

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560726

研究課題名(和文)日本の住宅における適応モデルの提案

研究課題名(英文)Development of the adaptive model for thermal comfort in Japanese houses

研究代表者

RIJAL HOMBAHADUR (RIJAL, HOM BAHADUR)

東京都市大学・環境学部・准教授

研究者番号：20581820

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、関東の住宅のリビングと寝室における温熱環境の実測と、居住者の熱的主観申告調査を行い、快適温度の解明と適応モデルの提案を行った。調査住戸数は121軒、調査人数は男性119人、女性124人である。申告数は32,468以上である。FR(非冷暖房時)モードで最も多く申告されたのは「4.暑くも寒くもない」であり、居住者は温熱環境に満足しているといえる。快適温度はFRモードで24.1℃、CL(冷房時)モードで27.0℃、HT(暖房時)モードで20.2℃である。FRモードの冬と夏の快適温度を比較すると、9.0℃の季節差がある。適応モデルを用いることで外気温度が分かれば、室内快適温度を予測できる。

研究成果の概要(英文)：In order to record seasonal differences in the comfort temperature and to develop a domestic adaptive model for Japanese residences, thermal measurements and a thermal comfort survey were conducted for more than 3 years in the living and bedrooms of 121 houses in the Kanto region of Japan. The number of subjects was 119 males and 124 females. We have collected 32,468 thermal comfort votes. The average comfort temperature was 27.0 °C when cooling was used, 20.2 °C when heating was used, and 24.1 °C when neither heating nor cooling were used (the FR mode). The comfort temperatures in spring and autumn were very similar. The seasonal difference (summer and winter) in comfort temperature was very high at 9.0 K. An adaptive relation between the comfort temperature indoors and the outdoor air temperature could be an effective tool for predicting comfort temperatures and for informing control strategies.

研究分野：建築環境工学

キーワード：住宅 現場研究 適応的快適性 回帰法 Griffiths法 快適温度 季節差 適応モデル

1. 研究開始当初の背景

近年、世界各地で洪水や異常気象など地球温暖化の影響が疑われる災害が頻発している。日本においても2010年の夏季の平均気温が、観測史上最も高い記録となり、全国で熱中症を患った人が54,000人以上救急搬送される事態となった。その背景には地球温暖化の影響があり、我々の身近にも感じられるようになってきたといえる。将来、地球温暖化が進行すれば電力需要の増加が予想されるため、早急に対策を行う必要がある。また、日本の冷房の世帯普及率は9割近くに達し、冷房の消費を抑えることで省エネルギーにもつながる。そこで人々の生活に目を向けてみると、熱ストレスに対してかなりの適応能力を備えたシステムが既に存在する。室内環境に応じて窓開放による通風や扇風機、着衣や活動の増減など多様な体温調整行動を行い、ある一定の温熱環境までは冷房に頼らずに許容可能な生活を過ごす事ができる。住宅居住者の適応能力は、冷房などの機器の使用を削減する可能性があり、期待が高まっている。そこで建物に必要なエネルギーとそれによる化石燃料使用量の削減を目指し、日本の設定温度は冬に20℃、夏に28℃と推奨されているが、この値には特に科学的な根拠がないと言われている。最近、それを検証するために人工気候室で被験者実験が行われているが¹⁾、実験室実験と現場研究の結果は異なるため、実際の住宅で人々がどのように適応し快適に感じているかについて、現場研究を行う必要がある。

海外では、外気温が高い時に居住者が高い室内温度を受け入れる温熱環境基準が建築設計に生かされるようになってきた(図1の6本の直線)²⁾。これはHumphreysが提案した適応モデルで、外気温が高い時は居住者の適応能力により快適温度が高く、寒い時は同様に適応することを図示したものである³⁾。欧米などのオフィスビルでは、熱的快適性の現場研究に関する大規模なデータベースがあるが^{2)、4)}、住宅に関する研究が少ない。日本では関西や岐阜の住宅で多少の現場研究がみられるが⁵⁾⁻⁷⁾、関東では筆者らの研究以外はみられない⁸⁾。これらの研究のサンプル数も少なく調査期間も短いため、基準作成までに至っていない。ヨーロッパの適応モデルの基準はオフィスビルの現場研究に基づいているが、残念ながら、日本のデータが含まれていない。そもそも、この基準は適応機会の多い住宅でどの程度利用可能かについて疑問が残る。また、日本の気候風土(高温多湿)と生活習慣は欧米諸国と異なるため、日本独自の大規模なデータベースを作成し、高温多湿気候に利用可能な適応モデルを提案する必要がある。

