

夏季におけるリビングの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}リビング 気温 湿度
実測 夏季 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く、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の特定の住宅の種類や構造に限定した研究が多く²⁻⁹⁾、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、人々が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れば必然的に夏季におけるエアコンの使用時間が少なくなると思われる。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。

表1 建物の概要

表2 快適感申告と尺度

地域	住宅名	種類	構造	AC/NV
東京	A	戸建て	木造	NV
	B	集合住宅	鉄骨造	AC
	C	戸建て	木造	AC
横浜	D	戸建て	木造	NV
	E	戸建て	木造	AC
	F	集合住宅	鉄骨造	NV
	G	集合住宅	鉄骨造	AC
	H	アパート	RC造	AC
	I	戸建て	木造	AC
三浦	J	アパート	鉄骨造	AC
	K	戸建て	木造	AC

AC：冷房あり、NV：冷房なし

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

2. 調査方法

測定は東京都と神奈川県に住居11軒(表1)を対象に、2010年7月6日~8月31日の間行った。対象住戸の室温、相対湿度を小型温湿計10分間隔で測定した。測定高さは約110cmである。の室温、相対湿度を小型温湿計10分間隔で測定した。居住者の総合的な快適感(気温、湿度、風、明るさなどを考慮)について一日数回任意で申告を取った。対象者の年齢は13~64歳で、男性15名、女性14名、計29名である。申告項目と尺度を表2に示す。

3. 結果と考察

3.1 リビングの温湿度分布

リビングの温熱環境を明らかにするために、各住宅の気温と相対湿度分布や平均値を比較する。表3に各家のリビングの室温、相対湿度、内外温度差と内外湿度差を示す。時間帯は6:00~17:50を昼間、18:00~翌朝5:50を夜間とした。図1に全軒の室温分布、図2に各住宅の平均値と95%信頼区間を示す。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。

測定期間中の全住宅の平均室温は冷房がある住宅(AC)で28.1°C、冷房がない住宅(NV)で29.9°Cであり、NVの室温の方が高い(図1)。平均相対湿度は65%~67%である(表3)。冷房を頻繁に使用しているB邸の室温は冷房がない住宅より平均で約5°C低い。

