

臭気調査の一例——強度分布の決定とその考察（第2報）

佐野 悞*・鶴泉 彰恵*・太田 洋*・大矢 公彦*

Studies of Malodors——Organoleptic Determination of the Odor Intensity Distribution around a Kraft Pulp Mill (II)

Isamu SANO, Akie TSURUIZUMI, Hirosi OHTA,
Kimihiko OHYA

種々の公害の中、臭気は、現在のところ、その対策がほとんど成果を上げていない有様にある。筆者らは春日井市の依頼により数年来王子製紙（株）春日井工場周辺の臭気の分布状況を調査しているが、今回も昭和48年3月に嗅覚感能法により調査したのでその結果を報告することにした。

調査の結果は臭気の分布状況が気象要素（風向、風速、晴曇など）によって影響されることを示しているが、これに関し、気象学的に考察して臭気が距離の2乗に逆比例して稀釈されることを確かめることができた。

前置き

前回（昭和47年3月25日）に引きつづき今年（昭48）3月15日および26日の両日王子製紙（株）春日井工場周辺の臭気の強度分布を調査したので以下にその結果を報告する。

調査方法^{*1}

調査方法は、前回と同様、パネルメンバー嗅覚感能法である。これと並行に検知管法による濃度の測定をメルカプタンや硫化水素について試みたが、濃度が低過ぎたため成果をあげることができなかった。

表1 臭気強度のスケール（5点法）

臭気強度	知 覚 状 況
0	無 臭
0.5	僅かに（有りや無しや？）
1	僅かに（においの質の判定可能）
2	弱 く（ただし確認）
3	中程度
4	強 く

表1は臭気強度のスケール（5点法）で、前回と同様、このスケールに従って強度を判定した。また、メン

環境工学研究所

バーは表2（a, b）の通り両日共9人ずつであるが、全メンバー必ずしも同一人ではない。表中、A₁, B₂, I₆などの如くメンバーの記号A, B, Iにつけてあるサフィックス 1, 2, 6はそれぞれ年齢が10代, 20代, 60代であることを示し、記号の肩の°は女性であることを表わしている。なお、メンバーはすべて日常生活上嗅覚正常の者である。

調査結果とその考察

表3（a, b）に調査時の気象状況が掲げている。表によると、15日午前中は風速が3m/s前後で一定し、風向は北東ないし北々東から11時頃を境目とし北ないし北西に変っているが、午後は風向も風速もほとんど定まっていた（風向：北西～西、風速：6～7m/s）。なお、両日も晴れで、雲量4～5程度であった。

調査結果は表2（a, b）に示した如くである。地点の記号は前回と同じであるが、これらの他に今回はさらに多くの地点が加わっている。調査結果を図示すると図2（a, b）が得られる。

図中の破線は臭気の等強度線で、大体のところが示してあるが、図2(a)は15日（午後）の分、図2（b）は26日（午前・午後）の分である。15日午前の分については、風が一定せず、北東から北西へ廻っているので臭気もまず最初の間工場の風下（南側）で感じられ（地点◎でほとんど感じられず、⊙で明らかに感じられている）、

