

R-32-'82

スモッグチャンバーによる炭化水素-窒素酸化物系光化学反応の研究

Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system

昭和54年度 特別研究中間報告

Progress report in 1979

—環境大気における光化学二次汚染物質生成機構の研究(フィールド研究 1)—

Research on the photochemical secondary pollutants formation mechanism
in the environmental atmosphere (Part 1)

THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

環境庁 国立公害研究所

序

大気中における光化学反応による二次汚染は大気汚染として実際上も極めて重要である。この現象を研究するためにスモッグチャンバーを用いて炭化水素・窒素酸化物系の光化学反応の研究を行ってきて、ある程度の成果を収めることができた。

実際の大気環境における光化学スモッグの研究のためには、フィールドの調査を欠くことができない。このために、夏期、スモッグの発生しやすい時期において、関東平野の上空におけるスモッグの生成状態を科学的に調査することにした。スモッグチャンバーのような閉鎖した空間と異なり自由な大気中に発生する光化学反応を追跡することは、容易に想像することができる如く極めて困難な作業である。

第一に、飛行機が移動しているために大気中における光化学反応機構を追跡することはラグランジュ的にも、オイラー的にも甚だ困難である。

第二は、航空機に搭載する計測器は重量の制限がある上に、短時間において気圧・気温等に大きな変化を受ける。このためにデータは実験室で得られたものと異なり、正確なデータの取得が極めて困難である。

第三に、光化学反応はいたるところで一年中起きているわけではないので、飛行経路を慎重に選びこれを捕捉しなければならない。

このような研究は当然のことながら費用もかかり、成功の確率も乏しいので内外ともにあまり多くの測定例はない。幸いにしてわれわれは1978年の夏の測定において光化学反応をとらえることができた。そこでその結果を印刷にし、大気汚染に関係する専門家の参考に供したい。

本研究は昭和52年より54年度にかけて当研究所の特別研究（スモッグチャンバーによる炭化水素-窒素酸化物系光化学反応の研究）の一環として実施してきたものであって、スモッグチャンバーで得られた研究結果と、自由大気のそれとを比較することは、故奥田典夫部長の当初の計画であった。多くの貴重な観測データが得られたが、結果の校正および検討に時間を要し、印刷にすることが遅れていたものである。

本研究をすすめるにあたって自ら陣頭指揮に尽力された奥田典夫大気環境部長は、昭和56年8月10日、すい臓癌のため永眠された。奥田部長の御努力によって関東平野のスモッグ現象の解明は画期的な進歩を遂げたが、これは正に奥田部長の責任感溢れる積極的な研究態度によるものと思われる。特に、部長が倒れられた昭和56年7月15日は、大気汚染調査のため羽田空港へ向かう矢先のことであり、前年来病魔に冒されながらも最後までその職を全うしようとした意欲は崇高なものである。奥田典夫部長を失ったことは大きな痛手であるが、故部長の大気汚染研究への態度や研究成果は末長く残り、大気現象の解明のための原動力になるものと信じる。

最後に、本研究は多くの協力者によって実施されたことを付記し、ここに厚く感謝の意を表する次第である。

昭和57年1月

国立公害研究所

所長 近藤次郎

目 次

I. 研究の意識と成果.....	1
(奥 田 典 夫)	
II. 航空機を用いた光化学二次汚染物質立体分布に関する研究の背景.....	9
(若 松 伸 司)	
III. 報 文	
航空機を用いた光化学二次汚染物質立体分布の研究	17
要 旨.....	18
ABSTRACT.....	19
第1章 観測方法と観測機器.....	21
(若 松 伸 司)	
第2章 観測結果の概要	
2.1 観測期間中の気象状況.....	35
(油 本 幸 夫)	
2.2 地上濃度分布と風系.....	43
(若 松 伸 司)	
2.3 航空機による光化学二次汚染質の観測結果	
2.3.1 1978年8月9日の観測結果	57
(若 松 伸 司)	
2.3.2 1978年8月10日の観測結果	77
(小 川 靖)	
2.3.3 1978年8月11日の観測結果	91
(五 井 邦 宏)	
2.3.4 1978年8月12日の観測結果	119
(鶴 田 治 雄)	
第3章 解析および考察	
3.1 光化学二次汚染質の垂直断面分布と気象の関係	149
(若 松 伸 司)	
3.2 浮遊粒子状物質(エアロゾル)の高度分布と水平分布.....	166
(村 野 健 太 郎)	

第4章 結 論..... 177
(奥 田 典 夫)

CONTENTS

I.	Outline and significance of the studies	1
	M. OKUDA	
II.	Back ground of the research on the vertical and horizontal distribution of photo-chemical secondary pollutants using aircraft	9
	S. WAKAMATSU	
III.	Original paper	
	Research on the vertical and horizontal distribution of photochemical secondary pollutants using aircraft	17
Chapter 1.	Experimental procedure and instrumentation	21
	S. WAKAMATSU	
Chapter 2.	Observations	
2.1	Meteorological condition	35
	Y. ABURAMOTO	
2.2	Ground level concentration and air flow pattern	43
	S. WAKAMATSU	
2.3	Observational results of photochemical secondary pollutants using aircraft	
2.3.1	Analysis on 9 August 1978	57
	S. WAKAMATSU	
2.3.2	Analysis on 10 August 1978	77
	Y. OGAWA	
2.3.3	Analysis on 11 August 1978	91
	K. GOI	
2.3.4	Analysis on 12 August 1978	119
	H. TSURUTA	
Chapter 3.	Results and Discussion	
3.1	Relationship between the vertical cross section distribution of photo-chemical secondary pollutants and meteorology	149
	S. WAKAMATSU	
3.2	Vertical and horizontal distribution of aerosol concentration	166
	K. MURANO	
Chapter 4.	Conclusions	177
	M. OKUDA	

I. 研究の意義と成果

奥田典夫 (大気環境部)

1. はじめに

SO_xのような一次汚染質の環境は著しく改善されている。これに比して光化学オキシダントについては、注意報等発令回数は全般的に減少傾向にあるものの55年6月における注意報等の多発、56年7月における6年振りの入院患者の発生等を考慮すると依然として予断を許さない状況にあると考えられる。また、植物影響などをみれば、光化学大気汚染はむしろ広域化しており、大気汚染物質の発生源である臨海工業地帯よりも内陸の田園都市で光化学オキシダントが高濃度となっている場合が少なくない。

光化学スモッグ現象は、太陽光によってNO₂などの原因物質が光分解し、その生成物が炭化水素と反応して種々のオキシダントや光化学エアロゾルなどの有害物質を生成することであるが、環境大気中で高濃度の光化学スモッグが生成するためには、原因物質の濃度とともに、気象条件が大きく影響する。したがって、光化学スモッグのような2次汚染質の発生を予測することは、SO₂のような1次汚染質の予測よりもはるかに困難である。光化学大気汚染の予測モデルを開発するには現実の光化学スモッグ生成の様子を詳細に知る必要があり、米国ではロスアンゼルスにおけるRAPSプロジェクト、セントルイスにおけるMISTTおよびSTATEのような大規模なフィールド調査が数年ずつ行われている。

このようなフィールド研究は52年度の夏に、NHKの協力でヘリコプターによってノンリフトバルーンを追跡しながらNO_x およびO₃の測定を東京地域で行うことができた。これを契機に、大気環境部内に光化学大気汚染のフィールド調査の研究体制が次第につくられた。昭和53年夏季に初めて航空機を用いたフィールド調査が光化学大気汚染の特別研究の一環として始められた。建設途上で研究人員ならびに研究機器が十分にそろっていない当研究部は地方公害研究所の熟練した研究者の方々の御援助で所期の成果をあげることができた。本報告書は昭和53年夏季における航空機調査およびその解析結果をまとめて一つの報文にしたものであり、個々の問題については学術雑誌に発表されている。

2. オキシダント規制戦略と光化学大気汚染のフィールド研究

国内外において光化学オキシダントの汚染地域は広がる一方であり、OECDの環境委員会や日米環境協定のパネルにおいて国際的にオキシダント規制戦略が討論されている。

光化学オキシダントが NO_x と炭化水素を含んだ汚染大気的光化学反応によって生成することは明らかであるが、これら原因物質と光化学オキシダントの定量的関係が十分には明らかにされていないこともあり、規制のための明確な方針は、現在のところ出されていない状況にある。

なお米国では規制戦略の基となる光化学オキシダントの予測モデルは四つの段階に分けられる。

(i) 経験的方法

米国は早朝における炭化水素濃度とオゾンの日最高値との経験的な関係式からオキシダントの環境基準を守るために必要な非メタン炭化水素の最高濃度を決定した。我が国も同様の方法を採用して昭和51年に非メタン炭化水素の指針値を発表した。しかし、米国ではこの上限曲線法は地域によって曲線の形が異なり、一般的な方法ではないことが明らかになってきた。

(ii) 統計的方法

光化学オキシダントの濃度と原因物質の濃度との関係をフィールドデータの統計解析によって求める方法であるが、実際の行政には用いられていない。

(iii) EKMA法

この方法はスモッグチャンバー実験を基にして、それからつくられた光化学反応モデルを単一ボックスモデルと組み合わせ、最小限の気象条件（日射量および逆転層高度の日変化）を考慮した予測モデルである。

このモデルは一つの地域全体に適用され、 NO_x 、炭化水素の排出量に対するオキシダントの等濃度曲線を求め、それからオキシダントの環境基準を守るための NO_x と炭化水素の最大排出量を予測することができる。

このモデルでは、閉鎖系の反応であるスモッグチャンバー実験を比較的単純な修正を加えただけで、開放系の反応である環境大気中の2次汚染物質の生成に適用している。

開放系の反応では

- (1) 反応途上における原因物質の連続的追加
- (2) 太陽光強度の不連続的变化
- (3) 原因物質およびオキシダントの濃度が均一ではない。

など閉鎖系とは異なる反応条件の下にある。EKMAモデルでは単一ボックスモデルで、ボックス内の濃度は均一と仮定するので、追加された原因物質は瞬間的に全域に広がり、実情と一致しない。この問題を解決するために、EKMA法をラグランジェモデルと結合する試みが行われている。このような修正されたEKMA法を規制に応用するためには、フィールド研究によって汚染気塊のトラジェクトリーおよび気塊の移流中の汚染物質の濃度変化を押さえる必要があるが、汚染気塊のトラジェクトリーを正確に画くことは極めて難しい問題を含んでいる。

(iv) 拡散方程式による数値シミュレーション

反応項を含んだ数値シミュレーションによる予測モデルが最もオーソドックスであり、米国でも我が国でもオイラー法に基づいたグリッド型のモデル、ラグランジュ法に基づいたトラジェクトリー型のモデル、またはボックスモデルなどが研究されている。モデルの妥当性を証明するためには精密なフィールド研究が必要であり、環境大気の水素炭化水素組成、航空機による NO_x 、 O_3 の立体分布の測定が不可欠である。

3. Urban plume chemistry の意義

実際の環境大気中における化学反応の様子を明らかにするためには、二つの研究方法がある。

第1は微分的、オイラー的な方法で、特定の場所における化学反応の推移を時間的に追跡する方法である。この方法は、特定の場所に入出入りする大気汚染質を考慮するので、開放系の反応容器内の化学反応を調べることになって、閉鎖系の化学反応の挙動になれているものには極めて理解しにくい。

第2は積分的、ラグランジュ的な方法で、特定の気塊が移流する過程で化学反応が進行するというモデルである。このモデルに基づいて観測データを解析するためには、まず、気塊の流れを追跡しなければならない。1973年、ロスアンゼルスで行われた航空機調査では、テトルーンを飛行機で追跡しながら大気汚染質の測定を行った。今回の観測でも同様の方法が試みられた。1974年、セントルイスで行われたMISTTプロジェクトでは気象条件から気塊の流れの位置を推定し、その付近の大気汚染質の濃度を航空機によって測定している。特定の気塊の追跡は現実には種々の困難を伴い、現在なお満足すべき方法はなく、今後、種々の試みがなされなければならない。

ラグランジュ的に気塊を追跡する場合の最も単純な場合は単一の煙突からの排煙の流れである。排煙中の NO は大気中の O_3 と反応して速やかに NO_2 に変化するので、最近、排煙中の $\text{NO} \rightarrow \text{NO}_2$ 変換の反応速度が航空機を用いて測定されている。このような排煙中の化学反応の研究はブルーム化学(plume chemistry)と呼ばれている。よく知られているように、排煙は流れとともに広がるので、反応中の物質収支を確かめるためには煙源からの距離に対応して排煙の断面の大きさを知る必要がある。したがって、航空機は排煙の流れを横切るように飛ぶ。ブルームがさらに大きく、複雑な場合は固定発生源とともに移動発生源も含んだ多種多様の発生源をもった一つの都市からの大気汚染物質の流れを一つのブルームとしてとらえた都市ブルーム(urban plume)の場合である。MISTTプロジェクトでは、セントルイス市からの大気汚染物質の排出を一つの都市ブルームと考え、そのブルーム中での SO_2 から硫酸塩への変換の速さを研究している。

排煙の流れが一樣であるならば、比較的解析しやすいが、東京のように都市がヒートアイランドになっている場合、その上空を通過するブルームの構造は複雑である。

今後、フィールド調査によって大気化学反応を研究するためにはブルーム化学の方法を意識的に用いる必要があるだろう。

4. 研究プロジェクトの編成

光化学大気汚染に関する本特別研究は前中間報告で述べたように、現象を解明するために、

- (1)スモッグチャンバー実験によるシミュレーション
- (2)フィールド調査
- (3)理論的シミュレーション

の三つの方法を組み合わせて総合的な研究を行っている。

本報告書では昭和53年夏季のフィールド調査の結果を報告する。このフィールド研究では、

- (1)航空機による大気汚染物質の調査
- (2)地上の気象観測
- (3)レーザーレーダによる逆転層の観測が行われた。

5. 研究成果

53年のフィールド研究における大きな目標は光化学反応の起きている空間場を明らかにすることであった。

一つの方法はノンリフトバルーンをヘリコプターで追跡し、直接的に汚染気塊の流跡線を描き、オゾンの生成速度を求めた。その実験結果は別報で報告する。

第2の方法は南関東地域の風系図を描き、その中で、光化学反応の起こる道筋を求める方法である。第1の方法が局部的、直接的であるのに対して、第2の方法は概観的、間接的である。南関東のような複雑な光化学大気汚染の状況を明らかにするにはこの方法が有効である。本報告書ではこの方法による研究結果を報告する。

(i) 日中のオゾンの高濃度は相模湾方面からの南風、鹿島方面からの東風、北部山岳方面からの北風によって形成される収束域に発生する。すなわち、各風系の中の発生源地域から収束域までが独自の反応の場となる。

(ii) したがって、収束域の南北においてオゾンの立体分布は別々の最大値分布を示す。この事実からEKMA法のような単純モデルを南関東地域に適用できないことは明らかであり、日米光化学大気汚染専門家会議におけるEKMA法の評価の討論の際に、このフィールド研究の報告が討論の方向を決定し、ロスアンゼルス地域に比して南関東地域の汚染パターンの複雑さが注目された。

(iii) この収束域では夜間NO₂の高濃度も発生し、山岳地帯からの山風が重要な役割を演じている。「夜間NO₂の化学」は光化学大気汚染の化学の一つの重要な課題となっている。

(iv) 4日間にわたる調査から関東地方のような閉鎖系大気場が形成されやすい地域では汚染気塊が数日間にわたって滞留する可能性が指摘された。この事実については54年度調査で実証されたが光化学大気汚染が数日間にわたる現象と認識されるならば、室内実験ならびに規制対策も根本的に見直しが必要である。

(V) 東京都心域は比較的オゾン濃度が低く、NO₂濃度が高い傾向がある。米国EPAは規制戦略として、都市域と田園地帯を分けて、行うべきことを主張してきたが、この事実は彼らの方針を支持するものと考えられる。

研究発表

(講演)

- (1) 奥田典夫・小川 靖・若松伸司・村野健太郎・鶴田治雄・五井邦宏・油本幸夫・紀本岳志：関東地域における光化学スモッグの立体調査について（その1）、（その2）、（その3）、（その4）。第20回大気汚染学会，神戸。（54. 11）
- (2) Okuda, M., S. Wakamatsu, Y. Ogawa, K. Murano, H. Tsuruta, K. Goi and Y. Aburamoto: Vertical and Horizontal Distributions of Photochemical Smog in Tokyo Metropolitan Area. 日米光化学大気汚染専門家会議，浦和。（55. 2）
- (3) 奥田典夫・小川 靖・上原 清・老川 進：高層ビルを用いた光化学汚染質の鉛直分布の日変化について。第21回大気汚染学会，浦和。（55. 11）
- (4) 小川 靖：都市光化学汚染気塊の挙動について。国立公害研究所研究発表会，筑波（55. 6）
- (5) 鶴田治雄・平野耕一郎・五井邦宏・昆野信也・鈴木英世・油本幸夫・栗田秀実・若松伸司・村野健太郎・小川 靖・奥田典夫：南関東地域上空における光化学汚染気塊の輸送および変質過程。第21回大気汚染学会，浦和。（55. 11）
- (6) 奥田典夫・小川 靖・若松伸司・鶴田治雄・五井邦宏：航空機を用いた光化学汚染気塊の観測について——1979年の観測概要と7月31日の事例解析。第21回大気汚染学会，浦和。（55. 11）
- (7) 奥田典夫・小川 靖・若松伸司・鶴田治雄・五井邦宏：航空機を用いた光化学汚染気塊の観測について——1979年8月2日の事例解析。第21回大気汚染学会，浦和。（55. 11）
- (8) 奥田典夫・村野健太郎・泉 克幸：航空機によるエアロゾルの観測結果。第21回大気汚染学会，浦和。（55. 11）
- (9) 昆野信也・奥田典夫：航空機による炭化水素成分の測定結果について。第21回大気汚染学会，浦和。（55. 11）
- (10) 五井邦宏・鶴田治雄・奥田典夫・小川 靖・若松伸司：航空機による高速大気測定システムに関する問題点。第21回大気汚染学会，浦和。（55. 11）
- (11) 奥田典夫・小川 靖・若松伸司・栗田秀実・五井邦宏：O₃，NO，NO_x，測定器の環境気圧影響について。第21回大気汚染学会，浦和。（55. 11）
- (12) 村野健太郎・泉 克幸・福山 力・奥田典夫・紀本岳志：高時間分解能オートサンプラーとイオンクロマトグラフィーを利用した硝酸塩・硫酸塩の濃度測定。第21回大気汚染学会，浦和。（55. 11）

- (13) 奥田典夫・小川 靖・若松伸司・菊地 立・油本幸夫：関東地域における風の立体構造について。第21回大気汚染学会，浦和。(55. 11)
- (14) 奥田典夫・小川 靖・若松伸司・油本幸夫・菊地 立：関東地方の地上風と上層風の関係について。第21回大気汚染学会，浦和。(55. 11)
- (15) 奥田典夫・小川 靖・若松伸司・油本幸夫・五井邦宏・菊地 立・鶴田治雄・畠野昌治：関東地方の風系と汚染物濃度の関連性について(1)。第21回大気汚染学会，浦和。(55. 11)
- (16) 奥田典夫・小川 靖・若松伸司・油本幸夫・五井邦宏・菊地 立・鶴田治雄・畠野昌治：関東地方の風系と汚染物濃度の関連性について(2)。第21回大気汚染学会，浦和。(55. 11)
- (17) 村野健太郎・泉 克幸・水落元之・鶴野伊津志・奥田典夫：関東地方上空のエアロゾル中の硝酸塩，硫酸塩の濃度測定。日本化学会，第43春季大会，東京。(56. 4)
- (18) 鈴木 睦・若松伸司・奥田典夫・畠野昌治：光化学汚染気塊の変質過程——流跡線上の濃度変化。日本化学会，第43春季大会，東京。(56. 4)
- (19) 村野健太郎・泉 克幸・水落元之・鶴野伊津志・若松伸司・奥田典夫：関東地方上空のエアロゾルの水平分布とオゾン濃度との相関。日本気象学会，昭和56年度春季大会，東京。(56. 5)
- (20) 鶴野伊津志・若松伸司・奥田典夫・鶴田治雄・五井邦宏：光化学大気汚染質濃度の立体分布と気象の関係——1979年の航空機観測について。日本気象学会，昭和56年度春季大会，東京。(56. 5)
- (21) 鈴木 睦・若松伸司・奥田典夫・古塩英世・昆野信也：光化学汚染気塊の変質過程について —1979年の航空機観測について。日本気象学会，昭和56年度春季大会，東京。(56. 5)
- (22) 若松伸司・奥田典夫・五井邦宏・畠野昌治：関東地方における気流分布と大気汚染濃度分布。—夏季の季節風が弱い場合の解析。日本気象学会，昭和56年度春季大会，東京。(56. 5)
- (23) 若松伸司・畠野昌治：関東地方における地上風系分布の地域特性。—PCA(主成分分析)による解析。日本気象学会，昭和56年度春季大会，東京。(56. 5)
- (24) 畠野昌治・若松伸司・油本幸夫・菊地 立：関東地方の風の立体構造(1)。日本気象学会，昭和56年度春季大会，東京。(56. 5)
- (25) 畠野昌治・若松伸司・油本幸夫・菊地 立：関東地方の風の立体構造(2)。日本気象学会，昭和56年度春季大会，東京。(56. 5)

(印 刷)

- (1) 若松伸司・五井邦宏・油本幸夫・畠野昌治・奥田典夫(1981)：関東地方における光化学汚染質の地域分布と局地気流。大気汚染学会誌，16(3)，146—157。
- (2) 若松伸司・小川 靖・村野健太郎・奥田典夫・鶴田治雄・五井邦宏・油本幸夫(1981)：東京首都圏地域における光化学スモッグの航空機観測について。大気汚染学会誌 16(4)，

199 - 214.

- (3) Kentaro Murano, Katsuyuki Izumi, Motoyuki Mizuochi, Itsushi Uno, Shinji Wakamatsu, Michio Okuda: Sulfate and Nitrate Concentration in Aerosol above Kanto Area. *Chem. Lett.*, p. 1037-1040, (1981).
- (4) 若松伸司・畠野昌治 (1982) : 関東地方における局地風系パターン-夏季における気圧傾度が弱い場合の解析-. *大気汚染学会誌*, 16 (6), 371 - 378.
- (5) 若松伸司・畠野昌治 (1982) : 主成分分析による局地風系解析. *大気汚染学会誌*, 16 (6), 379 - 386.
- (6) 村野健太郎・若松伸司・小川 靖・奥田典夫・鶴田治雄・五井邦宏・油本幸夫 : 東京首都圏地域における浮遊粒子物質 (エアロゾル) の高度分布と水平分布. *大気汚染学会誌*, (投稿中)

II. 航空機を用いた光化学二次汚染物質 立体分布に関する研究の背景

若松伸司 (大気環境部)

1. 我が国における光化学大気汚染

1970年の夏に日本において初めて光化学スモッグによる被害が発生して以来、約10年の歳月が流れた。この間、地上におけるオキシダントの常時監視測定局は、1970年の10局から1978年には847局に増加し、地上でのオキシダント濃度の地域分布や時刻変化に関する多くの貴重なデータが、蓄積されてきている。これらのデータは、我が国における高濃度オキシダントの発生地域のほとんどが、東京湾、および大阪湾地域に集中していることを示している。

1978年の測定結果¹⁾によれば、オキシダント1時間値0.12 ppm以上の日数が年間を通して25日以上となる測定局は8局であり、このうちの5局が埼玉県、残りの3局が大阪府であったと報告されている。東京、大阪地域は、言うまでもなく我が国の2大中心地であり、移動発生源や固定発生源が集中しているほかに、湾と山岳が入り組んだ地形となっているため光化学スモッグの発生機構は極めて複雑である。

関東地方に関しては、1975年から1977年の夏季通年428日間の地上常時監視データを用いた詳細な解析が、関東地方公害対策推進本部大気部会より行われた²⁾。これによれば、関東地方でのオキシダント濃度の分布は広域であり、その動態は風の分布と密接な関係があることが明らかにされている。すなわち、日中の風が関東地域全体で弱いS成分となる場合には、関東平野全体が高濃度となる広域型の出現が多いが、朝のうちは全体的に静穏ないし、NW又はNE風で、日中に南関東地域でS風、北関東地域でE風が吹くような場合には、S風とE風との間に不連続線が形成されやすく、汚染物質が南側の地域にのみ滞留する南関東型となること、またS風が強い時には南関東地域ではあまりオキシダント濃度は上昇せずに、関東内陸部で濃度が上昇する北関東型になることなどが明らかにされている。

この解析結果からも明らかなように、光化学スモッグの発生機構を解明するためには、関東地域全体を含むような100km以上のスケールで現象を把握することが必要であり、また長時間にわたる汚染質の移流・拡散・変質の過程を明らかにするための研究が不可欠であるといえる。

主に、1960年代に開発、研究がすすめられてきた多くの移流、拡散モデルは、対象とする汚染質の大気中での変質が無視できる比較的近距离、短時間の現象をシュミレートするものであり、多重発生源の複合効果は、個々の発生源の線形加算で処理されてきた。しかしながら、光化学スモッ

グの場合には時間、空間のスケールのオーダーが段違いに大きく、また、化学変化を含むため現象が非線形となり、これまでの理論をそのまま用いることは出来ない。

2. 光化学大気汚染発生機構の特徴

光化学汚染の特徴の一つは、濃度分布の平面的な連続性が大きいことである。このことは、前述の関東光化学解析報告書や、1都3県光化学スモッグ共同調査報告書などでかなり明確にされている³⁾。一般的に言ってオキシダント汚染は風向による影響が強く、ある時刻における平面的な濃度分布は、風下は向かって連続的に変化することが多いとされている。またその時間的な動きは一つのまとまった汚染気塊として移動していることが明らかとなっている。これらの地上観測局での観測結果は、光化学スモッグの発生機構の解明にあたってはこれまでの解析手法とは全く異なった考え方を採用すべきことを要求しているように思われる。すなわち、都市の汚染気塊 (Polluted Urban Air Mass) としての現象の把握が必要となってきたといえる。この現象は、地球規模的なスケールを大規模現象、単独排出源からの数10km程度までの現象を小規模現象と定義するならば、いわば中規模現象とも言えるものであり、その解明にあたっては独自の方法論が要求される。この中規模現象も、1,000kmを越えるようなスケール、または数日以上のスケールとそれ以下のスケールでは当然取り扱い方が異なってくる。すなわち、発生源の時間的、空間的分布の状況、地形効果、気流の立体構造、拡散の度合い (風、気温、乱流強度などの立体分布)、化学変化、沈着、破壊などのそれぞれの要因のウェイト付けがこの中規模スケールの現象を解明するにあたっての重要な柱となる。

3. 航空機を用いた立体分布観測

接地気層における光化学二次汚染質の立体分布観測は、1960年代の後半から始められている。Lea⁴⁾は1965年から1967年にかけてオゾンゾンデを用いてロスアンゼルス⁵⁾の西約75kmの海岸地域においてオゾンの立体分布観測を行い、オゾンの高濃度域が気温逆転層の低部に出現する現象を明らかにした。Edinger^{5,6)}らは、1970年6月に、2機の飛行機を用いた観測を行い、ロスアンゼルスにおけるオキシダントの立体分布を明らかにしている。この観測からも高濃度は気温逆転の下層で出現し、長時間にわたり滞留することが明らかにされた。Gloria⁷⁾も1971年9月に同様の観測を行い、6000mまでのオキシダント、オゾン、窒素酸化物、炭化水素等の濃度分布を求めた。観測結果では300mから1,300mの間に地上濃度の2~10倍のオキシダントが存在していたが、強い逆転が存在しない時には窒素酸化物や炭化水素は高度とともに減少していた。地上でオゾン濃度が低い値を示す理由として、地表面における物理的なクエンチングと、NO又はオレフィンによる化学的なクエンチングが考えられると述べられている。Miller⁸⁾らは逆転層が破壊される時に急激にオキシダントが上昇することを報告している。Miller⁹⁾らは、シェラネバダ山脈のセントラルバレーにおいて観測を行い、午前中にはオキシダントの極大域が逆転層の上端に存在し、午後になると谷を昇る風

によって汚染物質が移送される現象を観測している。これらの観測結果は、光化学スモッグの生成のメカニズムの解明にあたっては地上での汚染物質や気象の観測だけでは不十分であり、広い地域について三次元的な観測が重要であることを示している。

我が国においても1971年から1975年にかけて首都圏の地方自治体を中心として、ヘリコプターを用いた光化学汚染質の立体分布調査が行われ、東京首都圏地域においても地上で高濃度の光化学スモッグが発生する場合には通常、上空でもより高濃度のオゾンが存在していることが明らかになった。しかし東京首都圏地域は気象条件が複雑であり、また各種発生源が複合しているため光化学スモッグの立体的な動態を把握するためには気象条件と汚染質濃度分布、および発生源の詳細な広域観測が必要であることが指摘されている。

これらの観測は主に局地的な汚染物質の垂直分布の観測が中心であり、測定された物質もオゾンに重点が置かれていたが、これらの観測と平行して、他の汚染質をも含めた総合的な広域観測が行われるようになった。

これまでの航空機を用いた大気汚染観測は、研究の対象により三つの分野に大別される。

第1の分野は、光化学汚染質の移流現象解明のための観測、

第2の分野は、大気中における光化学汚染質の化学変化、特に O_3 、 NO_x 、HCの関係を中心にした観測、

第3の分野は、 SO_2 の変質過程を明らかにするための観測、

である。これらの分野は研究目的が異なっているため、それぞれ独自の方法論と観測技術が要求される。また特に広域の光化学大気汚染現象は、気象条件や発生源条件と密接な関係を持っているため、これらの特性を十分に考慮に入れる必要がある。

中規模スケールの現象は、これまで、観測技術上の問題や、研究体制上の諸問題が大きな制約となり、組織的、体系的な研究があまりなされてこなかったが、1970年代に入ってからアメリカやヨーロッパを中心として航空機を用いた大規模な観測が行われ、多くの新知見が得られ始めている。以下、前述の第1から第3の研究分野ごとに、その研究の経過と現段階を明らかにしたい。

3.1 光化学汚染質広域移流現象の航空機観測

光化学汚染質の移流、拡散に関しては、ロスアンゼルス地域において最もデータが蓄積されていることは既に述べたが、最近の研究としてはBlumenthal¹⁰⁾らが、2機の航空機を用いて、気象学的な立場から高濃度日における O_3 、 NO 、 $C.N.$ （Condensation Nuclei）などの立体分布の特徴を解析している。観測結果によれば濃度の水平方向、並びに垂直方向には強い濃度こう配があり、高濃度領域の移動と広がりには海風の果たす役割りが大きいこと、また十分に時間が経過した汚染物質の層が上層に存在し、これらの層は一夜滞留し、翌日混合層が上昇することにより引き込まれ、地上での濃度上昇の原因となることなどが明らかにされた。Husar¹¹⁾らは、上記データを用いて1973年夏の24日間にわたって汚染質の平均的な垂直分布を解析し、 NO_x の高濃度域は海岸に近い

