

窒素酸化物高濃度汚染事例解析 — 高度別気象・窒素酸化物調査 —

宇田川 満 早 福 正 孝 伊 藤 政 志

要 旨

窒素酸化物高濃度現象を解明することを目的として、窒素酸化物の高濃度汚染の生じやすい12月上旬に、都区内4カ所を対象として、気象・汚染物質の立体調査を行った。

その結果、上層700m迄の気温及び風の立体構造は、非常に複雑な様相を呈している。気温に関しては接地逆転、移流性逆転がかなり高い頻度で出現しており、複雑な立体気温分布を示している。また、風向、風速に関しても、複雑な立体構造となっており、特に上層から下層にかけての風の交代が頻度高く観測された。

窒素酸化物の高濃度現象は、上記の気温、風の立体構造に大きく影響される。特に、気温の逆転、風の交代時に出現する弱風層によって上空200mまで高濃度が出現する。また、日中のNO、NO₂の濃度の比率からみて光化学反応の影響がかなり高いものと思われる。

1 はじめに

大気汚染物質濃度と気象条件に関しては、あらゆる角度から解析が加えられ、ほぼその全容が明らかにされつつある。しかし、二酸化窒素に関しては、環境基準未達成の地域が残されており、気象条件を考慮した精度の高い削減対策の立案には問題点が残されている。

ここでは、削減対策に必要な濃度予測モデルの精度を向上させるための資料を得ることを目的として、二酸化窒素(NO₂)の高濃度が出現しやすい都区部を対象として、気象立体構造、窒素酸化物高度別濃度分布調査を行った。調査結果から高濃度汚染日について事例解析を行ったので報告する。

2 調査方法

(1) 調査対象地点及び調査期間

調査期間は、NO₂の高濃度が出現しやすい気象条件となる12月上旬を選定した。調査場所に関しては以下に示す。

89年	東京大学地震研究所	12/4~12/15
90年	葛飾区役所	12/3~12/14
91年	渋谷区役所	12/2~12/7
92年	荒川区役所	12/14~12/18

(2) 調査内容

気象の立体調査：係留気球(テザードバルーンにゾンデを搭載して、地上の受信機によって各項目の観測データを受信した。

汚染物質立体調査：汚染物質に関しては、係留気球にテフロンパイプを取り付け、強制通風によって高所の空気を測定機に導入して分析した。

バルーンの概要、測定高度等は以下のとおりである。

(係留気球の概要)

容積	: 17立方メートル
形	: 魚体型
充填ガス	: ヘリウムガス

(気象観測項目、観測高度)

観測項目	: 風向、風速、温度、湿度、気圧
観測高度	: 0 m~700mまで50m毎

(汚染物質項目、測定高度)

測定項目	: NO、NO ₂
測定高度	: 0 m~200mまで50m毎

(調査時刻)

日中調査	: 気象、汚染物質共に通常は2時間毎
夜間調査	: 調査期間中4日間、18時~早朝6時まで3時間毎

なお、実質高度は気圧、気温から次式によって補正を

行っている。

ラプラス測高公式

$$H = 18400(1 + 0.00366 T_m)$$

$$\times \log P_0 / P \quad (\text{meter})$$

T_m = 平均気温 (地上から高さHまでの)

P_0 = 基準気圧 (地上)

P = 観測気圧

3 結果と考察

この種の調査は気象条件によって大きく左右されるため、調査期間全日の観測データを得ることは極めて困難である。各年の観測状況を表1に示す。

なお、荒川区役所での観測は、気象条件から高濃度の NO_x が出現しなかったため、解析から省いた。

表1 高度別気象・汚染物質測定日

東 京 大 学	12/4	11:00 ~ 6:15	6回
	12/6	6:00 ~ 15:00	9回
	12/7	9:00 ~ 24:00	13回
	12/11	10:00 ~ 17:00	7回
	12/13	6:00 ~ 17:00	9回
葛 飾 区 役 所	12/4	15:00 ~ 翌日1:00	7回
	12/5	7:00 ~ 16:00	10回
	12/6	9:00 ~ 翌日1:00	12回
	12/7	11:00 ~ 15:00	4回
	12/10	10:00 ~ 16:00	6回
	12/11	9:00 ~ 15:00	5回
渋 谷 区 役 所	12/2	9:00 ~ 15:00	4回
	12/3	17:00 ~ 24:00	4回
	12/4	4:00 ~ 15:00	11回
	12/5	6:00 ~ 24:00	13回
	12/6	5:00 ~ 24:00	8回
	12/16	14:00 ~ 24:00	10回
	12/17	7:00 ~ 24:00	10回

