

論文

神奈川県西部地域における大気汚染発生機構の解明(2) —丹沢後背地への光化学オキシダントの流入過程—

阿相敏明, 三村春雄*, 須山芳明, 相原敬次, 牧野 宏**, 高橋照美***, 清水源治***, 若松伸司****
(大気環境部, *現水質環境部, **現環境工学部, ***山梨県衛生公害研究所, ****国立環境研究所)

Original

Study on Mechanism of Air Pollution in Western Kanagawa(2) -Transport Mechanism of Photochemical Oxidants toward Hinterland of Mt.Tanzawa-

Toshiaki ASO, Haruo MIMURA*, Yoshiaki SUYAMA, Keiji AIHARA, Hiroshi MAKINO**
Terumi TAKAHASI***, Genji SIMIZU***, Shinji WAKAMATU****
(Air Quality Division,*present Water Quality Division,**present Environmental Engineering Division,
Yamanashi Institute for Public Health,*National Institute for Environmental Studies)

Summary

Transport mechanism of the polluted air mass was investigated by the field observation at western Kanagawa covering Mt.Tanzawa, relating with forest damage by acidic matters. Investigation was mainly conducted in Summer of 1994. Vertical and horizontal distributions of O_3 at upper air were conducted by use of helicopter.

From previous reports, the follows were assumed.

NO_x , HC, SO_x , discharged from industrial and urbanized area along Tokyo bay in the morning, are transported to Sagami bay by north-east breeze, and at daytime also transported from Sagami bay to Mt.Oyama by south breeze. During these transport, the above pollutants are converted to O_3 and acidic materials such as SO_4^{2-} and NO_3^- by photochemical reaction, which are thought as cause material of forest damage.

In this report, it is anew assumed as follows.

- (1) O_3 and acidic matters, caused at transportation process to Sagami bay, are further transported to Ashigara and west Tanzawa area.
- (2) The above polluted mass is diluted with clean sea breeze of Suruga bay from Gotenba district at Surugaoyama, and transported to the direction of Yamanashi Prefecture.
- (3) The other polluted mass are transported through Hiratsuka, Atsugi, and Tsukui to Sagami Lake and Uenohara by sea breeze from Sagami bay.
- (4) NO_x and SO_x discharged from industrial area are also transported to Otsuki by east sea breeze of Tokyo bay and valley breeze from the morning to daytime, and converted to high concentration O_3 and acidic materials by photochemical reaction under stable air condition in mountains.
- (5) The conspicuous forest damage is mainly observed at near the summit and the south face of Mt.Tanzawa. From the results, it suggests that air pollutants come into these places from not only the south direction but also wide area by sea breeze and they contribute to fog formation of this area, which is thought as the cause of forest damage.

Key words : oxidants, transportation, trajectory, forest damage, Mt.Tanzawa

1. はじめに

大山におけるモミの枯損が酸性雨の影響ではないかといわれ注目されている。¹⁾ このことから著者らは1990年から3年間、大山において雨や霧の調査、土壌調査、大気汚染調査等総合的に原因調査を行った結果、モミ枯れの原因としては、オキシダント(Ox)、二酸化硫黄や酸性霧及び害虫等の影響が推定された。²⁾ 一方、著者らは大山への汚染物質流入過程を解明するため、1990年及び1991年に大山下社と平塚において地上及び上空のオゾン(O₃)濃度や酸性物質等の測定を行うとともに上層風観測を行った。この結果、首都圏の汚染物質が朝方の北東風によって相模湾に移送され、その過程で光化学反応によりOxや硝酸、硫酸となった後、午後の南風の相模湾海風によって県内に流入し、この一部が大山まで輸送され、モミ等の森林に影響を及ぼしていることを考察した。³⁾

近年、大山のモミばかりでなく丹沢全域にわたるブナ林や西丹沢における針葉樹林の被害が広がっている。樹木の枯損が目立つ地域は、丹沢山地の南斜面の山頂近い地域に集中しており、汚染物質が主に南方面から侵入していることが考えられた。²⁾ このことからより広域的な影響を考慮する必要がある、今回調査では、ヘリコプターのフライトコースを丹沢山地の北東方向の相模湖地域及び南西方向の御殿場地域まで延長して、この間での上空のO₃濃度の変化を測定し、また上層風観測、地上の汚染物質濃度の解析等を行い、丹沢山地への広域的な汚染物質の移流拡散の過程について検討を行った。

2. 調査方法

ヘリコプターにO₃計を搭載し、上空におけるO₃濃度を高度別に測定した。

調査日は1994年9月9日で調査時間は10:00～、14:00～それぞれ1時間30分の飛行である。

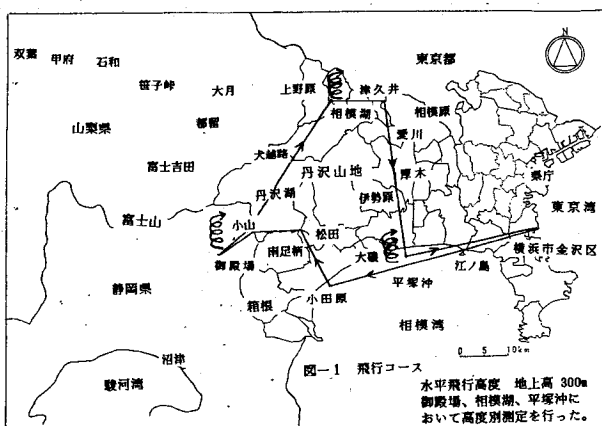


図1 飛行コース

フライトコースは、横浜市金沢区—小田原—御殿場—丹沢湖—相模湖—相模原—平塚—横浜金沢区である。高度別測定を御殿場、相模湖、平塚沖において行った。(図1)

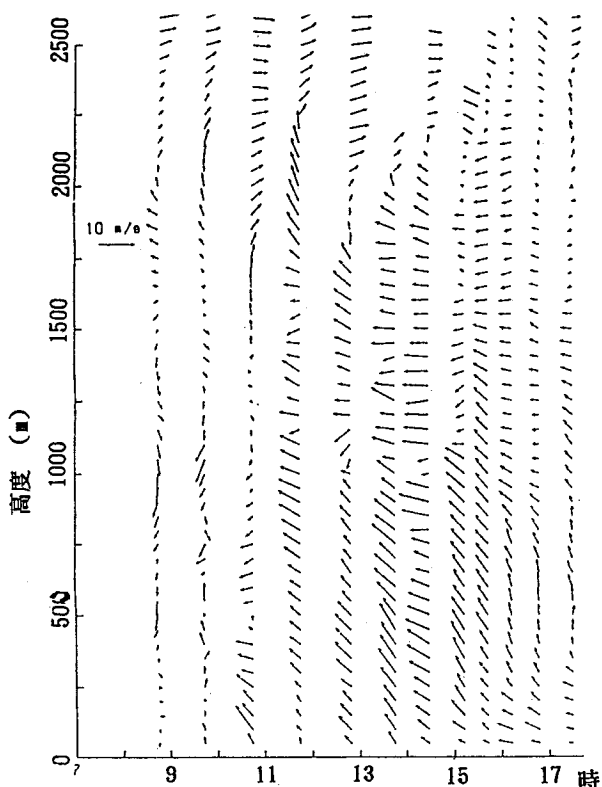
また、相模湖(農業総合研究所津久井試験場)において上層風の観測を9時から17時まで1時間毎に行った。同時にO₃計を設置し、O₃の連続測定を行った。

