

5. 森田、春江局についての硫黄酸化物拡散計算調査

山田克則 酒井信行 八幡仁志 植山洋一
石田幸洋 岡島一雄 安井 新 宮永信幸*
野村豪一* 橋本耕三* (* 公害規制課)

1 緒 言

冬期は、大気汚染物質濃度の変動が大きく、時には環境基準を越える高濃度の出現が見られる。最近3カ年間(1975~1977年度)に福井・坂井地区において硫黄酸化物(二酸化いおう)の環境基準値を越えたのは、1時間値(基準値0.1PPM)では1975年度、春江局で1月に1回、森田局で1月に2回、麻生津局で12月に1回、日平均値(基準値0.04PPM)では1975年度、春江、森田、福井局で1月に各々1回、1976年度、森田局で1月に1回、2月に2回となっており、いずれも冬期に出現している。(図1)

大気汚染が冬期にひどくなる原因のひとつとしては、従来、上層の気温が下層より高くなる気温逆転層の発達が挙げられている。¹⁾²⁾ 今回、1977年2月についての発生源アンケート調査を行ない、その結果をもとにした拡散計算により、福井・坂井地区での高濃度に対して同じ理由を適用することが可能かどうかの検討を行なった。

着地濃度を計算する地点は高濃度発生頻度の高い森田局と春江局とし、アンケートの範囲は両局への寄与の大部分を占めると考えられる福井市及び坂井郡南部の発生源とした。

II 調査方法

発生源アンケートの内容は1977年2月の毎日の稼働時間帯、燃料使用量、及び、通常時の排出データ(単位時間当たりの排ガス量、燃料使用量、排ガス温度、比重、硫黄分、煙突高)と施設用途とし、福井・坂井地区の68事業場に送付し、うち54事業場から回答を得た。表1に計算に入力した発生源の概要を示した。これらの発生源の年間燃料使用量の合計が、地域全体の年間燃料使用量に占める割合を、届出のあるばい煙発生施設全体を対象とした1975年度についてのアンケート調査の結果から算出すると、福井地区については約74%であった。図2に、これらの発生源、及び森田、春江両局の位置を示した。

拡散計算に先だって同じ風向風速の条件下でも、季節によってどの程度濃度が異なるかを調べた。その方法としては2月について風向風速を用いてある程度精度の良い回帰式を作成し、その回帰式を他の月にも適用して実測値との差を比較した。回帰式は次のような形式にすることにより、日平均値において実測値との相関係数が、森田局で0.83、春江局で0.91となった。

$$Y = aX + b \quad (Y = \text{日平均値の推定値})$$

ここでXとしては1時間値の推定値の日平均値を用い、1時間値は次のような重回帰式で推定した。

$$\log_e x = C_1 \cdot (\text{風向}) + C_2 \cdot (\text{風速}) + C_3 \cdot (\text{時間帯}) + C_4$$

