悪臭成分組成と臭気感覚の関係

A Study of the Relationship between the Concentrations of the Components in a Complex Odor and the Sense of Smell

滋賀医科大学保健管理学教室

山 川 正 信

京都大学工学部衛生工学教室

西 田 耕 之 助

Masanobu Yamakawa

Department of Health Care and Administration, Shiga University of Medical Science, Otsu

Konosuke Nishida

Department of Sanitary Engineering, Kyoto University Faculty of Engineering, Kyoto

The expressed purpose of odor control is to eliminate the pollution caused by offensive odors. The present Offensive Odor Control Law in Japan, however, does not cover complex odors which are actually emitted. Some local authorities, e.g. the Tokyo Metropolitan Government, have enacted so-called Sensory Regulation Bylaws based on actual human sensory responses, using the odor dilution number. Then considerable results have been obtained in terms of magnification of the regulation extent. But if the sensory evaluation system is used to evaluate all aspects of the odor problem, it must be made more pervasive by including the sensory characteristics of the exhaust odors from actual sources.

In this study, a multiple regression analysis was used to examine the relationships between the concentrations of the various constituents of complex odors and the odor dilution threshold(D/T). From the examination about odors emitted from a pig farm and dead animal processings, or rendering plants, the following results were obtained.

- 1) Changes in odor intensity or unpleasantness of pig farm odors by dilution are less than changes in odors from dead animal processings.
- 2) For rendering odors, the D/T value is high due to free fatty acids, such as butyric or valeric acid, which, however, are not regulated by the present laws.
- 3) Even a low concentration odorants may strongly effect the sense of smell.
- 4) D/T values can be estimated from the 5 or 6 principle odorants from the sources considered here together with $R^2 > 0.99$ and $SE < 50$.

1. は じ め に

悪臭防止の真の目的は住民の被害感をなくすこと、すなわち、発生臭気の程度を苦情発生のレベル以下に軽減することである¹⁾。つまり、住民にとっては“相対的に苦にならない”レベルの確保によって、問題が解決されたことになるが、このレベルは臭気の質が地域性、あるいは住民の感受性でかなり異なる²⁾。ところが、現行法では

臭気の質や地域性に関係なく、8物質の臭気強度2.5(または3.5)相当濃度が、個別の濃度・強度回帰式から求められており、実際の複合臭気への適用には問題がある³⁾。例えば、各物質濃度が、いずれも基準以下であっても不快な臭気の知覚される場合が多いこと⁴⁾。苦情数の多い印刷や塗装臭気の規制が出来ないこと。さらには、測定・分析上の問題、ならびに悪臭発生源の非定常性から、被害実態が把握し難いこと⁵⁾などが挙げられる。

近年,このような問題を克服するために,悪臭の感覚測定に基づく規制が条例化されつつあり,規制対象の拡大など現実的な効果を上げている。しかしながら,現場臭気感覚特性に対する十分な検討がなされないままに,感覚規制を安易に現行法の補完として採用することには問題が残る。つまり,現在,東京都などで実施されている用途地域別の一律規制では,業種や共存成分組成の違いによる発生臭気特性^{6,7)}や希釈による臭気感覚の軽減効果⁸⁾の違いが全く考慮されていない。

そこで,筆者らは業種別規制のための基礎的資料を得る目的で,昭和55年度(5~7月)に実施した動物系悪臭発生源の調査結果⁹⁾に重回帰分析法を適用して,臭気感覚と成分組成の関係から業種,事業場別の臭気特性の違いを検討した。

2. 調査の概要

2-1 対象事業場

A 養豚・B および C 化製は,いずれも動物系特有の不快感を呈し,周辺500m~1kmで強い悪臭苦情が絶えず発生している。一般に,養豚などの動物飼育場では,場内の至る所から悪臭が発生しており¹⁰⁾,A 養豚では残飯飼料クッカーからの腐敗臭と豚舎内の糞尿臭が複合されて,極めて不快な臭気が事業場全体を覆っている。B, C 化製場では,原料置場とクッカー周辺で強い酸敗臭が発生している。

2-2 調査内容

各事業場共に,試料臭気の採取は脱臭塔出口,原料置場,煮熟施設(クッカー)など特に強い悪臭発生地点と風下側の敷地境界およびその延長上の環境,そしてバックグラウンドの計5地点で行った。採取時間帯は,各事業場の作業日程から,最も悪条件となる時,すなわち,原料搬入・選別ならびに調理作業時で,各々測定日を変えて3回の繰り返し調査を行った。また,試料採取時の外気条件(風向・風速・温湿度)も測定した。

採取した臭気試料は,スチレンを除く規制7物質の濃度分析と共に感覚測定を行った。今回の調査では,従来から分析が困難とされているC₁~C₆脂肪酸類についても分析したが,これらは動物性臭気の質と不快性に大きく関与すると共に,燃焼脱臭時にアルデヒド類を生成する¹¹⁾など軽視出来ない物質である。脂肪酸類はプラスチック製バッグ(100 l)に採取した試料臭気をTenax-GC管へ常温吸着捕集する。次いで,捕集管を180°Cに加熱後,ギ酸を加えて被吸着成分を洗い出し,GCへ導入して分析した(FID,カラム温度50~200°C,10°C/min)。他

