺度（耐えられる・耐えられない）で申告してもらった（表1）。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市である。

自然換気(NV)モード、冷房を使用している状況を(AC)モード、暖房及びコタツを利用している状況を(HT)モードとする。

表1 忍耐度の尺度

今のこの部屋の暑さ/寒さは、あなたにとって耐えられますか。	
尺度	項目
0	耐えられる
1	耐えられない

3. 分析方法

暑さ/寒さの忍耐度を分析するために、既往研究と同様に下記のロジスティック回帰を用いた⁴⁾。

$$\log it(p) = \log\left(\frac{p}{1-p}\right) = bT + c \quad (1)$$

$$p = \frac{e^{bT+c}}{1+e^{bT+c}} \quad (2)$$

p : 耐えられないと感じる割合、 b : 回帰係数
 T : 温度(°C) c : 定数、 e : 指数関数

4. 結果と考察

4.1 申告中の温熱環境

まず、忍耐度の研究においてACモード・HTモードは自身で設定温度の調整をし、室温調節することが可能なため、「耐えられない」という申告は少なく、忍耐度との相関関係がないため、本研究ではNVモードを中心に分析する。

表2に各住宅の室温（こちらは各モード別に分類していない）・忍耐度の度数と平均値と標準偏差を示す。全体の室温の平均値は21.9°C、忍耐度の平均値は0.07である。各住宅の平均室温の差が最大8.2°Cであり、住宅によって大きな差がみられる。忍耐度の平均値の差が最大0.22であり、こちらも住宅によって大きな差がみられる。モード別の分類をしていないことや、住宅の構造・方位などが様々であることも重なり、このような温度差になっていると思われる。

表2 各住宅の室温と忍耐力

グループ	住宅番号	室温(°C)			忍耐力		
		度数	平均値	標準偏差	度数	平均値	標準偏差
A	1	1,367	23.8	4.7	1,369	0.01	0.10
	2	738	22.6	4.4	742	0.16	0.36
	3	688	21.1	5.8	689	0.00	0.05
	4	821	21.7	4.8	822	0.01	0.10
	5	202	25.1	3.1	207	0.05	0.21
	6	803	20.4	6.1	825	0.03	0.18
	7	799	22.1	6.4	796	0.02	0.13
	8	583	23.9	4.4	585	0.04	0.19
	9	340	24.2	4.9	338	0.09	0.29
	10	600	22.4	4.5	660	0.08	0.28
B	1	725	21.7	5.7	731	0.11	0.31
	2	718	20.7	6.9	721	0.05	0.22
	3	735	17.5	8.3	730	0.01	0.08
	4	540	22.9	5.2	543	0.06	0.24
	5	455	21.6	5.9	478	0.20	0.40
	6	1,533	20.7	5.6	1,532	0.07	0.26
	7	331	20.6	6.6	348	0.18	0.39
	8	758	23.1	4.4	758	0.05	0.21
	9	225	22.8	4.8	222	0.10	0.30
	10	192	25.4	3.9	256	0.02	0.12
C	1	767	20.4	6.3	767	0.11	0.31
	2	346	20.1	7.7	375	0.23	0.42
	3	807	22.6	4.8	816	0.15	0.36
	4	727	22.9	5.3	740	0.05	0.22
	5	134	25.7	4.6	140	0.04	0.20
	6	1,320	21.4	5.8	1,321	0.09	0.28
	7	844	20.7	7.9	870	0.02	0.13
	8	641	24.6	5.3	642	0.08	0.27
	9	1,129	22.5	4.7	1,132	0.03	0.16
	10	851	21.6	3.7	1,188	0.09	0.29
All		20,719	21.9	5.8	21,343	0.07	0.25

4.2 年間の忍耐力と気温の関係

年間の忍耐力の申告と外気温や室温との関係性を分析するために、2次回帰分析を行う。分析結果を図1と2に示す。忍耐力と外気温の相関係数は0.29 ($n=13,689$ 、 $p<0.001$)で、忍耐力と室温の相関係数は0.24 ($n=13,455$ 、 $p<0.001$)である。外気温との相関係数の方が室温より高い。忍耐力と外気温や室温の2次回帰分析で以下の式が得られた。

$$T=0.0010T_o^2-0.0368T_o+0.3474(n=13689, R^2=0.09, p<0.001) \quad (3)$$

$$T=0.0014T_i^2-0.0614T_i+0.6972(n=13455, R^2=0.06, p<0.001) \quad (4)$$

T : 忍耐力、 T_o : 外気温(°C)、 T_i : 室温(°C)

