

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

4.環境工学-10.温熱感

準会員 ○ 和田拓記^{*1}正会員 H.B.リジャル^{*2}

住宅 リビング 室温

忍耐度 許容度 オーバーヒーティング

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、私たちは適切な温度で過ごしているといえるだろうか。太陽からの照射により建物が熱せられ、冷房のない建物は蓄熱する。さらに都市はヒートアイランド現象により年々気温が上昇してきており、住宅の構造や方位によっては室温が上昇し、とても暑く感じることもある。

一つの例として、ヨーロッパでは2003年に熱波(死亡者5万2千人以上)の災害があった。以降、オーバーヒーティング(Overheating)に関する研究が注目されている。昔の建物には冷房は付いていなかったため、急激な気温の上昇に耐えられなかったのが原因の一つである。日本ではオーバーヒーティングに関する研究がみられないが、夏の暑さに関する研究の文献は数多くある。

居住者は室温が何℃になった時にオーバーヒーティングを感じるのか。居住者はオーバーヒーティングを感じたら、様々な環境調節行動を行う。例えば、窓開放、扇風機や冷房の使用などがあげられる。居住者がオーバーヒーティングを感じたら冷房を使用すると思われるため、この研究は冷房使用(AC)の目安になる。

本研究では、関東地域の住宅を対象に夏と秋の温熱環境の測定と居住者の熱的主観申告調査を行い、居住者がオーバーヒーティングを感じている実態について明らかにする。

2. 調査方法

調査期間は2010年の夏～秋(7月7日～10月11日)で、関東地方の11軒の住宅で行った(表1)。申告者は男性15名、女性14名の計29名である。温湿度の測定は、小型温湿度計を用いて10分ごとに測定した。測定機器は居住者の邪魔にならないリビングに設置し、測定高さは床上約110cmである。居住者の暑さ/寒さへの忍耐度の申告は5段階尺度、許容度は2段階尺度、オーバーヒーティングは2段階尺度で行った(表2～4)。自然換気(NV)モード、冷房を使用している状況を冷房(AC)モードとする。居住者から集めた申告数は、約2100個である。

表1 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 忍耐度の尺度

今の暑さ/寒さに耐えられますか。	
尺度	項目
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

表3 許容度の尺度

今の暑さ/寒さを許容できますか。	
尺度	項目
0	許容できる
1	許容できない

表4 オーバーヒーティングの尺度

今、オーバーヒーティング(過剰な暑さ)を感じていますか。	
尺度	項目
0	感じていない
1	感じている

3. 分析方法

暑さ/寒さの忍耐度や許容度、オーバーヒーティングを分析するために、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⁾。

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

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

p : オーバーヒーティング等を感じる割合、 b : 回帰係数、 T : 温度 (°C)、 c : 定数、 e : 指数関数である。

4. 結果と考察

4.1 暑さ・寒さの忍耐度

この説では、居住者が住宅のリビングで、どれだけの温度に耐えられるのか分析する。図1にNV・ACモードにおける、申告中の室温を示す。NVモードは総じて室温が高く、ACモードは比較的涼しい環境で申告している。NVモードで最も多い温度の度数は30°Cで、ACモードは27°Cである。平均室温を比較すると、NVモードで28.4°C、ACモードで26.2°Cであり、両者の差が2.2°Cもある。標準偏差もNVモードの方が0.9高く、データのばらつきが大きい。夏季に測定したために、冷房の使用有無で、NVモードとACモードの温度差は顕著に表れている。室温と外気温の相関係数は0.83 ($n=1,306$, $p<0.001$)と高く、室温は外気温に影響されていることがわかる。

図2にNVとACモードにおける忍耐度を示す。忍耐度の平均値はNVモードで1.34、ACモードで1.14であり、ACモードの方が小さい。ACモードでは冷房されているため、耐えがたい申告がほとんどみられない。NVモードの方が「2.やや耐えがたい」申告が約20%ある。