風速は実測値をそのまま用い、風向と時間帯は最終的に次のように変数化した。

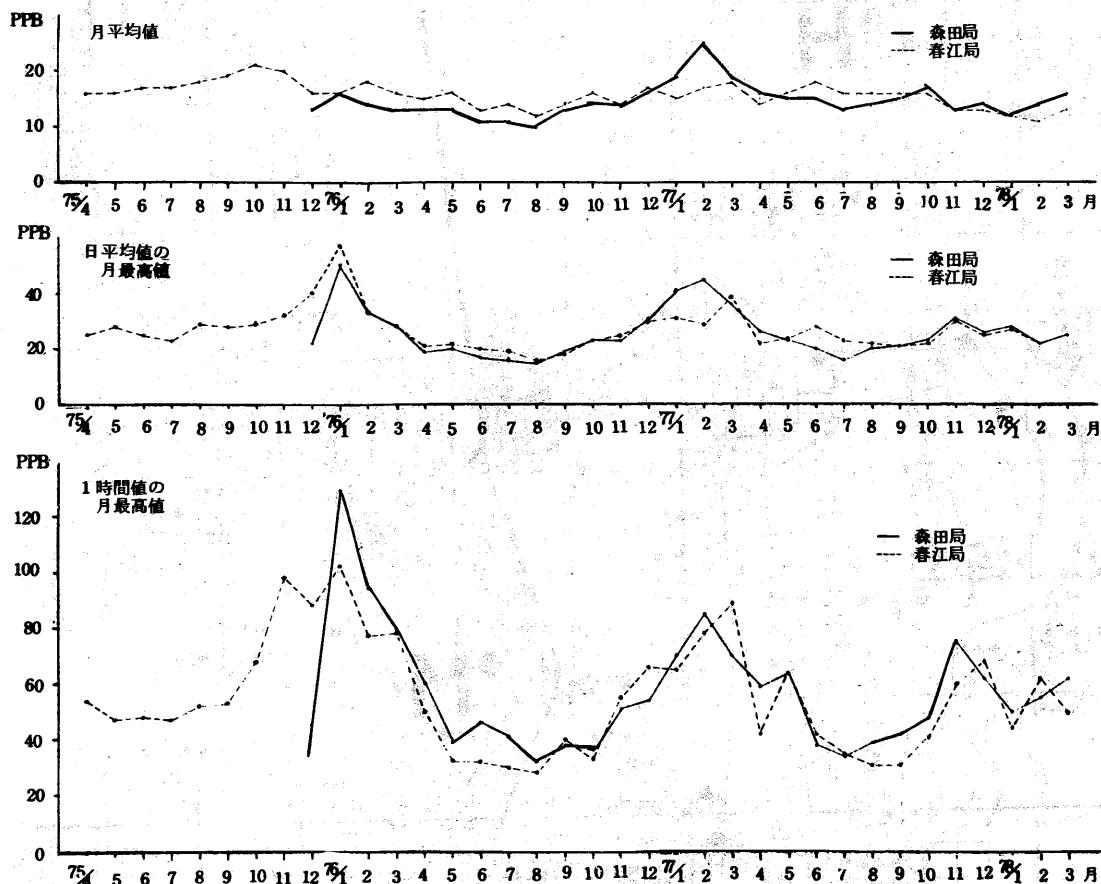


図-1 硫黄酸化物濃度の経月変化

表-1 アンケート結果による発生源の概況

	番号	業 種	所 在 地	SO ₂ 排出量 (全施設) 稼働時 kg/h	△昼間のみ稼働 ○昼夜とも稼働 ▲夜間のみ稼働	休 雑 日 (1977年2月)
SO ₂ 排出量 10kg/h以上	1	織 維	福 井 市	49	1号機△2~4号機○	日曜
	2	"	"	33	○ 週によっては△	日曜
	3	"	"	30	○	日曜, 土曜
	4	"	"	29	○	日曜
	5	"	"	29	12号機▲ 3号 △	日曜
	6	"	"	28	○	日曜, 祭日振替
	7	学 校	"	27	△	日曜, 祭日
	8	織 維	"	23	○	日曜, 土曜
	9	"	"	21	△	日曜, 隔週土曜
	10	"	"	17	○	日曜
	11	"	"	16	○	日曜
	12	化 学	"	14	△	日曜, 土曜祭日
	13	織 維	"	14	○	日曜, 月1回土曜
	14	"	"	13	△ 6時~午前1時	日曜, 隔週土曜, 祭日振替
	15	"	"	13	△ 7時~午前2時	日曜
	16	アスファルト	"	12	△	1日~27日
	17	織 維	春 江 町	11	△	日曜, 隔週土曜, 祭日
(小 計)				(379)		
SO ₂ 排出量 5kg/h~ 9kg/h	18	織 維	福 井 市	9	△隔日で夜間稼働	日曜, 26~28日
	19	製 紙	"	8	○	日曜
	20	織 維	"	8	△	2号機のみ, 日曜, 隔週土曜
	21	"	"	7	○	日曜
	22	"	春 江 町	6	△	日曜
	23	"	福 井 市	6	△	日曜
	24	化 学	"	6	○	日曜, 土曜
	25	織 維	春 江 町	5	△	日曜, 月1回土曜, 祭日
	26	"	"	5	○	日曜
	27	学 校	福 井 市	5	△	日曜, 祭日
(小 計)				(65)		
SO ₂ 排出量	織 維 工 業 8社	(小 計)	(14)			
5kg/h未満	ビル, 病院, 学校 12	(小 計)	(15)			
	銭湯, その他 5	(小 計)	(7)			

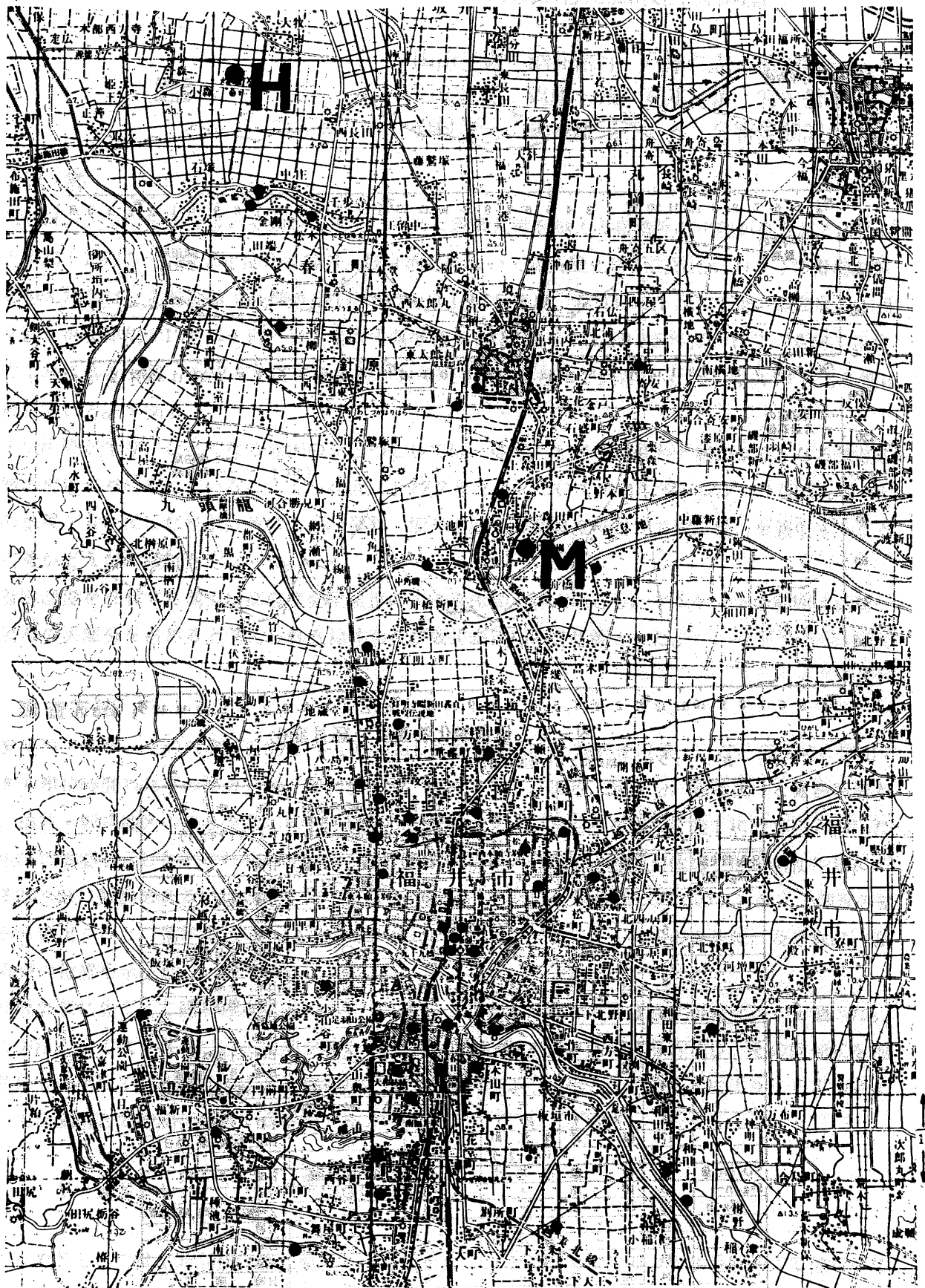


図-2 発生源位置 (●印：入力分のみ) 局舎位置 (M：森田局 H：春江局)

