

快適温度に関する研究

その1 関東のオフィスビルにおける快適温度に関する研究

4.環境工学—10.温熱感

準会員 ○ 清水麻央^{*1} 正会員 リジャールH.B.^{*2}
正会員 吉田一居^{*3}

オフィス リビング 気温
季節 寒暑感 快適温度

1. はじめに

快適温度はオフィスの快適性や作業効率を高めるために非常に重要である。日本の設定温度は冬に20℃、夏に28℃と推奨されているが、フィールド研究に基づいて検証されていない。オフィスにおける快適温度を明らかにし、その温度に近づくような環境調整行動を行えば冷暖房等のエネルギーの節約に役立つと考えられる。現在までに快適温度に関する研究は国内^{1)~10)}や国外^{11)~14)}で行われている。しかし、長期間のデータをもとにした研究は少なく、季節差について明らかでない。実際、日本人は一年間の四季における様々な気候の中で暮らしているため、執務者の熱的快適性を向上させるためには、長期間のデータから快適温度を算出し、気候の変化による快適温度の変動を明らかにする必要がある。

本研究では、関東のオフィスビルにおける温熱環境の実測と、執務者の熱的主観申告調査を行い、快適温度の季節差を明らかにし、快適温度と外気温の関係について検討する。

2. 調査方法

調査場所は東京都と神奈川県にある11棟のオフィスビル（東京：7棟、神奈川：4棟）である。申告対象人数は約1350人であり、約4660人の申告数が得られた。表1に申告項目と尺度を示す。調査期間は2014年8月～2015年9月で、実測調査は申告時に合わせて計器を持ち運びながら測定する移動測定を行った。申告調査は執務者の性別や年齢、冷暖房の好み等、体質（暑がり、寒がり）に関する事項等を尋ねる基本事項申告票と着衣量、活動量、申告記入時の体感や心理状態を尋ねた。また、申告調査は1ヶ月おきに1度執務中に行った。さらに、物理量との対応をみるため、室温、相対湿度、室内グローブ温度、風速、表面温度を測定した。なお、本研究の外気温度は調査対象建物の最も近い気象台で測定したデータを用いた。

表1 寒暑感の尺度

尺度	寒暑感	適温感
1	非常に寒い	もっと暖かく
2	寒い	少し暖かく
3	やや寒い	このままで良い
4	どちらでもない (暑くも寒くもない)	少し涼しく
5	やや暑い	もっと涼しく
6	暑い	
7	非常に暑い	

3. 快適温度の算出法

快適温度は回帰方法とGriffiths法を用いて計算する。回帰法では室温やグローブ温度と寒暑感申告の一次回帰から、「4. どちらでもない（暑くも寒くもない）」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うまくいかない場合もあるため、下記の式を用いてGriffiths法^{15), 16)}でも快適温度を検証する。

$$T_c = T - (4 - C) / a \quad (1)$$

T_c : Griffiths法による快適温度(℃)、 T : 室温やグローブ温度(℃)、 C : 寒暑感申告、 a : 回帰係数である。本研究では回帰係数を0.50とした。

4. 結果と考察

非冷暖房時はFRモード(Free Running Mode)、エアコンをつけている時はCLモード(Cooling Mode)、暖房をつけている時はHTモード(Heating Mode)である。

4.1 外気温度と室温の分布

申告中の外気温度の変動について明らかにするため、図1に各月の平均外気温度と95%信頼区間を示す。平均外気温度は8月で30.3℃、2月で7.4℃であり、両者の差は22.9℃である。

次に、申告中の室温を明らかにするため、図2に室温とグローブ温度の分布を示す。申告中の平均室温はFRモー

ドで25.2℃、CLモードで26.1℃、HTモードで24.0℃であり、グローブ温度もほぼ同じ値になっている。特にHTモードの平均室温は、推奨温度20℃より4℃高い。

