

第2章 SO₂環境濃度測定データの解析

シンガポール共和国におけるSO₂環境濃度の空間的、時間的変動の特徴を明らかにすること、及び気象条件とSO₂環境濃度の関係を把握すること、を目的として現地調査で得られたSO₂環境濃度の測定データと気象の測定データを用いて次のような解析を行った。これらの解析結果はSO₂予測シミュレーションのモデルの構築及び整合性のチェックにも役立てられる。

2-1 SO₂の年間・S系モンスーン・N系モンスーン別平均濃度

気象条件は第1章でもみたように季節の時間帯によって大きく異なっている。また、発生源の活動についても季節の時間帯によって変動しているものと考えられる。SO₂環境濃度の季節や時間帯の変動は、このような気象や発生源の変動によってもたらされていると考えられる。

表N-2-1は各測定局におけるSO₂環境濃度の季・時間帯別平均値を示したものである。これをみると昼の濃度は夜間に比較して2倍弱高くなっている。これは、昼と夜の風向や大気安定度の差異及び発生源活動の差異によっているものと考えられる。S系モンスーンとN系モンスーンについてみるとMP3, MP4においてS系モンスーンの平均濃度が高くなっているが、これは、S系モンスーンはN系モンスーンに比較し南寄の風の出現頻度が多く、発生源とこのMP3, MP4の位置関係から濃度関係から濃度が高くなっているものと考えられる。

表N-2-1 各測定局におけるSO₂環境濃度の季別・時間帯別平均値

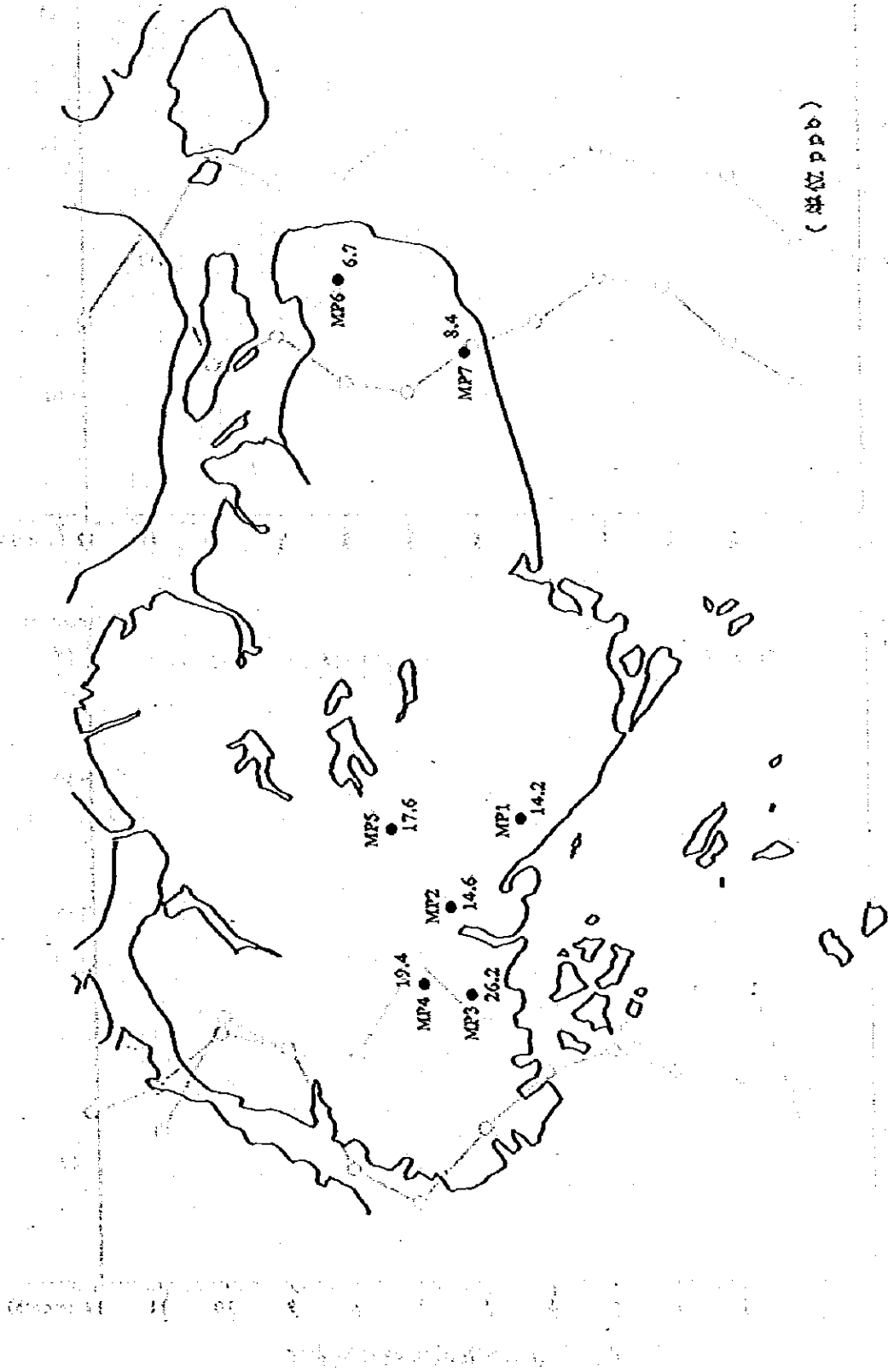
局名	S系モンスーン(4~10月)			N系モンスーン(11~3月)			年間		
	昼	夜	通日	昼	夜	通日	昼	夜	通日
(1) N.U.S.	17.5	9.4	13.1	20.7	11.7	15.8	18.8	10.4	14.2
(2) JTC HALL	18.0	11.1	14.3	18.4	12.1	15.0	18.2	11.5	14.6
(3) S.L.U.	39.3	18.5	28.0	28.4	19.8	23.7	34.8	19.0	26.2
(4) BOON LAY APARTMENT	34.1	12.8	22.3	17.8	12.9	15.0	27.8	12.8	19.4
(5) BUKIT TEMAH FIRE STATION	26.9	10.3	17.9	23.6	11.8	17.2	25.5	10.9	17.6
(6) CHANGI AIRPORT	7.7	6.0	6.8	8.7	4.9	6.6	8.1	5.5	6.7
(7) BEDOK POLICE STATION	11.3	7.6	9.3	9.6	5.2	7.2	10.6	6.6	8.4

SO₂環境濃度の年平均値の地域分布を図N-2-1に示すが、これによると Juroug 地区周辺における環境濃度が高く、Changi 地区周辺では比較的低くなっている。

2-2 SO₂濃度の月別変化

各測定局のSO₂濃度の月別変化を図N-2-2(1)~(4)に示す。

この図をみると、MP3、MP4以外の局では、3月から5月と、9月から11月の2期間にピークがある二山型のパターンがみられる。MP3、MP4では、2月から10月まで濃度が高く、11月から1月まで濃度が低い。MP3、MP4が他の測定局と異なっているのは、MP3、MP4が最も西側に位置している関係でSE~Sの風で主要な発生源の風下になるのに対し、その他の測定局ではSSW~WSWで主要な発生源の風下になることが原因と考えられる。



(単位ppb)

図N-2-1 SO₂環境濃度の地域分布(年平均値)

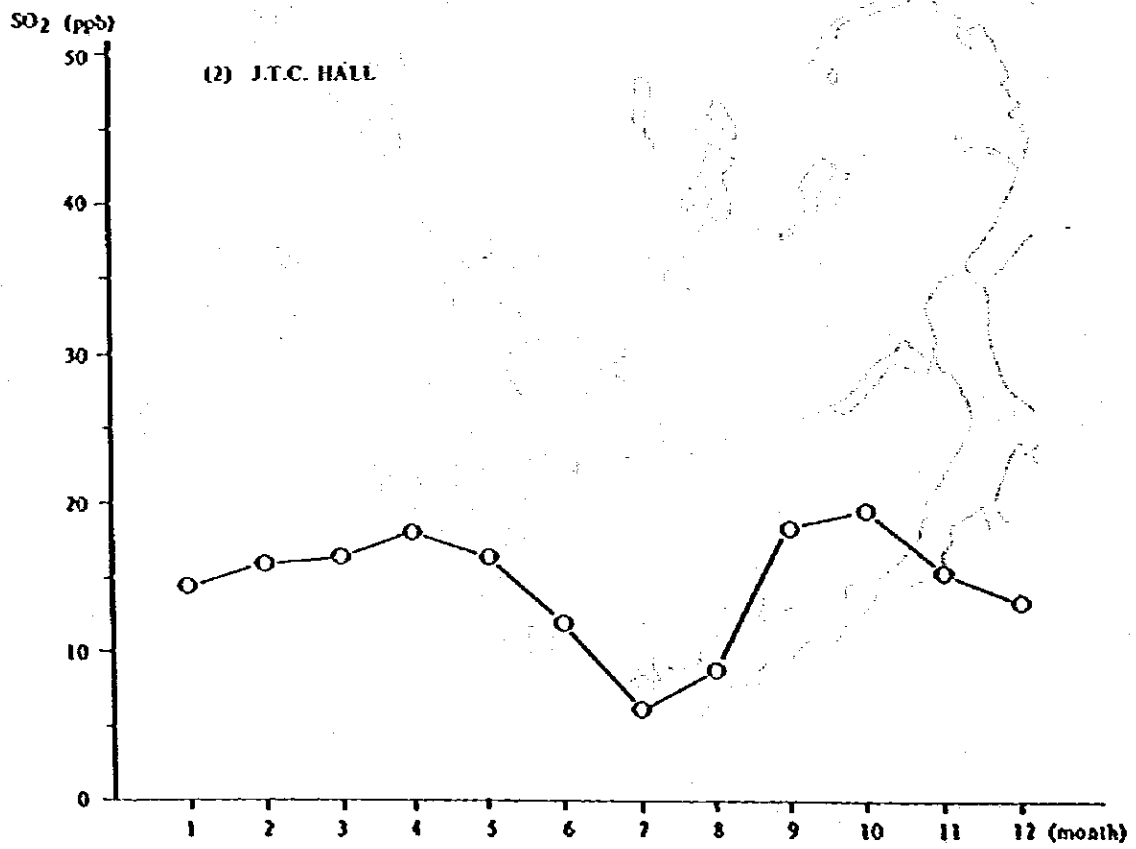
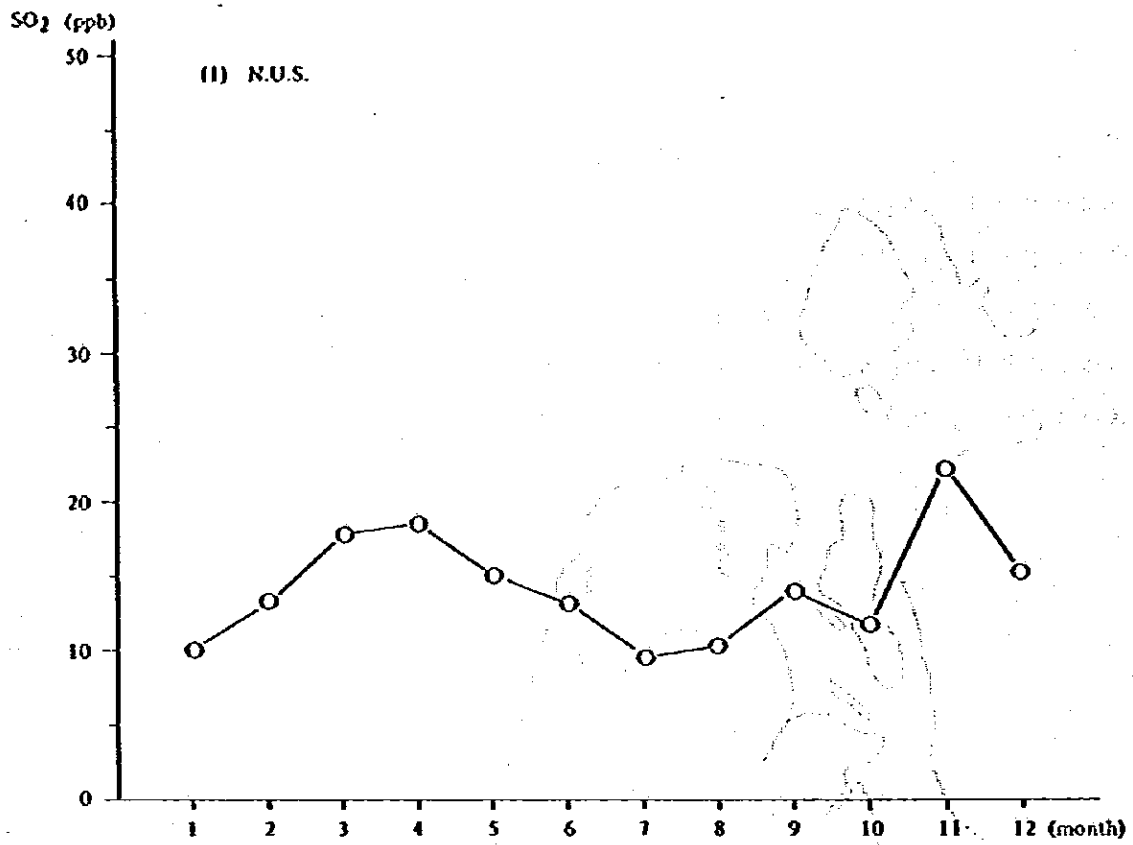
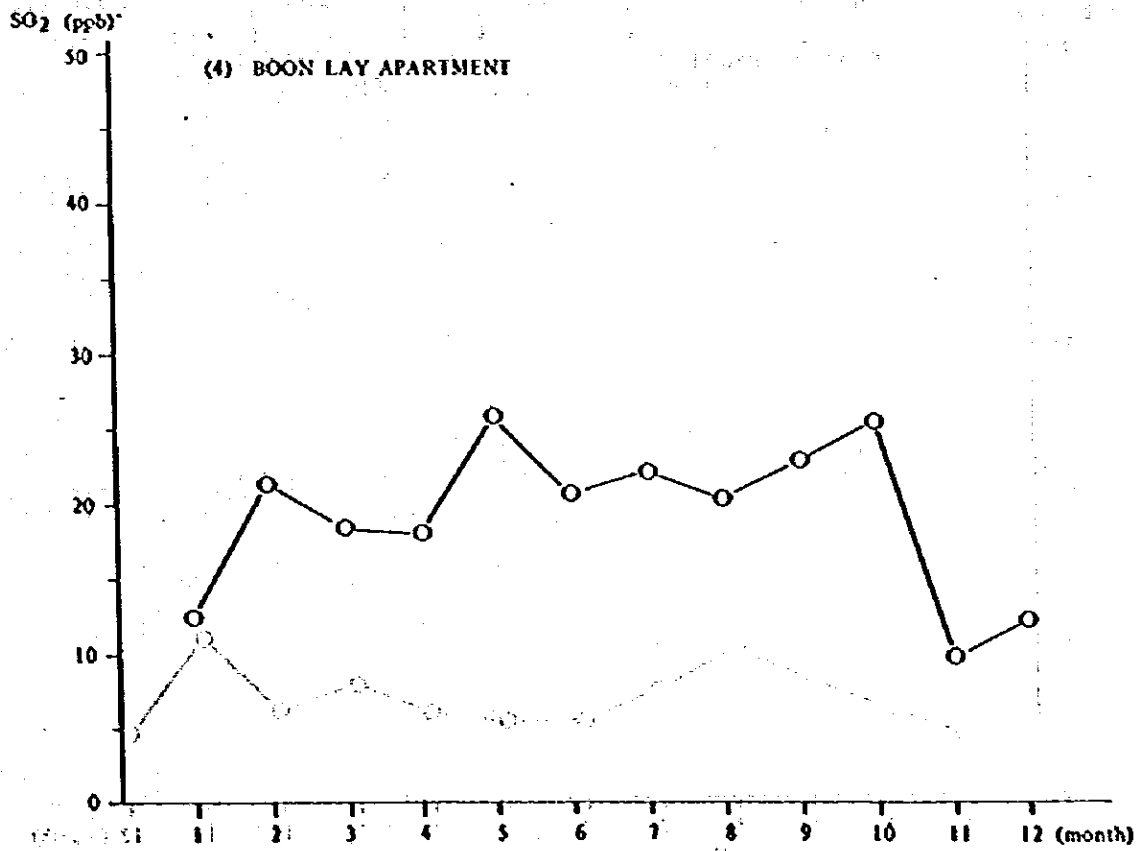
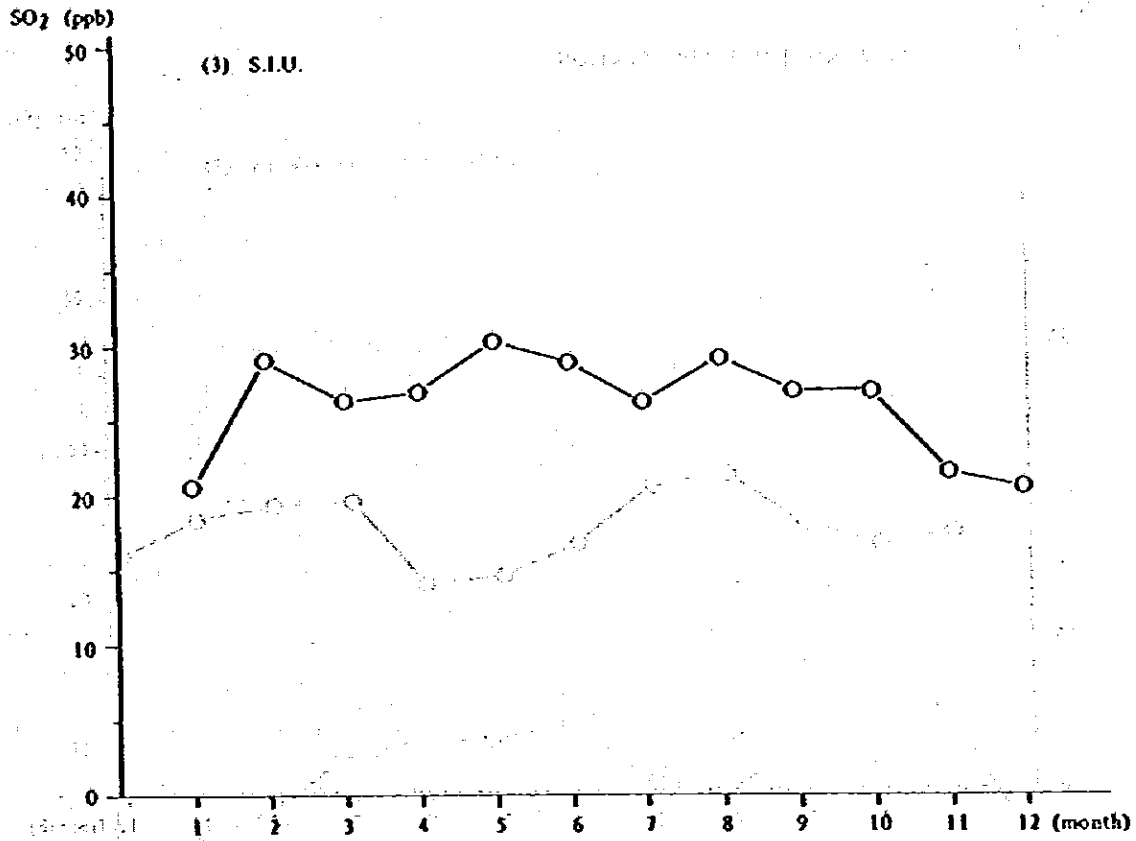


図 N-2-2 (1) SO₂ 濃度の月別変化



図N-2-2(2) SO₂濃度の月別変化

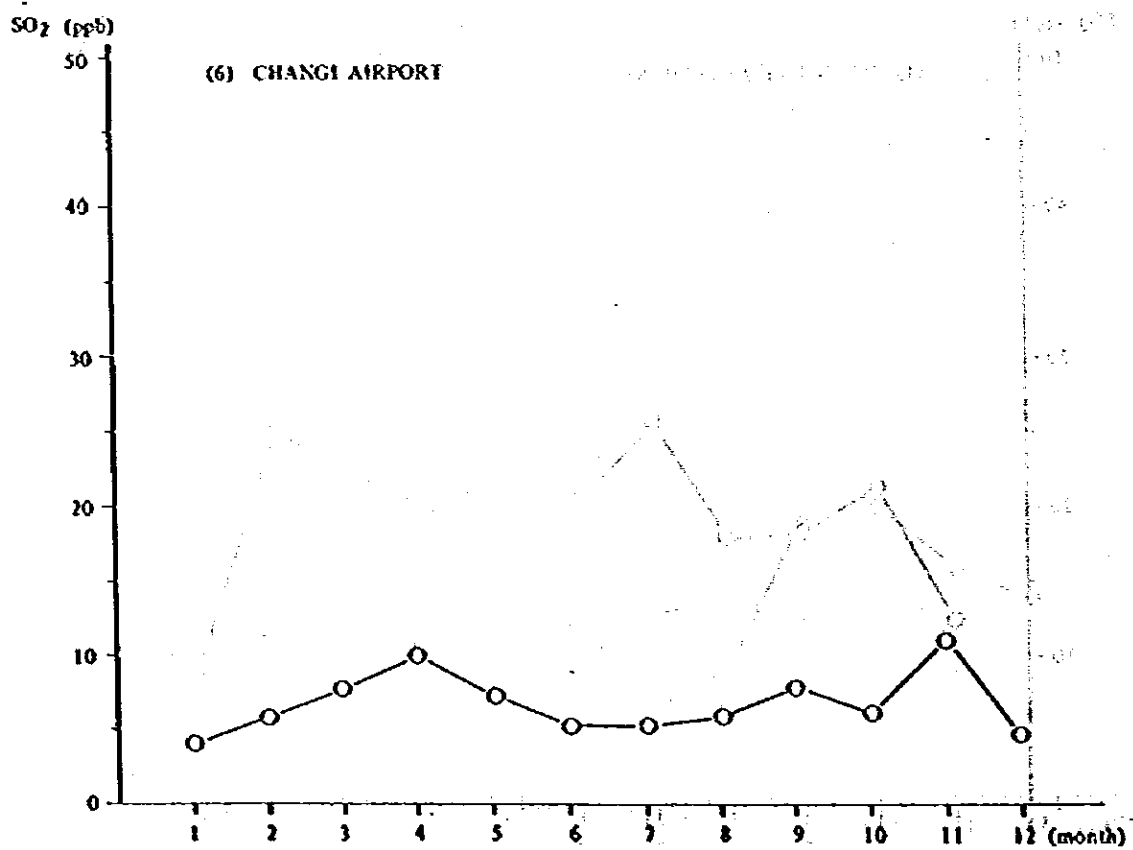
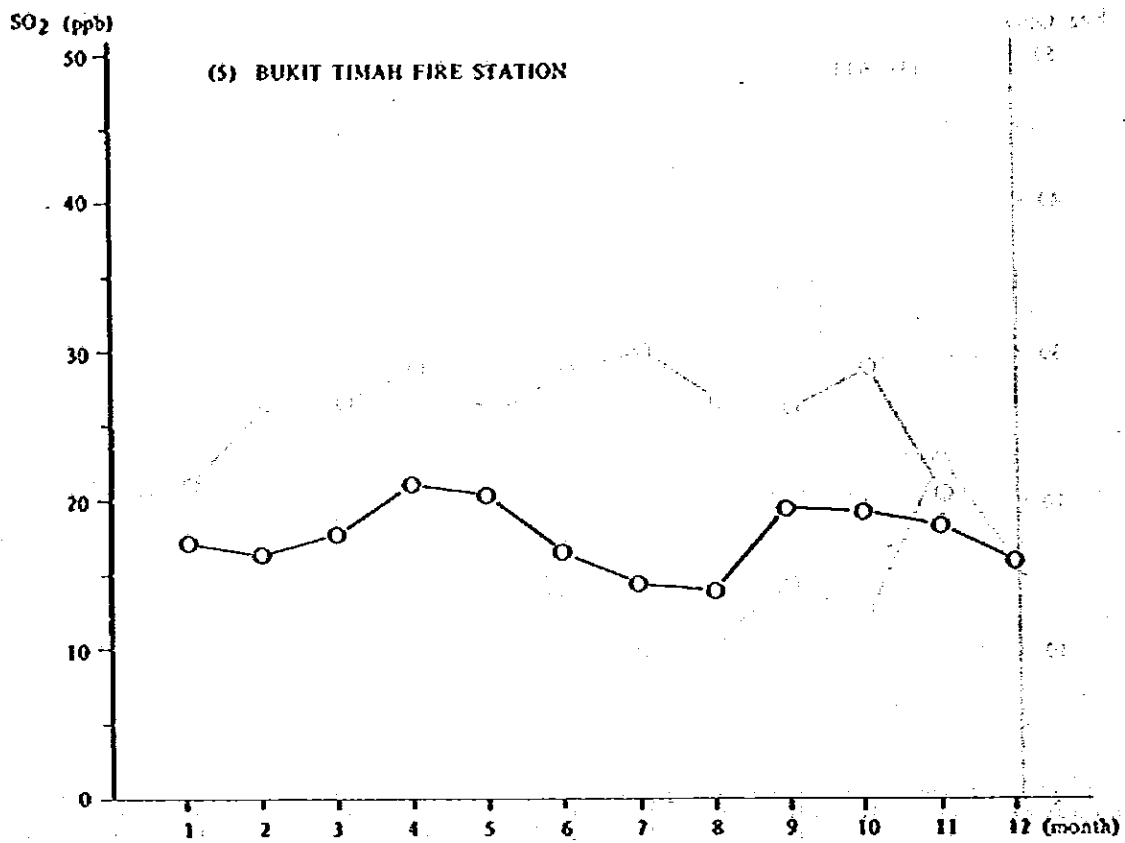
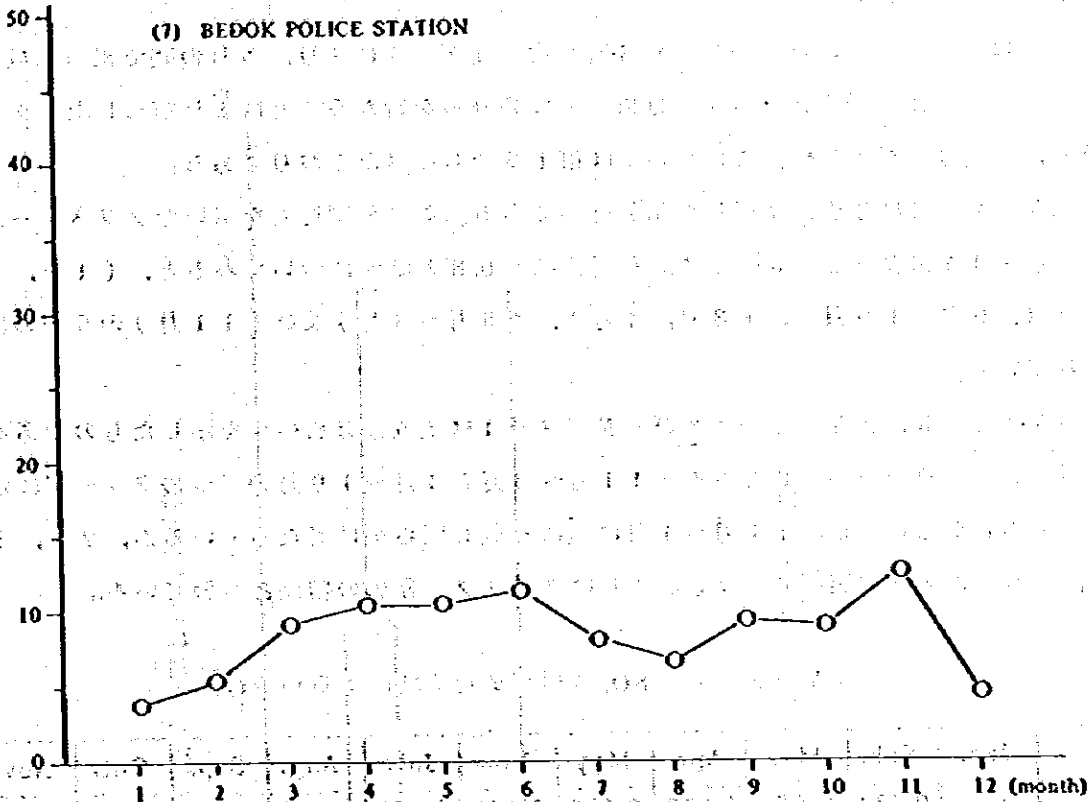


図 N-2-2(3) SO₂ 濃度の月別変化

SO₂ (ppb)

(7) BEDOK POLICE STATION



図N-2-2(4) SO₂濃度の月別変化

次に、SO₂環境濃度の面から季・時間帯の区分を検討するため、SO₂濃度により各月についての類似性を解析した。

これは、各測定局の月別の時刻別SO₂平均濃度データにより、各月の間で相関係数を計算し、その相関係数に基づくクラスター分析、主成分分析を行なうことにより解析した。クラスター分析、主成分分析の分析方法については第1章でも述べたとおりである。

表N-2-2は分析に使用した相関行列である。この相関行列を用いたクラスター分析結果（樹状図）を図N-2-3に示す。相関係数が0.8の断面についてみると、（1月、12月）、（2月、9月、10月）、（3月、4月）、（5月～8月）及び（11月）の5つの群に分類されている。

表N-2-3、表N-2-4及び図N-2-4は主成分分析結果を示したものである。第2主成分の因子負荷量の正負でみると11月～3月と4月～10月の二つのグループに分類できることがわかる。但し、11月～1月は他に比較し明らかに異なっているが、2月、3月は4月、9月との区別が明瞭ではない。これはクラスター分析の結果とも似ている。

表N-2-2 SO₂時刻別平均濃度による相関行列

月	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Jan.		0.724	0.668	0.583	0.517	0.491	0.452	0.446	0.615	0.638	0.547	0.841
Feb.	0.724		0.871	0.740	0.812	0.790	0.822	0.725	0.874	0.855	0.494	0.798
Mar.	0.668	0.871		0.901	0.836	0.844	0.794	0.774	0.883	0.831	0.708	0.826
Apr.	0.583	0.740	0.901		0.870	0.866	0.768	0.812	0.866	0.843	0.641	0.697
May	0.517	0.812	0.836	0.870		0.922	0.904	0.899	0.886	0.897	0.434	0.602
June	0.491	0.790	0.844	0.866	0.922		0.937	0.913	0.859	0.834	0.470	0.604
July	0.452	0.822	0.794	0.768	0.904	0.937		0.901	0.852	0.838	0.325	0.556
Aug.	0.446	0.725	0.774	0.812	0.899	0.913	0.901		0.796	0.809	0.365	0.530
Sep.	0.615	0.874	0.883	0.866	0.886	0.859	0.852	0.796		0.930	0.493	0.701
Oct.	0.638	0.855	0.831	0.843	0.897	0.834	0.838	0.809	0.930		0.386	0.658
Nov.	0.547	0.494	0.708	0.641	0.434	0.470	0.325	0.365	0.493	0.386		0.746
Dec.	0.841	0.798	0.826	0.697	0.602	0.604	0.556	0.530	0.701	0.658	0.746	

クラスター間の距離より換算した相関係数

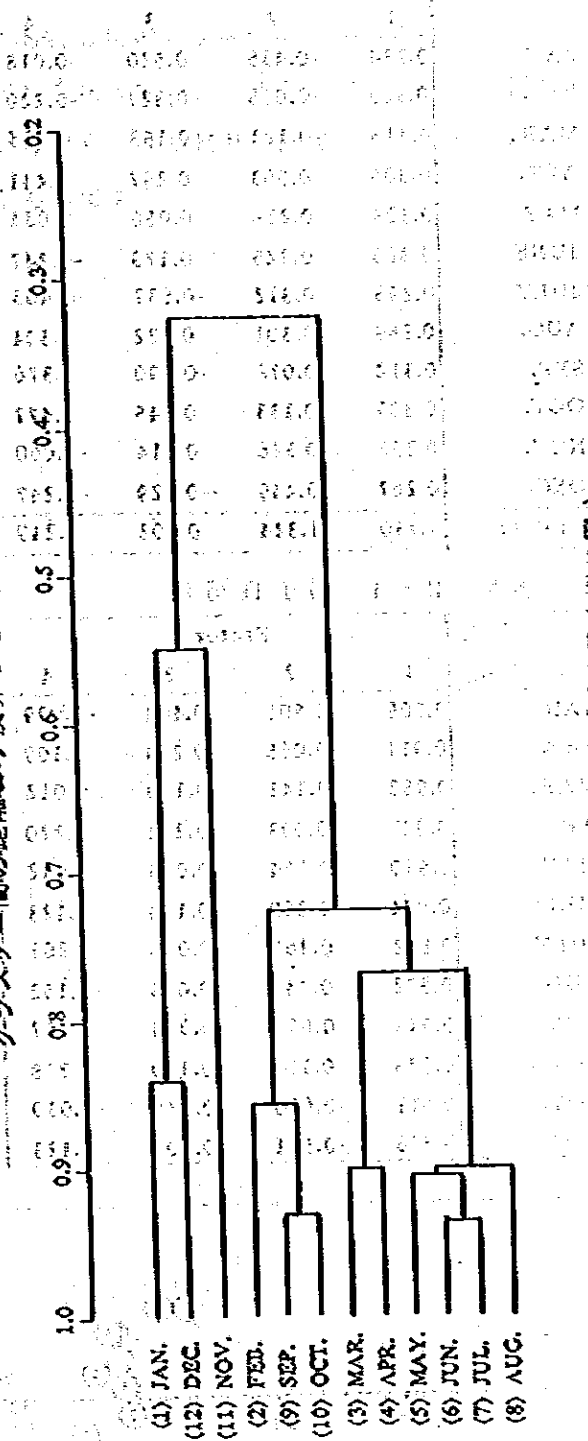


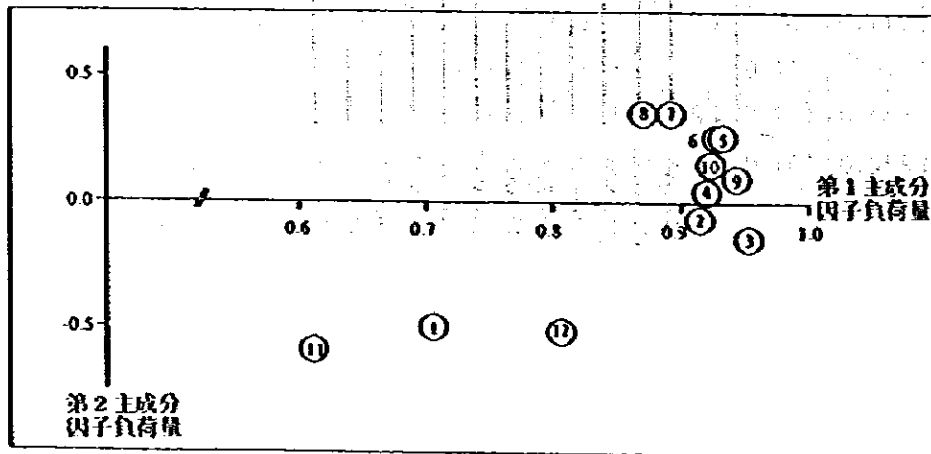
図 V-2-3 クラスター分析結果 (樹状図)

表N-2-3 固有ベクトル及び固有値

主成分	Factor			
	1	2	3	4
JAN.	0.234	-0.436	-0.520	-0.018
FEB.	0.303	-0.056	-0.327	-0.220
MAR.	0.315	-0.121	0.153	0.024
APR.	0.305	0.003	0.297	0.441
MAY	0.308	0.228	0.056	0.084
JUNE	0.306	0.225	0.173	-0.247
JULY	0.295	0.312	-0.037	-0.403
AUG.	0.289	0.301	0.122	-0.304
SEP.	0.312	0.078	-0.090	0.376
OCT.	0.305	0.133	-0.245	0.477
NOV.	0.202	-0.526	0.614	-0.060
DEC.	0.267	-0.449	-0.129	-0.247
Eigen values	9.130	1.344	0.602	0.249

表N-2-4 因子負荷量

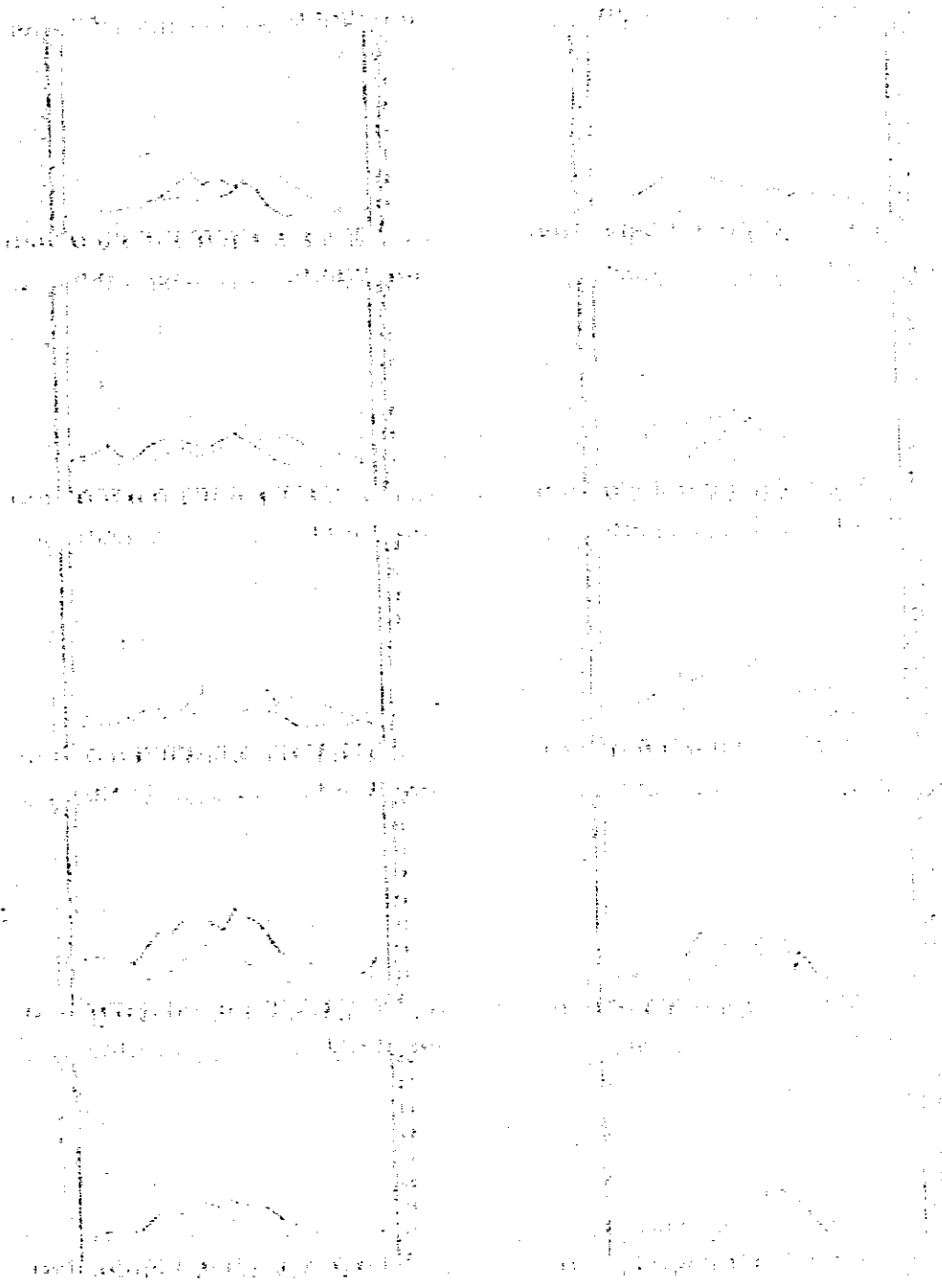
主成分	Factor			
	1	2	3	4
JAN.	0.706	-0.506	-0.404	-0.009
FEB.	0.914	-0.065	-0.254	-0.109
MAR.	0.952	-0.141	0.119	0.012
APR.	0.922	0.003	0.231	0.220
MAY	0.930	0.264	0.043	0.042
JUNE	0.924	0.260	0.134	-0.123
JULY	0.892	0.361	-0.028	-0.201
AUG.	0.872	0.348	0.095	-0.152
SEP.	0.943	0.091	-0.070	0.187
OCT.	0.923	0.154	-0.190	0.238
NOV.	0.611	-0.610	0.476	-0.030
DEC.	0.806	-0.521	-0.100	0.123

