

5. 福井・坂井地区の窒素酸化物の分布および濃度変動に関する要因の検討(第7報)

—— 高濃度日出現の要因と状況 ——

山田克則, 宮永信幸

I 緒言

福井・坂井地区における窒素酸化物による大気汚染の地域特性を明らかにするために、前報まで汚染の特徴(第1報)¹⁾、高濃度事例(第2報)²⁾、長期的濃度と逆転層との関係(第3報)³⁾、経年変動と経月変動(第4報)⁴⁾、濃度分布(第5報)⁵⁾、NOからNO₂への転換度(第6報)⁶⁾について解析を進めてきた。

本報では、大気汚染監視テレメータシステムによる過去10年間の環境濃度監視結果から、当該地区の窒素酸化物濃度が最も高くなった日について、その出現要因と出現状況について検討した結果を報告する。

II 環境濃度の経年変化

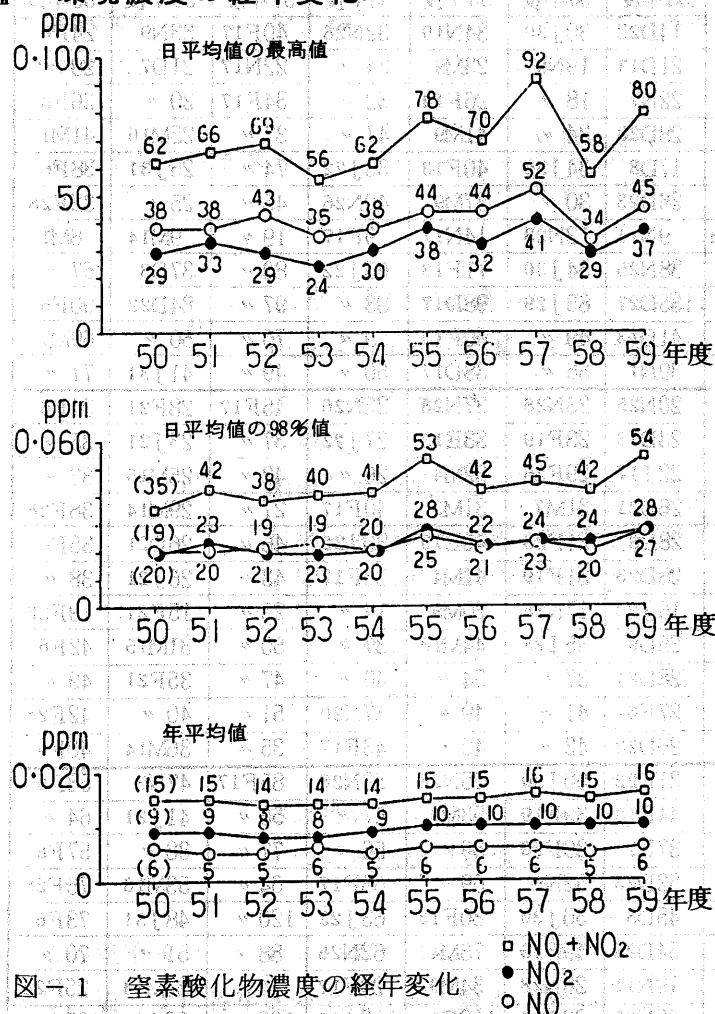


図-1 窒素酸化物濃度の経年変化

福井・坂井地区11局単純平均値。ただし福井地区の測定開始が昭和50年12月からのため50年度の年平均値、日平均値の98%値は坂井地区の値から推定した。
サルツマン係数 0.84, 酸化率70%。

図-1に年平均値、日平均値の98%値、日平均値の最高値について、昭和50年度から59年度までの経年変化を図示した。

年平均値は過去10年間横ばいであった。

日平均値の98%値は、55年度と59年度にやや高い値を示した。

日平均値の最高値は57年度に最も高い値を示した。

窒素酸化物については環境基準が二酸化窒素の日平均値について「0.04ppmから0.06ppmまでのゾーン内又はそれ以下であること」と定められている。

当該地区においては環境基準が告示された53年7月11日以降59年度末に至るまで、日平均値が0.06ppmを超えたことは一度もなかった。また日平均値が0.04ppmから0.06ppmまでのゾーン内の値になった回数は表-1のとおりであり、55年度、57年度、59年度に多かつた。

表-1 NO₂ 環境基準との比較

日平均値 が0.04 ppm以上 0.06ppm 以下の日 数	S53年度	なし
	S54年度	(1月)福井1, センター1
	S55年度	(1月)麻生津2 (2月)春江1, 森田1, 麻生津1, 福井1 (3月)坂井1, 森田4, 麻生津6, 福井3, センター3
	S56年度	(2月)丸岡1, 麻生津1, センター1
	S57年度	(1月)森田1, 麻生津1 (2月)三国1, 金津1, 春江1, 坂井1, 森田1, 麻生津1, 福井1
	S58年度	(2月)福井1
	S59年度	(1月)森田1, 麻生津4 (2月)森田2, 麻生津5, 福井4, センター1 (3月)麻生津1
日平均値 が0.06 ppmを超 えた日数	S53~ S59年度	なし

表-2 に過去10年間の日平均値の最高値と、その出現月日を示した。

57年度には、日平均値の最高値が、ほとんどの局で2月17日に出現した。同年度の日平均値の最高値(地区平均値)が過去10年間で最も高かったことを考慮すると、当日は過去10年間で窒素酸化物濃度が最も高くなった日であると言える。

表-2 日平均値の最高値と出現月日(日平均値(ppb), 月, 日)

(J:1月, F:2月, M:3月, JE:6月, O:10月, N:11月, D:12月)

