2. 調 査 研 究 報 告

1. 硫黄酸化物濃度の経年的変化について（第2報）

石田幸洋　安井　新

I 緒　言

第1報で硫黄酸化物排出量，常時監視観測結果，二酸化鉛法測定結果等を基に昭和47～52年度の福井・坂井地区の硫黄酸化物環境濃度の経年変化について調査し，同地区の環境濃度は排出基準（k－値規制）の強化，総量規制の導入等により硫黄酸化物の排出量の減少と共に年々減少しているという結果を得た。

本報では，第1報と同様の手法で昭和53年度までの経年変化について評価すると共に，経時的濃度変動をもたらす幾つかの気象要因，および同地区の11の常時監視観測局の時系列データを基にした主成分分析により観測局ごとの汚染特性等について検討したので，これらの結果についても併せ報告する。

II 調査方法

1. 気　象

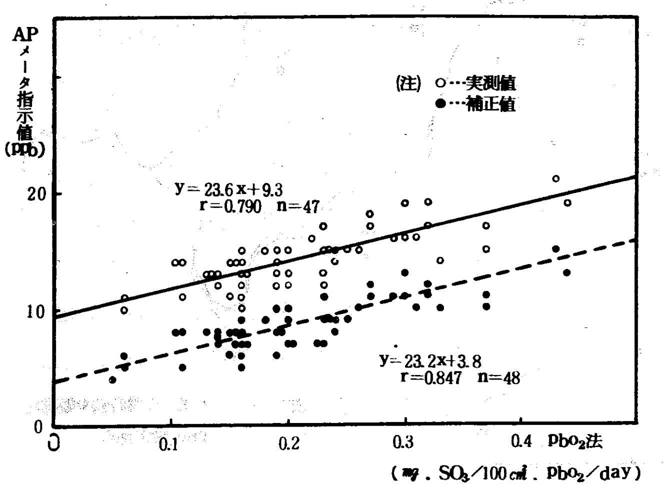
大気汚染常時監視観測局（以下，観測局と略す）での風向風速観測結果，K火力発電所の煙突鉄塔（高さ，200 *m*）を利用した特殊気象観測局での風向風速，気温観測結果，および気象庁が石川県輪島で実施している高層気象観測のうち朝9時のラジオゾンデ観測結果を利用した。

2. 燃料消費量・硫黄酸化物排出量

前報と同様の手法で環境庁委託による「大気汚染物質排出量総合調査票」および県の「大気汚染物質排出量総合調査票（補完調査）」に基づき，重油消費量（原油を含む）および重油中に含まれる硫黄分より求められた理論硫黄酸化物排出量（以下，SOx排出量と略す）を集計した。

3. 硫黄酸化物濃度

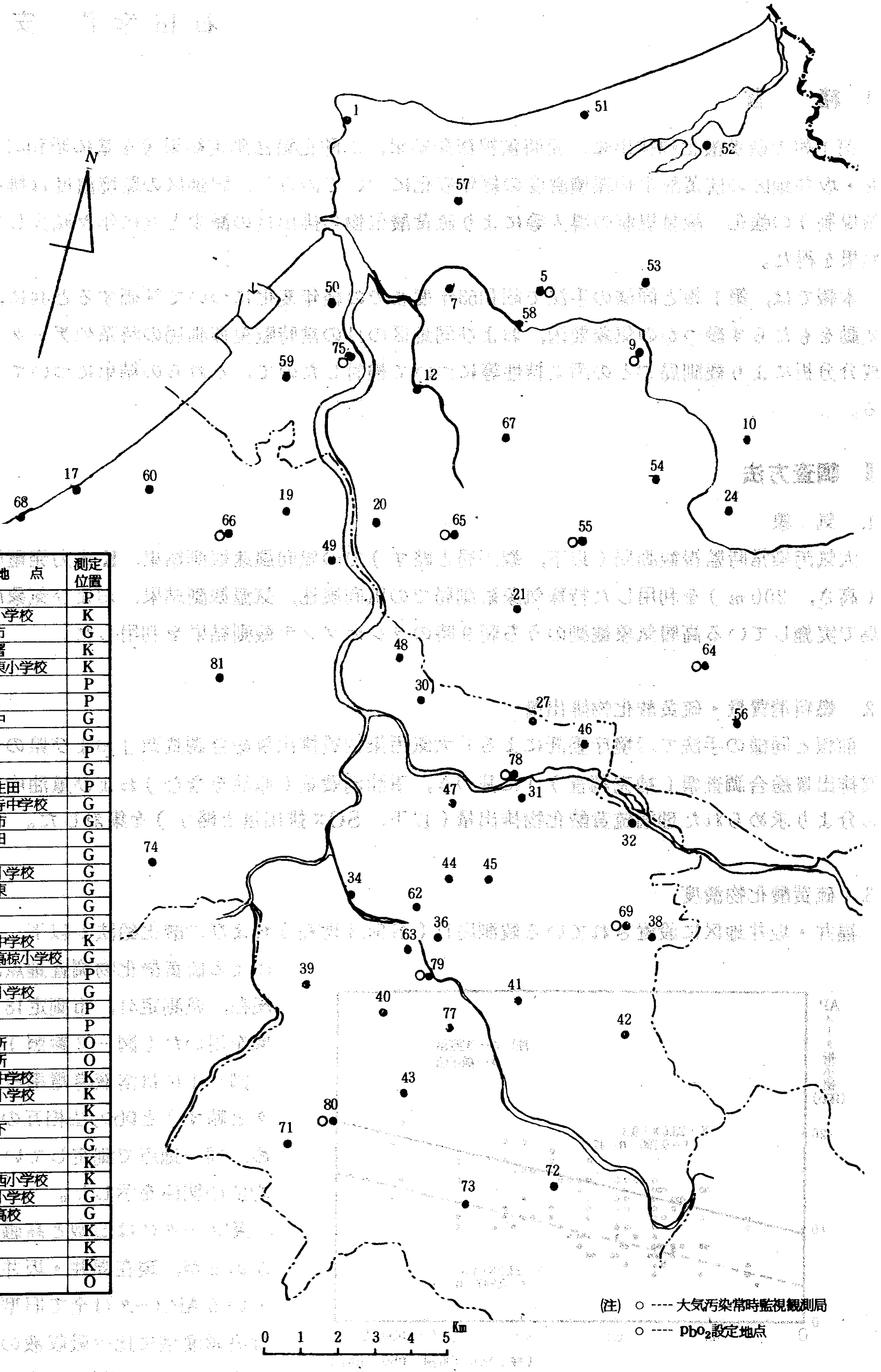
福井・坂井地区に設置されている観測局11（S 54.3現在）および二酸化鉛法（以下，PbO_2法と略す）による硫黄酸化物調査地点59（S 54.3現在，県測定41，市測定18）での測定結果を用いた（図－2参照）。



図－1）PbO_2法測定値とAPメータ指示値との関係（年平均）

図－1には溶液導電率法（以下,APメータと略す）とPbO_2法相互の比較を行うため，同一地点で測定している両者の年平均値の関係を示した。

APメータには旧型と高感度型の2種類があるが，現在福井・坂井地区で使用しているAPメータは全て旧型である。旧型は高感度型に比べ吸収液の蒸発損失等に由来するプラス誤差が多いため，前報と



№	測定地点		測定位置
1	三国町	安島	P
5	芦原町	芦原小学校	K
7	三国町	西今市	G
9	金津町	消防署	K
10	〃	金津東小学校	K
12	坂井町	高柳	P
20	春江町	正善	P
21	〃	江留中	G
24	丸岡町	堀水	G
27	福井市	定正	P
30	〃	勝見	G
43	〃	上助生田	P
47	〃	灯明寺中学校	G
48	〃	二日市	G
49	〃	布施田	G
50	三国町	新保	G
51	芦原町	波松小学校	G
52	〃	北潟東	G
53	金津町	千束	G
54	〃	伊井	G
55	坂井町	坂井中学校	K
56	丸岡町	板倉高椋小学校	G
57	三国町	平山	P
58	芦原町	本荘小学校	G
59	三国町	黒目	P
60	福井市	石橋	P
62	〃	裁判所	O
63	〃	保健所	O
64	丸岡町	丸岡中学校	K
65	春江町	大石小学校	K
66	福井市	串野	K
67	坂井町	大味下	G
68	福井市	和布	G
69	〃	原目	K
75	三国町	三国西小学校	K
76	坂井町	兵庫小学校	G
77	福井市	羽水高校	G
78	〃	古市	K
79	〃	豊島	K
80	〃	今市	K
81	〃	大年	O

(注) 測定位置　P ---- 地上約 5 m　　K ---- 観測局局舎屋上
G ---- 地上約 1.5m　　O ---- 建物屋上

図－2）　硫黄酸化物濃度測定地点略図

同様の方法にて高感度型での指示値に補正した値（以下，補正値と略す）についても記載した。

Ⅲ 調査結果・考察

Ⅲ－1 気　象

図－3－1に年間の風配図，図－3－2に年間のホドグラフを示した。

風向の季節変動は小さく，かつ経年的変動も小さいが，各地点とも最多，次多風向が明瞭に現われ，最多風向は海岸寄りで南々東，内陸寄りで南の風となる。 経時的に風向風速をみると，各地点とも夜間～午前中は南寄りの風，午後は北寄りの風となり，風速は日中の方がわずかに大きい。

図－3－3に昭和51～53年度の月平均最大混合層高度，換気指数を示した。この値は新保局の日最高気温と輪島での高層気象観測結果から次式で求めているため，時間的，空間的にずれているので数値に多少の誤差があるのは止むを得ない。