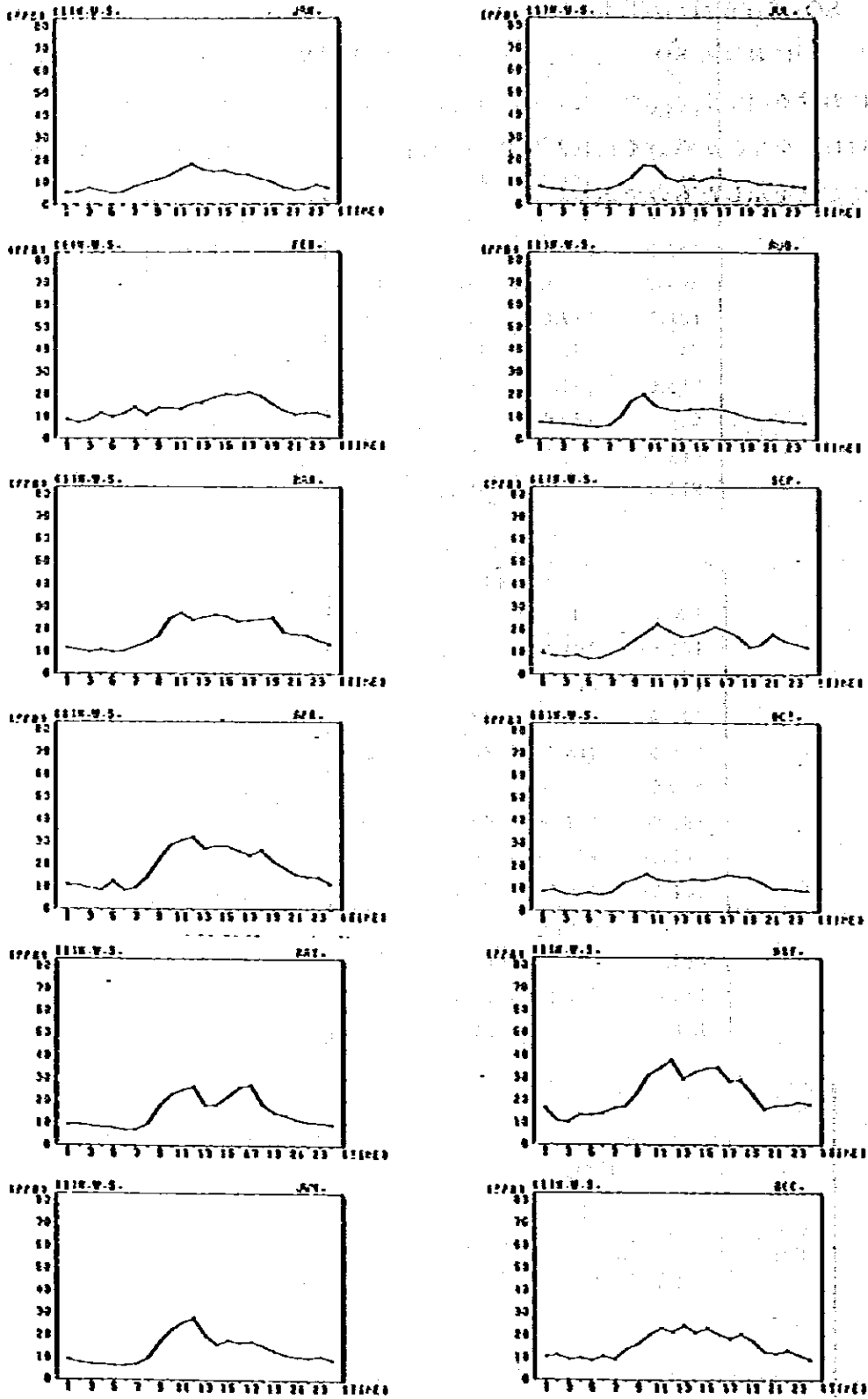


図N-2-4 第1主成分と第2主成分の因子負荷量の関係

2-3 SO₂濃度の時刻別変化

各測定局におけるSO₂濃度の月別・時刻別変化を図N-2-5(1)~(7)に示す。各測定局とも昼間における濃度が高くなっている。また、発生源に近いMP1~MP5の時刻変動は大きいのに対し、発生源から遠く離れたMP6, MP7の時刻変動は小さい。図N-2-6は年間の時刻別変化を示したものである。





図N-2-5(i) SO₂濃度の月別・時刻別変化

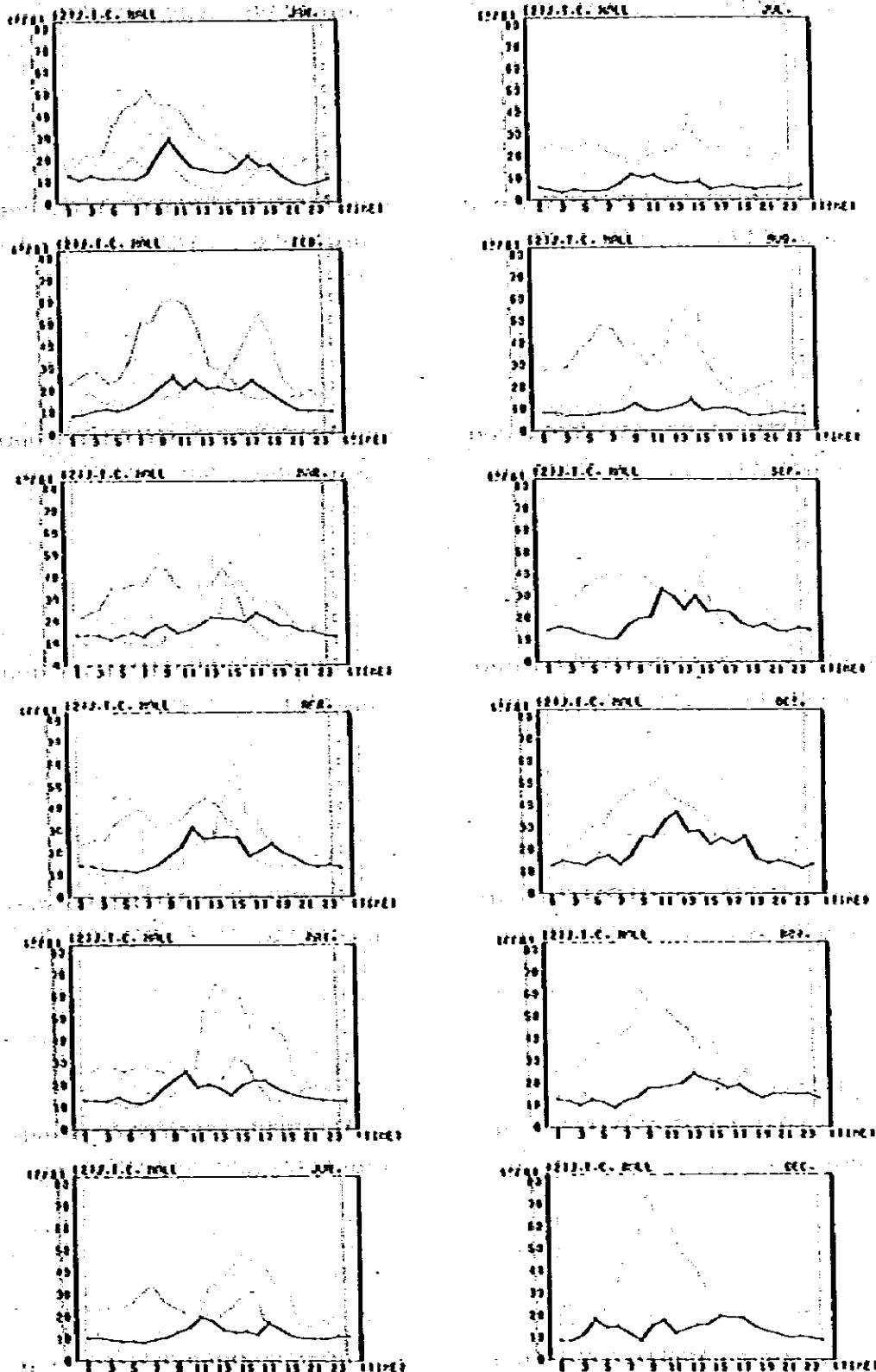
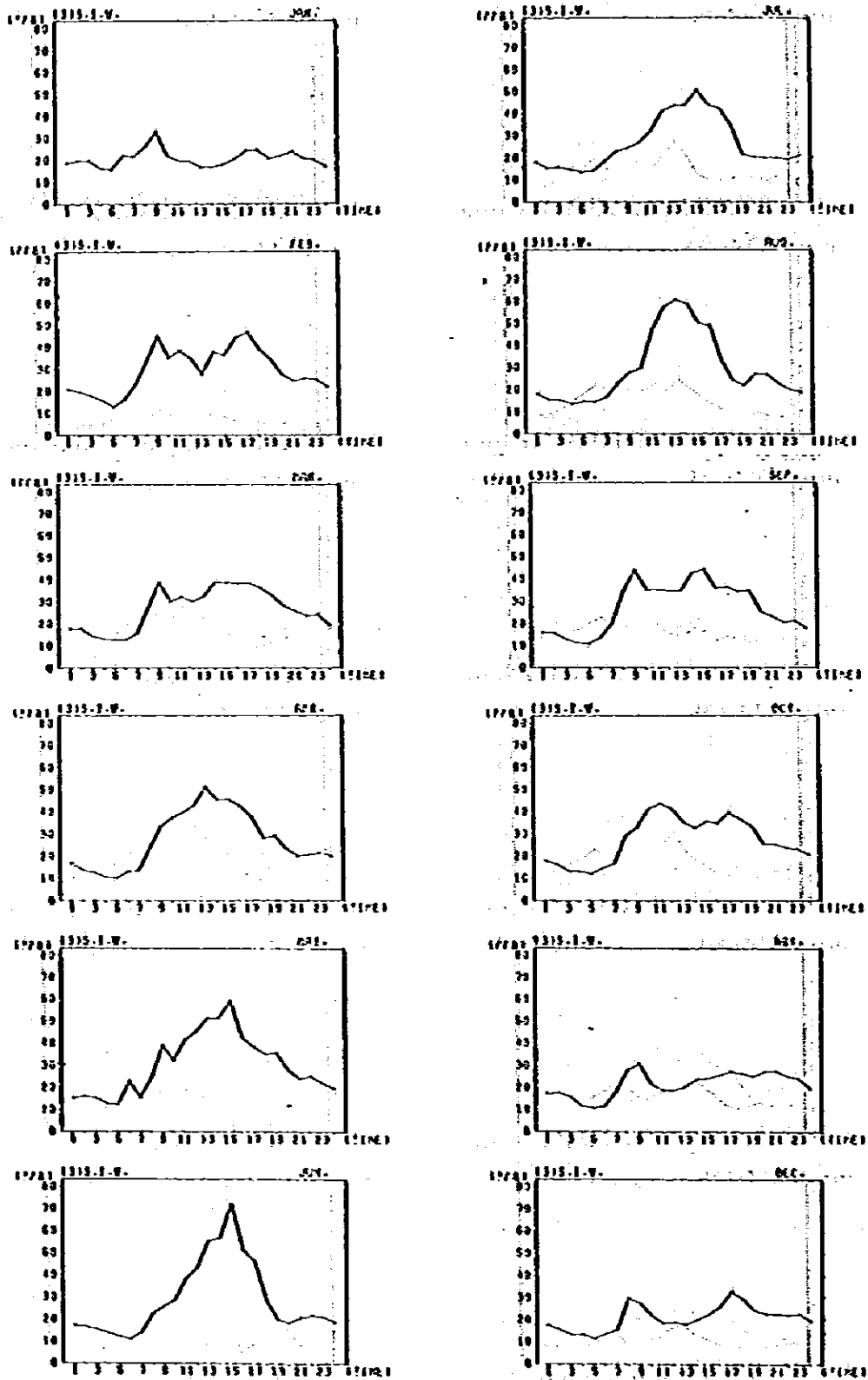


図 N - 2 - 5 (2) SO₂ 濃度の月別・時刻別変化



図N-2-5(3) SO₂濃度の月別・時刻別変化

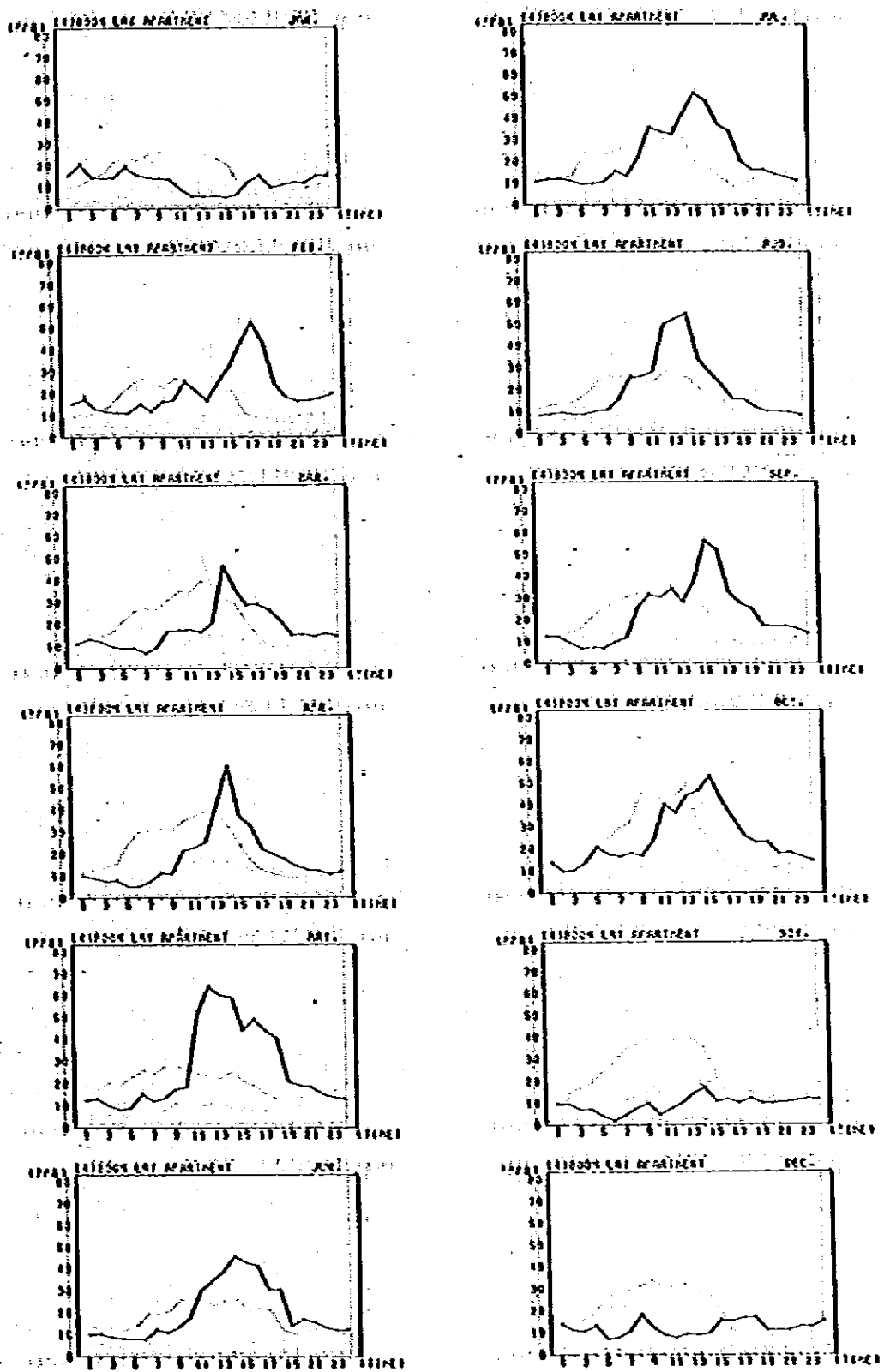


図 N - 2 - 5 (4) SO₂ 濃度の月別・時刻別変化

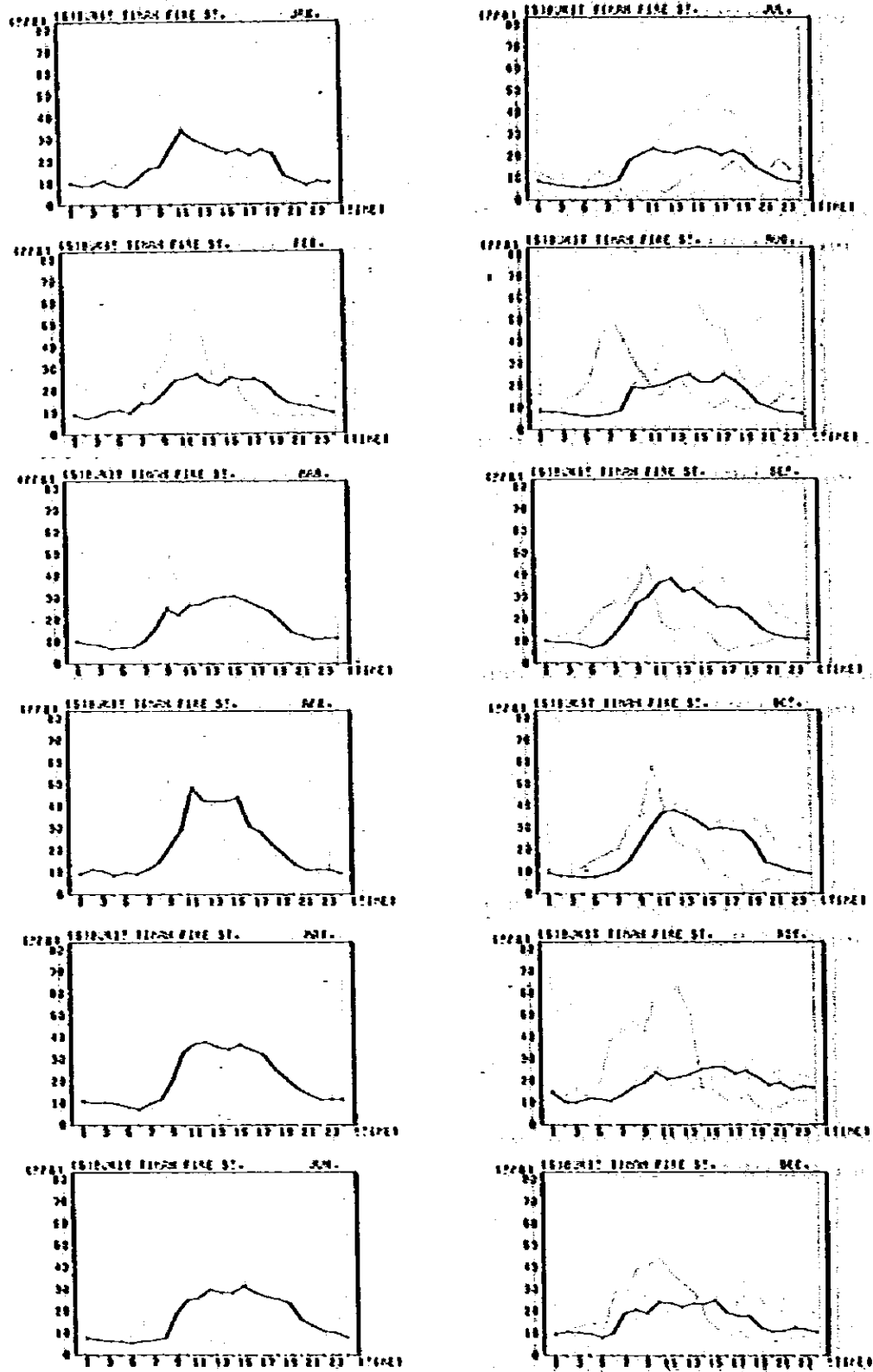
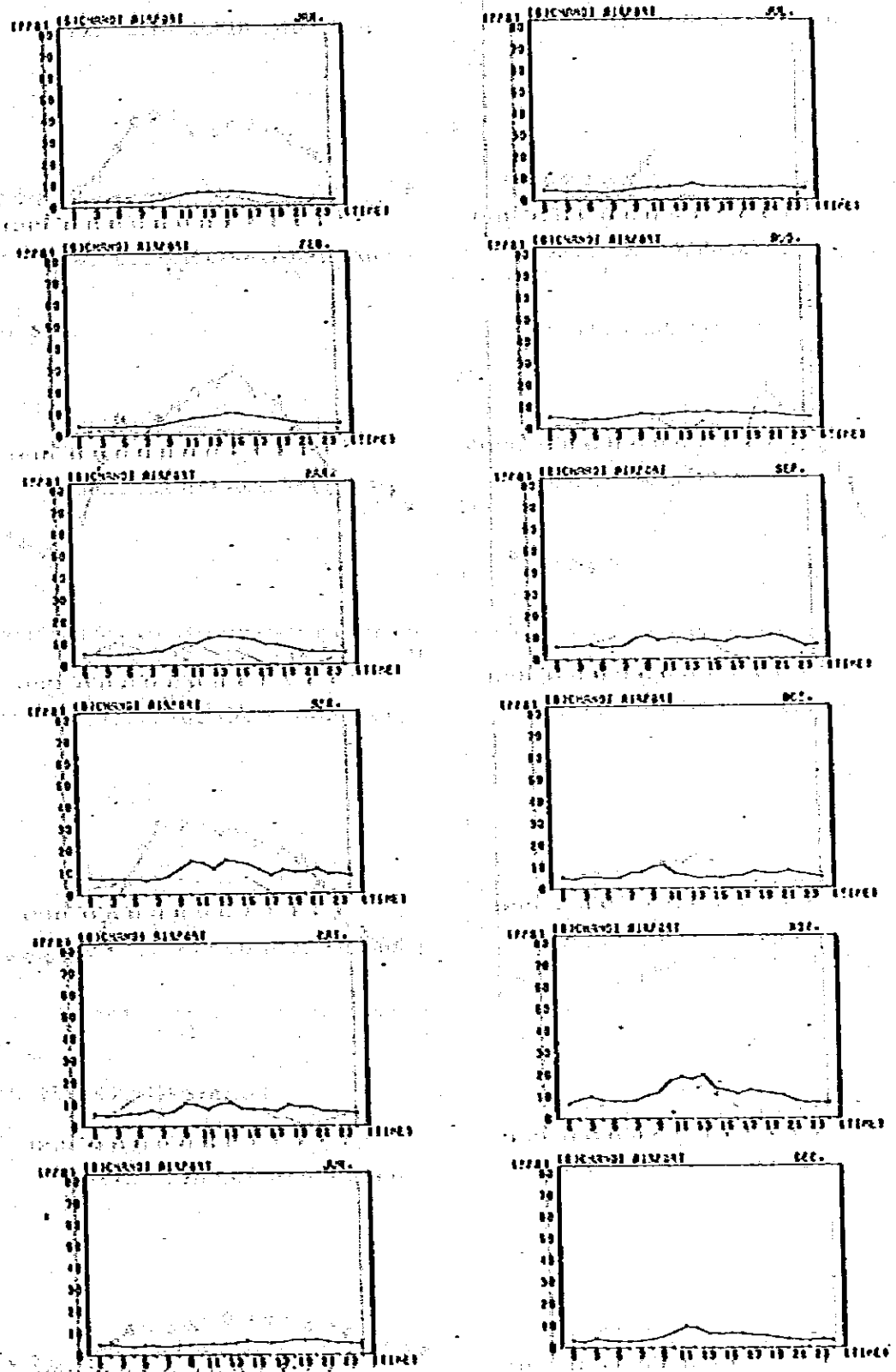
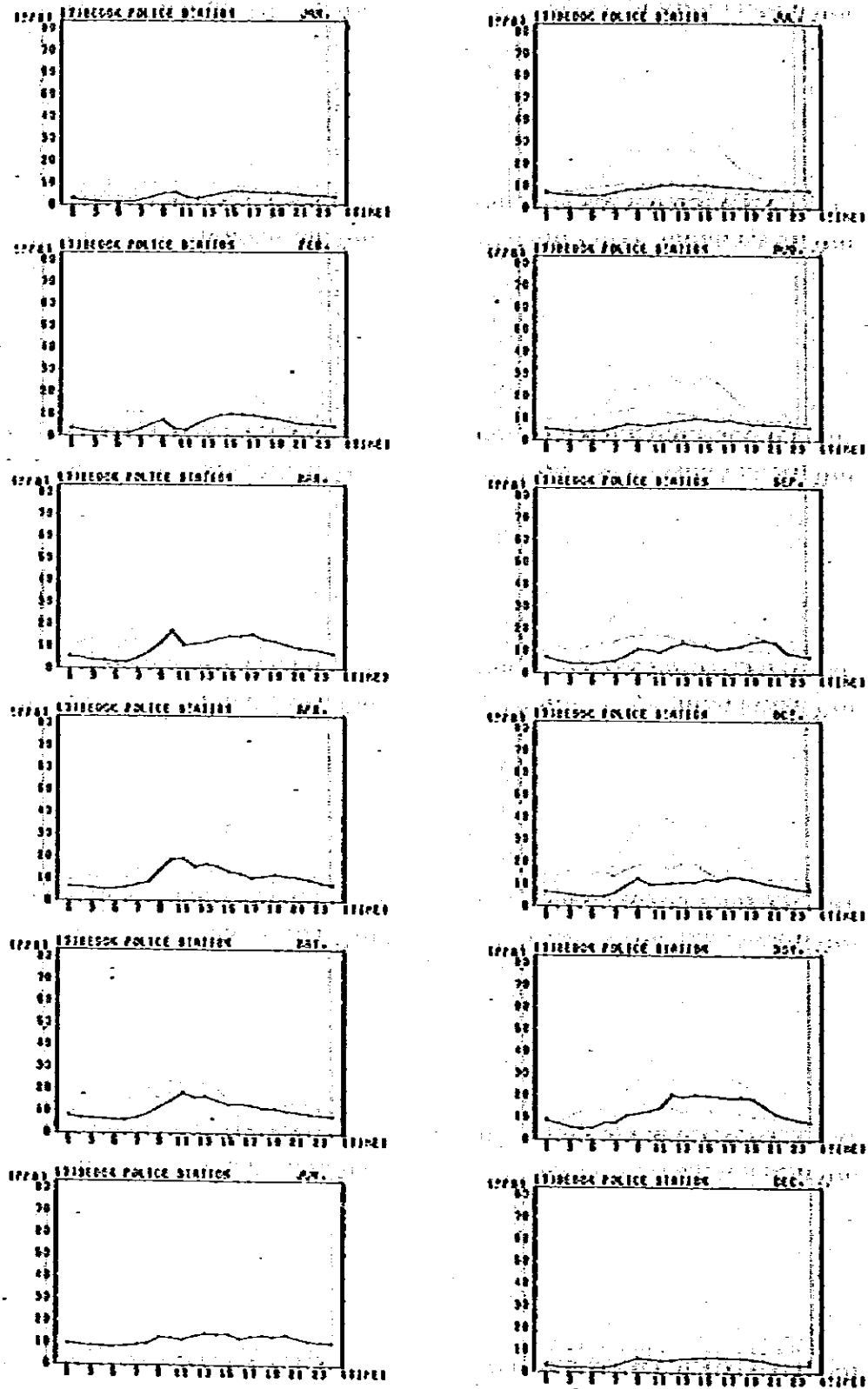


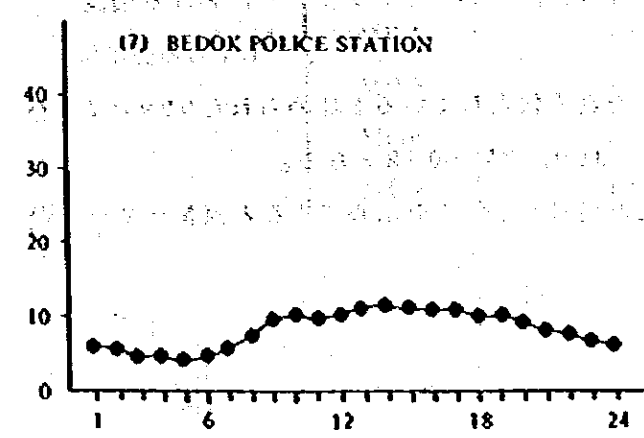
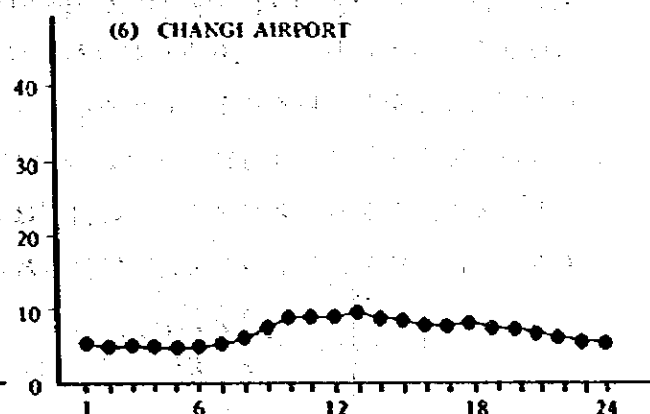
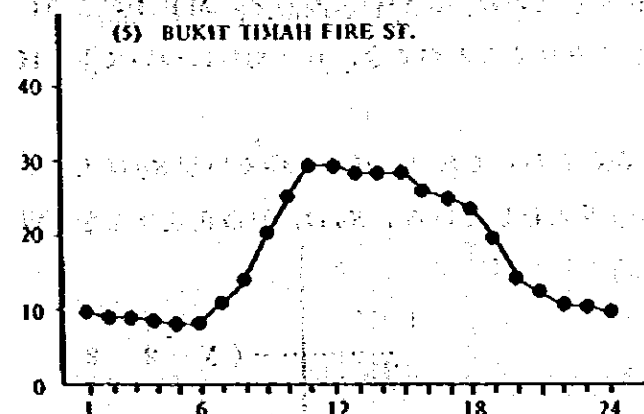
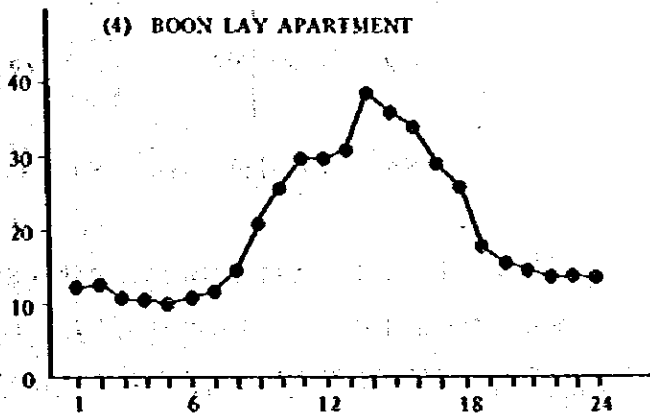
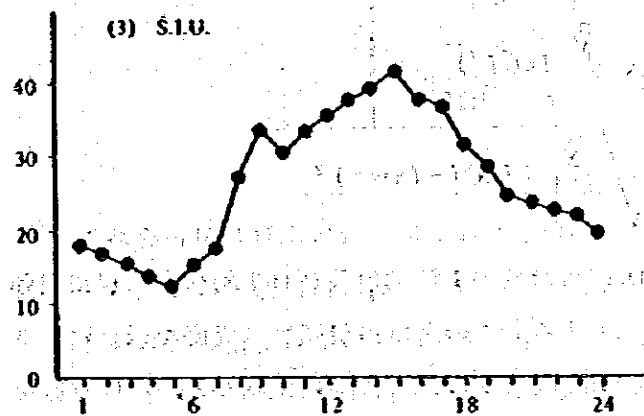
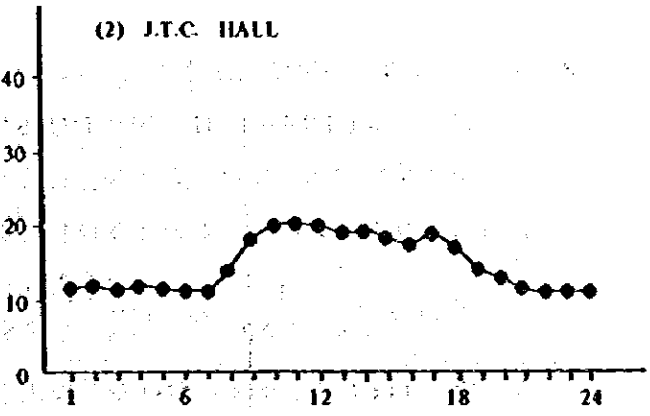
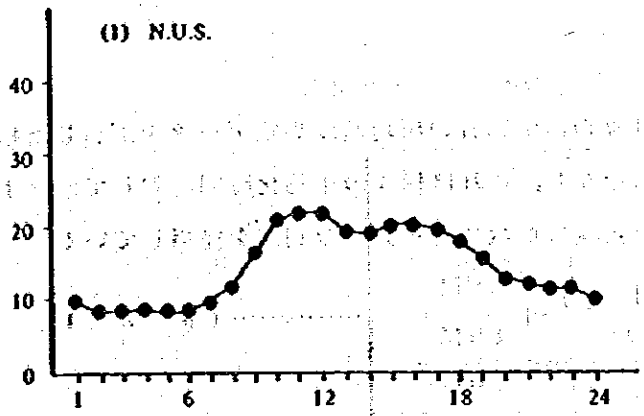
図 N - 2 - 5 (5) SO₂ 濃度の月別・時刻別変化



図N-2-5(6) SO₂濃度の月別・時刻別変化



図N-2-5 (7) SO₂濃度の月別・時刻別変化



図N-2-6 SO₂の時刻別平均濃度

2-4 SO₂濃度の累積頻度分布

R. I. Larsen (1969) は米国における種々の汚染物質の環境濃度測定データを解析した結果、大気汚染物質の濃度は対数正規型の分布をなし、これは種々の平均化時間に対して成立する、等の特性を見出し、このような特性を表現した数学的モデルの利用を提唱している。

$$f(c) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} Sg} \exp \left\{ -\frac{(\ln C - \ln mg)^2}{2Sg^2} \right\} \dots\dots\dots (N-2-1)$$

ここで、 $f(c)$: 濃度 c における出現確率

$$mg : \text{幾可平均値。 } mg = \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^n \ln Ci}{n} \right)$$

$$Sg : \text{幾可標準偏差。 } Sg = \exp \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln Ci - \ln mg)^2}{n}}$$

図 N-2-7(I)~(J) は各測定局における SO₂ 環境濃度の 1 時間値及び日平均値の累積出現頻度分布を対数正規確率紙上にプロットしたものである。この累積出現頻度は濃度を低い順に並べその出現頻度を累積して求めたものである。1 時間濃度の分布についてみると、ほぼ直線を示しており、対数正規分布が認められる。日平均濃度の分布についてみると、MP4 のように曲線状を呈している測定局もあるが概ね直線状とみなすことができ、日平均値についてもほぼ対数正規分布をしていることがわかる。

この直線の傾斜は、幾可標準偏差 Sg の大きさを表わしており、傾斜がゆるい程 Sg は大きくなる。また、50 パーセント点の濃度は mg を表わしている。 Sg は、対数正規分布を仮定することによりグラフ上から次式で計算される。

$$Sg = \exp \left\{ \frac{\ln(Ca/Cb)}{Za - Zb} \right\} \dots\dots\dots (N-2-2)$$

ここで、 Ca, Cb : a パーセント点、 b パーセント点における濃度
 Za, Zb : a パーセント点、 b パーセント点における標準偏差

R. I. Larsen は a, b 点として対数正規分布を良く代表していると認められた 99.9 と 7.0 パーセント点を用いている。この場合、 $Za = 3.09, Zb = 0.52$ となる。

この方法により各測定局における 1 時間濃度の幾可標準偏差を求めてみると表 N-2-5 のようになる。

表N-2-5 SO₂濃度の1時間値の幾何標準偏差

測定局	幾何標準偏差 (ppb)
MP1	2.32
MP2	2.38
MP3	2.22
MP4	2.97
MP5	2.13
MP6	2.47
MP7	2.04

これらの値は日本の測定局における値に比較し大きい。

また、この累積出現頻度分布は、高濃度の上位 x %を除外した場合の最大値を求める場合、あるいはある濃度以上の超過確率等を求める場合にも有用である。

各測定局における日平均値の2%除外値(有効測定日数から高濃度上位2%を除外した値)は表N-2-6に示すとおりである。また、1時間値の最高値(100%タイム値)も合わせて示す。

表N-2-6 日平均値の2%除外値と1時間値の最高値

測定局	(ppb)	
	日平均値の2%除外値	1時間時の最高値
MP1	32	194
MP2	32	183
MP3	44	477
MP4	54	381
MP5	36	197
MP6	18	100
MP7	18	94

