

高知県の住宅を対象とした室内空気環境調査

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻 建築環境工学研究室
 学籍番号：1180125 氏名：西山亮
 指導教員：田島昌樹

高知県 住宅 実測調査 室間温度差

1. はじめに

住宅の温熱環境が悪化すると、高齢者は夏期に熱中症^[1]、冬期にヒートショックを起こす危険性が高い^[2]と言われている。最新の調査によると入浴中にヒートショックに関連して急死をした人の数は年間 17000 人 (2011 年)^[2]と推定されており、住宅内での温度変化に起因した熱的危険性が課題となっている。また地球温暖化や化石エネルギーの枯渇などのエネルギー問題に直面している今、実効的な省エネルギー対策が求められているが、家庭部門におけるエネルギー消費量は近年は大きな増加は示していないものの長年増加基調^[3]となっている。そのため、既存住宅の室内環境やエネルギー消費量の実態を把握し、各住宅の実態に応じた対策を考える必要がある。しかしながら高知県の住宅の実測データは多くはなく、更なるデータの拡充が望まれる。

そこで本研究では高知県における住宅の室内環境の実測データを拡充することを目的とし、高知県内の複数の住宅において、先行研究^[4]に続いて室内空気環境の実態調査を行った。

2. 研究概要

高知県内の省エネルギー基準の地域区分における 6 地域および 7 地域にある住宅を対象とし、夏期と冬期に住宅の室内空気環境の実測調査を行い、先行研究^[4]の測定データと合わせて、表 1 に示す建築物衛生法の衛生管理基準値を用いた室内空気環境の評価を行った。またアンケート調査を行い、住まい方や冷暖房使用機器等を把握し

た。温熱環境については、特に冬期の室間温度差に着目した分析を行った。

3. 室内空気環境の実測概要

室内空気環境の測定項目と測定機器を表 2 に示す。湿度は居室（リビング、ダイニング）と非居室（脱衣所、便所）で測定を行った。B 邸と G 邸および J 邸は外気の湿度も測定を行い、その他の住宅は気象庁より当該地域に最も近い地域の外気温度の気象データを取得し、当該住宅の外気温度として扱った。また二酸化炭素濃度はリビングでのみ測定を行った。測定位置は直射日光が当たらない場所であつ高さを床上 75cm~150cm の範囲を基本として、生活上不便にならないことを優先した位置とした。

本年度 (2017 年度) 実測した住宅 6 件と先行調査による 2015 年度の住宅 5 件および 2016 年度の住宅 2 件の概要を表 3 に示す。

表 1 建築物衛生法の衛生管理基準値^[5]

項目	衛生管理基準値
二酸化炭素濃度	1000 ppm 以下
空気温度	17~28 °C
相対湿度	40~70 %RH

表 2 測定項目と測定機器

測定項目	使用機器	測定間隔
空気温度 相対湿度	RTR-503, TR-72wf RTR-53A, HI-2000SD	10 分
二酸化炭素濃度	KNS-CO2S	10 分

表 3 対象住宅の概要

名称	測定年度	測定期間		地域区分	建設年*	構造	階数	延べ面積	世帯人数	使用設備・機器	
		夏期	冬期							冷房	暖房
A	2015	8/22~9/6	1/9~1/16	6	T10 以前	木造	1 階	120 m ²	3 人	扇風機	開放型燃焼器具
B	2017	8/1~8/31	12/28~1/11	6	S45 以前	木造	1 階	不明	2 人	エアコン	エアコン
C	2015		12/23~12/29	6	S55 以前	木造	1 階	138 m ²	5 人		エアコン
D	2015	8/18~8/30	12/23~12/29	6	S55 以前	木造	1 階	83 m ²	2 人	エアコン	開放型燃焼器具
E	2015	8/18~9/6	1/9~1/16	7	H9	木造	2 階	120 m ²	4 人	扇風機	開放型燃焼器具
F	2016		12/28~1/13	7	H12	混構造	2 階	150 m ²	4 人		開放型燃焼器具
G	2017	8/1~8/31	12/28~1/11	7	H17	木造	2 階	211 m ²	2 人	扇風機	開放型燃焼器具
H	2015	8/15~8/31		6	H17	木造	2 階	120 m ²	3 人	エアコン	
I	2016		1/4~1/14	7	H24	木造	2 階	110 m ²	4 人		エアコン
J	2017	8/10~8/20	12/28~1/11	7	H25	木造	1 階	55 m ²	2 人	エアコン	開放型燃焼器具
K	2017	8/22~8/30	12/28~1/11	7	H25	木造	2 階	88 m ²	3 人	エアコン	エアコン
L	2017	8/30~9/5	12/28~1/11	7	H25	木造	2 階	117 m ²	6 人	エアコン	エアコン
M	2017	8/30~9/5	12/28~1/11	7	H26	木造	2 階	92 m ²	4 人	エアコン	エアコン

