

AMeDAS データによる汚染気塊の流跡線解析*

中西 幹郎** 木村 竜治***

要 旨

夏季に東京都心部から関東平野内陸部に向かう気塊の流跡線を AMeDAS データを用いて推定した。まず、比較の基準として、1983年7月29日に行われた風の立体観測の結果を解析し、高度 300 m の風で移流される気塊と、地上における Ox 濃度極大域の移動がよく対応することを確認した。次に、10分毎に内挿した AMeDAS の風向・風速資料から高度 300 m の風を推定し、推定した風を用いて流跡線解析を行った。上層風の推定はべき法則を用い、高さによる風向の変化も考慮した。べき指数および風向変化の大きさは、上述の立体観測の結果を用いて定めた。この方法を7月29日の例に適用したところ、日中のみの推定であれば高さによる風向変化は重要でないが、日没後まで推定する場合には、風向変化の影響を無視できないことがわかった。次に、この方法を、上田市で夕方から夜間にかけて Ox 濃度が 70 ppb を越えた日14例に適用したところ、10例について、正午に都市部を出発した気塊が夜間上田盆地に到達する結果を得た。

1. はじめに

東京都心部で発生した光化学スモッグが海風に乗って内陸部に運ばれる現象は、既に、(東京で光化学スモッグが問題になった) 1970年代の初めに知られていた。粕谷・河村(1972)は、北関東に向かう広域光化学スモッグの発生条件を調べ、「特にはっきりした逆転層ないし安定層が大気下層に存在することが重要である。また、午前中に南関東に顕著な海風前線が存在し、海風域に汚染質を蓄積させ、上空への拡散が妨げられることも必要である。そして、昼前から午後にかけて南関東の南よりの風系(海風)が北関東の風系とひとつづきになり強まることによって、海風域に蓄積された汚染質が移送されると考えてよいようである」と述べている。

同様の現象は、北関東方面のみならず、都心部から北西方向及び西の方向へも生じている。いずれも、安定層によって上方への拡散を妨げられた汚染気塊が局地風に乗って 100 km 以上離れた内陸部に輸送される現象で

ある。夏季にもっとも頻度が高いのは、北西方向に向かう経路で、汚染気塊は高度約 1 km の碓氷峠を乗り越え、上田・長野盆地に Ox の高濃度をもたらす (Kurita *et al.*, 1985)。

長野県では、1977年以来、盆地内の高濃度 Ox の調査を続けているが、1983年の報告書(長野県, 1983)によれば、「関東地方等の他地域からの汚染気塊の移流」が、「盆地内で排出された一次汚染物質による光化学反応」や「成層圏からの降下」より重要な役割を果している。

しかしながら、このような広域大気汚染の実態調査は容易ではない。水平規模が大きいのみならず、現象は対流混合層全体に及ぶので、広範囲な立体観測が必要である。さらに、局地風は刻々と変化するので、時間的にも密な観測が必要である。

1970年の後半から1980年代の前半にかけて実施された環境庁・気象庁による「南関東大気環境調査」(気象庁, 1977)や文部省「環境科学」特別研究の一環として行われた「広域大気汚染の動態」に関する研究(文部省, 1983)、「内陸域における大気汚染の動態」に関する研究(文部省, 1986)などは、多くの研究機関の協力と巨額の研究費の投入によってこの困難を克服しようとした試みであった。

1979年に完備された気象庁の地域気象観測網(以下 AMeDAS と略す)は、全国838カ所で1時間毎に地上

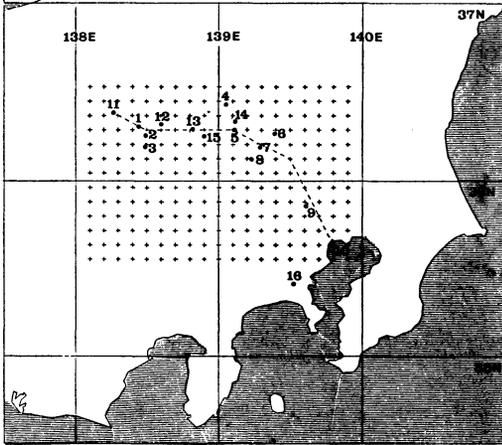
* Estimation of trajectories of polluted air-mass with AMeDAS data.

** Mikio Nakanishi, (財)日本気象協会.

*** Ryuji Kimura, 東京大学海洋研究所.

——1986年11月14日受領——

——1987年5月18日受理——



第1図 パイパール観測の行われた地点 (1:小諸, 2:佐久, 3:白田, 4:前橋, 5:玉村, 6:太田, 7:深谷, 8:花園, 9:浦和, 10:13号埋立地, 11:上田, 12:軽井沢, 13:松井田, 14:高崎, 15:富岡, 16:横浜) と格子点の配置。破線は、鉛直断面の構造を調べるための切断面の位置を示す。

風を測定している。測定間隔は約 21 km である。AMeDAS 資料は、広範囲に分布している点、時間的に密なデータが得られる点で広域拡散の実態把握に役立つことが期待される。問題は、地上風のデータからどの程度正確に汚染気塊の経路が推定できるか、ということである。

本研究の目的は、この推定の妥当性を検討することである。そのためには、真の経路を知っておく必要がある。ここでは、風の立体観測が行われた1983年7月29日に着目し、立体観測資料を用いた流跡線解析とAMeDAS資料を用いた流跡線解析を比較した。さらに、推定的一般性を検討する目的で、内陸の盆地に高濃度の Ox が観測された日の流跡線をAMeDAS資料を用いて推定した。

2. パイパール観測資料による流跡線解析

1983年7月28, 29日の2日間、第1図に示す16地点で、1時間毎にパイパールによる風の観測が行われた。この観測は、文部省「環境科学」特別研究の一環として、国立公害研究所および関連する都県の(衛生)公害研究所の協力のもとに行われたものである。パイパール観測の他にも、さまざまな観測が行われたが、ここでは、直接関係しないので述べない。研究全体のまとめは

文部省(1986)に報告されている。

2日目(7月29日)は、総観規模の気圧傾度が小さく、局地風による汚染気塊の内陸への輸送がはっきり検出された。その様子は、栗田, 植田(1986), 鶴田(1985)に報告されている。この日の局地風系は、夏季の関東平野に生じる局地風系の中でも典型的なものであった。以下に、パイパール資料の解析方法と結果を示す。

