

内陸工業団地規模の工場群からの大気汚染と汚染防止に対するアセスメント

(6) 蔵持工業団地

工藤市兵衛・近藤高司・佐田栄三*・熊沢英博*

Development of Environmental Assessment Technique for Air Pollution from Industries Situated in Inland Area and its Control

(6) KURAMOCHI Industrial Area

Ichibei KUDO, Takashi KONDO, Eizo SADA
and Hidehiro KUMAZAWA

In recent years, industries have been increasingly developed in inland areas where the capacity of air cleanup is small. Therefore, effective air pollution control need to be developed as fast as possible. More accurate information of an air pollution mechanism is needed for effective control. As a case study, the effects of sulfur dioxide and nitrogen dioxide on air pollution were investigated near the Kuramachi industrial area in 1978. The PPMs of sulfur dioxide emitted in the air were predicted at present and in future situations by using sophisticated puff and plume diffusion models. The results of this study can be applicable to examine a future planning of industry expansions and locations with pollutants emission facilities. A successful application of this study may help to prevent air pollution problems in future.

緒言

工場の再配置，地域開発に伴って，近年増加しつつある内陸工業団地は，沿岸部工業地帯とは異なり，住宅，農耕地に近いこと，ならびに環境容量が比較的小さいことのため公害対策の必要性が強調されている。内陸工業団地規模の工場群からの大気汚染防止に対するアセスメントと題する一連の研究において，前報^{1,2,3)}では，能褒野工業団地周辺地域，可児工業団地周辺地域，穴田企業団地周辺地域における大気汚染の予測を大気拡散シミュレーションを用いて行ない測定結果等との比較を行なった。そして能褒野工業団地を念む鈴鹿地域の大気拡散シミュレーションにおいては，合理的な汚染削減を目的とした線形計画法により対象地域でのコストミニマムとなる最適削減計画案を求めた。

本研究では，三重県蔵持工業団地（名張市）から排出される大気汚染物質による周辺地域への汚染の程度を二酸化硫黄濃度と窒素酸化物濃度の実測結果と大気拡散シ

ミュレーションの結果に基づき評価した。

1. 蔵持工業団地の大気環境アセスメント

当団地は，周囲が山々に囲まれて，内陸的な地域特性を持ち，京阪神，中部両経済圏の中間点にあり今後工業団地規模の増大が計画されている。現在は，進出企業は9社を教え，すでに8社が操業している。又，周辺地域は，大阪経済圏のベットタウンとして住宅開発が高進しており将来，環境問題が起こりそうである。そこで，大気環境の調査を工業団地および隣接の2工場を含め行なった。これらの企業の業種はアルミサッシ製造，耕起作業機製造，ベアリング製造，減速機製造，輸送機器部品製造などほとんどが金属加工及び機械工作工場である。これら工場に保有されている大気汚染関係の対象となる施設は，ほとんどがボイラーであり，加熱炉1基と熱風炉2基がある。したがって，これらの工場から排出される大気汚染物質のほとんどは，ボイラー，加熱炉から発生する化石燃料の燃焼排ガス中の硫黄酸化物，窒素酸化

*京都大学工学部

物とばいじんであり、大気汚染防止法施行令第1条で規定する、その他の有害物質の発生源はほとんどないと考えてよい。本調査では、硫黄酸化物、窒素酸化物およびばいじんに関して大気汚染の現況を実測し、そして、未着工場の完成稼働時におけるそれらの大気汚染物質の工業団地周辺地域におよぼす影響の予測評価を行なう。

この目的のために、昭和53年12月13日に、工業団地と周辺地域における二酸化硫黄、一酸化窒素の濃度およびその時間における風向、風速と日射量などの気象データを測定した。さらに工業団地と周辺の煙源データおよび気象データを用いて、コンピュータによる大気拡散シミュレーションを行なった。

1.1. 測定方法

図1に示すごとく、蔵持工業団地の周辺において、間

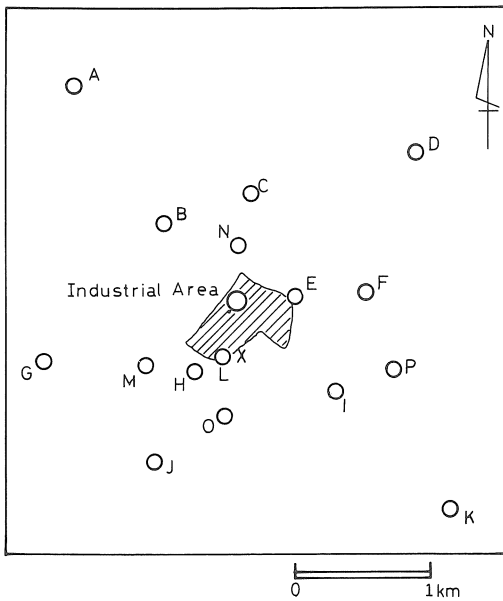


図1 工業団地周辺図と測定地点 (5 km × 5 km)

