

# 悪臭物質の濃度と不快度の関係に関する検討\*

Studies on the relationship between concentration  
of odorants and hedonic tone

永田好男\*\* 石黒智彦\*\* 長谷川 隆\*\*  
竹内教文\*\* 古川 修\*\* 仲山伸次\*\*  
重田芳廣\*\*

Yoshio Nagata, Tomohiko Ishiguro, Takashi Hasegawa, Norifumi Takeuchi,  
Osamu Furukawa, Shinzi Nakayama and Yoshihiro Shigeta

## はじめに

昭和46年6月に悪臭防止法が公布され、悪臭の規制が始められた。本法は、悪臭の原因となっている代表的な物質を悪臭物質と特定し、悪臭物質の種類ごとに規制基準の範囲が定められているものである<sup>1)</sup>。この際、悪臭公害は人間の嗅覚を通して不快感を与えるものであるから、悪臭物質の濃度によって悪臭を評価するためには、悪臭物質の濃度と感覚量との関係を明らかにしておく必要があった。著者らはこれら一連の調査研究に参画した。現在、硫化水素、アンモニア等8物質が規制対象物質として指定され、この規制基準値は、悪臭物質の濃度と臭気強度との関係に基づいて設定されている。物質濃度と臭気強度との関係については、すでに永田ら(1980)<sup>2)</sup>が報告した。そこで本報では、臭気強度の測定と同時にを行った不快度の測定結果をもとに、物質濃度と不快度との関係等についてまとめた。

## 供試した臭気

硫化水素、アンモニア、トリメチルアミン等計48物質

## 供試した装置

### 1 無臭室

1室の内容積積4 m<sup>3</sup>、ステンレス製の2室からなる嗅ぎ

\*) 本研究は環境庁委託業務「悪臭規制基準設定に関する調査研究」(昭和46年度)及び「悪臭物質の測定等に関する研究」(昭和47年度~54年度)によって実施された研究の一部である。

\*\*) 日本環境衛生センター公害部特殊公害課  
Odor Laboratory, Department of Environmental Pollution, Japan Environmental Sanitation Center

窓式無臭室を用いた。嗅ぎ窓は1室につき6か所取付けられている。

### 2 試料気化装置

被験物質が常温で液体あるいは固体の場合、試験に影響を与えない溶媒を用いて適宜希釈した溶液あるいは液体試薬そのものを気化させるための装置が必要であった。試料気化装置は、試料液注入口、窒素ガス導入管を備えた内容積30mlのステンレス製の管と、同じ内容積のステンレス製の管2本を直列に接続したもので、全体をガラス繊維管を通したニクロム線を巻き付け加熱できるようにした。温度は自動的に制御した。

## 実験方法

### 1 無臭室内試料ガス濃度の調製方法

濃度は、パネルの嗅覚に悪影響を及ぼさない程度に高、低不規則に調製し、濃度段階はほぼ3倍希釈系列とした。また試料調製の間隔は、最低15分おき(通常は30分おき)とした。これは、試験結果が嗅覚疲労によって左右されないようにするためである。

### 2 無臭室内試料ガス濃度の測定方法

被験試料48物質のうち41物質については、無臭室内の濃度をそのつどガスクロマトグラフ法等で測定した。以下に測定方法の概要を掲げた。

#### 1) 硫黄化合物

FPD-GC法: 環境庁告示第9号, 第47号

#### 2) アルデヒド類

GC法(DNPH法): 環境庁告示第47号

GC-MS-SIM法(低温濃縮法)

#### 3) エステル類, ケトン類, 脂肪族アルコール類, 芳香族アルコール類, 芳香族炭化水素類

GC法(常温吸着法): 環境庁告示第47号に定めるス

チレンの分析方法と同一

4) 低級脂肪酸類

GC 法 (水酸化ストロンチウムビーズ管捕集)

5) アンモニア, アミン類

イ) アンモニア

吸光光度法: 環境庁告示第9号ピリジンピラゾロン法

ロ) トリメチルアミン

GC 法 (硫酸濾紙法): 環境庁告示第9号

ハ) ジメチルアミン, ジエチルアミン

GC 法 (硫酸溶液捕集後, 環境庁告示第9号に定めるトリメチルアミンの分析方法と同様の方法で分析)