臭気強度					不快度				
0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
感じない	かすかに感じる	はっきりにおう	やや強くにおう	強くにおう	不快でない	かすかに不快	やや不快	かなり不快	非常に不快

図-1 感覚尺度

の規制物質の分析は環境庁公示(第9号,第47号)の方法に従った。

感覚測定では,三点比較式臭袋法¹²⁾とサイクロオルファクター法¹³⁾による閾希釈倍数,および臭気強度・不快度を被検者6~8名により測定した。被検者はいずれも感覚的測定に習熟しているが,嗅覚の疲労を少なくするために,臭気の呈示は濃度上昇法を採用した。また,現地における強度,不快度の判定においても,同様の目的で測定地点の順序を考慮した。判定に用いた尺度は,図-1に示すとおりで,最大値,最小値を除いて算術平均した値を各試料の感覚値とした。

2-3 調査結果

2-3-1 濃度分析

測定成績の一例は表-1に示すとおりである。アンモニア(NH₃)濃度は事業場間で大差はないが,A 養豚で測定日による変動が若干認められる。腐敗臭に起因するトリメチルアミン(TMA)は各事業場共,クッカーや原料室で多量に検出された。養豚臭気では排せつ物とその腐敗によるメチルメルカプタン(MM)が多く,原材料の腐敗や分解で生ずる硫化メチル(DMS)は化製臭気でも多く検出された。なお,S系化合物のクロマトグラムからエチル基を持つ化合物のピークも認められた。

アセトアルデヒド(CH₃CHO)は原材料の取扱い場所でも高濃度を示し,特にC 化製の原料置場では3500 ppmを示した。しかし,濃度は測定日で大きく変動し,搬入原料の鮮度の影響と考えられる。現行法ではCH₃CHOのみが規制対象になっているが,今回の分析では他のアルデヒド類やケトン類もかなり高濃度で検出された。

また,脂肪酸類では,各事業場共に酢酸が高濃度である他,C₂~C₆脂肪酸も多く検出された。特に原料室やクッカーでは,酪酸(C₄-COOH)や吉草酸(C₆-COOH)が高濃度を示した。一方,敷地境界や周辺環境中の脂肪酸類の濃度は,アルデヒド類と同様に事業場間で大差はなかった。

2-3-2 感覚測定

表－1 測定成績例

事業場と 試料採取地点 ^(注)		閾希釈 倍数 (D/T) _{obs}	強 度 I(現地)	不快度 U(現地)	NH ₃ ppm	TMA ppb	H ₂ S ppb	MM ppb	DMS ppb	DMDS ppb	CH ₃ CHO ppb	C ₂ -COOH ppb	C ₄ -COOH ppb
A 養 豚	Back ground1	15	2.4(2.8)	1.2(1.8)	10.1	6.00	3.29	ND	0.90	0.11	9.20	－	－
	敷地境界 1	38	3.8(4.1)	2.5(3.0)	12.0	ND	20.4	0.29	1.37	0.20	ND	－	－
	場内通路 1	130	3.9(4.7)	2.5(3.3)	12.0	8.50	5.27	ND	0.83	ND	ND	－	－
	同 2	410	4.5(4.4)	3.4(3.2)	5.28	4.11	3.69	0.12	ND	ND	10.4	7.70	2.40
	調 理 場 2	550	5.0(4.6)	4.0(3.7)	6.38	7.21	31.0	42.0	2.96	5.24	99.9	37.2	23.9
	同 3	170	5.0(4.8)	3.9(3.9)	4.67	360	14.8	6.53	0.85	1.79	25.9	37.9	26.4
	脱臭塔出口 2	7400	5.0(4.2)	4.0(3.1)	2.35	38.6	303	95.7	21.0	35.7	644	23.0	ND
	同 3	1300	4.9(4.1)	4.0(2.8)	8.20	67.0	35.6	50.9	1.45	26.2	297	143	72.4
B 化 製	Back ground3	～10	1.5(2.9)	0.5(1.6)	5.64	ND	17.5	0.78	0.30	～0.76	ND	2.73	ND
	敷地境界 3	12	1.5(2.5)	0.6(1.8)	4.42	5.06	35.3	1.73	～0.15	ND	ND	1.22	ND
	原 料 室 1	250	4.3(1.5)	3.4(0.3)	2.10	35.0	92.2	3.30	3.79	14.5	152	95.5	105
	同 3	2300	4.9(2.0)	3.8(1.0)	7.22	61.9	297	159	28.9	40.0	1200	22.6	ND
	クッカー 1	500	4.9(5.0)	4.0(3.8)	7.90	43.7	250	135	41.5	207	37.5	44.3	80.5
	同 3	1300	4.6(5.0)	3.6(4.0)	7.47	213	277	149	5.06	39.3	47.5	27.4	ND
C 化 製	Back ground2	～10	1.6(0.4)	1.0(0)	9.18	3.85	4.88	0.35	ND	ND	ND	6.73	ND
	敷地境界 2	47	2.8(3.1)	1.5(1.6)	6.51	ND	7.11	ND	0.49	ND	ND	5.08	3.01
	脱臭排ガス 2	550	4.6(4.1)	3.9(2.9)	5.78	11.9	12.0	36.4	2.37	16.9	ND	25.6	ND
	原料置場 1	170	3.8(4.3)	2.5(3.0)	21.1	37.3	46.1	2.01	1.34	0.75	12.4	ND	ND
	同 2	1700	5.0(3.9)	4.0(2.8)	5.21	30.3	40.2	ND	3.43	1.50	2700	31.2	16.2
	同 3	730	4.9(4.3)	3.7(3.2)	5.49	4.61	6.92	～0.45	30.4	2.57	3550	16.3	ND