*1詳細については前報（愛知工業大学研究報告, No.8, 昭48.3）を参照のこと。

表2(a) 臭気強度の調査結果

昭和48年3月15日

時刻 地点 メンバー	10:25					11:00					13:10					14:00							
	ニ	ハ	ヘ	ヘ'	ト	15	13	14	ニ	ホ	17	20	21	22	23	24	25	ロ	イ	16	チ	12	18
A ₁ [°]	0	0.5	1	3	0	0	0	0.5	0	4	2	1	0	3	4	4	0	0	0.5	0.5	3	1	0
B ₂	0.5	2	3.5	3	0	0	0.5	1	0.5	3	1	2	1	3	3.5	3.5	1	0	1	2	2.5	2	0.5
C ₂	0	2	3.5	3	0	0	0	1	0.5	2	1	2	0.5	3	3.5	3	0.5	0	0	1.5	2	1	0
D ₂	0	2	3	3	0	0	0.5	1	0	3	1	1	0.5	2.5	3	3	0.5	0	0.5	0.5	2	1	0.5
E ₂	0.5	2	3	3	0.5	0	0	0.5	0.5	2	1	2	0.5	2	2	3	0.5	0.5	0.5	1.5	2	1	0.5
F ₄ [°]	0	1	4	4	0	0	0	0.5	0	3	1	3	2	3	4	4	0	0	0	2	3	1	0
G ₅	0	2	3	3	0.5	0	0	0	0.5	3	2	3.5	0.5	4	4	4	0.5	0	0	2	2.5	1.5	0
H ₅	0.5	2	1	1	0	0	0.5	1	0.5	2	1	2	0.5	3	3	4	0.5	0	0	1	2.5	0.5	0
I ₆	0.5	2	3	2	1	0.5	0.5	0.5	0.5	2	1	2	3	3	3	4	0.5	0	0.5	2	2	0.5	0
平均	0.22	1.7	2.8	2.8	0.22	0.06	0.22	0.66	0.33	2.7	1.2	2.1	0.94	2.9	3.3	3.6	0.44	0.06	0.33	1.4	2.2	1.1	0.17

表2(b) 臭気強度の調査結果

昭和48年3月26日

時刻 地点 メンバー	10:17					11:10					13:40					14:00						
	ニ	ハ	ヘ	ヘ'	ト	ワ	カ	ヨ	13	11	14	ホ	25	12	チ	17	20	21	Y	イ	Z	24
A ₁ [°]	3	0	1	4	3	0	2.5	2	0	0	3	3	4	0	0	0	0.5	0	4	2.5	2	2.5
B ₂	3	0	0.5	3.5	3	1	1	4	0	0	2.5	2	4	0	0.5	0	0.5	0.5	4	4	4	4
C ₂	3.5	0.5	0.5	3.5	2	1.5	2	4	0	0	2.5	3	4	0	0	0.5	0.5	0.5	4	3.5	4	4
D ₂	3	0	0.5	3.5	0.5	1	2	3	0	0	3	3	3.5	0	0	0	0	5.0	3.5	3	3	3
E ₂	2	0	0	2	1	1	0.5	2	0	0	2	2.5	3.5	0	0	0	0	3.5	2	3	2.5	2.5
F ₃	3	0.5	0.5	1	2	1	0.5	3	0	0.5	3	2.5	4	0	0	0	0.5	0.5	4	3.5	4	2
G ₄ [°]	3	0	0.5	4	3	0	3	4	0	0	3	3	4	0	0	0	1	0	4	3	3	3
H ₅	3	0	0.5	3.5	3.5	0.5	2.5	3.5	0	0.5	3	3.5	4	0	0	0	0.5	0.5	4	0.5	2	1
I ₆	2	1	2	3	3	1	2	3	0	0	1	2	3	0	0	1	1	1.5	3	2	1	2
平均	2.8	0.22	0.67	3.1	2.3	0.78	1.8	3.2	0.0	0.11	2.6	2.7	3.8	0.0	0.06	0.17	0.56	0.44	3.8	2.7	2.9	2.7

その後次第に東南の地点①, ③, ⑭, ⑮へ流れている (風向をはずれた地点⑮では実際上臭気が感じられていない) などの如くパターンが変化するために等強度線を引くことができなかった。26日の等強度線は図2(b)の通りであるが、臭気が工場敷地境界線から風下250~300m程度の地点⑮や⑯の辺でピークに達していること、強度1

の線が容易に閉じず、風下に向い狭い巾で遠くまで及んでいることなどが認められる。地点⑯で強度が意外に高く、2.9であるが、これは恐らくこの頃北~北々東の風が吹いていたためであろう(表3(b), 図1(b))。