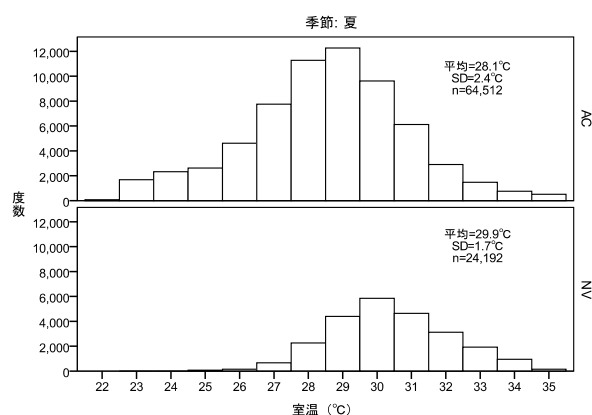


図1 冷房有無の住宅における室温分布

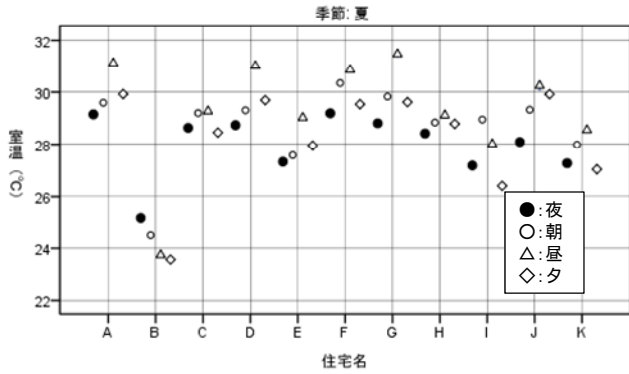


図2 各家の平均室温と95%信頼区間

表3 各家のリビングの温熱環境

地域	住宅	AC/NV	外気温 T_o			内外温度差			外部相対湿度 H_o			内外湿度差		
			室温 T_i (°C)	全日	昼間	夜間	全日	昼間	夜間	全日	昼間	夜間	全日	昼間
東京	外気温 T_o		29	30.2	27.8				69	64	73			
	A NV		29.9	30.4	29.5	0.9	0.2	1.7	69	67	71	0	3	-2
	B AC		24.3	24.1	24.4	-4.7	-6.1	-3.4	62	59	64	-7	-5	-9
	C AC		28.9	29.3	28.5	-0.1	-0.9	0.7	65	64	65	-4	0	-8
横浜	外気温 T_o		28	29.5	26.7				74	68	79			
	D NV		29.7	30.2	29.2	1.7	0.7	2.5	67	66	68	-7	-2	-11
	E AC		28	28.3	27.6	0.0	-1.2	0.9	74	75	74	0	7	-5
	F NV		30	30.6	29.4	2.0	1.1	2.7	65	62	68	-9	-6	-11
	G AC		29.9	30.7	29.2	1.9	1.2	2.5	63	61	64	-11	-7	-15
	H AC		28.8	29	28.6	0.8	-0.5	1.9	63	63	63	-11	-5	-16
	I AC		27.6	28.5	26.8	-0.4	-1.0	0.1	63	64	62	-10	-4	-17
三浦	外気温 T_o		27.2	28.6	25.9				74	68	79			
	K AC		27.7	28.3	27.2	0.5	-0.3	1.3	64	65	64	-10	-3	-15
平均	AC		28.1	28.5	27.7	-0.1	-1.1	0.8	65	64	65	-8	-3	-13
	NV		29.9	30.4	29.4	1.5	0.7	2.3	67	65	69	-5	-2	-8

AC:冷房あり、NV:冷房なし

各時間帯の平均室温を比較するとほとんどの住宅の「夜」の室温は「昼」より低くなっている(図2)。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。

図3に外気温と各住宅のリビングの温度、湿度の時刻変化を示す。8月19日の温度変動をみると、どの住宅のリビングの室温も昼間に外気より低く、夜間に外気より高くなっている。これは昼間に居住者が窓開閉を行うため外気の影響を受けやすいと思われる。B邸は冷房を中心とした生活をしているため、一日中の室温変動は25°C付近で安定している。その他の住宅のリビングでも室温が25°Cまで低下することもあり、ACを使用して室温を調節しているためと思われる。相対湿度は気温と関係するため、昼間に低くて夜間に高い。

既往研究と比較する。日本各地の12軒の伝統的住宅の平均室温は26.0°Cである。本研究の冷房のない住宅より約4°C低い。伝統的住宅の建物の熱的性能や外気温が異なるため単純に比較できないが、近代的な住宅より伝統的住宅の方が夏の温熱環境が優れている可能性がある⁸⁾。

