

## 岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査

## その1 窓開閉の検討

4.環境工学-10.温熱感

準会員 ○ 藤田和也 \*1

正会員 H.B.リジャル \*2

正会員 中谷岳史 \*3

住宅	リビング	気温
窓開閉	温冷感	ロジスティック回帰

## 1. はじめに

住宅の窓が持つ役割は主に環境調整機能である。例えば真夏日では窓を開けて住宅に気流を生み体感温度をさげる、逆に冬日では窓を閉めて外気を遮断して住宅に冷気を入れないようにすると言った行動がみられる。他にも空気の入替えなど窓開閉行為には様々な目的がある。近年日本においてもサステナブルな社会への移行のために省エネルギーが大切な事になってきている。電気を大量に使う冷暖房の使用を減らすためにも窓開閉によるエネルギーを使わない環境調整行為の真価が注目されている。

de Dear らの Adaptive model では窓開閉などの温熱環境適応行為は快適性の幅が広げられる要素の一つであることが指摘されている<sup>1)</sup>。国内の窓開閉に関する既往研究はオフィス<sup>2)3)</sup>、大学キャンパス<sup>4)</sup>、戸建て住宅<sup>5)6)</sup>がみられるが、1年間を通したリビングを対象としたフィールド調査の例は少ない。

そこで本研究で岐阜の住宅のリビングにおける1年間での温熱環境の実測と窓開閉に関する調査を行い、窓開閉による快適感、温冷感の幅の変化を検証する。主な分析は窓開閉の有無の違いでどの程度居住者の好む室温、温冷感、想像温度が変化するかを定量化することである。

## 2. 調査方法

調査対象地域は岐阜県岐阜市近郊である。住戸種類は戸建て住宅であり、平屋もしくは2階建てである。調査住戸数は30家族、調査人数は78名(男性40名、女性38名)で平均年齢は男性40.5歳、女性41.3歳である。室温はリビングで小型測定機器を用いて、10分間隔に測定した。窓開閉の申告はバイナリ形式(0=閉鎖:Closed,1=開放:Open)で行った。窓開閉への申告は21,288である。温冷感申告は9段階尺度で行った(図1)。調査は2010年5月13日から2011年5月31日までである。外気環境のデータは、気象庁の公開データを用いた。観測地点は調査住戸の中心に位置する岐阜県岐阜市を用いた。

## 3. 分析方法

既往研究と同様に本研究でも窓の温度別使用率を明確

化するために、ロジスティック回帰<sup>7)8)</sup>を用いた。ロジスティック回帰式を下記に示す。

$$\logit(p) = \log\left(\frac{p}{1-p}\right) = bT + c \quad (1)$$

$$p = \frac{e^{bT+c}}{1+e^{bT+c}} \quad (2)$$

$P$ : 窓開閉の割合、 $b$ : 回帰係数、 $T$ : 気温(°C)、 $c$ : 定数、 $e$ : 指数関数である。



図1 温冷感申告の尺度

## 4. 結果と考察

## 4.1 リビングでの申告中の温熱環境

最初に岐阜のリビングの温熱環境を明らかにするために岐阜の外気温と室温を分析する。図2に月別の平均外気温と95%の信頼区間を示す。平均外気温は16.7°Cである。全体の室温と外気温の相関係数は0.86( $p < 0.001$ )である。

図3では3つのモードでのリビングの室温を示す。冷暖房器具を使用していない時(NVモード)の平均室温は22.7°C、冷房器具を使用している時(ACモード)は28.0°C、暖房器具使用時(HTモード)は17.7°Cである。

## 4.2 窓の開放率

各住宅の窓の開放率を表1に示す。一年間の申告では窓は22%開けられている。中には全く窓を開けない住宅もある。表2にモード別の窓使用率を示す。NVモード以外でも窓は開けられているがACモードでは8%、HTモードでは2%しか窓が開けられていない。そのため本研究ではNVモードのみを分析する。