検知管法による結果は表4の通りである。26日午前工場敷地境界線上の地点⑯でメチルメルカプタン濃度が

表3 (a) 気象状況 48.3.15

時刻	風向	風速 (m/s)	気温 (°C)	湿度 (%)
10:00	北々西	3.0	11	42
10	北東	3.0	11	41
20	東北東	3.0	11	41
25	北東	3.0	11	41
30	北々東	3.0	12	40
35	北東	4.0	12	40
40	北々東	3.0	12	40
50	北	2.5	13	39
55	北々西	3.0	13	39
11:00	〃	2.5	13	38
10	北	2.5	14	38
20	北々西	3.5	14	38
25	北	1.5	14	37
30	北東	2.5	14	39
35	北	3.0	14	36
40	北西	3.5	14	35
45	西北西	2.5	14	35
50	北西	2.0	14	35
12:40	北	3.0	15	31
50	北西	2.5	15	30
13:00	西北西	2.0	15	30
10	西	3.0	16	30
15	西北西	2.0	16	30
20	北西	3.0	16	30
25	北	3.5	15	30
30	北西	2.5	15	30
35	西	2.0	16	30
40	北々西	2.5	15	30
50	西	3.0	16	30
55	北西	4.0	16	30
14:00	〃	3.5	16	30
05	〃	3.0	16	30
10	西北西	3.5	16	29

20	北西	3.0	16	29
30	北々東	2.5	15	30

表3 (b) 気象状況 48.3.26

時刻	風向	風速 (m/s)	気温 (°C)	湿度 (%)
9:50	北々西	7.0	12	52
55	〃	6.0	12	52
10:00	北	6.5	12	51
05	北々西	6.0	12	51
10	北	5.5	12	51
15	北々西	4.5	12	51
20	〃	4.5	12	51
25	北西	6.0	12	50
30	北々西	7.0	12	50
35	北西	6.5	12	50
40	北々西	7.0	12	49
45	北西	6.0	13	48
50	北々西	6.0	13	47
55	北西	6.0	13	46
11:00	北	6.0	13	45
05	北々西	7.0	13	44
10	北	7.5	13	43
15	北々西	7.0	13	43
20	北	7.0	13	42
25	北々西	7.0	13	41
30	北	6.5	13	40
13:10	北西	7.5	14	36
15	北々西	7.0	14	36
20	北	8.0	13	36
25	北々西	7.0	13.5	36
30	北	5.0	13.5	36
35	北々西	3.0	14	36
40	北	7.5	13	36
45	〃	6.5	13	36
50	〃	7.5	13	36
55	北々西	7.0	14	36

14:00	北	〃	13	35
05	北々西	6.5	13	34
10	北	7.0	13	34
15	北々西	7.5	14	34
20	北	8.0	14	35
25	〃	6.0	14	35
30	北々東	7.0	13	36
35	〃	6.0	13	36
40	北	7.0	13	39

表5 強度と濃度—悪臭防止法施行令

物質	強度	2.5	3.0	3.5
	(ppm)	0.002	0.004	0.01
メチルメルカプタン				
硫化水素		0.02	0.06	0.2

表6 臭気強度のスケール (6点法)

臭気強度	知覚状況
0	無臭
1	やっと感知できるにおい
2	何のにおいかわかる弱いにおい
3	容易に感知できるにおい
4	強いにおい
5	強烈なにおい

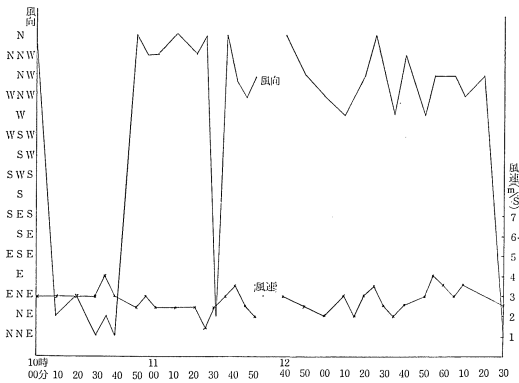


図1(a) 風向・風速 (3.15)

