

夏季における寝室の温熱環境と温冷感に関する研究

4.環境工学—8.熱

準会員 ○ 小澤真之^{*1}正会員 H.B.リジャル^{*2}住宅 寝室 気温
内外温度差 温冷感 快適感

1. はじめに

近年、日本では異常気象や都市の温暖化の影響により最低気温が25℃以上となる熱帯夜の日数が増加し、長期化している。その結果、夏季における睡眠障害の被害が拡大している現状がある。2010年の夏には、熱帯夜の連続日数が過去最高になったのも記憶に新しい。快適な睡眠を得るには、寝室の温熱環境、すなわち気温、湿度の実態把握することが重要である。特に今年の夏のように熱帯夜が続くと眠れない、暑くて目が覚める、疲れがとれない、だるいなどの症状が顕著に表れる。国立環境研究所のアンケート調査によると、人の体温は通常夜から朝方にかけて下がるが、熱帯夜など夜間の高温は睡眠を妨げる要因となる。室温と就寝中の人の体動を実験した調査結果によると、室温22℃(10月)に比べて室温28℃では体動が2倍になったと報告されている²⁾。

今までも寝室の温熱環境³⁾⁴⁾や睡眠の質⁵⁾⁶⁾に関する研究がみられる。しかし、様々な住宅の種類で同時に実測し、寝室に限定して温熱環境を相互比較した研究は少ない。実際には、人々は様々な種類の住宅に住んでおり、住宅の種類による寝室の温熱環境や居住者の温冷感の評価について検討する必要がある。

そこで本研究では、関東地域の住宅を対象に寝室の温熱環境の実測と居住者の温冷感評価の申告調査を行い、寝室の温熱環境や居住者の温冷感の評価について明らかにする。

2. 調査方法

調査期間は2010年7月6日～10月11日までのおよそ3カ月間である。対象住宅は関東地域の11軒(一戸建て住宅6軒、集合住宅3軒、アパート2軒)である(表1)。23個の寝室の温湿度は小型温湿度計を用いて10分間隔で測定した。測定高さは約110cmである。

また、居住者が就寝前と起床後に温冷感申告を7段階尺度で行った(表2)。申告は体が十分に安静した状態で、測定器に表示されている数値は見えないように隠した。申告者は13歳～64歳、男性15名女性14名の計29名で、得られた申告数は約1500個である。

表1 調査対象住宅の概要

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

表2 温冷感申告の尺度

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

3. 結果と考察

3.1 寝室の温湿度分布

寝室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。図1に冷房がある住宅(AC)とない住宅(NV)における寝室の室温分布を示す。寝室に冷房があっても使用していない場合もあるが、冷房を使用している時間帯の記録がないため、本研究では寝室に冷房がある場合とない場合にデータを分けて分析する。冷房がある部屋では冷房を使用すると思われるが、就寝時にタイマーで短時間冷房を利用する場合と自然換気を行う場合がある。

表3に各寝室の室温、相対湿度、内外温度差を示す。図2に各寝室の時間帯別平均室温と95%信頼区間を示す。図には参考のために4つの時間帯の値を示しているが、多くの居住者が就寝すると思われる「夜」を中心に分析

する。なお、夜は 0:00~5:50、朝は 6:00~11:50、昼は 12:00~17:50、夕は 18:00~23:50 と定義する。

冷房がある部屋とない部屋の全データを比較すると、測定期間中の全寝室の平均室温は AC で 28.4℃、NV で 30.3℃であり、両者の差は約 2℃である (表 3、図 1)。これは冷房がある建物では居住者が冷房を使用して室内環境を調節しているためと思われる。しかし、寝室に冷房があっても、冷房を使用しない場合もあるため、冷房がある場合の室温が自然換気を行っている場合の室温に近くなっている。

各住宅で比較すると、B 邸の平均室温は B1 寝室で 24.3℃、B2 寝室で 26.1℃であり、両寝室とも他の住宅より室温がかなり低い (表 3)。これは冷房を頻繁に使用しているためと思われる。「夜」の室温を比較しても、同様のことが言える (図 2)。A 邸、D 邸は他の住宅と比較すると室温が高い。これらの寝室には冷房がなく、窓開放により室温を調節しているためと思われる。冷房を頻繁に使用している B1・B2・E2 寝室の平均室温は 26.0℃で、主に自然換気を行っている他の寝室の平均室温は 30.0℃であり、両者の差は 4℃である。寝室の室温は他の時間帯と比べて夜が最も低い (図 2)。これは朝方の外気温度の低下によるものと思われる。

