オフィスの物理的環境と執務者のアンケート申告との対応

総合的調査によるオフィスの室内環境と快適性に関する研究 その1

THE CORRELATIONS BETWEEN MEASURED PHYSICAL LEVELS AND
THE OCCUPANTS' SENSATION RESPONSES AT THEIR OFFICES

A study on indoor environment and comfort in offices based on synthetic investigations Part 1

三浦寿幸*, 宮尾健一**

Toshiyuki MIURA and Ken-ichi MIYAO

This paper is based on synthetic investigations conducted at five offices. The correlations between the averages of measured physical level distributions and the averages of the occupants' sensation responses were analyzed. As a result, positive correlations with the thermal environment, the indoor noise and the area of the space were observed. However, with regard to the indoor air quality, it was found that the occupants' sensation responses were separated by whether or not smoking was permitted in the building. In addition, indoor humidity and the newness of the office also affected the indoor air quality. It was also observed that an occupants' sensitivity to indoor noise in the winter was higher than that it is in the summer. It was confirmed that PMV was an effective thermal index at offices.

keywords : office, indoor environment, synthetic investigation, post occupancy evaluation, measured physical levels, occupants' sensation responses

オフィス、室内環境、総合調査、居住後評価、物理量、アンケート申告

1. はじめに

オフィス環境の物理量測定と執務者の体感・心理量測定を併用した調査研究が、室内環境の実状把握や基準値の検討等を目的としてこれまで多く行われてきている。例えば、成瀬・南野・梶井ら¹⁾、江口・坊垣ら²⁾、松尾ら³⁾は温熱環境を、橘ら⁴⁾は音環境を調査対象としており、木村・田辺ら⁵⁾は空気環境のにおいを対象とした調査を行っている。また、鹿島・安富ら⁶⁾は、照明環境に関するオフィスの室内環境実態調査をもとに現行の設計手法の問題点と今後の設計のありかたを論じている。これらの研究の多くは個別の環境要素に着目したものであるが、1980年代なかば頃に伊藤・久野ら⁷⁾が省エネ庁舎の温熱・空気質・光環境を対象とした実態調査を行なっている。しかし、この頃まではこうした複数の環境要素を対象とした調査は少ない。

1980年代後半には、オフィスのOA化やインテリジェント化の進展とともに、室内環境の快適性に対する要求が次第に高まり、快適性を軸としたオフィス環境の総合的評価の試みがなされはじめた。田中ら⁸⁾はテナントオフィスの2フロアについての温熱・空気質・光・音環境の総合調査を行っており、山岸ら¹⁷⁾は、既設建物から新設建物への移転前後の総合調査を試みている。さらに、建設省官民連帯共同研究「室内環境の最適化システムの開発」によってオフィ

スの居住後評価手法の開発が行われ、その過程でなされた調査結果が、小宮・渡辺ら⁹⁾、斉藤ら¹⁰⁾、桑原ら¹¹⁾、今川ら¹²⁾、山田ら¹³⁾、筆者ら²⁶⁾によって1988年ごろより報告されている。また、宮田・坊垣ら¹⁴⁾はこの共同研究で開発した調査法(POEM-0)と調査結果の概要を報告している。このように、環境要素の物理量と体感・心理量の両面を扱ったオフィス環境の調査は、従来個別の環境要素に着目して行われることが多かったが、室内環境の快適性の要求の高まりを契機として複数の環境要素を同時に捉える、より総合的な調査へと展開してきた。

しかしながら、総合的な調査であっても居住環境を構成する複数の環境要素全般にわたってその物理量と執務者の体感・心理量とを詳細に調査している事例は少なく、詳細な総合調査に基づいた各環境要素の物理量とアンケート申告との対応及び室内環境の快適性と各環境要素との関係については検討の余地があると考えられる。

筆者らはこれまでに5件のオフィスを対象とした総合的調査を行ってきた。その調査の基本的方法は所定の時間帯における複数の環境要素の物理量と執務者の体感・心理量、及びその時の快適性(室内環境の総合的な感じ¹¹⁾)をほぼ同時に測定するものである。本研究その1は、こうした総合的調査の結果をもとに温熱・空気質・音・空間に関連する物理量と執務者のアンケート申告との関係

* 戸田建設技術研究所 工修

** 住環境総合研究所 博士(工学)

Technical Research Institute, Toda Corporation, M. Eng.
Housing Environment Research Institute, Inc., Dr. Eng.