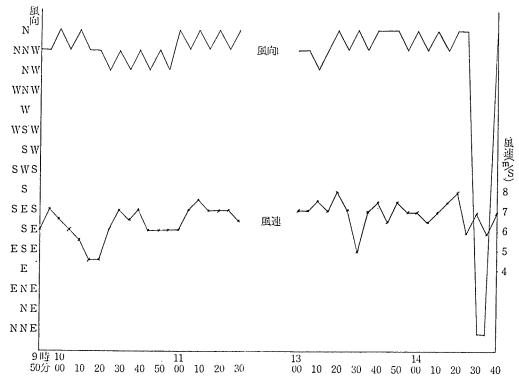


図1(b) 風向・風速 (3.26)

表4 臭気濃度の測定結果

日	時	地点	臭気	濃度 (ppm)
15日	10:36~56	㊦	メチルメルカプタン	0.1以下
	13:12~33	㊦	硫化水素	0.05以下
26日	10:34~56	㊦	メチルメルカプタン	0.1~0.2
	14:01~29	㊦	硫化水素	0.05以下

0.1~0.2ppm と測定されているが、他の場合には濃度の限界値を決定し得たに過ぎなかった。悪臭防止法施行令(昭和47年6月1日)によると、例えばメチルメルカプタンおよび硫化水素については表5の如く関係づけられている。

ただし、この場合、強度の表わし方は6点スケール法で、表6の通りになっている。表1と表6をくらべると、前者の0.5, 1, 2, 3, 4がそれぞれ後者の1, 2, 3, 4, 5に対応するかの如くに思われる。従ってメチルメルカプタンの0.1~0.2ppmは6点スケール法の強度5*2

(5点スケール法, 4)程度に該当し、硫化水素の0.05ppmは6点スケール法の3(5点スケール法, 2)前後に匹敵するらしく考えられるが、立ち入ったことは、目下のところ、明らかでない。

風下距離と臭気強度の関係 *3

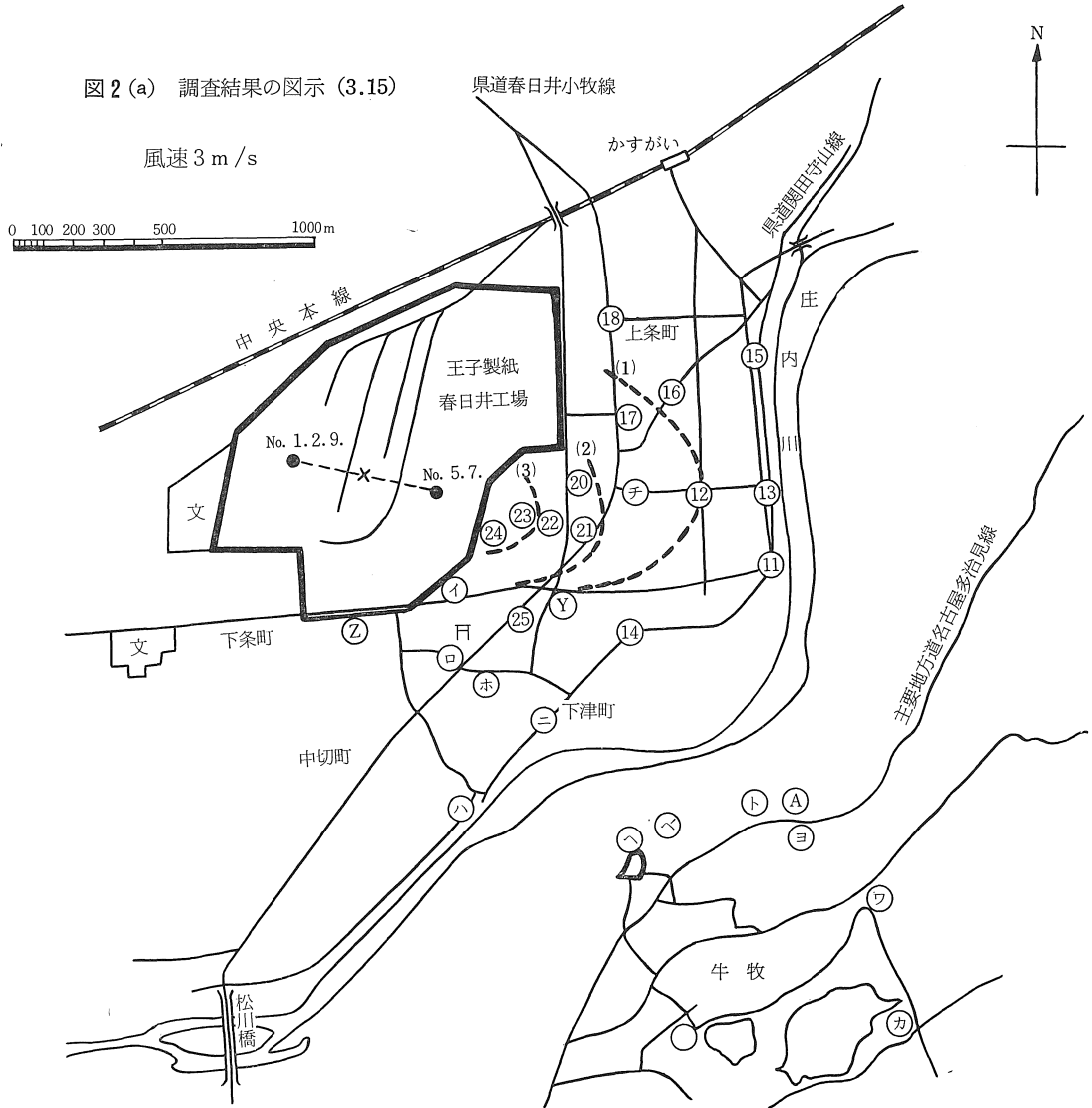
表7および図3(a)は3月15日午後の結果に基づいて距離と強度の関係を検討した資料で、図から両者の間に、前回と同様、直線性

