

東京タワーにおける窒素酸化物の高度別変化について

早 福 正 孝 中 野 欣 嗣 山 崎 博
永 田 倫 子

1 はじめに

大気を汚染させる物質のうち、自動車排気ガスや工場の燃焼排ガス等による窒素酸化物が最近大きな問題となっている。この窒素酸化物の高度別変化を解明するために当研究所では夏季と冬季に東京タワーで調査を行なった結果、若干の知見が得られたので報告する。

また冬季調査では浮遊微粒子鉛を同時に調査し窒素酸化物との関係を調べてみた。

2 測定項目および測定地点

東京タワー（港区芝公園内）

一酸化窒素、二酸化窒素、浮遊微粒子鉛

東京タワー科学館屋上（25m）、展望台（125m）、特別展望台（225m）

3 測定日時

- (1) 夏季調査・・・1969年8月5日～8月18日の毎時調査
- (2) 冬季調査・・・1969年12月1日～12月15日の毎時調査

4 調査方法

(1) 採取方法

ア 一酸化窒素、二酸化窒素

夏季調査・・・32連式連続サンプリング装置（キモト製）を使い、10mlの吸収液に0.3ml/minの流速で1時間通気し採取。

冬季調査・・・窒素酸化物自動測定記録計（電気化学製）を使い、20mlの吸収液に0.3ml/minの流速で1時間通気し採取。

吸収液（ザルツマン捕集液）・・・1000mlのメスフラスコにスルファニル酸5gをとり、氷酢酸50mlを含

む蒸留水900mlを加え、十分ふりまぜて溶かす。

これに0.1%N(1-ナフチル)エチレンジアミン塩酸塩水溶液50mlを指示薬として加え、さらに蒸留水を加えて1,000mlにする。

一酸化窒素酸化液・・・一酸化窒素は上の吸収液のままでは発色しないので、5%過マンガン酸カリウム溶液500mlと5%硫酸500mlの混合液を通過させ酸化させてから吸収液へ通す。

イ 浮遊微粒子鉛

ハイボリウムエアースンプラーにより午前10時より翌朝10時までの24時間通気し採取。（沪紙MSA 1106BH）

(2) 分析方法

ア 一酸化窒素、二酸化窒素

1時間通気した後、薄赤色になった測定液（吸収液）を光電比色計にかけて測定する（測定波長550m μ ）。

イ 浮遊微粒子鉛

沪紙を2.5×20cmに切り、20%塩酸（精密分析用）20mlで85℃、3時間抽出を行なう。東洋沪紙No.7でデカンテーション後10ml塩酸を加え1時間加温する。これを2回くり返す。沪紙を85℃で1日間濃縮乾固し、10%塩酸を加え10mlにする。これを原子吸光分析計で分析する。

5 測定結果と考察

1969年の夏季(8月)、冬季(12月)の両季について測定したNO、NO₂、Pbの各汚染質濃度と気象要素とくに風向、風速との関係について検討を加えた。

(1) 夏季調査について

調査期間中のNO、NO₂の最高値、最低値、平均値を表1に示す。

またNOの日々変化は、25_m地点が125_m、225_m地点と

表1 夏季調査測定期間中の最高値、最低値、平均値
(単位：pphm)

	高度	最高値	最低値	平均値
一酸化窒素	25m	30.0	1.0	4.6
	125m	9.0	0.4	2.1
	225m	7.8	0.7	2.2
二酸化窒素	25m	20.0	2.0	5.5
	125m	9.6	0.5	3.5
	225m	19.0	1.1	5.1

表2 冬季調査測定期間中の最高値、最低値、平均値
(単位：pphm)

	高度	最高値	最低値	平均値
一酸化窒素	25m	50.0以上	1.0	9.2
	125m	46.0	1.0	5.9
	225m	26.0	0.0	2.5
二酸化窒素	25m	18.0	1.0	4.5
	125m	13.0	1.0	3.9
	225m	16.0	0.0	3.2

異なる変化を示し、NO₂については125m地点が他2地点より低い変動を示している。

調査期間中のうち8月9日～10日、11日～12日のNOおよびNO₂の経時変化を図1および図2に示す。

8月9日～10日(図1)のNOの変動は125mの9日18時～24時の山を除いては大して変動もない。NO₂については9日25m地点に高濃度現象を示し、10日には225m地点が他地点と比べてきわだった2山型を示している。