表一 調査対象建物の概要

	A ビル	B ビル	C ビル	D ビル	E ビル
所在地	東京都	横浜市	仙台市	神奈川県	高知県
竣工年	1961年(1968年増築)	1987年	1978年	1990年	1997年
構造	SRC	SRC	SRC	RC	SRC
階数	地下2階、地上9階	地下2階、地上18階	地下2階、地上9階	地上4階	地下1階、地上7階
延べ床面積	30,790m ²	43,224m ²	11,323m ²	8,492m ²	8,624m ²
建築面積	2,542m ²	1,730m ²	1,130m ²	2,445m ²	2,329m ²
調査対象階	7階	15階	9階	4階	5階、6階
調査対象者数	105人	140人	101人	118人	35人、44人
人当床面積	5.81m ² /人	6.65m ² /人	6.00m ² /人	11.4m ² /人	13.8m ² /人、13.5m ² /人
人当占有床面積	4.57m ² /人	4.67m ² /人	4.90m ² /人	8.4m ² /人	10.1m ² /人、9.8m ² /人
天井高	2.55m	2.50m	2.45m	2.70m	2.65m、2.65m
執務内容	事務	事務・設計	事務・設計	技術職	事務、技術職
空調設備	ボイラー、冷凍機	空気熱源ヒートポンプ	ボイラー、冷凍機	ボイラー、冷凍機	空気熱源ヒートポンプ
空調方式	単一ダクト方式及び二重ダクト方式	各階ユニット方式	単一ダクト方式	床吹き出し空調	床吹き出し空調
換気回数	6.7回/h	7.0回/h	7.0回/h	9.6回/h	9.6回/h
調査期間	1989年 冬季 1月25日～31日 1989年 夏季 7月5日～11日	1989年 2月9日～14日 1989年 8月24日～30日	1989年 2月22日～28日 1989年 7月19日～25日	1992年 2月20日～26日 1991年 7月25日～31日	1998年 2月16日～20日 1998年 9月14日～18日

図一 各調査対象建物の平面図

A～Cビル網掛け範囲：調査対象スペース
 ◎：連続測定ポイント
 (代表点)

を分析し、調査に用いた物理量測定方法やアンケートの評定尺度が執務者の体感・心理量をどの程度説明できるか、また季節的な要因等が物理量と体感・心理量との関係にどのように影響しているかについて検討したものである。

2. 調査概要

2.1 調査対象建物及び調査方法

調査対象とした建物の概要を表一1、平面図を図一1に示す。A～Cビルの調査は筆者らが検討した方法を用いて POEM-0 の開発過程で予備的に実施したものであり、D、Eビルの調査はその後開発された POEM-0 を参考にして新築ビルの入居後の室内環境性状を確認するために実施したものである。

2.2 A～Cビルの調査概要

A～Cビルの調査は1989年の冬と夏に行った。調査時点でAビルは竣工後28年、Bビルは2年、Cビルは11年経過しており、所在はA、Bビルが関東地方の東京、横浜であるのに対し、Cビルは東北地方の仙台市である。アンケート対象者のプロフィールを表二に示す。A～Cビルの女性の割合はいずれの建物でも25%前後であり、年齢構成で

表二 アンケート対象者のプロフィール

建 物	Aビル	Bビル	Cビル	Dビル	Eビル 5F/6F
回答者数	83	100	96	103	31/40
性別					
男性	72.3%	74.7%	77.1%	95.1%	90.3/95.0
女性	27.7%	25.3%	22.9%	4.9%	9.7/5.0
年齢					
10～19才	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0/2.5
20～29才	40.2%	23.2%	17.7%	41.6%	25.8/27.5
30～39才	19.6%	29.4%	28.1%	40.6%	48.4/30.0
40～49才	26.8%	33.3%	39.6%	16.8%	6.5/27.5
50才以上	13.4%	14.1%	14.6%	1.0%	19.4/12.5
たばこ					
喫煙しない	59.3%	57.1%	53.2%	執務室内禁煙	同左
1～20本/日	29.6%	24.5%	20.8%		
20本以上/日	11.1%	14.1%	26.0%		
平均c10値					
冬季	0.94 (0.21)	0.98 (0.25)	1.10 (0.18)	0.78 (0.14)	0.81/0.79
夏季	0.71 (0.14)	0.66 (0.13)	0.70 (0.13)	0.60 (0.06)	0.63/0.60

表三 物理量測定概要

測定項目		測定機器等	測定ポイント数								備 考
			連続測定		移動(分布)測定						
			A～D ビル	Eビル 5F, 6F	A ビル	B ビル	C ビル	D ビル	Eビル		
								5F	6F		
熱	温度	Cu-Co 熱電対	2	1	20	26	25	68	32	45	温度の1ポイント当たりの測定点数分布5点(床表面、床上0.1, 0.6, 1.1, 1.7m) 連続7点(上記+天井下0.1m+天井表面、吹き出し口温度) 放射の分布測定機器 A～Cビル: B&K1213 D, Eビル: 高速応答グローブ球
	湿度	静電容量式湿度計	2	1	—	—	—	—	—	—	
	放射	グローブ球、B&K1213	2	1	10	14	12	68	32	45	
	気流	熱線風速計	—	—	16	24	13	28	21	25	
	PMV	B&K1212	2	1	—	—	—	30	36	40	
空気	粉塵	デジタル粉塵計	2	1	3/7	5/7	9	10	4	4	光散乱式、冬/夏 赤外線式 定電位電解式
	CO ₂	炭酸ガス測定器	2	1	3/7	5/7	9	10	4	4	
	CO	一酸化炭素ガス測定器	2	—	3/7	5/7	9	10	4	4	
音	Laeq, 10 minute	和分騒音計	1	—	6	6	6	4	1	1	連続測定はレベルレコーダー併用(A～Cビル) 機上面、日没後測定(A～Cビル) 執務時間測定(D, Eビル)
光	照度	照度計	—	—	44	76	135	39	42	42	
連続測定はアンケート調査日を含めて5～6日間実施。 連続測定時間間隔は、アンケート調査日(10分。その他は60分。(ただし音を除く))											

連続測定はアンケート調査日を含めて5～6日間実施。

連続測定時間間隔は、アンケート調査日が10分。その他は60分。(ただし音を除く)

