

リビングにおける温熱環境と快適感に関する研究

4.環境工学—8.熱

準会員 ○ 勝野二郎^{*1}正会員 H.B.リジャル^{*2}菊池世政啓^{*3}

リビング 気温 湿度
実測 想像室温 快適感

1. はじめに

日本のエネルギー需要は1980年代半ば以降、一部を除いて一貫して伸びている¹⁾。近年では、各家庭でのエアコンの普及率が過去と比べ大幅に上がっている²⁾。また、2010年度の夏季の平均気温は、統計を開始した1898年以降の113年間で第一位となり³⁾、今後とも暑い日が続き、家庭部門の冷房エネルギー消費量が増加すると思われる。

今までの住宅の温熱環境に関する研究では、一部の地域における特定の住宅の種類や構造に限定した研究が多く⁴⁾¹⁰⁾、その一方で様々な種類の住宅で同時に実測して温熱環境を相互比較した研究は少ない。実際、人々は様々な種類の住宅に住んでいるため、住宅の種類や居住者の行動による室内環境の特徴を明らかにする必要がある。

住宅においてリビングは、居住者が特に集まりやすく、住宅の中心的な空間であるため、リビングの温熱環境は居住者の生活行為に大きな影響を与え、他の部屋に比べてエアコンの使用頻度が高いと思われる。リビングが暑くも寒くもない温熱環境が長時間保たれば必然的にエアコンの使用時間が少なくなると考えられる。そこで本研究では関東地域の住宅を対象にリビングの温熱環境の実態把握と居住者の熱的快適感について明らかにする。

2. 調査方法

本研究では長期的調査と短期的調査を行った。各調査の概要を表1に示す。対象住居の室温・相対湿度は小型温湿度計を用いて10分間隔で測定する実測調査を行った。気象データは最も近い気象台のデータを用いた。調査は居住者に一日数回任意で総合的な快適感(気温、湿度、風、明るさなどを考慮)についてと、今の温度が何℃だと感じるかの申告調査を行った。申告項目と尺度を表2に示す。

表1 調査概要

調査	調査期間	調査対象	申告者数
長期的調査	2010年7月～2011年7月	東京都・横浜市・三浦市の住宅のリビング(11軒)	29
短期的調査	2011年8月5日～18日 2011年8月24日～9月6日	東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県の住宅のリビング59軒	109

3. 結果と考察

3.1 リビングの温湿度の状況

リビングの温熱環境を明らかにするために、各調査の気温と相対湿度分布や平均値を比較する。時間帯は0:00～5:50を夜、6:00～11:50を朝、12:00～17:50を昼、18:00～23:50を夕とした。表3に各調査のリビングの平均室温を示す。長期的調査における夏季の平均室温は冷房がない住宅で28.0℃、冷房がある住宅で27.2℃であり、冷房がない住宅の室温の方が約1℃高い。短期的調査では平均室温は28.9℃であり、夏の長期的調査の冷房ありとなしの住宅の平均室温27.6℃より1.3℃低い。なお、短期的調査は冷房有無の情報がないので分類していない。2011年は節電を呼び掛けられた年であるため、居住者が例年よりも冷房の設定温度を高くしているか、冷房の使用を控えていると思われる。長期的調査における冬季の全住宅の平均室温は暖房がない住宅で12.3℃、暖房がある住宅で17.0℃である。暖房の有無はストーブやヒーター、こたつなどは考慮していない。暖房が無いと分類した住宅でもストーブやヒーターを使用している可能性があるが、暖房あり、なしの住宅では約5℃の差がある。このように冷暖房がある住宅は冷暖房がない住宅より室温調節機器を使用する傾向にあると思われる。季節差を長期的調査で比較すると冷暖房の無い住宅は夏で28.0℃、冬で12.3℃であり、15.7℃の季節差がある。また、冷暖房のある住宅は夏季で27.2℃と冬季で17.0℃であり、10℃の季節差がある。時間帯別に平均室温をみると、どの季節も時間帯による室温の差はほとんどみられない。