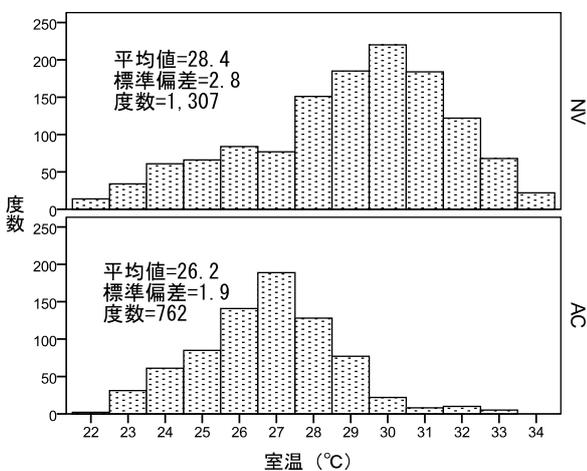


図1 申告中の室温の分布

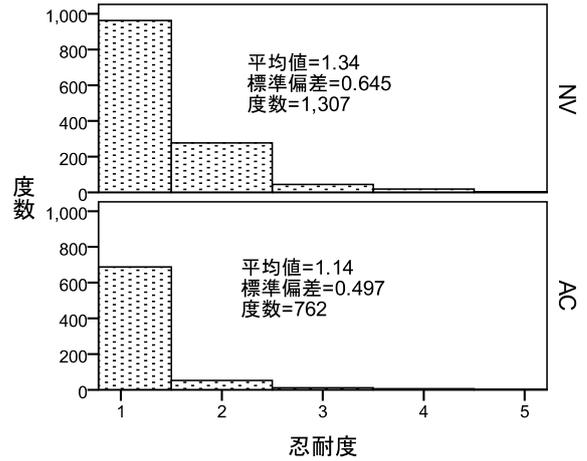


図2 NVとACモードにおける忍耐度の分布

オーバーヒーティングを感じるのは冷房をつけていないときであるため、自然換気 (NV) モードについて分析する。図3に耐えられる暑さ・寒さの割合と室温の関係を、図4に耐えられる暑さ・寒さの割合と外気温の関係を示す。耐えられる暑さ・寒さの割合と室温の相関係数は0.33 ($n=1,307$, $p<0.001$)で、耐えられる暑さ・寒さの割合と外気温の相関係数は0.35 ($n=1,306$, $p<0.001$)である。室温との相関係数より外気の方が高い。

ロジスティック分析をするために忍耐度の尺度をバイナリデータに変換した (0 = 「1完全に耐えられる」、1 = 「それ以外の尺度」)。暑さ・寒さを耐えられる割合と室温や外気温のロジスティック回帰から、下記の式が得られた。

$$\text{logit}(p) = 0.380T_i - 12.055 (n=1,307, R^2=0.14, p<0.001) \quad (3)$$

$$\text{logit}(p) = 0.261T_o - 8.168 (n=1,307, R^2=0.14, p<0.001) \quad (4)$$

T_i : 室温 (°C)、 T_o : 外気温 (°C)、 R^2 : Cox と Snell の決定係数、 p : 有意水準である。

暑さ・寒さを耐えられる割合と室温の回帰係数は、耐えられる暑さの割合と外気温より高い。しかし、決定係数は同じである。室温や外気温が上昇すると、暑さに耐えられる割合が上昇している (図3、4)。

室温が26°Cだと暑さ・寒さを耐えられる割合が10%だが、32°C以降だと割合が50%以上にも増えていることが分かる。外気温が24°Cだと暑さ・寒さを耐えられる割合が10%だが、31°C以降だと割合が50%以上にも増えていることが分かる。