1) 1989年東京大学地震研究所

ア) 気温逆転の生成

観測期間は冬型の緩んだ暖かい日と冬型が交互に現れ

る変わり易い天気図型である。

観測可能な日は5日間であり、観測結果の概要は表2に示すとおりである。測定可能日において気温の逆転が観測された日は、4日間で、早朝の接地逆転の観測は1回、接地逆転の解消時に上層部(以下、上層部とは150m以上とする)に南成分(S成分)の風の吹き込み3回、日中に上層部へのS成分吹き込みによる気温逆転(移流性逆転)の生成1回となっている。日中S成分の吹き込みによる気温逆転は比較的高い所に出現し、その高度は150~300mである。

表2 気温の逆転および窒素酸化物の状況(東大地震研)

単位 PPb						
日	種 類	下限高さ	温度差	時 刻	NO	NO2
12/4	移流性逆転	150m	3.0	11~14	62	152
6	接地逆転	100	4.0	5~10	142	108
7	移流性逆転	500	0.0	14~24	215	70
11	移流性逆転	300	1.2	11~12	176	152
13	なし				39	65

NO、NO2はその日の最高濃度

イ) 気象条件と高度別 NO_x 濃度

NO_x の高濃度の出現した日は、気温逆転の生じた4日間であり、気温逆転が NO_x の高濃度汚染に大きく寄与しているものと思われる。気温逆転のタイプによって高度別の NO_x 汚染に特徴がみられる。

(ア) 早朝の接地逆転 12/6

接地逆転は前日19時頃から形成され、日の出から次第に高度を上げ10時には130m程度の高度となり、次第に消滅する。

早朝の接地逆転層の高度は低いため、汚染質の溜り込みによって高濃度汚染となりやすいことが予測される。

大気汚染常時測定局の測定結果によると、発生源活動の少ない早朝から、 NO_x の著しい高濃度現象かかなりの頻度で出現している。ちなみに、1989年12月では、文京区で11回、5時に最高濃度460ppmが記録されている。

東大での観測結果では、 NO_x の濃度は、かなり強い気温逆転が生じていても、発生源活動が少ない8時以前では高濃度のNO汚染は生じず、発生源活動が活発となる8時以降で NO_x の高濃度汚染が生じる例がみられた。そのときの気象条件は下層(以下、下層とは150m以下とする)は弱風となっていた。なお、同日の大気汚染常時測定局の結果も同様な傾向であった。

NO_x の汚染の主体はNOであり、逆転層の下部が高濃

度になる。典型的な例を図1、図2に示す、この例では、気温逆転がみられる120m付近が最高濃度となり、NO濃度は140ppbにまで達するが、逆転層の上ではほとんど汚染されず、気温逆転により上方拡散が完全に遮断されていることを示している。

早朝の接地逆転によるNOの高濃度汚染は、気温逆転の解消と共に上方拡散により濃度は低下する。

の汚染の状況は図3に示すように、下層では東成分（E成分）の風が吹いているが、弱風であるためNO_xの濃度は高く、時刻的にみて光化学反応の影響によってNO₂の比率が高くなっている。さらにS成分の吹き込む上層部では、それ以上の高濃度のNO₂に汚染されている。この現象は、かなり高いNO₂濃度気塊が吹き込んでくることを示唆している。従って、風上に当たる地域でのNO₂の高濃度汚染状況は、広範囲であると共にかなり高所にまで及んでいるものと推定される。

