

3. 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10報）

——— 気温変化の地域特性について ———

山田克則，宮永信幸

I 緒 言

窒素酸化物の分布および濃度変動に関する気象要因としては、前報¹⁾で検討した風向・風速のほか気温も重要である。窒素酸化物濃度が暖候期よりも寒候期に高くなることや、昼間よりも夜間に高くなることの要因は、地表面気温の低下にともなう汚染物質の滞留と考えられる。本報では、そのような気温変化の度合いが、福井・坂井地区および隣接する南越地区の各測定地点でどのように異なるかについて窒素酸化物濃度との関連を含めて調査検討した結果を報告する。

II 調査方法

1. 気温の測定地点

気温のデータとしては、大気汚染監視テレメータシステムの各観測局で自動測定機により測定している1時間値を用いた。測定地点は北から順に三国局，坂井局，春江局，丸岡局（以上坂井地区），森田局，センター局，福井局（以上福井地区），神明局，鯖江局，武生局（以上南越地区）である。これらの観測局では窒素酸化物の濃度も同時に測定している。図-1にそのおおよその位置を示した。

坂井地区

- | | |
|-------|-------|
| 1 三国局 | 2 坂井局 |
| 3 春江局 | 4 丸岡局 |

福井地区

- | | |
|-------|---------|
| 5 森田局 | 6 センター局 |
| 7 福井局 | |

南越地区

- | | |
|--------|-------|
| 8 神明局 | 9 鯖江局 |
| 10 武生局 | |

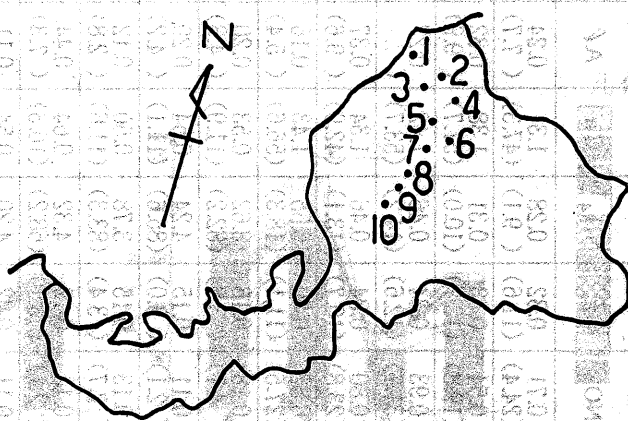


図-1 気温の測定地点

2. 調査項目

以下の3項目について調査検討を行なった。

- (1) 年平均気温の分布
- (2) 気温の年変動
- (3) 気温の日変動

III 調査結果と考察

1. 年平均気温の分布

年平均気温の分布を調べるため、昭和53年度から62年度までの10年間の年平均気温の単純平均値を観測局ごとに算出し、その結果を図-2に示した。

最も高温であったのは、福井局の14.04℃，次は森田局の13.78℃であった。この両局は都市域

の住居地区に位置する。逆に、最も低温であったのは、春江局の 13.39℃、次はセンター局の 13.41℃であった。この両局は郊外の田園地帯に位置する。

最北の三国局は 13.65℃、最南の武生局は 13.70℃でほぼ等しかった。

（考察）

一般に都市域は郊外に比べて気温が高い。その原因は、第一に人工発生熱が多いこと。第二に上空に滞留する大気汚染物質が温室効果をもたらすこと。第三に地表面がコンクリートやアスファルトでおおわれ、地面や水面に比べて潜熱交換が少ないこと。そのほか建物の林立により風速が低下し、乱流が増大するため、排気熱・排気ガスが滞留しやすく、また上空によどんでいる高温空気が垂直混合により地表面に下降しやすいといわれている。²⁾ このようにして生じた都市域の高温は「ヒートアイランド」、「都市気温」などと称されている。都市化にともない、気温だけでなく、ほかの気候要素も変化するが、それらの定量的なめやすとして表-1がある。都市域中心部の福井局と郊外のセンター局との年平均気温の差は 0.63℃であり、表-1の値に合致する。平均気温差で 0.5℃は緯度に換算すると 1度の違いに相当し、日射量では数カロリーないし数10カロリー (cal/m²・day)の違いに相当すると言われる。²⁾ 最北の三国局と最南の武生局との緯度差は約20分であり、気温差に換算すると約 0.2℃となるが、それほどの気温差はみられない。これは海洋や地形の影響があるためと考えられる。