混合層高度とは地表から上昇し始めた空気塊が乾燥断熱的（乾燥断熱減率 rd＝0.98℃/100*m*）に上昇を続けたとき，上昇し得る高さのことである。

$$\text{最大混合層高度(MMD)} = H_1 + (H_2 - H_1) \times \frac{\theta s - \theta_1}{\theta_2 - \theta_1}$$

H_1：温位θ_1の高度

H_2：温位θ_2の高度

ただし，$H_2 > MMD > H_1$ であるようなH_2，H_1を採用すること。

θs：地上日最高気温の温位

ただし，温位とは空気塊を1000mbの高度（平均して海抜130*m*）に断熱的にもってきたときの温度で定義する。

$$\text{換気指数}(MMD \cdot \overline{WV}) = MMD \times \overline{WV}$$

$\overline{WV}$：地上からMMDまでの平均風速

MMDは日射の強い夏季に最も低く600～800*m*であり，冬季に最も高く1200*m*前後を示す。寒期にMMDが高いのは上空に寒気が進入するためと考えられる。換気指数もMMDに似た変動をする。

図－3－4に特殊気象局の地上185*m*点と新保局（地上5*m*）での気温より求めた100*m*についての平均的な気温減率ダイヤグラムを逆転（$\gamma \geqq 0$℃），強いてい減（$\gamma \leqq -1.0$℃），弱いてい減（$\gamma = -0.1 \sim -0.9$℃）の3つに区分して示した。また表－1には毎時の気温減率の値に応じて前述の3つの場合の出現率を月別および年間について示した。

大気の成層状態を月別にみると，逆転の出現率は冬季に最も多く57～58%，春季に最も少なく41～43%，年間の総時間に対しては約49%を占めている。強いてい減は夏季に24～33%と多いが，冬季に2～7%と極端に少なく，年間の総時間の約16%を占める。弱いてい減は冬季に最も多く38～47%，夏季に最も少なく25～36%，年間の総時間の約35%を占める。

逆転の形成，消滅についてみると，その形成の平均的時刻は秋から冬にかけて17～18時，夏が19～20時とやや遅くなる。消滅時刻は夏が7～8時，これに較べ冬は3～4時間遅く10～11時に至っている。

Ⅲ－2. 燃料消費量・硫黄酸化物排出量

表－2，図－4に福井・坂井地区の約80%の施設（燃料消費量は当地区の90%以上を占る）についての燃料消費量とSOx排出量を示した。

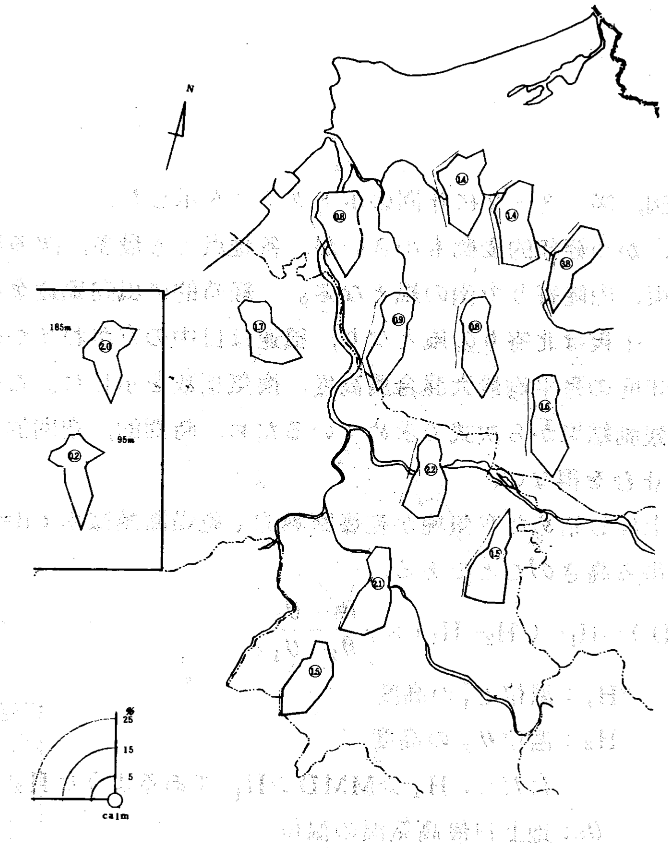
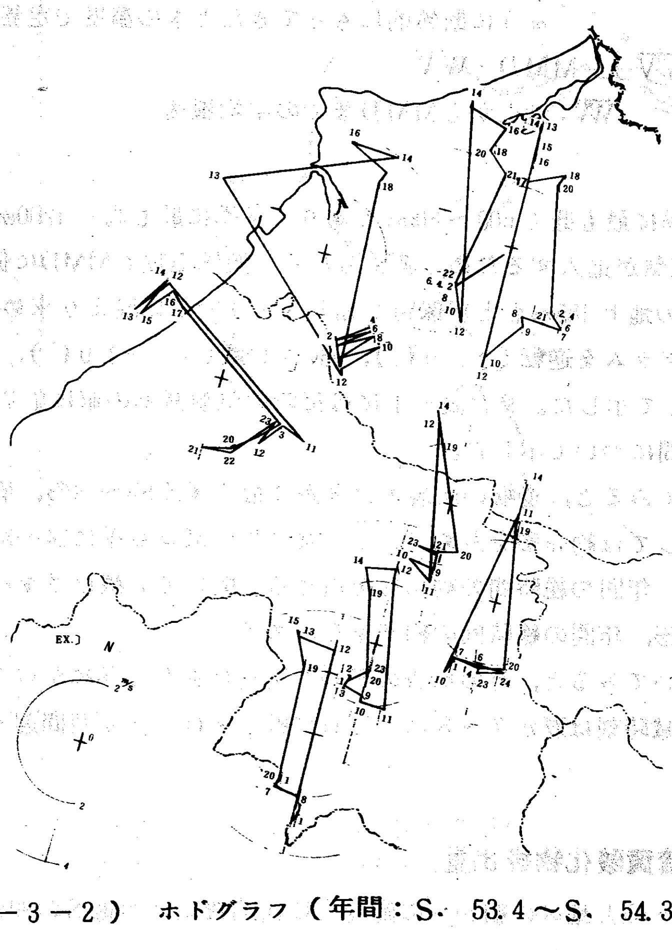


図3－1） 風 配 図 （年間：S．53.3～54.2）



図－3－2） ホドグラフ（年間：S．53.4～S．54.3）

表－１）　気温減率出現率（昭和５３年度：特殊気象局）（単位：％）

mon	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	year
r>0.0	41.2	43.8	53.1	50.7	41.7	46.3	49.4	55.3	57.0	58.5	47.2	43.8	48.8
-0.1≧r≧-0.9	37.8	34.2	36.2	25.2	25.7	32.0	33.6	34.1	38.7	42.1	46.4	39.7	35.4
r≦-1.0	21.0	21.9	10.7	24.1	32.6	21.7	17.0	10.6	4.3	2.1	6.5	16.5	15.9

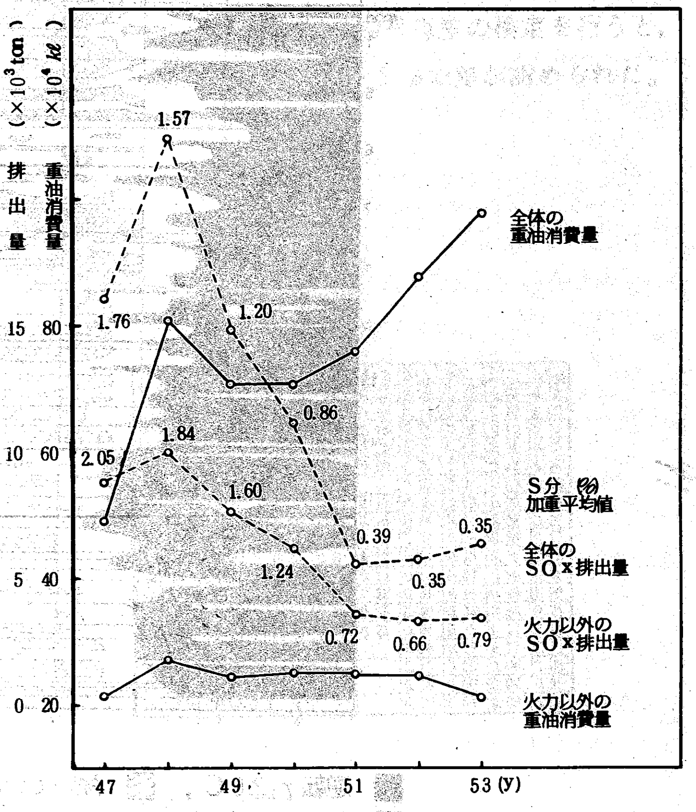
表－２）　福井・坂井地区の重油消費量及び硫黄酸化物排出量の推移

	福井地区		坂井地区		福井・坂井地区	
	重油消費量 kl／年	SOx排出量 ton／年	重油消費量 kl／年	SOx排出量 ton／年	重油消費量 kl／年	SOx排出量 ton／年
S.47	262,714	6,636	330,658 〔278,396〕	9,396 〔7,210〕	493,371	16,032
S.48	159,483	5,788	649,618 〔539,470〕	16,617 〔12,477〕	809,101	22,405
S.49	148,121	4,933	554,385 〔460,615〕	9,839 〔7,028〕	702,506	14,772
S.50	154,938	4,736	547,770 〔451,488〕	6,322 〔4,820〕	702,708	11,058
S.51	148,325	2,713	612,695 〔515,415〕	2,708 〔1,902〕	761,020	5,421
S.52	155,218	2,611	721,419 〔632,650〕	3,074 〔2,462〕	876,637	5,683
S.53	145,098	2,562	832,011 〔766,283〕	3,832 〔3,048〕	977,109	6,394

