

臭気調査の一例——強度分布と濃度分布 の間の相関性 (第3報)

佐野 悞, 鶴泉 彰恵, 太田 洋

Studies of Malodors —— Correlation between the Organoleptic
and Chemianalytic Determinations of the Odor around a Kraft Pulp
Mill (Ⅲ)

Isamu SANŌ, Akie TSURUIZUMI, Hiroshi OHTA

春日井市王子製紙(株)工場周辺の臭気調査を行なった(昭和49年7月19日および50年3月17日)。上空についてはヘリコプターに搭乗, 臭気を採取してこれをガスクロ分析し(硫化水素, メチルメルカプタンおよび硫化メチル), 地上についてはガスクロ分析の他, 嗅覚感能法により強度分布を測定した。その結果:(1)硫化水素が最も多く, 臭気成分の65%前後を占めている, (2)臭気の嗅覚強度と物質濃度の間に Weber—Fechner の法則が成立する などのことが認められた。

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について調査し, その結果を第1報¹⁾ および第2報²⁾ としてそれぞれ発表した。が, 引きつづき, 昭和49年7月19日^{*1}さらに50年3月17日に同様に調査を行なったので, これらの中, 後者の結果について以下に報告する。

調査の方法は前回^{*1}とほとんど同様で, 地上の臭気については嗅覚感能法により臭気の強度分布を追求するとともにガスクロ分析法で臭気物質(硫化水素, メチルメルカプタンおよび硫化メチル)の濃度を測定し, 上空の臭気についてもガスクロ分析法で濃度を測定した。

第一部 嗅覚による調査——地上における臭気強度分布の決定

調査の方法は前回と同様である^{*2}。結果は表1の通りであった。表中, モニターA, Dなどのサフィックス5, 6とか肩の°などの意味は前報²⁾と同様であるが, 強度1, 2などは, 前回の5点スケール法と違い, 6点スケール法(悪臭防止法施行規則, 昭和49年5月30日, 総理府令第39号)によっている。この嗅覚強度のスケールを表2に示す。

調査当時の気象状況は表3および図1の如くで, これら

から市役所^{*3}では風向が北～西北西で, その中でも北西が最も頻度が高く, 北北西と西北西がこれに続くのに対し, 保健所^{*4}では風向が東北東～北西で, 中でも北～北北西が多いなど市役所と保健所の間で風向に多少の違いは見られるが, 両地点を通じて北北西および北西が一番多く, 次ぎに北および西北西とそれぞれ多いので工場の臭気も恐らくほとんどが工場から1.5m/s程度の速さ^{*5}で南南東～南東へ流れていたであろうと思われる。

表1を図示すると図2が得られるが, 図より嗅覚強度は気象状況から想像されるところと一致し, 工場の東南側において高く, 工場から遠去かるにつれ次第に弱まる傾向にあるが, 地点⑦の辺でピークに達していることが認められる。地点⑩において強度が意外に高く, ③においてもかなり高い理由は明らかでないが, 多分, 風向の変動が原因の一つであろうと考えられる。これらの事情を考慮して臭気強度線を引くと曲線(1)および曲線(2～3)の如くであろうと思われる。ただし曲線(1)は強度1の線を示し, 曲線(2～3)は強度2～3の線であるが, 両者共に位置も形状も大体のところでは確かなものではない。

