

想像温度に関する研究

その4 関東のオフィスにおける想像温度に関する研究

4.環境工学—10.温熱感

準会員 ○ 朝田真帆 ^{*1} 正会員 リジャル H.B. ^{*2}
正会員 吉田一居 ^{*3}オフィス 寒暑感 気温
想像温度 Griffiths 法 想像快適温度

表1 寒暑感と適温感の申告尺

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	

1.はじめに

人々は室内環境を想像しながら暮らしている。自分の体をセンサーにし、暑いと感じれば室内を涼しくする工夫をし、寒いと感じれば室内を暖かくする工夫をする。室温の予想は想像温度という。冷暖房設備は室内環境を調節するための手段の一つである。オフィスでは冷暖房に依存しがちであり環境問題やエネルギー問題が深刻化するなかで、冬に暖かく、夏に涼しくと感じる様々な工夫を行うことが重要である。

私達が自分の体をセンサーにし想像した温度を基準として冷暖房を設定すると思われる。夏に実際の室温より想像温度を低く想像する人が多ければ、エネルギー削減に繋ぐことができる。例えば、室温が28℃の時26℃と想像すれば、2℃室温を下げるのに必要なエネルギーを節約することができる。

想像温度に関する研究データは比較的少ない。住宅や小学校における想像温度の研究はみられるが^{1)~4)}、オフィスビルに関する研究があまりみられない⁵⁾。

本研究ではオフィスを対象に温熱環境の実測と実際に働く人に熱的主観申告調査を行い、想像温度と実際の室温の差や快適想像温度について明らかにする。

2. 調査方法

本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、4660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。

3. 結果と考察

本研究では申告時に冷暖房を使用していない場合をFRモード(Free Running Mode、非冷暖房時)、冷房がOnの申告の場合をCLモード(Cooling Mode、冷房時)、暖房がOnの申告場合をHTモード(Heating Mode)とした。

3.1 申告中の温熱環境

オフィスにおける室温がどのように分布しているのかを明らかにする。図1に申告中の室温の分布を示す。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℃である。冷房設定温度は環境省が推奨している28℃よりも1.9℃低い。逆に暖房設定温度は環境省が推奨している20℃より4℃高い。冷暖房の設定温度を推奨温度に近づけることでエネルギーを節約できると思われる。特に暖房の設定温度を1℃下げることによって10%エネルギー節約できると言われている。

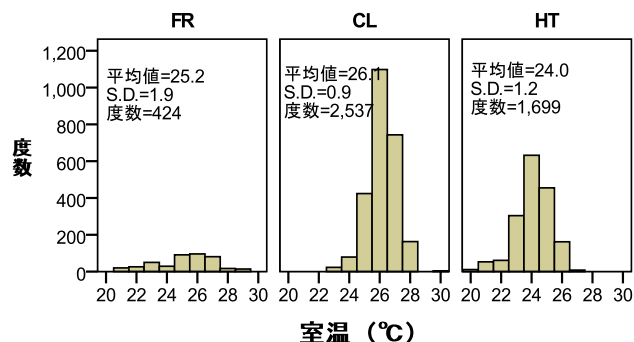


図1 申告中の室温の分布

表2に申告中の外気温度を示す。平均外気温はFRモード時で20.7℃、CLモード時で24.9℃、HTモード時で10.4℃である。FRモードの平均室温と平均外気温度を比較すると室温の方が4.5℃高い。これは窓開閉等の環境調整行動が上手くできていない可能性がある。

表2 申告中の外気温度の分布

Mode	外気温度 (°C)		
	度数	平均値	標準偏差
FR	424	20.7	3.7
CL	2,514	24.9	6.0
HT	1,699	10.4	3.4

3.2 寒暑感と適温感の分布

図2に寒暑感の分布を示す。全てのモードにおいて「4.どちらでもない」申告が最も多い。CLモード時に「5.やや暑い」と感じている人がやや多いため不快に感じていると思われる。