なお、解析に当たっては神奈川県内及び隣接の山梨県、静岡県、東京都のNO_x、Ox等の大気汚染常時監視測定局のデータを使用した。

3. 結果及び考察

3.1 上層風観測結果

ヘリコプターによる調査当日は、気象台の天気概況によると前線が東海上に抜け、中国東北部にある高気圧に覆われ、このため横浜8時の上層風は地上から2,000m付近まで3～6 m/sの北風となっていた。相模湖におけ



る上層風観測結果を図2に示したが、これより相模湖地域においては、9時には地上から1,600mまで北風であったが、10時には600mまでが弱い南風が変わった。下層大気は時間とともに東よりの南東風になり、厚木、愛川方面からの風になった。15時から17時にかけては下層200～300mに東～南東の風で300～800mで南東～南風であり、下層に津久井湖方面からの風が入っていた。

これらのことから、ヘリコプターによる調査(10時~16時)の間の相模湖地域の下層大気の流れは全体的に南東風であり、風は丹沢山地の東側を迂回し、相模川に沿った低い地域を通る傾向にあったと見られる。

3.2 地上における窒素酸化物 (NO_x)、O_x濃度及び風の状況

(1) NO_xの汚染状況

光化学反応の一次汚染物質の一つであるNO_x濃度の平面分布を図3に示す。

朝方NO_x濃度は発生源の多い東京湾臨海部で高濃度となっていた。また、朝方は北東系の風であり、この風下にあたる相模湾臨海部や山間にある津久井、大月、富士吉田方面でも比較的高濃度となっていた。

昼過ぎには東京湾海風と相模湾海風が収斂した東京湾臨海部でNO_x濃度は上昇したが、相模湾海風が吹き上がった県西部で濃度は低下していった。16時以降は東京湾臨海部で低下し、県西部地域で上昇する傾向にあった。

(2) O_xの汚染状況及び風の状況

O_x濃度の平面分布及び風の時間変化を図4に示す。

9時には平野部では北~北東風であり、O_x濃度は全域で20ppb程度であったが、10時には小田原、静岡県で南よりの海風が見られ、O_x濃度は30~40ppbに上昇した。

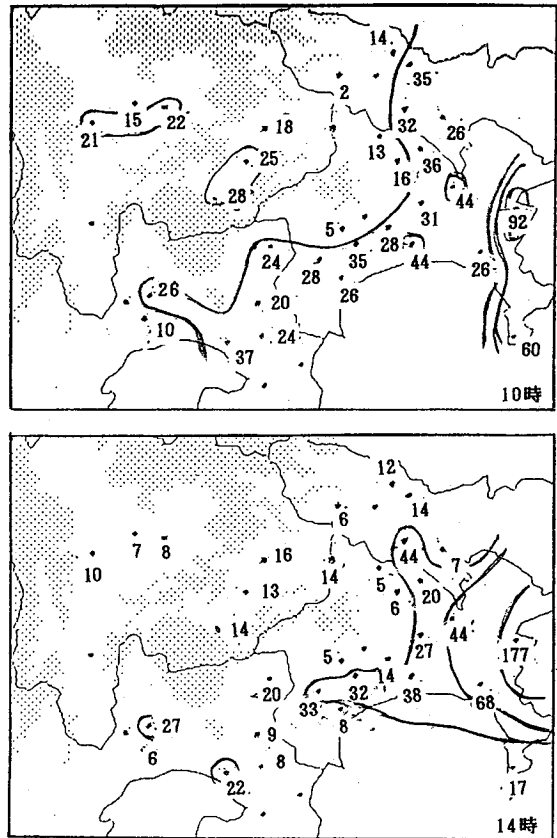


図3 NO_x濃度の平面分布('94.9.9、単位ppb)

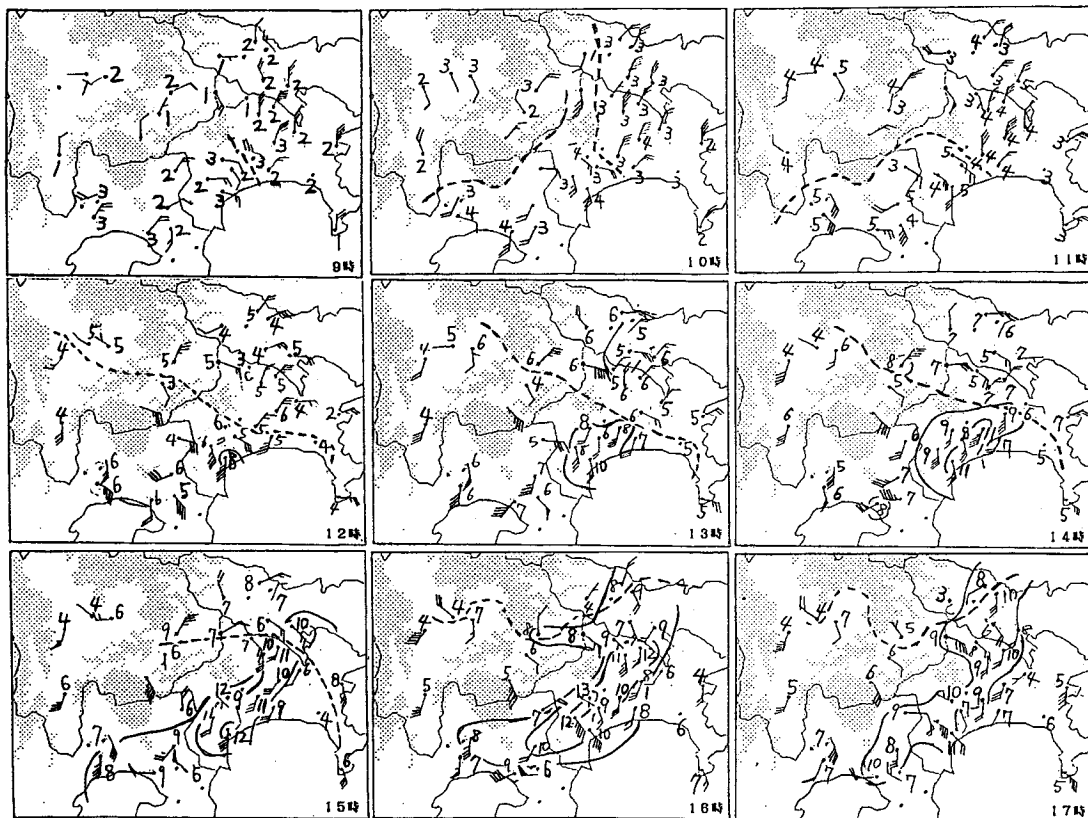


図4 O₃濃度分布と風流線の時刻変化('94.9.9、単位×10ppb)

