

住宅におけるおのいの定量化を考慮した室内空気環境と  
温熱環境の総合評価に関する研究(1) (梗概)

木村 建一

## 1章 研究目的

住宅におけるヒートポンプエアコンの普及により、1年を通して快適な温熱環境が住宅にも得られるようになった。しかし、電子制御を駆使したエアコンが安定した温湿度の空気を供給する一方で、室内空気の質、特に臭気は問題にされることが少ない。

近年、建物の気密性が高くなり、換気量不足の場合には、室内で発生したタバコ煙、におい、湿気、熱などが排出され難くなっている。厨房や浴室・便所だけでなく、居間・寝室などの居室においても室内空気汚染の問題を考慮することは重要と思われる。

温熱環境・空気環境を評価する際に、欧米では人間の快適感に基づいたヒューマンスケールの環境指標の研究が進められている。温熱環境指標に関しては、SET\*やPMVが以前から有名であるが、空気汚染状態に関しても、人間の臭気感覚に基づいた臭覚単位“olf”と“decipol”が先年 Fanger<sup>文1)</sup>によって提案された。また、居住者が知覚する空気汚染状態は、周囲の空気温湿度状態に左右されるという報告<sup>文2)</sup>もある。

生体発散物質については、今世紀初期に Lehmborg<sup>文3)</sup>や Yaglou<sup>文4)</sup>が人間を室内臭気強度の判定者として用いた研究によって今日のASHRAE基準62-89<sup>文5)</sup>に見るような換気量基準の基礎を築いた。

本研究の目的は、ヒューマンスケールを用いた居住空気環境の評価方法を確立し、温熱環境との相互作用を把握することによって、最も省エネとなる居住環境を造成するための基礎資料を提供することである。

以下、2章では空調設備をもたない自然換気の室内の空気質を、嗅覚パネルに評価させた実測結果について述べ、実測空間の放つ臭気の汚染源強度を定量化することを試みる。また、3章では特に室内空気温度に注目し、空気環境試験室内の空気温度の差が知覚空気質に与える影響を調査した実験の結果について報告する。

## 2章 嗅覚パネルを用いた空気環境実測

## 2-1. はじめに

喫煙の禁止されている教室や講堂、劇場、居室などの室内の空気汚染源は人間(体臭)であると考えられ、

Pettenkofer 以来、CO<sub>2</sub>濃度が体臭の臭気強度の指標として用いられてきた。実際に Cain<sup>文6)</sup>や Fanger<sup>文7)</sup>が多勢の人間を室に在室させ、また、数多くのパネルを用いてCO<sub>2</sub>濃度が体臭の指標となり得ることを確認している。CO<sub>2</sub>自体に毒性はないが、それに伴う温湿度の上昇、体臭の増加、その他の有害物質の発生などを考慮して、日本のビル管理法ではCO<sub>2</sub>濃度1000ppmが許容値となっている。

また、喫煙者の多く在室する空間では、タバコ煙が支配的な臭気となる場合があり<sup>文8)</sup>、この際にはCO濃度がタバコ煙臭気強度の指標とされることが多い。

しかし、Fanger<sup>文9)</sup>がCopenhagenにある15のオフィスの空気質を嗅覚パネル、化学測定機器を用いて調査したところ、嗅覚パネルの申告した知覚空気質結果と化学物質濃度(CO, CO<sub>2</sub>, 粉塵、揮発性有機化合物濃度)とのあいだに高い相関は得られなかった。また、実際の空間では体臭・タバコ煙という在室者から放たれる臭気よりも、建材・空調システムなどバックグラウンドの臭気の方が多いという結果も示している。Fangerらは体臭、タバコ煙、建材・空調システムの臭気などの発生強度(source strength)を、olfという単位を用いて求めている。

本章では上記の臭気発生強度の単位olfを用いて、実測空間の知覚空気汚染源強度を求めることを目的とする。

## 2-2. 実験方法

## 2-2-1. 実測空間

本実測は東京にある早稲田大学理工学部の教室で行われた。実測の行われた2つの教室のデータを表2-1. に、平面図を図2-1. に示す。この2つの教室には空調・換気設備が設置されておらず、実測中は自然換気の状態、温湿度は成行きであったが、快適範囲にあった。

(1)の教室の定員は180名、(2)の教室の定員は240

表2-1. 実測に用いられた空間のデータ

Type of space	Floor area (㎡)	Volume (㎡)	Age of building (yrs)
Classroom (1)	162	503	25
Classroom (2)	225	696	25

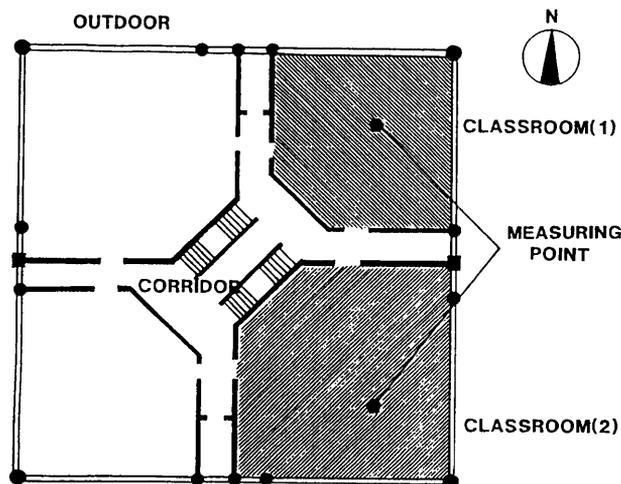


図 2-1. 実測空間の平面図

名である。

### 2-2-2. オキュパント

オキュパントとして、615名の日本人大学生（男子516名、女子99名）が実測に参加した。本実測は早稲田大学理工学部建築学科の授業中に行われたため、オキュパントは建築学科の大学生がほとんどであった。授業を受けるため、オキュパントは教室に1時間30分在室した。オキュパントの衛生習慣を表2-2. に示す。

表 2-2. オキュパントの衛生習慣

Space	Days	Sex	Number	Age (year)	Bathing (day/bath)	Percentage of Smoker
(1) Fri. (10 June)		Female	8	20.8 ± 0.7*	1.0 ± 0.0	22.2
		Male	56	21.4 ± 1.8	1.4 ± 0.5	37.2
		Female+Male	64	21.3 ± 1.7	1.3 ± 0.5	34.6
(2) Mon. (13 June)		Female	16	19.9 ± 0.8	1.1 ± 0.2	0.0
		Male	67	20.0 ± 1.1	1.2 ± 0.6	37.5
		Female+Male	83	20.0 ± 1.0	1.2 ± 0.5	29.3
(1) Fri. (17 June)		Female	9	20.8 ± 0.7	1.1 ± 0.2	11.1
		Male	53	21.0 ± 1.1	1.4 ± 1.0	35.6
		Female+Male	62	21.0 ± 1.0	1.3 ± 0.9	31.5
(2) Mon. (20 June)		Female	17	20.1 ± 0.8	1.1 ± 0.2	0.0
		Male	72	20.3 ± 1.5	1.2 ± 0.4	35.4
		Female+Male	89	20.2 ± 1.4	1.2 ± 0.4	28.9
(1) Fri. (24 June)		Female	8	21.1 ± 0.6	1.0 ± 0.1	10.0
		Male	56	21.5 ± 1.6	1.2 ± 0.5	33.3
		Female+Male	64	21.4 ± 1.5	1.2 ± 0.4	29.7
(2) Mon. (27 June)		Female	11	19.8 ± 0.7	1.1 ± 0.3	0.0
		Male	47	20.1 ± 1.2	1.1 ± 0.3	36.7
		Female+Male	58	20.0 ± 1.1	1.1 ± 0.3	29.5
(1) Fri. (01 July)		Female	10	21.1 ± 0.8	1.0 ± 0.1	8.3
		Male	65	21.5 ± 1.6	1.3 ± 0.5	47.5
		Female+Male	75	21.4 ± 1.5	1.2 ± 0.4	41.1
(2) Mon. (04 July)		Female	20	20.0 ± 0.8	1.1 ± 0.2	0.0
		Male	100	20.2 ± 1.3	1.2 ± 0.7	32.6
		Female+Male	120	20.2 ± 1.2	1.2 ± 0.7	27.2
Mean of all days		Female	99	20.3 ± 0.9	1.0 ± 0.2	4.7
		Male	516	20.7 ± 1.5	1.2 ± 0.6	36.9
		Female+Male	615	20.6 ± 1.4	1.2 ± 0.5	31.0

