

夏と秋における寝室の快適温度と睡眠の質に関する研究

4.環境工学-10.温熱感

準会員 ○ 西村美沙紀^{*1} 正会員 H.B.リジャル^{*2}

寝室 睡眠 温冷感
Griffiths 法 快適温度 適応モデル

1. はじめに

現代において、肉体的、精神的に多大な疲労を感じる状況が増えている。そこで、睡眠は現代社会において極めて重要であるといえる¹⁾。しかしながら、日本の睡眠環境、特に夏季においては、暑い、湿度が高い等の理由で、睡眠中に目が覚める、寝付けない、汗をかく等の症状がでて睡眠を妨げられるため、十分な睡眠をとることがなかなかできない。そのため、近年の睡眠に関する様々な研究がある^{2)~4)}。

実際に住んでいる寝室の快適温度、睡眠環境に関する研究が少ないため、居住者の寝室での快適性や睡眠の実態は明らかではない。日常生活に着目した快適温度に関する研究はみられる⁵⁾が、寝室の就寝前と起床後と比較した快適温度に関する研究が少ない。

本研究では、関東地方の住宅を対象に夏と秋の寝室の温熱環境の実測と居住者の熱的主観申告調査や睡眠の質に関する調査を行い、実際の寝室の快適温度や睡眠の質について明らかにする。

2. 調査方法

調査時期は2010年7月6日~10月11日までの約3カ月間である。調査対象住宅は東京都で3軒と神奈川県で9軒である。世帯数は11世帯で、申告者数は全29名である(男性:15人、女性:14人)。申告者の年齢は13~64歳である。申告数は約1500個である。居住者の各寝室に「小型温湿度計」を設置し、就寝前と起床後に温冷感に関しての申告、起床後に睡眠の質に関しての申告を収集した(表1~3)。

3. 分析方法

3.1 快適温度の算出方法

本研究の快適温度は、回帰法とGriffiths法を用いて計算する⁵⁾。回帰法とは、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て快適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いかない場合もあるため、下記の式を用いてGriffiths法でも快適温度を検証する。

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

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方法

移動平均外気温(T_{rm} , °C)は、日平均外気温を指數的に重みづけした温度であり、下記の式を用いて示す⁷⁾。

$$T_{rm} = (1 - \alpha) \cdot \{T_{od-1} + \alpha \cdot T_{od-2} + \alpha^2 \cdot T_{od-3} \dots\} \quad (2)$$

T_{od-1} は前日の日平均外気温、 T_{od-2} は前々日の日平均外気温で、以下同様である。 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。

表1. 温冷感の尺度

寝室の気温を今、どのよう に感じていますか。	
尺度	項目
1	非常に寒い
2	寒い
3	やや寒い
4	どちらでもない
5	やや暑い
6	暑い
7	非常に暑い

表2. 睡眠の質の尺度

今日の睡眠の質はどうで したか。	
尺度	項目
1	非常に良かった
2	良かった
3	どちらでもない
4	悪かった
5	非常に悪かった

表3. 睡眠の質の理由の尺度

睡眠の質が悪かった場合、その理由の程度を選んで下さい。	
尺度	項目
1	暑かったため
2	寒かったため
3	湿度が高かったため
4	体が痒かったため
5	騒音が大きかったため
6	眠りにつけなかったため
7	睡眠中に目が覚めたため
8	睡眠時間が短かったため
9	空腹だったため
10	寝具が適切ではなかったため

各項目の評価尺度は下記に示す。

- 理由ではない
- 少し理由である
- 理由である
- かなり理由である

4. 結果と考察

4.1 室温の分布

この節では就寝時と起床時の室温について明らかにする。図1に申告中の室温の分布を示す。図1は自然換気

(NV モード) をしている時または、エアコンを付けている時 (AC モード) の結果である。なお、AC モードにはドライブモードのデータも含めた (n=13)。申告中の平均室温は NV モードで 28.1℃、AC モードで 27.1℃である。現在の気象庁での熱帯夜の位置づけは、夜間の最低気温が 25℃以上となっており、睡眠前後の室温はほとんど熱帯夜に含んでいる (図 1)。AC モードの平均室温が 27.7℃と高い。これは 2010 年の夏が猛暑だったため、エアコンの設定温度も高めにしたためであると思われる。