12時には平野部では東よりの風が変わり、小田原地域の海風が強まり、甲府から平塚、鎌倉にかけて海風と陸風の収束線が見られた。Ox濃度は40~80ppbであり、海風域にある県西部で高く特に小田原から静岡にかけて高くなっていた。

13時以降海風勢力は徐々に強まり、陸風との収束線を北上させたが、16時になっても埼玉県に海風の入ることはなかった。この間のOx濃度は徐々に上昇したが、特に伊豆半島、箱根、丹沢山地に囲まれた小田原、伊勢原地域で高濃度となった。その後時間とともに高濃度域は北上し、16時には南足柄、松田、愛川、相模原の各地で120ppb以上となった。

調査日は前記の気圧配置であり、調査前日の23時から11時過ぎまで北風でその層厚も2,000m上空までであったことから、首都圏における汚染物質が多量に大気が安定な相模湾内に移送されたことが考えられた。また日中の海風が強まらず県内各地で光化学スモッグが発生し、横浜地域では注意報が発令された。

3.3 津久井地域における気象とOx濃度

津久井非常時監視局における各汚染物質濃度及び気象因子の時間変化を図5に示す。

Ox濃度は8時頃から徐々に上昇し、14時40分に50ppbとなった後、80ppbと急激に上昇し、その後徐々に低下した。Ox濃度が上昇した時間には他の汚染物質も同様

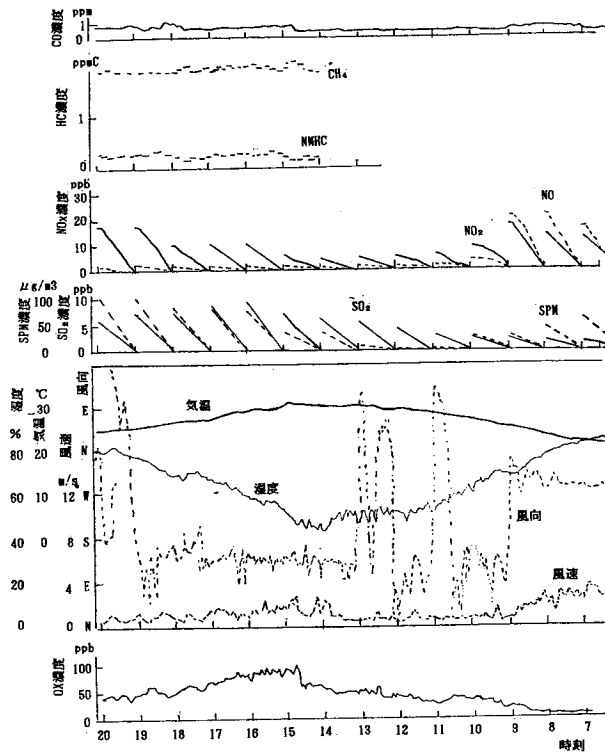


図5 大気汚染物質濃度等時刻変化(津久井'94.9.9)

に上昇していた。気象因子を見ると気温は下がり、湿度は上昇し、風はやや強まり南東風であったことから海風が進入してきたことが伺われた。

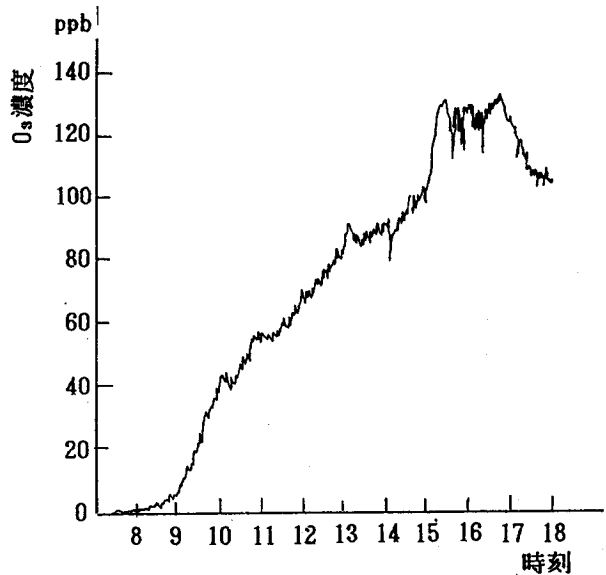


図6 相模湖におけるO₃濃度時刻変化('94.9.9)

相模湖におけるO₃濃度時間変化を図6に示す。O₃濃度は津久井測定局同様8時頃から徐々に上昇し、15時に100ppbから130ppbに急激に上昇していた。この高濃度は約2時間継続し17時にやや低下した。15~17時の

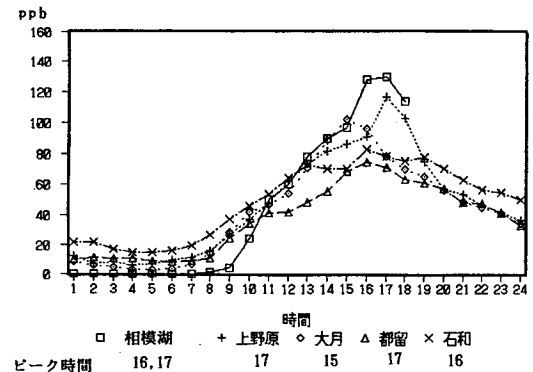
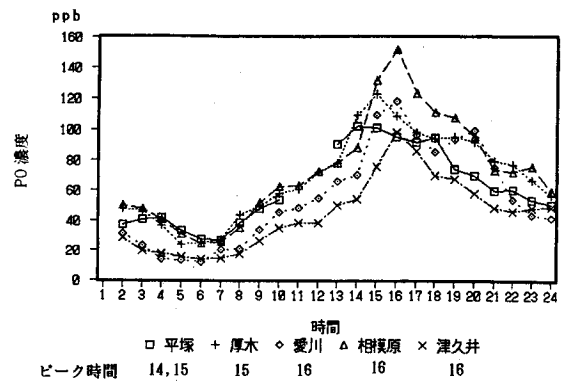