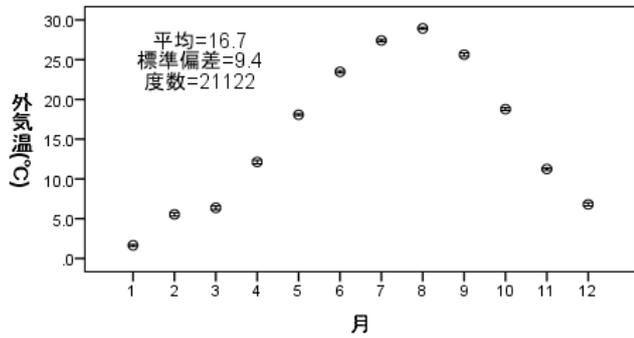


図2 岐阜の申告中月別外気温と95%の信頼区間

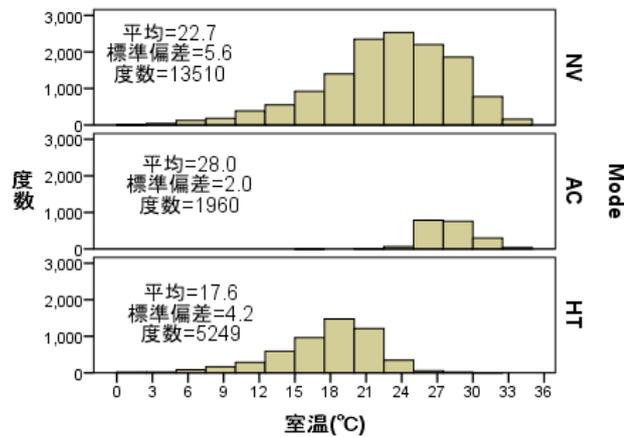


図3 リビングにおける申告中の室温

表1 各住宅における窓開放率

グループ	住宅番号	度数	平均値	標準偏差
A	1	1,373	0.19	0.39
	2	745	0.05	0.22
	3	689	0.04	0.20
	4	824	0.05	0.22
	5	208	0.15	0.36
	6	825	0.24	0.43
	7	800	0.10	0.31
	8	585	0.03	0.18
	9	338	0.39	0.49
	10	664	0.23	0.42
B	1	733	0.23	0.42
	2	723	0.18	0.38
	3	735	0.39	0.49
	4	543	0.35	0.48
	5	478	0.31	0.46
	6	1,535	0.21	0.41
	7	348	0.00	0.00
	8	758	0.22	0.41
	9	223	0.04	0.19
	10	256	0.37	0.48
C	1	767	0.02	0.13
	2	377	0.23	0.42
	3	728	0.37	0.48
	4	738	0.26	0.44
	5	140	0.28	0.45
	6	1,326	0.33	0.47
	7	872	0.14	0.34
	8	639	0.49	0.50
	9	1,130	0.26	0.44
	10	1,188	0.33	0.47
All		21,288	0.22	0.41

表2 モード別窓開閉の割合

Mode	窓	度数	割合
NV	Closed	9,449	68%
	Open	4,394	32%
AC	Closed	1,945	92%
	Open	163	8%
HT	Closed	5,229	98%
	Open	108	2%

### 4.3 窓開閉別の室温

図4に窓開閉別の室温を示す。窓は28℃前後が一番開けられていて、10℃を下回ると殆ど開けられていない。窓を開けていた住宅の平均室温が26.3℃と窓を閉めていたケースの20.6℃より5.7℃高い。イギリスのオフィスにおける研究でも同様に窓を開放していた時の方が平均室温が高い<sup>9)</sup>。リビングにおいても窓を開けていた時の方が高い室温で生活をしていたことがわかる。

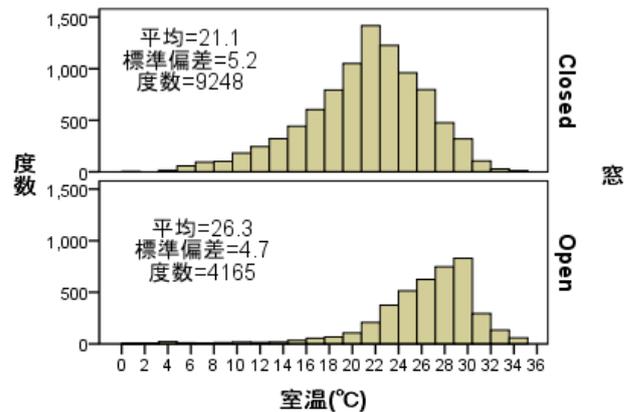


図4 NVモードにおける窓開閉別室温

### 4.4 窓開閉別の想像室温

窓の開放により室温が変化するため居住者の想像室温を分析する。図5に想像室温の窓開閉別の分布を示す。居住者がどの程度自分の温熱環境を把握できているかを示すため、図6に室温と想像室温の差を示す。居住者は窓を閉鎖していても開放していても室温と想像室温の差が小さく、正確に自分の温熱環境を把握できている。