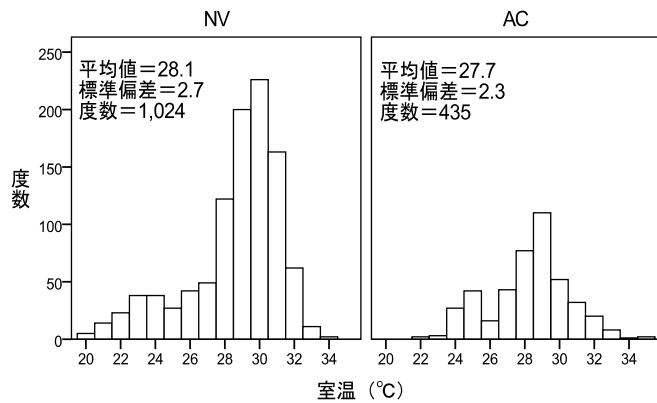


図 1 申告中のエアコン使用有無の室温の分布

4.2 温冷感の分布

居住者の寝室の温熱感覚を明らかにするために、図 2 に NV と AC モードの温冷感の分布を示す。就寝前と起床後の平均温冷感申告は NV モードで 4.5、AC モードで 4.3 であり、NV モードの方が少し暑く感じている。NV と AC モードともに「4. どちらでもない」申告が最も多く、居住者が睡眠環境に満足しているといえる。

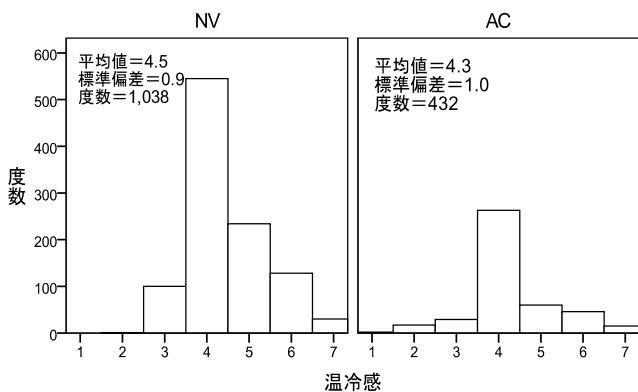


図 2 NV と AC モードの温冷感申告の分布

4.3 回帰法による快適温度の予測

居住者の就寝前と起床時の快適温度を明らかにするために回帰法を用いて快適温度を予測する。図 3 に NV と AC モードの温冷感と室温の散布図を示す。図中には回

帰線と 95%信頼区間の線を示す。回帰分析から下記の式が得られた。

NV モード

$$C = 0.171T_i - 0.332 \quad (n = 1,020, r = 0.50, p < 0.001) \quad (3)$$

AC モード

$$C = 0.136T_i + 0.513 \quad (n = 432, r = 0.31, p < 0.001) \quad (4)$$

C: 温冷感申告、 T_i : 室温 (°C)、n: サンプル数、r: 相関係数、p: 有意水準である。NV と AC モードの回帰係数は類似しているが、温冷感と室温の相関係数は NV モードの方が高い。フィールド調査ではよく得られる回帰係数は 0.25 であると言われており⁶⁾、本研究の回帰係数の方が小さいため、今後、さらに検討する必要がある。温冷感申告が「4. どちらでもない」の時、快適温度は NV モードで 25.3℃、AC モードで 25.5℃であり、両者の差が 0.2℃と小さい。温冷感「3. やや寒い」や「5. やや暑い」を用いて快適温度を予測すると、快適範囲は NV モードで 19.5~31.2℃となる。快適範囲の下限値付近ではサンプル数が少ないため、今後さらに検討する必要がある。また、AC モードのデータのばらつきが大きいため、快適範囲を予測しなかった。近年、夏のエアコンの設定温度は 28℃と言われているが、NV モードの快適温度の上限値は推奨温度よりも高い。これは居住者が住宅に適応しながら暮らしているためであると思われる。