平均相対湿度は、長期的調査における夏季の冷房がない住宅で67%、冷房がある住宅で65%であり、短期的調査では63%である。冬季の暖房のない住宅とある住宅は両方とも49%であり、冷暖房有無による湿度の差はないと思われる。夏季と冬季の季節差は冷暖房がない住宅で18%、冷暖房がある住宅は16%である。

表2 快適感申告と尺度

今の総合的な快適感を教えてください。(気温、湿度、風、明るさなどを考慮して下さい)	
尺度	項目
6	とても快適
5	まあまあ快適
4	少し快適
3	少し不快
2	まあまあ不快
1	とても不快

表 3 各調査のリビングの平均室温

調査	冷暖房有無	季節	室温 T_i (°C)				
			全日	朝	昼	夕	夜
長期的調査	なし	夏	28.0	27.9	28.7	27.8	27.4
		秋	23.2	23.0	23.2	23.4	23.0
		冬	12.3	16.4	15.9	17.0	15.8
		春	20.3	20.2	20.3	20.9	19.9
	あり	夏	27.2	27.1	27.9	27.1	26.8
		秋	22.8	22.4	23.2	23.2	22.4
短期的調査	All	冬	17.0	15.9	17.5	18.6	16.1
		春	20.2	19.5	20.7	20.9	19.6
		夏	28.9	28.9	29.7	28.7	28.5

3.2 内外温度差

住宅の熱的性能を検証するために、各住宅の内外温度差を比較する。各調査の内外温度差の平均値を表 4 に示す。図 1 に夏季と図 2 に冬季の長期的調査における内外温度差の平均値と 95%信頼区間を示す。長期的調査における夏季の平均内外温度差は冷暖房がない住宅で 1.8K、冷房がある住宅で 0.8K である。冬季の平均内外温度差は、暖房がない住宅で 8.8K、暖房がある住宅で 9.7K である。夏の内外温度差は冷房がない住宅は冷房がある住宅より内外温度差が大きく、冬は暖房がある住宅の方が内外温度差が大きい傾向にある。これは冷暖房と窓開閉による気温調節の仕方の差によるものと思われる。

時間帯別に分けて比較をすると、長期的調査と短期的調査における夏季の最も内外温度差が大きい時間帯は冷房有無に関わらず夜であり、これは夜中から朝方にかけて外気温度が低下し、室内へ影響を及ぼすためと思われる。夏季の冷房のある住宅の昼の内外温度差は-0.7K、短期的調査の昼は-0.4K であり、外気温より室温の方が低くなっている。これは 4 つの時間帯で最も居住者が冷房を使用する時間帯であるためと思われる。冬季の内外温度差の最も内外温度差が大きい時間帯は暖房有無に関わらず夕であり、これは居住者が最も暖房を使用する時間帯であるからと思われる。季節差を長期的調査と比較すると冷暖房の無い住宅は夏季で 1.8K、冬季で 8.8K である。8K の季節差があり、冷暖房のある住宅は夏 0.8K と冬 9.7K であり、9.1K の季節差がある。

本研究と比較するため、表 5 に既往研究の住宅の平均内外温度差を示す。既往研究における平均内外温度差は夏季に行われた調査の住宅で 2.3~2.7K であり、冬季の調査では 18.9~20.6K である。本研究における長期的調査の夏季の冷房ありとなしの住宅の内外温度差を平均すると 1.3K であり、大きな差はみられないが、冬季は 14.7K であり、4K 以上の差がある。冬季の既往研究の住宅は東北地方であり居住者が寒さに慣れているため暖房などで室温を調節しなくても室内で過ごせるためだと思われる(8-10)。