表1 現地調査日の気象測定結果

昭和53年12月13日 名張市蔵持工業団地

項目	気温 (C)	湿度 (%)	風向 (16方位)	風速 (m/s)	天気 (日本式)	雲量 (1/10)	雲形	日射量 (cal/cm ² h)	安定度 (逆さ分類)
9時	3.5	85	N	0.9	Ⓜ	9	Cs Ci	2.47	B
10時	7.6	66	NE	1.2	Ⓜ	7	Cs	40.2	A~B
11時	10.0	63	NE	0.8	Ⓜ	8	As Cs	29.0	A~B
12時	13.0	57	NE	1.6	Ⓜ	5	As Cs	40.7	A~B
13時	14.4	53	NNE	1.7	Ⓜ	5	As Cs Ci	33.4	A~B
14時	15.8	52	NNE	1.9	Ⓜ	7	As Cs Ci	30.0	A~B
15時	16.0	48	E	1.0	Ⓜ	5	As Cs Ci	21.3	B
16時	14.4	58	ESE	1.7	Ⓜ	5	As Cs Ci	3.4	D
17時	12.5	62	SE	3.2	Ⓜ	10	Cs Ci	-	-
18時	10.9	70	ESE	1.6	Ⓜ	10	As Cs Ci	-	-

隔1 km 以内の16ヶ所の二酸化硫黄濃度測定を選んだ。そのうち12ヶ所を窒素酸化物の測定点を選び、気温、湿度、風向、速度など地上気象を団地周辺の6地点(風向、風速については12点以上)において測定時間に測定した。特に、工業団地内の測定本部において風向、風速、日射量を連続記録させた。これらの測定点において、調査日の昭和53年12月13日10時、13時、15時30分から各1時間の計3回、試料の採取と地上気象の測定を行なった。試

表2 気流調査のための風向、風速測定結果

時刻 測定点	10:00~11:00		13:00~14:00		15:30~16:30	
	風向	風速(m/s)	風向	風速(m/s)	風向	風速(m/s)
A	ESE	0.28	SSW	0.82	ESE	2.50
	ESE	1.42	SW-E	0.90	E	2.04
	SE	1.41	WNW	2.26	E	1.39
B	NE	1.52	ENE	2.57	ENE	3.05
	NE	1.50	NNW	1.40	E	2.37
	E	1.17	N	3.25	E	2.71
C	N-NE	0.55	NNE	1.67	ESE-ENE	2.87
	NNW	0.82	NE	2.04	ESE	2.65
	SE	1.30	NNW-NE	1.67	ESE-ENE	3.19
	SSE	0.59	NE	2.72	-	-
D	NE	0.57	N	0.10	ENE	0.70
	NNE	0.48	NE	0.10	N	0.18
	NNE	0.14	NE	0.11	NNE	0.33
	NNE	0.11	-	-	-	-
E	N	0.55	NNW	1.01	SSE	2.32
	SSW	0.03	N	0.67	SSE	0.77
	NNW	0.92	NNW	1.09	SSE	1.74
F	ENE	0.27	NE	1.10	ESE	2.01
	ESE	0.25	NNE	1.11	SSE	0.87
	NNE	0.10	NE	1.05	ESE	1.19
G	NE	0.80	NE-NNE	0.54	E	0.30
	NE	0.54	NE	0.95	ENE-E	1.27
	ENE	0.41	NNE	0.50	E	1.97
	NE	0.43	NNE	0.82	ESE-E	0.41
H	E	0.85	NNE	0.75	ESE	1.50
	E	0.19	NE	1.07	ESE	1.18
	NNE	0.68	NNE	1.03	SE	0.60
	NE	0.92	-	-	-	-
I	ENE	0.74	NNE	0.61	SSE	1.59
	ENE	0.17	NNE	1.04	ESE	1.03
	NNW	0.04	ESE	0.86	SSE	0.61
J	NW	0.13	NW	0.18	ESE	0.28
	NW	0.09	-	0.00	-	0.00
	NW	0.03	NW	1.10	-	0.00
K	E	0.11	ENE	0.18	SE	1.38
	SE	0.05	ENE	0.24	SSE	1.11
	NW	0.05	SSE	0.14	SE	1.02
名張市防署	ENE	1.0	NE	2.0	SE	2.0