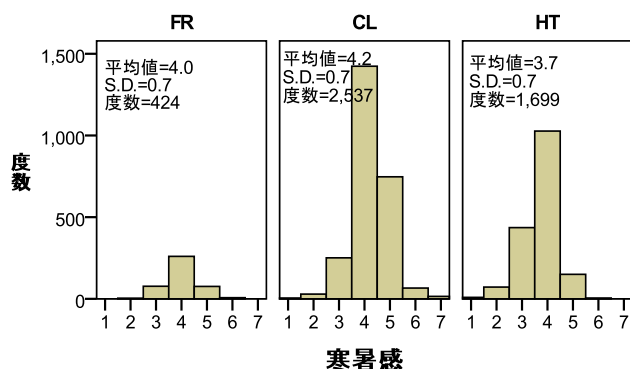


図2 寒暑感の分布

図3に適温感の分布を示す。全てのモードにおいて「3.このままで良い」申告が最も多かった。また、CLモード時に「4.少し涼しく」申告、HTモード時に「2.少し暖かく」申告もやや多かった。

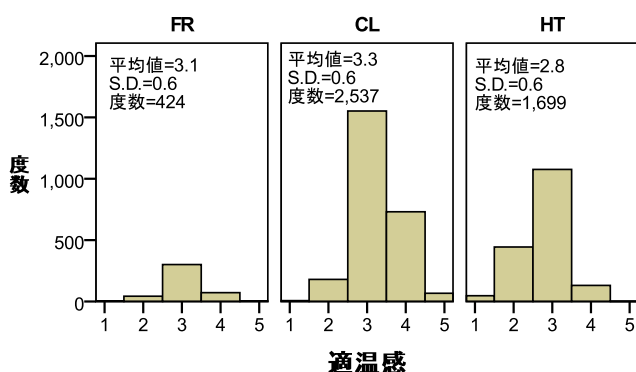


図3 適温感の分布

図4に適温感と寒暑感の相関関係を示す。適温感と寒暑感の関係が対角線になっており、二つの尺度がよく対応関係していることがわかる。両者の相関係数は非常に高い($r=0.76\sim0.78$)。

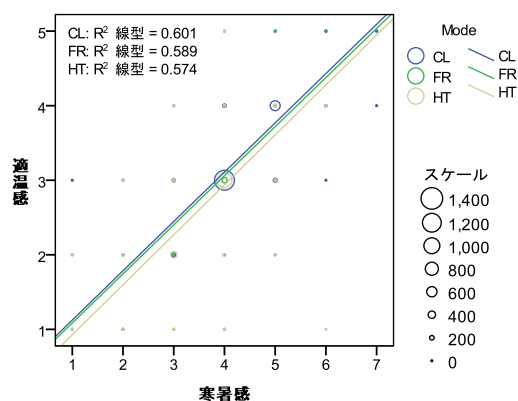


図4 適温感と寒暑感の関係

3.3 想像温度の分布

図5に室内想像温度の分布を示す。平均値はFRモードで23.5℃、CLモードで25.0℃、HTモードで22.1℃である。FRモードとHTモードの標準偏差が2.9℃であり、CLモードよりデータのばらつきが大きい。

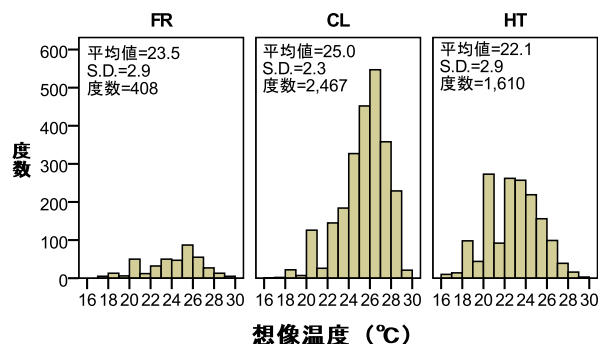


図5 想像温度の分布

3.4 想像温度と室温の差

室温に対し想像温度がどれだけの差が生じているのかを分析する。図6に想像温度から室温を差し引いた値を示す。想像温度と室温の差はFRモードで-1.7℃、CLモードで-1.1℃、HTモードで-2.0℃である。人々は実際の室温よりも約1.5℃低く想像していることがわかる。住宅の想像温度と室温の差の平均はFRモードで-1.2℃、CLモードで-1.0℃、HTモードで-0.4℃だった²⁾。住宅ではHTモードでオフィスに比べて高く想像しているのが、住宅では着衣量で自由に調整できるためと思われる。

