

7 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4報） —経年変動および経月変動の要因について—

山田克則 勝木作治

I 緒言

国の環境白書（昭和56年版）によれば、硫黄酸化物による大気汚染は、経済の高度成長下における石油系燃料の大量消費により、急速に拡大したが、その後、燃料の低硫黄化および排煙脱硫装置の設置等の諸対策が進められた結果、近年着実に改善してきているのに対し、窒素酸化物による大気汚染は、横ばい傾向を示していると報告されている。

福井県においても、窒素酸化物の濃度は、年平均値の経年変動でみるとほぼ横ばい状態である。

しかし、一方で、高い濃度の出現率には、明瞭な経年変動がみられる。

本報では、このような経年変動の要因についての検討結果と、併せて、経月変動についての若干の考察結果を報告する。

II 経年変動の状況

51年度から継続して窒素酸化物の測定を行っている福井・坂井地区の11測定局（一般環境大気測定局）における年平均値の単純平均値をみると、51年度から56年度まで、一酸化窒素（NO）は、0.005～0.006 ppm、二酸化窒素（NO₂）は、0.008～0.010 ppm、窒素酸化物（NO+NO₂）は、0.014～0.015 ppmの値を示し、3項目とも、ほぼ横ばい状態である（図-1-1）。

一方、環境濃度の環境基準との対比は、1日平均値の年間98%値を用いることをふまえて、上記11局における1日平均値の年間98%値の単純平均値を算出すると、結果は図-1-2のようになり、3項目とも55年度にピークが認められる。

また、二酸化窒素の環境基準改定後の高濃度出現状況は表-1のとおりで、やはり55年度（特に2月・3月）に高濃度の出現率が大きかった。

以上のことから、経年変動の要因としては、年平均値の変動が横ばいであることの要因と、55年度に高濃度出現率が大きかったことの要因の2つを検討する必要があると考えられる。

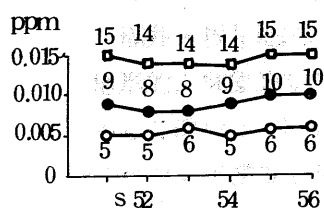


図-1-1 年平均値の経年変動
(福井・坂井地区11局単純平均値)

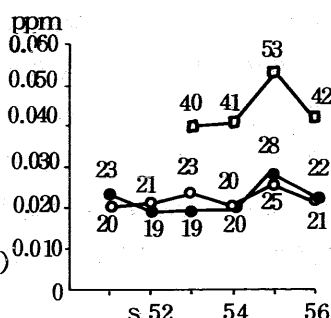


図-1-2 1日平均値の年間98%値の
経年変動(福井・坂井地区11
局の単純平均値)

表-1 二酸化窒素の高濃度出現状況
(福井・坂井地区)

1日平均値 が0.04ppm 以上0.06 ppm以下の 日数	S53年度	なし
	S54年度	(1月)福井局1 センター局1
	S55年度	(1月)麻生津局2 (3月)坂井局1 (2月)春江局1 森田局4 森田局1 麻生津局6 麻生津局1 福井局3 福井局1 センター局3
		(2月)丸岡局1
		麻生津局1 センター局1
1日平均値 が0.06ppm を超えた日 数	S53～ S56年度	なし

□ NO+NO₂ 昭和52年度以前の値は新測定法での値に補正済み。
● NO₂ ただし、NO+NO₂の98%値は補正が困難なため
○ NO 省く。

Ⅲ 経年変動の要因

環境濃度の変動をもたらす要因と考えられる汚染質排出量の変動と気象の変動について考察する。

1. 汚染質排出量の変動

(1) 燃料消費量の推移

環境白書に述べられているように、環境汚染は、自然の物質・エネルギー循環から自立した人工の物質・エネルギーの流れの拡大の過程で引き起こされてきた。窒素酸化物は、そのほとんどが、エネルギー源である石油・石炭等の化石燃料の燃焼過程で発生する。従って排出量の変動は、燃料消費量の推移と密接な関係をもっている。

