

悪臭公害の評価方法の研究(第2報)

— 3点比較式臭袋法について —

岩崎 好陽 石黒 辰吉 小山 功
福島 悠 小林 温子 大平 俊男
(公害局公害分析センター)

はじめに

悪臭公害を解決するという目標へのアプローチとして前年度まで被害の聞き込み調査、フィールド調査、種々の測定法の比較検討などを実施してきた。今年度は悪臭防止対策(脱臭方法の検討を含む。)に至る前段階までを十分確立することを目標とし、調査研究を行なった。

すなわち目標とは次の2点である。

- ① 悪臭の測定方法の確立
- ② 悪臭公害の被害の実態把握

これらの内容および結果については別に「悪臭の評価」にまとめてあるので参照されたい。

このレポートにおいては、とくに悪臭の測定法としてわれわれが独自に考えた3点比較式臭袋法について説明し、あわせて、現場の悪臭についての実際の測定結果を示し、この方法が十分悪臭を評価しうる方法であることを示す。

1 この方法が考えだされた背景(目的)

悪臭の測定法としては、ガスクロなど機器による測定法と、人間の嗅覚を使った官能試験法があるが、前者は実際の悪臭が低濃度・多成分であるために測定技術がむずかしく非常に困難であること、また単一成分では全体の悪臭を代表しえないなどのため、実際は官能試験法に頼らざるをえない。

しかし従来のASTM注射器法では下記のような問題点があるため、信頼できるデータがとれるとはいきれなかった。

- ① 注射器のスリ合わせ部分への吸着の問題
- ② 注射器の容量が少ないこと
- ③ 高希釈倍数の試料作成に手間がかかること
- ④ 押し込む感じがあり不自然
- ⑤ におうかにおわないかの判断がパネルまかせのた

め客観的データがとりにくい

これらの問題点を解決するために考えだされたのが3点比較式臭袋法である。この方法は上記の①～④までの欠点を解決するために、アルミ箔製の容量約3ℓの袋を用い、⑤の欠点を解決するために3点比較法(トライアングル・メソッド)を採用した。

2 実施手順(方法)

(1) パネルの選別

嗅覚異常者でなければ、一般の人で十分である。われわれのテストにおいては、パネル採用テストを行ない、正常者を採用した。このテストは通常の嗅覚を有している一般の健康体の者で、とくに嗅覚異常の自覚症状のない者ならほとんど合格するものである。

(2) 試料採取

ダイヤフラムポンプで塩ビ管を介してマイラーバッグ(5～10ℓ)に採取する。

われわれはパネルによるテストを、試料採取後ただちに行なうように心掛けているが、比較試料として2～3日後にテストを行なったこともあった。

(3) パネルテスト

以下順をおって手順を書く。

- ① ダイヤフラムポンプでアルミ袋に空気を満たす(約3ℓ)。
- ② 空気を満たした袋に所定希釈倍数になるように、注射器(ガスタイトシリンジなど50ml～1μl)で原悪臭を注入する。その際、袋が針の部分から裂けないように、小さく切ったビニールテープを袋にはる。
- ③ 2個の無臭アルミ袋にも空気を満たし、ビニールテープをはり、針で穴をあける。この2袋と先の試料を入れた袋に1～3の番号をふり、パネルにそれらをわたす。

- ④ パネルは臭袋に鼻あてをあててかぎ、他の2個と違うものの番号を解答する。ただし、識別できないときは「不明」と答えるように前もって知らせておく。
- ⑤ 解答を集計し、次にどのような希釈倍数で行なうかを判定する。

なおパネルの解答の正解率が1.00~0.33になるまでの範囲の希釈倍数でテストを行なう。

(4) 結果の取扱い

確率を計算する上で次のような仮定を設ける。

- ① 各々の解答に対して次のような重みを与える。
 正解（付臭臭袋の番号を当てた人）には……1.00
 不正解（付臭臭袋の番号を誤った人）には…0.00
 不明（不明と答えた人）には……………0.33
- ② 各々の希釈倍数について確率を計算するとき、確率0.33以下は0.33とする。
- ③ ある希釈倍数で正解率が0.45以下ならば、その2倍の希釈倍数では0.33とする。

以上のような仮定で、ある臭気をこの方法によりテストすると図1におけるBのような関係になる。今まで臭気の閾値という概念は、図1のAのような階段上のものとして扱われてきたが、概念としては理解しえても、実際のテストではそのような形になることはなく、もしあったとしても階段上の落ちる点を求めることは不可能に近い。