表 4 各調査のリビングの内外温度差

調査	冷暖房有無	季節	内外温度差(K) 室温 T_i - 外気温 T_o				
			全日	朝	昼	夕	夜
長期的調査	なし	夏	1.8	1.2	0.5	2.3	3.0
		秋	4.2	4.2	2.3	4.7	5.6
		冬	8.8	9.4	5.9	9.6	3.5
		春	5.9	5.7	3.6	6.7	7.5
	あり	夏	0.8	0.3	-0.7	1.3	2.2
		秋	3.9	3.7	2.3	4.5	5.1
短期的調査	All	冬	9.7	9.2	7.5	11.1	10.8
		春	5.6	5.0	3.7	6.6	7.1
		夏	1.1	0.5	-0.4	1.7	2.7

表 5 既往研究における住宅の内外温度差

季節	所在地	住宅情報	住宅数	室温(°C)	外気温(°C)	内外温度差
夏	富山県高岡市	木造	2	28.0	25.7	2.3
	奈良県奈良市	木造	2	29.5	26.8	2.7
冬	青森県八戸市	木造	4	20.8	0.2	20.6
	岩手県沢村市	木造	2	18.7	-0.2	18.9
	山形県山形市	木造	2	18.7	-0.7	19.4

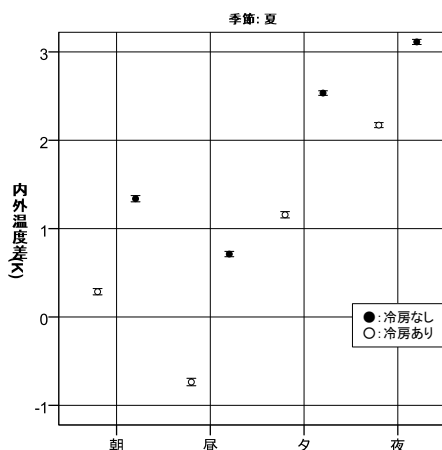


図 1 夏季における平均内外温度差

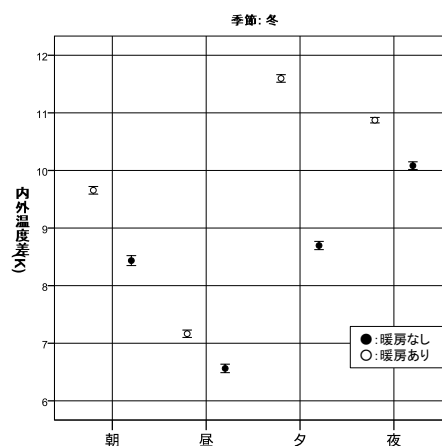


図 2 冬季における平均内外温度差

3.3 室温の予測

住宅の室温を予測するために、図 3 に夏季、図 4 に冬季の長期的調査における冷暖房有無における室温と外気

温の相関関係を示す。各季節の一次回帰式は表6に示す。

どの季節も冷暖がない住宅の回帰係数や相関係数は冷暖房がある住宅より大きい傾向にある。例として夏季の外気温度を30℃と仮定すると夏季の冷房のない住宅は30.7℃、冷房のある住宅は28.7℃と予測される。冬季の外気温度を10℃と仮定すると、暖房のない住宅は15.3℃、暖房のある住宅は19.6℃と予測される。回帰式によると夏季より冬季の方が冷暖房有無による室温の差が大きいと予測される。