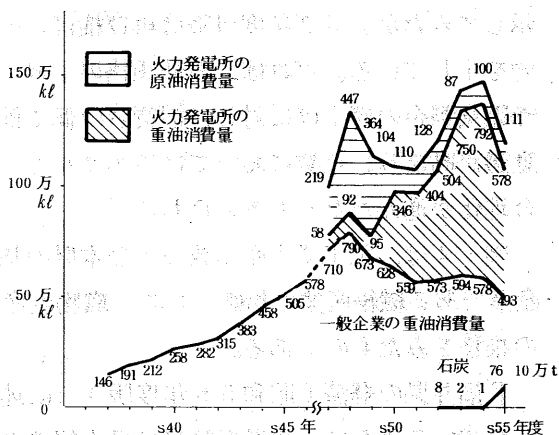


図-2-1 重油、原油、石炭消費量の推移 (県内)

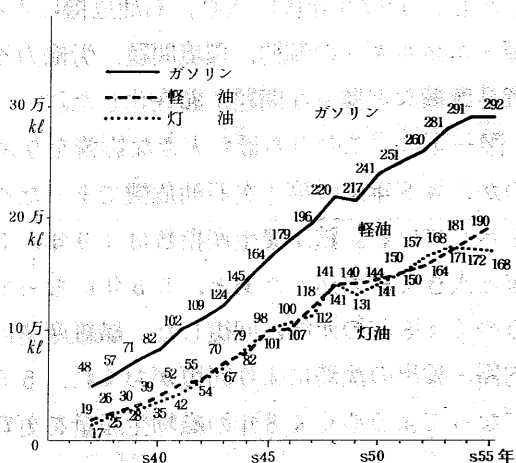


図-2-2 ガソリン、軽油、灯油消費量の推移 (県内)

資料：大気汚染物質排出量総合調査
県政資料 福井経済月報
福井県経済白書 福井県の統計
福井県の経済

本県における石油系燃料および石炭の消費量の推移は、図-2-1、図-2-2のとおりである。

一般企業における重油消費量は、48年度にピークを示し(約79万kl)、その後51年度まで減少を続け、51年度以降横ばいに推移したあと、55年度は再び減少した。55年度の消費量は約49万klで、ほぼ45年と同レベルであった。

他方、47年度には北陸電力(株)福井火力発電所が操業を始め、53年度には福井共同火力発電(株)三国共同火力発電所が操業を始めた。この結果、本県の重・原油消費量は飛躍的に増大した。両火力発電所の重・原油消費量は、54年度に約89万klのピークを示し、55年度は約69万klであった。

石炭の消費量は、54年度の約1千tが、55年度は約8万tに大きく増大した。これは、セメント業界が、石油から石炭への燃料転換を行ったためである。

ガソリン・軽油の消費量は、49年にわずかな減少を示したが、それ以外の年は常に増大を示してきた。55年の消費量は、ガソリン約29万kl、軽油約19万klであった。ただし、ガソリン消費量の54年から55年への変動は、ほぼ横ばいであった。

灯油の消費量は、やはり49年に減少したあと再び増大に転じたが、53年以降は約17万klで横ばい状態である。

以上のような消費量の変動は、需要の変動に等しい。しかし、その変動要因は需要の側だけでなく、供給の側にもある。すなわち、48年末の第1次石油危機、54年の第2次石油危機、それに伴う石油価格の大幅な上昇は、48年以降の需要の変動に大きな影響を与えた。セメント業界における石油から石炭への燃料転換はその一例である。以下に節を改めて、福井県の経

済社会活動の動向について考察し、この点をさらに調べてみたい。

(2) 経済社会活動の動向

(1)において調べた燃料消費量は、地域の経済社会活動の一指標であるが、両者の関係は、石油危機を契機として変化をきたしたと考えられる。この点を明らかにするために、本県の経済社会活動の動向について、電力消費量、鉱工業生産指数、織物生産量および交通量を指標として考察する。

