

住宅における作業効率と温熱環境に関する研究

準会員 ○室本真紀*
正会員 H.B.リジャル**

住宅 リビング 気温
作業効率 温冷感 快適感

1. はじめに

本来、作業効率はオフィスや工場で働く従業員の生産性を向上させるために求められている。しかしながら、近年はパソコンやインターネットの普及などの社会背景から住宅でもオフィスのような作業を行うことが増えている。特に、欧米や日本では住宅勤務も増えており、休日を含んで家で仕事する人が増えていると思われる。

オフィスを対象とした作業効率に関する研究が数多くみられる^{1)~4)}が、住宅での研究がみられないため住宅でも作業効率の研究を行う必要がある。住宅で作業効率の研究を行うことで、私達の日常生活の中で行われる様々な作業(家事や学校の課題、職場から持ち帰った仕事など)を効率的に行うことが出来ると思われる。

本研究では、関東地域の住宅における温熱環境の実測と居住者の作業効率に関する熱的主観申告調査を行い、作業効率と温熱環境や快適感などの関係性を評価し、作業効率の最適な条件について明らかにする。

2. 調査方法

調査対象住宅は東京都で3軒と神奈川県で8軒である(アパートが2軒、戸建て住宅が6軒、集合住宅が3軒)。調査期間は2010年7月6日~10月11日である。室温、相対湿度と照度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。各機器の測定高さは床上約110cmである。なお、外気温は最も近い気象台のデータを用いた。

また、作業効率の申告(家事、読書、勉強などのし易さ)は5段階尺度を用いて行った(表1)。快適感申告は6段階尺度(表2)、温冷感申告は7段階尺度を用いて行った(表3)。申告対象人数は11世帯の29人(男性:15人、女性:14人)である。居住者の申告は1日数回記入し、得られた申告数は約2100個である。申告者の年齢は13~64歳である。表4に調査対象世帯の概要を示す。

表1 作業効率の尺度

尺度	項目
5	標準よりかなり高い
4	標準よりやや高い
3	標準的である
2	標準よりやや低い
1	標準よりかなり低い

表2 快適感の尺度

尺度	項目
6	とても快適
5	まあまあ快適
4	少し快適
3	少し不快
2	まあまあ不快
1	とても不快

表3 温冷感の尺度

尺度	項目
1	寒い
2	涼しい
3	やや涼しい
4	どちらでもない
5	やや暖かい
6	暖かい
7	暑い

表4 調査対象世帯の概要

所在地	住宅名	種類	構造
東京	A	戸建て	木造
	B	集合住宅	鉄骨造
	C	戸建て	木造
横浜	D	戸建て	木造
	E	戸建て	木造
	F	集合住宅	鉄骨造
	G	集合住宅	鉄骨造
	H	アパート	RC造
	I	戸建て	木造
	J	アパート	鉄骨造
三浦	K	戸建て	木造

3. 結果と考察

3.1 作業効率の分布

作業効率の実態を明らかにするために、図1に作業効率の分布を示す。尚、ACモードとはエアコン及びドライ機能を利用した場合を示し、NVモードは自然換気状態の場合を示す。作業効率の平均値はACモードで3.13、NVモードで2.88であり、ACモードの方が作業効率が高い。標準偏差はNVモードの方が大きく、データのばらつきも大きい。

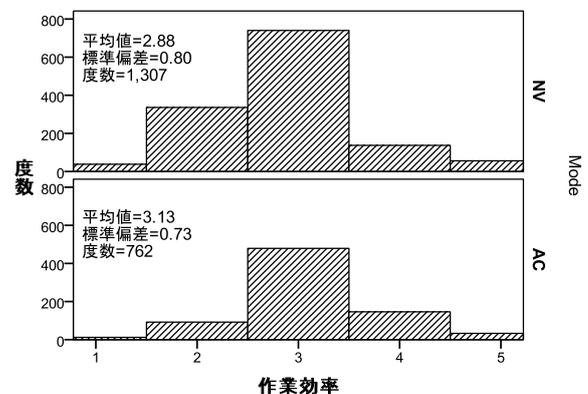


図1 作業効率の分布

表5 作業効率の度数分布表

尺度	NVモード		ACモード	
	度数	割合(%)	度数	割合(%)
1	38	3	12	2
2	336	26	92	12
3	740	57	479	63
4	137	11	146	19
5	56	4	33	4
合計	1307	100	762	100