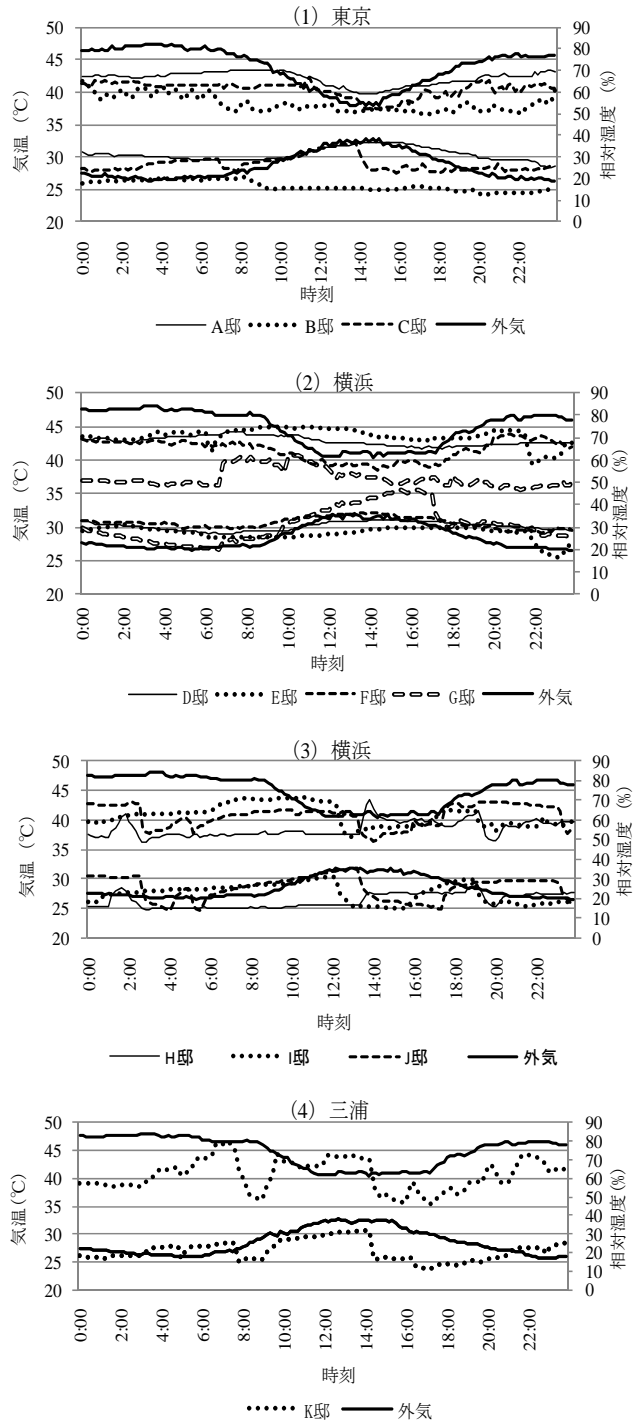


図3 各家の内外の温湿度変動(2010年8月19日)

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。内外温度差の平均値は表3に示す。全軒の内外温度差の分布を図4に示す。また各住宅の内外温度差は図5に示す。

測定期間中の平均内外温度差は冷房がある住宅で0.1K、冷房がない住宅で1.5Kである(図4)。既往研究と比較すると伝統的住宅の平均内外温度差は土座の影響の大きい山形県山形市の民家を除くと1.1Kであり、本研究と類

似している⁸⁾。各住宅の夜間の内外温度差は昼間より大きい(表3)。内外温度差が最も大きいのはB邸であり、昼間には-6.1Kとなっている(表3)。夜間の平均内外温度差が最大2.7°Cになっており、窓開放を行って室内環境を調節すれば、室温を改善できる可能性がある(図5)。

リビングに冷房がない住宅で比較すると、木造住宅(A邸、D邸)の内外温度差は鉄骨製集合住宅のF邸より昼間と夜間とも小さい。

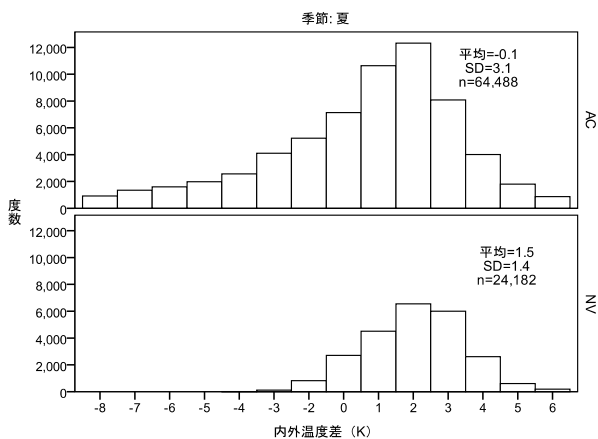


図4 全軒の内外温度差の分布

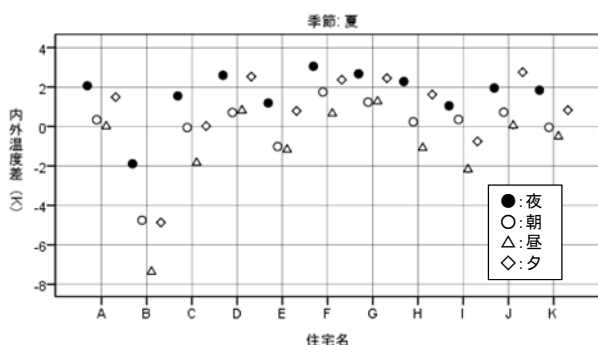


図5 各住宅の内外温度の平均値と95%信頼区間

3.3 室温の予測

住宅の室温を予測するために、例として図7に冷房がある住宅とない住宅における室温と外気温の相関関係を示す。各家の一次回帰式は表4に示す。下記は全体の回帰式である。

$$AC \quad T_i = 0.230T_o + 21.585 \quad (1)$$

$$NV \quad T_i = 0.572T_o + 13.656 \quad (2)$$

冷房がない住宅(NV)の回帰係数や相関係数は冷房がある住宅より大きい。これは冷房がない住宅では窓開放をして自然換気を行っているためであり、冷房がある住宅では冷房を使用して室温を調節しているためと思われる。

