

窒素酸化物高濃度現象に関する研究 (I)

—— 二酸化窒素の変動と分布 ——

Studies on the Phenomenon of the highly Concentrated NO_x (I) —— Fluctuation and Distribution of Nitrogen dioxide Concentration ——

西原 幸一 瀬戸 義久 岩崎 幹男 藤岡 博文
Kouichi NISHIHARA Yoshihisa SETO Mikio IWASAKI Hirofumi FUJIOKA

冠野 禎男 増井 武彦 三好 健治
Yoshio KANNO Takehiko MASUI Kenji MIYOSHI

中讃地域における二酸化窒素濃度は、春～梅雨期に高濃度となり、沿岸部や島しょ部では顕著である。そこで、高濃度となる5～7月を調査期間とし、沿岸部や島しょ部を中心に、濃度分布及び気象について調査を行った。

その結果、調査期間中、海に近接する観測局は内陸の観測局に比べ風速が弱くなっており、また、濃度と風速には負の相関が見られ、島しょ部ではこの傾向が顕著であった。

また、この期間の弱風時には、冷たい地表面や海水により気温の接地逆転層が形成されたものと考えられたが、海水は地面より温まりにくいいため、沿岸部や島しょ部に強い接地逆転層が形成され、沿岸部や島しょ部に高濃度現象が生じたものと考えられた。

濃度の分布についても調査したが、発生源を特定することはできなかった。

はじめに

本県の環境観測局では二酸化窒素に係る環境基準を達成しているが、0.04～0.06ppmのゾーン内となっている観測局もあり、濃度は横ばいの状態が続いている。高濃度現象は冬期に起こりやすいことが知られているが、本県ではこの時期以外に、春から梅雨期にかけて高濃度が発生しており、ことに沿岸部や島しょ部で顕著である。

そこで、高濃度現象の発生原因を究明し、汚染の防止対策の資料とするため、中讃地域において調査を実施した。

本報告では、常時観測局の測定値を用いた年間の変動及び5～7月に実施した特別観測地点の測定値を含めた変動と分布を解析したので、その結果を報告する。

調査方法

1. 調査期間

特別観測地点 平成3年5月16日～7月17日

常時観測局 昭和62年4月～平成4年3月

2. 調査地点

特別観測地点12地点及び常時観測局12局で、図1に示した。また、海岸からの距離により、1km以下、1～2

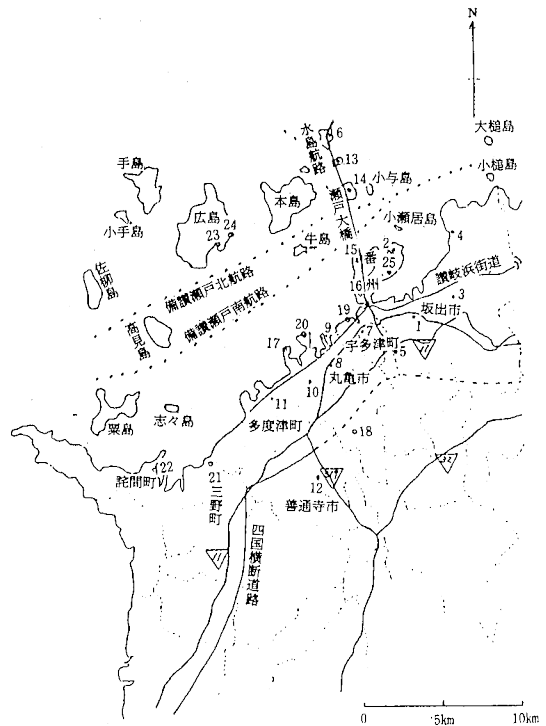


図1 調査地点位置図

km, 2 km以上の3地域に分類し, 表1に示した。

3. 調査項目及び測定方法

調査項目及び測定方法は, 表1及び表2のとおりである。また, 高松地方気象台, 多度津測候所等の気象データ²⁾も解析に用いた。

表1 調査地点及び項目

地域	地点番号	地点名	項目									
			二酸化窒素			気象関係						
			ザルツマン	化学発光	TEA	地上風	上層風	気温	上層気温			
1. 海から1km以下	2	瀬居島	○			○						
	4	相模坊神社	○			○						
	6	櫃石島	○			○			●			
	9	丸亀競艇場	○			○						
	11	多度津町役場	○			○						
	13	岩黒島	●			○					(低層ゾナ)	
	14	与島	●								(低層ゾナ)	
	15	沙弥島	●									
	16	大東川事務所	●				●					
	17	丸亀市庁センター		●			●					
	19	宇多津町六番町			●							
	20	丸亀市蓬萊町			●							
	21	三野町東久保谷			●							
	22	詫間町塩生			●							
	23	丸亀市丸島町立石			●		●					
	24	丸亀市丸島町立石			●							
	25	四電									(高度95m) (高度90-100)50-195m)	
	2. 海から1~2km	1	坂出市役所	○			○					
		3	林田出張所	○			○					
		7	宇多津町役場	○			○					
		8	丸亀市役所	○			○					
		10	城坤小学校	○			○					
		5	川津	○			○					
		12	善通寺市役所	○			○					
		18	郡家公民館		●							