2.1. 解析方法

パイパール資料の解析は、藤部, 山田, 植田(1983)に従い、次のような手順で行った。

1) 各観測地点ごとに、風向・風速を時間・高度断面上に配置した。1例として、第2図に前橋の結果を示す。29日のみに着目すれば、最低で1,400 m, 最高で3,200 mの高度まで測定できたことがわかる。他の観測点でも同様であるが、時刻によって測定高度が500 m程度である場合もあった(佐久, 29日11時~15時は欠測)。

2) 欠測は、フーリエ級数展開を用いて内挿(外挿)した。すなわち、風速を東西成分と南北成分に分け、それぞれについて、

$$X = C + A \cos \omega t + B \sin \omega t \quad (1)$$

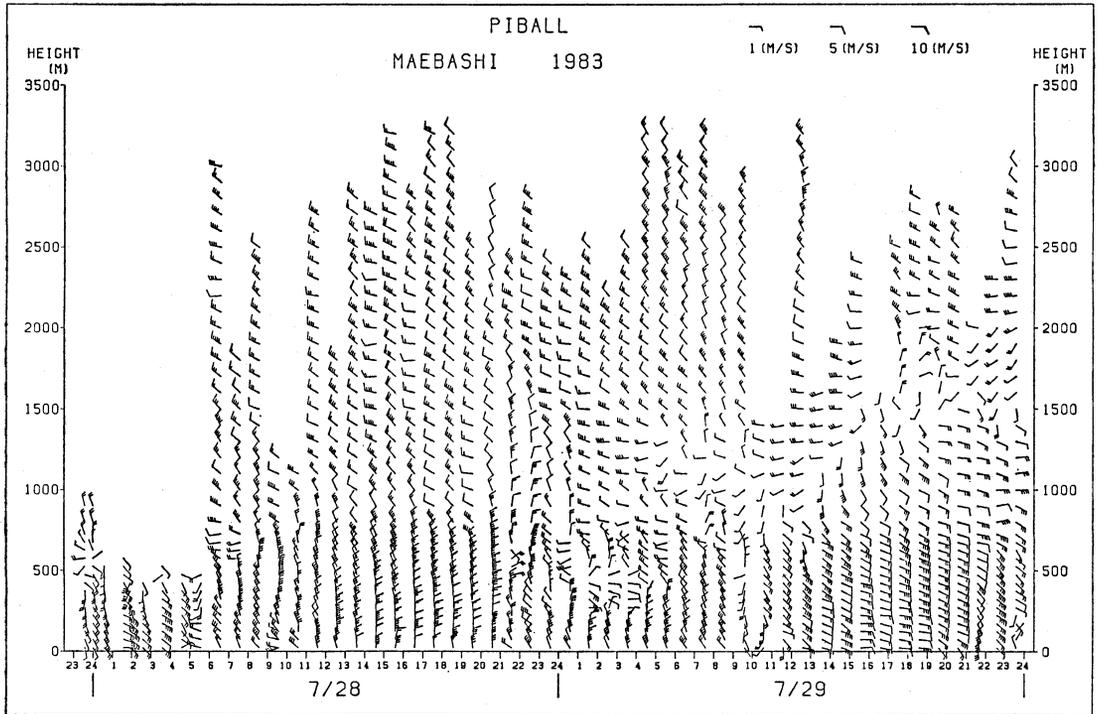
を仮定して、係数 A , B , C を求めた。ただし、 X は風速成分、 ω は1日を周期とする角振動数、 t は時刻である。高次の項まで展開することも可能であるが、そうすると、欠測のところに歪みが集まり、異常に大きな値になるので、 ω は1日周期のみとした。

3) 生のデータは短周期変動を含むので解析に不便である。これを除くために B -スプライン関数を用いて平滑化した(市田, 吉本, 1979)。節点は、時間については3時間ごと、高さについては250 m ごとに定めた(両端は3重節点, それ以外は単一節点)。平滑値は1時間ごと、50 m ごとに求めた。この平滑化により、短周期変動が除かれた反面、海陸風前線の通過に伴う急激な変化も表現できなくなった。

4) 各観測点の値を第1図に示す格子点上の値に内挿した。格子点の間隔は、水平方向に約9 km, 鉛直方向に50 m である。内挿の方法は、清水(1978)を参考にして修正法を採用した。重み関数 W は、

$$W = WT / \left\{ 1 + \left(\left| \frac{R}{R_0} \right| + \beta \left| \frac{R}{R_0} \times \frac{V}{V_0} \right| \right)^2 \right\} \quad (2)$$

と定義した。ただし、 WT は0と1の間の定数で、欠測点では小さな値を使用した。 R は格子点から観測点までの位置ベクトル、 R_0 は規格化のための定数である。第1推定では $R_0 = 25$ km とし、逐次修正で次第に値を小さくした。 V は風ベクトル、 V_0 は領域内の(その時



第2図 前橋におけるパイバル観測の結果。

刻)の最大風速である。βは重み関数の非等方性を表現する係数で、AMeDAS 資料の統計解析から得られた(コヒーレントな構造をもつ)局地風のスケールを参考に、β=0.7とした(中西, 1985)。

5) 格子点上に内挿された水平風(u₀, v₀)から連続の式を用いて、鉛直流 W を求めた。Sherman (1978)に従い、変分法を用いて(u₀, v₀)を補正しながら w を求める方法を用いた。すなわち、補正後の速度ベクトル v=(u, v, w)を

$$\int \left\{ \alpha(u-u_0)^2 + \alpha(v-v_0)^2 + w^2 + \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial h}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\} dV \quad (3)$$

が最小になるように求めた。ただし、Vは調査対象の(立体的な)領域で、x, y軸は水平面に、z軸(鉛直軸)の原点は地表面に定めた。hは地形を表す。また、λはラグランジュの未定乗数でαは定数である。αの値によってwの大きさは変化する。Sherman (1978)はα=10⁻⁴が適当と述べているが、α=10⁻⁴, 5×10⁻³, 10⁻³の3通りについて計算を行った所、α=10⁻⁴, 5×10⁻³の場合は、斜面上で、流跡線が地表面に沿わない