住宅Bの回帰係数は-0.113であり、これは外気温が高くなるほど設定温度が低くなるためと思われる。

回帰式によると、外気温が30°Cの時、B邸の予測室温は24.1°Cであるが、他の住宅の予測室温は28.2°C~31.1°Cになっている(表4)。これは住宅の熱的性能、冷房使用の有無、窓開放などによるものと思われる。

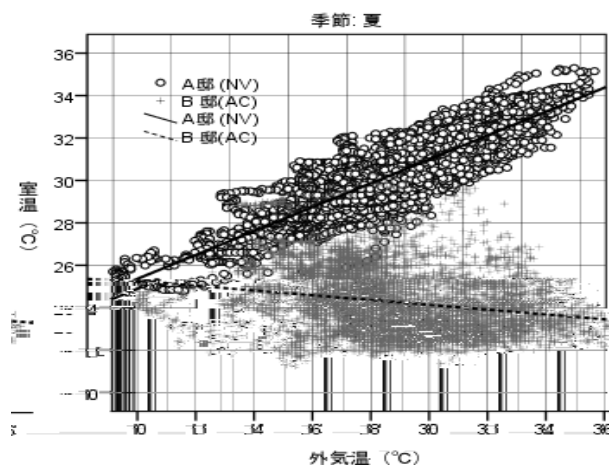


図6 冷房有無における室温と外気温の関係

表4 各家と全体の室温と外気温の回帰式

地域	住宅	NV/AC	n	回帰式	r	p	T _p
東京	A	NV	8,062	T _i =0.563T _o +13.632	0.89	<0.001	30.5
	B	AC	8,062	T _i =-0.113T _o +27.521	-0.21	<0.001	24.1
	C	AC	8,062	T _i =0.202T _o +23.038	0.41	<0.001	29.1
横浜	D	NV	8,060	T _i =0.658T _o +11.232	0.85	<0.001	31.0
	E	AC	8,060	T _i =-0.475T _o +14.657	0.74	<0.001	28.9
	F	NV	8,060	T _i =0.540T _o +14.844	0.85	<0.001	31.0
	G	AC	8,060	T _i =-0.580T _o +13.687	0.70	<0.001	31.1
	H	AC	8,060	T _i =-0.201T _o +23.155	0.36	<0.001	29.2
	I	AC	8,060	T _i =0.294T _o +19.414	0.39	<0.001	28.2
三浦	J	AC	8,060	T _i =-0.458T _o +16.570	0.40	<0.001	30.3
	K	AC	8,064	T _i =-0.314T _o +19.174	0.44	<0.001	28.6
All	AC		64,488	T _i =0.230T _o +21.585	0.24	<0.001	28.5
	NV		24,182	T _i =0.572T _o +13.656	0.85	<0.001	30.8

T_i: 室温(°C)、T_o: 外気温(°C)、AC: 冷房あり、NV: 冷房なし、n: データ数、r: 相関係数、p: 有意水準、T_p: 外気温が30°Cの時に回帰式から予測した室温(°C)

3.4 居住者の快適感評価

居住者の熱的快適感評価を行うために図7に各住宅の快適感の平均値と95%信頼区間を示す。冷房のある住宅の平均快適感が「4.少し快適」の前後である住宅がほとんどであり、快適感評価は高いと言える。これは暑い時に冷房を使用して室温を調節しているためと思われる。冷房のない住宅ではA邸、D邸の平均快適感が「3.少し不快」の前後であり、冷房がある住宅より快適感評価が低い。B邸は頻りに冷房しているため、快適感評価が最も高い。

図8にACモード(冷房使用時)とNVモード(自然換気時)における快適感と室温の関係を示す。最も多く申告されたのは、ACモードで「4.少し快適」、NVモードで「3.少し不快」である。得られた回帰式は下記に示す。

$$AC \quad OC = -0.154T_i + 8.677 \quad (n=601, r=0.29, p<0.001) \quad (3)$$

$$NV \quad OC = -0.199T_i + 9.571 \quad (n=820, r=0.31, p<0.001) \quad (4)$$

OCは快適感である。NVモードの回帰係数や相関係数はACモードより高い。これらの式に室温 28°Cを代入すると、快適感 はACモードで4.4、NVモードで4.0になる。同じ室温に対して両モードの快適感が異なる。