注)…測定地点に付した数字は、測定日を示し、次のとおりである。A養豚(1. 5/27, 2. 6/18, 3. 7/1)B化製(1. 6/10, 2. 6/20, 3. 6/27)C化製(1. 6/3, 2. 6/20, 3. 6/27)

表-1からもわかる通り、閾希釈倍数は測定日による変動が大きく、特に、化製場の原料置場でその傾向が顕著である。しかし、強度・不快度では、測定日による変動は小さい。また、表には採取した臭気試料についての測定値と()内に採取現場での測定値を示す。一般に、雰囲気臭気が強烈な発生源の周辺では被検者の嗅覚の疲労が生じ易く、このため現場での値が実験室での値を下廻る傾向を示すと考えられる。両者の差は尺度値で0.5～3で、特に、B化製の原料室で大きな差を示している。一方、敷地境界や周辺環境臭気では、現場での値が実験室での値を尺度値で0.5～2上廻る傾向を示している。これは、臭気の感覚的判定は瞬間的であるが、告示の5分間平均採取法では採取時の希釈効果が原因すると考えられる。つまり、現行の悪臭試料採取法は悪臭苦情の特徴の

一つである一過性被害を過小に評価しているといえる。

3. 閾希釈倍数と強度・不快度の関係

一般に、閾希釈倍数(D/T)の対数値と臭気強度(I)、不快度(U)の関係は、Weber-Fechner則から次式で表わせる。

$$I \text{ (or } U) = k \cdot \log_{10} (D/T) + c \quad (1)$$

ここに、k, c は定数で、k は臭気の種類で決まる。上式を調査結果に適用し、事業場ごとに最小二乗法で近似した結果は次の通りである。

A 養豚

$$I = 0.93 \log (D/T) + 2.18 \quad (r = 0.7621, SE = 0.74) \quad (2)$$

$$U = 0.94 \log (D/T) + 1.04 \quad (r = 0.7695, SE = 0.73) \quad (3)$$

B 化製

$$I = 1.85 \log (D/T) - 0.72 \quad (r = 0.9698, SE = 0.46) \quad (4)$$

$$U = 1.65 \log (D/T) - 1.08 \quad (r = 0.9728, SE = 0.39) \quad (5)$$

C 化製

$$I = 1.75 \log (D/T) - 0.36 \quad (r = 0.9834, SE = 0.30) \quad (6)$$

$$U = 1.63 \log (D/T) - 1.14 \quad (r = 0.9820, SE = 0.29) \quad (7)$$

なお、今回の解析には使用例の多い臭袋法による D/T 値を用い、臭気強度および不快度値は実験室での値を用いた。すなわち、他で行われた調査結果との比較を容易にした。

A 養豚では強度、不快度共に、傾きは約0.9と、約10倍の希釈で感覚量が1尺度値低下する。化製場 B, C では強度で約1.8、不快度で約1.6と A 養豚よりも大きく、希釈による感覚量の軽減効果が養豚場に比べて大きいことを示す。また、閾希釈倍数と強度（不快度）との相関係数 (r) はいずれも有意 ($p < 0.01$) なことから、業種の臭気特性を考慮した閾希釈倍数値による規制方式は被害感とよく対応し、悪臭苦情の現実的解決に極めて有効と考えられる。

4. 重回帰分析の目的と方法

感覚評価はあらゆる悪臭苦情に対応し、機器分析法に比べて測定が簡単で、かつ時間と労力、経費の節減が図れるが、閾希釈倍数値 (D/T) や臭気強度 (I) ・不快度 (U) の連続的測定監視は容易でない。しかし、前節で述べたように D/T 値に対応する I や U の推定は可能であるから、この D/T を各成分濃度から推定すると共に成分間の相対的因果関係を重回帰法を用いた解析から検討した。

試料臭気の D/T を予測変数、各成分の濃度をそれぞれの閾値で除した値 $(D/T)_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$) を説明変数とすると、D/T の予測方程式は次のとおりである。

$$(\hat{D/T}) = a_0 + a_1(D/T)_1 + a_2(D/T)_2 + \dots + a_n(D/T)_n \quad (8)$$

ここに、 $(\hat{D/T})$ は D/T の予測値、 a_i は回帰係数、 a_0 は回帰定数である。重回帰分析ではこの $(\hat{D/T})$ と D/T の実測された値 $(D/T)_{obs}$ について、最小二乗法的に予測のための最適直線を求める。すなわち、 $(D/T)_{obs}$ と $(\hat{D/T})$ との重相関係数 R を最大にし、個々の成分濃度 $(D/T)_i$ と残差との間の相関係数を 0 に近づける。そして、予測直線の適合度は R で与えられる。