なお、平均室内相対湿度は AC で 60%、NV で 66% である。「全日」や「夜」の室内相対湿度は外気相対湿度より低い (表 3)。

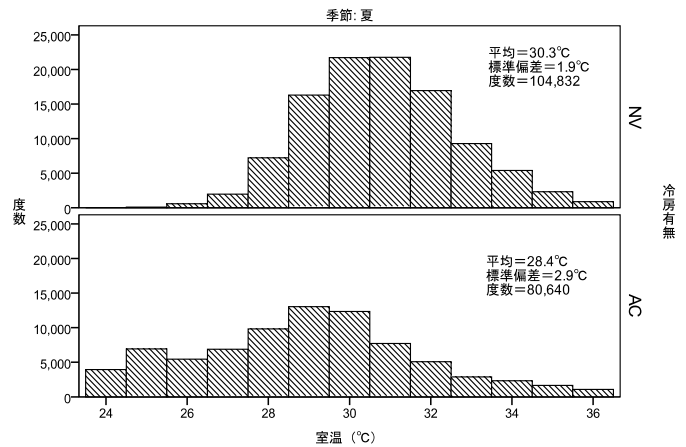


図 1 冷房有無における寝室の室温分布

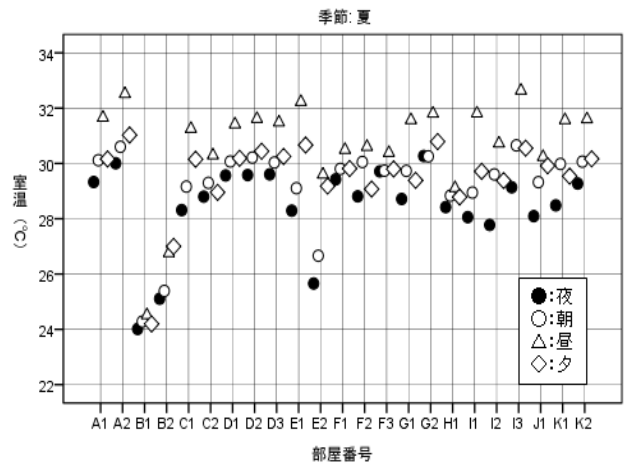


図 2 各寝室の時間帯別平均室温と 95%信頼区間

表 3 寝室の室温、相対湿度、内外温度差と内外湿度差

地域	部屋	AC/NV	外気温度 T_{out}		内外温度差		外気相対湿度 H_{out}		内外湿度差	
			室温 T_{in} (°C)		$T_{in} - T_{out}$ (K)		室内相対湿度 H_{in} (%)		$H_{in} - H_{out}$ (%)	
			全日	夜	全日	夜	全日	夜	全日	夜
東京	外気 T_{out}		29.0	27.1			69	76		
	A1	NV	30.3	29.3	1.3	2.2	67	71	-1	-5
	A2	NV	31.0	30.0	2.1	2.9	63	67	-5	-9
	B1	AC	24.3	24.0	-4.7	-3.1	62	68	-7	-8
	B2	AC	26.1	25.1	-2.9	-2.0	58	62	-10	-14
	C1	AC	29.7	28.3	0.8	1.2	56	57	-12	-19
横浜	C2	AC	29.3	28.8	0.4	1.7	66	67	-2	-9
	外気 T_{out}		28.0	26.1			74	81		
	D1	NV	30.3	29.6	2.3	3.4	63	66	-11	-15
	D2	NV	30.5	29.6	2.4	3.4	62	65	-12	-16
	D3	NV	30.3	29.6	2.3	3.5	64	67	-10	-15
	E1	AC	30.1	28.3	2.0	2.2	55	55	-19	-27
	E2	AC	27.8	25.7	-0.2	-0.5	57	56	-17	-25
	F1	NV	29.9	29.4	1.9	3.3	66	69	-8	-13
	F2	NV	29.6	28.8	1.6	2.7	70	74	-4	-7
	F3	NV	29.9	29.7	1.9	3.6	67	69	-7	-13
	G1	NV	29.8	28.7	1.8	2.6	64	67	-10	-14
	G2	NV	30.8	30.3	2.8	4.1	64	65	-10	-16
H1	AC	28.8	28.4	0.8	2.3	63	63	-10	-18	
I1	AC	29.6	28.1	1.6	1.9	59	63	-15	-19	
I2	AC	29.4	27.8	1.3	1.6	65	71	-9	-11	
I3	NV	30.7	29.1	2.7	3.0	63	67	-11	-14	
J1	AC	29.4	28.1	1.4	2.0	62	64	-12	-17	
三浦	外気 T_{out}		27.2	25.4			74	81		
	K1	NV	29.9	28.5	2.7	3.0	69	73	-5	-9
	K2	NV	30.3	29.3	3.1	3.8	70	72	-4	-9
平均	AC	28.4	27.3	.0	.7	60.5	62.5	-11.2	-16.7	
	NV	30.3	29.4	2.2	3.2	65.6	68.5	-7.4	-12.0	

