

空調時の至適温度に関する実験的研究

- 戸建住宅における住空間の快適性確保に関する研究 -

(株)ポラス暮らし科学研究所 松本 泰輔 日大生産工 松井 勇
 (株)ポラス暮らし科学研究所 福田 英司

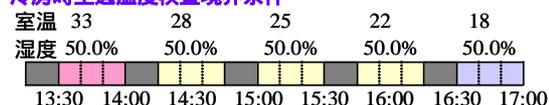
1 まえがき

近年の省エネルギー問題の社会的認識に反して、住宅分野におけるエネルギー消費量は漸増傾向を示している。その中でも、空調用途に使用するエネルギーの割合は1/4と高い。これは、住宅の温熱環境に対する住まい手の要求水準も高揚しているためと推察する。本研究は、戸建住宅における住空間の快適性確保と省エネルギーを両立する空調技術の実現を目指すものである。そのためには、温熱環境に対する住まい手の要求水準の把握が前提となる。以下では、空調時の至適温度に関する官能検査の結果について報告する。



写真1 実験場所

冷房時至適温度検査境界条件



暖房時至適温度検査境界条件

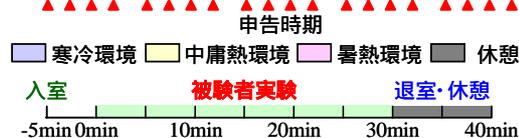
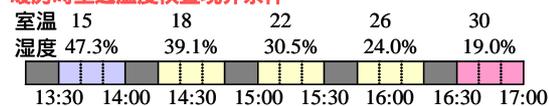


図1 温湿度条件および実験手順

2 実験概要

空調時の至適温度の検討にあたり、官能検査を行った。実験場所は写真1に示す(株)ポラス暮らし科学研人工環境室内の4畳半実験室とした。実験室内の温湿度設定にはステップ変動を与えた。実験室内の温湿度条件および実験手順は表1に示すようにした。主な測定項目は表1に示すものとし、被験者申告には表2に示す言語尺度を用いるものとした。被験者には椅座位安静を指示したが、足の移動や椅座姿勢などの拘束は行わなかった。着衣の細かい指定も行わず、写真2に示すように各自の夏の部屋着、冬の部屋着を用意してもらった。なお、各室温での官能検査の間には、被験者に室温22の前室での15分の休憩を与えることとした。

表1 測定項目

心理量	温冷感	申告表を用いた主観評価
	接触温冷感	
	快適感	
環境物理量	室温	FL+100mm/+200mm/+300mm/ +600mm/+1100mm/+1800mm/ +2000mm/ 床面温度/壁面温度/天井面温度
	相対湿度	FL+600mm
	黒球温度	FL+300mm/+600mm/+1100mm
	風速	FL+300mm/+600mm/+1100mm

3 冷房時の至適温度

住宅の冷房用途に投入されるエネルギーが省エネルギー問題の論点に挙がることは少ない。これは、住まい手が低い室温を求めているがゆえに、夏期の室内外温度差が小さく、空調時においても室内からの熱損失量が抑えられている、あるいは冷房の使用頻度が低いことによるものと考えられる。

ないがゆえに、夏期の室内外温度差が小さく、空調時においても室内からの熱損失量が抑えられている、あるいは冷房の使用頻度が低いことによるものと考えられる。

Relationship of Room Temperature and Residents' Thermal Sensation
 - Research on Realization of Comfortable Habitation Space -

Taisuke MATSUMOTO, Isamu MATSUI and Eiji FUKUDA

表2 主観申告に用いた言語尺度

言語尺度	温冷感			接触温冷感			快適感			
	暑い	暖かい	涼しい	暖かい	涼しい	冷たい	心地よい	普通	不快	
暑い	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
暖かい	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
涼しい	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
暖かい	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
涼しい	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
冷たい	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
心地よい	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
普通	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
不快	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
非常に不快	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
評点	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3	+3	+2	+1



写真2 官能検査風景 (左/冷房 右/暖房)

図2に部位別平均温冷感申告の変動を示す。室温 33 では部位別の較差が大きくなっている。これは休憩に用意した室温 22 の前室との室温差に対する各部位の順加速度の差によるものと思われる。各室温とも胸部，上腕の部位別温冷感と全身温冷感とおおよそ一致する。全身温冷感と近い部位の温冷感で代表されることを示している。

