

窒素酸化物高濃度汚染事例解析 —地上風系と二酸化窒素濃度分布—

宇田川 満 伊藤 政志 早福 正孝

要 旨

窒素酸化物の高濃度汚染エリアと地上の風系との関係を明らかにするため、気象・汚染物質の立体調査を行った期間の内、窒素酸化物の高濃度汚染が生じた3例について、環境保全局大気汚染常時測定結果から、地上風系とNO₂濃度分布の特性について解析を行った。

高濃度のNO₂汚染エリアと、地上の風系との関係については、風系の交代時に出現する弱風域、風の収束場等に高濃度エリアが出現すること。海陸風の内陸部への進入の度合、海陸風の交代時刻によって、広域なNO₂高濃度汚染が出現すること。特に、海陸風、その他の要因による複雑な風系の交代は、汚染気塊の移流、吹き戻し等の現象を引き起こし、広域にわたるNO₂高濃度現象を引き起こすこと等が確認された。

1 はじめに

高度別気象・窒素酸化物調査結果から窒素酸化物高濃度汚染の事例解析を行った測定日のうち、気象条件に特徴があり、窒素酸化物の高濃度汚染日となった3日間を対象として、環境保全局の二酸化窒素(NO₂)について、環境保全局の大気汚染常時測定局の測定結果から、水平方向の気象と高濃度汚染エリアについて解析を行ったので報告する。

2 解析方法

(1) 解析対象日

- 1989年12月4日 11時～20時
- 1990年12月6日 17時～24時
- 1991年12月6日 11時～20時

(2) 使用した測定局

大気汚染常時測定局	35地点
立体測定局	1地点

(3) 使用した測定結果

- 汚染物質 : NO₂、NO
- 気象 : 風向、風速
- 立体測定局 : 高度別の気温、風向、風速
高度別のNO₂、NO

3 結果と考察

(1) 1989年12月4日

ア) 垂直方向の気象・NO₂汚染の状況

対象日の天候は、晴で大平洋上に高気圧があり、各地に暖気が入り込む暖かい日である(図1参照)。

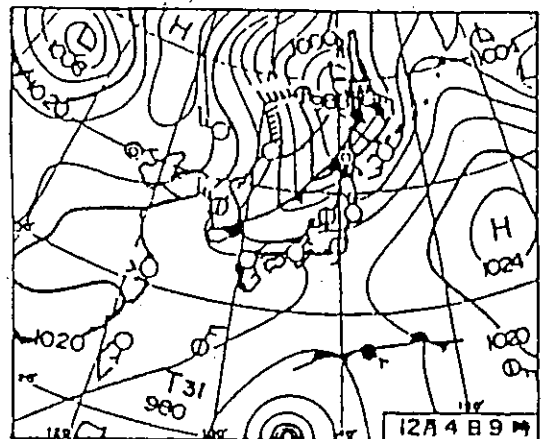


図1 天気図 1989.12.4

垂直方向の気象・NO₂の特徴は、15時に南成分(S成分)の風の吹き込みにより、NO₂の著しい高濃度汚染が出現した日である。

気象の垂直方向の状況は、東京タワーの立体観測によると、早朝から下層(25m)、中層(125m)、上層(250m)に至る高度までS成分の風が吹き、この状態が9時

まで続いている。10時に下層部にN成分の風が吹き始め、14時には上層部にまで及ぶ。しかし、15時には、上層部に再びS成分の風が入り込み、16時には、下層部もS成分の風となる。この間に下層部は弱風となっている。

S成分の風が吹くのは、わずか2時間であり、18時には再び下中層はN成分の風となり、20時以降は上層部までN成分の風となる。東京タワーでの風の模式図を図2に示す。

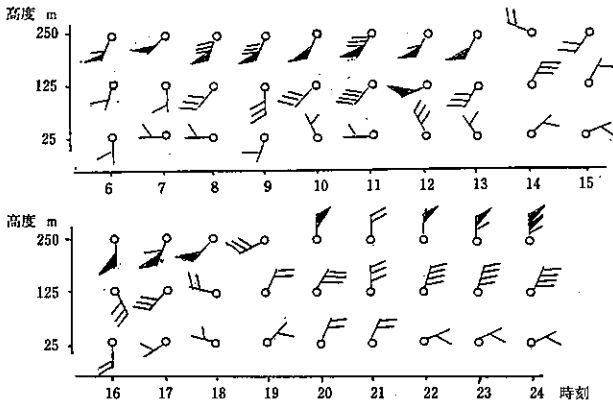


図2 風向風速立体構造 東京タワー 1989.12.4

この日は、S成分とN成分の風が交互に入れ替わる複雑な風の状態であった。

高度別の気象の観測を行った、東京大学地震研（文京区）の風の立体構造と東京タワーの風の立体構造とは、距離が近いため、よく対応している（本年報「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－図3参照）。

東大の観測結果によると、300m以上の高度では、S成分の風が強く吹いている。

気温逆転の高度では、東京タワーが169m付近であるのに対し、東大では150m付近にある。

NO₂の濃度に関しては、東京タワーの測定結果によ

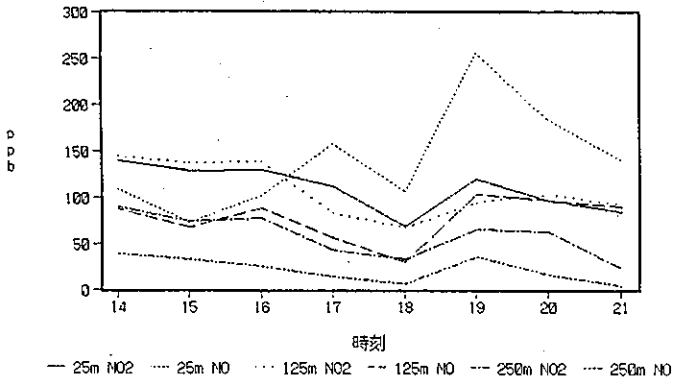


図3 高度別NO、NO₂濃度日時変化 東京タワー 1989.12.4

ると、14時から急激に高くなり、気温逆転下部の中低層部で140ppbを越える濃度が観測されている。

NO、NO₂の比率については、本年報立体調査解析で指摘したように、日中ではNO₂の比率が高くなっている。（図3参照）

同日、東大で測定した15時の高度別窒素酸化物の測定結果では、NO₂の高度別濃度分布は、東京タワーと類似しており、気温逆転の下部での濃度は、152ppbの最高濃度が出現している。

イ) 水平方向の気象・NO₂汚染の状況

上述した立体的気象条件での地上風の状況、NO₂の汚染の分布について解析を行った結果を以下に示す。

この日の地上風の特徴は、高度別と同様に非常に複雑な様相を呈している。

NO₂の汚染は10時頃から始まり、11時から急激に高濃度の汚染が起こっている。

汚染状況と地上風系を、時系列的に図示したものが図4である。

NO₂高濃度汚染エリアと風系の特徴をみると、風の収束域と高濃度のエリアが非常によく対応している。また、汚染エリアは、強まるS成分の風下側に広がる。

N成分の風が卓越する14時、15時になると、120ppbを越える高濃度汚染エリアは、風下に当たる臨海部に移動し、100ppbの汚染エリアは都区部全域に広がりを見せている。

再びS成分の風が進入する16時には、汚染気塊が吹き戻され、発生源からの汚染を付加することによって汚染濃度を増して、都区部全域が高濃度汚染となっている。

さらに、17時には、N成分の風の進入によって、再び区部の北側に収束域が形成されると、この地域を中心に広いエリアで140ppbを越える高濃度汚染が生じる。その後、高濃度汚染エリアは次第にN成分の風が強まると共に、風下に移動しながら解消するが、100ppbの汚染エリアは20時以降も都区部全域に残されている。