図7 PO濃度経時変化('94.9.9)

$$[PO] = [Ox] + [NO_2] - 0.1[NOx]$$

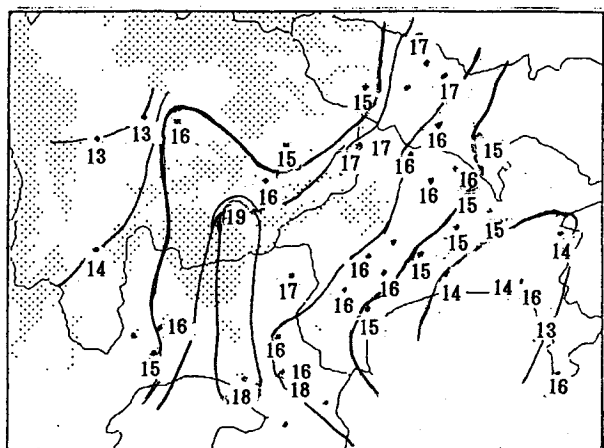


図8 PO最高値現時刻の地域分布('94. 9. 9)

Ox高濃度気塊は相模湾海風に対応するものであった。O₃濃度の上昇時間が津久井測定局より相模湖の方が20分遅く、両地点が約3.5km離れていることから、汚染気塊の移動速度は約10km/hと考えられた。

3.4 Ox汚染気塊の移動状況

光化学反応で生成したO₃は自動車等から排出されるNOによって主に(1)式により分解される。近年、光化学反応で生成したO₃量を正しく評価する方法として(2)式で求められるPO濃度(光化学反応で生成した遊離酸素濃度)が用いられる。

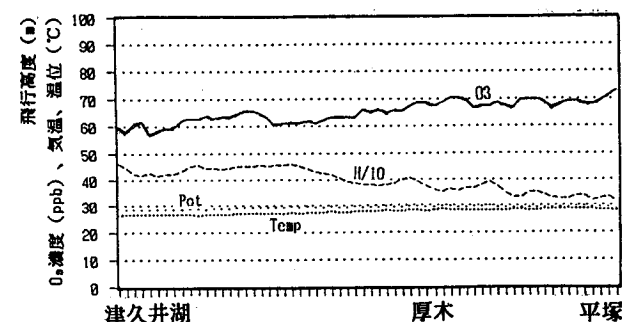
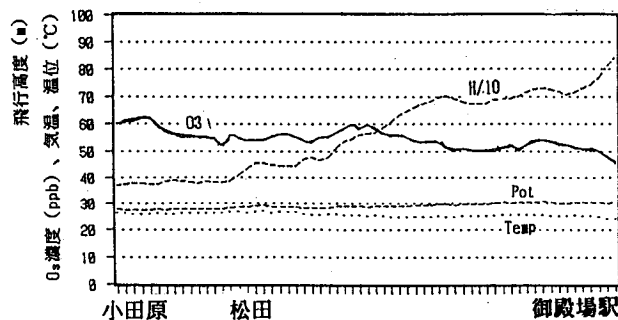
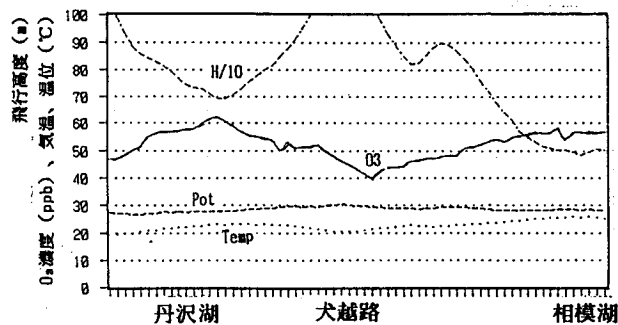
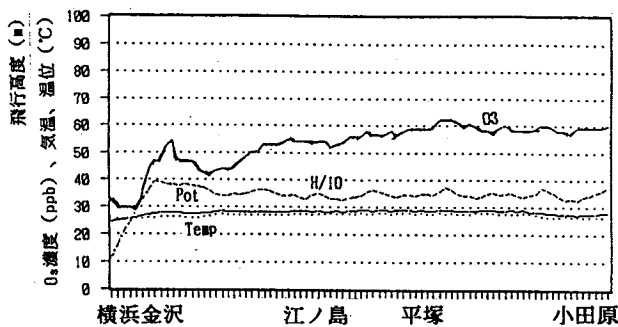
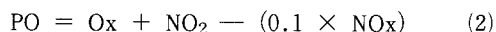


図9 '94. 9. 9 AM の対地高度300mのO₃濃度

相模川沿いにおける測定局のOx、NO₂、NOxを(2)式に代入し求めたPO濃度の経時変化を図7に示す。

PO濃度のピーク時間は平塚で14、15時、厚木15時、津久井16時、上野原17時となっており、Ox汚染気塊が相模湾海風により相模湾沿岸から内陸部に進入していることが伺われた。大月では15時にピークを示しており、相模湾海風が大月までは達しなかったと考えられる。

山梨県、静岡県及び東京都の測定局のデータを加えて丹沢山地周辺のPO最高値出現時間を図8に示す。

PO最高値出現時間は相模湾岸地域で早く、内陸部に行くにしたがって遅くなるのが分かる。甲府盆地内では13時と昼頃になっていたが、富士吉田、沼津で18時、19時と遅くなっているのが特徴的であり、前者は近辺の一次汚染物質の影響であるのに対し後者は遠方からの移流と考えられる。

3.5 上空におけるO₃濃度

午前中の対地高度(地上からの高さ)300mのO₃濃度を図9に示す。また、御殿場、相模湖、平塚における高度別O₃濃度を図10に示す。

調査地域の対地高度300mにおけるO₃濃度分布は50~70ppbであり、また各地点の高度別O₃濃度もほとんど変化なく、この時間帯では光化学反応が未だあまり進んでいない状況と考えられた。