$$I = -nk \ln D + K \quad (1)$$

I: 強度, D: 距離, n, k, K: 定数の存在することが見られる。No. 1, 2, 9およびNo.5, 7ボイラーは、風向が北西~西の場合、ほとんど一直線上に位置することになるが、一方、両者間の距離は500

*2 Weber-Fechner の法則による推定値

*3 詳細については前報参照のこと。



m に達しているので前者の影響を無視すると直線(1)が得られる(勾配, -4.6)。しかし、これを考慮しNo.1,2,9ボイラーとNo.5,7ボイラーの midpointからの距離に着目すると、直線(1)の代わりに、直線(2)が得られる(勾配, -7.7)。これらの直線の勾配は $-2.3 \times nk$ を意味するが、これは風下距離 D の臭気濃度 C が次式

$$C = \frac{r}{D^n V^r} \quad (2)$$

r, r : 定数 V : 風速

によって表わされ、さらに臭気物質や影響地域などが一定の場合には風速に関係のない量である。事実、前回(風速 $1.5m/s$)の図2の直線でも今回(風速 $3m/s$)の図3(a)の直線(1)でも勾配は両者共に -4.6 前後になっている。

これらの場合には風速が小さいので臭気が煙突から排出されてもその付近に沈降、停滞し易く、従って建屋からの漏洩分と一緒に拡散する可能性が高い。大気拡散に関する Sutton の式や Bosanquet-Pearson の式などによると発生源が地表面にある場合には汚染物の風下の濃度は距離の n 乗および風速の 1 乗に逆比例して減少する*4。

26日の如く風速が大きい場合 ($6 \sim 7m/s$)には事情が複雑である。建屋漏洩の臭気は、恐らく15日の場合と同様に(1)式に従い、強度が落ちて行くであろうが、一方、煙突排出の臭気は風に乘って直ちに風下に流れ、風下の一点で最高着地濃度、従って最高臭気強度を与えるであろう。表2(b)はこれら両者の合算濃度に対応する臭気強度の調査結果に他ならず、図2(b)の通りピークが