*2 臭気モニターによるガスマスクの着用, 臭気強度として6点スケール法の採用など。

*3 工場の北, 約1Kmの地点。

*4 工場の西北西, 約1Kmの地点。

*5 表2(a, b)および図1を参照のこと。

環境工学研究所

*1 昭和49年7月19日は午前中, 曇であったが, 正午頃から雨となったため, ヘリコプターを使用できず, 調査を中止。

表1 臭気嗅覚強度調査結果

時刻 モ二地 タ一	10時		11時		10時		16時		23時		27時		31時		36時		41時		49時		53時		12時	
	14分	23分	35分	00分	05分	10分	12分	22(52)	26分	イ(51)	53分	下条	下条	下	津	熱田	北興	南	00分	05分	10分	11(56)	14(55)	14(55)
モ二地 タ一	展望台	A ゴルフ 場下	B 緑 ゴルフ	ニ(54) 下津堤	14(55) 三和堤	11(56) 轆り 住宅	和示良	王子 新道	荒川	製品門	下条 交差点	下条 歩道	下 津	熱田	北興	南	00分	05分	10分	11(56)	14(55)	14(55)	14(55)	14(55)
A ₆	3	1	1	2	1	4	2	4	3	0	2	3	0	1	0									
B ₆	2	0	1	1	1	3	1	4	4	0	3	2	1	0	1									
C ₆	1	1	1	3	1	3	2	4	4	2	2	2	1	2	2									
D ₅	2	0	1	1	1	2	1	3	3	0	1	3	1	1	1									
E ₅	3	1	3	3	2	4	3	4	3	1	4	5	2	1	2									
F ₅	3	0	2	1	1	4	2	2	2	1	2	3	1	0	1									
G ₅	2	1	3	2	1	4	2	3	3	1	3	3	1	1	1									
H ₅	3	0	1	2	1	3	1	3	1	0	1	2	0	0	1									
I ₄	2	0	3	3	1	4	1	4	3	0	3	4	0	0	1									
J ₃	1	0	3	1	1	3	1	4	0	0	3	1	0	0	0									
K ₂	1	0	2	2	1	3	1	3	2	0	3	4	0	0	1									
平均	2.1	0.4	1.9	1.9	1.1	3.4	1.5	3.5	2.5	0.5	2.5	2.9	0.6	0.5	1.0									

() : 図3 (a,b,c) および図4における番号

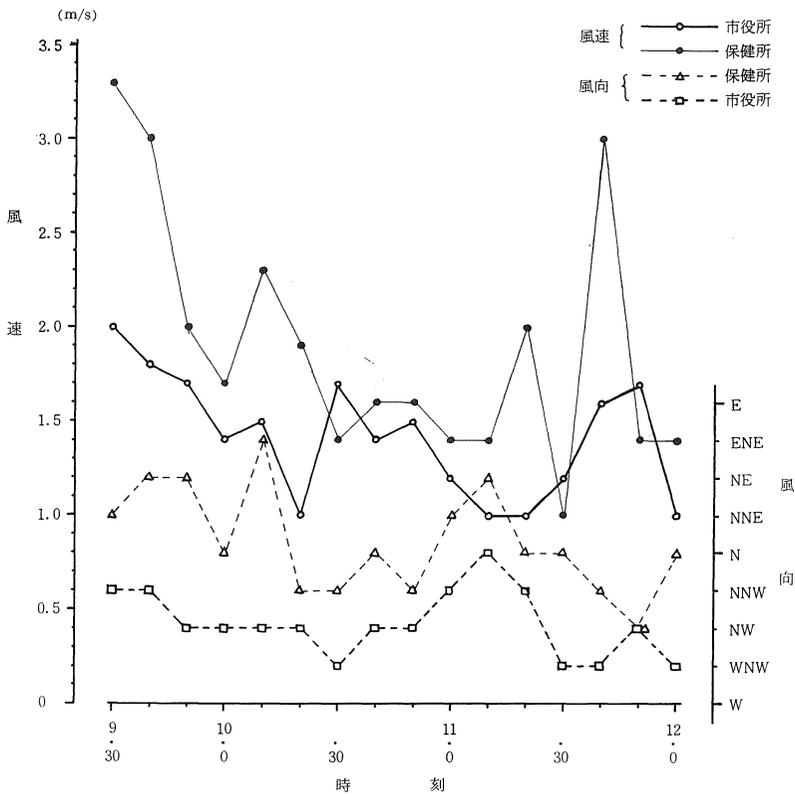


図1 風向・風速 (50.3.17)

表2 嗅覚強度のスケール

知覚状況	強度	
	5点スケール	6点スケール
無臭	0	0
辛うじて（有りや無しや？）	0.5	1
弱い（何のにおいか判る程度）	1	2
弱いが確かに	2	3
強く明らかに	3	4
強烈（耐えられない位）	4	5