3 嗅覚測定方法

パネルは, 主として調香師 (専門パネル) で構成し, 一部当研究室職員など (訓練パネル) が参加した。

快・不快度の表示は, 表1に示す9段階法を用いた。

無臭室に所定の濃度の試料ガスを調製した後, 6名のパネルはそれぞれの嗅ぎ窓から同時に頭を入れて室内臭気を嗅ぎ, そのときの快・不快度を判断した。1回の測定時間は, 1から4回の呼吸で時間にして2から8秒程度であった。なお, 快・不快度とともに記録した臭気強度の尺度を表2に示した。

以上, 供試した装置及び実験方法の詳細は, 永田ら (1980)<sup>2)</sup> に掲げたとおりである。

表 1 快・不快度の尺度

+4	極端に快
+3	非常に快
+1	快
0	やや快
-1	快でも不快でもない
-2	やや不快
-3	非常に不快
-4	極端に不快

表 2 臭気強度の尺度

0	無 臭
1	やっと感知できるにおい
2	何のにおいであるかわかる弱いにおい
3	らくに感知できるにおい
4	強いにおい
5	強烈なにおい

結果と考察

1 悪臭物質の濃度と不快度の関係

各物質について, 濃度と不快度の関係を求めるに当たり, 実験データをもとに分散分析<sup>3)</sup>を行った結果, 全物

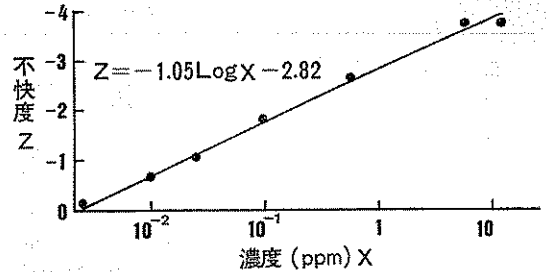


図 1 硫化水素濃度の対数と不快度との関係

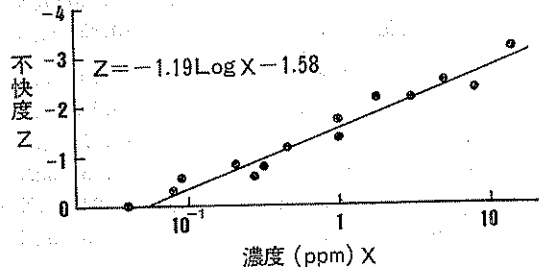


図 2 スチレン濃度の対数と不快度との関係

質とも濃度を対数変換することによって不快度は直線回帰式によって十分説明されることがわかり (危険率1%以下), フェヒナーの法則を満足する結果が得られた。その一例として, 硫化水素及びスチレンについて濃度の対数と不快度 (平均値) の関係を図1及び2に示した。同様に各物質の濃度の対数と不快度との関係を求め, その結果を不快度-1から-3の範囲で表3に示した。このように濃度と不快度との関係は, 物質によってかなり相違がみられる。これは, においの質的な相違も一つの要因となるが, においの閾値が物質間で大きく異なることが最大の理由である。即ち, においに対する不快感は, 質の想像がなされる強度に達してはじめて生じることから, 濃度と不快度の関係は, 濃度と強度の関係<sup>2)</sup>と密接な関係にあることは明瞭である。なお, 不快度が-4となるような濃度は, ほとんどが本実験の調製濃度範囲外であり, また求めた回帰式の適応範囲外にあることも考えられるため, その濃度についてはとくに記載しなかった。

2 臭気強度と不快度との関係

濃度と不快度の関係のみならず, 臭気強度と不快度の間にも一般的に高い相関関係が認められた。各物質の強度と不快度の関係を図3から5に示した。全体的にみると, 腐敗臭を感じさせる脂肪酸類あるいはメルカプタン類, 刺激性の強いホルムアルデヒドなどは, 強度の割に不快度が強い傾向にある。一方酢酸n-ブチル, 酢酸エチルあるいはメチルエチルケトンなどは, においの強さ