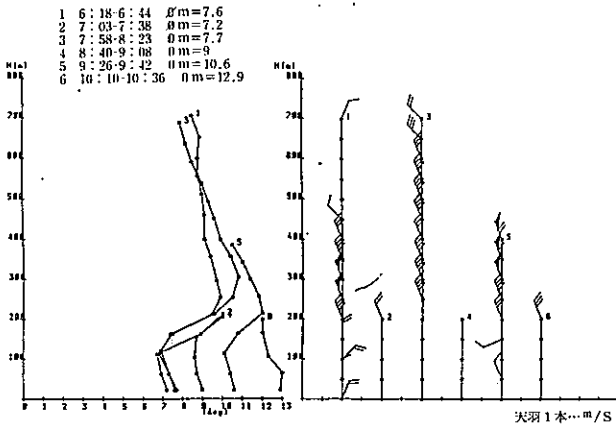


図1 気象立体構造 1989.12.6 東京大学

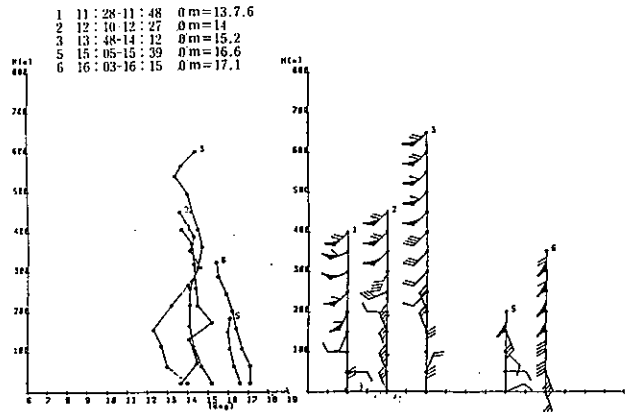


図3 気象立体構造 1989.12.4 東京大学

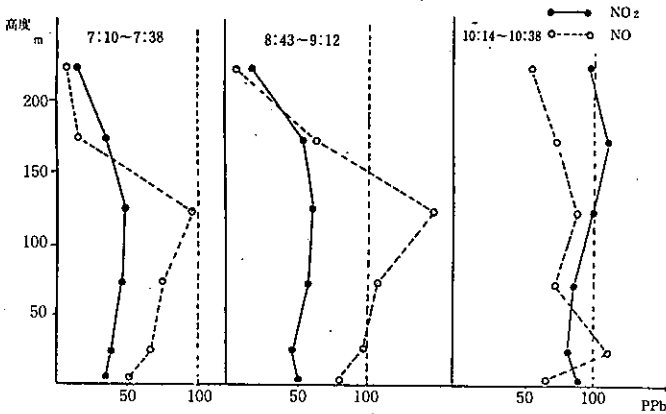


図2 NO、NO₂高度別濃度分布 1989.12.6 東京大学

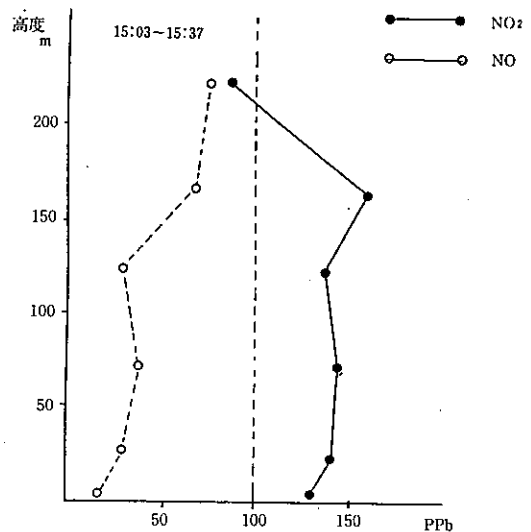


図4 NO、NO₂高度別濃度分布 1989.12.4 東京大学

(1) 移流性逆転

S成分の風の吹き込み方によってNO_xの汚染形態は異なった特徴を示す。以下に、異なった3例の特徴を示す。

① 日中にS成分の風が吹き込む場合

図3、図4に示すように、下層では北成分（N成分）の風が吹き、150m付近から上層はS成分の風の進入がみられ気温の逆転が生じている。この時の15時のNO_x

② 夜間にS成分の風の吹き込む場合 12/7

夕刻から上層部にS成分の風が入り込み、次第に下層

部にまでS成分の風が吹き込んだ例である。

このような気象条件では、下層部は弱風層となりNOの濃度は著しく高くなり200ppbを超えている。

しかし、夜間であることからNOの汚染が主体であり、NO₂濃度は比較的lowく、上層部でも昼間の場合と異なって濃度は低い。