注) ○は常時監視項目, ●は特別観測項目

結果及び考察

1. 中讃地域における二酸化窒素の季節変動

中讃地域の常時観測局12局の最近5年間(昭和62年4

月~平成4年3月)の測定値を用いて, 表1の地域別に季節変動を調査し, 表3及び図2に示した。

全観測局を平均すると, 二酸化窒素濃度は, 春から梅雨期(3~6月)に高くなり, 夏から秋(8~10月)に低くなっており, 地域別の季節変動は, 全観測局の変動とほぼ同様の傾向を示した。地域毎の傾向は, 海に近接した地域が他の地域に比べて4~8月に高く, 10~1月に低くなっていた。冬期の高濃度は, 気温の接地逆転に起因するということが知られているが, 海に近接した地域は, 冬期には接地逆転層が形成されにくいため, 内陸部に比べ低濃度となっているものと推定された。

表2 測定方法

項目名	測定方法	測定周期
二酸化窒素	ザルツマン法自動測定機による方法	連続24時間
	化学発光法自動測定機による方法	連続24時間
	トリエタノールアミン浮紙による吸着方法	約1週間毎
地上風	光パルス式風車型風向風速計	連続24時間
上層風	光パルス式風車型風向風速計 パイロットバルーン	連続24時間 3時間毎1日間
気温	白金抵抗温度計	連続24時間
上層気温	白金抵抗温度計 低層ラジオゾンデ	連続24時間 6時間毎1日間

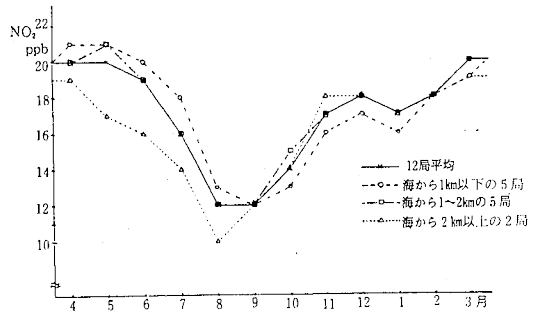


図2 二酸化窒素の最近5年間の月別平均値

表3 二酸化窒素の最近5年間の月別平均値

(単位: ppb)

	1. 海から1km以下						2. 海から1~2km					3. 海から2km以上			全観測局平均	地域別の順位	
	瀬居島	相模坊神社	櫃石島	丸亀競艇場	多度津町役場	平均	坂出市役所	林田出張所	宇多津町役場	丸亀市役所	城坤小学校	平均	川津	善通寺市役所			平均
4月	20	15	24	24	23	21	19	17	21	25	19	20	22	16	19	20	1>2>3
5月	20	14	24	24	21	21	20	16	19	26	18	20	20	13	17	20	1>2>3
6月	20	13	26	23	20	20	20	16	18	23	16	19	19	13	16	19	1>2>3
7月	18	12	22	20	17	18	17	13	14	20	15	16	16	11	14	16	1>2>3
8月	13	11	14	14	12	13	12	11	10	15	10	12	12	8	10	12	1>2>3
9月	12	9	12	15	12	12	14	11	11	14	10	12	13	10	12	12	1=2>3
10月	13	9	12	17	16	13	17	14	14	15	13	15	15	13	14	14	2>3>1
11月	16	12	15	19	18	16	19	17	16	17	16	17	19	16	18	17	3>2>1
12月	18	14	18	19	18	17	19	18	19	20	15	18	19	16	18	18	2>3>1
1月	17	13	16	18	17	16	17	17	17	18	15	17	18	16	17	17	3>2>1
2月	18	14	18	19	19	18	17	18	17	20	16	18	19	16	18	18	1=2=3
3月	20	16	17	22	21	19	20	19	20	23	19	20	22	16	19	20	2>1>3
年間値	17	13	18	20	18	17	18	16	17	20	15	17	18	14	16	17	1=2>3

