

都市域におけるNO_x高濃度汚染現象の解析

—陸風前線の構造とその通過時の汚染のメカニズムについて—

(財)計量計画研究所 大原 利 眞

国立公害研究所 鶴野伊津志、若松伸司

1. はじめに

都市域において窒素酸化物 (NO_x) の高濃度汚染現象が発現するメカニズムは、未だ不明な部分が多い。一般的には、夜間の弱風・晴天で接地逆転層が発達しているときに一次汚染質が高濃度になると考えられる。しかし、沿岸地域や都市域における NO_x の高濃度出現要因については十分に説明されているとは言えず、NO₂ 濃度の環境基準達成率がいっこうに改善されない現在、このような地域における高濃度汚染発現のメカニズムを明らかにし、そこで得られた知見をもとにして有効な対策を講じることが極めて重要である。本研究では、東京都心部において NO_x 高濃度汚染現象をもたらす気象的要因の一つとして考えられる陸風前線の影響¹⁾を、野外観測で得られたデータを中心に解析する。

2. 観測の概要

観測は1983年1月27日～28日に東京都内の新宿御苑で行われた。使用した測定器は表1のとおりである。上空の気象要素観測には3種類の測定器(乱流ゾンデ、小型ゾンデ、ドップラーソーダ)を利用した。また、都市上空の大気汚染質濃度(NO、NO_x)の垂直プロファイルを測定するために、乱流ゾンデ搭載用の係留気球の係留索にテフロンパイプを取り付け、先端から吸引された環境大気を地上で測定した。さらに、O₃ 濃度を小型ゾンデに取り付けられた中性ヨウ化カリウム法による O₃ ゾンデにより測定した。一方、観測期間中の観測地点周辺における地域的な気流・汚染状況を検討するために、東京管区气象台と大気汚染測定局の測定データを併せて解析した。

3. 陸風前線の構造

図1(a)～(c)には、東京管区气象台で測定された、風速(WS)、風向(WD)、気温(T)及び、露点温度(T_d)の時間変化を示す。風速は19時過ぎから弱まり始め、20時50分頃に最小となり、風向がSWからNEに急変する。その後、

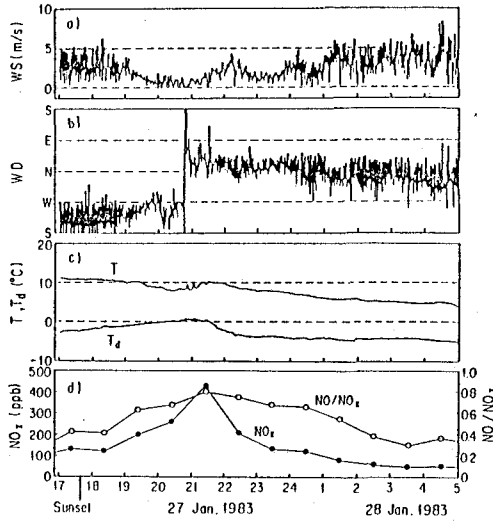


図1 (a)～(c)東京管区气象台で観測された風速(WS)、風向(WD)、気温(T)、露点温度(T_d)の変化、(d)国設東京大気汚染監視局でのNO_x、NO/NO_x比の変化

表1 新宿御苑で実施した野外観測の概要

Instrument	Observations	Method	Height
Large tethered balloon	3-D wind velocities and temperature (fluctuation) RH%	Turbulence sonde (Kaijo-Denki Co.)	0-300 m
Small tethered balloon	NO and NO _x	Chemiluminescence (Kimoto MACSAM-F)	0-300 m
	WS, WD, temperature RH%	Tethersonde (AIR Model TS-1A-1)	0-600 m
	O ₃	Oxidants sensor (AIR Ozonesonde)	0-600 m
Acoustic sounder	3-D mean wind velocity and its rms intensity	Bistatic type (XONDAR-600)	150-400 m (50m interval)

風速が増すにつれて風向は安定し、北風となる。一方、気温は20時50分以前には、風速の減少にともない徐々に下降する。そして、風向の急変後しばらくの間、 T および T_d は変動し、その後急降下する。これらのことは、低温の乾燥した空気塊(陸風)の侵入を示し、陸風前線が21時前後にこの地点を通過したことに対応している。一方、図1(d)には、本観測地点に近い一般環境大気汚染測定局における NO_x 濃度と NO/NO_x 比の1時間平均値の時間変化を示す。最高 NO_x 濃度は21時から22時の間に出現しており、この時刻は陸風前線の通過時刻にほぼ一致している。