(風 向)

局	N~NE	ENE	N E	ESE	S E	SSE	S	SSW	S W	WSW	W	WNW~NNW	calm
森 田	0	0	1	1	1	2	2	2	1	1	1	0	2
春 江	0	1	1	1	2	2	2	1	1	1	0	0	2

(時間帯)

	1時~8時	9時 ~ 12時	13時 ~ 18時	19時 ~ 24時
両局とも	0	1 但し休日 0	1 但し、休日・土曜は0	0

森田局での回帰式の数値を示すと

$$Y = 2.02X - 21.6$$

$$\log_e x = 0.241(\text{風向}) - 0.094(\text{風速}) + 0.388(\text{時間帯}) + 2.928$$

春江局では次のようになった。

$$Y = 1.55X - 7.76$$

$$\log_e x = 0.387(\text{風向}) - 0.033(\text{風速}) + 0.233(\text{時間帯}) + 2.360$$

拡散計算は逆転層の存在を仮定しない次式

$$C = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{He^2}{2\sigma_z^2} \right]$$

及び逆転層のモデルとしてLid(蓋)による反射を考慮した次式を用いた。

$$C = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \sum_{n=-3}^{n=3} \exp \left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(He + 2nH_L)^2}{2\sigma_z^2} \right]$$

QはSO₂排出量、uは有効煙突高高度での風速、σ_y、σ_zはパスキル拡散幅、yは計算地点と煙流の中心軸との水平距離、Heは有効煙突高、H_LはLidの高さをあらわす。有効煙突高はコンケーブ式、上層風速は指数法則で算出した。

$$He = Ho + 0.175 \frac{Qc^{0.5}}{U'^{0.75}} \quad U' = Uo \left(\frac{Ho}{10} \right)^{0.25}$$

Hoは煙突実高、Uoは地上10mでの風速(森田、春江局での値)をあらわす。

Qは次式により、1日毎に計算し直し、稼動していない時間帯はQ=0とおいた。

$$Q = \frac{\text{通常時のSO}_2\text{排出量 (Kg/h)}}{\text{通常時の燃料使用量 (ℓ/h)}} \times \frac{\text{1日の燃料使用量(ℓ)}}{\text{その日の稼動時間(h)}}$$

拡算式による計算は、記録紙から10分毎に風向(160方位)、風速を読みとり、10分毎に計算した。
Lidによる反射は3回までを考慮した。3)

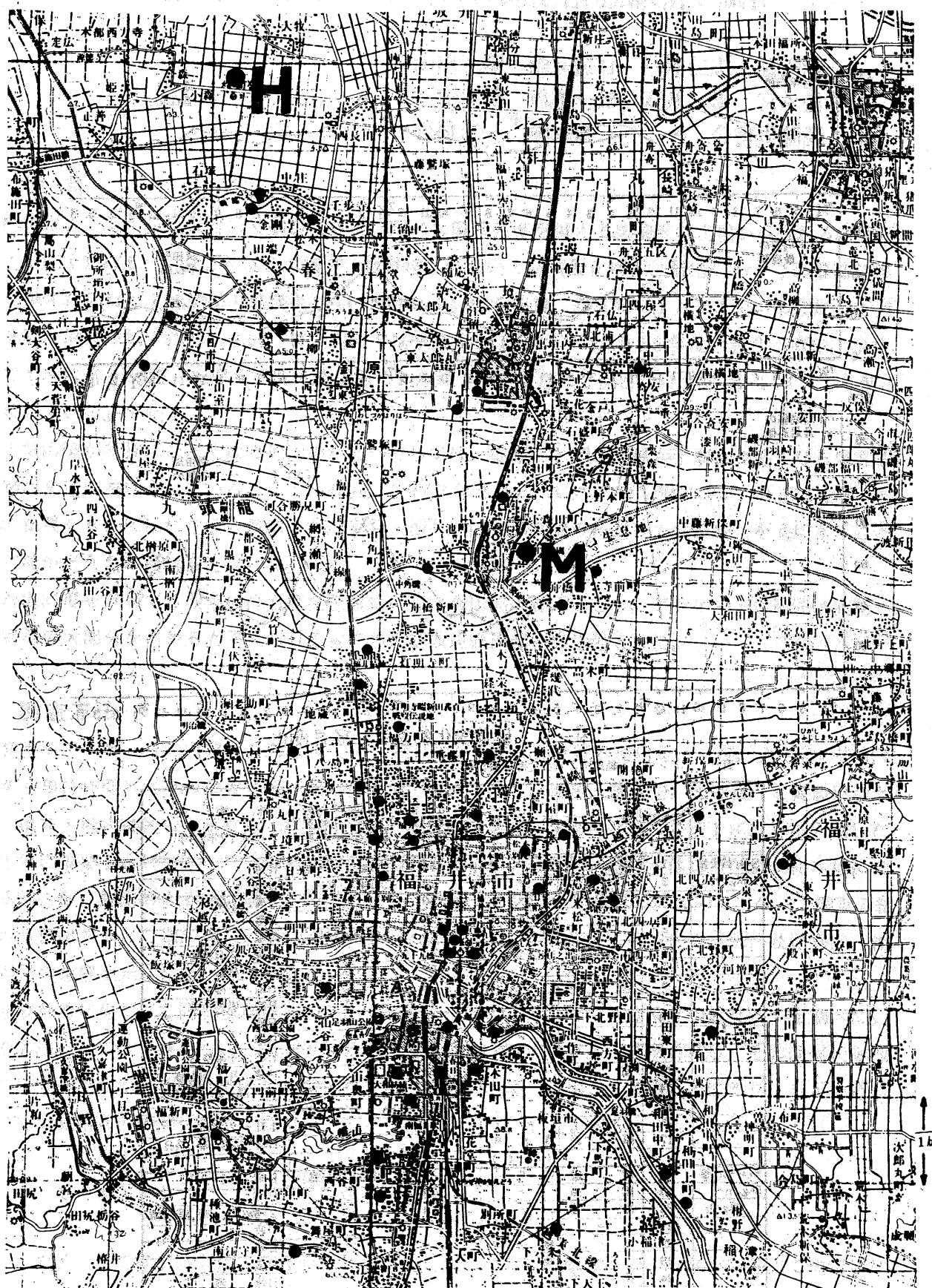


図-2 発生源位置(●印：入力分のみ)局舎位置(M：森田局 H：春日局)