*T は大正、S は昭和、H は平成を表す。

4. 実測結果と考察

4.1. 夏期の室内環境

図 1 と図 2 に夏期のリビングにおける起居時の空気温度と相対湿度の箱ひげ図を示す。図中には衛生管理基準値の範囲をグレーで示し、住宅名称の下に 2017 年時点での築年数、括弧内に基準値適合割合を示す。また箱ひげ図上部にデータの中央値を示し、起居時の時間帯はアンケートの回答を参考とし 6~24 時とした。A 邸、E 邸、G 邸はエアコンを使用せずに扇風機の使用と窓開けで過ごしている。山の麓に建てられている A 邸は外気温が比較的低いいため、リビングの空気温度も低くなっている。エアコンを使用している住宅の中でも比較的温湿度が高い J 邸は窓開けで過ごす時間が長いというアンケート結果を得ており、外気の影響で温湿度が高くなっていることが考えられる。

外皮性能による温熱環境の違いを検討するために外皮性能の省エネルギー基準が改正された平成 11 年以降に建てられた住宅（以下 H11 以降建設）6 件とそれ以前に建てられた住宅（以下 H10 以前建設）4 件の 2 つのグループに分けて分析を行った。2 グループ間のリビングにおける空気温度と相対湿度の基準値適合割合を比較したものを表 4 に示す。空気温度適合割合は H11 以降建設住宅の方が若干低かったが、Z 検定を行った結果 2 グループ間の適合割合に有意な差はみられなかった ($p=0.402$)。したがってリビングの空気温度が基準値を満たすかどうかは外皮性能だけではなく住まい方の影響が大きいと考えられる。また相対湿度については窓開けで過ごす時間が長い住宅ほど適合割合が低い傾向が確認できたため、住まい方の影響が大きいと考えられる。

4.2. 冬期の室内環境

(1) 空気温度と相対湿度

図 3 と図 4 に冬期のリビングにおける起居時の空気温度と相対湿度の箱ひげ図を示す。築年数の新しい K 邸の空気温度の基準値適合割合が低いのは、在室時間が短く、暖房機器の使用率が低いためであると推察される。H10 以前建設の A 邸と C 邸の空気温度の適合割合は夏期よりも低く、反対に H11 以降建設の G 邸と J 邸は高い。また相対湿度の適合割合は全体的に夏期よりも高くなっている。夏期と同様に H10 以前建設住宅 5 件と H11 以降建設住宅 7 件の 2 グループ間で、空気温度と相対湿度の適合割合を比較した結果を表 4 に示す。相対湿度の適合割合は H10 以前建設の住宅の方が高いが、空気温度は H11 以降建設住宅の方が適合割合が高いという結果となり、両項目とも 2 グループ間に有意な差がみられた。したがって冬期の空気温度の適合割合は外皮性能の影響が大きいことが考えられる。

表 4 衛生管理基準値適合割合

項目	建設時期		p 値 (Z 検定による) * $p < 0.01$	
	H10 以前	H11 以降		
夏期	空気温度	39.5 %	38.6 %	0.402
	相対湿度	64.8 %	61.1 %	*
冬期	空気温度	38.1 %	59.4 %	*
	相対湿度	75.4 %	71.4 %	*