\*Standard deviation

### 2-2-3. パネル

パネルとして、93名の日本人大学生（男子45名、女子48名）が公募によって集められ正当な報酬が支払われた。パネルは、においのするもの（化粧品、香水、革製品等）を身につけることを禁止され、また、においの強い食事を当日に摂ることも禁止された。実測中の喫煙は許されなかった。

実測は2室で4回ずつ計8回行い、各実測につき約12

名のパネル（男子6人、女子6人）が1時間30分の実測に参加した。パネルの衛生習慣を表2-3. に示す。

パネルは原則として、1回の実測にしか参加させなかった。

表 2-3. パネルの衛生習慣

Space	Days	Sex	Number	Age (year)	Average Bathing (days/times)
(1) Fri. (10 June)		Female	6 (0)*	20.2	1.09
		Male	6 (0)	22.3	1.50
		Female+Male	12 (0)	21.3	1.26
(2) Mon. (13 June)		Female	6 (0)	20.8	1.09
		Male	5 (1)	23.4	1.43
		Female+Male	11 (1)	22.0	1.22
(1) Fri. (17 June)		Female	6 (0)	19.0	1.00
		Male	6 (1)	21.5	1.15
		Female+Male	12 (1)	20.3	1.07
(2) Mon. (20 June)		Female	6 (0)	20.3	1.00
		Male	6 (0)	23.5	1.28
		Female+Male	12 (0)	21.9	1.12
(1) Fri. (24 June)		Female	6 (0)	19.5	1.00
		Male	5 (1)	20.0	1.00
		Female+Male	11 (1)	19.7	1.00
(2) Mon. (27 June)		Female	5 (0)	20.6	1.00
		Male	6 (0)	21.5	1.00
		Female+Male	11 (0)	21.1	1.00
(1) Fri. (01 July)		Female	6 (0)	20.8	1.00
		Male	6 (0)	21.5	1.00
		Female+Male	12 (0)	21.2	1.00
(2) Mon. (04 July)		Female	7 (0)	21.4	1.08
		Male	5 (0)	23.0	1.25
		Female+Male	12 (0)	22.1	1.14

\*number of olfactory blindness

### 2-2-4. 計測方法

パネルは教室に入室するとすぐに図2-2. に示すようなアンケートに答えることによって、室内空気環境を判定した。すなわち、臭気強度 (Odor intensity), 新鮮度 (Freshness) のスケールを申告し、同時に、日常生活を送る上で、その空気環境を受け入れられるかどうか (Acceptability) を答えさせた。

Person No.	Person No.	Person No.
<p>*OUTDOOR:</p> <p>Question 1</p> <p>How strong is the odor? Please mark on the scale.</p> <p> <input type="checkbox"/> No odor  <input type="checkbox"/> Slight odor  <input type="checkbox"/> Moderate  <input type="checkbox"/> Strong odor  <input type="checkbox"/> Very strong odor  <input type="checkbox"/> Overpowering odor </p> <p>Question 2</p> <p>Imagine that your normal day-to-day routine required you to be outdoors frequently. Would you judge the odor of the air as acceptable?  <input type="checkbox"/> Acceptable  <input type="checkbox"/> Not acceptable </p> <p>Question 3</p> <p>Do you think the air is fresh? Please mark with a cross.</p> <p> <input type="checkbox"/> Very fresh  <input type="checkbox"/> Fresh  <input type="checkbox"/> Neutral  <input type="checkbox"/> Slightly stuffy  <input type="checkbox"/> Stuffy </p>	<p>*CORRIDOR:</p> <p>Question 1</p> <p>How strong is the odor? Please mark on the scale.</p> <p> <input type="checkbox"/> No odor  <input type="checkbox"/> Slight odor  <input type="checkbox"/> Moderate odor  <input type="checkbox"/> Strong odor  <input type="checkbox"/> Very strong odor  <input type="checkbox"/> Overpowering odor </p> <p>Question 2</p> <p>Imagine that during your daily work you would be exposed to the present odor. Would you judge the odor of the air as acceptable?  <input type="checkbox"/> Acceptable  <input type="checkbox"/> Not acceptable </p> <p>Question 3</p> <p>Do you think the air is fresh? Please mark with a cross.</p> <p> <input type="checkbox"/> Very fresh  <input type="checkbox"/> Fresh  <input type="checkbox"/> Neutral  <input type="checkbox"/> Slightly stuffy  <input type="checkbox"/> Stuffy </p>	<p>*INDOOR:</p> <p>Question 1</p> <p>How strong is the odor? Please mark on the scale.</p> <p> <input type="checkbox"/> No odor  <input type="checkbox"/> Slight odor  <input type="checkbox"/> Moderate odor  <input type="checkbox"/> Strong odor  <input type="checkbox"/> Very strong odor  <input type="checkbox"/> Overpowering odor </p> <p>Question 2</p> <p>Imagine that during your daily work you would be exposed to the present odor. Would you judge the odor of the air as acceptable?  <input type="checkbox"/> Acceptable  <input type="checkbox"/> Not acceptable </p> <p>Question 3</p> <p>Do you think the air is fresh? Please mark with a cross.</p> <p> <input type="checkbox"/> Very fresh  <input type="checkbox"/> Fresh  <input type="checkbox"/> Neutral  <input type="checkbox"/> Slightly stuffy  <input type="checkbox"/> Stuffy </p>

図 2-2. パネルの主観申告のための質問用紙

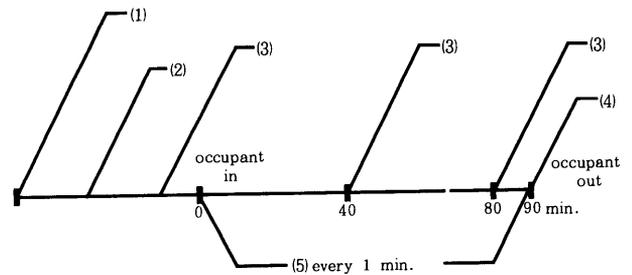
この主観的評価と同時に以下に示す物理・化学パラメーターも測定した。教室内・廊下・外気の空気温度・相対湿度、教室内・廊下のCO濃度・CO<sub>2</sub>濃度、教室内の浮遊粉塵濃度・PMV値は1分毎に測定してデータロガー(ADVANTEST製・TR2724)に記録し、外気のCO濃度・CO<sub>2</sub>濃度、廊下・外気の浮遊粉塵濃度は実測の始まりと終わりに目読し記録した。各温度はふく射よけを取り付けた0.3mmφ銅・コンスタンタン熱電対によって、各相対湿度は湿度センサー(Tem&Hum Transmitter)を用いて、CO濃度はエコライザー(ダイレック社製・MODEL2600)及びCO-CO<sub>2</sub>メーター(柴田科学製MODEL8060-1)により、CO<sub>2</sub>濃度は携帯用赤外線ガス分析計(富士電機製・ZFD)及びCO-CO<sub>2</sub>メーター(柴田科学製MODEL8060-1)によって、浮遊粉塵濃度はデジタル粉塵計(柴田科学製MODELPCD-1)により、PMV値はコンフォートメーター(B&K社製・TYPE-1212)を用いて測定した。