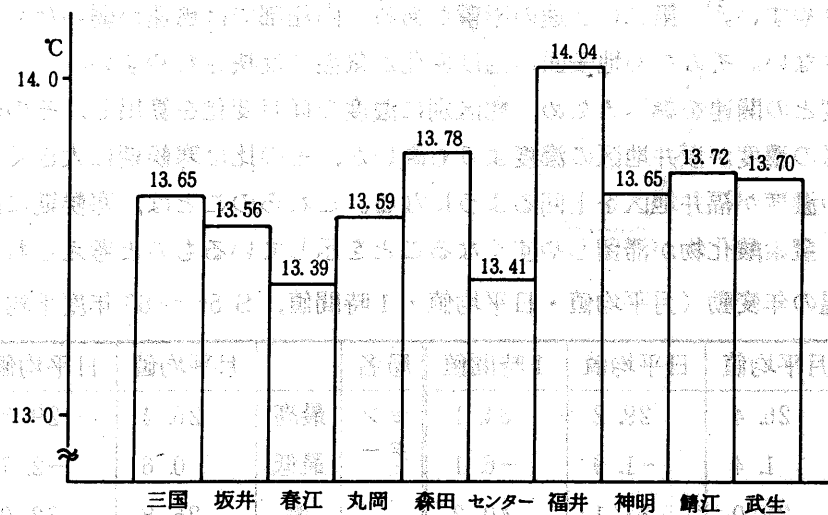


図-2 年平均気温の分布 (S 53 ~ 62 年度平均)

表-1 都市化による各気候要素の変化²⁾

都市気候要素		郊外との比較	都市気候要素		郊外との比較
汚染	凝結核とじんあい	平均 10 倍	日射	全天日射量	15 ～ 20 % 減
	汚染ガス	5 ～ 25 倍			紫外線 (冬)
雲	雲量	5 ～ 10 % 増		紫外線 (夏)	約 5 % 減
	霧 (冬)	約 100 % 増	日照	日照時間	5 ～ 15 % 減
降水	露 (夏)	約 30 % 増	気温	年平均	0.5 ～ 1.0 ℃ 上昇
	降水量 (合計)	5 ～ 10 % 増(?)		平均最低気温 (冬)	1.0 ～ 2.0 ℃ 上昇
	日量 5 mm 以下の日数	約 10 % 増(?)		暖房度日	約 10 % 減
	降雪量	5 % 減(?)	風速	年平均	20 ～ 30 % 減
湿度	冬	約 2 % 減		瞬間最大風速	10 ～ 20 % 減
	夏	約 3 % 減		静穏日数	5 ～ 20 % 増

2. 気温の年変動

気温の年変動を調べるため、気温の月平均値の経月変化について、56年度から60年度までの5年間の単純平均値を観測局ごとに算出し、一例として三国局と福井局について、その結果を図-3に示した。同図から、3月から10月までの暖候期は福井局における気温が三国局を上回るが、11月から2月までの寒候期は三国局のほうが気温が高い。

また、各年度における気温の月平均値、日平均値、1時間値のそれぞれの最高値と最低値について同じく5年間の単純平均値を観測局ごとに算出し、その結果を表-2に示した。同表から、年変動の大きさ（最高値と最低値との差）は、月平均値で25.0℃（三国）～26.3℃（福井・神明・武生）、日平均値で31.0℃（坂井）～32.2℃（森田）、1時間値で39.6℃（坂井）～43.0℃（神明）であり、いずれの場合も坂井地区よりも福井・南越地区のほうが変動が大きい。特に1時間値でみると、坂井地区で約40～41℃、福井地区で約42℃、南越地区で約43℃と内陸部ほど気温の年変動が大きいことが認められる。

