

岐阜の住宅における熱的快適性に関する実態調査

その9 想像温度の検討

4.環境工学-10.温熱感

準会員 ○ 永田圭一^{*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
想像温度	温冷感	想像快適温度

1. はじめに

人々は室内温度を常に想像しながら生活をしている。このように、室温を予想することを想像温度という。室温を予想することにより、前もって、暑さや寒さを耐え凌ぐことができ、快適な暮らしを得ることができる。人々は室内温度を不快に感じたら冷暖房を調節したり、窓を開けて換気したり、衣服を調節して、快適な室内温度にする。夏季の場合、実際の温度より、想像温度を低く感じることができれば、エネルギー節約にもつながる。例えば、室温が28℃の場合、居住者が26℃と想像したら、2℃室温を下げるのに必要なエネルギーを節約できる。このことから、想像温度によって、住宅の省エネルギー実現のための手掛かりを得ることができるのではないかと思われる。

これまで、人が快適・不快に感じる温度の地域性に関する研究¹⁾、ヒトの温度感覚と環境調整行動に関する研究²⁾、人の視的・温熱的快適性と環境調整行動に関する研究³⁾、ヒトの想像温度と環境調整行動に関する研究⁴⁾等が行われてきた。しかし、想像温度に関する研究は全体的に少なく、特に住宅を対象とした研究が少ない。

そこで、本研究では、岐阜県の住宅における温熱環境実測と居住者の想像温度に関する熱的主観申告調査を行い、想像温度と実際の温度の関係や温冷感と想像温度関係から想像快適温度について明らかにする。

2. 調査方法

調査対象は岐阜県岐阜市近郊の住宅を対象とした。住戸種類は戸建住宅である。調査人数は男性40名、女性38名の計78名である。調査期間は2010年5月13日から2011年5月31日までの1年間である。温湿度は小型測定機器を用いて10分間隔で測定した。測定機器は居住者の邪魔にならないように設置し、想像温度の申告は1日に数回行ってもらった。居住者には、測定機器に表示される気温を見ずに申告をしてもらった。

想像温度の申告は、室内の気温を想像し、申告してもらった。温冷感の申告は9段階尺度を用いた(図1)。

今あなた自身の暑さ寒さはどの程度感じていますか



図1 温冷感の尺度

3. 分析方法

想像快適温度は回帰方法と Griffiths 方法を用いて計算する。回帰法とは室温と温冷感申告の一次回帰から、「5. 暑くも寒くもない」に相当する温度を求めて快適温度とする方法である。フィールド調査では回帰法による快適温度の算出が上手くいかない場合もあるため、下記の式を用いて Griffiths 法でも想像快適温度を検証する。

$$T_c = T_{ic} + (5-C)/a \quad (1)$$

T_c : 想像快適温度(℃)、 T_{ic} : 想像室温(℃)、 C : 温冷感申告、 a : 回帰係数である。Nicol らは Griffiths 法を適用するにあたって、7段階尺度で1)0.25、2)0.33、3)0.50の3通り回帰係数を用いている。1)0.25はフィールド調査の既往研究から得られた係数値である。2)0.33はFangerの実験室実験からProbit法によって得られた係数値である。3)0.50はHumphreysらがよく用いる値である。本研究でこれらの値を用いて想像快適温度を検証する。3つの回帰係数を温冷感の9段階尺度に換算すると1)0.33(=0.25×8/6)、2)0.44(=0.33×8/6)、3)0.67(=0.50×8/6)となる。

4. 結果と考察

4.1 想像温度と実際の室温

住宅のリビングにおける室温と想像温度がどのように分布しているか明らかにする。図2に申告中の実際の室

温の分布を示す。データは自然換気モード (NV) と冷房モード (AC) と暖房モード (HT) に分類した。

平均室温は NV モードで 22.7℃、AC モードで 28.0℃、HT モードで 17.7℃であり、それぞれのモードで約 5℃の差がある。室温の標準偏差は NV モードで 5.6℃、AC モードで 2.0℃、HT モードで 4.2℃であり、NV モードと HT モードのデータのばらつきが大きいといえる。