項目	局名/年度	50年度	51年度	52年度	53年度	54年度	55年度	56年度	57年度	58年度	59年度
NO	三 国	15D2	17F4	38N26	14D22	30J30	34N19	32N26	40F17	33N9	24F6
	芦 原	17O18	18F25	27F10	21D13	19N9	23M9	34 "	22N17	21D7	29 "
	金 津	18 "	20F3	22D15	22N7	18 "	26F14	32 "	34F17	20 "	26F8
	丸 岡	26N14	24F25	32N26	28D23	34 "	41M9	47 "	37 "	25M16	41M1
	春 江	22J29	26J10	37 "	17D8	34J30	40F13	33J22	74 "	25J31	38F6
	坂 井	23F5	27M18	27N16	26D23	30 "	37M9	40N26	45 "	25 "	32F28
	鶉	6N6	11F3	10JE24	9N11	12N28	14N17	9F17	19 "	9M14	8M1
	森 田	40J29	62M18	60F10	38N25	54J30	71F13	65J22	80 "	37D8	67 "
	麻生津	60F16	92 "	94 "	135D27	85J29	98D17	83 "	97 "	84D22	90F6
	福 井	117J29	65J10	81 "	41D13	49 "	60F13	59 "	75 "	50 "	69M1
NO ₂	センター	71F16	56M18	49N26	39N7	56 "	38D17	50 "	49 "	41J31	71 "
	三 国	22J29	28F12	28N26	20N25	23N28	37N28	22N26	45F17	28F21	34F6
	芦 原	21D3	30F28	25F10	23D13	23F19	33E13	27J22	37 "	23J21	35 "
	金 津	21J31	26M18	25D15	22J17	29F26	32M4	26 "	42 "	25M15	32 "
	丸 岡	24F5	26M17	30F9	26D21	31M7	31M3	40F17	27 "	29M14	38F28
	春 江	35J29	34J10	25F10	28D8	21F23	40E13	30J22	46 "	26D21	35F6
	坂 井	22F5	33M30	26F9	28D23	31F19	41M4	36F17	43 "	26J21	38 "
	鶉	10 "	12D25	15 "	15J29	17N28	20M9	14 "	25 "	15F21	19F28
	森 田	37J29	43M1	34 "	25D9	35J28	44M13	37 "	50 "	31M15	42F6
	麻生津	34J17	58 "	40 "	28D21	37 "	54 "	40 "	47 "	35F21	49 "
NO + NO ₂	福 井	34F5	40 "	38 "	27F6	41 "	49 "	37N20	51 "	40 "	42F28
	センター	61F16	36M18	33 "	26D23	42 "	42 "	43F17	35 "	36M14	40F6
	三 国	31J29	38F12	66N26	31D22	50J30	65N28	53N26	85F17	47N9	58F6
	芦 原	37O18	45F27	52F10	44D13	39F19	53M9	57 "	56 "	41J21	64 "
	金 津	34 "	42M18	47D15	37N7	39F26	56 "	56 "	77 "	38 "	57F8
	丸 岡	46N14	41D25	54N26	52D23	52N9	69 "	68F17	64 "	53M16	76F28
	春 江	57J29	59J10	56 "	45D8	50J30	80F13	63J22	120 "	48J31	73F6
	坂 井	45F5	49M30	48N16	54D23	49F19	73M4	62N26	88 "	51 "	70 "
	鶉	17N6	22D3	21F10	19N11	28N28	34M9	22F17	44 "	22M14	25F28
	森 田	77J29	97M18	94 "	59N25	83J28	112F13	102J22	130 "	62J21	107F6
	麻生津	92J17	140F25	127 "	152D27	116 "	136D17	120 "	144 "	116D22	139 "
	福 井	118J29	100J10	115 "	67D13	89 "	103F13	86 "	125 "	84 "	107M1
	センター	132F16	92M18	74 "	60D23	82 "	77M21	86 "	84 "	76J31	108 "

Ⅲ 高濃度日出現の要因

1. 汚染質排出量

高濃度をもたらす要因として、汚染質排出量の増大、および汚染質が拡散しにくい気象条件が挙げられる。しかし、当日は高濃度が全局的に発生しているので要因としては気象条件の寄与が大きいと考えられる。また図-2に示したように、移動発生源からの汚染質排出量のめやすとなる交通量についても、当日は他の平日並みの交通量であった。

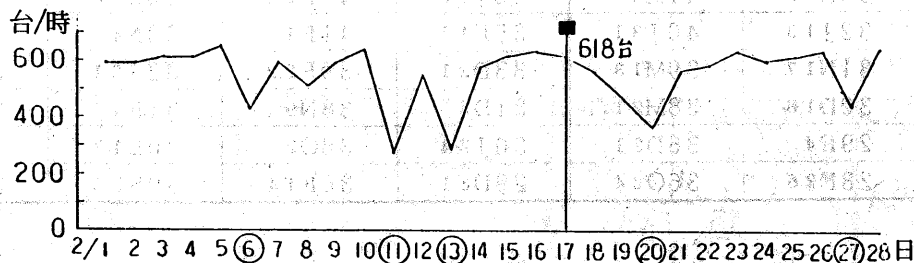


図-2 交通量の経日変化(自排福井局, 58年2月, ○印は休日)

2. 気象条件

汚染質の拡散状況に関与する気象要素として風向、風速、気温勾配等があるが、第4報における検討結果によれば、窒素酸化物が拡散しにくい気象条件の指標としては次の気象インデックスが有効である。

$$\text{気象インデックス} = \frac{1}{u} \cdot \frac{\exp(dT)}{1 + \exp(dT)}$$

$\frac{1}{u}$: 風速の逆数(風速が小さいほど拡散しにくい)

風速は汚染質排出量の多い8時~20時の平均をとり、また北風の当該地区に対する拡散効果は南風より大きいので、風向が北風成分をもつ場合は風速は2倍に数える。(単位 sec/m)

dT : 鉛直気温勾配(正で大きいほど大気安定となって上空への拡散が妨げられる)
特殊気象観測局高度 185 mでの気温と各観測局地上気温とから算出する。風速と同様、8時~20時の平均をとる。(単位 $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$)

$$\frac{\exp(dT)}{1 + \exp(dT)} : \begin{cases} dT > 0 \text{ (逆転) の時 } 1/2 \sim 1 \\ dT = 0 \text{ (等温) の時 } 1/2 \\ dT < 0 \text{ (てい減) の時 } 0 \sim 1/2 \end{cases}$$

当該地区の気象インデックスとして、気温と風向・風速を同時に測定している、7つの観測局で算出したインデックスの値を平均する。

この気象インデックスの値を気象データが揃っている、53年度から59年度までの各日について算出し、表-3に各年度の上位10個の値と、その出現月日を示した。この表から、58年2月17日は、気象インデックスの値が最も高いことが認められる。このことから当日窒素酸化物濃度が過去10年間で最も高くなったのは、窒素酸化物が拡散しにくい気象条件が要因であったと言える。

次節において、各気象要素別に当日の状況を述べる。

表-3 気象インデックス（気象インデックスの値×100，月，日）

（J：1月，F：2月，M：3月，S：9月，O：10月，N：11月，D：12月）

順位	53年度	54年度	55年度	56年度	57年度	58年度	59年度
1	51J29	43F19	49S10	43J22	72F17	50N21	63F8
2	39N12	42J28	45F13	42S30	42J28	41N19	54F6
3	38D13	42J2	45N17	38N26	42J27	34F26	46F2
4	37N26	37N16	43M9	36F11	42N10	34D21	43F5
5	35J6	33N28	41M4	36J10	41F23	33D18	39J19
6	35D17	32J13	40J31	35F17	41F1	33N4	37J1
7	35N11	31N17	39M13	33D21	39F22	32J21	36F28
8	34J16	30D18	38M21	31D3	38N9	31F1	36J8
9	34D26	29F4	36D21	30J24	38O2	30D17	36D27
10	34D21	28F26	36O24	29D31	36F14	30S25	35F4

Ⅳ 高濃度日の気象

1. 天 候

57年度の冬は2月上旬まで、強い寒波が到来しなかった。また2月下旬以降も同様であった。強い寒波は2月7日～14日と18日～21日にかけて2回到来し、14日と20日に最深積雪47cm（福井）を記録した。2月中旬の降水量は128mmで34年ぶりの多さであり、また日照時間は14.6時間で36年ぶりの寡照であった。寒波にはさまれた15日から17日までの天候は、15日はくもり時々雨、16日は晴れ一時くもり、17日はくもりのち雨であった。図-3に日最深積雪の経日変化を、図-4に全天日射量の経日変化を示した。