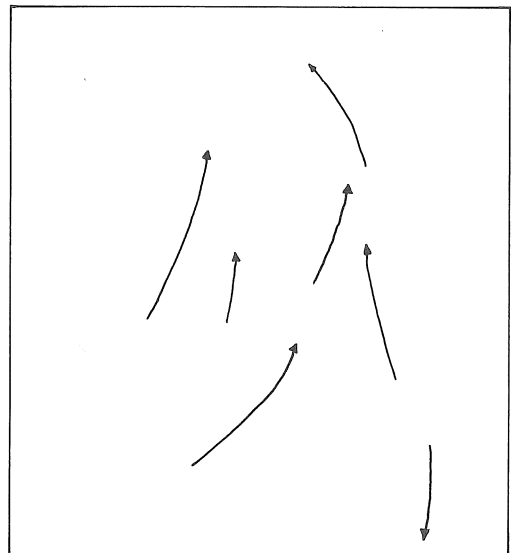


図2 流線図 (昭和53年12月13日 13時~14時)

料採取法と分析法は前報¹⁾と同一である。

1.2. 測定結果および考察

測定本部地点における地上気象の連続観測結果を表1に示す。表2には、風の流跡線推定のため風向、風速の実測結果が示されている。これらの観測結果から各測定時を代表する気象要素を表3のように推定した。工業団地周辺の気流を推定すると図2のようになる。これら、第2回目の測定時における気流を示している。次に16ヶ所における(A～P測定点)二酸化硫黄の濃度測定結果を表4に示す。一酸化窒素(NO)、二酸化窒素(NO₂)および全窒素酸化物(NO_x)の濃度を表5に示す。各測定回の実測結果より求めた濃度分布を図3～8に記載する。

表3 実測調査時の気象要素
(昭和53年12月13日)

時刻	風向	風速	大気安定度
10:00～11:00	NE	1.0m / S	A～B
13:00～14:00	NNE	1.8m / S	B
15:30～16:30	SE	2.4m / S	D

1.2.1 二酸化硫黄汚染濃度の測定結果

表4、図3～5によれば、第1回の測定(10時～11時)では、全測定点とも二酸化硫黄は比較的高く、ほとんどの測定点において10ppb以上となっている。とくに工業団地より南西部が比較的高濃度となっている。これらこれらの測定点が群小煙源の風下にあったことが原因であった。二酸化硫黄の環境基準値の100ppbと比較すれば、かなり低い値であった。第2回の測定(13時～14時)では、全測定点とも濃度は高く、10ppbを起えている地点は

表4 硫黄酸化物濃度測定結果

測定点	二酸化硫黄濃度 (vol. ppb)		
	10:00～11:00	13:00～14:00	15:30～16:30
A	17.22	17.78	2.67
B	11.67	13.67	5.22
C	14.56	9.89	4.33
D	12.89	6.89	3.89
E	12.67	8.33	2.89
F	15.44	9.56	3.44
G	7.67	4.33	2.89
H	19.33	12.22	2.89
I	19.22	32.78	3.22
J	9.33	10.67	2.33
K	12.44	18.11	1.11
L	13.67	9.78	3.89
M	7.89	9.44	3.44
N	8.22	5.11	6.89
O	10.67	12.00	2.22
P	10.22	9.89	1.78

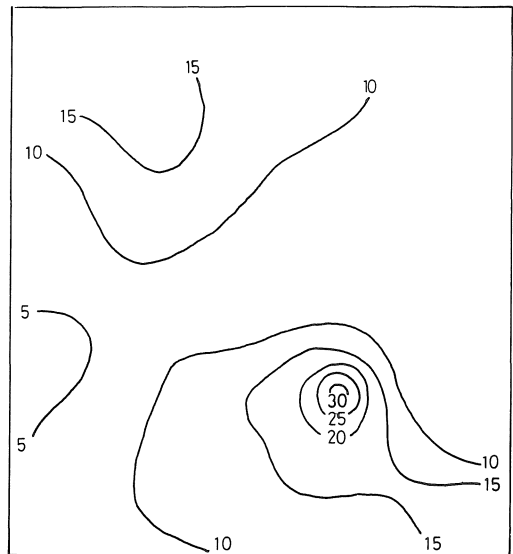


図4 二酸化硫黄濃度分布図 (13時～14時)