（考察）

一般に臨海部は内陸部に比べて寒暖の差が小さい。その原因は第一に海洋の影響である。海水の比熱は約1 cal/g・℃であるのに対し、地面の比熱は約0.2 cal/g・℃と小さい。そのうえ蒸発潜熱が大きいので、海洋では陸上に比べて気温の変動が小さく、海岸からの距離が大きくなるほど気温の変動は大きくなりやすい。³⁾ 第二に風速の影響がある。内陸部では風速が弱いため、地表面に接する大気の動きが少ない。そのため地表面の温度変化が気温に反映されやすい。

窒素酸化物濃度との関連を調べるため、地区別に濃度の経月変化を算出し、その結果を図-4に示した。福井地区の濃度が坂井地区の濃度よりも高いが、その比は寒候期に大きくなる。また寒候期には南越地区の濃度が福井地区を上回るようになる。これらのことは、寒候期に内陸部ほど強い放射冷却が生じ、窒素酸化物が滞留しやすくなることを示しているものと考えられる。

表-2 気温の年変動（月平均値・日平均値・1時間値、S 56～60年度平均）

局名		月平均値	日平均値	1時間値	局名		月平均値	日平均値	1時間値
三国	最高	26.4	29.2	34.1	センター	最高	26.4	29.3	34.2
	最低	1.4	-1.9	-6.1		最低	0.6	-2.7	-7.8
	差	25.0	31.1	40.2		差	25.8	32.0	42.0
坂井	最高	26.2	28.8	33.2	福井	最高	27.3	30.1	35.8
	最低	1.0	-2.2	-6.4		最低	1.0	-2.0	-6.6
	差	25.2	31.0	39.6		差	26.3	32.1	42.4
春江	最高	26.4	29.1	34.3	神明	最高	26.9	29.3	34.6
	最低	0.8	-2.5	-6.7		最低	0.6	-2.7	-8.4
	差	25.6	31.6	41.0		差	26.3	32.0	43.0
丸岡	最高	26.6	29.5	34.1	鯖江	最高	27.0	29.5	34.9
	最低	0.9	-2.4	-6.4		最低	0.9	-2.3	-7.7
	差	25.7	31.9	40.5		差	26.1	31.8	42.6
森田	最高	27.1	30.1	35.4	武生	最高	27.1	29.7	35.4
	最低	1.0	-2.1	-6.7		最低	0.8	-2.4	-7.3
	差	26.1	32.2	42.1		差	26.3	32.1	42.7