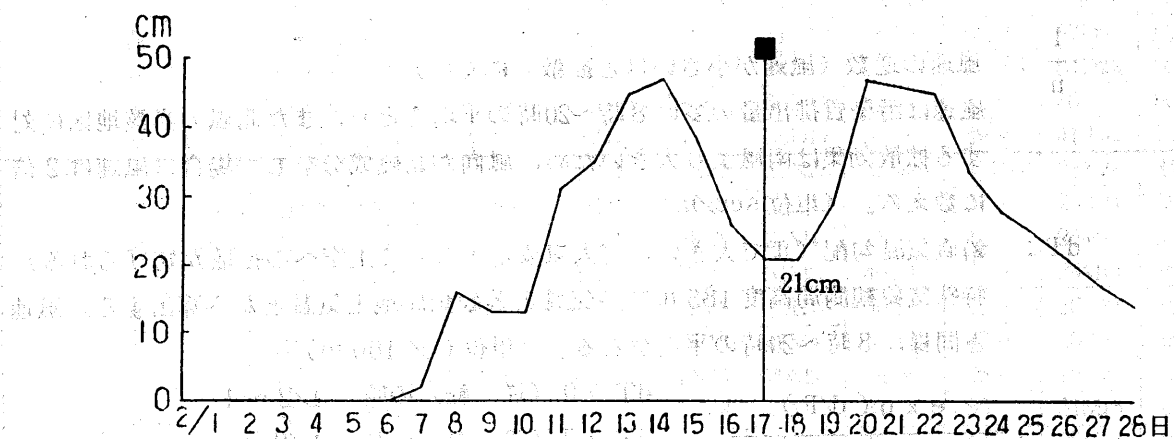


図-3 日最深積雪の経日変化（福井地方気象台）

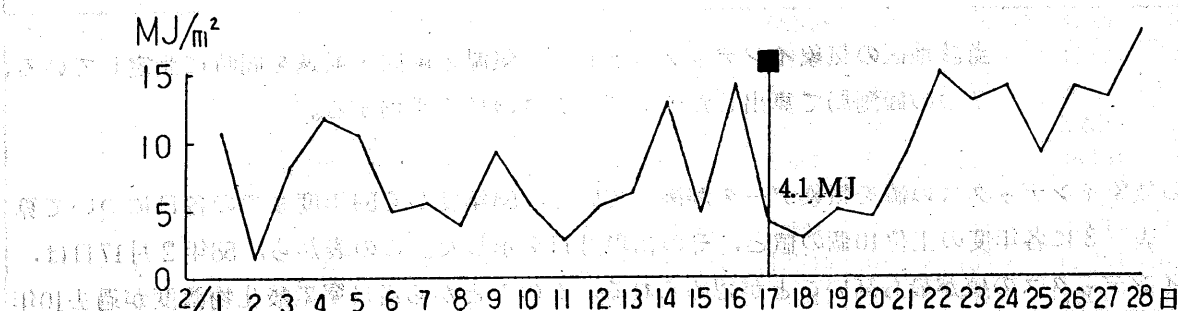


図-4 全天日射量の経日変化（福井地方気象台）

2. 気圧配置 (図-5)

15日：日本海低気圧型で日本海上を低気圧が東進した。このため日本海側では曇雨天となり、また太平洋側では低気圧に吹き込む南風が春一番となった。

16日：北高型で大陸から高気圧が張り出した。しかし気圧傾度がゆるく、北西季節風の吹き出しも弱く、降雪もなかった。

17日：南岸低気圧型で、南海上の低気圧が発達しながら北東へ進んだ。三陸沖で南下した冷気流が関東地方に吹き込み、大雪をもたらした。福井県地方は南岸の低気圧と朝鮮半島北部の低気圧の中間に位置し、気圧の鞍部となり、気圧傾度はひき続きゆるやかであった。

18日：日本海低気圧型で日本海上を低気圧が東進した。東進後は強い冬型気圧配置となった。

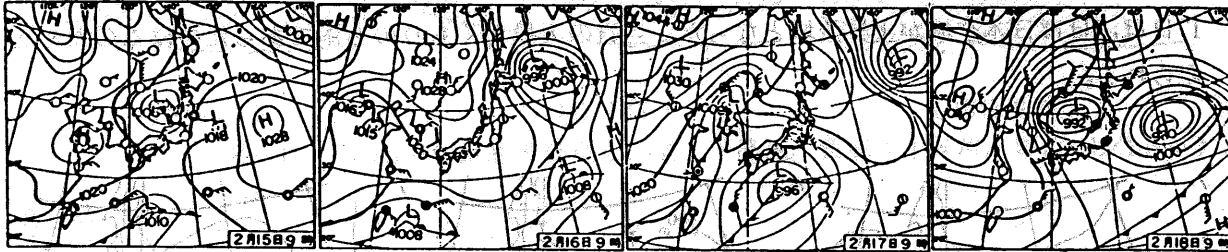


図-6 気圧配置図(58年2月15日, 16日, 17日, 18日, 9時)

3. 風速

17日は2月で最も弱風であった(図-7)。これは気圧傾度がゆるやかであったためと、日射が少なく、熱対流による大気の変動が少なかったためと考えられる。図-8に風速の当日の経時変化と、年平均の経時変化を示した。年平均では昼間に最大値を示すが、当日は昼間に最小値を示した。

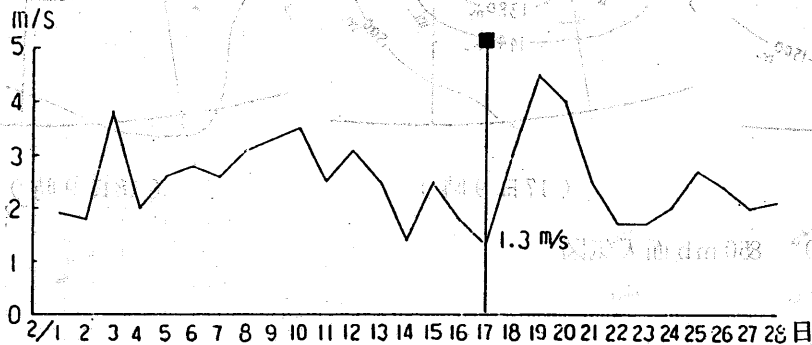


図-7 日平均風速の経日変化 (福井地方気象台)

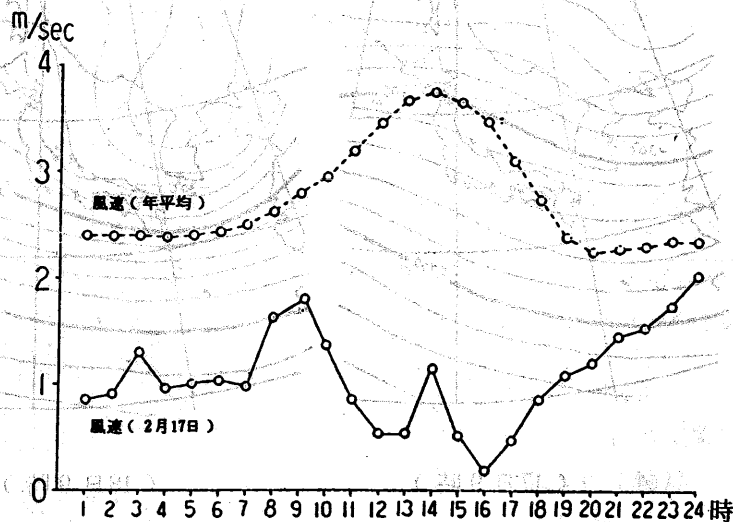


図-8 風速の経時変化 (福井・坂井地区19局平均)