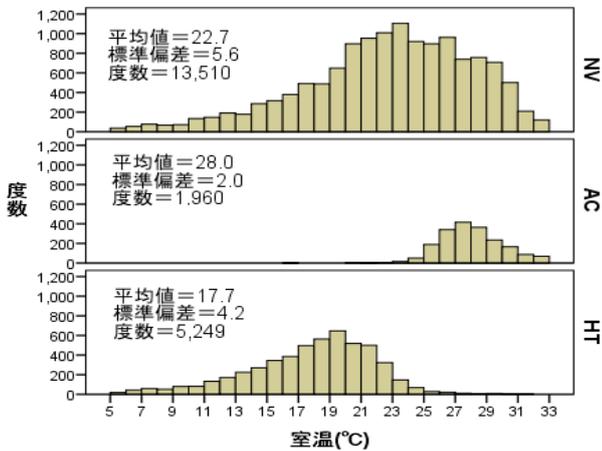


図2 各モードにおける室温の分布

図3に室内想像温度の分布を示す。平均想像温度は NV モードで 21.6℃、AC モードで 27.0℃、HT モードで 17.3℃あり、実際の室温と同様それぞれのモードで約 5℃の差がある。想像温度の標準偏差は、NV モードで 5.6℃、AC モードで 2.2℃、HT モードで 4.2℃であり、NV と HT モードのデータのばらつきが大きいといえる。このようにして、居住者は 1 年を通して、自然換気や冷暖房を利用し、過ごしやすい室温に調節していたといえる。

このように、想像温度と室温の分布を比較してみると、非常に似通ったものになっていることが分かる。すなわち、モード別のデータの平均値も、ばらつき方もほぼ同じである。

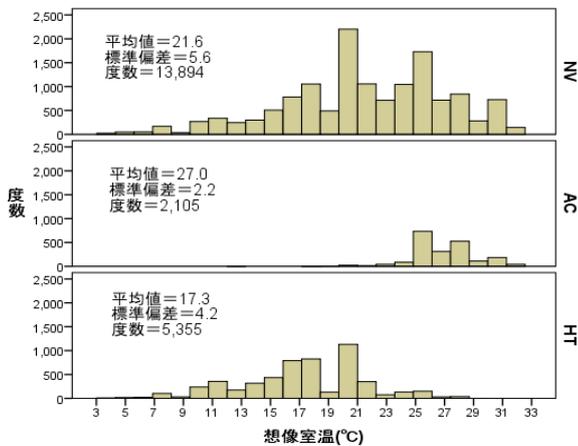


図3 各モードにおける想像温度の分布

4.2 想像温度と実際の室温の差

この節では、想像温度と実際の室温の差から、室温を基準にした時、想像した温度がどの程度ばらついているのかを明らかにする。図4に想像温度と実際の室温の差の分布を示す。

想像温度と実際の室温の差の平均値は NV モードで -1.2K、AC モードで -1.0K、HT モードで -0.4K となっている。HT モードで、差が一番小さく、暖房の設定温度から温度を推測していると思われる。自然換気である NV モードで差が大きいのは、湿度や風などの条件によって想像温度が変化するためと思われる。各モードにおける標準偏差は NV モードで 3.0K、AC モードで 2.6K、HT モードで 4.3K となっており、HT モードのデータのばらつきが大きい。