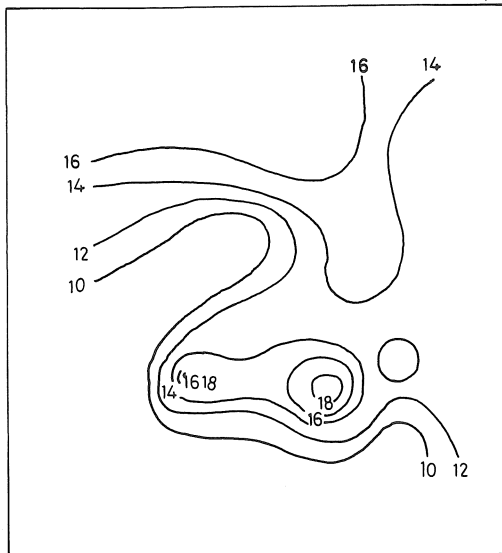


図3 二酸化硫黄濃度分布図 (10時～11時)

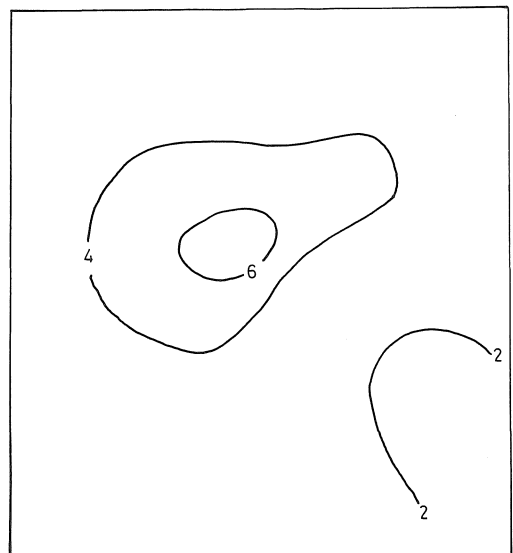


図5 二酸化硫黄濃度分布図 (15時30～16時30分)

工業団地北部で10~15ppb, 南部では10~30ppbの濃度を記録した。第3回目の測定(15時30分~16時30分)では, 全測定点とも濃度は低く, ほとんどが15ppb以下である。工業用団地の西の丘陵地域からの風が吹きこの地区のバックグラウンド濃度を示している。しかし工業団地の風下にあたる北西部では若干濃度が高く5~7ppbを示している。

1.2.2. 窒素酸化物汚染濃度の測定結果

大気中の窒素酸化物は, ほとんどがNOとNO₂であると考えることができる。表5と図6~8より, 第1回の測定では, 全測定点とも比較的高濃度を示している。これらの中, 最低は, 風土のD点で全窒素酸化物濃度として23ppb, 最高は, 風下のK点で40.8ppbを与えている。この時刻では, 北東の風が主として吹いているので, NO_xの濃度分布は, 北が低く, 南に高い単調な分布となつて

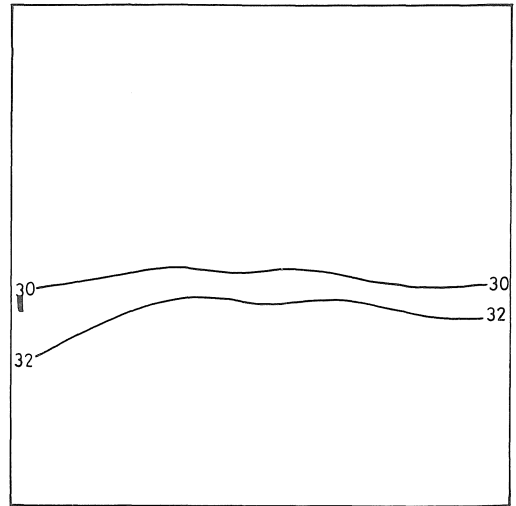


図6 全窒素酸化物濃度分布図(10時~11時)