所で出現するのに対し、 O_3 は内陸部で高濃度となることや、大気低層においては一次汚染質が O_3 消費するため O_3 濃度が減少するなどの事実を明らかにした。一方、Lyons と Cole,¹²⁾ Keen と Lyons¹³⁾ はミシガン湖周辺の湖陸風とエアロゾルの立体分布の関係を調べ、汚染質の再循環があることを報告している。アメリカ北東部における光化学汚染の立体分布についても航空機を用いた多くの観測が行われており¹⁴⁾、1976年にはシンポジウムがノースカロライナで開催されている。この中でWolff^{15,16)} らは、東部三州(ニューヨーク、ニュージャージー、コネチカット)上空での単発機(Cessna-172)による観測を1975年8月10日から22日にかけて連続的に実施し、 O_3 の立体分布観測を行った結果を発表した。約300mの高さでの O_3 の平面分布を解析し、石油化学工場地帯での風下側では他の地域よりも O_3 の生成能力が大であることを明らかにしている。Westberg¹⁷⁾ らは1975年7月から8月にかけてニューヨークからボストンにかけての地域での広範な観測を行い、 O_3 の立体分布データを多数求めている。

一方、中南部のヒューストン地区においては民間レベルでの独自の調査研究HAOS(Houston Area Oxidants Study)が1976年から始められているが、¹⁸⁾ EPAも1974年にテキサス大学のBrock¹⁹⁾ らに航空機観測HUPS(Houston Urban Plume Study)を委託してこの地域の観測を始めている。1975年には、メキシコ湾岸地域全体を含んだ広域観測がRTI(Research Triangle Institute)により行われた。²⁰⁾ この観測には二つの大きな目的があり、その第1は、高気圧が人口の少ない地域から多い地域へと移動するに伴って、その中心部における O_3 濃度が、どう変化するのかを明らかにすることであり、第2の目的はテキサスの北部湾岸地域における高濃度 O_3 の地域的な広がりを明らかにすることである。観測により O_3 の高濃度域は高気圧の後面で発生することが多く、前面または中心近くでは相対的に低濃度となることが明らかにされている。また、メキシコ湾上での O_3 濃度は、通常陸上よりも低い、陸上の汚染源を通過して湾上に達した空気中の O_3 は高濃度となり、陸上においても製油所や、化学工業地帯の風下側では O_3 が増大することが報告されている。

3.2 環境大気における光化学反応の航空機観測

大気中における光化学汚染質の化学変化、特に O_3 、 NO_x 、HCの関係を中心とした議論を行うためには、ラグランジュ的な観測が必要である。Calvert^{21,22)} は1973年のLARPP(Los-Angeles Reactive Pollutant Program)のデータを用いて環境大気中での光化学反応モデルの検証を行っている。この観測では、テトルーンを用いて空気に目印をつけ、このまわりを2機のヘリコプターが交互に飛行し汚染気塊の濃度の時刻変化を約6時間にわたり追うことに成功した。これらのデータを用いて炭化水素濃度の時刻変化に関する解析も行っており、反応性のある炭化水素とアセチレンの濃度比は時刻とともに減少することを明らかにした。また炭化水素濃度の時間変化からOHラジカルの値を推定している。

Decker²³⁾ らは、セントルイスにおいて直径22mのHe気球(DaVinci II飛行計画)を用いて約24時間にわたり、移動する空気塊の濃度変化を追跡した。気球上で O_3 、 NO_x 、 SO_2 を連続測定

するとともに、テドラーバックを用いて空気を採取し、各種炭化水素成分の分析を行った。夜間から早朝にかけて、セントルイスのアーバンルームに含まれる高濃度の O_3 (約0.12~0.15ppm) が、放射逆転の上部で観測されており、上空における O_3 の輸送には希釈と破壊の影響が極めて小さいことが明らかにされた。また人為的な発生源の影響を顕著に受けられていると思われる気塊中では、NMHC、アセチレン、イソペンタン、フロン11の濃度が他の場合と比較して高い値を示した。

Heinsheimer²⁴⁾らも直径10mの気球、ATMOSAT (for Atmospheric Satellite)を用いた飛行例を紹介している。

環境大気における汚染質の化学変化過程を、移流する気塊に乗って計測する方法は、画期的な試みであり、今後の成果が期待される。

3.3 SO_2 の変質過程の航空機観測

硫酸エアロゾルは、 SO_2 よりも毒性が強いと言われており、視界低下の原因ともなる。また酸の沈降に伴う被害が、ヨーロッパでは多数報告されている。近年石炭エネルギーが再び利用され始めようとしていることなどを考えると、環境大気中での SO_2 の変質に関する研究は重要であるといえる。

SO_2 の変質過程を把握するための研究は、アメリカ、ヨーロッパを中心として組織的に行われ始めている。アメリカではセントルイスをモデル都市として、モニタリングステーションの新設RAMS (Regional Air Monitoring System) から、排出源調査、健康被害調査、などを含む大規模な調査、研究が約56億円の巨費を投入して1974年から1976年にかけて行われた。このRAPPS (Regional Air Pollution Study)の一環としてMISTT (Midwest Interstate Sulfur Transformation and Transport) 計画が実行された^{25~28)}。この観測は、大きく分けて三つの部分から成っている。すなわち、発電プラントの煙の観測 (Labadieの石炭燃焼の火力発電所の煙)、都市ブルームの観測 (セントルイスからのあらゆる種類の汚染大気塊)、およびBlobの観測 (大きな不規則な形をしたかさねた大気塊であり停滞性の高気圧のような気象条件下では数百kmにもおよぶ大きさになる) の三つである。発電プラントの煙の中の SO_2 が粒子状物質へ変化する比率は太陽光の照射量とともに直線的に増加することがわかったが、その傾きはオゾン濃度や、大気の安定度により異なることが指摘された。この観測では日中の反応速度は1~4%/時の範囲であり早朝および夜間では反応速度は非常に小であった。

都市の煙の硫黄は指数関数的に時間変化しており、時定数は3~4時間であった。

高い煙突から排出された SO_2 は、地上に達する以前に希釈されるため 地表面付近での除去効果は小さく、また逆転層の上部に長時間トラップされるため、粒子状硫酸塩の形成が促進されるという重大な指摘がなされている。

このMISTTの観測に引き続き現在は、STATE (Sulfur Transport and Transformation Experiment) 計画がすすめられている²⁹⁾。

またアメリカではこの計画とは別に、ERDA (Energy Research and Development Administration) によって、石炭火力発電所からの煙の変質、移流に焦点を絞った研究が行われている³⁰⁾。(MAP 3S)

一方、ヨーロッパでは、OECDにより北西ヨーロッパ全域にわたる硫黄化合物の移流、沈着を解明するためのプロジェクトLR TAP (Long Range Transport of Air Pollutants³¹⁾), EURMAP (European Regional Model for Air Pollution) がつくられ³²⁾、主に大気中の硫黄分のデポジションに関する研究が中心となっている³³⁾。

4. 現象のスケールと解析手法

これら 3.1 ~ 3.3 の分野の研究を通じての共通の目標は、発生源と環境濃度との定量的な関連性の把握にあるといえる。

K. L. Demerjian は、光化学のモデル化を行うにあたっての空間的なスケールを 4 種に分類した^{34, 35)}。

スケール	領 域	寸 法
Local (局地的)	マイクロ	200m × 200m × 100m
Urban (都市域的)	ザブーメソ	50km × 50km × H
Regional (地域的)	メソ	1000km × 1000km × PBL
Continental (大陸的)	メソ-Synoptic	3200km × 3200km × PBL

現象を規定する主要なファクターは、スケールにより異なる。Local スケールでは、主要な気象因子は、拡散であり、Continental スケールでは、沈着が重要となる。また Urban, Regional スケールでは移流、変質が最も重要な因子となろう。すなわち対象とする現象の時間、空間スケールにより観測や解析の方法が当然異なってくる。

我が国で現在問題となっている、都市域における光化学スモッグ現象は、Urban, Regional のスケールに該当する。特に我が国の光化学スモッグの発生地域は前述のとおり、地形が複雑であり、発生源も入り組んでいるため、拡散、移流、変化変質、沈着、それぞれの要因がどのような形で地上での高濃度に影響を及ぼすかを明確化する必要がある。

フィールド研究は、データを入手するまでの作業量が実験室レベルの研究に比べて極めて多く、得られたデータの解釈は複雑でありそれに要する費用もばく大である。しかし、フィールドで直接に計らなければわからないことも多い。例えば、大気中における光化学反応現象は、スモッグチャンバーでシミュレートする事が出来るが、これはあくまでも諸条件を人間が設定して創り出したイミテーション大気についてのものであり、例え、フィールド大気をチャンバーに導入したにしても、①壁面効果、②日射量の高度分布、③空気を容器に入れることによる不純物の混入、④大気乱流の効果、等の問題は、原理的に解決されることは無い。

室内実験、数値シミュレーション、フィールド観測、それぞれの独自の研究を、有機的に結合さ

せることが最も重要であるといえる。

我が国における光化学スモッグの実態は、未知の点が多く、例えば、汚染気塊がどの程度の広がりを持っているのか、どの程度の距離の長距離輸送があるのか、などについてはほとんど調査研究が行われていないのが現状である。

これらの諸点を明らかにし、発生源と環境濃度とを結ぶ合理的・科学的なモデルを模索するのが光化学フィールド研究の目標であるといえよう。

この研究の最終的な目標は、地上における光化学オゾンの空間的、時間的な分布の動態に、どのような要因が、どの程度のウェイトで寄与しているかを定量的に解明し、発生源と濃度との関連性を科学的に明らかにすることである。このためには、①上層の風の構造の推定手法の確立、②環境大気中における各種汚染質の光化学反応性のモデル化、③大気低層における汚染質の沈着、変質現象のモデル化、④一次汚染質の発生量の推定法の確立などが、なされなければならない。またガスからエアロゾルへの変換過程の研究や、航空機を用いた計測システムの開発も行われる必要がある。

引用文献

- 1) 環境大気保全局(1979): 昭和53年度一般環境大気測定局測定結果報告
- 2) 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(1978): 関東地域光化学オキシダント広域解析調査、環境庁委託業務。
- 3) 一都三県公害防止協議会(1973)1974: 一都三県光化学スモッグ共同調査報告書。
- 4) Lea, D. A. (1968): Vertical Ozone Distribution in Lower Troposphere Near an Urban Pollution Complex. *J. Appl. Meteorol.*, 7, 252-267.
- 5) Edinger, J. G. *et al.* (1972): Penetration and Duration of Oxidant Air Pollution in South Coast Air Basin of California. *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 22, 882-886.
- 6) Edinger, J. G. (1973): Vertical on Distribution of Photochemical Smog in Los Angeles Basin. *Environ. Sci. Technol.*, 7, 247-252.
- 7) Gloria, H. R. *et al.* (1974): Airborne Survey of Major Air Basins in California. *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 24, 645-652.
- 8) Miller, A. and D. Ahrens (1970): Ozone within and below the west coast temperature inversion. *Tellus*, XXII, 328-339.
- 9) Miller, P. R., M. H. McCutchan and H. P. Milligan (1972): Oxidant Air Pollution in the Central Valley, Sierra Nevada Foothills, Mineral King Valley of California. *Atmos. Environ.*, 6, 623-633.
- 10) Blumenthal, D. L., W. H. White and T. B. Smith (1978): Anatomy of a Los Angeles Smog Episode: Pollutant Transport in the Daytime Sea Breeze Regime. *Atmos. Environ.*, 12, 893-907.
- 11) Husar, R. B. *et al.* (1977): Three-Dimensional Distribution of Air Pollutants in the Los Angeles Basin. *J. Appl. Meteorol.*, 16, 1089-1096.
- 12) Lyons, W. A. and H. S. Cole (1976): Photochemical Oxidant Transport, Mesoscale Lake Breeze and Synoptic-Scale Aspects. *J. Appl. Meteorol.*, 15, 733-743.
- 13) Keen, C. S. and W. A. Lyons (1978): Lake/Land Breeze Circulations on the Western Shore of Lake Michigan. *J. Appl. Meteorol.*, 17, 1843-1855.

- 14) Proceedings of Symposium on 1975 Northeast Oxidant Transport Study Research Triangle Park, North Carolina, Jan. 20-21, 1976.
- 15) Wolff, G. T. *et al.* (1976): Aerial Investigation of Photochemical Oxidants Over the Northeast. *ibid.*
- 16) Wolff, G. T. *et al.* (1977): Aerial Investigation of the Ozone Plume Phenomenon. *J. Air Pollut. Control Assoc.*, **27**, 460-463.
- 17) Westberg, H. *et al.* (1978): The Transport of Oxidant Beyond Urban Area Light Hydrocarbon and Oxidant Data New England Study. 1975, EPA-600/3-78-006.
- 18) Files, J. T. (1978): Houston area Oxidant Study. *Environ. Sci. Technol.*, **12**, 638-641.
- 19) Brock, J. R. (1978): Houston Urban Plume Study-1974, Description and Summary of Results, EPA-600/3-78-048a.
- 20) Decker, C. E. (1976): Formation and Transport of Oxidants Along Gulf Coast and in Northern U.S. EPA-450/3-76-033.
- 21) Calvert, J. G. (1976): Test of the Theory of Ozone Generation in Los Angeles Atmosphere. *Environ. Sci. Technol.*, **10**, 248-255.
- 22) Calvert, J. G. (1976): Hydrocarbon Involvement in Photochemical Smog Formation in Los Angeles Atmosphere. *Environ. Sci. Technol.*, **10**, 256-262.
- 23) Decker, C. E. (1977): Ambient Monitoring Aloft of Ozone and Precursors Near and Downwind of St. Louis. EPA-450/3-77-009.
- 24) Heinsheimer, T. F. (1977): ATMOSAT a new measurement plat-form for air quality monitoring. *J. Air Pollut. Control Assoc.*, **27**, 530-533.
- 25) White, W. H. (1976): Midwest Interstate Sulfur Transformation and Transport Project, Aerial Measurements of Urban and Power Plant Plume. Summer 1974, EPA-600/3-76-110.
- 26) English, T. D. (1977): *Atmospheric Sulfates & Project MISTT (Midwest Interstate Sulfur Transformation and Transport) DRAFT*
- 27) Wilson, W. E. (1978): Sulfur in the Atmosphere, A Progress report on Project MISTT. *Atmos. Environ.*, **12**, 537-547.
- 28) Gillani, N. V. (1978): Project MISTT, Mesoscale Plume Modeling of the Dispersion, Transformation and Ground Removal of SO₂. *Atmos. Environ.*, **12**, 569-588.
- 29) Schiermeier, F. A. (1979): Sulfur Transport and Transformation in the Environment (STATE); A Major E.P.A. Research Program. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **60**, 1303-1312.
- 30) MacCracken, M. C. (1978): MAP3S, An Investigation of Atmospheric Energy Related Pollutants in the Northeastern United States. *Atmos. Environ.*, **12**, 649-659.
- 31) Eliassen, A. (1978): The OECD Study of Long Range Transport of Air Pollutants, Long Range Transport Modeling. *Atmos. Environ.*, **12**, 479-487.
- 32) Johnson, W. B. (1978): Long term Regional Patterns and Transfontier Exchanges of Airborne Sulfur Pollution in Europe. *Atmos. Environ.*, **12**, 511-527.
- 33) Fisher, B. E. A. (1978): The Calculation of Long Term Sulfur Deposition in Europe. *Atmos. Environ.*, **12**, 489-501.
- 34) Demerjian, K. L. (1977): Photochemical Air Quality Simulation Modeling, Current States and Future Prospects, Photochemical Conference on Photochemical Oxidant Pollution and Its Control, 777-794.
- 35) Demerjian, K. L. (1978): Air Quality Analysis in Transportation Planning, National Academy of Science.

III. 報 文

航空機を用いた光化学二次汚染物質立体分布の研究

Research on the Vertical and Horizontal Distribution of Photochemical Secondary Pollutants Using Aircraft

奥田典夫¹・若松伸司¹・小川 靖¹
村野健太郎¹・鶴田治雄²・五井邦宏³
油本幸夫⁴

Michio OKUDA¹, Shinji WAKAMATSU¹, Yasushi OGAWA¹,
Kentaro MURANO¹, Haruo TSURUTA¹, Kunihiro GOI³
and Yukio ABURAMOTO⁴

1. 国立公害研究所 大気環境部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
The National Institute for Environmental Studies, Division of Atmospheric Environment, Yatabe-machi,
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.
2. 横浜市公害研究所 〒235 横浜市磯子区滝頭 1-2-15
Yokohama Environmental Institute, Takigashira 1-2-15, Isogo-ku, 235, Japan.
3. 埼玉県公害センター 〒338 浦和市上大久保字東639
Saitama Institute of Environmental Pollution, Kamiookubohigashi 639, Urawa, Saitama, 338, Japan.
4. 富山県公害センター 〒939-03 富山県射水郡小杉町大関山
Toyama Environmental Center Kosugi-machi, Imizugun, Toyama, 939-03, Japan.

要 旨

関東平野における光化学スモッグの挙動の解明を目的として、1978年8月9日から4日間にわたり大気汚染質と気象の立体観測を行った。その結果、大気汚染濃度の立体的な分布と、局地的な気候、気象条件との間に密接な関係があることがわかった。8月9日には典型的な海風の出現が見られ、これが、関東内陸部での高濃度光化学スモッグ発生の主因となっていた。午前中の濃度の鉛直断面分布によれば、海風前線をはさむ形でオゾンの二つの高濃度域が500m付近(140~150 ppb)に観測されており25km付近にある海風前線の所が相対的な低濃度域となっていたが、午後になると相模湾からの海風の侵入により500m以下では内陸に行くにしたがってオゾン濃度は増大していた。またオゾン濃度の極大域は、1,200m付近にまで上がっており、その濃度も上昇していたが、水平方向の出現位置には大きな変化は認められなかった。

関東平野においては地形条件により三つの異なった海風系が通常観測される。すなわち東京湾、相模湾、および鹿島からの海風系である。東京湾からのものは比較的規模が小さく、東京の中心部には早い時刻に南東風の形で吹き込むことが多い。相模湾からの海風はより規模の大きい海風で、一般には東京湾海風よりも遅い時刻に南風となって関東内陸部に向けて吹き込むものである。今一つの大規模海風は、鹿島方面から吹き込む東風である。これらの三つの海風が、一般風や、関東内陸部に出来る熱低気圧、北部と南部の山塊からの山風、および東京を中心として発生する都市風などと相互に関連し極めて複雑な風系を形成することが知られている。8月12日の観測では、これら三つの海風系の相互作用が顕著に現れていた。オゾンの立体分布では鹿島からの東風系が吹走する関東北部においてはバックグラウンド値程度の低い値を示していたのに対し、これより南側の領域では東京、横浜地域を中心として、すべての汚染物質が高濃度を示した。

ABSTRACT

To understand the photochemical smog behavior in the Kanto area, a field aircraft investigation was conducted from August 9 to 12, 1978. During the four days of experiment ten runs using a twin-engine Cessna 402 and an Alouette III helicopter were made to measure pollutant and meteorological parameter profiles. It was found that there is a relationship between the pollutant concentration and the local weather patterns in particular, the sea-land breeze.

August 9th was a typical of the sea-land breeze day causing high photochemical smog inland over the Kanto plain. In the morning, the sea breeze front was formed near the shore, gradually moving inland. The concentration patterns show two peak regions with the sea breeze front as the dividing line.

The topography shows that there are three different sea breezes in the Kanto region. There is a small-scale sea breeze from Tokyo Bay which usually penetrates into the center of Tokyo earliest as a SE wind. The second is a large-scale sea breeze blowing from Sagami Bay, designated as a South Wind, which arrives at the center of Tokyo later than the Tokyo Bay sea breeze. The third is another large-scale sea breeze from the sea of Kashima designated as an East wind. Depending upon the general wind direction, these three sea breezes create a very complicated wind pattern over the Kanto Plain.

On August 12, 1978 there was high photochemical smog in Kanagawa Prefecture caused by just such a complex wind structure. The easterly wind replaced the morning land breeze (notherly wind) during the afternoon. This resulted in a low concentration O_3 zone where the clean easterly wind had penetrated into the northern Kanto region. In the south of this clean zone, the high O_3 concentration zone stretched from Tokyo to Yokohama area.

第1章 観測方法と観測機器*

1978年の観測では2機の航空機を用いて上空300mから1,700mまでの光化学二次汚染質の立体分布と、気象の立体分布の観測を行った。調査に使用した航空機は、ヘリコプター (Alouette III型, 以下AL-III)と小型飛行機 (Cessna-402型, 以下C-402)である。

AL-IIIでは主に、ノンリフトバルーンを用いたラグランジュ的な観測を行い、C-402では主に、濃度の鉛直断面分布を中心としたオイラー的な観測を行った。

計測したガス状汚染物質は、 O_3 、 NO 、 NO_x であり、ともにケミルミネッセンス法を用いた。気象因子としては、気温、湿度、およびUVの測定を行った。C-402においては、粒子状物質の観測も実施した。2機の航空機それぞれに搭載した測定機器の原理、機種、性能等を表1、表2に示した。

表1 ヘリコプター (AL-III) に搭載した測定機器一覧表

Parameter	Analysis Technique	Manufacturer	Range	Time Response	Approximate Resolution
NO/NO ₂	Chemiluminescence	Kimoto	0~2ppm	<3 sec	2 ppb
O ₃	Chemiluminescence	Kimoto	0~2 ppm	<3 sec	2 ppb
Pressure	Bellows	Meisei			
Temperature	Platinum Resistance	Ogasawara	-20~50°C	<3 sec	±0.5°C
Humidity	Humi Cup	Ogasawara	20~99%	<2 sec	±3% (R.H.)

試料空気のサンプリングは、C-402の場合は、機首から1m程突き出た内径23mmのテフロンパイプを用いて行い、動圧によってとりこまれた空気はパイレックスガラス製のマニホールドを通して各測器に分配された。

AL-IIIの場合は、試料空気は内径4.5mm、長さ2mのテフロンパイプを用いてポンプによりマニホールドに導入されている。

* 若松伸司

表2 セスナ (C-402) に搭載した測定機器一覧表

Parameter	Analysis Technique	Manufacturer	Range	Time Response	Approximate Resolution
NO/NO _x	Chemiluminescence	Kimoto	0~2 ppm	(3 sec	2 ppb
O ₃	"	"	"	"	"
Condensation Nuclei	Light attenuation	Environmental One	≤ 0.1 μm	(3 sec	1000 CN/CC
Aerosol Size Distribution	Optical particle counter	Royco	* 0.5 μm	1 min	
Temperature	Thermister	Ace	0~40°C	(3 sec	±1°C
Humidity	Lithium Chloride	Ace	20~90%	(3 sec	±3% (R.H.)
UV Radition Intensity		Eppley UV Radiometer	0~5mWcm ⁻²		

図1に、それぞれの機体への機器の配列状況を示した。

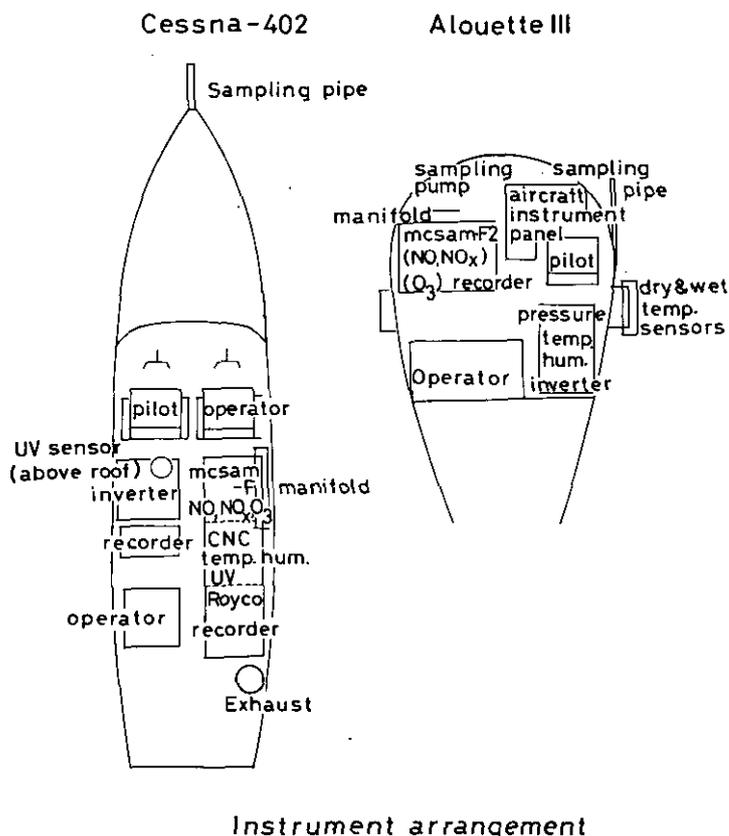


図1 測定機器配列図

各測定機の出カデータは、約3秒ごとに容量256Kバイトのフロッピーディスクにとりこむとともに、航空機に搭載したペンレコーダーにもアナログ記録した。位置、高度はC-402の場合には各飛行コースごとにチェックポイントを設け、目視によりその地点の通過時刻を記録し、高度は航空機の計器を用いて確認した。AL-Ⅲの場合は、高度および位置の情報を一定時間ごとにテープレコーダーに記録した。これらのデータは飛行終了後にフロッピーディスクに追加記録し、各RUNごとの結果を紙テープとラインプリンターに打出し解析を行った。

航空機内部の温度は地上に駐機中に上昇するためフライト時とは異なり、これが計測器のドリフトの原因となるため、NO_x計についてはオゾンオフ、O₃計については活性炭を用いてフライト中にも定期的に零値をとり、データを補正してデータロガーに格納した。

測定は、1978年8月9日から4日間にわたり実施した。C-402は合計10フライト、AL-Ⅲは7フライトの観測を行った。1フライトは約2時間である。AL-Ⅲは、新宿御苑から放球したノンリフトバルーンを追跡しながら汚染質の測定と鉛直分布の測定を主に行い、C-402は主として高度300m、500m、800m、1,200m、1,700mの水平飛行により汚染物質の鉛直断面分布の観測を実施した。

得られた観測データは図の形で2-3-1から2-3-4の各節のうしろにまとめて示されている。データにはノイズが含まれているため数値的な平均処理がなされている。水平分布および垂直分布図中のO₃、NO、NO₂はppb単位で気温は℃で示されているが、凝結核濃度(C.N.)と紫外線量(UV)はそれぞれ出力電圧および出力電圧の100倍増幅値で示されている。C.N.に関しては1mVが約300個/mlに対応しており粒径はほぼ10μ以下である。

表3 飛行時間帯

RUN	AL-III	C-402	Aug.'78	Time (JST)
1	-	A	9	06 40 - 08 45
2	NL	C		10 45 - 12 30
3	NL	B		14 50 - 16 50
4	NL	B	10	14 15 - 16 50
5	-	A	11	07 30 - 09 20
6	E	B		11 15 - 12 50
7	F (NL)	B		15 00 - 17 00
8	-	A	12	06 04 - 08 40
9	NL	B		11 20 - 13 20
10	G (NL)	D		14 40 - 16 40

(NL: Non-Lift Balloon)

表中のA~Gは図2に示した飛行コースに対応しており、NLはノンリフトバルーンを追跡観測飛行であることを示す。

飛行日時、および飛行コースは、表3、図2に示すとおりである。

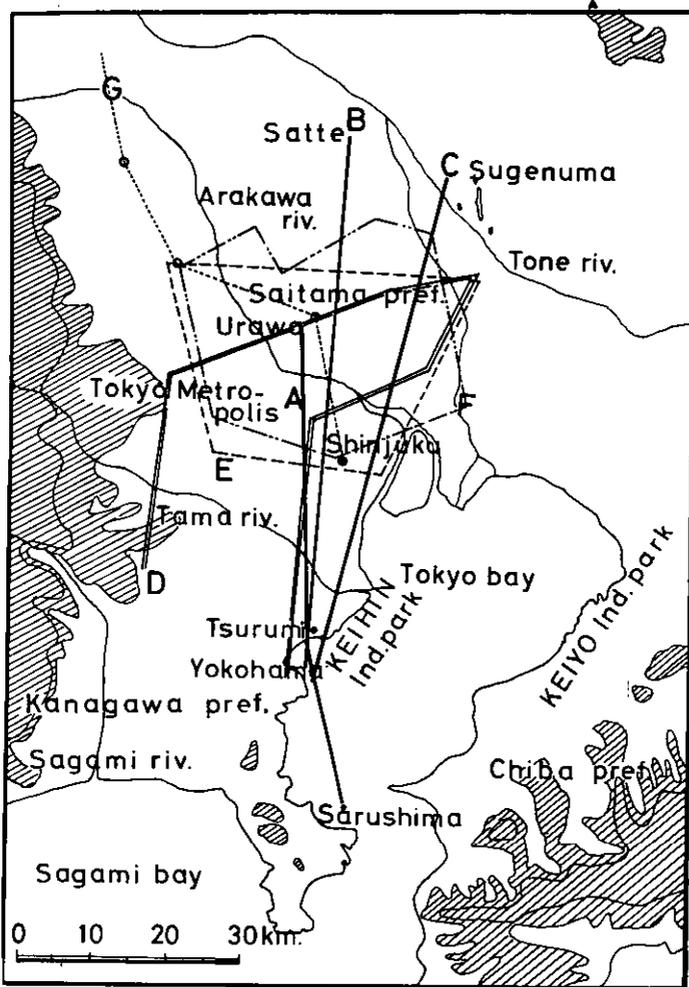


図2 飛行コース

C-402の基本的な飛行コースは、図2に示したA、B、Cのコースである。Aコースは、海風が侵入する前の濃度の分布を把握することを目的としており、横須賀海上の猿島から東京湾を通り、浦和に至る約65kmのコースで、早朝のフライトコースである。Bコース、Cコースは、海風の主風向に沿って選択する方法をとった。