注) 櫃石島は昭和63年4月~平成4年3月の4年間の平均である

一方、中讃地域における窒素酸化物の主な発生源は工場、自動車、船舶¹⁾であるが、季節による汚染物質排出量の変動はそれほどないものと推定される。このため、春から梅雨期(3~6月)の高濃度は他期間との気象状態の違いによるものと考えられた。

そこで、最近5年間の風速及び気温の季節変動を調査し、表4及び図3~図7に示した。全観測局の風速を平均すると、冬期に強く夏期に弱くなっていた。風速は風向風速計の設置位置や周囲の状況で異なるため、そのまま地域別の比較をすることはできないが、参考までに海から1km以下の地域と2km以上の地域を比較すると、

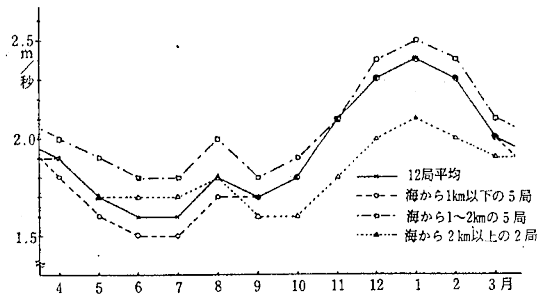


図3 風速の最近5年間の月別平均値

表4 風速の最近5年間の月別平均値

(単位: m/秒)

	1. 海から1km以下						2. 海から1~2km					3. 海から2km以上			全測定局平均	地域別の順位	
	瀬居島	相模坊神社	檀石島	丸亀競艇場	多度津町役場	平均	坂出市役所	林田出張所	宇多津町役場	丸亀市役所	城小中学校	平均	川津	普通寺市役所			平均
4月	1.6	1.3	1.3	2.1	2.6	1.8	1.5	2.5	2.3	1.5	2.3	2.0	1.7	2.0	1.9	1.9	2>3>1
5月	1.4	1.3	1.2	1.9	2.4	1.6	1.3	2.3	2.1	1.5	2.1	1.9	1.6	1.8	1.7	1.7	2>3>1
6月	1.2	1.1	1.1	1.8	2.2	1.5	1.3	2.1	2.0	1.4	2.0	1.8	1.6	1.7	1.7	1.6	2>3>1
7月	1.3	1.0	1.1	1.9	2.3	1.5	1.3	2.2	2.1	1.5	2.0	1.8	1.6	1.8	1.7	1.6	2>3>1
8月	1.4	1.1	1.3	2.2	2.5	1.7	1.3	2.3	2.4	1.6	2.2	2.0	1.7	1.8	1.8	1.8	2>3>1
9月	1.5	1.1	1.3	2.0	2.4	1.7	1.2	2.1	2.2	1.5	2.0	1.8	1.5	1.6	1.6	1.7	2>1>3
10月	1.7	1.2	1.3	2.2	2.5	1.8	1.3	2.3	2.2	1.5	2.1	1.9	1.5	1.6	1.6	1.8	2>1>3
11月	2.0	1.5	1.4	2.5	3.1	2.1	1.2	2.7	2.6	1.6	2.6	2.1	1.7	1.9	1.8	2.1	2>1>3
12月	2.2	1.7	1.6	2.6	3.4	2.3	1.3	3.0	2.9	1.8	2.9	2.4	1.8	2.1	2.0	2.3	2>1>3
1月	2.4	1.8	1.6	2.6	3.6	2.4	1.4	3.0	3.1	1.9	3.1	2.5	1.9	2.2	2.1	2.4	2>1>3
2月	2.2	1.7	1.5	2.5	3.4	2.3	1.6	2.9	2.9	1.8	2.9	2.4	1.9	2.1	2.0	2.3	2>1>3
3月	1.8	1.4	1.5	2.2	2.9	2.0	1.5	2.5	2.5	1.6	2.5	2.1	1.7	2.0	1.9	2.0	2>1>3
年間値	1.7	1.3	1.3	2.2	2.8	1.9	1.4	2.5	2.4	1.6	2.4	2.1	1.7	1.9	1.8	1.9	2>1>3

注) 檀石島は昭和62年4月~平成4年3月の4年間の平均である

4~8月は海に近接した地域が弱く、11~2月は海から離れた地域が弱いことが分かった。

次に、表5に示す高松地方気象台等8地点の気温について解析した。図4~図6に四電と坂出市役所の温度差等を示したが、坂出市役所と四電(50m, 195m)では、春の温度上昇期には海から離れた坂出市役所の方が先に

高温になり、秋の温度降下期には坂出市役所が先に低温となっていた。また、四電50mは、坂出市役所に比べて2~9月に低温となり、7月には最も温度差が大きかった。四電の各高度の気温差は、4~6月に小さく、冬期に大きくなっていた。