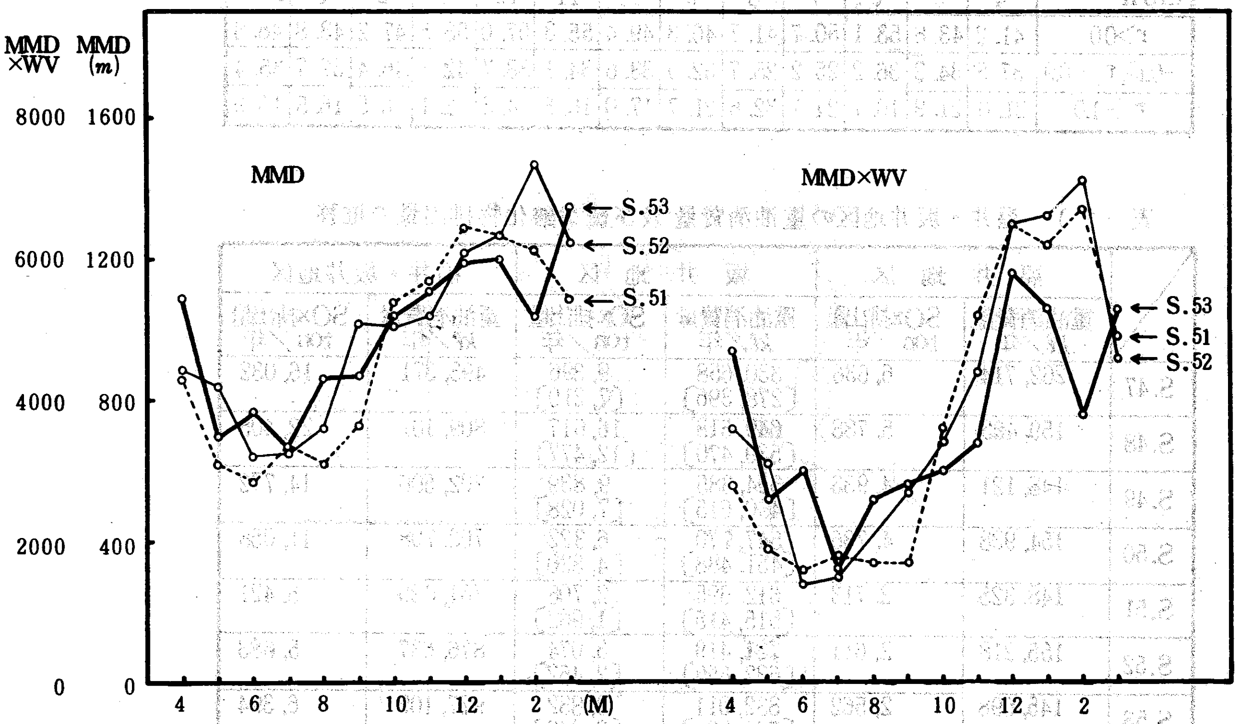
注）〔　〕内数字はK，F両火力発電所の重油消費量・SOx排出量を示す。

図表から明らかなように，重油消費量は昭和49～51年度に昭和48年度のオイルショック等の影響により一時的に減少したが，年々増加の傾向がみられる。当地区の昭和53年度の重油消費量は約98万kl／年，そのうちK，Fの両発電所で約78％を消費している。昭和52年度に較べ昭和53年度は重油消費量が約10万kl／年増加しているのは，昭和53年８月に操業を開始したK発電所の消費量に相当する。

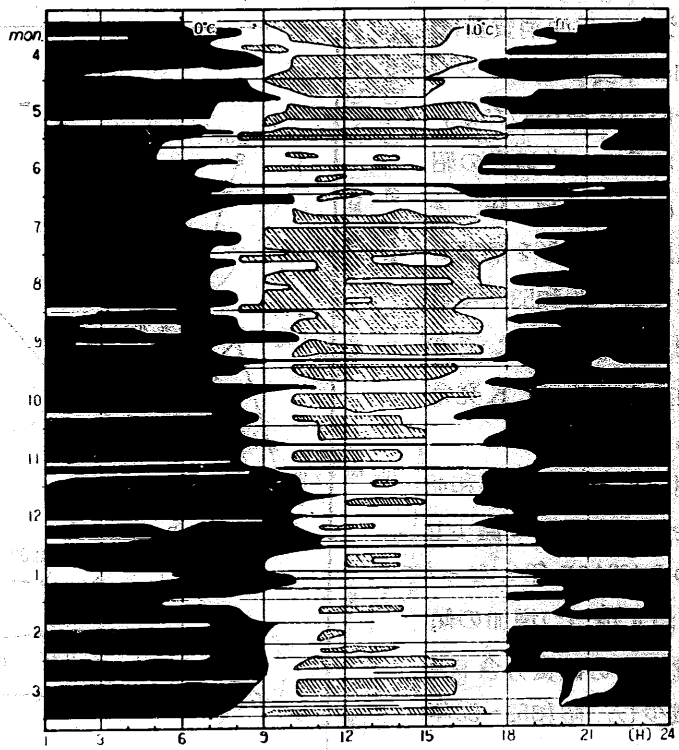
SOx排出量は重油消費量に相反し昭和48年度の22,400 ton/年をピークに年々減少し昭和51年度には最少の5,400ton/年となったが，昭和52～53年度はわずかづつ増加の傾向にある。しかし，重油中の硫黄分含有率の加重平均値は年々減少し，昭和52～53年度には約0.35％（地区全体で）となった。



図－４）福井・坂井地区の重油消費量及び硫黄酸化物排出量の推移



図－３－３） 月平均最大混合層高度，換気指数の推移
〔MMD〕〔MMD×WV〕



■ 逆転$\gamma \geqq 0$C， ▨ 強いてい減 $\gamma \leqq -1.0$C
□ 弱いてい減$\gamma = -0.1 \sim -0.9$C

図３－４） 平均的な気温減率ダイヤグラム
（昭和５３年度：特殊気象局）

表－3－1）　APメータ指示値の年平均値

（単位：ppb）

Station ＼ 年度	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53
三　国	16 11	14 9	15 10	15 9	14 8	15 8	13 8
芦　原	15 10	17 11	17 11	15 9	14 8	14 8	15 9
金　津	16 11	16 11	15 10	14 8	12 7	12 7	14 8
丸　岡	14 9	14 10	15 10	13 8	13 8	13 7	13 7
春　江	19 13	21 15	19 13	17 11	15 9	15 9	17 11
坂　井	16 10	17 11	14 9	14 9	12 7	12 6	13 7
鶉		12 7	11 6	11 5	10 5	4	11 6
森　田					15 9	14 8	16 10
麻 生 津					15 9	13 7	15 9
福　井					16 10	18 12	19 12
センター					10 5	11 6	13 7

注）上段…APメータ実測値，
　　下段…APメータ補正値

表－3－2）PbO_2法測定値の推移

			S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53
1	三国町	安島	0.21	0.22	0.16	0.17	0.10	0.09	0.11
5	芦原町	芦原小学校				0.24	0.16	0.15	0.16
	〃	二面	0.37	0.37	0.27				
7	三国町	西今市	0.32	0.34	0.25		0.12	0.10	0.12
9	金津町	消防署				0.24	0.16	0.14	0.16
	〃	北稲越	0.30	0.29	0.19				
10	〃	金津東小学校					0.10	0.10	0.13
	〃	中川	0.22	0.21	0.18				
12	坂井町	高柳	0.33	0.38	0.27	0.23	0.17	0.15	0.20
20	春江町	正善	0.21	0.23	0.17	0.16	0.11	0.10	0.12
21	〃	江留中				0.27	0.19	0.16	0.18
	〃	西長田	0.34	0.36	0.24				
24	丸岡町	堀水					0.09	0.08	0.09
	〃	日源寺	0.15						
27	福井市	定正	0.43	0.37	0.27	0.28	0.19	0.16	0.19
30	〃	勝見	0.24	0.23		0.21	0.13	0.12	0.16
43	〃	上助生田	0.43	0.40	0.30	0.31	0.21	0.19	0.20
47	〃	灯明寺中学校	0.36	0.37	0.25	0.26	0.16	0.15	0.21
48	〃	二日市	0.20	0.21			0.08	0.11	0.11
49	〃	布施田					0.09	0.08	0.09
50	三国町	新保	0.26	0.23		0.17	0.12	0.12	0.11
51	芦原町	波松小学校	0.24	0.28		0.14	0.10	0.09	0.10
52	〃	北潟東	0.40	0.36	0.24	0.21	0.10	0.08	0.08
53	金津町	千束	0.15	0.18			0.06	0.06	0.07
54	〃	伊井				0.21	0.18	0.18	0.20
	〃	池口天満	0.16	0.18					
55	坂井町	坂井中学校					0.23	0.19	0.23
	〃	坂井農林	0.29	0.27	0.21				
56	丸岡町	板倉高椋小学校	0.22	0.23		0.15	0.09	0.09	0.10
57	三国町	平山	0.30	0.28	0.24	0.21	0.14	0.12	0.14
58	芦原町	本荘小学校					0.10	0.08	0.10
	〃	下番	0.19	0.19	0.17				
59	三国町	黒目	0.22	0.24	0.24	0.19	0.13	0.14	0.17
60	福井市	石橋	0.17				0.07	0.06	0.07
61	〃	旧衛生研究所							
62	〃	裁判所	0.33	0.32	0.48	0.65	0.30	0.27	0.31
63	〃	保健所	0.39	0.33	0.48	0.47	0.30	0.28	0.32
64	丸岡町	丸岡中学校				0.19	0.14	0.14	0.16
	〃	消防署		0.33	0.26				
65	春江町	大石小学校	0.44	0.43	0.30	0.32	0.23	0.18	0.23
66	福井市	串野	0.25	0.20			0.06	0.05	0.06
67	坂井町	大味下	0.34	0.34		0.19	0.11	0.08	0.09
68	福井市	相布					0.05	0.05	0.05
69	〃	原目			0.24	0.19	0.16	0.15	0.16
75	三国町	三国西小学校					0.11	0.11	0.13
76	坂井町	兵庫小学校					0.13	0.10	0.11
77	福井市	羽水高校				0.38	0.23	0.21	0.20
78	〃	古市					0.23	0.19	0.22
79	〃	豊島					0.31	0.27	0.32
80	〃	今市					0.25	0.20	0.20
81	〃	大年					0.04	0.04	0.05