はAビルの20才代が他に比べて多い。各建物の喫煙習慣のある執務者の割合は、およそ40～50%程度である。また、冬のclo値^{注2)}は、仙台のCビルが他よりやや大きめの傾向となっている。

物理量の測定概要を表-3に示す。A～Cビルの測定は、執務空間の代表点2カ所で調査期間中の経時変化を記録する連続測定と、アンケート記入時間帯に合わせて計器を持ち運びながら測定する移動(分布)測定の2通りを併用した。A～Cビルで用いたアンケート票の概要を表-4に示す。アンケート票は執務者の性別や年齢、喫煙習慣等、及び執務空間の広さに関する事項等をたずねる基本事項アンケート票と着衣票、アンケート記入時の体感や心理の状態をたずねる体感アンケート票を用意した。体感アンケート票は主として温熱、空気質、音、光環境に関連する設問及びこれらの複数の環境要素などと関連する室内環境の総合的な快適性^{注1)}に関する設問で構成されている。調査日数は各建物共、冬季・夏季それぞれ約1週間であり、体感アンケートはそのうち2日間(1日3回)行った。さらに、物理量との対応をみるため、指定した時間に記入してもらうように事前をお願いをしておき、アンケート票^{注3)}の冒頭にもその旨を記した。ただし、実際には執務中の在室者すべてが指定時間に記入することは困難なため、指定時間15分前よりおよそ1時間以内に記入されたものを有効とした。図-2はA～Cビルの体感アンケート調査日における移動測定及びアンケート配布・回収の概略のタイムスケジュールを示したもので、この作業に要した人員数は7～8名である。

2. 3 D、Eビルの調査概要

D、Eビルの調査はそれぞれ竣工後1～2年経過した1992年、1998年の冬と夏にPOEM-0精密版¹⁵⁾を参考にして行った。所在は、Dビルが神奈川県、Eビルが高知県である。Eビルは5階と6階の2フロアを調査対象としており、各フロア毎にデータを整理した。なお両ビル共、床吹き出し空調が採用されている。A～Cビルとの比較では、D、Eビルは女性の割合が少なく、執務者の着衣が冬季・夏季共に相対的に薄着である(表-2)。また、A～Cビルは喫煙が許されているのに対し、D、Eビルは禁煙となっている。物理量の測定方法はA～Cビルの場合と基本的に同じだが、D、Eビルでは放射温度の移動測定時間を短縮するために高速応答グローブ球を用いて室温分布と同時に測定している点、照度測定をアンケート記入時間帯に行っている点などが異なる。体感アンケートはA～Dビルで冬季・夏季それぞれ2日間行ったのに対してEビルでは各1日とし、1日の体感アンケート実施回数はA～Cビルの3回に対してD、Eビルは2回とした。D、Eビルの体感アンケート票の内容の基本的な考え方はA～Cビルと同じだが、例えばA～Cビルの温冷感評定尺度が9段階であるのに対し、D、Eビルでは7段階としているなど、評定尺度上の違いは少しある。

3. 室内環境要素の物理量と執務者のアンケート申告との対応

アンケート回収数を表-5、6に示す。各アンケート調査時間帯に測定した執務空間の物理量の平均値とアンケート申告平均値を算出し、その相関を調べた。^{注4)} 調査対象とした各建物の所在地域が異なるため、執務者の温熱感などにも地域差が全く無いとはいえないが、本研究ではいずれも日中の大半を主としてオフィスで執務する人を対象としていることから地域異なる建物をまとめて分析する方針とした。なお、本

図-2 体感アンケート調査実施日の測定タイムスケジュール

表-4 アンケート票の概要 (A～Cビル)

種 類	内 容 (質問数)	申 告 回 数
基本事項	回答者の属性 (10)、OA 器械に関する事項 (5) 執務空間の広さ (3)、室内環境の気になる点 (フリー アンサー)	冬季、夏季 各 1 回
体 感	体調・勤務状態 (2)、温熱環境 (7)、空気質 (5) 音環境 (3)、光環境 (3)、快適性に関する事項 (5)	冬季、夏季 各 6 回 (3 回/日×2 日) 10 時、13 時 30 分、16 時

* 着衣調査票は 10 時の体感アンケート票とともに配布・回収した。

表-5 体感アンケート票の回収数 (A～Cビル)

季節	建 物	月/日 (曜日)	体感アンケート回収数 (回収率%)			合 計
			10:00	13:30	16:00	
冬季	Aビル	1/27(金)	79 (75.2)	75 (71.4)	58 (55.2)	212 (67.3)
		1/30(月)	76 (72.3)	70 (66.7)	50 (47.3)	196 (62.2)
	Bビル	2/10(金)	89 (63.5)	92 (65.7)	72 (51.4)	253 (60.2)
		2/13(月)	89 (63.5)	88 (62.8)	72 (51.4)	249 (59.2)
夏季	Cビル	2/23(木)	85 (84.2)	63 (62.3)	73 (72.2)	221 (72.3)
		2/27(月)	81 (80.1)	74 (73.3)	65 (64.3)	220 (72.3)
	Aビル	7/7(金)	77 (68.8)	64 (57.1)	70 (62.5)	211 (62.8)
		7/10(月)	66 (58.8)	65 (58.0)	62 (55.4)	193 (57.4)
	Bビル	8/25(金)	66 (47.1)	52 (37.1)	64 (45.7)	182 (43.3)
		8/28(月)	80 (57.1)	69 (49.3)	65 (46.4)	214 (51.0)
夏季	Cビル	7/21(金)	79 (68.7)	72 (62.6)	67 (58.3)	218 (63.2)
		7/24(月)	73 (63.5)	71 (61.7)	78 (67.8)	222 (64.3)