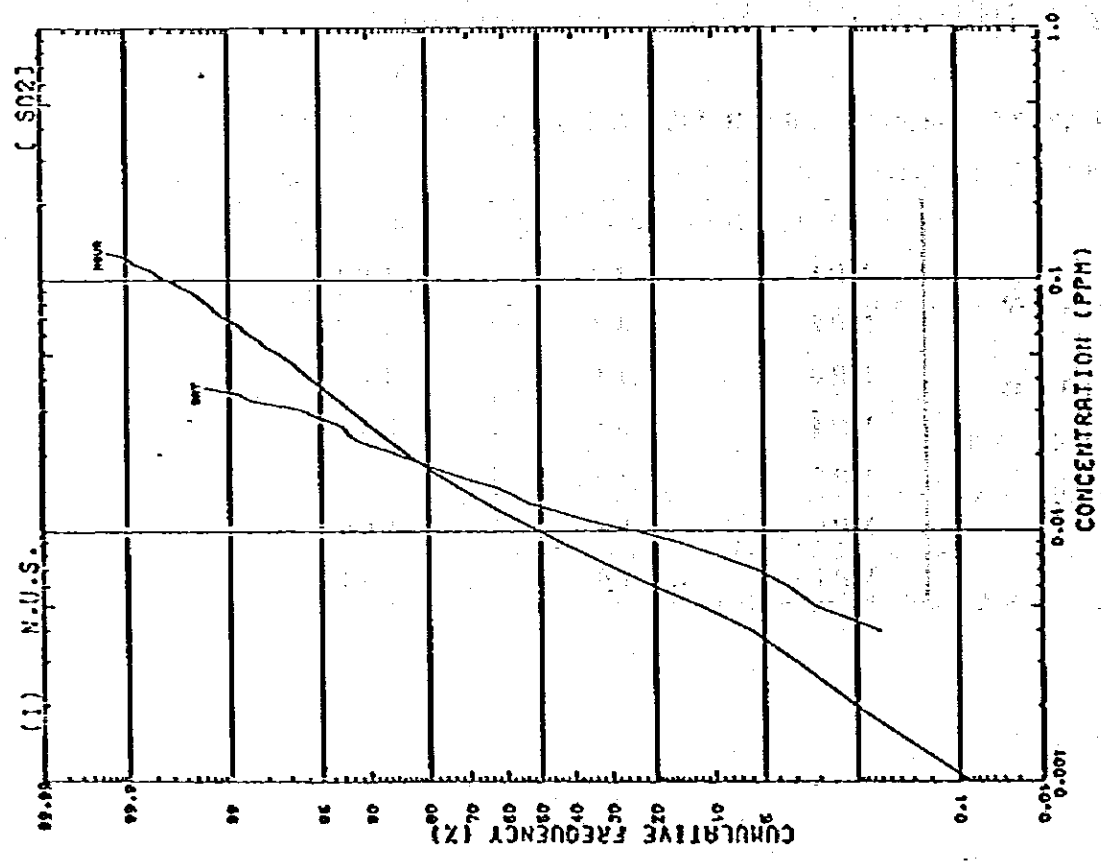
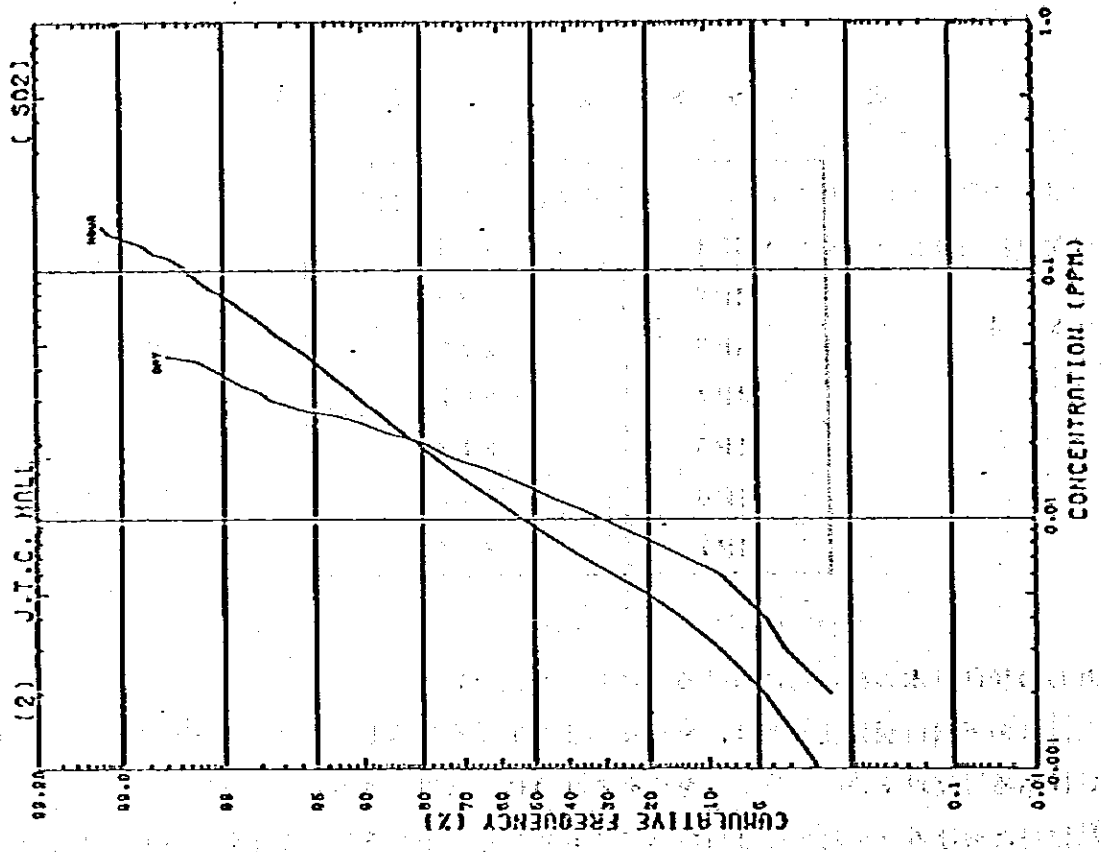
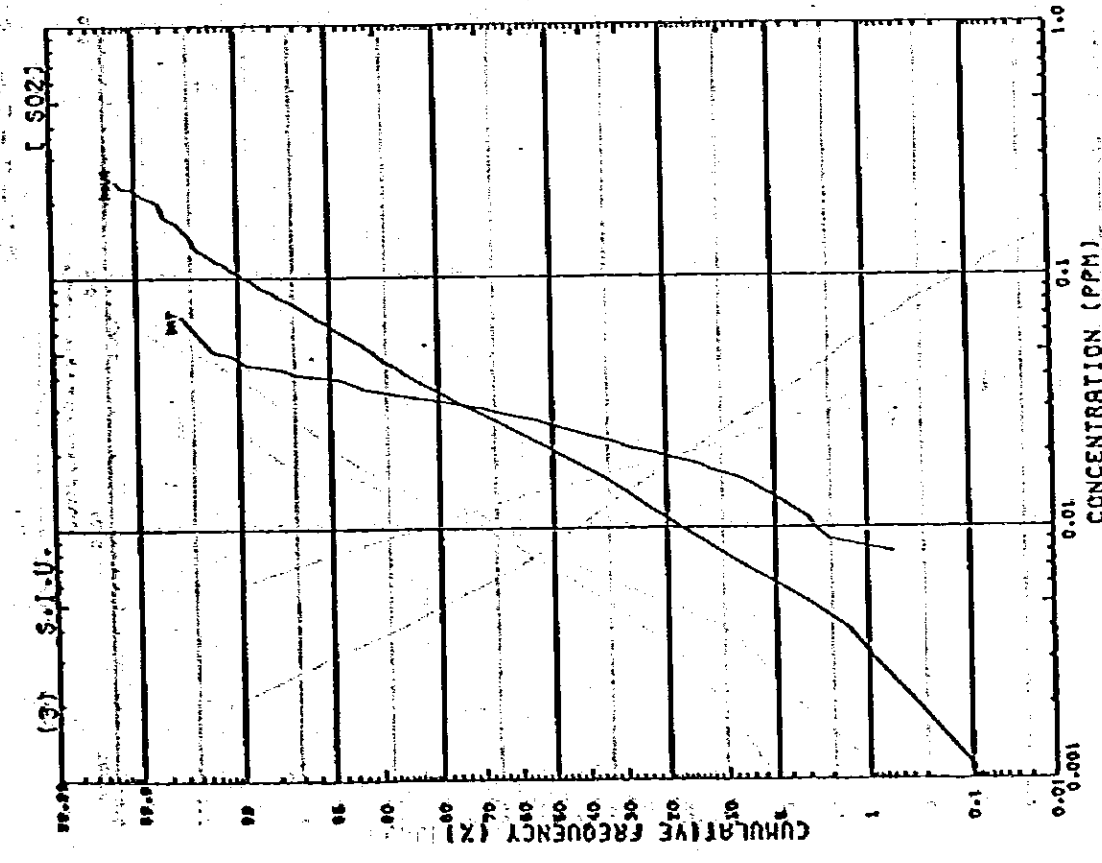
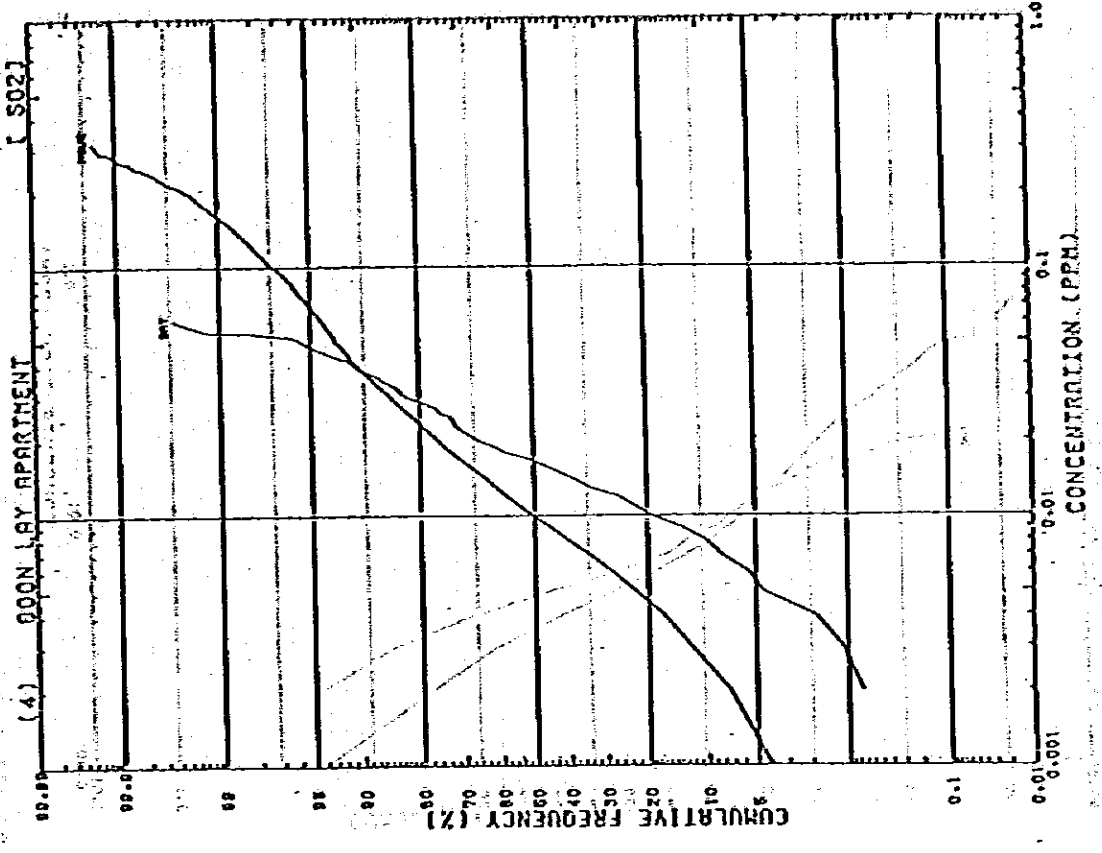


図 IV-2-7 (1) SO₂ 濃度の累積頻度分布



図Ⅳ-2-7(2) SO₂濃度の累積頻度分布

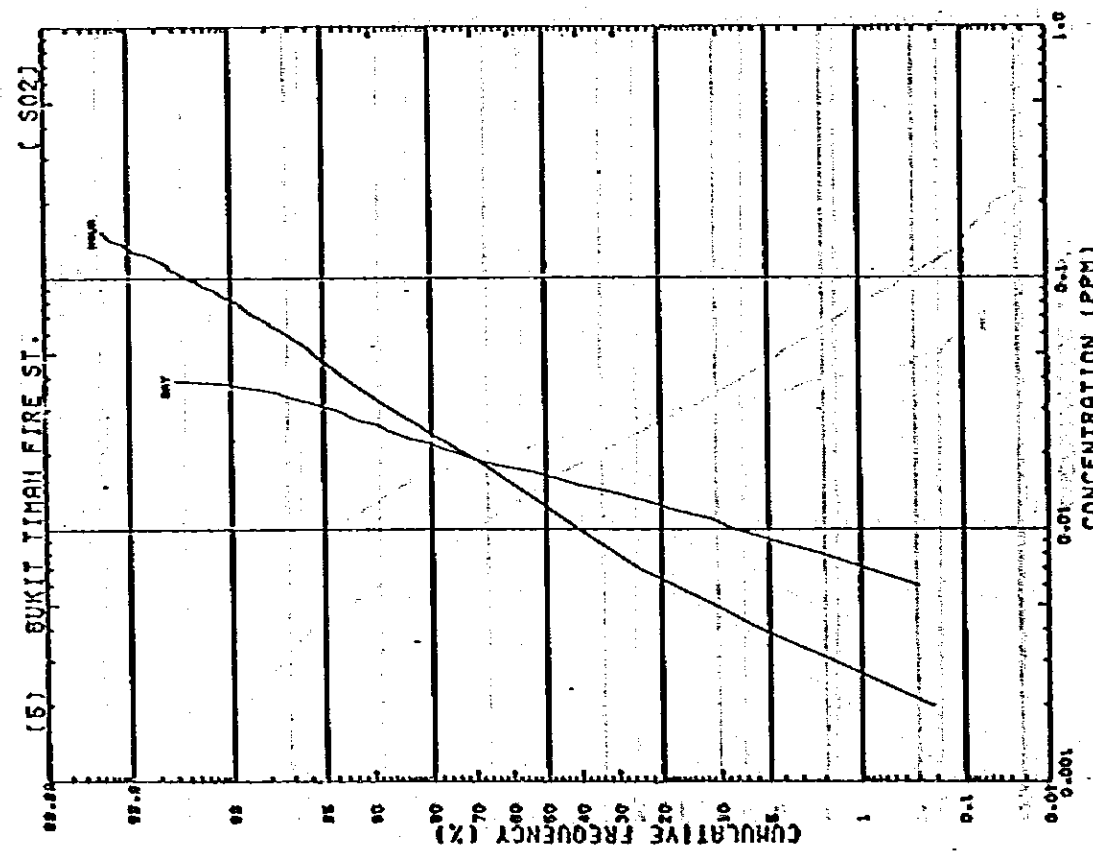
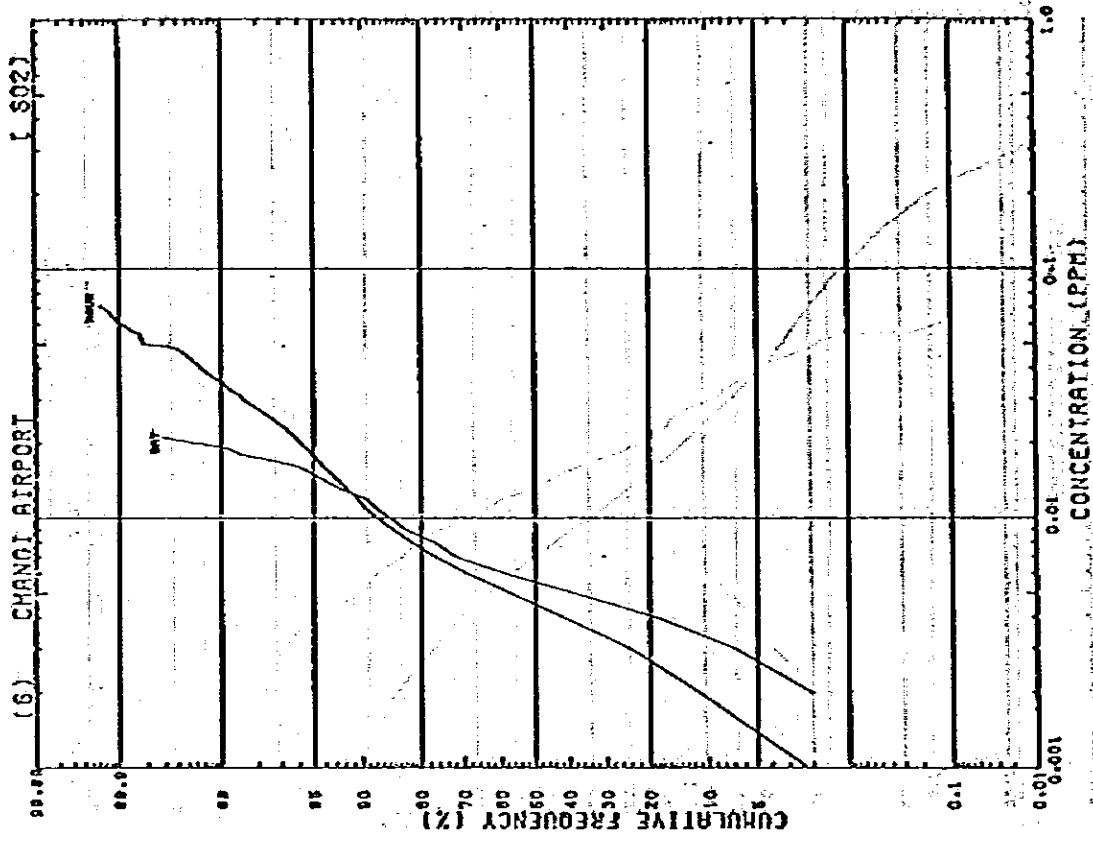


図 IV-2-7 (3) SO₂ 濃度の累積頻度分布

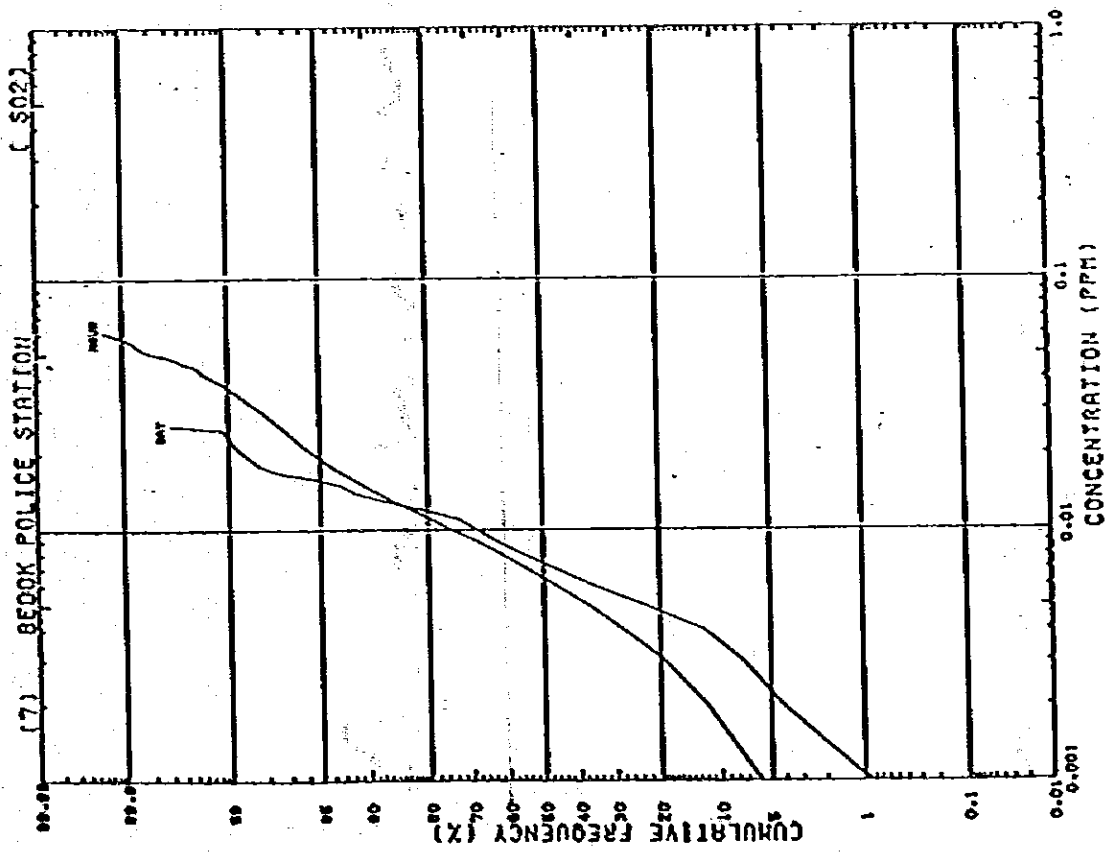


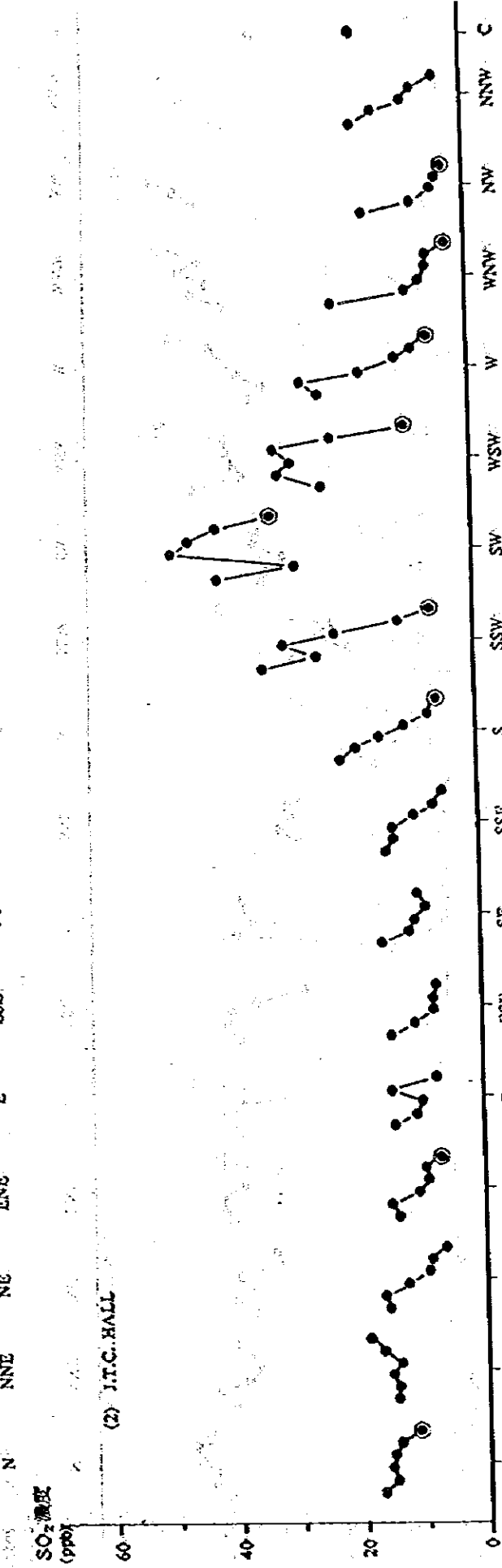
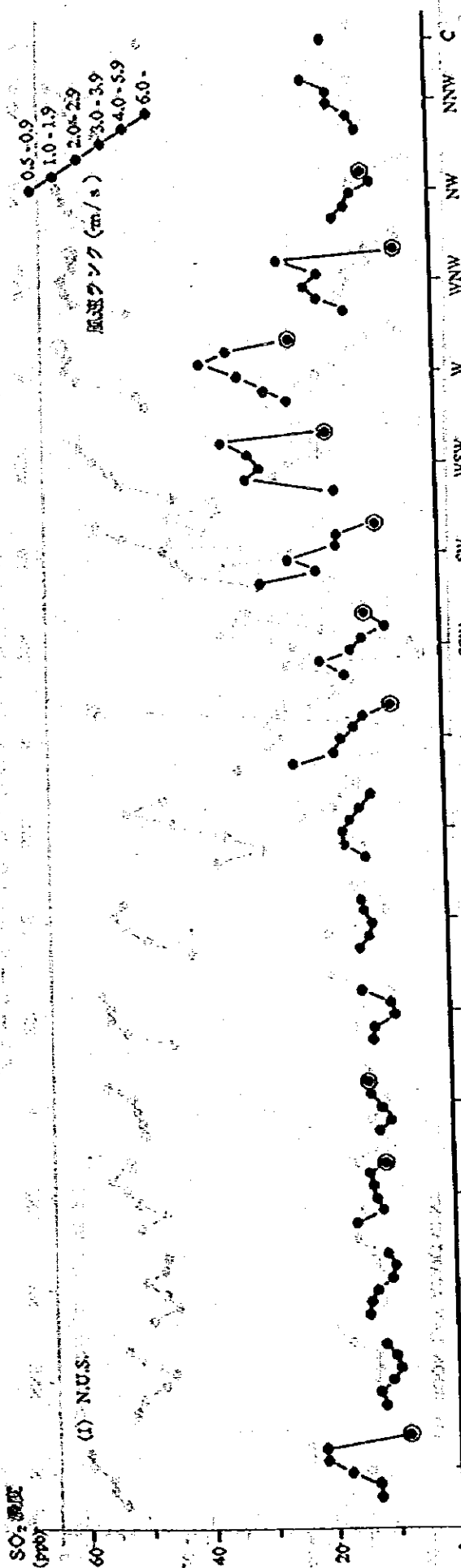
図 V - 2 - 7 (4) SO₂ 濃度の累積頻度分布

2-5 SO₂濃度の風向別風速階級別平均濃度

ある地点における環境濃度に影響を与える気象条件として、風向風速は最も重要な要素である。図N-2-8(1)~(4)は、各測定局におけるSO₂濃度の風向別風速階級別平均値をプロットしたものである。縦軸は濃度、横軸は風向であり、各風向に対して6個の風速階級ごとの濃度が左から順に示されている。

このグラフを作成するときに使用した風向風速のデータは、MP1~MP5に対してはMP2、MP6とMP7に対してはMP6で測定された風向風速データである。これは、SO₂濃度に最も大きな寄与のある固定発生源からの煙の拡散は広域的な風に支配されていると考えられ、SO₂環境濃度を分類するための風として、局所的な風ではなく、広域的な風を使用する方が良いと考えたためである。MP2、MP6は第1章(1-5)で見たように、各々シンガポール共和国の西部地区及び東部地区の広域的な風を良く表わしている測定局である。

図N-2-8についてみると、MP1ではW、MP2とMP5ではSW、MP3、MP4ではSの風向でSO₂濃度が高くなっている。これは、発生源と測定局の位置関係から理解できることである。また、近くに発生源のないMP6、MP7では、風向及び風速階級での濃度の変動が小さいことがわかる。



注) (●)印は、有効件数が5件以下のデータである。

図 V - 2 - 8 (1) SO₂の風向別風速階級別平均濃度

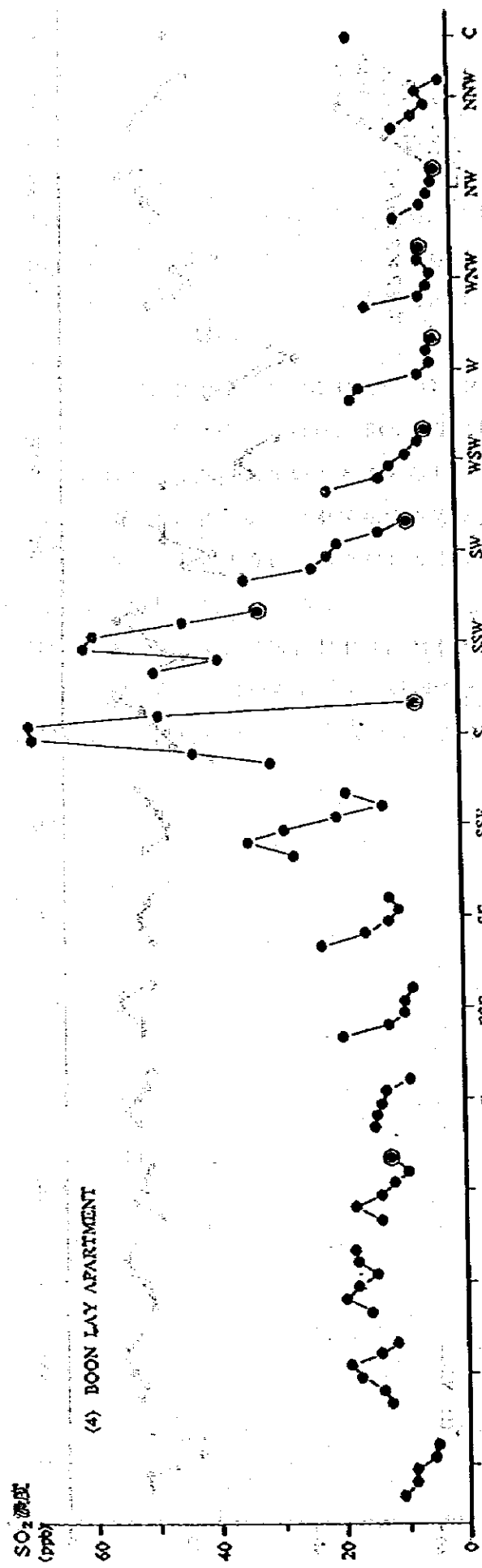
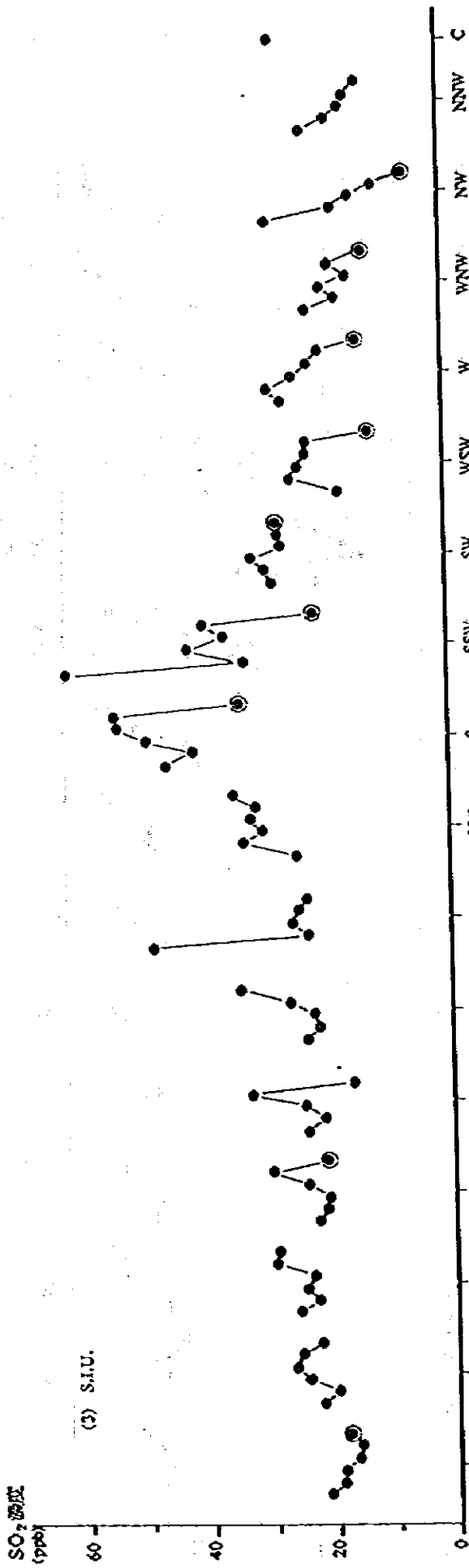


図 14-2-2 (2) SO₂ の風向別風速階級別平均濃度

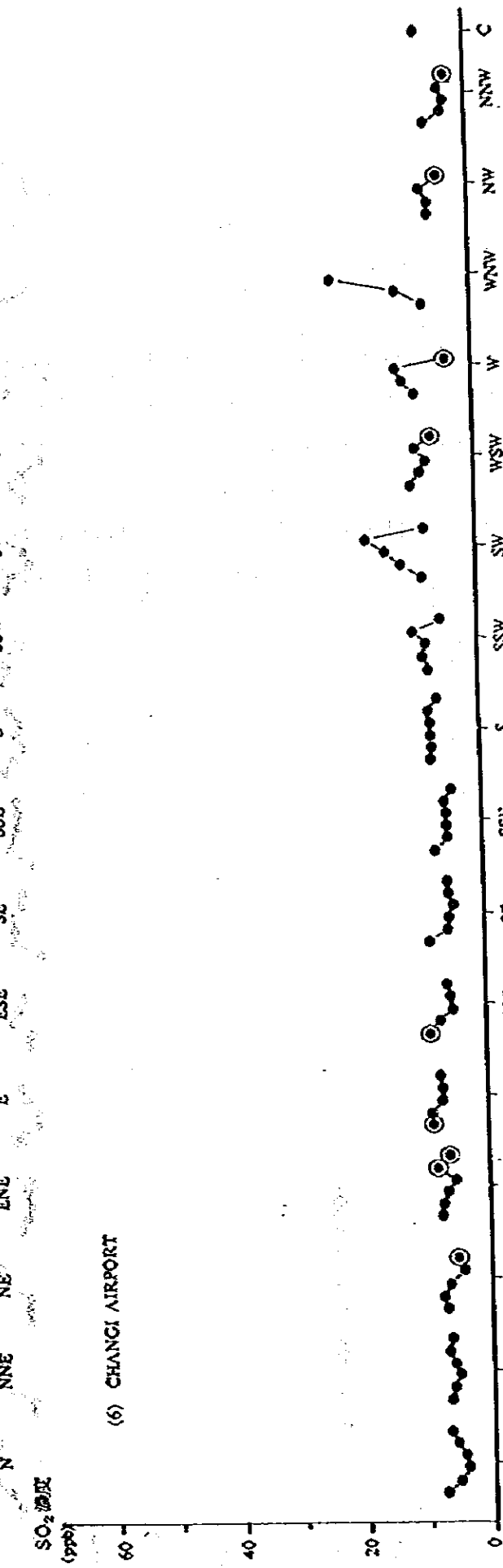
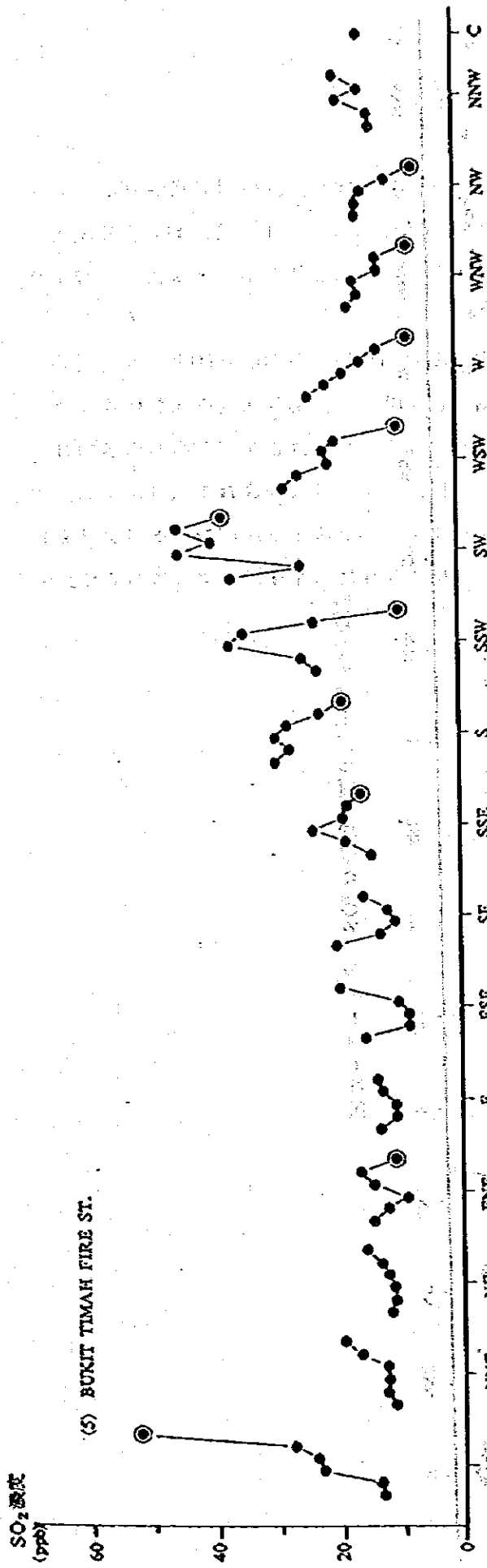


図 IV - 2 - 8 (3) SO₂ の風向別風速階級別平均濃度

SO₂濃度
(ppb)

(7) BEDOK POLICE STATION

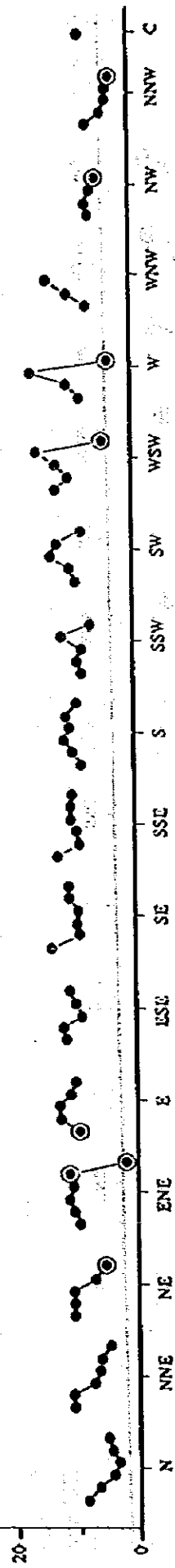


図 IV - 2 - 8 (4) SO₂ の風向別風速階級別平均濃度

2-6. SO₂の風速階級別大気安定度別の平均濃度

大気安定度は表N-1-13に示されるように風速と日射量又は放射収支量によって分類されている。大気安定度が不安定になるほど煙の拡がり幅は大きくなる関係がある(図N-1-18参照)。

図N-2-9(1)~(4)は各測定局におけるSO₂濃度の風速階級別・大気安定度別の平均濃度を示したものである。大気安定度とSO₂濃度の関係を見ると、不安定側で濃度が高くなっており、これはどの風速階級でも同様である。なお、A~D昼は昼間、D夜~Fは夜間に出現する大気安定度であり、これらの大気安定度別濃度には昼夜の風向風速の差異及び発生源活動の差異も含まれている点に留意しておく必要がある。なお、風速及び大気安定度は前節と同様、MP1~MP5においてはMP2、MP6とMP7ではMP6のデータを用いた。

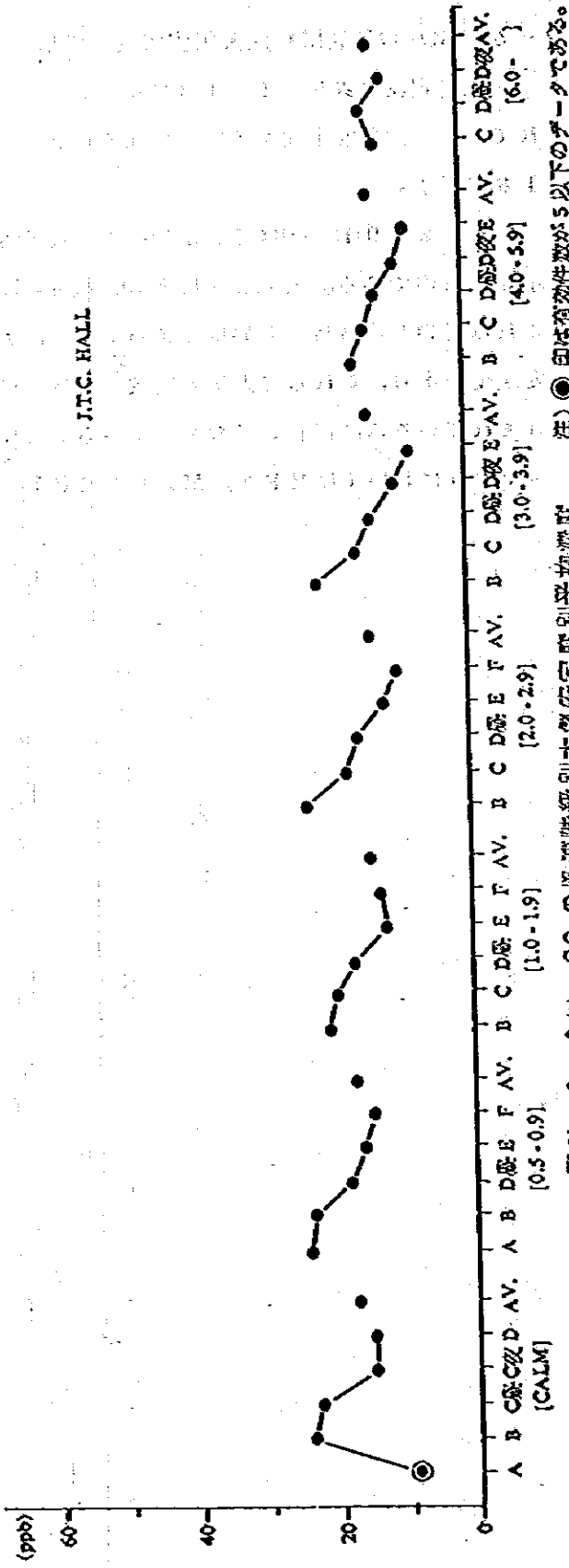
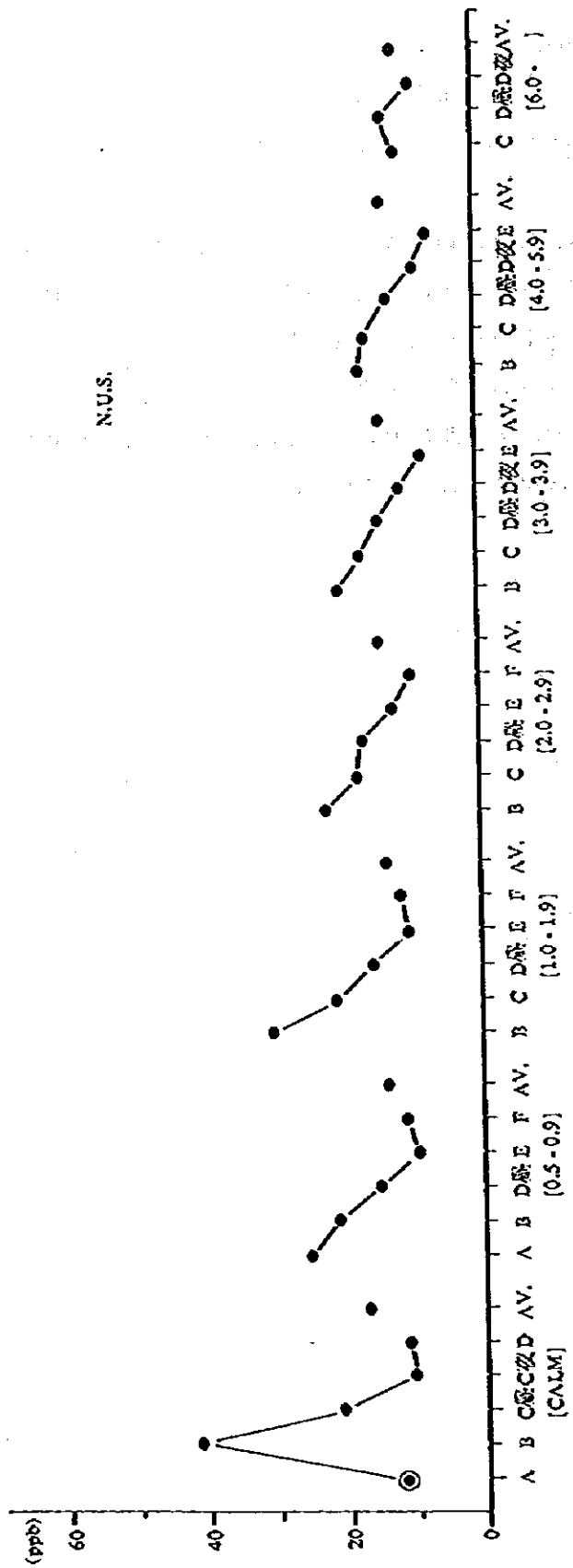