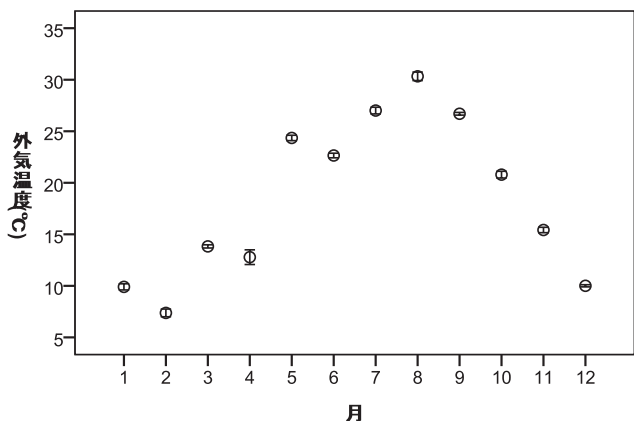


図1 申告中の外気温度

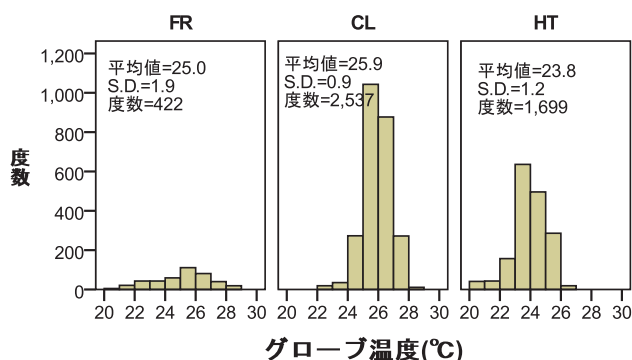
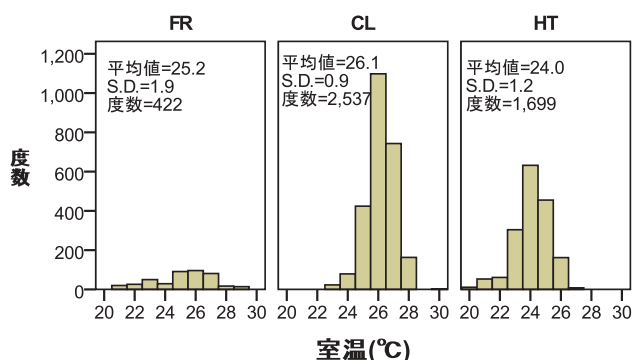


図2 申告中の室温(上段)とグローブ温度(下段)

4.2 寒暑感の分布

執務者の温熱感覚を明らかにするため、図3にFR、CLとHTモードの寒暑感の分布を示す。寒暑感申告の平均値はFRモードで4.0、CLモードで4.2、HTモードで3.7である。どのモードでも「4.どちらでもない」の申告が非常に多く、オフィスの環境は整っていることが分かる。

また、CLモードでは「5. やや暑い」、HTモードでは「3. やや寒い」の申告も多く、オフィスビルの冷房・暖房の設定温度は快適範囲内(申告3~5)に設定していることが分かる。

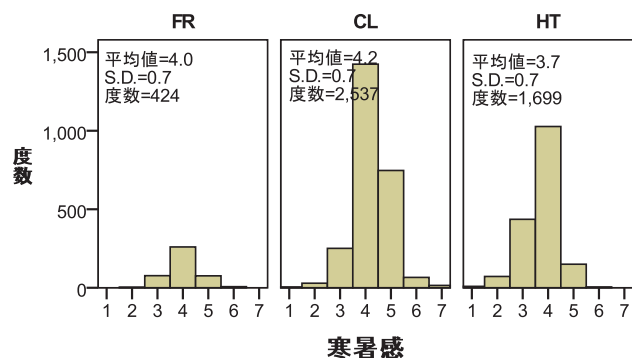


図3 各モードの寒暑感の分布

4.3 回帰法による快適温度の検討

まず寒暑感と室温の回帰分析を行い、快適温度の予測を行う。図4にFR・CL・HTモードの寒暑感と室温の散布図を示す。回帰分析から寒暑感申告(C)と室温(T_i 、℃)やグローブ温度(T_g 、℃)の間に下記の式が得られた。

$$FR C=0.180T_i-0.515 (n=424, R^2=0.50, p<0.001) \quad (1)$$

$$CL C=0.223T_i-1.581 (n=2,573, R^2=0.29, p<0.001) \quad (2)$$

$$HT C=0.167T_i-0.277 (n=1,699, R^2=0.29, p<0.001) \quad (3)$$

$$FR C=0.183T_g-0.554(n=422, R^2=0.5, p<0.001) \quad (4)$$

$$CL C=0.228T_g-1.657(n=2537, R^2=0.28, p<0.001) \quad (5)$$

$$HT C=0.168T_g-0.261(n=1699, R^2=0.29, p<0.001) \quad (6)$$

回帰係数が比較的小さい。これらの式(1)~(3)を用いて、寒暑感「4. どちらでもない」を代入して快適室温を予測すると、FRモードで25.1℃、CLモードで25.0℃、HTモードで25.6となる。同様に快適グローブ温度を予測すると、FRモードで24.9℃、CLモードで24.8℃、HTモードで25.4℃となり、快適室温と値が近い。特にCLモードの快適温度は寒暑感の「4.どちらでもない」や適温感の「3.このままで良い」の平均温度より低くなっている(表2)。また、HTモードの快適温度も、表2の値より高くなっている。回帰法による快適温度もややデータが少ない部分に決まっている。これらのことから次節でGriffiths法を用いて快適温度を予測する。