という不都合が生じた。これは、鉛直流を小さく見積り過ぎたためである。α=10⁻³の場合はこのような不都合が生じなかったため、この値を計算に使用した。

6) 以上のような手続きで求めた風速ベクトルは1時間毎の値であるが、途中の時刻の値は、前後の時刻の値から直線的に内挿して求めた。

7) 初期位置 r₀ から出発した気塊の時刻 t における位置は、

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{r}_0 + \int_0^t \mathbf{v}(\mathbf{r}(t'), t') dt' \quad (4)$$

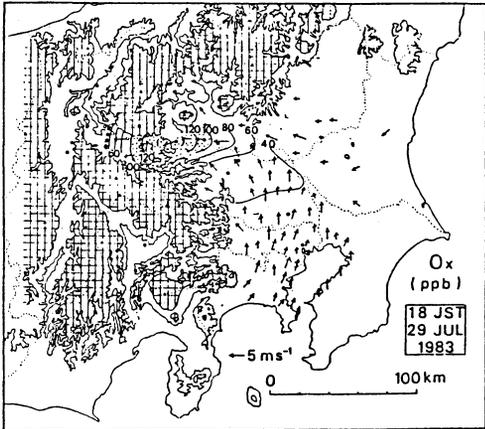
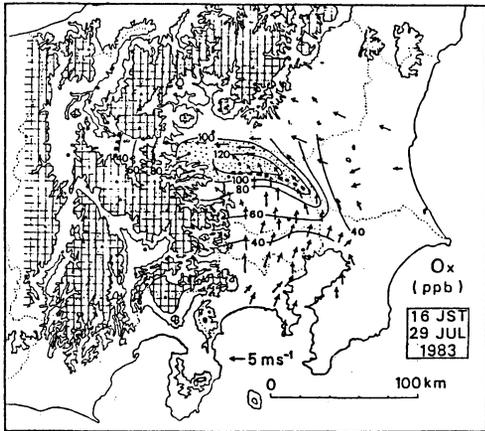
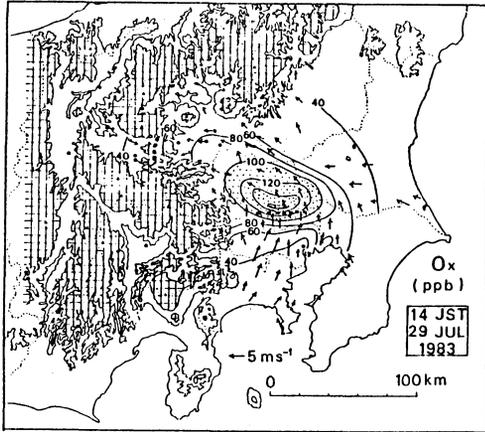
で与えられる。右辺の積分は、時間差分 Δt を10分として計算した。任意の位置 r における速度ベクトルは、その点からもっとも近い8個の格子点(一般にその点を含む平行六面体の頂点)の速度ベクトルを重みつきで内挿して求めた。重み関数としては、

$$W = 1 / (1 + R^2) \quad (5)$$

の形を用いた。Rは気塊から格子点までの距離をキロメートルの単位で示した数値である。

2.2 流跡線と Ox 濃度極大域の移動との比較

Oxを含んだ汚染気塊を問題にする場合、(Oxが大気における光化学反応によって生成されるために)発



第3図 地上におけるOxの濃度分布(等値線、単位はppb)の時間変化((a)1983年7月29日14時、(b)16時、(c)18時)各時刻の地上風ベクトル(矢印)。鶴田(1984)より引用。

生源が点源ではなく、発生高度も発生時刻も明確に定めることができない。ここでは、当日の地上におけるOx濃度の分布を参考にして、出発点と出発時刻を定めた。第3図は、7月29日14時、16時、18時のOxの高濃度の領域を示す(単位はppb)(鶴田, 1984)。同じ図に示された地上風ベクトルと比較すれば、高濃度領域が風に乗って内陸部に移動していることが想像される。そこで、正午に最高濃度が出現した場所から、気塊を出発させ、24時まで追跡した。

出発高度は(かなり任意ではあるが)100m, 300m, 500mの3種類を選んだ。それぞれの流跡線の平面図を第4図(a)に、立面図を第4図(b)に示す。ただし、立面図は第1図に示した破線(以下測線と呼ぶ)上への投影図である。平面図の中にある太い線は、正午から19時までの各正時にOx濃度が極大になる場所を示したものである。この線と流跡線上の時刻を比較すると、高度300mから出発した気塊の移動と、地上におけるOx濃度極大域の移動が(19時以降を除いて)よく対応していることがわかる。高度100mから出発した気塊は、19時以降の動きが遅くなって、碓氷峠(立面図にある地形の最高地点)を越えなかった。高度500mから出発した気塊は、17時以降、ほぼ直進コースで進み、西向きに進路を曲げたOx濃度極大域と方向が異なっている。

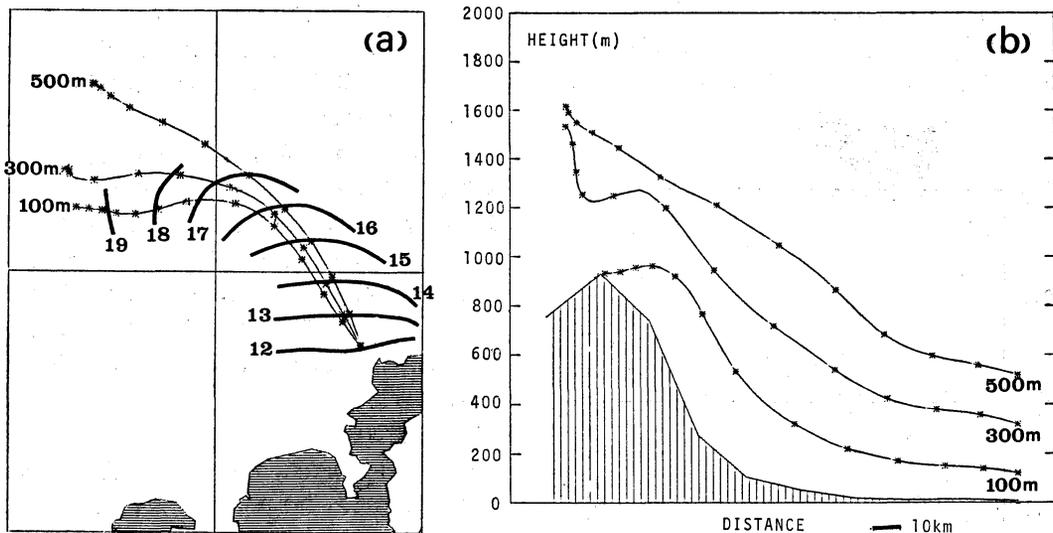
立面図で興味深い点は、高度300mから出発した気塊が峠を越えた直後に上空に向かっていくことである。当日のOx濃度は軽井沢より西側まで高濃度が続いているが、この事実は汚染気塊が峠を越えた後、上空に輸送されたことを示唆するからである。以後、高度300mから出発した気塊の流跡線のみに着目し、AMeDAS資料から推定した流跡線との比較を試みる。