図 IV - 2 - 9 (1) SO₂ の風速階級別大気安定度別平均濃度 (注) ●印は有効件数が 5 以下のデータである。

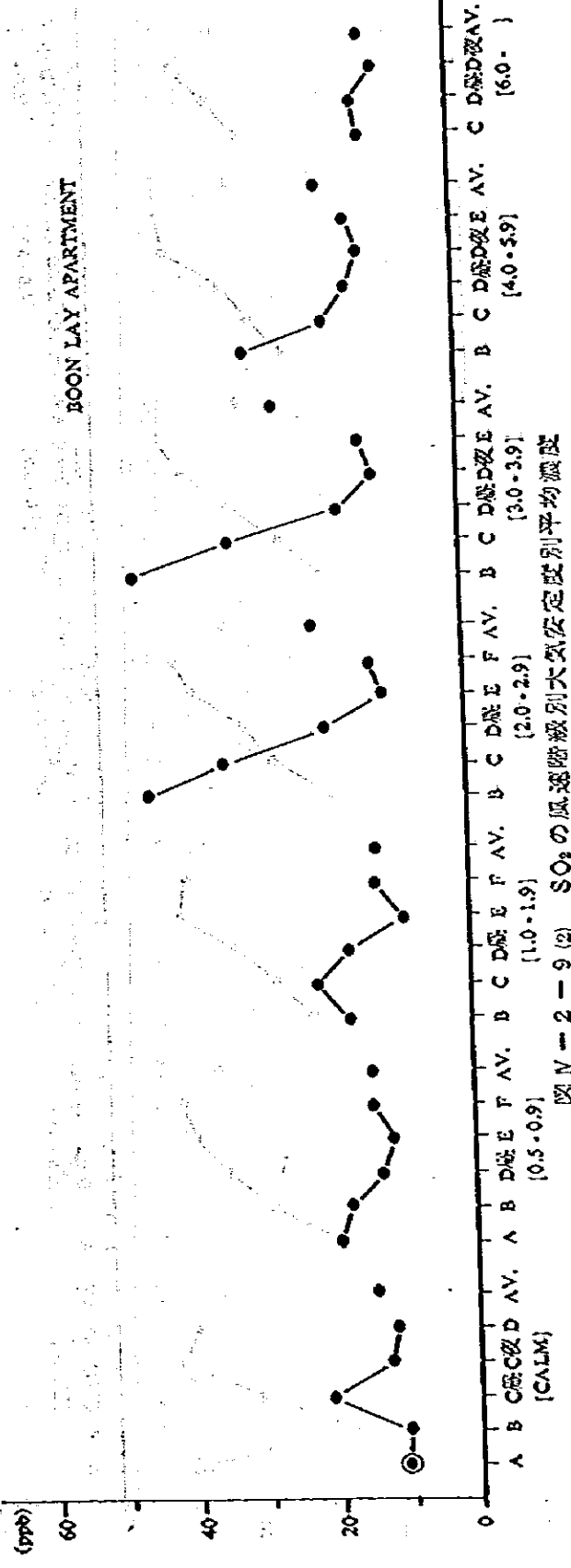
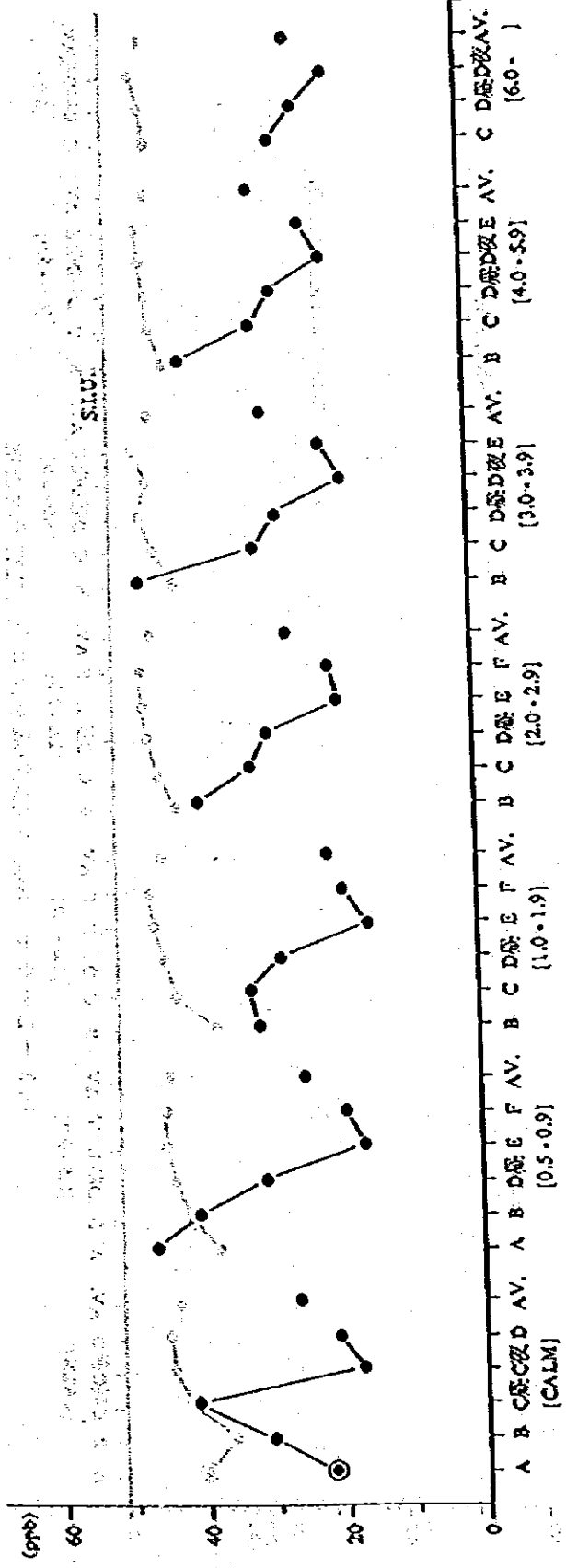
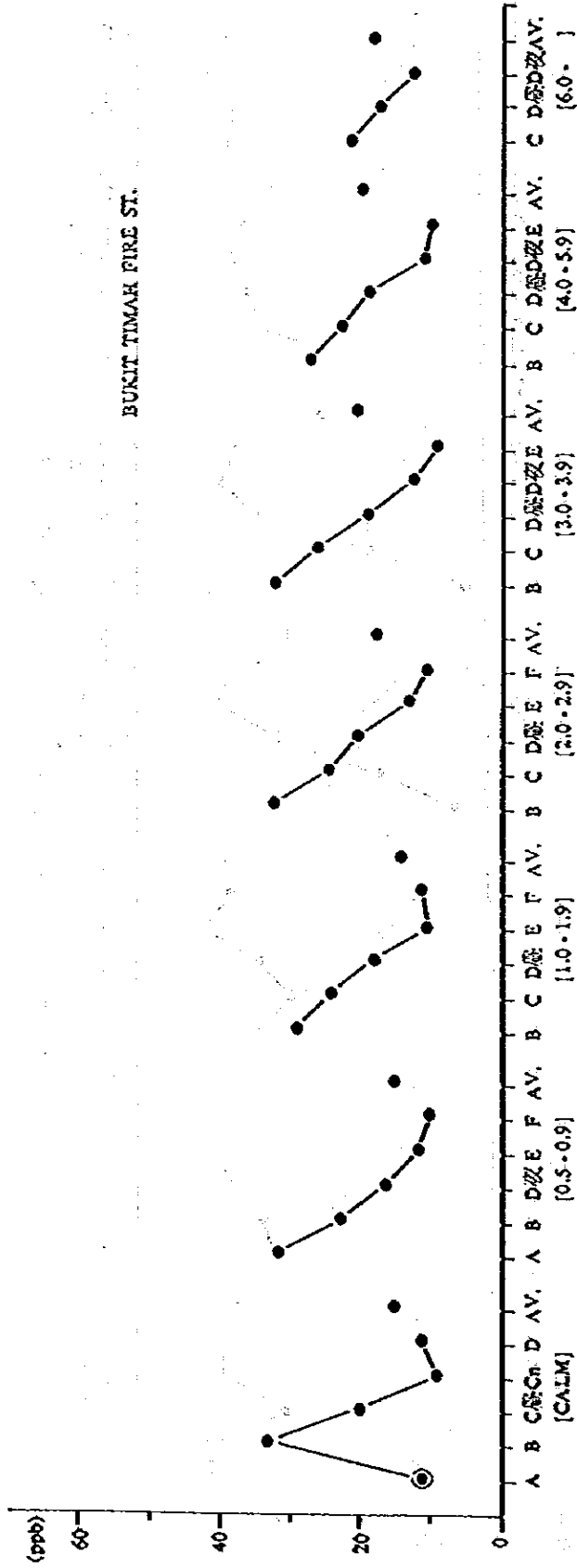


図 N-2-9 (2) SO₂ の風速階級別大気安定度別平均濃度

BUKIT TIMAH FIRE ST.



GRANGI AIRPORT

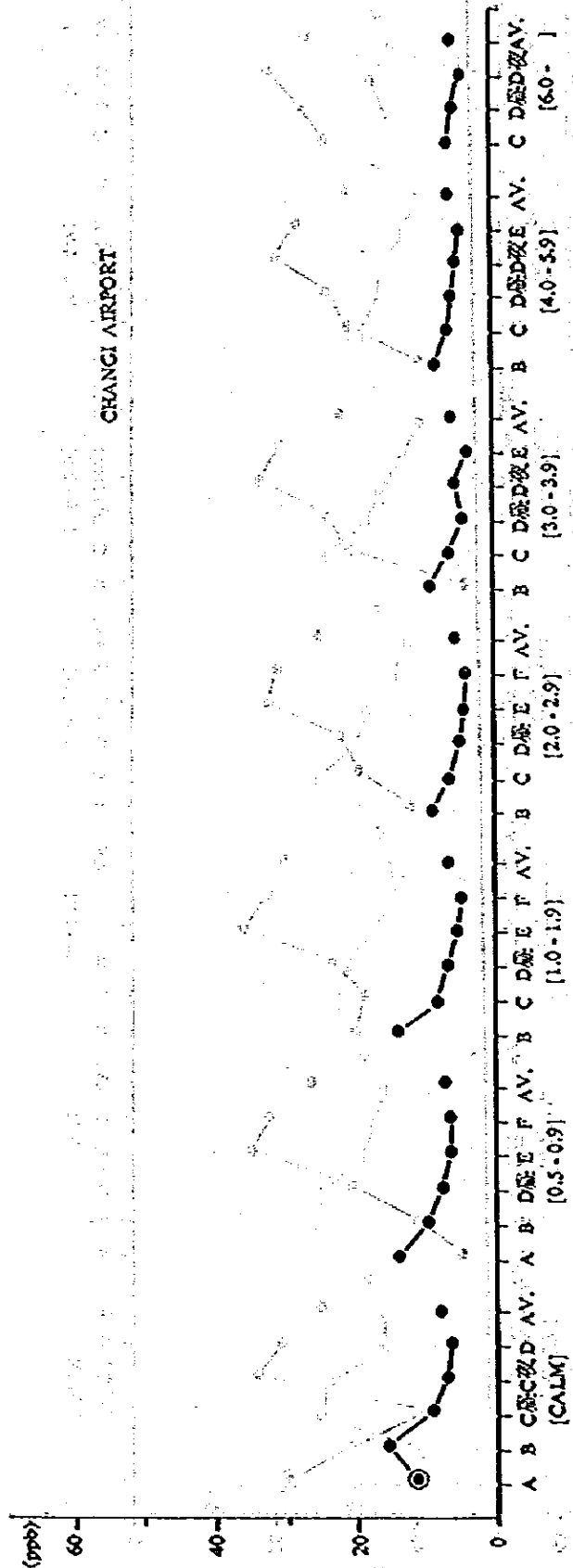


図 IV-2-9 (3) SO₂ の風速階級別大気安定度別平均濃度

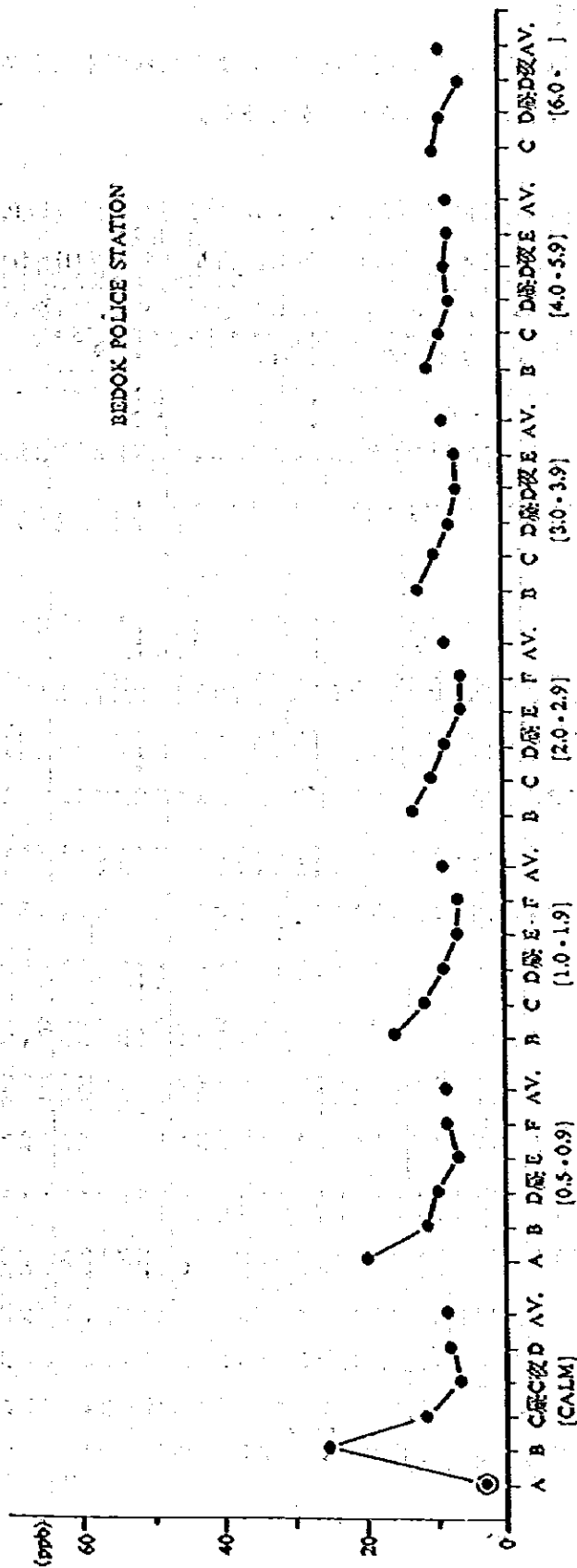


図 IV - 2 - 9 (4) SO₂ の風速階級別大気安定度別平均濃度

2-7 SO₂の高濃度時の解析

SO₂環境濃度の1時間値及び日平均値の高濃度がどのような状況(気象条件等)において出現しているかを把握するため、以下のような解析を行った。

(1) 1時間値の高濃度

各測定局について、SO₂の1時間値の高濃度上位50時間(年間の約0.6%)を抽出し、出現日時、及び風向や大気安定度との関係を調べた。表N-2-7(1)~(7)はそれらを示したものである。気象条件としては、各測定局における測定データと、前節で用いた代表測定局(MP2及びMP6)の測定データを記載している。

表 IV-2-7(1) SO₂ 1 時間値の上位 5.0 時間の濃度と気象条件

日 月 時	高濃度時				高濃度時前 1 時間				代表局での気象条件									
	SO ₂ 濃度 (ppb)	風速 (0.1m/s)	風向	天候	SO ₂ 濃度 (ppb)	風速 (0.1m/s)	風向	天候	風速 (0.1m/s)	風向	天候	風速 (0.1m/s)	風向					
1	104	SW	12	470	488	W	WSW	9	627	379	A	WSW	14	B				
2	152	N	19	540	550	A	NNE	11	510	175	B	N	23	B				
3	145	W	13	779	457	A	W	16	505	501	B	WSW	30	B				
4	139	E	9	221	102	B	C	2	236	187	CB	NNE	18	C				
5	129	N	17	530	513	A	N	16	505	186	B	NNE	42	B				
6	124	W	12	423	260	H	W	12	616	370	B	CB	NW	15	B			
7	126	C	2	38	CD	71	NNE	3	0	36	F	N	19	F				
8	125	SSW	6	448	233	A	100	WNW	8	355	185	A	SSE	13	B			
9	122	W	4	444	90	90	W	13	444	126	444	WSW	32	4	CB			
10	120	WNW	9	323	65	DEM	21	C	3	127	68	CCM	22	DEM	16	DEM		
11	115	C	2	10	40	CB	48	C	2	0	44	CD	18	F	16	F		
12	114	WNW	28	330	192	A	34	NW	26	109	61	DEM	41	C	30	DEM		
13	114	WNW	23	0	32	4	111	WNW	23	0	51	F	36	C	36	E		
14	111	WNW	23	0	51	F	29	WNW	21	0	51	F	36	C	36	E		
15	111	WNW	24	77	10	F	75	WNW	20	226	109	C	37	DEM	36	C		
16	109	SE	16	330	65	C	44	SSE	16	332	240	B	SE	36	C	42	C	
17	107	C	4	439	262	CH	41	ENE	6	551	318	A	SSW	11	B	19	A	
18	105	WSW	11	444	340	44	WNW	12	444	262	444	NW	16	16	444	16	444	
19	105	WNW	17	398	244	A	34	WNW	21	331	201	B	W	36	C	22	B	
20	102	W	16	334	322	A	64	W	19	431	246	B	SW	20	4	CB	4	CB
21	102	WSW	14	332	327	A	124	W	12	423	260	B	SW	20	4	CB	4	CB
22	100	NNE	7	280	281	A	146	NW	3	231	193	A	N	12	B	12	B	
23	100	WNW	17	316	174	A	23	C	4	150	63	CCM	NW	15	B	16	B	
24	100	WNW	8	235	183	A	44	NW	10	320	137	B	C	4	CB	10	B	
25	100	WNW	16	73	5	DEM	24	NW	10	74	33	DEM	W	37	DEM	23	DEM	
26	97	W	12	444	267	A	102	WSW	14	532	327	B	WSW	29	B	29	B	
27	97	W	20	648	393	A	55	WSW	16	801	472	B	WSW	32	C	32	C	
28	97	N	19	303	180	B	37	N	12	250	131	B	N	27	B	27	B	
29	95	W	17	530	292	A	90	WSW	12	470	276	B	N	24	B	24	B	
30	94	NNE	13	246	168	A	44	N	13	298	180	B	NNW	21	B	21	B	
31	93	SW	6	648	392	A	39	C	2	516	291	CA	SW	8	A	8	A	
32	93	NK	8	16	16	F	39	ENE	13	4	146	DEM	NW	23	E	23	E	
33	92	C	0	0	19	CCM	14	C	0	0	19	CCM	NW	19	B	19	B	
34	92	WNW	18	622	398	A	24	W	10	444	262	444	W	29	444	29	444	
35	92	NW	20	240	122	A	34	W	15	493	278	B	W	29	444	29	444	
36	92	WNW	15	632	256	A	14	WNW	12	396	170	B	W	15	B	15	B	
37	92	WSW	13	758	472	A	60	W	13	674	423	B	WSW	24	B	24	B	
38	90	WSW	9	627	379	A	92	WNW	18	632	388	B	WSW	14	B	14	B	
39	90	WSW	12	470	276	A	34	W	12	636	340	B	W	24	B	24	B	
40	90	N	16	448	269	A	39	N	12	369	211	B	N	31	C	31	C	
41	88	S	6	119	43	DEM	41	C	4	208	100	CCM	ENE	23	DEM	23	DEM	
42	88	WNW	13	81	19	DEM	32	WNW	14	273	140	B	W	23	DEM	23	DEM	
43	88	NNE	9	0	23	E	43	NE	13	48	6	DEM	N	21	C	21	C	
44	86	SE	7	362	214	A	A	SSE	7	110	64	DEM	ESE	10	B	10	B	
45	85	WSW	14	902	542	A	40	W	10	803	478	B	SSW	33	B	33	B	
46	85	SSE	12	703	403	A	21	SE	10	639	390	B	SSE	22	B	22	B	
47	84	WNW	31	444	262	444	34	WNW	22	444	262	444	WSW	18	F	18	F	
48	84	C	4	0	44	CD	40	W	7	102	13	DEM	W	22	B	22	B	
49	84	WNW	21	331	201	A	27	NW	12	186	102	C	W	22	B	22	B	
50	82	W	12	446	252	A	35	W	15	591	343	B	WSW	43	C	43	C	

表 V-2-7 (2) SO₂ 1 時間値の上位 5.0 時間の濃度と気象条件

(2) J.T.C. HALL

番	月	日	高濃度時			SO ₂ 濃度と気象条件			高濃度時前 1 時間			代表局での気象条件										
			SO ₂ 濃度 (ppb)	風向 (0.1m/s)	風速 (0.1m/s)	日照時間 (h)	日照量 (kcal/cm ² /h)	気象	SO ₂ 濃度 (ppb)	風向 (0.1m/s)	風速 (0.1m/s)	日照時間 (h)	日照量 (kcal/cm ² /h)	気象	風向 (0.1m/s)	風速 (0.1m/s)	日照時間 (h)	日照量 (kcal/cm ² /h)	気象			
1	10	29	143	SW	25	98	26	DEM	0	SW	25	322	156	0	SW	25	DEM	0	SW	25	36	0
2	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
3	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
4	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
5	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
6	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
7	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
8	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
9	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
10	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
11	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
12	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
13	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
14	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
15	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
16	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
17	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
18	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
19	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
20	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
21	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
22	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
23	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
24	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
25	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
26	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
27	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
28	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
29	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
30	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
31	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
32	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
33	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
34	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
35	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
36	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
37	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
38	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
39	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
40	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
41	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
42	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
43	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
44	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
45	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
46	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
47	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
48	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
49	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	
50	10	29	142	SW	43	725	439	0	SSW	36	298	174	0	SSW	36	0	SSW	36	SSW	36	0	

表 V-2-7 (3) SO₂ 1 時間値の上位 50 時間の濃度と気象条件

(3) S.I.U.

番 号	月 日 時	SO ₂ 濃度と気象条件				高濃度時前 1 時間				代濃度時の気象条件										
		SO ₂ 濃度 (ppb)	風速 (m/s)	風向 (°)	天候	SO ₂ 濃度 (ppb)	風速 (m/s)	風向 (°)	天候	風速 (0.1m/s)	風向 (°)	天候	天候							
1	5 12 14	477	.....	738	458	.....	242	.....	582	337	.....	S	34	0	SSE	30	0			
2	5 24 13	370	.....	872	490	.....	228	.....	781	426	.....	S	33	0	SSE	27	0			
3	5 24 10	302	.....	314	202	.....	99	.....	239	118	.....	S	32	0	NNE	25	0			
4	5 10 11	287	SSW	6	.....	.....	56	SSE	6	.....	.....	S	17	.....	SW	33	.....		
5	5 14 13	283	.....	637	389	.....	27	.....	224	132	.....	S	20	0	SW	19	0			
6	5 12 12	282	.....	312	337	.....	53	.....	340	330	.....	SSE	26	0	S	35	0			
7	5 24 12	228	.....	783	436	.....	104	.....	643	360	.....	S	27	0	SSE	24	0			
8	5 22 12	227	S	779	448	A	170	SSE	3	656	388	A	SSE	32	0	SSE	31	0		
9	5 20 11	226	C	4	346	317	CA	63	S	198	113	0	SSE	10	0	SSE	31	0		
10	5 2 12	218	.....	602	445	.....	65	.....	759	528	.....	SSW	22	0	S	24	0			
11	5 12 13	212	.....	600	411	.....	477	.....	738	436	.....	S	49	0	S	34	0			
12	5 17 12	212	.....	203	120	.....	121	.....	468	272	.....	S	10	0	S	19	0			
13	5 20 14	212	SSW	6	310	181	A	18	SSW	3	292	168	A	SSW	44	C	SSW	37	C	
14	5 22 6	204	.....	0	221	.....	22	.....	0	28	.....	0	SSW	9	.....	C	CCW	.....	.....
15	6 1 13	200	C	4	285	174	CR	66	S	324	323	A	S	26	0	S	31	0		
16	5 13 13	199	SSE	7	624	424	A	37	SSE	8	119	437	A	.....	.....	.....	.....	.....	.....
17	5 11 12	183	.....	679	303	.....	31	.....	443	261	.....	SSW	20	0	SSE	26	0			
18	5 16 12	175	.....	633	420	.....	53	.....	429	233	.....	S	24	0	SSE	21	0			
19	5 20 10	172	C	3	315	.....	74	C	2	148	.....	CCW	3	17	0	NW	0	0	0	
20	5 23 16	171	.....	634	360	.....	31	.....	388	334	.....	S	39	0	S	36	0	0	0	
21	6 8 13	171	S	3	725	418	A	93	C	4	748	484	CA	SSE	34	0	S	24	0	0
22	5 14 15	168	.....	487	275	.....	205	.....	637	389	.....	S	23	0	S	20	0	0	0	
23	5 4 13	163	.....	740	470	.....	69	.....	512	310	.....	S	17	0	S	18	0	0	0	
24	2 10 16	164	SSW	7	271	132	A	39	SW	13	265	148	0	SSW	21	0	S	33	C	0
25	6 3 13	160	S	3	493	414	A	47	SSE	3	636	379	A	S	29	0	SSE	29	0	0
26	6 12 14	158	.....	603	337	.....	100	.....	620	372	.....	S	26	0	SE	11	0	0	0	
27	6 19 16	153	S	7	525	284	A	44	S	3	672	274	A	S	49	0	S	41	0	0
28	6 23 13	153	SSW	7	701	394	A	34	SW	8	845	493	A	SSW	40	0	S	33	0	0
29	2 4 17	151	C	2	144	90	CCW	70	C	3	278	162	0	.....	CCW	.....	.....	.....	.....	.....
30	4 16 13	149	.....	371	200	.....	38	.....	439	282	.....	S	22	0	S	23	0	0	0	
31	4 24 14	146	.....	351	308	.....	370	.....	872	490	.....	S	30	0	S	33	0	0	0	
32	6 9 14	141	C	4	741	432	CA	47	SSE	3	772	430	A	SSE	34	0	SSE	39	0	0
33	5 7 14	140	C	4	398	390	CA	33	S	3	468	278	A	S	25	0	SW	26	0	0
34	7 28 12	134	SSE	7	769	426	A	23	S	6	669	387	A	SE	23	0	S	33	0	0
35	6 11 13	132	S	7	624	480	A	100	S	7	757	461	A	S	42	0	S	36	0	0
36	6 10 17	132	C	3	.....	.....	120	C	2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
37	6 22 11	130	SSW	3	656	388	A	24	SSE	8	331	290	A	SE	33	0	SSE	34	0	0
38	6 10 13	128	SSW	6	770	433	A	44	SSE	3	670	390	A	S	33	0	SE	34	0	0
39	5 10 21	128	SSW	3	639	370	A	44	SSE	6	634	384	A	S	24	0	SSE	31	0	0
40	6 24 12	127	S	6	622	362	A	24	SSE	6	326	314	A	S	30	0	S	37	0	0
41	2 21 14	127	S	7	448	499	A	17	C	3	650	372	CA	S	38	0	NNW	13	0	0
42	6 11 13	126	S	7	743	450	A	30	SSE	3	617	380	A	SSE	31	0	SSE	35	0	0
43	7 1 16	125	S	7	634	363	A	114	S	7	719	420	A	S	43	0	S	43	0	0
44	10 1 17	123	C	4	237	107	CR	24	SSW	3	469	239	A	SSW	23	0	SSW	26	0	0
45	5 11 16	122	.....	337	199	.....	49	.....	502	300	.....	S	12	0	NW	6	0	0	0	
46	4 23 16	122	.....	323	139	.....	74	.....	330	180	.....	SSW	17	0	S	22	0	0	0	
47	9 14 19	122	C	4	0	28	CCW	34	S	3	31	2	0	SW	20	0	E	.....	.....	.....
48	4 1 13	121	C	3	901	364	CA	39	C	3	809	323	CA	SSW	23	0	S	30	0	0
49	5 17 11	121	.....	448	272	.....	51	.....	320	140	.....	SSW	19	0	C	.....	.....	.....	.....	.....
50	10 6 16	120	C	2	.....	.....	27	C	2	.....	.....	.....	.....	E	14	.....	SSW	26	.....	.....

表N-2-13(1) SO₂日平均値上位2日間の気象条件

(1) N.U.S.

11月25日

SO₂日平均値：376ppb

時刻	SO ₂ 濃度と気象条件						代表局の気象条件		
	SO ₂ 濃度 (ppb)	風向	風速 (0.1m/s)	日射量 (0.1 cal/cm ² /h)	放射収支量	大気安定度	風向	風速 (0.1m/s)	大気安定度
1	16	C	1	0	-29	CC3M	NNW	15	E
2	19	C	1	0	-30	CU	N	12	F
3	12	C	2	0	-30	CU	N	14	F
4	11	C	3	0	-30	CU	N	17	F
5	12	C	3	0	-39	CO	NNE	12	F
6	39	C	1	0	-38	CO	NNE	13	F
7	23	C	1	10	-20	CC3M	NNW	17	E
8	22	NW	9	85	30	DCM	NNW	20	DCM
9	16	NW	17	310	179	H	NW	21	B
10	11	WNW	18	582	348	H	NW	27	B
11	22	W	12	616	370	H	NW	15	B
12	126	W	12	423	260	H	C	4	CB
13	102	WSW	14	532	327	H	SW	20	B
14	97	A	12	444	267	B	W	29	B
15	39	WSW	10	451	268	B	NNW	16	B
16	54	NNW	5	231	130	B	N	23	C
17	19	NE	14	99	42	DCM	NNE	35	DCM
18	43	NE	13	48	6	DCM	N	33	DCM
19	86	NNE	9	0	+23	E	N	21	E
20	52	N	6	0	-23	F	N	17	E
21	26	C	4	0	-27	CC3M	N	16	E
22	19	C	4	0	-29	CC3M	NNW	19	E
23	20	C	3	0	-23	CC3M	N	14	E
24	19	C	2	0	-27	CC3M	N	17	E

(1) N.U.S.

4月6日

SO₂日平均値：372ppb

時刻	SO ₂ 濃度と気象条件						代表局の気象条件		
	SO ₂ 濃度 (ppb)	風向	風速 (0.1m/s)	日射量 (0.1 cal/cm ² /h)	放射収支量	大気安定度	風向	風速 (0.1m/s)	大気安定度
1	16	C	1	0	-19	CC3M	NW	9	E
2	14	C	1	0	-19	CC3M	NNW	12	E
3	15	C	1	0	-20	CC3M	NNW	12	E
4	16	C	0	0	-19	CC3M	NW	12	E
5	92	C	0	0	-19	CC3M	NNW	15	E
6	11	C	0	0	-20	CC3M	NNW	16	E
7	24	C	2	1	-15	CC3M	N	12	E
8	21	C	2	66	28	CC3M	NE	13	DCM
9	32	C	1	329	80	CB	N	13	B
10	48	C	4	511	299	CA	NNW	11	B
11	50	C	4	420	250	CB	C	4	CB
12	50	SSE	10	174	100	C	S	21	C
13	67	NW	10	239	140	C	SE	21	C
14	***	WSW	9	460	282	A	WSW	23	B
15	50	SSW	14	729	452	B	SSW	33	B
16	39	SSE	14	450	251	B	S	39	C
17	38	S	11	309	163	B	S	30	C
18	53	S	9	129	49	DCM	S	20	DCM
19	43	C	2	4	-23	CC3M	C	4	CC3M
20	40	NE	5	0	-32	F	N	21	F
21	33	C	2	0	-36	CO	N	14	F
22	38	C	1	0	-38	CO	NNW	11	F
23	37	C	1	0	-32	CO	N	11	F
24	29	C	1	0	-33	CO	N	13	F

(4) BOON LAX APARTMENT SO₂ 濃度と気象条件

日 時	高濃度時				SO ₂ 濃度と気象条件				高濃度時前1時間				代表日での気象条件					
	SO ₂ 濃度 (ppb)	MLA (0.1ml/m ³)	MPLE (0.1ml/m ³)	MLA (0.1ml/m ³)	SO ₂ 濃度 (ppb)	MLA (0.1ml/m ³)	MPLE (0.1ml/m ³)	MLA (0.1ml/m ³)	SO ₂ 濃度 (ppb)	MLA (0.1ml/m ³)	MPLE (0.1ml/m ³)	MLA (0.1ml/m ³)	高濃度時 (0.1ml/m ³)	高濃度時前1時間 (0.1ml/m ³)	風速 (0.1ml/m ³)	風向		
1	281	558	22	100	55	C	353	SSE	28	772	138	B	S	21	C	S	23	
2	343	558	24	741	148	A	135	SSE	20	430	230	B	S	23	B	S	27	
3	357	558	26	478	267	A	135	SSE	26	738	434	B	S	24	B	S	31	
4	276	558	26	676	390	A	69	SSE	24	688	392	B	SSW	21	B	S	28	
5	216	558	24	443	232	A	174	S	44	526	386	B	SSW	27	C	SSW	47	
6	288	558	26	345	99	C	244	S	32	524	303	B	S	25	C	SSW	39	
7	287	558	26	345	99	C	111	S	30	502	302	B	S	22	C	SSW	36	
8	280	558	26	375	228	A	195	S	37	SSW	20	492	B	S	20	B	SSW	28
9	268	558	24	749	430	A	195	S	32	709	410	B	S	26	B	S	28	
10	272	558	24	724	303	A	250	S	32	700	303	B	SSW	29	A	S	29	
11	263	558	22	447	275	A	30	SSW	20	578	303	B	SSW	20	C	SSW	27	
12	260	558	24	447	275	A	99	S	15	637	304	B	S	25	B	S	20	
13	250	558	24	749	428	A	81	S	26	604	348	B	S	26	B	SSW	23	
14	290	558	26	704	421	A	10	NNW	10	591	337	B	S	24	B	N	22	
15	246	558	24	674	394	A	83	S	40	463	275	C	SSW	24	B	SSW	23	
16	225	558	22	447	275	A	30	SSW	20	731	436	B	S	22	B	S	27	
17	242	558	24	350	120	C	101	S	31	478	270	C	SSW	23	B	SSW	24	
18	241	558	22	749	415	A	140	S	24	609	445	B	SSW	21	B	SSW	22	
19	237	558	24	345	310	A	79	S	26	382	295	B	SSW	23	B	S	23	
20	235	558	24	360	208	A	24	N	12	313	164	B	S	21	B	SSW	20	
21	235	558	24	741	431	A	37	SSE	14	460	304	B	SSW	23	B	SSW	26	
22	227	558	20	280	262	A	92	SSW	14	400	231	B	SSE	20	B	NW	21	
23	227	558	20	639	320	A	12	N	10	518	328	B	SSE	20	B	NW	21	
24	223	558	24	640	388	A	280	C	26	375	220	C	S	25	B	S	20	
25	222	558	24	361	197	C	34	SSE	44	369	204	C	S	20	C	S	21	
26	217	558	24	676	269	A	120	SSE	34	609	339	B	SSW	29	C	SSW	25	
27	216	558	24	376	181	C	169	S	25	772	430	B	SSW	20	C	SSW	20	
28	215	558	24	622	374	A	134	SSE	41	472	200	C	S	40	C	S	23	
29	214	558	23	364	195	A	337	SSE	26	478	267	B	S	24	B	S	24	
30	213	558	27	345	224	A	104	SSE	48	399	341	B	S	20	C	SSW	20	
31	213	558	26	601	350	A	235	SSE	25	731	421	B	S	26	B	SSW	24	
32	212	558	29	335	192	A	192	SSE	41	546	324	B	S	26	C	SSW	26	
33	210	558	23	434	248	A	181	S	31	670	395	B	S	22	C	SSW	28	
34	209	558	24	603	226	C	204	SSE	37	734	420	B	S	22	C	SSW	23	
35	208	558	47	742	460	A	124	SSE	27	901	364	B	S	27	C	SSW	23	
36	206	558	27	276	215	A	97	SSE	35	659	383	B	S	20	B	SSW	23	
37	206	558	43	734	420	A	164	SSE	44	715	414	B	S	23	C	S	26	
38	203	558	48	270	145	C	192	S	22	229	120	C	SSW	22	C	S	23	
39	200	558	26	340	319	A	145	S	27	603	275	B	SSW	22	C	SSW	29	
40	200	558	28	265	248	A	62	S	38	658	344	B	ENE	15	C	SSW	29	
41	200	558	44	740	434	A	244	SSE	38	658	344	B	ENE	15	C	SSW	29	
42	200	558	32	140	60	C	314	S	20	483	232	B	ENE	15	C	SSW	27	
43	200	558	26	651	377	A	317	SSE	28	676	390	B	ENE	15	C	SSW	27	
44	198	558	31	308	308	A	245	SSE	36	749	430	B	ENE	15	C	SSW	27	
45	198	558	38	634	381	A	204	SSE	36	749	430	B	ENE	15	C	SSW	27	
46	195	558	32	709	430	A	149	SSE	32	592	311	B	ENE	15	C	SSW	27	
47	192	558	31	346	342	C	134	SSE	44	677	392	B	ENE	15	C	SSW	27	
48	190	558	36	603	480	A	171	SSE	36	740	442	B	ENE	15	C	SSW	27	
49	190	558	39	747	135	C	115	SSE	36	544	320	B	ENE	15	C	SSW	27	
50	190	558	44	373	212	C	17	S	47	310	161	C	ENE	15	C	SSW	27	

(5) BUKIT TIMAH FIRE ST. 表N-2-7(5) SO₂ 1時間値の上位50時間の濃度と気象条件

No	月日時	SO ₂ 濃度と気象条件				高濃度時前1時間				代表局での気象条件									
		SO ₂ 濃度 (ppb)	MAX (0.1m/s)	MIN (0.1m/s)	SO ₂ 濃度 (ppb)	MAX (0.1m/s)	MIN (0.1m/s)	SO ₂ 濃度 (ppb)	MAX (0.1m/s)	MIN (0.1m/s)	MAX (0.1m/s)	MIN (0.1m/s)	MAX (0.1m/s)	MIN (0.1m/s)					
1	4 21 11	497	W	6	470	352	A	31	NNW	6	392	222	A	SW	6	NW	6	A	
2	5 1 9	192	N	14	198	100	C	110	NNE	6	29	-10	DEM	N	29	E	18	DEM	
3	5 12 8	167	NNE	4	74	-10	E	24	C	4	0	-30	CD	N	23	N	23	F	
4	1 22 10	157	C	1	64	0	CCW	33	C	2	163	60	CCW	SW	20	DEM	SW	20	C
5	1 22 19	154	C	0	26	-26	CCW	167	C	1	64	0	CCW	SW	7	C	SW	20	DEM
6	1 22 19	142	SSW	7	313	159	A	95	SW	11	373	205	B	SW	30	SW	27	F	
7	1 14 6	142	N	7	71	-26	DEM	74	C	3	0	-40	CD	N	18	DEM	N	25	F
8	1 21 12	137	SW	6	319	200	A	197	W	6	620	352	A	S	21	D	SW	8	A
9	10 10 14	132	SW	11	415	468	A	44	WSW	11	426	490	B	SW	36	B	SSW	30	B
10	7 12 12	128	NNE	10	440	270	A	45	NNE	10	392	232	B	NNE	29	B	N	29	B
11	10 6 13	126	SW	4	144	66	A	52	WNW	8	469	269	A	SSW	31	C	WSW	30	C
12	10 29 15	126	SSW	11	400	270	A	97	SW	11	400	270	A	SW	43	SSW	30	SSW	
13	4 27 11	125	NW	10	437	378	A	34	N	0	435	240	A	S	19	B	SW	17	B
14	5 1 11	123	N	16	430	361	A	31	N	19	383	214	B	N	26	B	N	30	C
15	10 29 18	122	C	5	44	26	CCW	40	SSW	9	522	156	A	SW	25	DEM	SW	25	B
16	9 13 11	120	WSW	8	579	332	A	42	W	12	310	172	B	SW	41	D	SW	32	C
17	3 1 19	119	NNE	6	29	-10	DEM	14	C	3	0	-33	CD	E	18	DEM	SSW	30	E
18	6 2 14	116	ESA	3	729	459	A	114	C	4	220	128	CCW	SSW	30	SSW	30	SSW	
19	6 13 11	115	N	0	437	349	A	44	N	10	447	133	B	NNW	25	B	N	22	B
20	6 17 15	114	WSW	6	346	310	A	44	WSW	10	560	338	B	S	28	B	S	28	B
21	9 10 12	110	SW	8	631	379	A	107	WSW	9	646	281	A	SSW	32	C	SW	24	C
22	5 9 11	108	WNW	10	310	189	A	104	NW	7	199	121	B	SSW	36	C	SW	34	C
23	4 10 11	108	SSW	9	373	299	A	22	SSW	7	856	406	A	SSW	25	B	SSW	31	C
24	9 18 11	107	WSW	9	446	301	A	53	WSW	10	486	289	B	SSW	24	DEM	S	36	DEM
25	9 18 15	106	C	2	44	34	CCW	20	SSE	6	61	20	DEM	SSW	22	DEM	S	36	DEM
26	10 11 11	106	WSW	9	408	344	A	73	W	11	662	395	B	SSW	24	B	SW	25	B
27	10 11 11	106	NW	7	192	122	A	10	C	12	182	84	CCW	SW	40	C	N	0	C
28	10 16 17	104	SE	12	113	34	DEM	48	SSE	14	157	88	C	SE	43	DEM	SSW	40	C
29	1 13 12	103	NNE	22	392	337	A	27	N	21	360	195	B	NNE	30	C	N	30	C
30	9 18 14	102	SW	10	349	340	A	49	SSW	10	395	348	B	SW	38	B	SSW	30	B
31	10 29 16	102	SW	13	340	313	A	124	SSW	11	400	212	B	SW	38	B	SW	43	SSW
32	10 29 16	102	SW	13	340	313	A	124	SSW	11	400	212	B	SW	38	B	SW	43	SSW
33	10 7 12	99	SSW	10	332	192	A	61	SW	12	485	279	CD	SW	42	C	SW	42	B
34	10 16 15	99	SSW	4	373	203	A	37	SW	7	351	202	A	SSW	30	C	SSW	21	C
35	10 16 15	99	SSW	4	373	203	A	37	SW	7	351	202	A	SSW	30	C	SSW	21	C
36	4 13 13	98	N	3	613	377	A	42	NNW	11	612	361	B	N	16	B	NNW	21	B
37	5 7 15	98	NNE	3	640	403	A	34	C	2	844	513	CA	SW	46	B	SW	49	B
38	6 17 16	98	SW	10	340	224	A	114	WSW	8	518	310	A	SSW	35	S	S	28	B
39	10 7 17	98	WSW	3	747	132	A	73	SW	7	507	265	A	S	20	B	S	25	B
40	10 20 10	98	S	4	627	272	A	66	SSE	7	511	240	A	SSW	24	C	S	22	C
41	10 29 14	97	SW	11	400	270	A	90	SW	8	400	270	A	SSW	30	SSW	S	20	SSW
42	4 23 13	95	S	4	247	160	A	47	S	9	264	140	A	S	17	B	S	15	B
43	9 12 6	95	NNE	6	136	63	A	67	C	2	16	-10	CCW	NNE	12	C	NNE	15	E
44	11 9 13	92	SW	17	373	203	A	72	SSW	4	487	276	A	SW	37	C	SW	40	C
45	4 21 14	94	C	4	349	310	CA	63	SSE	3	282	205	A	SSW	23	B	S	25	B
46	4 27 15	94	W	19	378	330	A	72	NW	12	628	264	B	SSW	42	B	SW	30	B
47	10 10 10	94	C	4	360	321	CA	47	C	4	327	180	CB	SSW	14	B	C	4	CB
48	4 27 15	92	NW	14	743	429	A	51	NNW	19	394	240	B	S	28	B	S	21	B
49	4 17 12	92	SW	7	430	271	A	34	WSW	7	394	243	A	S	26	B	S	27	B
50	10 10 11	92	WSW	7	441	330	A	94	C	4	360	321	CA	SSW	28	B	SSW	14	B