表-6 体感アンケート票の回収数 (D～Eビル)

季節	建 物	月/日 (曜日)	体感アンケート回収数 (回収率%)		合 計
			10:00	15:30	
冬季	Dビル	2/21(金)	90 (76.3)	84 (71.2)	174 (73.7)
		2/24(月)	94 (79.7)	92 (78.0)	186 (78.8)
	Eビル	5F 2/18(水)	27 (77.1)	26 (74.3)	53 (75.7)
		6F 2/18(水)	30 (68.2)	23 (63.6)	53 (71.6)
夏季	Dビル	7/26(金)	88 (74.6)	80 (67.8)	168 (71.2)
		7/29(月)	78 (66.1)	77 (65.3)	155 (65.7)
	Eビル	5F 9/17(木)	31 (88.6)	31 (88.6)	62 (88.6)
		6F 9/17(木)	34 (77.3)	31 (70.5)	65 (73.9)

報では A～Cビルと D、Eビルで用いた体感アンケートの質問項目及びその評定尺度が同一またはほぼ同一とみなせると考えられるものを中心に整理している。

3. 1 温熱環境

3. 1. 1 相対湿度と乾湿感の関係

図-3に、代表点2カ所^{注5)}(連続測定点)の平均相対湿度と乾湿感平均申告との関係を示す。評定尺度の関係から回帰直線はA～Cビルのみのデータから求めたものを示しているが、D、Eビルを含めた回帰の結果もそれほど差はなかった。データ群の上下の直線は「申告平均値±標準偏差」の値から回帰したものである。冬季の相対湿度は、A、C、Eビルで40%を下回っているが、夏季はいずれの建物でもビル管理法(40%～70%)の範囲内にある。相対湿度50%前後で乾湿感申告が

図-3 室内相対湿度と乾湿感平均申告との関係

注) 縦軸 () 内はD, Eビルの評定尺度、データ群の上下の直線は「申告平均値±標準偏差」の回帰直線を示す

図-4 乾湿感申告平均値と標準偏差の関係

注) 縦軸 () 内はD, Eビルの評定尺度

「ふつつ」、40%以下では相対的に乾いている側の申告となる傾向が確認できる。夏季のCビルの乾湿感申告は他のビルより相対湿度が低めであったにもかかわらず「少し湿っている」側にシフトしている。この理由は、坊垣による実験室実験の結果¹⁶⁾でも類似の傾向が示されているように、Cビルの室温が高めであった(図-5)ことが影響したものと考えられる。図-4に乾湿感申告平均値と標準偏差との関係を示す。平均申告が「ふつつ」前後で標準偏差は小さくなり、「乾いている」または「湿っている」側ほど大きくなって申告がばらつく傾向が認められる。換言すれば、相対湿度に起因する物理的刺激が小さい状態ではその感じ方の個人差が小さく、刺激が大きくなるにつれて個人差も大きくなる傾向がある。

3. 1. 2 室温及びPMVと全身温冷感の関係

図-5に、A~Cビルの分布測定によって得られた平均室温(床上1.1m)と全身温冷感平均申告との関係を示す。夏季と冬季のデータの傾向が異なるのは執務者の着衣量などが影響していると考えられるが、季節別に求めた回帰式^{注6)}の相関係数は夏季の方が高い。これは夏季の方が各オフィス間の平均着衣量(表-2)の差が小さかったためと思われる。

図-6は、A~Cビルの代表点2カ所(連続測定点)で得られた物理量と着衣の調査結果をもとに代謝量を1.2metと仮定してそれぞれのPMVを算出し、その平均と全身温冷感平均申告との関係^{注7)}を調べたものである。平均室温で整理した図-5と比較すると夏季と冬季のデータが1群となっており、この代表点2カ所の平均PMV

図-5 平均室温と全身温冷感申告との関係(A~Cビル)

注) 各ビルの凡例は図-6~7で共通

図-6 代表点平均PMVと全身温冷感申告との関係(A~Cビル)

注) データ群の上下の直線は「申告平均値±標準偏差」の季節別回帰直線を示す

図-7 平均室温を用いたPMVと全身温冷感申告との関係(A~Cビル)

注) データ群の上下の直線は「申告平均値±標準偏差」の季節別回帰直線を示す

図-8 平均温冷感申告と熱環境不快感の関係(A~Cビル)

図-9 平均室温と全身温冷感申告との関係 (D、Eビル)

図-10 平均室温を用いたPMVと全身温冷感申告との関係 (D、Eビル)

注) データ群の上下の直線は「申告平均値と標準偏差」の季節別回帰直線を示す

図-11 粉塵濃度と空気の汚れ感との関係

注) 図-11～12 縦軸 () 内はD、Eビルの評定尺度

図-12 CO₂濃度と空気の汚れ感との関係

図-13 相対湿度と空気の汚れ感との関係

で夏季及び冬季の全身温冷感平均申告を比較的良好に説明できることがわかる。次に、室温として分布測定で得られた平均室温(床上1.1m)を用い、MRTは代表点2カ所のMRT^{註8)}と室温の差の平均を平均室温に加算したものを平均MRTとみなして^{註9)}計算したPMVとの関係を図-7に示す(他の条件は代表点2カ所の平均値を用いた)。これより、平均室温を用いることで特に夏季の「少し涼しい」～「少し暖かい」の範囲のデータが直線にのる傾向となって相関係数も改善され、室温等の分布の考慮が有効であると考えられた。また、これらの図では用いた日本語の9段階評定尺度とFangerの用いた尺度との関係が示される結果を得ており、概ね日本語の尺度の中立(「ふつう」)は英語のNeutralと、「暖かい」はSlightly warmとがそれぞれ対応している。