4. 高層気象

(1) 850 mb 面 (図-9)

16日, 17日は850 mb面等高線の間隔が広く, 気圧傾度がゆるやかであった。17日は輪島上空の風速が弱く, また, 0°C の等温線が福井県地方まで北上した。

(2) 500 mb 面 (図-10)

17日は500 mb面等高線の間隔が広く, 気圧傾度がゆるやかであった。また -30°C の等温線も北上した。

(3) 700 mb 面鉛直流 (図-11)

700 mb面(高度約3000 m)鉛直流分布の上昇流域では雲が発生しやすく曇雨天になりやすい。17日は, はば日本全域が上昇流域となった。当日の天候がくもりのち雨であったのはこのためと考えられる。

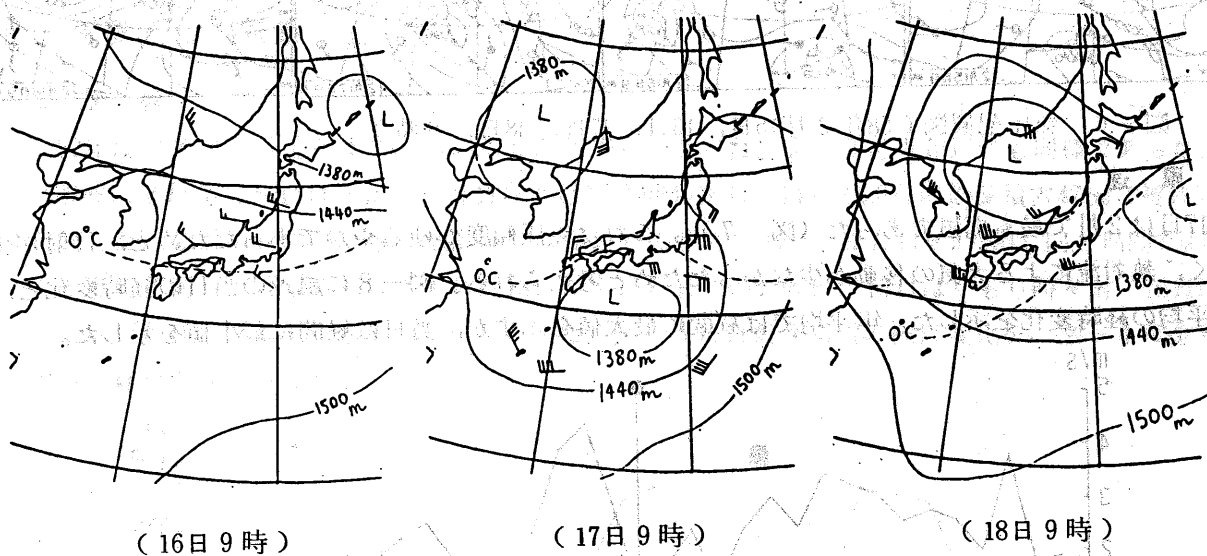


図-9 850 mb 面天気図

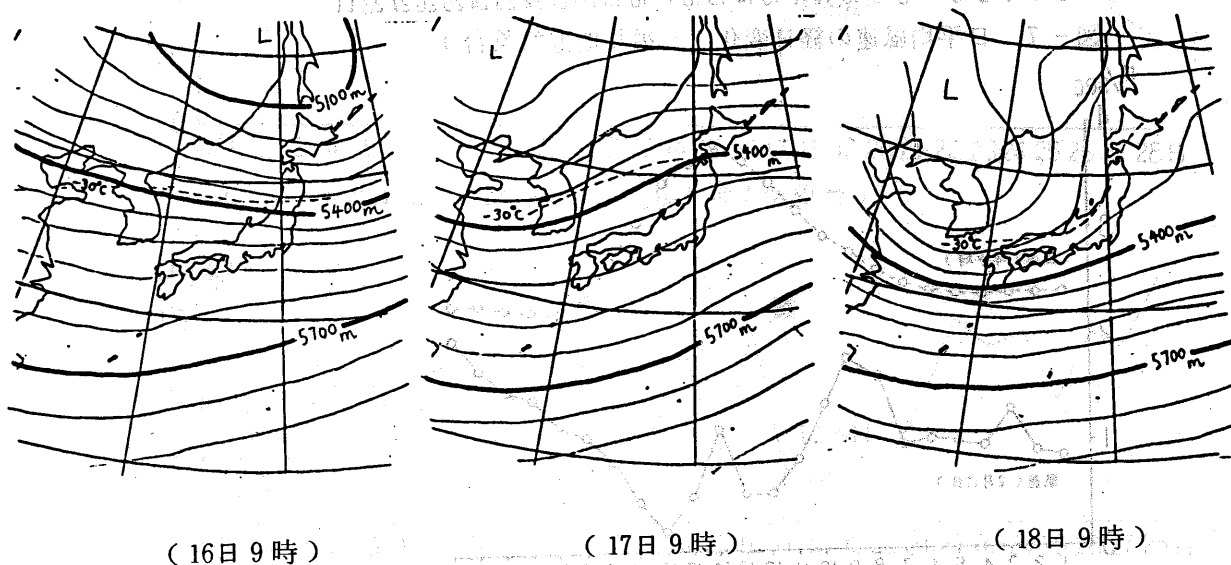


図-10 500mb 面天気図

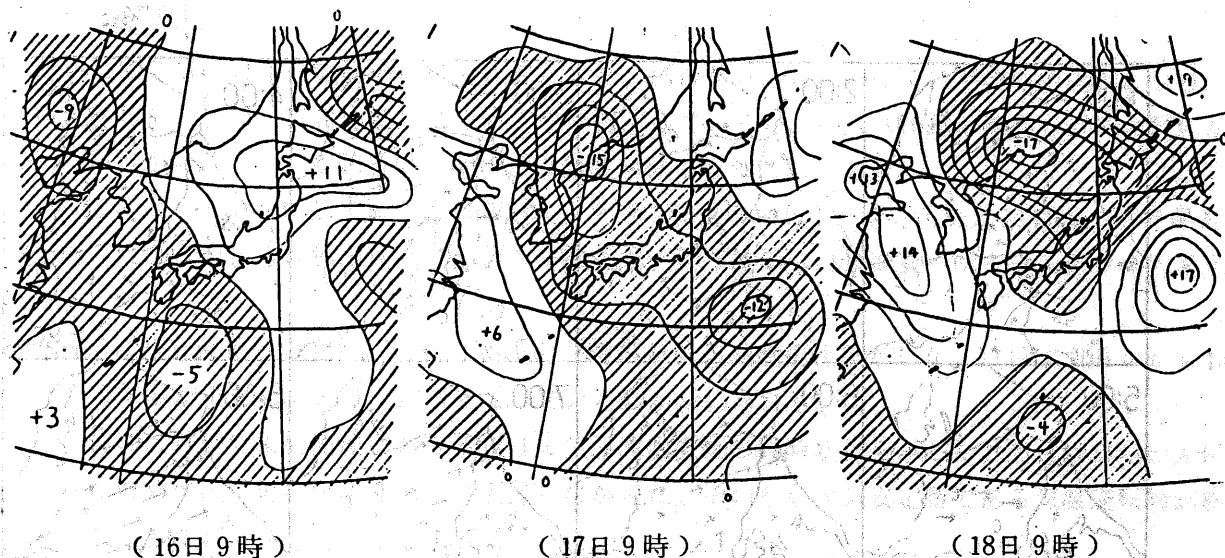


図-11 700 mb面鉛直流分布(正域:下降流, 負域:上昇流, 単位mb/hour)