変数追加型の重回帰分析では、業種あるいは事業場の違いによる成分の寄与の割合を知ることができる。つまり、各説明変数 $(D/T)_i$ の寄与率 A_i を重相関係数 R_i の 2 乗の変化率、すなわち (9) 式で考えると、選択ステップ

$$A_i = R_i^2 - R_{i-1}^2 \quad (9)$$

ごとの R_i や回帰係数 a_i の変化から、成分間の内部関係や

因果的順序が理解でき、影響の著しい成分、およびその寄与程度を知ることができる¹⁴⁾。

5. 解析結果と考察

5-1 構成成分間の関係

今回の解析にはスチレンを除く悪臭 7 物質に酪酸と吉草酸を加えた 9 成分を説明変数に用いた。表-2 は各成分の検知閾値を、表-3 に事業場別の $(D/T)_{obs}$ と $(D/T)_i$ 間の相関行列を示す。

A 養豚では硫化水素 (H_2S)、MM、DMS と二硫化メチル (DMDS) の S 系 4 成分およびアルデヒドが D/T 値と強い相関を示し、TMA や NH_3 の N 系成分や脂肪酸との相関性は低い。また、B 化製は S 系成分、アルデヒドおよび N 系 2 成分が共に D/T 値と強い相関を示す。一方、C 化製はアルデヒド、脂肪酸類および TMA と D/T 値は強い相関を示すが、S 系 4 成分との相関は他の事業場に比べて著しく低い。このように作業工程の相違により、同一業種であっても D/T 値に寄与する成分が異なるものと考えられる。

また、説明変数相互の相関関係では S 系 4 成分が 3 事業場とも相互に強い相関を示し、他の成分間の相関性は事業場によって若干異なる。重回帰分析では本来説明変数相互の内部相関は小さくなくてはならず¹⁴⁾、今回の結果を参考に、今後は変数の変換や合成による新変数の導入が必要と考えられる。

5-2 閾希釈倍数の予測方程式

重回帰分析の結果から変数投入ステップごとの説明比率、および回帰係数の変化をまとめたのが表-4 から表-8・2 である。表-4 は全事業場データの解析結果で、(10) 式に示す予測方程式が得られる。なお、式中の説明変数は寄与率の順（以下同じ）となっている。

$$(\hat{D/T}) = 2.98 (D/T)_4 - 0.323 (D/T)_7 - 4.30 (D/T)_6$$

表-2 悪臭成分の検知閾値

(D/T) <i>l</i>	悪 臭 成 分 名	検 知 閾 値
<i>l</i> = 1	アンモニア	0.88 ppm
2	トリメチルアミン	0.11 ppb
3	硫化水素	0.65 ppb
4	メチルメルカプタン	0.18 ppb
5	硫化メチル	0.13 ppb
6	二硫化メチル	0.24 ppb
7	アセトアルデヒド	2.1 ppb
8	iso-酪酸	6.7 ppb
9	iso-吉草酸	0.86 ppb

表-3 閾希釈倍数および悪臭成分間の相関行列

A Swinery

	(D/T) ₁	(D/T) ₂	(D/T) ₃	(D/T) ₄	(D/T) ₅	(D/T) ₆	(D/T) ₇	(D/T) ₈	(D/T) ₉
(D/T) _{obs}	-0.5273	-0.0247	0.9949	0.8933	0.9891	0.8723	0.9586	0.1360	-0.0415
(D/T) ₁		-0.1836	-0.5375	-0.3097	-0.5647	-0.2430	-0.3760	0.3161	0.3747
(D/T) ₂			-0.0117	-0.0019	-0.0147	0.0251	0.0011	0.2404	0.3426
(D/T) ₃				0.8786	0.9970	0.8388	0.9392	0.0758	-0.0951
(D/T) ₄					0.8788	0.9453	0.9646	0.4736	0.3292
(D/T) ₅						0.8169	0.9263	0.0474	-0.1160
(D/T) ₆							0.9737	0.5912	0.4243
(D/T) ₇								0.4046	0.2307
(D/T) ₈									0.9748

B Rendering

	(D/T) ₁	(D/T) ₂	(D/T) ₃	(D/T) ₄	(D/T) ₅	(D/T) ₆	(D/T) ₇	(D/T) ₈	(D/T) ₉
(D/T) _{obs}	0.5660	0.7933	0.7746	0.7641	0.6013	0.4059	0.9151	0.2752	0.0494
(D/T) ₁		0.5885	0.5449	0.6291	0.6136	0.5799	0.3478	-0.0021	-0.0168
(D/T) ₂			0.6143	0.5365	0.5111	0.4296	0.5267	0.5622	0.3640
(D/T) ₃				0.9666	0.9369	0.8361	0.7582	0.3845	0.4058
(D/T) ₄					0.9570	0.8565	0.7431	0.2175	0.2564
(D/T) ₅						0.9678	0.5379	0.3283	0.4475
(D/T) ₆							0.3110	0.3352	0.5273
(D/T) ₇								0.1546	-0.0370
(D/T) ₈									0.9170