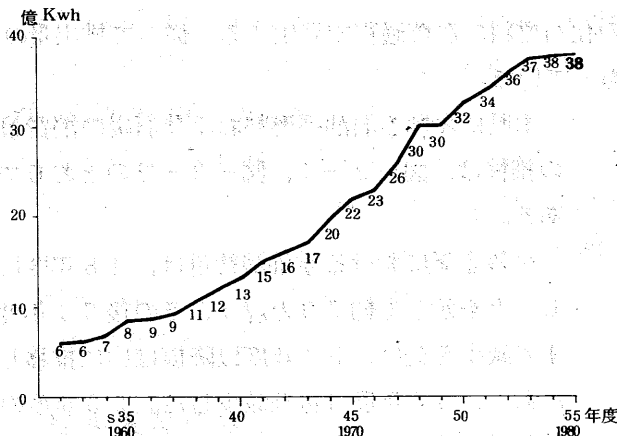


図-3 電力消費量の推移

〔資料：福井県の経済，福井県経済白書〕
〔資料：福井県の統計，福井県統計年鑑〕

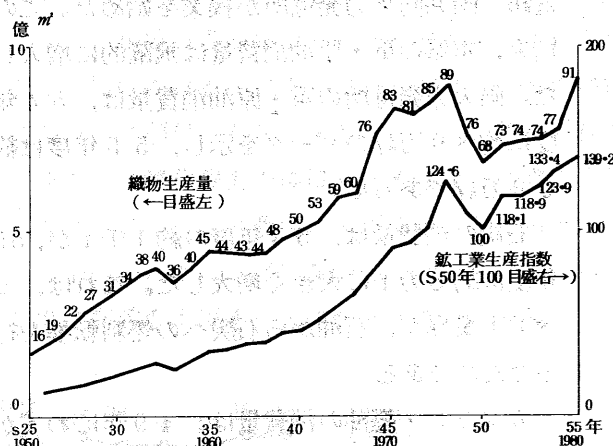


図-4 鉱工業生産指数と織物生産量の推移

〔資料：福井県統計年鑑，福井県の経済〕

これを(1)の重油消費量の推移と比べることにより、石油危機後の企業の対応を知ることができる。すなわち、重油消費量は、51年度以降横ばい傾向を示したにもかかわらず、鉱工業生産は伸びを示した。従って、その増大分だけ企業の省エネルギー・省資源等の生産合理化が進んだものと判断される。

環境白書によっても、わが国の鉱工業生産指数と石油消費量の推移について、以上とほとんど同じ傾向をうかがうことができる。

一方、交通量については、その全体量の推移を把握することは難しいが、主要路線における調査結果から、おおよその傾向を推定したい。

国道8号線における交通量は、高度経済成長期と言われる1960年代には、どの調査地点で

図-3は、本県の電力消費量の推移をみたものである。電力消費量は、48年度から49年度にかけて横ばいであった以外は順調な伸びを示してきたが、53年度以降は再び横ばいの傾向を示している。これは、石油価格の上昇に伴う電気料金の値上げに対し、消費者の側で節電意識が高まり、企業においては省エネルギーの合理化が進んだためと考えられる。

図-4は、鉱工業生産指数および本県の基幹産業である繊維産業の指標として、織物生産量の推移をみたものである。

「福井県の経済（昭和56年度版）」に述べられているように、本県の経済は日本経済の一部として、1950年代には戦災からの復興を成し遂げ、1960年代には高度経済成長を示した。しかし、1970年代に入り、石油危機による資源・エネルギーの制約、環境問題、労働力不足、貿易摩擦など様々な問題が顕在化した。

図-4は、このうち最も大きな影響を与えたのが、48年末の第1次石油危機であったことを示している。鉱工業生産指数は49年、50年と大きく落ち込んだあと、53年になってようやく48年の水準に回復した。繊維産業は、内需・輸出の沈滞により回復がおくれ、55年になってようやく48年の織物生産量を更新した。

も、ほぼ直線的に増加した(図-5-1)。しかし、1970年代に入り、地点によっては横ばいないし減少の傾向があらわれてきた。これは、交通量が道路の許容限度に近づき、新しく開通した代替道路(北陸自動車道(表-2)等)や迂回道路の利用が増えたことによるものと推定される。また、主要幹線道路ぞいに設置された自動車排出ガス測定局における交通量測定結果も横ばい状態である(図-5-2 ただし国道27号線ぞいの自排敦賀局では最近バイパスが開通して交通量が減少した。)。表-3は、国道8号線と北陸自動車道以外の、福井・坂井地区の主要な道路54路線における、49年、52年、55年の交通量調査結果を、1路線1観測地点として表にしたものである。49年以降、52年、55年と連続して減少を示した路線は6であるのに対し、連続して増加した路線は16であった。また、54路線の交通量の単純総和は、49年が182373台、52年が183108台、55年が204691台であり、52年以降増加の傾向がみられる。

以上を総合すると、近年、新しい道路の建設が進んだ結果、一部の路線では交通量が、横ばいないし減少の傾向がみられるものの、地域の交通量の総量は、今なお増加の傾向にあるものと推定される。