図1

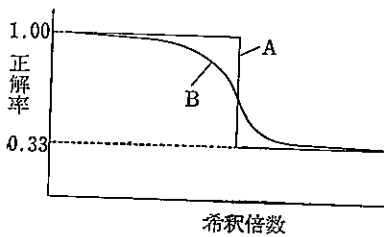
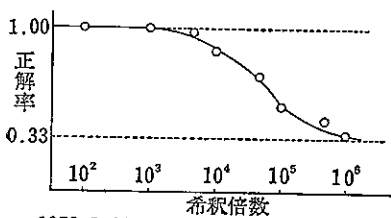


図2



1972.8.21~22 し尿中継所

図2に実際の現場悪臭で測定した例を示す。

このように希釈倍数とそのときの正解率との関係は確率的に議論しなくてはならないわけであるが、図1のBのような場合には、どの点をもって閾値(すなわち臭気濃度)とするかをあらかじめ設定してやらなければならない。この設定は正解率のどの値を採用してもよいわけであるが、われわれは計算の便利さを考慮し、確率0.58のところをもって閾値(臭気濃度)とするように決めた。

—このことについては後で述べる。

さて実際臭気濃度を求めるために各希釈倍数での正解率を求め、次の近似式で3点比較法の確率分布を近似する。

$$y = \frac{2}{3} e^{-(ax)n} + \frac{1}{3} \dots \dots \dots \text{①}$$

ここで $\begin{cases} x: \text{希釈倍数} \\ y: \text{正解率} \\ a: \text{定数} \\ n: \text{定数} \end{cases}$

このa, nを決定するため、①式の両辺の対数をとる、さらに再度対数をとると、

$$n \log a + n \log x = \log \left\{ \frac{\log \frac{2}{3} - \log \left(y - \frac{1}{3} \right)}{\log e} \right\} \dots \dots \text{②}$$

$$\text{ここで } \begin{cases} X = \log x \\ Y = \log \left\{ \frac{\log \frac{2}{3} - \log \left(y - \frac{1}{3} \right)}{\log e} \right\} \end{cases}$$

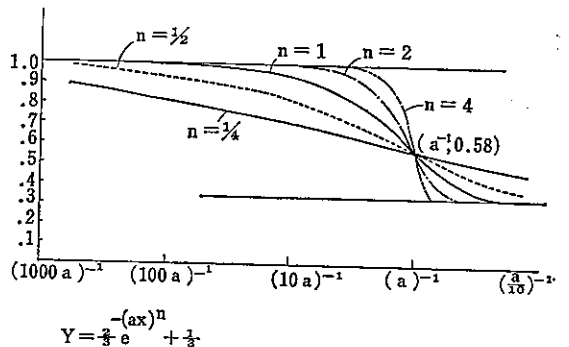
をおくと②式は、

$$Y = nX + n \log a$$

となる。

次にテストで得られたx, yよりX, Yを求め、n,

図3



$$Y = \frac{2}{3} e^{-(ax)n} + \frac{1}{3}$$

$n \log a$ を最小2乗法により求めると n , a が決定される

なお n と a については図3でわかるように、 a は①式で x 軸方向の平行移動を表わし、 n は確率1.00の近傍から0.33の近傍に落ちる傾きを表わしている。

ここで n に依存せず1点で交わっているのは $x = \frac{1}{2}$ のとき①式は、

$$Y = \frac{2}{3} e^{-\left(a \times \frac{1}{a}\right)^n} + \frac{1}{3} = \frac{2}{3} e^{-1} + \frac{1}{3} = 0.58$$

となるからである。

また $S = \frac{1}{a}$ となる S を導入すると、 S は確率0.58における希釈倍数を表わす。

n については数が大きいほど、個人レベルでみると再現性が高く、集団レベルでみると個人によるバラツキが少ないということがいえる。またもし確率0.58をもって閾値とするならば、 S が閾値の濃度すなわち臭気濃度を表わすと考えてよい。

以上のように計算を行えば臭気濃度が求められるわけであるが、途中の計算を省いて直接臭気濃度を求めることができるようにしたのが図4である。この図に希釈倍数とそのときの正解率をプロットすることによって直接、臭気濃度を求めることができる。