なお各RUNの飛行コースと、飛行高度、飛行時刻を図3～図22に示した。

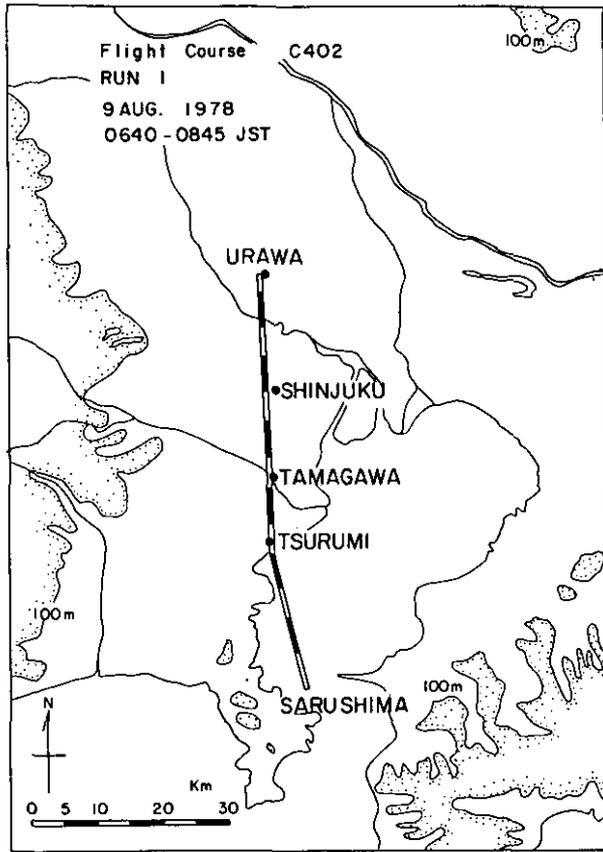


図 3 RUN1 の飛行コース

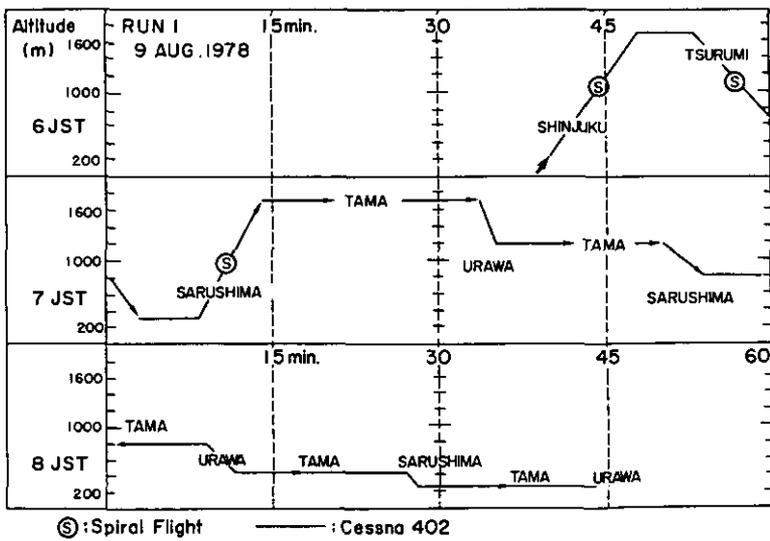


図 4 RUN1 の飛行図

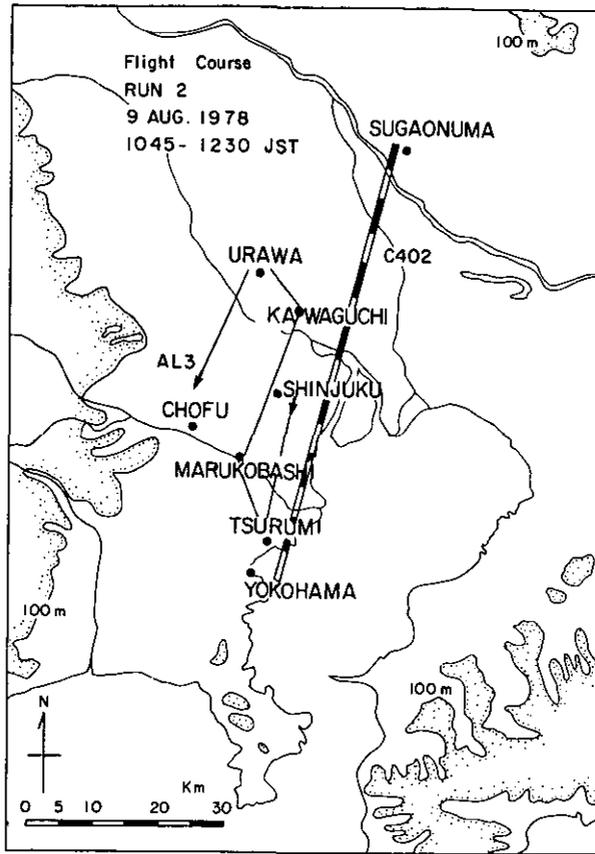


図 5 RUN2の飛行コース

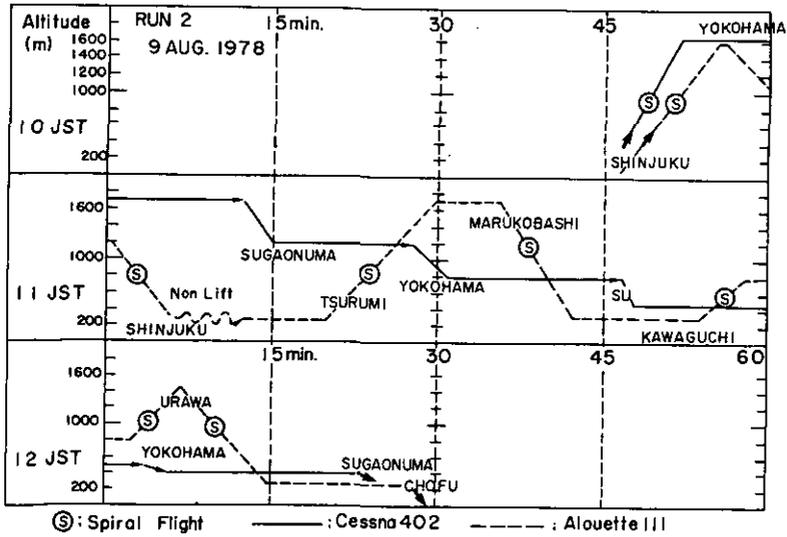


図 6 RUN2の飛行図

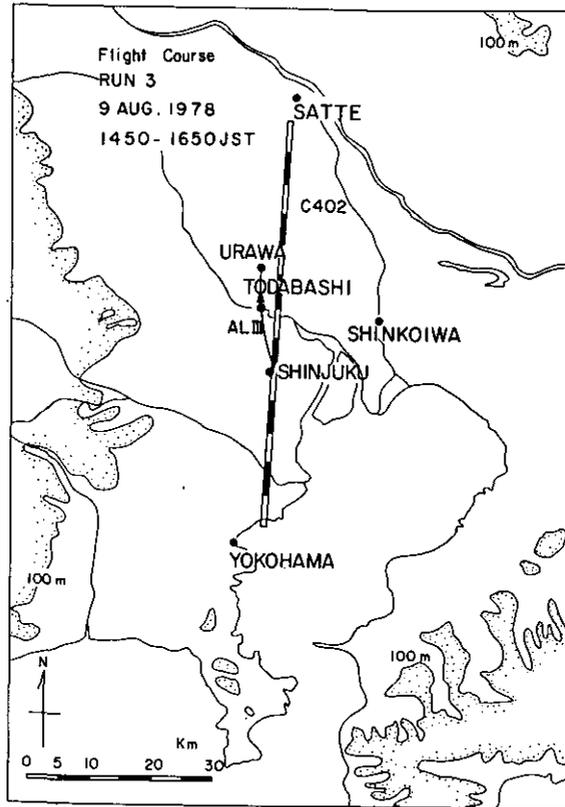


図 7 RUN3の飛行コース

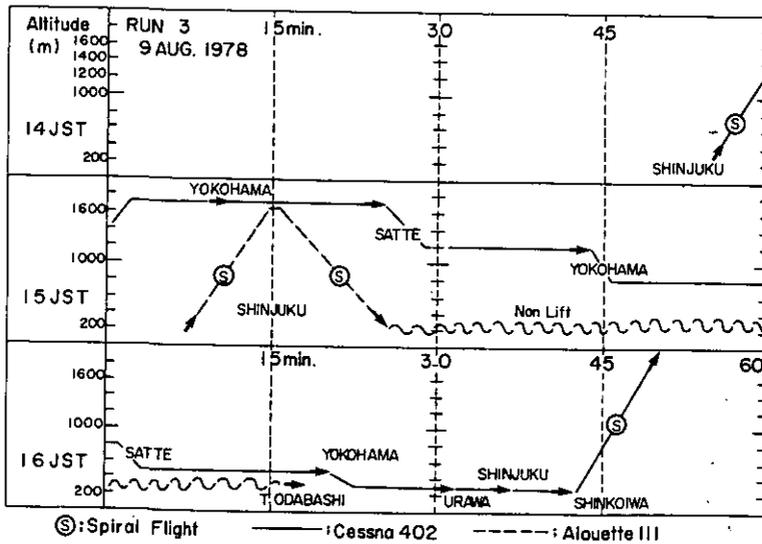


図 8 RUN3の飛行図

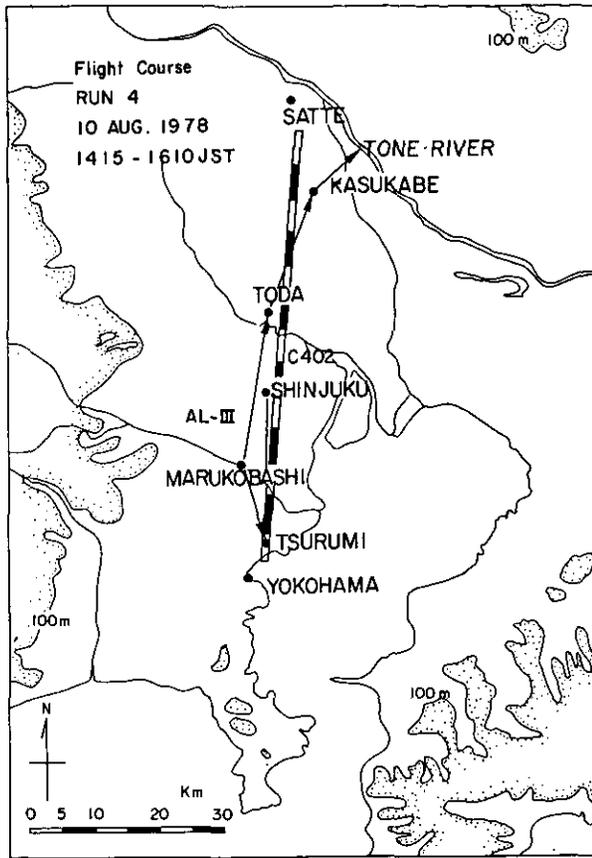


図 9 RUN4 の飛行コース

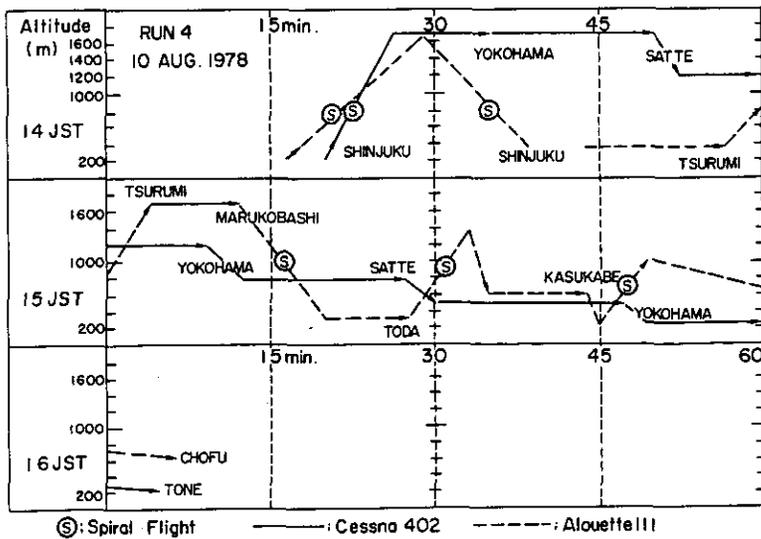


図 10 RUN4 の飛行図

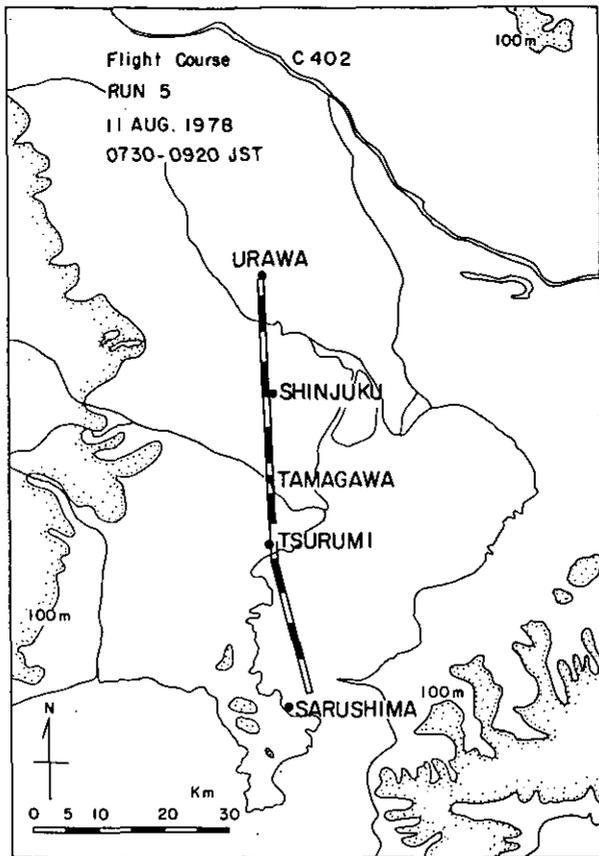


図 11 RUN5 の飛行コース

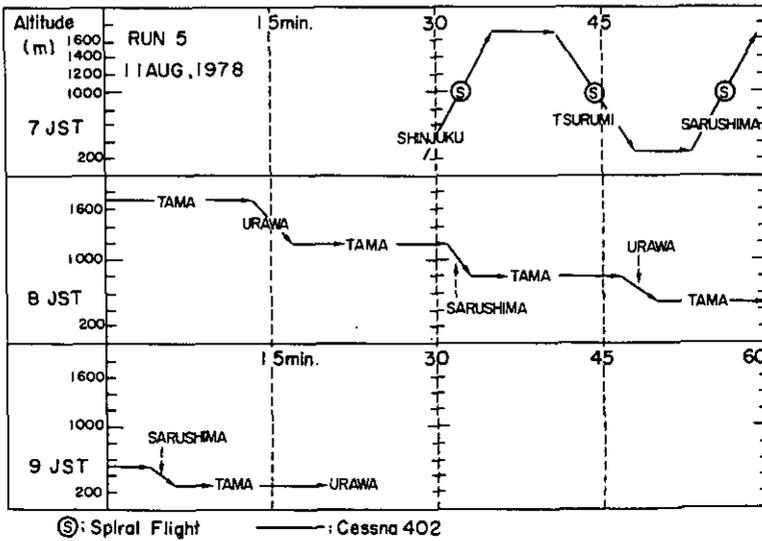


図 12 RUN5 の飛行図

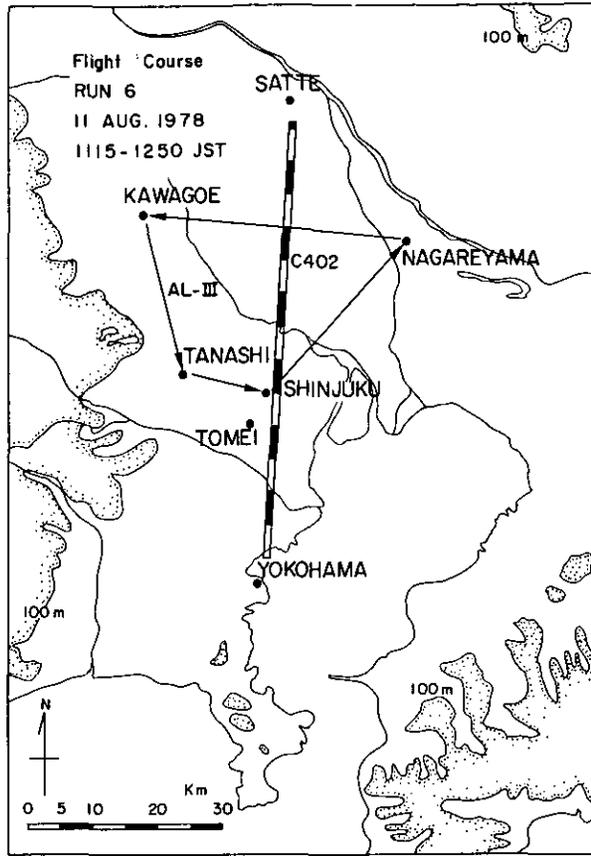


図 13 RUN6の飛行コース

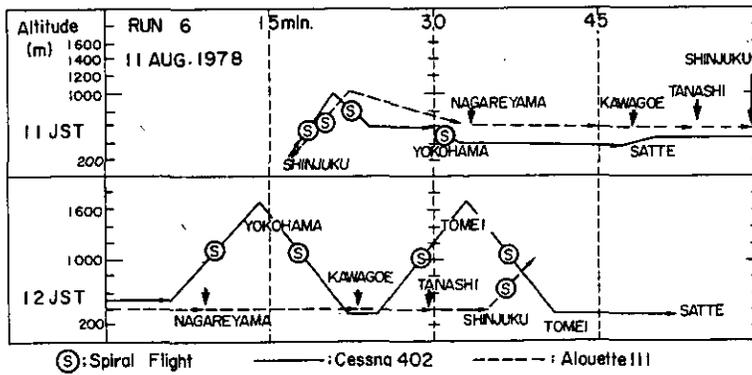


図 14 RUN6の飛行図

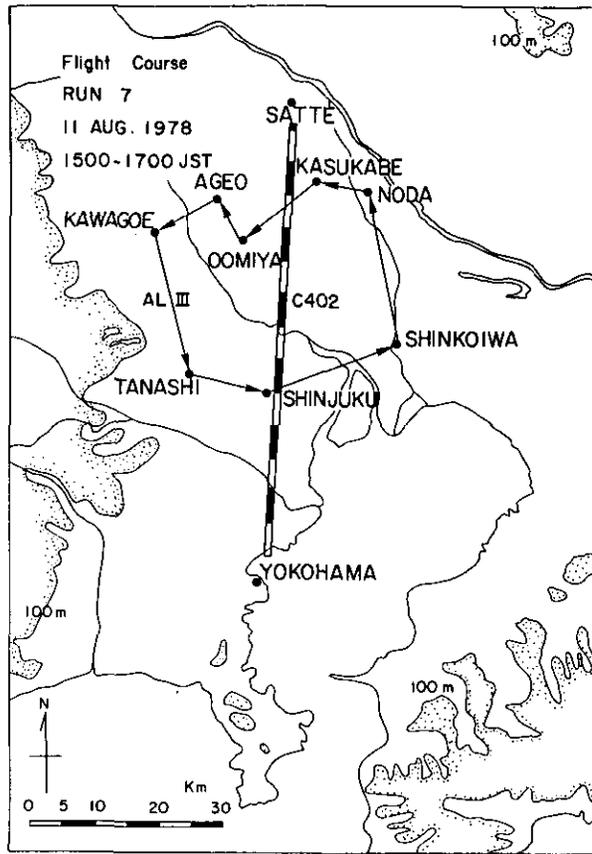


図 15 RUN7 の飛行コース

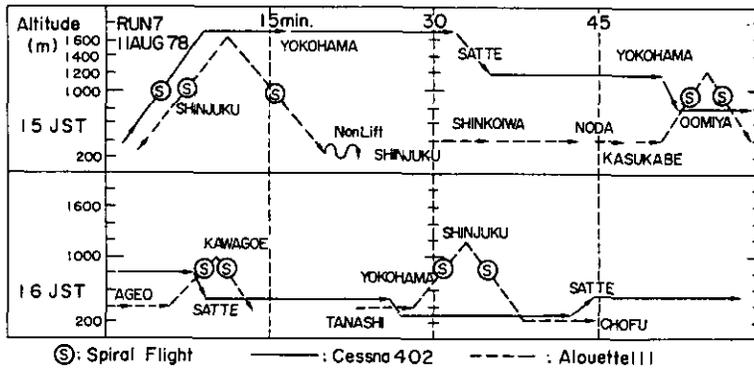


図 16 RUN7 の飛行図

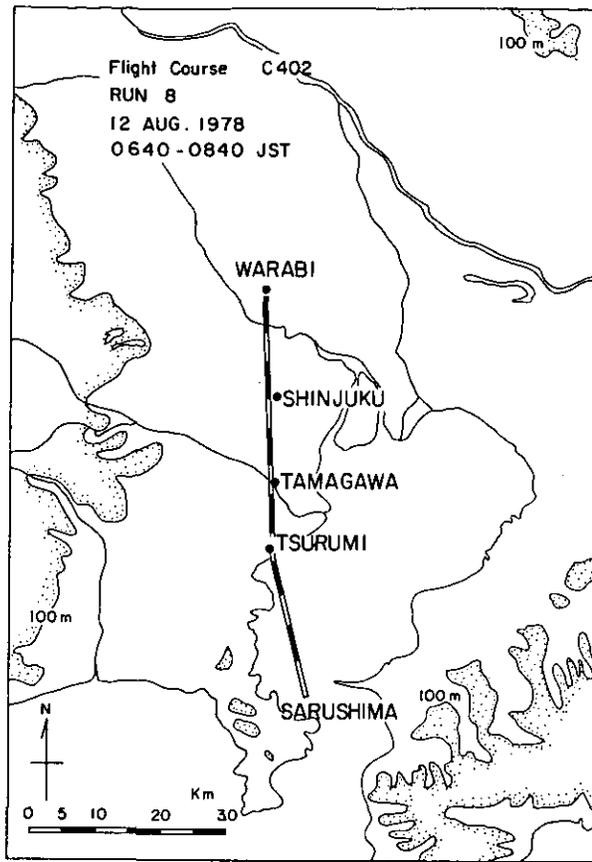


図 17 RUN8 の飛行コース

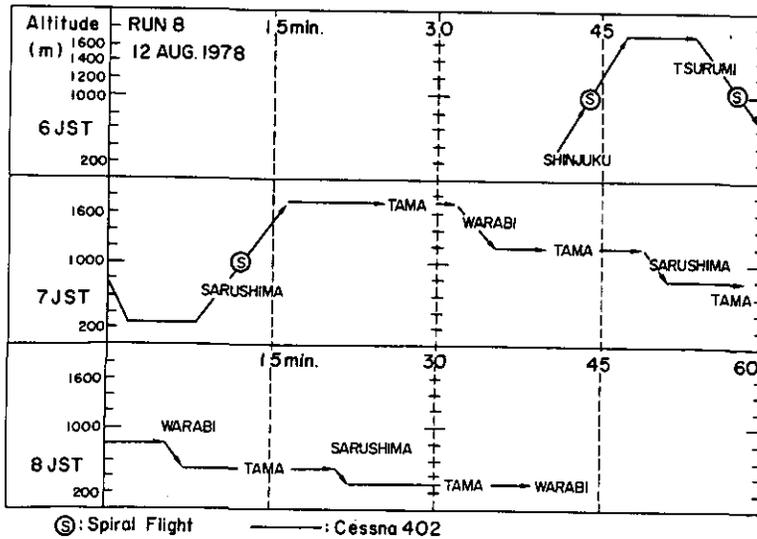


図 18 RUN8 の飛行図

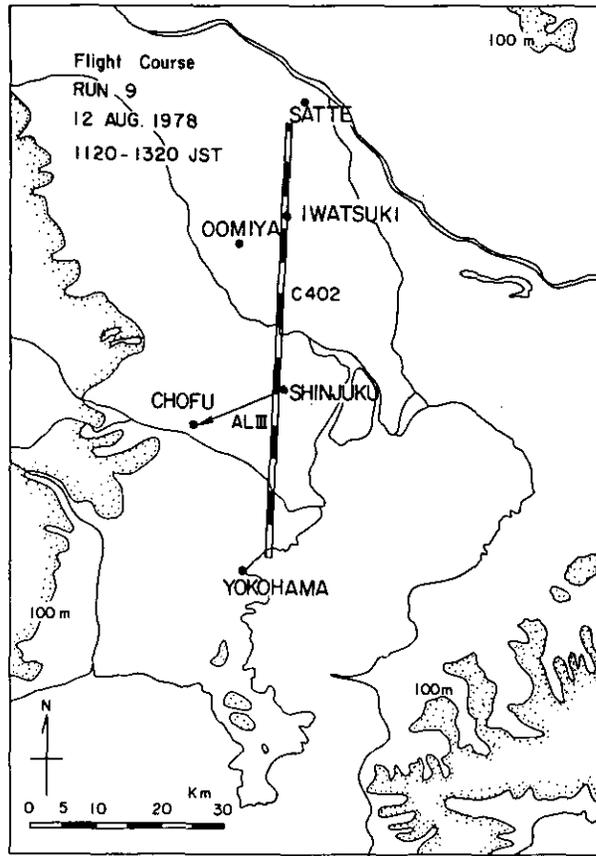


図 19 RUN9 の飛行コース

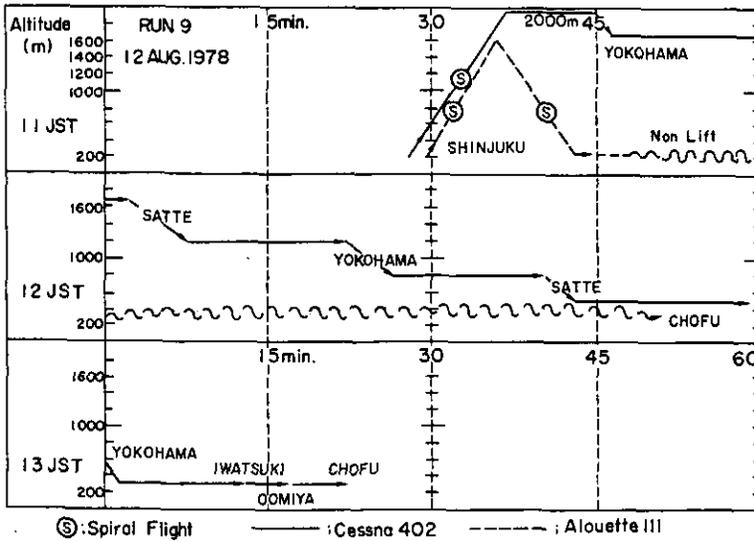


図 20 RUN9 の飛行図

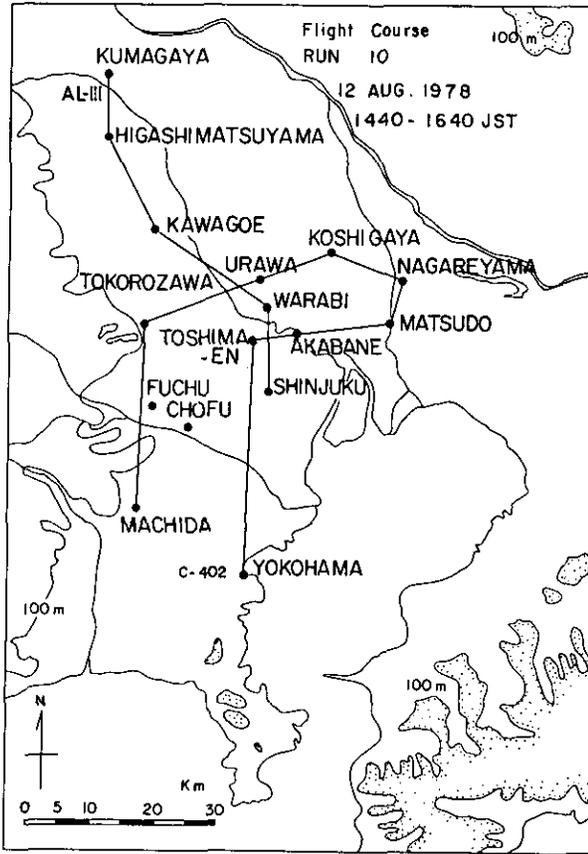


図 21 RUN10の飛行コース

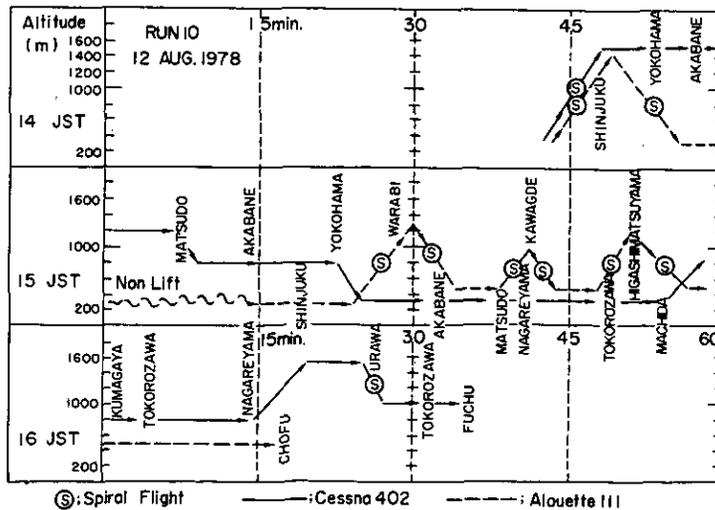


図 22 RUN10の飛行図

第2章 観測結果の概要

2.1 観測期間中の気象状況*

2.1.1 天気概況および地上風

1978年8月8日までは、北太平洋の高気圧が強く張り出し、いわゆる夏型の気圧配置が持続した。このため5日から8日にかけては、南又は南西の季節風が終日卓越していた。しかし9日から12日にかけては、南西の季節風が少し弱まり海陸風、山風等が発達した。

図23に8月7日から12日にかけての極東地域の天気図を示した。

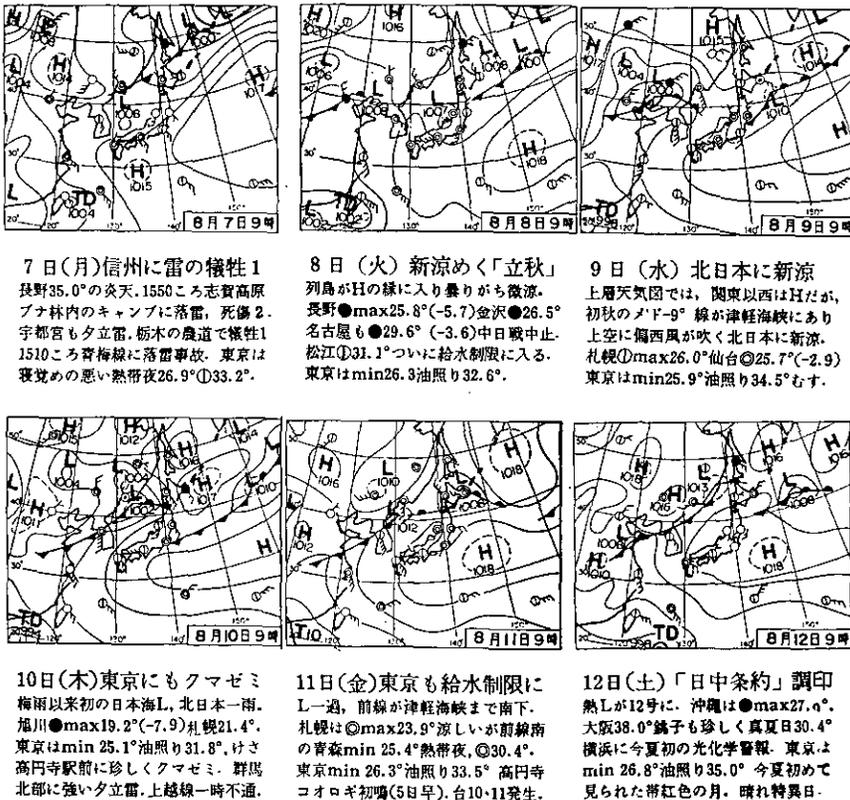


図23 1978年8月7日～12日の地上天気図

日本気象協会発行

“気象”1978年8月号 天気図日記より抜粋

* 油本幸夫

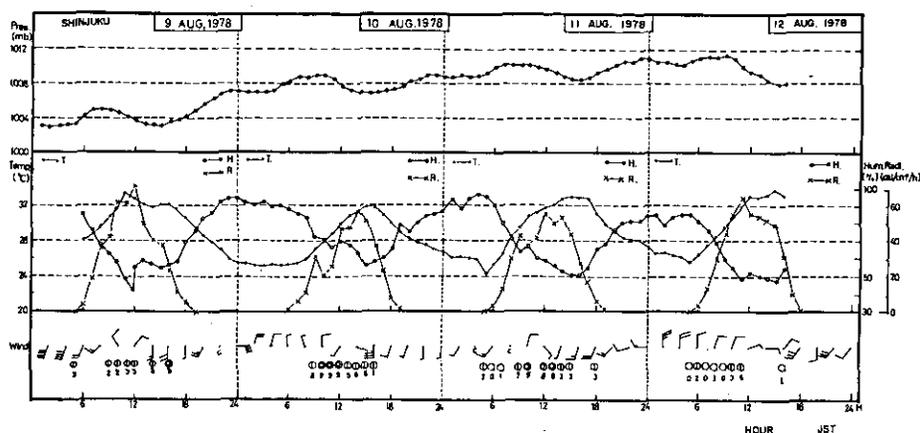


図24 1978年8月9日～12日の新宿御苑における地上観測結果
風向、風速は渋谷での観測値を用いた。

8月9日には、8日の深夜から早朝にかけて太平洋高気圧の縁に沿うように小さな低気圧が通過したが、朝方から日中にかけて小さな気圧の峰が通過した。このため午前中の天気は晴で日射も強く気温は30℃以上となり真夏日となった。観測期間中の新宿御苑での地上気象を図24に示す。午後からは低気圧の影響を受け曇りとなった。

