

においの強度と濃度の間の相関に関する一考察

佐野 悞

An Attempt to Relate the Gross Intensity of a Compound Odor to the Total Concentration of Ingredients

いとぐち

E. H. Weber (1834) によると、嗅覚、聴覚などの刺激について次の関係

$$\frac{\Delta S}{S} = \alpha$$

S : 刺激量

ΔS : 知覚可能刺激量子

α : 定数 (Weber 比) —— 個人差の他、環境条件によって値が異なる ($1 > \alpha > 0$)

が成立する。G. T. Fechner (1860) はこれに基いて次式を提出した。

$$dI = k \frac{dS}{S}$$

I : 嗅覚、聴覚などの感覚強度

k : 定数

$$I = k \ln S + I_0$$

I_0 : 積分定数

閾刺激量 (臨界刺激量) を単位として刺激を測ることにすると

$$I = k \ln S \quad (1)$$

これを Fechner の法則あるいは Weber-Fechner の法則と呼ぶ。

この法則は、実験によると、刺激が弱過ぎるか或は強過ぎる場合には成立たず、弱過ぎる場合には殊に外れが目立つようである。これは Weber 比が実際には刺激の大きさに影響され、刺激が弱くなると大きくなるなどのためである。なお、J. P. Guilford (1936) が次の関係

$$\frac{\Delta S}{S^n} = \beta$$

β : 定数

n : 定数 (0.5 ~ 1)

を提出している。

刺激の大きさと感覚の強さの間の一般性に関する知見は、大体のところ、以上の通りである¹⁾。におい (悪臭および芳香) の場合には次式

$$I = k \ln C + K \quad (2)$$

k : 定数 (滲透性指数, ポテンシャル係数などと呼ばれ、におい毎に値が異なる)

K : 定数

の成立することが知られているが、これも関係者の間で Weber-Fechner の法則と呼ばれている²⁾。

筆者はこれらの事情を踏まえてにおい、特に悪臭、について若干の考察を試みたので以下に結果を報告する。

Weber-Fechner 式の誘導とその拡張

嗅覚の場合、刺激はにおい物質が嗅覚官能部^{*1}に吸着されて発生し、刺激量 (S) は吸着量 (A) に比例するものと仮定するならば次式が成立つ。

$$S = \gamma A \quad (\gamma : \text{定数}) \quad (3)$$

一方、固体面に対する気体の吸着については、コロイド化学上、次の 2 式が広く知られている。

Freundlich の式

$$A = pC^q \quad (p, q : \text{定数}) \quad (4)$$

Langmuir の式

$$A = \frac{abC}{1+aC} \quad (a, b : \text{定数}) \quad (5)$$

ここで C は吸着平衡下における気体の濃度を表わしているが、これが小さい場合、(5)式は次の如く書下すことができる。

$$A = a b C \quad (5')$$

これらの式の中、例えば(4)式を(3)式に代入し、その結果をさらに(1)式に代入すると次式

$$I = kq \ln C + k \ln (\gamma p)$$

が得られるが、これは(2)式に他ならない。

*1 鼻腔最上部にある嗅上皮——広さ約5cm²の褐色の粘膜部で、多数の嗅覚細胞と支持細胞さらに諸処に開口する粘液分泌腺 (バウマン氏腺) とから出来ている (詳しくは例えば、高木貞敏: 悪臭公害対策セミナー講演集 (悪臭公害研究会), 昭50.4月を参照のこと)

(5')式からは下式

$$I = k \ln C + k \ln(\gamma ab)$$

が得られるが、これも(2)式に他ならない。ただし、(4)および(5)式を適用する場合、鼻腔内において物質と嗅覚官能部との間に吸着平衡が迅速に成立つことを仮定する必要がある。

Weber-Fechnerの法則の(2)式は、元来、単一成分のにおいて対して提出された関係で、実際にも、種々の化学物質(硫化水素およびメルカプタン類、硫化メチル類、脂肪酸類(酪酸、吉草酸)、アルデヒド類(ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、ブチルアルデヒド)、エステル類(酢酸エチル、酢酸ブチル、アクリル酸ブチル、サリチル酸メチル)、アンモニアおよびアミン類さらにピリジンまたステレンなどについてそれぞれ実験的に確かめられている⁴⁾。