図3に入室30分後の室温と全身温冷感との関係を示す。冷房時には、室温 28 で温冷感「0.中立」付近で申告が集中し、室温 25 では「-1.やや涼しい」～「-2.涼しい」の評価へと変わっている。最小2乗法1次近似直線から温冷感中立温度を求めると 27.5 となり、国家施策として推進しているクールビズ時の設定冷房温度 28 に近い値となっている。

4 暖房時の至適温度

一般に、暖房方式については対流式と放射式の2極化された議論がなされるが、筆者らは床と人体との接触による伝導方式が最も有効ではないかと考えている。実験に際して、写真3に示す実験床と写真4に示す周壁を加熱できる実験室を作成した。実験は写真5に示すように4回行った。実験1は人工環境室の空調設備のみに実験室の環境形成を依存した場合、実験2は接触伝導による暖房効果を把握するために作成した実験床を運転して、椅座位安静状態の被験者に対して足裏加熱を与えた場合、実験3は被験者の足元に踏み台を設置し、床面と足裏を熱絶縁した上で、壁・天井・床の周壁を 35 に加熱した場合、実験4

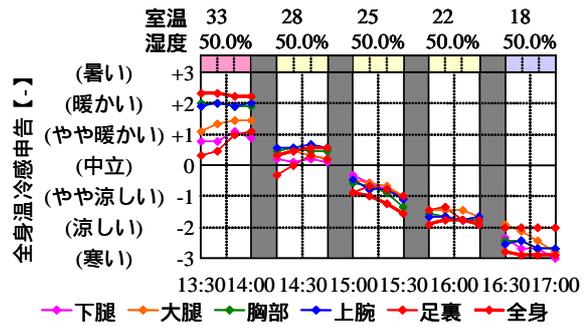


図2 部位別平均温冷感変動(冷房)

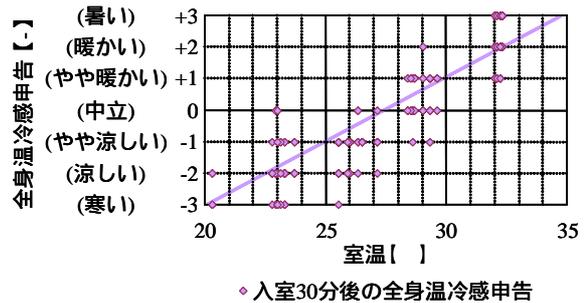


図3 室温と全身温冷感との関係(冷房)

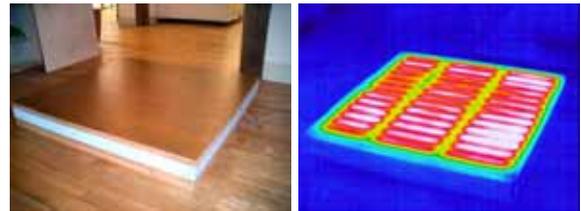


写真3 実験床



写真4 実験室



写真5 官能検査風景(暖房)

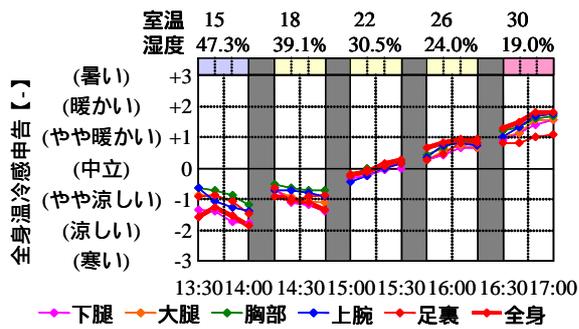


図4 部位別平均温冷感変動(実験1)

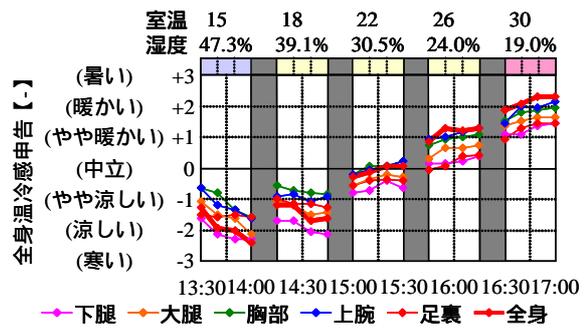


図6 部位別平均温冷感変動(実験3)