8月11日～12日(図2)のNOは12日の25m地点が大きな2山型を示し、山型の変化が3地点とも類似している。NO₂については11日18時に急激なピークが見られる。この両日は東京タワー上部の225m地点が25m、125mよりも高濃度を示し、中間の125mがきわだって低い濃度を示しているのが特徴的である。この濃度逆転について日射量(気象庁)との関連をみたが、関係はないようである。

調査期間中の時系列平均値の変動をみると、NOの25m地点が夜間の1山型を示しているのに対して、他の2地点はそれがはっきりしない。NOは3地点のうち225m地点の濃度が最も高かったり、25m地点の濃度が最も高か

ったりして、かなり複雑な変化を示している。

(2) 冬季調査について

調査期間中のNO、NO₂の最高値、最低値、平均値を表2に示す。

調査期間中の日々平均濃度変化はNO、NO₂ともに3地点で同じような変動を示している。全体的にNOもNO₂も高い地点ほど低濃度になっている。

調査期間中のうち12月2日～3日、9日～10日のNO、NO₂の経時変化を図3、4に示す。

12月2日のNOについて、125m地点は25m地点と同じような傾向を半日位示しているが、午後からはむしろ225m地点と同じような傾向を示している。2日～3日は全体的に25m地点の濃度が他2地点に比べて高い。NO₂についても25m地点が他地点に比べて濃度が高い。12月9日～10日のNOについては、夜間に高濃度が現われる9日と午前中高濃度がみられる10日が対照的である。NO₂については、夏と同じように(図2)、225m地点が最も高濃度で、中間の125m地点が最も低濃度である時間帯(9日17時～23時、10日8時～12時)が見られる。夏の場合と同様にこの現象も日射量(気象庁)とはあまり関連はないようである。

調査期間中の時系列平均値の変動をみると、NOは9時と21時に大きなピークがあり、12時～14時に谷となる2山型のパターンを示し、NO₂はあまり大きな変動はない。

次に浮遊微粒子鉛の調査結果から25m、125m、225m地点のNOおよびNO₂とPbとの回帰直線を引いてみると、図5、6のようになる。回帰方程式と相関係数(r)は次のとおりである。

NO(y)-Pb(x)について

$$25m地点 \quad y = 4.25x + 1.32 \quad r = 0.884 \quad n = 9$$

$$125m \quad y = 3.93x + 0.96 \quad r = 0.880 \quad n = 9$$

$$225m \quad y = 2.23x + 0.64 \quad r = 0.705 \quad n = 12$$

NO₂(y)-Pb(x)について

$$25m地点 \quad y = 1.38x + 1.47 \quad r = 0.882 \quad n = 10$$

$$125m \quad y = 0.82x + 2.67 \quad r = 0.695 \quad n = 9$$

$$225m \quad y = 2.65x + 0.87 \quad r = 0.740 \quad n = 12$$

ただし、図5、6のyの値はPbの採取時間に合わせて朝10時から翌朝10時までの24時間平均値を使っている。これからみると、NO、NO₂とPbとの関係は測定数が少ないので断定的な事は言えないが、かなり相関があると

図1 NOおよびNO₂の経時変化 (夏季)