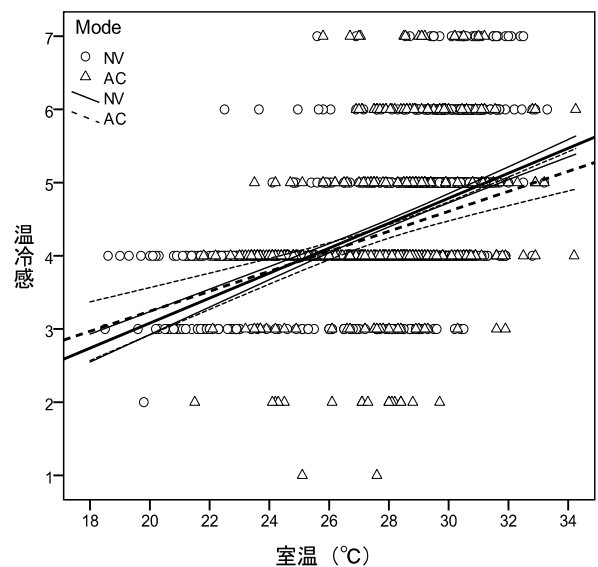


図 3 温冷感と室温の関係

4.4 Griffiths 法による快適温度の予測

Griffiths 法でも NV と AC モードの快適温度を検証する。各申告と室温から計算した快適温度の分布を示す (図 4)。Griffiths 法による平均快適温度±標準偏差は、NV モードで 27.2±2.4℃、AC モードで 27.1±2.6℃であり、両者の

差が殆どない。回帰法と Griffiths 法による快適温度を比較すると、両者ともに約 2°C 高い。これは Griffiths 法では回帰係数を 0.5 と仮定したためである。

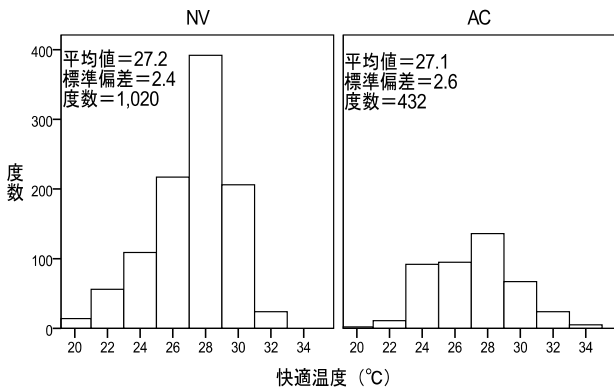


図 4 NV と AC モードにおける Griffiths 法の快適温度

4.5 就寝前後の快適温度の比較

就寝前と起床後の快適温度を回帰法と Griffiths 法を用いて比較する。睡眠前後の快適温度は、Griffiths 法ではほぼ同じであるが、回帰法では起床後の方が高い (表 4)。居住者は、就寝前よりも起床後のほうが涼しく感じていた。これは、朝にかけて外気温が低下したためと思われる。

表 4 就寝前後の快適温度の比較

Mode	就寝前後	回帰法				Griffiths 法		
		式	n	r	p	T_c	T_{cg}	SD
NV	前	$C=0.148T_i+0.257$	436	0.50	<0.001	25.3	27.1	2.4
	後	$C=0.186T_i-0.737$	584	0.49	<0.001	25.5	27.2	2.4
AC	前	$C=0.122T_i+0.988$	300	0.30	<0.001	24.7	27.2	2.5
	後	$C=0.143T_i+0.159$	132	0.28	0.001	26.9	27.1	2.8

NV: 自然換気モード、AC: 冷房モード、n: サンプル数、r: 相関係数、p: 有意水準、 T_c : 回帰法による快適温度 (°C)、 T_{cg} : Griffiths 法による快適温度 (°C)、SD: 標準偏差 (°C)、C: 温冷感申告、 T_i : 室温 (°C)

4.6 適応モデル (Adaptive Model) の提案

適応モデル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⁸⁾。本研究でも寝室の適応モデルを提案する。Griffiths 法による快適温度 (T_c , °C) と移動平均外気温 (T_m , °C) を示す (図 5)。図中には回帰線と 95% 信頼区間の線を示す。本研究で T_m を用いたのは平均外気温よりも快適温度との関連性が高いためである。得られる回帰式は下記に示す。