5. 風 向

図-12に14日から18日までの坂井局における風ベクトルの合成図を示した。17日は弱い南東風が卓越したことが認められる。また図-13には17日の福井・坂井地区の風分布の1時間毎の経時変化を示した。16時には7割の観測局で「静穏」を記録した。当日, 弱い南東風が卓越したのは, 冬型の気圧配置でなかったため北西季節風が吹かなかったこと, 昼間の日射が少なかったため夜間の陸風が海風に交代しなかったこと, 低気圧が南側に位置したため東寄りの一般風が吹いたことが要因と考えられる。図-14に17日の高度別の風向の経時変化を示した。地上では南東風, 185 m~1000 mでは北東風, 2000 m以上では南西風(偏西風)が卓越した。

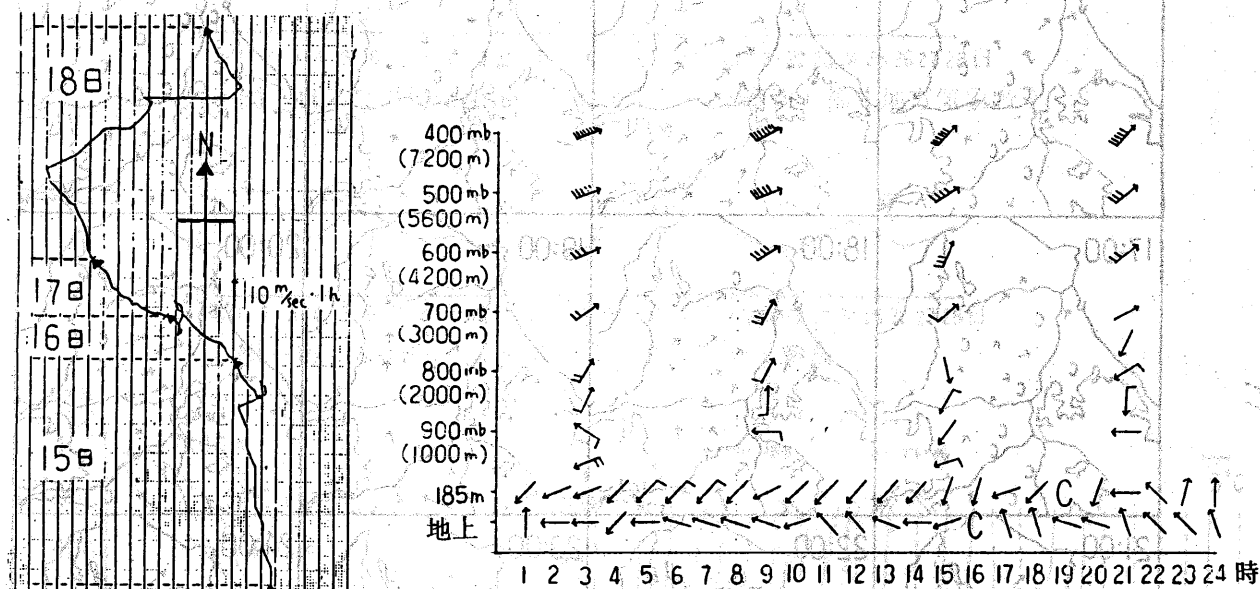


図-12 風ベクトル
合成図
(坂井局)

図-14 高度別風向の経時変化

地上: 三国局
185 m: 特殊気象局
> 185 m: 輪島
2月17日
C: 静穏 0.2 m/s 以下

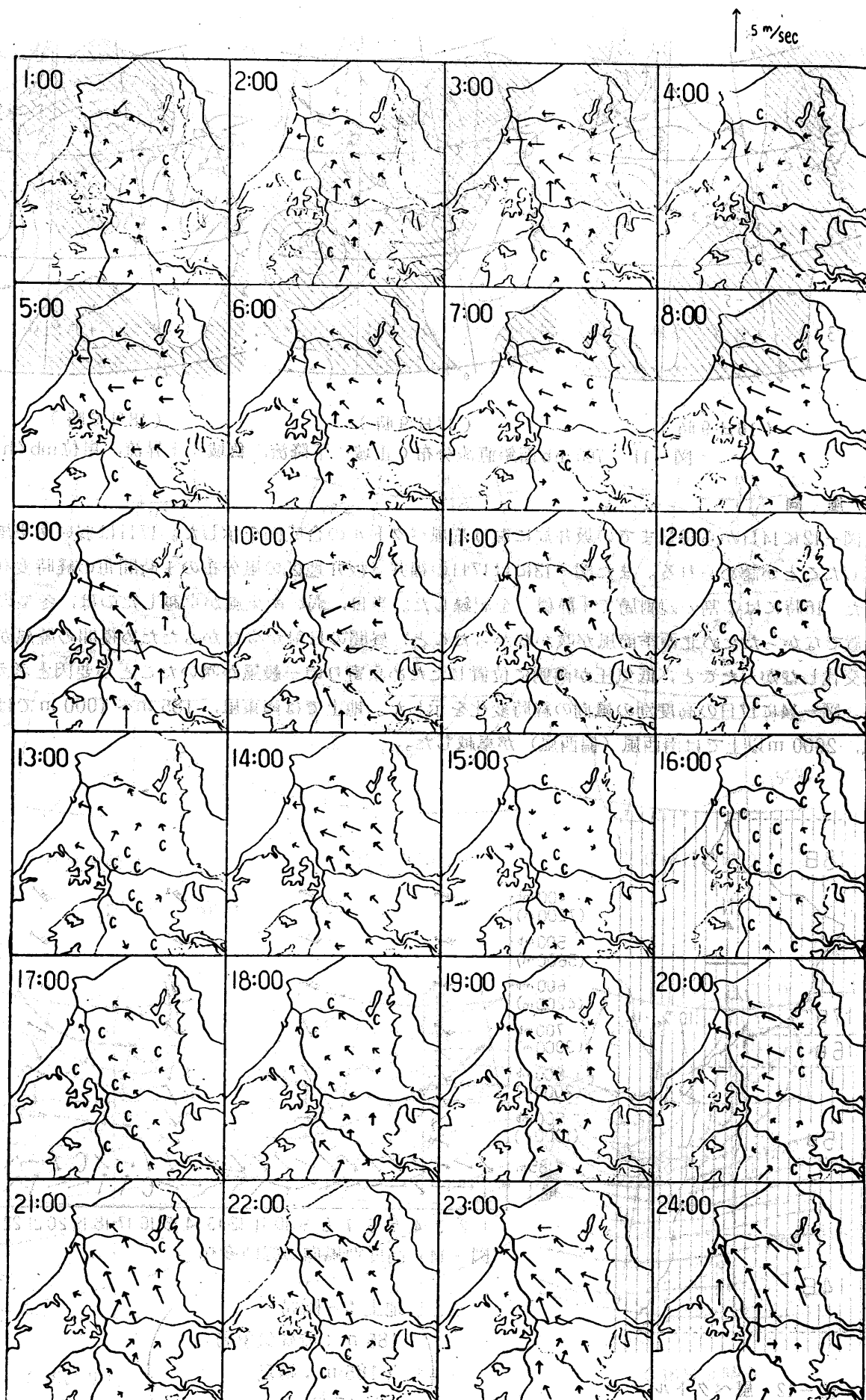


図-12 風分布の経時変化(58年2月17日)