(風 向)

局	N~NE	ENE	N E	ESE	S E	SSE	S	SSW	S W	WSW	W	WNW~NNW	calm
森 田	0	0	1	1	1	2	2	2	1	1	1	0	2
春 江	0	1	1	1	2	2	2	1	1	1	0	0	2

(時間帯)

	1時~8時	9時 ~ 12時	13時 ~ 18時	19時 ~ 24時
両局とも	0	1 但し休日は 0	1 但し、休日・土曜は 0	0

森田局での回帰式の数値を示すと

$$Y = 2.02X - 21.6$$

$$\log_e x = 0.241(\text{風向}) - 0.094(\text{風速}) + 0.388(\text{時間帯}) + 2.928$$

春江局では次のようになった。

$$Y = 1.55X - 7.76$$

$$\log_e x = 0.387(\text{風向}) - 0.033(\text{風速}) + 0.233(\text{時間帯}) + 2.360$$

拡散計算は逆転層の存在を仮定しない次式

$$C = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{H_e^2}{2\sigma_z^2} \right]$$

及び逆転層のモデルとしてLid(蓋)による反射を考慮した次式を用いた。

$$C = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \sum_{n=-3}^{n=3} \exp \left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(H_e + 2nH_L)^2}{2\sigma_z^2} \right]$$

QはSO₂排出量, uは有効煙突高高度での風速, σ_y , σ_z はパスキル拡散幅, yは計算地点と煙流の中心軸との水平距離, H_eは有効煙突高, H_LはLidの高さをあらわす。有効煙突高はコンケーブ式, 上層風速は指数法則で算出した。

$$H_e = H_o + 0.175 \frac{Q_c^{0.5}}{U'^{0.75}} \quad U' = U_o \left(\frac{H_o}{10} \right)^{0.25}$$

H_oは煙突実高, U_oは地上10mでの風速(森田, 春江局での値)をあらわす。

Qは次式により, 1日毎に計算し直し, 稼動していない時間帯はQ=0とおいた。

$$Q = \frac{\text{通常時のSO}_2\text{排出量 (kg/h)}}{\text{通常時の燃料使用量 (ℓ/h)}} \times \frac{\text{1日の燃料使用量(ℓ)}}{\text{その日の稼動時間(h)}}$$

拡算式による計算は, 記録紙から10分毎に風向(160方位), 風速を読みとり, 10分毎に計算した。Lidによる反射は3回までを考慮した。³⁾

■ 結果と考察

1. 回帰式による検討

図3に、2月について作成した回帰式による1976年度の各月の日平均値の推定値と実測値との比較を示した。

森田局では冬期には整合性が良いが、他の季節には実測値は推定値ほど高い値を示さない。この傾向は、森田局ほどではないが、春江局でも若干見られる。この結果から風向風速のみではすべての季節にわたる濃度変動は説明することができないことがわかる。従って濃度の季節変動の理由として、大気安定度の変化や大気の部分的な強安定層である気温逆転層の出現状況の変化を考えると十分有力であると思われる。