図2には地域的な風系及び、高濃度出現メッシュ(NO_x 濃度300ppb以上)の20時から22時までの1時間毎の時間変化を示す。風系の特徴は北系の風と南系の風と間に収束帯が形成され、それが時間とともに南下していることである。また、その収束帯よりやや北側では NO_x の高濃度地域が広がっている。これらの特徴は図1で示されたものと一致し、図2の収束帯は陸風前線に相当していると考えられる。

図3には、1月27日22時付近の乱流ゾンデ、小型ゾンデ及び、ドップラーソーダにより測定された2次元風速ベクトル(南北方向と鉛直方向)の時空間変化を示す。この図から、陸風前線が通過する際の流れ構造の変化を大略的に把握することができる。即ち、図中のゾーン(III)では海風が支配的であり、これにゾーン(I)で示される陸風が地表面を這うように侵入し、その先端ではヘッドが形成される。また、ゾー

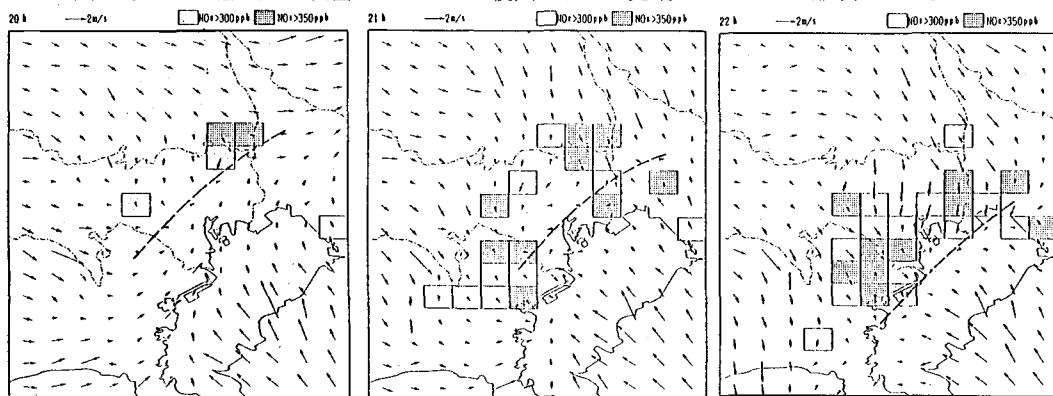


図2 地上風系と高濃度出現メッシュ(NO_x 濃度300ppb以上)の20時から22時までの1時間毎の時間変化

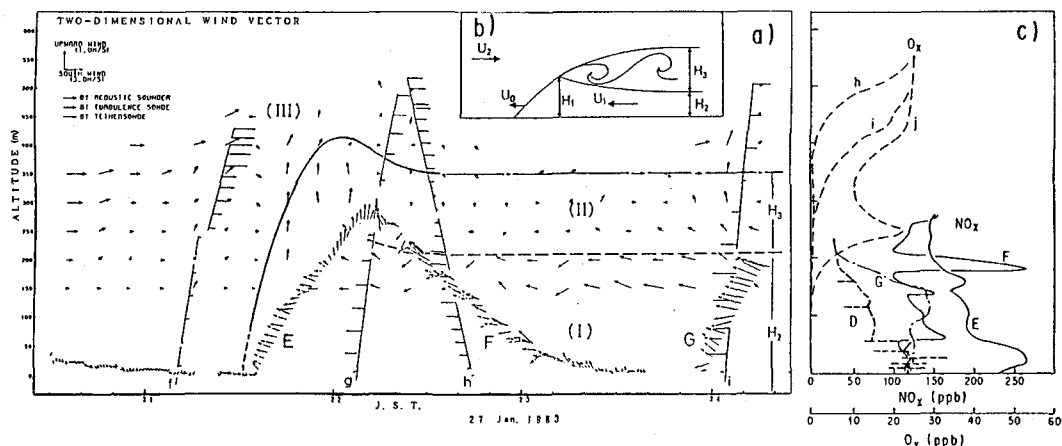


図3 (a)乱流ゾンデ、小型ゾンデ、ドップラーソーダで測定された2次元風速ベクトル(南北方向と鉛直方向)の時空間変化、(b)Simpson and Britterによる重力流の概念図、(c)汚染質の鉛直プロファイル(観測時間は乱流ゾンデ、A(1710-1722), B(1722-1844), C(1903-1927), D(1935-2115), E(2135-2210), F(2210-2332), G(2358-0024), H(0024-0205); 小形ゾンデ、f(2109-2129), g(2207-2221), h(2222-2245), i(0003-0014))

ン(II)は、ゾーン(I)と(III)の間の遷移領域である。陸風が重力流であることは Mitsumotoら² の室内実験でも示されており、背後に following flow(随伴流)を伴った重力流のヘッドは、図3(b)で示したように、先端部の強い上昇流のために頂部が膨らむとともに、流れはその後方で下降し、ヘッド内部に閉じた循環流を形成する³⁾。本観測で得られた結果はこのモデルに極めて類似している。