③ 日中上層部にS成分の風が吹き込み、気温の逆転が形成された後上層部まで静穏状態となる場合12/11

このような気象条件下では、NO_x汚染にとって最悪のものであり、図5、図6に示すようにNO、NO₂とも著しい高濃度汚染を引き起した。

この汚染は、上層200mまでも減衰することなく広がっている。

汚染の内容をみると、NO、NO₂とも同程度の濃度であり、光化学反応の影響を受けて生成したNO₂と発生源からのNOの共存の状態を示していると思われる。また、この汚染状態は長時間にわたって継続していた。

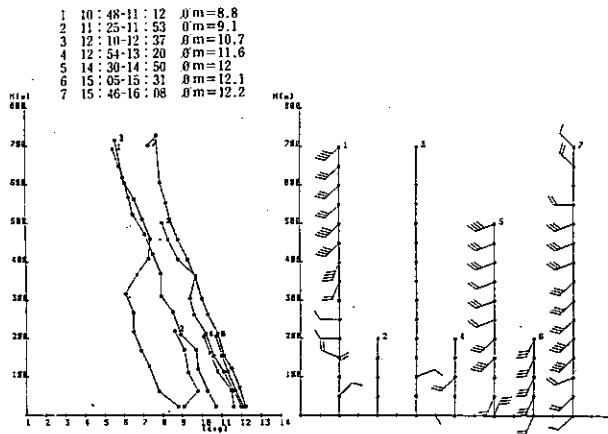


図5 気象立体構造 1989.12.11 東京大学

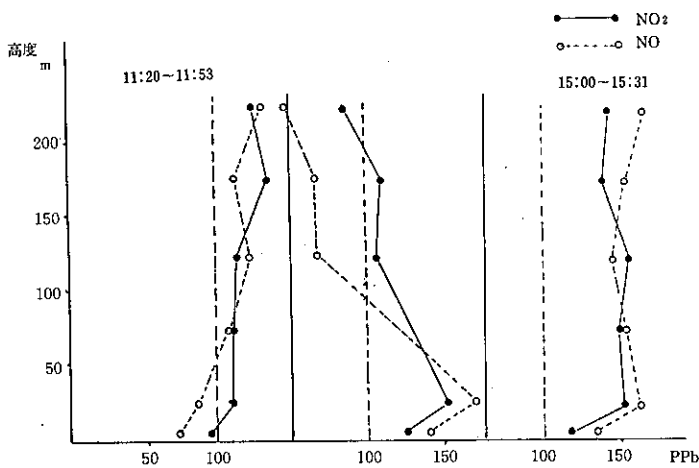


図6 NO、NO₂高度別濃度分布 1990.12.6 東京大学

2) 1990年葛飾区役所

ア) 気温逆転の生成

観測可能な日は7日間であり、観測期間の前半は帯状高気圧に覆われ暖かい陽気となっている。後に発達した低気圧が接近する気象条件である。観測可能日は表3に示すように7日間である。観測可能日において気温の逆転が観測された日は6日間で早朝の接地逆転の観測は4回、夜間の接地逆転2回。接地逆転解消後に上層部から風の交代が生じる場合2回、上層部へのE成分の風の吹き込みによる気温逆転は高所に出現し、高度は300~500mであった。

表3 気温の逆転および窒素酸化物の状況 (葛飾区役所)