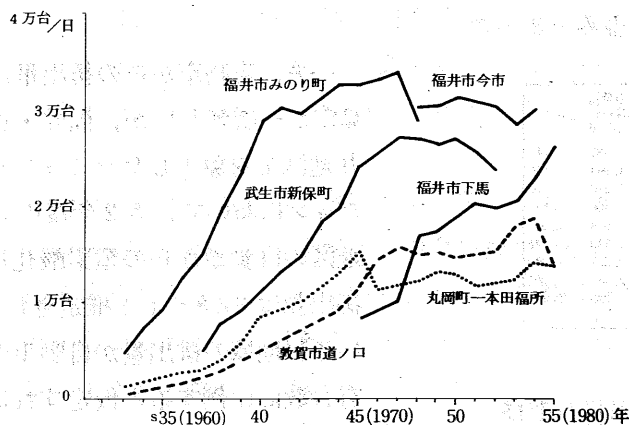


図-5-1 国道8号線における交通量の推移
(資料: 建設省福井工事事務所工務課)

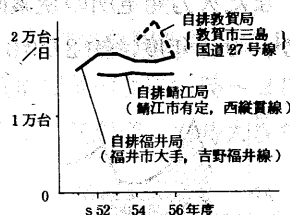


図-5-2 自排局交通量測定結果

表-2 北陸自動車道開通年月

年	月	区 間
昭和48年10月		小松～丸岡
昭和50年9月		丸岡～福井
昭和51年11月		福井～武生
昭和52年12月		武生～敦賀
昭和55年4月		敦賀～米原

表-3 福井・坂井地区における交通量の推移

(資料: 全国道路交通情勢調査、道路建設課 企画係)

路線番号	路線名	観測地点	昭和55年交通量 (台/12h)	昭和52年交通量 (台/12h)	昭和49年交通量 (台/12h)	52年以降増加	49年以降増加	路線番号	路線名	観測地点	昭和55年交通量 (台/12h)	昭和52年交通量 (台/12h)	昭和49年交通量 (台/12h)	52年以降増加	49年以降増加
158	国道158号線	福井市和田東	13498	9276	6559	○	○	23	徳光福井線	福井市板垣町	2901	2302	2849	○	○
305	国道305号線	三国町三浦	5706	4629	4407	○	○	29	細呂木停車場北高線	金津町指中	620	837	422	○	○
1	福井加賀線	福井市加賀町	9173	10152	9659	○	○	32	芦原温泉停車場中川線	金津町矢地	2897	3068	2711	○	○
5	福井勝山線	福井市新保町	10594	12286	11304	○	○	36	森田停車場中角線	福井市八重巻中町	6647	6566	5157	○	○
6	福井善福線	福井市三郎丸町	8448	7552	9374	○	○	37	福井停車場老松線	福井市宝水	13682	12197	9796	○	○
8	福井大森河野線	福井市大町	2281	1896	437	○	○	39	丸岡インター線	丸岡町猪爪	3786	3287	5554	○	○
10	福井四ヶ浦線	福井市若杉町	7283	7304	5545	○	○	46	大士呂停車場江端線	福井市半田	795	1494	483	○	○
11	三国丸岡線	三国町東尋坊	2596	1974	2475	○	○	68	加戸三回停車場線	三国町上錦	637	728	864	○	○
12	芦原丸岡線	坂井町安光	4220	2708	2806	○	○	69	波松芦原線	芦原町城	746	610	471	○	○
13	丸岡川西線	春江町正善	5162	2292	3224	○	○	70	吉崎金津線	金津町千束	933	532	440	○	○
24	勝山丸岡線	丸岡町板倉	4292	3068	3084	○	○	71	水口牛の谷線	金津町青ノ木	2718	2164	1924	○	○
25	鯖江美山線	福井市浄教寺町	367	339	871	○	○	72	高柳矢地線	坂井町大味	700	767	662	○	○
1	三国金津線	三国町竹松	4800	4617	4715	○	○	73	八幡横越線	三国町横越	2138	2040	1630	○	○
2	春江川西線	春江町春江小学校前	2238	2275	2078	○	○	74	佐野山岸線	三国町西野中	2159	1873	1578	○	○
3	福井三国線	坂井町木部新保	2087	1572	751	○	○	75	山岸春江線	春江町清水	347	534	436	○	○
4	福井朝日線	福井市山奥町	5543	5933	8112	○	○	76	長畑金津線	坂井町河和田	518	522	538	○	○
9	三国丸岡停車場線	坂井町下兵庫	1567	1804	2743	○	○	77	板倉高江線	春江町江留上	1758	1596	2206	○	○
12	春江丸岡線	坂井町上新庄	2266	1325	1975	○	○	78	高江針原線	春江町針原	3120	2915	1265	○	○
13	森田金津線	福井市天池	9960	8116	4215	○	○	79	大畑松岡線	福井市上中町	488	274	1175	○	○
14	南横地芦原線	坂井町若宮	861	809	1339	○	○	80	京善原目線	福井市上中町	1212	1407	469	○	○
15	中川松岡線	金津町後山	420	320	303	○	○	96	篠尾出作線	福井市成瀬寺町	2671	279	561	○	○
16	舟橋松岡線	福井市寺前	1309	632	2863	○	○	97	渡上志比口線	福井市志比口	6660	6847	6351	○	○
17	新神谷鳴鹿森田線	丸岡町磯部島	2479	2200	1688	○	○	98	脇三ヶ福井線	福井市小福津町	2371	2741	2611	○	○
18	稲津松岡線	福井市稲津町	426	524	742	○	○	100	真栗花堂線	福井市南江守町	3339	1427	1927	○	○
19	吉野福井線	福井市上北野町	5605	5077	9170	○	○	104	浅水越向東部停車場線	福井市太田	874	1024	1663	○	○
20	殿下福井線	福井市本堂	1398	1149	1688	○	○	105	三尾野浅水線	福井市浅水	2445	1900	4050	○	○
22	東郷今立線	福井市田治島	3014	3476	3343	○	○	154	鯖江丸岡線	福井市田原町	20036	19872	19110	○	○