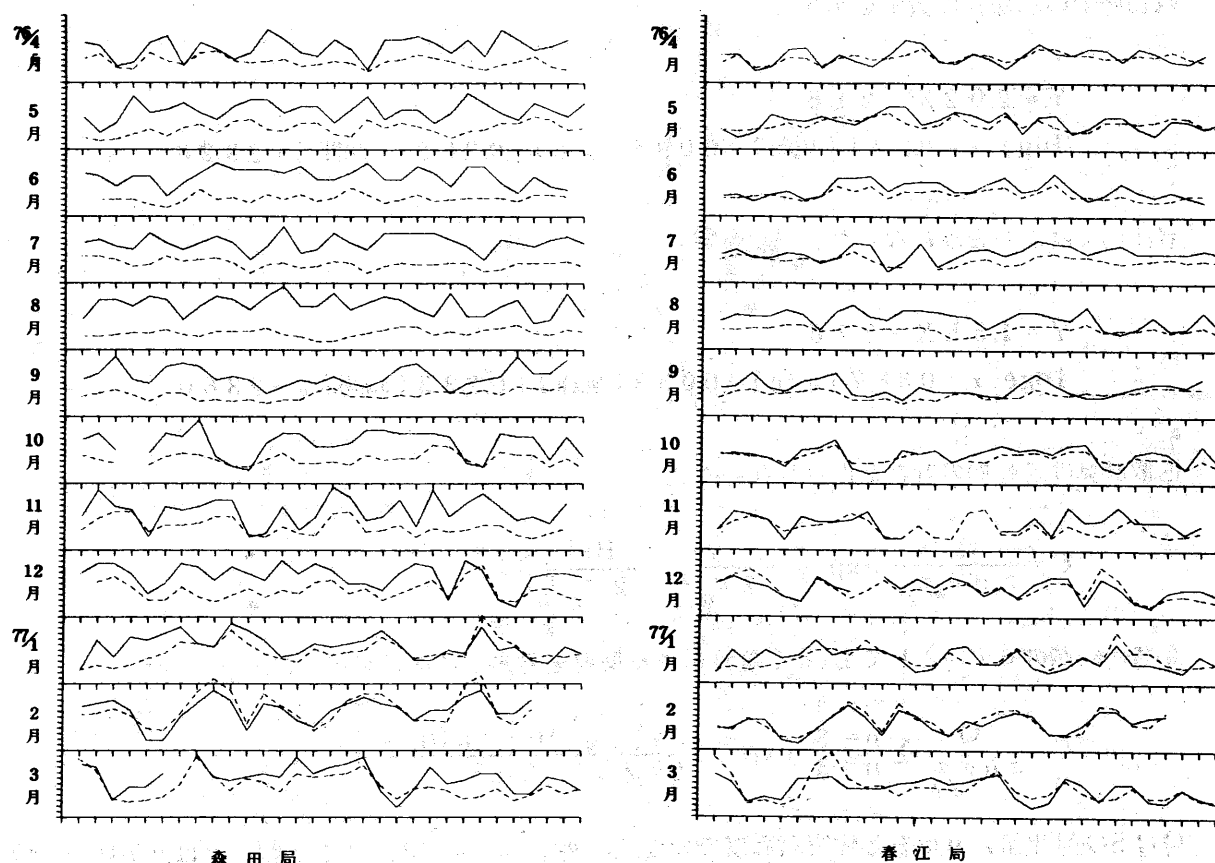


図3 日平均値の推移 (—回帰推定値 ---実測値, フルスケール 40PPB)

2 拡散計算結果

逆転層のモデルとしてのLid(蓋)を設けない拡散式では、どのように大気安定度を変えても計算値は実測値に比べてたいへん低かった。Lidを低い高度に設定するに従って計算値は実測値に近づく。Lidの高度50m, 大気安定度Dで、実測値との平均的な差はバックグラウンド濃度と考えられる10PPB程度まで縮まった。図4.5.6に日平均値及び1時間値における計算値と実測値の比較を示した。Lidは固定的なものであり、時間的に変化する逆転層のモデルとしては不正確であるが、結果は少なくとも逆転層の影響を示すものと考えられる。

月平均値計算値(Lid 50m, 大気安定度D)への各煙源の寄与を図7に示した。森田局に対して、計算に入力したビル煙源や銭湯などの小煙源の寄与は0.0~0.1 PPBであり、工場煙源の寄与に比べるとたいへん小さい。これらの値は計算条件により変化するので、一応の目安でしかないが、もし森田局に対する小煙源の寄与がすべてこの程度ならば、計算に入力していない小煙源の寄与を含めても、これら小煙源全体の寄与は森田局に対して1PPB程度であろうと考えられる。

春江局に対しては、同局の南部、福井市街地との間にある発生源の寄与が大きくなっているほかは、各煙源とも森田局に対してよりも寄与が小さくなっている。

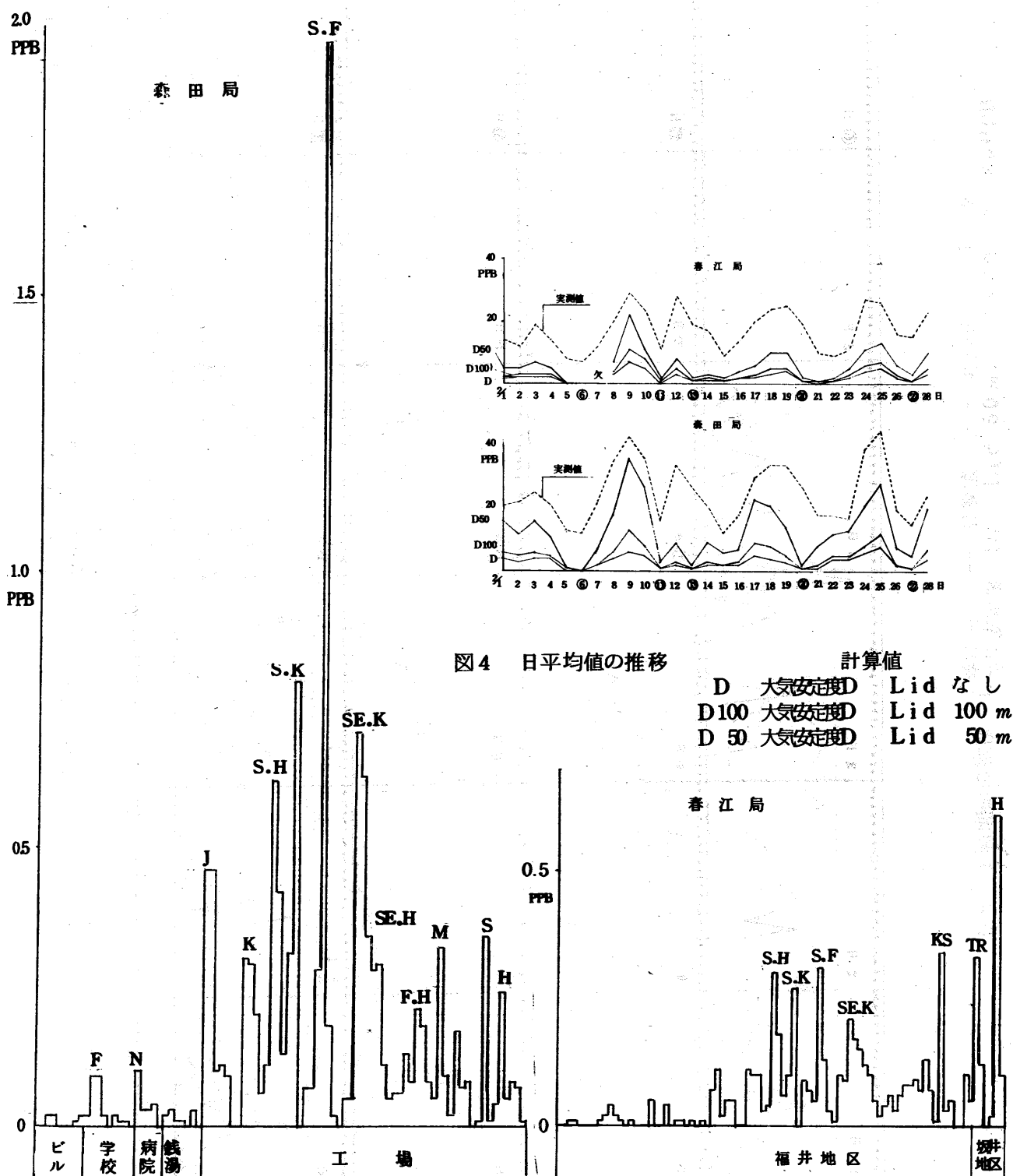


図7 月平均値(計算値)への各煙源の寄与(Lidを50mに設定)