地上風は、08時頃まで南関東では西風が吹き、北関東で陸風が吹き、この二つの風によって東西に走る風の不連続線が形成された。09時から10時には、陸風が弱まり海風が沿岸部に吹き始めたが、11時には一時的に一般風が北風が変わったため地上でも北風が強まり前線が南下した。12時には北関東に東風が吹き、東京湾からの海風との間で前線を形成し、14時まで続いた。15時には東風が弱まり海風が北関東まで侵入していった。

8月10日の天気は、午前中三陸沖はるか東の低気圧から伸びる寒冷前線が南関東を横切り、低い薄い雲に覆われた。しかし午後からは、太平洋高気圧が徐々に優勢になり、天気は回復し晴れて気温約32℃の真夏日となった。内陸部では熱低気圧が発生し群馬県北部で雷が発生した。

地上風は午前中前線の影響を受け前線の南側で弱い南風、北側で北風が吹き、前線が収束帯となった。その後、太平洋高気圧が優勢となり前線は徐々に北進し、15時には北関東に達した。一方前線の北側では、熱低気圧のため北風が東風が変わったが、16時から17時には全域が南風になり、18時には再び前線が南下した。

8月11日の天気は、太平洋高気圧が張り出し、鯨尾型の気圧配置となり晴天となったが、関東地方では雲の伴った東西に走る海風前線が停滞したため、日中曇りの天気となった。

地上風は南関東に07時頃まで南西の風が吹いていたが、08時には海風が吹き始めた。その後海風の発達が悪く12時頃まで陸風との間で複雑な海風前線を形成していた。13時には北関東に鹿島からの東風が侵入し、南関東の海風との間に東西に走る不連続線が形成された。

8月12日の天気は、太平洋高気圧が大きく張り出し、本州全体を覆ったため朝から快晴で真夏日となった。

地上風は08時頃までは全域に陸風の北風が吹いていたが、09時には東京湾および相模湾沿岸部に海風が吹き始め、陸風との間に海風前線を形成した。さらに、東京湾海風と、相模湾海風との間にも風の不連続線が形成された。

11時には鹿島からの東風が侵入し、東京湾海風との間に東西に走る風の不連続線が形成され、この状態は17時まで続いた。

以上が観測期間中の天気と、地上風の概要であるが、地上風については2.2で、さらに詳細に解析を行う。

2.1.2 新宿における上層風および大気成層

8月9日から8月12日にかけて、新宿御苑においてパイロットバルーンによる上層風の観測と、低層ゾンデを用いた気温の垂直分布の観測を実施した。これらの結果を図25～図32に示す。

8月9日の地上から1,500mまでの上層風は、朝方比較的強い一般風の西風が吹いていたが07時頃から弱まり10時には一般風の北風の領域に入った。13時には海風が発達し背の高さ1,000mないし1,200mとなり17時以降まで吹いていた。この層の上には東風が吹いていた。1,500mから2,000mまでは比較的弱い風が朝方西、日中北、夕方東とめまぐるしく変化した。一方、地上から1,000mまでの大気成層（気温垂直分布）は、05時30分には約500mまで安定層でその上1,000mまでやや安定な中立層がみられたが、07時には下層300mまで中立層となり、09時半には1,000mまで中立層となった。11時30分には100m～150mまで安定層がみられ他は1,700mまで中立層となり13時、17時にはそれぞれ地上から1,700m、2,000m以上まで中立層となった。

1,000m以上では、05時30分には安定層であったが、日の出とともに下層から中立層が発達しその高度は徐々に上昇していった。

8月10日の地上から1,500mまでの上層風は朝方300mの高さの雲の下に弱い北風が吹いていたが午後から太平洋高気圧の圏内に入り約1,300mの高さまで南風が吹きさらに海風が加わり比較的強い南風となった。1,500mから2,000mまでは、09時の館野の観測では西風であったが、15時以降には暖かい東風が吹いていた。1,300m～1,500mを境にして上層と下層では異なった気団の風が吹いていた。

一方、地上から1,000mまでの大気成層は、午前中は中立層であったが午後からは日射が強くなり気温が上昇し15時の観測では接地層の75mまで不安定層となり、その上1,300mまで対流混合が行われ中立層であった。1,000m以上では15時の観測で、1,300mまで中立層その上は暖かい安定層であった。この二つの層の境には前線性の小さな逆転層がみられた。

8月11日の地上から1,500mまでの上層風は朝方から07時頃まで下層300～400mまでに南ないし西の風、その上800mまでに陸風の北風、800～1,000mに西風、1,000m以上に一般風の北

風と四層の風が重なって吹いていた、08時頃から下層に海風が発達し12時頃には700mの高さに達した。14時頃からこの海風の上に比較的強い鹿島からの東風が侵入してきた。1,500mから2,000mまでは、朝方から太平洋高気圧の縁へよじ登る一般風の北風が吹いていたが、14時頃から900m～1,700mに鹿島からの東風が侵入してきた。

一方、地上から1,000mまでの大気成層では、05時30分と07時30分に、風の不連続面のある高さ250mおよび800mに逆転層と安定層がみられ、その他はほぼ中立であった。その後下層は海風内に入り中立層となったが、海風と一般風または鹿島からの東風との境界で安定層がみられた。1,000m以上では午前中は一般風内にありやや安定な中立層であったが、午後からは鹿島からの東風と一般風の境界面で安定層がみられた。

8月12日の1,500mまでの上層風には以下のような特徴がみられる。

比較的強い陸風が500m位の高度まで早朝吹いており、この陸風は弱まりながら10時には1,300mにまで達した。陸風の上層には1,500mの高さまで鹿島からの東風が吹いていた。11時には陸風の後退により上層の東風が一時的に地表にまで下降した。12時には比較的強い東京湾海風が吹き始めたが、東風に妨げられたため1,600mまで達したのは17時であった。1,500mから2,000mまでは、太平洋高気圧の縁によじのぼる一般風の西ないし北の風が一日中吹いていた。一方、地上から1,000mまでの大気成層は、朝方の05時30分及び07時30分には陸風層の下部に、大都市特有の接地逆転層の接地部が都市の熱により暖められた層があり、その境界に逆転層が形成されていた。また09時30分まで陸風と鹿島からの東風の間にも前線性の逆転層がみられた。11時30分には逆転層も消滅し全層中立となった。1,000m以上では鹿島からの東風と一般風との境界に安定層がみられ、各々の層内ではほぼ中立であった。

9 AUG. 1978 SHINJUKU

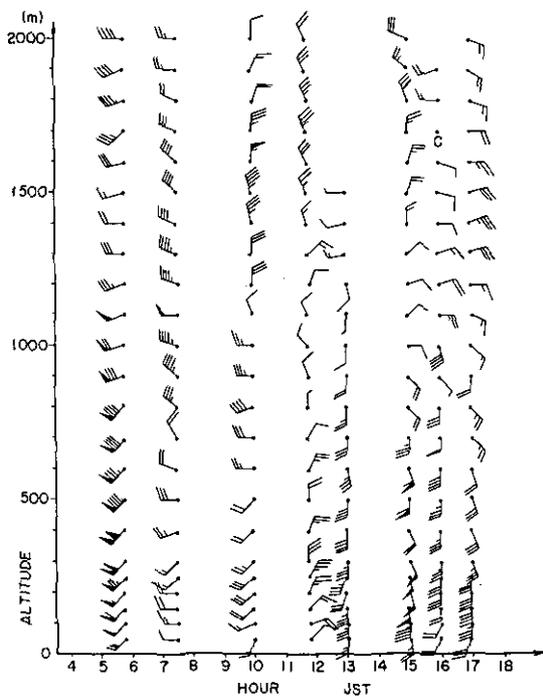


図 25 新宿における上層風 (1978年8月9日)

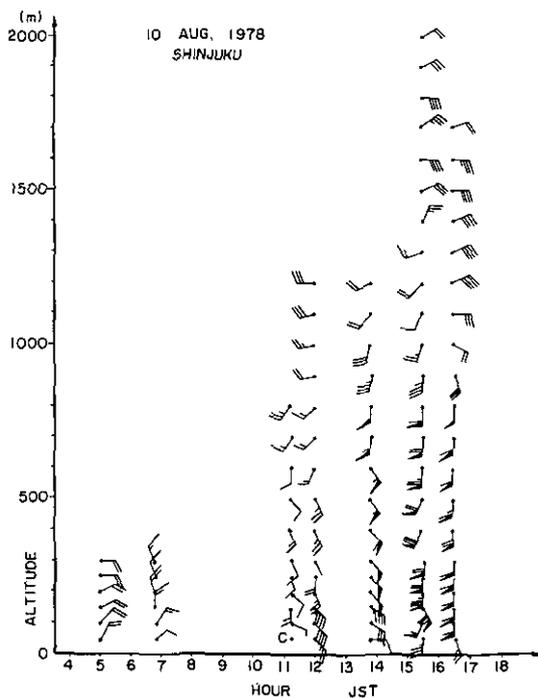


図 26 新宿における上層風 (1978年8月10日)

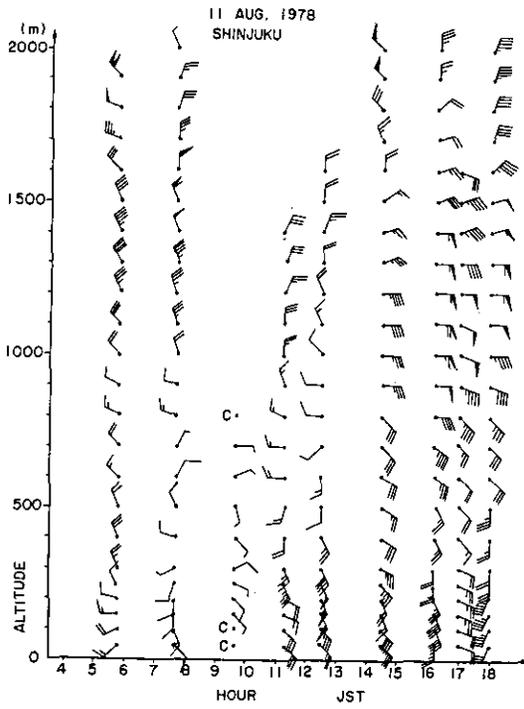


図 27 新宿における上層風 (1978年8月11日)

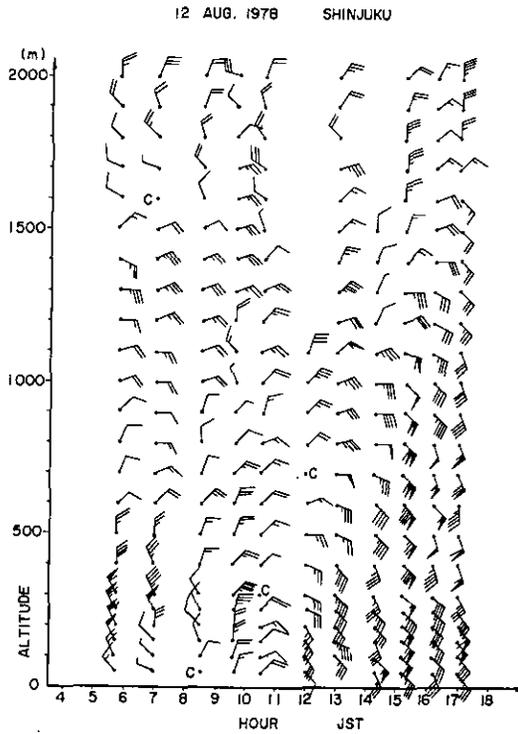


図 28 新宿における上層風 (1978年8月12日)

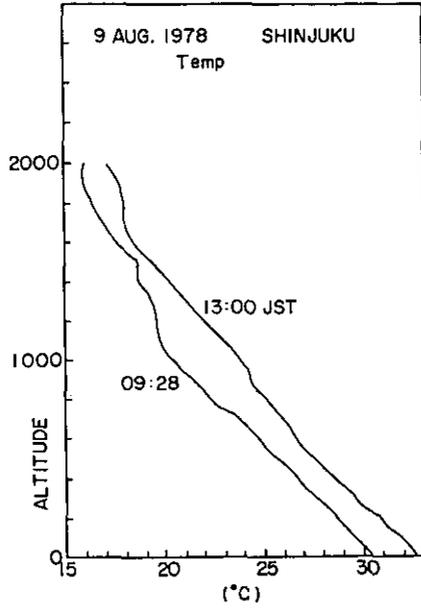


図 29 新宿における気温の垂直分布 (1978年8月9日)

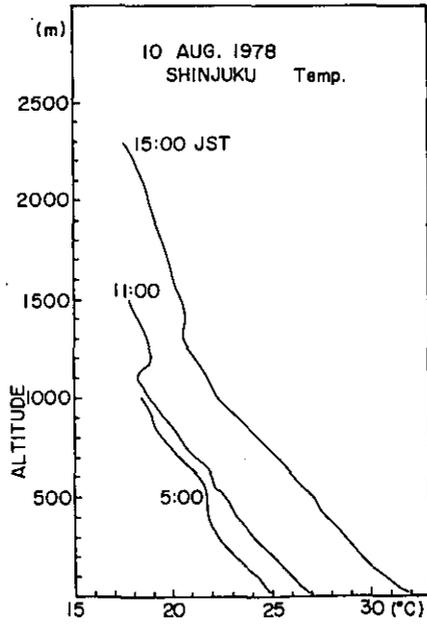


図 30 新宿における気温の垂直分布 (1978年8月10日)

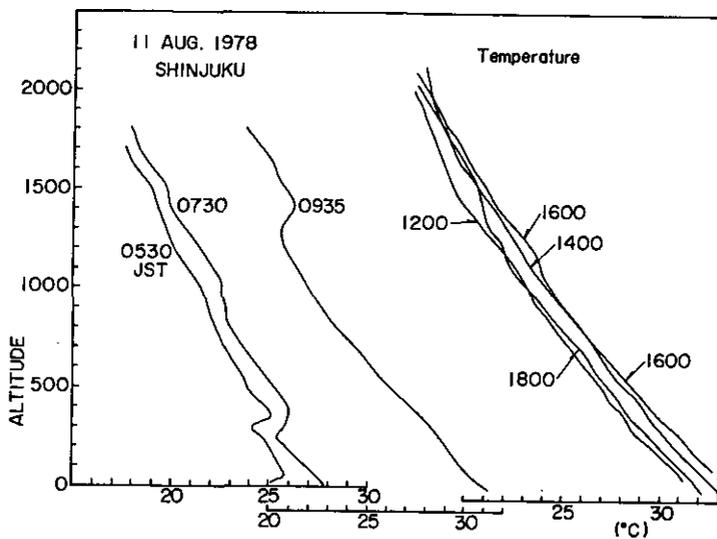


図 31 新宿における気温の垂直分布 (1978年8月11日)

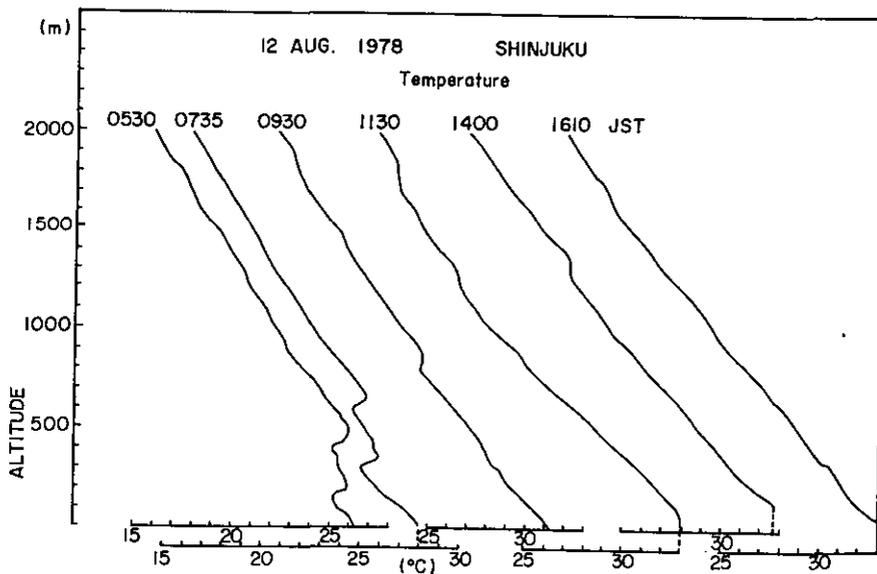


図 32 新宿における気温の垂直分布 (1978年8月12日)

2.2 地上濃度分布と風系*

2.2.1 データと解析方法

関東地方一都四県（東京都，神奈川県，埼玉県，千葉県，茨城県）に設置されている大気汚染常時監視基準測定局の中から143局を選び，1978年8月9日から8月12日の期間にわたっての NO_x ， O_x ，風向，風速の1時間値を解析対象とした。測定地点の分布図を図33に示したが，図中の黒丸が，測定地点の位置であり，黒三角は標高300m以上の山岳の位置を表している。

解析にあたっては，各項目ごとにそれぞれ96枚の分布図を作成し，局地気流の時刻変化，濃度の布の時刻変化を把握した。

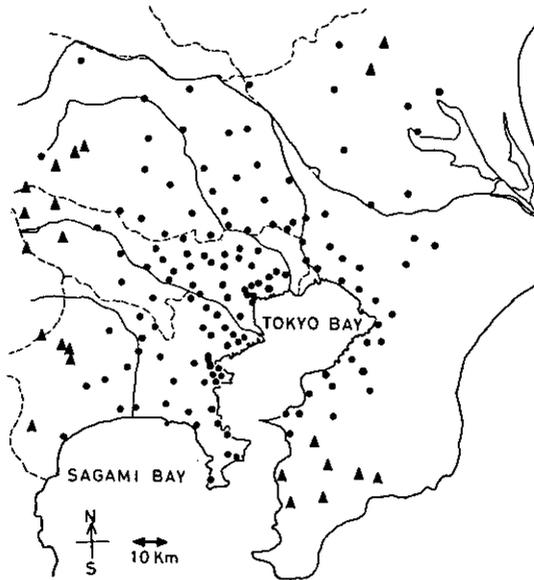


図33 測定地点分布図(●)

黒三角は標高300m以上の山岳を表している。

2.2.2 気流分布の時刻変化

1978年8月8日までは，北太平洋の高気圧が強く張り出し，いわゆる夏型の気圧配置が持続した。このため8月5日から8日にかけては南又は南西の季節風が終日卓越していた。

しかし8月9日から8月12日にかけては夏型の気圧配置が少し弱まり顕著な海陸風，山風が発達した。

* 若松伸司

図24に示したとおり日最高気温は、4日間とも30℃を越え、日射も強く真夏日であった。気圧は、9日から12日にかけて徐々に上昇している。これらの条件下での地上風の風系変化を、以下4日間にわたり連続的に明らかにする。

(1) 8月9日の気流

8月9日の地上の主風系は、06時頃までは、北の山岳地帯からの北風と、西の山岳地帯からの西風、および南西系の季節風の三つであり、特に西の山岳からの風が真夜中から朝方にかけて徐々に東に張り出し06時には千葉方面にまで達していた。図34にこれら三種の風系により形成される不連続線の時刻変化を示す。

06時以降になると、図35に示すように西系風は急速に減衰し、北からの山風が関東平野全体を覆った。

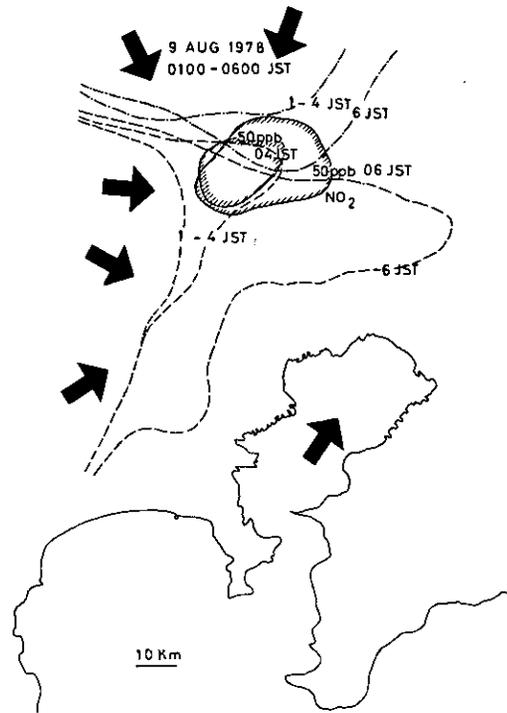


図34 1978年8月9日の午前1時から6時にかけての山風前線の動き
 鎖線は西部山岳地域からの山風前線であり、一点鎖線は北部山岳地域からの山風前線である。
 又、実線は04時と06時におけるNO₂が50 ppb以上の地域を、矢印は風向を表している。

図25～28の新宿でのパイロットバルーンの観測結果によれば、この北風は、高度 1,000m 以上の所に15時頃まで存在していた。図36に、早朝から午後にかけての不連続線の移動を示す。不連続線の南側は、南又は南西の季節風の領域であり、北側は、12時以降は鹿島方面からの東風系であった。南西から北東にかけて長時間にわたり不連続線が停滞していた。図37に8月9日09時の関東甲信地方の天気図を示したが、これによれば、関東内陸部に低圧部が出来ており、鹿島方面から吹き込む東風が認められる。15時頃になると図38に示したように、西の山岳地帯からの山風が認められるが、19時以降になると図39に示すように大規模な東風が関東平野を東から西に吹走し、西の山岳地帯の裾を南下し、朝方になると相模湾沿岸地域も北風となった。

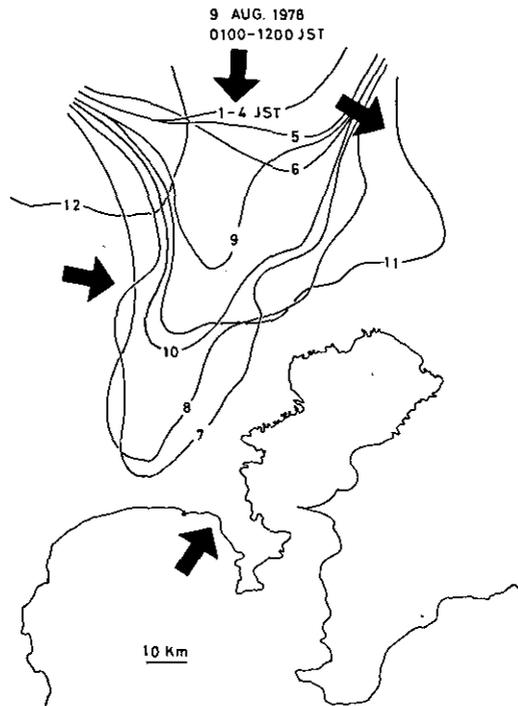


図35 1978年8月9日の午前1時から12時にかけての山風前線の移動
実線は北部山岳地域からの山風前線を表している。

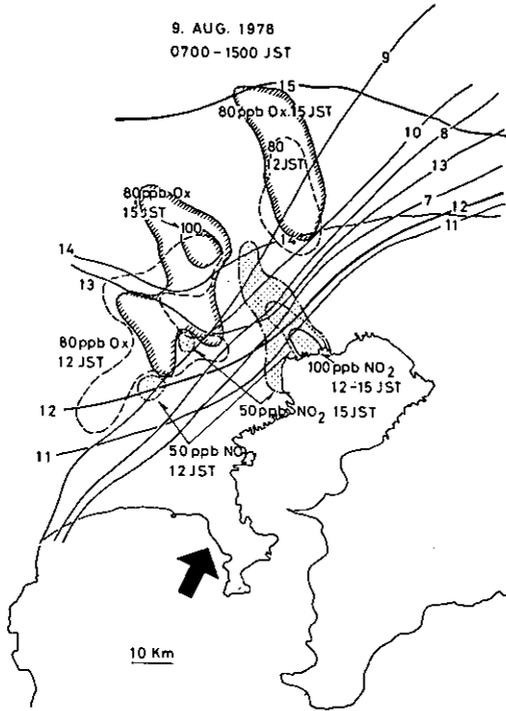


図36 1978年8月9日、午前7時から午後3時の間の海風前線の動きと汚染物質の濃度分布

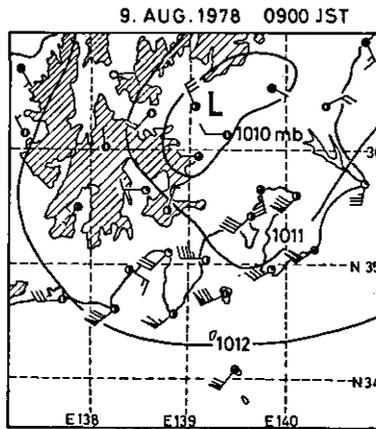


図37 1978年8月9日、午前9時における地上天気図

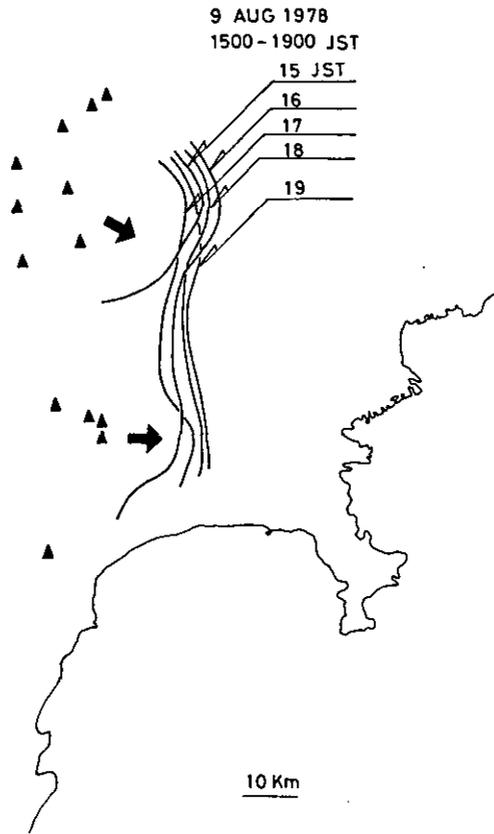


図38 1978年8月9日、午後3時から7時にかけての西部山岳地帯からの山風前線

(2) 8月10日の気流

8月10日も前日と同様の気圧配置であり、東京湾、相模湾からの海風は、09時頃から侵入を開始し、12時には相模湾からの南風が卓越した。10時頃までは図40に示した海風前線の北側は、1～2 m/s の弱風域であったが、13時頃から東風が卓越していた。新宿での上層風の観測結果によれば、午後の南風の高度は前日とほぼ同じで約1000mであった。図41、図42には、夕方から夜中にかけての、西と北の山岳地帯からの山風を示した。風系のパターンは、8月9日の場合と極めて類似していた。