表5 気温の観測点の概要

	海からの距離	海抜高度	備考
高松地方気象台	約4km	9m	市街地の南部
多度津測候所	約0.3km	4m	海に近い市街地
内海 (内海町神懸浄水場)	約1.8km	52m	小豆島で島の南側
滝宮 (農業経営高校)	約12km	60m	内陸部の丘陵地
坂出市役所	約1.5km	約2m	市街地の中央
四電	約0.2km	約2m	海に半島状に出た埋立地
檀石島	約0.1km	約20m	
岩黒島	約0.1km	約10m	

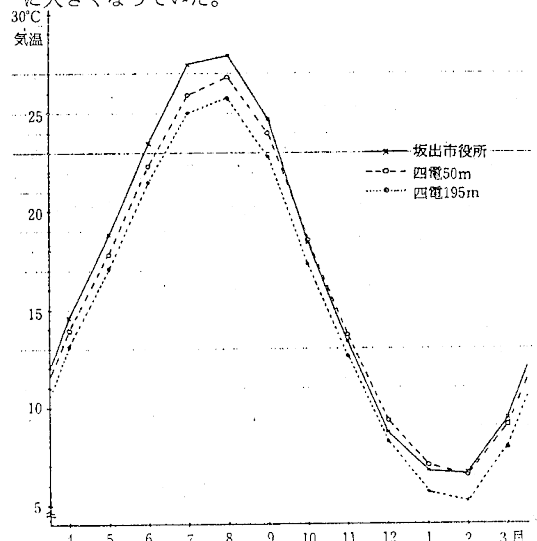


図4 気温の最近5年間の月別平均値

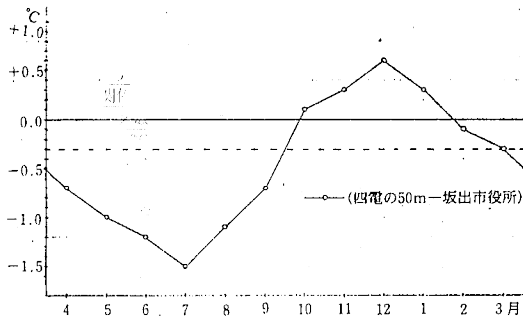


図5 坂出市役所と四電の50mの最近5年間の月別気温差

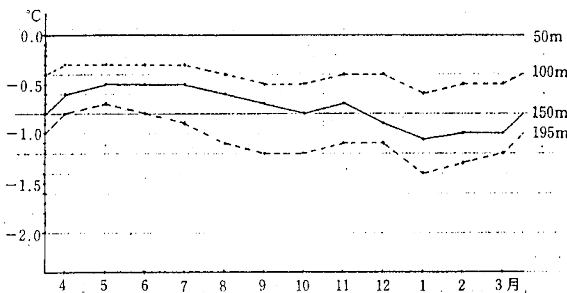


図6 四電50mと四電100m・150m・195mの最近5年間の月別気温差

また、図7に高松地方気象台と多度津測候所等4地点の月別気温差を示した。坂出市役所は高松地方気象台に

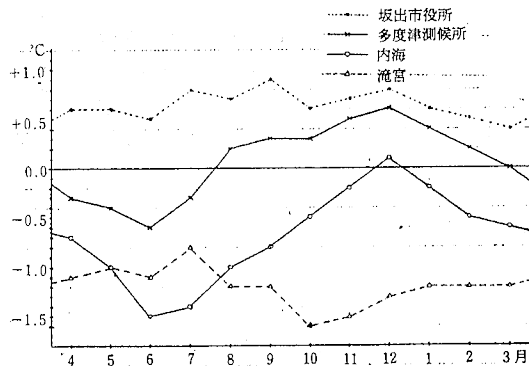


図7 高松地方気象台と多度津測候所等の最近5年間の月別気温差

比べやや高温であるがほぼ同様な変動を示し、内陸部の滝宮は高松地方気象台と同様な変動を示した。一方、海に近接した多度津測候所と島しょ部にある内海は、春～夏は低温、秋～冬は高温となる変動が見られ、海に近接した地域は、海水温度の影響により内陸部に比べ、春～梅雨期に低温となることが明らかとなった。

また、図6の四電の高度別・月別気温差から、春～梅雨期には、沿岸の低層についても冷たい海水による影響を受けていることが分かった。

これらのことから、本県における春～梅雨期の二酸化窒素の高濃度現象は、海に近接した地域で風速が弱まること及び冷たい海水により形成された接地逆転層に起因することが推定された。