	福井市	S47	S48	S49	S50	S51	S52	S53
17	大窪町			0.13	0.09	0.07	0.06	0.05
19	波寄町	0.19	0.17	0.16	0.14	0.07	0.10	0.09
31	中藤小学校	0.21	0.16	0.16	0.15	0.08	0.11	0.12
32	北野上町	0.21	0.19	0.21	0.20	0.11	0.16	0.15
34	東安居小学校	0.16	0.19	0.20	0.21	0.11	0.10	0.10
36	順化小学校				0.62	0.37	0.33	0.40
38	藤岡小学校	0.12	0.15	0.13	0.15	0.09	0.09	0.09
39	至民中学校	0.18	0.18	0.15	0.16	0.14	0.08	0.07
40	豊　小学校	0.31	0.27	0.28	0.31	0.16	0.16	0.17
41	和田小学校	0.33	0.30	0.27	0.31	0.15	0.16	0.15
42	岡保小学校			0.11	0.14	0.07	0.06	0.05
44	春山小学校	0.36	0.36	0.33	0.31	0.15	0.18	0.20
45	進明小学校	0.34	0.32	0.35	0.40	0.24	0.23	0.25
46	森田小学校	0.24	0.23	0.21	0.24	0.13	0.12	0.13
71	麻生津小学校				0.28	0.19	0.17	0.15
72	東郷小学校				0.16	0.06	0.06	0.05
73	上文殊小学校				0.15	0.09	0.07	0.05
74	安居小中学校				0.10	0.04	0.03	0.02

表－3－1にAPメータ指示値の経年変化，表－3－2にPbO_2法測定値の経年変化を示した。

表から明らかなように，APメータ指示値，PbO_2法測定値共に昭和48年度をピークに年々減少しているが，昭和53年度には春江局等のようにやや増加の傾向が認められる局もある。なおこのことは図－5－1に示した日平均値の累積度数分布曲線（pc曲線）において，昭和53年度の方が昭和52年度よりも図の右側にあることからも明らかである。

そこで，福井・坂井地区の全局の年平均値の平均（以下，地区年平均値と略す）を用い，地区全体として年平均値間に統計的な有意差（平均値の差の検定）が認められるかどうかについて調べた結果を表－3－3，表－3－4に示した。これらによると，APメータ指示値やPbO_2法測定値の地区年平均値からみる限りでは昭和53年度に環境濃度の増加の傾向は認められない。

しかし，局ごとに昭和52年度と昭和53年度を比較すると（表－3－5），春江，森田，麻生津局では53年度に増加の傾向が認められた。即ち局ごとの月間平均値（n＝12）を基に統計的有意差の検定を行うと，前述の3局では危険率1～5％で差が認められた。

表３－３） ＡＰメータ指示値の年平均値（実測値）の差の検定

＝福井・坂井地区＝

Ave-xx ＝……××年度の地区年平均値
n-xx ＝……××年度のデータ数
Ave-test＝……平均値の検定
－……有意差なし
＊……危険率５％で有意差あり
＊＊… 〃 １％ 〃

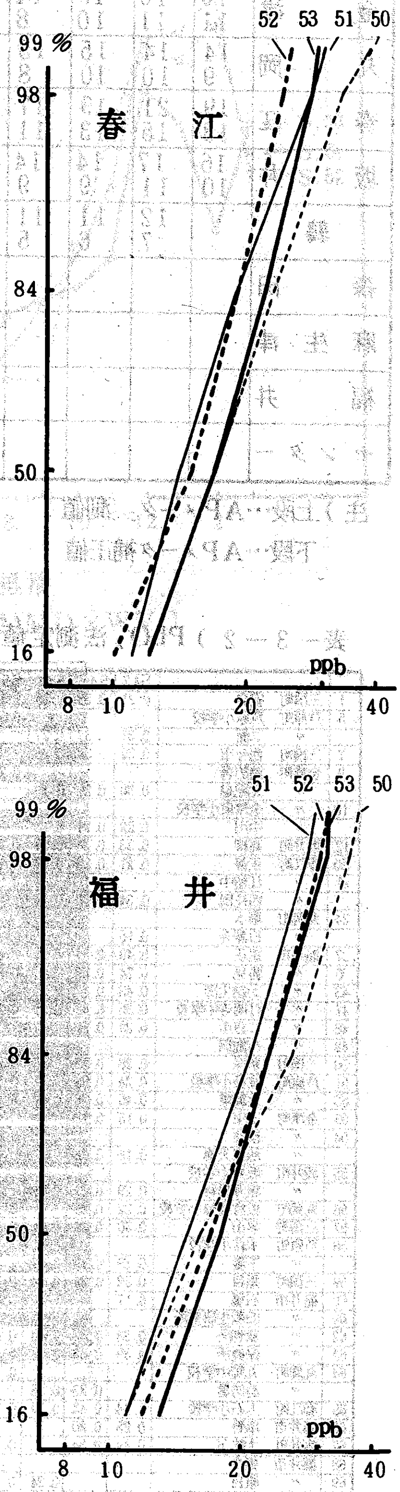
48	Ave-47 =16 Ave-48 =16 n-47 = 6 n-48 = 7 Ave-test= −					
49	Ave-47 =16 Ave-49 =15 n-47 = 6 n-49 = 7 Ave-test= −	Ave-48 =16 Ave-49 =15 n-48 = 7 n-49 = 7 Ave-test= −				
50	Ave-47 =16 Ave-50 =14 n-47 = 6 n-50 = 7 Ave-test= −	Ave-48 =16 Ave-50 =14 n-48 = 7 n-50 = 7 Ave-test= −	Ave-49 =15 Ave-50 =14 n-49 = 7 n-50 = 7 Ave-test= −			
51	Ave-47 =16 Ave-51 =13 n-47 = 6 n-51 =11 Ave-test= *	Ave-48 =16 Ave-51 =13 n-48 = 7 n-51 =11 Ave-test= −	Ave-49 =15 Ave-51 =13 n-49 = 7 n-51 =11 Ave-test= −	Ave-50 =14 Ave-51 =13 n-50 = 7 n-51 =11 Ave-test= −		
52	Ave-47 =16 Ave-52 =14 n-47 = 6 n-52 =10 Ave-test= −	Ave-48 =16 Ave-52 =14 n-48 = 7 n-52 =10 Ave-test= −	Ave-49 =15 Ave-52 =14 n-49 = 7 n-52 =10 Ave-test= −	Ave-50 =14 Ave-52 =14 n-50 = 7 n-52 =10 Ave-test= −	Ave-51 =13 Ave-52 =14 n-51 =11 n-52 =10 Ave-test= −	
53	Ave-47 =16 Ave-53 =15 n-47 = 6 n-53 =11 Ave-test= −	Ave-48 =16 Ave-53 =15 n-48 = 7 n-53 =11 Ave-test= −	Ave-49 =15 Ave-53 =15 n-49 = 7 n-53 =11 Ave-test= −	Ave-50 =14 Ave-53 =15 n-50 = 7 n-53 =11 Ave-test= −	Ave-51 =13 Ave-53 =15 n-51 =11 n-53 =11 Ave-test= −	Ave-52 =14 Ave-53 =15 n-52 =10 n-53 =11 Ave-test= −
yeal	47	48	49	50	51	52

表－３－４） PbO_2法測定値の差の検定

＝福井・坂井地区＝

Ave-xx ＝……××年度の地区年平均値
n-xx ＝……××年度のデータ数
Ave-test＝……平均値の検定
………有意差なし
＊……危険率５％で有意差あり
＊＊… 〃 １％ 〃