6. 気 温

図-14に2月の日平均気温の経日変化を示した。15日から18日にかけては寒波の中休みとなり、気温が上昇した。16日、17日は15日に比べてやや低下しているが、これは16日の朝から17日の朝にかけて天候が良かったため、夜間放射冷却により気温が低下したためである。

図-15には、850 mb 面（高度約 1500 m）9時の気温の経日変化を示した。17日は2月で最も高温であった。これは南岸低気圧の前面で吹く南風が太平洋側から日本海側へ吹き込んだためと考えられる。

図-16に輪島における16日、17日、18日の9時の気温の高度変化を示した。17日は700 mから1400 m付近の気温が上昇して大気安定層となっているのが認められる。

図-17には特殊気象観測局における17日の気温高度変化の経時変化を示した。当日は日中の天候が悪かったため地表付近の気温があまり上昇しなかった。そのため大気安定層である気温逆転層が終日解消しなかった。

図-18に特殊気象観測局における、鉛直気温勾配日平均値の経日変化を示した。17日は正のピークを示しており、平均的な気温逆転強度が前後の日に比べて強かったことが認められる。

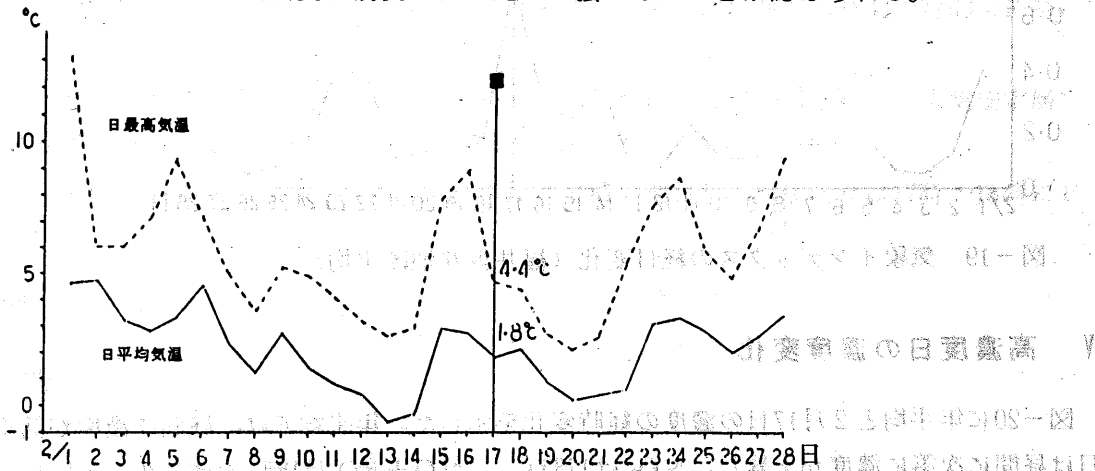


図-14 日平均気温、日最高気温の経日変化（福井地方気象台）

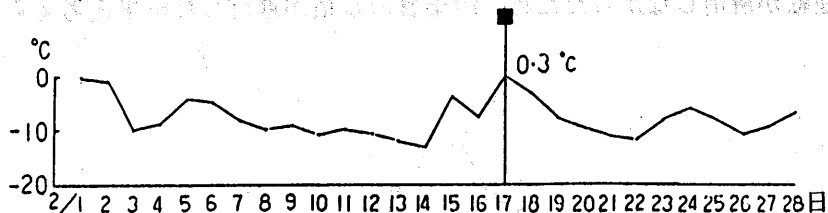


図-15 850 mb 面 9時の気温の経日変化（輪島）

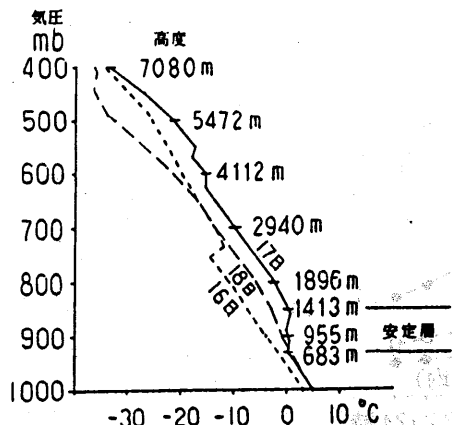


図-16 気温の高度変化（輪島、9時）

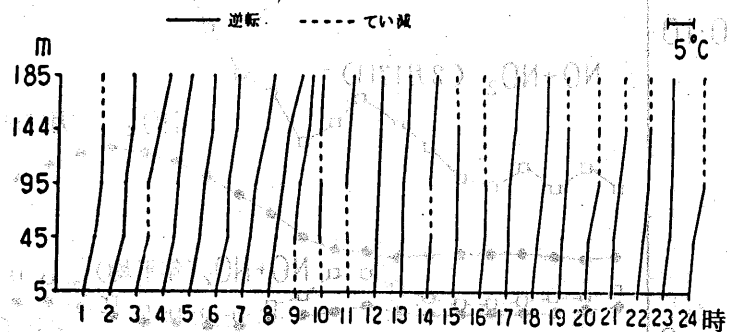


図-17 気温高度変化の経時変化（特殊気象観測局、17日）

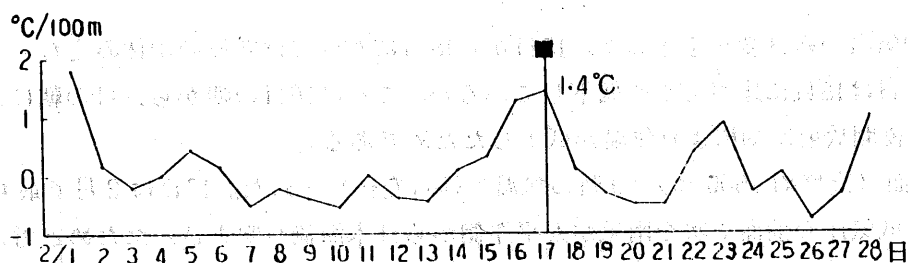


図-18 鉛直気温勾配日平均値の経日変化（特殊気象観測局 185 m～5 m）

5. 気象インデックス

図-19に気象インデックスの経日変化を示した。17日は気温勾配が正で大きかったことや、風速が弱かったことに対応して、気象インデックスの値は、鋭いピークを示した。

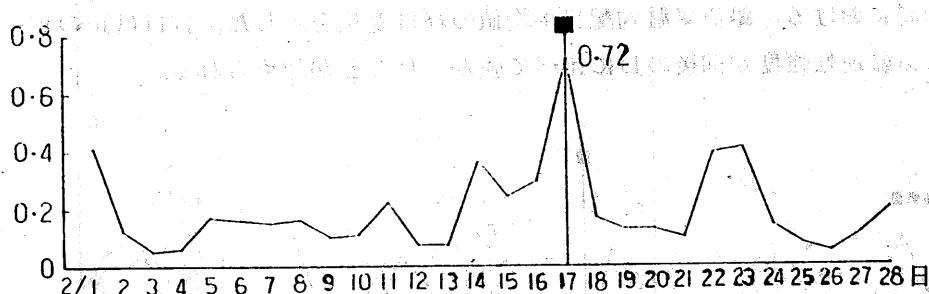


図-19 気象インデックスの経日変化（福井坂井地区平均）

V 高濃度日の濃度変化