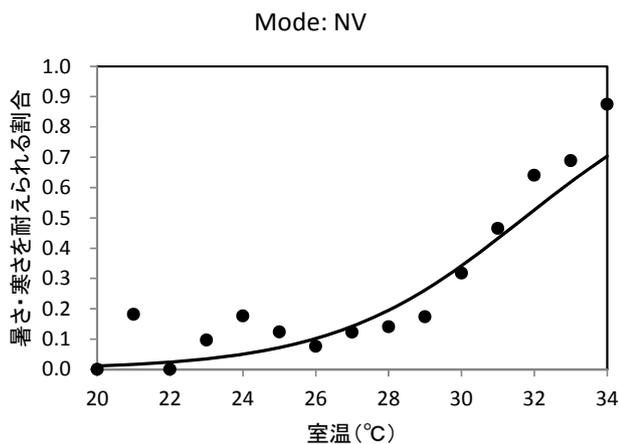


図3 耐えられる暑さ・寒さの割合と室温の関係

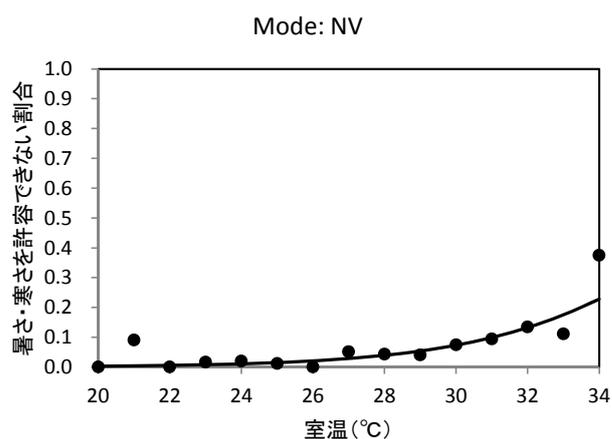


図5 許容できる暑さ・寒さの割合と室温の関係

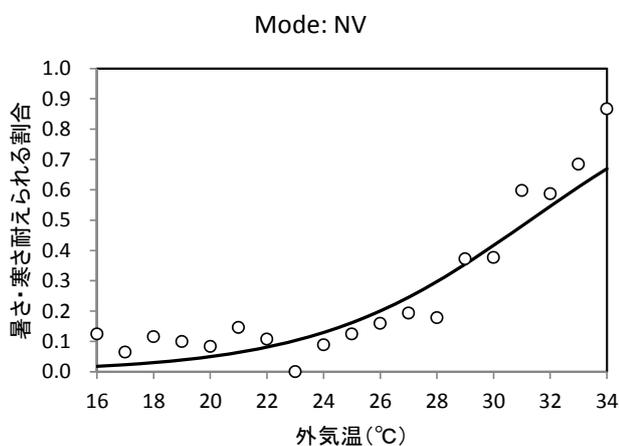


図4 耐えられる暑さ・寒さの割合と外気温の関係

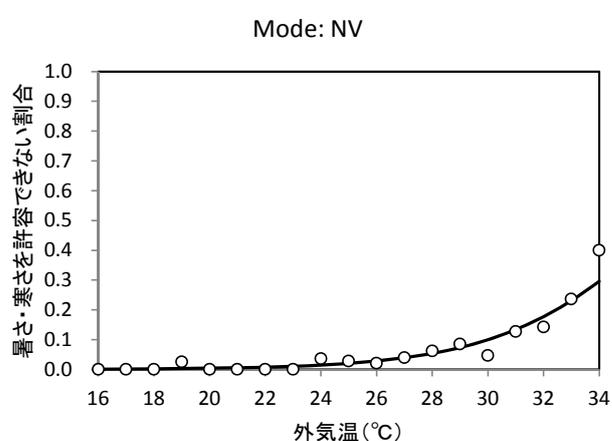


図6 許容できる暑さ・寒さの割合と外気温の関係

4.2 暑さ・寒さの許容度

居住者の暑さ・寒さの許容度と室温や外気温について分析する。暑さ・寒さを許容できない割合と室温の相関係数は0.17 ($n=1,306$, $p<0.001$)である。暑さ・寒さを許容できない割合と外気温との相関係数は0.21 ($n=1,305$, $p<0.001$)であり、室温より外気温の方が相関係数は高い。図5と6に居住者が暑さ・寒さに許容できない割合と室温や外気温の関係について示す。暑さ・寒さを許容できない割合と室温や外気温のロジスティック回帰から、下記の式が得られた。

$$\text{logit}(p)=0.329T_i-12.407 \quad (n=1,307, R^2=0.33, p<0.001) \quad (5)$$

$$\text{logit}(p)=0.367T_o-13.432 \quad (n=1,307, R^2=0.58, p<0.001) \quad (6)$$

暑さ・寒さを許容できない割合と室温の回帰係数は、耐えられる暑さの割合と外気温より小さいが、大きな差がない。相関係数も外気温の方が高い。これらの回帰モデルの精度は暑さ・寒さの忍耐度より良い。

図5と6にはほとんど差がみられない。注目する点は、やはり、26°Cを起点に許容できない割合が高くなってきている。この結果は忍耐度の結果に類似している。

室温が30°Cだと暑さ・寒さを許容できない割合が10%だが、33°C以降だと割合が20%以上にも増えていることが分かる。外気温が29°Cだと暑さ・寒さを許容できない割合が10%だが、32°C以降だと割合が20%以上にも増えていることが分かる。