熱環境の快・不快感申告(快適、少し快適、ふつう、少し不快、不快の5段階評価)における「少し不快」と「不快」の全体に占める割合を熱環境不快率と定義し、A～Cビルの熱環境不快率と全身温冷感平均申告との関係を図-8に示す。用いた温冷感評定尺度の「暖かい」、「涼しい」の持つ季節的な意味合いが反映されたためか、データのばらつきはあるものの冬季は「少し暖かい」前後で熱環境不快率がやや小さくなる傾向がみられる。しかし建物別にみると調査時点での築年数の浅い建物の方が熱環境不快率が小さくなるようでもあり、用いた尺度の季節的な傾向は必ずしも明確とはいえない。ただし、図-6、7では夏のデータが中立から暑い側でS字型に分布する傾向がみられる。これは「暖かい」という言葉が夏にあまり使われないことが反映されたと考えられるが、このような季節的な影響を避けるには久野²⁴⁾が指摘するように寒暑・涼暖が混在する尺度ではなくそれらを区別した尺度の適用を検討する必要がある。

図-9に7段階の温冷感評定尺度を用いたD、Eビルの平均室温(床上0.6m)^{註10)}と全身温冷感平均申告との関係を示す。冬と夏の傾向の違いは主に着衣量などの差によるものと考えられる。図-10に着衣量の調査結果と分布測定によって得られた室温、MRT、気流速の各平均値及び代表点での平均相対湿度を用いて計算したPMV^{註11)}と全身温冷感平均申告との関係を示す。これより、夏季の回帰式は冬季のそれに比べて同じ平均申告でも相対的にPMVが大きめに評価される傾向にあることがわかる。この理由のひとつにPMVの計算に用いた気流速が挙げられ、その体感効果が過小評価されているのではないと思われる。すなわち、これらの建物の空調は床吹き出し方式による風量制御を行っていることから夏と冬では負荷(冷房)の大きな夏の方が相対的に気流の影響が大きく、夏は薄着となることもあってより気流を感じやすい状態にあると考えられる。さらに、床吹き出し²⁸⁾は空調空気の吹き出し方向を執務者が自由に換えられることから吹き出し気流の影響が執務者に及んでいる可能性があるが、吹き出し気流の直接的な影響を避けて測定を行う方針としたため、実測値^{註12)}が執務者の体感と結びつく実際の値よりも小さかったと考えられる。

3.2 空気質

3.2.1 粉塵濃度及び二酸化炭素濃度と空気の汚れ感の関係

粉塵濃度と空気の汚れ感との関係を図-11、二酸化炭素濃度と空気の汚れ感との関係を図-12に示す。横軸の粉塵濃度と二酸化炭素濃度は分布測定で得られたデータの平均値である。まず図-11より、D、Eビルの粉塵濃度が小さいことがわかるが、これは執務空間が禁煙であるためである。これらの禁煙となっている室内では空気の汚れを「感じない」側に評価されているのに対し、喫煙が許されているA～Cビルでは粉塵濃度がビル管理法基準値(0.15mg/m³以下)を満足しているものの、相対的に「少し感じる」側に評価されている。全体的にはこ

図-14 粉塵濃度とにおいの感じとの関係

注) 図-14～15 縦軸 () 内は D, E ビルの評定尺度

図-15 CO₂濃度とにおいの感じとの関係

図-16 相対湿度とにおいの感じとの関係

図-17 室内騒音周波数特性

図-18 LAeq, 10min と「しずかーうるさい」との関係

注) データ群の上下の直線は「申告平均値±標準偏差」の季節別回帰直線を示す

れら2つのグループにデータが層別されるが、A～Cビルだけに注目するとオフィス毎に異なった傾向を示しており、粉塵濃度との明確な相関は認められない。これらのオフィスは建物の新しさや内装の汚れの程度が異なっており、竣工年の古い建物の方が空気の汚れを「感じる」側に評価される傾向にある。これに対し、二酸化炭酸濃度は空気の汚れ感と間に明確な関係がないことが図-12より確認できる。また、冬と夏の対比という観点からみると、特に粉塵濃度との関係において全体的に冬の方が汚れを感じる側に評価される傾向にある。

図-13に喫煙が許されているA～Cビルの相対湿度と空気の汚れ感との関係を示す。相対湿度が低い建物の方が空気の汚れを感じる側に評価される傾向となっており、空気の汚れ感は粉塵濃度や二酸化炭酸濃度よりも相対湿度の影響が大きいといえる。^{注13)} また、図-11の冬と夏の違いも相対湿度が影響していると考えられる。