表3 気象状況（昭和50年3月17日）

時刻	春日井市役所		春日井保健所			
	風向	風速	風向	風速	温度	湿度
時分		m/s		m/s	°C	%
9.30	北北西	2.0	北北東	3.3	12.5	43
40	〃	1.8	北東	3.0	12.5	42
50	北西	1.7	〃	2.0	12.8	41
10.00	〃	1.4	北	1.7	13.0	41
10	〃	1.5	東北東	2.3	13.1	40
20	〃	1.0	北北西	1.9	13.5	39
30	西北西	1.7	〃	1.4	14.0	38
40	北西	1.4	北	1.6	14.5	37
50	〃	1.5	北北西	1.6	15.0	36
11.00	北北西	1.2	北北東	1.4	15.0	35
10	北	1.0	北東	1.4	15.0	34
20	北北西	1.0	北	2.0	15.8	33
30	西北西	1.2	〃	1.0	15.8	33
40	〃	1.6	北北西	3.0	16.0	33
50	北西	1.7	北西	1.4	16.3	32
12.00	西北西	1.0	北	1.4	16.3	31

第二部 ガスクロ分析による調査——地上および上空の臭気物質の濃度の測定

嗅覚感能法による臭気強度の地上分布状況の調査（第一部）と並行して地上および上空における硫化水素，メチルメルカプタンおよび硫化メチルの濃度をガスクロ分析法で測定した。

濃度の測定

地上における臭気採取法については，前回*1と同様に，二連球を使って臭気を採取し，これをガスクロ分析したが，上空における臭気採取法は前回と違い，次の如く改良して実施した。

1) 前回では二連球を使ってマイラーバッグに臭気を採取したが，この方法では時間*9がかかるので今回はバッグの一角を切り取って口あけし，ここからバッグ内に

*6 10ℓの試料空気を採取するのに2~3分程度。

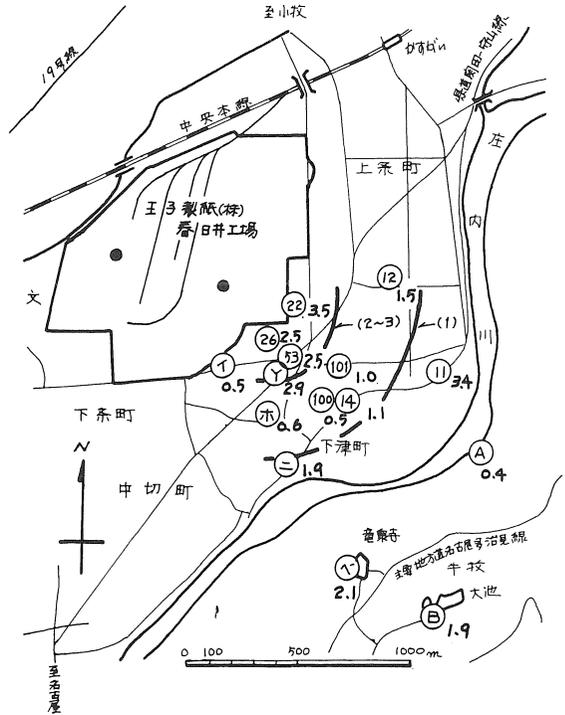


図2 臭気嗅覚強度調査結果（50.3.17, 10.14~12.00）

漏斗つきのプラスチック管を差し込んだ後，漏斗をヘリコプターの窓から外部へ突き出して臭気を採取した*7。

2) マイラーバッグ内に採取した臭気物質については時間の経過するにつれて濃度の減少する可能性が考えられるので，今回はこのおそれのないバッグ（日本エアウィック製，フレックサンプラー）を用いた*8。今回はこの点にも留意したが，試料も採取後遅滞なくガスクロ分析にかけて濃度を測定した。

ガスクロ分析装置は島津製ガスクロマトグラフGC-5 AP₃FF_F型（充填剤：1, 2, 3-TCEP-シマライト，キャリアーガス：窒素）で稼働条件は例えば，カラム温度50°C，検出器温度130°Cなどである*9。なお本装置には試料濃縮装置（島津臭気濃縮装置VPC-1型）および試料導入装置（島津加熱導入装置FLS-1型）が附属している。