48	Ave-47 =0.27 Ave-48 =0.27 n-47- = 41 n-48- = 40 Ave-test= −					
49	Ave-47 =0.27 Ave-49 =0.24 n-47 = 41 n-49 = 34 Ave-test= −	Ave-48 =0.27 Ave-49 =0.24 n-48 = 40 n-49 = 34 Ave-test= −				
50	Ave-47 =0.27 Ave-50 =0.24 n-47 = 41 n-50 = 42 Ave-test= −	Ave-48 =0.27 Ave-50 =0.24 n-48 = 40 n-50 = 42 Ave-test= −	Ave-49 =0.24 Ave-50 =0.24 n-49 = 34 n-50 = 42 Ave-test= −			
51	Ave-47 =0.27 Ave-51 =0.14 n-47 = 41 n-51 = 59 Ave-test= ＊＊	Ave-48 =0.27 Ave-51 =0.14 n-48 = 40 n-51 = 59 Ave-test= ＊＊	Ave-49 =0.24 Ave-51 =0.14 n-49 = 34 n-51 = 59 Ave-test= ＊＊	Ave-50 =0.24 Ave-51 =0.14 n-50 = 42 n-51 = 59 Ave-test= ＊＊		
52	Ave-47 =0.27 Ave-52 =0.13 n-47 = 41 n-52 = 59 Ave-test= ＊＊	Ave-48 =0.27 Ave-52 =0.13 n-48 = 40 n-52 = 59 Ave-test= ＊＊	Ave-49 =0.24 Ave-52 =0.13 n-49 = 34 n-52 = 59 Ave-test= ＊＊	Ave-50 =0.24 Ave-62 =0.13 n-50 = 42 n-52 = 59 Ave-test= ＊＊	Ave-51 =0.14 Ave-52 =0.13 n-51 = 59 n-52 = 59 Ave-test= −	
53	Ave-47 =0.27 Ave-53 =0.14 n-47 = 41 n-53 = 59 Ave-test= ＊＊	Ave-48 =0.27 Ave-53 =0.14 n-48 = 40 n-53 = 59 Ave-test= ＊＊	Ave-49 =0.24 Ave-53 =0.14 n-49 = 34 n-53 = 59 Ave-test= ＊＊	Ave-50 =0.24 Ave-53 =0.14 n-50 = 42 n-53 = 59 Ave-test= ＊＊	Ave-51 =0.14 Ave-53 =0.14 n-51 = 59 n-53 = 59 Ave-test= −	Ave-52 =0.13 Ave-53 =0.14 n-52 = 59 n-53 = 59 Ave-test= −
yeal	47	48	49	50	51	52



図－５－１）
日平均値の累積度数分布

表－３－５）昭和52，53年度の年平均値の差の検定

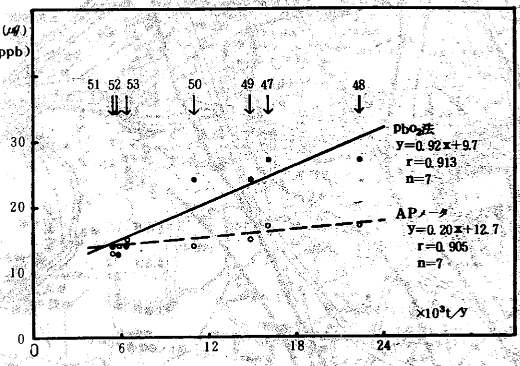
局　　名	S52 ppb	S53 ppb	
三　　国	15	13	－
芦　　原	14	15	－
金　　津	12	14	－
丸　　岡	13	13	－
春　　江	15	17	**
坂　　井	12	13	－
鶉		11	－
森　　田	14	16	*
麻 生 津	13	15	*
福　　井	18	19	－
センター	11	13	－

** ～危険率１%で有意差有り
* ～　〃　５%　　〃

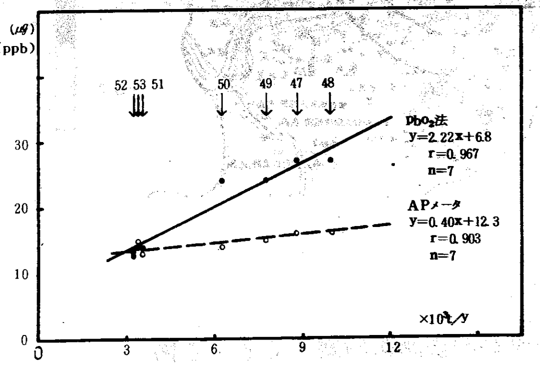
表－３－６）各観測局間の年平均値の差の検定

(S.53. 4～S.54. 3)

局名　局コード	00	01	02	03	04	05	13	14	15	16
芦　原 01										
金　津 02		**								
丸　岡 03		*								
春　江 04	**	**	**	**						
坂　井 05		**			**					
鶉 13		**	**		**	*				
森　田 14	*		**	**		**	**			
麻生津 15			**	*	*	**	**			
福　井 16	**	**	**	**		**	**	**	**	
原　目 17		**			**			**	**	**



図－５－２）SOx 排出量（福井・坂井地区全体）と硫黄酸化物環境濃度



図－５－３）SOx 排出量（火力発電所を除外）と硫黄酸化物環境濃度

なお同様な方法で昭和53年度の局間の年平均値を比較すると（表─3─6），福井，春江，森田，麻生津局は他の局に較べて高いことが明らかになったが，これらの局を結ぶ線は平均的な南風の流跡線に一致している。

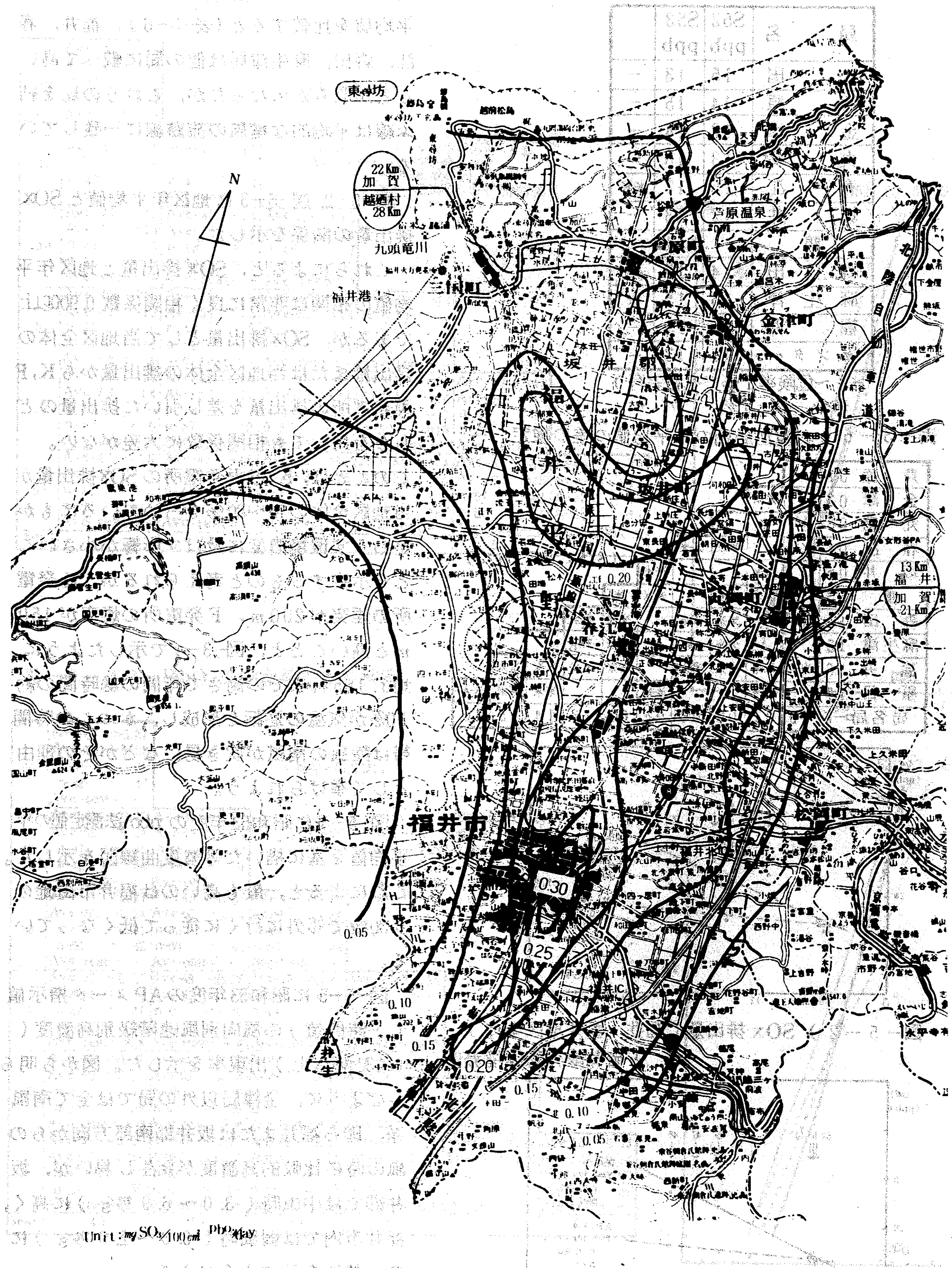
図─5─2，図─5─3 に地区年平均値と SOx 排出量の関係を示した。

これらによると，SOx 排出量と地区年平均値の相関は非常に良く相関係数 0.900以上であるが，SOx 排出量として当地区全体の排出量または当地区全体の排出量からK,F両発電所の排出量を差し引いた排出量のどちらを用いても相関係数に大差がない。

このことは，K，F両発電所の SOx 排出量が当地区全体の70～80%を占めているにもかかわらず環境濃度に及ぼす影響が小さいことを示唆するものと考えられるが，K 発電所の煙突が 200 *m*，F 発電所の煙突が 150 *m* と高いことと，図─3─4 で示したように地上 185 *m* までの高さで年間の総時間の約50%が気温の逆転を形成し，かつこの時間帯は陸風の南風が吹き易いなどがその理由として挙げられよう。

図─5─4 に昭和53年度の PbO_2 法測定値の年平均値を基に描いた等濃度曲線図を示した。これによると，最も高いのは福井市街地の 0.30㎎ で郊外に行くに従って低くなっている。

図─5─5 に昭和53年度の AP メータ指示値（１時間値）の風向別風速階級別高濃度（0.030ppm以上）出現率を示した。図から明らかなように，金津局以外の局では全て南風系，即ち福井または坂井郡南部方向からの風の時に比較的高濃度が発生し易いが，坂井郡では中風時（3.0～6.9 m/s）に高く，福井市内では弱風時（0.3～2.9 m/s）に高い特徴を示すようである。