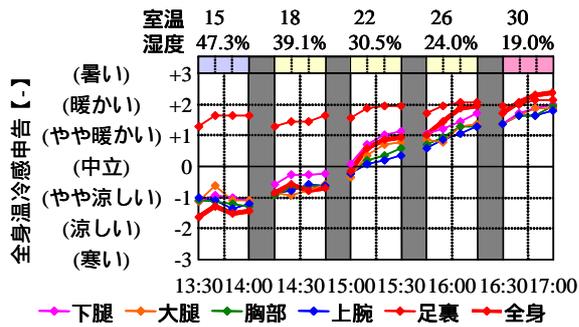


図5 部位別平均温冷感変動(実験2)

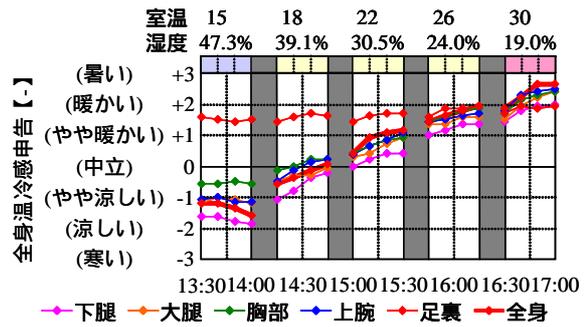


図7 部位別平均温冷感変動(実験4)

は踏み台を設置せず、足裏加熱と放射がともに暖房として存在する場合とした。

図4～図7に部位別平均温冷感申告の変動を示す。実験1では、各室温における身体各部の温冷感申告値はほぼ同程度の値を示しており、官能検査開始時の心理応答も冷房時の至適温度を定める官能検査のときよりも落ち着いている。実験2では、各室温とも足裏の温冷感申告値は「+1.やや暖かい」～「+2.暖かい」を示し、入室後30分における全身温冷感および部位別温冷感の申告値は室温が高くなるにしたがって、実験1に比して大きくなっている。これは、全身の血行動態の促進に伴う組織内熱伝導率の上昇により、床面からの伝導熱量が増加し、足裏加熱の体感効果がより大きくなったためと推察する。実験3、実験4の各室温における身体各部の温冷感申告にはばらつきが認められる。これは人体各部の有効放射面積の違いによるものであると考える。実験4でも、各室温とも足裏の接触温冷感申告は「+1.やや暖かい」～「+2.暖かい」を示し、全身温冷感申告の変動も実験3よりも暖かい側で評価されている。特に室温18の入室30分後の平均全身温冷感申告は実験3で「-1.やや涼しい」～「-2.涼しい」を示すのに対し、実験4では「0.どちらでもな

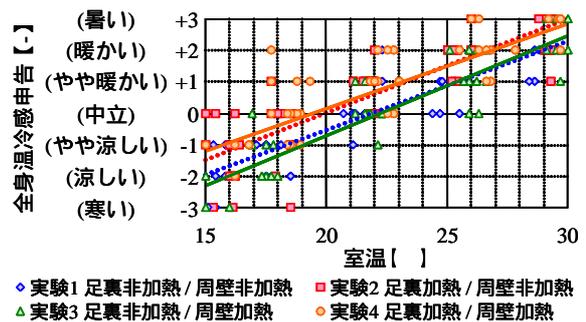


図8 室温と全身温冷感との関係(暖房)

い」となっている。また、各実験とも寒冷環境下では下腿・大腿の温冷感が全身温冷感申告とおおむね一致しており、冷房時とは異なり、暖房時には下肢への温度入力が必要であることを示唆している。

図8に室温と全身温冷感の関係を示す。足裏非加熱時の実験1および実験3の温冷感較差は確認できない。同様に足裏加熱時の実験2および実験4の較差もなく、周壁からの放射の有無による較差ではなく、足裏加熱の有無による較差のみが明確になっている。最小2乗法1次近似直線の近似式から求められる全身温冷感中立室温は、実験1で22.0、実験2で20.0、実験3で22.2、実験4で19.4となり、周壁加熱による放射暖房よりも、足裏加熱による接触暖房の方が体感に優位に作