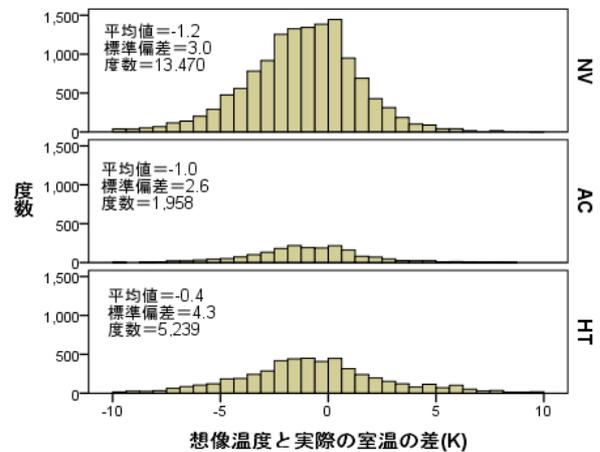


図4 想像温度と実際の室温の差の分布

4.3 想像温度と実際の室温の関係

この節では、各モードの想像温度と実際の室温の関係について明らかにするため、回帰分析を行う。図5にモード別の想像温度と室温の散布図を示す。得られた回帰式は以下示す。

$$NV \quad T_{ic} = 0.862T_i + 1.959 (n=13496, r=0.86, p<0.001) \quad (2)$$

$$AC \quad T_{ic} = 0.290T_i + 18.858 (n=1957, r=0.27, p<0.001) \quad (3)$$

$$HT \quad T_{ic} = 0.498T_i + 8.486 (n=5238, r=0.50, p<0.001) \quad (4)$$

T_i : 室温(℃)、 T_{ic} : 想像室温(℃)、 n : サンプル数、 r : 相関係数、 p : 有意水準である。回帰係数や相関係数はNV モードで一番高くなっている。この回帰式を用いて、室温が28℃の場合、想像温度はNV モードで26.1℃、ACモードで27.0℃である。また、室温が15℃の場合、想像温度はHTモードで16.0℃である。想像温度と室温の相関係数はNV モードで0.86、ACモードで0.27、HTモードで0.53であり、NVモードが一番高い。つまり、冷房や暖房をつけている時よりも、自然換気している時の方がより正確に温度を想像することができるといえる⁵⁾。

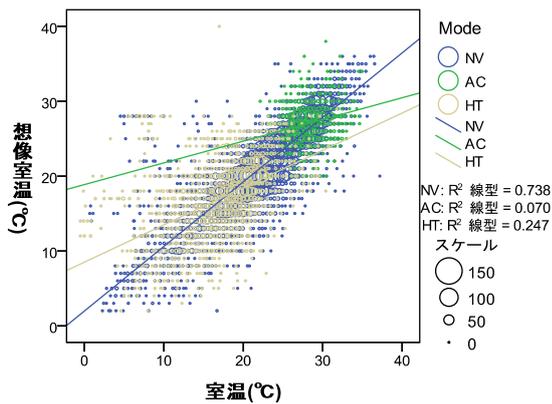


図5 想像温度と室温の関係

4.4 回帰法による想像快適温度の予測

この節では、住宅のリビングにおける温冷感がどのように分布しているのかについて明らかにする。また、想像温度と温冷感の関係から想像快適温度について明らかにする。図6に温冷感の分布を示す。表1に温冷感と室温や想像温度の相関係数を示す。