各部屋のサンプル数:全日=8064、夜=2016、AC=冷房あり、NV=冷房なし

3.2 内外温度差

寝室の熱的性能を明らかにするために、図 3 に各住宅の寝室の内外温度差の平均と 95%信頼区間を示す。内外温度差の平均値は表 3 に示す。

ほとんどの寝室の「夜」の内外温度差は、他の時間帯に比べて高い (図 3)。頻繁に冷房を使用している寝室の「夜」の平均室温は外気温度より約 3℃低い、自然換気を行っている寝室は外気温度より約 4℃高い (図 3)。冷房がない寝室の内外温度差が高いが、窓開放により積極的に自然換気を行って室内環境を調節すれば、室温が低下すると思われる。このように居住者の生活パターンや行動 (冷房使用・窓開放など) によって室内環境は異なる。

表 4 に既往研究と比較するため、日本の伝統的住宅と日平均内外温度差を示す⁷⁾。本来であれば現代住宅同士で比較検討を行うべきであるが、参考のために伝統的住宅と比較を行う。既往の研究の日平均内外温度差は 0.2~2.1K であり、本研究の-0.2~3.1K の範囲とほぼ同じである。ただし、冷房使用頻度が多い B 邸は除いた。

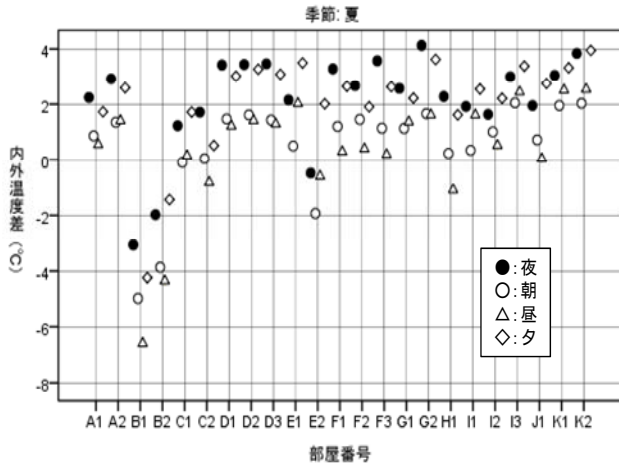


図 3 各寝室の内外温度差の平均と 95%信頼区間

表 4 日本の伝統的住宅の日平均内外温度差

所在地	住宅情報	住宅数	外気温度	室温	内外温度差
本研究 横浜 E2	木造戸建て	1	28.0	27.8	-0.2
本研究 三浦 K2	木造戸建て	1	27.2	30.3	3.1
山梨県敷島町	木造民家	1	26.0	28.5	0.5
山梨県一宮町	木造民家	1	23.9	26.0	2.1
山梨県河口湖町	木造民家	1	21.3	22.7	1.4
山梨県山中湖村	木造民家	1	20.6	21.8	1.2
岐阜県白川村	合掌造り民家	1	27.1	27.3	0.2
岡山県北部	農家	1	24.7	25.3	0.6
高知県高知市	木造民家	1	29.8	31.0	1.2
鹿児島県大隈半島	二棟造民家	2	27.6	29.4	1.8
鹿児島県奄美大島	分棟式民家	2	27.3	28.1	0.8

3.3 室温の予測

寝室の室温を予測するために、図 4 に冷房がある住宅とない住宅の例として B 邸と D 邸の室温と外気温度の相関関係を示す。一次回帰式は表 5 に示す。下記は全体の式である。

$$AC \quad T_i = 0.342 T_o + 18.714 \quad (1)$$

$$NV \quad T_i = 0.576 T_o + 14.118 \quad (2)$$

T_i : 室温 (°C) T_o : 外気温度 (°C)