用していることがわかる。

表3に全身温冷感申告について回帰分析を行った結果を示す。回帰分析の目的変数を全身温冷感申告とし、説明変数を室温、床面温度、平均放射温度(MRT)とした回帰結果は $P < 0.05$ で有意となっている。全身温冷感申告値が室温、床面温度、MRTに線形近似ができると仮定した場合の近似式は以下になる。

$$\text{(全身温冷感)} = 0.214 \times (\text{室温}) + 0.034 \times (\text{床面温度}) + 0.024 \times (\text{MRT}) - 5.298$$

しかし、回帰係数の比較ではそれぞれの説明変数同士の相関性も加味してしまうため、3つの説明変数の影響度(t)を比較すると、室温で12.46、床面温度で7.46、MRTで1.28となっており、MRTの影響度は室温の影響度の1/10、床面温度の影響度は室温の影響度の3/5となることがわかる。全皮膚面積に対する比率が5%も満たない足裏のみしか接していない床面温度の影響度としては非常に大きなものとする。

6.まとめ

本報告を以下に要約する。

- 1)冷房時には、全身温冷感申告は胸部、上腕といった体幹部に近い部位の温冷感で代表される。
- 2)室温と全身温冷感申告の散布から求められる最小2乗法1次近似直線から冷房時の温冷感中立温度を算出すると27.5となる。
- 3)足裏加熱時の全身温冷感申告値は室温が高くなるにしたがって、足裏非加熱時に比して大きくなる。
- 4)室温と全身温冷感申告の散布から求められる最小2乗法1次近似直線から暖房時の温冷感中立温度を算出すると足裏加熱時に約20.0、足裏非加熱時に約22.0と、暖房時には下肢への温度入力が必要となる。
- 5)全身温冷感申告について回帰分析を行うと床面温度の影響度は室温の影響度の3/5となり、全皮膚面積に対する比率が5%も満たない足裏のみしか接していない床面温度の影響度としては大きな値を示す。

【参考文献】

- 1)松本泰輔, 野田将樹, 松井勇, 戸建住宅の吹抜け空間における快適性確保に関する

表3 全身温冷感についての回帰統計結果

回帰統計		【備考】実験期間		
重相関R	0.849	全期間	2006/6/3 ~ 2006/12/28	
重決定R ²	0.720	実験1	2006/6/3 ~ 2006/7/12	
補正R ²	0.719	実験2	2006/7/8 ~ 2006/8/8	
標準誤差	0.830	実験3	2006/11/12 ~ 2006/12/17	
観測数	1200	実験4	2006/12/3 ~ 2006/12/28	
	係数	標準誤差	t(影響度)	P-値
切片	-5.928	0.133	-44.707	0.000
室温	0.214	0.017	12.460	0.000
床面温度	0.034	0.005	7.485	0.000
MRT	0.024	0.019	1.281	0.200

$MRT = T_g + 2.37 \times \text{SQRT}(\text{Var}) \times (T_g - T_a)$
 Tg:黒球温度 SQRT:平方根 Var:相対風速 Ta:室温

る実験的研究 ~ その1 住まい手の温冷感心理に関する検討 ~ , 日本建築学会大会(九州)学術講演梗概集, pp.431-432, 2007年

- 2)松本泰輔, 松井勇, 足裏局所加熱が全身の血行動態および温冷感に及ぼす影響に関する実験的研究 -実験室の温湿度設定にステップ変動与えた場合について-, 日本建築学会環境系論文集 No.621 pp.17-22, 2007年
- 3)Taisuke Matsumoto, Isamu Matsui, Measures and Concepts for Creation of Sustainable Housing, Kyusyu University 21st Century COE Program "Architecture of Habitat System for Sustainable Development", Fukuoka, 2007 (to be published)
- 4)松本泰輔, 暖房時の人体生理応答に関する実証的研究, 日本建築学会大会(関東)学術講演梗概集, pp.509-510, 2006年
- 5)寺野真明, 佐藤康仁, 久野覚, 足裏加熱が温熱快適性に及ぼす影響とその至適加熱条件に関する検討, 日本建築学会計画系論文集 No.525, pp.39-44, 1999年
- 6)松井勇, 湯浅昇, 米久田啓貴, 作業性からみた高温表面の接触可能時間に関する研究, 日本建築学会構造系論文集 No.524, pp.29-35, 1999年
- 7)永村一雄, 斎藤平蔵, 床暖房と人体生理および温冷感との関係に関する実験的基礎研究, 日本建築学会計画系論文集 No.353, pp.21-31, 1985年

ほか