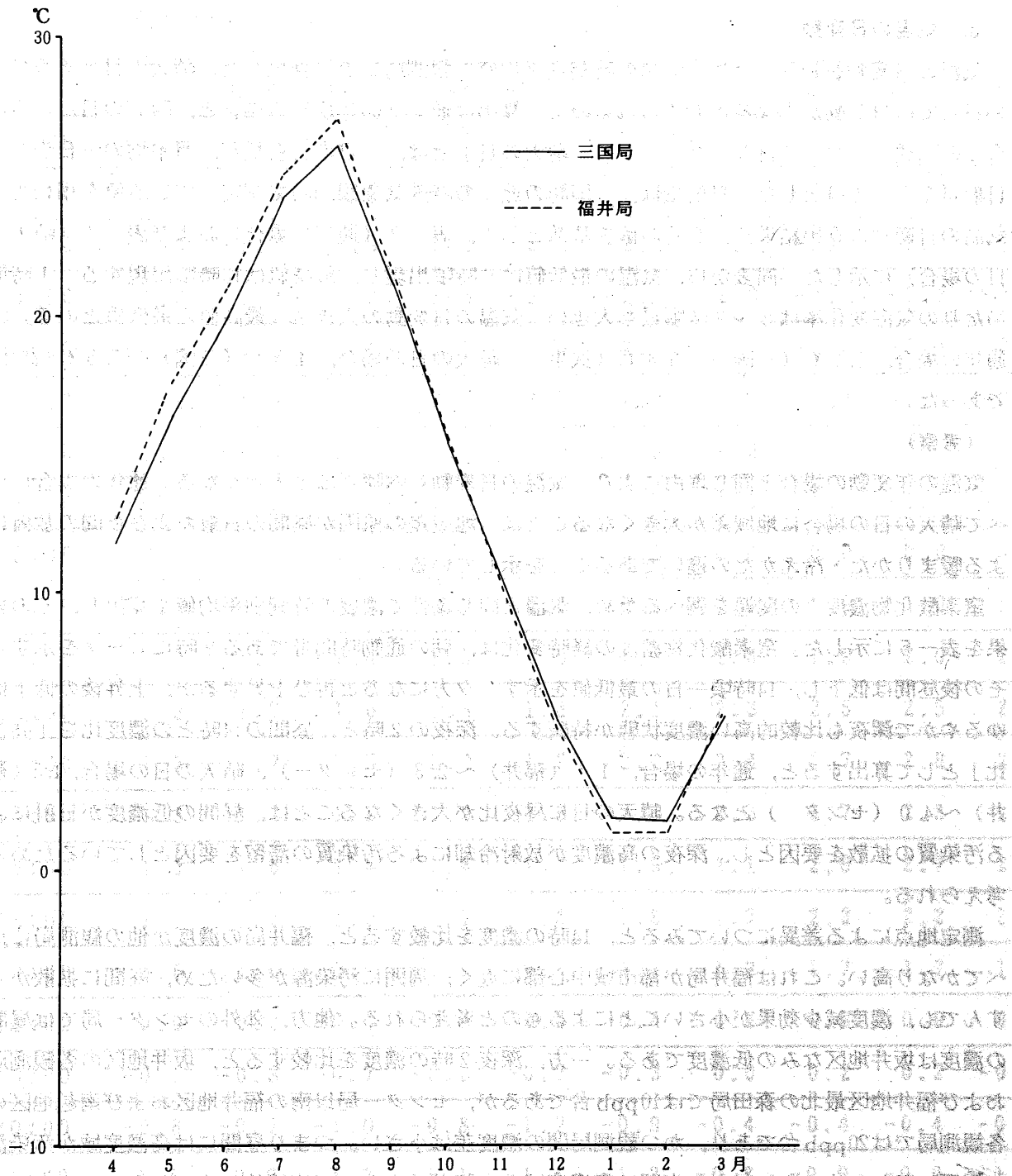


図-3 気温の経月変化（三国局と福井局，S56～60年度平均）

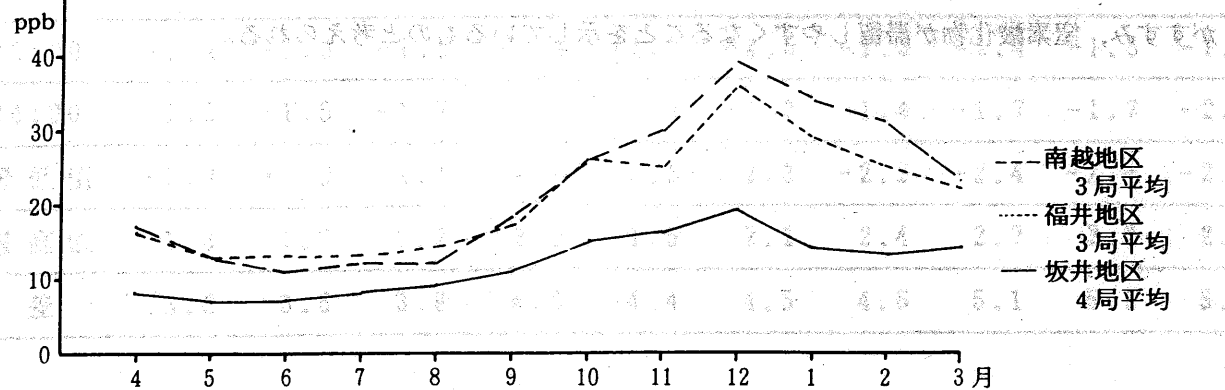


図-4 窒素酸化物の経月変化（S 62 年度）

3. 気温の日変動

気温の日変動を調べるため、気温の時刻別平均値を観測局ごとに算出した。晴天の日とそうでない日とでは日変動が異なると考えられるので、算出は通年（60年度）の場合と、晴天の日だけの場合との二通りについて行なった。ここで「晴天の日」とは、一日の日射量が、月平均の一日当たり日射量を上回る日とした。日射量は、三国局の近くの特設気象観測局で測定している値を用いた。気温の日変動の算出結果を、9時の値を基準として、表-3（通年の場合）および表-4（晴天の日の場合）に示した。同表から、気温の最低値は6時頃出現し、最高値は13時頃出現する。1時間当たりの気温変化率は8～9時頃最も大きい。気温の日変動の大きさ（最高値と最低値との差）は、通年の場合、3.2℃（三国）～5.4℃（武生）、晴天の日の場合、4.3℃（三国）～7.5℃（武生）であった。

（考察）

気温の年変動の場合と同じ理由により、気温の日変動も内陸部ほど大きくなる。通年の場合に比べて晴天の日の場合に地域差が大きくなることは、地域差の原因が昼間の日射および夜間の放射による暖まりかた・冷えかたの違いであることを示している。