(5) 結果および考察

以上の3点比較式臭袋法により、実際の悪臭公害の現場臭気を測定した結果を表1に示す。またそれらをオー

ダレスポンスチャートで求めたものを図5～8に示す。

表1においてどの臭質においても相関係数が高くでているが、これは近似式が人間の嗅覚の特性によく合っていることを示しているものと考えられる。

H魚腸骨処理工場の結果が水洗処理の入口濃度で約40オーダ（本レポートの最後の部分を参照）、水洗処理後

図4

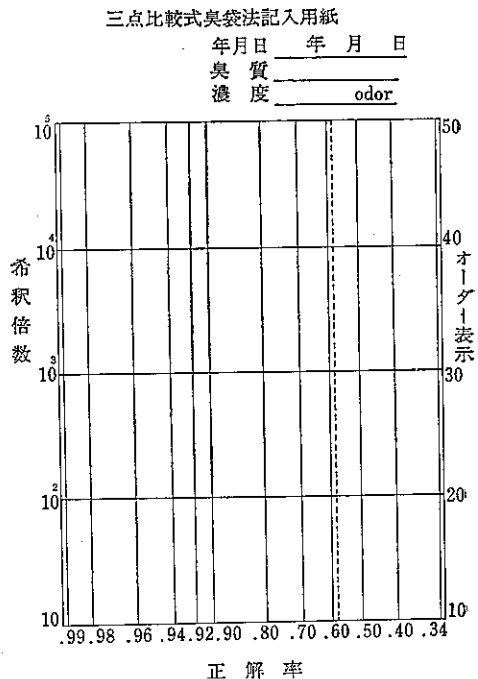


表1 悪臭発生源強度測定の実施例

臭質	魚腸骨臭		魚腸骨臭	獣骨臭	し尿臭			血汁臭	薬品臭	
	工場名	H魚腸骨処理工場	S飼料	F化学	Mし尿中継所			S屠場	M化学	
採取箇所	水洗塔前	水洗塔後	水洗塔後	排水口	薬液洗浄塔出口			曝気槽出口	水洗塔後	
採取年月日	71.12.9		72.2.17	72.8.28	72.8.19	72.8.19	72.8.19	72.8.27	72.10.5	
パネルテスト	テスト年月日	71.12.10	71.12.10	72.2.19	72.8.29	72.8.21	72.8.22	72.8.21	72.8.28	72.10.5
	パネル数	6	6	6	7	8	9	12	7	4
	臭気濃度S	15,200	83	2,100	91,000	79,000	100,000	112,000	240,000	1,900
	オーダ	42	19	33	50	49	50	51	54	33
	相関係数r	0.98	0.99	0.97	0.98	1.00	0.97	0.98	0.89	0.97
バラツキn	0.50	0.39	0.61	0.50	0.73	0.74	0.66	0.39	0.59	

図5

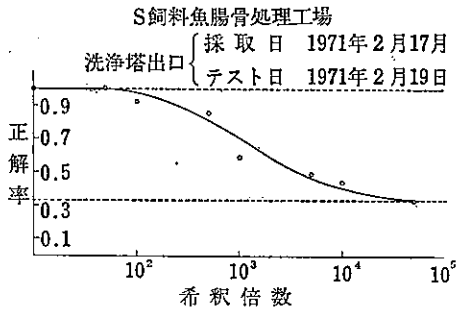
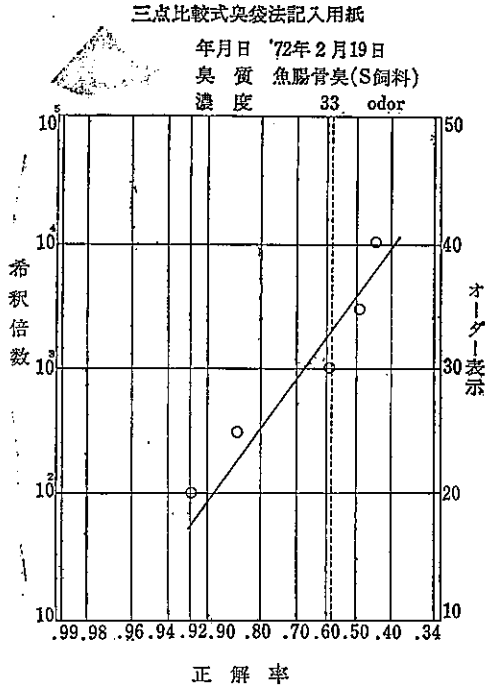
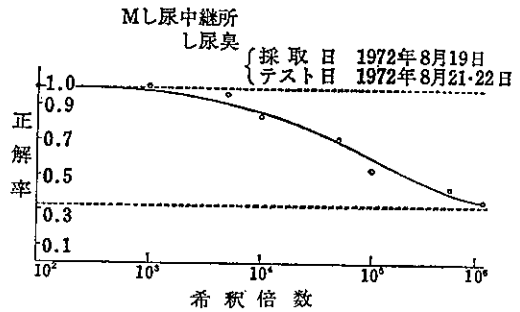
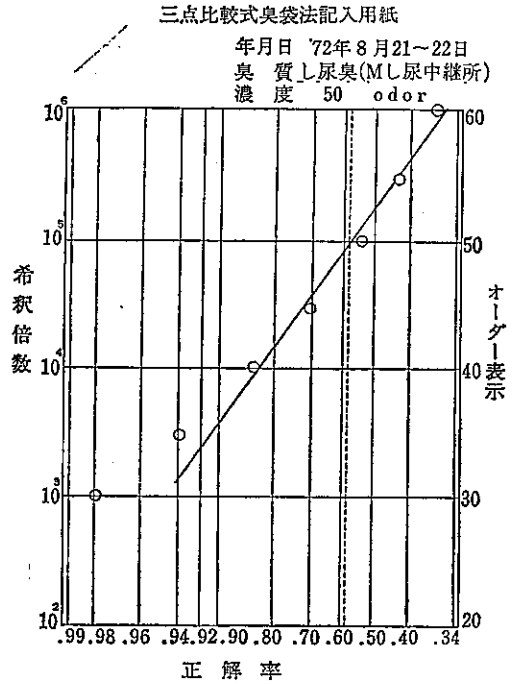