調査結果とその考察

結果は表4および表5の如くで，表中の記号±は濃度が痕跡程度であることを意味する。表4および表5を図上

*7 10ℓの採取につき2~3秒以内。

*8 地上採取の場合も同様で，この場合にはなお，ガラス瓶（島津製試料ガス採取容器SGC-1型ガラス製毛細管付）を用いた。

*9 分析操作の詳細，検量線の作成，分析結果の検討などについては愛工大研究報告，No.11, (1976)太田，市川；ガスクロマトグラフィーによる大気中の微量硫黄化合物の分析を参照のこと。

表4 臭気物質地上濃度

試料採取条件 (50年3月17日, 10時14~38分)			測定値 (ppb)					
地点		気温 (°C)	硫化水素	メチル メルカプ タン	硫化 メチル	合計*	硫化水素** (%)	
番号	目 標							
26	敷地境界 (荒川林産)	12	2.6	0.3	1.1	4.0	65	
51	〃 (正門東 100m)	15	2.6	1.2	2.3	6.1	43	
52	〃 (チップ置場東)	12	18	0.6	±	18.7	97	
Y	下条歩道橋	11	5.1	1.0	1.7	7.8	65	
54	下津南堤防上	12	2.2	0.3	0.3	2.8	79	
55	マルコ製菓南堤防上	13	1.6	±	±	1.8	89	
56	織り住宅	13	0.4	0.4	±	0.9	44	
57	竜泉寺東	17	1.4	0.4	0.7	2.5	56	
70	敷地境界 (津入北東角)	13	1.7	0.6	0.2	2.5	68	
71	〃 (製品門前)	17	2.8	0.6	1.5	4.9	57	
72	常泉寺	11	2.1	0.3	0.6	3.0	70	
73	丸彦アパート	12	2.3	0.4	±	2.8	82	
39	鳥居松小学校	15	1.6	0.2	±	1.9	84	
* ±を0.1として算定							** (硫化水素/合計) ×100	平均 67

表5 臭気物質上空濃度

試料採取条件 (50年3月17日, 10時14~38分)				測定値 (ppb)				
地点		高度 (m)	気温 (°C)	硫化水素	メチル メルカプ タン	硫化 メチル	合計*	硫化水素** (%)
番号	目 標							
26	敷地境界 (荒川林産)	100	19	3.0	0.4	0.5	3.9	77
51	〃 (正門東 100m)	100	19	0.8	1.5	±	2.4	33
Y	下条歩道橋	200	19	2.4	0.4	0.3	3.1	77
54	下津南堤防上	200	18	0.2	0.5	±	0.8	25
55	マルコ製菓南堤防上	100	18	0.7	0.4	0.4	1.5	47
		200	18	1.7	0.3	±	2.1	81
		300	18	1.1	0.9	±	2.1	54
56	織り住宅	200	19	1.0	0.8	0.4	2.2	45
57	竜泉寺東	300	20	1.2	0.6	0.4	2.2	55
73	丸彦アパート	200	19	0.4	±	±	0.6	67
39	鳥居松小学校	100	22	16	0.5	0.6	17.1	94
* ±を0.1として算定							** (硫化水素/合計) ×100	平均 60

に記録すると図3 (a, b, c)の通りになる。各地点に対する添え書き中, 斜線の右側の数字は地上の濃度を表わし, 左側の数字は上空の濃度で, ()により高度(メートル)が示してある。なお, 図中に地上における等濃度線を描き入れたが, これは図2の等嗅覚強度線と同様に見当を示したものに過ぎない。

a) 地上および上空の濃度分布

地上の場合, 図3 (a, b, c)によると,

1) 硫化水素はメチルメルカプタンや硫化メチルより拡散範囲が広い。これは硫化水素の軽いことにもよるのであろうが, 工場の硫化水素排出量があるいは多く, これが利いているのではなからうかとも思われる。