表IV-2-7(6) SO₂ 1時間値の上位5.0時間の濃度と気象条件

(6) CHANGI AIRPORT

年 月 日	高濃度時			SO ₂ 濃度と気象条件			高濃度時前1時間			代表例での気象条件				
	SO ₂ 濃度 (ppb)	風向 (度)	風速 (m/s)	SO ₂ 濃度 (ppb)	風向 (度)	風速 (m/s)	SO ₂ 濃度 (ppb)	風向 (度)	風速 (m/s)	高濃度時 風向 (度)	高濃度時 風速 (m/s)	高濃度時前1時間 風向 (度)	高濃度時前1時間 風速 (m/s)	
1	100	WNW	14	411	0	13	WNW	26	373	0	WNW	16	0	
2	93	WNW	7	0	30	W	7	0	640	0	W	7	0	
3	80	W	6	92	15	DEW	7	WNW	11	140	0	DEW	140	
4	76	NE	11	420	250	0	NE	11	311	299	0	WNW	13	0
5	73	WNW	18	680	400	0	W	17	399	208	0	W	17	0
6	71	W	20	640	378	0	WNW	28	600	400	0	WNW	18	0
7	69	S	22	366	120	0	W	19	457	240	0	S	22	0
8	65	NW	19	339	324	0	NW	19	371	349	0	NW	19	0
9	61	WSW	7	745	438	0	W	14	732	419	0	W	14	0
10	60	W	14	380	230	0	WNW	17	347	329	0	W	14	0
11	59	C	4	0	57	CD	40	W	10	92	10	CD	9	0
12	57	W	9	49	34	0	W	10	300	10	W	10	0	
13	56	W	11	218	301	0	WNW	16	709	411	0	W	11	0
14	56	SE	27	273	140	0	SSW	7	364	207	0	SE	27	0
15	55	S	36	447	276	0	WSW	7	765	438	0	S	32	0
16	50	SSW	39	721	420	0	S	22	349	477	0	SSW	29	0
17	50	SW	20	36	27	0	W	69	320	120	0	SW	20	0
18	50	E	18	400	300	0	NW	9	629	373	0	E	18	0
19	50	W	7	0	40	0	C	4	0	37	0	W	7	0
20	50	W	12	400	41	0	W	11	300	11	W	12	0	
21	50	SSW	14	0	36	0	S	25	393	7	SSW	14	0	
22	50	W	14	702	119	0	W	16	348	319	0	W	14	0
23	50	WNW	18	393	193	0	WSW	10	300	321	0	WNW	18	0
24	50	W	14	618	241	0	W	16	216	116	0	W	16	0
25	50	NW	19	371	349	0	W	20	363	217	0	NW	19	0
26	50	W	11	364	200	0	W	10	163	82	0	W	10	0
27	49	NNW	8	247	150	0	NW	16	199	113	0	NNW	8	0
28	49	WSW	13	0	32	0	WSW	19	10	24	0	WSW	13	0
29	49	WSW	18	644	405	0	W	16	402	241	0	WSW	18	0
30	49	WSW	7	0	30	0	SW	10	30	30	0	WSW	7	0
31	49	S	13	400	164	0	W	9	400	49	0	S	13	0
32	49	WNW	11	20	28	0	W	7	300	27	0	WNW	11	0
33	48	S	47	745	422	0	SSE	39	701	420	0	S	47	0
34	48	C	1	323	183	0	CA	12	320	137	0	C	1	0
35	48	SSW	42	741	451	0	SSE	38	690	304	0	SSW	42	0
36	47	SSW	13	0	32	0	SW	20	138	27	0	SSW	13	0
37	47	SW	17	400	240	0	W	13	164	144	0	SW	17	0
38	47	SW	10	343	82	0	C	11	203	144	0	SW	10	0
39	46	SE	41	310	392	0	W	14	470	276	0	SE	41	0
40	46	WNW	16	641	206	0	W	27	321	303	0	WNW	16	0
41	46	S	12	300	157	0	SW	13	110	20	0	S	12	0
42	45	S	35	631	480	0	W	30	863	303	0	S	35	0
43	45	WNW	13	575	511	0	W	10	418	241	0	WNW	13	0
44	45	W	10	0	39	0	W	9	40	40	0	W	10	0
45	44	SW	11	0	38	0	WSW	8	0	39	0	SW	11	0
46	43	SSW	9	400	39	0	SW	9	400	39	0	SSW	9	0
47	43	SSW	33	677	502	0	SE	26	811	441	0	SSW	33	0
48	43	SSW	37	698	421	0	W	24	664	406	0	SSW	37	0
49	43	SSW	37	601	350	0	W	44	451	451	0	SSW	37	0
50	42	SSW	20	670	488	0	W	31	627	376	0	SSW	20	0

表Ⅳ-2-7(7) SO₂ 1時間値の上位50時間の濃度と気象条件

(7) BEDI0 POLICE STATION

番号	月日時	SO ₂ 濃度と気象条件				高濃度時前1時間				代表日での気象条件									
		高濃度時		SO ₂ 濃度		高濃度時前1時間		高濃度時		高濃度時前1時間		高濃度時							
		風速 (0.1m/s)	風向	濃度 (ppb)	風速 (0.1m/s)	風向	濃度 (ppb)	風速 (0.1m/s)	風向	濃度 (ppb)	風速 (0.1m/s)	風向	濃度 (ppb)	風速 (0.1m/s)	風向				
1	2 0	4	C	179	03	CCM	54	SSW	10	138	62	C	6	27	C	E	24	C	
2	2 1	5	SW	200	27	F	60	SW	11	138	13	CCM	6	27	C	E	24	C	
3	2 11	6	SW	457	376	CA	24	SW	8	433	240	A	9	16	B	SW	10	B	
4	2 12	10	WNW	269	169	B	17	WNW	10	173	75	C	14	16	B	SW	10	B	
5	2 13	6	SSW	402	396	A	14	C	4	448	253	CD	14	16	B	SW	10	B	
6	2 22	16	SSW	777	420	A	29	SSE	11	628	477	D	14	16	B	SSSE	22	B	
7	3 11	4	SSW	11	11	15	44	SW	10	116	116	15	13	13	13	13	13	13	13
8	3 11	5	SSW	440	504	A	67	SSW	8	662	396	A	14	16	B	SSSE	22	B	
9	3 21	11	SW	448	253	CA	44	C	4	355	185	CD	14	16	B	SSSE	22	B	
10	4 23	13	SSW	132	441	A	34	SSW	9	747	423	A	14	16	B	SSSE	22	B	
11	4 29	20	SSW	10	10	10	39	SW	10	0	50	F	14	16	B	SSSE	22	B	
12	5 0	16	SSW	10	138	62	24	SW	11	208	103	C	14	16	B	SSSE	22	B	
13	5 11	9	SSW	13	745	458	24	NW	6	712	419	A	14	16	B	SSSE	22	B	
14	5 20	10	SSW	10	10	10	90	SW	5	27	27	E	14	16	B	SSSE	22	B	
15	5 31	16	SSW	405	346	A	44	SSW	14	601	350	B	14	16	B	SSSE	22	B	
16	5 31	16	SSW	169	90	C	66	WNW	13	269	149	B	14	16	B	SSSE	22	B	
17	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
18	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
19	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
20	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
21	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
22	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
23	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
24	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
25	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
26	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
27	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
28	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
29	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
30	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
31	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
32	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
33	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
34	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
35	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
36	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
37	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
38	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
39	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
40	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
41	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
42	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
43	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
44	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
45	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
46	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
47	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
48	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
49	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	
50	5 31	16	SSW	14	420	248	22	SW	6	393	228	A	14	16	B	SSSE	22	B	

これらの結果から、高濃度の時刻別出現回数をまとめると表N-2-8に示すとおりとなり、10時～18時の昼間に集中していることがわかる。

表N-2-8 高濃度の時刻別出現回数

時刻	SO ₂ の1時間値の上位50時間における出現回数							合計
	MP-1	MP-2	MP-3	MP-4	MP-5	MP-6	MP-7	
1								
2								
3						1		1
4								
5	1	1						2
6		2	1					3
7	2				1			3
8					3	2		5
9	1	1			1	2		5
10	7	3	2		3	5	2	22
11	10	8	5	2	11	5	5	46
12	5	9	6	4	5	6	4	39
13	3	5	10	5	5	6	6	40
14	3	7	7	12	5	6	7	47
15	3	4	7	8	8	2	5	37
16	3	3	7	10	3	1	4	31
17	2	4	3	5	2	1	5	22
18	3	3	1	4	2	2	4	19
19	4		1		1	3	4	13
20						5	3	8
21	1					3	1	5
22	1							1
23								
24	1							1

表N-2-9は、各測定局について高濃度時の風向別出現頻度を示したものである。但し、風向は代表測定局（MP1～MP5についてはMP2、MP6とMP7についてはMP6）における測定データである。これについてみると、MP6、MP7を除き、高濃度となる風向はある程度限定されていることがわかる。高濃度の出現頻度が最も多い風向は、MP1でW、MP2でSW、MP3でS、MP4でS、MP5でSW、MP6でW、MP7でWSWとなっている。特にMP2、MP3、MP4では高濃度となる風向が限定されており、高濃度のうちの半分以上がその一つ風向で出現していることになる。これらの高濃度出現風向と測定局の位置関係から、高濃度をもたらしている発生源の位置を推定することができよう。

表N-2-9 高濃度時の風向別出現頻度

単位(%)

風向	代表局の年間出現頻度		SO ₂ 1時間値の上位における出現頻度						
	MP-2	MP-6	MP-1	MP-2	MP-3	MP-4	MP-5	MP-6	MP-7
CALM	1.7	4.1	4		4			4	4
N	12.4	11.3	14				10		
NNE	17.7	8.2	6	6			6		6
NE	9.0	1.3						2	
ENE	2.7	1.2	2			2			
E	2.5	1.9		2	2		2	2	4
ESE	4.8	4.7	2			2		2	2
SE	5.8	9.3	2		6		2	4	4
SSE	6.6	8.5	4		14	2	4	6	10
S	7.9	8.1		6	53	68	15	12	10
SSW	5.0	4.4	4	27	16	26	23	10	2
SW	3.8	3.0	4	50	2		33	6	6
WSW	2.3	4.2	16	4			2	8	18
W	3.3	5.8	34	4	2			24	10
WNW	2.9	7.0	2					14	10
NW	4.1	6.8	2					4	18
NNW	7.5	10.2	4				2	2	6

表N-2-10 高濃度の大気安定度別出現頻度

単位(%)

安定度	代表局の年間出現頻度		SO ₂ 1時間値の上位50時間における出現頻度						
	MP-2	MP-6	MP-1	MP-2	MP-3	MP-4	MP-5	MP-6	MP-7
CA	0.02	0.01							
CB	0.2	0.1	4					2	5
CCd	0.5	0.6			2				
CCn	0.6	1.6							
CD	0.5	1.8						2	
A	0.8	0.9	2	2	2		2	4	9
B	17.1	16.5	50	74	87	75	57	60	49
C	14.8	14.4	15	12	3	25	24	4	12
Dd	11.7	12.7	8	5			13	2	7
Dn	4.1	3.2	4						
E	23.9	23.1	10		2		4	7	2
F	25.8	25.2	6	7	2			18	16

表N-2-10は、高濃度時における大気安定度別の出現頻度をまとめたものである。大気安定度は代表測定局(MP2, MP6)における風速とMP2における日射量・放射収支量より分類したものであり、各測定局におけるものではない。

これをみると、Bの出現頻度が50%以上を占めており、高濃度の大半は大気安定度Bのときに出現していることになる。但し、MP2における大気安定度の年間出現頻度をみると、Bの出現頻度が17.1%であるのに対しAの出現頻度は0.8%であるので、高濃度時におけるAの出現頻度が非常に小さいからといって、Aでは高濃度になり難いとはいえないことに留意する必要がある。

(2) 日平均値の高濃度

今までは、1時間値の高濃度の状況をみてきたが、ここではSO₂濃度の日平均値の高濃度の状況をみることにする。表N-2-11は、日平均値の高濃度上位20日(年間の約5%)を抽出し、その日付と日平均値を示したものである。これより、高濃度日の月別出現日数をまとめると表N-2-12のようになり、全体的にみると3月~5月と9月~11月の出現回数が多くなっているが、MP3とMP4は5月~8月の出現回数が多くなっており、2-2 SO₂濃度の月別変化の傾向と一致している。

表N-2-11 各測定局の上位20日間のSO₂日平均値

	MP-1		MP-2		MP-3		MP-4		MP-5		MP-6		MP-7								
	月	日	SO ₂ 日平均値(ppb)	月	日	SO ₂ 日平均値(ppb)	月	日	SO ₂ 日平均値(ppb)	月	日	SO ₂ 日平均値(ppb)	月	日	SO ₂ 日平均値(ppb)						
1	11	25	37.6	10	29	47.7	4	24	73.3	9	4	61.7	10	29	43.0	5	8	21.5	3	8	26.9
2	4	6	37.2	10	11	44.8	5	12	69.2	5	2	60.4	3	1	38.3	11	3	20.3	3	31	25.9
3	11	7	36.3	9	18	42.3	8	20	50.3	10	30	55.1	1	14	38.3	11	7	19.6	11	7	25.7
4	11	27	36.1	10	10	38.5	8	19	48.5	7	21	54.7	10	10	37.8	3	31	19.4	11	4	24.9
5	11	20	34.7	4	21	35.8	2	4	44.4	2	5	54.4	4	21	36.8	11	17	19.1	11	3	20.6
6	11	10	32.8	10	31	33.7	9	23	44.3	9	23	53.7	1	22	36.7	4	26	18.1	4	23	20.4
7	3	19	32.4	10	16	32.3	8	18	43.7	8	5	53.5	5	7	35.8	11	4	18.0	11	23	18.1
8	12	8	32.1	10	12	31.3	2	3	43.4	2	26	52.5	9	18	35.7	10	26	17.8	4	27	17.3
9	9	27	31.7	5	6	30.0	5	4	42.5	5	10	52.4	11	9	34.2	5	7	17.4	5	26	16.9
10	3	24	31.3	9	29	29.6	4	23	42.4	8	3	52.4	4	27	33.8	4	22	17.1	11	10	16.8
11	4	5	30.5	9	10	28.6	6	11	40.8	5	25	51.2	5	6	33.6	4	6	16.6	9	25	16.7
12	3	25	30.4	9	28	28.2	10	21	40.8	6	2	51.1	9	15	32.6	4	18	16.2	11	5	16.7
13	11	4	30.3	1	13	28.0	10	20	40.5	8	25	50.7	3	31	32.3	4	5	16.2	11	25	16.5
14	11	17	30.0	5	26	27.9	9	17	40.4	3	13	47.6	10	11	32.2	11	9	16.2	11	6	16.2
15	11	3	29.0	11	20	27.6	6	18	40.3	7	31	46.6	10	30	31.7	11	10	16.1	9	29	16.2
16	11	11	28.5	11	5	27.1	6	8	40.3	7	15	46.3	12	8	31.3	4	27	15.8	11	2	16.0
17	11	23	28.2	11	2	26.9	8	5	40.0	5	3	46.2	4	30	30.8	3	8	15.1	11	17	15.9
18	9	25	28.0	5	8	26.8	6	1	39.9	7	22	45.0	10	16	30.6	5	6	14.9	3	25	15.9
19	3	31	27.3	4	30	26.5	4	1	39.7	10	8	44.8	9	17	30.5	11	11	14.6	3	30	15.9
20	5	26	27.3	6	17	26.3	5	14	39.5	10	4	44.6	6	17	30.1	9	17	14.3	12	1	15.7

表 N-2-12 高濃度日の月別出現回数

月	SO ₂ 日平均値の上位20日の月別出現回数							合計
	MP-1	MP-2	MP-3	MP-4	MP-5	MP-6	MP-7	
1		1			2			3
2			2	2				4
3	4			1	2	2	4	13
4	2	2	3		3	6	2	18
5	1	3	3	4	2	3	1	17
6	2	1	4	1	1			9
7				4				4
8			4	3				7
9		4	2	2	3	1	2	14
10		6	2	3	5	1		17
11	10	3			1	7	10	31
12	1				1		1	3

なお、参考として各測定局についてSO₂濃度の日平均値の上位2日間の各時刻におけるSO₂濃度と気象条件を表N-2-13(1)~(7)に示す。

表N-2-13(2) SO₂日平均値上位2日間の気象条件

(2) J.T.C. HALL

10月29日

SO₂日平均値：47.7ppb

時刻	SO ₂ 濃度と気象条件						代表局の気象条件		
	SO ₂ 濃度 (ppb)	風向	風速 (0.1m/s)	日射量 (0.1 cal/cm ² /h)	放射収支量	大気安定度	風向	風速 (0.1m/s)	大気安定度
1	13	N	15	6	-25	E	N	15	E
2	15	N	14	15	-27	F	N	14	E
3	23	N	14	3	-27	F	N	14	E
4	20	N	13	1	-26	F	N	13	E
5	12	NE	14	2	-37	F	NE	14	F
6	6	SSE	37	2	-37	F	SSE	37	E
7	3	S	44	2	-33	F	S	44	E
8	24	WSW	26	96	34	OCN	WSW	26	OCN
9	26	WSW	35	269	127	C	WSW	35	C
10	23	SW	37	***	***	***	SW	37	***
11	7	S	31	***	***	***	S	31	***
12	66	SSW	35	***	***	***	SSW	35	***
13	82	S	28	***	***	***	S	28	***
14	115	SSW	38	***	***	***	SSW	38	***
15	182	SW	43	***	***	***	SW	43	***
16	79	SW	38	560	313	B	SW	38	B
17	85	SW	25	322	156	B	SW	25	B
18	183	SW	25	98	26	OCN	SW	25	OCN
19	26	SW	22	0	-44	F	SW	22	F
20	48	WSW	18	0	-45	F	WSW	18	F
21	43	WSW	11	0	-45	F	WSW	11	F
22	29	W	7	1	-40	F	W	7	F
23	16	NNW	9	2	-39	F	NNW	9	F
24	16	N	8	0	-36	F	N	8	F

(2) J.T.C. HALL

10月11日

SO₂日平均値：44.8ppb

時刻	SO ₂ 濃度と気象条件						代表局の気象条件		
	SO ₂ 濃度 (ppb)	風向	風速 (0.1m/s)	日射量 (0.1 cal/cm ² /h)	放射収支量	大気安定度	風向	風速 (0.1m/s)	大気安定度
1	12	N	10	0	-23	E	N	10	E
2	45	W	31	0	-16	OCN	W	31	OCN
3	15	SE	16	1	-22	E	SE	16	E
4	9	C	1	2	-27	CCCN	C	1	CCCN
5	26	NNW	6	0	-33	F	NNW	6	F
6	17	NNW	11	0	-24	F	NNW	11	F
7	14	NNW	9	5	-30	F	NNW	9	F
8	16	ESE	6	89	28	OCN	ESE	6	OCN
9	24	SW	30	164	94	C	SW	30	C
10	71	SW	25	662	395	B	SW	25	B
11	150	SSW	24	608	384	B	SSW	24	B
12	82	SSW	28	721	443	B	SSW	28	B
13	93	SW	21	536	323	B	SW	21	B
14	82	SW	36	716	427	B	SW	36	B
15	63	SW	41	681	403	B	SW	41	B
16	70	SW	48	380	207	C	SW	48	C
17	83	SW	40	224	111	C	SW	40	C
18	77	SW	27	96	21	OCN	SW	27	OCN
19	55	WSW	23	0	-37	F	WSW	23	F
20	16	W	18	0	-28	F	W	18	F
21	27	SW	18	0	-36	F	SW	18	F
22	9	SSW	24	0	-35	F	SSW	24	F
23	7	SSW	19	2	-36	F	SSW	19	F
24	12	SW	16	0	-36	F	SW	16	F

表M-2-13(3) SO₂日平均値上位2日間の気象条件

(3) S.I.U.

4月24日

SO₂日平均値：733ppb

時刻	SO ₂ 濃度と気象条件						代表局の気象条件		
	SO ₂ 濃度 (ppb)	風向	風速 (0.1m/s)	日射量 (0.1 cal/cm ² /h)	放射収支量	大気安定度	風向	風速 (0.1m/s)	大気安定度
1	37	****	****	0	-42	****	NF	10	F
2	38	****	****	0	-42	****	N	13	F
3	43	****	****	0	-40	****	NNW	16	F
4	30	****	****	0	-39	****	N	12	F
5	12	****	****	0	-32	****	N	15	F
6	13	****	****	0	-26	****	NNE	10	E
7	28	****	****	0	-20	****	N	10	E
8	60	****	****	53	20	****	NNW	8	DE
9	99	****	****	239	118	****	NNE	5	B
10	302	****	****	371	202	****	SE	8	A
11	104	****	****	641	360	****	SSE	24	B
12	228	****	****	781	436	****	S	27	B
13	370	****	****	872	490	****	S	33	B
14	149	****	****	551	308	****	S	30	B
15	29	****	****	142	71	****	W	16	C
16	24	****	****	15	0	****	ENE	18	DE
17	20	****	****	28	0	****	E	17	DE
18	29	****	****	21	-2	****	ENE	14	DE
19	33	****	****	1	-21	****	NF	18	E
20	20	****	****	0	-28	****	NE	16	E
21	27	****	****	0	-22	****	NNE	15	E
22	30	****	****	0	-21	****	NNE	13	E
23	21	****	****	0	-21	****	NE	18	E
24	14	****	****	0	-22	****	NE	18	E

(3) S.I.U.

5月12日

SO₂日平均値：692ppb

時刻	SO ₂ 濃度と気象条件						代表局の気象条件		
	SO ₂ 濃度 (ppb)	風向	風速 (0.1m/s)	日射量 (0.1 cal/cm ² /h)	放射収支量	大気安定度	風向	風速 (0.1m/s)	大気安定度
1	18	****	****	0	-38	****	ESE	18	F
2	28	****	****	0	-30	****	SE	19	F
3	33	****	****	0	-22	****	SE	19	E
4	25	****	****	0	-22	****	ESE	15	E
5	18	****	****	0	-20	****	N	12	E
6	9	****	****	0	-20	****	N	12	E
7	19	****	****	0	-20	****	N	15	E
8	31	****	****	48	18	****	NNE	12	DE
9	62	****	****	213	117	****	NE	10	C
10	40	****	****	289	163	****	ESE	23	B
11	43	****	****	388	358	****	SE	26	B
12	53	****	****	540	330	****	S	35	B
13	242	****	****	582	357	****	SSE	36	B
14	477	****	****	738	458	****	S	34	B
15	212	****	****	660	411	****	S	49	B
16	105	****	****	637	381	****	S	43	B
17	44	****	****	402	230	****	SE	35	C
18	32	****	****	88	24	****	SE	30	DE
19	41	****	****	42	-8	****	ESE	20	DE
20	25	****	****	0	-37	****	ENE	16	F
21	20	****	****	0	-39	****	E	14	F
22	35	****	****	0	-34	****	SE	19	F
23	30	****	****	0	-30	****	E	12	F
24	17	****	****	0	-38	****	E	17	F

表N-2-13(4) SO₂日平均値上位2日間の気象条件

(4) BOON LAY APARTMENT

9月4日

SO₂日平均値: 61.7 ppb

時刻	SO ₂ 濃度と気象条件						代表局の気象条件		
	SO ₂ 濃度 (ppb)	風向	風速 (0.1m/s)	日射量 (0.1 cal/cm ² /h)	放射収支量	大気安定度	風向	風速 (0.1m/s)	大気安定度
1	28	S	9	0	-44	F	SSW	21	F
2	40	SSW	6	0	-49	F	SSW	16	F
3	24	NNW	5	0	-51	F	WSW	6	F
4	6	N	12	0	-52	F	NNW	11	F
5	4	N	17	0	-44	F	N	15	F
6	****	NNW	12	0	-31	F	N	13	F
7	****	NNW	8	7	-23	E	N	11	E
8	****	C	3	156	66	CCCN	N	6	B
9	29	SE	12	443	254	R	S	9	A
10	84	SSE	31	572	339	H	S	30	B
11	121	SSE	36	740	442	B	S	35	B
12	190	SSE	36	803	480	R	SSW	35	B
13	181	S	31	670	395	R	SSW	28	B
14	210	S	25	434	248	H	S	22	B
15	113	SSE	38	544	320	H	SSW	32	B
16	190	SSE	39	247	135	C	S	36	C
17	29	SE	45	180	79	C	SSE	34	C
18	9	ESE	38	94	17	DCN	SE	40	DCN
19	7	SE	31	4	-44	F	SSE	28	F
20	7	ESE	28	0	-43	F	SE	25	F
21	6	ESE	25	0	-42	F	SE	22	F
22	6	ESE	25	0	-48	F	SE	24	F
23	5	E	29	0	-50	F	SE	24	F
24	6	E	21	0	-44	F	F	14	F

(4) BOON LAY APARTMENT

5月2日

SO₂日平均値: 60.4 ppb

時刻	SO ₂ 濃度と気象条件						代表局の気象条件		
	SO ₂ 濃度 (ppb)	風向	風速 (0.1m/s)	日射量 (0.1 cal/cm ² /h)	放射収支量	大気安定度	風向	風速 (0.1m/s)	大気安定度
1	7	WSW	57	0	-30	DCN	WSW	46	E
2	3	WSW	41	0	-30	E	WSW	29	F
3	2	SW	35	0	-31	E	WSW	30	E
4	10	SSW	25	0	-30	F	SW	31	E
5	14	SSW	13	0	-33	F	SSW	21	F
6	17	S	6	0	-30	F	SSW	16	F
7	13	C	3	0	-32	C	S	9	F
8	7	NNW	11	21	-22	DCN	NNW	10	DCN
9	10	C	4	169	69	CCCN	C	4	CCCN
10	11	S	20	390	212	B	SSW	24	B
11	81	S	26	604	348	B	SSW	25	B
12	250	S	25	759	428	B	S	26	B
13	140	S	24	809	445	B	SSW	22	B
14	241	SSE	22	749	415	B	SSW	21	B
15	169	S	25	772	450	B	SSW	30	B
16	216	SSE	31	356	181	C	SSW	30	C
17	99	SSE	26	160	65	C	S	25	C
18	33	SE	23	244	103	C	S	18	C
19	39	SE	13	69	10	E	S	18	E
20	14	SSE	13	0	-41	F	S	15	F
21	24	SSE	17	0	-40	F	SSE	18	F
22	17	SSE	20	0	-41	F	SSE	23	F
23	13	SSE	20	0	-41	F	SSE	20	F
24	19	SSE	14	0	-41	F	S	16	F

表N-2-13(5) SO₂日平均値上位2自間の気象条件

(5) BUKIT TIMAH FIRE ST.

10月29日 SO₂日平均値：430ppb

時刻	SO ₂ 濃度と気象条件						代表局の気象条件		
	SO ₂ 濃度 (ppb)	風向	風速 (0.1m/s)	日射量 (0.1 cal/cm ² /h)	放射収支量	大気安定度	風向	風速 (0.1m/s)	大気安定度
1	24	NNW	8	6	-25	F	N	15	E
2	22	NNW	6	15	-27	F	N	14	E
3	15	C	3	3	-27	CC3M	N	14	E
4	9	NNW	6	1	-26	F	N	13	E
5	5	C	2	2	-37	CO	NE	14	F
6	8	SSE	6	2	-37	F	SSE	37	E
7	20	SE	7	2	-33	F	S	44	E
8	20	NW	7	96	34	DCM	WSW	26	DCM
9	27	N	9	269	127	A	WSW	35	C
10	25	SSW	9	****	****	****	SW	37	****
11	29	S	9	****	****	****	S	31	****
12	32	SSW	8	****	****	****	SSW	35	****
13	90	SW	8	****	****	****	S	28	****
14	97	SW	11	****	****	****	SSW	38	****
15	126	SSW	11	****	****	****	SW	43	****
16	102	SW	13	560	313	B	SW	38	B
17	40	SSW	9	322	156	A	SW	25	B
18	122	C	3	98	26	CCCM	SW	25	DCM
19	91	C	1	0	-44	CO	SW	22	F
20	30	C	2	0	-45	CO	WSW	18	F
21	31	C	1	0	-45	CO	WSW	11	F
22	27	C	0	1	-40	CO	N	7	F
23	22	C	0	2	-39	CO	NNW	9	F
24	17	C	0	0	-38	CO	N	8	F

(5) BUKIT TIMAH FIRE ST.

3月1日

SO₂日平均値：383ppb

時刻	SO ₂ 濃度と気象条件						代表局の気象条件		
	SO ₂ 濃度 (ppb)	風向	風速 (0.1m/s)	日射量 (0.1 cal/cm ² /h)	放射収支量	大気安定度	風向	風速 (0.1m/s)	大気安定度
1	10	NNE	5	0	-55	F	N	19	F
2	7	N	5	0	-50	F	NNE	30	E
3	6	C	4	0	-45	CO	N	35	E
4	11	C	4	0	-39	CO	N	23	F
5	11	C	4	0	-31	CO	NNW	20	F
6	10	C	3	0	-31	CO	ESE	5	F
7	14	C	3	0	-33	CO	SSW	44	E
8	119	NNE	6	29	-10	DCM	E	18	DCM
9	193	N	14	198	100	C	N	29	C
10	31	N	19	383	214	B	N	30	C
11	123	N	16	630	361	B	N	26	B
12	61	NNW	10	718	419	B	N	17	B
13	33	NNW	7	501	298	A	N	19	B
14	29	WSW	9	762	448	A	N	23	B
15	45	S	5	133	69	B	NNW	18	C
16	17	NE	17	22	7	DCM	N	21	DCM
17	21	C	1	35	11	CCCM	N	24	DCM
18	16	C	2	103	48	CCCM	NNE	9	DCM
19	68	C	4	35	2	CCCM	NNE	18	E
20	12	C	3	0	-29	CCCM	NE	18	E
21	12	C	1	0	-29	CCCM	ENE	22	E
22	11	C	1	0	-25	CCCM	ENE	14	E
23	10	C	3	0	-22	CCCM	NE	24	E
24	19	C	4	0	-23	CCCM	NE	36	DCM

表N-2-13(6) SO₂日平均値上位2日間の気象条件

(6) CHANGI AIRPORT

5月8日 SO₂日平均値: 215 ppb

時刻	SO ₂ 濃度と気象条件						代表局の気象条件		
	SO ₂ 濃度 (ppb)	風向	風速 (0.1m/s)	日射量 (0.1 cal/cm ² /h)	放射収支 差	大気安 定度	風向	風速 (0.1m/s)	大気安 定度
1	7	N	7	0	-25	F	N	7	E
2	11	WSW	20	0	-19	E	WSW	20	E
3	9	WSW	51	0	-20	DSW	WSW	51	DSW
4	7	WSW	42	0	-21	DSW	WSW	42	DSW
5	21	WSW	28	0	-29	E	WSW	28	E
6	36	WSW	16	0	-30	F	WSW	16	F
7	26	NW	5	0	-24	F	NW	5	E
8	19	NW	8	28	-11	DCM	NW	8	DCM
9	29	SW	10	209	100	C	SW	10	C
10	25	SW	10	458	260	CH	SW	10	B
11	22	NW	9	629	373	A	NW	9	A
12	50	E	18	****	****	****	E	18	****
13	34	SSE	42	****	****	****	SSE	42	****
14	23	S	46	****	****	****	S	46	****
15	15	S	50	****	****	****	S	50	****
16	16	S	48	****	****	****	S	48	****
17	18	S	42	****	****	****	S	42	****
18	19	S	30	304	151	C	S	30	C
19	23	S	19	98	0	E	S	19	E
20	32	SSW	12	0	-42	F	SSW	12	F
21	28	SW	9	0	-33	F	SW	9	F
22	17	C	3	0	-40	CO	C	3	CO
23	16	N	10	0	-30	F	N	10	F
24	12	WNW	11	0	-30	F	WNW	11	F

(6) CHANGI AIRPORT

11月3日 SO₂日平均値: 203 ppb

時刻	SO ₂ 濃度と気象条件						代表局の気象条件		
	SO ₂ 濃度 (ppb)	風向	風速 (0.1m/s)	日射量 (0.1 cal/cm ² /h)	放射収支 差	大気安 定度	風向	風速 (0.1m/s)	大気安 定度
1	29	WSW	32	****	-29	DSW	WSW	32	DSW
2	39	SW	30	****	-24	DSW	SW	30	DSW
3	26	SW	30	****	-22	DSW	SW	30	DSW
4	30	SW	34	****	-17	DSW	SW	34	DSW
5	33	SW	36	****	-21	DSW	SW	36	DSW
6	33	SW	35	****	-19	DSW	SW	35	DSW
7	11	SW	34	****	-16	DSW	SW	34	DSW
8	14	SW	29	****	33	****	SW	29	****
9	24	SW	22	****	130	****	SW	22	****
10	37	SSW	22	****	238	****	SSW	22	****
11	29	SSW	19	****	251	****	SSW	19	****
12	28	SSW	11	****	314	****	SSW	11	****
13	37	NW	6	****	269	****	NW	6	****
14	10	NNW	18	****	201	****	NNW	18	****
15	5	NNW	15	****	160	****	NNW	15	****
16	4	NNW	18	****	113	****	NNW	18	****
17	4	NNW	17	****	40	****	NNW	17	****
18	11	NNW	15	****	-7	****	NNW	15	****
19	17	W	13	****	-20	E	W	13	E
20	28	WSW	13	****	-20	E	WSW	13	E
21	16	WSW	9	****	-22	E	WSW	9	E
22	9	WSW	10	****	-27	E	WSW	10	E
23	5	W	9	****	-23	E	W	9	E
24	7	W	8	****	-16	E	W	8	E

表 N-2-13(7) SO₂ 日平均値上位 2 日間の気象条件

(7) BEDOK POLICE STATION

3月8日

SO₂日平均値：269 ppb

時刻	SO ₂ 濃度と気象条件						代表局の気象条件		
	SO ₂ 濃度 (ppb)	風向	風速 (0.1m/s)	日射量 (0.1 cal/cm ² /h)	放射収支量	大気安定度	風向	風速 (0.1m/s)	大気安定度
1	7	NW	10	0	-28	F	WNW	8	E
2	11	NW	13	0	-29	F	W	10	E
3	7	NW	9	0	-29	F	NW	9	E
4	6	NW	6	0	-28	F	NNW	6	E
5	6	NW	8	0	-28	F	W	7	E
6	6	NW	6	0	-32	F	W	12	F
7	14	NNW	7	0	-38	F	W	10	F
8	16	NW	13	22	-22	DCW	W	9	DCW
9	17	WNW	10	173	75	C	W	13	C
10	68	WNW	13	269	149	B	W	16	B
11	51	NW	12	169	90	C	WNW	14	C
12	46	C	4	323	191	CH	WNW	8	A
13	22	SW	6	393	228	A	W	10	B
14	51	WSW	11	420	248	B	WNW	10	B
15	28	SW	15	208	103	C	S	15	C
16	56	SSW	10	138	62	C	E	24	C
17	94	C	4	179	83	CCLW	E	27	C
18	40	SE	9	177	75	H	SE	23	C
19	28	ESE	12	70	5	F	E	26	E
20	21	ESE	14	0	-32	F	ESE	19	F
21	17	E	5	0	-40	F	ENE	20	F
22	12	NE	5	0	-30	F	NE	14	F
23	10	C	4	0	-26	CCW	N	14	E
24	12	C	3	0	-27	CCW	NW	6	E

(7) BEDOK POLICE STATION

3月31日

SO₂日平均値：259 ppb

時刻	SO ₂ 濃度と気象条件						代表局の気象条件		
	SO ₂ 濃度 (ppb)	風向	風速 (0.1m/s)	日射量 (0.1 cal/cm ² /h)	放射収支量	大気安定度	風向	風速 (0.1m/s)	大気安定度
1	6	NNW	12	0	-48	F	NNW	8	F
2	5	NNW	11	0	-46	F	NW	6	F
3	6	NNW	8	0	-44	F	NNW	5	F
4	7	C	4	0	-40	CD	WNW	8	F
5	5	NNW	6	0	-32	F	W	13	F
6	4	NW	8	0	-20	E	SSW	15	F
7	7	WSW	11	1	-32	F	SW	11	F
8	13	SW	6	110	20	DCW	SW	7	DCW
9	30	WSW	5	320	157	A	S	12	B
10	44	C	4	355	185	CB	C	1	CB
11	58	C	4	448	255	CB	C	3	CB
12	67	SSW	8	662	396	A	S	14	B
13	60	S	12	840	504	B	SSE	38	B
14	26	SSW	12	751	451	B	SSE	42	B
15	44	SSW	14	601	350	B	SSE	37	B
16	52	SSW	15	605	346	B	SSE	24	B
17	47	SSW	13	430	227	B	NNE	20	B
18	46	SW	5	228	108	B	NNE	19	C
19	28	NE	11	30	-25	E	NNE	14	E
20	18	NE	11	0	-42	F	NE	14	F
21	15	NE	7	0	-47	F	NE	9	F
22	12	ENE	8	0	-45	F	NE	7	F
23	12	C	4	0	-45	CD	NNE	5	F
24	10	NNW	5	0	-44	F	N	9	F

1944

1. The first part of the document discusses the general situation of the country and the progress of the war. It mentions the importance of maintaining the morale of the people and the need for a united front.

2. The second part of the document deals with the economic situation and the measures being taken to improve it. It emphasizes the need for a balanced budget and the reduction of public debt.

3. The third part of the document discusses the social situation and the need for social reforms. It mentions the importance of improving the living conditions of the working class.

4. The fourth part of the document deals with the political situation and the need for a strong and efficient government. It mentions the importance of maintaining the independence and sovereignty of the country.

5. The fifth part of the document discusses the cultural situation and the need for a vibrant and progressive culture. It mentions the importance of promoting national identity and values.

6. The sixth part of the document deals with the international situation and the need for a peaceful and cooperative world. It mentions the importance of strengthening ties with friendly nations.

7. The seventh part of the document discusses the future prospects of the country and the need for a bright and hopeful future. It mentions the importance of working together to build a better tomorrow.

1945

1. The first part of the document discusses the progress of the war and the need for a final victory. It mentions the importance of maintaining the morale of the people and the need for a united front.

2. The second part of the document deals with the economic situation and the measures being taken to improve it. It emphasizes the need for a balanced budget and the reduction of public debt.

3. The third part of the document discusses the social situation and the need for social reforms. It mentions the importance of improving the living conditions of the working class.

4. The fourth part of the document deals with the political situation and the need for a strong and efficient government. It mentions the importance of maintaining the independence and sovereignty of the country.

5. The fifth part of the document discusses the cultural situation and the need for a vibrant and progressive culture. It mentions the importance of promoting national identity and values.

6. The sixth part of the document deals with the international situation and the need for a peaceful and cooperative world. It mentions the importance of strengthening ties with friendly nations.

7. The seventh part of the document discusses the future prospects of the country and the need for a bright and hopeful future. It mentions the importance of working together to build a better tomorrow.