なお、S成分の風が進入しない市部、多摩地域では、高濃度汚染は生じていない。

このように、N成分、S成分の風が交互に吹き、収束域が形成されるような気象条件下では、S成分の風が吹き込む地域に、激しいNO₂汚染を引き起こすことが判明した。

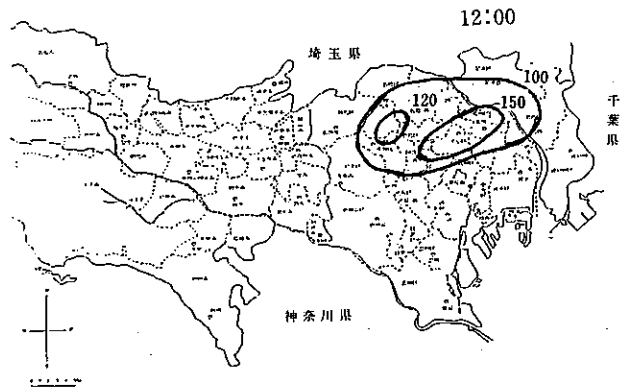
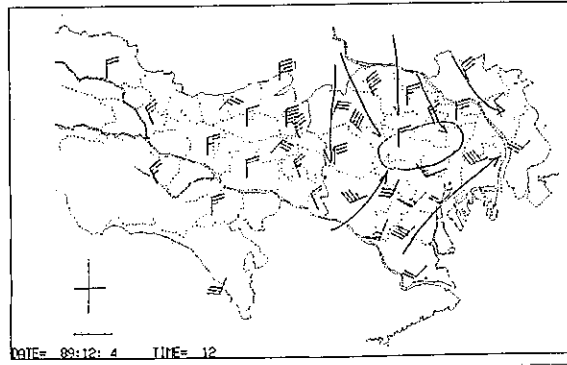
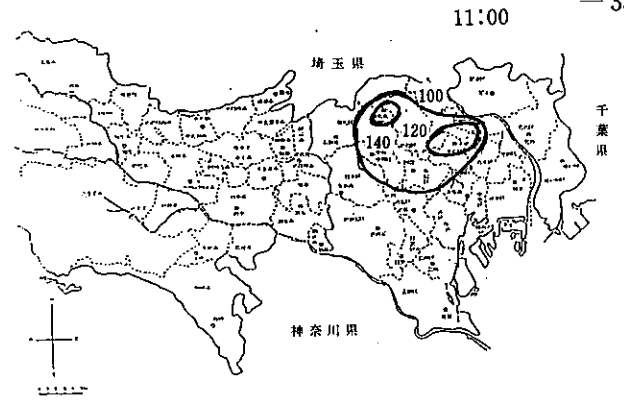
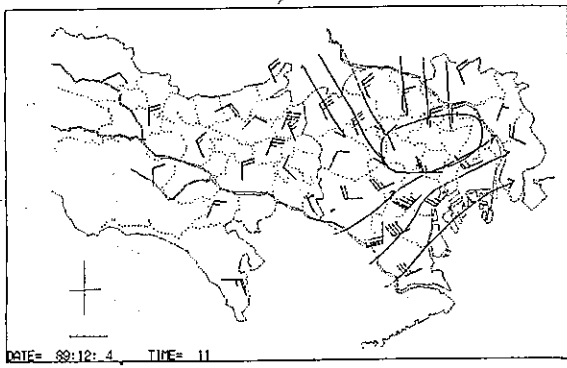


図4-1 風系とNO₂濃度分布 (1989.12.4)

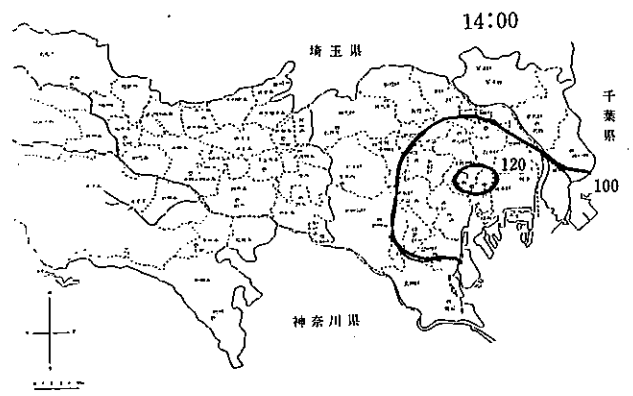
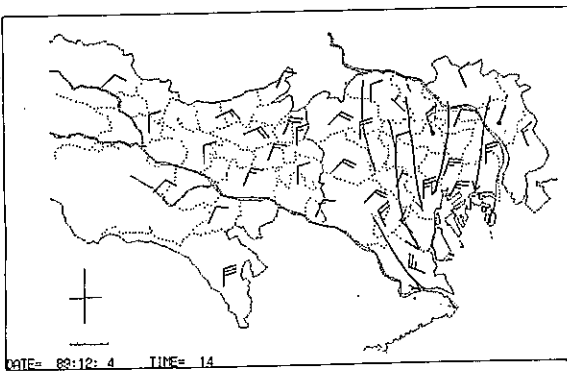
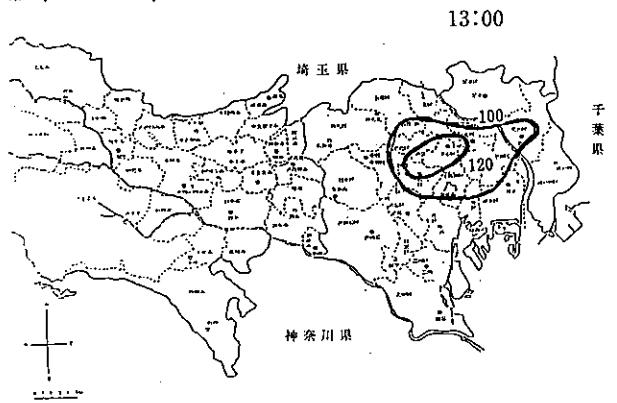
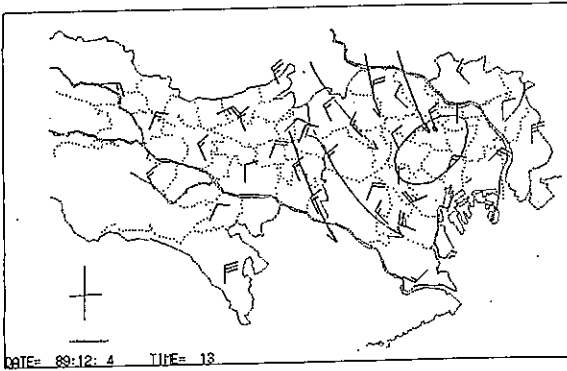