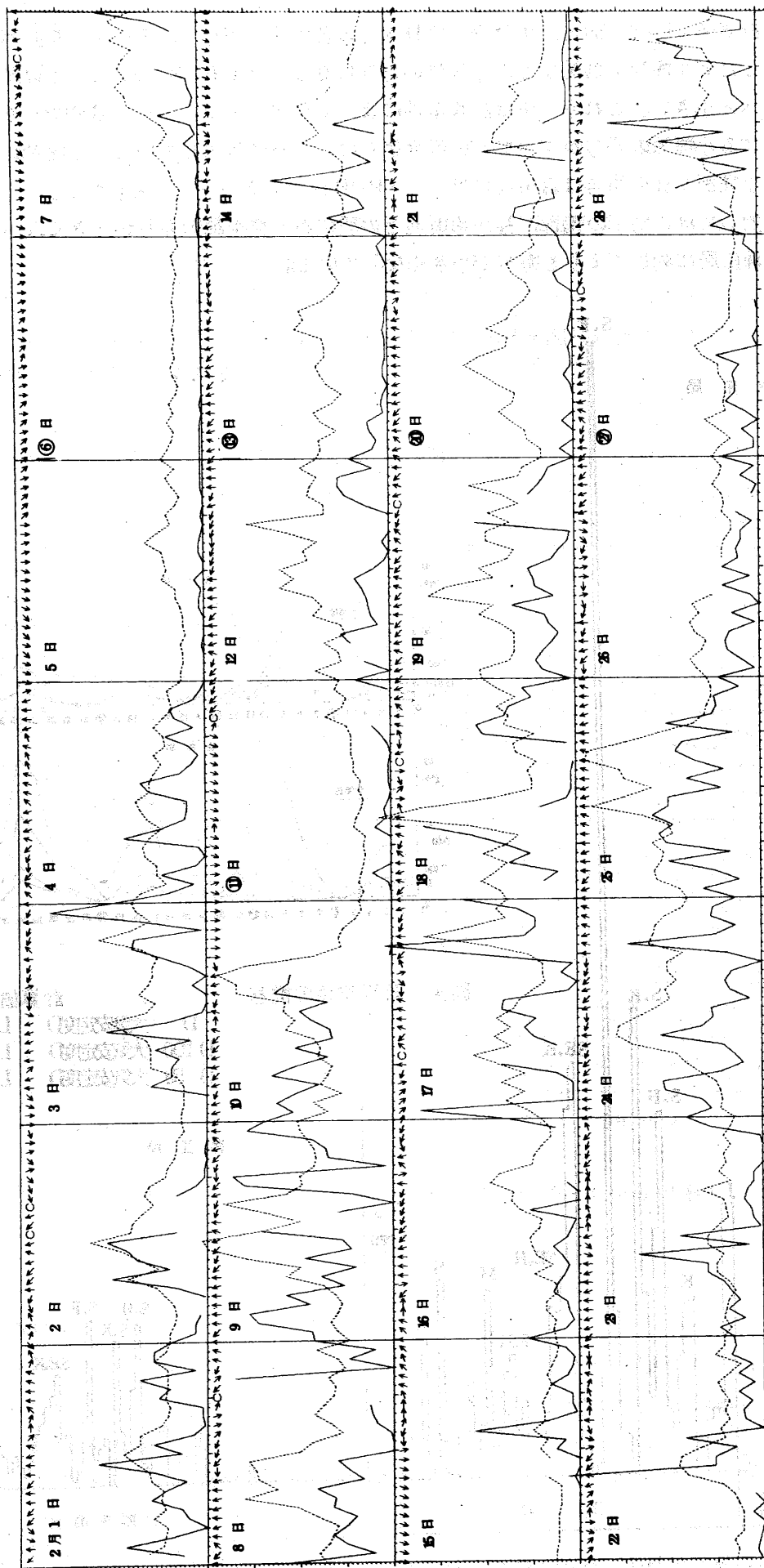


図5 1時間値の推移 (森田局 大気安定度 D, Lid 50 m, フルスケール 80PPB) 計算値 実測値 風向

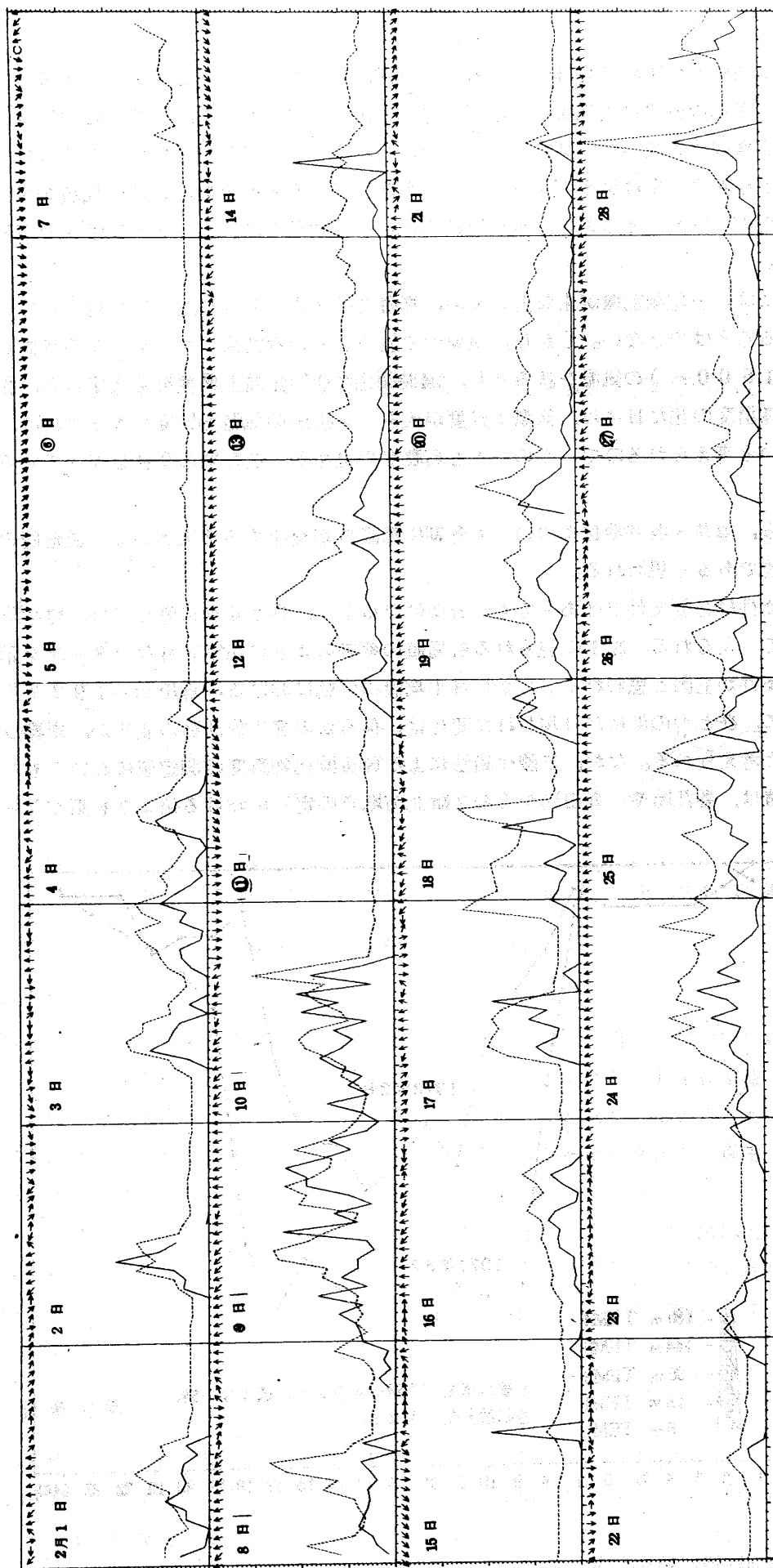


図6 1時間値の推移 (春江局 一 計算値 実測値 風向
大気安定度 D, Lid 50 m, フルスケール 80PPB)

3 考 察

もし冬期に気温逆転層が実際に発達していることが確認されるならば、拡散計算の結果から考えて、福井・坂井地区の冬期の高濃度出現を、逆転層の発達と関連づけることが、可能と思われる。

九頭竜川河口近傍の火力発電所の高煙突にとりつけられた上層気温測定機のデータによれば、2月と8月の時刻別逆転層発生率は図8のようになり、冬期は昼間でも約半数の日に逆転層が発生している。これは臨海部のデータであるので、放射冷却の著しい内陸部では、より大きな頻度で逆転層の発生が予想される。