3. AMeDAS 資料による流跡線解析

3.1 上層風の推定

AMeDASの地上風資料を用いて流跡線解析を行う場合、①地上風をそのまま使う、②風向は地上風と同じにして、風速のみ上層風の推定値を使う、③風向・風速の推定値を使う、の3通りが考えられる。7月29日のAMeDAS資料を用いて、3つの場合を比較してみた。

AMeDAS地上風資料も1時間毎の値なので特別観測資料と同様に前後の時間の値から直線的に内挿して10分毎の値を求めた。任意の位置の風速は、その点から半径30km以内に存在する観測点の値を重みつきで内挿し



第4図

- (a) 東京上空 100 m, 300 m, 500 m から出発した気塊の流跡線。正午に出発させ、24時まで計算した。線上の点は1時間ごとの位置。7月29日の特別観測資料を用いて求めた。太い線は当日のOx 濃度極大域の時間変化を示す(数字は時刻)
- (b) 第1図の破線に沿った鉛直面内に投影された流跡線の立面図と地形(影をつけた部分)。

て求めた。重み関数 W は、(2)と同様に、

$$W = 1 / (1 + |R| + \beta |R \times V|)^2 \quad (6)$$

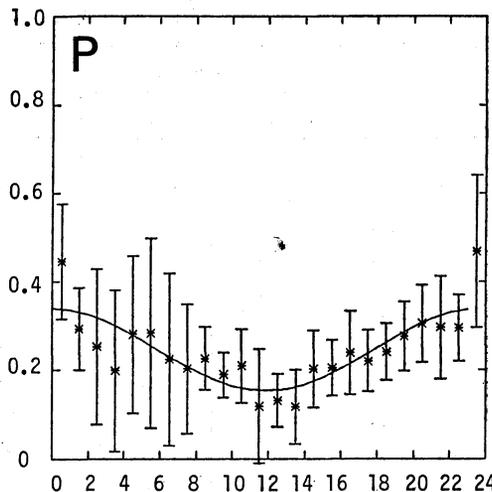
とした。ただし、 R を R_0 で規格化しなかった。逐次修正は行わないので、平滑のされすぎを避けるためである。

上層風速は、べき法則を利用して推定した。すなわち、高度 z における風速を

$$U(z) = U(z_0) (z/z_0)^P \quad (7)$$

の形で近似する。ただし、 $U(z_0)$ は AMeDAS 地上風速、 z_0 は便宜的に 6.5 m とした。問題は P をいかに推定するか、ということである。

ここでは、7月28日、29日のパイロットバルーン資料のうち、高度 125 m~525 m の風速をもちいて、時間の関数として P を求めることにした。この高度範囲に着目したのは、25m, 75mの資料のばらつきが大きく、また 500m 付近に風速の極大が生じることが多いからである。特別観測の行われた16地点の P の日変化をすべて調べたところ、碓氷峠から内陸での観測点の変動は、他と比較するとやや大きい。また、汚染気塊が碓氷峠を越えるかどうかを問題にしたため、関東平野内の観測点だけに着目した。さらに、 P の日変化がほぼ等しいことを考慮すると、最終的に、関東平野内の6点(前橋、高

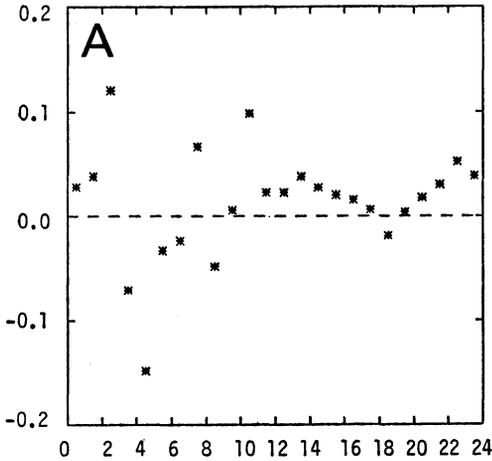


第5図 べき法則による風速分布に使われる指数 P の日変化。

崎、玉村、太田、浦和、13号埋立地)の平均で P を推定することにした。

第5図にその結果を示す。このグラフには標準偏差も示してある。一般に、夜間のばらつきの方が昼間よりも大きい。流跡線解析に用いる推定値としては、平均値

を1日周期の正弦関数で近似したものを使用することにした(図の曲線)。なお、この結果は、気象研究所観測用鉄塔の風速資料を用いた内藤等の解析結果(花房, 1984)より多少小さい(第5図参照)。



第6図 高さによる風向変化の大きさを表す係数Aの日変化。

一般に上層風の風向は地上風と異なるので、風向きの高度変化の大きさも上記6点の観測値の平均として求めることにした。簡単のために、風向の高度変化を

$$D(z) = A(z - z_*) \tag{8}$$

とおき、 $z = 125\text{m} \sim 525\text{m}$, $z_* = 125\text{m}$ の風向からAを時間の関数として求めると、第6図が得られた。午前10時より早い時刻のAは大きなばらつきを示すが、それ以降のばらつきは小さい。そこで、12~16, 16~20, 20~24時の3つの時間帯に着目し、それぞれの時間帯でAを平均したものを流跡線解析に用いることにした。それぞれ、 $A = 0.033$ (12~16), 0.00 (16~20), 0.043 (20~24)である。

3.2 流跡線解析

第7図の4つの図は、7月29日正午に都心から放出した気塊の流跡線を(a) AMeADS 地上風資料をそのまま、(b) AMeDAS 資料の風速を単純に3倍したもの、(c) 上層風速のみをべき法則で推定したもの、(d) 上層風向・風速を推定したもので計算した結果である。この図を第4図と比較してみよう。