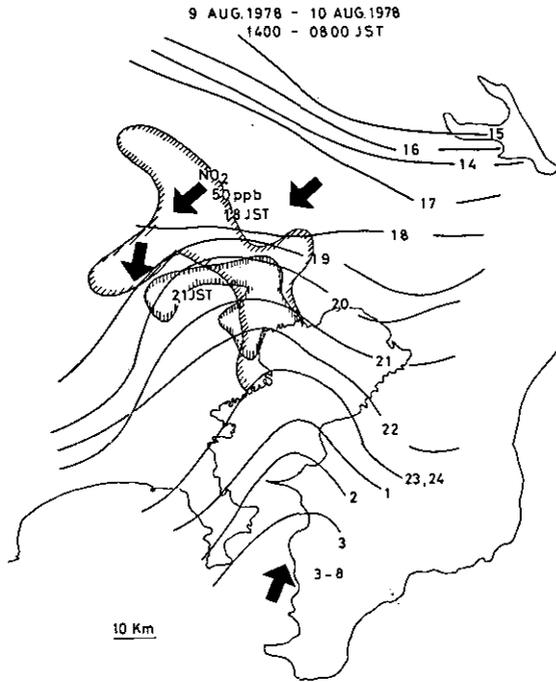


図39 1978年8月9日午後2時から、1978年8月10日午前8時にかけての海陸風前線の動きとNO₂の地上濃度分布

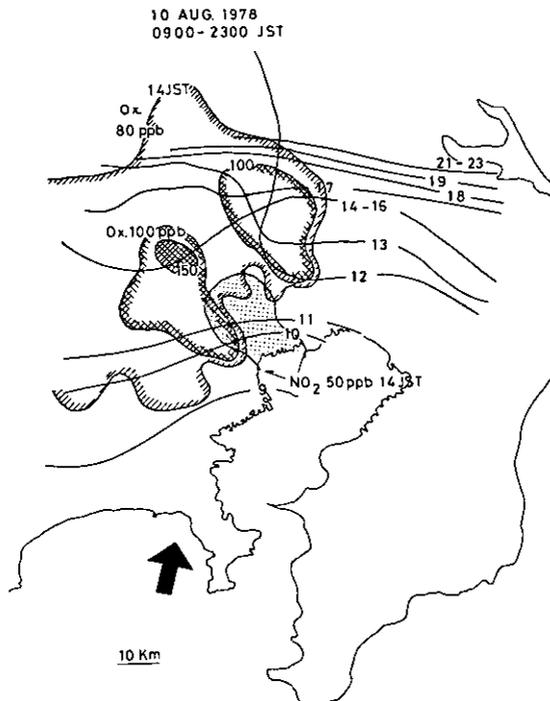


図40 1978年8月10日午前9時から午後11時の間の海陸風前線と濃度分布

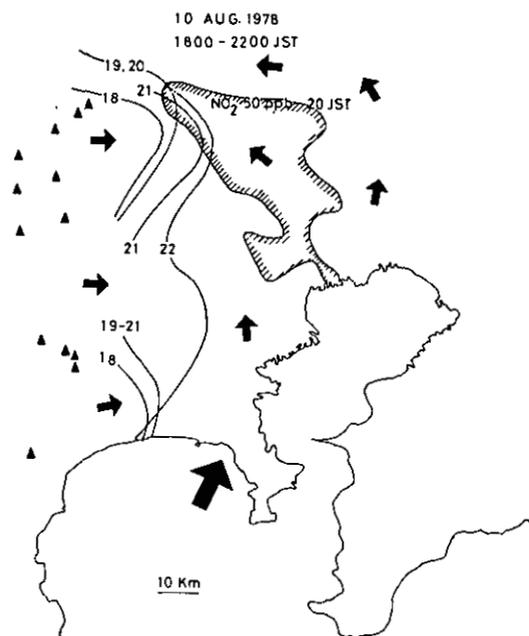


図41 1978年8月10日午後6時から10時にかけての西部山岳地帯からの山風前線とNO₂濃度分布

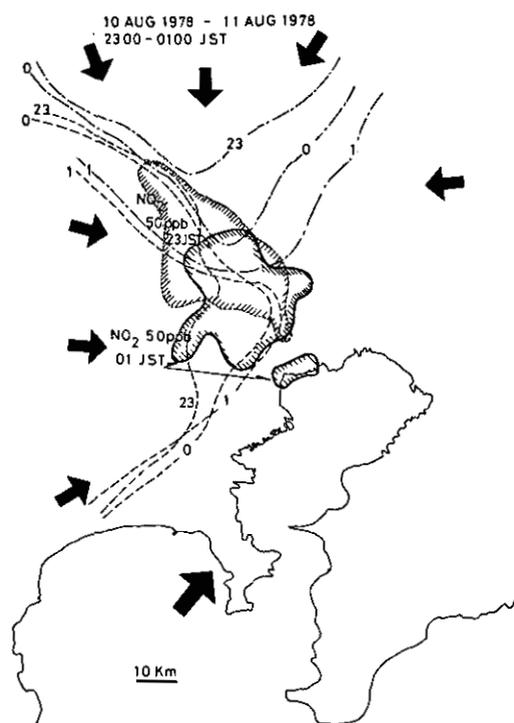


図42 1978年8月10日午後11時から8月11日午前1時にかけての西部山岳地帯（鎖線）及び北部山岳地帯（一点鎖線）からの山風前線とNO₂濃度分布

(3) 8月11日の気流

01時から03時にかけて関東地方は、三つの風系に支配されていた。すなわち北又は北西風、鹿島方面からの東風、および、南西の季節風である。これら3者の間の不連続線は図43に示すように3時間にわたり停滞していた。

04時になると図44に示すように、北の山側からの風と鹿島からの風が弱まり、西の山岳地帯からの西風が、発散する形で関東平野に吹き出す形となり、この状態は07時まで持続した。08時頃になると図45に示すように東京湾からの海風が吹き始め、時刻とともに内陸に侵入した。この東京湾海風は、15時には相模湾からの南風に吸収され、関東内陸部で、鹿島方面からの東風との間に不連続線が形成された。この不連続線はその後、図46に示すように徐々に南下した。図25~28のパイバルの結果によれば、15時から18時にかけて1200mの所に中心を持つ東風が15時には900m、18時には500mと下層に降りて来ているが、この動きと不連続線の南下とは良く対応している。20時以降になると北系の風が内陸部で吹き出し、不連続線は西側の方から折れ曲った形となり、24時には千葉の東京湾沿地帯を除いてほぼ全域が北成分の風となった。

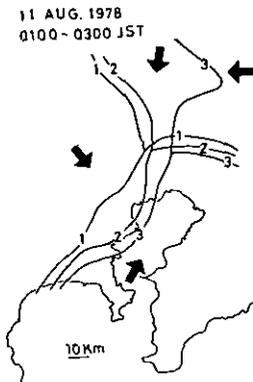


図43 1978年8月11日、午前1時から3時にかけての不連続線の動き



図44 1978年8月11日午前4時から7時にかけての不連続線の動きと濃度分布

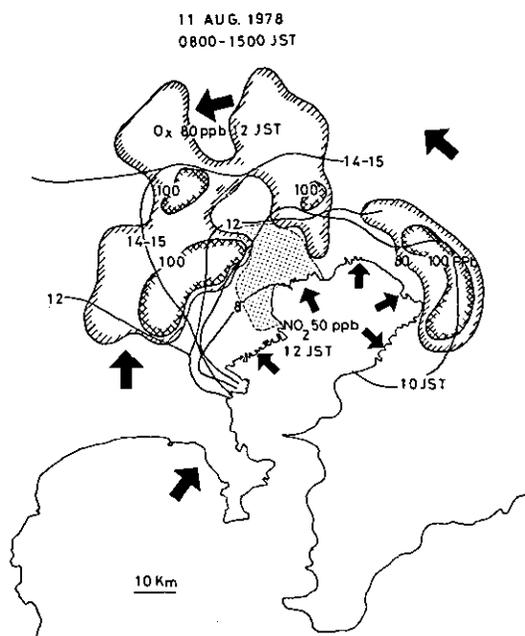


図45 1978年8月11日午前8時から午後3時にかけての海風前線の動きと濃度分布

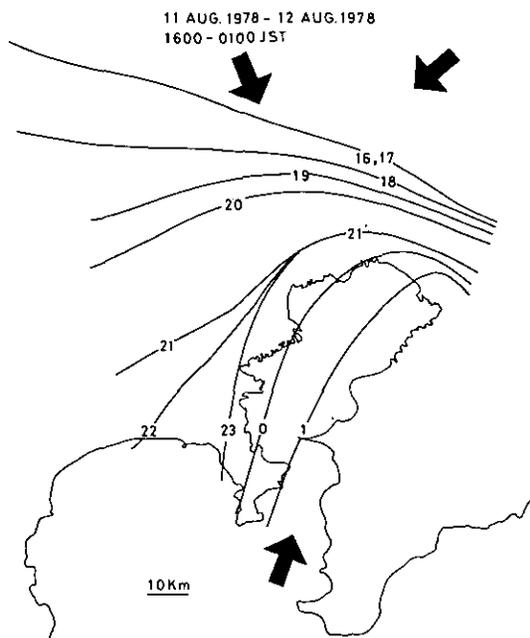


図46 1978年8月11日午後4時から12日午前1時にかけての不連続線の動き

(4) 8月12日の気流

夜間から早朝にかけて千葉の山側から東京湾に吹きこむ風と、北又は北北西風との間に収束域が形成された。一方、04時頃から西の山岳地帯からの山風が認められる。この山風の吹き出しを図47に示した。千葉の山風は、08時には消滅し、関東全域が弱い北成分(1~2m/s)の風となった。

図48に示すように09時になると東京湾、相模湾からの海風が入り、内陸部は、北又は東風となっていたが、10時以降は東風が卓越し、三つの風系の間不連続線が出来14時頃まで神奈川県で停滞していた。午後になり、南系の風が卓越するにつれて不連続線は、内陸に移動したが、鹿島からの東風との間で前線が停滞した。この状況を図49に示す。

その後図50に示すように西の山岳からの西風、北の山岳方面からの北成分の風、鹿島方面からの東風、千葉の山岳からの南東風、および南西の季節風が吹きこみ、東京付近に収束域が形成された。

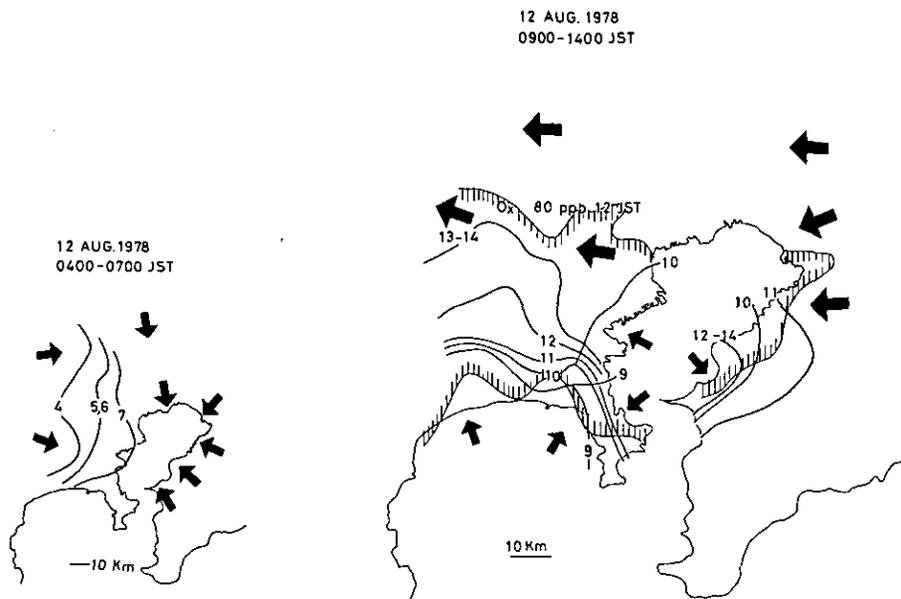


図47 1978年8月12日午前4時から7時にかけての西部山岳地帯からの山風前線

図48 1978年8月12日、午前9時から午後2時にかけての海風前線の動きと、午後12時における80ppb以上のO₃濃度分布

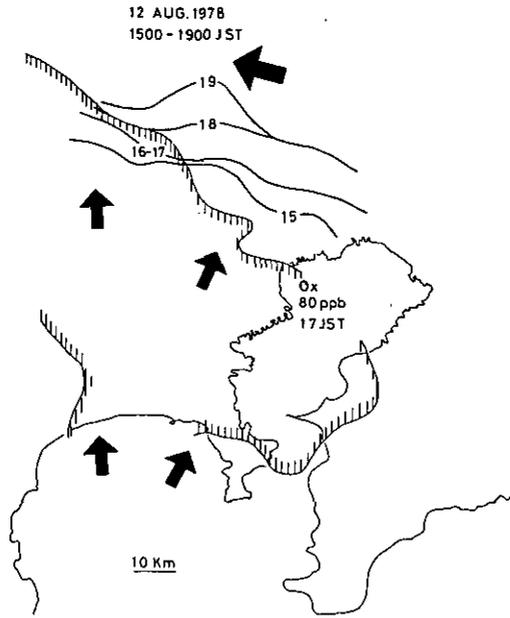


図49 1978年8月12日、午後3時から7時にかけての海風前線の動きと、午後5時における80ppb以上のO₃濃度分布

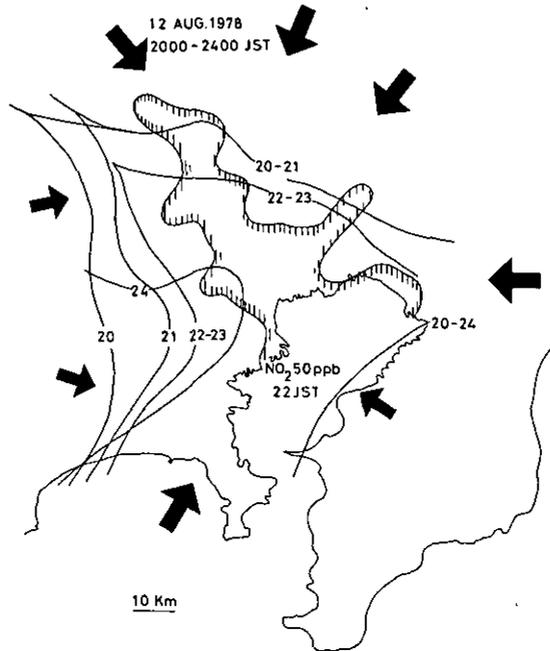


図50 1978年8月12日午後8時から12時の間の山風前線の動きと午後10時における50ppb以上のNO₂濃度分布

2.2.3 気流分布の特徴

8月9日から4日間の観測データを用いて夏季における関東地域の気流分布と濃度分布の特徴を明らかにすることが出来る。この期間は、夏季の季節風が比較的弱く、海陸風等の局地風循環が顕著に発達していたため関東地域の局地風系の連続的な変化を把握するためには適していた。

前節において4日間の気流の時刻変化の動態を詳細に解析した結果、首都圏周辺地域の夏季の局地風系として

- 1 東京湾周辺に発生する海陸風
- 2 相模湾方面からの南系の風
- 3 鹿島方面からの東系の風
- 4 西部の山岳地帯からの西系の風
- 5 北部の山岳地帯からの北系の風

1～5の主要風系が観測された。

図51に、これら1～5の風系が出現した時刻を示す。

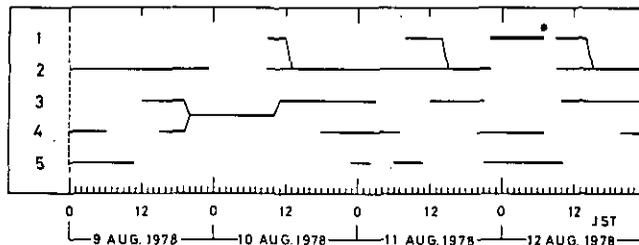


図51 1978年8月9日から12日間の関東地方における風系パターン

図中の数値1～5は以下の風系に対応している。

- 1 東京湾からの海風（*は陸風を表す）
- 2 相模湾からの海風と夏季における季節風
- 3 鹿島方面からの東風
- 4 西部山岳地域からの山風
- 5 北部山岳地域からの山風

各風系の特徴は、以下のように整理出来る。

1) 東京湾海風は、08時から09時頃に東京湾の中心部から海岸線に直角な形で吹き始め、時刻とともに内陸部に侵入するが、図45に示すように、侵入範囲は海岸から30～40kmまでであり、

午後12時から15時になると、相模湾方面からの南系風と重合する。8月11日の夜から早朝にかけての例のように相模湾、または鹿島方面からの南系、東系の風が卓越しない時には、陸風が明瞭に認められ、東京湾に収束域が形成される。

2) 相模湾海風は、東京湾海風とほぼ同じ時刻、08時から09時頃に相模湾沿岸地域に直角に吹き始め、午後になると内陸に発生する熱低気圧へ吹き込む風や、南西系の季節風と重合することが多い。

図37に、8月9日の関東地方の天気図を示したが、この例のように朝から内陸部に低気圧が存在する場合には、早朝からこの低気圧に吹き込む南西系風が卓越し、東京湾、相模湾を広く覆う形となる。

3) 鹿島海岸、および九十九里浜海岸付近の観測局が少ないため、東系風の構造の詳細は不明であったが、東系の風は、観測期間中のすべての日に出現しており、関東地方の風系に大きな影響を及ぼしている。1,000mから1,500m付近に大規模な東風が存在した8月9日と11日(図25、27)には鹿島方面からの東風が、夜中から朝方にかけて広く関東平野を覆い、西部では北風と重合して、埼玉県南部から神奈川県にかけて低気圧性の“うず”が形成されていた。

4) 西部山岳地帯からの山風と思われる西系風は、4日間とも出現した。山風の吹き出し時刻は、15時から20時までの間であり、日によってかなり異なっているが図34、38、41、42、43、47、50などに示したように、その形態は類似している。一般的には、神奈川県南西部付近をかためにして時刻とともに東方向に伸び、埼玉県南部および東京方面に張り出す傾向がある。

5) 北部の山岳地帯からの北系風は、前述の西系風より吹き出し時刻が遅く、21時から23時頃に吹き始め、翌日10時頃まで持続する傾向にある。

北部の山岳地帯からの北系風には、便宜的に高崎方面からの谷沿いの北西風や日光方面からの北東風も含めている。

2.2.4 濃度分布と気流分布の関係

1978年8月9日から12日の間のデータを用いて、広域大気汚染現象と気流分布との関連性を明らかにしたい。

(1) 日中のO_xの高濃度分布と気流

オキシダントの高濃度は、海風前線の周辺で出現し、前線の移動に伴って高濃度域もまた移動することが観測された。

8月9日、10日、11日ともにオキシダントの高濃度が出現する地域は類似しており、東京都西部から埼玉県にかけての地域と、埼玉県東部の2か所を中心に、高濃度域が形成される傾向にあった。これに対して、東京都心地域ではオキシダントが相対的に低濃度であるという非常に興味深い解析結果が得られている。図36、40、45に明らかにしたように、この地域ではNO₂濃度が高くなっており、このNO₂の高濃度域が、オキシダントの高濃度域を二つの部分に分断する形となっている。

一方、海風の侵入が遅く、かつ東風が強かった8月12日の場合は、図48、49に示したように、東京都および神奈川県などの南部地域でオキシダントが高濃度となる南関東型の分布を示しており、広い範囲で高濃度が観測された。この日は、NO₂の高濃度域は認められなかった。

(2) 夜間のNO₂の高濃度分布と気流

夜間には、西部と北部の山岳地帯から、それぞれ、西系と北系の山風が吹くことを、前節で明らかにしたが、この両者の山風の間には不連続線が形成されることが多い。不連続線の時刻変化と、この周辺におけるNO₂の濃度分布は図34、42、44、50に示したとおりである。NO₂の高濃度域は、この二つの風系、および、南西又は東の風系との収束域に出現する傾向があり、図34、43などに示したように、高濃度域の時刻変化は、収束域の移動と対応していることがわかる。

一方、図39には、鹿島方面からの東風が夜間から早朝にかけて広く関東平野を覆う場合のNO₂の地域分布、図41には、太平洋からの季節風が、内陸に入りこんだ時のNO₂の地域分布を示したがいずれの場合も、流線に沿って、高濃度域が広がっていることが明らかとなっている。

日中、夜間ともに、NO₂の高濃度域の中心は、東京都心部に現れている。

2.3 航空機による光化学二次汚染質の観測結果

2.3.1 1978年8月9日の観測結果*

(1) 天気概況

8月9日の気圧配置は北太平洋の高気圧が日本列島に張り出すいわゆる夏型の気圧配置であった。このため関東地方においては、午前中は晴天で日射も強く、気温は30℃以上となったが、午後から次の低気圧の影響を受け雲が現れ、気温、日射量とも午前中より下まわった。

(2) 地上風

関東地方の風系は、夜中から明け方にかけては、南～南南西の風が、5m/sであり、特に千葉県では5～10m/sの比較的強い風が吹走していたが、西部の山沿いの地域は弱い西又は西北西の山風がみられ、南系の風との間に不連続線が形成されていた。

真夜中に西部山沿い地域に南北にわたり形成された不連続線は神奈川県秦野市付近をかなめとして時計まわりに時刻とともに南下し、07時から08時にかけて、秦野市と松戸市を結ぶ線上に停滞した。この時の陸風は、北又は北北西であったが、東京都心部から埼玉県南部が発散域となっていた。

この不連続線は、09時頃からの海風の侵入に伴って、平行移動の形で北上し、午前9時から12時にかけて神奈川県の相模原から千葉県の流山市を結ぶ線上に停滞していた。

午後になると相模湾からの海風が卓越し、不連続線はさらに北上し、14時には飯能から水海道を結ぶ地域が収束域となっていた。15時以降は、関東北部では鹿島方面からの東風が強まるとともに、埼玉県西部の飯能、入間付近では山風と思われる西風が吹き出し、海風との間に不連続線が形成された。その後鹿島からの東風と関東西部の山風はともにその勢力を強め、海風前線は19時には、東京北部にまで押し下げられる形となった。20時になると、この東風と北西風は重合して低気圧性のうずが形成され、海風は22時には、千葉と神奈川の東京湾沿岸部、23、24時には三浦半島の一部と千葉の浦賀水道付近のみとなり関東全地域が、北部では東風、南部では北風となった。この“うず”の中心は、東京都心部にあった。地上風系の詳細は2.2.1を参照のこと。

(3) 上層気象

新宿における上層風の観測結果によれば、早朝は比較的強い南西の一般風が全高度にわたり吹いていたが、07時には風は弱まっている。11時から12時にかけて、陸風と海風の不連続線が新宿付近に停滞しているため12時の観測結果は全高度北北西から北北東となっていた。13時には東京湾、相模湾からの海風が卓越し、その後夕方まで1,000～1,200mの厚さの海風が持続した。

1,500m以上では1日を通して比較的、弱風であり、朝方は西風、日中は北又は北北西で、15時以後、鹿島方面からの東風が1,000m以上に入っていた。詳細は2.1.2を参照のこと。

* 若松伸司

(4) 地上における濃度分布の日変化

夜中から朝の07時頃までは、 O_x は全域にわたり30ppb以下で、特に陸風の領域では10ppb以下であった。 NO_2 もこの時間帯は、全般的に低濃度であったが、埼玉県中部から東部にかけて50ppb以上の濃度が持続していた。 O_x 濃度は11時頃から上昇をはじめ、特に海陸風前線の北側で、11時から12時にかけて80~90ppbの値が広域に観測された。これに対して NO_2 濃度は、東京都心地域で09時から12時にかけて50~120ppbの値を示したほかは全域にわたり50ppb以下であった。

午後になり海風の北上に伴って、 O_x の高濃度域も北上し、東京の内陸部と埼玉県の中南部で80ppb以上の濃度が14時まで持続した。この高濃度域は、東京湾、相模湾からの海風と鹿島からの東風との不連続の両側に形成されていた。15時になると、埼玉県の山沿の地域では山風の出現が見られ、 O_x の高濃度域は、この山風に押されるような形で前線の南側に残った。濃度の最大値は113ppbである。16時には埼玉県東部に83~96ppb位の局所的な高濃度域が認められたが、その後、鹿島からの卓越した東風下で O_x 濃度は急激に低下した。

NO_2 の50ppb以上の高濃度域は14時頃までは東京の都心地域に限定されていたが、夕方から夜にかけて、荒川沿いに高濃度域が広がり、17時には東京東部は100ppb以上となり、埼玉県南部も広域にわたり50ppb以上の濃度を記録した。この高濃度域は、風向軸と極めて良い対応を示していた。この高濃度域は、その後、徐々に減少し、23時には、東京都心部のみが50ppb以上となっていた。地上の濃度変化の詳細については2.2.2で述べられている。

(5) 上空における濃度分布

<RUN 1>の観測結果

RUN 1は、欠測が多かったため、 NO_2 の分布に関しての定性的な特徴を述べるにとどめる。RUN 1の飛行は、猿島から浦和に至る64kmの間の5高度(1,700, 1,200, 800, 500, 300m)で実施した。観測時刻は、07時15分から08時44分の間である。07時から08時にかけての地上風は、相模湾および東京湾沿岸地域は南西であり、北東の陸風と山風との間に、南西から北西に走る不連続線が形成されていた。

飛行コースと不連続線とは多摩川の付近で交差していたが09時になると、海風の内陸への侵入にともなって、不連続線は08時にくらべて15kmほど北側に平行移動した形となっている。地上での NO_2 濃度は、07時には埼玉県西部で50~90ppbであったが、その他の地域は50ppb以下であり、特に相模湾の沿岸部および、千葉県の東京湾岸地域では10ppb程度であった。08時になると50ppb以上の地域は、東京都心部、および、埼玉県中部にも拡大していた。上空の NO_2 データをみると、SWが吹走している領域では全般的に低濃度であり、横須賀と横浜の500mの所以外は、10~20ppb程度であったが、北風が吹走している内陸部では濃度は若干上昇し、東京内陸部から埼玉県にかけて40~50ppbとなっていた。高度別には500mの所が最も高くほぼ高度とともに減っていたが、浦和上空1,700mの所に70ppb以上の高濃度が観測された。ここでは気温の著しい上昇

がみられ、55km地点の戸田橋では18℃であったものが、64km地点では20℃となっており、10kmで約2℃増加していた。これと対応してUVは減少していた。

<RUN 2>の観測結果

RUN 2は10時45分から12時30分にかけて、横浜と菅沼を結ぶCコースで行われた。観測期間中の地上の気流は、10時から12時にかけては、神奈川県、東京都心部、および千葉県では海風が入っており、中、北部ではN系で、両者の気流の間に長大な不連続線が形成されていた。

地上での O_x は11時頃から上昇を始め、主に不連続線の北側地域である東京内陸部、および埼玉県東部で80ppb以上となっていた。

O_3 のピークが出現する高度は約500mであり、15km地点と33km地点でそれぞれ、140、150ppbを示していた。濃度が100ppb以上の範囲は、高度約1200mに及んでいたが、20～25kmの所で二つのブロックに汚染気塊が分離されていた。 NO_2 も同様に500m付近が全域にわたり50～70ppbの濃度であるが、やはり25～30kmの所で濃度分布が不連続になっており、また上空での濃度の分布は、かなり複雑に入り組んでいた。一方、UVについては、10～20km地点と、35～40km地点付近に低い値を示す所があった。図36で明らかなように20kmから30kmの範囲に風の不連続線があり、これより南側は海風域、北側は陸風域となっていたため、この不連続線を境として汚染気塊が分離されていた。

地上での12時のオキシダント濃度は比較的lowく、100ppb以上の所はなかったが、不連続線が形成されていた付近の東京内陸部から埼玉県北部にかけての地域で80～90ppb程度の濃度となっていた。

<RUN 3>の観測結果

午後になると、相模湾からの海風は内陸深くまで侵入した。RUN 3は14時50分から16時50分にかけて横浜、幸手間の65kmにわたるBコースで行われた。 O_3 のピークが出現する高度は1200m付近で、午前と比べて高くなっており、その濃度も上昇していた。高度1200mでの O_3 濃度は20km地点では180ppb、35km地点では140ppbであった。大気低層(300～500m)では内陸に入るにつれて O_3 濃度は上昇していたが、より上層(500～1500m)では高濃度域が荒川付近を境にして二つの部分に分離されていた。

NO_2 は全域全高度にわたり午前中よりも濃度が減少していたが、35kmと45kmの範囲に30ppbの相対的な高濃度域が出現していた。

一方、C.N.は、川崎、東京の上空300mで、高濃度を記録した。これは、工場地帯からの排煙を直接観測したためであろう。また40～45kmのほぼ600mの高度にピークの出現がみられる。これらのC.N.の鉛直断面分布は、 NO_2 の濃度分布と比較的一致しており、 O_3 の濃度分布とは逆の関係にある。

UV濃度は、内陸に入るにしたがって減少しているが、35~50kmの500m以下では特に小さい値を示した。45km付近では降雨がみられた。この領域は、C. N. , NO₂の高濃度領域とほぼ対応していた。

CESSNA-402
水平分布 RUN2,3

(図 53 ~ 図 62)

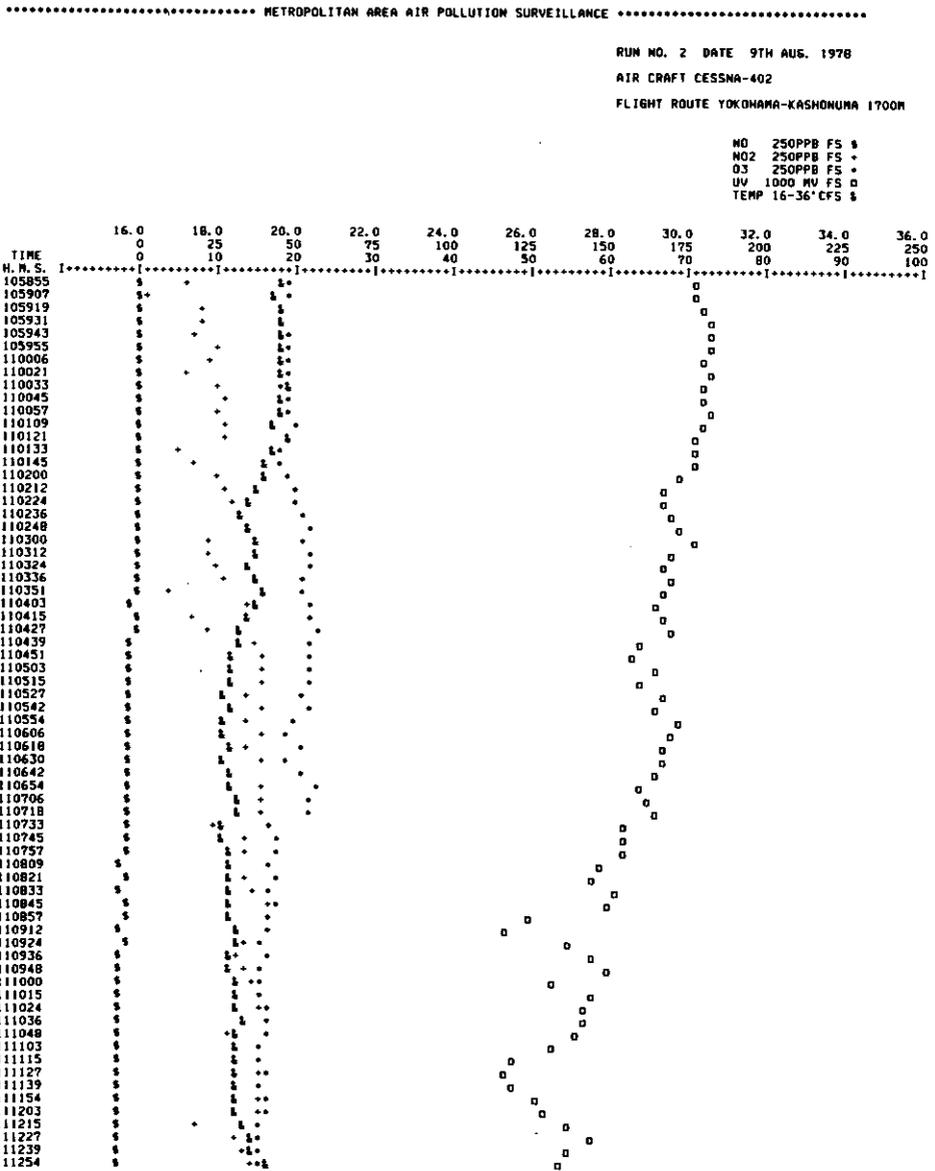


図 53 RUN2 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 2 DATE 9TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-KASHONUMA 1200M

MO 250PPB FS \$
 MO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS *
 UV 1000 MV FS □
 TEMP 16-36°CFS ♪