嗅覚の発生機作については、現在、分子振動説(G.M. Dyson, 1937; R. H. Wright, 1954, 1969)、吸着穿孔説(J. T. Davies, 1953, 1969)、立体化学説(R. W. Moncrieff, 1954, 1967; J. E. Amooore, 1963, 1967, 1971)などが本命を競い合い、単一成分についてさえ決定的には明らかでない状況にある。従って多種成分の混合物については暗中模索の状態であると云っても過言でない折柄であるが、筆者は混合物の嗅覚強度に関連し、次の如く、吸着の立場から考察を進めた。

ここに*i*種類の成分を含むにおいがあり、しかもこれらの成分は例えば脂肪酸の一群の如く同じ種類の化学物質であるとするとき、恐らく、嗅覚官能部の面上に散在する同じ性質の吸着点に選ぶところなく吸着するであろうと考えられるので全強度(I)を成分強度(I_i)の和として下の如く書下すことにする。

$$I = \sum_i I_i = \sum_i k_i \ln C_i + \sum_i K_i$$

式中、C_iは成分*i*の濃度である。

全濃度をCとし、成分*i*の分率をr_iとすると

$$C_i = r_i C, \text{ 従って}$$

$$I = (\sum_i k_i) \ln C + \sum_i (k_i \ln r_i + K_i)$$

ここで $\sum_i k_i = k, \sum_i (k_i \ln r_i + K_i) = K$ と置くと

$$I = k \ln C + K \tag{6}$$

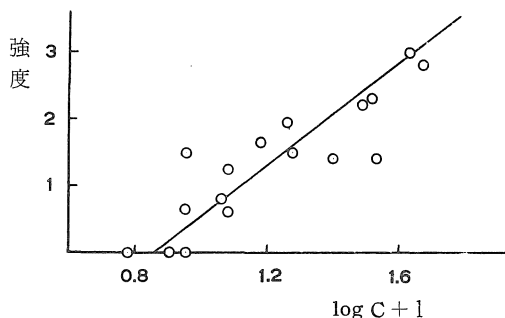
においの組成が一定の場合にはr_iは一定で^{*2}, Kは定数と

なる。この場合には全濃度の対数と全強度の間に直線関係が成立し、その勾配がkを与える。

実際との照合

春日井市では環境対策策定の資料を得る目的で王子製紙(株)春日井工場周辺の悪臭について、数年来、調査を実施し、その結果を年次的に発表しつつある。悪臭は硫化水素を主とし、他に硫化メチルさらにメチルメルカプタン、二硫化ジメチルなどを含んでいる。

これらの調査結果の中から昭和52年2月15日および3月25日分を図示すると図1(縦軸:強度(6点スケール



図一 強度と濃度の間の相関 (昭52.2.15, 3.25調査)

法); 横軸: log C (C:濃度, ppb) + 1) の如くで、直線関係(相関係数 0.87_s)の存在することが見られるのでその勾配を読取ると3.76^{*3}, 従って(6)式のkとして1.64

表1 硫黄化合物のk

物質	k _i	
	(1) ^{**a}	(2) ^{**b}
硫化水素	0.56 _s	0.41 _s
メチルメルカプタン	0.38 ₄	0.54 ₄
エチルメルカプタン	0.29 ₀	0.35 ₁
硫化メチル	0.30 ₄	0.34 ₁
硫化エチル	0.33 ₀	0.46 ₉
二硫化ジメチル	—	0.43 ₄

^{**a} S. H. Katz, E. J. Talbert (1930): 名古屋市公害対策局, 悪臭防止対策解説(総括篇), 昭48.3月参照

^{**b} 文献4参照

表中のk_iの値はこれらの資料からの筆者による算定値

*2 例えば悪臭の拡散に関する野外調査の場合がその一例で、この場合には、風下の各地点を通じ組成は一定とみてよいであろう

*3 佐野榎・太田洋・鶴泉彰彦・坪井勇・市川俊子・村手哲雄: 愛工大研究報告, No.13 (1978), 369., 悪臭

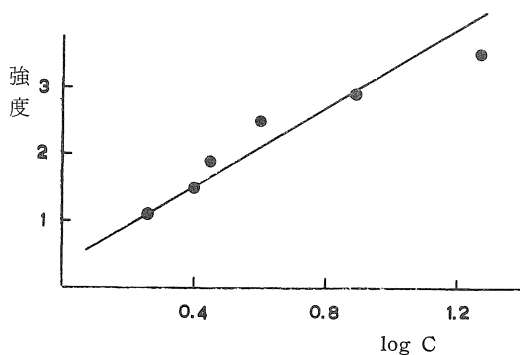
調査の一例——強度分布と濃度分布の間の相関性(第4報), 表9および図5。詳しくは、王子製紙(株)春日井工場公害防止状況総点検報告書(第4報, 昭52.12月), 春日井市を参照のこと