図4-2

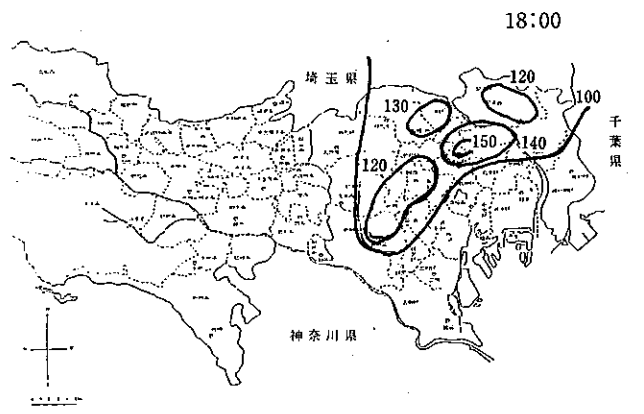
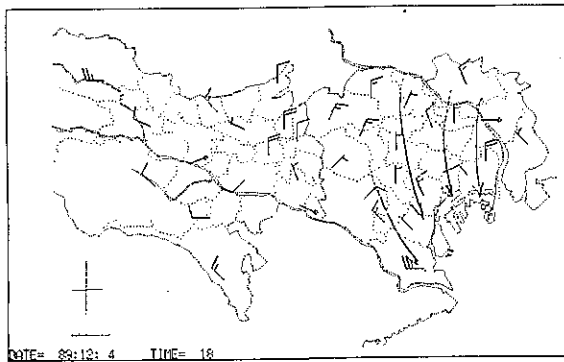
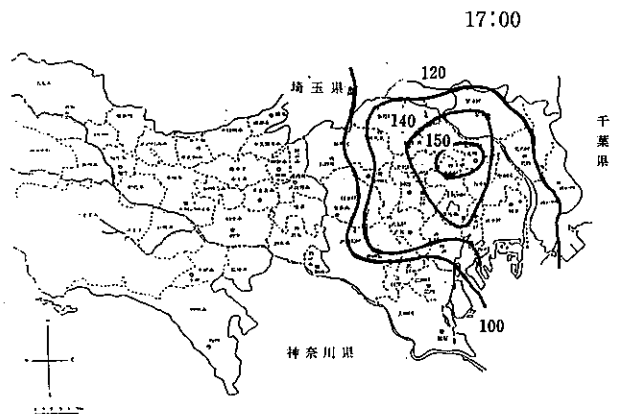
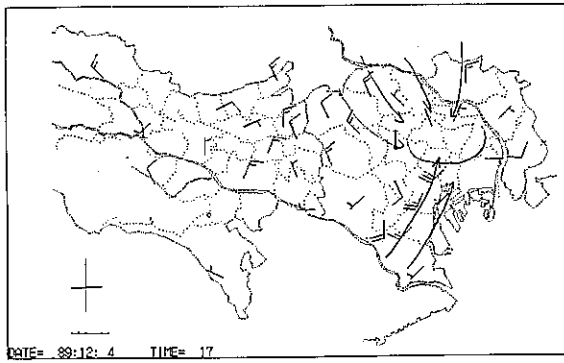
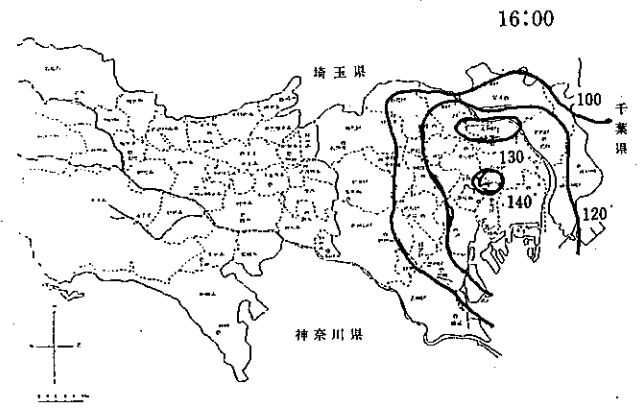
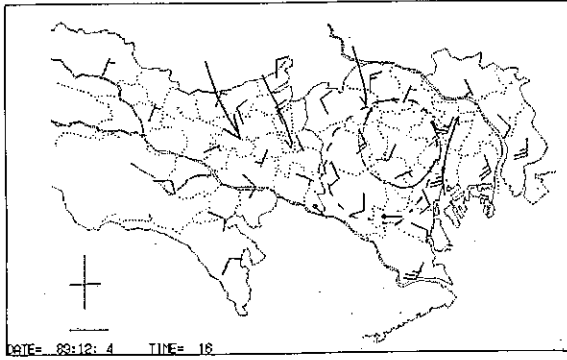
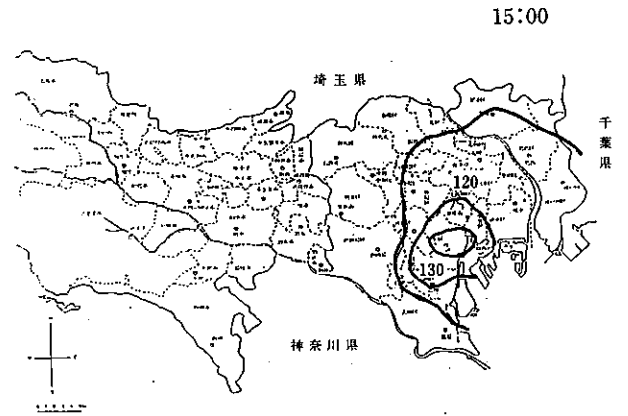
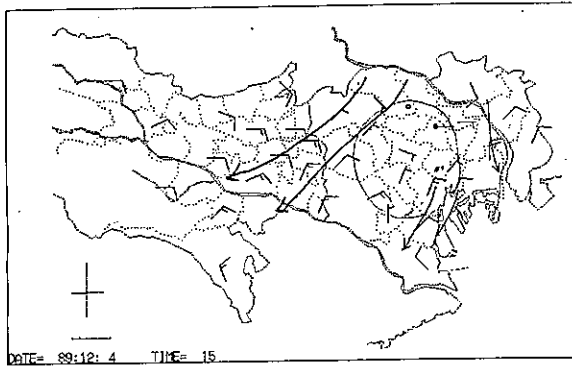


図4-3

図4-4

ppb

ppb

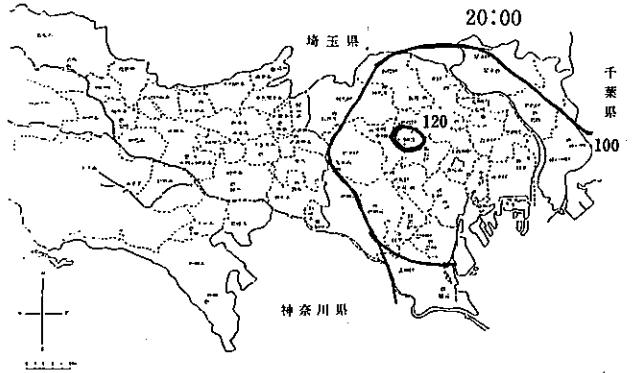
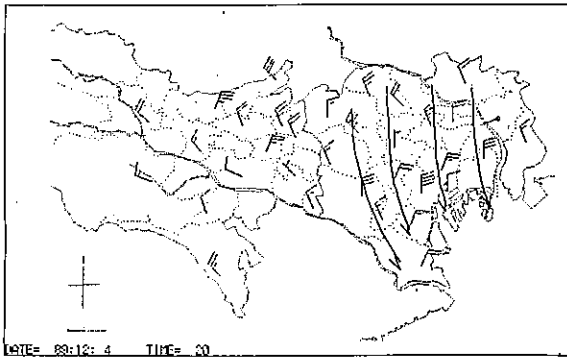
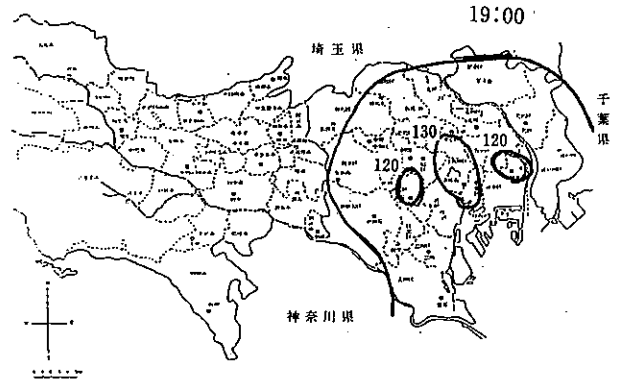
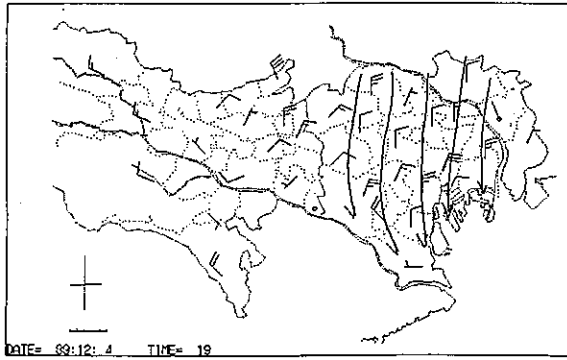