*4 Sutton, $2 > n > 1.5$; Bosanquet-Pearson, $n=2$

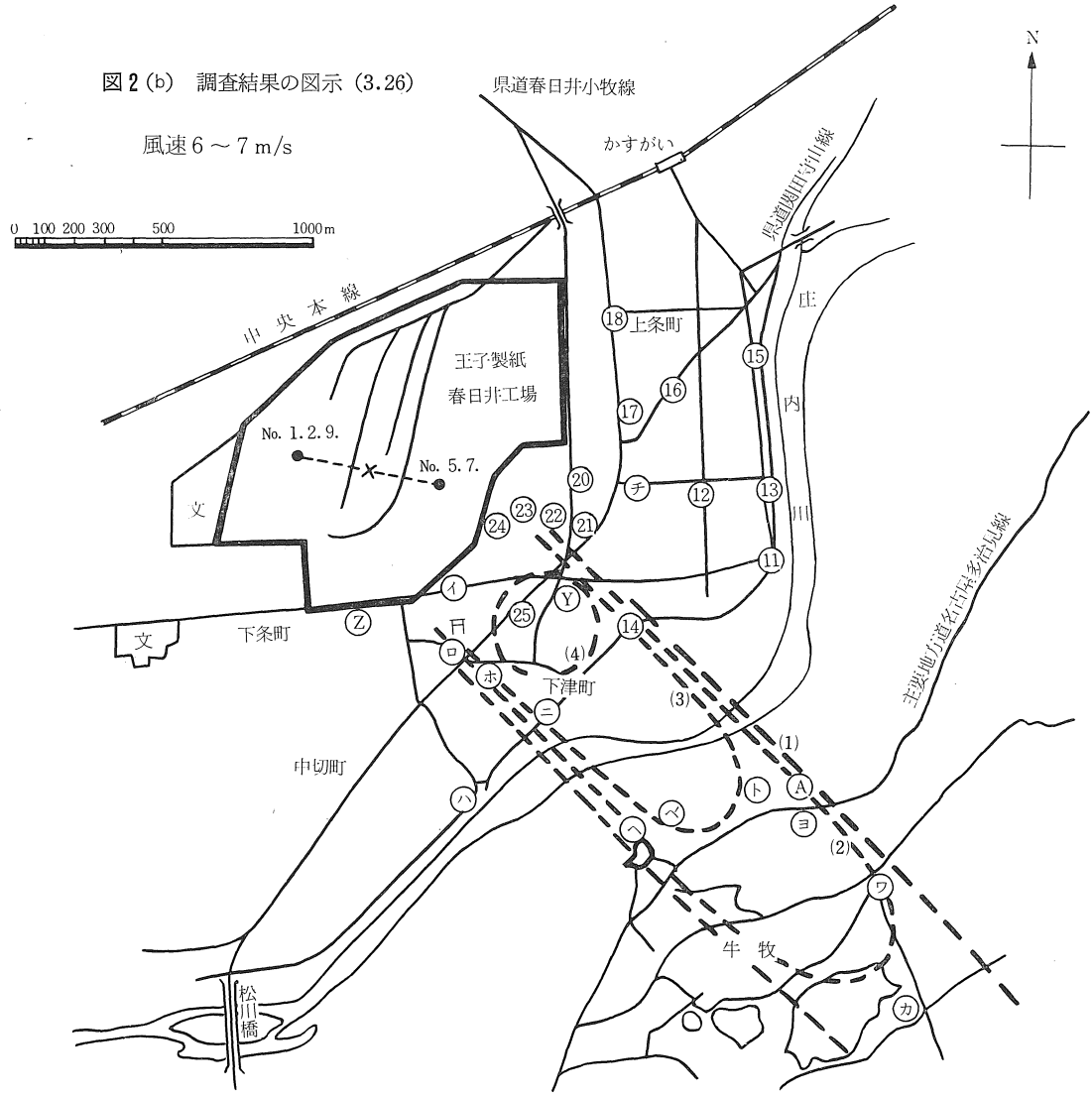


表7 臭気強度と風下距離の関係 (3.15)