1976年度には、上記測定機が未設置のため、高濃度の出現した日に逆転層が発生していたかどうか直接確認することはできない。しかし、気象庁で放送している気象ファクシミリの受画から850mb面（高度約1,500m）の気温を読みとり、24時間当たりの気温上昇度を算出すると、図9に見られるように、高濃度の出た日には、気温上昇度が大きい。上層の気温上昇度が大きければ、下層に逆転層ができ易いと考えられるので、このことも高濃度の発生が、逆転層の発達を伴っていることを示唆する。

以上のことから、福井・坂井地区についても冬期に高濃度が発生する要因として、逆転層の発達を挙げることが可能であると思われる。

しかし、気象条件は必要条件ではあっても十分条件ではなく、濃度変動に際しては、発生源活動の変化も要因として考えられる。図1に見られる最高値の変動のように毎年同様なパターンを示すものについては気象条件が主因と思われる。しかし月平均値の変動における、森田局の1977年2月頃の高濃度のように、ひとつの年にだけ現われた変化は、何らかの発生源活動の変化が、影響している可能性も大きいと考えられる。なお、二酸化鉛法による硫黄酸化物濃度の測定値においてもこのとき、森田局における値は、春江局や、森田局から約2km北方地点の定正における値よりも高くなっている。（図10）。