表 5 に作業効率の度数分布表を示す。作業効率が、「3. 標準的である」が最も多く、NV モードで 57%、AC モードで 63%である。これに「4. 標準よりやや高い」と「5. 標準よりかなり高い」を含めると、NV モードで 71%、AC モードで 86%になる。これらのことから住宅の作業効率は高いと言え、NV モードより AC モードの時の方が作業効率が標準以上になることが多いことが分かる。AC モードで作業効率が高いのは、冷房による室温を調節しているためと思われる。

3.2 作業効率と温冷感の関係

温冷感が作業効率に与える影響を分析するために、図 2 に作業効率と温冷感の関係を示す。NV モードでは、温冷感「4.どちらでもない」時の作業効率が「3.標準的である」であることが多い。作業効率 (P) と温冷感 (C) の間に下記の 1 次回帰式が得られた。R² は決定係数である。

$$\text{NV } P = -0.256C + 4.042 \quad (n=1306, R^2=0.19, p<0.001) \quad (1)$$

$$\text{AC } P = -0.156C + 3.703 \quad (n=761, R^2=0.05, p<0.001) \quad (2)$$

温冷感が「4. どちらでもない」時、作業効率の NV モードで 3.02、AC モードで 3.08 となる。NV、AC モード共に熱的に中立に感じている時に作業効率も標準的であると言える。

作業効率と温冷感の関係をさらに検討するために、2 次回帰分析を行う。得られた回帰式は下記に示す。

$$\text{NV } P = -0.057C^2 + 0.305C + 2.769 \quad (n=1305, R^2=0.21, p<0.001) \quad (3)$$

$$\text{AC } P = -0.089C^2 + 0.576C + 2.317 \quad (n=761, R^2=0.11, p<0.001) \quad (4)$$

これらの式を微分して P=0 を代入すると、作業効率が最も良いとされる快適感 (C) は NV モードで 2.7、AC モードで 3.2 である。これは温冷感「3. やや涼しい」時に快適に感じる傾向があるためであり、既往研究でも同じ結果を得ている⁶⁾。

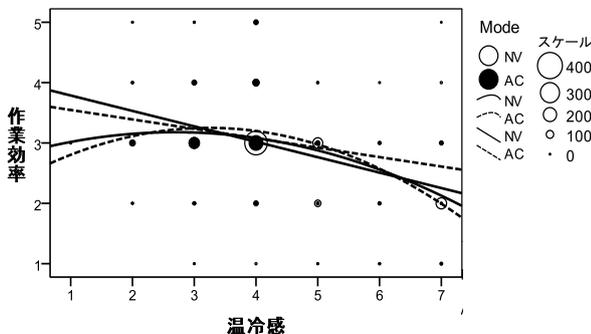


図 2 作業効率と温冷感の関係

表 6 AC モードと NV モードの相関係数

Mode	項目	P:C	P:OC	P:T _i	P:T _c	P:T _o	T _i :T _o	T _i :T _c	T _o :T _c
NV	r	-0.44	0.65	-0.34	-0.36	-0.36	0.83	0.76	0.70
	p	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	n	1,306	1,305	1,307	1,286	1,306	1,306	1,286	1,285
AC	r	-0.23	0.52	-0.04	-0.14	-0.07	0.08	0.59	0.11
	p	<0.001	<0.001	n.s.	<0.001	n.s.	0.026	<0.001	0.003
	n	762	762	762	752	762	762	752	752

P: 作業効率、C: 温冷感、OC: 快適感、T_i: 室温 (°C)、T_c: 想像温度 (°C)、T_o: 外気温度 (°C)、r: 相関係数、p: 有意水準、n: サンプル数、n.s.: not significant