表5 窒素酸化物濃度測定結果

時刻 項目 測定点	10時~11時			13時~14時			15時30分~16時30分		
	NO濃度 (vol ppb)	NO ₂ 濃度 (vol ppb)	NO _x 濃度 (vol ppb)	NO濃度 (vol ppb)	NO ₂ 濃度 (vol ppb)	NO _x 濃度 (vol ppb)	NO濃度 (vol ppb)	NO ₂ 濃度 (vol ppb)	NO _x 濃度 (vol ppb)
A	13.05	15.14	28.19	5.49	10.82	16.31	5.49	10.58	16.07
B	13.74	13.70	27.44	6.18	6.73	12.91	3.43	8.17	11.60
C	13.05	14.18	27.23	5.15	10.34	15.49	2.40	9.62	12.02
D	13.39	9.62	23.01	6.52	7.62	16.14	4.12	7.45	11.57
E	13.74	15.38	27.12	7.21	11.30	18.51	1.03	6.01	7.04
F	10.65	15.87	26.52	4.46	10.82	15.28	1.03	4.57	5.60
G	15.45	15.87	31.32	6.52	7.45	13.97	3.78	6.25	10.03
H	16.83	18.27	35.10	8.59	12.98	21.57	2.06	5.53	7.59
I	20.95	15.14	36.09	6.87	12.26	19.13	4.12	8.41	12.53
J	20.60	17.31	37.91	7.90	12.74	20.64	3.43	7.93	11.36
K	20.95	19.23	40.81	6.87	11.54	18.41	2.75	4.81	7.56

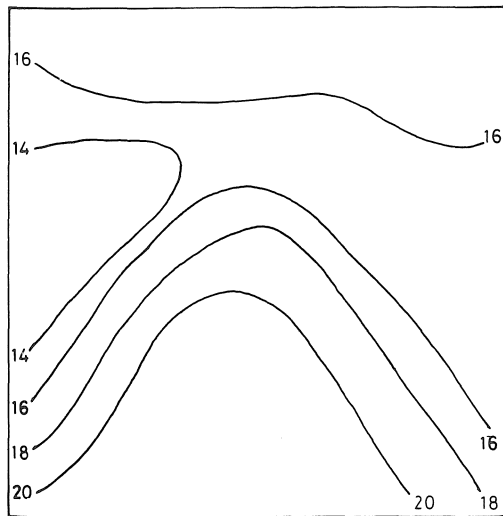


図7 全窒素酸化物濃度分布図(13時~14時)

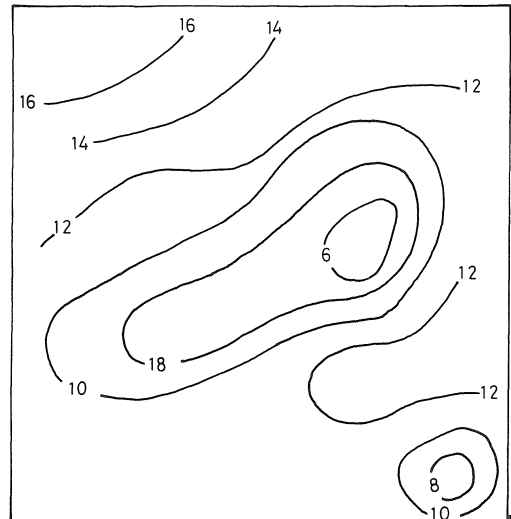


図8 全窒素酸化物濃度分布図(15時30分~16時30分)

いる。工業用団地に大規模な住宅団地があり、対象地域を国道が斜めに通っており、その他群小発生源の存在が複雑に影響している。第2回目の測定では、工業団地南部が比較的高く、全窒素酸化物濃度として20ppbを越える地点がみられるが、それ以外の地点では、15ppb程度の値である。第3回目の測定では、工業団地の中心部で低く、北西部および南西部で比較的高くなっている。

1.3. 大気拡散シミュレーション

一連の研究の目的は、我国において増加するであろう内陸工業団地から発生する大気汚染のより正確な予測と評価を行なうための手法を確立することである。このため、汚染物質の大気中での拡散移動過程をモデル化しその精度を多くの事例研究における実測データと比較することにより検討する必要がある。前報で、複雑な地形に適した大気拡散モデルである。パフモデル（煙流に基づく）の有効性を示した。その詳細は前報に記述したので、ここでは、その概要を述べることにとどめる。流線のパフモデルは、計算対象地域空間をメッシュに区切り、地形、地面粗度を考慮した風（気流）の分布を3次元に取り、煙源から排出された汚染物質がどのような流跡をたどるかを算出し、その流跡線上の仮想煙源からパフモデルに基づいて拡散し、計算対象地域の各メッシュに各バルからの濃度寄与を総和し、着地濃度とする。これらの流線のパフモデルの数値計算には多大な計算時間（大型コンピュータを用いて）を必要とするので、計算対象地域の拡大と年平均汚染濃度の推算には、前報でも述べたようにブルームモデルを使用した。