2. 調査期間中の二酸化窒素濃度の変動

春～梅雨期に高濃度となることから、この期間に特別観測点を設置して調査した。TEAによる調査も実施したので、汙紙の交換に合わせて約1週間毎にデータを整理した。調査期間は表6のとおりであり、表7及び図8に期間毎の地域別平均濃度値を示した。

表6 調査期間の区分

月日	5月16日 5 22日	5月22日 5 30日	5月30日 5 6月5日	6月5日 5 12日	6月12日 5 19日	6月19日 5 26日	6月26日 5 7月3日	7月3日 5 10日	7月10日 5 17日
日数	6	8	6	7	7	7	7	7	7
期間	A	B	C	D	E	F	G	H	I

注) 以後、期間の表示はA～Iで表す。

表7 各期間の二酸化窒素濃度

期間	二酸化窒素の平均濃度 (ppb)			
	海から1km以下(16地点)	海から1～2km(5地点)	海から2km以上(3地点)	全地点
A	22	23	19	22
B	25	22	18	24
C	27	26	23	26
D	29	27	20	28
E	30	28	24	29
F	33	32	28	32
G	20	18	15	19
H	25	22	16	23
I	20	18	17	19
平均	26	24	20	25

注) TEAと自動測定機による測定は4地点で平行試験を行った。0.83～1.05で平均0.95であったが1として処理した。

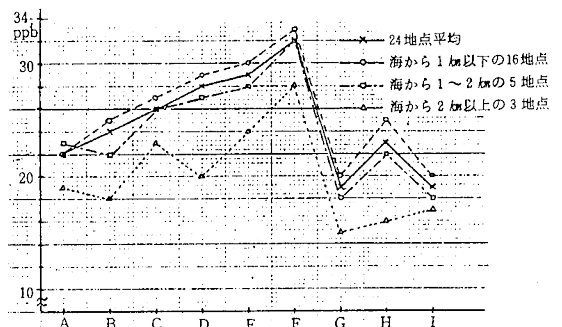


図8 二酸化窒素の変動

Fの期間に最も高濃度になり、その後急に低下した。また、Dの期間には、全地点の平均値は高濃度となっていたが、海から離れた地点では低濃度であった。高濃度は、風速が弱く気温の接地逆転時に発生するものと考えられたので、調査期間毎の風速及び気温を調査し、表8～9及び図9～11に整理した。

表8 各期間の風速

	多度津測候所風速 (m/秒)	大東川事務所		丸亀市浄化センター		広島町江ノ浦		3地点の1.5m以下の時間 (%)
		風速 (m/秒)	1.5m以下の時間 (%)	風速 (m/秒)	1.5m以下の時間 (%)	風速 (m/秒)	1.5m以下の時間 (%)	
A	2.5	1.8	47	2.8	24	2.1	44	38
B	2.0	1.4	59	2.1	35	—	—	47
C	1.8	1.2	71	2.0	53	1.1	74	66
D	1.6	1.1	76	1.4	63	0.8	83	74
E	1.6	1.2	70	1.5	60	0.9	83	71
F	1.3	1.0	83	1.3	63	0.5	95	80
G	2.0	1.4	63	2.0	39	1.8	45	49
H	2.2	1.5	64	2.3	50	1.3	72	63
I	2.1	1.4	60	1.9	39	1.6	56	51

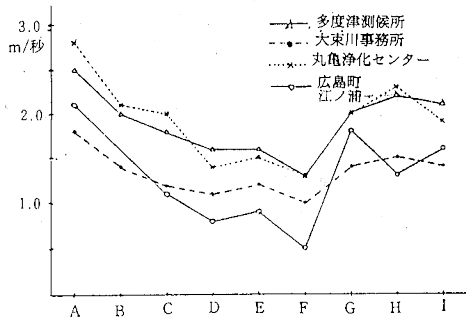


図9 風速の変動

表9 風速と二酸化窒素濃度の相関

地点	多度津測候所 (n=9)	大東川事務所 (n=9)	丸亀市浄化センター (n=9)	広島町江ノ浦 (n=8)
相関係数	-0.83	-0.75	-0.69	-0.91

この結果、風速と二酸化窒素濃度には負の相関が認められ、風速が弱い場合、高濃度となることが分かった。高濃度の期間には、島しょ部の広島町江ノ浦の風速が特に弱かったことから、この期間の海上部は、風速が弱かったことが推定された。

また、高濃度の期間には、風速が1.5m以下の時間が1日のうち16～20時間も出現しており、広島では特に顕著であった。

気温の変動は図10のとおりである。島しょ部の榎石島が低温、坂出市役所が高温となっており、気温が急に上昇したDの期間には、海水温度の影響を受けたと考えられる榎石島の上昇が少なくなっていた。