図－５－４）　Pbo$_2$法測定値による等濃度曲線図－S．５３

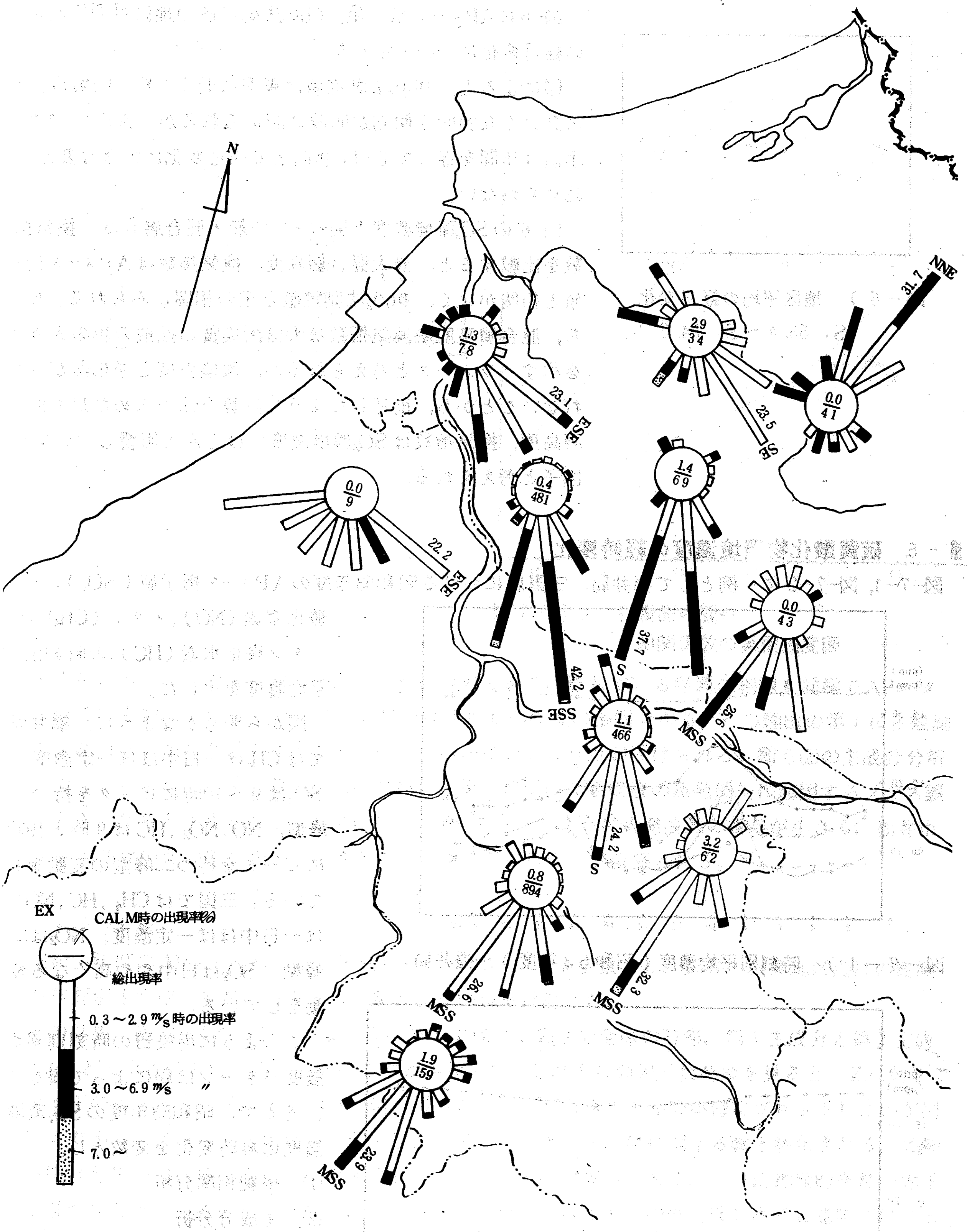
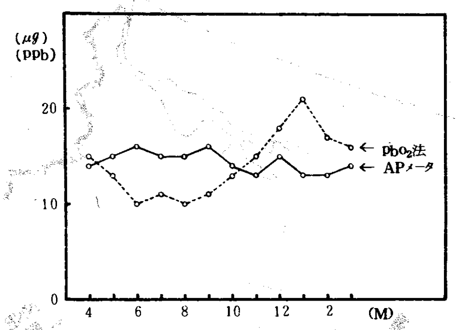


図５－５）　風向別風速階級別高濃度（0.030 ppm以上）出現率
（S．53.4～S．54.3）

Ⅲ－4　硫黄酸化物環境濃度の経月変化



図－6）　地区平均の経月変化
S．53.4～S．54.3

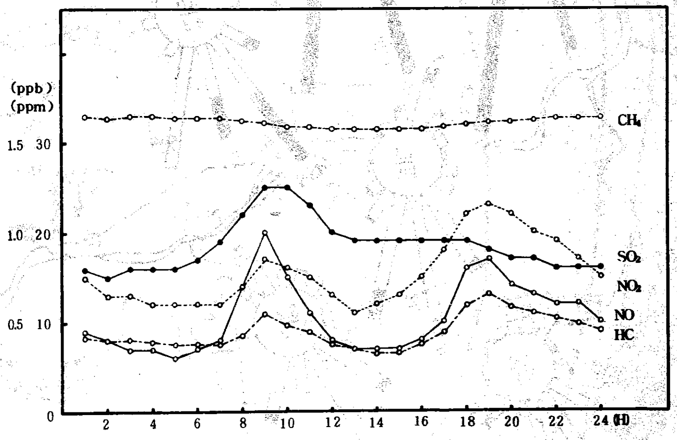
図－6にAPメータ指示値，Pbo₂法測定値の地区月間平均値の経月変化について示した。

図によると，Pbo₂法測定値は夏季に低く（約0.10㎎），冬に高い（0.20㎎）傾向が明瞭に認められるが，APメータ指示値は年間を通して0.014㏙前後で経月変化に大きな変動が認められない。

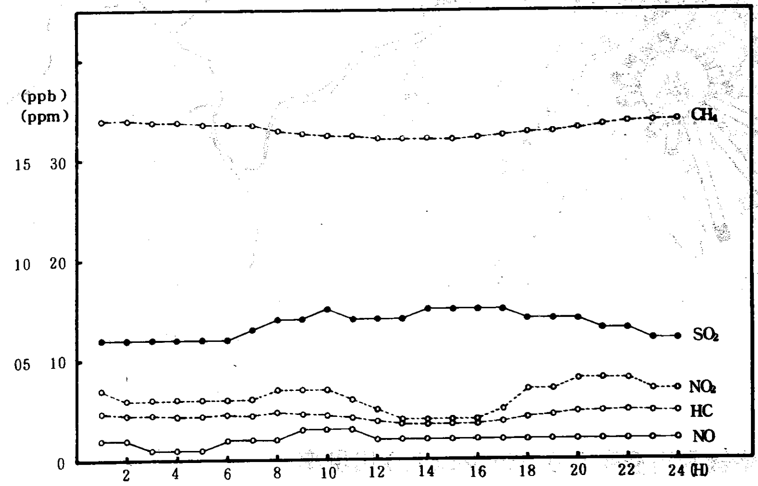
図－6のSO_2環境濃度と図－3－3の最大混合層高度，換気指数を比較すると，最大混合層高度，換気指数はAPメータ指示値と相関がなく，Pbo₂法測定値と正の相関がみられる。即ち，混合層高度や換気指数は大気汚染質の拡散の場の大きさを示すパラメータと考えられるが，環境濃度と逆相関がみられないことから，前述したような計算方法で求めた最大混合層高度，換気指数はSO_2環境濃度にはとんど影響しない気象因子と考えられる。

Ⅲ－5.　硫黄酸化物環境濃度の経時変化

図－7－1，図－7－2に一例として福井局，三国局における昭和53年度のAPメータ指示値（SO_2），一酸化窒素（NO），メタン（CH_4）非メタン炭化水素（HC），の時刻別平均濃度を示した。



図－7－1）　時刻別平均濃度（昭和53年度）～福井局



図－7－2）　時刻別平均濃度（昭和53年度）～三国局

図から明らかなように，福井局ではCH_4は一日中ほぼ一定濃度，SO_2は9～10時にピークを持つ一峰型，NO，NO_2，HCは9時と19時にピークを持つ二峰型の変動をしている。三国ではCH_4，HC，NOは一日中ほぼ一定濃度，NO_2は二峰型，SO_2は日中やや高くなる変動をしている。

このように汚染質の時刻別平均濃度パターンは局によって異なる。そこで，昭和53年度のSO_2環境濃度の経時変化を変数とし，

(1)　単純相関分析
(2)　主成分分析

の2方法で各観測局での濃度変動の特徴について検討した。

1)　単純相関分析

表－4－1，図－7－3にAPメータ指示

値（1時間値：n=8760）およびPbO_2法測定値（月間値：n=12）を用いた相関係数表とその累積度数分布図を示した。

表－4－1）　各観測局間の相関係数

芦　原	0.497									
金　津	0.492	0.667								
丸　岡	0.630	0.552	0.620							
春　江	0.465	0.490	0.374	0.389						
坂　井	0.551	0.652	0.625	0.647	0.622					
鶉	0.598	0.482	0.559	0.638	0.351	0.445				
森　田	0.508	0.547	0.517	0.484	0.570	0.664	0.356			
麻生津	0.462	0.545	0.540	0.544	0.534	0.644	0.415	0.620		
福　井	0.430	0.495	0.424	0.457	0.539	0.610	0.341	0.628	0.609	
原　目	0.541	0.556	0.600	0.695	0.400	0.589	0.555	0.555	0.607	0.548
（局目）	三　国	芦　原	金　津	丸　岡	春　江	坂　井	鶉	森　田	麻生津	福　井