単位 PPb						
日	種 類	下限高さ	濃度値	時 刻	NO	NO ₂
12/4	接地逆転	50m	0.7	21~	165	88
	移流性逆転	150	0.5	21~22		
5	接地逆転	50	3.0	9~12	260	120
6	接地逆転	150	1.5	9~10	320	180
	接地逆転	50	2.2	19~24		
7	移流性逆転	300	1.0	11~12	45	137
10	移流性逆転	300	1.6	10~15	55	120
11	接地逆転	50	1.5	9~11	360	180
	移流性逆転	400	1.0	9~12		
14	移流性逆転	100	4.0	5~12	135	60

NO、NO₂はその日の最高濃度

イ) 気象条件と高度別NO_x濃度

NO_xの高濃度気温逆転の生じた6日間であり、気温の逆転の生じない12/7日にもNO₂の高濃度が出現しており、逆に接地逆転があってもNO₂の汚染がみられない日があった。以下特徴のある日について汚染形態を示す。

(ア) 風の変化により弱風層を生じる場合 (気温逆転なし) 12/5、6、7、10

上層にE成分の風が入り込み次第に下層部にまで進入する時に、風の交代によって生じる弱風層が下層部に移動する。このような気象条件下においてNO_xの高濃度汚染が出現する例である。汚染の形態は、NO₂濃度が主役となり高度200mで120ppb程度の汚染が生じ、比較的長時間継続する。この汚染は風向からみて、汚染気塊の流入とは考えられず、弱風層の形成によるものと思われる。典型的な例を図7、図8に示す。なおこの日は夜間19時頃に接地逆転を形成し著しいNO、NO₂の汚染がみられた。