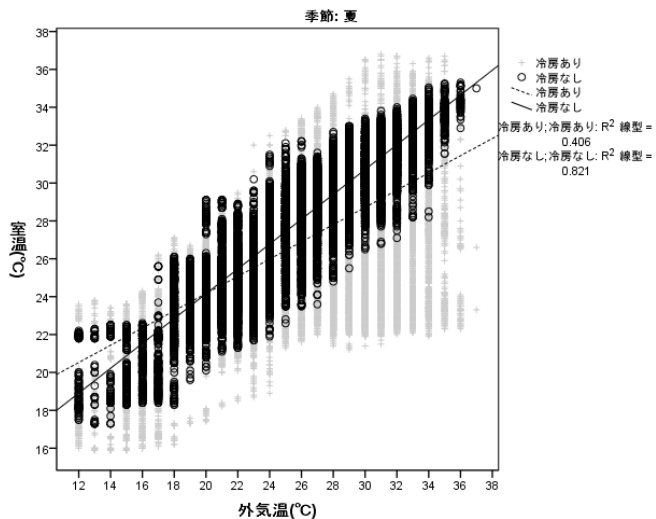


図3 夏季における冷房有無の室温と外気温度の関係

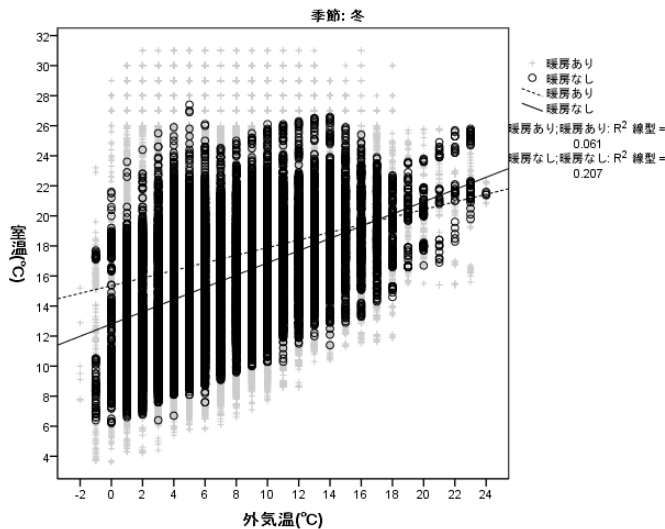


図4 冬季における暖房有無の室温と外気温度の関係

表6 各季節の室温と外気温度の回帰式

調査	季節	冷暖房有無	n	回帰式	r	p
長期的調査	夏	なし	42,313	$T_i = 0.6567T_o + 11.043$	0.91	<0.001
		あり	98,738	$T_i = 0.4557T_o + 15.068$	0.64	<0.001
	秋	なし	38,872	$T_i = 0.6697T_o + 10.416$	0.88	<0.001
		あり	90,676	$T_i = 0.5457T_o + 12.525$	0.80	<0.001
	冬	なし	37,573	$T_i = 0.2547T_o + 12.803$	0.46	<0.001
		あり	87,375	$T_i = 0.4077T_o + 15.535$	0.25	<0.001
春	なし	31,870	$T_i = 0.4997T_o + 12.975$	0.79	<0.001	
	あり	74,368	$T_i = 0.3937T_o + 14.520$	0.63	<0.001	
短期的調査	夏	All	116,985	$T_i = 0.3487T_o + 19.266$	0.52	<0.001

T_i : 室温(℃)、 T_o : 外気温(℃)、n: データ数、r: 相関係数、p: 有意水準、 T_{i30} : 外気温が30℃の時に回帰式から予測した室温(℃)

3.4 居住者の快適感評価

居住者の熱的快適感を把握するために図5に長期的調査における各季節の居住者の快適感評価を示す。申告中に室内を自然換気していた場合はNVモード、冷房使用時はACモード、暖房使用時はHTモードとして区別して検討した。冬季のNVモードの快適感評価が最も低い。(3.少し不快に近い。) それ以外の季節とモードの快適感評価はほとんど「4.少し快適」の前後であり居住者は概ね温熱環境に満足していると思われる。

図6にNVモードにおける快適感と室温の関係、図7にNVモードにおける快適感と想像室温の関係を示す。得られた2次回帰式は下記に示す。AC・HTモードの二次回帰式は有意差がないため示していない。

$$OC = -0.021T_i^2 + 1.018T_i - 8.180 (n=1991, r=0.38, p<0.001) \quad (1)$$

$$OC = -0.022T_{ic}^2 + 1.013T_{ic} - 7.146 (n=1971, r=0.52, p<0.001) \quad (2)$$

T_i は室温、 T_{ic} は想像室温、nはデータ数、pは有意水準である。この二次式を微分して $OC=0$ を代入すると、最も快適な室温は24.2℃、最も快適な想像温度は23.0℃になる。これらの温度よりも室温が上昇や低下すると快適感が徐々に低下している。想像温度の最も快適な温度は、最も快適な室温より1.2℃低くなっている。これは居住者が実際の室温よりも想像室温を低く予測し、低い温度を思い込むことによって心理的に高い温度を快適に感じていると思われる。