3.2.2 粉塵濃度及び二酸化炭酸濃度とにおいの感じの関係

粉塵濃度とにおいの感じとの関係を図-14、二酸化炭酸濃度とにおいの感じとの関係を図-15に示す。全体的に、空気の汚れに比べてにおいは相対的に「感じない」側にシフトしており、オフィス間の差も小さなものとなっている。粉塵濃度の小さなD、Eビルは、A～Cビルに比べてにおいを感じる割合が少ない傾向となっているのに対し、二酸化炭酸濃度との関係では明確な傾向が認められない。においの元についてもアンケートで調査しており、A～Cビルでは回答者のほとんどがたばこのにおいと答えている。冬と夏の対比では、空気の汚れ感の場合と同様で特に粉塵濃度との関係において全体的に冬の方がにおいを感じる側にシフトしている。

図-16に喫煙が許されているA～Cビルの相対湿度とにおいの感じとの関係を示す。空気の汚れ感の場合と同様に相関が認められ、相対湿度の低い建物の方がにおいを感じる側に評価される傾向にある。この相対湿度の影響については、木村ら¹⁸⁾が大学の教室で行なった臭気感覚に関する実測の結果と同様の傾向である。実使用状態でのオフィスで相対湿度と臭気強度の関係を調べた他のデータはほとんど見当たらないが、A～Cビルの執務者によるにおい感の申告は、粉塵濃度や二酸化炭酸濃度よりも相対湿度や建物の新しさの違い、冬と夏の季節差などの影響が大きいと考えられる。

3.3 音環境

図-17に、各オフィスの代表測定点における騒音周波数特性を示す。図中のデータの測定時刻はいずれのオフィスも午前10時前後のものであり、この時間帯の測定結果は1日の平均的な値に近かった。A特性等価音圧レベル (以降、LAeq, 10min) の値はAビルが最も大きく、以下C、B、D、Eビルの順となっている。いずれのオフィスでも、話し声や電話の呼び出し音、歩行音、ドアの開閉音などが主たる騒音源であった。

室内のLAeq, 10minと「しずかーうるさい」平均申告との関係を図-

図-19 LAeq, 10min と「気にならないー気になる」との関係

注) データ群の上下の直線は「申告平均値±標準偏差」の季節別回帰直線を示す

図-20 「しずかーうるさい」の申告平均値と標準偏差との関係

図-21 各床面積と執務空間の広さの感じとの関係

図-22 各床面積と執務空間の広さの満足度との関係

18に示す。回帰式の相関係数は夏冬共に0.85以上であるが、その傾きは冬の方が大きくなっており、騒音に対する人体側の感覚が冬は高く、夏は鈍いという見方ができる。これに類似した傾向は堀江ら¹⁹⁾の実験室で行われた被験者実験結果にも示されている。また、回帰式によるしずかな側とうるさい側の分岐点は冬がおおよそ55.6dB、夏が57.0dBとなっている。「気にならないー気になる」に関する平均申告との関係を図-19に示す。「しずかーうるさい」の場合と比較すると冬と夏の回帰式の傾きの関係は同様であるがy切片に違いがみられる。このことは多少うるさい側に評価されても気にならない側に評価される範囲が存在することを示している。また、60dB以上のデータは少ないが回帰式による気になる側と気にならない側の分岐点は冬がおおよそ57.9dB、夏が61.4dB前後である。図-20に「しずかーうるさい」の申告平均値と標準偏差との関係を示す。申告のばらつきは、うるさい側よりもしずかな側で相対的に大きくなる傾向が認められる。これは室内騒音の場合には物理的刺激の少ない側で感じ方の個人差が大きくなるためと考えられる。

3.4 空間(執務空間の広さ)

人当床面積、人当占有床面積²⁰⁾と執務空間の広さの感じ及び広さの満足度との関係^{註14)}を図-21、22に示す。参考として人当床面積の回帰式を図中に示す。人当床面積とは、壁や間仕切り壁で明確に区画された会議室や集中OA室などを除外した執務室面積を在籍者数で除した面積で、人当占有床面積とは先の執務面積から執務空間と比較的一体になった打ち合わせコーナーやOAコーナー、低い収納で部分的に区画された主要通路等を除外した面積を在籍者数で除して算定した面積である。両面積とも心理量との相関が認められるが、人当床面積6~7m²/人前後のA~Cビルは「やや狭い」、「やや不満」の評価となっているのに対し、13m²/人を超えるEビルでは「やや広い」、「やや満足」以上の評価を得ている。7~11m²/人の空間のデータがないが、回帰式からみて平均的に不満のなくなる人当床面積はおおよそ9~10m²/人前後と推察される。

4. まとめ

室内環境の快適性を軸として行ったオフィスの総合的調査の結果をもとに、温熱・空気質・音・空間の物理量とアンケート申告の対応の検討を行った。結果を以下に要約する。

1) 室内相対湿度と乾湿感、及び室温、PMVと全身温冷感とにそれぞれ良い相関が認められた。PMVは実際のオフィス空間での温熱評価指標として有効であることが確認できた。しかし、吹き出し方向が調整可能な吹き出しによる床吹き出し空調方式を採用した建物の夏季室内環境にあつては床吹き出しからの気流の影響は無視できず、PMVの適用に際しては注意を要する。

2) ビル管理法を満足する範囲での粉塵濃度、二酸化炭素濃度と空気の汚れ感、におい感との関係では、粉塵濃度、つまり喫煙が許されているか否かで申告の傾向を大きく層別できるが、喫煙可能な執務空間だけのデータからは明瞭な関係は見い出せなかった。しかし喫煙が許されている室内では、相対湿度や建物の新しさ、季節と関係がありそうで、相対湿度が低く竣工年が古い方が、そして夏よりも冬の方が空気の汚れやにおいを感じやすいという傾向がみられた。