窒素酸化物濃度との関連を調べるため、気温と同じ条件で濃度の時刻別平均値を算出し、その結果を表-5に示した。窒素酸化物濃度の経時変化は、朝の通勤時間帯である9時にピークを示す。その後昼間は低下し、14時頃一日の最低値を示す。夕方になると再び上昇するが、上昇後の低下はゆるやかで深夜も比較的高い濃度状態が持続する。深夜の2時と、昼間の14時との濃度比を「昼夜比」として算出すると、通年の場合、1.1（福井）～2.3（センター）、晴天の日の場合、1.5（福井）～4.0（センター）となる。晴天の日に昼夜比が大きくなることは、昼間の低濃度が日射による汚染質の拡散を要因とし、深夜の高濃度が放射冷却による汚染質の滞留を要因としているためと考えられる。

測定地点による差異についてみると、14時の濃度を比較すると、福井局の濃度が他の観測局に比べてかなり高い。これは福井局が都市域中心部に近く、周囲に汚染源が多いため、昼間に拡散がすすんでも、濃度減少効果が小さいことによるものと考えられる。他方、郊外のセンター局では昼間の濃度は坂井地区なみの低濃度である。一方、深夜2時の濃度を比較すると、坂井地区の各観測局および福井地区最北の森田局では10ppb台であるが、センター局以南の福井地区および南越地区の各観測局では20ppb台であり、かつ観測局間の濃度差は小さい。つまり昼間には高濃度域が汚染源の周囲に収れんするのに対し、夜間は高濃度域が内陸部に向かって広域的な広がりをもつようになる。このことは、気温の年変動の場合と同じように、日変動においても夜間に内陸部ほど放射冷却がすすみ、窒素酸化物が滞留しやすくなることを示しているものと考えられる。