冷房がある住宅の回帰係数や相関係数は冷房がない住宅より大きい (表 5)。B 邸は外気温度の上昇に伴い冷房を使用しているため、室温と外気温度の相関係数が小さい ($r=0.11$)。反対に D 邸は冷房がなく、外気温度の上昇に伴い室温も上昇するため、室温と外気温度の相関係数が大きい ($r=0.81$) (表 5)。

外気温度が 30°C の時、B 邸の予測室温は 25.3°C であるが、他の住宅の予測室温は 29.2°C ~ 31.7°C となっている (表 5)。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。

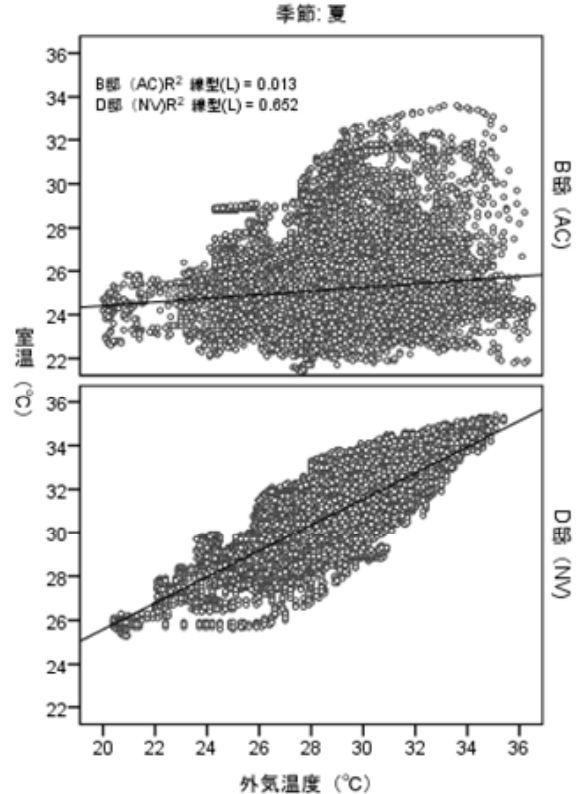


図 4 冷房有無の住宅の室温と外気温度の関係

表 5 室温と外気温度の回帰分析

地域	住宅	AC/NV	n	式	r	p	T_p
東京	A	NV	16124	$T_i = 0.637 T_o + 12.217$	0.87	<0.001	31.3
	B	AC	16124	$T_i = 0.084 T_o + 22.738$	0.11	<0.001	25.3
	C	AC	16124	$T_i = 0.435 T_o + 16.917$	0.59	<0.001	30.0
横浜	D	NV	24180	$T_i = 0.597 T_o + 13.646$	0.81	<0.001	31.6
	E	AC	16120	$T_i = 0.677 T_o + 9.939$	0.56	<0.001	30.2
	F	NV	24180	$T_i = 0.453 T_o + 17.126$	0.78	<0.001	30.7
	G	NV	16120	$T_i = 0.560 T_o + 14.633$	0.69	<0.001	31.4
	H	AC	8060	$T_i = 0.201 T_o + 23.155$	0.36	<0.001	29.2
	I	AC	24180	$T_i = 0.704 T_o + 10.197$	0.67	<0.001	31.3
	J	AC	8060	$T_i = 0.458 T_o + 16.570$	0.41	<0.001	30.3
三浦	K	NV	16128	$T_i = 0.577 T_o + 14.390$	0.74	<0.001	31.7
ALL	AC	80608		$T_i = 0.342 T_o + 18.714$	0.31	<0.001	29.0
	NV	104792		$T_i = 0.576 T_o + 14.118$	0.78	<0.001	31.4

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

3.4 居住者の温冷感評価

居住者の寝室の温熱感覚を明らかにするために、図 5 に NV と AC モードの温冷感の分布を示す。温冷感申告は 7 段階尺度で行った (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)。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 モードの方が暑く感じている。各温冷感は「4. どちらでもない」が 52.5%、「5. やや暑い」が 22.5% を占める。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 5)。

さらに、居住者が寝室でどの程度暑く感じているか明らかにするために、図 6 に NV モードの平均室温に対する平均温冷感と 95%信頼区間を示す。なお、平均室温は室温を、ランダムに 10 グループに分けて平均した値であり、各グループのサンプル数は 88~114 である。