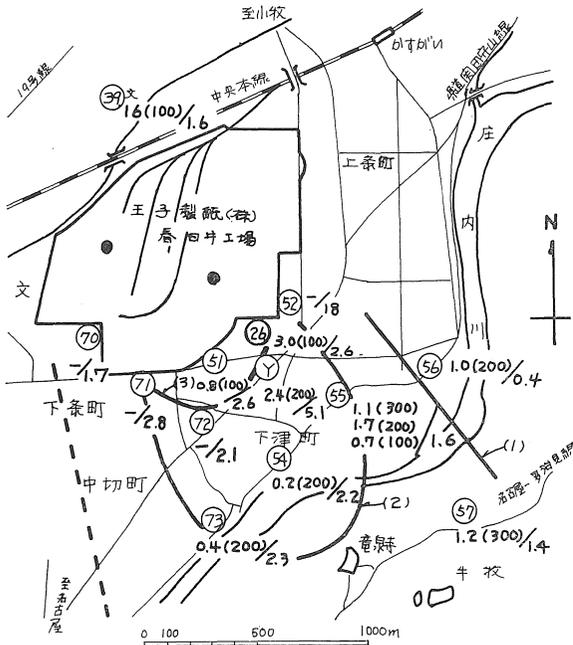


図3a 硫化水素の濃度分布 (ppb)

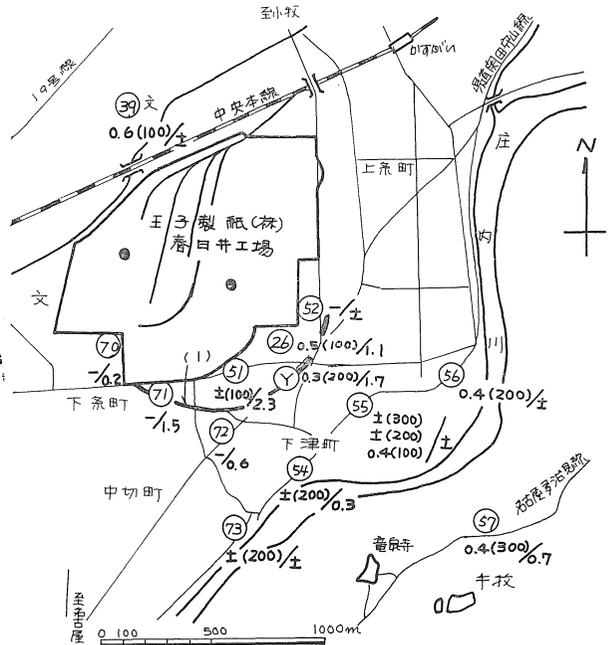


図3c 硫化メチルの濃度分布 (ppb)

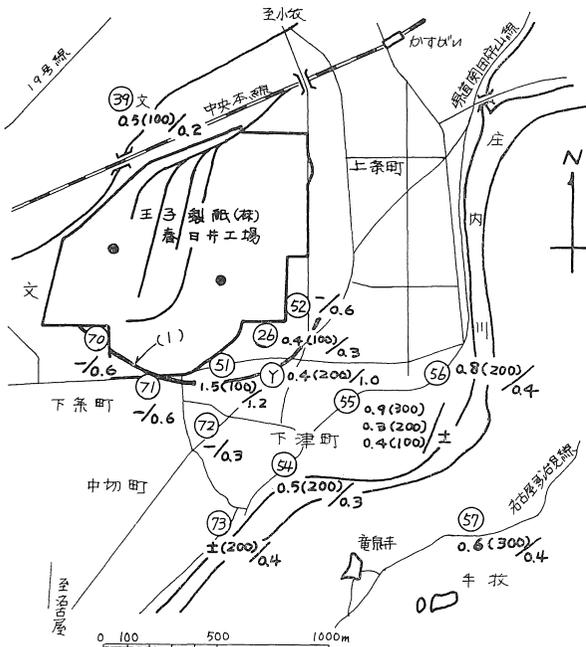


図3b メチルメルカプタンの濃度分布 (ppb)

2) 硫化水素は敷地境界から風下 300m前後^{*10}の地点⑦^{*11}で極大値5ppbに達し^{*12}, 竜泉寺東⑥^{*}辺で 1ppb程

*10 図中, 同心円間の距離 500m.