C Rendering

	(D/T) ₁	(D/T) ₂	(D/T) ₃	(D/T) ₄	(D/T) ₅	(D/T) ₆	(D/T) ₇	(D/T) ₈	(D/T) ₉
(D/T) _{obs}	-0.3135	0.4378	0.2118	0.1545	0.3576	0.2294	0.7077	0.7658	0.4381
(D/T) ₁		0.0041	-0.0049	-0.0114	-0.1609	-0.0682	-0.2911	-0.3841	-0.0731
(D/T) ₂			0.8070	0.7120	0.2247	0.6790	-0.0641	0.7429	0.9035
(D/T) ₃				0.9882	0.4119	0.9413	-0.1193	0.6521	0.8252
(D/T) ₄					0.4381	0.9605	-0.1214	0.5987	0.7506
(D/T) ₅						0.4556	0.6861	0.3948	0.2111
(D/T) ₆							-0.0923	0.6813	0.6822
(D/T) ₇								0.3120	-0.0399
(D/T) ₈									0.7798

$$-0.551 (D/T)_3 - 22.6 (D/T)_9 - 39.5 (D/T)_1$$

$$+ 9.67 (D/T)_5 + 161.1 (D/T)_8 + 378 \cdots \cdots (10)$$

説明比率は0.5以下で、標準誤差も約1000と大きく、予測方程式として十分とは言えないが、酪酸、NH₃および吉草酸の濃度変化が D/T に大きく影響することが認められる。なお、負の回帰係数はその成分濃度の増大が D/T の予測値を減少させることになる。しかし、同一業種や類似する事業場臭気では、共存する他成分の濃度が変化せずに負の係数をもつ成分の濃度のみが大きく変動することはないと考える。すなわち、回帰係数は成分間の相対的な因果関係を示すもので、個々の成分の正負から寄与を論じることは適切でないと言える。

表-5は、同一業種の化製場 B、C のデータ解析の結果で予測方程式は(11)式のようになる。

$$\begin{aligned} \hat{(D/T)} = & 0.24 (D/T)_4 + 5.24 (D/T)_7 - 27.8 (D/T)_9 \\ & + 0.86 (D/T)_2 + 241.3 (D/T)_8 - 0.48 (D/T)_3 \end{aligned}$$

$$+ 2.74 (D/T)_5 + 0.67 (D/T)_1 - 169 \cdots \cdots (11)$$

全事業場一括の場合に比べ標準誤差 (74) はかなり小さく、説明比率 (0.988) も増大する。また脂肪酸類が D/T に大きく影響しているが、NH₃や MM での寄与傾向に明らかな相異が認められる。すなわち、養豚と化製では臭気の組成が異なり、同じ成分であっても臭気感覚に対する寄与の仕方が大きく異なる。

次に、各事業場の結果を規制7成分と脂肪酸類を加えた9成分の場合に分けると、表-6・1から表-8・2の通りとなる。A 養豚では、D/T に対する H₂S の寄与率が非常に大きく、D/T 推定における重要因子であることが認められる。一方、脂肪酸類の影響はほとんど認められず、(12)式で推定可能となる。また、アルデヒドと DMDS の影響が対称的であることが特徴といえる。

$$\begin{aligned} \hat{(D/T)} = & -8.39 (D/T)_3 + 86.3 (D/T)_7 - 80.2 (D/T)_6 \\ & - 6.14 (D/T)_4 + 0.027 (D/T)_2 + 29.3 \cdots \cdots (12) \end{aligned}$$

表-4 全事業場についての解析結果 (9成分の場合)

Step No.	アンモニア	硫化水素	メチルメルカプタン	硫化メチル	二硫化メチル	アセトアルデヒド	酪酸	吉草酸	Const.	説明率	標準誤差
	(D/T) ₁	(D/T) ₃	(D/T) ₄	(D/T) ₅	(D/T) ₆	(D/T) ₇	(D/T) ₈	(D/T) ₉	a ₀	R ²	SE
1			2.592						239	0.2436	1097
2			2.442			0.980			148	0.3162	1057
3			4.092		-3.122	0.930			152	0.3685	1031
4		-1.690	6.165		-4.334	0.831			197	0.4071	1013
5	-40.44	-1.622	6.115		-4.281	0.776			510	0.4295	1009
7	-38.76	-1.636	5.290	8.327	-6.837	-0.038	33.90		424	0.4520	1020
8	-39.51	-0.551	2.984	9.667	-4.295	-0.323	161.1	-22.62	378	0.4777	1012
寄与率	0.0225	0.0386	0.2436	0.0130	0.0523	0.0726	0.0095	0.0257			
寄与順位	6	4	1	7	3	2	8	5			

表-5 B・C 化製場の解析結果 (9成分の場合)