1.3.1 現状評価

流線のパフモデルを使い工業団地周辺（5km×5km）の二酸化硫黄の濃度分布を推算した結果を図9～11に示す。これは、現地調査時における対象煙源の移動状態をシミュレートしている。図9は最高15ppbの濃度が算出されている。図10では10ppbと15ppbが算出され、図11に

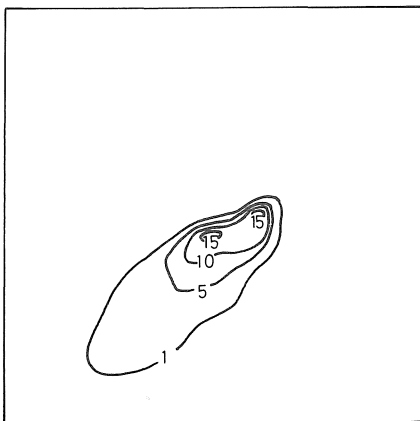


図9 拡散計算による二酸化硫黄濃度分布図 現状1

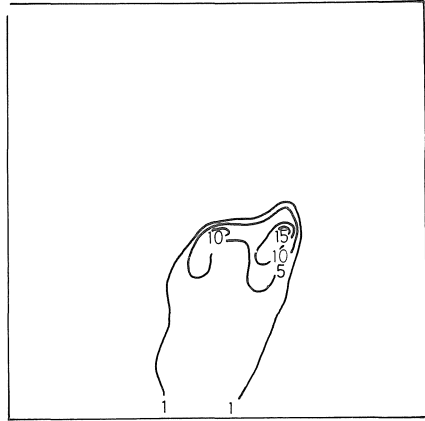


図10 拡散計算による二酸化硫黄濃度分布図 現状2

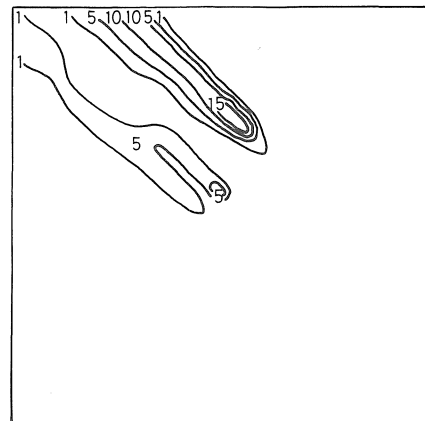


図11 拡散計算による二酸化硫黄濃度分布図 現状3

おいては、5 ppbと15ppbである。図3、4に示す濃度分布には、工業団地北部に、約15ppbの濃度が実測されている。シミュレーションによる分布図では、出現しておらず、北部に存在する市街地等からの寄与であろう。その点を考慮してみるとかなりよい再現性を持っていると考える。図11と図5とは、あまり良く再現されていないが、当工業団地がかなり地形的に複雑な地域にあり、近隣の小煙源の稼働や国道の交通量等から考え不一致しているものとする。

1.3.2 将来汚染予測

将来汚染の予測には、気象要素が煙の拡散にとって最も悪くなるであろう状況で、出現頻度の高い気象条件を用いる。そして、当工業団地とその周辺へ進出するであ

表6 将来予測気象要素

	風 向	風 速	大気安定度
C a c e I	N E	1.0 m / S	A ~ B
C a c e II	S W	1.5 m / S	B
C a c e III	E N E	1.5 m / S	B

ろう企業が、最大稼動した場合の煙源データをシミュレーションの入力条件とした対象地域の風向は、谷筋に沿った北東風と南西風の出現が多い。風速については、2.0 m/s 以下の弱風が多く高濃度出現が予測されるので表6に表わす3つのケースについてシミュレーションを行なう。その結果をそれぞれ図12, 13, 14に示す。最大汚染