*11 地点⑦は⑥と極く近い距離にあるので, 図上では⑥と同じ場所とみなしてある.

*12 地点⑥で18ppbが測定されているが, 原因不明.

度に減っている。メチルメルカプタンや硫化メチルは共に地点⑥と⑦の間で風下に向い濃度が濃くなるやに見られるが, 大体において, 風下程濃度が淡い——などのことが認められる。

一方, 上空の場合には,

- 1) 硫化水素は主風向の上の地点②③および⑤⑥などで濃度が高いけれども距離とともに減少し, 竜泉寺東⑦付近で 1ppb 前後に落ちる。メチルメルカプタンおよび硫化メチルについては敷地境界から離れると濃度は風下一帯ほとんど一様で, 1ppb を切っている。
- 2) 風上の地点⑨で硫化水素の濃度が際立って高い (16ppb)。この理由は目下のところ明らかでないが, 春日井保健所の記録 (表 6) によると 3月17日には 1時頃から 8時頃まで東～南東の風が吹き (風速 1m/s 以下), 以後, 北よりの風 (風速 1.5m/s 程度) に変わっているので工場から排出された硫化水素は風の弱いままに帯状に北方へ流れ, 次いで反転, 立ち戻った——これが原因ではあるまいかと考えられるが, これ以上のことはわからない。

臭気物質の地上濃度の和は表 4 の合計の欄の通りであるが, これから図 3 にならって図 4 が得られる。この場合にも等濃度線が引いてあるが, 図 3 と同様に大体のところである。図 4 によると敷地境界に沿って地点⑥との間に 4~5ppb の区域が存在し, 敷地境界から 300m 前後の辺で極大値 6~8ppb に達しているが, 以後, 濃度は減少し, 風下一帯に 3~2ppb の範囲が広がっている。2ppb の等濃度線は竜泉寺を越えて風下遠くに及ぶらしい。

表6 気象状況 昭和50年3月17日(春日井保健所)

時刻	風向	風速	温度	湿度	時刻	風向	風速	温度	湿度
時分		m/s	°C	%	時分		m/s	°C	%
0.00	北北東	0.9	8.0	68	5.00	東南東	0.9	4.2	82
10	〃	0.8	7.9	69	10	東	1.0	4.3	82
20	北東	calm*	7.6	70	20	東南東	calm	4.2	82
30	東	〃	7.5	71	30	〃	0.7	4.2	82
40	〃	〃	7.2	71	40	〃	0.8	4.2	82
50	東北東	〃	7.2	72	50	〃	0.7	4.2	82
1.00	東	0.6	7.1	72	6.00	〃	0.9	4.1	82
10	〃	calm	7.0	74	10	〃	0.8	4.1	82
20	〃	0.7	7.0	75	20	〃	1.0	4.1	82
30	東南東	calm	6.6	76	30	〃	1.2	4.1	82
40	〃	〃	6.5	77	40	東	1.0	4.1	82
50	東	〃	6.3	78	50	東南東	calm	4.5	82
2.00	東南東	〃	6.0	79	7.00	〃	〃	5.0	82
10	東	〃	5.9	79	10	南東	〃	5.8	80
20	東南東	〃	5.7	81	20	〃	0.8	6.2	78
30	〃	〃	5.5	81	30	〃	calm	7.0	76
40	〃	〃	5.2	81	40	東南東	〃	7.5	74
50	〃	〃	5.1	82	50	北東	〃	7.8	71
3.00	東	〃	5.0	82	8.00	東	〃	8.2	70
10	東南東	〃	5.0	82	10	北西	〃	8.8	68
20	〃	0.8	4.9	82	20	〃	1.0	9.0	66
30	〃	0.6	4.9	82	30	〃	1.0	9.8	62
40	〃	calm	4.8	82	40	〃	1.5	10.0	60
50	〃	〃	4.7	82	50	〃	1.2	11.0	56
4.00	〃	0.6	4.6	82	9.00	北北西	2.0	11.1	50
10	南南東	calm	4.5	82	10	北	1.5	11.5	48
20	東南東	〃	4.4	82	20	北	1.5	12.0	46
30	〃	〃	4.4	82	30	北北東	3.3	12.5	43
40	東	〃	4.3	82					
50	東南東	0.8	4.3	82					