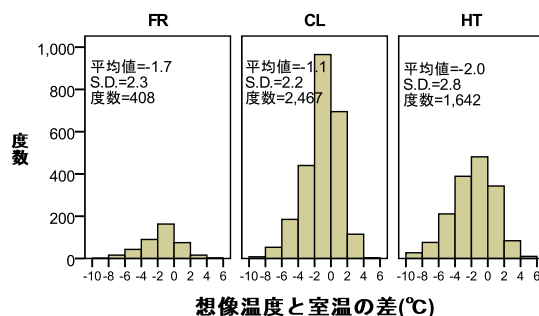


図6 想像温度と室温の差の度数分布

3.5 室温から想像温度の予測

室温から想像温度を予測するために、図 7 に想像温度と室温の散布図を示す。室温が上がる毎に想像温度が上っており、正の相関関係になっている。FR、CL、HT モードのそれぞれの回帰式を下記に示す。

$$FR: T_{con} = 0.892T_i + 1.062 (n=408, r=0.59, p<0.001) \quad (1)$$

$$CL: T_{con} = 0.821T_i + 3.538 (n=2467, r=0.33, p<0.001) \quad (2)$$

$$HT: T_{con} = 0.591T_i + 7.878 (n=1642, r=0.26, p<0.001) \quad (3)$$

T_{con} : 想像温度(°C)、 T_i : 室温(°C)である。

回帰係数は FR モード、CL モードと HT モードの順に高い。例えばこれらの式に室温 26°C を代入すると、想像温度は FR モードで 24.3°C、CL モードで 24.9°C、HT モードで 23.2°C になる。このように室温から想像温度を予測することができ、冷暖房の設定温度を決めるのに役立つと思われる。

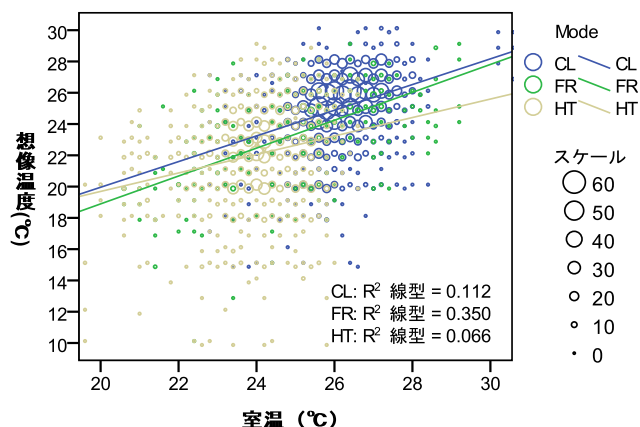


図 7 想像温度と室温の関係

3.6 室温と寒暑感や適温感の関係

この節では各寒暑感や適温感を比較し、人々が何度で快適不快に感じるのかを分析する。表 3～表 6 において各寒暑感や各適温感における室温と想像温度を示す。

注目すべき点として寒暑感の「4.どちらでもない」と適温感の「3.このままで良い」の平均室温が同一直線になっている。

寒暑感の「4.どちらでもない」と感じる想像温度は FR モードで 23.5°C、CL モードで 24.7°C、HT モードで 22.4°C であり、室温よりそれぞれ 1.6°C、1.3°C、1.8°C 低い。これらの温度よりも低く想像すれば寒く、高く想像すれば暑く感じている。

適温感の「3.このままで良い」と感じる想像温度は FR モードで 23.4°C、CL モードで 24.7°C、HT モードで 22.5°C であり、室温よりそれぞれ 1.7°C、1.3°C、1.7°C 低い。人々が FR モードで 21.1°C、CL モードで 23.8°C と HT モードで 20.9°C になると「少し暖かく」、FR モードで 25.4°C、CL モードで 25.8°C と HT モードで 23.1°C になると「少し涼しく」と求めている。

人間は外気温度からではなく、実際の室温から想像温度を予測し、その温度によって快適に感じたり不快に感じたりすると思われる。快適であると感じれば、その環境を保つように行動するが、逆に不快に感じれば環境調整行動を行うと思われる。つまり、想像している温度が快適と感じれば、その想像温度が申告者にとって快適温度になると思われる。