R^2 : Cox と Shell の決定係数、 p : 有意水準

2つのグラフの変動をみてみると、2次曲線の頂点から気温が下がるにつれて、また頂点から気温が上がるにつれて、申告1(耐えられない)に近づいていくことがわかる。つまり忍耐力の申告は気温(暑さや寒さ)と相関関係にある。耐えられる割合が90%になるのは外気温で約10~27°C、室温で約15~27°Cである。回帰式を微分してTに0を代入すると、最も耐えられる温度は外気温で18.4°Cで、室温で21.9°Cとなる。2つを比較してみると曲線の形自体はほぼ差がないが、外気温のグラフが室温の

グラフと比較すると若干左に寄っている。NVモードではあるが、内外気温差が影響したためであると考えられる。耐えられる申告が最も多いのが、外気温では、15~28°Cで、室温では18~31°Cである。

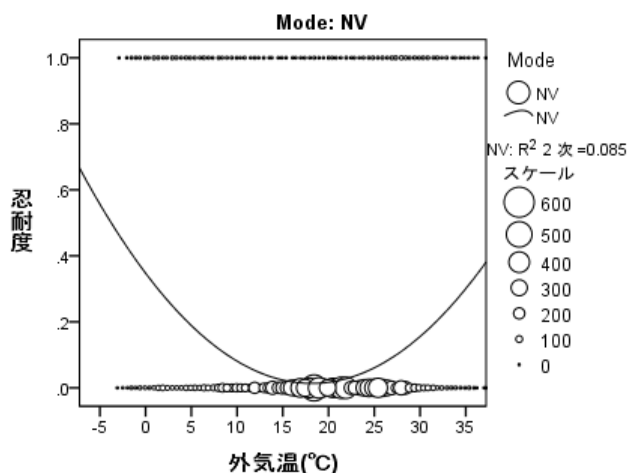


図1 忍耐力と外気温の散布図 (NVモード)

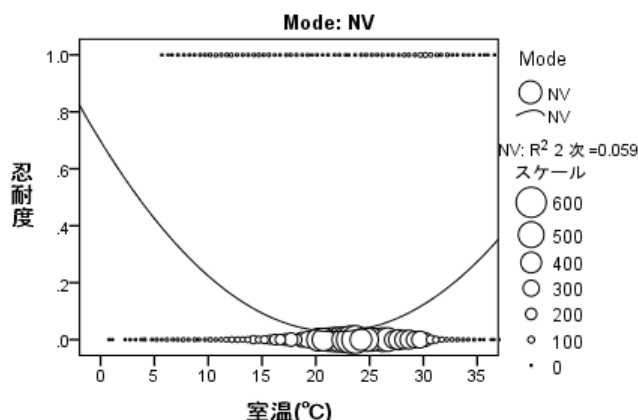


図2 忍耐力と室温の散布図 (NVモード)

4.3 冬季の忍耐力と気温の関係

次に冬季の忍耐力と外気温や室温をロジスティック分析する。NVモードでの冬季の忍耐力に対する申告数1,286個である。図3に冬季の忍耐力と外気温との関係を、図4に冬季の忍耐力と室温の関係を示す。なお、図3、4、5、6のプロットは1°C刻みに平均した値であり、30以下のサンプルは表示していない。忍耐力と外気温の相関係数は0.19 ($n=1,280$ 、 $p<0.001$)で、忍耐力と室温の相関係数は0.17 ($n=1,248$ 、 $p<0.001$)である。外気温の方が室温よりも相関係数が高い。忍耐力と外気温や室温のロジスティック回帰から、下記の式が得られた。

$$\text{logit}(p)=-0.115T_o-0.669(n=1280, R^2=0.04, p<0.001) \quad (5)$$

$$\text{logit}(p)=-0.091T_i-0.066(n=1248, R^2=0.03, p<0.001) \quad (6)$$

忍耐度と外気温や室温の回帰係数は大きな差はみられない。決定係数もそれほど差はない。外気温が13°Cで耐えられない割合が10%に達し、0°Cでは30%を越える。室温が20°Cで既に10%を越えていて、14°Cでは20%に達する。0°Cでは50%近くに達する。プロットをみると、外気温の図では安定しているが、室温の図ではばらつきがみられる。

く、決定係数も少し室温の方が高い。外気温が28°Cで耐えられない割合が10%に達し、その後も気温が上がるごとに耐えられない割合が増えていくことがわかる。室温の方は29°Cで耐えられない割合が10%に達し、その後は気温が上がるごとに外気温よりも急激に耐えられない割合が上昇していくことがわかる。