(3) 窒素酸化物排出量の推移

深刻化した環境汚染に対処するため、1970年代には、様々な環境汚染防止対策が講じられてきた。窒素酸化物については、ばい煙発生施設に対する排出基準が、48年8月の第1次規制以降、54年8月の第4次規制まで強化・拡充され、自動車については、48～49年に規制が導入されたあと、乗用車は53年度規制、トラック・バス等は57年・58年規制に至るまで規制が強化されてきている。

窒素酸化物は硫黄酸化物と異なり、燃料中の成分に由来するよりも、燃焼の過程で空気中の窒素が酸化されて生じる量の方が多い。従って、排出量は燃焼条件によって変化するので、一律の排出係数により、排出量を算定するのは難しい。しかし、おおよその推定値として、燃料種類別・施設種類別に全国平均値とされる係数を用いて、県内の固定発生源から排出される窒素酸化物の量を算定し、その結果を図-6に示した(火力発電所の窒素酸化物排出量でテレメータ監視されている分については、その値を用いた。)。同図から、一般企業の窒素酸化物排出量は、48年度には約5100 tであったが、51年度以降は、3500 t前後で変動している。また火力発電所の窒素酸化物排出量は、発電所が増設された53年度は約2600 tであったが、55年度は約2000 tで52年度並みであった。

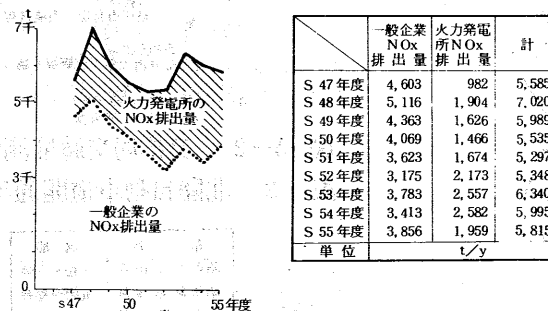


図-6 県内の固定発生源からの窒素酸化物排出量の推移
(大気汚染物質排出量総合調査結果等から推定)