温度、相対湿度、PMV値は床上60cmにて、その他のパラメーターは床上110cmの高さにて測定した。

#### 2-2-5. 実験手順

図2-3.に、計8回行われた実験の手順図を示す。パネルは実測開始40分前に集合し、前室で生活環境・衛生習慣・健康状態に関して諸当事項を調査表に記入した。調査表記入後、パネルは、嗅覚試験(パネル・スクリーニングテスト)を受け、テストの結果、嗅盲、嗅弱と判断されたパネルについては解析の際、データから削除された。

パネルはまず、実測開始(授業開始)5分前に教室に入室し、オキュパントの在室していない状態での室内空



- (1) panel screening test
- (2) questionnaire
- (3) odor intensity vote, acceptability, freshness vote (panel)
- (4) odor intensity vote, acceptability, freshness vote (occupant)
- (5) air temperature, relative humidity, CO, CO<sub>2</sub>, particulate, PMV,

図2-3. 実験手順

気を嗅ぎ、アンケートに答え、申告が終わり次第すぐに教室を退出した。パネルが入室してアンケートに答えている時間はおよそ1~2分である。実測開始40分後と80分後にパネルは先と同様の方法で教室に入室し、オキュパントが在室している状態の室内空気についてのアンケートに答えた。つまり、パネルは実測開始前、40分後、80分後と3回のアンケートに答えることになるが、各回とも室内の空気を判定する前に、中庭で外気の空気について、廊下にて廊下の空気について、教室内と同様のアンケートに答えた。廊下の空気を判定した後、パネルは外気に面している外廊下で待機し、所定の時間になると、6人ずつ2グループに分かれて入室した。

#### 2-3. 結果

表2-4.に教室内におけるパネルの申告結果と、

表2-4. 物理・化学因子の測定結果とパネルの申告結果(化学物質濃度は室内外濃度差)

Space	Days	Times	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Air charge (1/h)	ΔCO <sub>2</sub> (ppm)	ΔCO (ppm)	ΔParticulates (mg/m <sup>3</sup> )	Odor intensity	Dissatisfied (%)	Freshness
(1)	Fri. (10 June)	1st							1.7±0.6*	8.33	-0.9±0.3
		2nd	25.5	54.4	9.14	218.2	0.363	0.013	2.1±1.2	41.67	-1.3±0.6
		3rd	25.9	53.2	13.91	169.2	0.149	0.013	2.0±0.5	25.00	-1.1±0.6
(2)	Mon. (13 June)	1st							0.9±0.8	9.10	-0.5±0.5
		2nd	26.4	59.1	7.86	256.0	0.057	0.013	1.4±1.0	18.18	-0.8±0.7
		3rd	26.9	56.4	6.80	311.4	0.038	0.004	1.6±1.2	18.18	-0.7±0.6
(1)	Fri. (17 June)	1st							1.2±0.8	8.33	-0.4±0.5
		2nd	27.8	54.8	12.98	154.7	0.000	0.000	1.4±0.6	0.00	-0.8±0.6
		3rd	28.3	52.4	13.52	161.8	0.000	0.000	1.4±0.6	0.00	-0.8±0.6
(2)	Mon. (20 June)	1st							1.1±1.0	0.00	-0.6±0.6
		2nd	28.5	57.2	3.25	594.8	0.000	0.000	1.7±0.7	8.33	-1.3±0.4
		3rd	28.8	53.0	4.35	530.5	0.005	0.000	2.3±0.8	50.00	-1.8±0.4
(1)	Fri. (24 June)	1st							1.7±0.5	0.00	-1.0±0.4
		2nd	26.0	67.3	5.04	368.7	0.000	0.003	2.2±0.4	18.18	-1.2±0.4
		3rd	26.4	68.4	4.45	508.9	0.000	0.003	2.3±0.6	36.36	-1.4±0.5
(2)	Mon. (27 June)	1st							0.8±0.5	0.00	-0.3±0.9
		2nd	24.8	80.5	13.71	93.3	0.000	0.000	1.1±0.6	18.18	-0.5±0.9
		3rd	24.5	83.7	17.20	104.2	0.000	0.000	1.2±0.6	9.09	-0.7±0.8
(1)	Fri. (01 July)	1st							1.2±0.7	0.00	-0.8±0.7
		2nd	25.5	63.8	7.34	283.7	0.174	0.000	1.9±0.9	25.00	-1.2±0.7
		3rd	25.8	63.4	9.08	293.4	0.244	0.003	2.1±0.5	58.33	-1.7±0.5
(2)	Mon. (04 July)	1st							0.7±0.6	0.00	-0.0±0.4
		2nd	26.7	63.6	9.84	302.0	0.000	0.023	1.5±0.9	25.00	-0.8±0.8
			27.3	61.0	18.04	184.3	0.000	0.019	1.7±0.8	16.67	-1.3±0.6

Condition in space : Natural ventilation  
\*Standard Deviation

告時の各物理・化学パラメーターの測定結果を示す。どの化学物質濃度も低い濃度である。CO<sub>2</sub>相対濃度(外気濃度と室内濃度の差)は最も高いときでも600ppmを越えることはなく、CO相対濃度は、0.4ppm以下の値となっており、浮遊粉塵相対濃度は0.02mg/m<sup>3</sup>を越えていない。

外気濃度を加算してみると、どれもビル管理法の基準値を下回っていた。

主観的申告を定量化するために、臭気強度を次のように数量化した。

- (0) No odor,
- (1) Slight odor,
- (2) Moderate odor,
- (3) Strong odor,
- (4) Very strong odor,
- (5) Overpowering odor.

また、新鮮度も次のように数量化した。

- (+2) Very fresh,
- (+1) Fresh,
- (0) Neutral,
- (-1) Slightly stuffy,
- (-2) Stuffy.