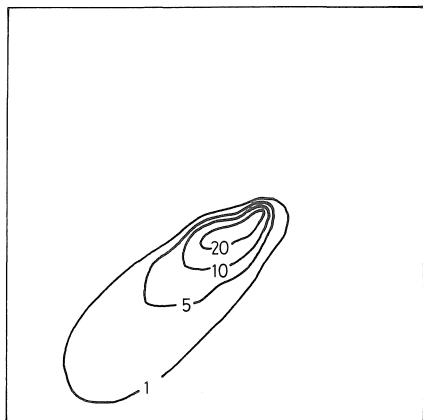


図12 拡散計算による二酸化硫黄濃度分布図 将来1

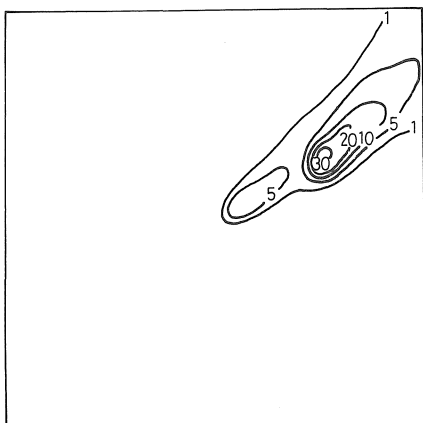


図13 拡散計算による二酸化硫黄濃度分布図 将来2

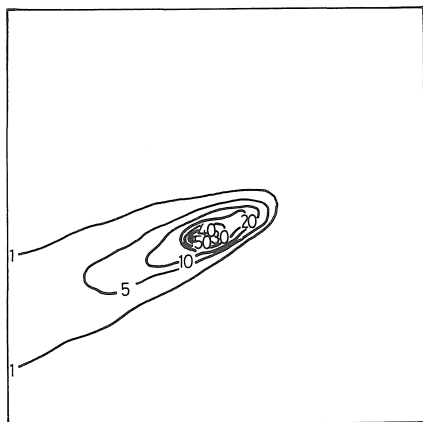


図14 拡散計算による二酸化硫黄濃度分布図 将来3

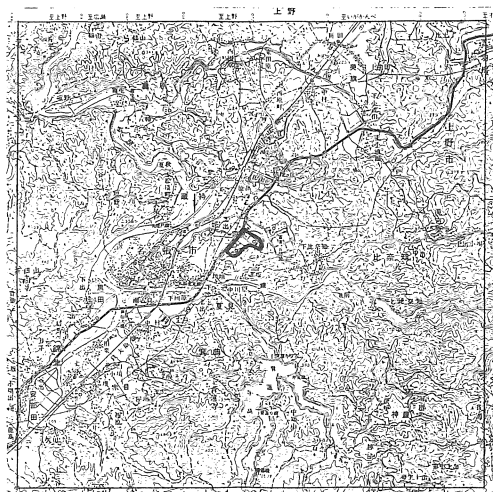
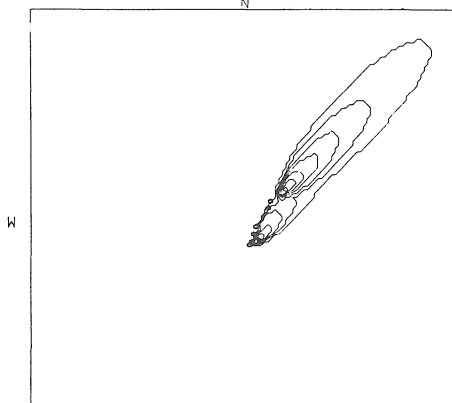


図15 工業団地周辺図 (10km×10km)

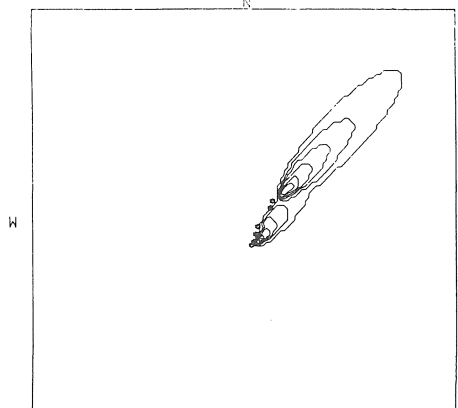
WD 225.0 WS 2.0 ST 2.0



1.00	2.50	5.00	10.00	20.00	PPB
96.370	3.037	1.222	0.643	0.261	KM ²
30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	PPB
0.099	0.042	0.014	0.000	0.000	KM ²

図16 プルームモデルによる濃度分布図 1

WD 225.0 WS 3.0 ST 2.0



1.00	2.50	5.00	10.00	20.00	PPB
97.994	2.196	0.812	0.395	0.191	KM ²
30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	PPB
0.056	0.042	0.000	0.000	0.000	KM ²

図17 プルームモデルによる濃度分布図 2

濃度は、ケース I では20ppb、ケース II では30ppb、ケース III では50ppb に達している。二酸化硫黄の環境基準値100ppb(1時間値)と比較してもかなりの低濃度であり、このような条加件の出現頻度がかならずしも多くないことより将来の汚染悪化が問題にならないであろう。次にシミュレーション対象地域を広げ東西10km、南北15kmとしてブルームモデルによる風速2, 3 m/s の場合の濃度分布。図16~19に示す。図15は、対象地域の地図図であり中心に工業団地を太線でかこんである。この図のわくとシミュレーション結果の濃度分布図は同枠である。そして、図20に対象地域の年平均二酸化硫黄の濃度分布を示す。これは、年間風配図をもとにしてブルームモデルで