表3 悪臭物質の濃度と不快度との関係

化合物	物質名	不快度(Z)と物質濃度(X)との関係 単位X ; ppm	不 快 度			
			- 1	- 2	- 3	
			やや不快	不 快	非常に不快	
含硫黄化合物	硫化水素	$Z = -1.05 \log X - 2.82$	$1.8 \times 10^{-2}$ ppm	$1.7 \times 10^{-1}$ ppm	1.5 ppm	
	メチルメルカプタン	$Z = -1.22 \log X - 4.83$	$7.3 \times 10^{-4}$	$4.8 \times 10^{-3}$	$3.2 \times 10^{-2}$	
	エチルメルカプタン*	$Z = -0.758 \log X - 3.39$	$6.9 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-2}$	$3.0 \times 10^{-1}$	
	硫化メチル	$Z = -0.694 \log X - 2.44$	$8.5 \times 10^{-3}$	$2.4 \times 10^{-1}$	6.5	
	硫化エチル*	$Z = -0.915 \log X - 2.76$	$1.2 \times 10^{-2}$	$1.5 \times 10^{-1}$	1.9	
	二硫化メチル	$Z = -0.851 \log X - 2.67$	$1.1 \times 10^{-2}$	$1.6 \times 10^{-1}$	2.4	
含酸素化合物	アルデヒド類	ホルムアルデヒド*	$Z = -1.19 \log X - 0.824$	1.4	9.7	67
		アセトアルデヒド	$Z = -0.559 \log X - 1.53$	$1.1 \times 10^{-1}$	6.9	420
		アクロレイン	$Z = -1.37 \log X - 1.80$	$2.6 \times 10^{-1}$	1.4	7.5
		プロピオンアルデヒド	$Z = -0.857 \log X - 2.40$	$2.3 \times 10^{-2}$	$3.4 \times 10^{-1}$	5.0
		n-ブチルアルデヒド	$Z = -0.830 \log X - 2.57$	$1.3 \times 10^{-2}$	$2.1 \times 10^{-1}$	3.3
		n-バレールアルデヒド	$Z = -1.19 \log X - 3.71$	$5.3 \times 10^{-3}$	$3.7 \times 10^{-2}$	$2.5 \times 10^{-1}$
	ケトン類	アセトン	$Z = -1.40 \log X + 2.14$	170	910	4700
		メチルエチルケトン*	$Z = -0.900 \log X + 0.810$	100	1300	17000
		メチルイソブチルケトン	$Z = -1.31 \log X - 0.886$	1.2	7.1	41
	エステル類	酢酸メチル	$Z = -1.00 \log X + 0.505$	32	320	3200
		酢酸エチル	$Z = -0.786 \log X - 0.270$	8.5	160	3000
		アクリル酸メチル*	$Z = -1.00 \log X - 2.50$	$3.2 \times 10^{-2}$	$3.2 \times 10^{-1}$	3.2
		アクリル酸エチル*	$Z = -1.31 \log X - 4.33$	$2.9 \times 10^{-3}$	$1.7 \times 10^{-2}$	$9.7 \times 10^{-2}$
		メタアクリル酸メチル	$Z = -1.69 \log X - 1.84$	$3.2 \times 10^{-1}$	1.2	4.9
		酢酸n-ブチル	$Z = -1.18 \log X + 0.217$	11	76	530
		アクリル酸n-ブチル	$Z = -0.922 \log X - 2.86$	$9.6 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-1}$	1.4
	脂肪酸類	プロピオン酸	$Z = -1.22 \log X - 3.59$	$7.6 \times 10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-2}$	$3.3 \times 10^{-1}$
		n-酪酸	$Z = -1.01 \log X - 4.50$	$3.3 \times 10^{-4}$	$3.3 \times 10^{-3}$	$3.2 \times 10^{-2}$
		イソ酪酸	$Z = -1.11 \log X - 3.55$	$5.0 \times 10^{-3}$	$4.0 \times 10^{-2}$	$3.2 \times 10^{-1}$
		イソ吉草酸	$Z = -0.998 \log X - 4.41$	$3.8 \times 10^{-4}$	$3.8 \times 10^{-3}$	$3.8 \times 10^{-2}$
脂肪族アルコール	メチルアルコール	$Z = -1.56 \log X + 3.09$	420	1800	8000	
	エチルアルコール	$Z = -0.556 \log X - 0.285$	19	1200	76400	
	イソブチルアルコール	$Z = -0.453 \log X - 1.17$	$4.2 \times 10^{-1}$	68	11000	
芳香族アルコール	フェノール	$Z = -1.04 \log X - 1.93$	$1.3 \times 10^{-1}$	1.2	11	
	o-クレゾール	$Z = -0.545 \log X - 2.28$	$4.4 \times 10^{-3}$	$3.0 \times 10^{-1}$	21	
	m-クレゾール	$Z = -0.626 \log X - 2.56$	$3.2 \times 10^{-3}$	$1.3 \times 10^{-1}$	5.0	
	p-クレゾール	$Z = -0.551 \log X - 2.19$	$6.9 \times 10^{-3}$	$4.5 \times 10^{-1}$	29	
含窒素化合物	アンモニア	$Z = -1.84 \log X - 0.804$	1.3	4.5	16	
	メチルアミン	$Z = -0.842 \log X - 2.93$	$5.2 \times 10^{-3}$	$8.0 \times 10^{-2}$	1.2	
	ジメチルアミン	$Z = -0.750 \log X - 2.17$	$2.8 \times 10^{-2}$	$5.9 \times 10^{-1}$	13	
	トリメチルアミン	$Z = -0.888 \log X - 3.01$	$5.4 \times 10^{-3}$	$7.3 \times 10^{-2}$	$9.7 \times 10^{-1}$	