図-20に年平均と2月17日の濃度の経時変化を示した。年平均では、昼間に濃度が低くなるが、当日は昼間に次第に濃度が上昇し、 NO_2 は17時に、 $\text{NO} + \text{NO}_2$ は18時にピークを示した。これは、昼間の風速が弱く、気温逆転が解消しなかったため、汚染質の蓄積が進行した結果と考えられる。

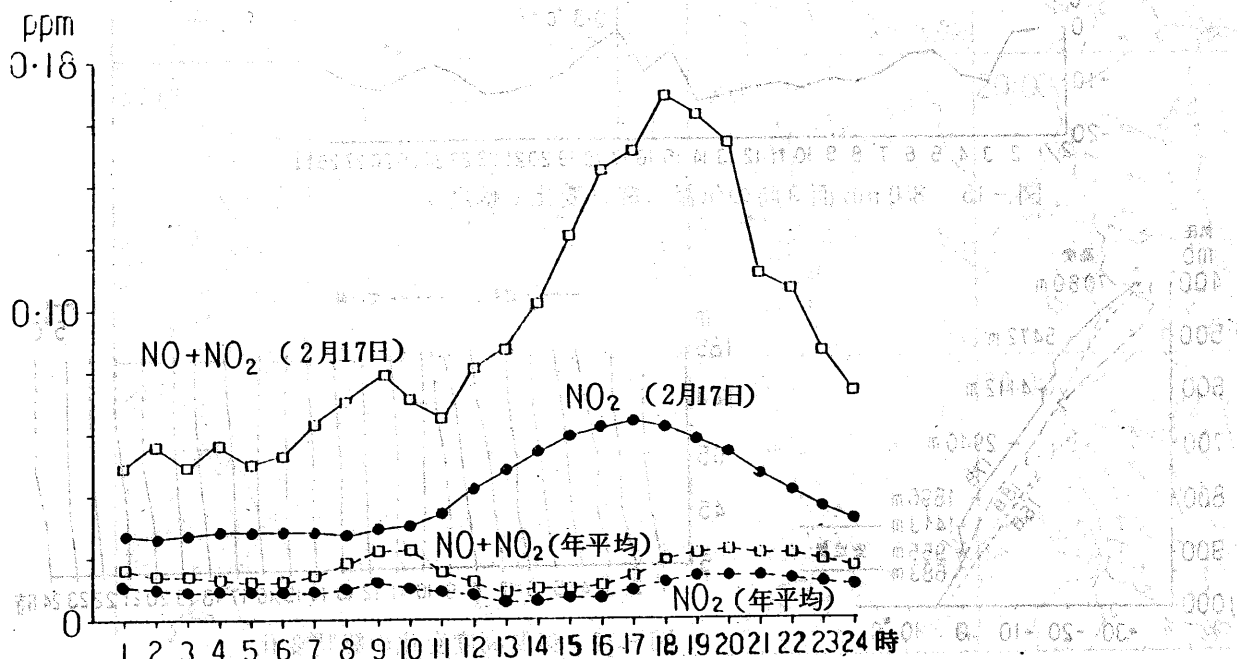


図-20 窒素酸化物濃度の経時変化（福井坂井地区11局平均）

図-21と図-22に、年平均と2月17日の濃度分布の1時間毎の経時変化を示した。

年平均では9時に福井市近傍で $\text{NO} + \text{NO}_2$ 濃度が0.040 ppmを超え、また19時から23時まで再び福井市近傍で0.040 ppmを超える。最高値は20時、大宮局の0.044 ppmであった。

2月17日は9時には福井市近傍ですでに0.100 ppmを超え、14時には0.200 ppmを超え、18時には0.300 ppmを超えた。最高値は18時麻生津局の0.306 ppmであった。当日は弱い南東風が卓越したため、高濃度域が南から北の方へ、次第に拡がっていく様子が認められる。

Ⅶ 結 語

高濃度日出現の要因と状況について大気汚染監視テレメータシステムによる過去10年間の環境濃度監視結果をもとに考察した。その結果、以下のことが確認された。

1. 過去10年間で濃度が最も高くなった日は、58年2月17日である。
2. 窒素酸化物が拡散しにくい気象条件の指標である気象インデックスの値が、当日過去7年間の最高値を示した。従って高濃度の主要因は窒素酸化物が拡散しにくい気象条件である。
3. 当日は気圧傾度がゆるく、日射が少なかったため、弱い南東風が卓越し、昼間の時間帯に特に風速が小さかった。
4. 前日天候が良く、当日昼間は天候が悪かったため、放射冷却による気温逆転層（大気安定層）が終日解消せず、また上空（700 m～1400 m）にも安定層が存在した。
5. 以上の気象条件を反映して、当日は昼間に汚染質の蓄積が進行し、濃度変化は17時～18時にピークを示した。

参 考 文 献

- 1) 山田克則他：本報，8，117（1978）
- 2) 同 上 ， 9，97（1979）
- 3) 同 上 ， 10，138（1980）
- 4) 同 上 ， 11，134（1981）
- 5) 同 上 ， 12，144（1982）
- 6) 同 上 ， 13，113（1983）