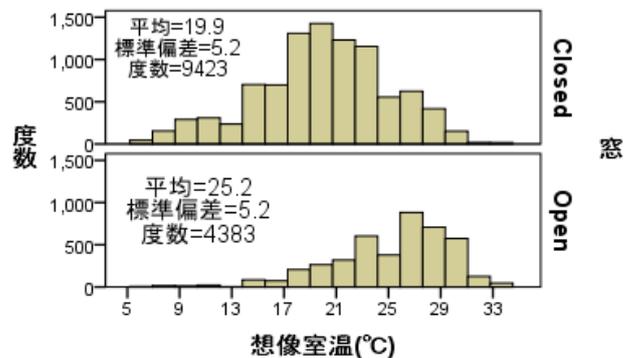


図5 NVモードにおける想像室温

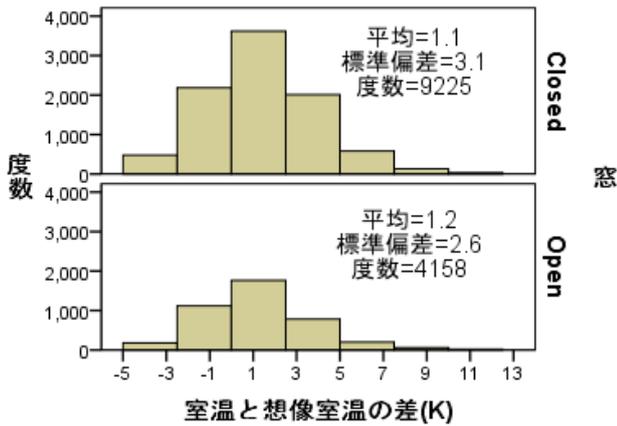


図 6 NV モードにおける室温と想像室温の差

#### 4.5 窓開閉別の温冷感分布

図 7 に居住者の窓開閉行為と温熱感覚を分析するために温冷感分布を示す。窓を開放している時の平均温冷感 は 5.7 であり、少し暑く感じている。閉鎖している時の平均温冷感 は 4.7 であり、少しだけ寒く感じている。居住者は僅かに暑く感じると窓を開放し、僅かに寒く感じると窓を閉鎖している。これは平均室温の上昇の影響を受けていると思われる。NV モードでは窓は閉鎖されている時の方が居住者の温冷感 は中立に近い。

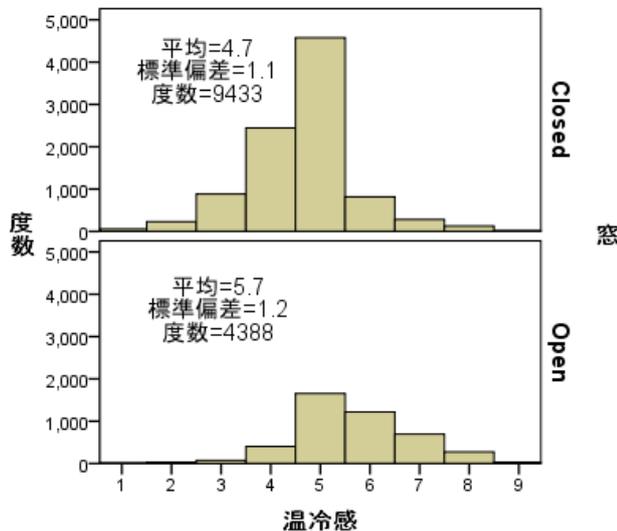


図 7 NV モードにおける温冷感分布

#### 4.6 窓開放別の好む室温

居住者の窓開閉別の好む室温を分析する。図 8 に好む室温の分布を示す。居住者の好む室温は窓を開放していた時、窓を閉鎖していた時より 1℃高い。どの季節でも窓を開放していた時の方が好む室温は高い(表 3)。