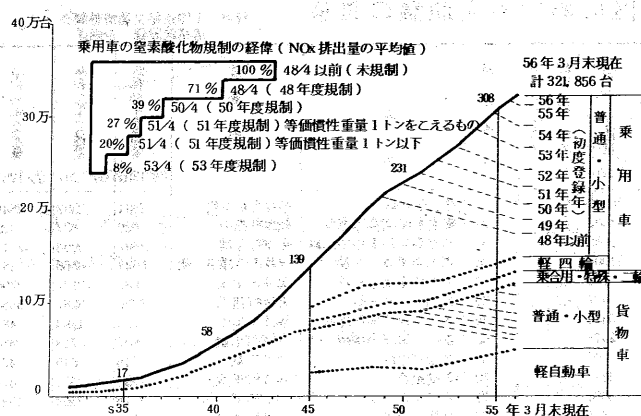


図-7 県内の自動車保有台数の推移 (資料: 陸運事務所登録課)

れた車の台数は、全体の約4割である(図-7)。従って、仮に新型車の排出量が全部乗用車並み(53年度規制で8%)に減少しているならば、1台当りの排出量も約4割程度の減少が見込まれるが、排出量の大きい重量ガソリン車やディーゼル車の規制量は、52年度規制で59～68%、54年規制で42～60%であるため、平均すると1台当たりの排出量の減少量は2割以内と推定される。他方、ガソリン・軽油消費量および交通量の3年間の伸びは1～2割

一方、自動車からの排出量は、算定が一層難しいが、福井・坂井地区を対象としたシミュレーションにおいて、52年度の同地区の自動車からの窒素酸化物排出量は3688 tと推定されている⁴⁾。地域の排出量が自動車保有台数に比例すると仮定すれば、52年度の県内の自動車からの窒素酸化物排出量は約8300 tと推定される。ちなみに、同年度の固定発生源の窒素酸化物排出量は約5300 tで、その比はおおよそ6:4である。

52年度以降、ガソリン・軽油の消費量および交通量は増大しているが、他方、自動車排出ガス規制適合車の増加、未規制車の減少により、1台あたりの排出量は減少している。52年度以降、3年間に新しく登録さ

であり、結局、排出総量は過去3年間大きな変化がないと考えられる。

2. 気象の変動

気象現象は、太陽放射をそのほとんどのエネルギー源として生じている。太陽放射は地球の自転と公転に伴って、1日単位、1年単位で周期的に変動するが、経年的な変動は小さい。気象の経年変動をみるために、いくつかの指標についてグラフを描いてみると図-8のようになる。同図から、気象には、燃料消費量のような長期的トレンドがなく、1年単位の周期性がほぼ守られていることがわかる。

しかし、同時に、図-8は各年度の気象の、周期性からのズレを示している。特に55年度はズレが大きかった（降水量、積雪日数、雲量等が最も多く、日照時間が最も少ない。）。これは冷夏と大雪（56豪雪）の結果である。

気象と窒素酸化物濃度との関連については、前報までの調査結果から、弱風と気温逆転層の発達が高濃度の要因であることが知られている。そこで、高濃度出現に対応する気象指標として、⁵⁾ 菊池⁵⁾ にならい、次のような気象指数を考案する。

$$\text{気象指数 } I_n = \exp dT/u$$

分子は、鉛直方向の拡散に関する値で、 $dT (^{\circ}\text{C}/100\text{ m})$ = 特殊気象観測局高度185 mにおける気温-センター局（高度5 m）における気温とし、汚染質排出量の多い8時～20時の平均をとり、かつ負にならないよう $\exp dT$ とする。従って分子は、気温逆転の時大きな値となる。

分母は、水平方向の拡散に関する値で、センター局における風速とし、分子と同じく8時～20時の平均とするが、窒素酸化物の発生源が、福井・坂井地区の南部に多く、北風の拡散効果は、南風よりも大きいことを考慮し、風向が北風成分をもつ場合、 u は風速の2倍とする（福井・坂井平野のほぼ中心に位置する坂井局における北寄りの風のときの窒素酸化物の濃度は、南寄りの風のときの濃度の $1/1.6 \sim 1/2.6$ である。表-4）。

このように定めた気象指数の値を、52年度から56年度まで算出すると、55年度は、気象指数の高い日、すなわち、拡散条件の悪い日が、他の年度に比べて多く出現した（表-5-1）。また月別にみると、気象指数の高い日は、冬期を中心に出現し、55年度は特に2月・3月の出現率が高かった（表-5-2）。55年度は56豪雪により積雪期間が長かった。このため地表付近の気温が上がらず、気象指数の値が高くなったと考えられる。