図4-5

(1) 1990年12月6日

対象日の天候は、大陸の高気圧が張り出し乾燥した晴天域となっており、気圧傾度は緩く比較的風の弱い日である(図5)。

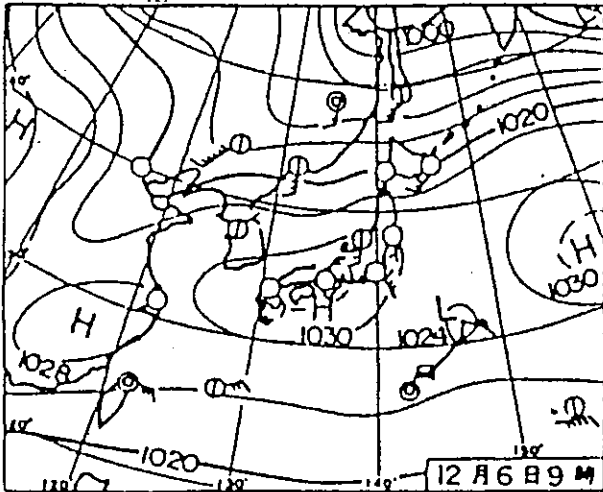


図5 天気図 1990.12.6

ア) 垂直方向の気象・NO₂汚染の状況

風の垂直方向の状態は、東京タワーの観測結果では全般に風は弱く、11時から13時に下層から250mの上層にかけて弱風となり、14時に海風が吹き始め始めている。この海風は17時頃まで吹き、19時には陸風に代わる典型的な海陸風の現われた日である(図6参照)。

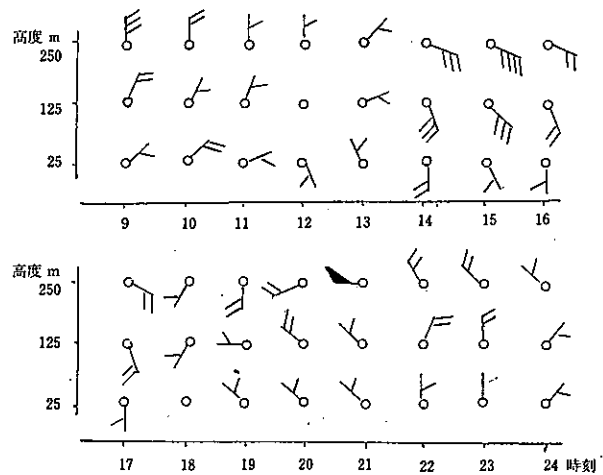


図6 風向風速立体構造 東京タワー 1990.12.6

同日、葛飾区役所で行った立体観測の結果でも、同様な傾向がみられたが、海風の進入は東京タワーより1ないし2時間遅れている(本年報高度別気象・汚染物質調査図7参照)。窒素酸化物の垂直方向の汚染状況は、図7に示すように、東京タワーでは、接地逆転の影響でNOの濃度が高くなるがすぐに解消されている。夕刻の海陸風の交代による弱風と接地逆転の形成によって、下層から中層にかけてNOの濃度が上昇し、21時には下層で200ppbを越える濃度が出現した。一方、NO₂の汚染状況は、日中の濃度は比較的低いが、夜間になると下層

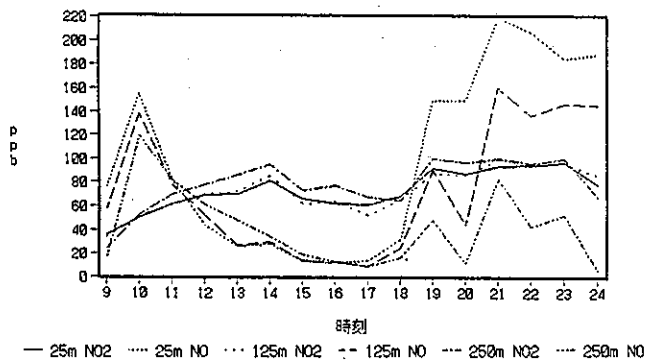


図7 高度別NO、NO₂濃度日時変化 東京タワー 1990.12.6
から上層まで100ppb程度の汚染がみられ、逆転層より上の方がやや濃度が高い傾向がみられた。

葛飾区役所での垂直方向のNO、NO₂の濃度は東京タワーと距離が離れ、発生源の状況も異なるため、かなり異なった様相を呈している。葛飾では、日中でも100ppbを越えるNO₂濃度が検出されている。また、夜間19時から23時にかけて、接地逆転下部ではNO濃度が激し

く上昇し、300ppbを越える値を示している。NO₂については、19時から20時にかけて、逆転層の上で180ppbの濃度が観測されている（本年報高度別気象・汚染物質調査図7、図8参照）。このことから、気象条件によっては、上空200m付近のNO₂の汚染は、かなり広範囲に及ぶことが考えられる。

垂直方向の汚染の傾向は、観測地点が異なっても類似しているが、濃度に関しては地域によって著しく異なる。

イ) 水平方向の気象・NO₂濃度の状況

水平方向の風の特徴は、垂直方向で観測されたように、海陸風の交代がみられ、海風は内陸部深くまで進入している。

NO₂濃度分布と風系との関係は、以下に示すとおりである。

12時頃から弱い海風が吹き込み始めるが、14時から上層部（タワーでは250m、葛飾では550m）に至るまでSEないしSSEの風が吹き込んでいた。

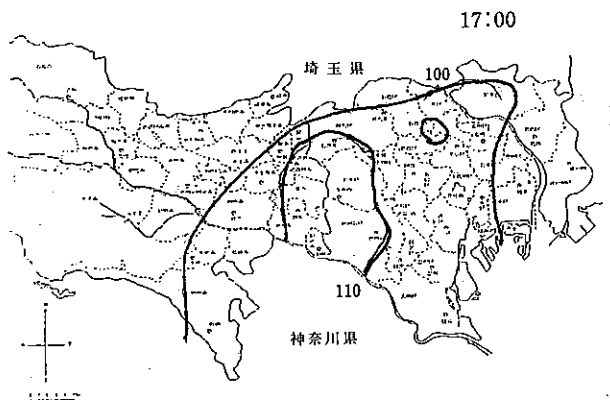
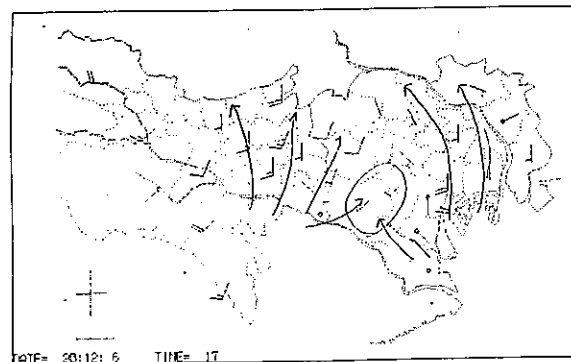
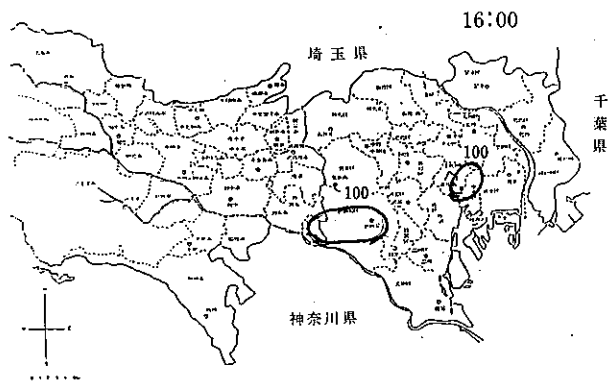
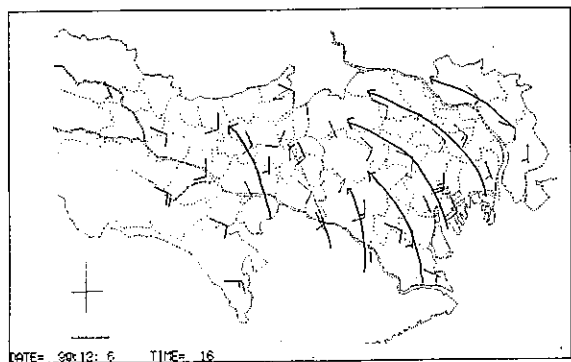