NV モード

$$T_c=0.585T_m+11.550(n=1,020, r=0.63, p<0.001) \quad (5)$$

AC モード

$$T_c=0.343T_m+17.448(n=432, r=0.21, p<0.001) \quad (6)$$

これらの式を用いて移動平均外気温が 25°C の時の室内快適温度を予測すると、NV モードで 26.2°C、AC モードで 25.9°C になる。NV モードの回帰係数や相関係数は AC モードより大きい。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⁾、本研究の方が両者ともに高い。CEN 基準はオフィスビルの調査に基づいているため、本研究と直接比較はできないが、今後さらに検討する必要がある。

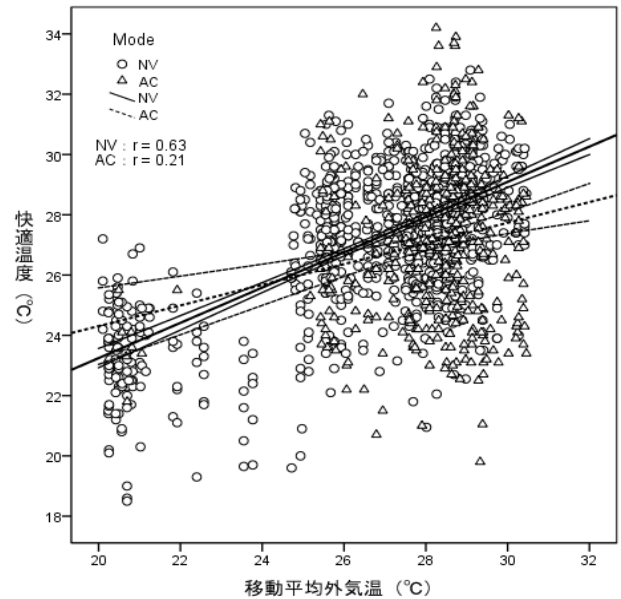


図 5 快適温度と外気温の関係

4.7 睡眠の質

居住者の睡眠の質を評価するために、居住者の起床後データを分析する。図 6 に起床後の睡眠の質の分布を示す。睡眠の質の平均値は 2.56 であり、「2. 良かった」「3. どちらでもない」の申告が最も多かった。

睡眠の質で「4. 悪かった」と「5. 非常に悪かった」の割合は全体で 14.6%、NV モードで 15.1% (n=593)、AC モードで 11.6% (n=130) である。居住者は NV モードの方が少し睡眠の質を悪く感じていた。

睡眠の質が悪かった場合、その理由の程度について申告してもらった (表 3)。居住者が睡眠の質が悪く感じた項目の中で「1. 暑かったため」が最も多かった。図 7 に「1. 暑かったため」の理由の程度の分布を示す。睡眠の質が悪い理由の中で「1. 暑かったため」の「4. かなり理由である」申告が最も多い。これは寝室の気温が高いためと考えられ、既往研究の結果とも類似している¹⁰⁾。このように、近年、睡眠の質が悪くなっているのは、一つの原因として都市温暖化が考えられる。