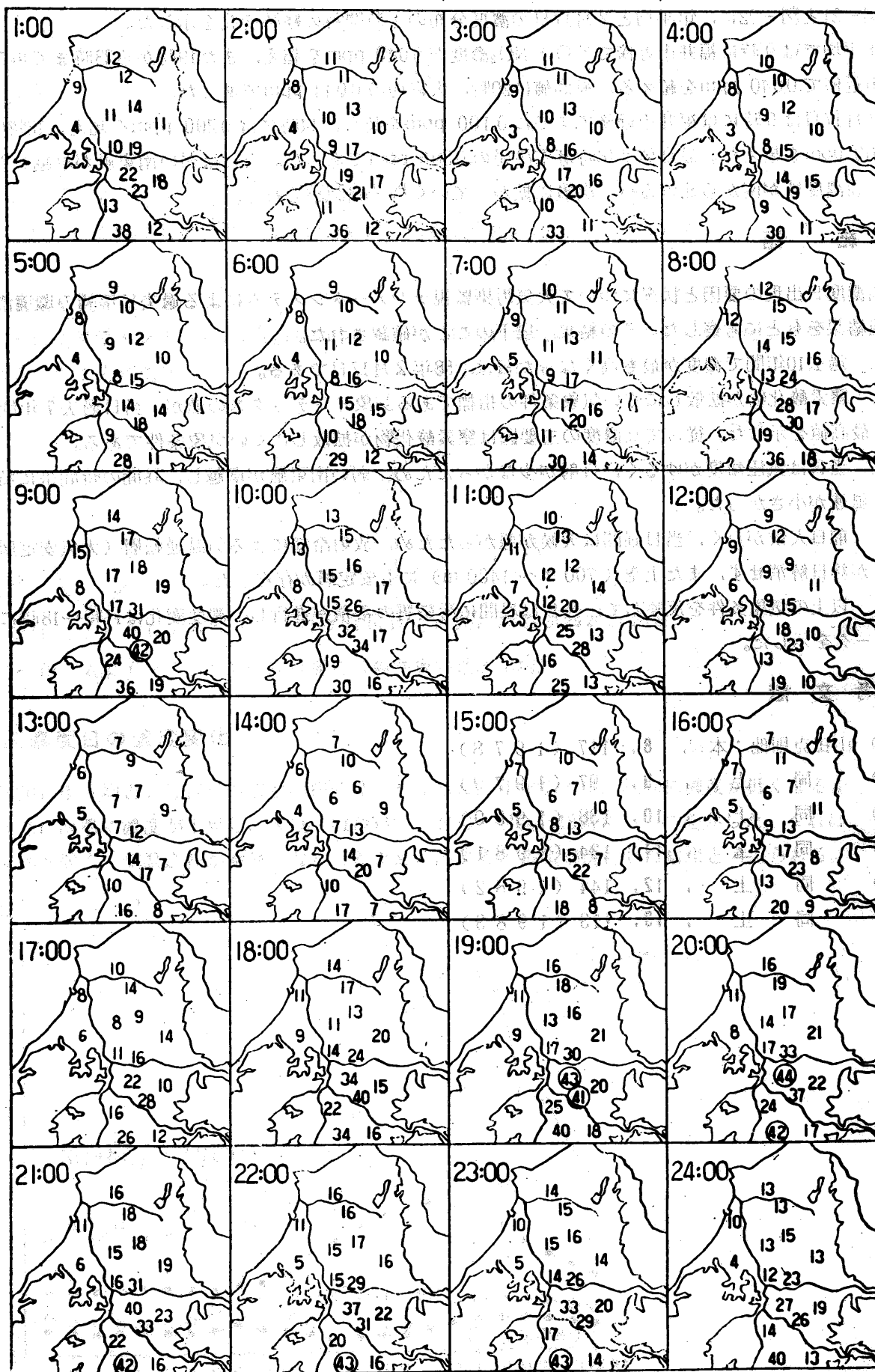


図-21 濃度分布の経時変化 (NO+NO₂ ppb 57年度年平均)

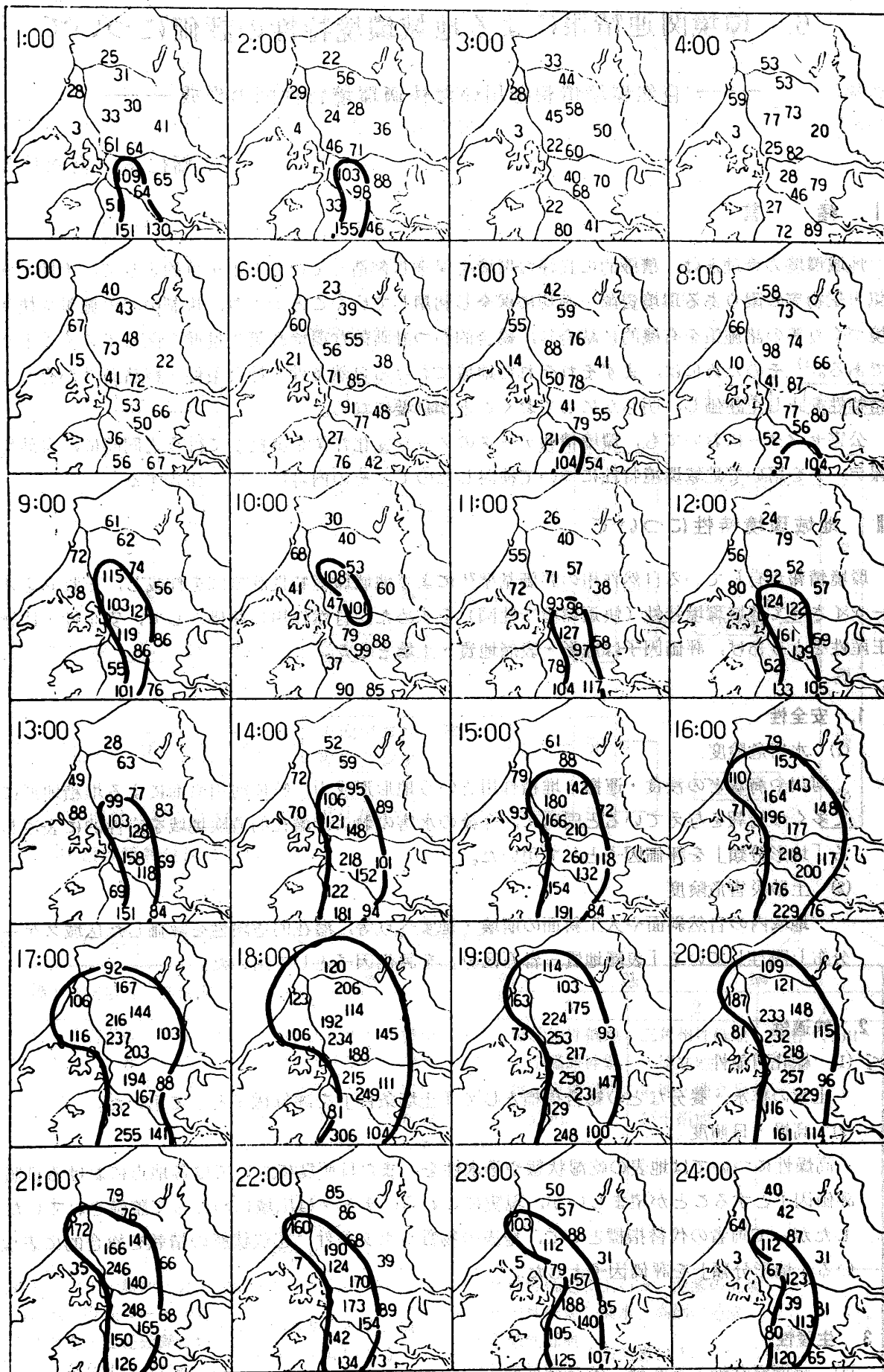


図-22 濃度分布の経時変化 (NO+NO₂ ppb 58年2月17日)