図8-1 風系とNO₂濃度分布 (1990.12.6)

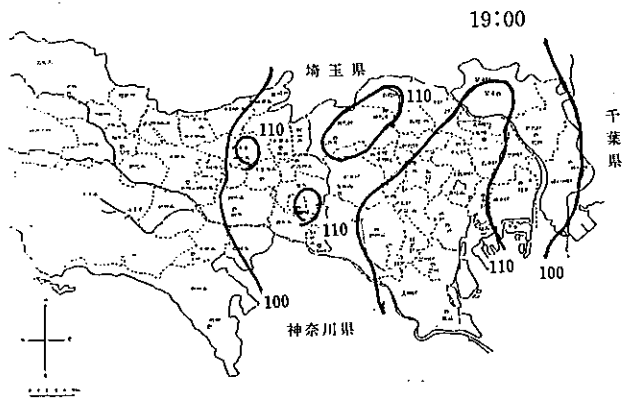
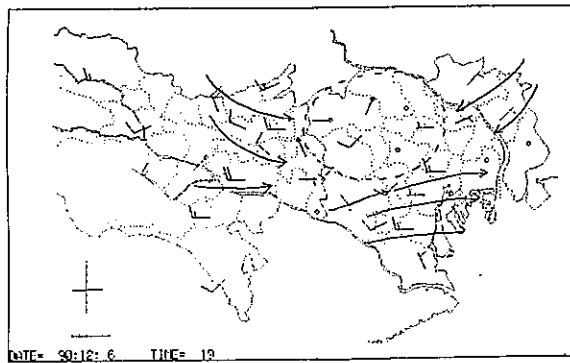
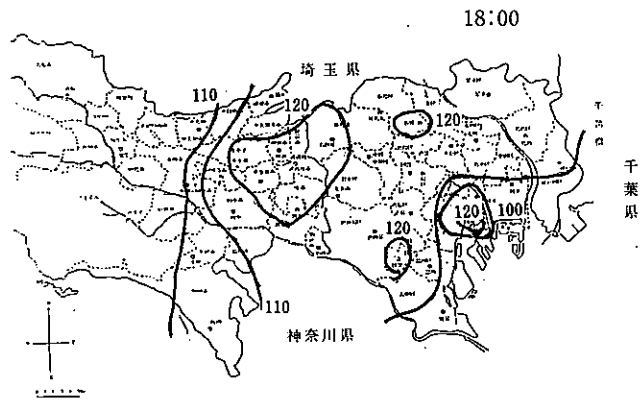
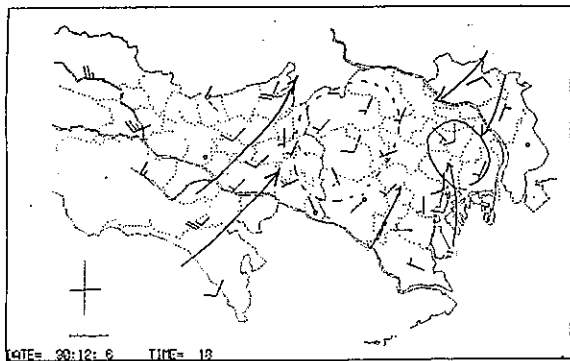


図8-2

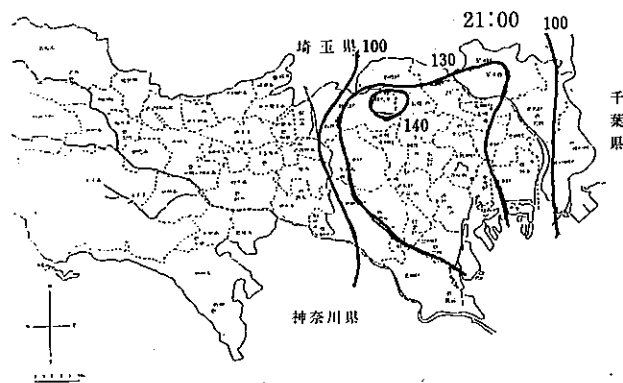
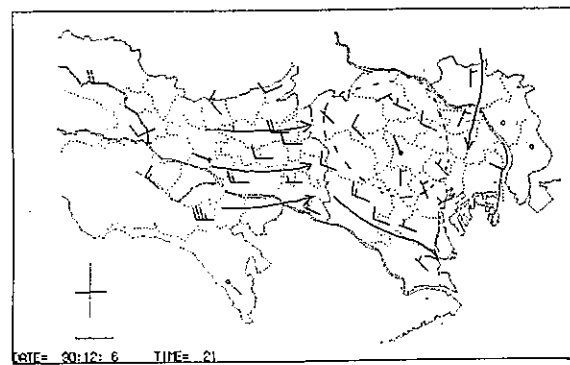
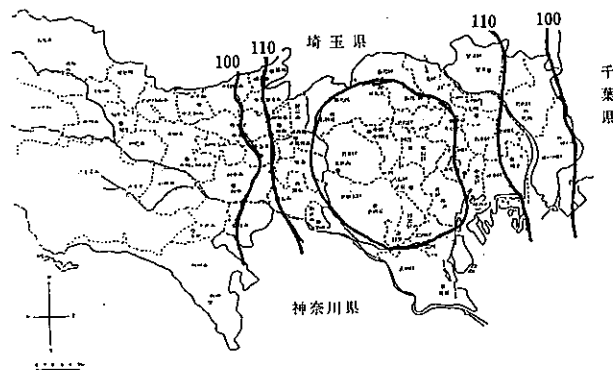
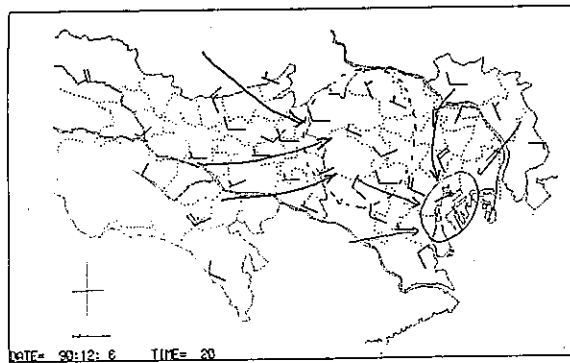


図8-3

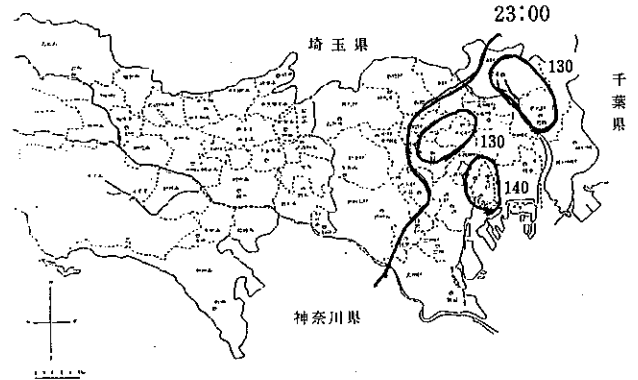
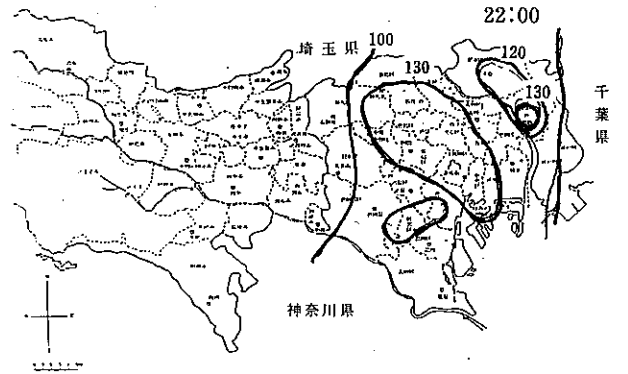
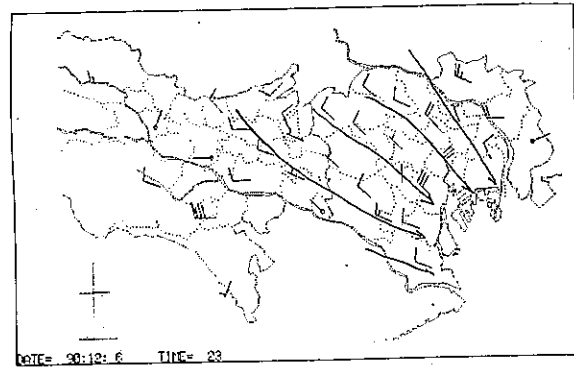
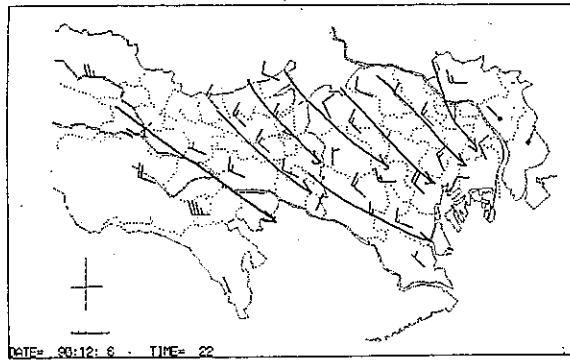