居住者が不快と感じた場合、夏季にどのような行動をしたかを短期的調査を用いて分析する。図8に不快な場合に行いたい行動を示す。NVとACモードにおいての各項目の平均値を高い順に並べたものである。総合的な快適感についての申告で、「1.とても不快」～「3.少し不快」の申告をした場合のみ申告を取った。全体的にみると、NVとACモードが比較的似た結果となっているが、両者の差が顕著に表れているのが「窓を開ける」、「冷房を使う」である。NVモードでは窓を開けて自然通風より自然な快適さを求めるのに対し、ACモードではすでに冷房を使っているのにも関わらず、より機械的な手法で室内環境の調整を好んでいる傾向にあると思われる。

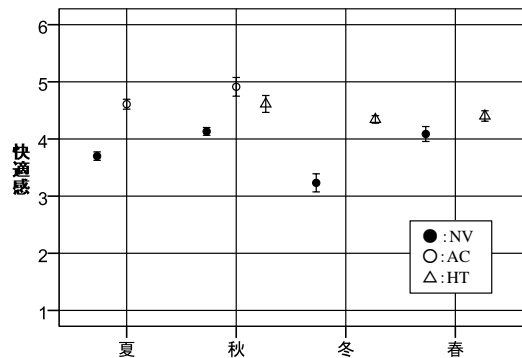


図5 長期的調査における各季節の居住者の快適感評価

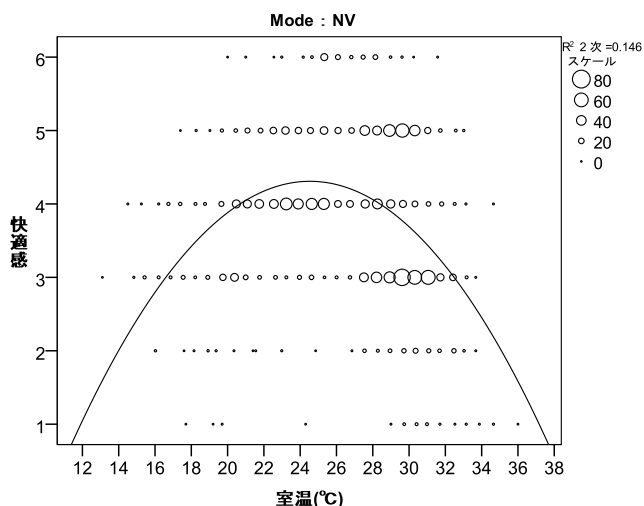


図6 NVモードにおける快適感と室温の関係

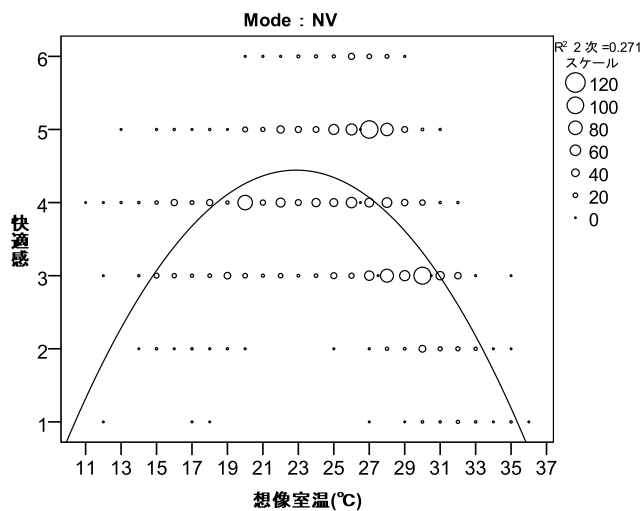


図7 NVモードにおける快適感と想像室温の関係

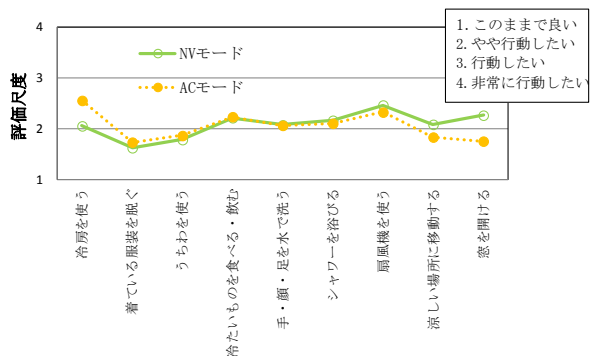


図8 夏季に不快な場合に行いたい行動の平均値

4. まとめ

本研究では、関東地域の住宅を対象に年間のリビングにおける温熱環境と居住者の快適感の申告調査を行い、下記の結果が得られた。

1. 平均室温は夏季の冷房がない住宅で 28.0℃、冷房がある住宅で 27.2℃であり、冬季の暖房がない住宅で

12.3℃、暖房がある住宅で 17.0℃である。冷暖房がある住宅は冷暖房がない住宅より室温調節機器を使用する傾向にある。

2. 平均内外温度差は夏季の冷房がない住宅で 1.8K、冷房がある住宅で 0.8K であった。冬季の暖房がない住宅で 8.8K、暖房がある住宅で 9.7K である。これは冷暖房と窓開閉による気温調節の仕方の差によるものである。
3. 回帰式によると夏季より冬季の方が冷暖房有無による室温に大きな差がある。
4. 想像温度の最も快適な温度は、最も快適な室温より 1.2℃低くなっている。これは居住者が、実際の室温よりも想像室温を低く予測し、低い温度を思い込むことによって心理的に高い温度に快適に感じている。

謝辞