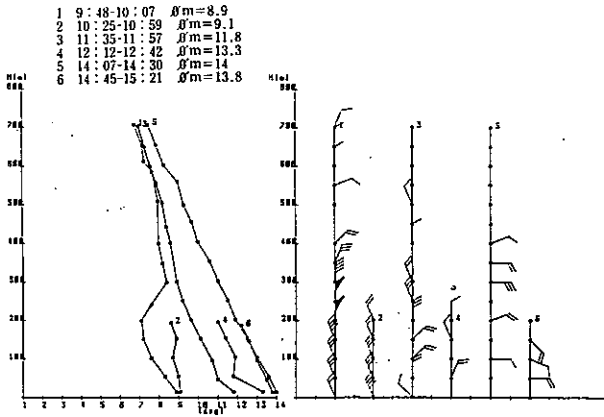


図7-1 気象立体構造 1990.12.6 葛飾区役所

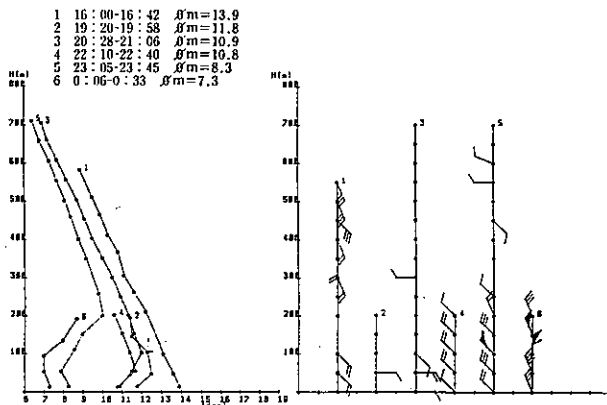


図7-2 NO、NO₂高度別濃度分布 1990.12.6 葛飾区役所

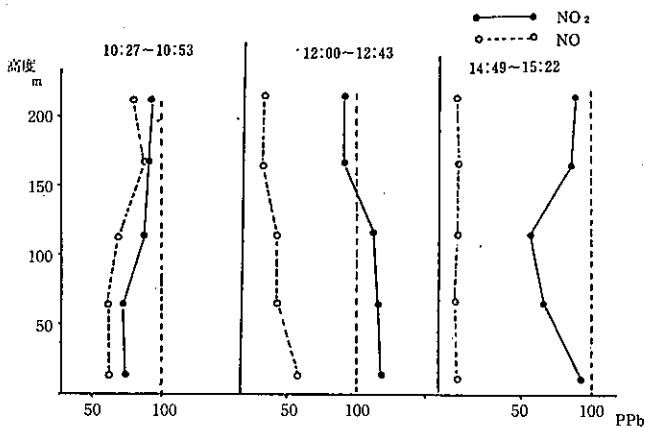


図8-1 気象立体構造 1990.12.6 葛飾区役所

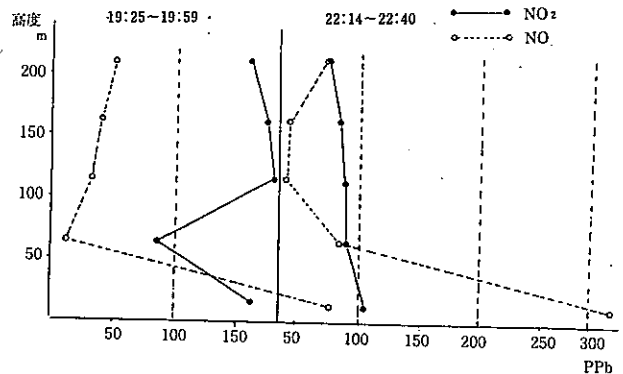


図8-2 NO、NO₂高度別濃度分布 1990.12.6 葛飾区役所

(イ) 風の変化による弱風層を生じる場合（気温逆転を伴う）12/11

100m付近の接地逆転上方にE成分の風が吹き込み、400mの付近に気温の逆転が生じる例で、気温の逆転が2重構造になっている。200m以下では風は弱いが乱れている。

接地逆転層内でNO_xが著しく高濃度となり、520ppbに達している。

汚染形態は、NOが360ppb、NO₂が180ppbでありNOの比率は高いがNO₂の濃度も高い。継続時間は短く、接地逆転が解消される12時には汚染も解消される。

(ウ) 夕刻から夜間に風の変化による弱風層を生じる場合（気温逆転あり）12/4

夕刻の16時から夜間に23時頃にかけて風の変化による弱風域を生じ、同時に接地逆転が生じた場合、100mから200mの高度に170から180ppbに達するNO₂の高濃度が観測された。この時の気象条件は、高所での気温の逆転はないが、700mまで無風の状態であった。その後北西の風が吹き次第に汚染は解消されている。

3) 1991年渋谷区役所

ア) 気温逆転の生成

観測期間は、関東地方が高気圧圏内に入り暖かい日が続いた。

観測可能な日は4日間であり、観測結果の概要は表4に示すとおりである。測定可能日において気温の逆転が観測された日は、3日間で早朝の接地逆転の観測は3回、夜間の接地逆転の1回、移流性逆転は2回である。

表4 気温の逆転および窒素酸化物の状況 (渋谷区役所)

単位 PPb						
日	種別	下限高さ	温度差	時刻	NO	NO ₂
12/2	なし				5	2.9
3	接地逆転	50m	1.2	22~	6.5	9.5
4	接地逆転	50	1.0	4~8	1.22	4.3
	移気性逆転	300	1.0	8~9		
5	なし				1.30	7.5
6	接地逆転	50	0.5	6~8	2.25	1.27
	移気性逆転	350	1.0	6~12		

NO、NO₂はその日の最高濃度

イ) 気象条件と高度別NO_x濃度

渋谷での観測期間は、12/6を除いて、極端な風の交代はなく弱風層の出現がみられないため、接地逆転時のNOの汚染が観測された程度であった。

12/6の場合について、その特徴を示す。

特徴として上げられる点は、早朝5時から接地逆転によるNOの高濃度汚染が出現している。この原因は、早朝から400m以上の上空に南西の風が吹き、気温分布は図7に示すように中立となっており、400m以下では弱風層が形成されている。この状態は11時頃迄続いている。このことから、発生源活動が少ない時間帯でも、極端な弱い弱風域が形成される場合、NOの汚染はかなり進むものと思われる。同日の周辺の大気汚染常時測定局でも同様な傾向がみられている。なお、1991年12月で早朝からNOの高濃度汚染の出現回数は渋谷測定局で6回出現している。