図8-4

地上風でも16時には内陸部深く海風が入り込んでいる。NO₂の汚染は、比較的弱く弱風域に100ppb程度の汚染がみられる程度であるが、図8に示すように、海風が弱まり、広いエリアが弱風域となる17時に、突然、NO₂の高濃度汚染が生じる。時間の経過と共に汚染エリアは内陸部に拡大し、120ppbのエリアが出現した。更に、接地逆転の形成によって汚染に拍車がかかり、区部の殆どのエリアで130ppbの高濃度汚染が起こっている。この汚染は、陸風の発達と共に東の方向に移動しながら24時過ぎまで続いた。

この日のように、比較的単純な海陸風の交代による風系の変化でも、弱風域の出現する時間帯によっては、激しいNO₂汚染が生じる。また、海風の内陸部への奥深い進入は広範囲の汚染エリアを出現させることが明らかとなった。

(3) 1991年12月6日

対象日の天候は、太平洋上の高気圧に覆われ、風も弱く穏やかな暖かい日であった(図9参照)。

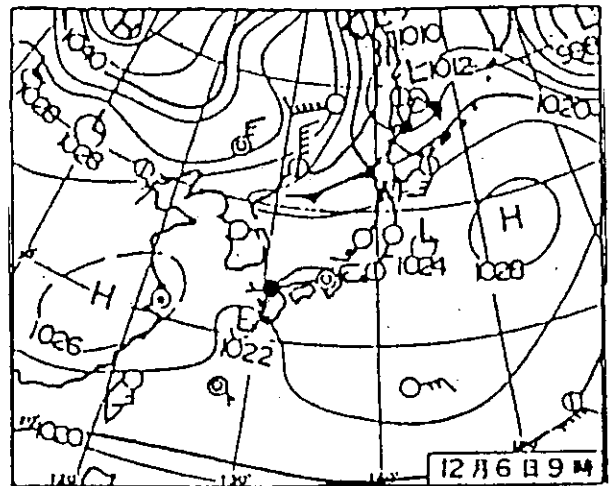


図9 天気図 1991.12.6

ア) 垂直方向の気象・NO₂汚染の状況

風の垂直方向の状態は、図10に示すように、東京タワーの観測結果では全般に風は弱く、12時に下層部から海風が吹き始めている。この海風は15時頃まで吹き16時には陸風に代わり、海陸風の吹く時間帯は比較的短い日である。同日、渋谷区役所で行った立体観測の結果でも同様の傾向がみられたが、海風の進入は1時間遅れている(本年度报告別気象・汚染物質調査図9参照)。

窒素酸化物の垂直方向の汚染状況は、東京タワーでは、接地逆転の影響でNOの濃度が高くなるが、13時には

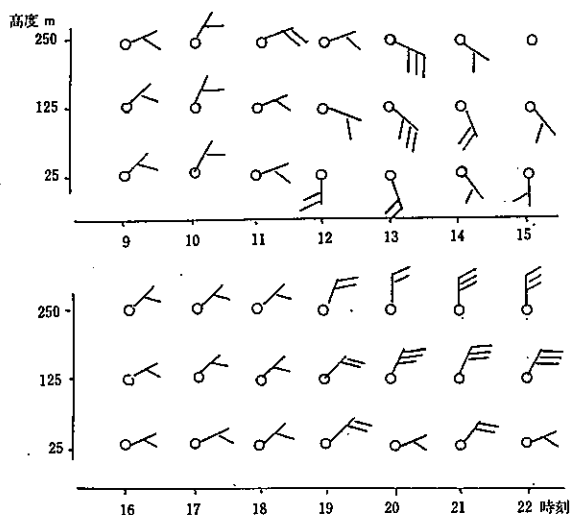


図10 風向風速立体構造 東京タワー 1991.12.6

100ppb以下となり、代わってNO₂濃度が100ppbを越え、最高123ppbを記録している。この汚染は、夕刻まで続いている（図11参照）。なお、早朝のNO濃度は、渋谷と比較すると低い値である（本年報高度別気象・汚染物質調査図10参照）。

イ) 水平方向の気象・NO₂濃度の状況

水平方向の風の特徴は、垂直方向で観測されたように、水平方向でも海陸風の交代がみられ、海風は内陸部深くまで進入している。

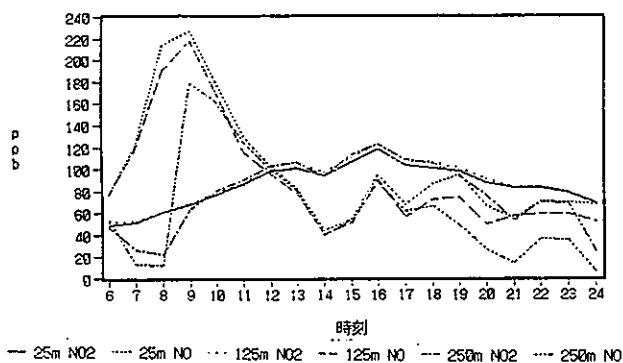


図11 高度別NO、NO₂濃度経時変化 東京タワー 1991.12.6

NO₂濃度分布と風系との関係は、以下に示すとおりである。

11時頃から弱い海風が南部の臨海部に吹き込み始めると同時に、NO₂の高濃度エリアが出現する。この現象は、1990年12月6日と異なっており、図12に示すように陸風との間で収束域が形成されたことによって、高濃度エリアが出現した。海風が発達するにつれ、やや南に寄った内陸部に広がり、100ppbのエリアを形成するが、120ppbを越えるエリアは小さい。