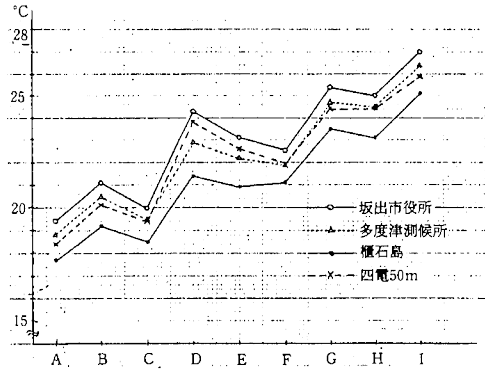


図10 気温の変動

また、図11には各期間毎の四電の各高度の気温と坂出市役所、多度津測候所、榎石島の気温を整理した。測定データのない四電の地上気温については、年間の季節変動から推定して、多度津測候所の気温に類似していると考えられたので、同測候所の気温を四電の地上気温と仮定し、破線でプロットした。

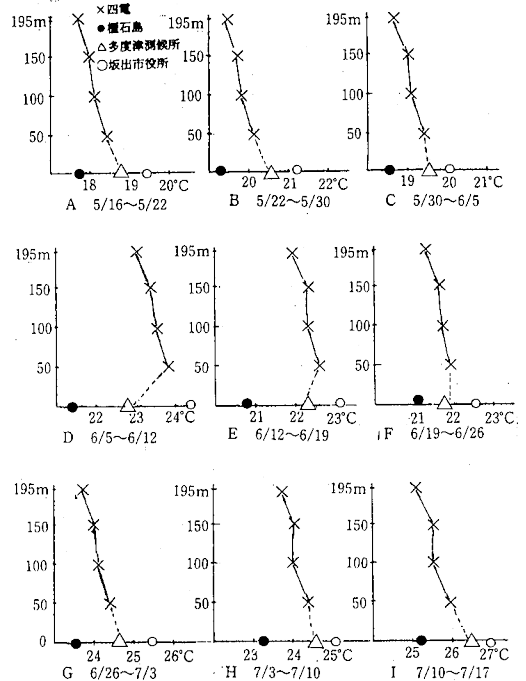


図11 気温の鉛直分布

この結果、D～Fの期間には接地逆転が生じ、CとHの期間には上層と下層の温度差が小さくなっており、二酸化窒素濃度が高くなった期間(C～F, H)と一致することから、温度と濃度との関係が推定された。

また、Bの期間は、四電の平均気温では接地逆転が生じていなかったが、5月23日、24日に行ったゾンデによる上層気温の測定結果では、図12のとおり接地逆転が午

後～夜間に発生し、朝も150m～400mの高度で逆転が生じていた。四電の測定結果では逆転が確認できなかった18時にも逆転が生じていることが分かった。

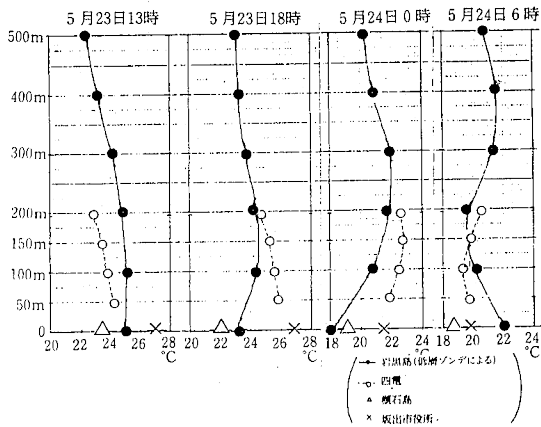


図12 5月23日～24日の気温の鉛直分布

これらの結果から、春～梅雨期の二酸化窒素の高濃度現象の原因は、地上付近で排出された汚染気塊が弱風のため水平方向の拡散が行われない上に、冷たい海水により形成された接地逆転により鉛直方向の拡散も行われにくくなるためだと考えられた。