短期的調査において川本工業株式会社の田邊剛士氏社員の方々とそのご家族の方に多大なご協力を頂いた。また、長期的調査と申告調査は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、酒井匠、重野悠、田屋博貴、西村美沙紀、細川陽平、室本真紀、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

1. 資源エネルギー庁 <http://www.enecho.meti.go.jp/energy/japan/japan01.htm>
2. 主要耐久消費財の世帯普及率推移 <http://www2.ttcn.ne.jp/honkawa/2280.html>
3. 気象庁平成 22 年報道発表資料 <http://www.jma.go.jp/jma/press/1009/01a/temp10jsum.html>
4. 長谷川兼一、吉野博、芥木紀彰：宮城県における民家を対象とした室内熱環境に関する実測調査、日本建築学会技術報告書第 3 号、pp. 189-192、1996.12.
5. 浦野良美、渡辺俊行、林徹夫、内山明彦：九州北部に残る伝統的民家の熱的快適性に関する研究：日本建築学会計画系論文第 371 号、pp. 27-37、1987.1.
6. 宇野朋子、鉾井修一、布野修司：インドネシア・スラバヤにおける住宅の室内温熱環境に関する実態調査、日本建築学会計画系論文第 564 号、pp. 9-15、2003.2.
7. 澤島智明、松原斎樹、蔵澄 美仁：住宅の断熱性能による冬期居間の温熱環境と暖房の仕方の差異：関西地域における住宅の温熱環境と居住者の住まい方に関する事例研究 その 1、日本建築学会計画系論文第 565 号、pp. 75-81、2003.3.
8. 源城かほり、松本真一、吉野博：東北地域の戸建住宅における冬季の室内温熱環境と暖房エネルギーに関する実測調査、日本建築学会技術報告集第 15 号、pp. 165-170、2002.6
9. 藤村友春、垂水弘夫：富山県高岡市における戸建住宅 3 棟を対象とした温熱環境調査、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、pp.125-126、2004.8
10. 東実千代、久保博子、磯田憲生：自然共生型住宅地における住環境実測調査(その 1)夏季と冬季の住宅の温熱環境、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、pp. 465-466、2007.8

- *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 川本工業(株)R&D 事業部設計部開発課 博士(工学)