表2 該当申告に対する室温とグローブ温度

Mode	変数	寒暑感=4			適温感=3		
		度数	平均	標準偏差	度数	平均	標準偏差
FR	室温(℃)	260	25.1	1.6	301	25.1	1.6
	グローブ温度(℃)	259	25.0	1.6	300	24.9	1.6
CL	室温(℃)	1424	26.0	0.9	1552	26.0	0.9
	グローブ温度(℃)	1424	25.8	0.9	1552	25.8	0.9
HT	室温(℃)	1027	24.2	1.1	1076	24.2	1.1
	グローブ温度(℃)	1027	24.0	1.1	1076	24.0	1.1

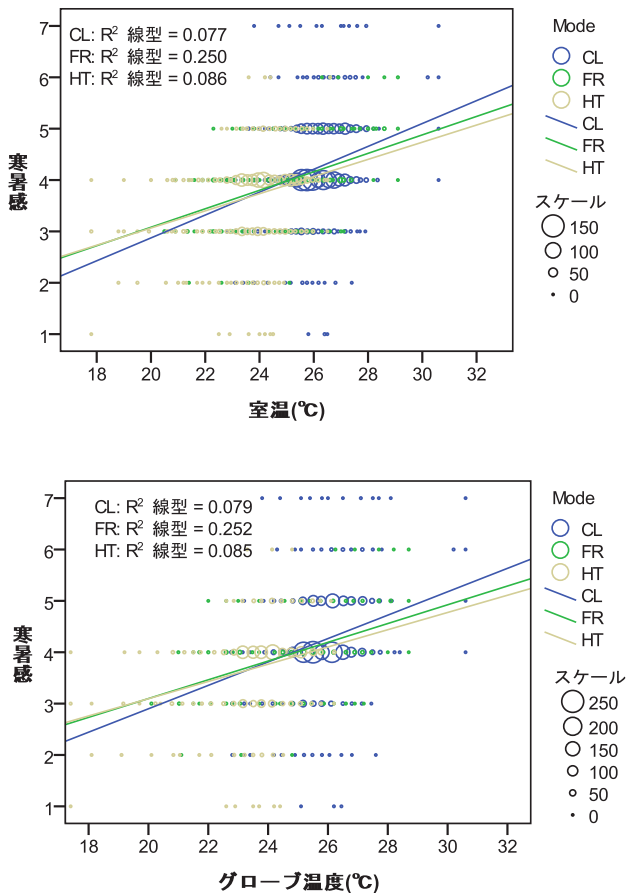


図4 寒暑感と室温やグローブ温度の関係

4.4 Griffiths法による快適温度の予測

Griffiths法で各モードの快適温度を検証する。図5に各申告と室温やグローブ温度から計算した Griffiths 法による快適温度の分布を示す。

Griffiths法による平均快適温度は、FRモードで25.2℃、CLモードで25.7℃、HTモードで24.6℃であり、グローブ温度もほぼ同じ値になっている。

また、住宅における同様の調査の快適室温はFRモードで23.6℃、CLモードで27.0℃、HTモードで19.9℃であり¹⁰⁾、本研究のHTモードの値と大きな違いが見られた。これは住宅では着衣量が自由に調整できるためと思われる。

4.5 各季節の快適温度

この節では、各月や各季節の快適温度を検討し、季節差について明らかにする。まず、快適温度を比較するため、図6に各月、図7に各季節の平均快適温度と95%信頼区間を示す。各月や各季節の快適室温と快適グローブ温度に有意差がない。春と秋の月の快適温度が低くて、夏の月の快適温度が高い。このことから、快適温度は気候の変動に伴って変動し、室温や外気温度と共に快適温度も変動すると思われる。