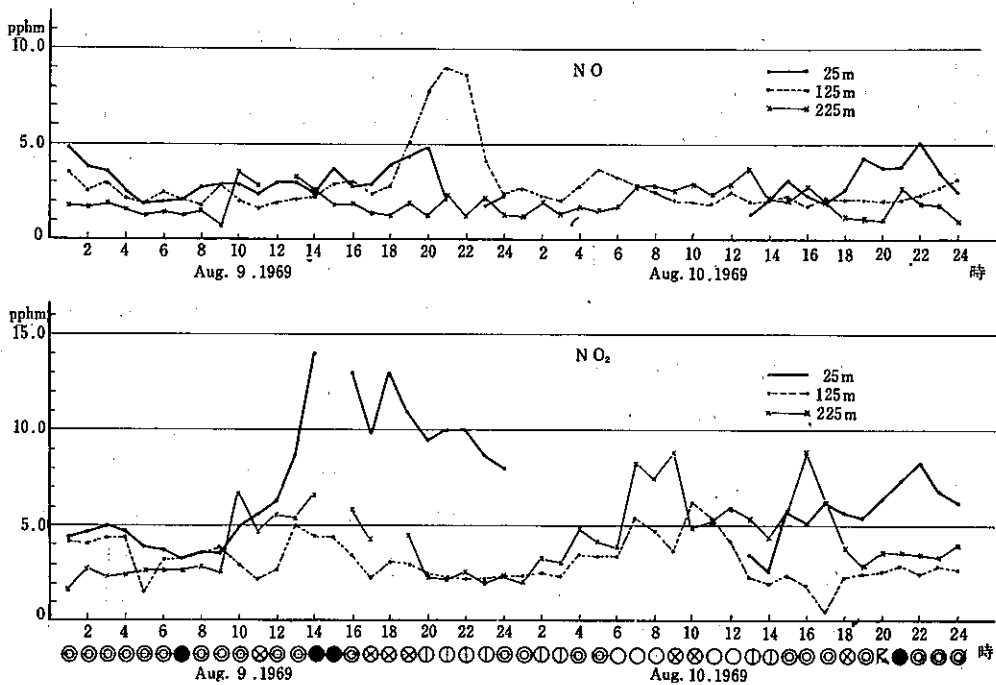


図2 NOおよびNO₂の経時変化 (夏季)

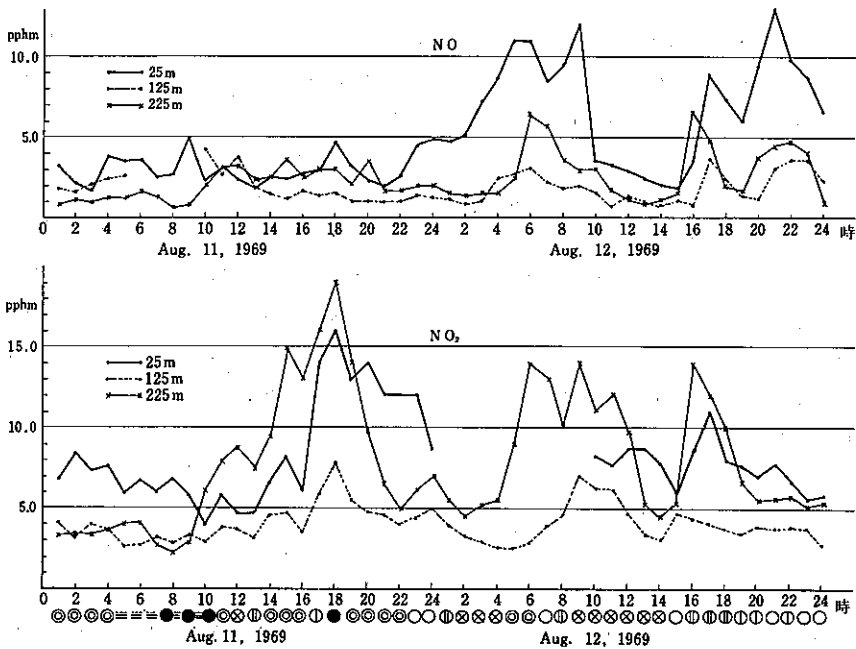


図3 NOおよびNO₂の経時変化(冬季)