窓を開放していた時の方が平均室温が 5.2℃高いことから高くても良いといった寛大さの要因<sup>10)</sup>もあり、好む室温が 1℃高いと思われる。

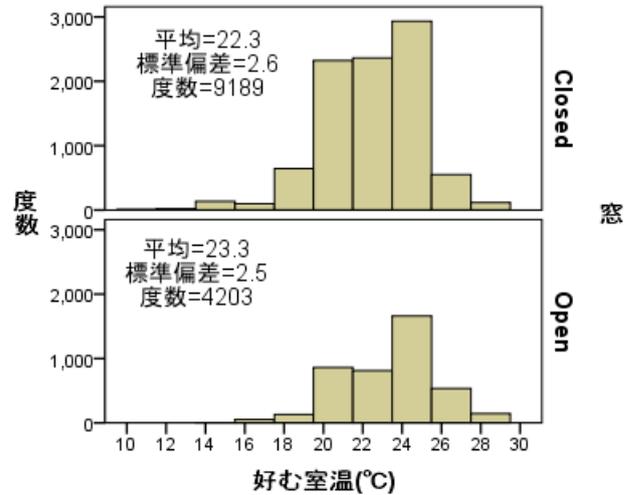


図 8 NV モードにおける好む室温

表 3 NV モードにおける季節ごとの好む室温

季節	窓	好む室温 (°C)			平均値の差の検定	
		度数	平均	標準偏差	t値	p
夏	Closed	1,654	22.8	2.1	-5.5	<0.001
	Open	2,419	23.2	2.5		
秋	Closed	2,774	23.2	2.4	-7.8	<0.001
	Open	1,283	23.8	2.3		
春	Closed	3,595	21.5	2.6	-5.8	<0.001
	Open	415	22.3	2.6		
冬	Closed	1,186	22.1	3.2	-2.9	0.04
	Open	86	23.1	2.6		
All	Closed	9,189	22.3	2.6	-20.1	<0.001
	Open	4,203	23.3	2.4		

#### 4.7 窓開放の予想

外気温と室温でロジスティック回帰分析を行い、窓開閉の予想を示す。窓開閉と外気温や室温で下記の式が得られた。

$$\text{logit}(p) = 0.210T_o - 5.147 \quad (n = 13764, R^2 = 0.25, p < 0.001) \quad (3)$$

$$\text{logit}(p) = 0.248T_r - 6.733 \quad (n = 13413, R^2 = 0.21, p < 0.001) \quad (4)$$

$T_o$ : 外気温(°C)、 $T_r$ : 室温(°C)、 $n$ : サンプル数、 $R^2$ : Cox and Snell の決定係数、 $p$ : 有意水準である。上記の結果を図 9 と図 10 に示す。なお、各図のプロットは 1℃刻みに平均した値であり、申告数が 50 以下の場合のプロットは示していない。

回帰係数は外気温で 0.210、室温で 0.248 であり、両者に大きな差がない。決定係数も外気温で 0.25、室温で 0.21 と大きな差がない。外気温と室温の変化に対して同じ様に窓は開放される。2つの図で共通している事は 15℃付近を下回るとプロットが大きくなる。しかし、上記以外ではばらつきが少なく、NV モードにおいて窓は外気温と室温が約 15℃から上がれば上がる程窓は開放される。