3. 調査期間中の二酸化窒素濃度の分布

各地点の期間毎の二酸化窒素濃度の分布を図13に示した。海上の測定点がないので、高濃度の中心ははっきり

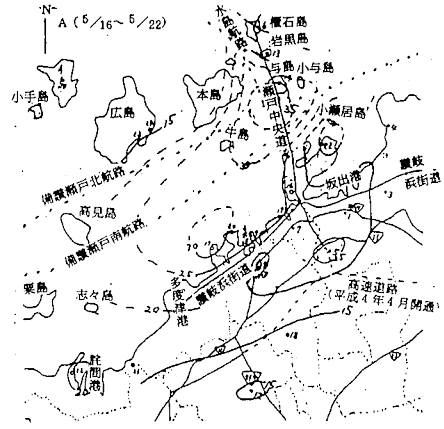


図13-1

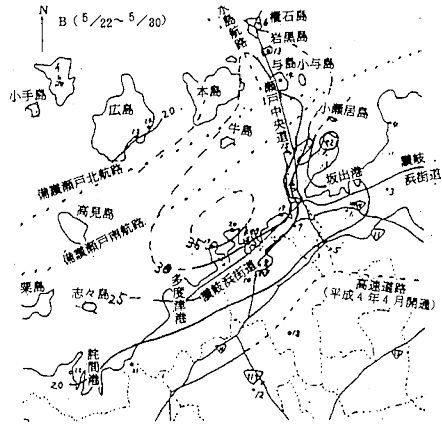


図13-2

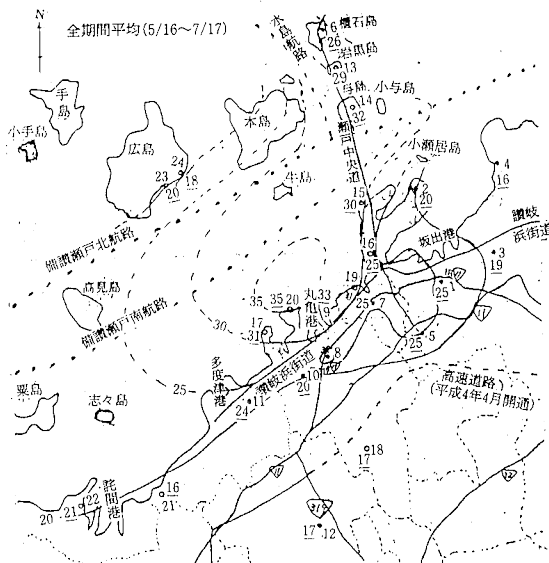


図13 NO₂ の分布図

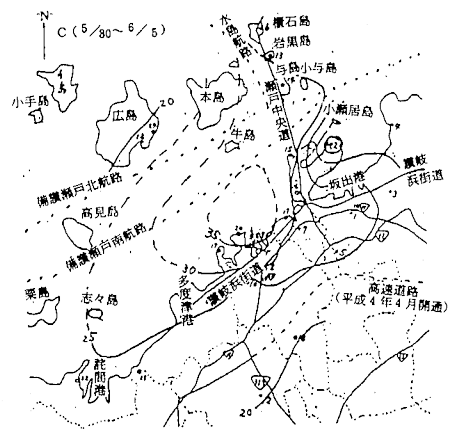


図13-3

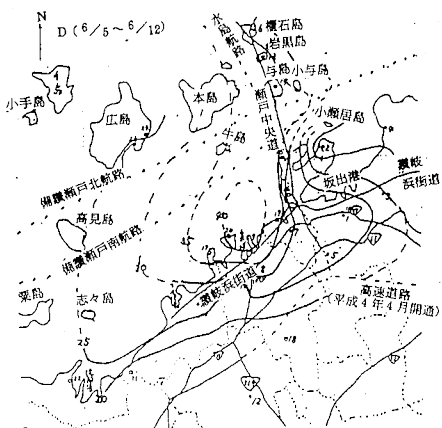


图13-4

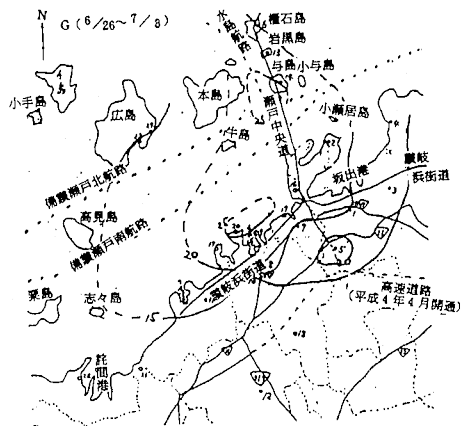


图13-7

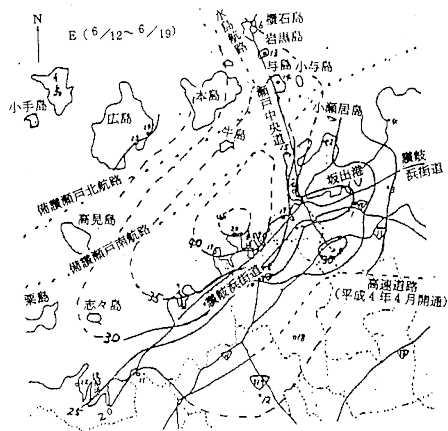


图13-5

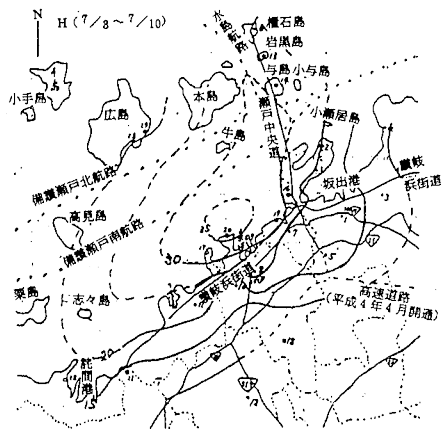


图13-8

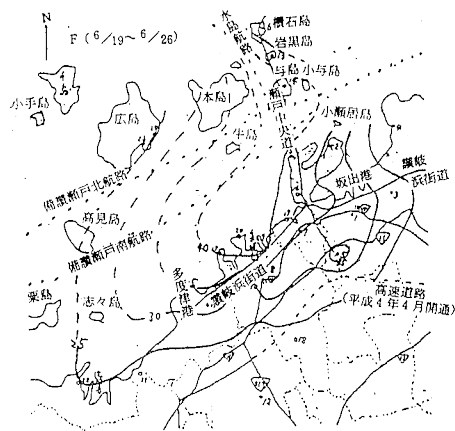


图13-6

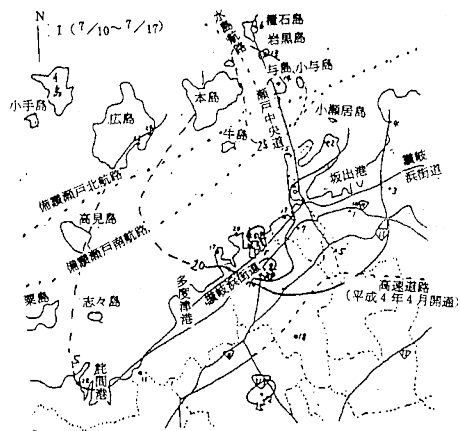


图13-9

しないが、海に近接するほど高濃度となった。また、半島状になった番ノ州の西側が高く、檜石島、岩黒島、与島では南に位置する与島が少し高くなっていた。広島は丸亀付近の沿岸部より低かったが、海から遠距離の普通寺や郡家より高かった。