3) LAeq, 10minと「しずかーうるさい」、「気にならないー気になる」との関係では、いずれの場合も騒音に対する感覚は夏よりも冬の方が高い傾向となることが示された。また、LAeq, 10minが大きくてうるさい側ほどアンケート申告の標準偏差は小さく、LAeq, 10minが小さくてしずかな側ほど大きくなる傾向が認められた。

4) 人当床面積6~7m²/人前後の執務空間はやや狭い、やや不満の評価であったが、13m²/人以上の執務空間ではやや広い~広い、やや満足~満足と評価された。

5. おわりに

より一般的な知見を得るためには、今後さらにデータの補完を継続して分析を重ねる必要がある。なお、光環境に関しては、A~Cビルの調査でアンケート時間帯の物理量測定を行う計画としていなかったために本報告では触れていないが、アンケート結果からみていずれの建物でも良好な光環境が確保されていた。光環境の物理量とアンケートの対応については今後データの蓄積を図って検討する必要がある。

謝辞

本論文のまとめに際して、北海道大学・荒谷登名誉教授、絵内正道教授の貴重なご助言を頂いた。記して感謝の意を表します。また、調査の具体的な方法に関しては建設省官民連帯共同研究の成果を参考にさせて頂いた。共同研究の関係各位及び調査とデータ整理に御協力頂いた多くの方々に謝意を表します。

注

- 注1) 快適性についてのアンケート票の設問は、「執務をするうえで、現在の室内環境(温湿度、空気清浄さ、音のうるささ、明るさなどの状態)は、総合的な感じとしてあなたにとっていかがですか?」とし、快適～不快を5段階で申告させた。
- 注2) clo値は着衣の単品の熱抵抗の総和を補正する方法²¹⁾で算出した。
- 注3) アンケート回答時刻の記入欄を設け、データ整理段階で記載時刻を確認できるようにした。
- 注4) アンケート調査日を含む調査期間全体の物理量経時変化の特徴的な傾向は概略次の通りである。[温熱] 冬季、Aビルは週末の室温が冬としてはやや高め状態で推移、Bビルの空調時間は他より3時間長く土曜・日曜も運転、Cビルは空調停止後の室温降下が相対的に大きく、Eビルは小さい。夏季、CビルはFCU制御センサのトラブルで週末の室温が高めとなったが修理後の週明け午後に設定温度に回復。Bビルの室温は他より低めに管理されている。[空気質] BビルではCO₂濃度が、Cビルでは粉塵濃度が相対的に時間変化、ピーク値共に大きい。詳細は既報^{26), 28), 29)}を参照されたい。
- 注5) Eビルは1カ所。ただし、Eビルは2フロアを調査対象としているので、図-3以降のグラフでは2フロア分のデータがプロットされている。
- 注6) 厳密には評定尺度の各カテゴリー間の距離が等間隔であるかどうかという問題もあるが、本論文では直線での回帰を行った。
- 注7) 男性と女性のデータを一括して扱っているが、いずれの建物でも夏冬共に女性は男性よりも薄着で(平均clo値が小さい)、平均温冷感申告も概ね男性より相対的に涼しい側となっており、女性のデータの傾向が男性のそれと異質なものではないことを確認している。
- 注8) 代表点のグローブ温度と気流速度より算定した。
- 注9) 別途行った6面放射温度と室温の分布測定より、MRTと室温との差の平均が代表点のそれに近い値になることを確かめた。
- 注10) 夏季のDビルは冷房負荷が大きかったために室温の上下温度差(床上1.1mは床上0.6mよりも分布データの平均で約1℃高い)が生じており、D、Eビルの分析は床上1.1mよりも床上0.6mの方が相関が高かったことから床上0.6mのデータで行った。
- 注11) MRTは高速応答グローブ球(英弘精機製MT-40)の指示温度と気流速度より算定した。不均一環境でのPMVの適用限界の問題もあるが、ここではこのようにして求めたPMVで平均申告をどの程度説明できるかを検討した。
- 注12) 室内の平均風速は概ね夏0.10m/s、冬0.03m/s程度であった。
- 注13) 図-13のA、Cビルの冬のデータにばらつきがみられる(特にAビルは全体の回帰直線と異なる傾きとなっている)が、これは室温の影響と考えられる。A～Cビルの空気汚染感と室温との相関は夏は小さいが冬は比較的高く(r=0.67)、室温が高いほど汚れを感じる傾向であった。
- 注14) 床面積と広さ感、満足度との関係については山田らの既往研究²⁰⁾がある。比較的に狭いオフィスの心理量の傾向が本研究の結果と少し異なり、回帰直線の勾配がやや緩やかな傾向のデータを示している。ただし、本研究の評価尺度に用いたカテゴリー「ふつう」が「どちらともいえない」であり、本研究に比べて個々の建物のサンプル数は少ないが、調査建物の数は多いといった違いがある。また山田らは天井高さの影響についても検討しており²⁵⁾、本研究のA～Eビル程度の天井高さの違いが心理量に及ぼす影響は小さいことを示している。