表 3 寒暑感における室温

寒暑感	FR			CL			HT		
	度数	平均値	標準偏差	度数	平均値	標準偏差	度数	平均値	標準偏差
1				5	26.3	0.3	9	23.2	2.1
2	4	23.2	1.6	29	25.5	1.0	72	23.1	1.5
3	77	23.8	1.9	251	25.6	1.0	436	23.6	1.4
4	260	25.1	1.6	1424	26.0	0.9	1027	24.2	1.1
5	76	26.7	1.5	747	26.4	0.8	150	24.6	0.8
6	7	27.8	1.2	66	26.9	1.1	5	24.6	1.2
7				15	26.8	1.7			

表 4 各寒暑感における想像温度

寒暑感	FR			CL			HT		
	度数	平均値	標準偏差	度数	平均値	標準偏差	度数	平均値	標準偏差
1				4	23.3	2.5	9	20.4	2.2
2	3	20.3	4.7	29	23.1	3.2	70	19.9	3.3
3	73	21.4	3.4	247	23.8	2.4	417	21.1	2.9
4	253	23.5	2.4	1383	24.7	2.2	994	22.4	2.7
5	72	25.6	2.0	727	25.9	2.0	147	23.4	2.8
6	7	26.0	2.9	63	26.5	2.2	5	21.4	3.8
7				14	27.0	2.4			

表 5 適温感における室温

適温感	FR			CL			HT		
	度数	平均値	標準偏差	度数	平均値	標準偏差	度数	平均値	標準偏差
1	4	21.7	0.6	7	25.5	0.9	47	23.2	1.5
2	43	23.3	1.8	180	25.6	1.0	444	23.6	1.4
3	301	25.1	1.6	1552	26.0	0.9	1076	24.2	1.1
4	72	26.8	1.4	731	26.4	0.8	131	24.6	0.9
5	4	26.6	1.7	67	26.8	1.4	1	23.2	

表 6 各適温感における想像温度

適温感	FR			CL			HT		
	度数	平均値	標準偏差	度数	平均値	標準偏差	度数	平均値	標準偏差
1	4	18.8	3.3	7	23.3	2.4	47	20.5	2.9
2	42	21.1	3.6	175	23.8	2.6	426	20.9	3.0
3	289	23.4	2.5	1509	24.7	2.2	1039	22.5	2.7
4	69	25.4	2.2	712	25.8	2.0	129	23.1	2.8
5	4	27.3	0.5	64	26.8	2.4	1	20.0	

3.7 回帰法による想像快適温度の予測

図 8 に寒暑感と想像温度の散布図を示す。想像温度 24～28°C 付近では寒暑感が「4.どちらでもない」申告が最も多い。得られた回帰式を下記に示す。

$$FR: C = 0.106T_{con} + 1.528 (n=408, r=0.45, p<0.001) \quad (4)$$

$$CL: C = 0.104T_{con} + 1.646 (n=2467, r=0.32, p<0.001) \quad (5)$$

$$HT: C = 0.069T_{con} + 2.209 (n=1642, r=0.28, p<0.001) \quad (6)$$

C : 寒暑感、 T_{con} : 想像温度 (°C)、 n : サンプル数、 r : 相関係数、 p : 有意水準である。

これらの式に寒暑感の「4.どちらでもない」を代入する

と、想像快適温度は FR モードで 23.3℃、CL モードで 22.6℃、HT モードで 26.0℃となる。これらを表 3～6 の寒暑感の「4.どちらでもない」と適温感の「3.このままで良い」を温度と比較すると、FR モードと CL モードの値はほとんど同じだが、HT モードでは高くなっている。よって次節では Griffiths 法を用いて想像快適温度を検討する。