4. 汚染濃度プロファイルの時刻変化

図4に本観測地点での NO_x 、 NO_2 濃度の鉛直分布の時間変化を示す。陸風前線通過前後において NO_x 濃度鉛直分布は大きく変化し、前線通過前(Run C 以前)、通過直後(Run E と F が相当する)、及び、通過後(Run G 以後)の各時間ステージでは次のような特徴をもつ。即ち、前線通過前では自動車からの排出量が増大する時間帯であるが、それほど汚染濃度は高くない。また、RunCで見られるように強い安定成層のために、 NO_x は地表面近傍に抑えられている。一方、前線通過直後には、高度250m以下の全層において NO_x 濃度は著しく上昇する(Run E)。このことから、陸風前線通過時の NO_x 高濃度現象は地表付近のみでなく高度250m以上の上空にまで及んでいることがわかる。さらに時間が経過すると、逆転層高度以下では汚染濃度プロファイルが均一化される(Run G, H)。これに対して、 NO_2 濃度の鉛直変化は小さく、しかも、 NO_x 濃度の時間変化とは異なり、前線通過のかなり以前から濃度が緩やかに上昇する傾向が見受けられる。

一方、図3(c)は、前線通過前後の汚染物質濃度の鉛直分布を示す。Run DとEの NO_x 濃度分布を比較すると、全層にわたり 100~150 ppb もの濃度上昇が認められ、ヘッド全域で極めて高濃度となる。一方、ヘッドの following flow にあたるゾーン(I)では、その上端付近(高さ150m以上)を除いて、 NO_x 濃度の時間変化は小さく、100 ppb 以上の高濃度状態が2時間以上にわたり継続する。また、この層内では乱れが大きくなるために、鉛直方向の濃度変化が小さいのに対して、その上方の遷移層との境界では急激に濃度が減少する。一方、 O_x 濃度は NO が過剰に存在するために、ゾーン(I)と(II)では極めて小さい。

5. まとめ

東京都心部の冬期、夜間に出現する NO_x 高濃度汚染現象をもたらす気象的要因の一つとして考えられる陸風前線について、その流れ構造と通過時の汚染メカニズムを、野外観測データと首都圏の大気汚染測定局データを解析することにより検討した^{4,5)}。その結果、(1)陸風は、閉じた流れ構造をもつヘッド部とその後背流とからなり、その流れは重力流的であること、(2)陸風前線通過時には、地上から上空100m以上にわたり NO_x が急激に高濃度となり、その領域は陸風ヘッドにはば一致すること。一方、 NO_2 濃度の増加はそれに比べてすくないこと、(3) O_x は陸風ヘッド内では豊富な NO との反応により消費され、ほとんど存在しないが、上空では数10 ppb 程度の濃度レベルに保たれているため、ヘッドの上部境界では O_x が下向きに輸送されることが考えられること、(4)当日の最高 NO_x 濃度出現時刻は、東京都心部を中心とする南北面上で北から南に向かうに従い遅くなるが、これは陸風前線の南進に対応しているものと考えられること、等が明らかにされた。

引用文献

- 1) Fujibe, F.: J. Meteorol. Soc. Japan, 53, 226(1985).
- 2) Mitsumoto, S., Ueda, H., Ozoe, H. J. Atmos. Sci., 40, 1228(1983).
- 3) Simpson, J. E., Britter, R. E.: J. Roy. Meteorol. Soc., 106, 485(1980).
- 4) Ohara, T., Uno, I., Wakamatsu, S. J. Appl. Meteorol. 28, 693(1989).
- 5) 大原利眞、鶴野伊津志、若松伸司:大気汚染学会誌(1990).

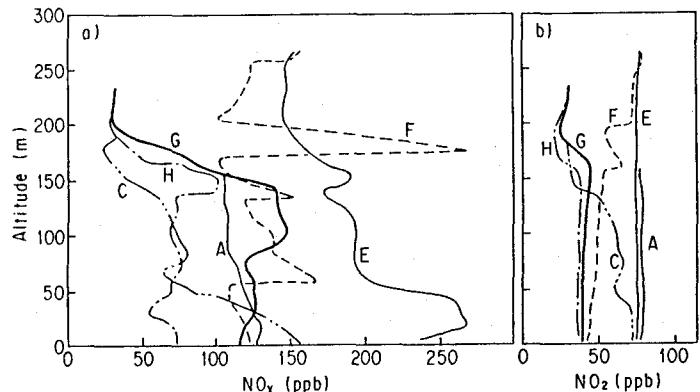


図4 観測地点での NO_x 、 NO_2 濃度の鉛直分布の時間変化