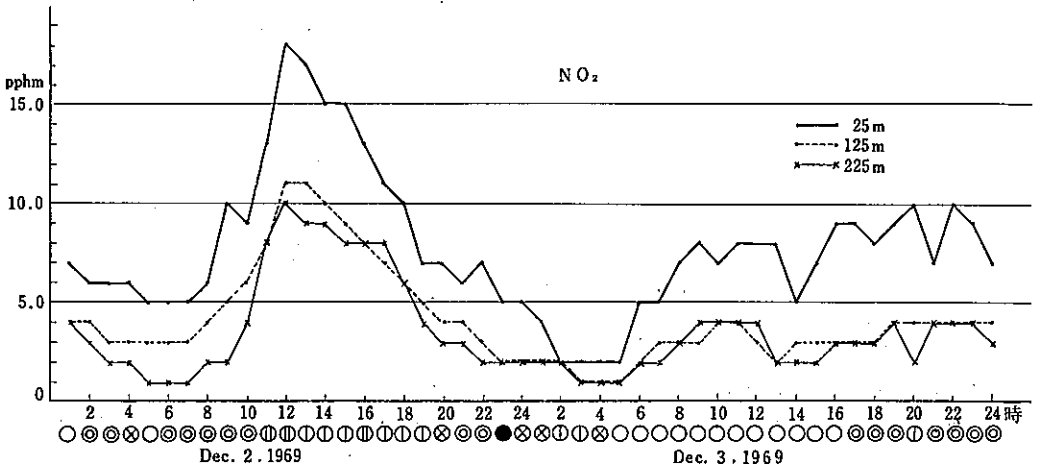
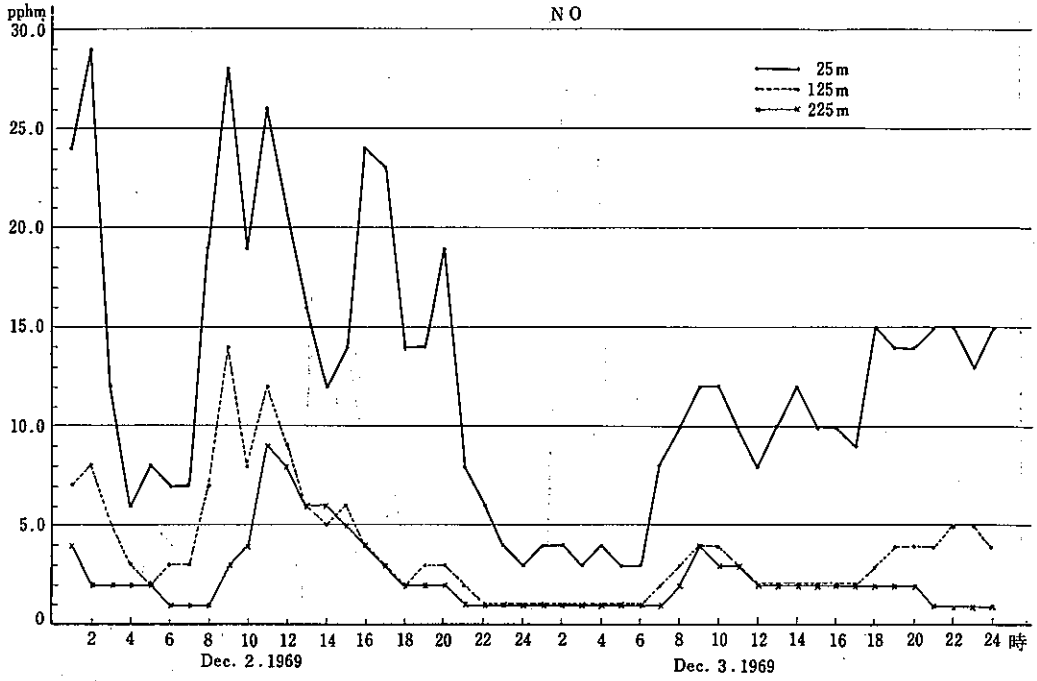


図4 NOおよびNO₂の経時変化(冬季)