強度 (I)	距離		(地点記号)
	D	\bar{D}	
3.6	200	430	(24)
3.3	250	500	(23)
2.7	350	590	(22)
0.94	400	670	(21)
2.1			(20)
2.2	630	880	(チ)
1.1	900	1120	(12)
0.22	1100	1340	(13)

D: No. 5, 7ボイラーからの距離 (m)
 \bar{D} : No. 1, 2, 9ボイラーとNo. 5, 7ボイラーの
 中点からの距離 (m)

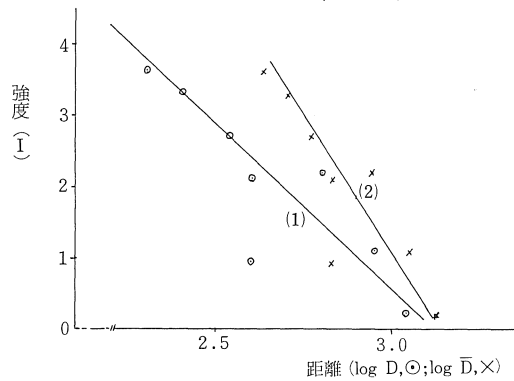


図3(a) 臭気強度と風下距離の関係 (3.15)

表 8 臭気強度と風下距離の関係 (3.26)

強 度 (I)	距 離			$4.6 \log D + \frac{960}{D}$	$4.6 \log \bar{D} + \frac{1400}{\bar{D}}$
	D	\bar{D}	(地点番号)		
2.6	200	430	(24)	15.38	15.36
2.7	300	440	(イ)	14.61	15.32
3.8	480	690	(Y)	14.33	15.09
3.8	480	720	(25)	14.33	15.10
2.7	600	760	(ホ)	14.39	15.09
2.6	770	1000	(14)	14.53	15.20
2.8	850	1030	(ニ)	14.61	15.21
3.1	1260	1460	(へ')	15.02	15.50
2.3	1500	1720	(ト)	15.27	15.71
3.2	1600	1820	(ヨ)	15.32	15.77
0.8	1850	2080	(ワ)	15.56	15.94
1.8	2240	2460	(カ)	15.84	16.16

D: No.5, 7ボイラーからの距離 (m)

\bar{D} : No.1, 2, 9ボイラーとNo.5, 7ボイラーの midpoint からの距離 (m)

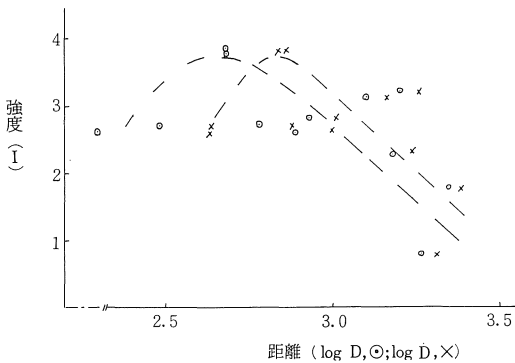


図 3 (b) 臭気強度と風下距離の関係 (3.26)

現われるのは煙突排出分に原因するものであろうと考えられる。

26日の場合の臭気強度と風下距離の関係は表8および図3(b)の如くである。表中、距離DはNo.5,7ボイラーからの、 \bar{D} はNo.1, 2, 9とNo.5, 7ボイラーの midpoint からの距離 (m) である。

図3(b)については、図3(a)と違い、強度と距離の間に直線性があるようには見えない*5。

Bosaquet-pearsonの式*6は風下直線上の距離をxと

すると下の如く書き表わすことができる。

$$C = \frac{A}{x^2} \cdot e^{-\frac{B}{x}} \quad (3)$$

A: 風速 (V) や乱流指数 (p) を含む定数*7

B: 実効煙突高 (H) と乱流指数 (p) との比 (H/p)