Step No.	アンモニア	トリメチルアミン	硫化水素	メチルメルカプタン	硫化メチル	アセトアルデヒド	酪酸	吉草酸	Const.	説明率	標準誤差
	(D/T) ₁	(D/T) ₂	(D/T) ₃	(D/T) ₄	(D/T) ₅	(D/T) ₇	(D/T) ₈	(D/T) ₉	a ₀	R ²	SE
1				0.684					212	0.3547	464
2				0.665		25.85			120	0.6370	354
3		0.520		0.349		26.64			49	0.7158	320
4		0.581	-0.434	0.579		25.93			65	0.7480	307
5		0.385	-0.457	0.964	-2.182	32.67			100	0.7710	299
6		0.175	-0.547	1.190	-3.291	34.46	40.91		63	0.8033	284
7		0.873	-0.474	0.216	2.853	4.781	239.0	-27.84	-136	0.9866	76
8	0.670	0.855	-0.484	0.237	2.237	5.237	241.3	-27.80	-169	0.9877	74
寄与率	0.0011	0.0785	0.0322	0.3547	0.0230	0.2826	0.0323	0.1834			
寄与順位	8	4	6	1	7	2	5	3			

B 化製は、(13)式の通りで、規制7成分では定数項も小さく、アルデヒド、TMA、MM、NH₃およびH₂Sの5成分のみでほぼ回帰できる。一方、脂肪酸を加えるとH₂SやTMAを除いた(14)式で予測できる。説明比率、標準誤差とも前式(13)より良くなり、特に酪酸がD/Tに大きく影響していることが認められる。

$$\begin{aligned} (\widehat{D/T}) &= 2.89 (D/T)_7 + 1.31 (D/T)_2 + 1.10 (D/T)_4 \\ &\quad + 6.25 (D/T)_1 - 2.43 (D/T)_3 - 4.4 \cdots (13) \\ (\widehat{D/T}) &= 1.04 (D/T)_7 + 0.756 (D/T)_2 + 124.2 (D/T)_8 \\ &\quad - 14.54 (D/T)_9 + 1.04 (D/T)_4 - 54.9 \cdots (14) \end{aligned}$$

C 化製の規制7成分では(15)式が得られ、アルデヒド、NH₃、DMS、DMDS および MM の5成分で回帰できる。脂肪酸を加えた場合では(16)あるいは(16')式となり、B 化製と同様に、酪酸が大きく影響する。

$$\begin{aligned} (\widehat{D/T}) &= 1.24 (D/T)_7 + 0.64 (D/T)_2 \\ &\quad - 6.49 (D/T)_5 + 8.06 (D/T)_6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &-1.36 (D/T)_4 - 46.0 \cdots (15) \\ (\widehat{D/T}) &= 20.23 (D/T)_8 + 1.19 (D/T)_7 \\ &\quad - 6.21 (D/T)_5 + 0.58 (D/T)_2 \\ &\quad + 7.19 (D/T)_6 - 1.21 (D/T)_4 + 30.7 \cdots (16) \\ (\widehat{D/T}) &= -35.30 (D/T)_8 + 1.26 (D/T)_7 - 6.38 (D/T)_5 \\ &\quad + 0.48 (D/T)_2 + 10.43 (D/T)_6 - 2.11 (D/T)_4 \\ &\quad + 8.55 (D/T)_9 + 47.6 \cdots (16') \end{aligned}$$

また、表-8・2から明らかなように、酪酸の回帰係数は説明変数の追加で大きく変動し、相対的な寄与の仕方が大きく変化することになる。

以上の検討から A 養豚臭気感覚量は現行規制成分でほぼ説明されるが、B、C の化製臭気では規制対象外の酪酸や吉草酸などが臭気感覚に大きく寄与し、現行法による規制効果は極めて不十分であると言える。

また、規制対象成分が、すべて検知閾値(臭気強度 I = 1)に相当する場合の D/T 値を(12)、(13)および(15)式から

表－6・1 A養豚の解析結果 (7成分の場合)

Step No.	アンモニア	トリメチルアミン	硫化水素	メチルメルカプタン	二硫化メチル	アセトアルデヒド	Const.	説明率	標準誤差
	(D/T) ₁	(D/T) ₂	(D/T) ₃	(D/T) ₄	(D/T) ₅	(D/T) ₆	a ₀	R ²	SE
1			15.98				-33	0.9899	244
・			・			・	・	・	・
・			・	・	・	・	・	・	・
5		0.027	-8.39	-6.14	-80.16	86.28	29	0.9998	46
6	-5.950	0.022	-7.85	-5.99	-77.50	83.90	69	0.9998 ₄	51
寄与率	0.0000 ₂	0.0001	0.9899	0.0014	0.0035	0.0049			
寄与順位	6	5	1	4	3	2			

表－6・2 A養豚の解析結果 (9成分の場合)