AMeDAS 地上風資料を用いて推定した場合、(a)、移流経路は第4図と似ているが、24時までには高崎にまで

第1表 上田で高濃度Oxが出現した14例に対する流跡線解析の結果

| 年 月 日 | 上田における | | 出発地域 | 途中経過 | 碓氷峠 | 備 考 |
|--------------|--------|--------|------|------|-----|----------------------------------------------------|
| | 日最高値 | 出現時刻 | | | | |
| 1980. 8. 11. | 103 | 19, 20 | 平野部 | ○ | ○ | 流跡線の方が、やや遅い |
| 8. 12. | 114 | 20 | 平野部 | ○ | ○ | |
| 8. 13. | 103 | 17 | 平野部 | ○ | ○ | |
| 1981. 7. 24. | 74 | 20 | 沿岸部 | ○ | ○ | 上田、欠測多し |
| 7. 26. | 76 | 17 | 沿岸部 | ○ | ○ | |
| 7. 27. | 110 | 17 | 沿岸部 | ○ | ○ | |
| 7. 28. | 107 | 19 | 沿岸部 | ○ | × | |
| 8. 1. | 76 | 19 | 沿岸部 | ○ | ○ | 16時頃までは一致 流跡線の方がやや遅い 流跡線の方がやや速い 碓氷峠付近で逆戻り |
| 8. 2. | 74 | 18, 19 | 平野部 | ○ | ○ | |
| 8. 3. | 70 | 19 | 平野部 | ○ | ○ | |
| 8. 18. | 91 | 23 | 沿岸部 | × | × | |
| 8. 25. | 86 | 21 | 沿岸部 | ○ | × | |
| 1983. 7. 14. | 80 | 21 | 沿岸部 | ○ | ○ | |
| 8. 7. | 71 | 18 | 平野部 | ○ | × | |

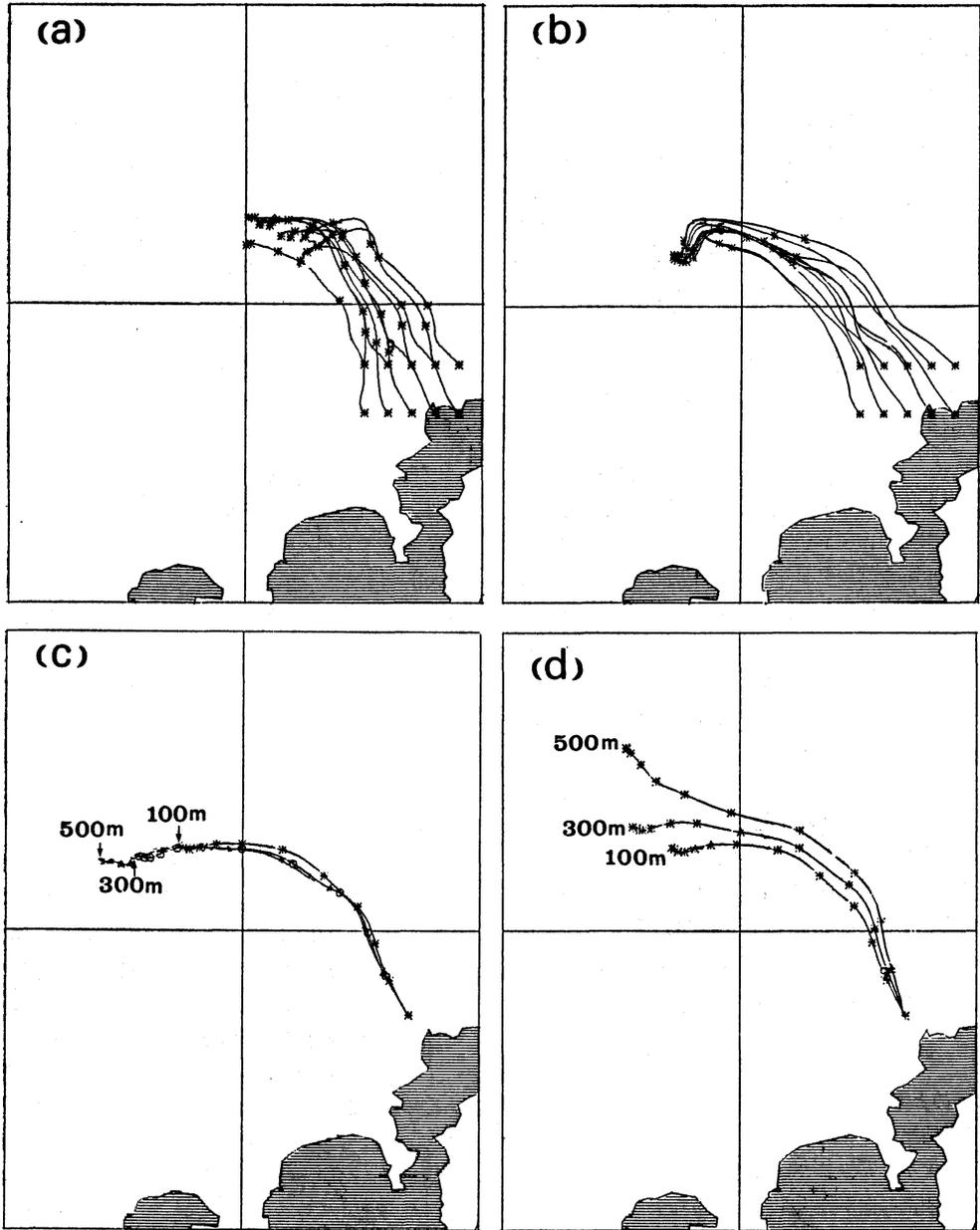
上田における日最高値：オキシダント濃度の日最高値。単位 ppb.