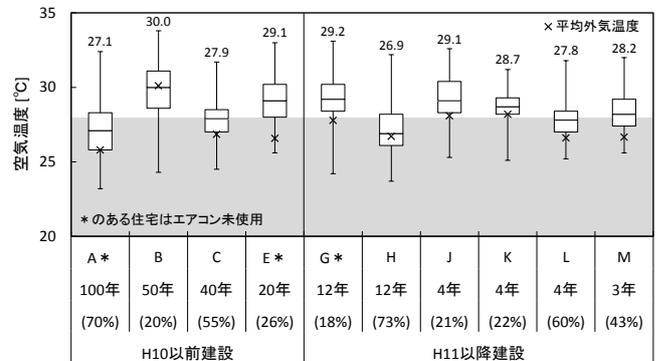


図 1 起居時のリビングの空気温度 (夏期)

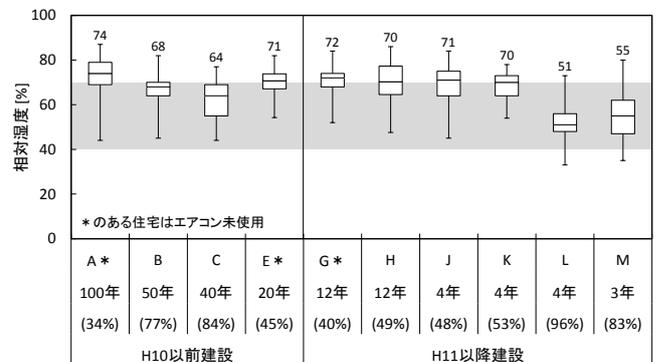


図 2 起居時のリビングの相対湿度 (夏期)

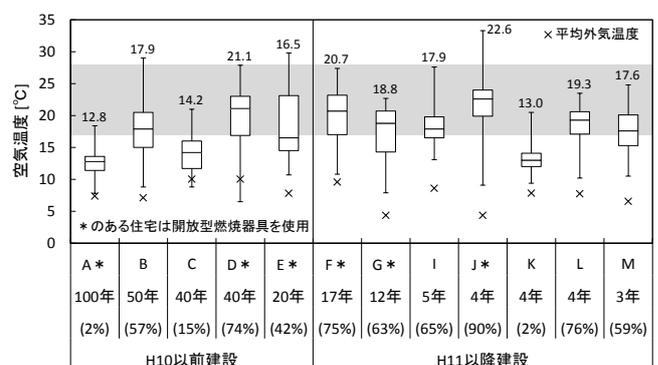


図 3 起居時のリビングの空気温度 (冬期)

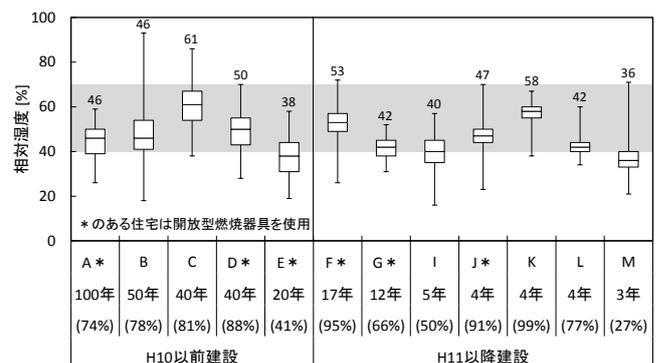


図 4 起居時のリビングの相対湿度 (冬期)

(2) 二酸化炭素濃度

図 5 に冬期のリビングにおける起居時の二酸化炭素濃度の箱ひげ図を示す。開放型燃焼器具を使用する住宅 5 件中 4 件は基準値への適合割合が 30%以下でかつ空気調和・衛生工学会において定められた二酸化炭素単独による健康への影響を考慮した基準値 3500ppm^[6]を超える結果となった。またエアコンを使用している住宅 B 邸や L 邸においても、二酸化炭素濃度が高い時間帯がみられ、キッチンが隣接していることから調理の影響が考えられる。

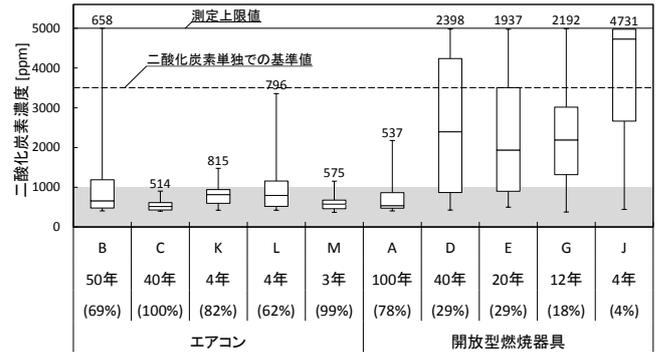


図 5 起居時のリビングの二酸化炭素濃度 (冬期)