平均温冷感 は NV モードで 4.9、AC モードで 5.6、HT モードで 4.2 となっており、それぞれのモードで 0.7 の差がある。

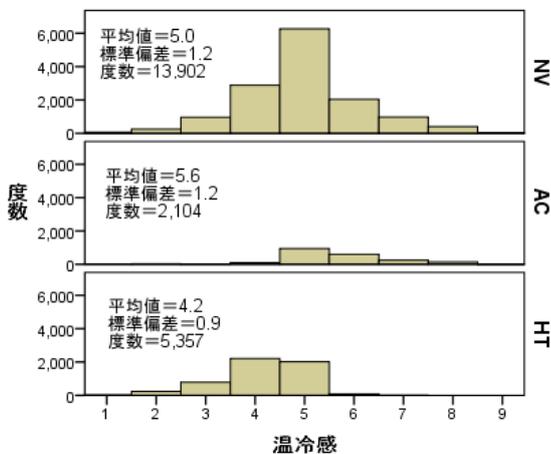


図6 温冷感の分布

図7に温冷感と想像温度の関係を示す。得られた回帰式は以下の通りである。

$$NV: C=0.153T_{ic}+1.673(n=13,868, R^2=0.50, p<0.001) \quad (5)$$

$$AC: C=0.115T_{ic}+2.473(n=2,100, R^2=0.05, p<0.001) \quad (6)$$

$$HT: C=0.103T_{ic}+2.382(n=5,347, R^2=0.25, p<0.001) \quad (7)$$

C: 温冷感、 T_{ic} : 想像室温 (°C)、n: サンプル数、 R^2 : 相関係数、p: 有意水準である。相関係数は、NV モードの時が一番高くなっている (表1)。AC モードと HT モードの回帰係数がほぼ同じなため、両方のグラフは、ほぼ平行になっている。回帰式に「5. 暑くも寒くもない」

を代入すると、想像快適温度は、NV モードで 21.7°C、AC モードで 21.2°C、HT モードで 25.4°C となる。HT モードでは想像快適温度が高いが、次節で Griffiths 法を用いて検討する。

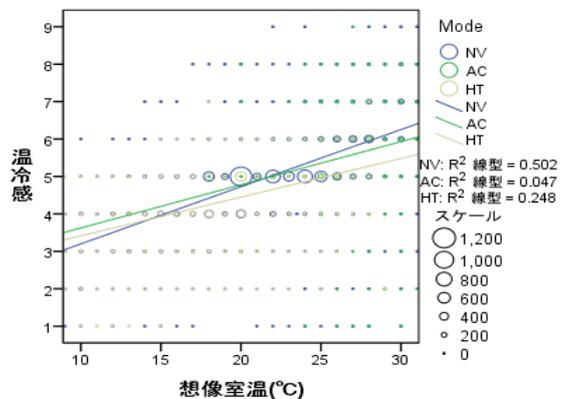


図7 温冷感と想像温度の関係

表1 温冷感と室温や想像温度の相関係数

Mode	項目	$T_{ic}:C$	$T_i:C$
NV	r	0.71	0.69
	p	<0.001	<0.001
	n	13,896	13,472
AC	r	0.22	0.23
	p	<0.001	<0.001
	n	2,101	1,956
HT	r	0.50	0.31
	p	<0.001	<0.001
	n	5,348	5,241

T_{ic} : 想像温度 (°C)、 T_i : 室温 (°C)、C: 温冷感、r: 相関係数、p: 有意水準、n: サンプル数である。

4.5 Griffiths 法による想像快適温度の予測

想像快適温度を Griffiths 法でも検討する。図8に温冷感申告と想像室温から計算した Griffiths 法による想像快適温度の分布を示す。回帰係数 0.33、0.44、0.67 による想像快適温度に大きな差がないため、以降では、回帰係数 0.67 を用いて分析する。表2に回帰係数別による快適想像温度と標準偏差を示す。平均想像快適温度は、NV モードで 21.6°C、AC モードで 26.0°C、HT モードで 18.5°C である。回帰法と Griffiths 法による想像快適温度を比較すると、NV モードで 0.1°C、HT モードで 6.9°C 回帰法の方が高く、AC モードで 4.8°C Griffiths 法の方が高くなっている。AC と HT モードにおいて差がみられたが、Griffiths 法の方が妥当的であると思われる。

表2 回帰係数別による想像快適温度と標準偏差

Mode	回帰係数	想像快適温度(°C)	標準偏差
NV	0.33	21.7	4.0
	0.44	21.6	4.2
	0.67	21.6	4.5
AC	0.33	25.2	3.8
	0.44	25.6	3.1
	0.67	26.1	2.5
HT	0.33	19.8	3.7
	0.44	19.2	3.7
	0.67	18.5	3.8