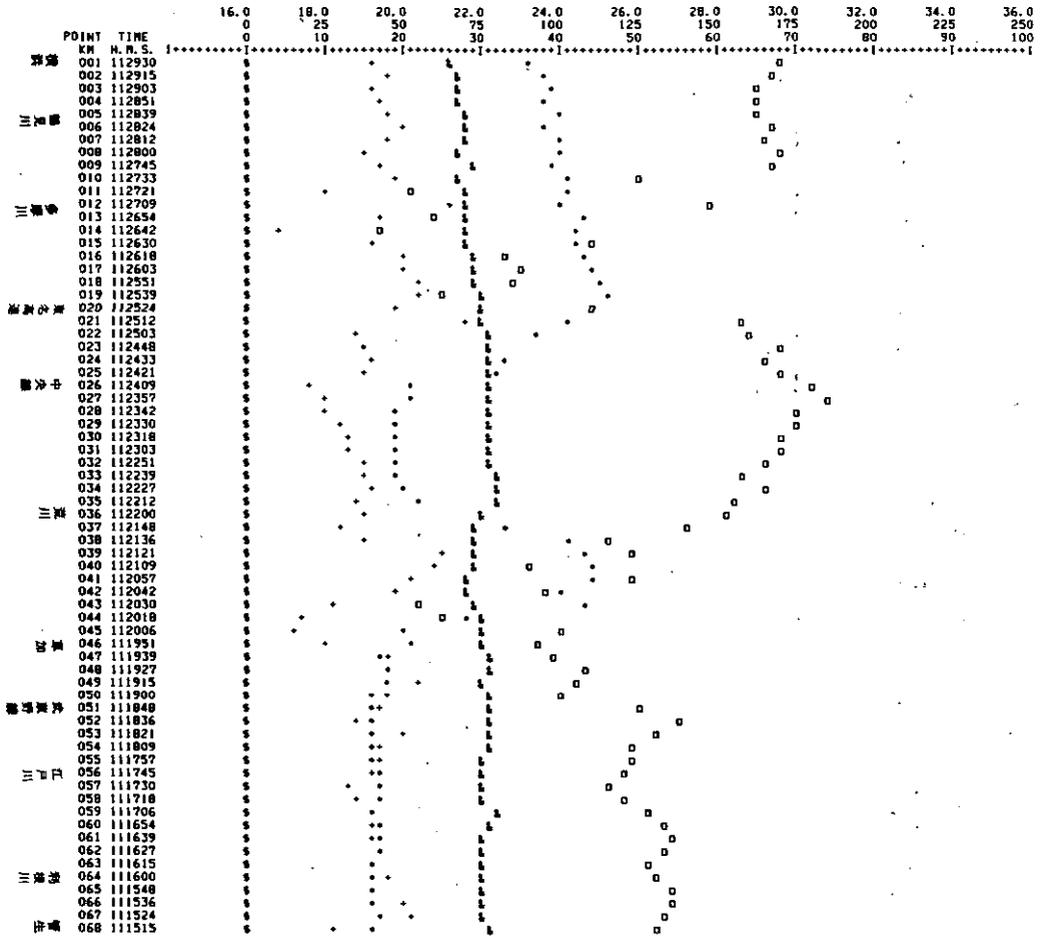


図 54 RUN2 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 2 DATE 9TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-KASHONUMA 800M

NO 250PPB FS \$
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS *
 UV 1000 MV FS □
 TEMP 16-36°C FS %

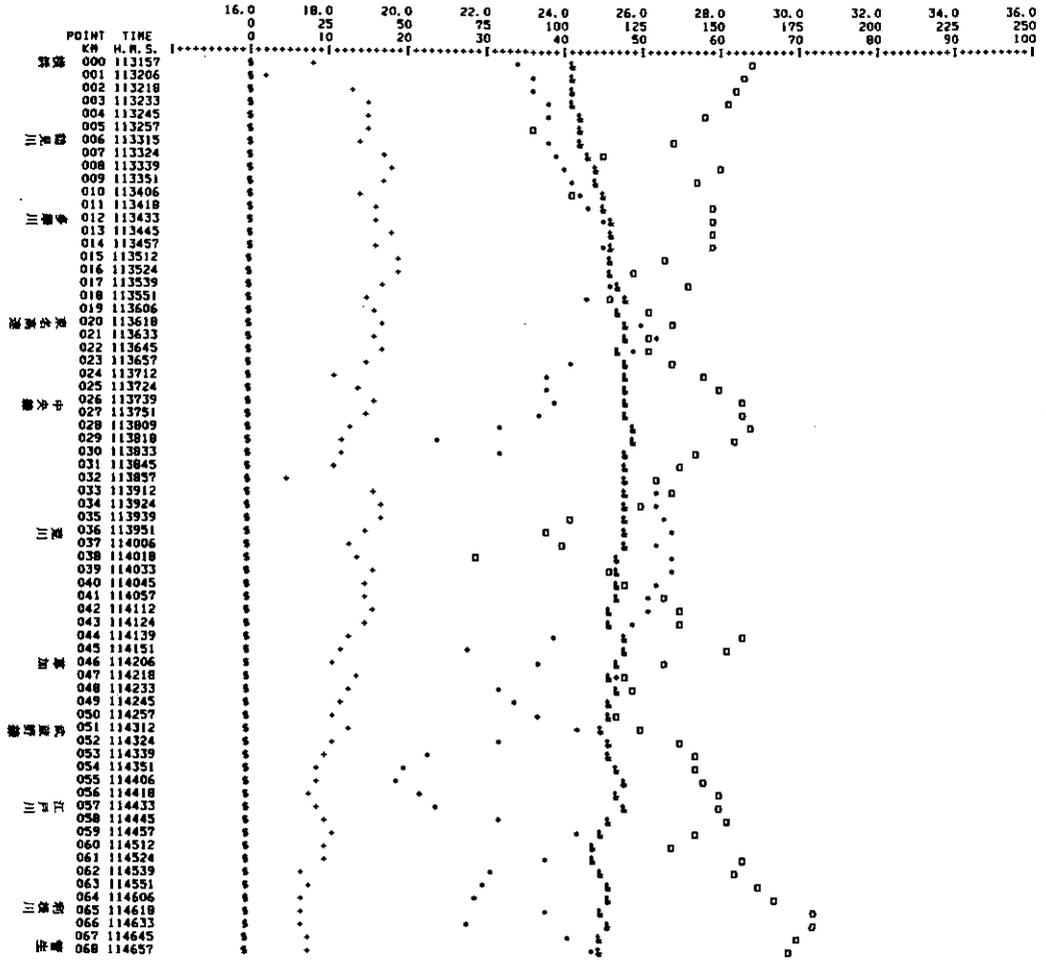


図 55 RUN2 セスナ 観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 2 DATE 9TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-KASHIYAMA 500M

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS %
 O3 250PPB FS %
 UV 1000 MV FS %
 TEMP 16-36°C FS %

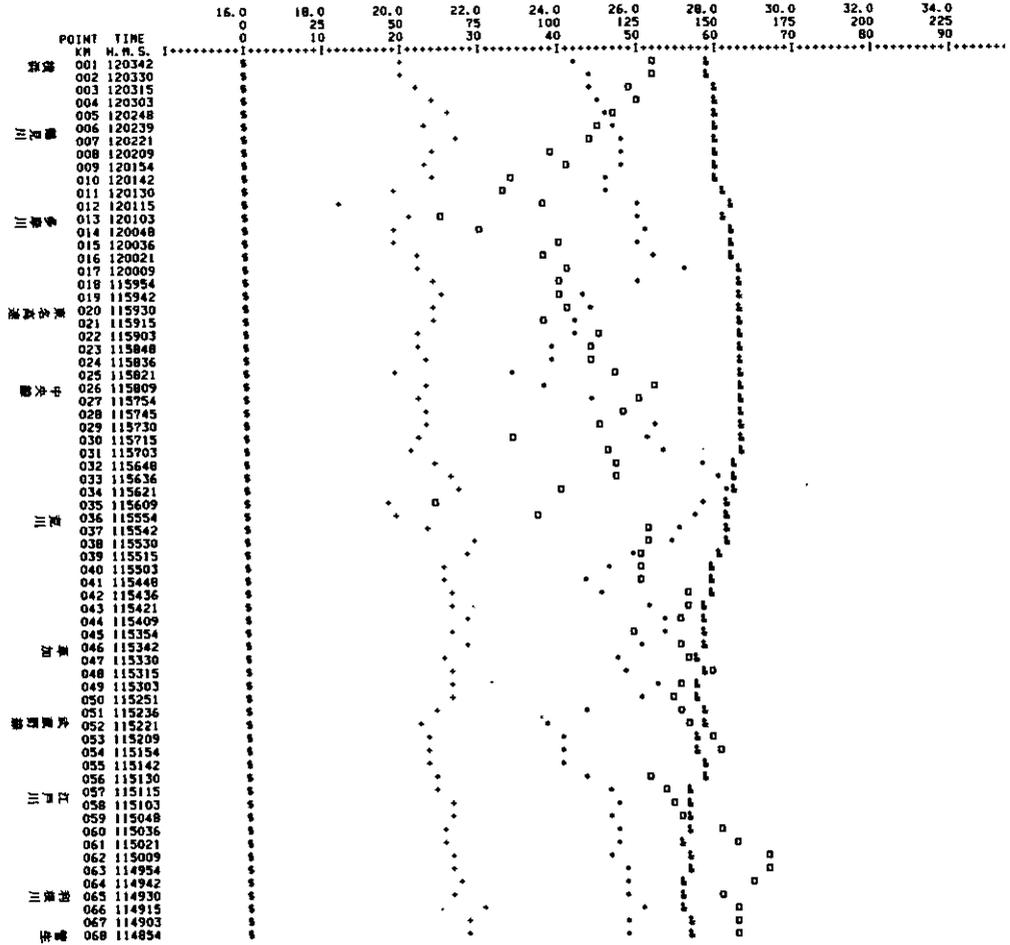


図 56 RUN2 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 2 DATE 9TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-SOKA 400M

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS %
 O3 250PPB FS %
 UV 1000 MV FS D
 TEMP 16-36°CFS %

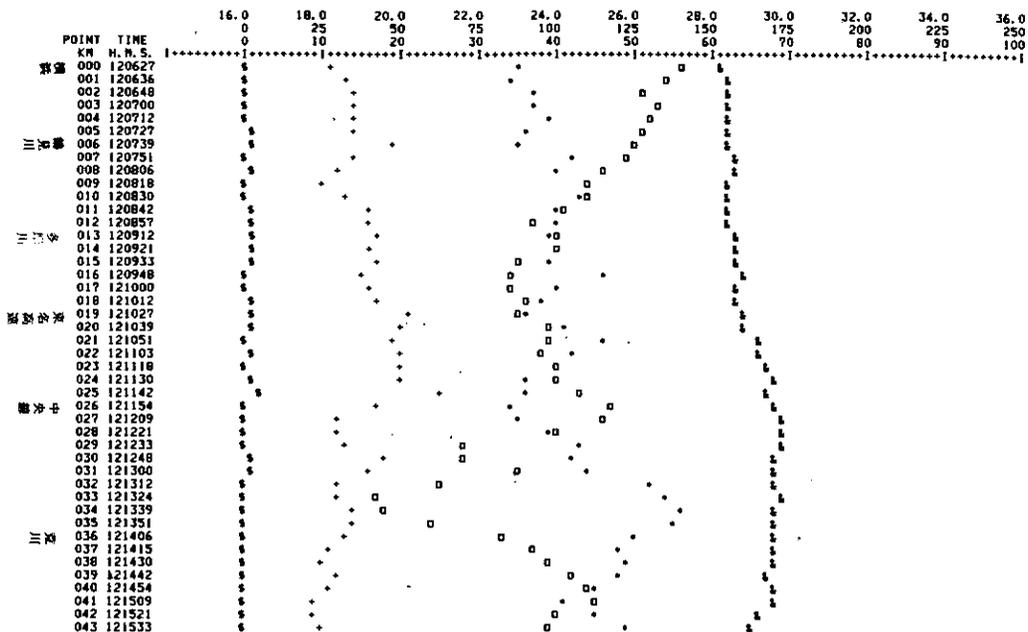


図 57 RUN2 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 3 DATE 9TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-SATTE 1200H

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS *
 UV 1000 MV FS 0
 TEMP 16-36°CFS %

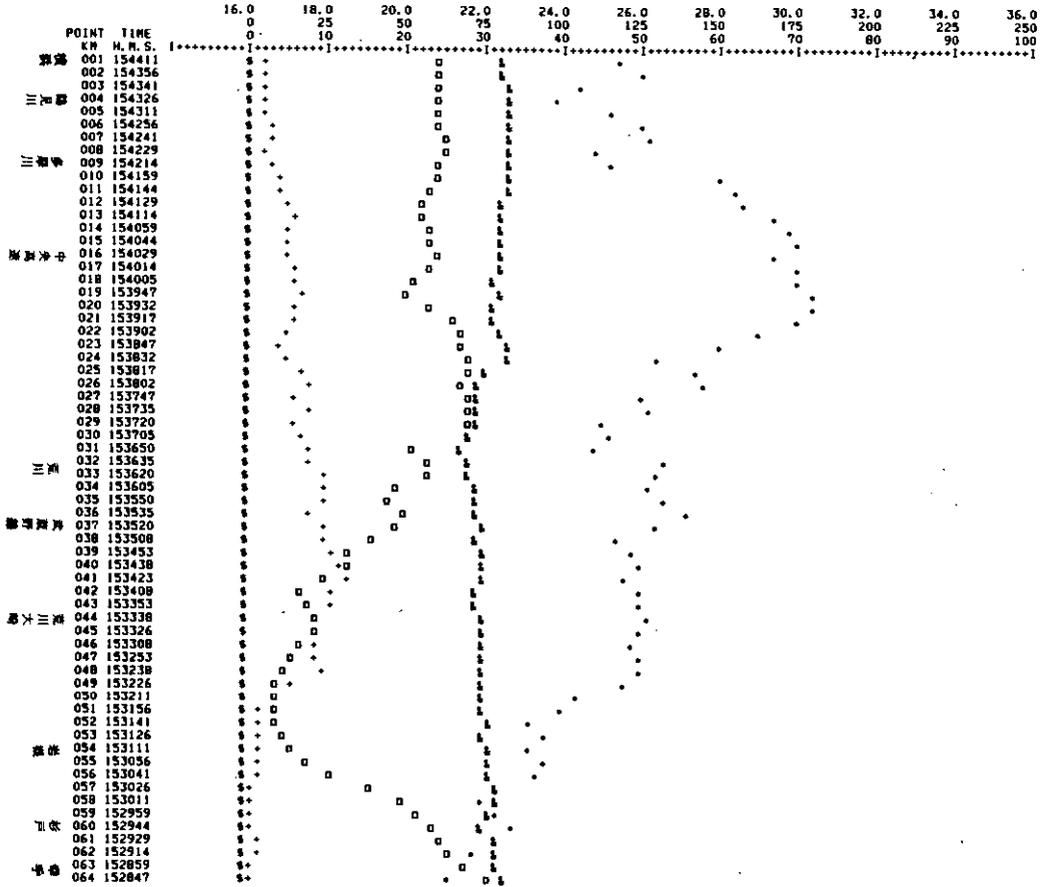


図 59 RUN3 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 3 DATE 9TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-SAITE BOOM

NO 250PPH FS %
 NO2 250PPH FS %
 O3 250PPH FS %
 UV 1000 MV FS %
 TEMP 16-36°CFS %

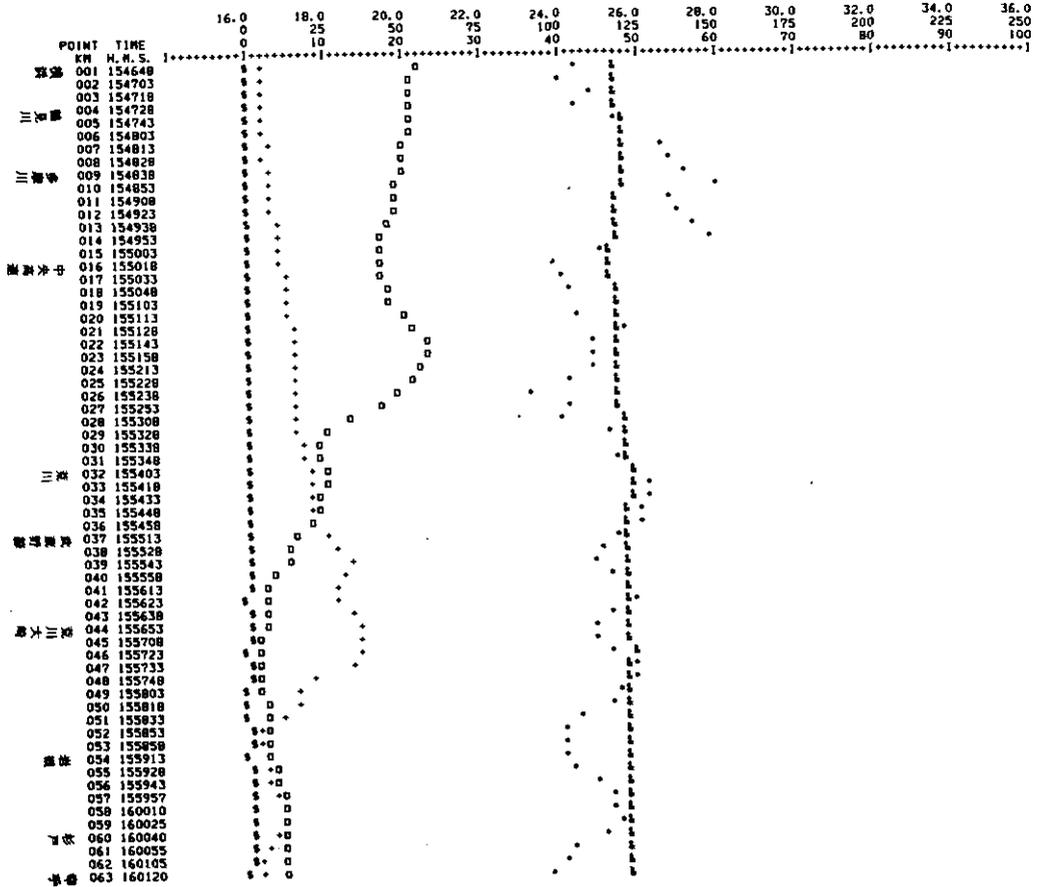


図 60 RUN3 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 3 DATE 9TH AUG. 1978
 AIR CRAFT CESSNA-402
 FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-URAWA JOM

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS +
 UV 1000 MU FS 0
 TEMP 16-36°C FS %

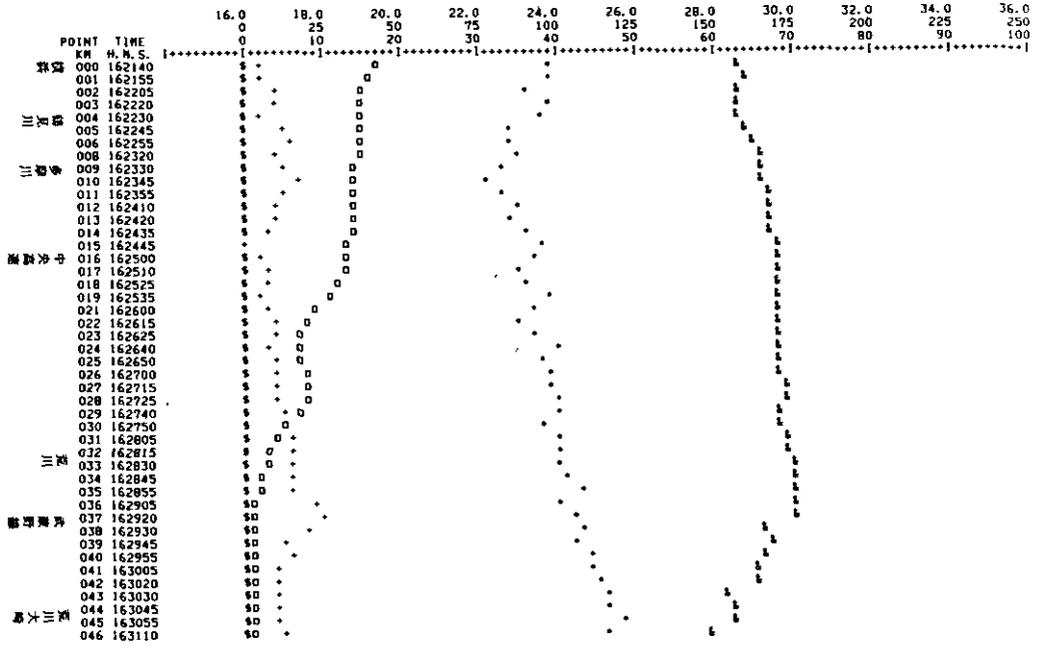


図62 RUN3 セスナ観測結果

HELI AL-3
 垂直分布 RUN2,3
 (図 63 ~ 図 69)

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 2 DATE 9TH AUG. 1978

AIR CRAFT HELI AL-3

FLIGHT ROUTE SHINJUKU SP UP

NO 250PPB FS #
 NO2 250PPB FS #
 O3 250PPB FS #
 HUM 100 % FS #
 ALT 2500 M FS 0
 TEMP 20-40°CFS ↓

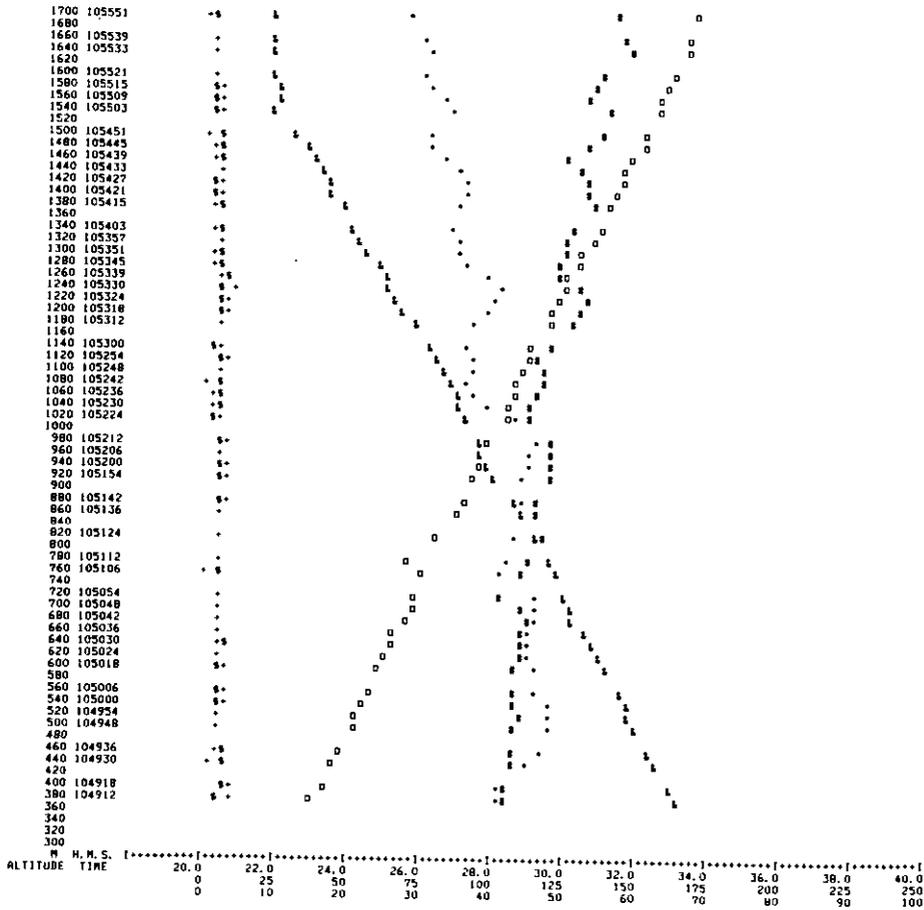


図 63 RUN2 ヘリコプター観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 2 DATE 9TH AUG. 1978

AIR CRAFT HELI AL-3

FLIGHT ROUTE SHINJUKU SP DN

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS -
 O3 250PPB FS +
 HUM 100 X FS #
 ALT 2500 M FS 0
 TEMP 20-40 CFS L

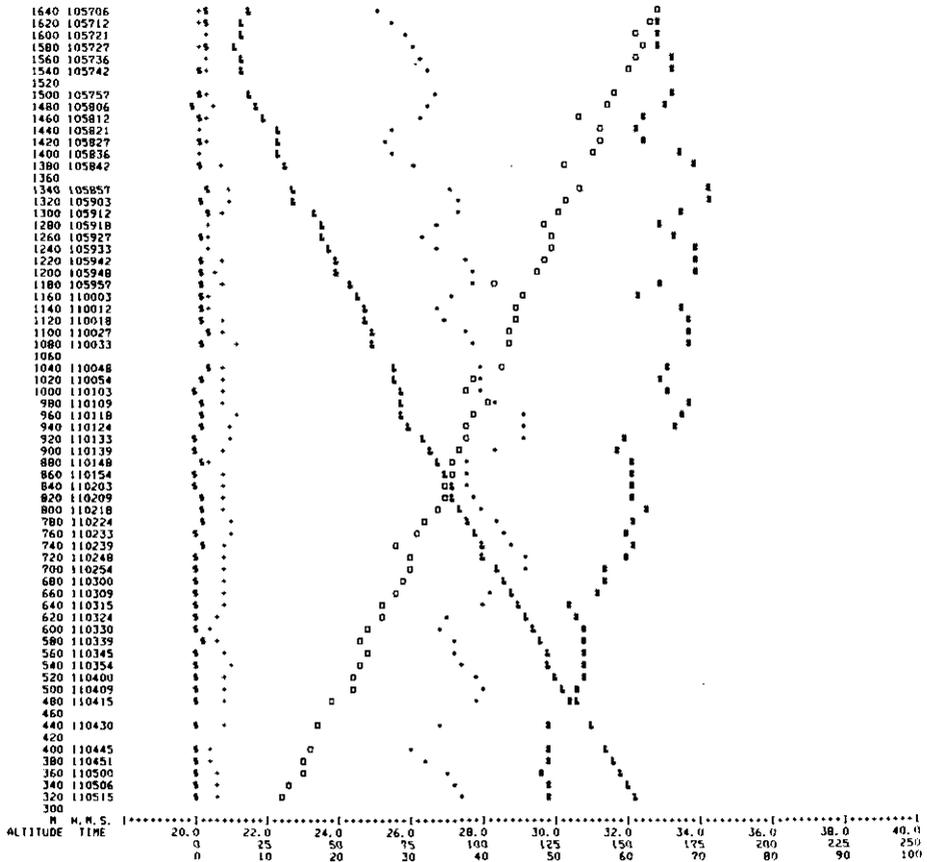


図 64 RUN2 ヘリコプター観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 2 DATE 9TH AUG. 1978
 AIR CRAFT HELI AL-3
 FLIGHT ROUTE TSURUMI SP UP

NO 250PPB FS #
 NO2 250PPB FS -
 O3 250PPB FS +
 HUM 100 X FS #
 ALT 2500 M FS #
 TEMP 20-40°CFS #

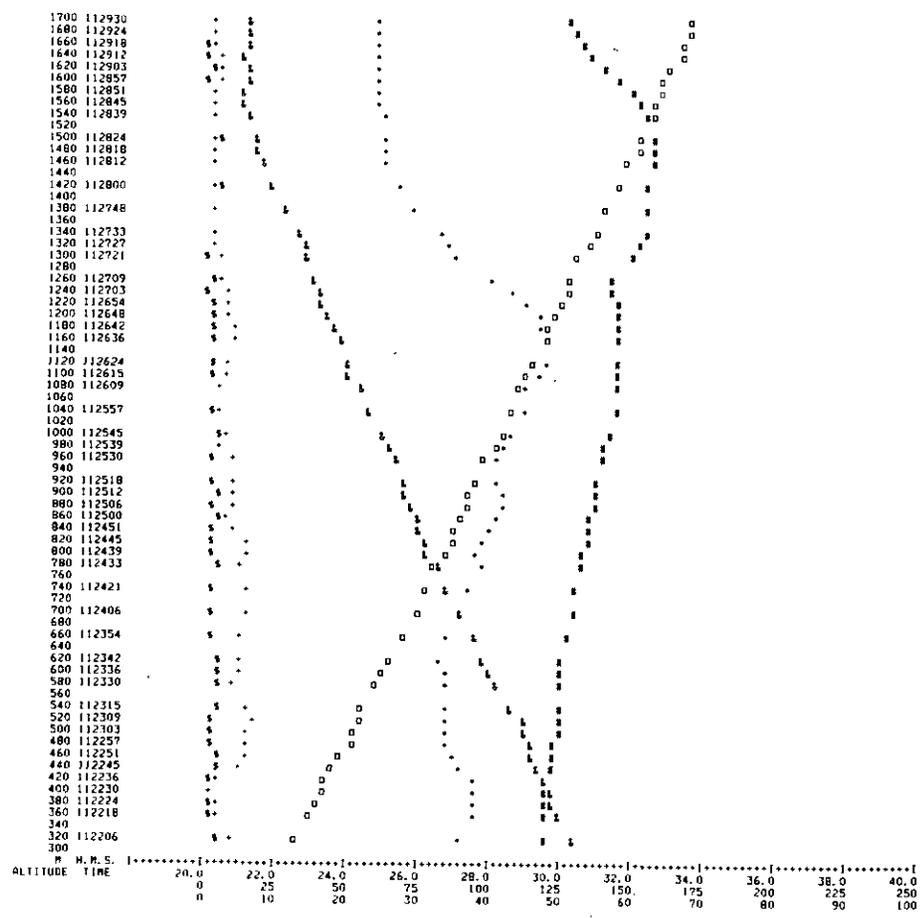


図 65 RUN2 ヘリコプター観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 2 DATE 9TH AUG. 1978

AIR CRAFT HELI AL-3

FLIGHT ROUTE MARUKO B. SP DN

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS *
 HUM 100 % FS #
 ALT 2500 M FS @
 TEMP 20-40°C FS &

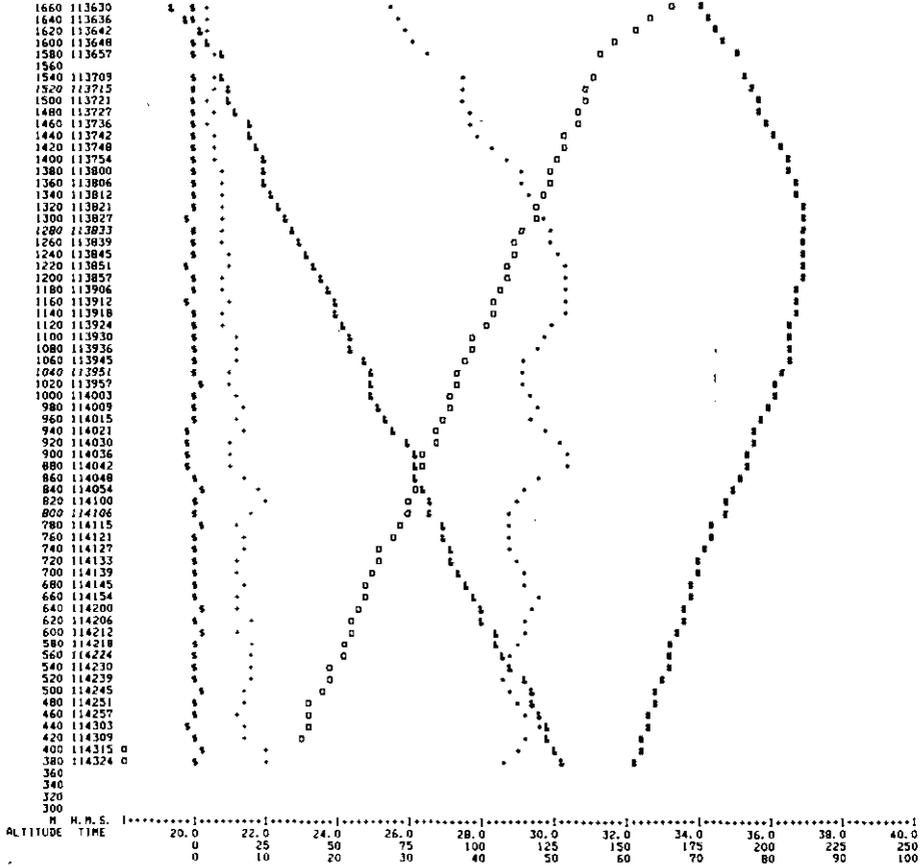


図 66 RUN2 ヘリコプター観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 2 DATE 9TH AUG. 1978