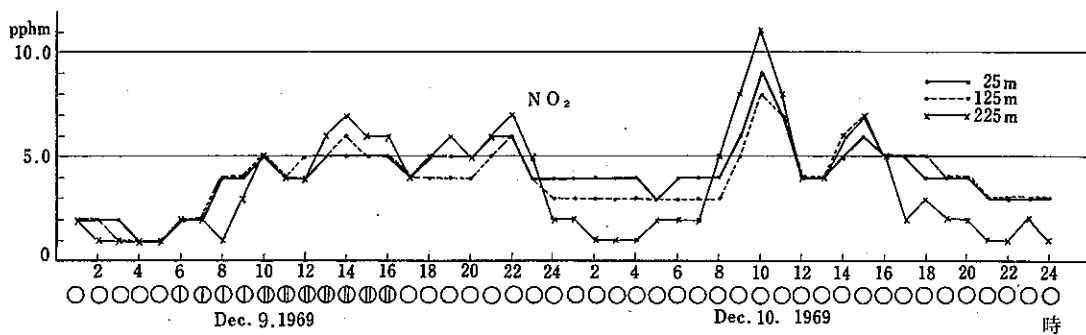
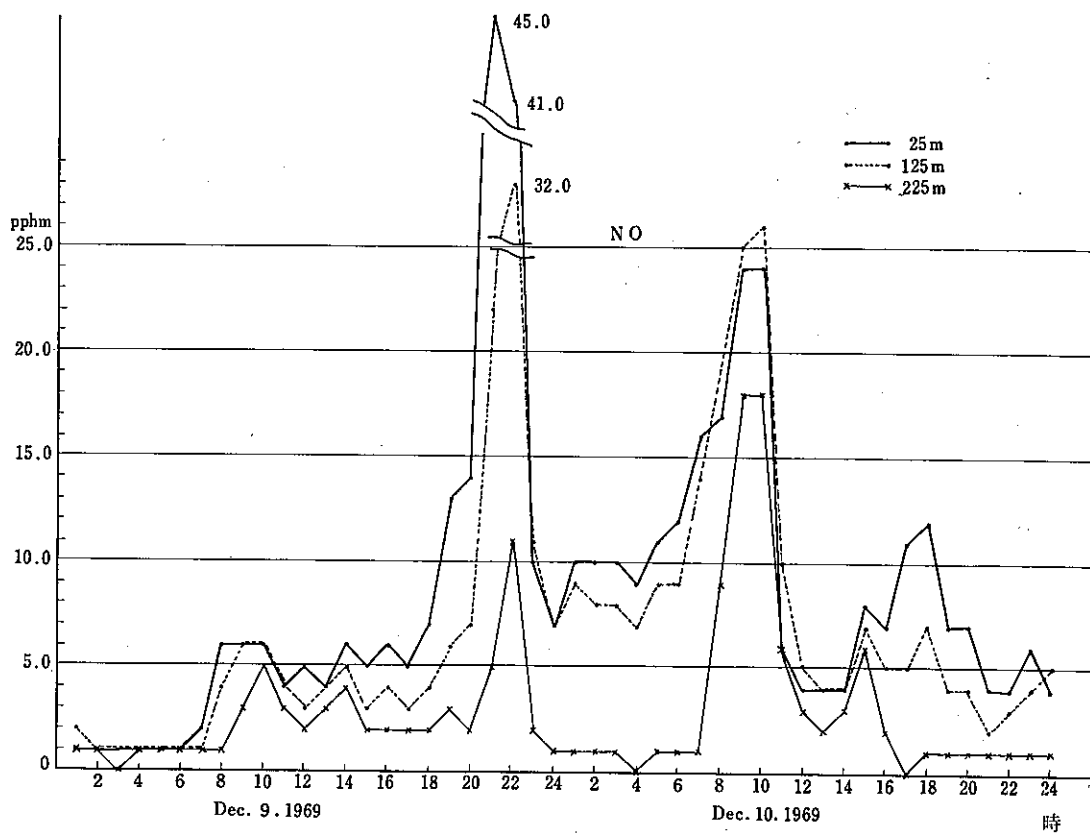


図5 NOとPbの関係 (1969年12月)

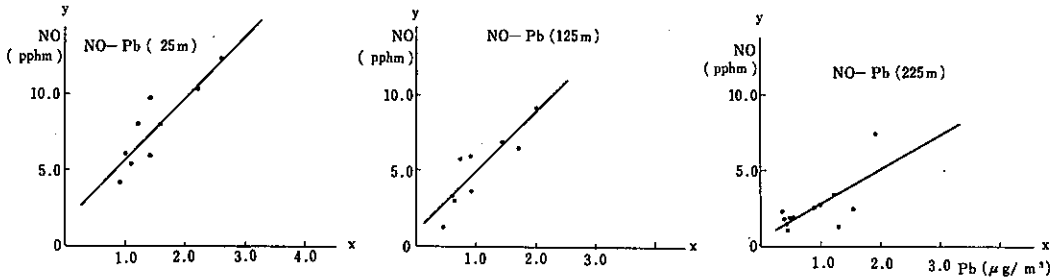
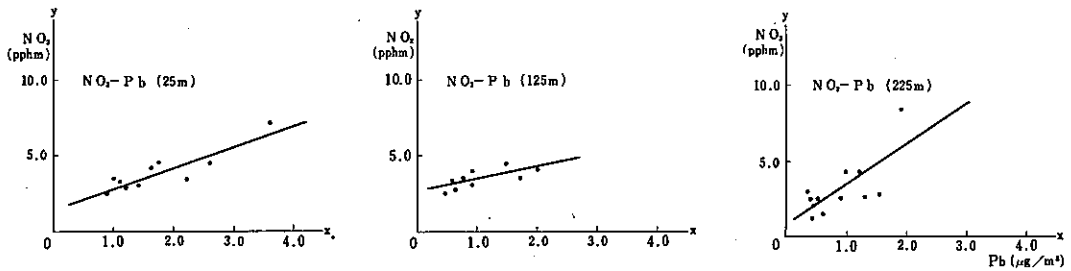