快適感と室温の関係をさらに検討するために、二次回帰分析を行う。得られた回帰式は下記に示す。

$$NV \quad OC = 0.022T_i^2 - 1.093T_i - 9.273 \quad (5)$$

(r=0.33, p₁<0.007, p₂=0.002)

p₁は0.022に対する有意水準、p₂は1.093に対する有意水準である。ACモードの二次回帰式は有意差がないため示していない。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24.8°Cとなる。こ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。寒さによる快適感の低下については今後さらに検討する必要がある。

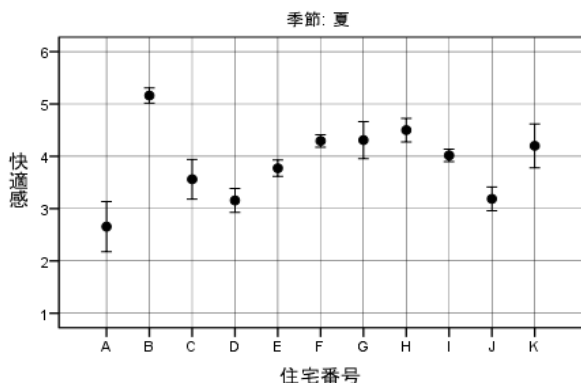


図7 各住宅の居住者の快適感の平均と95%の信頼区間

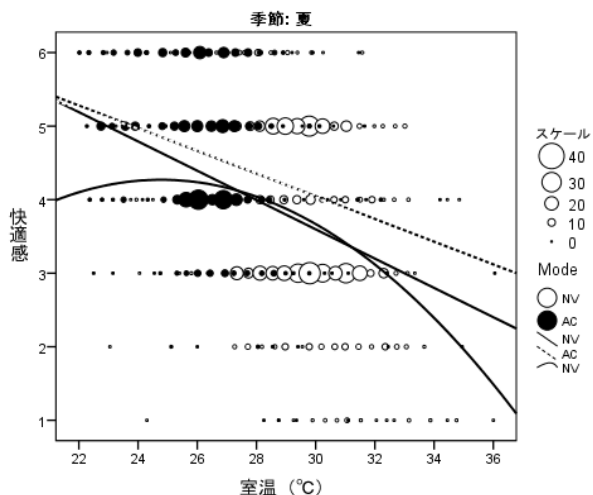


図8 ACとNVモードにおける快適感と室温の関係

4. 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快適感の申告調査を行い、下記の結果が得られた。

1. 測定期間中の全住宅の平均室温は冷房がある住宅が28.1°C、冷房がない住宅が29.9°Cであった。昼間に居住者が窓開閉を行うため外気の影響を受けやすくなり、どの住宅のリビングも室温が昼間に外気より低く、夜間に外気より高くなっている。
2. 平均内外温度差は冷房がある住宅で-0.1K、冷房がない住宅で1.5Kであった。夜間の内外温度差は昼間より大きい。窓開放を行って室内環境を調節すれば、室温を改善できる可能性がある。
3. 冷房のない住宅の室温と外気温に相関があり、外気温が分かれば回帰式を用いて室温を予測できる。
4. 快適感と室温を分析した結果、最も快適な室温は24.8°Cとなり、こ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。

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、酒井匠、重野悠、田屋博貴、西村美沙紀、細川陽平、室本真紀、吉村咲希と和田拓記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、齊木紀彰：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集第371号、pp. 27-37、1987.1.
6. 宇野朋子、銚井修一、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集564号、pp. 9-15、2003.2.
7. 澤島智明、松原斎樹：京都市近辺における住宅居間の熱環境と居住者の住まい方の季節差に関する研究、日本建築学会計画系論文集507号、pp. 47-52、1998.5.
8. リジャル H.B.、吉田治典、梅宮典子：ネパール各地の伝統的住宅における夏季の温熱環境、日本建築学会計画系論文集第557号、pp. 41-48、2002.8.
9. 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集第565号、pp. 75-81、2003.3.

*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)