また、表2-4.中の不快者率(Percentage of Dissatisfied)とは、図2-2.の質問用紙の質問2でその空気のおいを受け入れられないと申告したパネルの割合(%)のことである。

米国暖房空調冷凍工学会(ASHRAE)のスタンダードでは許容できる室内空気質の上限として不快者率20%を定めているが、表2-4.をみると化学物質濃度はかなり低くビル管理法の基準値以下であっても、不快者率が20%を越えることが多いことがわかる。

## 2-4. 考察

表2-4.をみると、CO、CO<sub>2</sub>、粉塵濃度がかなり低くても知覚空気質は良いとはかぎらなかつた。これまでは、非喫煙空間における空気汚染源を体臭のみに限定して、体臭の臭気強度とその指標となるCO<sub>2</sub>濃度との相関関係を検討することが多かったが、パネルが感知しているにおいは体臭だけであるとはかぎらない。パネルが申告した臭気強度や不快者率の結果は体臭だけではなく、パネルが嗅いだ他のおい(たとえば、教室の壁や床、天井、机、椅子などのにおい)までも含んでいる可能性がある。

デンマーク工科大学のFanger教授は、室の潜在的にもっているにおいを含めた、あらゆるにおいを定量的に評価するために“olf”という単位を提案した。1olfは標準的な人間から放たれる生体発散物質の量である。あらゆる汚染物質は、実際にその汚染物質を嗅いだときに生じる不快者率と等しい不快者率を引き起こす標準人間

の数で表される。

そこで、今回の実測で測定したCO<sub>2</sub>濃度より算出した換気量と、パネルが3回目に申告した不快者率から、各実測のolf値を計算し、表2-5.に示した。なお、olf値は以下のように計算される。

1) パネルの不快者率から、知覚空気汚染の度合であるdecipol値を求める。1decipolは、10l/sの新鮮外気で換気されている1olfの発生源を有する空間の知覚空気汚染度である。不快者率とdecipol値には次式のような関係が、Fangerらの実験によって求められている。

$$PD = 395 * \exp(-3.25 * C^{-0.25})$$

ここで、PDは不快者率(%), Cはdecipol値である。

2) decipol値とolf値とは、以下の式のような関係にあるので、この式に実測した空間の換気量qを代入すれば、olf値が求まる。

$$C = 10 * \frac{G}{q} \quad \begin{array}{l} G: \text{汚染源強度 (olf)} \\ q: \text{換気量 (l/s)} \end{array}$$

表2-5. 室内の知覚空気汚染源強度

Space number	Days	Floor area (m <sup>2</sup> )	Outdoor air supply (l/s)	Ventilation rate (l/s olf)	Pollution sources (olf/m <sup>3</sup> )	Number of occupants
(1)	(10 June)	162	626	5.17	0.75	64
(2)	(13 June)	225	425	8.95	0.21	83
(1)	(17 June)	162	608			62
(2)	(20 June)	225	272	1.62	0.75	89
(1)	(24 June)	162	200	2.28	0.54	64
(2)	(27 June)	225	1075	18.04	0.26	68
(1)	(01 July)	162	409	1.19	2.12	75
(2)	(04 July)	225	1128	8.95	0.56	120

また、表2-4.をみると、オキュパントの在室していない1回目の申告においてもパネルは不快を示し、1.0以上の臭気強度の値を申告することがある、ということがわかる。そこで、1回目の申告でパネルが不快を示したときのolf値(Background odorのolf値)を計算すると6月10日の実測が0.128olf/m<sup>3</sup>(20.8olf)、6月13日が0.121olf/m<sup>3</sup>(27.3olf)、6月17日が、0.182olf/m<sup>3</sup>(29.6olf)となり、平均して0.14olf/m<sup>3</sup>(26olf)の臭気がBackgroundに潜んでいることになる。人間が在室していなくても、室内に26olfの潜在的なおいが存在するということは、換気量をオキュパント1人当りの量で表すという考えを変えていかなければならないことを示唆していると思われる。

## 3章 空気温度の臭気感覚への影響に関する実験

### 3-1. はじめに

室内には多種多様な空気汚染源が存在しており、その

各々が放つにおいが複雑に絡みあい、在室者に不快感を与えている。しかし、室内空気の化学物質濃度はそれぞれ非常に低く、許容レベル以下の値を示す。つまり、多種の室内空気汚染源が知覚レベルでしか測定できない程度に存在しているということであり、Yaglou や Lehmborg 以来、人間の臭気感覚を用いて室内空気質を評価する方法が用いられてきた。しかし、人間の嗅覚による評価には、年齢、性別、健康状態、衛生習慣等の個人差だけでなく、周囲環境の物理量による影響も考えられる。温度に関しては、空気汚染源の発生量の変化と人間の嗅覚に及ぼす影響が考えられる。本章の実験研究は、温度のいわゆる快適域において温度をいくつか設定し、その環境のもとで空気汚染源物質を発生させ、温度によって臭気評価がどのように変化するかを検討することを目的としている。

### 3-2. パネル

女子37名、男子35名、計72名の日本人大学生をパネルとして公募により集め、実験の協力費として正当な報酬を支払った。実験当日、パネルには、においのするもの(化粧品、香水、革製品等)を身につけること、においの強い食事を当日に摂ることを禁止した。また、実験中の喫煙も禁止した。パネルには、原則として1回の実験にのみ参加を許した。表3-1. にパネルの衛生習慣と体軀を示す。

### 3-3. 実験装置

今回の実験は、早稲田大学理工学部58号館3階にある建築資料室で行われた。実験中はこの部屋を外気チャンパーとして用い、室内に比較的ににおいの吸着が少ないと思われるアルミパネル製の簡易な部屋〔2.7m×1.8m×1.8m(h)〕を組み立て、それを実験室として用いた。図3-1. に実験室平面図、図3-2. に実験室断面図を示す。