5. 室間の温度差に関する分析

5.1. 分析概要

暖房室から非暖房室に移動する際に、室間の温度差による急激な血圧変動が原因で脳梗塞や心筋梗塞などの健康被害 (ヒートショック) を起こす危険性がある^[2]。そこでリビングと非居室 (脱衣所、便所) の温度差に着目して、①外皮性能 (4.1 で先述した建設年の違い) および②プラン (非居室の入り口がリビングに面しているか否かとし、以下面している場合は接 L、面していない場合は非接 L とする) と室間温度差との関係について分析を行った。また日本における冬期の脱衣所や便所の適切とされる温度は 17~25°C^[7]と複数の研究で提案されており^{[8][9]}、本研究では最低値の 17°C を閾値として検討を行った。

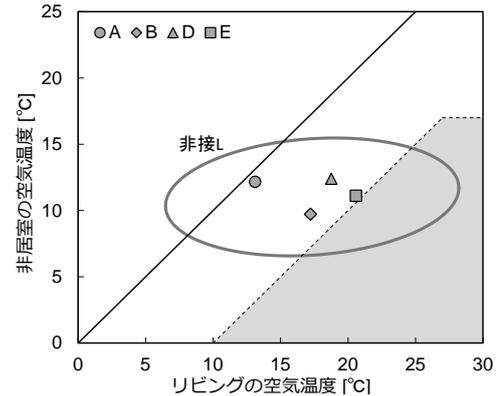


図 6 夜間のリビングと非居室の空気温度 (H10 以前建設)
※着色範囲は温度差が 10K 以上かつ非居室の温度が 17°C 未満
プロットは各住宅のデータの平均値を示す

5.2. 分析結果

(1) 全体的傾向

脱衣所等を利用する確率が高いと考えられる夜間 (18~24 時) における各住宅のリビングと非居室の空気温度平均値を H10 以前建設の住宅と H11 以降建設の住宅の 2 グループに分け、それぞれ図 6、図 7 に示す。図中の楕円はマハラノビス距離による 95%信頼楕円であり、プランの違いにより色分けを行った (接 L: 黒、非接 L: グレー)。なお図中の着色範囲は部屋間の温度差が 10K 以上かつ非居室の温度が 17°C 未満であることを示し、プロットは各住宅のデータの平均値を表す。表 5 に各住宅のリビングと非居室の温度に関する分析結果の概要を示す。

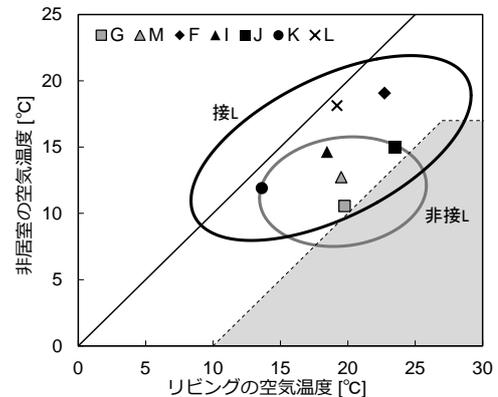


図 7 夜間のリビングと非居室の空気温度 (H11 以降建設)
※着色範囲は温度差が 10K 以上かつ非居室の温度が 17°C 未満
プロットは各住宅のデータの平均値を示す