図6



では約20オーダーであったことを考えると、同じ魚腸骨処理工場であるS飼料が水洗処理後でも33オーダーあったということは、水洗処理施設の効率の問題だけでなく、製造工程に大きな問題があると思われる。よって今後悪臭対策においては製造工程の改善が強く望まれる。

F化学にみられるように、獣骨処理工場での臭気は排水関係もかなりの大きな問題であることが示された。これは現場での被害調査とも一致している。

し尿中継所においてはエア-ウィックによる処理を行なっているにもかかわらず高いオーダーが記録された。3度のテストによる結果(49, 50, 54オーダー)がほとんど同じであったことは、この方法が、従来のASTM注射器法よりかなり客観的であることを示しているものと思う。

(6) パネル人数について

人間の嗅覚は個人個人により多少異なるのは事実である。そのため嗅覚の平均的特徴を調べるとき、あるいは測定値の代表性を調べるときは、パネルの人数の検討が必要である。各個人ごとの正解率を表2に、また、モニター人数の検討のまとめを表3に示した。

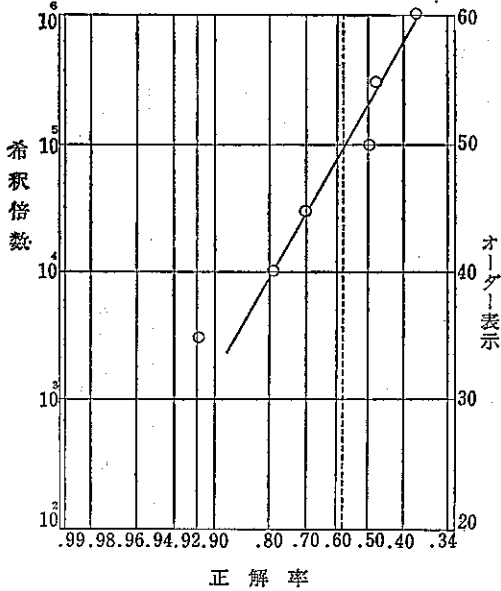
試料はし尿中継所の悪臭を使用し、パネルの人数は12名である。パネル12名より3名をとり出す組み合わせは220通り、4名の場合は495通り、5名および7名の場合は792通りである。これを1つ1つ最小2乗法で計算するのは繁雑であるため、そのうち各々20通りを乱数表にて任意にとり出し、その組み合わせを決定した。