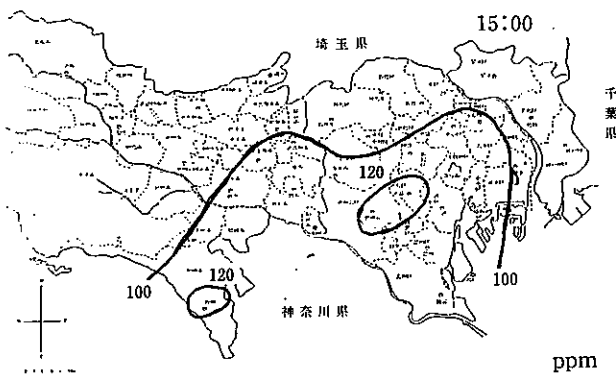
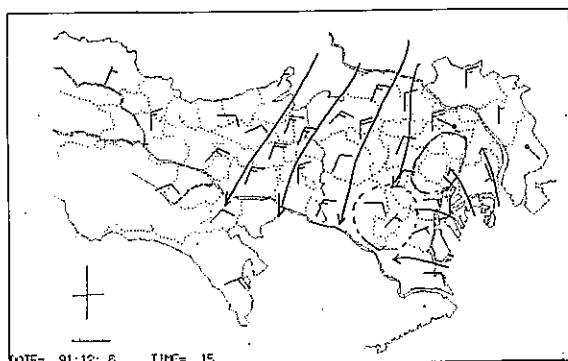
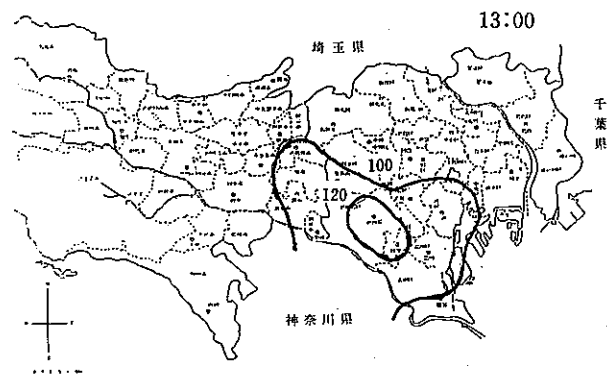
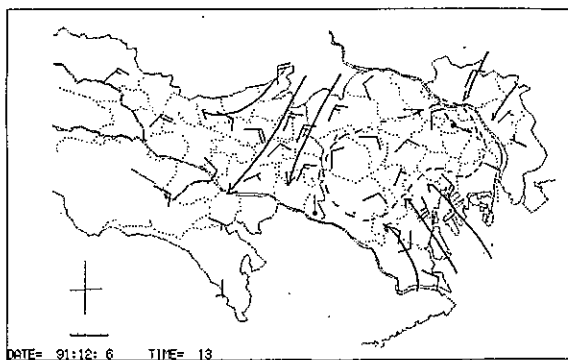


図12-1 風系とNO₂濃度分布 (1991.12.6)

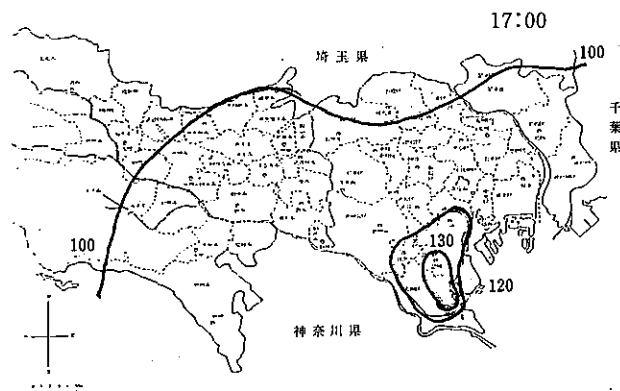
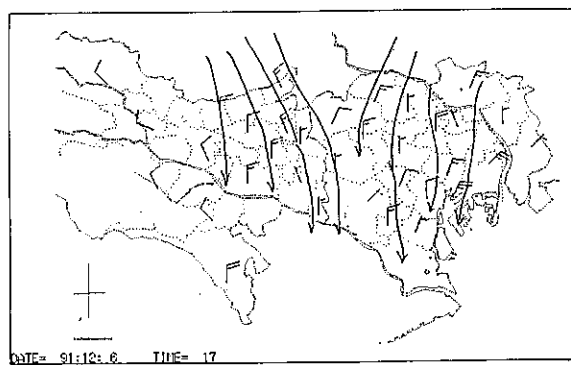
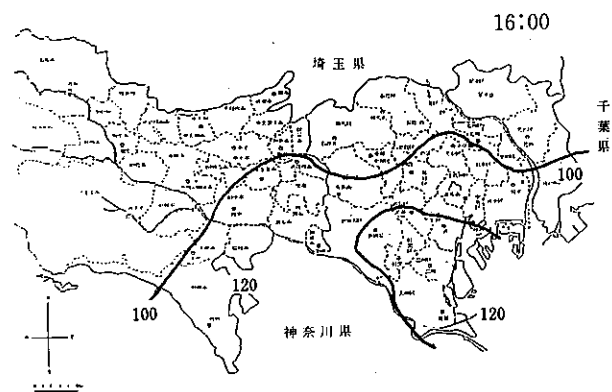
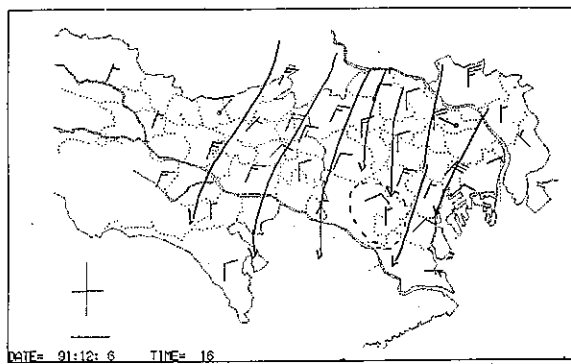


図12-2

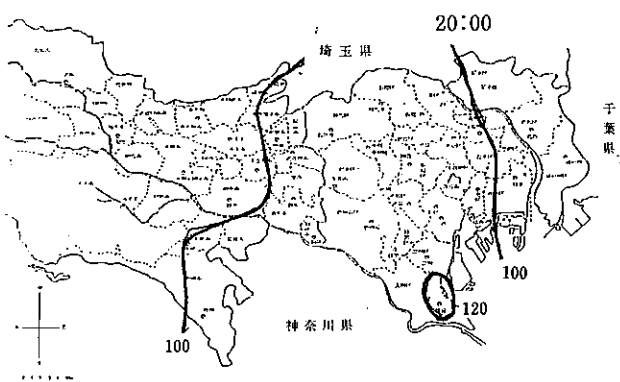
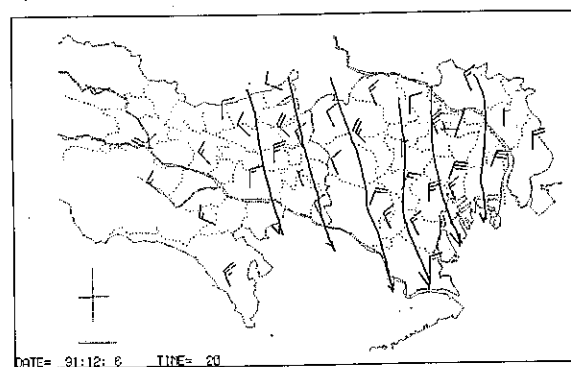
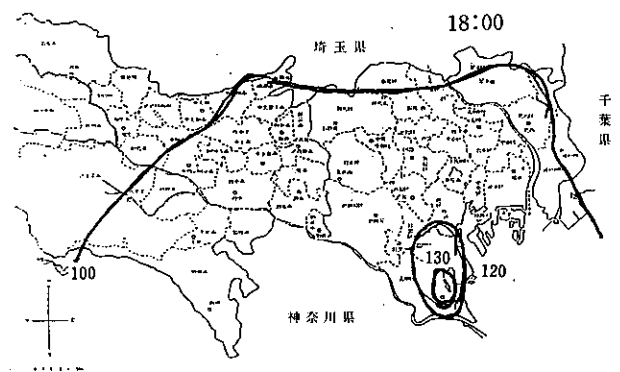
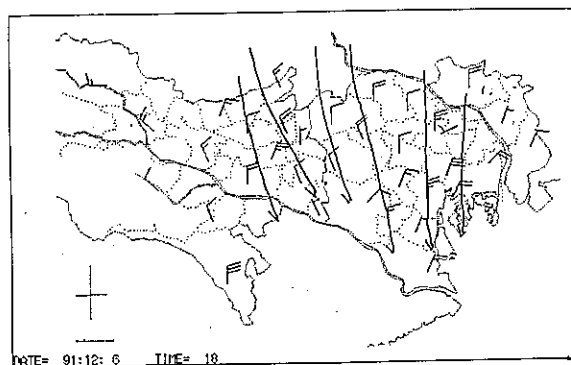