図6 NO₂とPbの関係 (1969年12月)



思われる。

(3) NO, NO₂と風向との関係

風向別のNO, NO₂濃度を高度別にみるために表3-1, 表3-2を作成した。表中右欄が0.0~5.0pphm, 左欄が5.1pphm以上のそれぞれ風向別出現回数である。測定日数が夏季, 冬季とも約2週間という短期間なので断定的なことはいえないが, 表から次のような事が注目される。ここでは主として5.1pphm以上の濃度の出現頻度を問題とする。夏季についてはN成分のNO, NO₂の5.1pphm以上の各高度における濃度の出現回数よりもS成分およびC(静穏)のときの方が多い。冬季では各高度において比較してみると夏季とちがって各風向成分にまたがっているのが認められる。

(4) NO, NO₂と風速の関係について

風速別NO, NO₂濃度を高度別にみるために表4-1, 4-2を作成した。冬季25m地点でのNO(表4-2)濃度は風速0.0~3.0m/sec(静穏~弱風)では5.1pphm以上の出現頻度が非常に多く, 特に10.1pphm以上の高濃度の出現割合は0.0~1.0m/secの風速範囲で63.9%(94回中60回), 1.1~2.0m/secで28.8%(73回中21回), 2.1~3.0m/sec

で26.9%(79回中21回)にも及んでいる。

6 まとめ

以上のことをまとめると次のようになる。

(1) 調査期間中各高度にわたって夏季ではNO₂濃度の方がNO濃度より高く, 冬季ではNO濃度の方がNO₂濃度より高い。

(2) 調査期間中各高度にわたってNO濃度は夏季より冬季の方が高く, NO₂濃度は冬季より夏季の方が高い。

(3) 冬季は高度が増すとともに, NO, NO₂濃度が低くなる傾向である。

夏季には, はっきりした濃度傾向がみられないのは気層状態が安定しないことに起因するものと思われる。

(4) 冬季調査における各高度のNO, NO₂とPbとの相関は測定数が少ないので即断できないが, かなり相関があると思われる。

(5) 風向別にNO, NO₂濃度を分類すると夏季の各高度別の5.1pphm以上の濃度出現回数はN成分よりS成分およびCのときに多く, 冬季は各風向成分に出現する傾向がある。

表 3 - 1 夏季風向別窒素酸化物濃度の出現回数

風向成分		N 成分				S 成分				C成分	
汚染度	濃度 高度	WNW~NNW		NNE~ENE		ESE~SSE		SSW~WSW		C	
		5.1 pphm 以上	0.0~5.0 pphm	5.1 pphm 以上	0.0~5.0 pphm	5.1 pphm 以上	0.0~5.0 pphm	5.1 pphm 以上	0.0~5.0 pphm	5.1 pphm 以上	0.0~5.0 pphm
NO	25 m	10	22	0	23	26	74	25	41	19	30
	125 m	1	18	3	55	1	13	3	68	2	36
	225 m	0	7	0	32	0	43	1	55	2	22
NO ₂	25 m	6	16	5	15	40	60	37	25	17	30
	125 m	2	15	3	50	5	10	21	59	8	30
	225 m	0	9	8	24	5	33	22	33	14	13