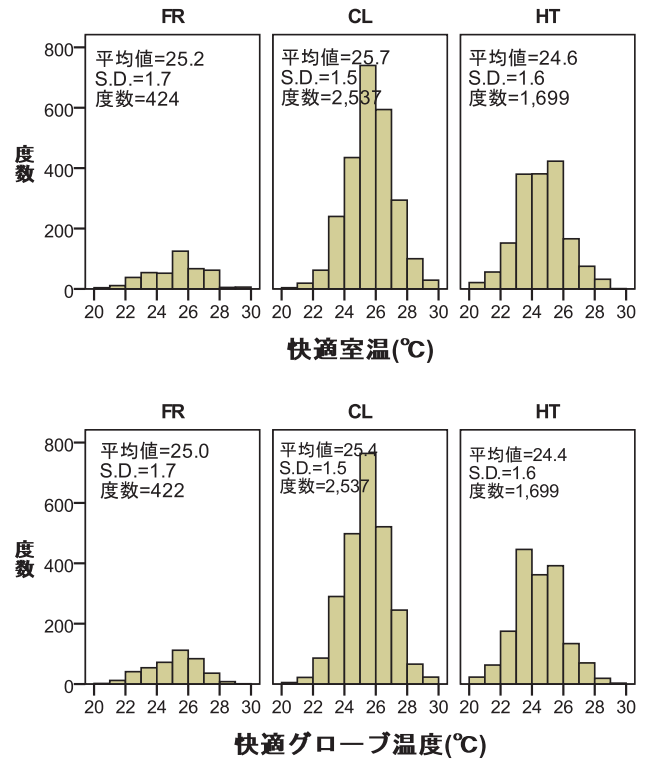


図5 各モードにおけるGriffiths法の快適温度の分布

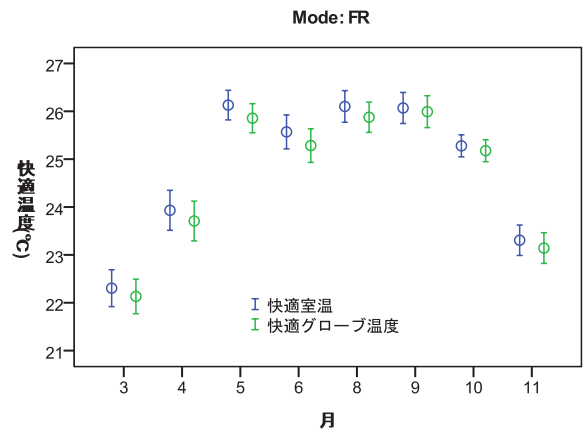


図6 各月における快適温度

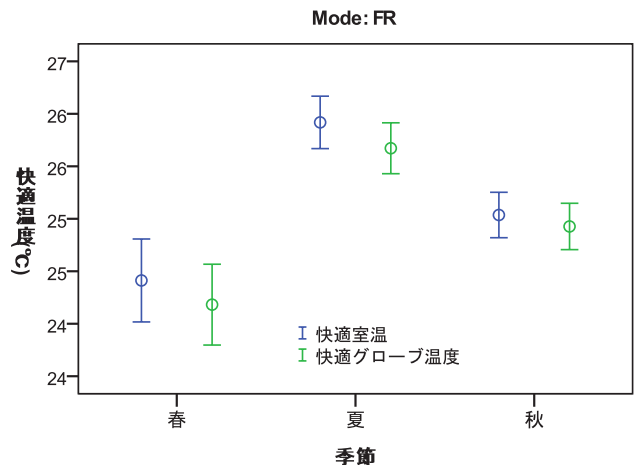


図7 各季節における快適温度

4.6 快適温度と外気温度の関係

図8に快適温度と外気温度の関係を示す。外気温度と快適室温や快適グローブ温度に強い相関関係がある($r=0.82$)。両者の回帰係数が類似している。これらの結果は今までの研究結果と類似している。回帰式を用いれば、外気温度が分かれば、室内快適温度を予測することができる。