3.3 作業効率と快適感の関係

作業効率と快適感の関係を分析するため、図 3 に作業効率と快適感の関係を示す。図中に一次回帰線と 95% の信頼区間の線を示す。NV モードは「4.少し快適」から「5. まあまあ快適」を中心にして作業効率が標準的であると感じる傾向がある。NV モードの作業効率と快適感の相関係数は AC モードより高い (表 6)。作業効率 (P) と快適感 (OC) の間に下記の回帰式が得られた。

$$\text{NV } P = 0.444OC + 1.14 \quad (n=1305, R^2=0.42, p<0.001) \quad (5)$$

$$\text{AC } P = 0.352OC + 1.480 \quad (n=762, R^2=0.27, p<0.001) \quad (6)$$

これらの式から快適感が「5. まあまあ快適」の時、作業効率は NV モードで 3.36、AC モードで 3.24 である。このことから快適感が「5. まあまあ快適」にすれば作業効率も高くなる。このように快適感が分かると作業効率も予測できる。AC モードの場合、快適感が主に「4. 少し快適」以上に分布しているため、居住者がどんなに快適であると感じても作業効率は多くの場合標準的である。

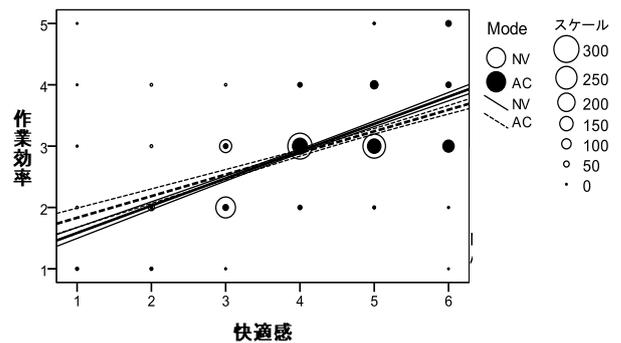


図 3 作業効率と快適感の関係

3.4 作業効率と室温の関係

作業効率に最も適切な気温があると考えられ、気温が低くても高くても作業効率が低下する。室温や作業効率のデータが中心に分布しており (図 1 と 4)、室温が低い場合や高い場合には作業効率が低下している。室温から

作業効率を予測するために、図5に作業効率と室温の関係を示す。作業効率 (P) と室温 (T_r) の間に下記の回帰式が得られた。

$$NV \quad P = -0.095T_r + 5.571 \quad (n=1307, R^2=0.11, p<0.001) \quad (7)$$

作業効率が「3. 標準的である」時、NVモードの室温は26°Cになる。尚、ACモードの回帰式は有意な差がないため示していない。

作業効率と室温の関係をさらに検討するために、2次回帰分析を行う。得られた回帰式は下記に示す。

$$NV \quad P = -0.014T_r^2 + 0.649T_r - 4.562 \quad (n=1307, R^2=0.14, p<0.001) \quad (8)$$

$$AC \quad P = -0.022T_r^2 + 1.186T_r - 12.505 \quad (n=1307, R^2=0.05, p<0.001) \quad (9)$$

これらの式を微分して $P=0$ を代入すると、作業効率に最も良いとされる室温はNVモードで23.2°C、ACモードで27.0°Cであり、両者に差がみられた。冷房されているオフィスでは作業効率に最適な温度は24.3°Cとなっており⁶⁾、本研究の室温の方が高い。