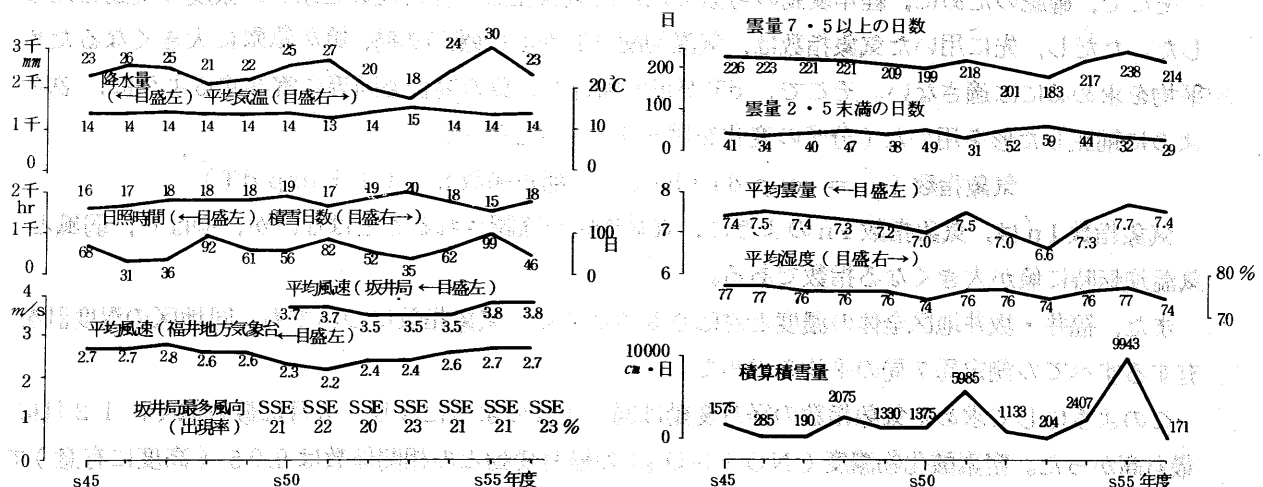


図-8 気象指標の経年変動（特に記した以外は福井地方気象台での観測値）

表-4 風向による濃度差

風速	北寄り W~ENE	南寄り E~WSW	北寄り 南寄り
弱風 $3m/s$ 未満	11	18	1/1.6
強風 $3m/s$ 以上	5	13	1/2.6

(坂井局 NO+NO₂ S54年度 単位 ppb)

表-5-1 気象指数 In の値別出現頻度

年 度	S52	S53	S54	S55	S56
0.0~0.4	208	318	306	297	329
0.5~0.9	31	32	36	43	27
1.0~1.9	8	14	14	15	7
2.0~2.9	2	1	5	3	1
3.0~3.9	2			1	
4.0~4.9	1			1	1
5.0以上	1		1	3	
98%値	(1.7)	1.3	1.6	2.2	1.0

(特殊気象局は52年8月から測定開始のため、
52年度は8月以降のデータについて集計した)表-5-2 気象指数 In の1.0以上の
値の月別出現頻度

年 度	S52	S53	S54	S55	S56
9月				1	
10月	1			1	1
11月	4	3	4	4	1
12月	4	9	3	2	3
1月	3	3	8	2	2
2月	2		4	5	2
3月			1	8	
合計	14	15	20	23	9

(4月~8月はいずれの年度も出現なし)

3. 汚染質濃度との関連

以上の考察を、汚染質濃度の経年変動との関連でみると、次のように考えられる。

まず、汚染質排出量については、一般企業の窒素酸化物排出量は、51年度以降3500 t前後の値を保っている。火力発電所の排出量も含めると53年度にピークがみられるが、火力発電所は、煙突高が高いために、環境濃度の年平均値への寄与は小さいと考えられる。実際、窒素酸化物とほぼ同じ量が排出される硫黄酸化物について、環境濃度の年平均値への寄与はほとんどみられない⁶⁾。自動車からの窒素酸化物排出量についても、交通量の増加が、排出ガス規制適合車の増加と相まって、最近の排出総量には大きな変化がないと考えられる。また、気象については、1年単位の周期性がほぼ守られていて、平均的な値の経年変動は小さい。

このようなことを要因として、窒素酸化物濃度の年平均値は、近年ほぼ横ばい状態を示しているものと考えられる。

一方、高濃度の出現率は、55年度に大きかったが、このことについては高濃度をもたらしやすい気象条件が、55年度に多く現われたことが、気象の考察により明らかになった。すなわち、56豪雪の結果、積雪期間が長く、このため地表付近の気温が上がらず、汚染質が滞留しやすかったものと考えられる。