表 5 リビングと非居室の温度に関する分析結果の概要

住宅名称	建設年	プラン*	分類	平均空気温度 [°C] (17°C 未満割合)		温度差 (a-b) [K]			空気温度 (a と b) の相関係数	
				a: リビング	b: 非居室	平均値 (S. D.)	最大値	10K 以上割合	住宅別	分類別
A	H10 以前	非接 L	#1	13.1 (95%)	12.2 (100%)	1.0 (1.6)	8.0	0%	0.15	0.2
B				17.2 (53%)	9.7 (100%)	7.5 (3.0)	18.0	9%		
D				18.8 (40%)	12.4 (100%)	6.4 (3.3)	11.7	15%		
E				20.6 (40%)	11.1 (100%)	9.5 (5.2)	20.3	45%		
G	H11 以降	非接 L	#2	19.8 (12%)	10.6 (100%)	9.2 (2.5)	14.5	33%	0.12	0.02
M				19.5 (13%)	12.7 (100%)	6.8 (2.7)	12.4	8%		
F				22.7 (5%)	19.1 (15%)	3.7 (1.9)	9.2	0%		
I				18.5 (32%)	14.6 (98%)	3.8 (2.0)	8.1	0%		
J	接 L	#3	#3	23.5 (0%)	15.0 (92%)	8.6 (2.3)	14.9	19%	0.64	-0.23
K				13.6 (99%)	11.9 (100%)	1.7 (1.3)	5.6	0%		
L				19.2 (22%)	18.1 (28%)	1.1 (1.3)	3.8	0%		

*非接 L: リビングに非居室の入り口が面していない 接 L: リビングに非居室の入り口が面している

図 6、図 7 では非接 L の信頼楕円の一部は H10 以前建設と H11 以降建設ともに着色範囲に属する部分があり、比較的室間の温度差が大きい。接 L の信頼楕円も着色範囲にわずかに属しているが、室間の温度差は比較的小さく、リビングと非居室の空気温度の相関係数は 0.64 と一定の相関がみられた。したがって接 L の住宅はリビングの空気温度が上昇するとともに非居室の空気温度も上昇し、室間の温度差が小さくなっていると考えられる。

(2) 統計分析

各住宅を外皮性能とプランの違いで、H10 以前建設かつ非接 L の 4 件 (以下 #1) と H11 以降建設かつ非接 L の 2 件 (以下 #2) および H11 以降建設かつ接 L の 5 件 (以下 #3) の 3 グループに分類し分析を行った。

夜間の非居室の空気温度の箱ひげ図、17°C 未満となる割合を図 8、図 9 にそれぞれ示す。#1 と #2 の空気温度はほぼ等しく、#3 は比較的高い。統計解析ソフト R を用いて正規性、等分散性を仮定しない Brunner-Munzel 検定を行った結果、#1 と #2 には有意な差がみられなかった。また非居室の空気温度が 17°C 未満となる割合について #1 と #2 はすべて 17°C 未満となっており両者に有意差はなく、結果として夜間の非居室の空気温度はプランの違いにのみグループ間の有意差がみられた。

夜間のリビングと非居室の温度差の箱ひげ図、温度差が 10K 以上となる割合を図 10、図 11 にそれぞれ示す。図 10 を見ると温度差の中央値や平均値は #2 が一番高く #3 が低いという結果になった。Brunner-Munzel 検定を行った結果、すべてのグループ間で温度差に有意な差がみられた ($p < 0.01$)。温度差が 10K 以上となる割合については #2 が一番高く、#3 が一番低い。Z 検定の結果、同様にすべてのグループ間で有意な差がみられた ($p < 0.01$)。

6. おわりに

高知県に建設された住宅の室内空気環境の実測データを拡充し、データを用いて外皮性能や住まい方、プランの違いによる室内環境への影響を分析した結果、以下の知見を得た。

- 1) 夏期の住宅の温熱環境は外皮性能とともに住まい方の影響が大きい
- 2) 冬期の住宅の空気温度は夏期よりも外皮性能の影響が大きい
- 3) 開放型燃焼器具を使用している測定対象住宅は換気が不十分であり、一酸化炭素や二酸化窒素などの有害物質の汚染度が高くなる危険性が示唆される
- 4) 非居室の入り口がリビングに面している住宅は非居室の空気温度が比較的高いため、リビングとの温度差が小さく、リビングに面していない住宅の非居室の空気温度と比較して統計的に有意な差がみられた