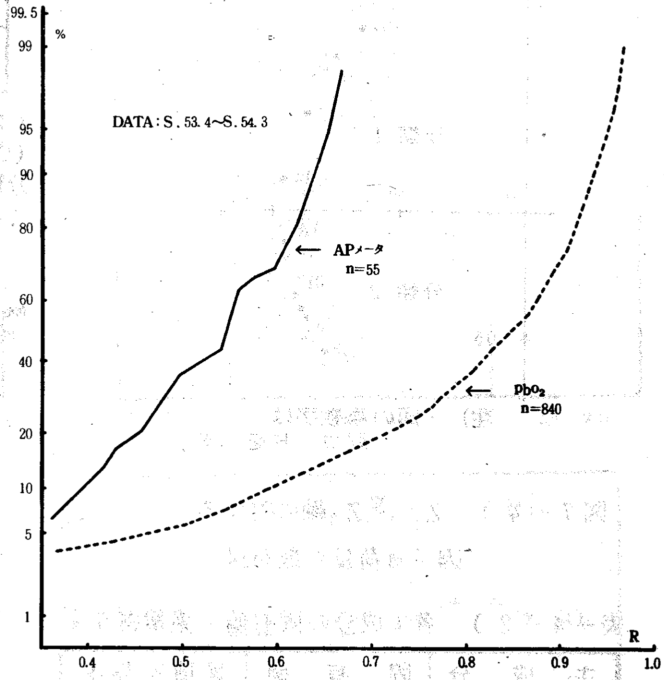


図7－3）　各観測局間の
相関係数の累積頻度図

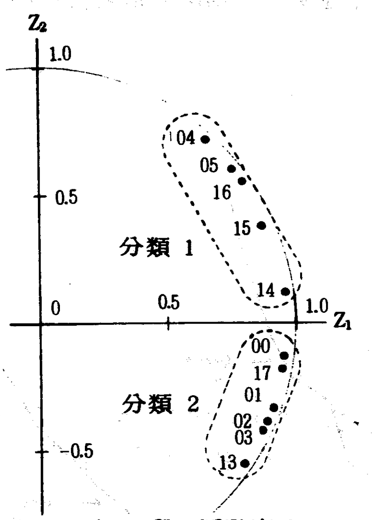
図表によると，各観測局間の相関は一般に良好であり，離れている局間の相関も同様でAPメータ指示値では平均0.55程度，PbO_2法測定値では平均0.85程度の相関である。この理由の第1に各観測局の濃度自体がかなり低く検出限界に近い数値が多いという点が挙げられる。即ち(2)の主成分分析の項で述べるように，環境濃度が低いために汚染と無関係な吸収液の蒸発損失に起因するプラス誤差が大きいためと考えられる。第2には図-5-5で述べたように大発生源の寄与が小さく，福井市および坂井郡南部の群小煙源の影響を大きく受けていることが指摘される。

2)　主成分分析

昭和53年度のAPメータ指示値の時刻別平均値（n=24）を変数とし，福井・坂井地区内11の観測局を時刻別平均値の変動の相異から分類できないかを検討した。

その結果，表-4-2から明らかなように第1主成分（Z_1）で全体の77%，第1主成分と第2主成分（Z_2）とで全体の97%を説明でき得ることが判った。それぞれの因子負荷量を見ると，Z_1に対しては全て正の値であり，Z_2は正負両方の値が得られた。これらを二次元の座標にプロットしたのが図-7-4である。Z_1軸は全ての局が正側に位置していることから汚染に関する軸と解釈される。Z_2軸の説明は発生源の位置と主風向を考え合わせて判定するのが妥当であるが，一応地理的条件で因子軸を説明すると，Z_2軸の正方向は当地区の中心部，負方向は当地区の外周部を示すと意味づけすることが可能である。

この第2主成分までの因子負荷量を基に11の観測局を2つに分類することができ，その1つは第1象限にある春江，坂井，森田，麻生津，福井の5局（以下，分類1と略す）で，表-2-1，表-2-6で示したように年平均値で高い方から5局で構成され，第2番目は第4象限にある三国，芦原，金津，丸岡，鶉，センターの6局（以下，分類2と略す）で構成されている。



注) ・印の添数字は
局コードを示す。

図7－4） Z_1 ， Z_2軸に対する
因子負荷量の散布図

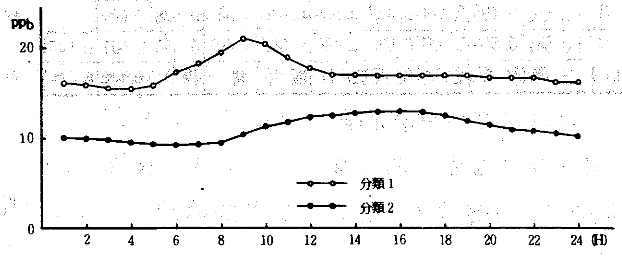
表－4－2） 各主成分の固有値・累積寄与率

主　成　分	固　有　値	累積寄与率
第1　主成分	8. 47	0. 77
第2　主成分	2. 17	0. 97

表－4－3） 各分類の特徴

	特徴1 （経時変化）	特徴2 （観測局の位置）
分　類　1	朝9時ごろに ピークを持つ	福井・坂井地区 の中心部
分　類　2	日中やや高く なる傾向	外周部

分類1……春江，坂井，森田，麻生津，福井の計5局
(局コード 04　05　14　15　16)
分類2……三国，芦原，金津，丸岡，鶉，センターの6局
(局コード 00　01　02　03 13　17)



図－7－5）
主成分別代表局における SO_2濃度の経時変化

各分類の特徴を見ると，表-4-3 に示したように経時変化のタイプと観測局の位置の 2 つが挙げられ，特に 1 番目の特徴の経時変化において分類 1 の局は朝 9 時にピークを持ち，分類 2 の局は日中やや高くなることが明瞭に認められる（図-7-5 参照）。

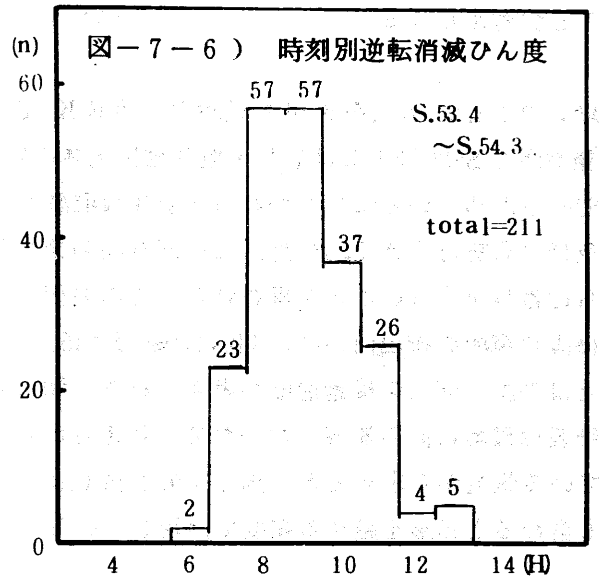
このように分類 1 と分類 2 の SO_2環境濃度の経時変化が異なる原因として，発生源と観測局の位置関係および主風向等の気象因子の影響が考えられるが，ここでは図-3-4 の気温の逆転に着目し検討した。

図-7-6 に時刻別逆転消滅頻度，図-7-7 と図-7-8 に逆転消滅前後10時間の平均濃度を示した。この場合，逆転消滅時刻をゼロ時（0H）とし，その前 5 時間（正の時間）は連続して逆転，その後 5 時間（負の時間）は連続しててい減状態であることを条件とし，この条件を満足する日のデータのみを抽出した。なおこの場合とは逆に逆転が形成される時についても図-7-9~図-7-11 に示した。

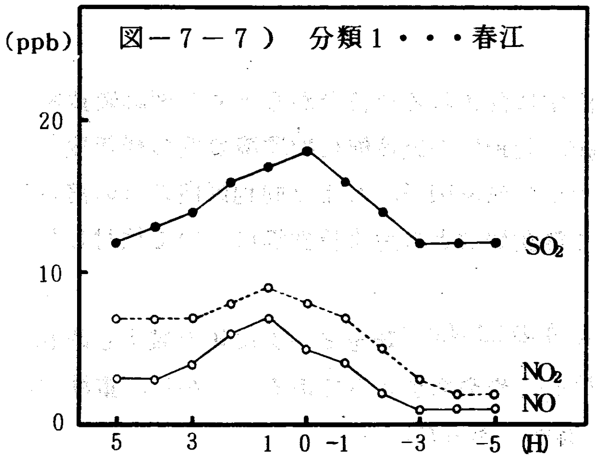
図から明らかなように，逆転が消滅する時刻は 8 ～ 9 時に最も多く，その時に SO_2濃度は分類 1 の局で一時的に高くなるフュミゲーション現象が認められるが，分類 2 の局ではこのような現象が認められない（表-4-4 参照）。NO, NO_2濃度は分類 1 , 2 のいずれの局においてもやや高くなる傾向が認められる。

逆転が形成される時刻は18～20時に最も多く，その時に SO_2濃度は分類 1 の局でやや高くなるが，分類 2 の局ではこのような現象は認められない。NO, NO_2濃度は分類 1 , 2 のいずれの局においても消滅時よりも一時的に高くなる傾向が明瞭に認められる。