Step No.	トリメチル アミン	硫化水素	メチルメル カプタン	二硫化 メチル	アセトアル デヒド	酪 酸	吉 草 酸	Const.	説 明 率	標準誤差
	(D/T) ₂	(D/T) ₃	(D/T) ₄	(D/T) ₆	(D/T) ₇	(D/T) ₈	(D/T) ₉	a ₀	R ²	SE
1	0.027 0.083 0.079	15.98						-33	0.9899	244
2		12.90			4.698			-80	0.9948	186
3		12.36	-1.850		8.702			-51	0.9962	172
4		-6.744	-5.811	-73.73	80.10			34	0.9997	52
5		-8.385	-6.143	-80.16	86.28			29	0.9998	46
6		-10.80	-5.359	-76.66	86.74		-7.141	59	0.9999	47
7		-11.09	-5.448	-75.85	87.12	-17.76	-3.903	66	0.9999	57
寄 与 率	0.0001	0.9899	0.0014	0.0035	0.0049	0.0000 ₆	0.0000 ₄			
寄与順位	5	1	4	3	2	7	6			

各事業場について求めると、A養豚20、B化製5、C化製48が得られ、その時の感覚量を(2)～(7)式から予測すると、A養豚でI=3.4、U=2.3、B化製でI=0.5、U=0、C化製でI=2.6、U=1.6となる。現行法では単一成分ごとに臭気強度2.5(または3.5)相当濃度を基準としているが、現実の複合臭気に起因する被害感を過小に評

価していることになる。

また、現在、各種の全イオウ連続測定装置や全炭化水素分析器などが開発されており、このような総合指標値を説明変数とすることも考えられる。特に、今回のように変数間相互の内部相関の強いS系成分では、「TOTAL-S」の様な新変数の採用により、予測精度の向

表－7・1 B化製の解析結果 (7成分の場合)

Step No.	アンモニア	トリメチルアミン	硫化水素	メチルメルカプタン	二硫化メチル	アセトアルデヒド	Const.	説明率	標準誤差
	(D/T) ₁	(D/T) ₂	(D/T) ₃	(D/T) ₄	(D/T) ₅	(D/T) ₆	a ₀	R ²	SE
1						3.813	138	0.8375	264
2		1.171				2.867	-37	0.9716	115
・		・		・		・	・	・	・
・	・	・		・		・	・	・	・
5	6.248	1.314	-2.427	1.104		2.886	-4	0.9909	77
6	-13.34	1.472	-0.763	2.988	-2.256	0.009	39	0.9950	61
寄与率	0.0082	0.1342	0.0028	0.0083	0.0042	0.8375			
寄与順位	4	2	6	3	5	1			

表-7・2 B化製の解析結果 (9成分の場合)

Step No.	アンモニア (D/T) ₁	トリメチル アミン (D/T) ₂	硫化水素 (D/T) ₃	メチルメル カブタン (D/T) ₄	アセトアル デヒド (D/T) ₇	酪 酸 (D/T) ₈	吉 草 酸 (D/T) ₉	Const. a ₀	説 明 率 R ²	標準誤差 SE
1					3.813			138	0.8375	264
2		1.171			2.867			-37	0.9716	115
3		1.319			2.731		-1.657	-27	0.9801	101
4		1.299		0.250	2.379		-2.149	-26	0.9851	92
5		0.756		1.037	1.038	124.2	-14.54	-55	0.9973	42
6		0.552	1.261	0.825	0.384	164.4	-19.50	-91	0.9979	40
7	-5.903	0.570	1.279	0.878	0.288	167.7	-20.00	-64	0.9980	42
寄 与 率	0.0001	0.1342	0.0006	0.0051	0.8375	0.0122	0.0084			
寄与順位	7	2	6	5	1	3	4			

表-8・1 C化製の解析結果 (7成分の場合)

Step No.	アンモニア (D/T) ₁	トリメチル アミン (D/T) ₂	硫化水素 (D/T) ₃	メチルメル カブタン (D/T) ₄	硫化 メチル (D/T) ₅	二硫化 メチル (D/T) ₆	アセトアル デヒド (D/T) ₇	Const. a ₀	説 明 率 R ²	標準誤差 SE
1							0.641	177	0.5009	351
2		0.675					0.669	38	0.7354	266
・		・			・		・	・	・	・
5		0.635		-1.360	-6.490	8.060	1.240	46	0.9945	44
・		・	・	・	・	・	・	・	・	・
7	1.910	0.379	1.050	-3.130	-6.600	8.820	1.260	19	0.9954	46
寄 与 率	0.0004	0.2345	0.0050	0.0251	0.1461	0.0879	0.5009			
寄与順位	7	2	6	5	3	4	1			

表-8・2 C化製の解析結果 (9成分の場合)

Step No.	アンモニア (D/T) ₁	トリメチル アミン (D/T) ₂	メチルメル カブタン (D/T) ₄	硫化 メチル (D/T) ₅	二硫化 メチル (D/T) ₆	アセトアル デヒド (D/T) ₇	酪 酸 (D/T) ₈	吉 草 酸 (D/T) ₉	Const. a ₀	説 明 率 R ²	標準誤差 SE
1							192.4		-62	0.5864	320
2						0.471	151.7		-78	0.8299	213
3				-3.514		0.742	175.9		-65	0.9440	128
・		・		・		・	・		・	・	・
5		0.360		-5.932	2.720	1.114	67.70		11	0.9809	83
・		・	・	・	・	・	・		・	・	・
8	1.014	0.475	-2.031	-6.328	10.10	1.250	-27.00	7.986	31	0.9986	27
寄 与 率	0.0001	0.0189	0.0143	0.1141	0.0180	0.2435	0.5860	0.0033			
寄与順位	8	4	6	3	5	2	1	7			