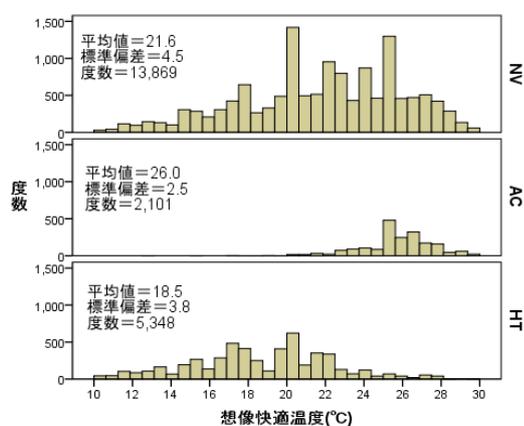


図8 想像快適温度の分布

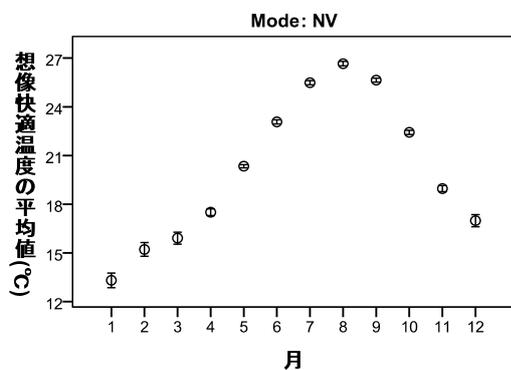


図9 月毎の平均想像快適温度と95%の信頼区間

図9に月毎の平均想像快適温度と95%の信頼区間を示す。図は回帰係数0.67によるものである。想像快適温度の平均値は、夏であれば25°C前後、冬であれば15°C前後となっており、10°Cの季節差がみられる。よって、人々は住んでいる環境にうまく適応しながら暮らしているといえる。

5. まとめ

本研究では、岐阜県の住宅を対象に温熱環境の実測と

想像温度に関する熱的主観申告調査を行い、下記の結果が得られた。

- 想像温度と室温の分布を比較してみると、非常に似通ったものになっており、モード別のデータの平均値も、ばらつき方もほぼ同じである。居住者は冷暖房や自然換気を利用し、室温を調節していたといえる。
- 想像温度と実際の室温の差は、NVモードが一番大きく、湿度や風など、様々な条件によって想像温度は変化すると考えられる。
- 想像温度と室温の相関係数はNVモードで0.86、ACモードで0.27、HTモードで0.53であり、NVモードが一番高い。つまり、冷房や暖房をつけている時よりも、自然換気している時の方がより正確に温度を想像することが出来るといえる。
- Griffiths法で算出した想像快適温度はNVモードで21.6°C、ACモードで26.0°C、HTモードで18.5°Cである。平均想像快適温度に10°Cの季節差があり、人々は住んでいる環境にうまく適応しながら暮らしているといえる。

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

- 町口賢宏、斉藤雅也、辻原万規彦：ヒトが快適・不快に感じる温度の地域性に関する研究：夏季の札幌・熊本の小学児童を対象にして、*日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）*、pp.35~36、2010.9
- 斉藤雅也：ヒトの温度感覚と環境調整行動に関する研究：その4.冬季札幌の戸建住宅における被験者実験、*日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）*、pp.31~32、2010.9
- 斉藤雅也、楠美静香、成田梓、山田愛：ヒトの視的・温熱的快適性と環境調整行動に関する研究、*日本建築学会北海道支部 研究報告集 No.83*、pp.263~266、2010.7
- 斉藤雅也：ヒトの想像温度と環境調整行動に関する研究、*日本建築学会環境系論文集 第74巻 第646号*、pp.1299~1306、2009.12
- 酒井匠、リジャル.H.B：夏と秋における住宅の想像温度と想像快適性に関する研究、*日本建築学会関東支部研究報告集*、pp.121~124、2011.3

*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）