午後の対地高度300mのO₃濃度分布を図11に示す。また、御殿場、相模湖、平塚における高度別O₃濃度を図12に示す。

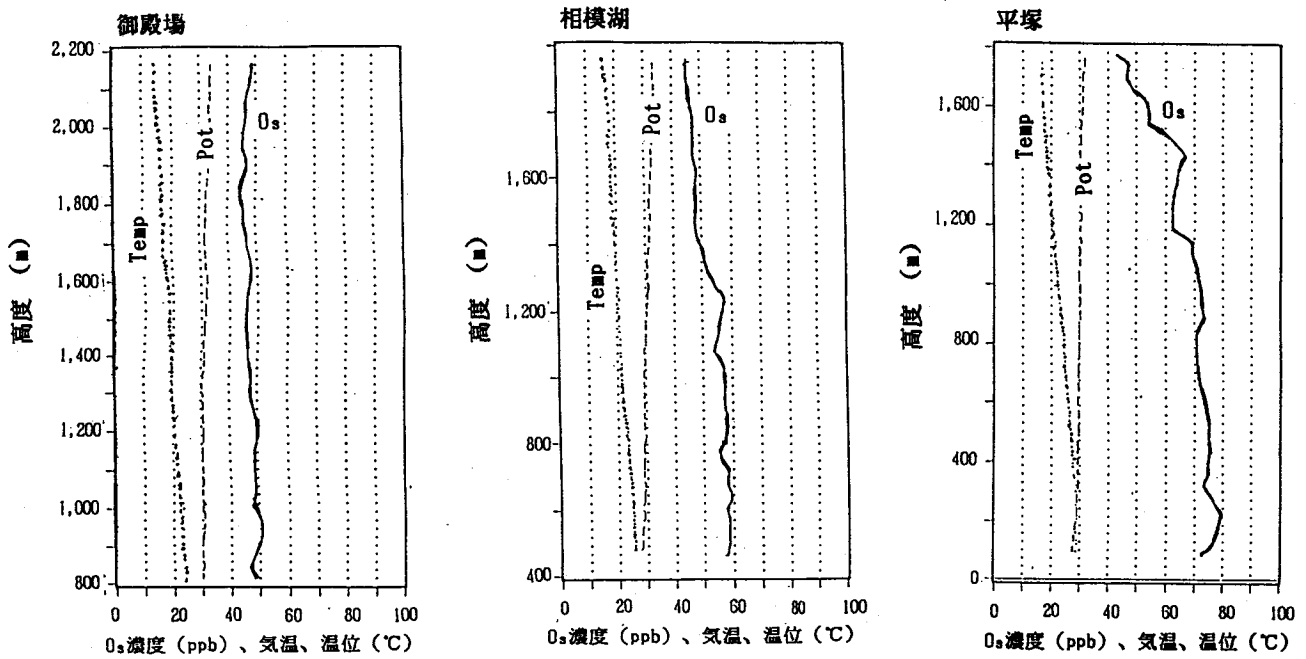


図10 '94.9.9 AM の高度別O₃濃度

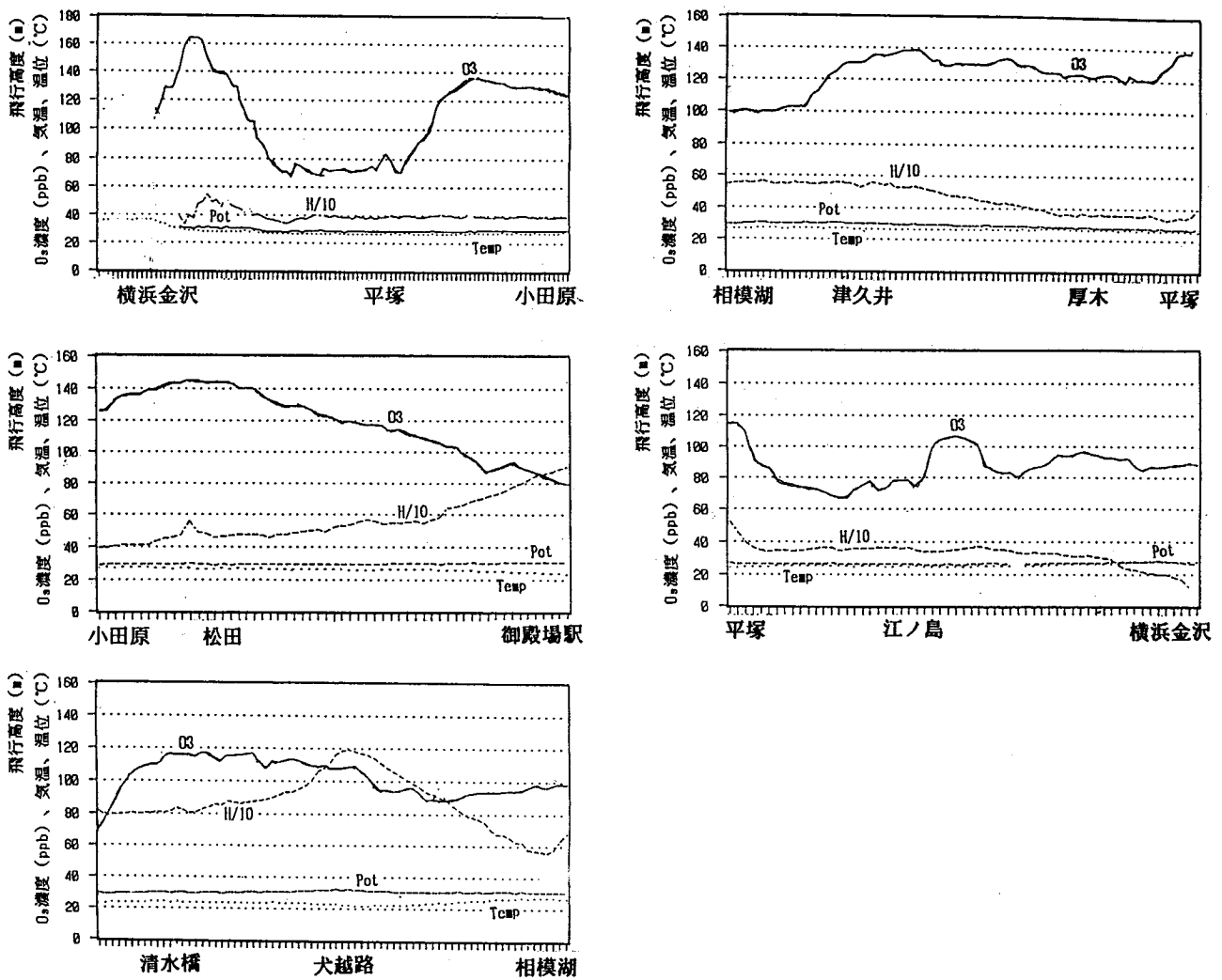


図11 '94.9.9 PM の対地高度300mのO₃濃度

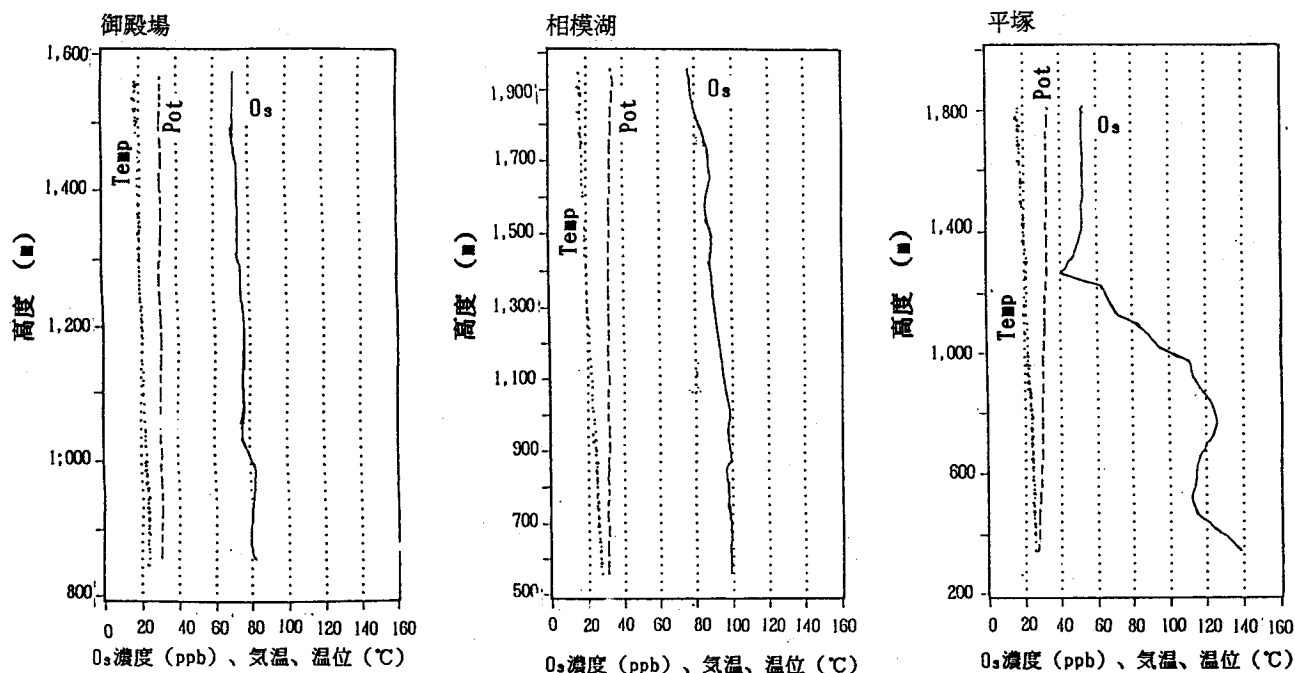


図12 '94. 9. 9 PM の高度別O₃濃度

午後の対地高度300mのO₃濃度分布は光化学反応が進み、濃度の地域変化がかなり見られ、特に東京湾内で160ppbを示した。また大磯沖から足柄平野の地域で140ppbを示し、足柄平野から駿河小山までの地域では120ppbであったが、これ以西は低くなり御殿場では80ppbを示した。御殿場での高度別O₃濃度は70~80ppbと低く高度変化を示さなかった。駿河小山から犬越路までのO₃濃度は110ppbであり、足柄平野の140ppbと比較して30ppb程移流拡散されたことが推測されたが、西丹沢の谷筋の最奥である犬越路においても高濃度O_x気塊が流入していることが認められた。このことから、相模湾内の高濃度O_x気塊は足柄平野に移流し、山岳部の谷筋に流入する過程でやや希釈され、駿河小山以西の御殿場では谷筋から平野が広がる地形のために更に拡散され、清浄な駿河湾海風によって希釈されることが考えられた。

犬越路の北側のO_x濃度は南側に比較し更に20ppb程低く、相模湖まで90~100ppb程度の汚染となっており、峠を越える汚染気塊は少ないものと考えられ、足柄平野から侵入した汚染気塊と相模湖から侵入した気塊とは異なった気塊と考えられた。

相模湖における高度別O₃濃度は海拔600mの100ppbから1,900mの80ppbまで上空に行くに従って低下しており、混合層高度はこれよりも高いものと考えられた。一方、平塚付近の海上における高度別O₃濃度は海拔1,000mまで120ppbであったが、これより上空では急激に減少し50ppbであったことから、平塚における海風層高度は1,000mと考えられ、内陸の山岳地域では混合層高度が海岸部に比べ高くなっているが、この原因は地形的及び

熱的な要因によると考えられる。

上空のO₃濃度は津久井湖の西側で100ppbであったが、その東側で140ppb近い汚染状況を示しており、地上における測定結果と一致した。今回捉えられた汚染気塊は津久井から平塚海岸までの広範囲にあり、相模湾海風層内に存在した汚染と考えられた。