実験室の一方の壁面には嗅ぎ窓を取り付け、パネルが

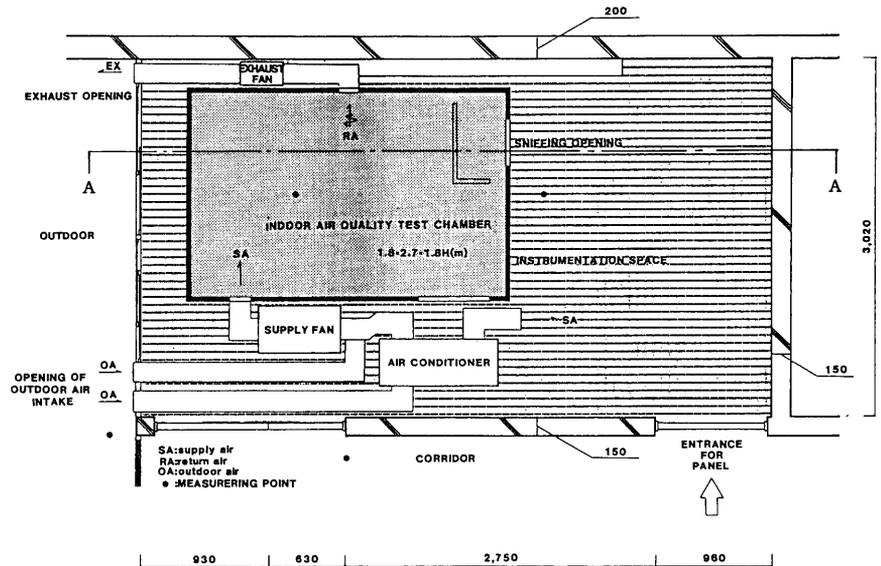


図3-1. 実験室平面図

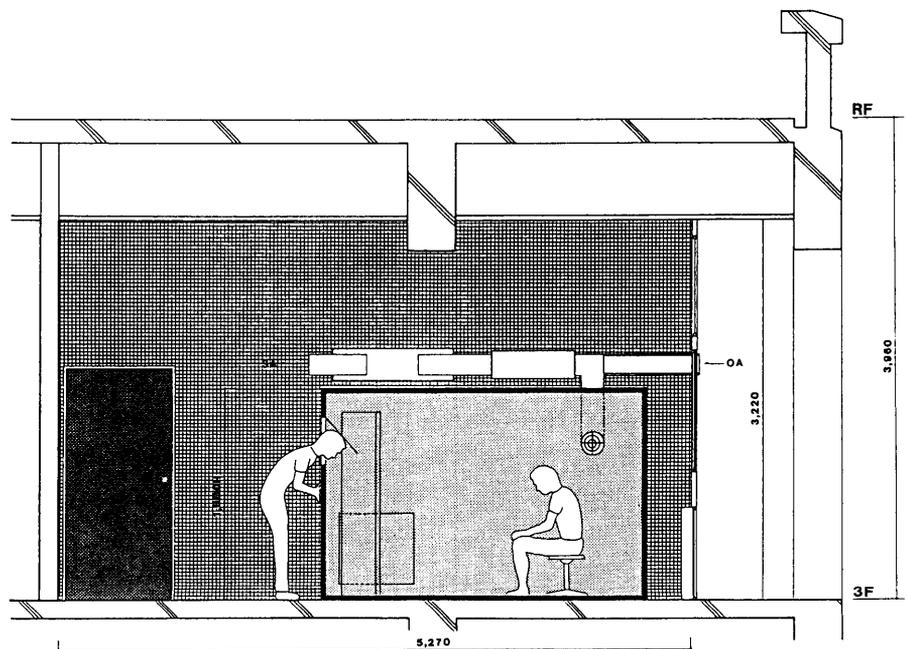


図3-2. 実験室断面図 (A~A断面)

実験室内部に入室することなしに室内の空気環境を評価できるようにした。また、実験室内には小型のファンを2台設置し、室内空気の攪拌を行った。

表3-1. パネルの衛生習慣と体軀

Sex	Number	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Bathing (day/bath)	Last Bath of Hours
Females	37	20.6 ± 1.5*	159.0 ± 4.2	49.3 ± 4.3	1.1 ± 0.3	12.5 ± 8.4
Males	35	22.8 ± 1.1	172.1 ± 5.8	62.3 ± 6.4	1.3 ± 0.5	14.7 ± 7.5
Females & Males	72	21.7 ± 1.7	165.6 ± 8.3	55.8 ± 8.5	1.2 ± 0.4	13.5 ± 8.0

\* Standard Deviation

実験中は全外気運転とし、ヒートポンプ方式の空調機により温度制御を行い、相対湿度は超音波式加湿機を用いて制御した。また換気は、給気ファン及び排気ファンをスライダックで電圧制御を行うことにより適切な換気量を得た。

実験中に測定した項目及び機器を表3-2. に示す。各物理・化学量は1分毎にデータロガー(ADVANTEST TR-2724)によって記録した。

### 3-4. 生体発散物質に関する実験

#### 3-4-1. 実験条件

生体発散物質を空気汚染源とした本実験は表3-3. に示すように、タイプA(室内空気温度20℃)、タイプB(23℃)、タイプC(26℃)の3種類の実験タイプを設定して行った。実際に測定した各実験タイプの試験室内空気温度、相対湿度、PMV値を表3-4. に示す。

また、生体発散物質の発生のため、全実験を通して2名の同じ被験者がオキュパントとして雇われ、実験室内に椅座した。換気回数は、4.5回/hに設定した。

#### 3-4-2. 実験手順

図3-3. に実験手順を示す。パネルは前室で生活環境等に関する調査表に記入し、さらにパネルスクリーニングテストを受け、その結果、嗅盲、嗅弱と判断されたパネルについては解析の際、データから削除した。

実験が開始されると、パネルは順番に1人ずつ、前室から実験室に向かい、実験室の嗅ぎ窓から顔を入れ、室内のにおいを嗅いだ。この時、嗅ぎ窓のすぐ前に目隠し板を置き、実験室内の様子がわからないようにした。パネルは直ちに表3-5. に示す申告用紙に回答を記入し、記入が終ると前室に戻り、次のパネルが嗅ぎ窓に向かった。本実験では図3-3. に示すように15分毎に申告を行った。前室は十分に広く、前室の空気は外気と同等と考えられたので、パネルの臭気感覚に影響は及ぼさないとみなした。

また、実験中の換気量は、実験室に注入されたSF<sub>6</sub>濃度の減衰により算出した。

#### 3-4-3. 実験結果

##### 3-4-3-1. CO<sub>2</sub>濃度の経時変化

図3-4にCO<sub>2</sub>濃度の経時変化例を示す。オキュパントの入室前のCO<sub>2</sub>濃度は外気とほぼ等しく約450ppmであったが、オキュパントの入室と同時に濃度が上昇していき、45分後には約2000ppmにまで達した。また、異なる空気温度の実験タイプ間のCO<sub>2</sub>濃度に差はほとんどみられなかった。

##### 3-4-3-2. 臭気強度の経時変化

図3-5. にYaglouの臭気強度スケール上の申告値の経時変化を示す。図中の各プロットは24名のパネルの申告の平均値である。ここでは、Yaglou スケールを次の

表3-2. 測定項目及び測定機器

測定項目	測定機器
実験室内温度	C-C熱電対(0.3mmφ)
外気温度	"
嗅ぎ窓周囲温度	"
廊下温度	"
実験室内相対湿度	二線式湿度変換器HMV 20V(ガイサラ)
外気相対湿度	"
嗅ぎ窓周囲相対湿度	Tem&Hum Transmitter
廊下相対湿度	"
実験室内CO <sub>2</sub> 濃度	赤外線ガス分析計ZFD(富士電機)
外気CO <sub>2</sub> 濃度	CO・CO <sub>2</sub> メーターCODE 8060-1(柴田科学)
実験室内CO濃度	エコライザーMODEL 2600(ダイレック)
PMV	COMFORT METER TYPE-1212(B&K)
実験室内粉塵濃度	デジタル粉塵計PCD-1(柴田科学)
実験室内SF <sub>6</sub> 濃度	GAS MONITOR TYPE 1302(B&K)

表3-3. 実験条件

Type	Air Temperature of the Chamber	Relative Humidity	Number of Judges	Number of Occupants	Air-Change Rate (1/h)
A	20℃	50~	24	2	4.5
B	23℃	60%	24	2	4.5
C	26℃		24	2	4.5

表3-4. 実験室内環境測定値

Type	Air Temperature of the Chamber	Relative Humidity	PMV
A	21.6 ± 0.4℃*	57.6 ± 2.0%	-0.95
B	23.1 ± 0.3℃	56.1 ± 3.3%	-0.49
C	26.1 ± 0.3℃	54.6 ± 5.0%	0.46

\* Standard Deviation

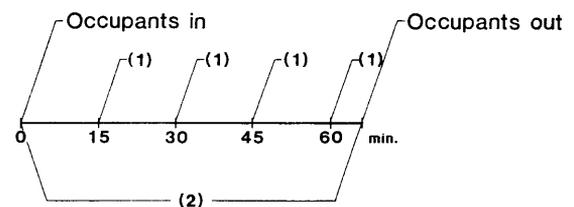
表3-5. 申告用紙

質問1  
この部屋の中の空気のおいについてどう感じましたか?  
下のスケール上に横線をつけて下さい。

0 無臭 (No odor)  
1 わずかに感じるにおい (Slight odor)  
2 軽度を感じるにおい (Moderate odor)  
3 強く感じるにおい (Strong odor)  
4 非常に強く感じるにおい (Very strong odor)  
5 耐えがたく感じるにおい (Over powering odor)