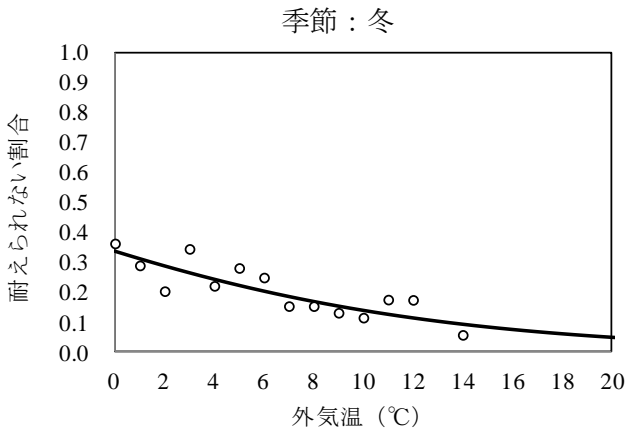


図3 耐えられない割合と外気温の関係（冬季）

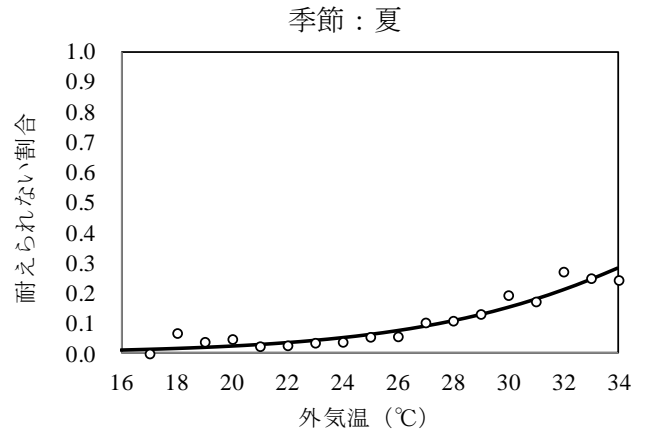


図5 耐えられない割合と外気温の関係（夏季）

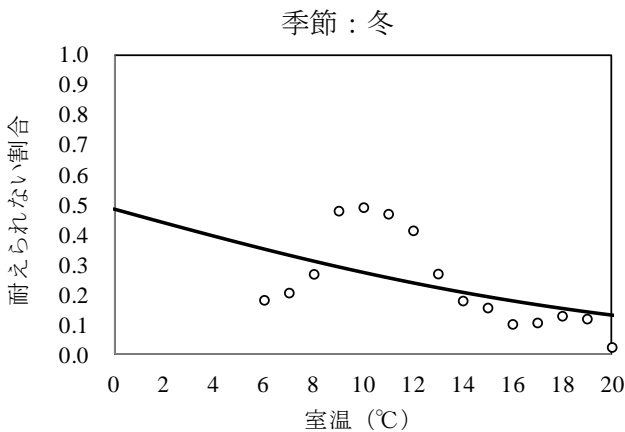


図4 耐えられない割合と室温の関係（冬季）

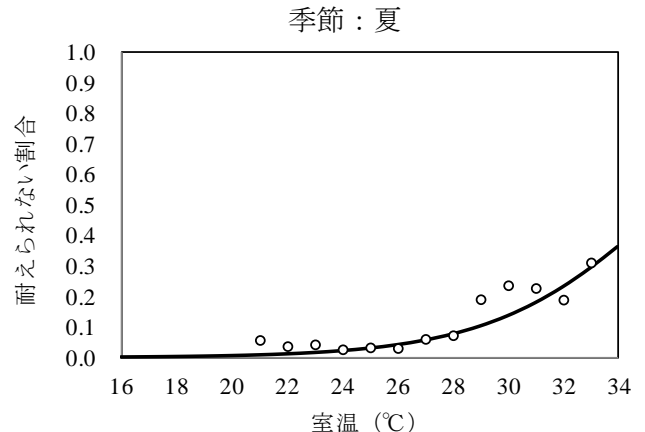


図6 耐えられない割合と室温の関係（夏季）

4.4 夏季の忍耐度と気温の関係

次に夏季の忍耐度と外気温や室温をロジスティック分析する。図5に夏季の忍耐度と外気温の関係を、図6に夏季の忍耐度と室温の関係を示す。忍耐度と外気温の相関係数は0.19 (n=4,128, p<0.001)で、忍耐度と室温の相関係数は0.21 (n=4,118, p<0.001)である。外気温との相関係数より室温の相関係数の方が高い。忍耐度と外気温や室温のロジスティック回帰から、下記の式が得られた。

$$\text{logit}(p)=0.197T_o-7.628 \quad (n=4128, R^2=0.04, p<0.001) \quad (7)$$

$$\text{logit}(p)=0.321T_i-11.48 \quad (n=4118, R^2=0.05, p<0.001) \quad (8)$$

忍耐度と外気温の回帰係数は、忍耐度と室温の方が高

4.5 既往研究との比較

夏季の忍耐度と外気温や室温をロジスティック分析は、既往研究でも行っているため比較する⁵⁾。耐えられる暑さ・寒さの割合と外気温の関係を図7に、耐えられる暑さ・寒さの割合と室温の関係を図8に示す。外気温の図を比較すると、本研究の方が図の伸び方が緩やかである。室温の図も本研究の方が緩やかである。耐えられない割合が10%に達する温度を外気温・室温で比較する。本研究では外気温が28°Cで10%に達するのに対して、既往研究では24°Cであり、4°Cの差がある。室温で比較をすると、本研究では29°Cであるのに対して、既往研究では26°Cで、3°Cの差がある。外気温・室温ともに大きい差がある。既往研究との図の伸びと、外気温・室温の耐えられない割