山梨県の双葉から神奈川県のアム川までの東西方向約70kmの対地高度300mにおけるO₃濃度を図13に示す。

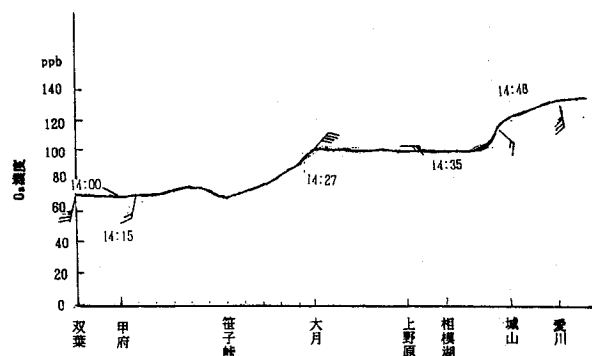


図13 上空におけるO₃濃度
(対地高度300m付近 '94. 9. 9)

(相模湖以西のデータは山梨県が実施した調査による)

双葉から笹子峠までの甲府盆地内ではO₃濃度は70ppbであったが、大月から城山大橋付近まで100ppb、城山大橋から愛川まで140ppbを示しており、城山大橋以西では汚染気塊の由来が相模湾海風によるものとは異なることが考えられた。

3.6 流跡線解析⁴⁾

神奈川県西部山岳部に大きな影響を及ぼす汚染物質の発生源は主に東京湾を中心とした地域に集中していると考えられる。これらから排出されたNO_x及び炭化水素類(HC)が山岳部に移流拡散する間に光化学反応が進行し、O₃、硝酸等二次汚染物質を生成することが考えられるが、神奈川県付近における汚染物質の移流状況を確認するため、上層風観測結果及び大気常時監視局の風向、風速を用い、汚染気塊の流跡線を作成した。

流跡線の作成手順

- (1) 平均風向風速のデータは相模湖における高度250m～300mの値(パイロットバルン観測)を用いる。
- (2) 相模湖以外は気塊の付近の常時監視測定局の実測データを用いる。
- (3) 常時監視測定局の風速データは指数の法則により地上高20mに換算する。
- (4) 地上高20mの風速から汚染気塊の移動速度として、高度250～300mの風速に換算する。換算係数は安定度によって異なり、時刻毎に設定する。
これは、横浜地方気象台の3年間の8月のパイロットバルンの結果及びT V K 鶴見の上層風観測の結果から算出した。換算係数は0～6時、19～23時は1.9～2.6、7～18時は1.5～1.8であり、時刻毎に設定した。
- (5) 風速m/sに3.6を乗じkm/hを算出し、風向方向に汚染気塊を移動させる。
- (6) 風向については風向変換時には下層と上層と異なることも考えられるが、そのずれは数十分程度であると考えられる。また地形的影響による地上風と上層風の違いはあると思われ、また気塊は低い所を通ることが考えられるが今回は補正せず流跡線評価時に考慮することとした。
- (7) 流跡線は相模湖、神奈川県庁、南足柄を中心にこれらの地点の風上側をリセプターオリエンテッド、この風下側をソースオリエンテッドで作成した。すなわち前者は基準点から時間をさかのぼり汚染気塊がどこから来たかを推定するものであり、後者は基準点から汚染気塊がどこへ行くかを推定するものである。