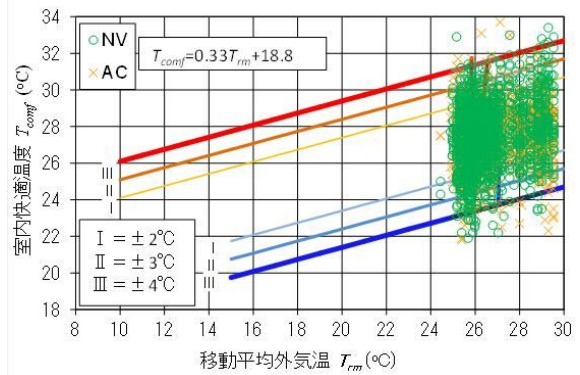


図1 CEN基準と日本の住宅の夏の比較

2. 研究の目的

本研究では関東地方の住宅を対象に大規模な熱的快適性の現場研究を行い、下記のことを明らかにする。

- 居住者の熱的快適性について明らかにする。
- 住宅で多くの人々が快適に感じる快適温度の季節差などについて明らかにする。
- 湿度を考慮した高温多湿気候でも利用できる適応モデルを提案し、居住者の様々な適応能力を見出す。

3. 研究の方法

本研究では、関東の住宅のリビングと寝室における温熱環境(気温、相対湿度、グローブ温度)の実測(写真1)と、居住者の熱的主観申告調査を行った。測定機器は日射の当たらない場所に設置し、1日数回、寒暑感申告は7段階尺度を用いた(表1)。調査住戸数は121軒、調査人数は男性119人、女性124人である。申告数は32,468以上である。外気温は最も近い気象台の公開データを使用した。

本研究では、FRモードは窓開閉など自然換気時、CLモードはエアコン使用時、HTモードは暖房使用時である。



写真1 実測の様子

表 1 申告尺度

今、気温を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(寒くも暑くもない)
5	やや暑い
6	暑い
7	非常に暑い

4. 研究成果

(1) 熱的快適性の検討

平均寒暑感は FR モードで 4.1, CL モードで 4.2, HT モードで 3.5 である。FR モードで最も多く申告されたのは「4. 暑くも寒くもない」であり(表 2), 居住者は温熱環境に満足しているといえる。

表 2 寒暑感の分布

Mode	Items	Thermal sensation							Total
		1	2	3	4	5	6	7	
FR	N	93	907	3,532	12,757	3,776	1,323	281	22,669
	P (%)	0.4	4.0	15.6	56.3	16.7	5.8	1.2	100
CL	N	13	52	514	4,639	1,226	245	60	6,749
	P (%)	0.2	0.8	7.6	68.7	18.2	3.6	0.9	100
HT	N	54	357	757	1,836	46	-	-	3,050
	P (%)	1.8	11.7	24.8	60.2	1.5	-	-	100

N: Number of sample, P: Percentage

(2) 快適温度の季節差

下記の式を用いて Griffiths 法で快適温度を予測する⁹⁾。

$$T_c = T + (4 - C) / a \quad (1)$$

T_c : Griffiths 法による快適温度(), T : 室温(), a : 回帰係数である。回帰係数は 0.5 と仮定した。

図 2 に各モードにおける快適温度の度数分布を示す。快適温度は FR モードで 24.1, CL モードで 27.0, HT モードで 20.2 である。FR モードの冬と夏の快適温度を比較すると、9.0 の季節差がある(図 3)。本研究と既往研究の結果が類似している(表 3)。