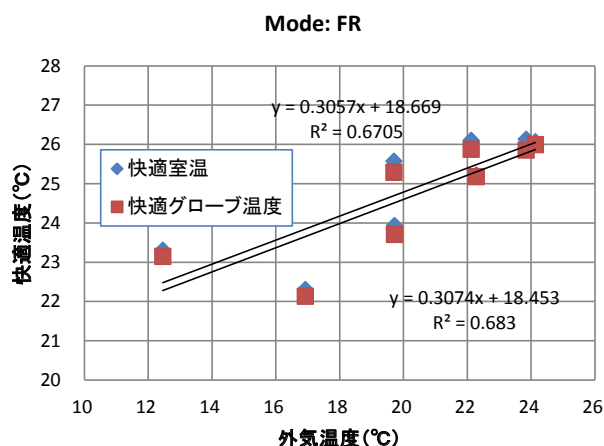


図8 快適温度と外気温度の関係

5. まとめ

本研究では、関東のオフィスビル調査を対象に温熱環境の実測と執務者の熱的主観申告調査を行い、下記の結果が得られた。

1. FR モードで最も多く申告されたのは「4.どちらでもない」申告であり、執務者は温熱環境に満足しているといえる。
2. Griffiths 法での快適温度は FR モードで 25.2°C、CL モードで 25.7°C、HT モードで 24.6°Cであった。
3. 春と秋の快適温度にほとんど差がみられなかったが、冬と夏の快適温度を比較すると、4°Cの季節差がある。

謝辞

実測調査と申告調査に学校法人五島育英会、株式会社日建設、東急不動産株式会社、東京都市大学、パナソニック株式会社、ヒューリック株式会社、横浜市都筑区役所の執務者の方々に多大なご協力を頂いた。本研究は科学研究費(基盤研(C):24560726、基盤研究(B):25289200)の助成を受けた。記して謝意を表す。

参考文献

1. 中谷岳史、松原斎樹、藏澄美仁：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、pp.51-56、2005.11.
2. 飛田国人、中谷岳史、松原斎樹、藏澄美仁、島田理良：関西地域の住宅における冬季の実態調査による中立温度・許容範囲の算出、日本建築学会環境系論文集、No.614、pp.71-77、2007.4.
3. Rijal H.B., Honjo M., Kobayashi R., Nakaya T. (2013),

Investigation of comfort temperature, adaptive model and the window opening behaviour in Japanese houses, *Architectural Science Review* 56(1), pp. 54-69.

4. リジャル H.B.、本庄美穂、小林良太、中谷岳史：住宅における適応的快適性と環境調整行動に関する研究、日本建築学会第42回熱シンポジウム、pp.107-114、2012.11.
5. 勝野二郎、リジャル H.B.、宿谷昌則：夏季のリビングにおける居住者の快適温度と熱的適応に関する研究、日本建築学会環境系論文集、第80巻、第707号、pp.13-20、2015.1.
6. Imagawa H. and Rijal H.B. (2015), Field survey of the thermal comfort, quality of sleep and typical occupant behaviour in the bedrooms of Japanese houses during the hot and humid season, *Architectural Science Review* 58(1), pp. 11-23.
7. Rijal H.B., Humphreys M. and Nicol F. (2015), Adaptive thermal comfort in Japanese houses during the summer season: Behavioral adaptation and the effect of humidity, *Buildings* 5(3), 1037-1054.
8. Rijal H.B., Humphreys M.A., Nicol J.F. (2014), Development of the adaptive model for thermal comfort in Japanese houses, *Proceedings of 8th Windsor Conference: Counting the Cost of Comfort in a changing world, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 10-13 April 2014. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings, http://nceub.org.uk*
9. リジャル H.B.：アジア地域の適応的快適性と環境調整行動、2015年度日本建築学会大会(関東)、環境工学部門、研究協議会資料、pp.21-26、2015.9.
10. リジャルH.B.：日本の住宅に適応モデルの提案、日本建築学会第45回熱シンポジウム、pp.73-80、2015.11.
11. 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、日本建築学会環境系論文集、第565号、pp.17-24、2003.3.
12. Rijal H.B. and Yoshida H. (2006), Winter thermal comfort of residents in the Himalaya region of Nepal, *Proceedings of International Conference on Comfort and Energy Use in Buildings - Getting them Right (Windsor)*, Organised by the Network for Comfort and Energy Use in Buildings, Number of Pages: 15.
13. Nicol. F, Roaf. S. (1996), Pioneering new indoor temperature standards: the Pakistan project, *Energy and Buildings*, 23, pp. 169-174.
14. Rijal H.B. and Stevenson F. (2010), 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.
15. Griffiths I.D. (1990), Thermal comfort in buildings with passive solar features: field studies. Report to the Commission of the European Communities. EN3S-090 UK: University of Surrey Guildford; 1990.
16. 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.

*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)

*3 株式会社東急不動産次世代技術センター 上席研究員