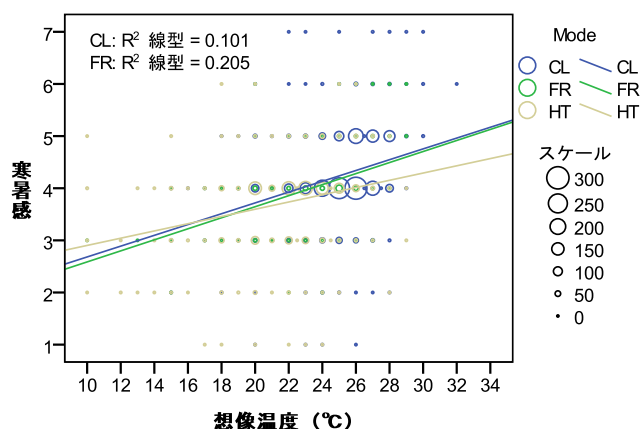


図 8 寒暑感と想像温度の関係

3.8 Griffiths 法による想像快適温度の予測

想像快適温度は Griffiths 法を用いて計算する。Griffiths 法の式は下記に示す^{6)～8)}。

$$T_c = T_i + (4 - C) / a \quad (7)$$

T_c : Griffiths 法による快適温度 (°C)、 T_i : 室温 (°C)、 C : 寒暑感申告、 a : 回帰係数 (0.5 と仮定) である。

図 9 に Griffiths 法を用いて想像快適温度を示す。想像快適温度は FR モードで 23.5℃、CL モードで 24.5℃、HT モードで 22.6℃である。これらの値を表 3～6 の寒暑感の「4.どちらでもない」と適温感の「3.このままで良い」を温度と比較すると、あまり差がないため、Griffiths 法の方が妥当的である。

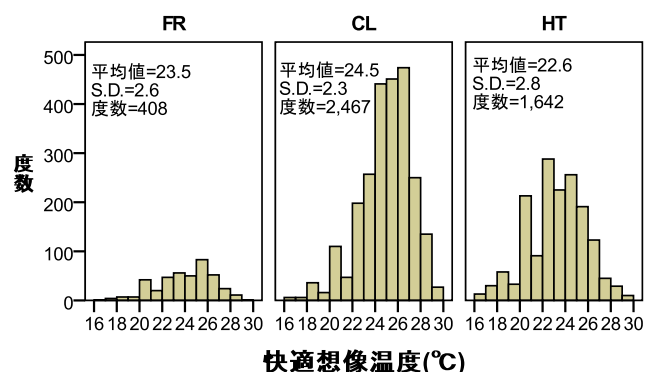


図9 想像快適温度の分布

4. まとめ

本研究では、東京都と神奈川県にある 11 棟のオフィスビルを対象に温熱環境の実測と想像温度に関する熱的主観申告調査を行い、下記の結果が得られた。

1. オフィス内の平均室温は FR モードで 25.2℃、CL モードで 26.1℃、HT モードで 24.0℃である。冷房設定温度は環境省が推奨している 28℃よりも 1.9℃低い。逆に暖房設定温度は環境省が推奨している 20℃より 4℃高い。
2. 想像温度と室温の差は FR モードで -1.7℃、CL モードで -1.1℃、HT モードで -2.0℃である。人々は実際の室温よりも約 1.5℃低く想像していることがわかった。
3. Griffiths 法で算出した快適想像温度は FR モードで 23.5℃、CL モードで 24.5℃、HT モードで 22.6℃である。

謝辞

実測調査と申告調査に学校法人五島育英会、株式会社日建設計、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. 酒井匠、リジャル H.B.: 夏と秋における住宅の想像温度と想像快適性に関する研究、日本建築学会関東支部研究報告集、pp.121-124、2010.
2. 永田圭一、リジャル H.B.: 岐阜の住宅におけるに熱的快適性に関する実態調査 その 9 想像温度の検討、pp.455-456、2012.9.
3. 竹林洋輔、リジャル H.B.: 想像温度に関する研究：その 1 関東のリビングにおける快適・不快に感じる想像温度の検討：日本建築学会関東支部研究報告書、pp.9-12、2013.3.
4. 町口賢宏、斉藤雅也、辻原万規彦、鈴木信恵、宿谷昌則、羽山広文：札幌と熊本の小学児童の温熱的不快と想像温度・実際室温、日本建築学会北海道支部研究報告集、pp.293-296、2011.7.
5. 斉藤雅也：ヒトの想像温度と環境調整行動に関する研究、夏季の札幌における大学研究室を事例として、日本建築学会環境系論文集、pp.1299-1306、2009.12.
6. Griffiths I.D.: 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.
7. 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 Pakistan buildings, ASHRAE Transactions 114(2), pp. 555-573.
8. 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.

*1 東京都市大学環境学部 学部生

*2 東京都市大学環境学部 准教授・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