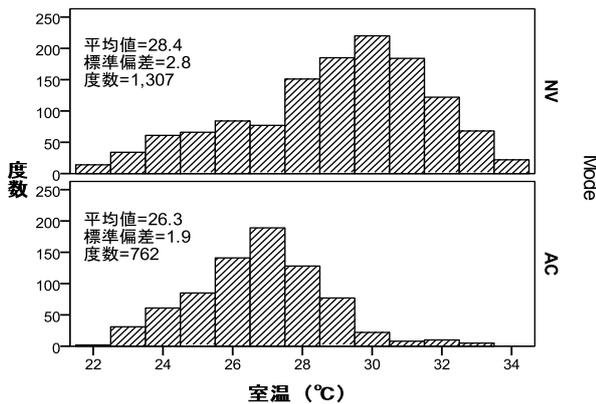


図4 室温の度数分布

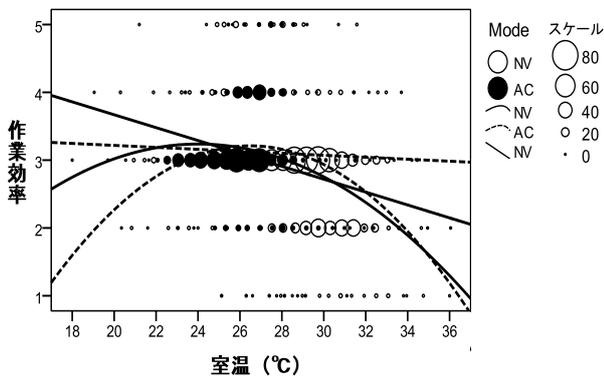


図5 作業効率と室温の関係

3.5 作業効率と想像室温

想像温度 (T_c) から作業効率を予測するために、図6に

作業効率と想像温度を示す。 T_i と T_c の相関係数はNVモードで0.76、ACモードで0.59である(表6)。 P と T_c の相関係数はNVモードで-0.36、ACモードで-0.14であり、NVモードの方が作業効率と想像温度に相関関係がある。作業効率 (P) と想像温度 (T_c) の間に下記の1次回帰式が得られた。

$$NV \quad P = -0.097T_c + 5.525 \quad (n=1286, R^2=0.13, p<0.001) \quad (10)$$

$$AC \quad P = -0.057T_c + 4.624 \quad (n=1286, R^2=0.02, p<0.001) \quad (11)$$

作業効率が「3. 標準的である」時、NVモードの想像温度は26°Cで、ACモードの時は28.5°Cとなっている。

作業効率と想像温度の関係をさらに検討するために、2次回帰分析を行う。得られた回帰式は下記に示す。

$$NV \quad P = -0.019T_c^2 + 0.902T_c - 7.713 \quad (n=1285, R^2=0.21, p<0.001) \quad (12)$$

$$AC \quad P = -0.039T_c^2 + 2.008T_c - 22.558 \quad (n=751, R^2=0.10, p<0.001) \quad (13)$$

これらの式を微分して $P=0$ を代入すると、作業効率に最も良いとされる想像温度はNVモードで23.7°C、ACモードで25.7°Cである。このようにACとNVモードで作業効率に適した気温が異なっており、今後さらに検討する必要がある

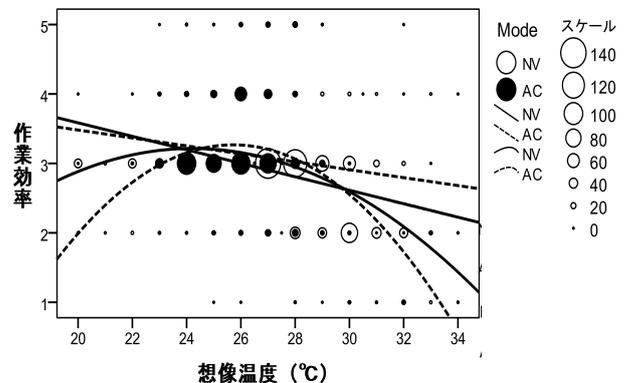


図6 作業効率と想像温度の関係

3.6 作業効率と外気温の関係

外気温から作業効率を予測するため、図6に作業効率と外気温の関係を示す。作業効率 (P) と外気温 (T_o) の間に下記の1次回帰式が得られた。

$$NV \quad P = -0.068T_o + 4.662 \quad (n=1306, R^2=0.13, p<0.001) \quad (14)$$

作業効率が「3. 標準的である」時、外気温が24.4°Cになる。

作業効率と外気温度の関係をさらに検討するために、2次回帰分析を行う。得られた回帰式は下記に示す。

$$NV \quad P = -0.004T_o^2 + 0.139T_o - 2.165 \quad (n=1305, R^2 = -0.14, p < 0.001) \quad (15)$$

回帰曲線から分かるように外気温度が低い場合や高い場合には作業効率が低下している。この2次式を微分して $P=0$ を代入すると、作業効率に最も良いとされる外気温度は 17.4°C である。この結果について、今後年間の調査でさらに検討する必要がある。尚、ACモードの回帰式が有意な差がないため示していない。