化 合 物	物 質 名	不快度(Z)と物質濃度(X)との関係  単位 X ; ppm	不 快 度		
			- 1	- 2	- 3
			やや不快	不 快	非常に不快
芳 香 族 炭 化 水 素 類	トルエン	$Z = -1.26 \log X + 0.101$	7.5	47	290
	スチレン	$Z = -1.19 \log X - 1.58$	$3.3 \times 10^{-1}$	2.3	16
	o-キシレン	$Z = -1.35 \log X - 1.10$	$8.4 \times 10^{-1}$	4.6	26
	m-キシレン	$Z = -1.08 \log X - 1.06$	$8.8 \times 10^{-1}$	7.4	63
	p-キシレン	$Z = -0.916 \log X - 1.14$	$7.0 \times 10^{-1}$	8.7	110
	イソプロピルベンゼン	$Z = -0.903 \log X - 1.74$	$1.5 \times 10^{-1}$	1.9	25
	1, 2, 4-トリメチルベンゼン	$Z = -0.917 \log X - 1.34$	$4.0 \times 10^{-1}$	5.0	61
	1, 3, 5-トリメチルベンゼン	$Z = -0.798 \log X - 1.07$	$8.2 \times 10^{-1}$	15	260
そ の 他	イソブテン*	$Z = -2.39 \log X + 2.56$	31	81	210
	テトラクロロエチレン	$Z = -1.09 \log X + 0.259$	14	120	977

\*印を付した物質の濃度は、試料ガス注入量から求めた計算値である

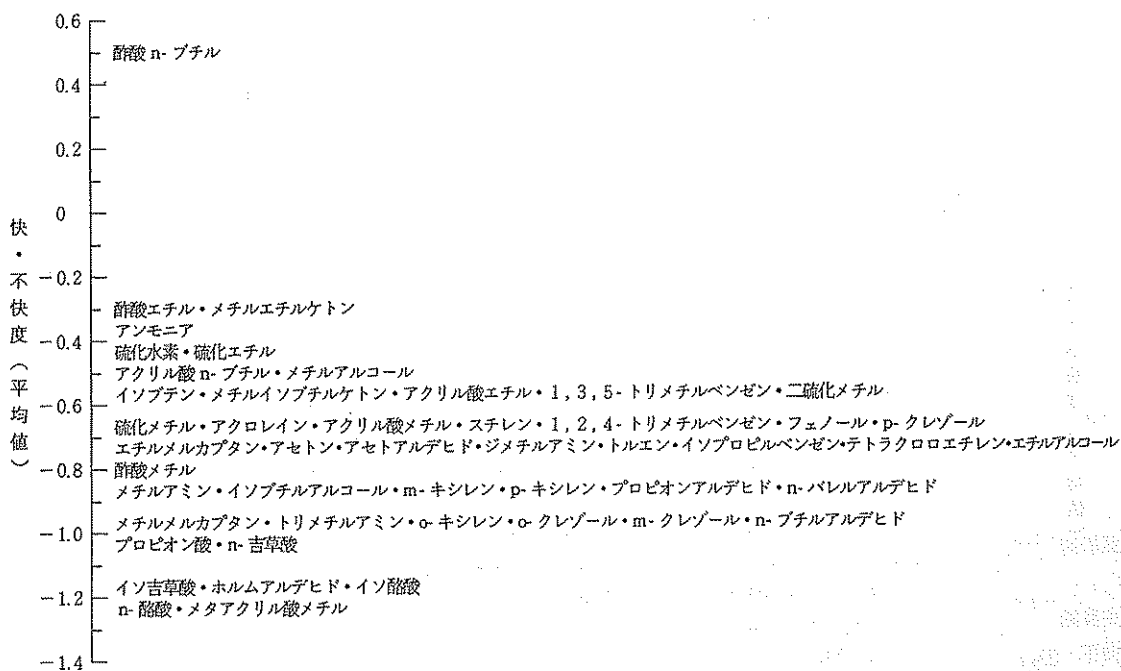


図 3 臭気強度 2 のときの不快度 (平均値 : -0.73 レンジ : 1.8)