* calm : 0.5 m/s 以下

b) 臭気の嗅覚強度と物質濃度の間の関係

表1の嗅覚強度は臭気物質全体の濃度に関係のある値である。これらの間の関係を解明するために表4の中に掲げた如く硫化水素などの濃度の合計を求めてこれを臭気物質全体の濃度とみなすことにすると嗅覚強度と物質濃度の間の関係として表7が得られる。表中、地点⑥は強度が異常に高いのでこれを除き、残りの地点のデータを図上に目盛ると、図5の通り、強度(6点スケール法)と濃度(対数)の間に直線関係

$$I = K \ln C + \alpha$$

$$= 2.3 K \log C + \alpha$$

(I : 強度, C : 濃度, K, α : 定数)が存在し、従ってWeber—Fechnerの法則の成立することが見られる。直線の勾配(2.3K)を読取ると2.7で、従って $K=1.2$ となるがこれは前報²⁾で推定したところ($K=1.7$)と相当に良く一致した値である。

図5によると、地上の臭気強度を6点スケール法の、例えば2あるいは1に保つためには臭気物質の合計濃度をそれぞれ $\log C_2=0.57$ あるいは $\log C_1=0.21$ 従って $C_2=3.7\text{ppb}$ あるいは $C_1=1.6\text{ppb}$ に抑えればよいことになるが、一方、表4によると硫化水素%の欄に示してある如く、硫化水素は臭気物質の67%を占めている

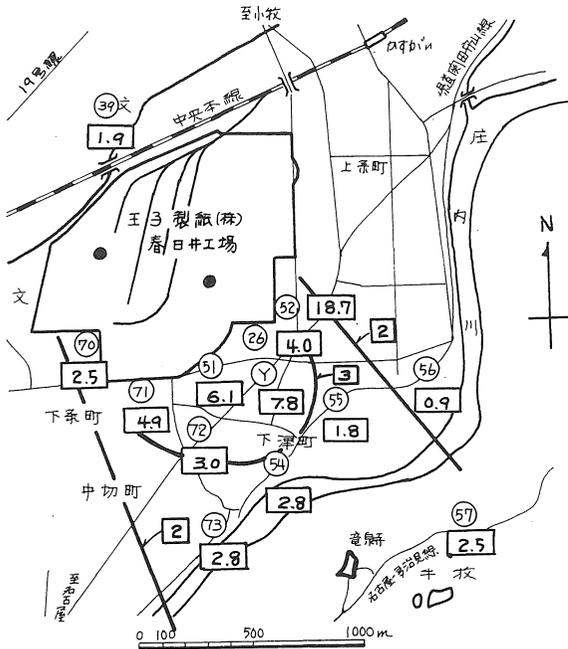


図4 臭気物質合計濃度の分布(地上)
(□:合計濃度`ppb)

ので硫化水素については濃度を $3.7 \times 0.67 = 2.5\text{ppb}$ あるいは $1.6 \times 0.67 = 1.1\text{ppb}$ に抑えなければならないことが知られる*13。嗅覚の発生機構が単一物質についてさえ明らかでなく、いわんや混合物質については暗中模索の状態にある現在、この算定の仕方は大胆に過ぎる嫌があるし、結果には信憑性が乏しいといわざるを得ないであろうが、この結果とともに気象要素や操業状況などを考慮に入れることにより煙突の臭気物質排出限量の少なくとも目安を算定することが可能になるのではなかろうかと思われる。

*13 悪臭防止法（昭和46年6月1日、法律第91号）によると、嗅覚強度（6点スケール法）と物質濃度（ppb）の間の関係は下の如く示されている。これに従い、硫化水素の強度2および1に対応する濃度を算定するとそれぞれ6.3および0.63ppbとなる。