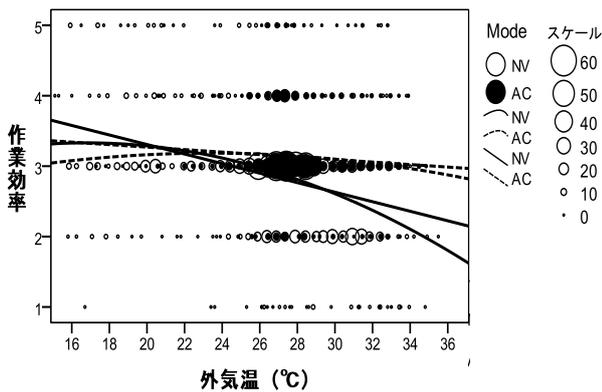


図7 作業効率と外気温度の関係

4. まとめ

本研究では、関東地域の住宅を対象に夏と秋のリビングにおける温熱環境の実測と居住者の作業効率の熱的主観申告調査を行い⁷⁾、下記の結果が得られた。

1. 住宅の平均作業効率は NV モードより AC モードの時の方が高い。これは AC モードでは冷房による室温を調節しているためである。
2. 熱的に中立に感じている時、作業効率も標準的である。温冷感から作業効率を予測した結果、温冷感 2.7 (NV) と 3.2 (AC) の時、居住者の作業効率が最も高い。
3. 作業効率と快適性の相関係数が大きく、快適性が分かると作業効率が予測できる。快適性から作業効率を予測した結果、快適性は 3.36 (NV) と 3.24 (AC) の時、居住者の作業効率が最も高い。
4. 室温から作業効率を予測した結果、室温は 23.2°C (NV) と 27.0°C (AC) の時、居住者の作業効率が最も高い。
5. 想像温度から作業効率を予測した結果、想像温度は 23.7°C (NV) と 25.7°C (AC) の時、居住者の作業効率が最も高い。
6. 外気温度が 17°C の時、居住者の作業効率が最も高い

が、今後さらに検討する必要がある。

謝辞

実測調査と申告調査に居住者の方々に多大なご協力を頂いた。また、データ入力に同僚の梅田真衣、小澤真之、勝野二郎、酒井匠、重野悠、田屋博貴、西村美沙紀、細川陽平、吉村咲希と和田拓記にご協力して頂いた。記して謝意を表す。

参考文献

1. 内田匠子、亀田健一、村上周三、伊香賀俊治、林立也：クールビズを実践するオフィスにおける扇風機の気流が作業効率に及ぼす影響、*日本建築学会大会学術講演梗概集*, pp. 1169~1170, 2007.8.
2. 田中幸治、西原直枝、田辺新一：室内気流が作業効率に与える影響に関する研究(その1：被験者実験方法・気流感・作業負担感および作業成績結果)、*日本建築学会大会学術講演梗概集*, pp. 419~420, 2002.8.
3. 多和田友美、伊香賀俊治、村上周三、亀田健一、内田匠子、三枝隆晴、上田悠：夏季のオフィスにおける温熱環境と作業効率及び電力消費量の関係、*日本建築学会大会学術講演梗概集*, pp. 621~624, 2009.
4. 尾山秀平、岩下剛、合原妙美：室内の温熱環境及び空気質が在室者の心理評価及び作業効率に及ぼす影響に関する研究 その1 室内の温熱環境が在室者の心理評価及び作業効率に及ぼす影響、*日本建築学会学術講演梗概集*, pp. 785~786, 2002.6
5. Humphreys MA, Nicol JF (2007): Self-Assessed Productivity and the Office Environment: Monthly Surveys in Five European Countries, *ASHRAE Transactions 113 (1)*, pp. 606~616.
6. Nicol JF, Rijal HB (2009): 24th debate part 2 Survey of comfort and productivity, British Council Offices.
7. 室本真紀、リジャール H.B：夏と秋における温熱環境による居住者の作業効率に関する研究、*日本建築学会関東支部研究発表会*, pp. 157-160, 2011.3.

*東京都市大学 環境情報学科 学部生

**東京都市大学 環境情報学科 講師・博士(工学)

* Undergraduate student, Tokyo City University

** Lecturer, Tokyo City University, Dr. Eng.