第 V 編

SO₂ 予測シミュレーション

1978

1978

1978

第V編 SO₂予測シミュレーション

第III編発生源、及び第IV編気象と環境濃度の測定データの解析で得られたデータを使用し、次のような方法によりSO₂予測シミュレーションを実施し、シンガポール共和国の現状(1981年)及び将来(1990年)におけるSO₂年平均値を予測した。

SO₂予測シミュレーションの実施手順は第I編図1-2-2に示されているとおりである。

第1章 SO₂予測シミュレーションの方法

1-1 予測手法の種類

工場等の発生源から排出された汚染物質によって、環境濃度がどのようになるかを予測する手法として種々のものがあるが、これらの手法は一般的に次のように分類される。

- 大気拡散実験 (air tracer diffusion experiment)
- 模型実験 (similarity model experiment)
 - 風洞実験 (wind tunnel experiment)
 - 水槽実験 (water channel experiment)
- 数値モデル・シミュレーション (mathematical model simulation)
 - 数値解モデル (numerical model)
 - 差分モデル (finite difference model)
 - 有限要素法 (finite element method) etc.
 - 解析解モデル (analytical model)
 - プルームモデル (plume model)
 - パフモデル (puff model) etc.
 - 経験的モデル (empirical model)

図V-1-1 大気汚染予測手法の種類

これらの予測手法の概要は次のとおりである。

1-1-1 大気拡散実験と模型実験

大気拡散実験は建設が予定される汚染発生源の位置からエアートレーサーを放出し、その風下に多数のエアースンプラーを配置して、その濃度分布を調査する方法である。エアートレー

サーとしては、SF₆（六フッ化硫黄）や蛍光粒子など、人間や動植物には無害であり、なお非常に微量であっても定量分析ができる物質である。このような拡散実験と、その時に同時に行われる各種気象観測の資料を解析することにより、工場など汚染発生源の建設予定地周辺における大気拡散の特性を把握することができる。

複雑な地形上における拡散や煙突の近くにある建築物による煙の巻込み現象（down draft）を調査する場合、数学的方法による予測計算が難しいので、模型実験の手法がしばしば利用される。風洞実験は、風洞（wind tunnel）の内に煙源周辺の地形や建築物の模型を配置して行なうものであり、可視的な煙を流して定性的な解析をする「煙流し試験」と、分析の容易なトローサーガスを流してその濃度分布の測定をする「拡散定量実験」がある。

1-1-2 数値モデル

大気拡散実験や模型実験は大がかりな設備を必要とし、さまざまに変化する気象条件や発生源条件の下での予測結果を得ることは費用の面からも時間的な面からも困難である。数値モデルは、汚染物質の拡散現象を数式により表現したモデルであり、それらの数式に含まれる気象条件や発生源条件を色々変化させた場合についても環境濃度を予測することができる。しかしながら、気象条件や地形、建物等の影響によって複雑に変化する拡散現象を数学的にモデル化したものであることから、数値モデルには自ずとその適用限界があることに留意しておく必要がある。

大気中に排出された汚染物質は、風によって流されながら、しだいに拡散希釈される。このとき、大気の乱れによる汚染物質の拡散量は濃度勾配に比例すると考えると、大気の拡散現象を数学的に表現した次に示す拡散微分方程式が得られる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} \\ = \frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial C}{\partial z}) + Q \end{aligned}$$

Equation V-1-1

where;

K_x : eddy-diffusion coefficient in the x-direction (m²/sec)

K_y : eddy-diffusion coefficient in the y-direction (m²/sec)

K_z : eddy-diffusion coefficient in the z-direction (m²/sec)

Q : Source strength (unit/sec)

拡散係数は濃度勾配に対する比例係数である。

数値モデルの多くは、この拡散方程式を基礎としている。

(1) 数値解モデル

数値解モデルは、拡散方程式を差分法や有限要素法によって数値的に解く方法であり、コンピュータの発達によって発展して来た。この方法は、気象条件等が複雑でかつ非定常である場合にも適用でき、最も有効な拡散手法である。しかしながら、この計算には膨大な計算時間を必要とすることから、年平均値の予測のように多くの気象条件下での予測を必要とする場合への適用は費用的な面からの制約を受ける。従って、数値解モデルは、後に述べる解析解モデルの適用が困難な道路内の拡散や化学反応を含んだ光化学汚染予測等に多く利用されている。

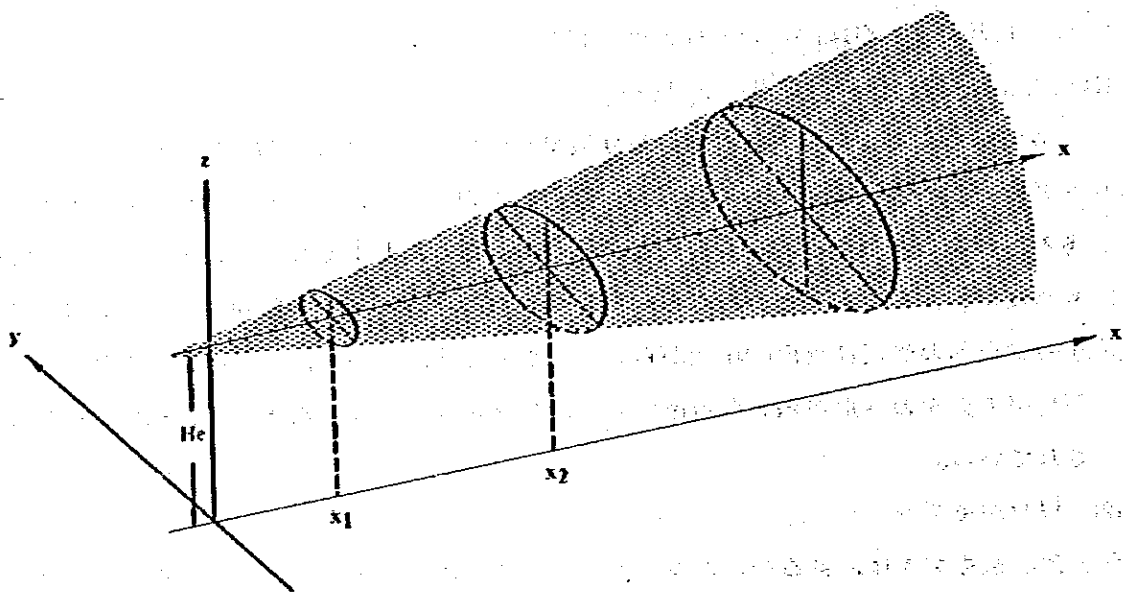
(2) 解析解モデル

解析解モデルは、ある一定の境界条件の下に拡散方程式を解析的に解いて得られた数式モデルであり、多くの種類がある。正規型プルームモデル及び正規型パフモデルはその中で最も多く利用されているものである。

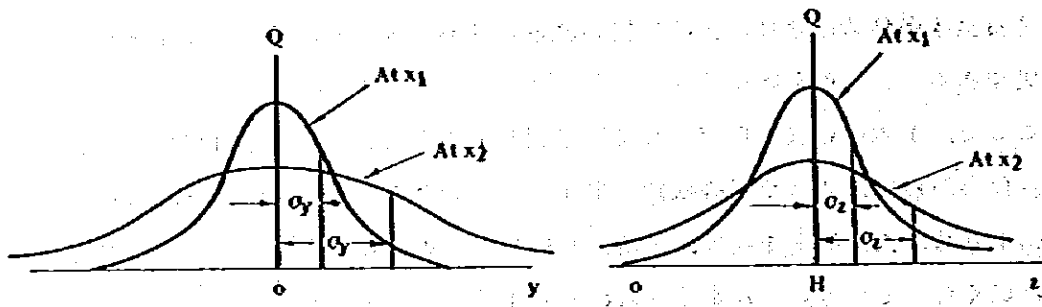
① 正規型プルームモデル

ある気象条件のときに、汚染物質の拡散の状態を推定し、汚染濃度を求める関係式が拡散式である。

ここで、1本の煙突から連続して同じ割合で汚染物質が排出されている場合を対象にする。煙突から排出された煙の状態(形)は時々刻々と変化しているが、ある程度長い時間(約10分以上)観測を続け、平均値を取ると煙の流れの中心部では濃度が高く、周辺部では低くなっている。これを模式的に表わすと図V-1-2のようになる。



A. Three dimensional plume of material



B. Component distribution of material at $(x_1, 0, H_e)$ and $(x_2, 0, H_e)$

図 V - 1 - 2 正規型プランムモデルの概要

式(Ⅴ-1-1)の拡散式では煙突のある地面上の地点を原点(0, 0, 0)として、風下の方向をx軸の正の方向、風と直角な水平方向をy軸、垂直上方をz軸の正の方向としてある。すなわち、煙源の位置は(0, 0, He)となる。ただし、Heは有効煙突高度である。

煙流(プルーム: plume)を流れの中心軸に垂直な平面で切ったときの、断面における排煙の濃度の分布は正規分布(normal distribution)に近似される場合が多い。正規分布では図Ⅴ-1-2に示すように中心で最も密度が高く、左右対称で、両端では密度が低くなっている。そして、この分布の広がり(標準偏差σ)をもって表わされる。したがって煙の濃度分布を表わす場合にも、濃度の標準偏差σ(煙の拡散幅)が使用される。

今までは水平方向の濃度分布について説明したが、垂直方向では地面の影響などで多少異なる分布型をしているが、正規分布で近似されることが多い。

この場合に拡散式は次のように表わされる。

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left(\exp\left(-\frac{(Z-He)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(Z+He)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right) \quad (\text{Ⅴ-1-2})$$

ただし、C: 汚染濃度(ppm単位にするときは10⁶を乗ずる)

Q: 汚染物質排出強度(m³/s)

u: 風速(m/s)

He: 有効煙突高度(m)

σ_y: 水平方向の拡散幅(m)

σ_z: 垂直方向の拡散幅(m)

式(Ⅴ-1-2)は正規型プルーム拡散式とも呼ばれており、式(Ⅴ-1-1)を解くことによって求められるが、厳密には次の条件を満たすことが必要である。

- i) 汚染物質は気体または約10ミクロン以下の小さな粒子で重力落下が無視できる。
- ii) 大気中で化学反応などにより生成あるいは消滅することはない。
- iii) 地表面を通じて汚染物質の出入りはない。
- iv) 風向、風速は時間的にも空間的にも変化しない。
- v) 拡散係数は対象空間内で一様である。
- vi) 汚染物質の排出量は常に一定で変化しない。
- vii) 風下方向への拡散は風による移流効果と比較して無視できる。

上記の制約条件のうち、鉛直方向拡散係数が高度に比例するときの解が坂上式であるというように、いくつかの条件については、その制約をゆるめても式(Ⅴ-1-1)の解が

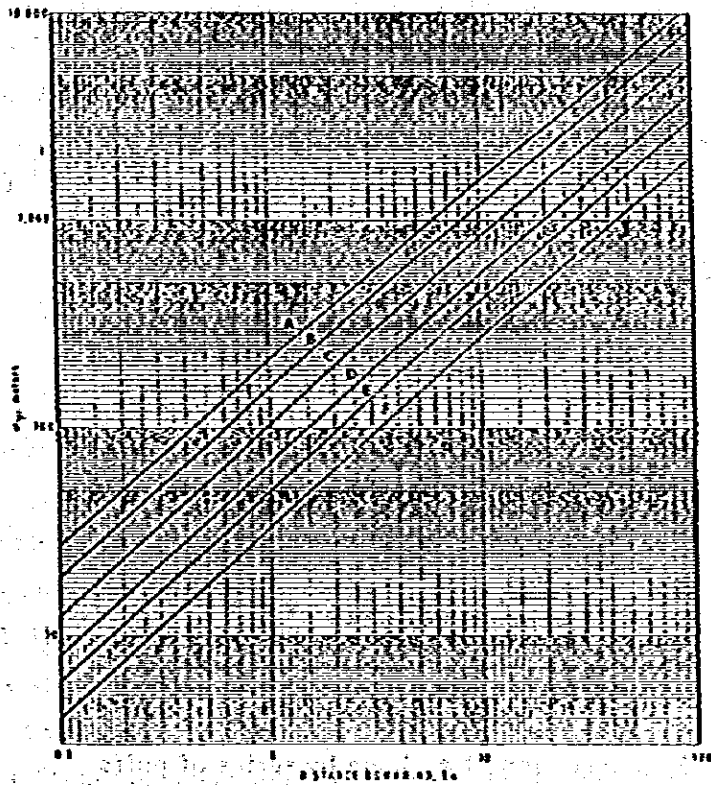
求められることもあるが、非常に複雑な数式となる場合が多い。また、拡散係数 K_y, K_z は空間的に一様であれば、時間的には多少変化しても、式(Ⅴ-2-2)に示す正規型ブルーム式を導くことができる。事実、拡散係数は煙の拡散時間(煙が排出された後の経過時間)とともに変化する。もし、拡散係数の時間的な変化がなければ、拡散係数 K と拡散幅 σ の間には式(Ⅴ-1-3)に示す関係が成立する。

$$\sigma^2 = 2Kt \quad \dots\dots\dots (Ⅴ-1-3)$$

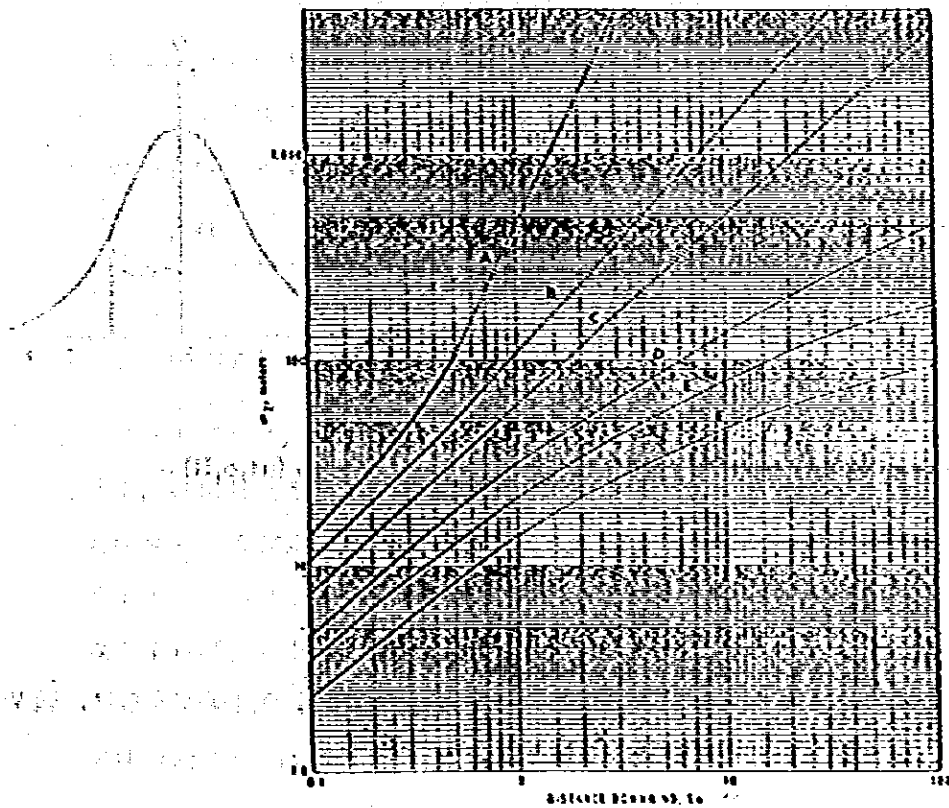
垂直方向の拡散幅 σ_z は大気の状態によって強く影響を受ける。大気が上下に動きやすい不安定な大気中では σ_z は風下距離とともに急速に大きくなるが、安定な大気中(上空ほど気温が高くなる逆転層中)では煙が風下へ流されても σ_z はそれほど大きくならない。

大気の安定度とは大気が上下に動きやすいか否かの程度を表わす指標であり、垂直方向の大気の乱れ(風の変動量)の状況を把握するために使用されるので、煙の広がり σ (拡散幅)を表わす指標として利用できる。

最も広く利用されている拡散幅の推定方法はPasquillの方法と呼ばれるものである。この方法では、測定しやすい地上風速、日射量、雲量からPasquillの安定度階級(A~Fの6階級)を決定し、図Ⅴ-1-3(1)~(2)より安定度階級に対応する拡散幅 σ_y, σ_z を求める。



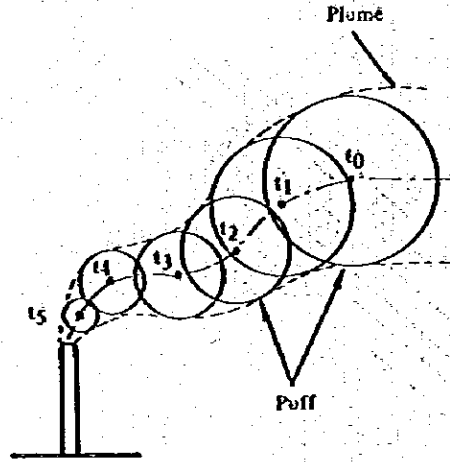
図V-1-3(1) 発生源からの風下距離の関数としての水平拡散パラメータ (Pasquill-Gifford)



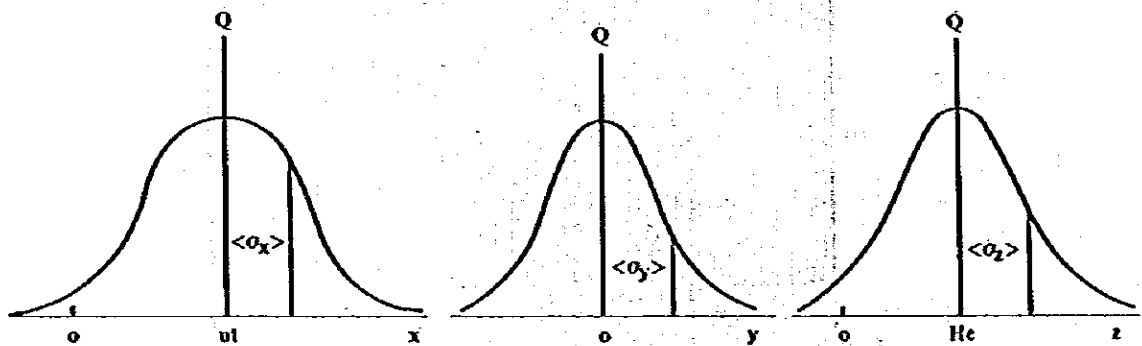
図V-1-3(2) 発生源からの風下距離の関数としての鉛直拡散パラメータ (Pasquill-Gifford)

② 正規型パフモデル

正規型パフモデルは、瞬間的に排出された煙塊（パフ）が風によって流されながら拡がって行く状態を表現したものであり、それを模式的に表わすと図 Y-1-4 のようになる。



A. Expression of a plume by series of puffs



B. Component distributions of material about axes through $(ut, 0, H)$

図 Y-1-4 正規型パフモデルの概要

パフを $x-y$ 平面及び $x-z$ 平面で切ったときの断面における煙の濃度の分布は、図 Y-1-4 に示すように正規分布で近似されている。

この場合に拡散式は次のように表わされる。

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp - \left[\frac{(x - \bar{u}t)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right]$$

Equation V-1-4

$$\left\{ \exp - \left[\frac{(z - H_e)^2}{2\sigma_z^2} \right] + \exp - \left[\frac{(z + H_e)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right\}$$

where, the symbols are

Q : Amount of pollutant emitted per unit time

x, y, z : Cartesian coordinates with the origin at the ground level point below the source. x axis is down wind direction, y is normal to x and z in vertical upwards.

U : Wind velocity

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$: Standard deviations of the material concentration distribution

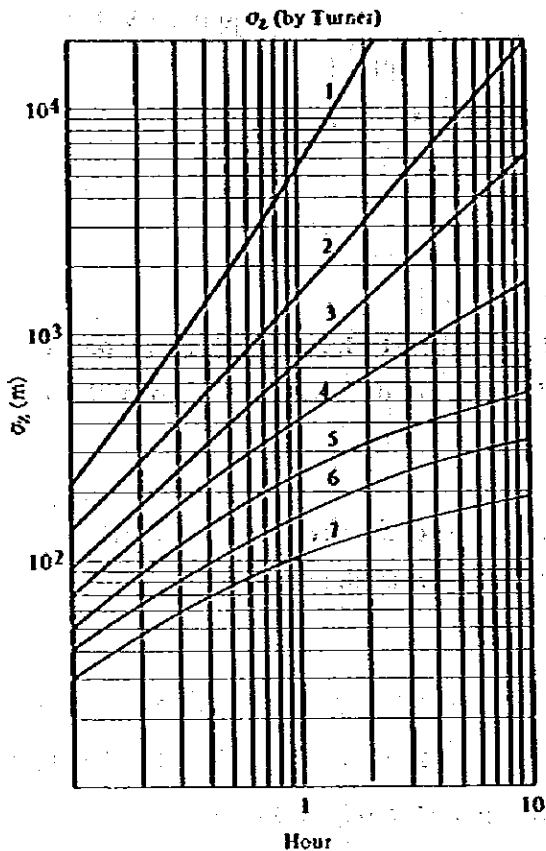
t : Floating time of the puff after emitted from the source

式 (V-1-4) は瞬間的に排出された煙塊による濃度を計算するものであるので、連続的に排出される煙の濃度を求めるためには、図 V-1-4 に示すように煙塊を複数のパフの集合体と考え、各パフによる濃度の和として次式により計算される。

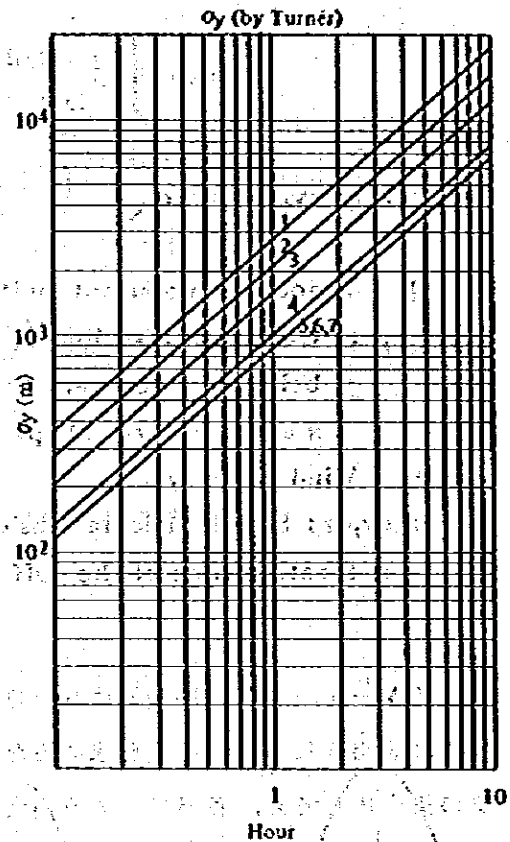
$$C = \int_{T_1}^{T_2} \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left\{ - \frac{(x - \bar{u}t)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right\} \left[\exp \left\{ - \frac{(z - H_e)^2}{2\sigma_z^2} \right\} + \exp \left\{ - \frac{(z + H_e)^2}{2\sigma_z^2} \right\} \right] dt \quad \dots\dots\dots (V-1-5)$$

パフモデルは、ブルームモデルの場合の制約条件のうち、IV, VI, VIIは考慮しなくても良く、排出強度や風速が変化しても、数値積分によって濃度が計算できるが、計算量が莫大な量となる欠点がある。パフ拡散式の最も優れている点は、ブルーム拡散式とは異なり、風下方向への拡散を無視していないことである。風速 1 m/s 以上では、同一の拡散条件を設定すれば、パフ拡散式とブルーム拡散式の計算値は等しくなる。無風時および風速が 0 に近い値のときには、式 (V-1-4) において $\bar{u} = 0$ として、さらに若干の仮定 (拡散幅は時間に比例して大きくなる) を設定すれば、解析的に積分を解くことができる。

パフモデルにおいては、煙塊の拡散幅 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ は時間の関数である。それらの値はブルームモデルの場合と同様に大気安定度と関連しており、風下距離の関数としてのPasquill-Gifford図から求めた拡散幅をある風速で時間の関数に換算された図V-1-5(1)~(2)に示すTurner図を利用するが多い。



図V-1-5(1) 時間の関数としての鉛直拡散パラメータ (Turner)



図V-1-5(2) 時間の関数としての水平拡散パラメータ (Turner)

③ 排煙上昇高度の計算

大氣中に排出された煙は、その温度による浮力と吐出速度による運動量から、図 V-1-6 に示すように風に流されながらも上昇を続け一定高度に達する。この高度を有効煙突高 (H_e) と呼び、実煙突高 (H_o) に煙の上昇分 (ΔH) を加えたものとして表わされる。

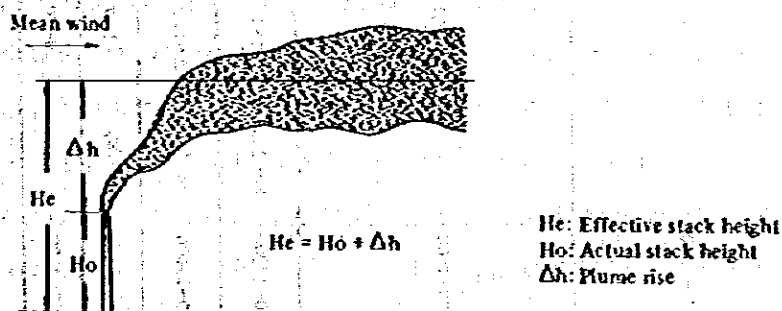


図 V-1-6 排煙上昇高と有効煙突高の関係

先に述べた解析解モデルでは、計算の便宜上この有効煙突高さの点から煙が排出されたものとした方が便利であり、計算濃度自体にもそれほど大きな差は生じないことから、一般にはこのような仮定をおいて計算している。

この煙上昇高度の計算式は多数提案されており、理論式と経験式に大別される。表 V-1-1 は種々の煙上昇高さ計算式とその適用範囲を示したものである。日本においては、このうち、Moses & carson 式、CONCAWE 式が多く用いられている。また、無風時の計算においては Briggs 式が用いられている。

表 V-1-1 煙上昇高さ計算式と適用範囲

計算式	発表年	上昇限界高さ d の計算式 Q_H (kcal/sec), U (m/sec), H_K (m), ΔT (°K) T_a (°K), V (m/sec), Q_v (m ³ /sec), Q_r (m ³ /sec), $\Delta\theta/\Delta x$ (°K/m)	図数形の 導入法	温度勾配又は安定状態に 対する適用性	式の導入に用いた実験データの 要素範囲			
					Q_H (kcal/sec)	H_K (m)	U (m/sec)	V (m/sec)
1. Boussinesq 1st formula	1950	$\Delta h = \Delta h_m + \Delta h_b$ $\Delta h_m = [4.77(1 + 0.43U/V)] \cdot \sqrt{Q_v} \cdot \sqrt{U}$ $\Delta h_b = 6.37g \frac{Q_v \cdot \Delta T}{U^2 \cdot T_a} (1.09 + \frac{2}{U} - 2)$ $J = \frac{U^2}{\sqrt{Q_v} \cdot \sqrt{V}} (0.43 \sqrt{\frac{T_a}{g \Delta\theta/\Delta x}} - 0.28 \frac{V}{U} \frac{T_a}{\Delta T}) + 1$	Theoretical (Boussinesq)	Unstable to neutral $\Delta\theta/\Delta x = 0.003$	70~1500	-	3.1~8.1	8~10.8
2. Boussinesq 2nd formula	1957	$\Delta h = \Delta h_m + \Delta h_b$ $\Delta h_m = \Delta U [f_1(a) + f_2(a_0)] = \{0.615 a_0 U^2 / (<V/U> + 0.57) U\}$ $\Delta h_b = g \cdot Q_v \cdot \Delta T / 2 = C^2 T_a U^2$ $a = (t + t_0) / \Lambda = (t / \Lambda_1) = a_0$ $a_0 = t_0 / \Lambda \quad t = x/U \quad t_0 = 4 \cdot V \cdot T_a / 3 \Delta T$ $t + t_0 = 20 \text{ sec. } C = 0.13$ $f_1(a), f_2(a_0)$	Theoretical (Boussinesq)	Unstable to neutral $t + t_0 = 200 \text{ sec}$ at stable $t + t_0 = 1.572$ $\times (2T_a / g \Delta\theta / \Delta x)^{1/2}$	70~1500	-	3.1~8.1	8~10.8
3. Boussinesq II modified at CRUEPT	1965	Diffusion coefficient $C = 0.13$ of Boussinesq 2nd formula replaced by $C = 0.26U^{1/2}$	Theoretical (Boussinesq)	Same as above	1500~17000	80~200	1~15	13.3~35
4. GERL formula (Lucas 2nd formula)	1967	$\Delta h = (104 + 0.17 H_s) Q_H^{1/4} / U$	Theoretical (Priestley)	Consideration not given	7000~25000	76~183	1.5~11.3	14~24.5
5. Nosen & Cannon formula	1968	$\Delta h = (C_1 \cdot VD + C_2 \cdot Q_H^{1/2}) / U$ $C_1 = 0.35, C_2 = 5.41$ (for neutral)	Regression equation	C_1, C_2 different at unstable or stable	2~2500	34~183	1~11.7	2.2~24.5
6. CONCAWE formula	1968	$\Delta h = 5.53 Q_H^{1/2} U^{-1/4}$	Regression equation	Consideration not given	70~4000	-	4~10	3.3~17
7. Briggs formula	1969	$\Delta h = 1.6F^{1/2} U^{-1/4} (3.5X^2)^{1/2} \quad X^2 = 3.4P^{2/3} (F > 55 \text{ m}^2/\text{sec}^2)$ $\Delta h = 5.35 Q_H^{1/2} / U \quad (Q_H > 1500 \text{ kcal/sec})$	Dimensional analysis (Briggs)	Applied at unstable to neutral, another formula for stable	1000~21000	61~183	1.8~16.5	5.5~28.9
8. TVA formula	1971	$\Delta h = 11.4 Q_H^{1/2} / U, C = 1.58 = 41.4 \Delta\theta / \Delta x$ $\Delta\theta / \Delta x = 0 \quad \Delta h = 60 Q_H^{1/2} / U$	Dimensional analysis	$\Delta\theta / \Delta x > 0.003$	7000~25000	76~183	1.5~11.3	14~24.5
9. Ohtumoto, Okunishi and Shozawa formula	1979	$\Delta h = 5.5 Q_H^{1/2} / U^{1/3}$	Regression equation	Consideration not given	100~47000	50~366	1~17	2~40

1-2 予測モデルの構成

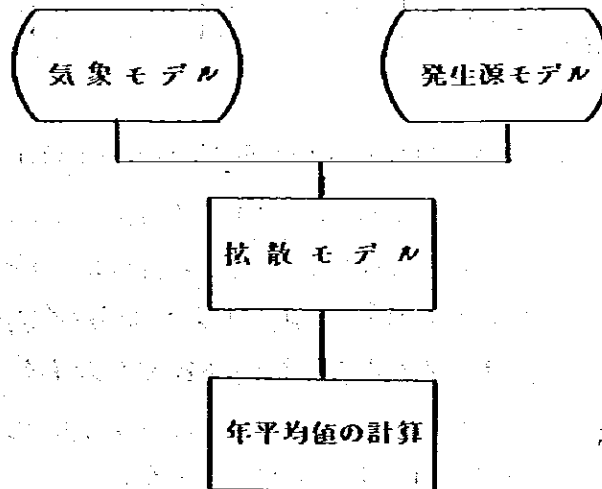
大気汚染の予測手法としては、前節でみたように種々のものがあり、各々の特徴を有している。大気汚染の予測に際し、どの予測手法を採用するかは、その予測の目的、計算スケール、対象地域の地形等の状況を考慮して決定する必要がある。

本調査の目的は、火力発電所及び一貫製鉄所の立地に係る大気質の影響を評価するため、シンガポール共和国全域の現状(1981)及び将来(1990)におけるSO₂の年平均値を予測するものであり、多数の発生源の広い範囲にわたる寄与濃度を計算する必要がある。また、対象地域は比較的平坦であり、地形による拡散場への影響は無視できるものと考えられる。

このようなことから、本調査では、拡散モデルとしてSO₂やNO_xの予測で最も多く使用されており、手法的にも確立している正規型ブルームモデル及び正規型パフモデルを採用することとした。

SO₂予測シミュレーションは、この拡散モデルを中心として、気象モデル、発生源モデル及び年平均値の計算を構成要素とした予測モデルを用いて実施した。

この予測モデルの各構成要素の関係を図V-1-7に示す。また、各構成要素の内容項目は表V-1-2に示すとおりである。



図V-1-7 予測モデルの構成

表 V-1-2 予測モデルの構成要素の内容項目

構成要素	内容項目	説明
気象モデル	気象頻度	風向・風速・大気安定度別の出現頻度
	上層風速計算式	指数法則により計算
発生源モデル	発生源データ	各発生源の位置, 高さ, 排出量等の情報
	煙上昇高の計算式	Moses & Carson 式, Briggs 式により計算
拡散モデル	拡散計算式	正規型ブルーム式, 正規型パフ式により計算
	拡散幅	Pasquill-Gifford 図, Turner 図を基に設定
年平均値の計算	年平均値の計算	気象条件別濃度をその気象頻度で加重平均して年平均値を計算

なお、気象モデルは気象と環境濃度測定データの解析結果を基に対象地域の気象状況をモデル化して設定したものであり、発生源モデルは発生源データを整理して、拡散モデルに使用できるような形にモデル化したものである。

1-3 予測モデルの詳細

1-3-1 気象モデル

大気の流れ・拡散を支配する気象の時間的・空間的分布と気象条件を次のようにモデル化して拡散計算に使用した。

(1) 時間分布

第N期気象と環境濃度測定データの解析の1-1季・時間帯区分で述べたように、気象の季節変化及び日変化を表V-1-3のように季・時間帯に区分することによりモデル化した。

表 V-1-3 季・時間帯区分

期 時間帯	S系モンスーン	N系モンスーン
	4月 ~ 11月	11月 ~ 3月
昼	7:00 ~ 17:59	7:00 ~ 17:59
夜	18:00 ~ 6:59	18:00 ~ 6:59

(2) 気象条件

気象条件を風向、風速及び大気安定度で代表させることとし、次のようにモデル化した。

① 風 向

16方位とした。

② 風 速

各測定局の風速出現頻度と拡散モデルへの感度を考慮して、次のような風速ランクに分類し代表風速を定めた。

表 V-1-4 風速ランクと代表風速

		風速ランク	代表風速
無 風	0	0 ~ 0.4 m/s	CALM
	0.5 ~ 0.9	0.5 ~ 0.9	0.7 m/s
有 風	1.0 ~ 1.9	1.0 ~ 1.9	1.5
	2.0 ~ 2.9	2.0 ~ 2.9	2.5
	3.0 ~ 3.9	3.0 ~ 3.9	3.5
	4.0 ~ 5.9	4.0 ~ 5.9	5.0
	6.0 ~	6.0 ~	7.0

③ 大気安定度

大気安定度は大気の安定性を示す指標であり、煙の拡散幅 (σ_y, σ_z) に関連している。本調査では第 IV 編 1-8 に述べたように、Pasquill の安定度分類を基に、雲量の代りに放射収支量を用いて分類する日本の通商産業省の安定度分類 (表 IV-1-13) により、有風時 A~F、無風時 CA~CD のランクに区分して扱った。拡散モデルで使用する拡散幅はこれらの大気安定度に対応させて設定した。

(3) 空間分布

① 鉛直分布

第 IV 編 1-6 で述べたように地表付近の風速は、地面粗度と大気流体の粘性抵抗のため下層ほど風速は小さくなっている。

従って、地表付近の低い所から排出される煙と、上空の高い所から排出された煙では、その移流・拡散の状況は異なったものとなる。

そこで、本調査では発生源の排出高度に応じて、上層と下層の2つの層に区分し、表 V

- 1 - 5に示すように気象を適用した。

表V-1-5 層区分と気象の扱い

層区分	対象発生源	気象の適用方法
上層	実煙突高50m以上の固定発生源	代表測定局の気象を適用するが、風速については指数法則により各煙突の実煙突高度での風速を推定して適用した。
下層	実煙突高50m未満の固定発生源及び船舶発生源	代表測定局の気象をそのまま適用した。

上層の風速の推定に使用した計算式は以下のとおりである。なお、指数Pの値は、対象地域における上空の風の統計的な測定データの解析により定めることが望ましいが、そのデータが得られないので本調査ではアメリカのEPAがCDMマニュアルに用いたPの値(表V-1-6)を使用した。

$$U(\text{at height } z_2) = U(\text{at height } z_1) (z_2/z_1)^P \dots\dots\dots (V-1-6)$$

表V-1-6 EPAがCDMマニュアルに用いたPの値

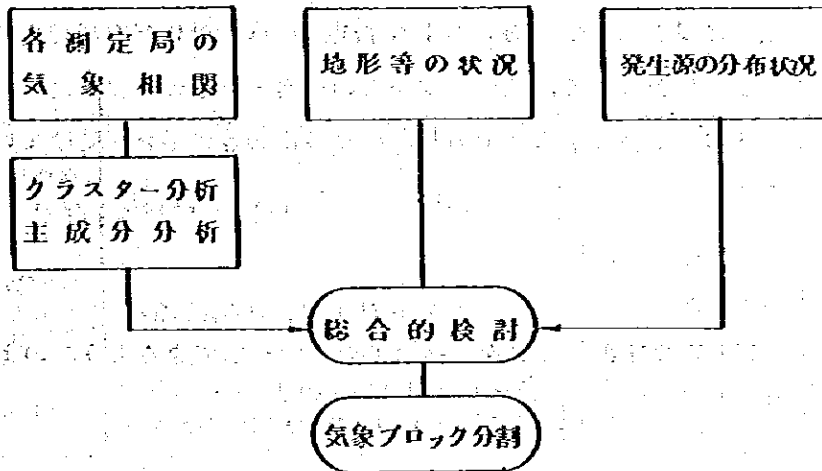
パスキル安定度	A	B	C	D	E	F
P	0.1	0.15	0.20	0.25	0.25	0.30

(註) これらの数値は、ブルックヘブン(Brookhaven)にある145mの塔の頂部と地上での風速観測値をもとにDemareis(1959)¹⁾がまとめたもので、海岸に近くゆるやかな起伏をもつ松林が散在するような地形におけるデータである。

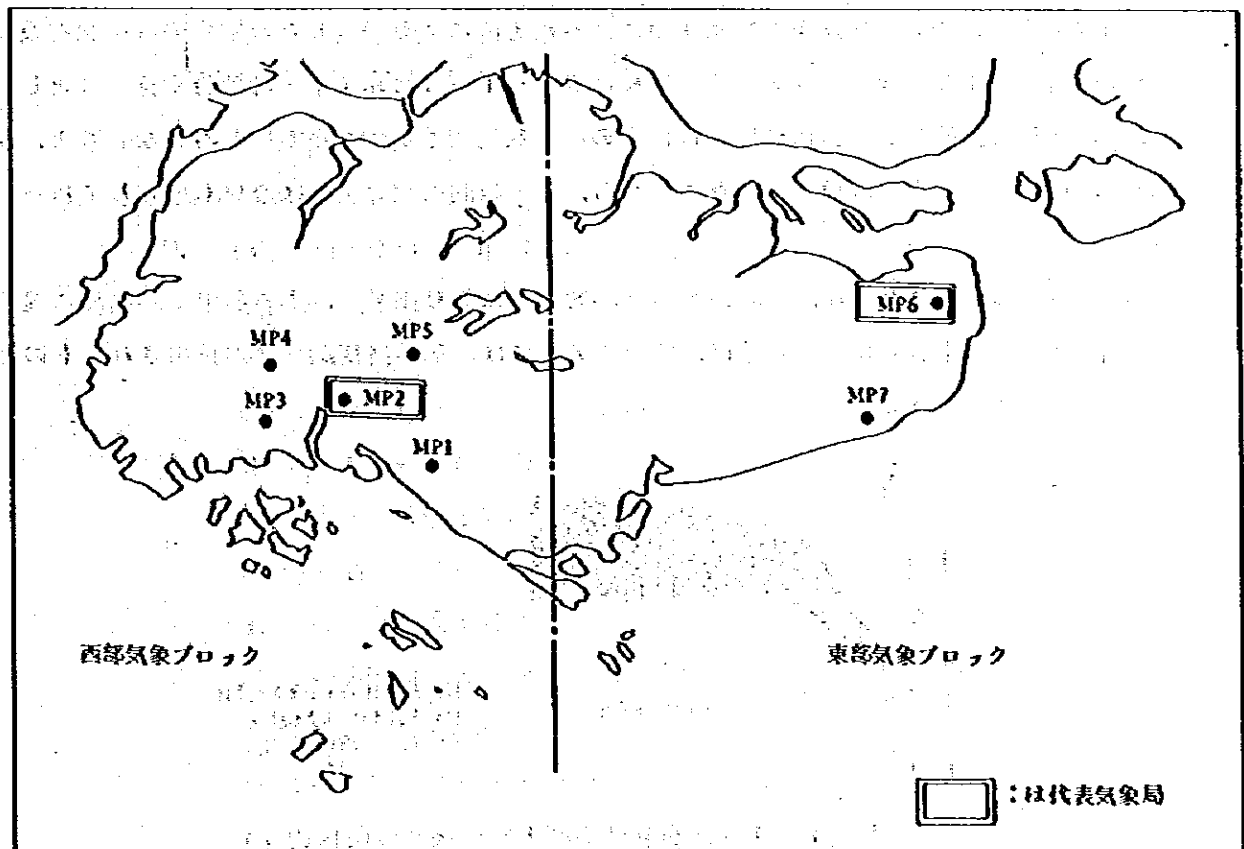
② 地域分布(気象ブロック)

各測定局間の風向・風速の相関係数を用いたクラスター分析及び主成分分析の結果をみると、MP1～MP5とMP6、MP7の二つのグループに大別されており、シンガポール共和国の東部と西部で風向・風速が異なっていることを示している。このような状況をモデル化する方法として、一般的に対象地域を複数の気象ブロックに分割し、その気象ブロック内の発生源はその気象ブロックの代表気象測定局の気象に支配されて拡散している

、そのものとして扱う方法が探られている。本調査では、図V-1-8に示す手順により、図V-1-9のように二つの気象ブロックに分割した。



図V-1-8 気象ブロック分割の手順



図V-1-9 気象ブロックと代表気象測定局

各ブロックの代表気象測定局として、東部気象ブロックはMP 6 (Changi Airport)、西部気象ブロックはMP 2 (J.T.C. Hall) を選定した。その理由は次のとおりである。