(注) 測定期間 1969年8月5日~8月18日

表 3 - 2 風向別窒素酸化物濃度の出現回数

風向成分		N 成分				S 成分				C成分	
汚染度	濃度 高度	WNW~NNW		NNE~ENE		ESE~SSE		SSW~WSW		C	
		5.1 pphm 以上	0.0~5.0 pphm	5.1 pphm 以上	0.0~5.0 pphm	5.1 pphm 以上	0.0~5.0 pphm	5.1 pphm 以上	0.0~5.0 pphm	5.1 pphm 以上	0.0~5.0 pphm
NO	25 m	79	31	13	15	14	17	29	46	24	7
	125 m	4	13	15	80	3	11	12	41	15	8
	225 m	1	15	4	50	1	26	5	72	11	20
NO ₂	25 m	23	92	6	14	10	24	25	50	11	20
	125 m	2	15	11	139	2	13	14	49	5	19
	225 m	3	13	2	51	7	20	1	68	10	4

(注) 測定期間 1969年12月1日~12月15日

(6) 風速とNOとの関連は風速が弱いときに高濃度になりやすいが、NOについては必ずしもそうとはならない。

7. おわりに

夏季と冬季の東京タワーにおける窒素酸化物の高度別

変化についての測定結果を報告すると共に、若干の解析を試みた。しかし複雑な要因が多く、十分な結果が得られなかった。今後さらに気層状態との関係を明らかにし大気中での挙動について解明してゆきたい。

表4-1 夏季風速別窒素酸化物濃度の出現回数

地点	m/s pphm	NO							合計	NO ₂						合計
		0.0 ~ 1.0	1.1 ~ 2.0	2.1 ~ 3.0	3.1 ~ 5.0	5.1 ~ 10.0	10.1 ~	0.0 ~ 1.0		1.1 ~ 2.0	2.1 ~ 3.0	3.1 ~ 5.0	5.1 ~ 10.0	10.1 ~		
25m	0.0~ 5.0	65	51	37	49	6		208	74	42	22	37	7		182	
	5.1~10.0	38	23	18	4	1		84	26	26	24	13		89		
	10.1~20.0	6	4	3	2			15	8	5	11	2	1	27		
	20.1~	3						3								
	合計	112	78	58	55	7		310	108	73	57	52	8	298		
125m	0.0~ 5.0	88	51	53	74	23		289	80	50	43	63	21		257	
	5.1~10.0	4	4	7	3			18	14	5	12	15	4	50		
	10.1~20.0															
	20.1~															
	合計	92	55	60	77	23		307	94	55	55	78	25	307		
225m	0.0~ 5.0	45	19	30	57	49		200	20	14	19	36	39		128	
	5.1~10.0	2			1	1		4	20	3	11	16	9	59		
	10.1~20.0								8	1		2	1	12		
	20.1~															
	合計	47	19	30	58	50		204	48	18	30	54	49	199		

(注) 測定期間 夏季 1969年8月5日~8月18日

表4-2 冬季風速別窒素酸化物濃度の出現回数

地点	m/s pphm	NO							合計	NO ₂						合計
		0.0 ~ 1.0	1.1 ~ 2.0	2.1 ~ 3.0	3.1 ~ 5.0	5.1 ~ 10.0	10.1 ~	0.0 ~ 1.0		0.11 ~ 2.0	2.1 ~ 3.0	3.1 ~ 5.0	5.1 ~ 10.0	10.1 ~		
25m	0.0~ 5.0	15	22	30	52	11		130	54	56	52	76	14		252	
	5.1~10.0	19	30	28	18	3		98	22	16	13	12	2	65		
	10.1~20.0	36	15	19	7	2		79	6	3	2	1		12		
	20.1~	24	6	2				32								
	合計	94	73	79	77	16		339	82	75	67	89	16	329		
125m	0.0~ 5.0	30	22	19	35	78	23	207	57	37	19	49	89	20	271	
	5.1~10.0	19	13	14	20	10		76	7	5	3	11	5	31		
	10.1~20.0	11	3	2	4	3		23	6		1			7		
	20.1~	10	1		1	1		13								
	合計	70	39	35	60	92	23	319	70	42	23	60	94	20	309	
225m	0.0~ 5.0	20	13	12	32	91	103	271	15	14	7	32	92	98	258	
	5.1~10.0	5	5	5	1	6		22	12	5	7	7	6	1	38	
	10.1~20.0	4	2	1	2			9	6	2	1		1	10		
	20.1~	3						3								
	合計	32	20	18	35	97	103	305	33	21	15	39	99	99	306	

(注) 測定期間 冬季 1969年12月1日~12月15日