AIR CRAFT HELI AL-3

FLIGHT ROUTE URANA SP DN

NO 250PPB F5 \$
 NO2 250PPB F5 +
 O3 250PPB F5 +
 HUR 100 I F5 #
 ALT 2500 M F5 #
 TEMP 20-40°CFS &

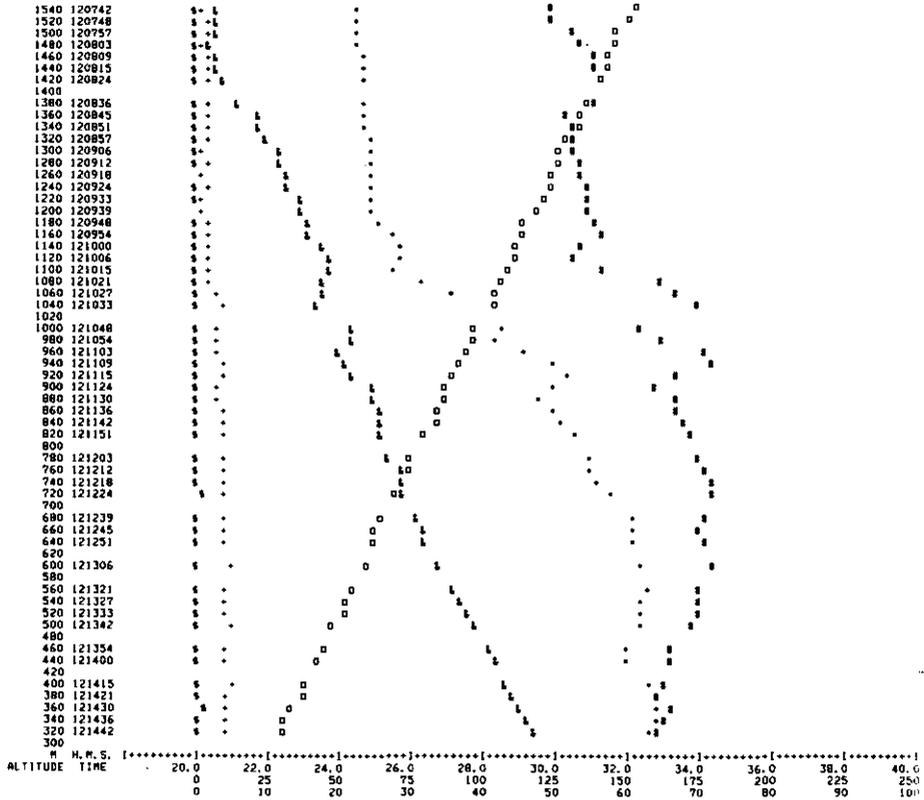


図 68 RUN2 ヘリコプター観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 3 DATE 9TH AUG. 1978

AIR CRAFT HELI AL-3

FLIGHT ROUTE SHINJUKU SP ON

NO 250PPB FS #
 NO2 250PPB FS #
 O3 250PPB FS #
 HUM 100 % FS #
 ALI 2500 N FS #
 TEMP 20-40°C FS #

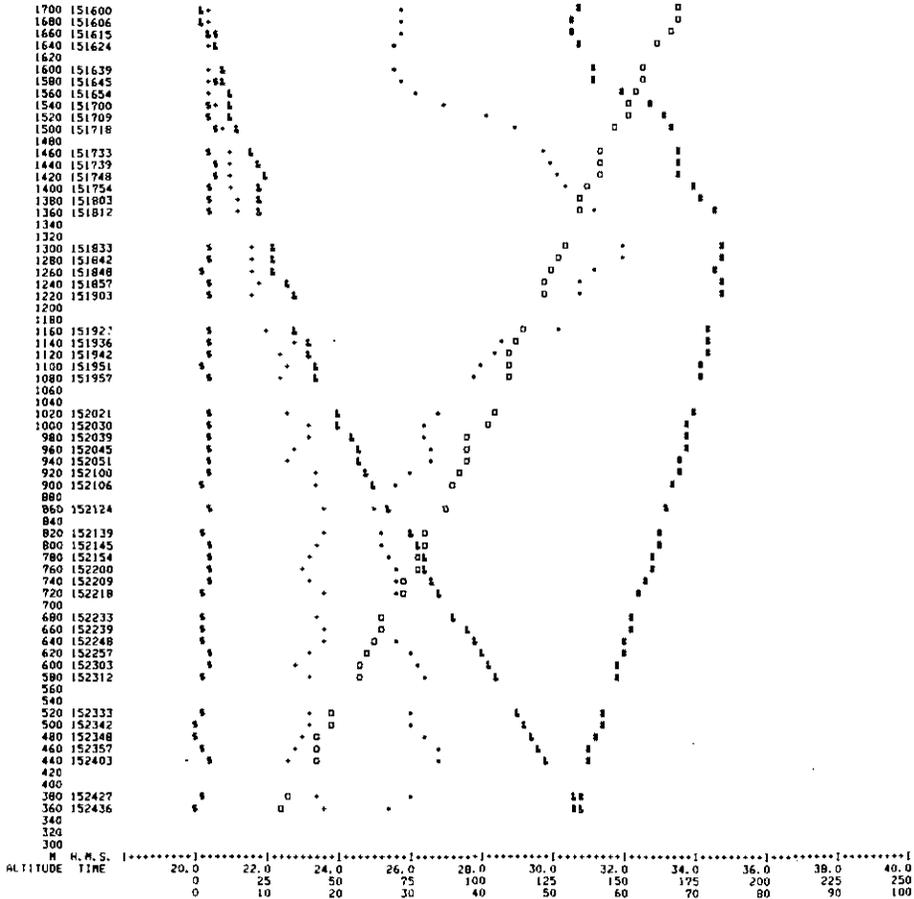


図 69 RUN3 ヘリコプター観測結果

2.3.2 1978年8月10日の観測結果*

8月10日は朝から視程が悪く、早朝、午前の飛行は延期され、ようやく14時から飛行が可能になり、Run 4が実施された。

日本海には低気圧が現れていたが関東地域では油でりで東京では最高31.8 を記録した。群馬県北部には「Heat Law」が発生し、この地域に強い夕立を降らせていた。

この日はいわゆる弱い西風が一般風のパターンを示した。すなわち、上層の西風が関東西部の山にさえぎられ、1500m以下の高度では風が乱れ、關東北部では西風が北西より、關東南部では西風が南西寄りになっていた。これにまず午前中東京湾海風が侵入し、さらに昼頃から大規模な海風（いわゆる相模湾海風）の侵入に伴い、海風前線が北上した。

新宿におけるパイロットバルーンによる風向、風速鉛直分布の時間変化、同じく新宿での低層ゾンデによる気温の鉛直分布の時間変化および館野での温度と風向、風速鉛直分布、東京、横浜での風向、風速の鉛直分布などのデータからみるとこの日は09時頃には高度300~800m、1200~1800mに2段の等温層があり、一般上層風は西風だが、下層300m以下では弱風で館野では東風、東京、横浜では北風であったが、その後東京湾海風の侵入が始まり、これに大規模な相模湾海風が侵入した。

12時には、海風前線は都市部に到達し、その北側の戸田、草加などを中心にして収束域が出来ている。14時には海風前線はさらに北上するが、鹿島灘からの東寄りの海風が、茨城、千葉の県境で吹走し、東京湾、相模湾からの海風の北上が妨げられていた。

図40に、8月10日の海風前線の動きが示されているが、Run 4が行われたのは14時から16時であり、この間に海風前線はやや北上していた。

<RUN 4>の観測結果

図70にC-402による新宿上空での汚染物質濃度の鉛直分布を示す。この鉛直分布を大別すると、1400m以上でO₃、NO₂、C.N.がともに低く、日射量の強い安定な上層と下層の境界層に分かれる。この下層の境界層はさらに3層に分割される。すなわち：

1) 1400m~900m

上層と境界層の接する層で風向はSWの弱い安定層でO₃はピークを示す。

2) 900m~550m

O₃は1)の層よりも低いがNO_xが最大を示す層で風向はSであり気温分布から見ると中立の大气である。この層は風向などから考えていわゆる相模湾海風の影響の強い層と考えられる。

3) 500m~300m

O₃は下層に行くにしたがって漸減し、逆にC.Nは増加している。風向はSEであり、この事から考えてこの層は東京湾海風の影響の強い層と考えられる。

* 小川 靖

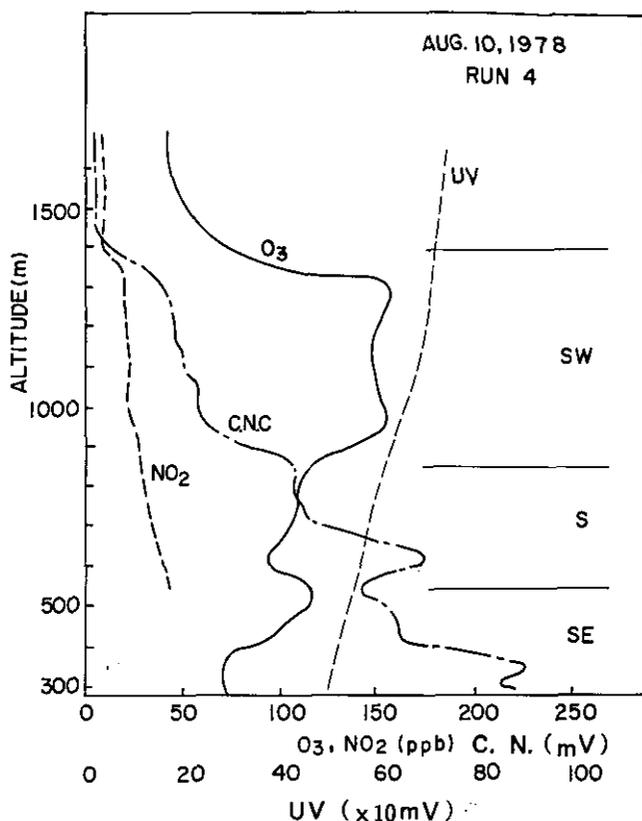


図70 1978年8月10日RUN 4の新宿上空における汚染質の垂直分布 (C-402)

横浜一幸手間のBライン上の濃度の水平分布によれば、1700mの高度では O_3 は40~50ppbでほぼ一定である。35km(荒川付近)上空で O_3 にピークがあるが、これは下層の汚染がこの高度まで頭を持ち上げているためである。

300、500、800mの高度では O_3 、 NO_2 、C.N.ともパターンはほぼ同じで、 O_3 のピークは岩槻と杉戸の中間あたりにある。C.N.、 NO_2 はそれよりも南側の武蔵野線が交差する所の上空に現れている。それから北側ではC.N.は減少しているので、 O_3 のピークが出現する場所までの間 O_3 とC.N.とは負の相関になっている。

1200mの高度では下層とは様子が異なり O_3 とC.N.とはほぼ同じ場所でピークを示している。この原因については不明であるが、一つには鹿島灘からの海風の侵入が上層なほど南に寄っているのではないかと考えられるが、十分な上層風のデータがないので断言は出来ない。

O_3 のピークの高度が北上するにつれて降下しており、C.N.、 NO_2 については濃度分布パターンが一致していることがわかる。

図71にRun 4のヘリコプターによる O_3 と NO_2 の鉛直分布測定を示す。これは海風の侵入に沿った5地点での鉛直分布で、海岸線から0km、10km、22km、35km、55kmの距離での変化を示

ている。0kmでは現れなかった高度1,000m程度の所の O_3 のふくらみが10kmで現れ、22kmの新宿では顕著になっている。35km, 55kmではスモッグのため視程が急激に悪化し、ヘリコプターでは図に示されている以上の高度の測定が出来ず、このふくらみについては不明であるが、セスナによる水平濃度分布から見ても上空1,500m以上では50ppb程度にまで値が落ちている事から、このふくらみの存在が明らかである。

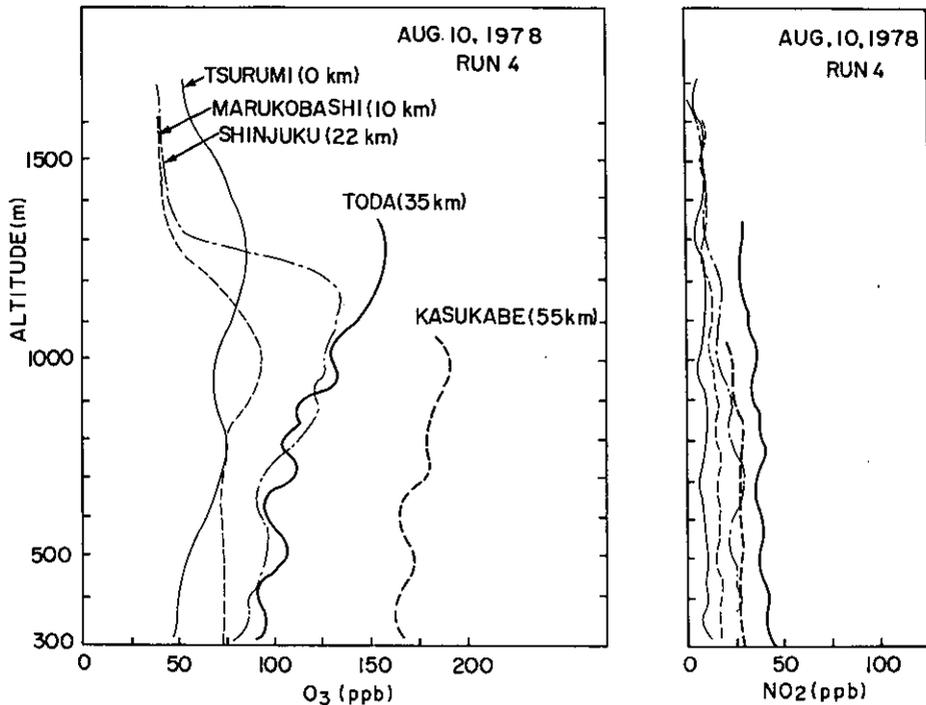


図71 1978年8月10日RUN 4のヘリコプターによる汚染質の垂直分布

新宿から戸田にかけての約13kmの距離による O_3 の変化は上空1,300m以上を除いては変化していないが、戸田から春日部までの約20kmで300m~1,000mの高度で一様に60~70ppbの増加が見られる。

NO_2 は鉛直分布としてはほぼ一様で風下距離とともに次第に増加している。特に新宿(22km)から戸田(35km)では増加がやや多い。しかし戸田から春日部(55km)にかけては逆に減少している。

この新宿→戸田→春日部での O_3 と NO_2 の変化から次の事が推定される。すなわち O_3 の生成は内陸部で盛んに行われていても都市部では一次汚染質の発生が多く、かつ、都市部での熱的、あるいは機械的な乱流によつての混合が盛んで O_3 がこわされてしまう。このため新宿から戸田にかけて1,000m以下の高度では O_3 は増加せず、 NO_2 が増加している。

戸田から春日部にかけては郊外であり、一次発生源が都心に比べて少なく、そのため光化学反応が進み O_3 が増加し、 NO_2 が減少しているものと考えられる。

CESSNA-402
水平分布 RUN 4

(図 72 ~ 図 76)

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 4 DATE 10TH AUG. 1978
AIR CRAFT CESSNA-402
FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-SAITTE 1700H

NO 250PPB FS #
NO2 250PPB FS +
O3 250PPB FS +
CNC 250 MV FS #
UV 1000 MV FS #
TEMP 16-36°CFS #

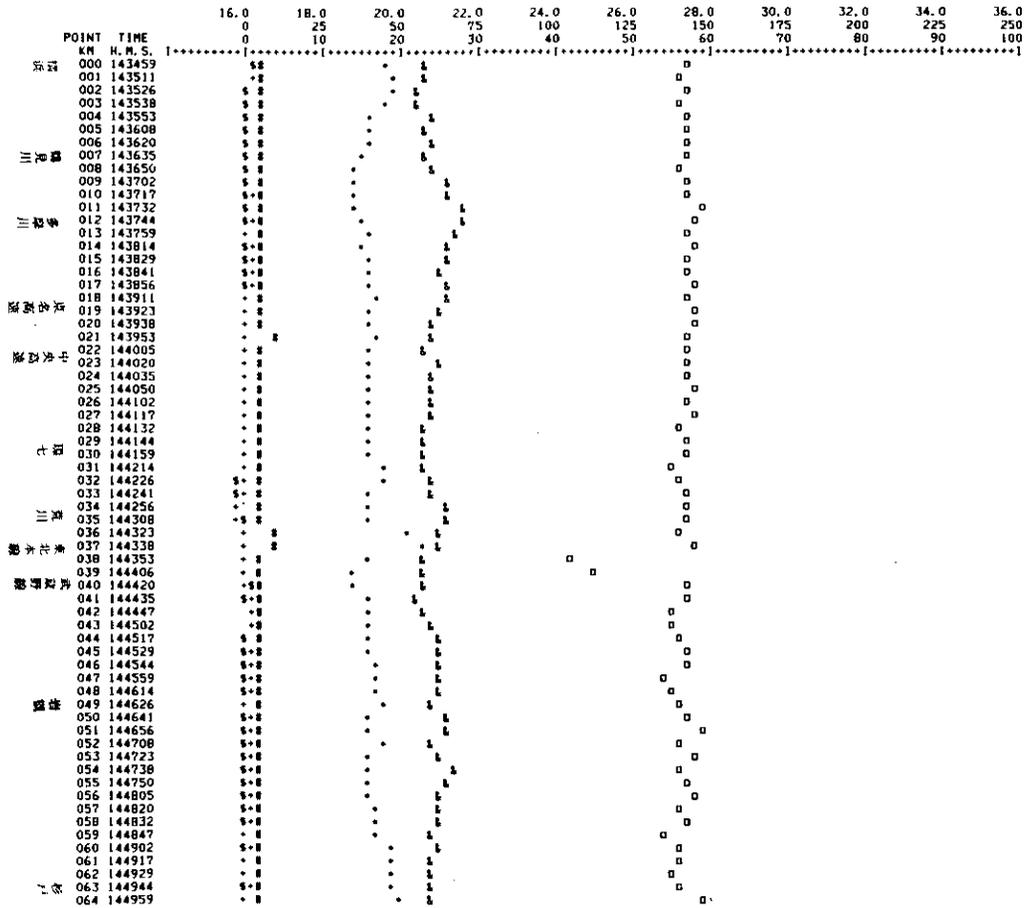


図 72 RUN4 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 4 DATE 10TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-SATTE 1200N

NO 250PPB FS \$
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS *
 CMC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS □
 TEMP 16-36°CFS &

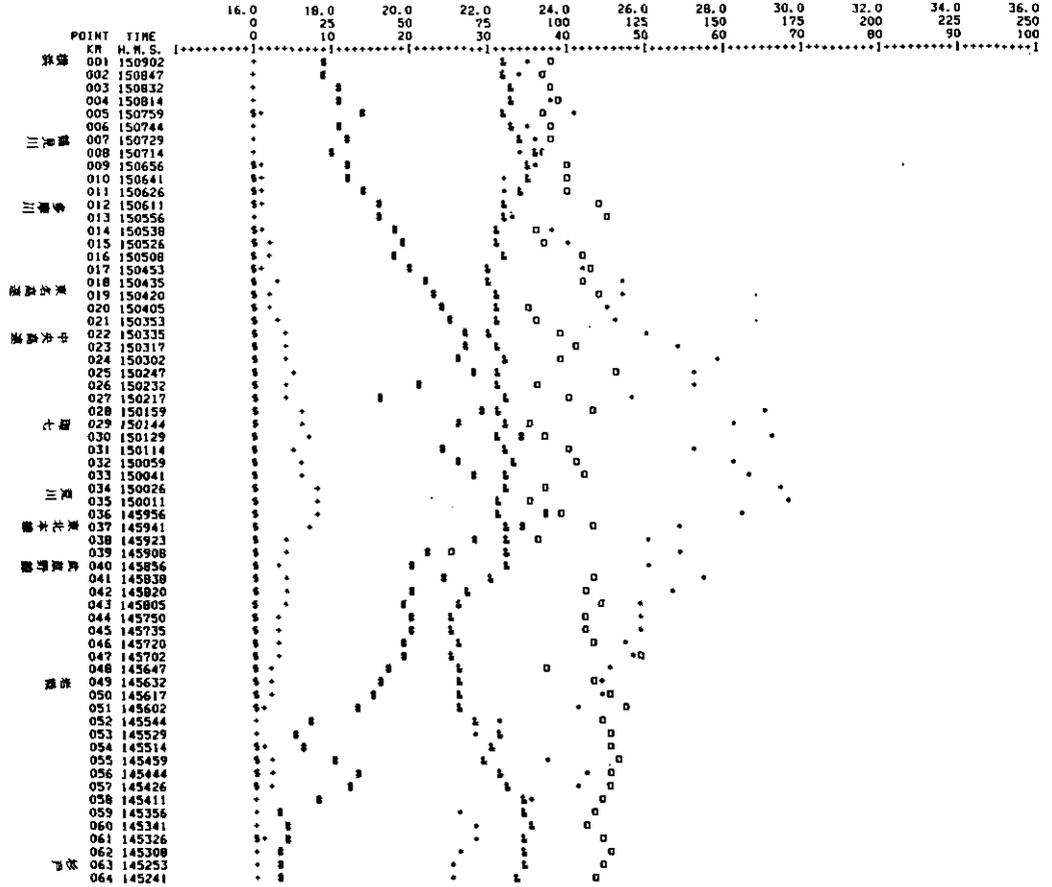


図 73 RUN4 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 4 DATE 10TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-SATTE BOOM

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS %
 O3 250PPB FS %
 COC 250 MV FS %
 UV 1000 MV FS %
 TEMP 16-36°CFS %

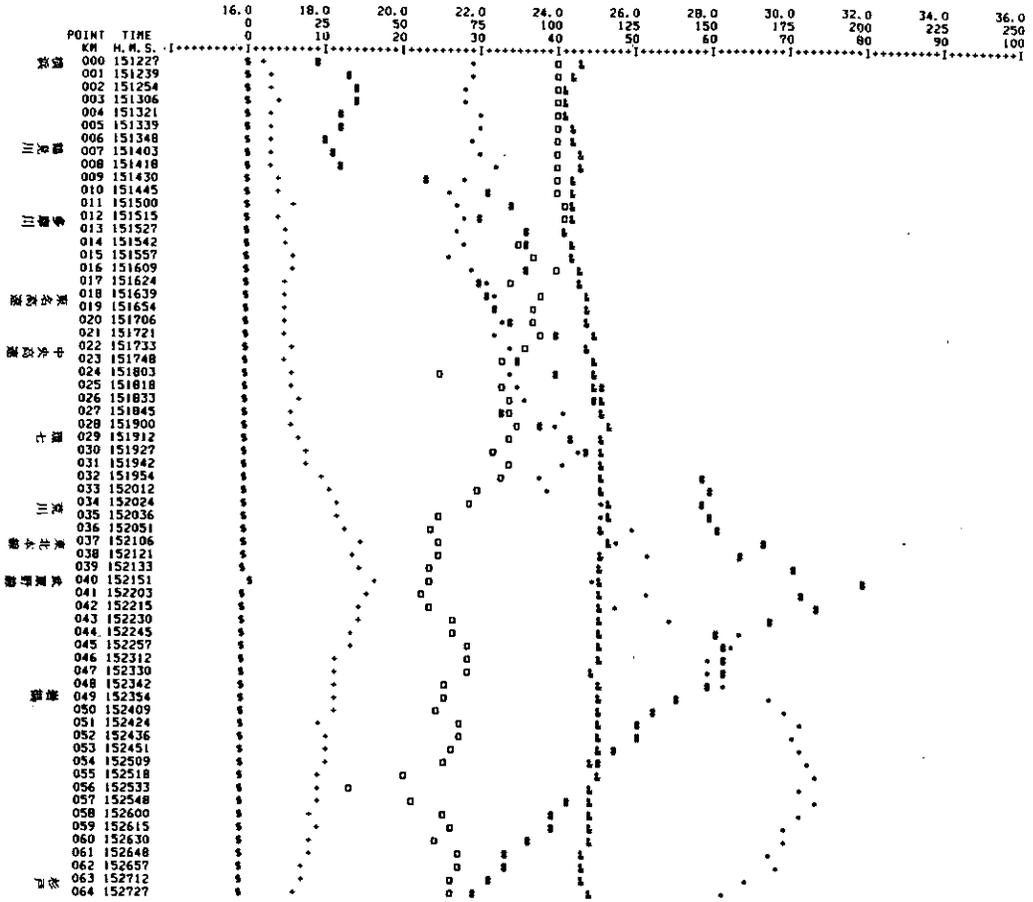


図 74 RUN4 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 4 DATE 10TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-SATTE 500M

NO 250PPB FS \$
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS *
 CMC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS 0
 TEMP 16-36°CFS &

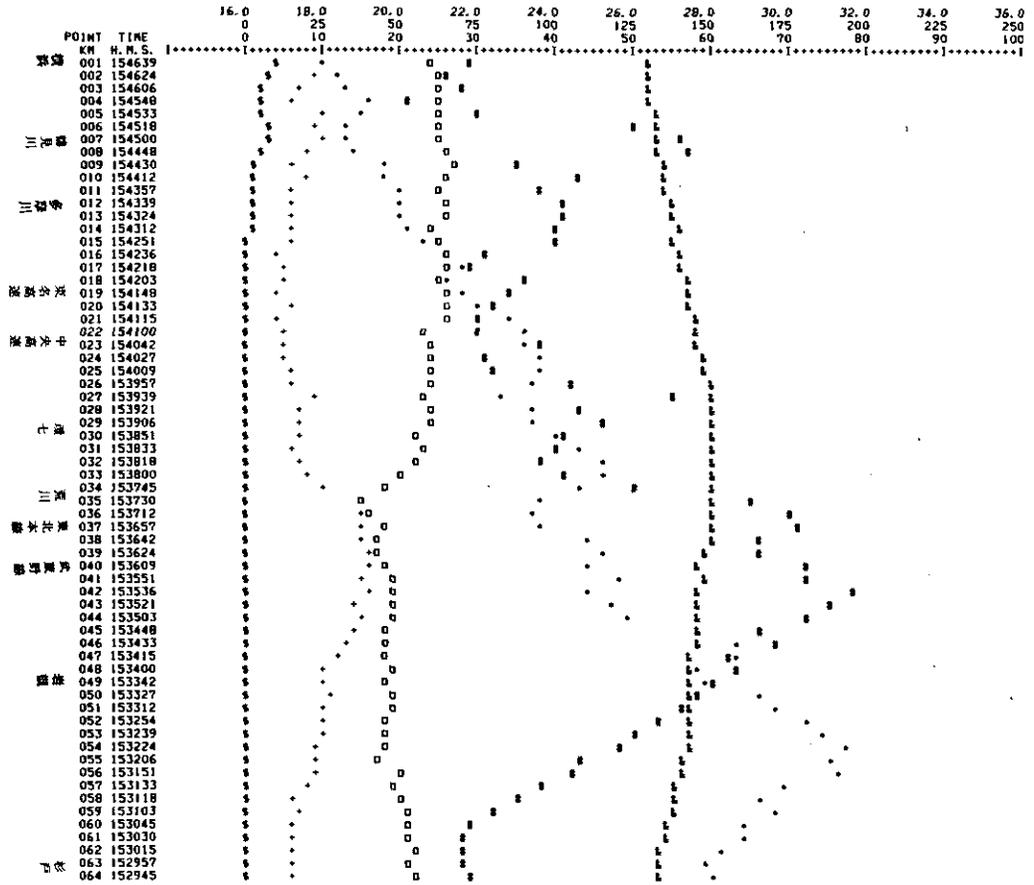


図 75 RUN4 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 4 DATE 10TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-TONEGAWA 300M

NO 250PPB FS &
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS +
 CNC 250 MV FS 0
 UV 1000 MV FS 0
 TEMP 16-36°CFS &

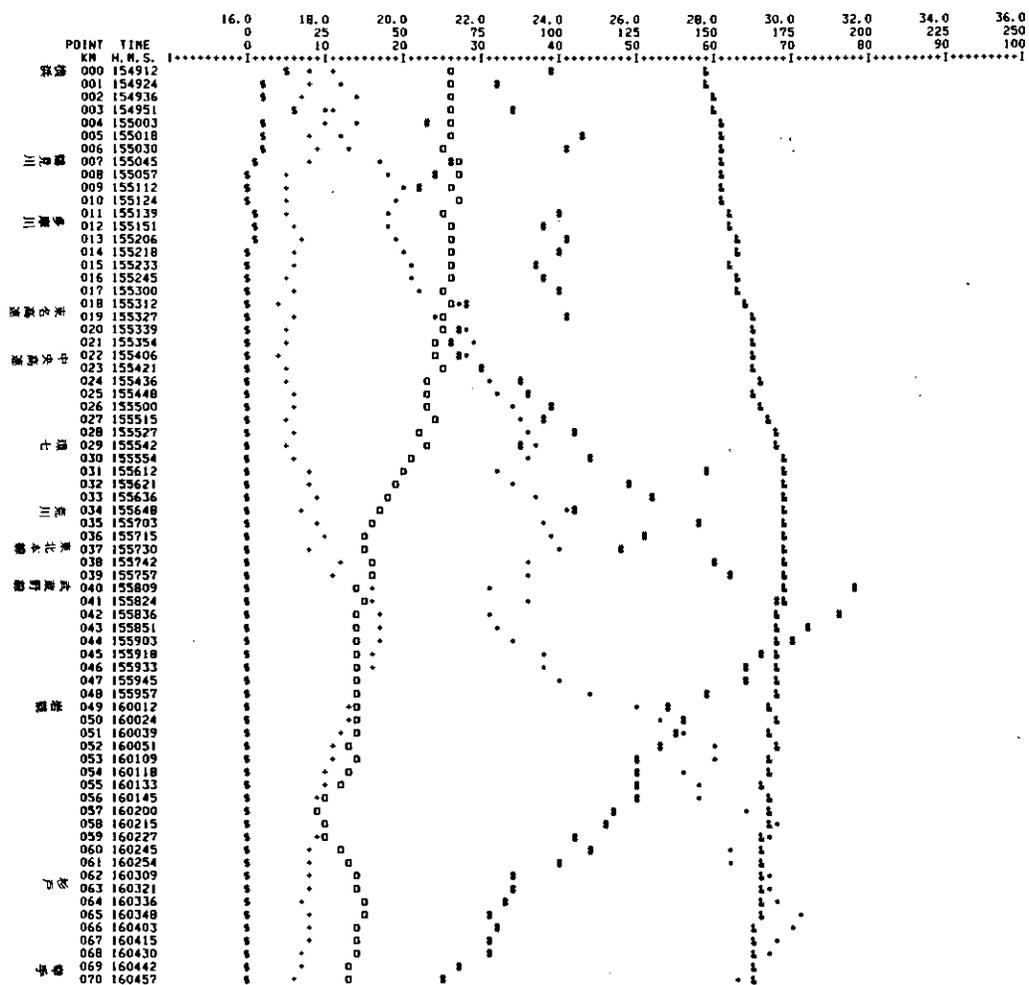


図 76 RUN4 セスナ観測結果

HELI AL-3
 垂直分布 RUN 4
 (図 77 ~ 図 82)