上田における出現時刻：日最高値となった時刻

出発地域：流跡線の出発地域、浦安付近を境に、沿岸部・平野部に分ける。

途中経過：日最高値領域と流跡線とが、二時間以上ずれる場合は、×とした。

碓氷峠：碓氷峠付近を越えると、○とした。



第7図 7月29日正午に東京から出発した気塊の流跡線解析の結果。(a) AMeDAS 地上風資料の風で移流させた場合、(b) AMeDAS 地上風資料の風速を3倍した風で移流させた場合、(c) べき法則で推定した上空の風で移流させた場合(風向は地上風と同じ)、(d) 上空の風向変化も考慮して、べき法則で推定した上空の風で移流させた場合。

しか到達しない。もちろん、実際に汚染気塊を移流する風速の方が地上風より速いからである。しかし、地上風を3倍にしたとしても、軽井沢まで到達しない(b)、夕方に、地上風が無風に近くなり、3倍したとしても、上

層風より弱いからである。べき法則だけを考慮して上層風を推定した風速を用いると、気塊は碓氷峠付近を越え、特別観測資料の結果に近いものが得られた(c)。ただし、時間がたつにつれて特別観測資料のものと比較し

て南側にずれる傾向が見られる。風向の高度変化も考慮した場合 (d) は、第 4 図と非常に近い結果が得られた。なお (c), (d) では、変分法を用いて鉛直流を求め、鉛直流も考慮して流跡線を計算した。しかしながら、(d) の場合も、18 時以降の進み方が第 4 図の流跡線より遅い。18 時頃に気塊は斜面上にさしかかっており、斜面上のべき P の値が、ここで用いた P の値 (関東平野内のもの) と異なるためと考えられる。この点を除けば、(d) による推測は、少なくとも 7 月 29 日に関する限り満足すべきものである。同日に行われた特別観測の結果を用いて P と A を推定したので、これは当然といえるかも知れない。それでは、同じ P と A を用いて、他の日の流跡線を推測した結果はどうであろうか。

3.3 内陸に高濃度 O_x が発生した日の流跡線解析

1980, 81 および 83 年の大気汚染物質常時測定網資料のうち、長野県上田市において、夕方から夜にかけて O_x 濃度が 70 ppb を越えた日を全て取り出し、濃度極大域の移動を示す図を作製した。このうち、 O_x 濃度極大の出現時が内陸ほど遅れる日 (3 年間で 14 日間) を調査対象日とした。それぞれについて、上記の方法で上層の風向・風速を推定し、高度 300m から気塊が放出されたとして流跡線解析を行い、 O_x 濃度の時間変化と比較した。その結果をまとめたものが第 1 表である。14 例のうち、4 例の流跡線は碓氷峠を越えなかった。また、途中経過が 2 時間以上ずれた日は 1981 年 8 月 18 日のみであった。ただ、この日は上田市において正午前後に大きな O_x 濃度が出現しているので、単に関東平野からの移流効果のみで高濃度が出現したのでないことが予想される。その他の例では、流跡線と最高濃度出現時はよく一致した。

4. まとめと考察

本研究の結果は次のようにまとめられる。

1) 1983 年 7 月 29 日について見るかぎり、関東平野臨海部から内陸部に向かう O_x 地上濃度極大値の移動は、初期高度 300m の風による移流とよく対応する。これより低層の空気は、汚染気塊より遅く動く。これより高層の空気は、(昼間はほぼ同じであるが) 夜間になると汚染気塊と別の方向に移動する。

2) AMeDAS の風向・風速資料から 300m 上空の風をべき法則で推定することにより、 O_x の地上濃度極大値の移動を 7 割程度説明できる。昼間は風向の高さによる変化は考慮しなくてもよいが、夜間の流跡線の推測に

は、風向変化を考慮する必要がある。夏季の関東平野上のべきの大きさは、時間の関数として第 5 図の実線で与えられる。風向変化の大きさは、午前中は時刻によって極端に変動するが、午後は、第 6 図に示す値を与えれば、(風向変化を考慮しない場合よりも) よい結果が得られる。ただし、本研究では、午後を 3 つの時間帯に分けて、風向に関しては 3 種類の係数を使用した。

4.1 7 月 29 日に観測された現象の一般性

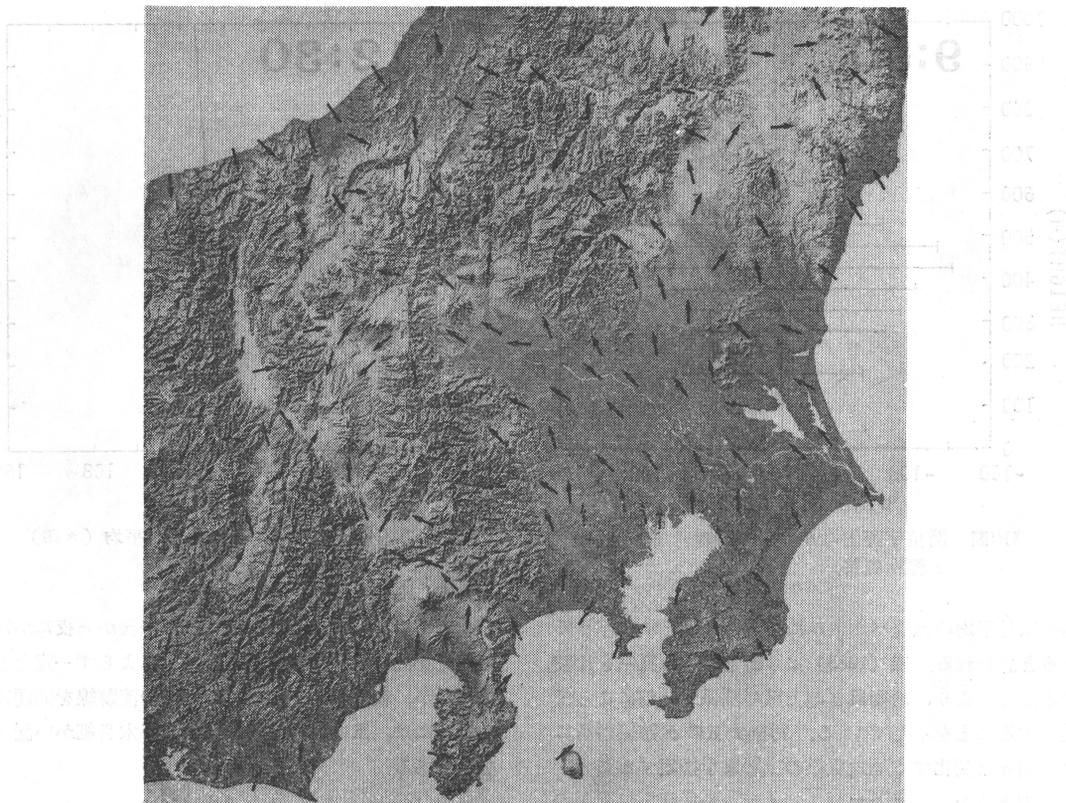
第 5 図、第 6 図に示した P と A の値は 7 月 29 日の観測結果に基づいているので、この日の移流状況がどの程度一般的なものか考察しておくことが必要であろう。