以上の手順に従って作成した流跡線1から5の結果を以下に示した。

流跡線1 相模湖10時(図14)

2時から5時まで上野原から大月の地域に滞留していた気塊は山風によって津久井に移り、その後日射が強まるとともに谷風によって再び西進し、11時に上野原、12時に大月、その後甲府盆地方面に向かった。この気塊は12時に大月でO_x濃度が50ppbと低濃度であるが、このこと

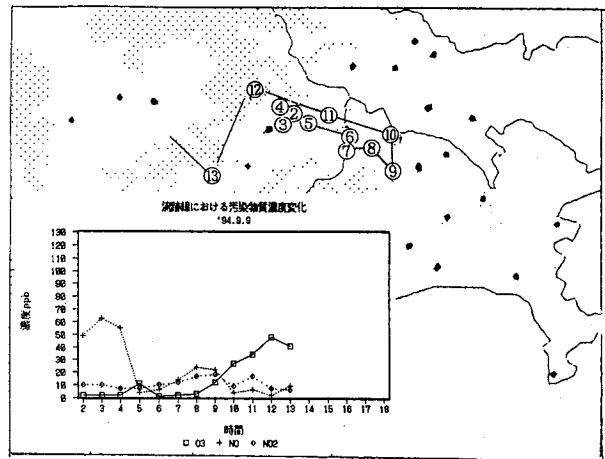


図14 相模湖10時を起点とした流跡線1

は大月、上野原、相模湖地域における一次汚染物質の排出量が少ないためと考えられた。

流跡線2 相模湖14時(図15)

10時から11時に川崎、横浜を通過した気塊は14時津久井で15時大月でO_x濃度が90ppbとなり、流跡線1より40ppbほど高くなった。

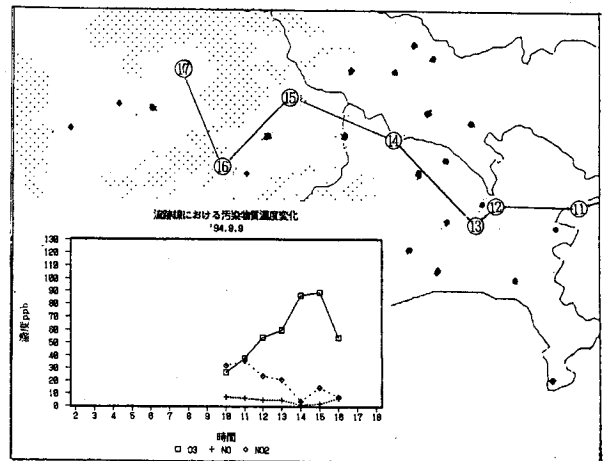


図15 相模湖14時を起点とした流跡線2

流跡線3 相模湖16時(図16)

相模湾からの気塊はO_x濃度が14時平塚で、15時厚木で、16時津久井で100～130ppbとなった。

流跡線4 県庁8時(図17)

横浜から東京湾に出て、横須賀を通り10、11時相模湾に達した。東京湾沿岸地域でNO_x濃度は高く、相模湾に入るとNO_x濃度は低下し、O_x濃度は急上昇した。

流跡線5 南足柄16時(図18)

15時に東伊豆の相模湾から16時に南足柄、富士吉田を通り19、20時に塩山に至る。O_x濃度は小田原、南足柄までは120ppbと高濃度であったが、富士吉田以降は清浄な駿河湾海風と混合し60ppbまで低下した。

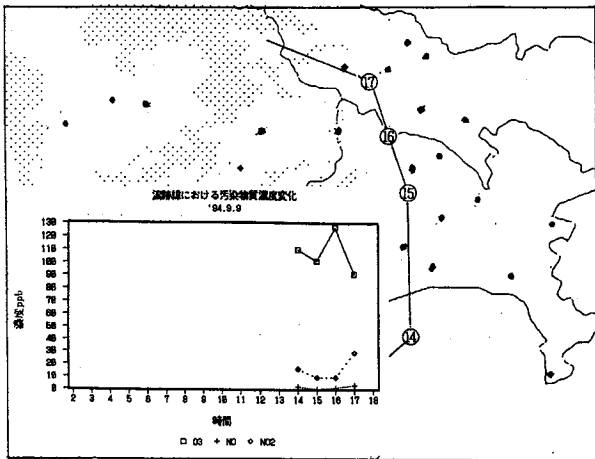


図16 相模湖16時を起点とした流跡線 3

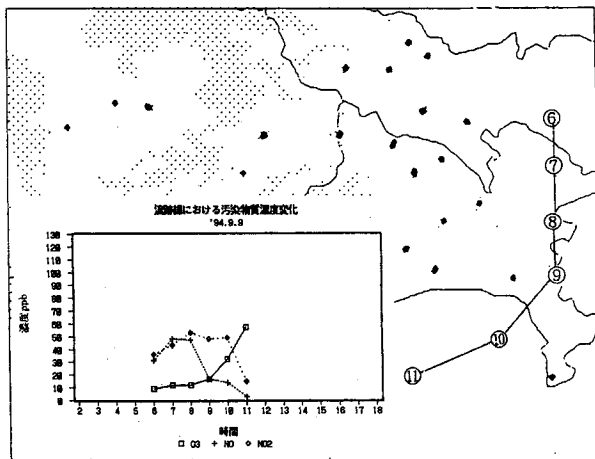


図17 県庁 8時を起点とした流跡線 4

以上の流跡線解析から、津久井から大月に至る地域におけるOx汚染は昼までは当地域から排出されるNOx、HCが少ないためOx濃度はあまり高くない。昼過ぎは東京湾沿岸地域から多量に排出されるNOx、HCが東

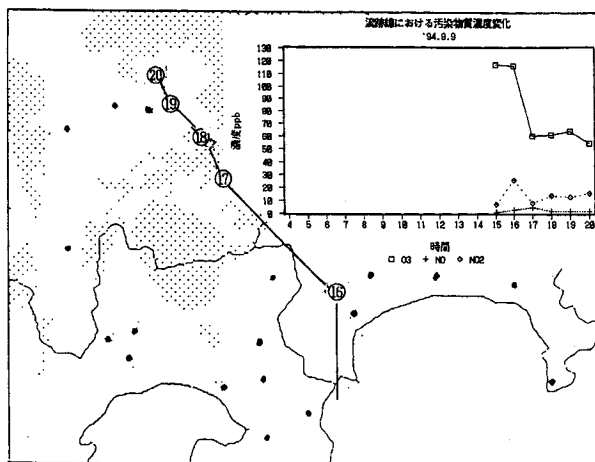


図18 南足柄16時を起点とした流跡線 5

よりの東京湾海風によって移流し、比較的高濃度となる。16~17時では東京湾沿岸地域からのNOx、HCが朝方の北東風によって大気が安定な相模湾上へ移送され高濃度のOx汚染気塊となり、その後相模湾海風によって当地域まで運ばれたことが確認された。また当地域のOx汚染気塊は日中、大月から甲府盆地方面へ流入することが考えられた。