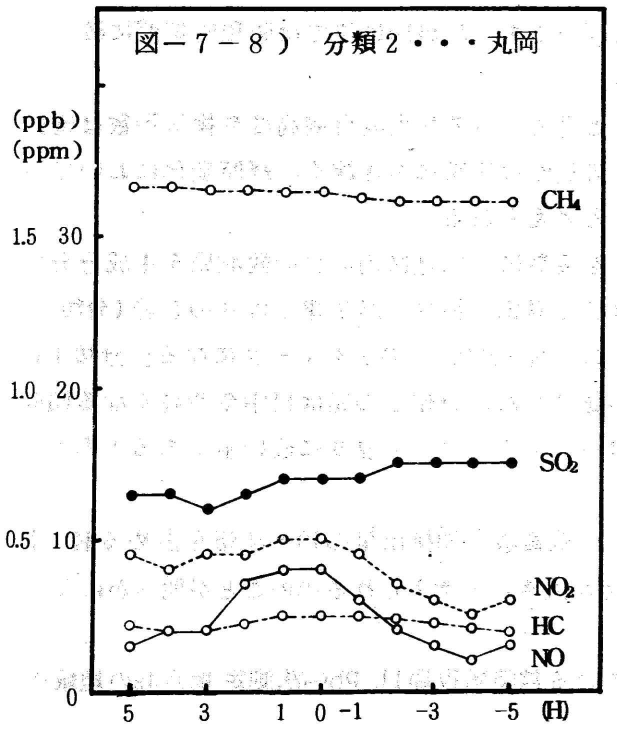
年間を通して濃度変動が小さい CH_4はいずれの局においても逆転形成・消滅時に濃度変動が小さいこと，および分類 2 の局の SO_2濃度も逆転形成・消滅時に濃度変動が小さいこと等から，分類 2 の局の SO_2濃度はバックグラウンド濃度に近い値と考えられる。なお分類 2 の SO_2濃度が日中やや高くなる原因の 1 つに気温の上昇により汚染と無関係な吸収液の蒸発損失に起因するプラス誤差が大きくな



図－7－6）　時刻別逆転消滅ひん度



図－7－7）　分類1・・・春江



図－7－8）　分類2・・・丸岡

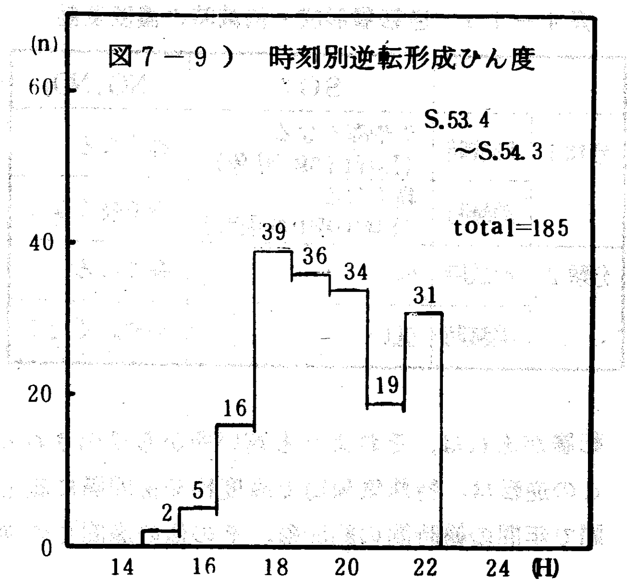
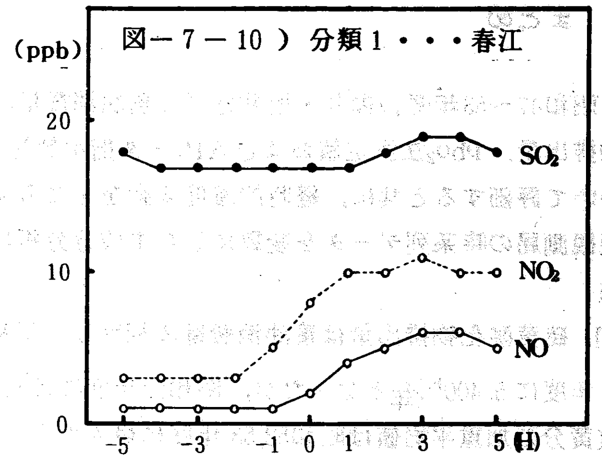
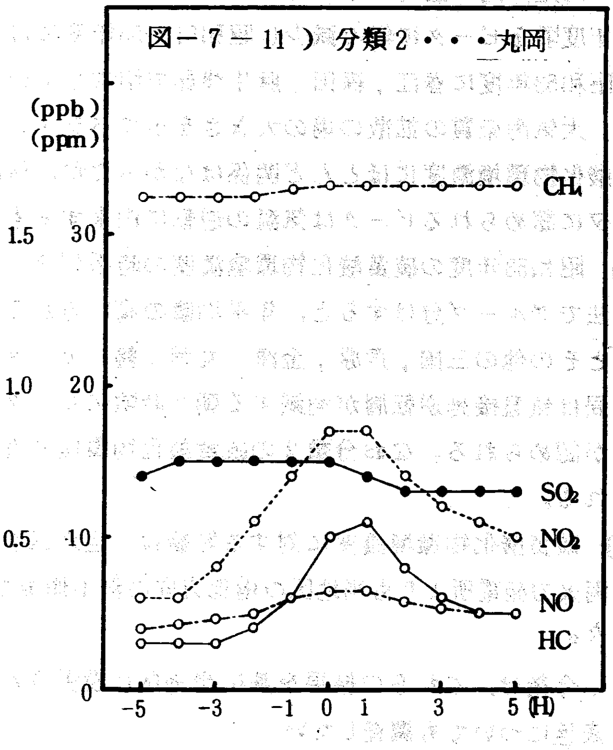


図7－9）　時刻別逆転形成ひん度



図－7－10）分類1・・・春江



図－7－11）分類2・・・丸岡

表4－4） 逆転層形成・消滅時の濃度変動

		SOx	NO,NO_2
分類1	形成時	やや高くなる (Lofting 現象)	高くなる
	消滅時	高くなる (Fumigaton 現象)	やや高くなる
分類2	形成時	低い	高くなる
	消滅時	低い	やや高くなる

ることが考えられる。

以上のことから，図-6-6で述べたようにK，F両発電所のSOx排出量は福井・坂井地区全体の70〜80％を占めているにもかかわらず直接環境濃度に及ぼす影響は小さく，当地区の南部方向の発生群からの寄与が大きいことが窺われる。この原因としては両発電所の排出口が高い（K：200m，F：150m）ことは勿論，気温の接地逆転が考えられる。即ち逆転層があれば，それよりも高い所から排出される汚染質は環境に直接影響しないためと考えられる。この逆転は，特殊気象局で高度約50m間隔に測定している気温から求めると，地上〜最上層（185m）間で年間の総時間の約50％，その他の層間での逆転も含めると70％を越える頻度で出現している。

Ⅳ まとめ

昭和47〜53年度の福井・坂井地区の重油消費量，重油中に含まれる硫黄分から求めた理論硫黄酸化物排出量，PbO_2法測定値およびAPメータ指示値等を基に，同地区の硫黄酸化物環境濃度の経年変化について評価すると共に，経時的濃度変動をもたらす幾つかの気象因子，および同地区内の11の常時監視観測局の時系列データを変数にした主成分分析により観測局ごとの汚染特性等について検討した結果

1〕 硫黄酸化物排出量は重油消費量に相反し，昭和48年度の22,400トン/年をピークに年々減少し昭和51年度に5,400トン/年となったが，昭和53年度には6,400トン/年とやや増加ぎみである。しかし，重油中の硫黄分の加重平均値は昭和52,53年度に最も小さく約0.35％であった。

2〕 同地区内の全局の年平均硫黄酸化物環境濃度の平均値は硫黄酸化物排出量の最も多かった昭和48年度頃をピークに年々減少し昭和51〜53年度には横ばいであったが局単位では昭和52年度に較べ，昭和53年度に春江，森田，麻生津局で増加している。

3〕 大気汚染質の拡散の場の大きさを示すパラメータと考えられる最大混合層高度や換気指数は硫黄酸化物環境濃度にほとんど関係はなかったが，気温の逆転は非常に関係深く，経時変化において朝夕に認められるピークは気温の逆転に由来するものと考えられる。

4〕 昭和53年度の硫黄酸化物環境濃度の時系列データを変数にし同地区内の11の観測局を主成分分析法でグループ分けすると，年平均値の高い方から春江，森田，福井，麻生津，坂井の5局（分類1）とその他の三国，芦原，金津，丸岡，鶉，センターの6局（分類2）の2グループになる。分類1の局は気温接地逆転層が消滅する朝9時頃にピークが認められ，分類2の局は日中やや高くなる傾向が認められる。なお分類2の硫黄酸化物環境濃度はバックグラウンド濃度に近い値であると考えられる。

5〕 硫黄酸化物環境濃度に対する影響は，当地区全体の硫黄酸化物排出量の70〜80％を占めるK，F両火力発電所よりも当地区の南部方向の群小煙源の方が大きいと考えられる等のことが明らかになった。

今後は，これらの結果を基に当地区に設置されている常時監視局11，PbO_2法測定地点49の地域代表性についても調査したい。

参考文献

1] 山田克則　他　：　本報，8，　95 (1978)

2] 石田幸洋　他　：　本報，8，　69 (1978)

3] 田村穂積　他　：　全国公害研誌　4，(2)，37 (1979)

4] 横山長之　他　：　環境アセスメント手法入門　オーム社出版 (1975)

5] (社)日本気象協会：　大気汚染気象予報指針 (1976)

6] 河口至商　　　：　多変量解析入門　森北出版 (1966)