また、日射量の増加と共にNOとNO₂の比率は変化し、11時ごろから逆転してNO₂の高濃度汚染となることから、光化学反応によるNOの酸化率はかなり高いことも判明した。(図9、図10参照)

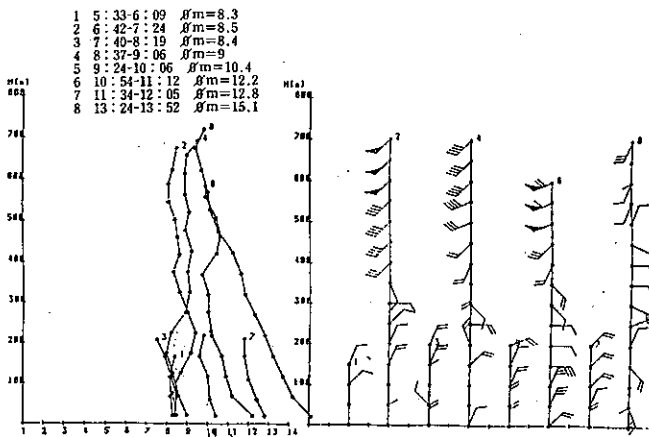


図9-1 気象立体構造 1990.12.6 渋谷区役所

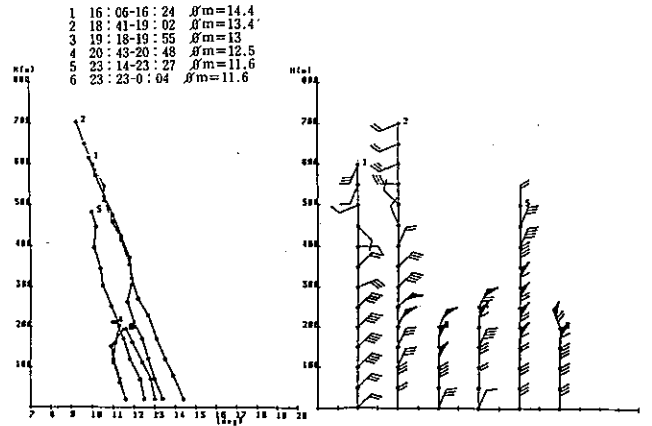


図9-2 気象立体構造 1990.12.6 渋谷区役所

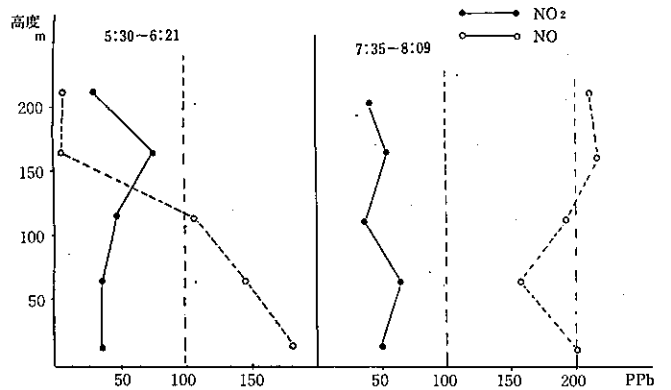


図10-1 NO、NO₂高度別濃度分布 1991.12.6 渋谷区役所

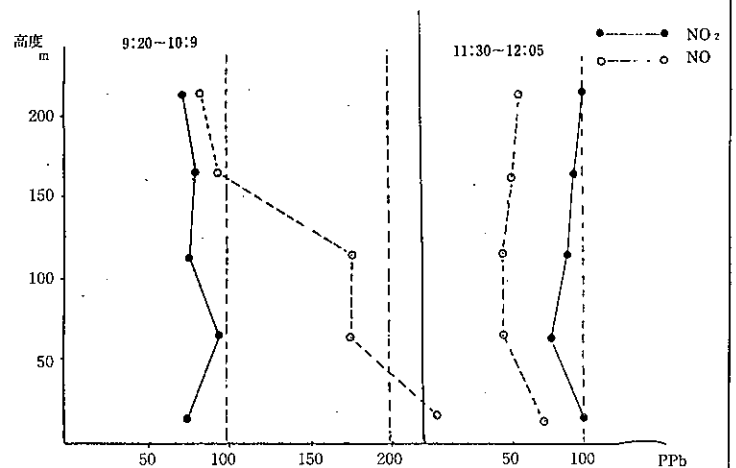


図10-2 NO、NO₂高度別濃度分布 1991.12.6 渋谷区役所

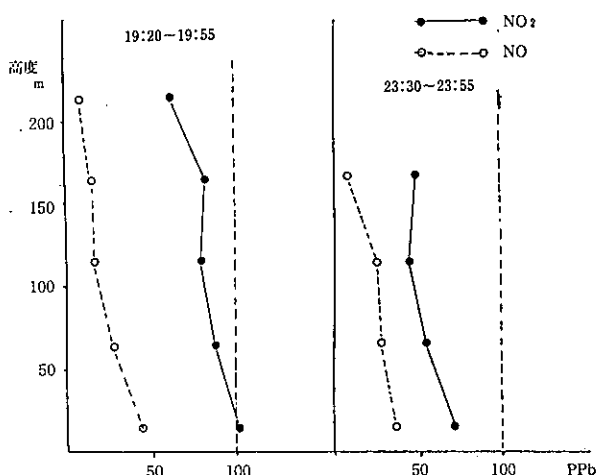


図10-3 NO、NO₂高度別濃度分布 1990.12.6 渋谷区役所

4 まとめ

気象の立体構造とNO_x高濃度現象について解析を行った結果次のことが明らかとなった。

(1) 気温の逆転が生じる要因は、放射冷却による接地逆転の他に、気温の高い気塊の吹き込み、寒冷前線からの冷たい空気の流入等の場合がある。

(2) 接地逆転の下層部のNO_xの汚染は発生源活動の状況に左右されるが、極めて風が弱く、上層が安定な時は早朝5時前からNOの濃度が高くなる。大気汚染常時測定局の結果でも、かなりの頻度で出現している。

(3) NO_xの高濃度現象は、種々の風の立体構造から生じる弱風層の生成が大きく関与している。

このような気象条件では、200m上空まで、NO₂の高濃度汚染が生じる場合が多い。

(4) 日中に高所が弱風域となった場合、NO_xの高濃度汚染は、NO₂が主体となる。このことは光化学反応が大きく関与しているものと考えられる。

(5) 上層部に高濃度の汚染気塊が吹き込むことによる、NO₂の高濃度現象から判断すると、気象条件によっては、かなり広範囲かつ、かなり上空に及ぶ汚染気塊の存在が考えられる。

以上の解析結果から、気象の立体構造は非常に複雑であり多くの要因が考えられる。これらの現象とNO_xの高濃度汚染との関連性、高所のNO₂の高濃度汚染の実態、光化学反応の寄与率等を十分把握した上で予測モデルの精度について検討を加える必要があるものと思われる。

参考文献

- 1) 日本気象協会：「天気」、31・2、(1990)
- 2) 日本気象協会：「天気」、31・2、(1991)
- 3) 日本気象協会：「天気」、36・2、(1992)
- 4) 東京都環境保全部：大気保全部大気汚染常時測定局測定結果報告 1998-1991

Analysis on NO_x High concentration Case

—Measurement of Weather of Multi Altitudes and of NO_x Concentration—

Mituru Udagawa, Masataka Soufuku
and Masashi Ito

In order to clarify the cause of NO_x high concentration, the profiles of meteorological factors and pollutants were surveyed in December when the high concentration of NO_x are sometimes observed.

According to the results, the structure of temperature and wind was very complicated in the layer between surface and altitude 700m. With respect to temperature, the surface inversion and advective inversion were observed so frequently that the profiles appeared to be complicated. Also, with respect to wind direction and velocity, alternative layers of wind were observed frequently.

NO_x high concentration condition are affected by above-mentioned vertical structure of temperature and wind. Especially, the NO_x high concentration layer from surface to 200m observed when the temperature inversion or

alternation of wind occurred.

Taking the ratio NO/NO_2 into account, due to photochemical reaction, these high concentration phenomena might occur.