IV 経月変動についての考察

窒素酸化物濃度の月平均値は、比較的明瞭な経月変動を示す(図-9)。その要因として、経年変動と同様、汚染質排出量の変動と気象の変動が考えられるが、毎年、ほぼ同様なパターンをくりかえすところから、要因としては気象の寄与が大きいと考えられる。

そこで、確認のために、経年変動の考察で用いた気象指数の経月変動を求め、濃度の変動と比較した。ただし、先に用いた気象指数は、気温逆転 dT が正(逆転)の時、値が急激に大きくなるため、平均を求めるには適さない。そこで、dT が正の場合も、負の場合も同等に寄与するように、次のように補正した形を用いた(分子の変化を図-11に示した)。

$$\text{気象指数 } In' = \exp dT \cdot h / u \quad \text{補正係数 } h = (1 + \exp dT)^{-1}$$

気象指数 In' は、気象指数 In のように、気温逆転が強調されることはないが、やはり、弱風と気温逆転時に値が大きくなる指数である。

また、福井・坂井地区全体の濃度と対応させるために、気象指数についても、同地区の温度計を有するすべての測定局7局の平均を求めた。

このようにして求めた気象指数の経月変動は図-10のようになり、5月に最も低く、12月に最も高かった。窒素酸化物濃度(NO+NO₂)の経月変動との相関係数は0.95(高度に有意)であった。従って、濃度の経月変動の要因としては、気象要因(特に気象指数を構成する気温の鉛直勾配、風向、風速)の寄与が大きいと判断される。

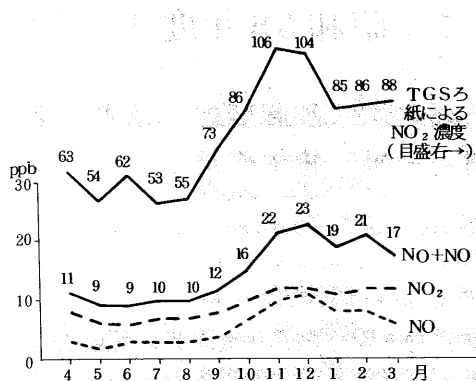


図-9 窒素酸化物濃度の経月変動
(昭和53,56年度 福井・坂井地区平均値)

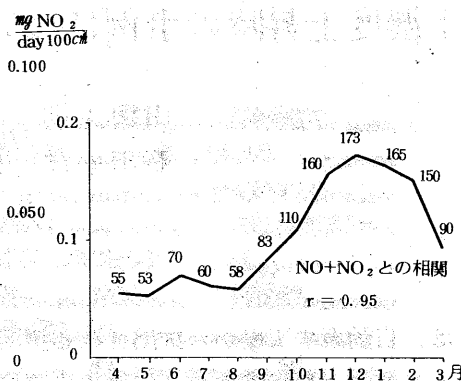


図-10 気象指数の経月変動
(昭和53~56年度 福井・坂井地区平均値)

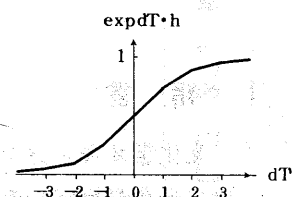


図-11 $\exp dT \cdot h$ の変化

V 結 語

本報では、主として、窒素酸化物濃度の経年変動の要因について検討した。その結果、経済社会活動の動向や気象の変動と、汚染質濃度との関連が明らかになった。窒素酸化物濃度に限らず、他の環境指標についても、同様な関連が存在するものと思われる。そのような関連を常に明らかにしておくことは、今後の環境管理のために意味のあることと思われる。

参 考 文 献

- 1) 環境庁：環境白書，昭和56年版，47，(1981)
- 2) 福井県中小企業情報センター：福井県の経済，昭和56年度版，16，(1981)
- 3) 環境庁：環境白書，昭和55年版，60(1980)
- 4) 福井県：福井臨海工業地帯造成に係る環境保全対策(一部改訂版)，3-13，(昭和55年3月)
- 5) 菊池立：千葉県公害研究所研究報告，13(1)，46，(1981)
- 6) 石田幸洋他：本報，10，125，(1980)