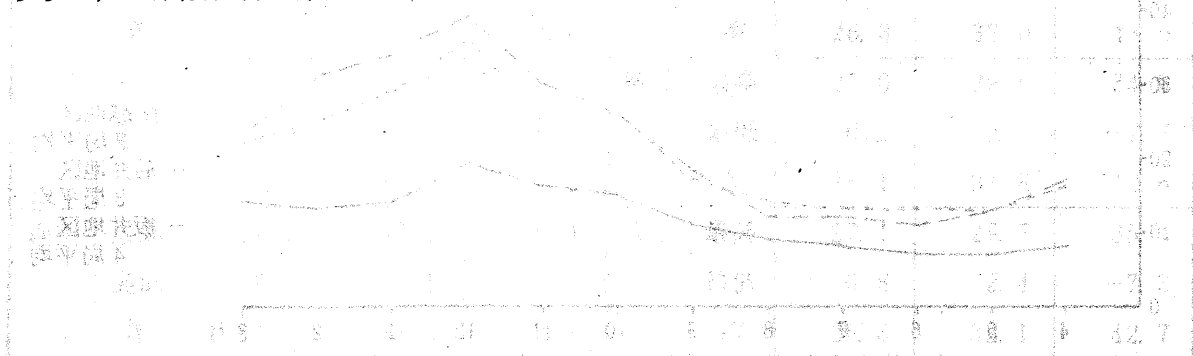


表-3 気温の日変動（S 60 年度，通年，9 時との気温差 ℃）

	三国	坂井	春江	丸岡	森田	センター	福井	神明	鯖江	武生
1:00	-1.6	-1.5	-1.7	-1.6	-2.0	-1.8	-1.6	-1.8	-1.8	-2.1
2:00	-1.6	-1.6	-1.8	-1.7	-2.1	-1.9	-1.7	-2.0	-2.0	-2.3
3:00	-1.8	-1.7	-1.9	-1.8	-2.2	-2.0	-1.8	-2.1	-2.1	-2.3
4:00	-1.8	-1.7	-2.0	-1.8	-2.3	-2.1	-2.0	-2.2	-2.2	-2.5
5:00	-1.9	-1.9	-2.1	-2.0	-2.5	-2.3	-2.1	-2.4	-2.4	-2.6
6:00	-1.9	-1.9	-2.1	-2.0	-2.5	-2.3	-2.2	-2.4	-2.4	-2.6
7:00	-1.5	-1.5	-1.6	-1.7	-1.9	-1.9	-1.9	-2.1	-2.1	-2.3
8:00	-0.7	-0.8	-0.8	-0.9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.1
9:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10:00	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0
11:00	1.1	1.4	1.4	1.5	1.5	1.7	1.8	1.9	2.0	2.0
12:00	1.3	1.7	1.6	1.8	1.8	2.1	2.3	2.5	2.5	2.5
13:00	1.3	1.7	1.7	2.0	1.9	2.2	2.4	2.7	2.8	2.8
14:00	1.3	1.7	1.5	1.9	1.8	2.1	2.3	2.7	2.8	2.8
15:00	1.3	1.6	1.4	1.8	1.7	1.9	2.1	2.6	2.7	2.6
16:00	1.1	1.3	1.0	1.5	1.3	1.6	1.7	2.2	2.2	2.2
17:00	0.6	1.0	0.6	1.1	0.7	1.1	1.2	1.7	1.7	1.4
18:00	0.0	0.3	-0.1	0.4	0.0	0.4	0.6	0.9	0.9	0.5
19:00	-0.5	-0.3	-0.7	-0.3	-0.7	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.3
20:00	-0.8	-0.7	-1.0	-0.8	-1.2	-0.9	-0.4	-0.4	-0.4	-0.9
21:00	-1.0	-0.9	-1.2	-1.1	-1.4	-1.2	-0.8	-0.9	-0.9	-1.3
22:00	-1.2	-1.2	-1.5	-1.3	-1.6	-1.4	-1.1	-1.2	-1.2	-1.6
23:00	-1.4	-1.3	-1.5	-1.4	-1.7	-1.5	-1.3	-1.4	-1.5	-1.8
24:00	-1.5	-1.5	-1.7	-1.5	-1.9	-1.7	-1.4	-1.7	-1.7	-2.0
最低値	-1.9	-1.9	-2.1	-2.0	-2.5	-2.3	-2.2	-2.4	-2.4	-2.6
最高値	1.3	1.7	1.7	2.0	1.9	2.2	2.4	2.7	2.8	2.8
差	3.2	3.6	3.8	4.0	4.4	4.5	4.6	5.1	5.2	5.4