一方、相模湾内で生成した高濃度Ox気塊は、南足柄から清浄な駿河湾海風と混合しながら山梨方面へ移送されたことが確認された。

3.7 総括

ヘリコプターの調査、上層風観測、地上データ、流跡線解析等から、神奈川の北西部（相模湖）、南西部（御殿場）を含む神奈川県西部山岳地域におけるOx汚染気塊の流入過程についての調査結果を総括し以下のことが考えられた。

今回の調査における汚染気塊の県西部地域への流入を概観すると、中部低圧帯に流れ込む大規模流、山梨方面の山岳部に流れる中規模流、丹沢山地の中心に吹き込む小規模流（谷風）によるものが考えられるが、海風による汚染気塊の移流過程としては三つの流路が考えられた。一つは横浜地域を北上するもの、二つは平塚から愛川を北上するもの、三つは小田原から南足柄を通り、山梨方面に移流するものであって、海風により丹沢山地に流入した汚染気塊はその混合層高度や津久井における上層風の観測結果からその一部は丹沢山地を越えることが予想されるが、丹沢の北斜面においても北よりの谷風が吹くことを考慮すると、多くの場合丹沢山地を迂回して谷の低い地域を移流するものと考えられた。

小田原から足柄平野を酒匂川沿いに流入した高濃度Ox汚染気塊は、西丹沢の丹沢湖から犬越路に至るまで流入していることが確認された。しかし、丹沢山地を越える状況は確認されなかった。また、この汚染度の高い相模湾海風と比較的清浄な駿河湾海風が駿河小山付近で混合拡散し、山梨県方面に移流する状況も確認された。

一方、丹沢山地の北に位置する相模湖、上野原、大月の地域は南北を山に囲まれた地域であり、汚染物質の通り道と考えられる。またこのような地形では拡散が抑えられOxが比較的高濃度となることが予想される。相模湾海風によって愛川を通り当地域に侵入した汚染気塊のOx濃度は130ppb程度まで上昇し、この気塊は相模湾海風により上野原まで侵入したことが確認されたが、大月まで至らなかった。これは、日射が減少し大月の西側山岳地域からの山風が発達し汚染気塊の進入を妨げたことによるものと考えられた。当地域における汚染気塊は日

中は笹子から甲府盆地方面へ移流することが考えられ、足柄平野から移流してきた汚染気塊も同様のことが考えられることから今後これらの移流過程については、調査、検討が必要と思われる。

今回調査においては、丹沢山地の南側で O_x が高濃度となったが、1989年8月9日調査⁶⁾では、相模湾側で90ppb、相模湖側で130ppbと今回とは逆の結果がとらえられ、気象条件の違いにより汚染の状況が異なるものと考えられた。前者は朝方北東気流が強く、首都圏の汚染気塊が大気安定した相模湾に多量に移送されたのに対し、後者は朝方の北風が弱く東よりの風が卓越し、汚染物質が拡散されにくい山間の津久井湖、相模湖方面へ流入したためと考えられた。このように首都圏から排出された汚染物質の朝方における移流方向によって O_x 汚染機構が異なることが考えられた。

4. まとめ

大気汚染気塊の広域的な移流機構について丹沢後背地を含む神奈川県西部地域における野外観測によって調査した。観測は1994.9.9に大気中 O_3 濃度の立体分布と相模湖における上層風等を実施した。

今回の結果から次のことが判った。

- (1) 相模湾上で生成した高濃度の O_3 や酸性物質は相模湾海風によって足柄平野に移送され、更に西丹沢の樹木の枯損が目立つ山頂近い南斜面地域まで移送されていることが確認された。
- (2) この汚染気塊は御殿場方面から侵入してきた清浄な駿河湾海風と駿河小山付近で混合、拡散され、低濃度となって山梨県方面に移送された。
- (3) 一方、相模湾上の二次汚染物質を含む汚染気塊は、また相模湾海風によって平塚、厚木、愛川、津久井を通り、相模湖から上野原まで移送された。
- (4) 大月では朝から昼にかけて発生する東京湾海風(東風)によって、都市部の汚染物質が直接侵入し、拡散され難い山間で光化学反応が進み、 O_3 等が高濃度となることが考えられた。

丹沢山地における樹木の枯損が目立つ山頂近い南斜面の地域は夜間においても O_x が高濃度を示し⁷⁾、また霧が発生し易いことから、海風の影響とともに高濃度 O_x

の長時間暴露や汚染物質を濃縮した霧の影響についても考慮する必要がある。また、今回調査で高濃度の O_3 及び酸性物質を含んだ相模湾海風が相模湖、上野原地域まで移送されていることが確認されたが、この地域の南斜面に自生する樹木はこの汚染気塊に長期間暴露されており、今後これら地域における樹木についても観察していく必要がある。

本調査は、山梨県衛生公害研究所及び国立環境研究所との共同研究である。

本調査に当たりご協力をいただいた神奈川県警航空隊、農業総合研究所津久井試験場の方々、大気環境部の菊川城司技師、環境情報部の篠崎光夫部長、大道章一主任研究員に厚くお礼申し上げます。

また、解析にあたって使用した大気汚染常時監視測定局の結果の提供を頂いた山梨県、静岡県、東京都、相模原市の関係各位に御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 鈴木 清：神奈川県林業試験所研究報告, 19, 23~42 (1989)
- 2) 神奈川県環境部大気保全課：酸性雨に係わる調査研究報告書(1994年3月)
- 3) 阿相敏明, 三村春雄, 相原敬次, 牧野宏, 須山芳明, 金子幹宏, 若松伸司, 鶴野伊津志：神奈川県西部地域における大気汚染発生機構解明—大山における酸性物質等の移流について—, 神奈川県環境科学センター研究報告, 15(1992)
- 4) 関東地方公害対策推進本部大気汚染部会光化学共同解析委員会：関東地域光化学オキシダント広域解析調査(昭和53年3月)
- 5) 神奈川県環境部：西湘地域における光化学大気汚染調査結果報告書(昭和57年)
- 6) 阿相敏明, 三村春雄, 相原敬次, 牧野宏, 才木義夫, 須山芳明, 若松伸司, 鶴野伊津志, 神奈川県公害センター年報, 22, 70(1990)
- 7) 牧野宏, 相原敬次, 三村春雄, 若松伸司, 鶴野伊津志：神奈川県山岳部(大山)におけるオゾンの挙動について, 第30回大気汚染学会講演要旨集, 212(1989)