発生源別では、工場・事業場からの汚染質は煙突から上空に排出されるので、接地逆転層内への影響は比較的少ないものと考えられた。沿岸部では海に近接するほど高濃度となることから、自動車からの汚染質が沿岸に蓄積され、船舶からの汚染が加わったと推定された。島しょ部では、航路に近いほど濃度が高くなる傾向にあり、船舶からの影響が推定された。また、坂出東部で比較的低濃度となったのは、丸亀付近に比べて山地が多く、道路密度が少ないことが原因と考えられた。

しかしながら、現時点ではまだ解明すべき点が多く、今後調査を継続して分布状態を詳細に調査し、原因究明を図る必要があった。

ま と め

1. 二酸化窒素濃度は、春～梅雨期に高濃度となり、特に海に近接するほど顕著であった。この期間には風速も海に近接する所で弱まる傾向にあった。
2. 風速と二酸化窒素濃度には負の相関があり、特に、島しょ部では、二酸化窒素の高濃度期間に風が弱かった。
3. 二酸化窒素の高濃度期間には、海に近接する所では気温の接地逆転が生じていたものと推定された。
4. 春～梅雨期の高濃度は、弱風時に水平拡散が行われにくい上に、冷たい海面の影響で接地逆転層が形成され、鉛直方向の拡散が抑制されたことに起因するものと考えられた。
5. 二酸化窒素の濃度分布から汚染原因を調査したところ、自動車や船舶の影響が推定されたが、現時点では不明な点が多かった。

お わ り に

この調査を実施するに際し、多大のご協力を頂いた坂出市役所、宇多津町役場、丸亀市役所、詫間町役場、岩黒小中学校、与島開発総合センター、沙弥海の家、香川県下水道公社大東川事務所、丸亀市広島支所、丸亀市浄化センター、郡家公民館、三野町河上神社の方々に深謝いたします。

文 献

- 1) 香川県環境保健部：中讃地域大気汚染予測調査報告書(1983)
- 2) 高松地方気象台：香川県気象月報(1987～1991)