文献

- 成瀬哲生、南野脩、藤井正一ほか、事務所ビルにおける温熱環境と温冷感および着衣量に関する実態調査研究(第7報～9報) 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和55年9月 p.659-664 梶井宏修、成瀬哲生、植崎正也、南野脩ほか、事務所建築の室内環境調査について：冬期その1～2 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和56年9月 p.671-674
- 江口和雄、坂本雄三、坊垣和明、内田正弘、省エネルギー調査における実態調査(その2)室内環境と居住性、日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和58年9月 p.891-892
- 松尾陽、金成完、事務所建物の温熱環境計画に関する実験研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和60年10月 p.557-558

- 橘秀樹ほか、OA化オフィスの音環境に関する実態調査 日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集 1986年9月 p.293-296
- 木村建一、田辺新一、岩田利枝ほか、インテリジェントオフィス空間の夏季室内環境実測(その2 空気環境評価) 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和63年10月 p.713-714
- 鹿島昭一、安富重文、喜多村義矩、田村健次朗、五十嵐直治、一般事務室の実態調査に基づく照明環境評価 室内照明環境設計に関する実証的研究(その1) 日本建築学会計画系論文報告集 第365号 昭和61年7月 p.30-38
- 伊藤尚寛、久野覚、奥宮正哉、相良和伸、中原信生ほか、省エネルギー庁舎ビルのエネルギー・環境の実態とその評価 第3～4報 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 1985年9月 p.641-648
- 田中隆、堀雅宏、入江建久、後藤滋ほか、オフィス環境の総合調査研究(Ⅰ)～(Ⅳ) 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 1989年10月 p.349-364
- 小宮英孝、竹本靖、岩波洋、渡辺真知子、竹井克丞、建築空間における快適性向上技術に関する研究 その1～7 日本建築学会大会学術講演梗概集 1988～1989年
- 斉藤純司、小池武雄、オフィス環境実態調査 日本建築学会大会学術講演梗概集 1990年10月 p.125-126
- 桑原滋、吉村正孝、中北英孝ほか、オフィス環境改善手法の評価に関する研究 その1～5 日本建築学会大会学術講演梗概集 1989～1990年
- 今川望、大森正登、オフィスの室内環境調査 その1～4 日本建築学会大会学術講演梗概集 1991～1992年
- 山田由紀子、大森涼次、オフィスの騒音に関する調査 第1～2報 日本建築学会大会学術講演梗概集 1989年10月 p.437-440、山田由紀子、大森涼次、オフィスの騒音に関する研究 第1報～第2報 日本建築学会大会学術講演梗概集 1990年10月 p.121-124
- 宮田紀元、坊垣和明、室内環境の居住後評価システム その1～2 1990年10月 p.117-120、澤地孝男、宮田紀元、坊垣和明、同題 その3 日本建築学会大会学術講演梗概集 1991年9月 p.205-206、坊垣和明、大澤元毅、同題 その4～5 日本建築学会大会学術講演梗概集 1992年8月 p.369-372
- オフィスの室内環境評価法「POEM-0精密版」、1995年5月 室内環境フォーラム
- 坊垣和明、湿度の体感効果に関する実験研究、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 1985年10月 p.609-612
- 山岸明浩、天野克也、山下恭弘、岡村勝司、堀越哲美、オフィスにおける室内環境の経時変化と居住後環境評価手法 既設建物から新設建物へ移転した工場併設オフィスの総合調査 日本建築学会計画系論文報告集 第420号 1994年6月 p.39-50
- 木村建一、田辺新一、岩下剛、土井晋、佐藤友昭、臭気感覚に基づく夏季の教室空気環境評価、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 1989年10月 p.789-792
- 堀江悟郎、桜井美政、松原斎樹、野口太郎、室内環境ストレスの複合作用に関する研究 その1～3 日本建築学会大会学術講演梗概集 1982年10月 p.83-88
- 山田由紀子、田中秀和、大森涼次、オフィスの床面積算定法に関する検討 第1～2報 日本建築学会大会学術講演梗概集 1992年8月 p.363-366
- 日本建築学会編、建築資料集成 環境 P.107
- P.O.Fanger; Thermal Comfort, Danish Technical Press, 1970
- International Standard ISO 7730, Moderate thermal environments - determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort
- 久野覚、大野秀夫、中原信生、非定常時の温冷感を表現する拡張二次元モデル 空気調和・衛生工学会学術論文集 1987年10月 p.561-563
- 田中秀和、大森涼次、山田由起子、オフィスの空間評価に関する研究 第3報 執務空間の大きさの現状と心理量に関する検討 日本建築学会大会学術講演梗概集 1991年9月 p.217-218
- 内田晴久、宮尾健一、三浦寿幸、松木秀史、事務所建築における室内環境実態調査その1～3 日本建築学会大会学術講演梗概集 1989年10月 p.113-118、内田晴久、宮尾健一、三浦寿幸、村江行忠、事務所建築における室内環境実態調査その4～6 日本建築学会大会学術講演梗概集 1990年10月 p.131-136
- 三浦寿幸、宮尾健一、POE調査における温冷感評定尺度とPMVに関する一考察 日本建築学会大会学術講演梗概集 1993年9月 p.999-1000
- 三浦寿幸、鎌和田一三、前田健二ほか、床吹出し空調システムを採用した建物の室内環境 その1～2 日本建築学会大会学術講演梗概集 1992年8月 p.383-386
- 三浦寿幸、加藤昭、村江行忠ほか、空気流通窓を採用したオフィスの居住後評価 その1～2 日本建築学会大会学術講演梗概集 1998年9月 p.991-994

(2000年5月10日原稿受理, 2000年8月31日採用決定)