居住者が「4.どちらでもない」から「暑い」と感じ始める平均室温は約 29°Cである(図 6)。居住者が「暑い」と感じている 29°C以降は室温調節がうまくいっていない可能性がある。窓開放などで外気を積極的に取り込めば、「夜」の内外温度差を小さくすることにより居住者が就寝前後にもっと熱的に中立に感じると思われる。

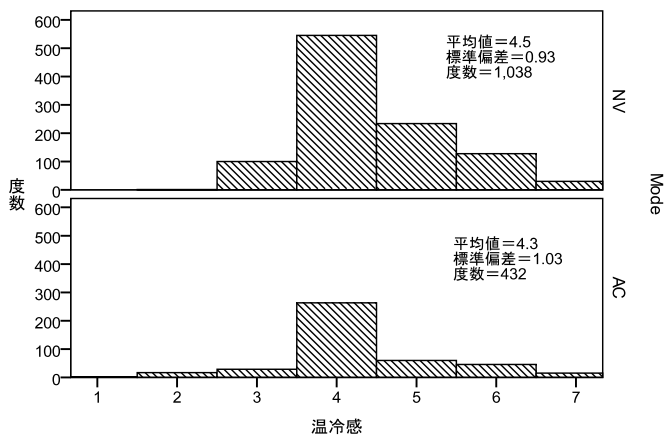


図 5 NV と AC モードの温冷感申告の分布

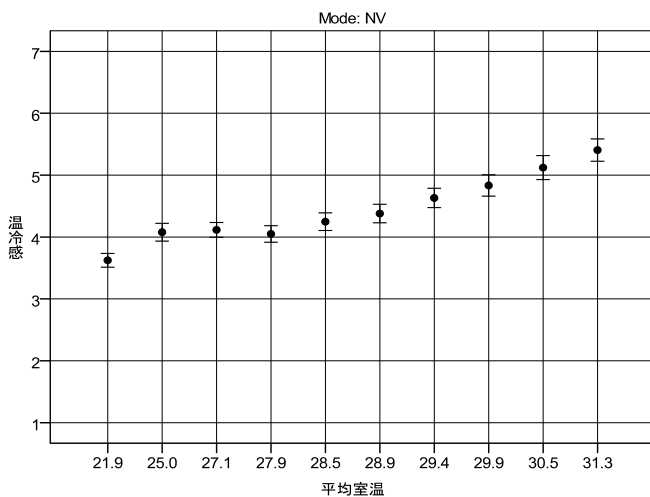


図 6 平均室温に対する平均温冷感と 95%信頼区間

4. まとめ

本研究では、関東地域の住宅を対象に 23 個の寝室の温熱環境の実測と居住者の温冷感評価を行い、下記の結果が得られた。

- 1 冷房を頻繁に使用している B1・B2・E2 寝室の平均室温は 26.0°Cで、主に自然換気を行っている他の寝室

の平均室温は 30.0°Cであり、差は 4°Cである。

- 2 「夜」の平均室温は外気温度より約 3°C低い、自然換気をしている寝室は外気より約 4°C高い。
- 3 平均室内相対湿度は AC で 60%、NV で 66%であり、室内相対湿度は外気相対湿度より低い。
- 5 本研究と既往研究を比較すると、日本の夏季における日平均内外温度差は 0.2~2.1K であり、本研究の 0.2~3.1K の範囲とほぼ同じである。
- 6 冷房がない住宅の室温と外気温度の相関関係は高く、これらは回帰式を用いて室温を予測することができる。
- 7 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。
- 8 居住者が「4 どちらでもない」から「暑い」と感じ始める平均室温は約 29°Cである。

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、勝野二郎、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 気象庁WEBサイト
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>
- 2 国立研究所：温暖化に関するアンケート「平成 15 年度実施」
<http://www.env.go.jp/air/report/h16-04/chpt05.pdf>
- 3 宮野則彦、浅見雅子、宮野秋彦、寝室及び便所の温湿度変化から見た住居環境の考察、日生氣誌、pp. 57~70、1990.
- 4 華山真行、岩前篤、石津京二、石黒晃子、鉢井修一：関西に適した寝室の温熱環境に関する研究、日本建築学会近畿支部研究報告集、pp. 117~120、2005.
- 5 都築和代：季節の住宅温熱環境が高齢者の睡眠と体温調節に及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）、pp. 515~516、2005.9.
- 6 高柳絵里、伊香賀俊治、加藤彰浩：就寝時の温熱環境と疲労感が睡眠の質に与える影響、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、pp. 541~542、2010.9.
- 7 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、2002.7.

*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）