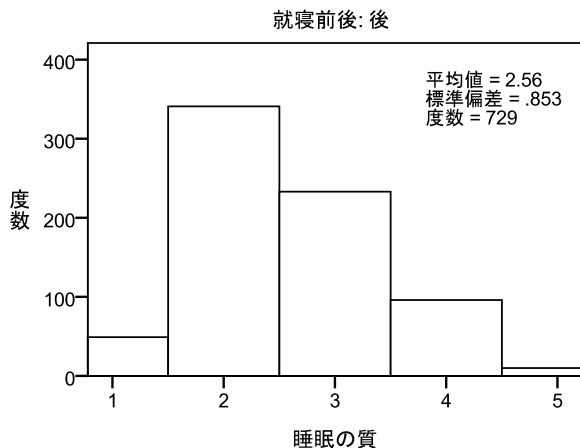


図 6 起床後の睡眠の質の分布

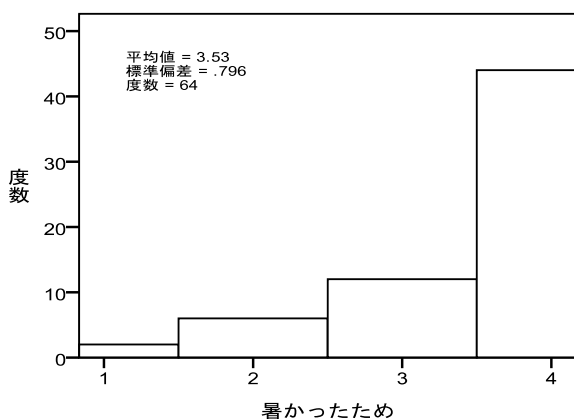


図 7 睡眠の質が悪かった理由の程度の分布

5. まとめ

関東地域の住宅を対象に、寝室における居住者の熱的主観申告と睡眠の質に関する調査を行い、下記の結果が得られた。

1. 就寝時と起床時の平均室温はNVモードで28.1℃、ACモードで27.1℃であり、両者ともに高く、居住者は熱帯夜の気温よりも高い室温で就寝していた。しかし、NVとACモードともに「4. どちらでもない」申告が最も多く、居住者は睡眠環境に満足しているといえる。
2. 回帰法で算出した快適温度は、NVモードで25.3℃、ACモードで25.5℃であった。Griffiths法で算出した快適温度はNVモードで27.2℃、ACモードで27.1℃であった。
3. 居住者は就寝前より起床後の方が涼しく感じていた。これは朝方にかけて外気温が低下したためと思われる。
4. 寝室の快適温度と外気温の関連性があり、提案した適応モデルを用いて寝室の快適温度が予測できる。
5. 起床後に睡眠の質を悪いと感じたのは14.6%であり、一つの原因として都市温暖化が考えられる。

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、細川陽平、室本真紀、吉村咲希と和田拓記にご協力を頂いた。ここに記して、心より感謝の意を表します。

参考文献

1. 伊藤麻美子、鈴木修一、原田和典、高田暁：冬季の睡眠時における温熱環境の測定と解析、日本建築学会近畿支部研究報告集、pp.29-32、2002.
2. 神田清子、大中忠勝、栃原裕、太田紀久子、伊藤まゆみ、土屋純：夏季と秋季の温熱環境が若年者の睡眠中の体動に及ぼす影響、群大医短紀要15、pp.19、1994.11.
3. 蔵澄美仁、石井仁、深川健太、大和義昭、飛田国人、土川忠浩、松原斎樹：睡眠環境評価に向けた人体の熱収支に関する研究—サーマルマネキンによる仰臥位姿勢の人体の放射および対流熱伝達率の測定—、日本生理人類学会誌、pp.17-26、2008.2.
4. 高橋裕樹、加藤信介、小林敏孝、吉井光信、上原茂男、樋口祥明、高橋幹雄、石川敦雄、黒木友裕、野崎尚子：人にやさしい空間 日中の温熱環境が人に与える影響に関する研究(その2)深部体温以外の生理・心理に与える影響及び前回の実験との比較、日本建築学会学術講演梗概集、pp.1271-1272、2010.9.
5. 中谷岳史、松原斎樹、蔵澄美仁：関西地域の住宅における熱的快適性に関する実態調査-夏季の中立温度と許容範囲-、日本建築学会環境系論文集 第597号、pp51-56、2005.11
6. 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.
7. リジャル 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
8. Humphreys M.A. (1978), Outdoor temperatures and comfort indoors, Building Research and Practice (J. CIB) 6(2), pp 92-105.
9. Comité' Europe'en de Normalisation (CEN) (2007) EN 15251: Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics, CEN, Brussels. Nicol.F, Roaf.S, Pioneering new indoor temperature standards: the Pakistan project, Energy and buildings23 (1996) 169-174
10. Humphreys M.A. (1978), The influence of season and ambient temperature on human clothing behaviour, In: Indoor Climate Eds: Fanger P.O. & Valbjorn O., Danish Building Research, Copenhagen, pp 699-713.

*1 東京都市大学環境情報学部 学部長

*2 東京都市大学環境情報学部 講師・博士(工学)