予測した結果で最高10ppb が推定されるが、汚染のパターンは北東から南東にのびており谷間に広がっている。

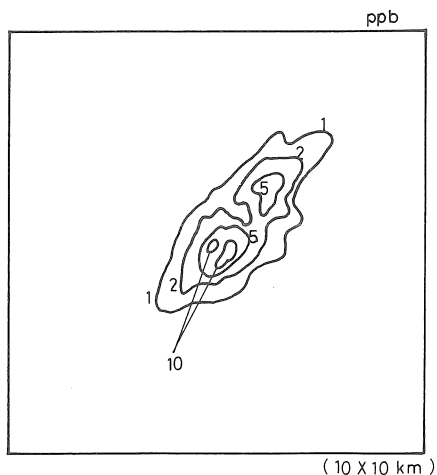


図20 年平均二酸化硫黄濃度分布図

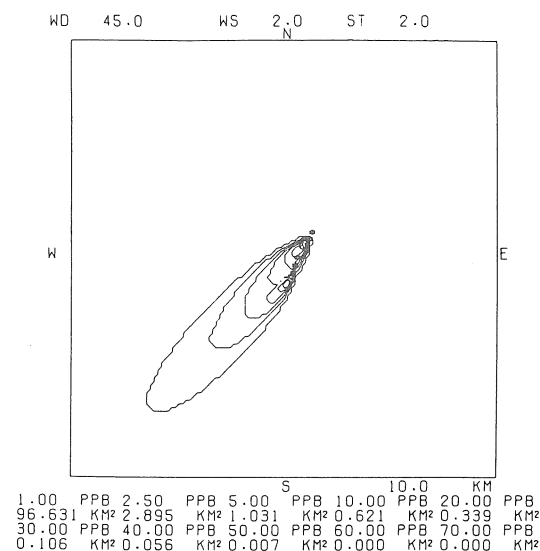


図18 プルームモデルによる濃度分布図 3

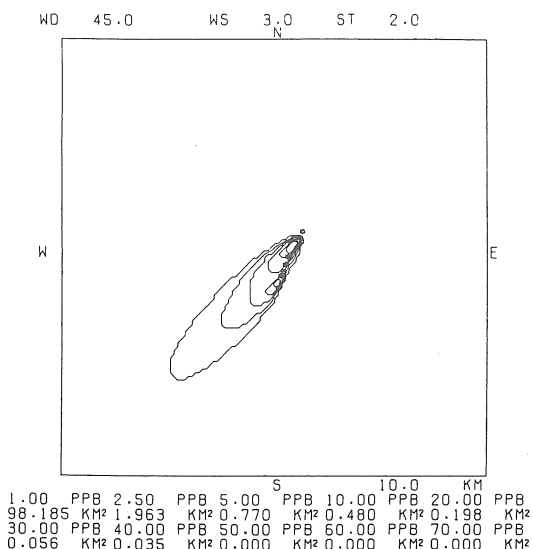


図19 プルームモデルによる濃度分布図 4

結論

内陸工業団地から排出される二酸化硫黄と窒素酸化物の現状の実測と二酸化硫黄の濃度分布を大気拡散シミュレーションにより求め、現状の把握と将来予測を行なった。ただし、窒素酸化物は、その大気中における複雑な化学反応があり、そのメカニズムが十分把握できていない現状であり、今後その解析が必要である。また、線形計画法を用いた削減計画も当工業団地では十分な公害防止対策がそなわっているので実施するまでもないと考えた。

引用文献

- 1) 工藤市兵衛ら：愛知工業大学研究報告No.12, P 77 (1977)
- 2) 工藤市兵衛ら：愛知工業大学研究報告No.13, P 117 (1978)
- 3) 工業市兵衛ら：愛知工業大学研究報告No.13, P 127 (1978)
- 4) 環境庁大気保全局：総量規制マニュアル、公害研究対策センター (1975)
- 5) 名古屋通産局：内陸工業開発総合事前調査報告書昭和53年度 (1978)

謝辞

大気拡散シミュレーションおよび処理には、名古屋大学・大型計算機センター(FACOM M200)と京都大学・大型計算機センター(FACOM M200)を使用いたしました。ここで深く感謝の意を表します。

(受理 昭和56年1月16日)