表-4 気温の日変動 (S 60 年度, 晴天の日, 9 時との気温差 °C)

	三国	坂井	春江	丸岡	森田	センター	福井	神明	鯖江	武生
1:00	-2.0	-1.8	-2.3	-2.0	-2.5	-2.0	-1.8	-2.0	-2.0	-2.4
2:00	-2.1	-2.0	-2.4	-2.1	-2.7	-2.3	-2.1	-2.2	-2.3	-2.7
3:00	-2.3	-2.2	-2.6	-2.3	-2.9	-2.5	-2.3	-2.4	-2.5	-2.9
4:00	-2.4	-2.3	-2.7	-2.5	-3.1	-2.7	-2.5	-2.6	-2.7	-3.1
5:00	-2.5	-2.5	-2.9	-2.6	-3.3	-2.9	-2.7	-2.9	-3.0	-3.3
6:00	-2.5	-2.6	-2.9	-2.7	-3.3	-3.0	-2.9	-3.0	-3.1	-3.4
7:00	-2.1	-2.0	-2.3	-2.2	-2.5	-2.4	-2.4	-2.5	-2.6	-2.9
8:00	-1.0	-1.0	-1.2	-1.1	-1.3	-1.2	-1.2	-1.4	-1.5	-1.5
9:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10:00	0.8	1.0	1.0	1.1	1.1	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5
11:00	1.5	1.9	1.8	2.2	2.1	2.4	2.6	2.7	2.8	2.8
12:00	1.7	2.2	2.1	2.7	2.5	3.0	3.3	3.5	3.6	3.6
13:00	1.8	2.2	2.1	2.8	2.6	3.1	3.4	3.9	4.0	4.0
14:00	1.8	2.2	1.9	2.8	2.5	3.0	3.3	4.0	4.0	4.1
15:00	1.7	2.0	1.7	2.6	2.3	2.7	2.8	3.7	3.7	3.8
16:00	1.4	1.8	1.3	2.3	1.8	2.4	2.4	3.3	3.2	3.2
17:00	0.8	1.2	0.7	1.6	1.0	2.7	1.7	2.4	2.3	2.1
18:00	-0.1	0.3	0.3	0.6	-0.1	0.6	0.8	1.3	1.2	0.8
19:00	-0.9	0.6	1.2	0.5	1.1	0.3	0.0	0.2	0.2	0.3
20:00	-1.3	1.2	1.7	1.1	1.7	1.1	0.6	0.5	0.6	1.2
21:00	-1.6	1.5	2.0	1.6	2.1	1.7	1.2	1.2	1.3	1.8
22:00	-1.8	1.7	2.2	1.8	2.3	1.9	1.5	1.7	1.7	2.2
23:00	-2.1	2.0	2.4	2.0	2.5	2.1	1.8	2.1	2.1	2.5
24:00	-2.3	2.2	2.5	2.2	2.7	2.3	2.0	2.5	2.5	2.8
最低値	-2.5	-2.6	-2.9	-2.7	-3.3	-3.0	-2.9	-3.0	-3.1	-3.4
最高値	1.8	2.2	2.1	2.8	2.6	3.1	3.4	4.0	4.0	4.1
差	4.3	4.8	5.0	5.5	5.9	6.1	6.3	7.0	7.1	7.5