が同程度であっても、他の物質に比べてさほど不快度は強くない。例えば酢酸 n-ブチルは、強度 3 以上では不快の範ちゅうにあるが、強度 2 程度のおいの強さであれば、むしろ快いにおいとして感じられている。このように同程度のおいの強さであっても、おいの質によって不快度にかかりの差が生じ、不快度に関して

は、おいの質及び強度の総合的な評価が必要となる。ただし、ここでの評価は 2 秒から 8 秒程度のごく短い時間の判断によるものであり、一般的に長時間嗅いだ場合、芳香であっても不快に感じることもある。これは酢酸 n-ブチルについても同様であった。

おいの質は、おいの強さによって変化することが

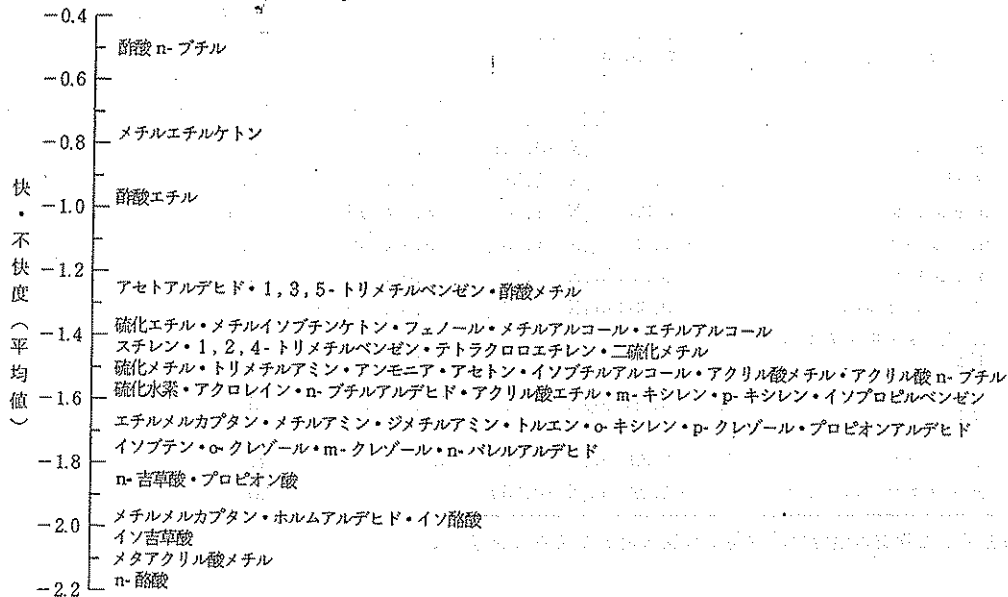


図 4 臭気強度 3 のときの不快度 (平均値: -1.54 レンジ: 1.7)