質問2  
あなたが日常生活において、この空気の部屋に頻繁に入室しなければならぬと想像して下さい。  
この空気を受け入れることができますか? いずれかの□内に√印をつけて下さい。  
□ 受け入れられる □ 受け入れられない (Acceptable) (Not acceptable)  
どの程度に受け入れられますか、あるいは受け入れられませんか? 下のスケール上に横線をつけて下さい。

1 明らかに受け入れられる (Clearly acceptable)  
0 どちらかといえば受け入れられる (Just acceptable)  
-1 明らかに受け入れられない (Clearly not acceptable)



(1) Odor Intensity, Acceptability  
(2) CO, CO<sub>2</sub>, Particles, PMV, Temperature, Humidity, SF<sub>6</sub>

図3-3. 実験手順

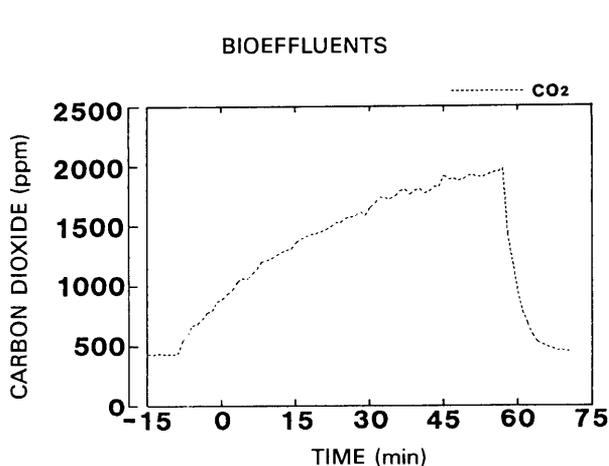


図3-4. CO<sub>2</sub>濃度の経時変化例

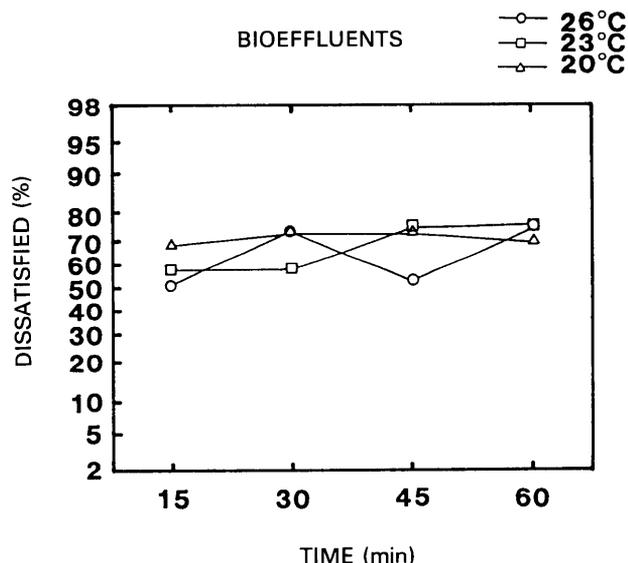


図3-6. 生体発散物質に対する不快者率の経時変化

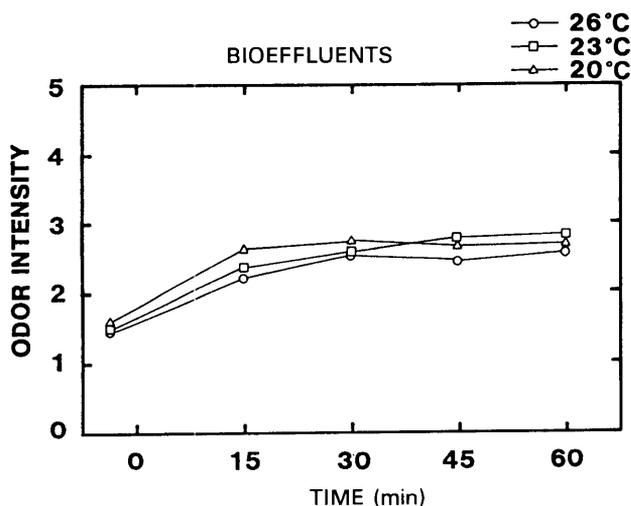


図3-5. 生体発散物質に対する臭気強度の経時変化

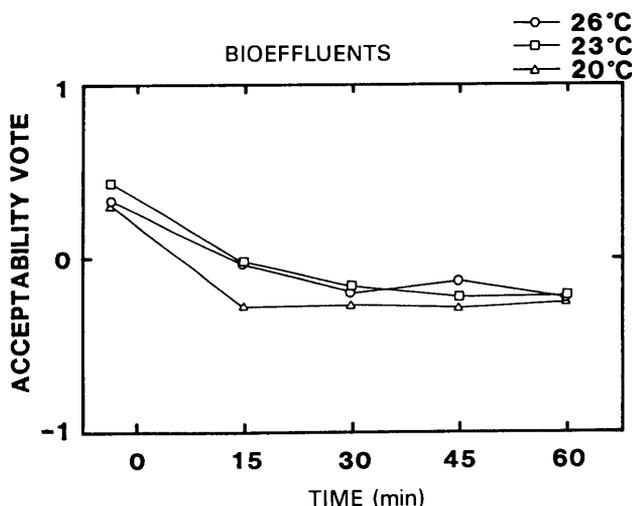


図3-7. 生体発散物質に対する許容度申告の経時変化

ように数量化し、データ解析に用いた。

- 0) 無臭 (No odor),
- 1) かすかに感じるにおい (Slight odor),
- 2) 軽度を感じるにおい (Moderate odor),
- 3) 強く感じるにおい (Strong odor),
- 4) 非常に強く感じるにおい (Very strong odor),
- 5) 耐え難く感じるにおい (Overpowering odor).

図3-5. をみると、各実験タイプともほぼ等しい臭気強度を示している。分散分析を行い、因子(温度)間における臭気強度差が有意であるかを検定したところ、5%レベルでも、因子間に有意な差があるとはいえなかった。よって、生体発散物質を空気汚染源とした場合では空気温度(20~26℃の範囲において)は臭気強度に有意な影響を与えないのではないかと考えられる。

#### 3-4-3-3. 不快者率の経時変化

パネルのうち、室内空気を受け入れられないと答えた人の割合を不快者率とし、その経時変化をプロピット軸上で表したものを図3-6. に示す。各実験タイプ間で不快者率の著しい差はみられない。ここで、空気温度の

不快者率へ及ぼす影響を考察するために、不快者率に対して $\chi^2$ 検定を行ったところ、危険率5%レベルで、空気温度は不快者率へ有意な影響を与えないという結果が得られた。

#### 3-4-3-4. 許容度の経時変化

図3-7. に許容度申告の経時変化を示す。ここで、解析のために許容度申告を以下のように数量化した。

- 1) 明らかに受け入れられる (Clearly acceptable)
- 0) どちらでもない (Neutral)
- 1) 明らかに受け入れられない (Clearly not acceptable)

図3-7. をみると、各実験タイプ間で、許容度申告の著しい差はみられない。臭気強度がほぼ定常に達したと考えられる60分後の許容度申告を用いて検定を行ったところ、5%レベルでも、因子間に有意な差があるとはいえなかった。生体発散物質を空気汚染源とした場合では空気温度(20~26℃の範囲において)は許容度申告に