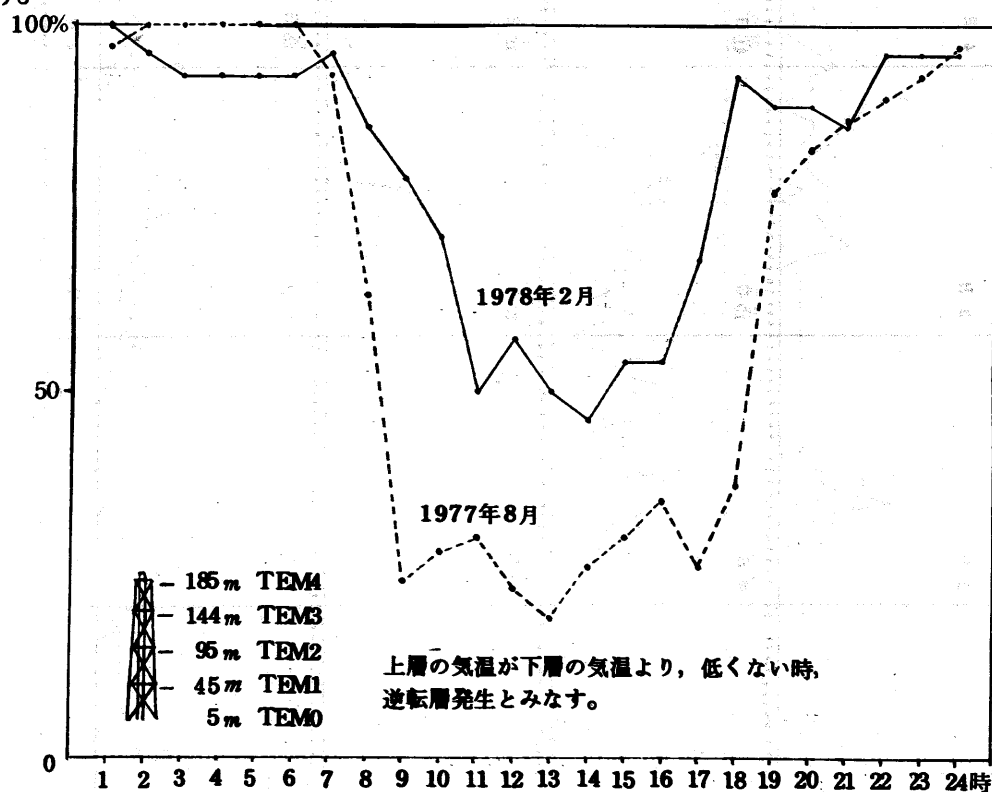


図8. 時刻別逆転層発生率

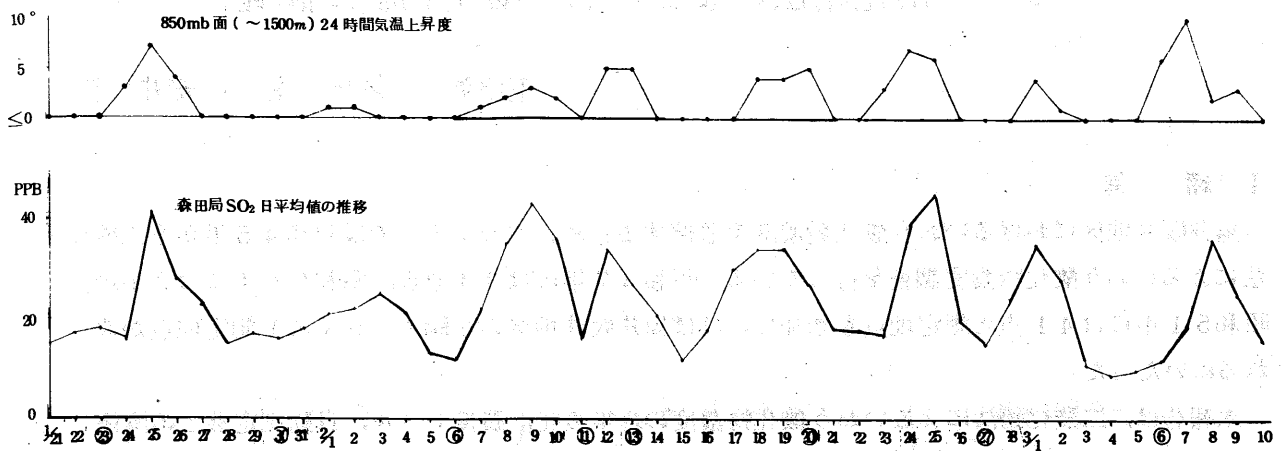


図-9 日平均濃度の変動と上層気温の変動(1976年度)

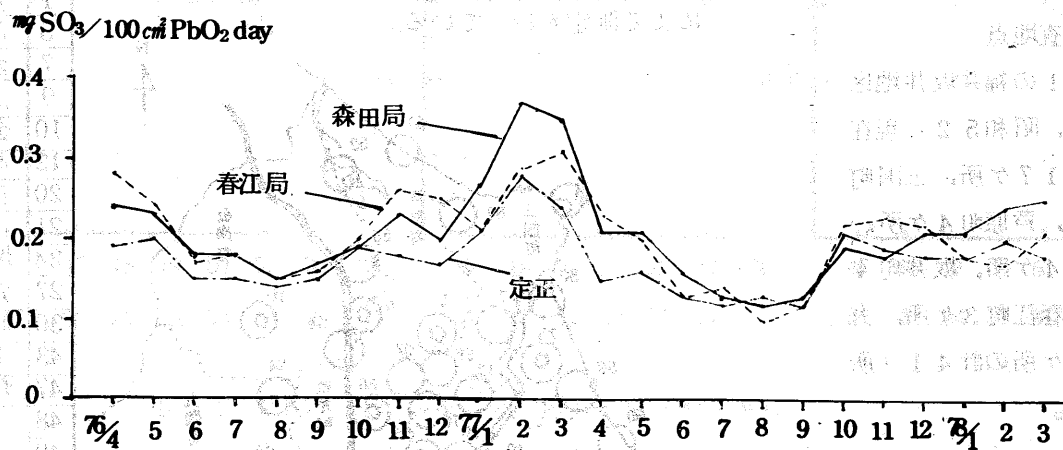


図-10 二酸化鉛法による測定値の経月変化

Ⅳ 結 語

1977年2月についての発生源アンケート結果をもとに、森田、春江局について経時変化の拡散計算シミュレーションを行なった。その結果、気温逆転層のモデルとしてLid(蓋)による反射を考慮することにより、実測値とある程度の対応がとれることがわかった。このことと気象データの検討から、従来、冬期の高濃度要因のひとつと言われている気温逆転層の発達、森田、春江局をはじめとする福井・坂井地区の観測局に対しても適用しうるものと考えられる。

月最高値の季節変動は毎年大体同様なパターンを示している、その主因は上記のような気象条件によるものと考えられる。しかし森田局において見られる1977年2月頃の月平均値の高濃度は他の年に例がなく、その原因としては気象条件のほかには何らかの発生源活動の変化が重なった可能性もあるものと思われる。

参考文献

- 1) 大喜多敏一: "大気汚染", P156~163, (1966), (総合化学出版)
- 2) 大気汚染全国協議会編, "大気汚染ハンドブック気象編" P323~328, (1965), (コロナ社)
- 3) 横山長之他: "環境アセスメント手法入門", P59, (1975), (オーム社)