4.3 オーバーヒーティング（過剰な暑さ）の予測

居住者のオーバーヒーティング（過剰な暑さ）について明らかにする。オーバーヒーティングと室温の相関係数は0.31 ($n=1,307$, $p<0.001$)である。オーバーヒーティングと外気温の相関係数は0.30 ($n=1,306$, $p<0.001$)である。図7と8に居住者のオーバーヒーティングの室温と外気温の関係について示す。オーバーヒーティングを感じている割合と室温や外気温のロジスティック回帰から、下記の式が得られた。

$$\text{logit}(p)=0.576 T_i-19.258 \quad (n=1,307, R^2=0.12, p<0.001) \quad (7)$$

$$\text{logit}(p)=0.399 T_o-13.472 \quad (n=1,307, R^2=0.12, p<0.001) \quad (8)$$

両者の決定係数に差はみられない。室温や外気温は26℃を皮切りにオーバーヒーティングを感じる割合が跳ね上がっている。

室温が29℃だとオーバーヒーティングを感じる割合が10%だが、33℃以降だと割合が50%以上にも増えていることが分かる。外気温が28℃だとオーバーヒーティングを感じる割合が10%だが、34℃以降だと割合が50%以上にも増えていることが分かる。

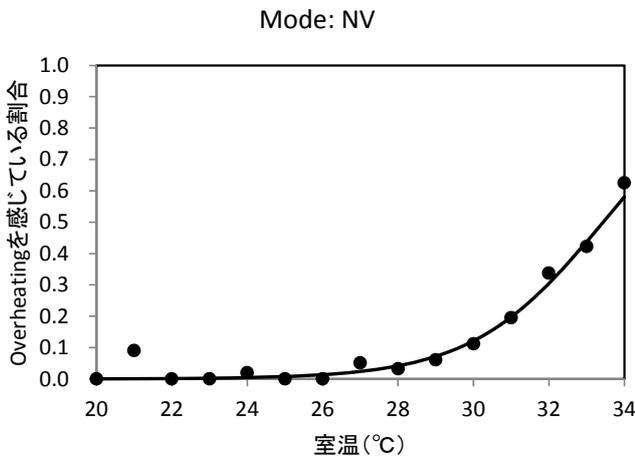


図7 耐えられる暑さの割合と室温の関係

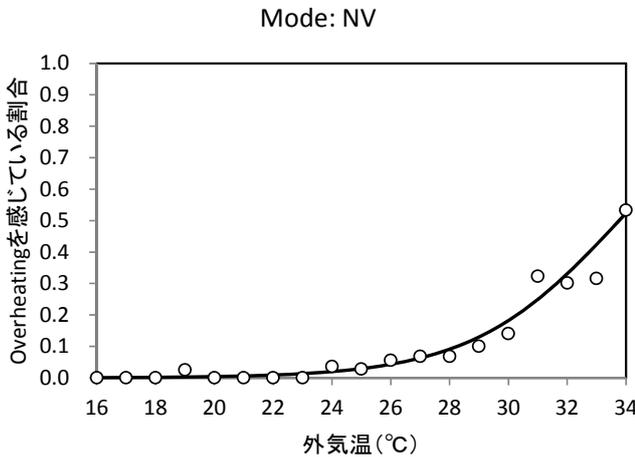


図8 耐えられる暑さの割合と外気温の関係

5. まとめ

本研究では、関東地域の住宅を対象に夏季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。

- 暑さ・寒さを耐えられる割合と室温や外気温のロジスティック分析をした結果、室温26℃、外気温24℃9℃以降から暑さ・寒さを耐えられる割合申告が上昇傾向にある。

- 許容できる暑さ・寒さの割合と室温や外気温のロジスティック分析をした結果、室温・外気温ともに29℃以降から許容できない申告が上昇傾向にある。
- オーバーヒーティングを感じている割合と室温や外気温のロジスティック分析をした結果、室温29℃、外気温28℃以降からオーバーヒーティングを感じている割合申告が上昇傾向にある。

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梅田真衣、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、室本真紀と吉村咲希にご協力して頂いた。記して謝意を表す。

参考文献

- Robinson D., Haldi F. (2008), Model to predict overheating risk based on an electrical capacitor analogy, *Energy and Buildings* 40, pp. 1240-1245.
- 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.
- 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
- 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.

*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)