上が図れるものと考え、S系モニター装置を用いた実験的検討を進めている。

今後、さらに例数の増加による感覚量への影響成分の選定と、物質濃度または指標成分の連続測定から、感覚量の連続モニターへの発展が可能と考えられる。

6. 結 論

現行の悪臭防止法では苦情事業場の約8割が規制対象外となり、現実の被害感覚に基づく規制方法の確立が強く望まれ、東京都などでは感覚的規制が条例化された。

その結果、規制範囲の拡大など実際の効果を上げている。

しかし、現実の複合臭気の特性に対する検討例は少なく、規制値も用途地域別に一律の臭気濃度(閾希釈倍数)基準が採用されており、業種あるいは発生臭気的感覺特性を考慮した規制方式への改善が望まれている。

そこで、複合臭気的感覺的規制における基礎的知見を得るために、共存成分の相互作用ならびに、業種による感覺特性の相違について若干の検討を行った。すなわち重回帰法を用いて閾希釈倍数 D/T の予測を試みると共に構成成分との因果関係、相対的な影響度合を検討した。その結果を要約すると次の通りである。

- ① D/T 値と臭気感覚の関係には養豚場と化製場で明らかな相違が認められた。養豚場では、バックグラウンド自体にかなりの臭気が知覚され、希釈による臭気感覚の変化は化製場に比べて小さい。
- ② 養豚場臭気は現行の規制成分で D/T 値の予測が可能であるが、化製場臭気は脂肪酸類が D/T 値に大きく寄与しており、現行の規制成分のみでは、現実の被害感覚を的確に捉え難い。
- ③ 臭気感覚に影響する物質は、必ずしも高濃度で存在する成分とは限らず、微量に含まれる成分が大きく寄与することがある。
- ④ 各事業場とも主要な 5～6 成分で説明比率 99% 以上、標準誤差 50 以下の D/T 予測方程式を得ることができる。

以上のような、発生臭気的感覺特性による的確な類型化に基づいた規制基準を設定するならば、被害実態に即した現実的解決が可能になるものと考ええる。

(なお、本研究における重回帰分析の計算には、京大大型計算機センターの FACOM M-200 システムを使用し、研究の一部は、昭和 55、56 年度文部省科学研究費(試験研究 1 および奨励研究 A)により実施したものである。)

稿を終えるにあたり、御校閲を賜りました滋賀医科大学保健管理学教室佐々木武史教授、ならびに本研究に対して御協力下さいました京都大学衛生工学教室西田研究室員各位に感謝いたします。

文 献

- 1) 石黒辰吉：悪臭防止法の規制体系の見直しを、環境技術, **9**, 499-500 (1980)。
- 2) 西田耕之助：悪臭対策の現状と問題点, 環境技術, **4**, 50 (1975)。
- 3) 西田耕之助, 本多常夫：悪臭の評価と規制(I), 悪臭の研究, **8** (36), 17-30 (1979)。
- 4) 西田耕之助：悪臭の測定法と評価, 環境技術, **9**, 535-547 (1980)。
- 5) 風間正光：悪臭評価法と規制動向, 環境技術, **9**, 528-534 (1980)。
- 6) Nishida, K., Yamakawa, M. and Honda T.: Experimental Investigations on the Combined Actions of Components Mixed in Odorous Gas, Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyoto University, Vol. XL II, part 4, 552-565 (1979)。
- 7) 山川正信, 奥田毅, 本多常夫, 西田耕之助：事業場臭気的感覺的評価に関する研究, 環境衛生工学研究会論文集, **1**, 73-87 (1979)。
- 8) 山川正信, 西田耕之助, 本多常夫, 吉田輝久, 畔津義彦, 吉田徹：湿式スクリーン方式による低濃度硫化水素の除去に関する研究, 大気汚染学会誌, **14**, 91-97 (1979)。
- 9) 西田耕之助, 山川正信：化製場の悪臭物質濃度と感覺量の関係について, 京都大学環境衛生工学研究会第 2 回シンポジウム講演論文集, 96-100 (1980)。
- 10) 環境庁大気保全局特殊公害課編：悪臭防止技術マニュアル (I), p.44, 公害対策技術同友会, 東京 (1978)。
- 11) 日本環境衛生センター：悪臭物質の測定等に関する研究(昭和 54 年度環境庁委託研究報告書) p.112 (1980)。
- 12) 東京都公害局：三点比較式臭袋による規制関係実務の手引き, 官公庁公害専門資料, **13** (2), 30 (1978)。
- 13) 西田耕之助, 山川正信, 甲田憲司, 本多常夫：臭気的感覺的測定に関する研究(4), 環境技術, **6**, 284-290 (1977)。
- 14) 三宅一郎, 中野嘉弘, 水野欽司, 山本嘉一郎：SPSS 統計パッケージ (II) 解析編, p.13-33, 東洋経済新報社 (1979)。

(受付 1981 年 9 月 17 日)