合の10%地点での温度差の理由として、本研究では2段階尺度を利用しているが、既往研究では5段階尺度（1.完全に耐えられる 2.やや耐えがたい 3.耐えがたい 4.非常に耐えがたい 5.耐えられない）をバイナリ形式（0=1.完全に耐えられる、1=それ以外の尺度）にデータ変換しているため、また尺度が違うためであると考えられる。

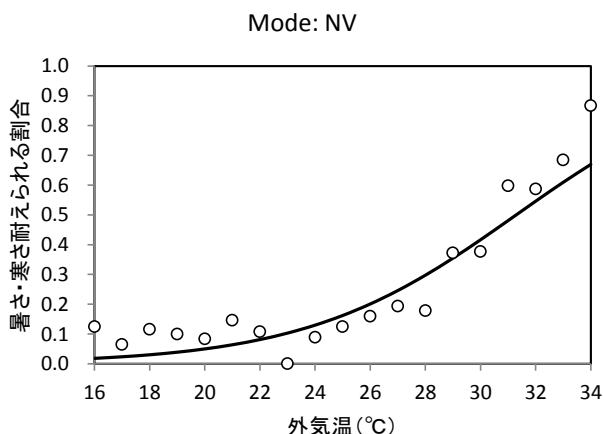


図7 耐えられる暑さ・寒さの割合と外気温の関係⁵⁾

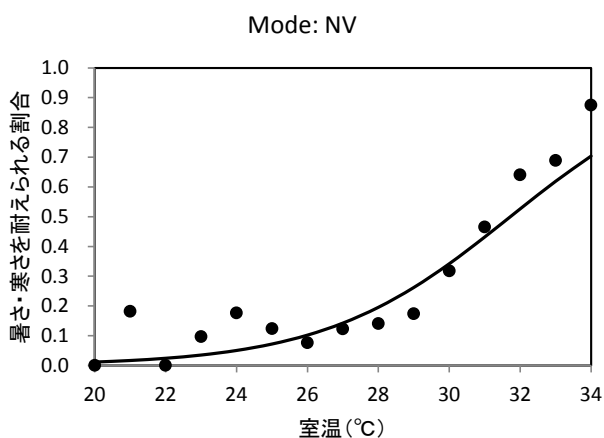


図8 耐えられる暑さ・寒さの割合と室温の関係⁵⁾

5. まとめ

本研究では、岐阜県の住宅を対象に温熱環境の実測と忍耐度に関する申告調査を行い、下記の結果が得られた。

1. 忍耐度と外気温・室温は相関関係が高く、気温の上昇や低下に伴って、申告が変わる。
2. 忍耐度の研究では、モード別にみると、ACモードやHTモードで得られたデータは十分な信頼度が得られず、NVモードで得られたデータのみが、使用できる。
3. 夏季と冬季に分けて、耐えられない割合と外気温・室温をロジスティック分析した結果、夏季には気温が上がれば上がるほど耐えられない割合が上昇する

傾向にあり、冬季には気温が下がれば下がるほど、耐えられない割合が上昇する傾向にある。

4. 夏季では室温が約32℃で、耐えられない割合が20%になり、冬季では約14℃で20%になる。つまり、夏季では32℃以下、冬季では14℃以上の室温であれば、80%の人が耐えられる環境である。
5. 既往研究との比較した結果、大きな差がみられたが、これは使用した尺度によるものである。

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. Robinson D., Haldi F. (2008), Model to predict overheating risk based on an electrical capacitor analogy, *Energy and Buildings* 40, pp. 1240-1245.
2. Nicol J.F., Hacker J., Spires B., Davies H. (2009), Suggestion for new approach to overheating diagnostics, *Building Research & Information*, 37(4), pp. 348-357.
3. Rijal, H.B., Tuohy, P., Nicol, F., Humphreys, M.A., Samuel, A. and Clarke, J. (2008d) Development of an adaptive window-opening algorithm to predict the thermal comfort, energy use and overheating in buildings. *Journal of Building Performance Simulation* 1(1), 17-30
4. Rijal H.B., Ooka R., Minami Y., Sakoi T. and Tsuzuki K.(2010), Thermal adaptation in hot and humid outdoor conditions, *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.
5. 和田拓記、リジナル 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、建築学会関東支部研究発表会、pp. 129-132、2011.3

*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）