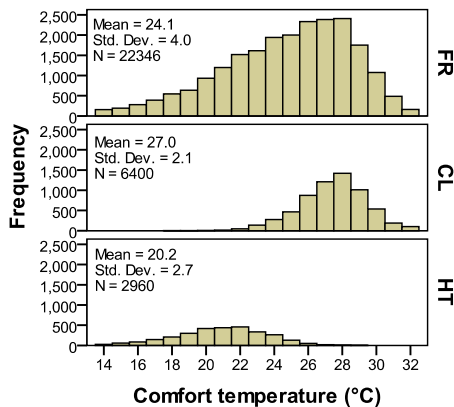


図 2 快適温度の分布

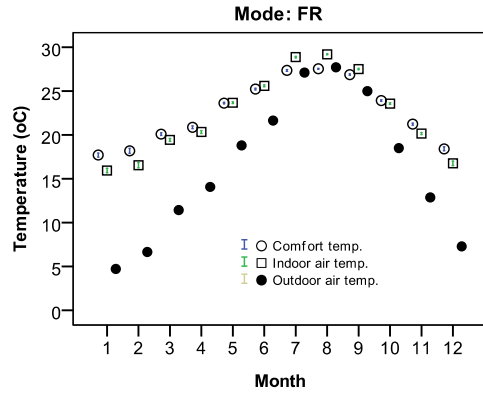


図 3 各月の快適温度, 室温と外気温度

表 3 既往研究との比較

Area	Reference	Comfort temperature (°C)			
		Winter	Spring	Summer	Autumn
Japan (Kanto)	This study (FR mode)	18.1	21.9	27.1	24.3
Japan (Gifu)	Rijal et al. (2012)	15.6	20.7	26.1	23.6
Japan (Kansai)	Tobita et al. (2007)	9.9-10.9	-	-	-
Japan (Kansai)	Nakaya et al. (2005)	-	-	27.6	-
Nepal	Rijal et al. (2010)	13.4-24.2	-	21.1-30.0	-
Nepal	Rijal & Yoshida (2006)	8.4-12.9	-	-	-
Pakistan	Nicol & Roaf (1996)	19.8-25.1	-	26.7-29.9	-
UK	Rijal & Stevenson (2010)	19.4	19.7	22.9	21.3

(3) 適応モデルの提案

適応モデルは外気温を用いて室内快適温度を予測するモデルである²⁾⁻⁴⁾。図 4 に Griffiths 法で計算した快適温度と移動平均外気温(T_{rm})の関係を示す。回帰式は下記に示す。FR モード

$$T_c = 0.453T_{rm} + 15.0 (n=22,346, R^2=0.68, p<0.001) \quad (2)$$

CL モード

$$T_c = 0.188T_{rm} + 21.9 (n=6,400, R^2=0.03, p<0.001) \quad (3)$$

HT モード

$$T_c = 0.178T_{rm} + 18.8 (n=2,960, R^2=0.05, p<0.001) \quad (4)$$

CEN 基準の回帰係数は FR モードで 0.33 であり, 本研究の方が高い。CEN 基準はオフィスビルを対象としており, 本研究と直接比較はできないが, 自由に環境調整のできる住宅では結果が異なると考えられる。

回帰式に移動平均外気温を FR モードで 25, CL モードで 28, HT モードで 10 を代入すると, 室内快適温度はそれぞれ 26.3, 27.2, 20.6 になる。このように外気温が分かれば, 回帰式を用いて室内快適温度を予測することができる。

HT モードでは快適温度にややばらつきがみられた(図 4)。本研究では温風暖房だけでなく, 炬燵使用時も HT モードとしたため, 室温が低くても快適に感じていると考えられる。過去に渡邊ら¹⁴⁾の研究により電力消費量 90W の炬燵使用時で, 気温 11 において 7 を超える温熱的效果があるといわれていることから, 本研究でも広い範囲で快適に感じていると思われる。