が得られる。これは悪臭中の各成分（硫化水素、硫化メチル、メチルメルカプタンなど）の k_i の和を意味する。一方、硫化水素その他の硫黄化合物の k_i については次の値が知られている（表1）。表に従って硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチルおよび二硫化ジメチルの k_i の和を求めると(1)から1.68^{*4}、(2)から1.73が得られ、1.64とほとんど一致する。

表2 強度と濃度の間の相関

地点	強度	濃度(合計値)
26	2.5	4.0 ppb
51	0.5	6.1
52	3.5	18.7
Y	2.9	7.8
54	1.9	2.8
55	1.1	1.8
56	3.4	0.9
57	1.5	2.5

表2は昭和50年3月17日の調査結果の一部である⁵⁾。これを強度-濃度(対数)間の図にすると地点51および56では異常性の強いことが認められるのでこれらを除いて直線を引き(相関係数0.96_s)、その勾配からkを求めると1.33が得られる(図2)。



図一2 強度と濃度の間の相関 (昭50.3.17調査)

以上の他にも昭和48年3月26日の調査結果からkの値として1.7₁が得られている⁶⁾。ただし、この場合には強度の表わし方が5点スケール法で、以上の場合の6点スケール法と異っている^{*5}とかkの値が多少複雑な操作を経て求めてあるなどの事情があるけれども上記の1.6、1.3などに匹敵する値である。

*4 二硫化ジメチルのkとして(2)の0.43を流用

*5 5点スケール値を6点スケール値に引直してもk

おわりに

拡散の理論式⁷⁾から計算により悪臭混合物の着地濃度を求めることができるのでこれと(6)式とを組み合わせると風下各地点の嗅覚強度を求めることができるはずであるが、目下のところ、(6)式のk(勾配)およびK(切片)の値に信頼度が十分でないので、今回は、これに関する考察に立入ることを差控えた。悪臭混合物の嗅覚強度と成分濃度の間の関係について今後も調査研究を続行し、(6)式の妥当性を検討する予定である。

まとめ

Weber - Fechnerの法則の歴史的経過を眺めた後、嗅覚現象におけるその数式的表現の式(2)に触れてこれを吸着等温式と関連づけ、この考え方を、さらに、におい混合物に拡張し、若干の制限条件の下で式(6)を導いた。

式(6)をパルプ工場周辺環境中の悪臭(硫化水素を主とし、他にメチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化ジメチルなどを含む)の調査結果に適用して妥当性を検討した。

終りにのぞみ、柴山茂夫愛工大教授(心理学)からご教示を得た旨を記し、謝意を表する。

引用文献

1)詳細については、例えば、和田陽平・大山正・今井省吾：感覚・知覚(心理学ハンドブック)、第2章感覚・知覚研究の歴史、昭49.7月；東京大学出版会：講座、心理学3、感覚、第4章嗅覚現象、昭46.10月；日科技連官能検査委員会：官能検査ハンドブック、昭48.3月などを参照のこと

2)佐野悞：悪臭と公害対策(産業環境工学研究会)、昭42.12月；悪臭公害対策セミナー講演集(悪臭公害研究会)、昭49.3月；高木貞敬：悪臭公害対策セミナー講演集、昭50.4月；日本環境衛生センター：悪臭物質の測定に関する研究(昭51年度環境庁委託)、昭52.3月

3)J. T. Davies：J. Colloid Interf. Sci., 29 (1969), No. 2, 296；高木貞敬：悪臭公害対策セミナー講演集、昭50.4月

4)文献2)の他、日本環境衛生センター：悪臭規制基準設定に関する研究(環境庁委託)、昭47.4月；悪臭物質の測定に関する研究(環境庁委託)、昭48, 49, 50.3月；土門徹：悪臭公害対策セミナー講演集、昭50.10月など

の値には、實際上、ほとんど変化を生じないか若干小さくなる程度であろうと思われる

5)佐野悞・鶴泉彰恵・太田洋：愛工大研究報告, No.11 (1976), 159 ; White Wind Project (第2回), 王子製紙(株)春日井工場公害防止状況総点検報告書(第3報), 223, 昭50.12月, 春日井市

6)佐野悞・鶴泉彰恵・太田洋・大矢公彦：愛工大研究報告, No.9 (1974), 219; 工場公害調査報告書(第9報), 昭48.12月, 春日井市

7)佐野悞：悪臭の研究, 6 (昭52), No.26, 3