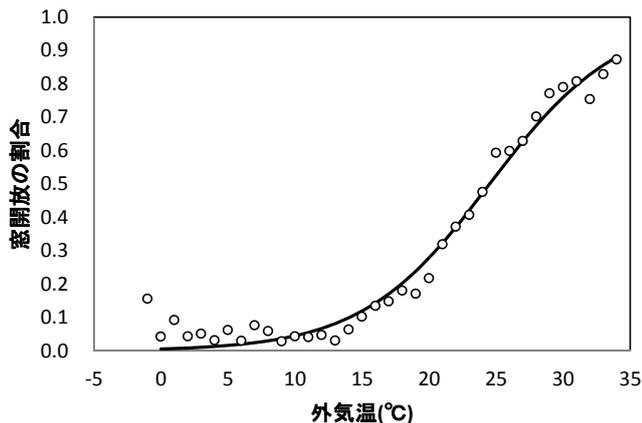


図9 NVモードにおける窓開閉と外気温

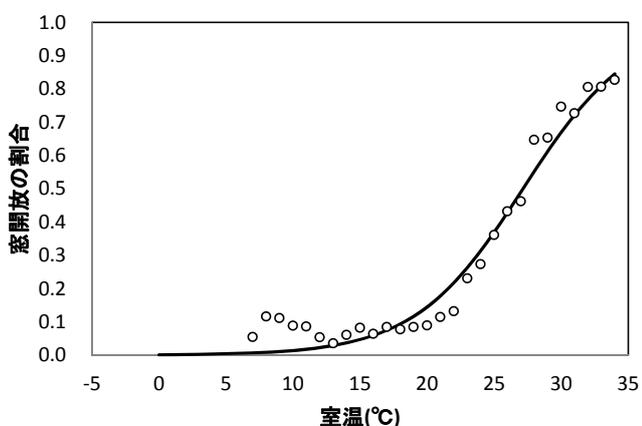


図10 モードNVにおける室温と窓開放

## 5. まとめ

本研究では岐阜の住宅のリビングを対象に1年間調査を行い、窓開閉に関する下記の結果が得られた

1. 申告中の窓開放率は22%である。
2. NVモードでは窓は28°C付近が一番開放されているが、10°Cを下回ると窓は殆ど開放されていない。
3. NVモードでは窓を開放していた時の平均室温は26.3°Cであり、窓閉鎖より5.2°C高い。
4. 窓の開放によって室内の温熱環境が変化しているが、居住者はそれを殆ど正確に想像している。
5. NVモードでは居住者が僅かに暑く感じると窓は開放されている。また、僅かに寒く感じていると窓は閉鎖されている。
6. NVモードでは窓は閉鎖されていた時の方が居住者の温冷感は中立に近い。
7. NVモードでは窓開放によって居住者の好む室温が1°C上昇している。
8. NVモードでは外気温や室温が約15°Cから温度が上がれば上がる程、窓は開放されている。

## 謝辞

実測調査には丸平建設株式会社の林重元氏に多大なご協力を頂いた。記して謝意を表す。

## 参考文献

1. de Dear R.J., Brager C.S.: Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, ASHRAE Transactions, pp.145-167, 1998.
2. 金政秀、川口知真、田辺新一：執務者による自然気窓の窓開閉行為に関する研究、日本建築学会環境系論文集第74巻、第643号、pp.1075-1082、2009.9
3. 山本佳嗣、久保木真俊、鈴木宏昌、田辺新一：自然換気システムの運用実態に関する調査、日本建築学会環境系論文集、第619号、pp.9-16、2007.7
4. 鈴木玉美、梅宮典子、吉田治典：夏季から秋季にかけての窓開閉行為の要因に関する研究、日本建築学会環境論文集、第556号、pp.91-98、2002.6
5. 浅輪貴史、梅干野晁、武澤秀幸、清水啓示：戸建住宅における窓開閉・冷房使用の行動特性と影響要因解析、日本建築学会環境系論文集第593号、pp.87-94、2005.7
6. 細川陽平、リジャル H.B.: 夏及び秋における住宅の窓開閉に関する研究、日本建築学会関東支部研究報告集、pp.133~135、2011.3
7. Rijal H.B., Tuohy P., Humphreys M.A., Nicol J.F., Samuel A., Clarke J.: Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings, Energy and Buildings 39, pp. 823-836, 2007.
8. Rijal H.B., Humphreys M.A., Nicol J.F.: Understanding occupant behavior the use of controls in mixed-mode office buildings, Building Research & Information 37(4), pp. 381-396, 2009.
9. Rijal H.B., Tuohy P., Nicol F., Humphreys M.A., Samuel A. and Clarke J.: Development of an adaptive window-opening algorithm to predict the thermal comfort, energy use and overheating in buildings, Journal of Building Performance Simulation, Vol.1, No. 1, pp.17-30, 2008.3
10. リジャル H.B、梅宮典子訳：適応を考慮した熱的快適性の原理 (Humphreys M.A.)、空気調和・衛生工学会、第83巻、第6号、pp.413-419、2009.6.

\*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)

\*3 岐阜工業高等専門学校 講師・修士(工学)