MP 6：開けた場所にあり、周りの建物や木の影響を受けておらず、かつ、得米一貫製鉄所及び火力発電所の立地する Tekong 島に近い測定局であること。

MP 2：主要発生源に近く、他の測定局との風向・風速の相関が高いこと、及び風向・風速の測定高度が適当であり、周りの建物等の影響を受けていない測定局であること。

1-3-2 発生源モデル

第Ⅲ編で収集整理した発生源データを、拡散モデルで利用できるような次のようにモデル化して計算に使用した。

(1) 煙源形態

固定発生源については点煙源として扱い、船舶発生源については $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ メッシュの面煙源として扱った。

(2) 発生源活動の時間的変動

固定発生源については、第Ⅲ編第1章に述べた方法により調査した施設別の稼働状況及び稼働時間帯により気象データの場合と同様に表 V-1-3 に示す季・時間帯別排出量としてモデル化した。船舶発生源については、その活動状況に季節的変動がほとんどないこと、及び碇泊時間帯の特定が困難であったことから、季・時間帯別の変動はないものとして扱った。

(3) 有効煙突高

煙突から排出された煙は、その運動量と熱的浮力により上昇し、ある所で一定高度に達するが、その高度を有効煙突高と呼び、拡散モデルでは、その高度から煙が排出されたものみなして計算している。

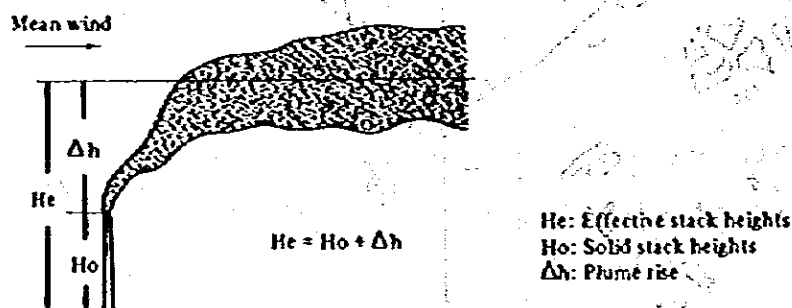


図 V-1-10 有効煙突高と実煙突高の関係

図 Y-1-10 に示すように、有効煙突高 (H_e) は実煙突高 (H_o) に煙の上昇分 (dh) を加えたものであるが、本調査では有効煙突高 (H_e) を表 Y-1-7 のように設定した。

表 Y-1-7 発生源別の有効煙突高の設定方法

発生源		有風時 ($U \geq 0.4 \text{ m/s}$)	無風時 ($U \leq 0.4 \text{ m/s}$)
固定 発生源	実煙突高 50m以上 の煙突	Moses & carson 式により計算	Briggs 式により計算
	実煙突高 50m未 満の煙突	CONCAWE 式により計算	
船舶発生源		船舶の一隻当りの平均的排ガス量等を 基に CONCAWE 式により設定 ^{*)}	船舶の一隻当りの平均的排ガス量等 を基に Briggs 式により設定 ^{*)}

*) このようにして設定した船舶発生源の有効煙突高は下表のとおりである。

風速ランク (m/s)	CALM (0~0.4)	0.5 ~ 1.9	2.0 ~ 3.9	4.0 ~
有効煙突高	170m	54m	38m	32m

計算に使用した煙上昇式は以下に示すとおりである。

① Moses & Carson 式

$$dh = (C_1 \cdot V_s \cdot D + C_2 \cdot Q_H^{1/2}) \cdot U^{-1} \quad \dots\dots\dots (Y-1-7)$$

ここに、 $Q_H = \rho \cdot Q \cdot C_p \cdot \Delta T$ (cal/s) (排出熱量)

$$\rho = 1293 \text{ g/m}^3$$

$$C_p = 0.24 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{k} \text{ (定圧比熱)}$$

Q : 排ガス量 (Nm^3/s)

ΔT : 排ガス温度と気温との温度差

$$\Delta T = (T_G - 27)^\circ\text{C}$$

T_G : 排ガス温度 ($^\circ\text{C}$)

U : 煙突頭頂部の風速 (m/s)

V_s : 排出速度 (m/s)

D : 排出口径 (m)

C_1, C_2 については、次の値を使用した。

	$d\theta/dz$	C_1	C_2
不安定	$d\theta/dz < 0$	3.47	0.33
中立	$d\theta/dz = 0$	0.35	0.171
安定	$d\theta/dz > 0$	-1.04	0.145

ここで, $d\theta/dz = dT/dz + \Gamma_d$ 温度傾度 ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$)

$\Gamma_d = 0.098$ (乾燥断熱気温減率) ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$)

② CONCAWE式 (有風時)

$$\Delta h = 0.175 Q_H^{1/2} U^{-3/4} \dots\dots\dots (\text{V-1-7})$$

③ Briggs式 (無風時)

$$\Delta h = 1.4 \cdot Q_H^{3/4} \cdot (d\theta/dz)^{-3/8} \dots\dots\dots (\text{V-1-8})$$

ここで, $d\theta/dz$ については, 次の値を使用した。

$$d\theta/dz = 0.005^{\circ}\text{C}/\text{m}$$

なお, Moses & Carson式及びCONCAWE式を適用するに当たって, 風速(U)が1m/s未満では計算式の適用限界を下回ると考えられることから, 風速(U)は1m/sとして計算した。

1-3-3 拡散モデル

本調査では拡散モデルとして正規型ブルームモデル及び正規型パフモデルを採用した。拡散モデルを拡散計算式とその計算式で使用した拡散幅に分けて以下に示す。

(i) 拡散計算式

煙源形態に対応して表V-1-8に示す拡散計算式を適用した。

表V-1-8 発生源と適用した拡散計算式

発生源	煙源形態	拡散計算式	
		有用時 ($U > 0.4 \text{ m/s}$)	無風時 ($U \leq 0.4 \text{ m/s}$)
固定発生源	点煙源	ブルーム式 (式V-1-11)	パフ式 (式V-1-13)
船	面煙源	面煙源ブルーム式 (式V-1-14)	面煙源パフ式 (式V-1-15)

使用した拡散計算式は以下に示すとおりである。

① プルーム式（有風時の点煙源に適用）

プルーム式による濃度は、

$$C(x, y, z) = \frac{Q_p}{2\pi\sigma_y\sigma_z U} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left\{-\frac{(z-He)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+He)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right]$$

..... (V-1-10)

で表わされる。座標は煙源直下の地表面を原点とし、風下方向に x 軸、それと直角な水平方向に y 軸、高さ方向に z 軸をとる。

x : 計算点の x 座標 (m)

y : 計算点の y 座標 (m)

z : 計算点の z 座標 (m)

Q_p : 点煙源強度 (m^3/s at $27^\circ C$)

U : 風速 (m/s)

He : 有効煙突高 (m)

$C(x, y, z)$: 計算点 (x, y, z) の濃度

σ_y : y 方向の煙の拡散幅 (m)

σ_z : z 方向の

上式の σ_y, σ_z は煙の拡がり表現するものであり、拡散パラメータとも呼ばれている。この値については後に述べることとする。

ところで、1-2-1で述べたように SO_2 予測シミュレーションでは、風向を16方位に区分して計算を行うが、このとき一つの風向の出現率が長期的にはその風向内に一様に分布している考えることができ、一つの風向内で濃度が一樣と考えると、長期平均濃度を計算するのに適した次式が得られる (Holland (1953))。本調査では次式を使用した。

$$C(R, z) = \sqrt{\frac{1}{2\pi}} \frac{Q_p}{\frac{\pi}{8} R \sigma_z U} \cdot \left[\exp\left\{-\frac{(z-He)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+He)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right]$$

..... (V-1-11)

R : 点煙源と計算点の水平距離 (m)

② パフ式（無風時点煙源に適用）

風速が0の場合におけるパフ式による濃度は次式により計算される。

$$C(x, y, z) = \frac{Qp}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[\exp\left\{-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right] \dots \dots (V-1-12)$$

式(V-1-12)は瞬間点煙源に対応するものであり、拡散幅 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ は、ここでは時間の関数である。ここで、拡散幅が経過時間 t に比例すると考えて、

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_y = \alpha t \\ \sigma_z &= \gamma t \quad t \text{ は経過時間 (s)} \end{aligned}$$

とおくと、連続排出点煙源の定常状態に対応する拡散式は次式のとおりとなる。

$$C(R, z) = \frac{Qp}{(2\pi)^{3/2} \gamma} \left\{ \frac{1}{R^2 + \frac{\alpha^2}{\gamma^2} (H_e - z)^2} + \frac{1}{R^2 + \frac{\alpha^2}{\gamma^2} (H_e + z)^2} \right\} \dots \dots (V-1-13)$$

ここで

$$R : \text{点煙源と計算点の水平距離 (m)} \quad R^2 = x^2 + y^2$$

③ 面煙源ブルーム式 (有風時の面煙源に適用)

給船発生源については、その場所を特定することが困難なため $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ の面煙源として扱った。その面煙源の濃度は、図V-1-11に示されるように面煙源を微小な $d\eta \times d\xi$ の発生源に分割し、この微小発生源を点煙源とみなしてブルーム式(V-1-10)を適用し、それを次式のように積分することにより計算される。

$$C(x, y, z) = \int_{x-a}^{x+a} \int_{y-a}^{y+a} \frac{Q_A}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \cdot \exp\left(-\frac{\eta^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left\{-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right] d\eta d\xi \dots \dots (V-1-14)$$

Q_A : 単位面積当りの排出強度 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ at 27°C)

a : 面源の辺の長さの $1/2$ (m)

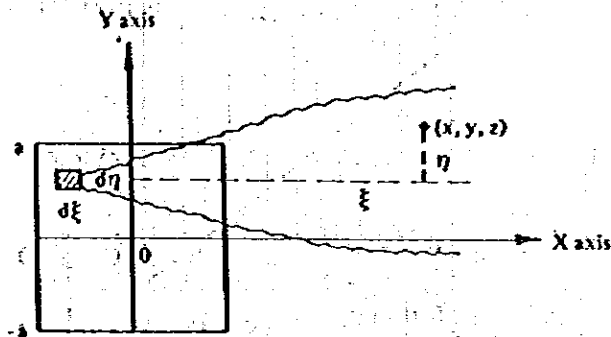


図 V-1-11 面煙源の積分の概念図 (有風時)

なお、計算点が面源内にある場合 ($x < a$) その積分範囲は $x-a \sim x$ までとなる。

④ 面煙源パフ式 (無風時の面煙源に適用)

計算の便宜上、図 V-1-12 に示すように $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ の面煙源をその面積が等しい直径 $a' = 1.13 \text{ km}$ の円に近似し、 $d\theta \times dr$ の微小な煙源に分割し、それを点煙源とみなして点煙源パフ式 (V-1-13) を適用し、次式のように積分することにより、面源の濃度を計算した。

$$C(R, z) = \int_0^{a'} \int_0^{2\pi} \frac{Q_A}{(2\pi)^{3/2} r} \left\{ \frac{1}{R^2 + \frac{a'^2}{r^2} (Hr - z)^2} + \frac{1}{R^2 + \frac{a'^2}{r^2} (Hr + z)^2} \right\} d\theta dr \dots\dots\dots (V-1-15)$$

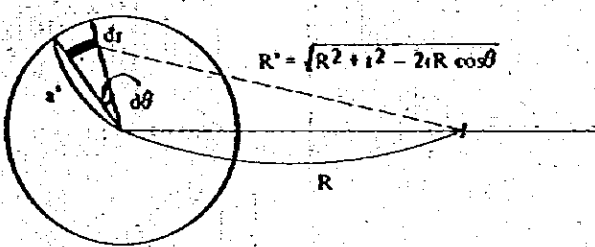


図 V-1-12 面煙源の積分の概念図

(2) 拡散パラメータ (拡散幅)

以上の拡散式に使用した拡散パラメータ (拡散幅) は、有風時は Pasquill-Gifford 図を基本にして、発生源の高度及びシミュレーション結果と実測濃度との照合結果を検討して、大気安定度に対応して表 V-1-9 のように設定した。無風時については、Turner 図を基本にして定められた日本の通商産業省による拡散パラメータを参考にし、シミュレーション

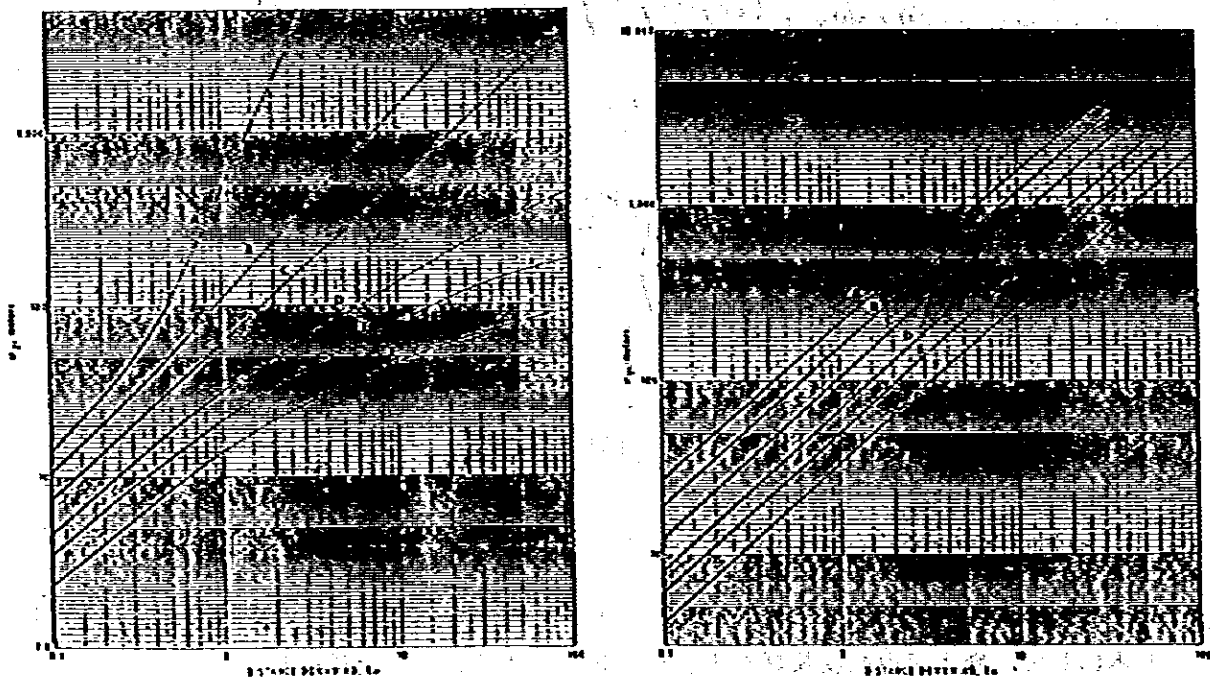
結果と実測濃度との照合結果を検討して、大気安定度に対応して図V-1-14のように設定した。

表V-1-9 使用した大気安定度別の拡散パラメータ(有風時)

発生源		大気安定度					
		A	B	C	D	E	F
上層	実煙突高50m以上の固定発生源	C			D	D-E	E
下層	実煙突高50m未満の固定発生源 船舶発生源	B	C	D	E	F	

註) 記号はPasquill-Gifford図の大気安定度に対応しており、D-E等はDとEの幾可平均を意味している。

Pasquill-Gifford図及び通商産業省による有風時の拡散係数は図V-1-13に示しておりである。



図V-1-13 Pasquill-Gifford図

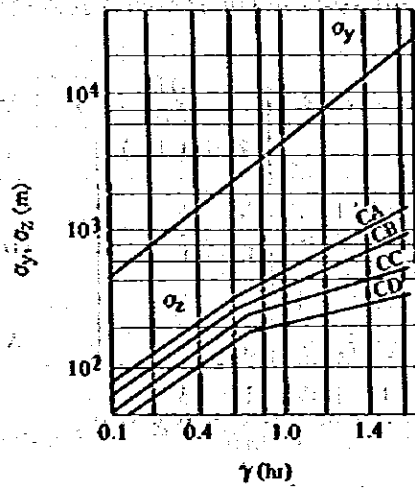


図 V-1-14 日本の通商産業省による無風時の拡散係数

1-3-4 年平均値の計算

拡散計算は類型化された気象条件（風向・風速・大気安定度の組み合わせ）ごとに行ない、これらの計算結果と気象条件の出現頻度から、年間の平均濃度を次のように計算した。

(1) 有風時の平均濃度計算

$$\bar{C} = \sum_{ijk} C(D_i, V_j, stk) \cdot f(D_i, V_j, stk)$$

ここに、 $C(D_i, V_j, stk)$: 風向 D_i 風速 V_j 安定度階級 stk のときの 1 時間濃度

$f(D_i, V_j, stk)$: 風向 D_i 風速 V_j 安定度階級 stk の出現頻度

(2) 無風時の平均濃度計算

$$\bar{C} = \sum_k C(stk) \cdot f(stk)$$

ここに、 $C(stk)$: 安定度階級 stk のときの濃度

$f(stk)$: 安定度階級 stk の出現頻度

上記、有風時及び無風時における計算は、期・時間帯別に計算し、各々の出現頻度を考慮して平均値を求めた。

1-3-5 モデルの整合性

以上に述べた方法により求めた計算値と実測値の整合性を、次の評価基準により評価した。

(1) 評価基準

「窒素酸化物総量規制マニュアル」（日本の環境庁、1982）に示されている次の評価基準を用いた。

表 V-1-1.0 各評価期間に要求される精度の目安

		季(期)区分	
		各季(期)	年
時間帯区分	各時間帯	C	B
	日	B	A

ここで、A~Cは予測精度ランクであり下表のとおり。

表 V-1-1.1 予測精度ランク

予測精度ランク	判定条件
A	$a_0 \leq \frac{1}{3}(\bar{y} - B_G) + B_G$, $a = 0.8 \sim 1.2$, $r \geq 0.71$, $s'/\bar{y} \leq \frac{1}{4}$ あるいは $a_0 \leq \frac{1}{3}(\bar{y} - B_G) + B_G$, $s'/\bar{y} \leq \frac{1}{5}$
B	$a_0 \leq \frac{2}{5}(\bar{y} - B_G) + B_G$, $s'/\bar{y} \leq \frac{1}{4}$
C	$a_0 \leq \frac{2}{5}(\bar{y} - B_G) + B_G$, $s'/\bar{y} \leq \frac{1}{3}$

(注) \bar{y} は実測値の平均、 \bar{x} は予測値の平均であり、 $a_0 = \bar{y} - \bar{x}$ である。
また、 a は回帰式の傾き、 r は相関係数、 s'/\bar{y} は回帰の傾き1の直線からの変動係数である。 B_G は、 SO_2 の場合0.003 ppmとした。

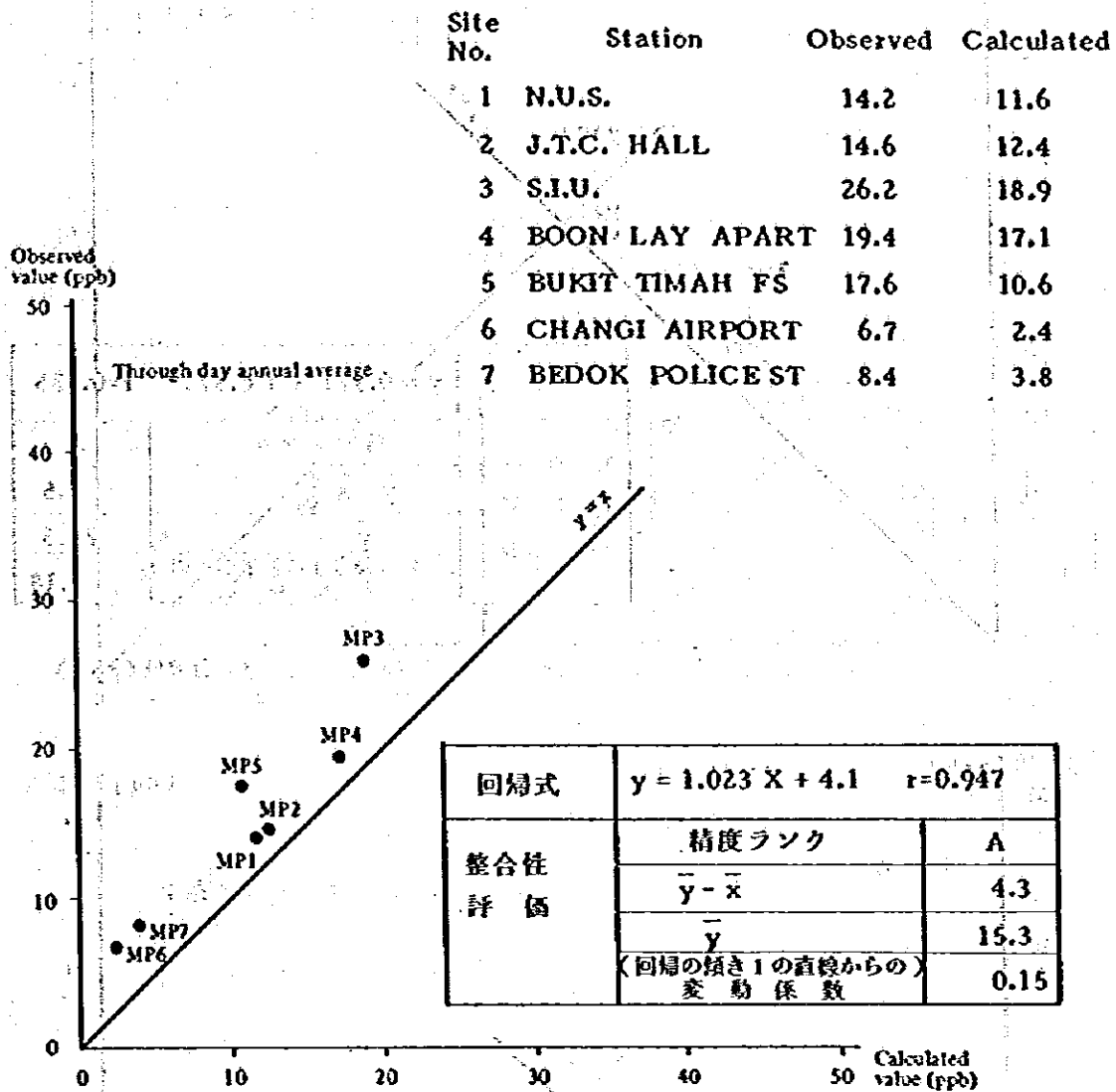
(2) 整合性の評価

以上に述べた予測モデルによるシミュレーション計算値と実測値の整合性を上記の評価基準により判定した結果は表 V-1-1.2 に示すとおりである。

表 V-1-1.2 整合性の精度ランク

時間帯	季	S系モンスーン (4月~10月)	N系モンスーン (11月~3月)	年間
	昼(7時~18時)		B		B	A
夜(18時~7時)		A	C	A
日平均		B	B	A

また、年平均値の計算値と実測値の関係は、図V-1-15に示すとおりである。



図V-1-15 SO₂年平均値の計算値と実測値の比較

以上の結果から、本調査で使用了した予測モデルはSO₂の年平均値を予測するモデルとして十分な精度を有しているといえる。

なお、参考として、整合性についてさらに詳細にみた結果を以下に示す。

① 季別・時間帯別の計算値と実測値の比較

S系モンスーン・N系モンスーン別かつ昼夜別の計算値と実測値の相関図を図V-1-16(1)~(4)に示す。いずれの季・時間帯についてもほぼ良好な整合性を得ているといえる。

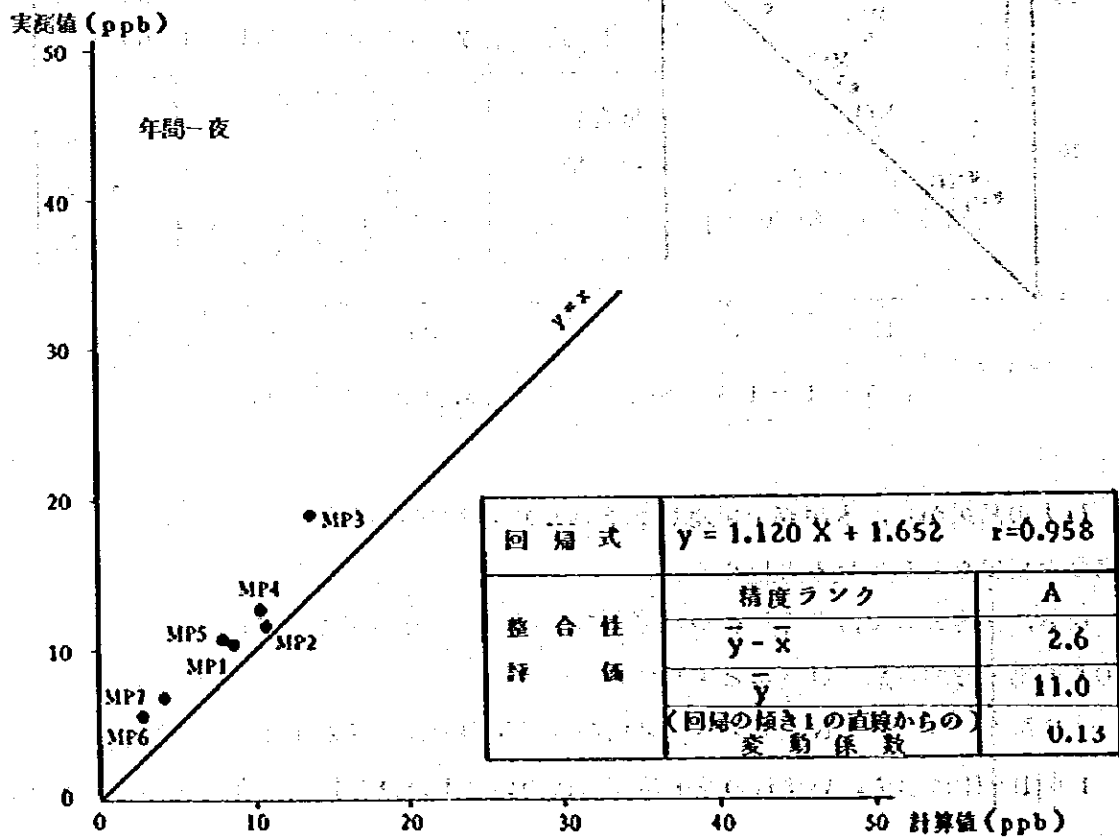
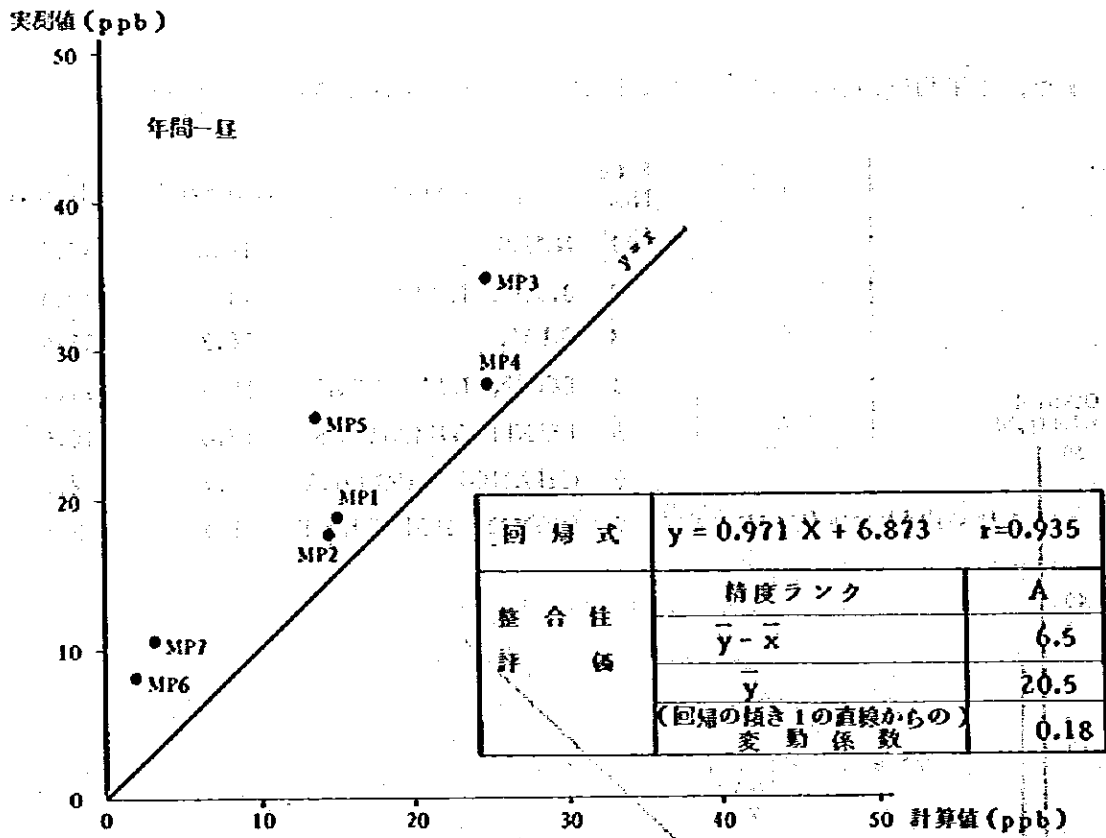


図 V-1-16(i) 季・時間帯別の計算値と実測値の比較

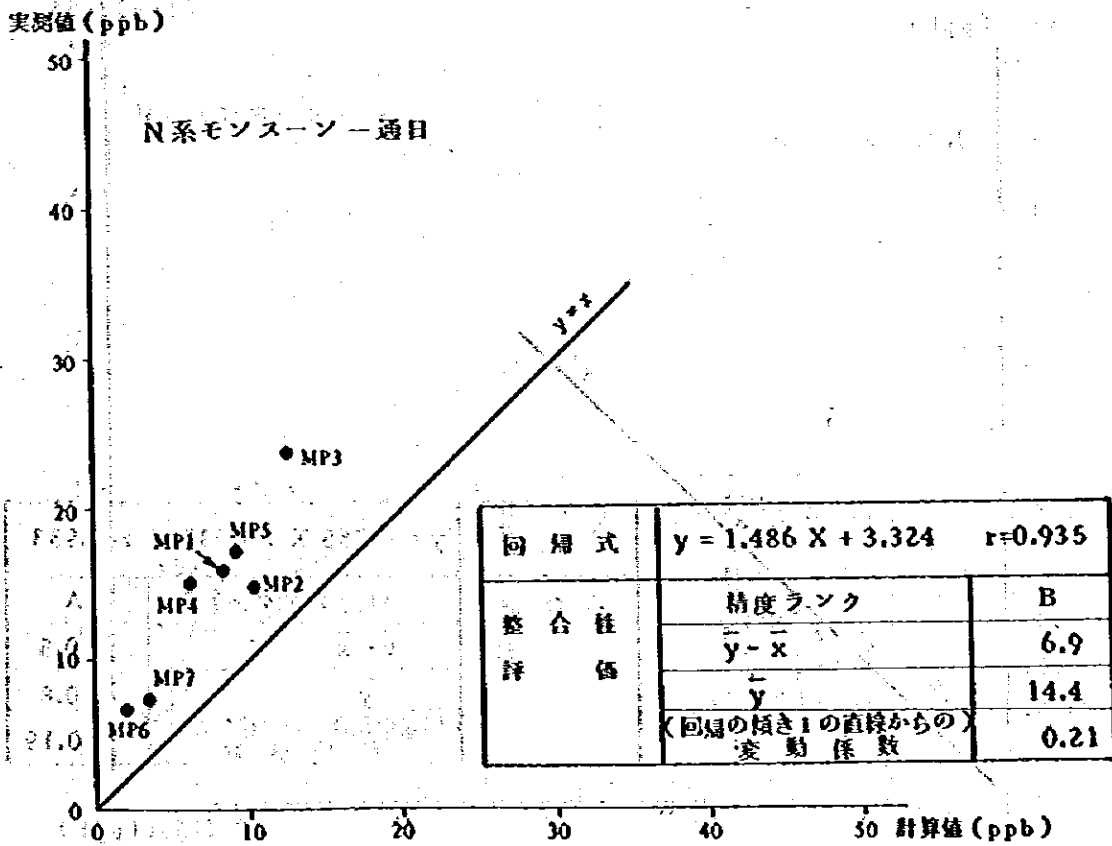
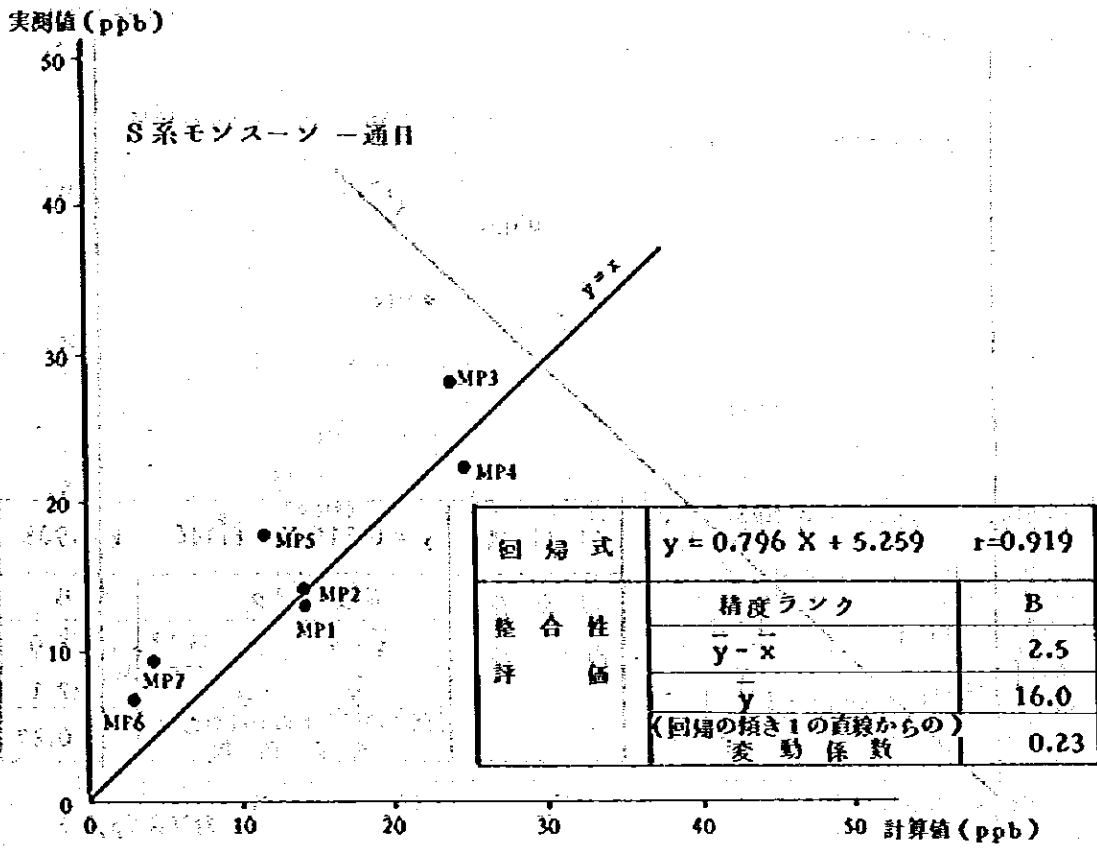


図 V-1-16(2) 季・時間帯別の計算値と実測値の比較

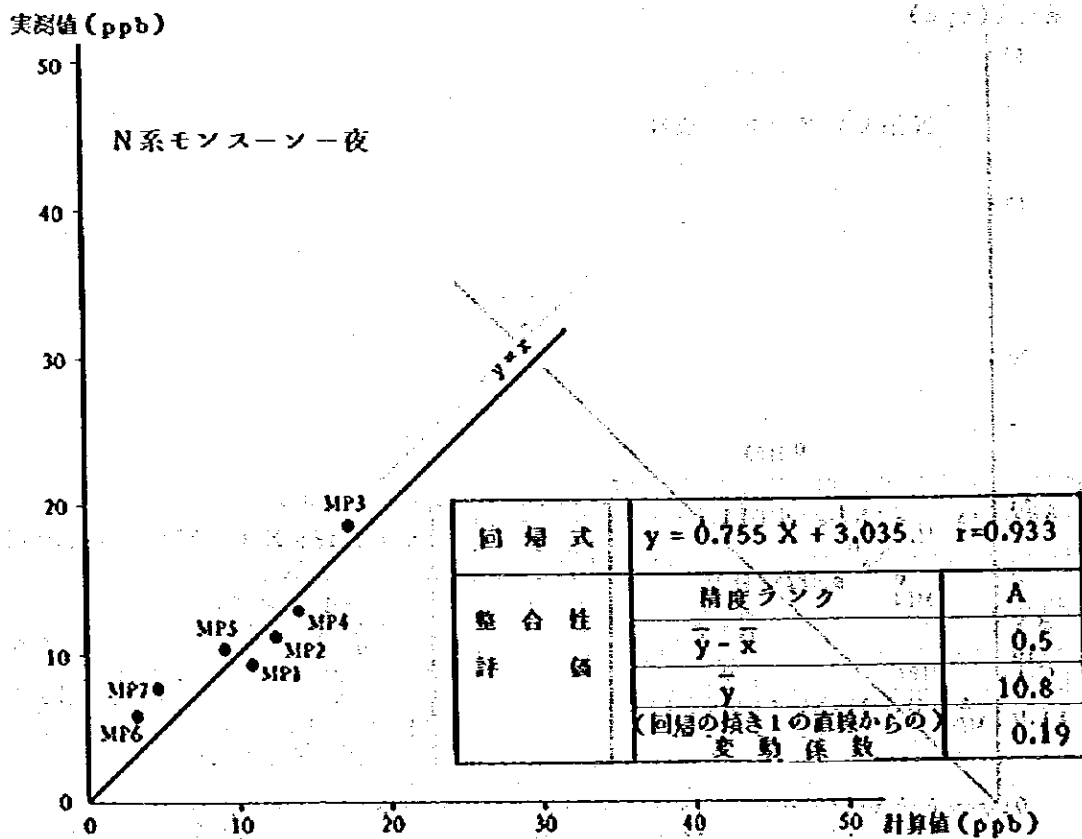
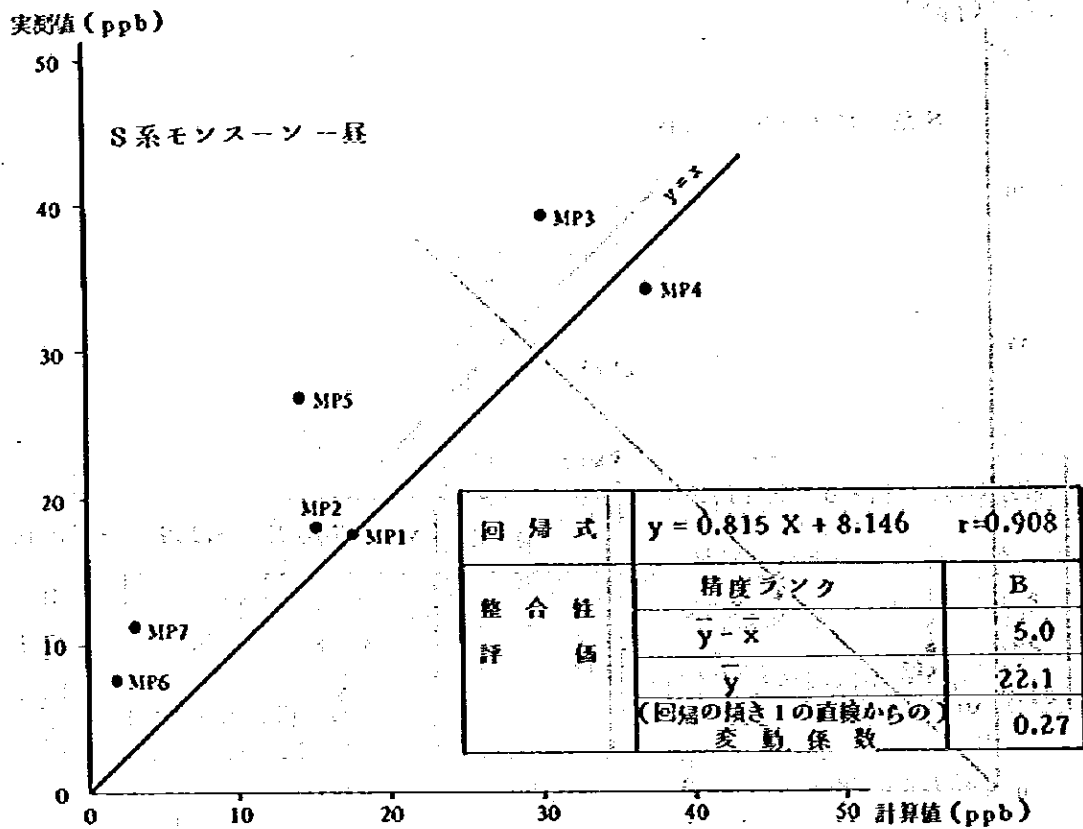
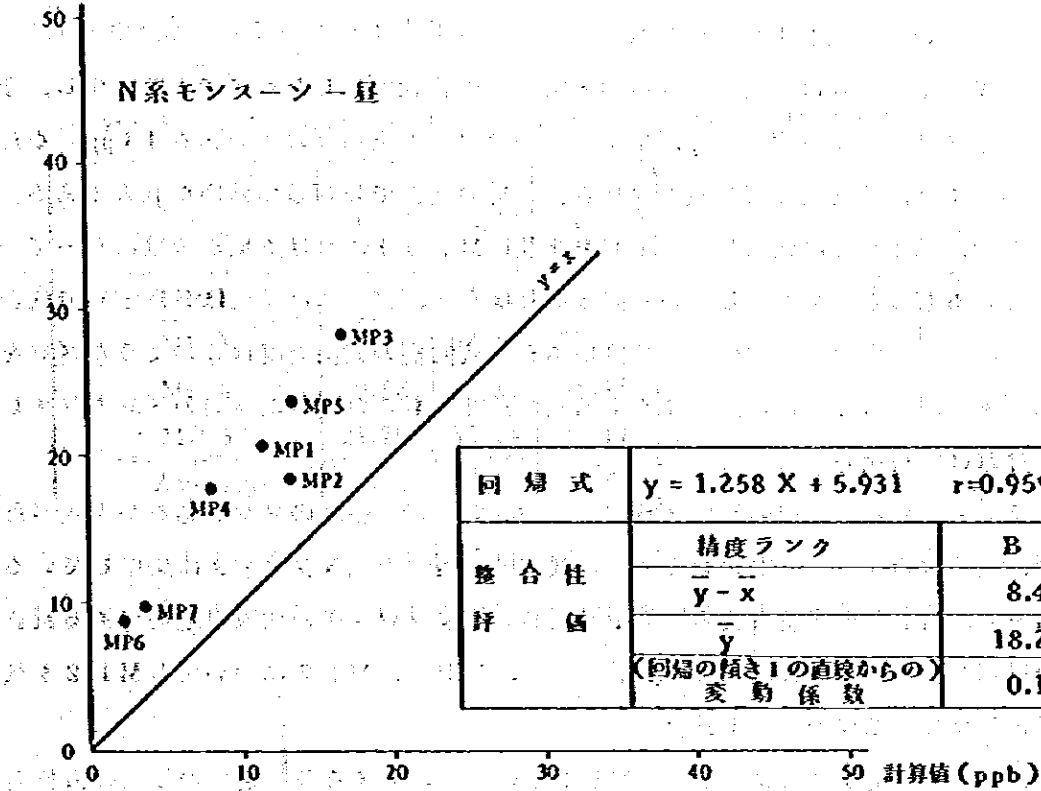