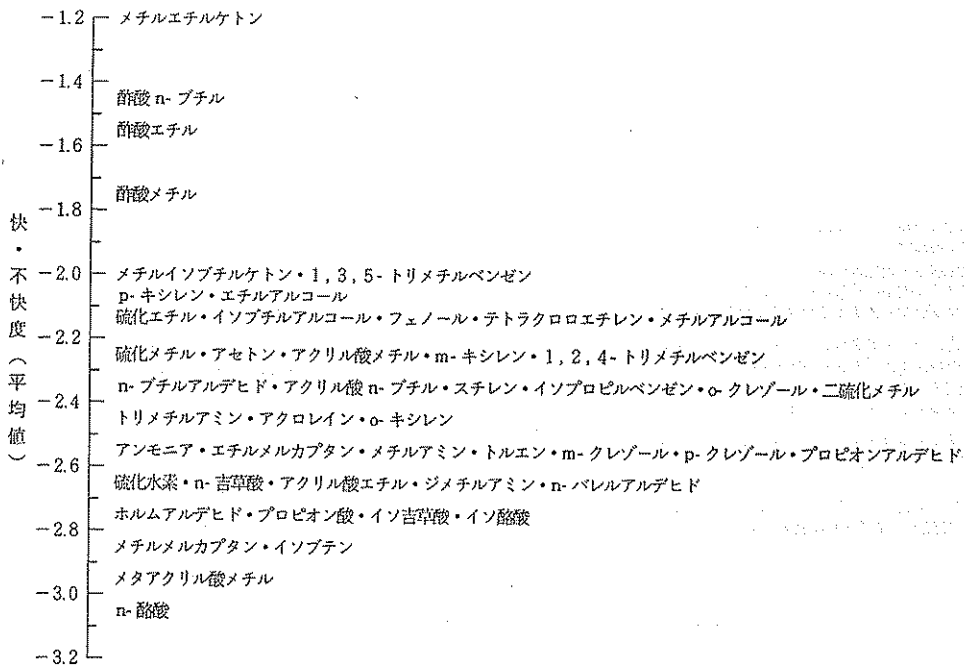


図 5 臭気強度 4 のときの不快度 (平均値: -2.37 レンジ: 1.8)

ある。例えば、トリメチルアミンは、普通はアミン類特有の魚臭が感じられるが、においが強くなるとアンモニア臭的な刺激臭となる。また、バレラルデヒドにもにおいが弱くなると、こげ臭というよりむしろ吉草酸様のにおいになる。

その他イソプロピルベンゼン、トリメチルベンゼンなどにおいの強さによって質の変化が認められた。

### 3. 生活環境不快度

表 4 生活環境不快度の尺度(長時間不快度表示法)

1	においは気にならない
2	まあ住んでもよい
3	できれば住みたくない
4	住みたくない
5	一時もいたくない

無臭室実験のように短時間の測定が余儀なくされる場合、快・不快度の表示法はにおいの質を主体として評価される。従って、長時間にわたって同一のにおいを嗅ぐという場合には、本表示法は必ずしも最適でないと考えた。そこで不快度の評価に対する一つの試みとして、表4に示す尺度を快・不快度表示法とともに用いることにした(48物質中28物質について実施)。この尺度は、東京都公害研究所において、野外である時間継続してにおいの測定を行う場合の不快度の評価尺度<sup>9)</sup>(長時間不快度表示法、ここでは生活環境不快度と称する)として用いられているものであるが、今回の実験では、間接的ではあるができるだけ時間的な要因を加えるために、このようににおい環境下で生活することを想定してという条件のもとに官能試験を行った。その結果、物質によって若干のばらつきはみられるものの、全体的には臭気強度2から2.5に対しては“できれば住みたくない”、臭気強度3から3.5に対しては“住みたくない”の尺度と対応する傾向にあった。例えば、先の酢酸n-ブチルの場合、臭気強度2付近の濃度に対して、快・不快度表示法では“やや快”あるいは“快でも不快でもない”との判断がなされたにもかかわらず、生活環境不快度表示法では“できれば住みたくない”あるいは“住みたくない”という記録が全体の半数以上を占めていた。これは、快・不快度の判断がにおいの質の評価に重点が置かれているのに対し、生活環境不快度はそのようなにおい環境下で生活することを前提としており、両者の評価の要因の違いが現われた例である。酢酸n-ブチルの快・不快度、生活環境不快度、臭気強度の関係を図示すると図6のようになる。

なお、以上のデータ解析において、これらの設定尺度の数値と濃度とを直接結びつけたり、あるいは統計処理を施すに際し、数値間の間隔が等しいという条件が必要となるが、本実験に参加したパネル員がにおいの評価の数値測定に関して熟練したパネルであることから、等間隔の判断が可能であるとして解析した。