表-5 窒素酸化物の日変動（S 60 年度，通年／晴天の日，単位ppb）

（昼夜比＝2時の濃度／14時の濃度，（全）は通年，（晴）は晴天の日）

	三国	坂井	春江	丸岡	森田	センター	福井	神明	鯖江	武生
1:00	8/ 9	13/14	11/13	13/14	17/19	21/23	21/23	22/23	22/22	22/22
2:00	7/ 8	12/13	10/11	12/13	16/17	21/24	20/22	21/22	22/22	21/21
3:00	7/ 8	12/13	10/12	11/12	15/17	20/23	19/21	20/21	21/21	20/20
4:00	7/ 8	11/13	10/11	10/11	14/16	19/22	17/20	19/19	19/19	19/18
5:00	7/ 8	11/12	10/11	10/11	13/15	19/21	17/19	18/19	18/18	18/16
6:00	7/ 8	11/12	11/12	11/12	14/16	19/21	18/20	18/18	18/18	17/16
7:00	8/10	12/14	12/13	12/13	17/19	19/22	20/21	19/19	18/19	18/17
8:00	11/12	14/15	15/16	16/16	27/28	22/23	28/28	24/25	23/22	23/21
9:00	13/14	18/18	19/18	19/18	32/30	26/25	36/34	28/28	27/25	28/23
10:00	13/12	18/17	16/15	18/16	27/23	22/19	32/29	24/22	23/20	25/23
11:00	11/10	14/13	13/11	15/13	22/17	17/15	26/22	20/18	18/15	22/19
12:00	9/ 7	11/ 9	11/ 8	13/10	17/12	13/10	21/17	15/12	14/10	19/15
13:00	7/ 5	9/ 7	8/ 6	11/ 8	12/ 9	10/ 7	17/13	12/ 8	11/ 8	15/11
14:00	6/ 5	7/ 6	8/ 6	10/ 8	12/ 8	9/ 6	19/15	11/ 8	11/ 7	14/11
15:00	6/ 5	8/ 6	8/ 6	11/ 8	13/ 9	9/ 6	22/17	12/ 9	11/ 8	15/11
16:00	6/ 5	8/ 7	8/ 6	12/ 9	14/11	10/ 7	23/19	12/ 9	12/ 9	16/13
17:00	7/ 6	9/ 8	9/ 7	14/12	17/14	13/10	28/23	15/11	15/12	20/16
18:00	8/ 8	12/12	11/10	19/17	23/20	18/16	35/31	19/15	20/17	27/24
19:00	8/ 8	15/15	13/13	20/20	29/28	22/21	36/34	23/19	25/24	29/28
20:00	8/ 9	15/16	14/15	20/20	31/31	24/25	35/35	24/24	27/28	28/28
21:00	9/10	15/16	14/16	18/18	30/32	24/27	31/33	24/25	27/29	26/26
22:00	9/10	15/17	15/16	17/17	27/30	23/26	29/31	23/25	26/28	24/25
23:00	9/ 9	15/17	14/16	15/15	23/26	22/25	28/29	23/25	24/26	23/24
24:00	9/10	14/16	12/13	14/14	20/23	22/25	24/27	23/25	23/25	23/25
昼夜比(全)	1.2	1.7	1.3	1.2	1.3	2.3	1.1	1.9	2.0	1.5
昼夜比(晴)	1.6	2.2	1.8	1.6	2.1	4.0	1.5	2.8	3.1	1.9

IV 結 語

窒素酸化物の分布および濃度変動の重要な要因のひとつである気温変化について、その地域特性を調べた。その結果、以下のことが推察された。

1. 年平均気温は都市域の福井局・森田局で高く、郊外の春江局・センター局で低かった。このことは都市域でいわゆるヒートアイランドが形成されていることを示している。
2. 気温の年変動は臨海部で小さく、内陸部で大きい。寒候期には福井地区と坂井地区との窒素酸化物濃度比が大きくなり、また南越地区の濃度が福井地区の濃度を上回るが、これらのことは内陸部ほど強い放射冷却を生じやすいことを要因としていると考えられる。
3. 気温の日変動も臨海部で小さく、内陸部で大きい。かつその差は晴天の日に大きい。窒素酸化物の高濃度は昼間は汚染源の周囲に収れんし、夜間は内陸部に向かって広域的な広がりをもつが、このことも内陸部ほど強い放射冷却を生じやすいことを要因としていると考えられる。

参考文献

- 1) 山田克則他：本報，16，122（1986）
- 2) 福岡義隆：環境と地学，23，（1977）
- 3) 齋木政岐他：地学概論（上），135（1963）