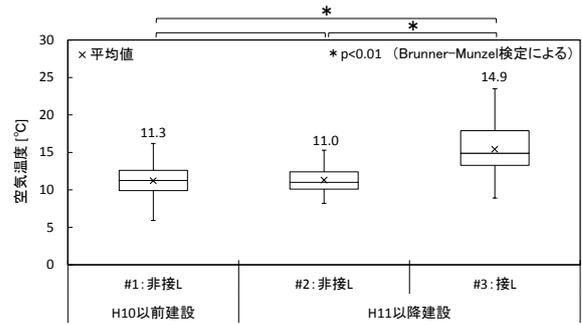


図 8 夜間の非居室の空気温度

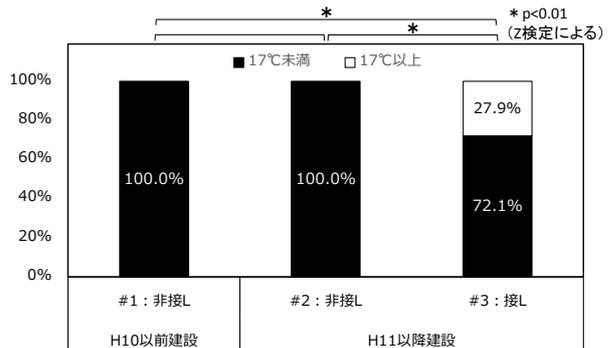


図 9 夜間の非居室の空気温度の分類 (17°C基準)

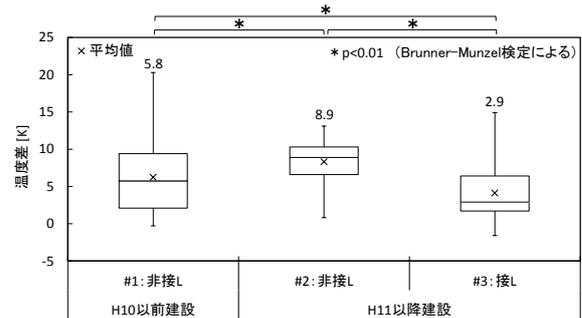


図 10 夜間のリビングと非居室の温度差

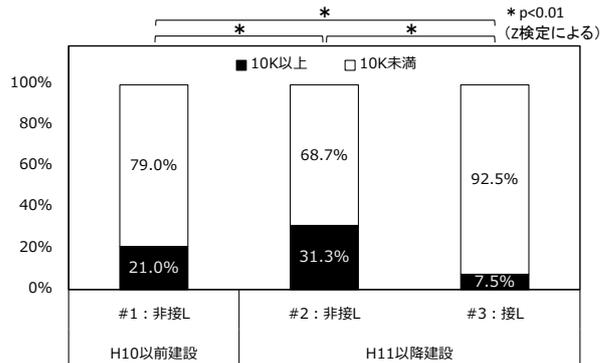


図 11 夜間のリビングと非居室の温度差の分類 (10K基準)

参考文献

- [1]環境省熱中症予防情報サイト:高齢者と子供の注意事項, <http://www.wbgt.env.go.jp/pdf/envman/3-2.pdf> [2]東京都健康長寿医療センター研究所:冬場の住居内の温度管理と健康について, http://www.tmgig.jp/J_TMIIG/release/pdf/press_20131202.pdf [3]経済産業省資源エネルギー庁:エネルギー白書 2016, <http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2016pdf/> [4]田島昌樹, 河田浩太郎 (2016):高知県のある中山間地域における住宅の室内環境とエネルギー消費量の分析, 高知工科大学紀要第 13 巻, pp. 73-82 [5]厚生労働省建築環境衛生管理基準, <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/> [6]社団法人空気調和・衛生工学会:空気調和・衛生工学会規格 SHASE-S 102-2011 換気基準・同解説 Ventilation Requirements for Acceptable Indoor Air Quality, 2012.2 [7]北村恵理菜, 柴田祥江, 松原斎樹 (2016):居住者視点によるヒートショック対策の検討, 日生氣誌 53 (1), pp. 13-29 [8] Kiyoko kannda, Tadakatsu Ohnaka, Yutaka Tochiyama, Kazuyo Tsuzuki, Yoshihiko and Kenichi Nakamura (1996): Effects of the Thermal Conditions of the Dressing Room and Bathroom on Physiological Responses during Bathing, Appl Human Sci. 15, pp. 19-24 [9] Yuta ka TOCHIHARA, Nobuko HASHIGUCHI, Ikuko YADOGUCHI, Yumi KAJI and Shigeko SHOTAMA (2012): Effects of Room Temperature on Physiological and Subjective Responses to Bathing in the Elderly, Journal of the Human-Environment System 15, pp. 13-19