表3から、他の誤差要因を考慮して最低4人いれば、

図7

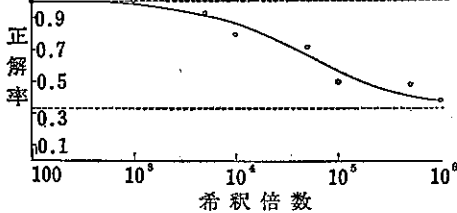
三点比較式臭袋法記入用紙

年月日 72年8月29日
臭質 獣骨臭(F化学)
濃度 50 odor



F化学

採取日 1972年8月28日
獣骨臭 { テスト日 1972年8月29日



ほぼ使えるデータがとれると考えられる。

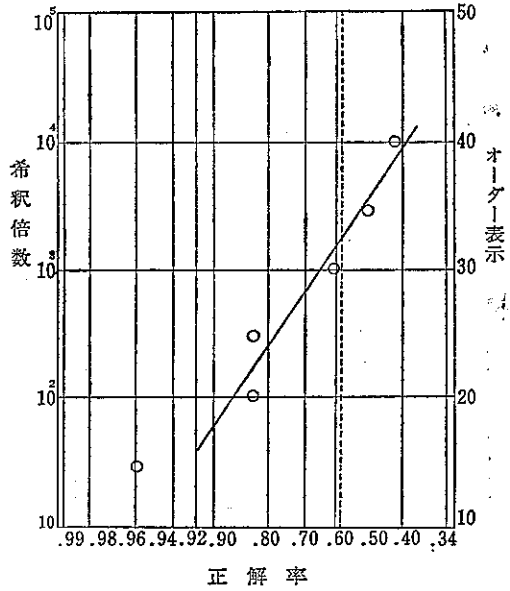
結論

従来の官能試験法(とくにASTM注射器法)は、パネルの主観が除けないために得られた結果が再現性に乏しく、悪臭を十分評価しうる測定法ではなかった。そのためそれらの誤差要因を除くために新たに3点比較式臭袋法を考えた。この方法は、とくに先入観を除くために3個のうち1個を選ばせるという手法を用い、その得られた結果の処理を確率を用いて行なった。原理的にすぐれていると思われるこの方法で実際の現場の悪臭を用い測定した。この結果、測定値の再現性の問題などにおいてもこの方法が十分使いうるものであることがわかった。

図8

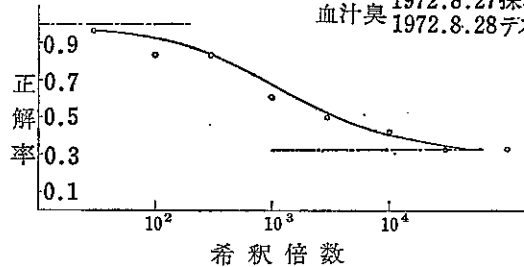
三点比較式臭袋法記入用紙

年月日 72年8月28日
臭質 血汁臭(S屠場)
濃度 33 odor



S屠場

採取日 1972.8.27
血汁臭 { テスト日 1972.8.28



最後に本文の途中で使用した新しい悪臭の表示法であるオーダ表示について説明する。

新表示法の導入

官能試験法の表示法としては臭気強度表示、嫌悪性表示、臭気濃度表示などが現在使用されているが、被害の実態を表わす尺度としては嫌悪性表示が理想的である。

しかし、臭気強度表示、嫌悪性表示はその悪臭の強さおよび不快感の程度を判断するために、各表示の段階をどのように表わすかによって、かなり影響を受けるのでむずかしい。

臭気濃度表示は程度を判断するのではなく、臭を感じるか、感じないかの判断であるため、信頼性が高い。た

表2

モニター	希 積 倍 数									臭 気 濃 度	
	100	300	1000	3000	1万	3万	10万	30万	100万	S	Odor
1 吉 沢	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	0.67	0.50	0.33	185000	53
2 西 尾	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	0.33	65000	48
3 石 田	1.00	1.00	1.00	0.79	0.58	0.33	0.33	0.33	0.33	8600	39
4 和 田	1.00	1.00	1.00	0.67	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	4000	36
5 鶴 巻	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	0.33	0.33	0.33	20000	43
6 白 田	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.71	0.33	0.33	140000	51
7 横 川	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	0.56	610000	58
8 石 井	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.39	0.33	0.33	63000	48
9 林	1.00	1.00	1.00	0.83	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	5400	37
10 丸 山	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.33	720000	59
11 岩 橋	1.00	1.00	1.00	1.00	0.44	0.33	0.33	0.33	0.33	7800	39
12 芦 本	1.00	1.00	1.00	0.88	0.75	0.33	0.33	0.33	0.33	12700	41
平 均										151000	46.0
標 準 偏 差										257000	7.7