当日の風系は、夏季の関東地方に典型的な風系であったといえる。このことは、第 3 図に示した風向と河村 (1977) による「暖候期で一般風が極めて弱い場合の関東地方の地上風系の日変化のモデル」図や、谷治 (1983) による「アメダス観測資料による 8 月 14 日の平均風ベクトル」の図とがよく似ていることから推察される。第 8 図は、AMeDAS 資料の統計による日変化する成分のみに着目した昼間の卓越風向である (中西, 1985)。東京から信越線に沿って軽井沢方面に向かう広域の風系が卓越している。この図を第 3 図と比較しても、7 月 29 日の局地風系が夏季の関東地方に典型的なものであったことがわかる。

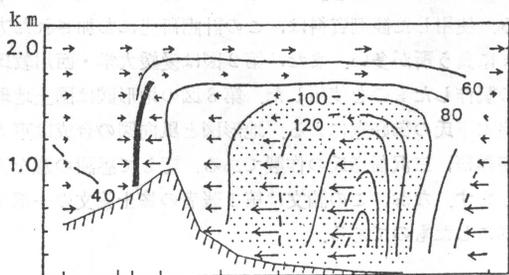
O_x の長距離輸送の様子は日によって大きく変化する。たとえ、局地風系のパターンが全体として似ていても、輸送経路は局地的な風向・風速の微妙な差によって大きく変化する。さらに、 O_x の濃度の時間変化は、逆転層や雲の影響を受ける。長距離輸送と高層気象の関係を調べた栗田、植田 (1985) によれば、弱い上層風と沈降性逆転層の存在が長距離輸送に特徴的である。

7 月 29 日の場合は、 O_x 極大域を東京から軽井沢まで追跡できたが、第 3 図に示された程ははっきり追跡できることはまれである。この観測計画では、3 年間で 6 日間観測を行ったが、 O_x 極大域がわかり易いパターンで移動したのは、7 月 29 日のみであった。長野県 (1983) の統計によれば、軽井沢で 100 ppb 以上の O_x 濃度が観測されたのは、1982 年 5 月から 8 月までの 123 日間で 12 日間であった。7 月 29 日に風の立体観測が行われたことは、実に幸運であったといえるべきであろう。

第 9 図は移流経路に沿った鉛直断面内の O_3 の分布を示したものである (鶴田, 1984)。午後 3 時から 4 時の間に飛行機で観測した結果である。高濃度の O_3 は内陸に向う風の範囲 (高さ 1.7 km) 全体に広がっている。



第8図 本州中部の昼間の卓越風向, AMeDAS 地上風資料による。日変化する成分のみに着目した。中西(1985)をもとに作製。地形図は国土地理院陰影図を使用した。



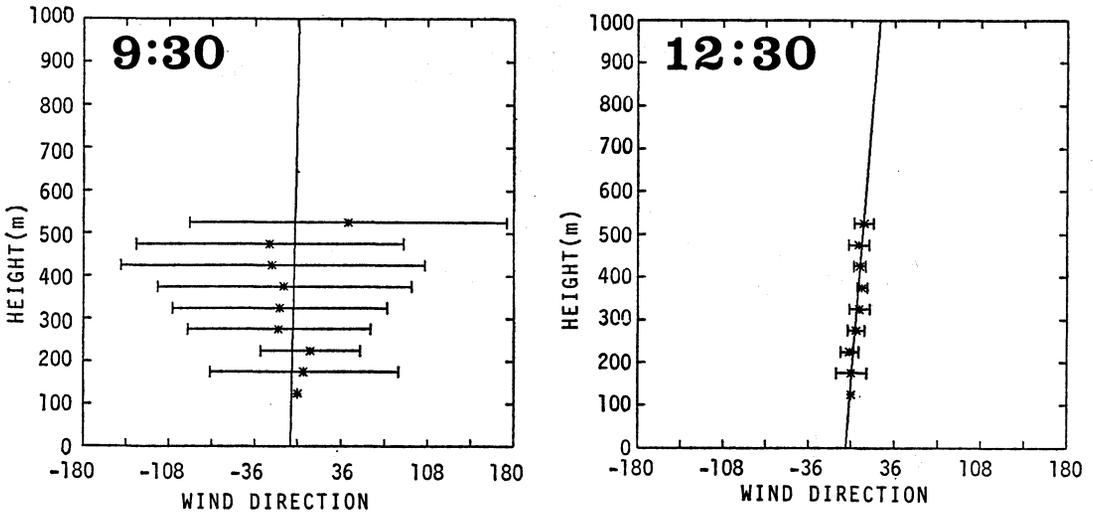
第9図 ほぼ第1図の破線に沿った鉛直断面内の O_3 の分布(単位はppb)。1983年7月29日15時から16時における飛行機観測による。矢印は風向風速を示す。鶴田(1984)より引用。

しかし、高濃度の核は500mより下層にある。カイツーンにつけたオゾンゾンデの観測によれば、500mより下層の O_3 の濃度分布はほとんど高さによらない(鶴田、

1984)。これは、下層大気鉛直混合がさかんなためであるが、風は高さによって変化するから、汚染気塊は同じ空気の集団から構成されているとは考えにくい。地表付近の空気は、たえず、後に取り残されていくはずである。取り残された空気塊内部の O_x は、地表に接触して消滅するのであろう。従って、地上で観測される O_x 濃度極大域は、上空からたえず鉛直混合によって供給される O_x によって形成されているはずである。7月29日の流跡線解析は、濃度の“核”の移動が初期値高度約300mの風による移流によって生じていることを示唆する。

4.2 上層風の推定

地上風と上層風の関係論を論じた研究は多いが、多くの場合は、自由大気中の風(地衝風)と地上風の関係が問題にされる。花房風(1984)は気象研究所観測用鉄塔を用いて、風速のホドグラフを調べ、“夏季にはいわゆるエクマンスパイラルの形が認められ、平均的な気圧パターンとの対応も非常によい”と述べている。しかし、この