嗅覚強度（6点スケール法）と
物質濃度（ppb）の間の関係

強度 物質	2.5	3.0	3.5	臭いの感じ
アンモニア	1000	2000	5000	刺激臭
メチルメルカプタン	2	4	10	腐ったたまねぎ
硫化水素	20	60	200	腐ったたまご
硫化メチル	10	50	200	腐ったキャベツ
トリメチルアミン	5	20	70	腐った魚

表7 臭気の嗅覚強度と物質濃度の間の関係

地点	嗅覚強度 (6点スケール法)	物質濃度	
		合計(表4)	対数
26	2.5	4.0	0.60
51	0.5	6.1	0.79
52	3.5	18.7	1.27
Y	2.9	7.8	0.89
54	1.9	2.8	0.45
55	1.1	1.8	0.26
56	3.4	0.9	-0.05
57	1.5 ^f	2.5	0.40
70	—	2.5	—
71	—	4.9	—
72	—	3.0	—
73	—	2.8	—

* 地点A0.4, B1.9およびC2.1の平均値'

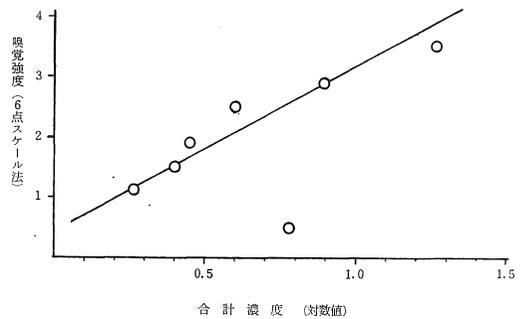


図5 臭気の嗅覚強度と物質濃度の間の関係

結 び

春日井市王子製紙(株)工場周辺の臭気について昭和49年7月19日および50年3月17日に調査を実施した。目的は臭気対策の資料を得ることであるが、このために地上における臭気の嗅覚強度と地上および上空（ヘリコプター使用、300m以下）における臭気の物質濃度を測定し、臭気の平面的並びに立体的の分布を追跡した。臭気成分として濃度を測定した物質は硫化水素、メチルメルカプタンおよび硫化メチルである。

調査結果は下の通りであった。

1) 嗅覚強度(地上)は最高3.5(6点スケール法)であり、物質濃度は最高が地上の場合、硫化水素 5.1 ppb, メチルメルカプタン 1.2, 硫化メチル 2.3で、上空の場合

合, 硫化水素 3.0 ppb (300m), メチルメルカプタン 1.5 (100m), 硫化メチル 0.5 (100m) である。これらの地点は工場の敷地境界から風下 300m以内にあるが, 強度も濃度も風下へ向って遠去かるにつれ地上および上空共に減少する。

2) 臭気成分としては地上および上空を通じ硫化水素が最も多く, 臭気成分の65%(体積)前後を占めており, 拡散範囲も一番広いのでその排出量の抑制に向って努力が払われなければならない。

3) これらの測定値はすべて瞬間値である。愛知県環境基準値(目安)は硫化水素 10ppb(24時間平均値)とされているが, これと対比, 考察する際の資料を得るために工場周辺において臭気物質 - とくに硫化水素——の濃度に対し連続測定の実施されることが望ましい。

終りにのぞみ今回の調査の際にも, 前回と同様, 春日井市王子公害対策協議会および春日井市役所環境部の方々にご多忙中をご参加, ご協力を頂いた旨を記し, 謹んで謝意を表する。

文 献

- 1) 佐野 悞, 鶴泉彰恵, 太田 洋, 大矢公彦:
春日井市工場公害調査報告書(第8報), 昭和47年12月。
佐野 悞, 鶴泉彰恵, 太田 洋, 大矢公彦:
愛工大研究報告, No.8, 205 (1973).
- 2) 佐野 悞, 鶴泉彰恵, 太田 洋, 大矢公彦:
春日井市工場公害調査報告書(第9報), 昭和48年12月。
佐野 悞, 鶴泉彰恵, 太田 洋, 大矢公彦:
愛工大研究報告, No.9, 219 (1974).

(昭和51年1月10日受付)