今回の実験は実施上の制約から、一定濃度、一定条件下において快・不快度を判断した。しかしにおいに対する不快感には、においの強さ、質のみならず、時間的な長

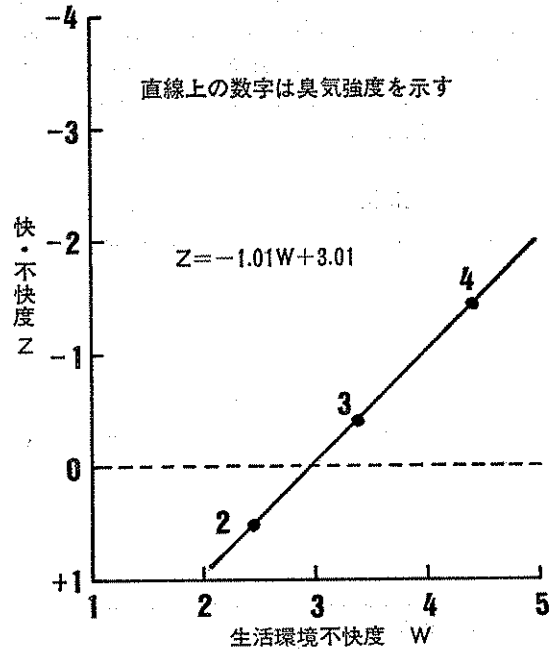


図 6 酢酸n-ブチルの快・不快度、生活環境不快度、臭気強度の関係

短、頻度その他種々の要因が加味されることから、実際の悪臭発生源場において、本測定結果を直接あてはめることは問題がある。

最後に参考データとして、無臭室実験時の記録から人体への影響についてのコメントを付記すると、一般的に臭気強度3以下では、物質によってまたパネル員によってもその影響の度合が異なるが、臭気強度4以上ではほとんどの物質で、むせっぽい、吐き気がする、頭が重い、あるいは目、鼻、のどに刺激を感じるなどの影響が認められた。

#### まとめ

48種の臭気物質について、その濃度と不快度の関係及び臭気強度と不快度の関係について調べた。

実験には、4m<sup>3</sup>の嗅ぎ窓式無臭室を用いた。無臭室に種々の濃度の試料ガスを調製し、そのときの快・不快度(9段階法)及び臭気強度(6段階法)を調香師を主体とする6名のパネル員によって判断した。

実験結果の要約は、次のとおりである。

(1) 濃度と不快度の関係は、すべての物質でフェヒナーの法則を満足する結果が得られた。また、濃度と不快度の関係は、濃度と強度の関係と密接な関係にあった。

(2) 従って、臭気強度と不快度との間にも一般的に高い相関関係が認められた。

(3) これより、物質間の快・不快の程度の差がある程度把握できた。全体的にみると、腐敗臭を感じる脂肪酸類あるいはメルカプタン類、刺激性の強いホルムアルデヒドなどは強度の割に不快度が強い傾向にある。これと対照的な物質として、酢酸n-ブチル、酢酸エチルあるいはメチルエチルケトンなどがあげられる。

(4) また質的に快いにおいであっても、そのようなにおい環境下で生活することを想定した場合、必ずしも許容できるにおいであるとは限らないことなどが判った。

なお、本研究は環境庁の委託によって行ったものをまとめたものであり、御指導御助言を賜わった高砂香料工業(株)甲斐荘正泰先生、国税庁醸造試験所佐藤信先生、国立公衆衛生院松下秀鶴先生他悪臭物質の測定等に関する研究の官能試験分科会の各委員の方々に深く感謝の意を表します。

#### 引用文献

- 1) 環境庁大気保全局編：逐条解説悪臭防止法，1～21，1973.
- 2) 永田好男他：悪臭物質の濃度と臭気強度との関係，日環セ所報，No. 7：75～86，1980.
- 3) 佐藤 信：悪臭防止法に関する統計的基礎，悪臭公害対策セミナー概要集，1～18，悪臭公害研究会編，1972.
- 4) 石黒辰吉他：フィールド調査による悪臭の評価，悪臭の研究，2(9)：45，1973.

#### Summary

Concerning substances which are assumed to be major sources of offensive odors, the relationship between their concentration or odor intensity and the hedonic tone was examined.

Various quantities of each gas tested were introduced into an odorless room of 4m<sup>3</sup> in capacity to prepare the test samples of various concentrations. The hedonic tone of 48 substances was evaluated according to the nine grade method. The results were as follows.

The time period spent for each sensory test was as short as 2 to 8 seconds, subsequently evaluation on the hedonic tone was performed based on odor quality only. In respect to the relationships between the concentration and the hedonic tone, the results showed that according to Fechner's law all substances are retained. By means of this test, a high degree of correlation was generally observed not only between the concentration and the hedonic tone but also between the odor intensity and the hedonic tone, and the difference in the hedonic tone among odor substances became clear to some extent. It was also found that even a fragrant odor in of quality is not always acceptable in the phase of life-environment.