第10図 関東平野上の6地点の同時刻(左図:9時30分,右図12時30分)の風向の高度変化の平均(*印)と標準偏差。

結果は月平均の風速ベクトルに着目したことに依存していると思われる。森(1985)は3時と15時の風系を比較することにより、地衡風と地上風の関係が時刻によって変化することを示している。汚染大気の流跡線解析には、刻々と変化する局地風系の上層風を推定することが必要であるから、エクマンスパイラルの推定とは異質の考慮が要求される。

安達(1981)は、大気安定度によってべき法則の指数 P がいかに変化するか報告している。第5図に示した P の変化も大気安定度の変化の反映である。この結果を米国環境保護庁のガイドにある気候拡散モデルと比較すると、安定度はパスケル安定度階級の B (中程度に不安定)から F (中程度に安定)まで変化している。第3図の結果は夏季の関東平野で O_x の広域拡散が生じるときの気象状態に当てはまるものと考えられる。他の季節、他の場所に適用した場合に第1表と同程度の適中率が得られるかどうかは疑問である。

風向の高度変化の大きさを示す第6図を見ると、1時から正午まで A の値が極端にばらついている。これは、同時に各観測地点ごとの A の値がばらついていることを意味する。その例として、第10図に9時半と12時半における6地点の風向のばらつきの大きさを比較した。この結果を見ると、12時半には、関東平野全体で1つの A の値が意味をもつが、9時半には、場所によって A の値が異なっている。その原因としては、夜中から午前中における局地風のスケールが午後におけるスケールより小さ

いためと思われる。この研究では、午後から夜にかけての移流を問題にしたので、 A を場所によらず一定として扱ったが、夜中から午前中にかけての流跡線を問題にする場合には、風向の高度変化に対して木目細かい配慮が必要である。

謝辞

この研究は文部省「環境科学」特別研究「内陸域における大気汚染の動態」の一環として行われたものである。使用した観測資料は、この計画研究に参加された方々に負う所が多い。また、第2図は愛媛大学・西川敦氏の製作したものを使用した。第8図の地形図は国土地理院木下氏の御好意による。地形図と風向図の合成は東大海洋研、三沢信彦氏の作製である。記して感謝の意を表します。なお、この論文は第1著者の修士論文の一部を基にしたものである。

文献

- 藤部文昭, 山田真吾, 植田洋匡, 1983: 局地風の解析方法, 文部省「環境科学」研究報告 B163-R11-4「広域大気汚染の動態」付録3.
- 花房龍男, 1984: 気象研究所観測用鉄塔による大気境界層の解析, 天気, 31, 91-100.
- 市田浩三, 吉本富士市, 1979: スプライン関数とその応用, 教育出版, 220 pp.
- 粕谷光雄, 河村 武, 1972: 関東地方における光化学スモッグの広域発生条件, 気象学会講演予稿集, 22, 341.

- 河村 武, 1977: 海陸風の気候, 南関東大気環境調査報告書 I, 気象庁, 46-52.
- 気象庁, 1977: 南関東大気環境調査報告書(I), (II) 要旨 (大気汚染関係の報告書は環境庁から出版されている)
- Kurita, H., K. Sasaki, H. Muroga, H. Ueda and S. Wakamatsu, 1985: Long-range transport of air pollution under light gradient wind conditions, J. Climate and Applied Meter. 24, 425-434.
- 栗田秀實, 植田洋匡, 1985: 傾度風が弱い場合の大気汚染物質の長距離輸送と熱的低気圧および総観気象の関係, 大気汚染学会誌, 20, 251-260.
- 栗田秀實, 植田洋匡, 1986: 沿岸地域から内陸の山岳地域への大気汚染物質の輸送および変質過程, 気象学会講演予稿集, 49, 206.
- 文部省, 1983: 広域大気汚染の動態, 「環境科学」研究報告 B163-R11-4.
- 文部省, 1986: 内陸域における大気汚染の動態, 「環境科学」研究報告 B163-R11-2. (この他に, 内陸域における局地気象と大気汚染物質の広域拡散, 「環境科学」研究報告 B180-S702がある)
- 森 征洋, 1985: 地衡風と地表風との対応について —多度津・岡山の場合—, 天気, 32, 523-529.
- 長野県, 1983: 光化学オキシダント緊急時対策検討調査報告書, 長野県生活環境部公害課, 長野県衛生公害研究所 140 pp.
- 中西幹郎, 1985: 夏季局地風による関東平野内陸域への広域物質輸送, 修士論文 (東大理系, 地球物理).
- Sherman, C.A., 1978: A mass-consistent model for wind fields over complex terrain. J. Appl. Met., 17, 312-319.
- 清水喜允, 1978: 客観解析法, 気象研究ノート第134号(数値予報(下))
- 鶴田治雄, 1984: 沿岸都市域から内陸域への光化学汚染気塊の輸送と変質過程 (I)—1983年夏期調査の事例解析—横浜市公害研究所, 9, 29-32.
- 鶴田治雄, 1985: 光化学スモッグの碓氷峠越え, 科学, 55, 239-243.
- 谷治正孝, 1983: 本州中央部における地上風の日変化, 広域大気汚染の動態, 「環境科学」研究報告 B163-R11-4, 5-15.

 出版情報

国際シンポジウムプロシーディングズ

◎ 国際数値予報シンポジウムプロシーディングズ

—1987年気象集誌特別号発行

・書名

short-and Medium-Range Numerical Weather Prediction

「Collection of Papers Presented at the WMO/IUGG NWP Symposium, Tokyo 4-8 August 1986

edited by T. MATSUNO, Geophysical Institute, University of Tokyo」

・内容

B 5判ハードカバー付製本 本文 825 ページ

・発刊

1987年 8月下旬

・頒価 (送料含む)

国内個人会員 9,000円 学会事務局に送金

(郵便振替東京3-5958) あり次第, 送本する。

国内団体会員 11,000円

国内一般 15,000円

国外会員 13,200円

(US \$ 89.00)

国外一般 22,000円

(US \$ 150.00)

「UAP (TEL 03-813-7232) に委託

詳細は天気34巻5号 (348ページ) を参照下さい。