有意な影響を与えないのではないかと考えられる。

### 3-4-4. 考察

臭気強度・不快者率・許容度申告の結果から、生体発散物質を主な空気汚染源とした場合、室内空気温度は臭気感覚へ有意な影響を及ぼさないと考えられる。これは、Berg-Munchらの結果とも一致している。しかし、Berg-Munchらが生体発散物質を一定温度の環境下で発生させ、それをパネルに嗅がせる直前に加熱して温度の影響をみているのに対し、今回の実験は、様々な空気温度の環境下で生体発散物質を発生させている点で実験方法に大きな違いがある。つまり Berg-Munch らの実験は空気温度の感覚への影響のみを考慮しているのに対して、今回の実験では実際の空間を想定して発生段階で温度を変えているので、温度が空気汚染源の発生量と感覚の度合の両方に影響を及ぼしていたと考えられる。同じように生体発散物質の発生段階において空気温度を変えている研究には橋崎らの研究があり、同一のCO<sub>2</sub>濃度に対し、高温状態(30℃)になると常温状態よりも高い臭気強度・臭気不快度を示すと記述している。しかし、彼らは室温30℃というかなり高い空気温度を設定しており、快適域範囲内に温度を設定した今回の実験とはかなり条件が異なっている。橋崎らは、高温状態ではオキュパントが発汗し、体臭の発生量が増える、と記述しているが、本実験では室温26℃の実験タイプでもPMV値は0.5であったので、オキュパントの発汗による体臭の増加は少なかったと考えられる。よって、温熱的な快適域において空気汚染源の発生量及び感覚の度合を総合的に考慮した場合は、空気温度は臭気感覚に有意な影響を及ぼさないと考えられるであろう。

### 3-5. タバコ煙を用いた実験

#### 3-5-1. 実験条件

タバコ煙を用いた実験も、上記の室内空気環境実験室で行い、実験中は全外気運転とした。本実験では表3-6. に示すように、タイプA(室内空気温度20℃)、タイプB(23℃)、タイプC(26℃)の3種の実験タイプを設定した。実際に測定した各実験タイプの実験室内空気温度、相対湿度を表3-7. に示す。また、換気回数は16回/hに設定した。

#### 3-5-2. 実験手順

図3-8. に実験手順を示す。本実験ではタバコ煙を空気汚染源として用い、1回の実験につき2名のスモーカーが実験室内で喫煙を行った。スモーカーは、実験開始22分後から喫煙を開始し、交互に1名のスモーカーが7.5分に1本のペースでタバコ(マイルドセブン)を吸った。この方法を1時間続けたので、タバコは8本/hの速度で吸われたことになる。また、スモーカーは喫煙開始後1時間経つと喫煙を止め、そのまま30分間室内に在

表3-6. 実験条件

Type	Air Temperature of the Chamber	Relative Humidity	Number of Judges	Number of Smoking Occupants	Air-Change Rate (1/h)
A	20℃	50~	24	2	16
B	23℃	60%	24	2	16
C	26℃		24	2	16

表3-7. 実験室内環境測定値

Type	Air Temperature of the Chamber	Relative Humidity
A	20.0 ± 0.5 °C *	55.4 ± 3.7 %
B	22.2 ± 0.7 °C	59.8 ± 7.0 %
C	26.0 ± 0.3 °C	51.0 ± 4.5 %

\* Standard Deviation

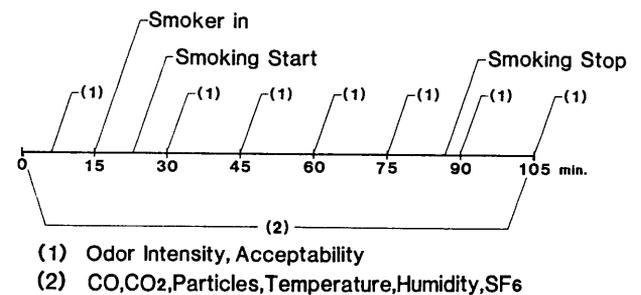


図3-8. 実験手順

室した。

パネルが申告する際に用いたアンケートは、表3-5. に示す生体発散物質の実験の際と同じものを使い、申告は図3-8. に示すように実験開始30分後から15分毎に行った。

また、実験終了後、実験室内の壁、目隠し板、椅子等を中性洗剤で洗浄し、次の実験に影響を及ぼさないようにした。

#### 3-5-3. 実験結果

##### 3-5-3-1. CO濃度及び粉塵濃度

図3-9. にCO濃度及び粉塵濃度(total suspended particles, 図中ではTSPで表示)の経時変化を示す。CO濃度、粉塵濃度は喫煙の開始(実験開始22分後)とともに上昇し、実験開始40分後(喫煙開始後約18分)で、ほぼ定常に達していると思われる。また、喫煙を停止した82分後からはCO濃度、粉塵濃度も急激に減衰することがわかる。

##### 3-5-3-2. 臭気強度の経時変化

図3-10. にYaglouの臭気強度スケール上の申告値の経時変化を示す。臭気強度は、生体発散物質の項で前述した方法で0から5までの数に数量化した。各プロットは24名のパネルの平均申告値である。図3-10. から、温度が高い実験タイプほど臭気強度が高くなる傾向がみられる。