表3 パネル人数の検討

12名から選 び出す人数	1	3	4	5	7	12
12名からn 人を選び出 す組合せ数	12	220	495	792	792	1
任意に選 び出した組 合わせ数	12	20	20	20	20	1
平均値オー ダ	46.0	46.7	48.1	47.1	49.0	50.0
標 準 偏 差 (σ)	7.7	5.7	3.4	3.4	1.9	—

パネル総数12名から1, 3, 4, 5, 7, 12名を選び出すのに多くの組合せがあるが、その中から任意に20組の組合せを乱数表から選び、その平均値と標準偏差を求めた。

試料：し尿中継所 1972.8.19採取

だ嗅覚は主観的であり、あてにならぬという説もあるが、方法によっては客観性をもつ手法もある。それが3点比較式臭袋法である。

しかし、実際に現場の悪臭を測定すると、臭気濃度で数十から数百万までの幅があり、実感としてとらえにくく、取扱いもまた不便である。さらに Weber-Fechner

の法則によれば、人間の嗅感はある濃度範囲で濃度（刺激量）の対数に比例するというのであるから、この臭気濃度の対数をとったものを新しい表示法としてわれわれは採用した。この際、有効数字2桁で十分であるということから、それを10倍にし、新しくオーダ（odor）という単位として表わすことにしたのである。

すなわち、

$$N=10 \log_{10} S \cdots \cdots \textcircled{3}$$

S=臭気濃度

N=新しい尺度（オーダ）

である。

③式においてSとNとの関係を図示したのが図9である。

この表示法を用いると、今まで単品について求められていた閾値から逆算し、その原臭の強さをオーダ表示することができる。このため悪臭の強さを実感としてとらえやすくなる。これを表わしたのが表4である。

現在、騒音はホンという尺度によって規制基準値が設定されている。この尺度は被害を完全には表わしきれてはいないが、トータルの音量として測定されている。す

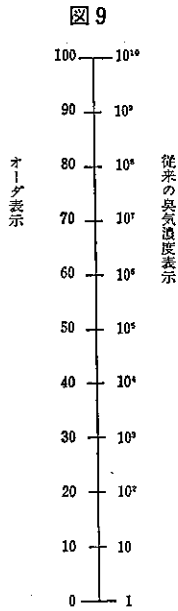


表4

物質名	閾値 ppm	オーダー表示
トリメチルアミン	0.00021	97オーダー
硫化水素	0.00047	93
ジメチルサルファイド	0.001	90
エチルメルカプタン	0.001	90
メチルメルカプタン	0.0021	87
ピリジン	0.021	77
フェノール	0.047	73
アクロレイン	0.21	67
酢酸	1.0	60
エタノール	10.0	50
アンモニア	46.8	43
アセトン	100.0	40

なわち音圧 P_0 と P_1 の変化の割合を音圧レベルとして次式のようにデシベル表示している。

$$n \text{ dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_0} \right) \dots\dots\dots ④$$

ただし、この式は相対値を示すため、 P_0 を固定して P_1 の絶対値を求める。そのため、 P_0 として 1000c/s の純音で人間が感知できる最小の音圧である最小可聴値を採用している。 P_0 は、 $0.0002 \mu\text{bar}$ ($1 \mu\text{bar} = 10^{-6} \text{dyne/cm}^2$) であるから④式は、

$$n \text{ dB} = 20 \log_{10} P_1 + 74$$

となる。ここで示されたデシベル表示を周波数補正したのがホン (phon) である。

臭においては③式でSが臭気濃度を表わしているから、試料が単品の場合、

$$S = \text{臭気濃度}$$

$$= \frac{\text{試料の濃度}}{\text{その物質を感知できる最小濃度(閾値濃度)}} \dots\dots\dots ⑤$$

となり、さきの騒音の場合のデシベル表示と類似の関係になっている。

混合臭気(現場臭気)においては、⑤式における右辺の分母がわかっていないので、分母、分子を別々に計算してSを求めることはできない。そのためSを直接求めているのである。すなわち現場臭気を希釈していき、何倍に希釈したときに、におわなくなったかを調べ、そのときの希釈倍数をSとすればよいのである。

同じ感覚公害といわれる騒音と悪臭について、音におけるホン (phon) 表示と、臭におけるオーダー (odor) 表示の関連性がわかるであろう。ホン表示もオーダー表示も被害の程度を表わしうる指標になりうるかどうかは、さらにつこんだ研究が必要であろうが、これを基礎にして今後改良を加えていきたいと考えている。