C: 距離xの地点の着地濃度

これを Weber-Fechner の法則 ($I = k \ln C + \alpha$, k, α : 定数) と組み合わせると、次式

$$I = -k \left(4.6 \log x + \frac{B}{x} \right) + I_0,$$

$$I_0 = k \left(2.3 \log A + \frac{\alpha}{k} \right)$$

が導かれる。風下距離xに対し、D (No.5, 7ボイラーからの距離) あるいは \bar{D} (No.1, 2, 9とNo.5, 7ボイラーの midpoint からの距離) を用い、さらに最高着地濃度地点の距離 ($x_m = H/2p$) が、實際上、それぞれ480mあるいは700m前後であることから $H=48m$ あるいは70mと置くと ($p=0.05$)、下式が得られる。

*5 図中の破線は傾向を示すためのものである。

*6 便利で使い易く、精度も低くない式として知られている。

*7 乱流が強いとき $p=0.15$, 弱いとき 0.02 ; 平均 $p=0.05$

$$I = -k \left(4.6 \log D + \frac{960}{D} \right) + I_0 \quad (4)$$

$$I = -k \left(4.6 \log \bar{D} + \frac{1400}{\bar{D}} \right) + I_0 \quad (5)$$

これらの式によると、 I と $\left(4.6 \log D + \frac{960}{D} \right)$ あるいは $\left(4.6 \log \bar{D} + \frac{1400}{\bar{D}} \right)$ の間にそれぞれ直線関係の成立することが期待されるので表8の如くに計算し、これを目盛ると図3(c)の通りになる。点の間にばらつきが大きいけれども破線(1)より実線(2)の方に直線性の多いことが認められるであろう。これを直線とするとその勾配(k)は図から -1.7 と読み取ることができるが、一方、図3(a)の直線(2)の勾配 $(2.3 \times nk)$ が -7.7 であるから $n=2$ と置くと $k=1.7$ で、すなわち同じ結果 $k=1.7$ が得られる。従って、また、(2)式を次の如く書き表わしてよいことが知られる。

$$C = \frac{\gamma}{D^2 \sqrt{V}} \quad (6)$$

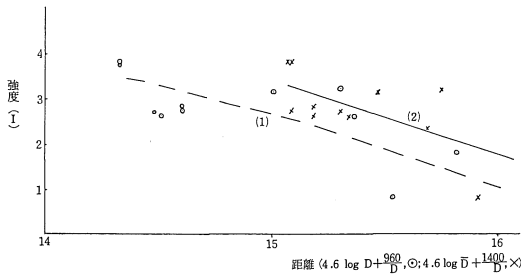


図 3 (c) 臭気強度と風下距離の関係 (3.26)

結 び

今回および前回の調査結果を通じて指摘できる点は下の通りである。

1) 風速が弱い折には (3m/s 以下) , 工場から風下の狭い地域内に影響範囲が扉形状に現われる。風速が強い際には (6~7m/s) , 臭気は風下数 km 以上にも及ぶらしいが、風向に直角方向の拡がり巾は狭いので (0.5 km 以下) , 大体のところ、影響範囲は細長い矩形形状に近く、臭気強度は風下2kmで2~1程度であろうかと思われる。

2) 発生源が地表面上にある場合——例えば風速が弱く臭気が煙突の下部付近にまず着地し、ついで拡散する場合——には臭気の風下濃度は発生源からの距離の2乗に逆比例して減少する。

3) 臭気強度 (I) を5点スケール法で測定した場合、これと臭気濃度 (C) の間に次の関係 $I = 1.71 \ln C + \alpha = 3.9 \log C + \alpha$ が成立する (α : 定数) 。

終りにのぞみ、今回の調査の実施および結果の考察に関し、春日井市王子公害対策協議会ならびに春日井市役所環境部の方々さらに愛知工業大学応用化学科学生有志諸君のご協力を仰ぎ、また春日井市保健所から気象観測記録を得た旨を記し、これらの各位に謝意を表する。