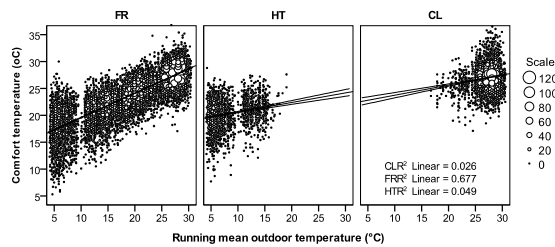


図4 住宅における適応モデルの提案

<引用文献>

- 1) 大熊涼子, 石野久彌, 中山哲士: 夏期のオフィスにおける 28 空調の熱的快適性に関する研究, 日本建築学会環境系論文集 第 618 号, pp.31-36, 2007.8.
- 2) Comité Europe' en de Normalisation (CEN) (2007), EN 15251: Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics, CEN, Brussels.
- 3) Humphreys M.A. (1978), Outdoor temperatures and comfort indoors. Building Research and Practice (Journal of CIB) 6 (2), pp. 92-105.
- 4) ASHRAE Standard 55 (2004), Thermal environment conditions for human occupancy, Atlanta, Georgia, American Society of Heating Refrigeration and Air-conditioning Engineers.
- 5) 中谷岳史, 松原斎樹, 藏澄美仁: 関西地域の住宅における熱的快適性に関する実態調査: 夏季の中立温度と許容範囲, 日本建築学会環境系論文集, 第 597 号, pp. 51-56, 2005.11.
- 6) 飛田国人, 中谷岳史, 松原斎樹, 藏澄美仁, 島田理良: 関西地域の住宅における冬季の実態調査による中立温度・許容範囲の算出, 日本建築学会環境系論文集, No.614, pp. 71-77, 2007.4.
- 7) リジャル H.B., 本庄美穂, 小林良太, 中谷岳史: 住宅における適応的快適性と環境調整行動に関する研究, 日本建築学会 第 42 回熱シンポジウム, pp. 107-114, 2012.11.
- 8) 吉村咲希, リジャル H.B.: 関東地方における住宅の快適温度と適応モデルに関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp. 27-28, 2011.8.
- 9) Griffiths I.D. (1990), Thermal comfort in buildings with passive solar features: field studies. Report to the Commission of the European Communities. EN3S-090 UK: University of Surrey Guildford; 1990.
- 10) Rijal H.B., Yoshida H., Umemiya N. (2010), Seasonal and regional differences in neutral temperatures in Nepalese traditional

vernacular houses, Building and Environment 45(12), pp. 2743-2753.

- 11) Rijal H.B. and Yoshida H. (2006), Winter thermal comfort of residents in the Himalaya region of Nepal, Proceedings of International Conference on Comfort and Energy Use in Buildings - Getting them Right (Windsor), Organised by the Network for Comfort and Energy Use in Buildings, Number of Pages: 15.
- 12) Nicol. F, Roaf. S. (1996), Pioneering new indoor temperature standards: the Pakistan project, Energy and Buildings, 23, pp. 169-174.
- 13) Rijal H.B. and Stevenson F. (2010), Thermal comfort in UK housing to avoid overheating: lessons from a ' Zero Carbon ' case study, Proceedings of Conference: Adapting to change: New thinking on comfort, Windsor, UK, 9-11 April 2010. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings.
- 14) 渡邊慎一, 堀越哲美, 三好結城, 宮本征一: 炬燵使用時における人体の熱的快適性の検討とその温熱効果の定量化, 日本建築学会計画系論文集, 第 497 号, pp. 47-52, 1997.7.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

勝野二郎, リジャル H.B., 宿谷昌則: 夏季のリビングにおける居住者の快適温度と熱的適応に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 査読有, 第 80 巻 第 707 号, 2015, pp. 13-20

Imagawa H. and Rijal H.B., Field survey of the thermal comfort, quality of sleep and typical occupant behaviour in the bedrooms of Japanese houses during the hot and humid season, Architectural Science Review, With Review, 58(1), 2015, pp. 11-23
DOI:<http://dx.doi.org/10.1080/00038628.2014.970611>

Rijal H.B., Investigation of comfort temperature and occupant behavior in Japanese houses during the hot and humid season, Buildings, With Review, 4, 2014, pp. 437-452

DOI:10.3390/buildings4030437

[学会発表](計5件)

Rijal H.B., Humphreys and Nicol J.F., Effect of Humidity on the Comfort Temperature in Japanese Houses during the Summer Season, Proceedings of 2015 TAU Conference: Mitigating and Adapting Built Environments for Climate Change in the Tropics, pp. 108-122, 30-31 March 2015, Network for Comfort and Energy Use in Buildings,

School of Architecture, Tanri Abeng University, Jakarta, Indonesia.

Rijal H.B., Humphreys M.A., Nicol J.F., Study on window opening algorithm to predict occupant behaviour in Japanese houses, PLEA2014 - 30th Conference, Sustainable Habitat for Developing Societies, 15-18 December 2014, Ahmedabad, India.

Rijal H.B., Humphreys M.A., Nicol J.F., Development of the adaptive model for thermal comfort in Japanese houses, Proceedings of 8th Windsor Conference: Counting the Cost of Comfort in a changing world, 10-13 April 2014. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings, Cumberland Lodge, Windsor, UK.

Rijal H.B., Field investigation of comfort temperature and adaptive model in Japanese houses, PLEA2013 - 29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future, 10-12 September 2013, Munich, Germany.

リジャル H.B., 適応モデルに関する研究：その1 関東の住宅における夏季の適応モデルの検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 343-344, 2013年8月31日, 北海道

〔図書〕(計 0件)

なし

〔産業財産権〕

なし

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表

リジャル ホム・バハドゥル

(RIJAL, Hom Bahadur)

東京都市大学・環境学部・准教授

研究者番号：20581820