図12-3

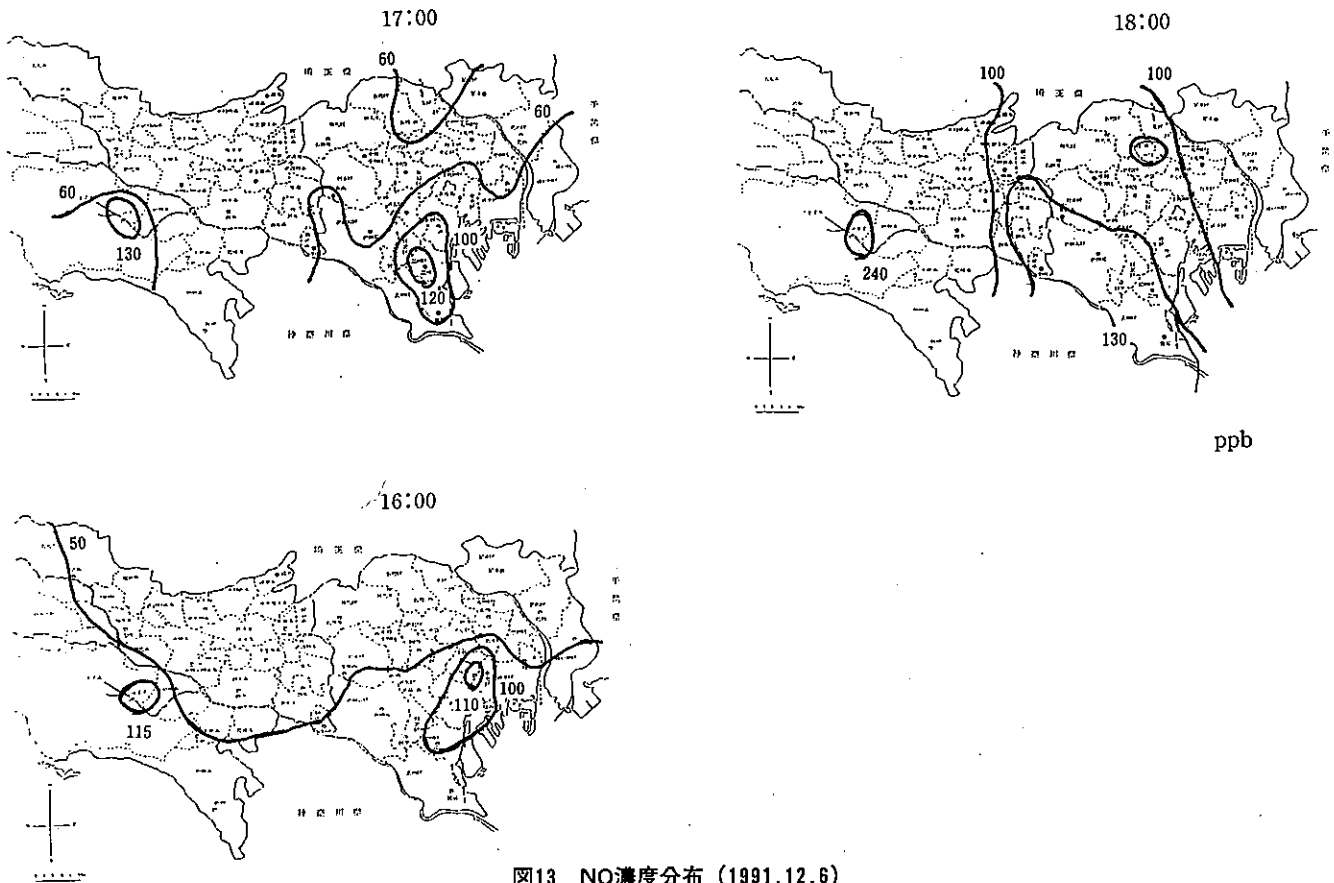


図13 NO濃度分布 (1991.12.6)

陸風に代わった17時には、海風の残っている南部の臨海部が収束域となるため、120ppbの汚染エリアを形成する。しかし、この時間に東京都全域が、100ppbのNO₂汚染エリアとなり、20時頃まで継続する。風系の変化としては、NE~NNEの風系からNの風系に代わる程度である。従って、この現象は、風系からでは説明できない。

原因として、発生源活動と接地逆転層の形成等が考えられるが、同時刻のNOの汚染状況(図13参照)から判断すると、必ずしも発生源活動と接地逆転生成等の影響とは考えられない。

この日は、東京タワーで、125mから上の高度で14時頃までSEの風が吹いていた。また、渋谷では、300m付近でE~SEの風が吹き込み、更にその上空ではSWの風が吹く、複雑な風の立体構造をしていた。

この現象は、風の立体構造とNO、NO₂の濃度分布から推察すると、NO₂の汚染は近傍の発生源からのものではなく、N成分の風による汚染気塊の流入によるものと判断される。これだけのデータからでは断定はできないが、この汚染気塊は、日中の上空に吹いたSE成分の

風によって移流したNO_xが、時間と共に酸化されNO₂となり、下降流によって下降し、N成分の風によって吹き戻されたと考えられる。今後、更に広域にわたる空間的な気象・汚染物質の調査が必要と思われる。

4 まとめ

4年間にわたる、気象・汚染物質の立体調査を行った期間の内、気象条件に特徴があり、窒素酸化物高濃度を記録した、3日間の解析ではあるが、以下の事実が判明した。

(1) 海陸風、他の要因によって風の交代が起こる場合汚染気塊の移流、吹き戻し現象は、高濃度のNO₂の広域汚染を引き起こす要因となる。

(2) 海陸風の内陸部への進入の度合は、NO₂高濃度汚染のエリアに大きな影響力を持つ。

(3) 風の収束域は弱風域となり、高濃度のNO₂汚染エリアを形成する。

(4) 海陸風の交代の時刻が遅く、弱風域となる時間帯が夜間に及ぶ場合、接地逆転の形成によって汚染の程度を増し、高濃度のNO₂汚染が深夜にまで及ぶ。

(5) 要因は明確に説明できないが、日中上空にS E成分の風が吹き、地上風系がN成分の陸風に代わった時点から、都内全域にわたる100ppb以上のNO₂汚染が生じることがある。

(6) 東京タワー、葛飾区役所でのNO₂の立体濃度分布の調査結果から、気象条件によっては、上空200m付近のNO₂の汚染は、かなり広範囲に及ぶものと推定される。

以上、これまでも指摘されていたNO₂の高濃度現象の要因について、気象・汚染物質の立体調査、地上風の解析から、立体的気象構造、地上風系の汚染への影響力の複雑さが改めて明かとなった。

今後は、多くの事例解析を行い、NO₂高濃度汚染パターンと気象パターンとの関係、各々のパターンの発生頻度、光化学反応の関連性等を明確にすることが、精度の高いNO₂予測を可能なものにすると思われる。

Analysis on NO_x High Concentration Case

—Surface Wind and NO_x Concentration—

Mituru Udagawa, Masasi Ito
and Masataka Soufuku

In order to clarify the relationship between NO_x high concentration area and surface wind flow system of boundary layer, the vertical observation of meteorological factors and air pollutants were carried out. The wind flow pattern and the characteristics of NO₂ distribution are discussed in 3 cases of NO_x concentration.

With respect to the relationship between NO_x high concentration area and surface wind flow pattern. NO_x high concentration area appeared in weak wind flow area caused by shifting duration of wind flow and convergence area of wind flow. The wide area NO_x high concentration depends on the sea breeze penetrating distance from a coast and the time of shifting from land breeze to sea breeze. Especially, sea and land breeze and complicated shifting flow pattern due to unknown factors cause advection of air mass and air mass return phenomenon. Consequently, the wide area NO₂ high concentration takes place.