ここで、空気温度の因子が臭気強度の平均値へ及ぼす

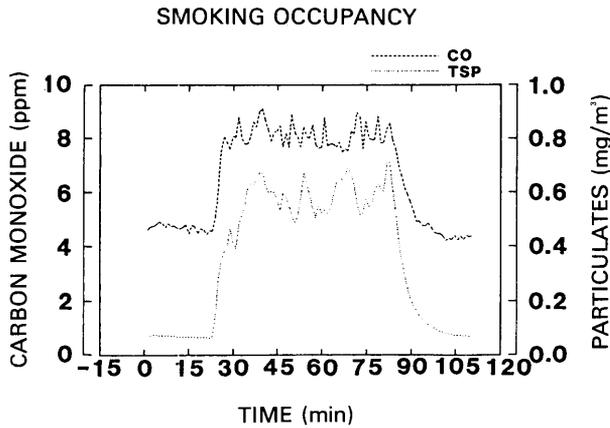


図3-9. CO濃度・粉塵濃度の経時変化例

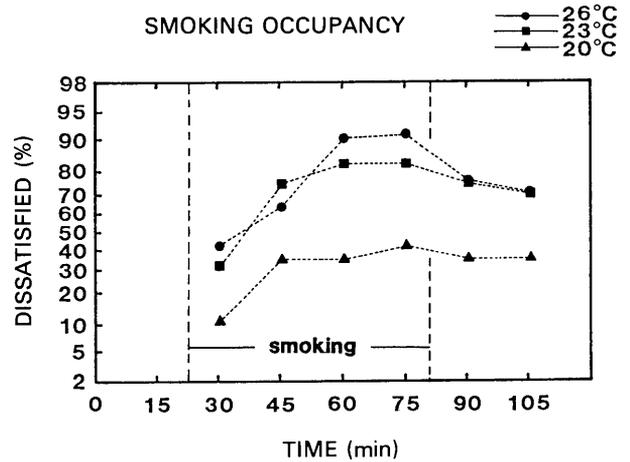


図3-11. タバコ煙に対する不快者率の経時変化

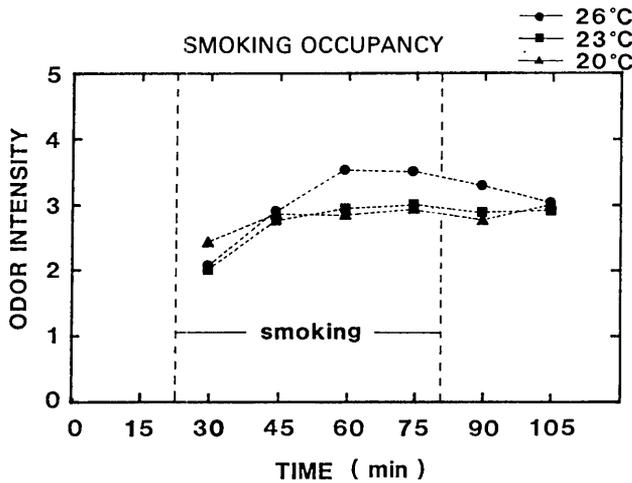


図3-10. タバコ煙に対する臭気強度の経時変化

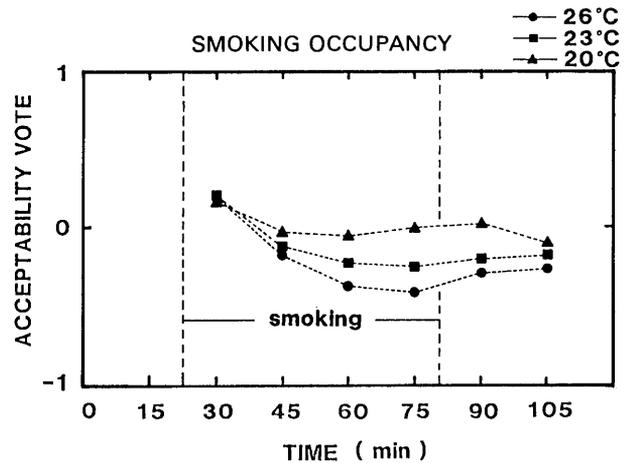


図3-12. タバコ煙に対する許容度の経時変化

影響を考察するために、ほぼ定常に達したと思われる75分後の申告を用いて分散分析を行った。検定の結果、5%レベルでも、因子間に有意な差があるとはいえず、空気温度の臭気強度申告への有意な影響はみられなかった。

#### 3-5-3-3. 不快者率の経時変化

図3-11. にプロビット軸上で表した不快者率の経時変化を示す。図3-11. から、空気温度が高い実験タイプほど高い不快者率を生じる傾向があることがわかり、温度の違いによる不快者率の差は、図3-10. の臭気強度差に比べ大きくなっている。

#### 3-5-3-4. 許容度の経時変化

図3-12. に許容度申告値の経時変化を示す。図3-12. においても空気温度が高い実験タイプほど許容度申告値が次第に低くなっていく傾向がみられ、空気温度が許容度へ及ぼす影響は、臭気強度への影響に比べ明確に現れている。検定の結果、1%レベルで有意な差があり、空気温度が許容度申告値へ有意な影響を及ぼしていると考えられる。

#### 3-5-4. 考察

喫煙時の臭気強度・不快者率・許容度申告の結果をみ

ると、空気温度の高い実験タイプほど臭気強度・不快者率の値が高くなり、許容度申告の結果が低くなっている。検定の結果、許容度申告に関しては平均申告値の間に空気温度による有意な差があったことから、空気温度がタバコ煙に対する臭気感覚に何らかの影響を及ぼしていると考えられる。Kerka ら<sup>x10)</sup>は、一定相対湿度下では空気温度の上昇につれ臭気強度が下降すると述べているが、今回の結果はこれに反し、空気温度の高い実験タイプの方が、より高い臭気強度を示している。Kerka らの実験は前述した Berg-Munch ら<sup>x11)</sup>の実験と同様に、一定温度の環境下においてタバコ煙を発生させた後、パネルが空気を嗅ぐ直前に加熱して温度を変化させており、異なる温度下でタバコ煙を発生させた今回の実験とは実験方法が異なっているので一概に比較することは困難であると思われる。

また、Cain <sup>x6)</sup>がタバコ煙に関する臭気実験を行い「パネルはにおいの感覚とは独立的に粘膜刺激にも反応し、その感覚の強い方が許容度に支配的に影響を与える」と述べているように、タバコ煙は生体発散物質に比べ多くの粘膜刺激を伴う知覚空気汚染源であるので、温度の上

昇によりパネルの粘膜刺激の感度が増し、許容度申告値に有意な差を生じさせたことも考えられる。

## 結 論

- 1) 嗅覚パネルの申告した不快者率から、臭気の発生強度を定量化した。
- 2) 生体発散物質を主な知覚空気汚染源とした実験において、20℃～26℃の範囲では室内空気温度の差が臭気感覚の申告値へ及ぼす有意な影響はないことがわかった。
- 3) タバコ煙を主な知覚空気汚染源とした実験において、空気温度20℃～26℃の範囲で空気温度が高いほど許容度申告値は低くなり、臭気強度・不快者率が高くなることがわかった。

## 【参考文献】

- 1) P. O. Fanger : Introduction of the olf and the decipol Units to Quantify Air Pollution Perceived by Humans Indoors and Outdoors, Energy Build., 12 (1988), pp. 1-6
- 2) 橋崎正也, 板田昌彦, 体臭に基づく必要換気量算定のための基礎的研究(その7. 高温状態における臭気強度と臭気不快度), 日本建築学会学術講演梗概集, 昭和60年10月, pp. 315~316
- 3) W. H. Lehmborg, A. D. Brandt, and K. Mørse : A Laboratory Study of Minimum Ventilation Requirements : Ventilation Box Experiments, H. P. & A. C., Jan., 1935, pp. 44-47
- 4) C. P. Yaglou, E. C. Riley and D. I. Coggins : Ventilation Requirements, H. P. & A. C., Jan., 1936, pp. 65-76
- 5) ASHRAE Standard 62-89 : Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Atlanta, 1989
- 6) W. S. Cain et al. : Ventilation Requirements in Buildings-I. Control of Occupancy Odor and Tobacco Smoke Odor, Atmospheric Environment, 17 (6), 1983, pp. 1183-1197
- 7) P. O. Fanger and B. Berg-Munch : Ventilation and Body Odor, Proc. of An Engineering Foundation Conference on Management of Atmospheres in Tightly Enclosed Spaces, Atlanta, ASHRAE, 1983, pp. 45-50
- 8) W. S. Cain, T. Tosun, L. C. See and B. Leaderer, Environmental Tobacco Smoke : Sensory Reactions of Occupants, Atmospheric Environment, 1987
- 9) P. O. Fanger, J. Lauridsen, P. Bluysen and G. Clausen : Air Pollution Sources in Offices and Assembly Halls, Quantified by the olf Unit, Energy Build., 12 (1988), pp. 7-19
- 10) W. F. Kerka and C. M. Humphreys, Temperature and Humidity Effect on Odor Perception, Trans. of ASHAE, 1956, Vol. 62, pp. 531-552
- 11) B. Berg-Munch and P. O. Fanger : The Influence of Air Temperature on the Perception of Body Odor, Environment International, Vol. 8, 1982, pp. 333-335
- 12) 岩下, 木村, 田辺, 吉沢, 池田, 人間の嗅覚に基づく室内空気質の評価に関する基礎的研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 410号, 平成2年4月, pp. 9~19

## 〈研究組織〉

主査 木村 建一 早稲田大学理工学部教授  
委員 田辺 新一 お茶の水女子大学家政学部講師  
岩下 剛 早稲田大学大学院博士課程院生