図 Y-1-16(3) 季・時間帯別の計算値と実測値の比較

実測値 (ppb)



実測値 (ppb)

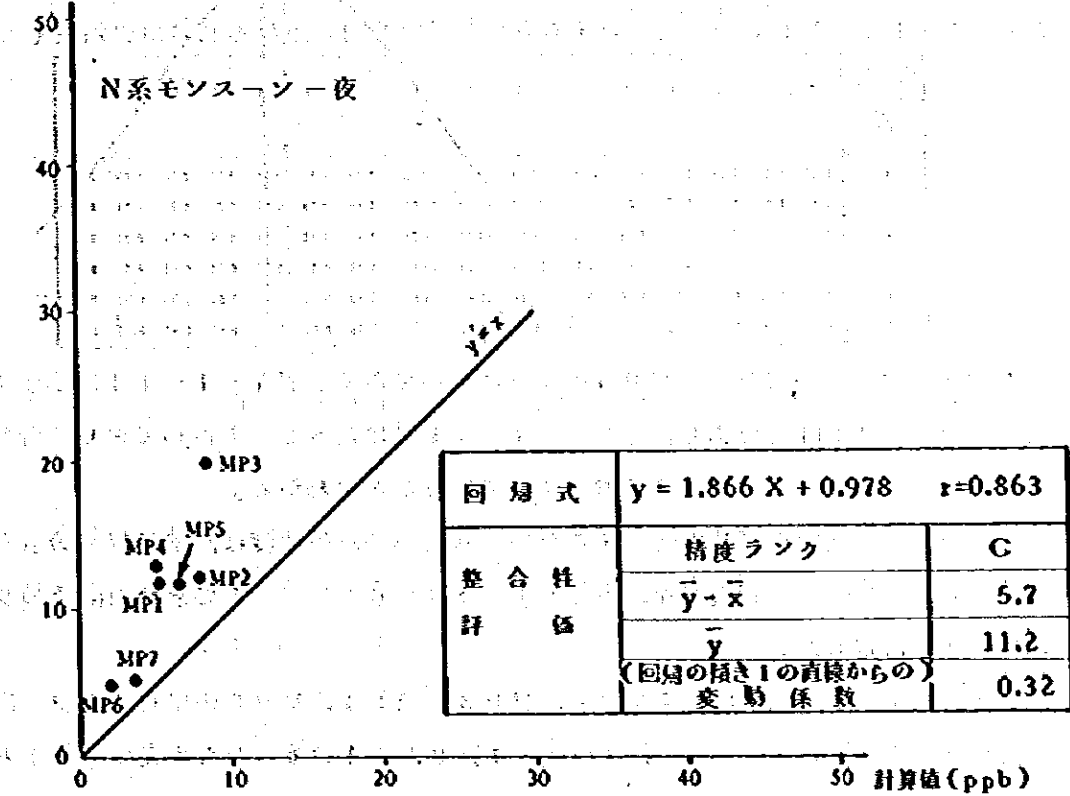


図 Y-1-16(4) 季・時間帯別の計算値と実測値の比較

② 風向別の予測値と実測値の比較

図V-1-18は風向別の予測値と実測値の比較を示したものである。但し、予測値にはバックグラウンド濃度として、年平均値の計算値と実測値の差である4.3 ppbを加算してある。また、風向別の実測濃度は代表測定局の風向で分類して求めたものである。

なお、拡散計算は代表測定局(MP2及びMP6)における風が全域に亘って一様に吹いているものとして計算している。しかしながら、実際には風向は各測定局で代表測定局の風向とは若干のズレが生じる場合がある。風向別の実測濃度はこのようなズレを含んだ値であり、従ってこれと比較する風向別の計算値もこのような風向のズレを加味した値でなければならない。

そこで、代表測定局の風向と各測定局の風向にどの程度のズレがあるかを調べた。ここで、発生源のほとんどがシンガポール共和国の西側の気象ブロックに集中しているため、MP6、MP7の環境濃度の計算値も西側の気象ブロックの代表測定局であるMP2の風で計算した方がより実際的である。従って、MP6、MP7についてもMP2を代表測定局とみなして風向のズレを計算した。

表V-1-13は代表測定局(MP2)の風向に対する各測定局の風向の方位差を集計したものであり、数字はその方位差が出現した割合(%)を示している。

表V-1-13 MP2の風向に対する各測定局の風向の方位差別の出現頻度(%)

Wind Direction Difference Site No.	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7
1	0.09	0.06	0.11	0.30	1.95	11.51	33.76	34.16	16.13	3.49	0.51	0.09	0.12	0.04	0.03
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	11.47	42.21	23.55	1.18	0.34	0.01	0.0	0.0	0.13
3	0.04	0.10	0.35	0.11	0.18	1.55	9.18	14.39	18.38	3.97	0.52	0.72	0.04	0.04	0.03
5	0.05	0.30	0.30	0.35	2.13	7.71	21.70	31.21	30.17	5.22	0.15	0.25	0.15	0.05	0.10
6	0.22	0.31	0.53	1.35	3.04	8.71	15.11	21.41	25.02	12.03	4.31	1.57	1.01	0.90	0.51
7	0.04	0.04	0.30	0.13	1.45	6.72	17.32	30.05	21.53	7.50	2.21	1.02	0.57	0.51	0.47

MP1、MP3、MP4、MP5の平均についてみると表V-1-14に示すように、方位差なしが43.01%であり、方位差-1~+1では約89%を占めており、着目風向とその両隣りの風向の範囲内にはほぼおさまっていることがわかる。

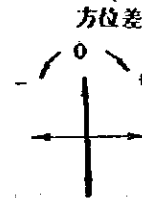
そこで、この風向のズレを考慮するため、風向別の計算濃度は、着目風向の計算濃度とその両隣りの風向の計算濃度を、あるウェイトにより加重平均して求めた。そのウェイトは次のように定めた。

まず、表V-1-14に示すMP1、MP3、MP4、MP5の平均の方位差出現頻度が正規分布するものと仮定して、方位差-1、0、+1の3点から中央値(\bar{x})と標準偏

差 (σ) を最小二乗法により求めた。

表 V-1-14. 方位差別の出現頻度の平均値 (MP1, MP3~MP5)

方位差	-1 方位	0 方位	+1 方位
MP-1	33.24	34.14	14.13
MP-3	11.47	62.28	23.55
MP-4	9.88	44.39	38.36
MP-5	21.70	31.24	30.17
Average	19.07	43.01	26.55



その結果、中央値 (\bar{x}) は 0.13 方位、標準偏差 (σ) は 0.91 方位となった。推定した正規分布曲線と推定に使用した 3 点の頻度の比較を図 V-1-17 に示す。

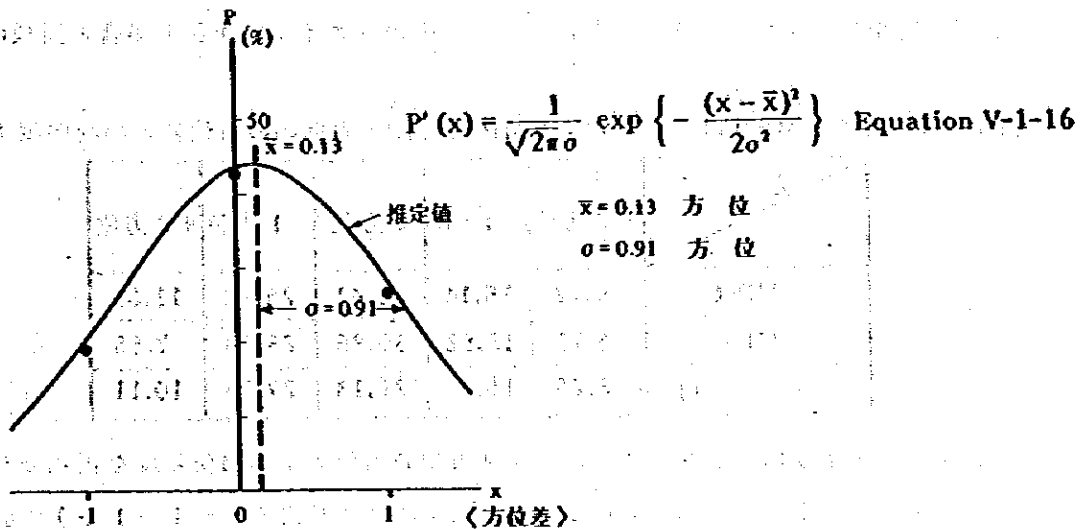


図 V-1-17 推定頻度分布と 3 点の頻度の比較

この推定正規分布関数により、着目風向に対し風向ズレのない場合の確率 ($P'(\bar{x})$) と、着目風向に対し ± 1 方位ズレる場合の確率 ($P'(\bar{x} \pm 1)$) は次のようになる。

$$P'(\bar{x}) = 43.8\%$$

$$P'(\bar{x} \pm 1) = 24.0\%$$

この確率を基に、図 V-1-18 の風向別の計算濃度は次のようにして求めた。

$$C_i = W_{i-1} \cdot C_{i-1} + W_i C_i + W_{i+1} C_{i+1} + C_{BG} \dots \dots \dots (V-1-17)$$

ここで、 C_i : 図 V-1-18 の風向別の予測濃度 (ppb)

C_i, C_{i-1}, C_{i+1} : それぞれ着目風向, 着目風向-1, 着目風向+1 方位の拡散計算による濃度 (ppb)

W_i, W_{i-1}, W_{i+1} : C_i, C_{i-1}, C_{i+1} に対応するウエイトであり, 次のとおりである。

$$W_i = 438 / (438 + 2 \times 240)$$

$$W_{i-1} = W_{i+1} = 240 / (438 + 2 \times 240)$$

C_{BG} : バックグラウンド濃度 (4.3 ppb)

MP 6, MP 7 の MP 2 に対する風向のズレは表 V-1-15 に示すように MP 1, MP 3 ~ MP 5 に比較し大きく, 方位差 -1 ~ +1 の出現頻度は平均で 70.14% である。これは, MP 6, MP 7 が東側の気象ブロックに位置し, MP 2 の風向との差異が大きいからである。そこで, MP 6, MP 7 の風向別の予測濃度は着目風向から ±2 方位までの計算濃度を加重平均して求めることとした。そのウエイトは上記の場合と同様に定めた。

表 V-1-15 MP 2 の風向に対する MP 6, MP 7 の風向の方位差の出現頻度 (%)

方位差	-2 方位	-1 方位	0 方位	+1 方位	+2 方位
MP-6	9.77	15.14	21.41	25.82	12.63
MP-7	6.72	18.52	30.85	28.53	7.58
平均	8.25	16.83	26.13	27.18	10.11

表 V-1-15 に示した -2 方位 ~ +2 方位の方位差別の出現頻度を正規分布と仮定して, 中央値 (\bar{x}) と標準偏差 (σ) を最小二乗法により式 (V-1-12) で計算すると,

$$P'(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}\right\} \dots \dots \dots (V-1-18)$$

$$\bar{x} = 0.29 \text{ 方位}$$

$$\sigma = 1.4 \text{ 方位}$$

$$P'(\bar{x}) = 28.5 \%$$

$$P'(\bar{x} \pm 1) = 22.1 \%$$

$$P'(\bar{x} \pm 2) = 10.3 \%$$

となる。

従って風向別の計算濃度は次のとおりとなる。

$$C_i = W_{i-2} \cdot C_{i-2} + W_{i-1} \cdot C_{i-1} + W_i \cdot C_i + W_{i+1} \cdot C_{i+1} + W_{i+2} \cdot C_{i+2} + C_{BG} \dots\dots\dots (V-1-19)$$

記号の意味は式(V-1-17)と同様。

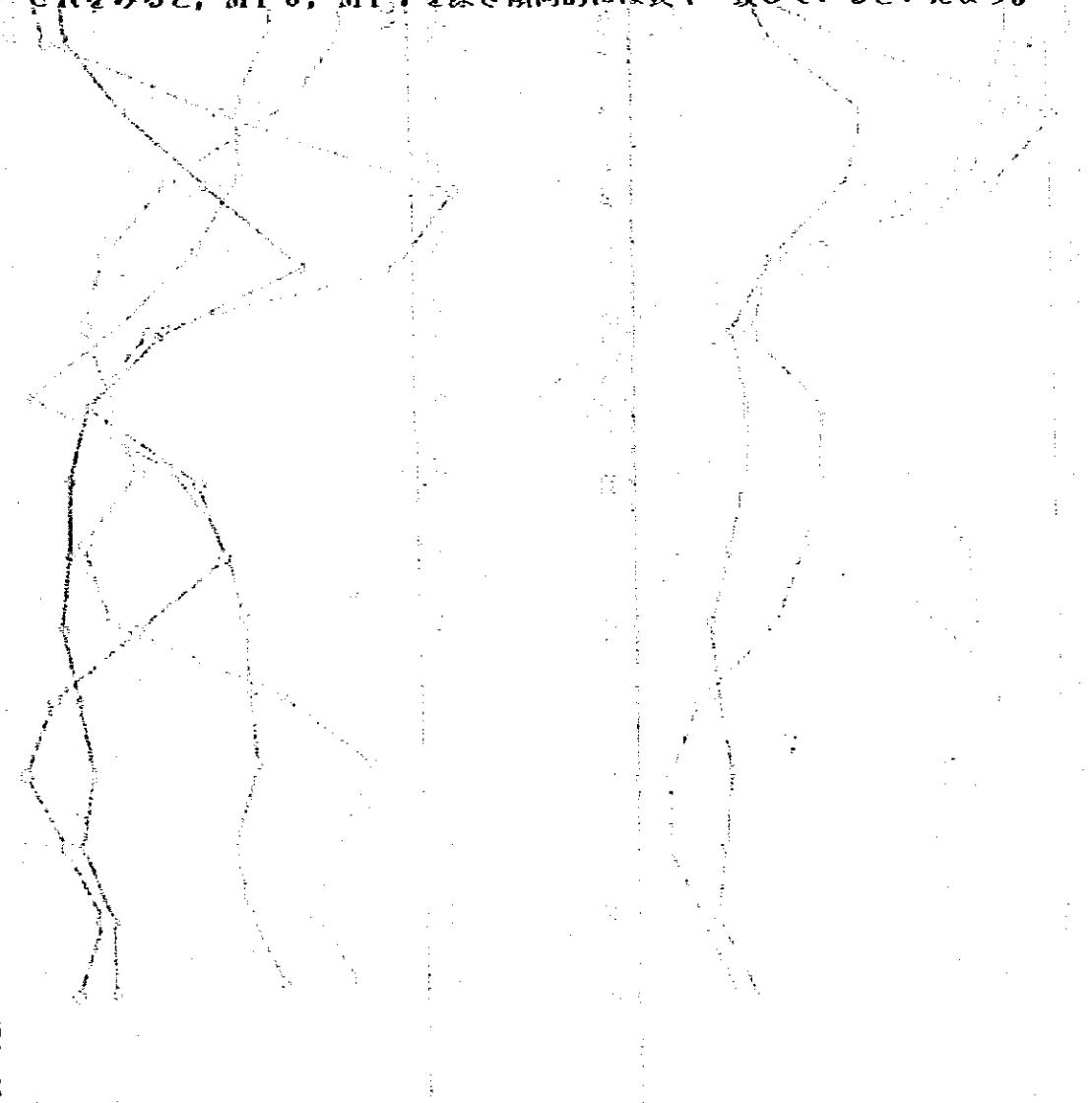
$$W_i = 285 / (285 + 2 \times 221 + 2 \times 103)$$

$$W_{i-1} = W_{i+1} = 221 / (285 + 2 \times 221 + 2 \times 103)$$

$$W_{i-2} = W_{i+2} = 103 / (285 + 2 \times 221 + 2 \times 103)$$

このようにして求めた風向別の予測濃度とMP 2の風向で分類した風向別の実測濃度の比較が図V-1-18(1)~(4)に示されている。

これをみると、MP 6, MP 7を除き傾向的には良く一致しているといえよう。



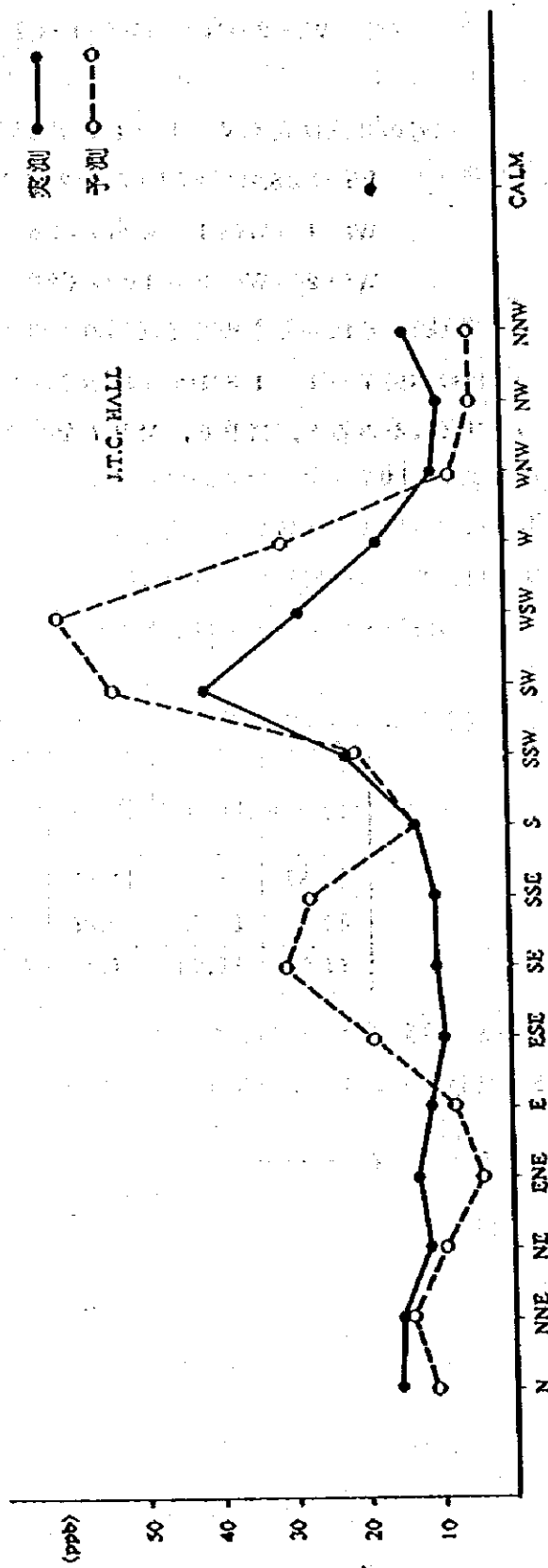
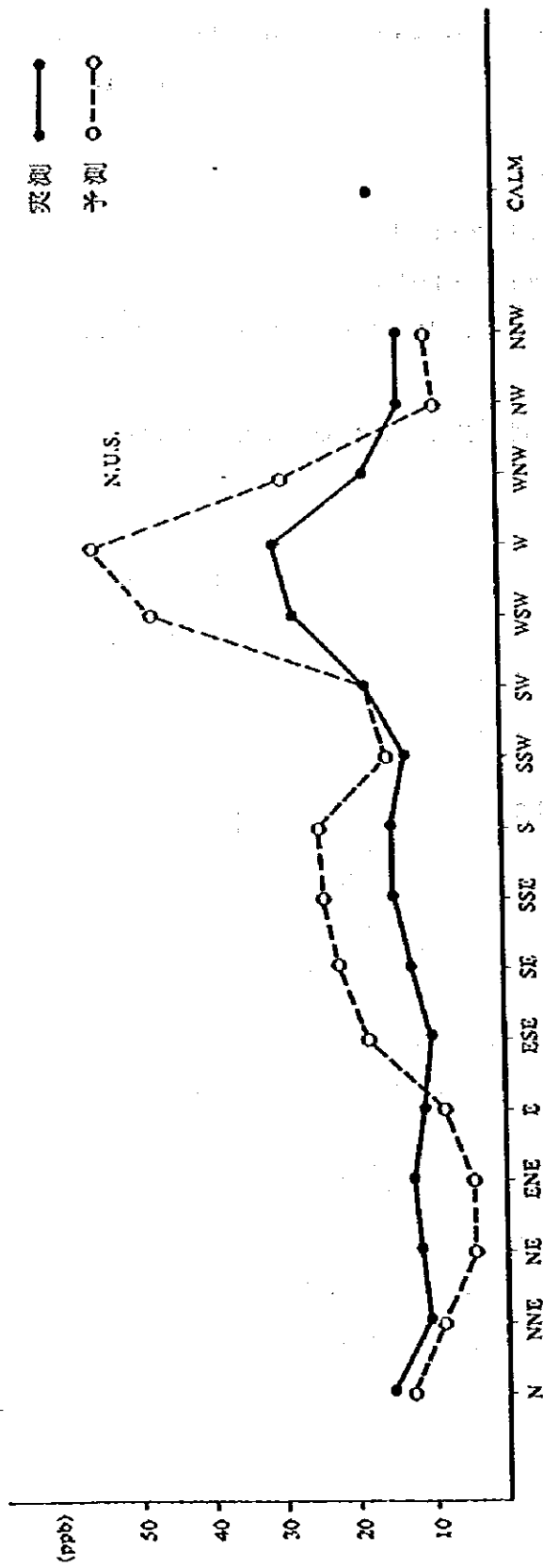


図 V-1-18(1) 風向別 SO₂ 濃度の実測値と予測値の比較

注) 予測値はバックグラウンド濃度として 4.3 ppb を含んでいる

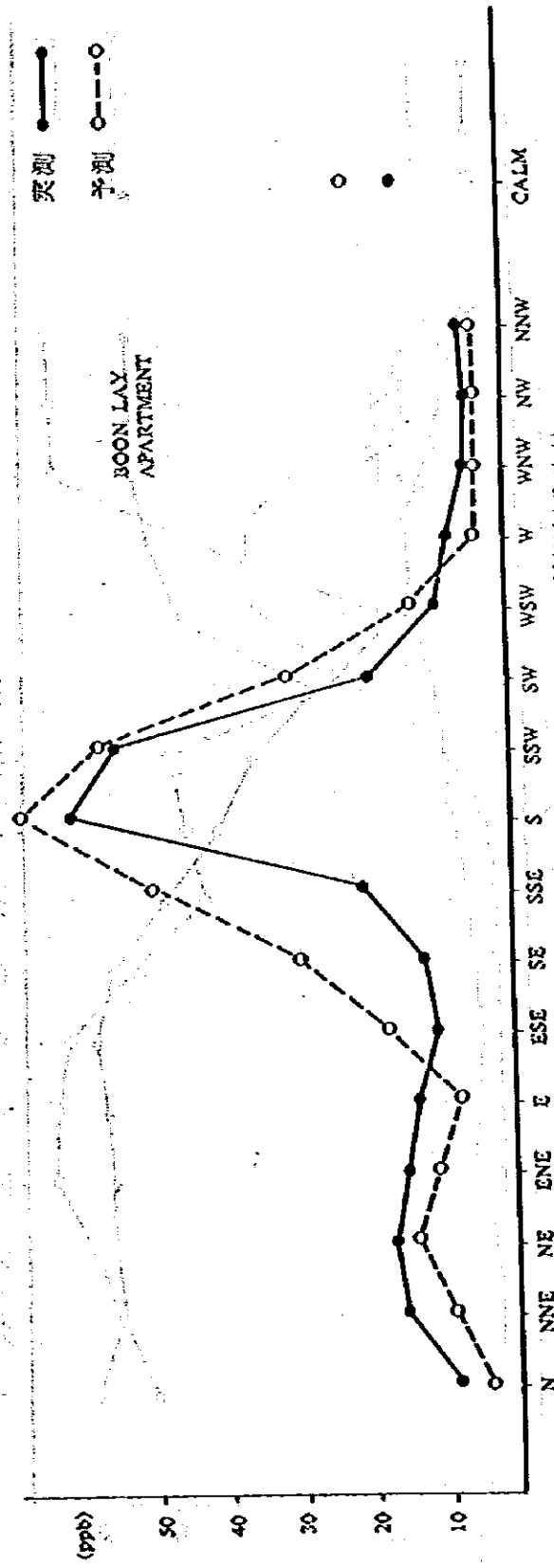
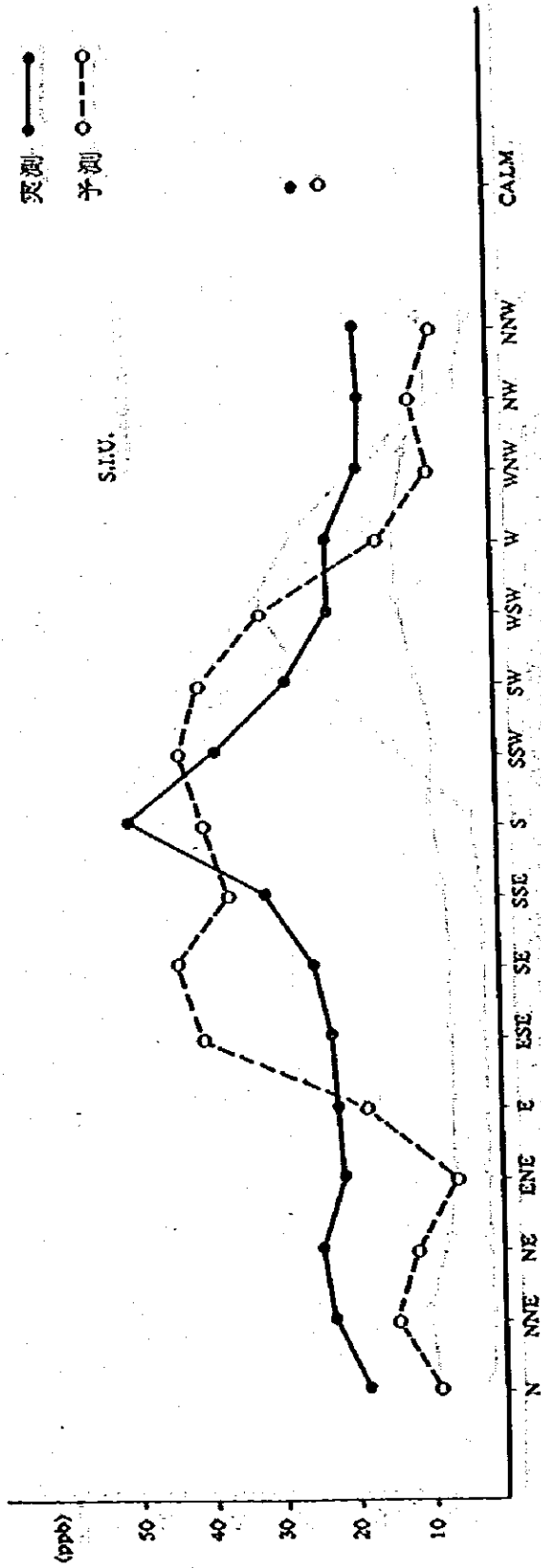


図 V-1-18(2) 風向別 SO₂ 濃度の実測値と予測値の比較

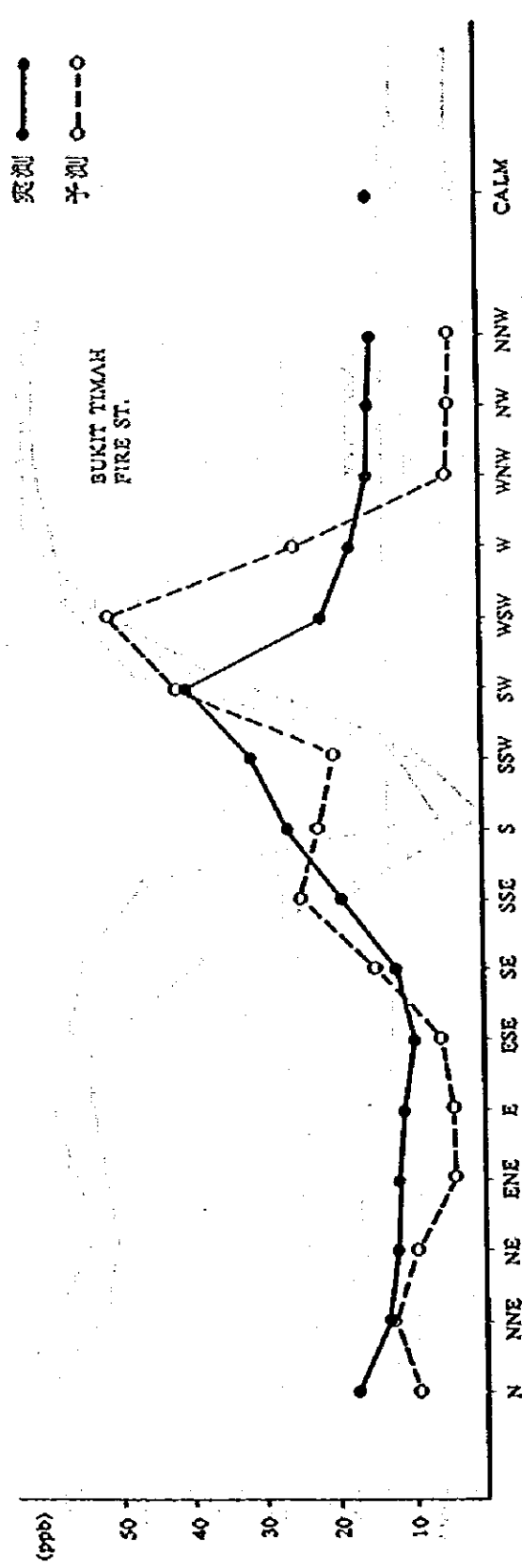
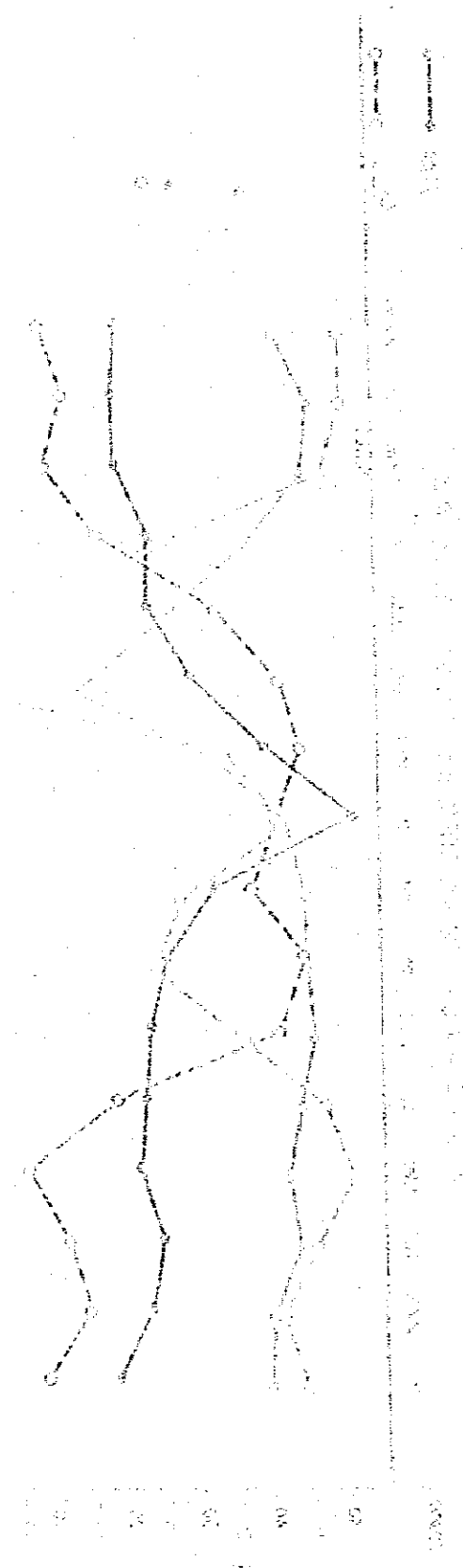


図 Y-1-18(3) 風向別 SO₂ 濃度の実測値と予測値の比較



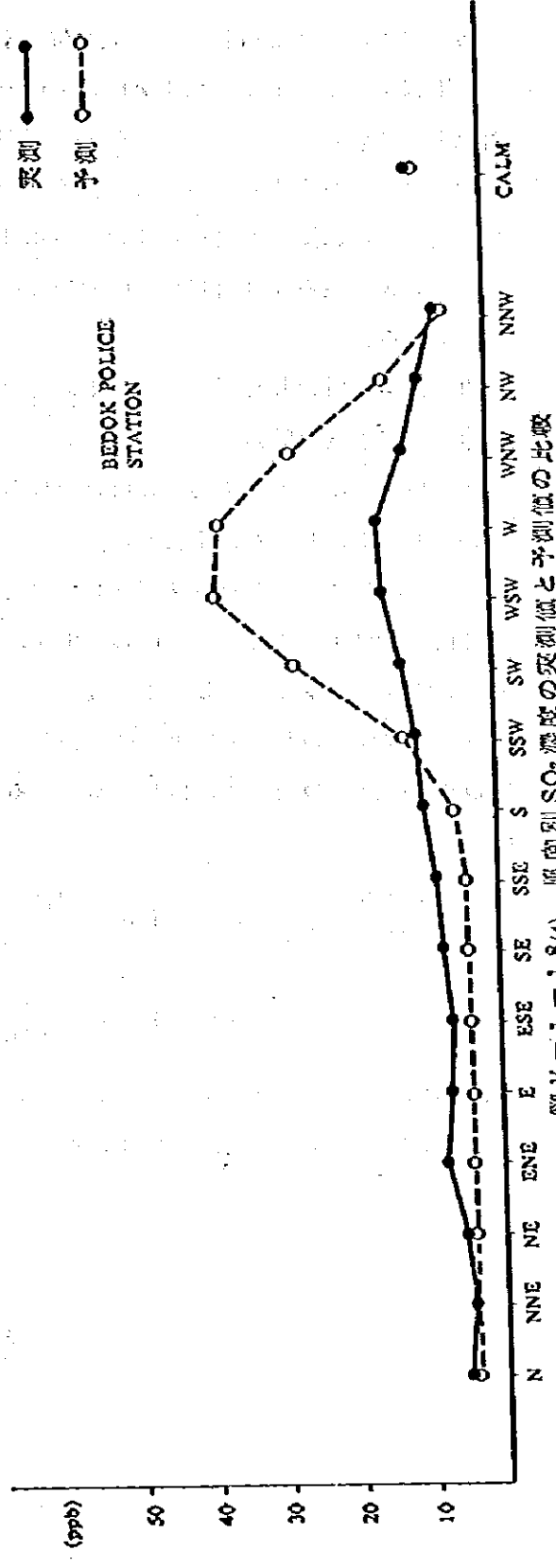
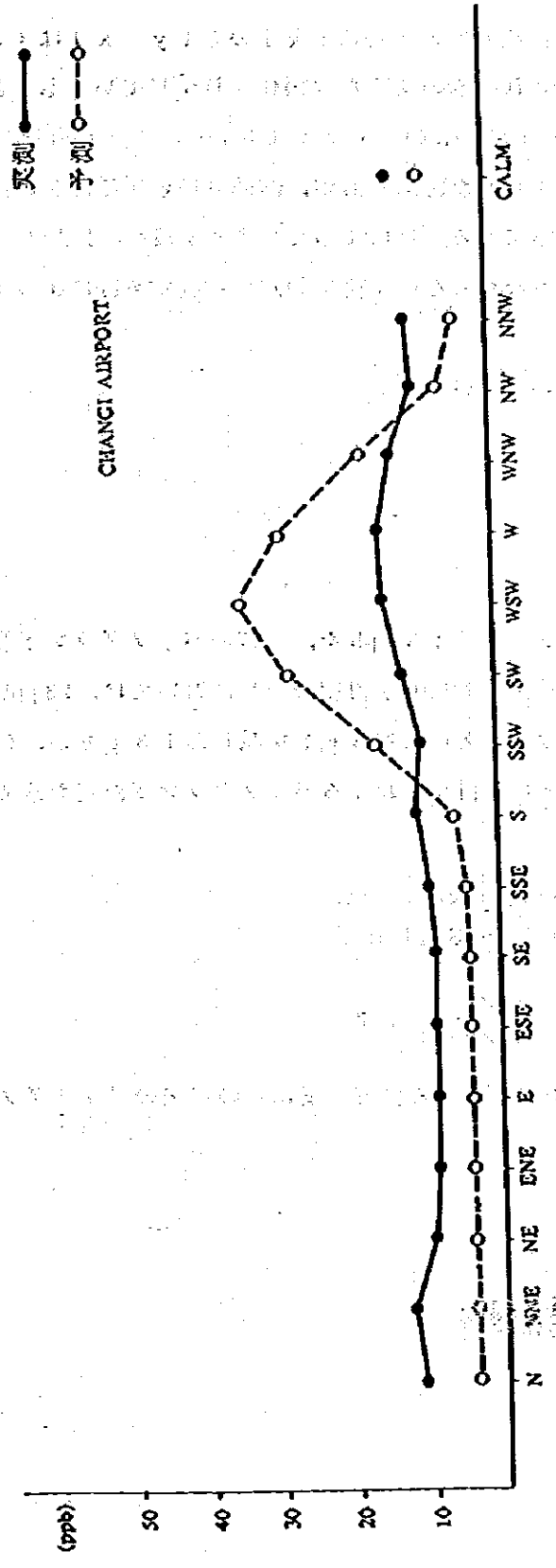


図 V-1-1-8(4) 風向別 SO₂ 濃度の実測値と予測値の比較

1-3-6 バックグラウンド濃度

各測定点における計算濃度の平均値 (\bar{y}) と実測濃度の平均値 (\bar{x}) の差 ($\bar{y} - \bar{x}$) は 4.3 ppb (図 V-1-15 参照) となっているが、これは次のような要因により生じているものと考えられる。

- ① 対象地域内や隣接地域での発生源から排出された汚染物質が、海陸風等の循環流又は風向変化等によって再び対象地域内にまい戻ってくることによって生ずる濃度
- ② 対象地域内及び隣接地域において把握し得なかった中小発生源、移動発生源等によって生ずる濃度
- ③ 汚染物質の長時間滞留による計算値に表わし難い濃度
- ④ 測定濃度の誤差
- ⑤ 地表面による汚染物質の吸収や吸着
- ⑥ 大気中における汚染物質の変質
- ⑦ 自然界におけるバックグラウンド濃度

現状 (1981) 濃度の予測においては、この $\bar{y} - \bar{x} = 4.3$ ppb を、広義のバックグラウンド濃度として計算濃度に加算して予測濃度とした。将来 (1990) 濃度の予測においては、43 ppb から、対象地域の SO_2 の排出量に関係しない濃度と考えられる 3 ppb を減じた 1.3 ppb が、将来の SO_2 排出量の増加率に応じて増加するものとして将来におけるバックグラウンド濃度を求めた。

$$\begin{aligned} \text{将来のバック} \\ \text{グラウンド濃度} &= 3.0 + 1.3 \times \frac{\text{対象地域の将来の } \text{SO}_2 \text{ 排出量}}{\text{対象地域の現状の } \text{SO}_2 \text{ 排出量}} \\ &= 3.0 + 1.3 \times \frac{485723 \text{ ton/y}}{230279 \text{ ton/y}} = 5.7 \end{aligned}$$

将来における予測濃度は、シミュレーションモデルによる計算濃度到此の将来のバックグラウンド濃度 5.7 ppb を加算したものである。