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 4 DATE 10TH AUG. 1978
 AIR CRAFT HELI AL-3
 FLIGHT ROUTE SHINJUKU SP UP 1

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS %
 O3 250PPB FS %
 HUM 100 % FS %
 ALT 2500 M FS %
 TEMP 20-40°C FS %

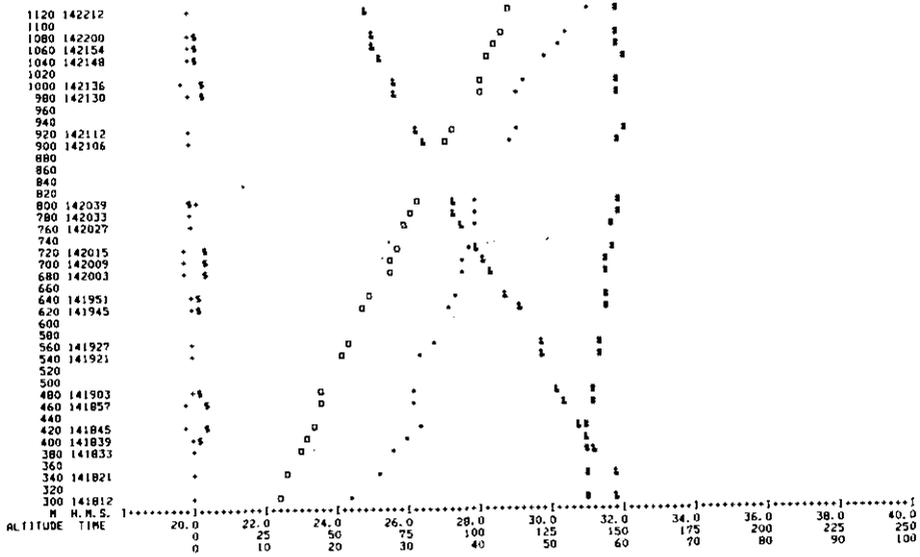


図 77 RUN4 ヘリコプター観測結果

***** METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE *****

RUN NO. 4 DATE 10TH AUG. 1978

AIR CRAFT HELI AL-3

FLIGHT ROUTE SHINJUKU SP UP 2

NO 250PPB FS \$
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS *
 HUM 100 % FS #
 ALT 2500 M FS 0
 TEMP 20-40°C FS &

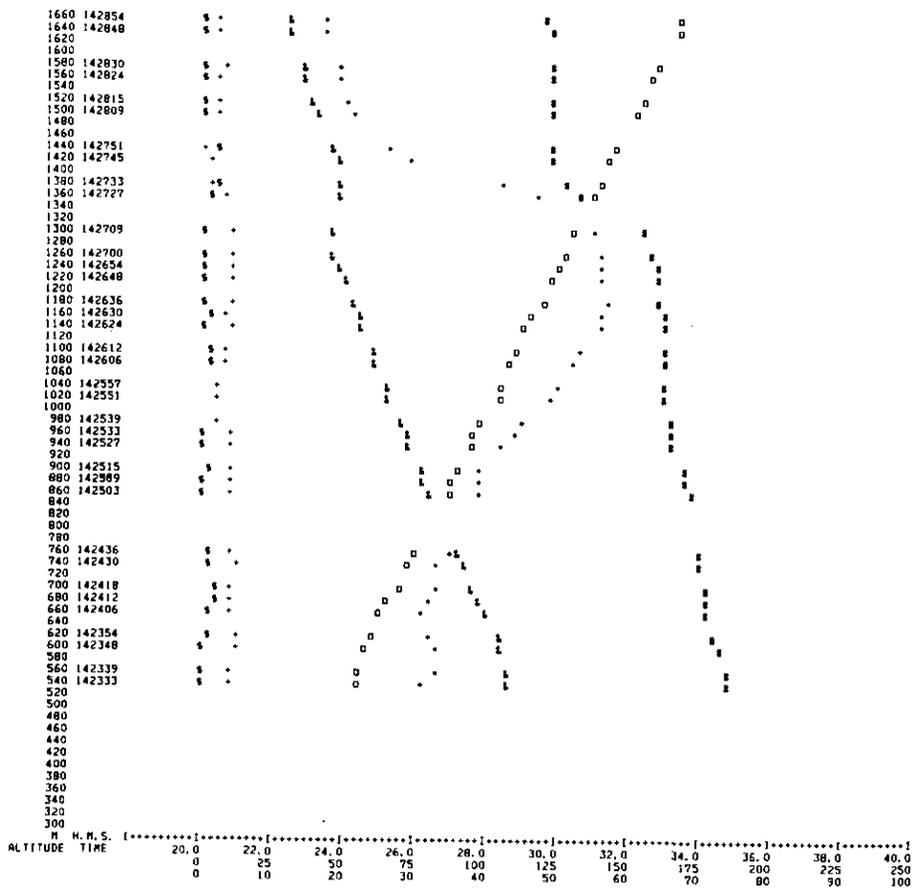


図 78 RUN4 ヘリコプター観測結果

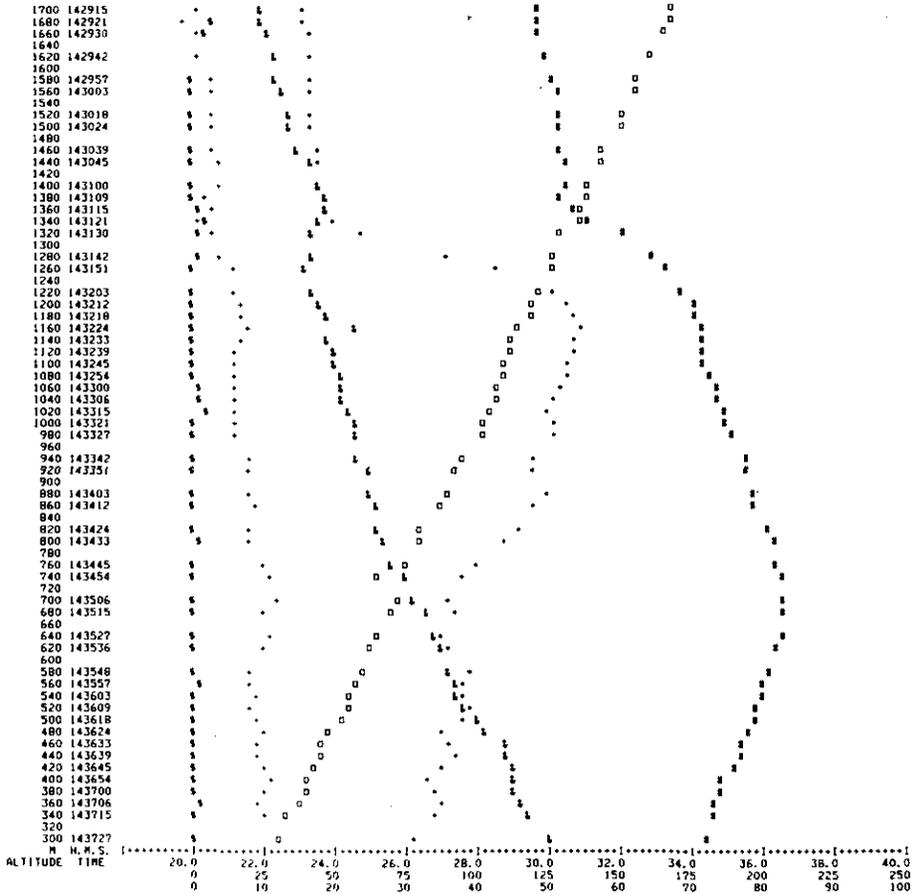
..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 4 DATE 10TH AUG. 1978

AIR CRAFT HELI AL-3

FLIGHT ROUTE SHINJUKU SP DN

NO 250PPB FS #
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS *
 SO₂ 100 I FS #
 ALI 2500 M FS @
 TEMP 20-40°C FS &



☒ 79 RUN4 ヘリコプター観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 4 DATE 10TH AUG. 1978

AIR CRAFT HELI AL-3

FLIGHT ROUTE MARUCO B. SP DM

NO 250PPB FS \$
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS -
 HUM 100 I FS #
 ALT 2500 M FS 0
 TEMP 20-40°C FS &

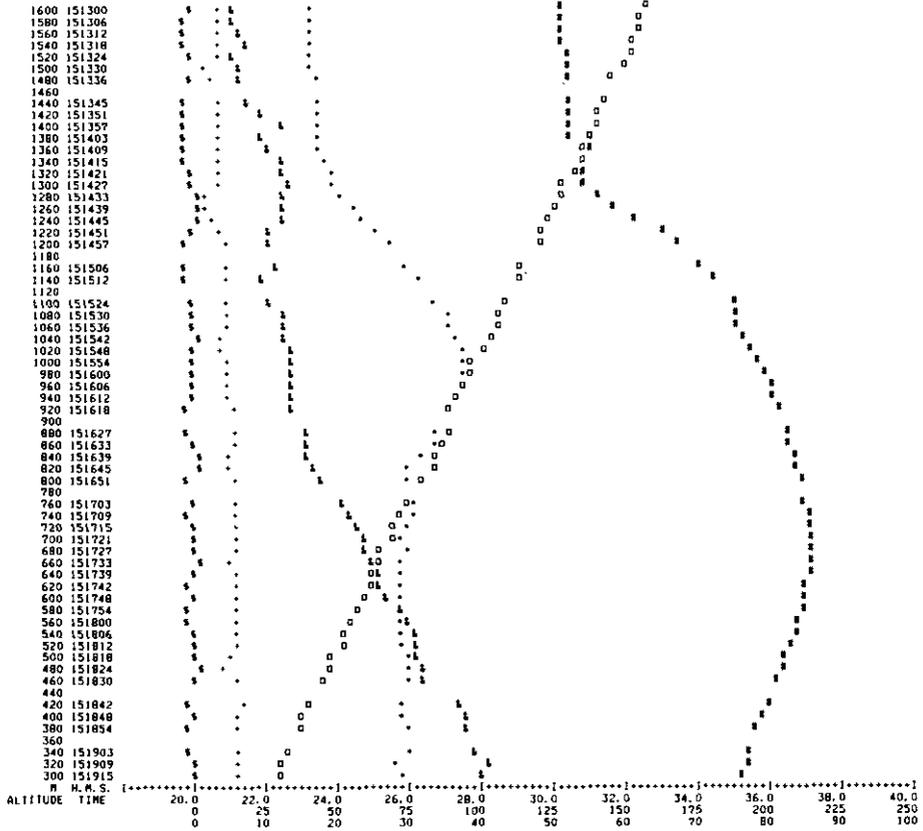
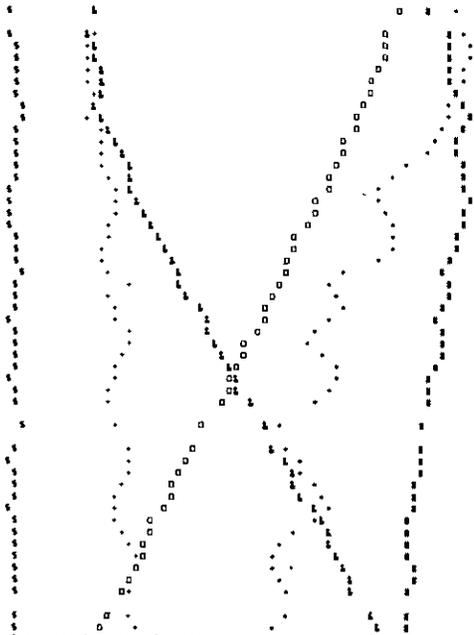


図 81 RUN4 ヘリコプター観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

1340 153327
 1320 153315
 1280 153309
 1260 153303
 1240 153257
 1220 153251
 1200 153245
 1180 153239
 1160 153233
 1140 153227
 1120 153221
 1100 153215
 1080 153209
 1060 153203
 1040 153157
 1020 153151
 1000 153145
 980 153139
 960 153133
 940 153127
 920 153121
 900 153115
 880 153106
 860 153100
 840 153054
 820 153048
 800 153042
 780 153036
 760 153030
 740 153024
 720 153018
 700 153012
 680 153006
 660
 640 152954
 620
 600 152942
 580 152936
 560 152930
 540 152924
 520 152918
 500 152912
 480 152906
 460 152900
 440 152854
 420 152848
 400 152842
 380 152836
 360 152830
 340
 320 152818
 300 152812

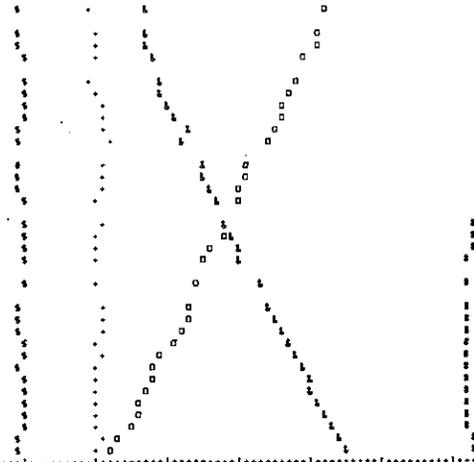
RUN NO. 4 DATE 10TH AUG. 1978
 AIR CRAFT HELI AL-3
 FLIGHT ROUTE TODA SP UP
 NO 250PPB FS \$
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS *
 HUM 100 % FS #
 ALT 2500 M FS □
 TEMP 20-40°C FS ▽



M H.M.S.
 ALTITUDE TIME 20.0 22.0 24.0 26.0 28.0 30.0 32.0 34.0 36.0 38.0 40.0
 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

1040 154915
 1020
 1000 154703
 980 154857
 960 154851
 940
 920 154842
 900 154836
 880 154830
 860 154824
 840 154818
 820 154812
 800
 780 154800
 760 154754
 740 154751
 720 154745
 700
 680 154733
 660 154727
 640 154721
 620 154715
 600
 580 154703
 560
 540 154654
 520 154648
 500 154642
 480 154636
 460 154630
 440 154624
 420 154618
 400 154612
 380 154606
 360 154603
 340 154557
 320 154551
 300 154545

RUN NO. 4 DATE 10TH AUG. 1978
 AIR CRAFT HELI AL-3
 FLIGHT ROUTE KASUGABE SP UP
 NO 250PPB FS \$
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS *
 HUM 100 % FS #
 ALT 2500 M FS □
 TEMP 20-40°C FS ▽



M H.M.S.
 ALTITUDE TIME 20.0 22.0 24.0 26.0 28.0 30.0 32.0 34.0 36.0 38.0 40.0
 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

図 82 RUN4 ヘリコプター観測結果

2.3.3 1978年8月11日の観測結果*

(1) 天気概況

前日、日本海北部にあった低気圧は北海道東部へ進んだが、引き続いて日本海北部に新しい低気圧が現れ、それらを結ぶ前線が東西につらなっている。一方、太平洋高気圧が強まり鯨尾型となり西日本を覆った。東京では油照りで33.5℃を記録した。

(2) 地上風

関東地方午前9時の風系を見ると、全般に風が弱く局地風系が目立ってはいるが、三浦半島から東京湾東部沿岸にかけ3m/s程度の南西系の気流があり、一方、平野内陸北西部から東京湾北部沿岸及び鹿島方面にかけ2m/s程度の北西ないし西寄りの風があり、このため東京都と東京湾北部沿岸を東西に結んだ収束域が存在した。

しかし12時には内陸部から東京湾西部山沿いにかけて弱い北又は北東系気流の侵入が見られ、東京湾を中心に吹走する南系気流との境が南西から北東にかけて北側に凸の曲線状の収束域を形成していた。

その後15時には南寄りの気流がやや強まり、内陸部の北東系気流が東寄りとなり、収束域はやや北上して埼玉県と東京都の境を東西に伸びている。

なお、当日15時には松本付近に熱的低気圧が見られた。

(3) 上層気象

午前中8～9時には1,500m付近を中心に北から北西方向の風が5m/s程度あり（熊谷、神田新宿、横浜、館野）、またはぼ1,200mから800mの範囲にその上と下で風向、風速が極端に変わる境目となる層がある。つまり熊谷では西寄りの風が5m/s以上吹いていることを別にすれば、その他の地点では風速も弱まり風向も乱れている。一方800m以下の層では全般に風は弱く、上層と異なる様相を示している。しかしこの層も単一風系ではなく300m程度以下では別の気層となっている。

新宿上空2,000mまでの日変化を見ると、午前中上層（1,500m付近）にあった北から北西の風は、午後に入り徐々にその高度が上がり16時頃には2,000mにも達している。一方、中層（1,000m付近）では900mから1,400mの高度に15時以降5～6m/sの東風が侵入している。また300m以下の接地気層では13時頃南東の風が5m/s程度と強まり以後南東系が続き18時に南西風と交代した。

一方、新宿における気温鉛直分布を見ると、早朝（5時半）には100mあたりの気温の低減率は2,000～1,000mの層で約0.6℃、その下層800mまでが等温、さらに300mまでが約0.7℃、3

* 五井邦宏

00mで約1℃の逆転を示し、その下層も約0.7℃で地上で約1℃の逆転といった状態になっている。これらを前述の風向、風速の鉛直分布と比較すると、各温度成層の境目と風速が弱まり風向の大きく変化する高度が良く対応しているのがわかる。07時半の分布には全層的に約1℃の温度上昇はあるがその成層状態には全く変化は見られない。09時半には300m以下の層での昇温が著しく800m以下ではほぼ中立状態となった。なお1,400～1,900mでは一率に昇温している。午後、2,000～1,000mの低減率は約0.6℃、1,000m～地上では約0.9℃といった成層状態が続き全層で一率に1℃程度の変化しか見られない。ただし18時には1,400m以下の層で一率に気温が下がった。また午後には全般に午前中より風速が強まり、風速、風向の急激な変化がないため上に述べた温度分布を示したと言える。

(4) 地上におけるオキシダント濃度分布の日変化

9時の濃度は全域で5pphm以下で目立った特徴はないが、総じて沿岸部での値が低目である。12時には全域の濃度が上がり、神奈川県では沿岸から約20km以上、東京都では約15km以上、千葉県ではおおよそ10km以上沿岸から内陸寄りに入った地域から10pphm程度の高濃度点が出現し始める。この領域は東京湾西側では南西から北東方向にかけて幅約20～25kmの帯状につながっている。

これはちょうど北東気流と南系との境界から北側のベルトゾーンにあたる。一方、沿岸部での濃度はわずかしか上がらず5pphm以下であった。

15時には神奈川県、東京都の西部山際で濃度がやや下がり10pphm以上の高濃域は逆三角形（V字）を示している。なお、濃度の最大値は領域の北側ほぼ中央付近にあたる富士見市で20pphmを記録した。高濃度域内での濃度が高くなったことは目立ったが、それ以外の地点での濃度は全域的に12時とあまり変わっていない。この領域の変化は神奈川県西部山沿いから東京都西部にかけて南系の気流が侵入したことで、埼玉県中部以北では東系の気流が支配的であることに起因すると解釈される。

(5) 上空における濃度分布

<RUN 5>の観測結果

Run 5 水平分布 浦和⇄猿島 300, 500, 800
1,200, 1,700 m 8:00～9:20

南北方向水平距離約63kmをほぼ13分で飛行した。その速度は平均約80m/sで、作図上1kmの値は約13秒弱の平均値である。（これは厳密に言うならば各測定機の遅れ時間、応答速度に関する差を補正する必要がある。）

高度1,700, 1,200, 800mの分布を見るとNO、NO₂とも濃度が低くほとんど変化がない。一方、O₃は1,700mでは50ppb程度ではほぼ一様だが1,200mでは東名インター付近を境目にその北側で75ppb、南側で100ppbであった。しかし800mでは横浜以北の全域でいくらかの変動は見られ

るがほぼ100ppbとなった。他方C. N.は1,700mではほとんど検出されていないが、1,200mでは環七あたりから南側で漸増して鶴見川あたりで70位となり横浜まで平坦な分布を示した。また800mでは多摩川以北ではほぼ一様(30位)であった。(以南は欠測)これに対して500, 300mでは前述の各汚染物質とも上層とは著しく異なった分布を示したがそのパターンは両層ともほぼ同様である。

その水平分布を大別すると三つの部分に分けられる。すなわち、コース最南端の猿島から東京湾上を北方向へ約10kmまでの地域(海上)と、それに続く鶴見川付近までの沿岸地域(工業地帯)、並びに最北端武蔵野線までの内陸地域(首都圏地域)に区分される。それらの特徴は次の通りである。まず海上ではNO, NO₂, O₃とも濃度変動がほとんどなく、その絶対値はNO, NO₂ともほぼ零、O₃が40~50ppbであり、またC. N.も濃度が低く変動もごくわずかしかない。一方、工業地帯ではNO₂, C. N.に鋭い山が、それに対応してO₃には急峻な谷が見られる。これらの山は横浜駅付近を境とした二つの峰からなり、南側では鋭い単一なピークを示し(ブルーム)、北側ではややブロードな丘状となっている(ブロック)、また細かく見ると、北側の峰は500mでは300mに比べてわずかながらNO, NO₂, C. N.の濃度レベルが下がり、裾がなだらかになっている。この地域での最大ピーク値(1km平均値)はNOが120ppb, NO₂ 90ppb, C. N. 317, O₃ 70ppbである。

他方、首都圏地域では小さな変動はあるものの、全ての汚染物質とも比較的平坦な分布を示し、(エアマス)そのレベルはNOがほぼ零、NO₂ 35~50ppb, O₃ 90~100ppb, C. N. およそ90~180である。また細かく見るとNO₂, C. N.には中央高速、荒川付近に小さな山が認められる。なお、明確には言えないが500mの荒川以北でNO₂, C. N.が急減している。

RUN 5 鉛直分布

鶴見、猿島 300~1,700 m
7:41~7:59

毎分200mの上昇、下降速度で観測した結果の6秒(20m)ごとの平均値をプロットした。早朝、鶴見上空においてNOは700m以上の層では零、その下層では650, 550mに二つのピーク(135, 383ppb)を持ち、400m以下300mまで急激に増加している。またNO₂, C. N.ともNOと同じ高度でピークを持つほぼ相似な分布を示しているが、800m付近より下層での濃度が高く、以下高度が下がるにつれて微増傾向が見られる。一方O₃は1,700mではほぼ50ppb、以下1,100mまで漸増し100ppb程度となり、900mまで一様な値を示す。800mで尖塔状のピーク(170ppb)を持つが、700~500mで極端な濃度低下があり、特に前述NO, NO₂, C. N.の二つのピークが存在する高度に負のピーク値(10ppb)がよく対応している。また同様に400mから下で濃度は急激に減少している。これに対して猿島上空でNO, NO₂, C. N.はほぼ零かつ変動もほとんど見られないが、O₃は1,100~700mに濃度の高い層があり(ピーク値120ppb)、それ以外の層(1,700~400m)ではほぼ50ppbを示している。また400mより下層でO₃の低下が認められる。

なお、細かく見るとNO₂にわずかながら約500mごとの周期的山が認められる。(これは自機の排気による影響と推定され、巡回周期に符合している。)

<RUN 6>の観測結果

RUN 6 水平分布 横浜⇄幸手 360, 500, 360 m

11:32~12:05~12:52

本ランでは横浜を起点とし幸手付近までの約62kmにわたる水平分布を測定した。飛行時間は、1高度約15分であった。通常、観測は上層から測定し順に下層へと高度を移すことになっているが、今回は1,000 m付近から上空は視程が悪く上昇出来なかったため、手順を変更し高度360 mから始め、次いで500 mを行った。しかしそれ以上の高度では測定困難な為、鉛直分布測定を行った後再び360mでの分布を測定した。

NOは360mの横浜付近で高濃度域がある以外には、両層ともほぼ零であった。NO₂, C. N., O₃とも360,500mでの分布にはほぼ同様なパターンが見られた。つまり横浜から鶴見川にかけての東京湾沿岸部、鶴見川から中央線付近までの首都圏南部、さらに荒川、武蔵野線までの首都圏北部、さらに幸手にかけての首都周辺地域の4地域に分けることが出来、この区分は早朝とほぼ同様である。

鶴見川以南ではO₃が急激に減少してNO₂がわずかに高くなっていた。(この地域上空360mでO₃極小値40ppb, NO₂極大値50ppb, 500mでO₃ 75ppb, NO₂ 40ppb), 一方C. N. はNO₂と同様なパターンを示し、鶴見川以南での極小値は360, 500mとも120でこの値は首都圏より低く、周辺地域より高い。

首都圏地域でNO₂は鶴見川から中央線にかけて徐々に増加し、中央線付近で最大値(65~70ppb)を取り荒川、武蔵野線にかけて急激に減少しほぼ15ppb程度まで減少して周辺地域ではほぼ同様であった。

これに対し、O₃は東名インターから中央線にかけ急増し(ほぼ125ppbから175ppbまで)最大値を取り北上するにしたがって、幸手付近まで(125ppb)徐々に減少している。

他方C. N.は鶴見川から中央線にかけて、変動はあるがほぼ全域で高く(最大値360mで266, 500mで235), 中央線を越したあたりから武蔵野線にかけて急激に減少して50程度となり、それ以北では変動があるが100を越えていない。

2度目の360mの分布では中央高速以北のみ測定されたが、そのパターンはほぼ同様である。しかし最初に比べ全体的に、C. N.がやや低くなったことと、中央線付近のO₃の増加が著しいことなどが目立つ。

<RUN 6>の観測結果

RUN 6 鉛直分布

新宿, 横浜, 東名インター

300 ~ 1,000 m 11:17~

300 ~ 1,700 m 12:07 ~ 12:41

本Run では同時時間帯にセスナとヘリを用い観測された。新宿上空の分布はセスナの最初及び、ヘリの最初と最後に測定されたがいずれも視程が悪く1,000m以上には上がれなかった。NOは各測定とも300~1,000mの層ではほぼ零かつ変動もなかった。一方NO₂は700mより下の層がその上層よりやや高い濃度を示し上層が40~50ppb, 下層が最大で60~70ppbであった。他方O₃は全層ほぼ一様でセスナが175ppb, ヘリが140ppb前後であった。またヘリの最後の測定では、最初と比較して500mより上層での濃度増加が著しい(約40ppb)。

またセスナによる横浜, 東名インター上空での上昇, 下降時の各2回ずつの高度分布測定によると, 横浜のNO, NO₂は700m以上ではほぼ一様で(NOが零, NO₂ 15~20ppb)その下層700~500mと350m以下で濃度が高い。(NOが10~20ppb, NO₂ 40ppb)他方C.N.は1,700~1,100mまで漸増し, 以下700mまではほぼ一様, (約80)700m以下で濃度が上がりほぼ一様な分布を示した。(100~120)。

これに対しO₃は1,700~1,600mで70ppb, 1,500~1,100mで最大濃度を示し(1,200mでピーク値170ppb, 層平均約150ppb), 以下800m付近で110~115ppbとなり, 700~500mと350m付近で負の極値(50~60ppb)を示した。これはRUN 5の鉛直分布と同様, 横浜付近の上空700m以下の層では, O₃とNO, NO₂, C.N. などの変動の間に負の相関関係があることを裏付けている。

横浜上空に比べ東名上空では全層ならかな分布を示した。NOは全層ほぼ零であるが, NO₂は1,700m付近で約10ppb, 700~800m付近が45ppb程度でその間ほぼ一定のゆるい勾配を示している。またC.N.も800m付近が140前後で, その上層はほぼ一定の割合で低下し1,700mでは30となった。O₃も1,600m付近ではやや低い(約105ppb)が800m(または600m)以上ではほぼ140ppbと一様である。一方800m(または600m)以下の各汚染物質は, ほぼ一様でNO₂ 45ppb, C.N. 140~150, O₃が120ppb程度であった。

<RUN 7>の観測結果

RUN 7 水平分布 横浜⇄幸手 300, 500, 800, 1,200, 1,700m

15:16~16:42

午後の観測ではNOは1,700~300mの各高度においてほとんど零でかつ変動も見られない(5ppb以下)。一方NO₂は1,700mで武蔵野線以南, 1,200mで荒川付近(南北約10km), また800mでは鶴見川から荒川までの地域でやや濃度が高くなっている(最大で15~20ppb)。また500, 300mの荒川以南ほぼ全地域では20~25ppbであり, 荒川から岩槻付近にかけて徐々に濃度が減少してほぼ零に近づいている。O₃は1,700mでは鶴見川から荒川を越えたあたりまでの

地域ではほぼ100～140ppbの値を示し、その南側と北側の地域では約50～60ppbとなった。1200mは荒川から武蔵野線にかけて140ppbの最大地域がありその両側、中央線、松戸付近まで漸減してその外の地域では、ほぼ100ppbとなっている。また800mの多摩川以北ではほぼ1200mと同様の分布を示したが、鶴見川以南での濃度は高く最大で150ppbとなっている。一方、500mでは鶴見川以南で70ppbまで下がっていることが目立つが、それ以外の地域ではほぼ800mと同様に100～125ppbである。300mでは横浜から(50ppb)中央高速(110ppb)まで漸増して、中央高速から武蔵野線まではほぼ一様(約100ppb)その後岩槻で極小(75ppb)となり再び増加傾向を示した。

<RUN 7>の観測結果

RUN 7 鉛直分布

新宿、大宮、川越、新宿 300～1,700m

15:04～16:38

本ランはヘリコプターにより各地点とも上昇、下降時の2度ずつ観測された。但し測定高度は新宿1回目が300～1,700mである外は、下限が大宮、川越(上昇時のみ)で400m、上限が大宮、新宿(2回目)で1,200m、川越で1,000mと制約された。上限は視程の状態により、下限は飛行の都合で決まった。観測方法は上昇、下降率とも200m/分、旋回半径約200mであった。なお本ランにはセスナの新宿における上昇時の(300～1,700m)結果が追加される。

NOは水平分布同様各地点各高度ではほぼ零で変動もほとんど見られない。まず新宿(1回目)において、気圧計(ヘリ搭載、ペローズ式)により高度を求め上昇、下降時の同一気圧高度の値をプロットして比較すると、NO₂、O₃のパターンに上昇、下降時で若干の高度ずれが見られる。この差は約150～200m程度となり、2回目の新宿の上昇、下降時でも同様な差が認められるが、その他の場所では分布パターンがほぼ一様である為ほとんど目立っていない。したがって、ここでは上昇、下降時のパターンを各々約100m下方と上方にずらして比較することにする。

NO₂はほぼ900mを境にその上層で低く(10ppb程度)、下層では若干変動はあるが高い(最大40～45ppb)。またほんのわずかながらほぼ1,500mより上層で増加しているのがわかる。これに対してO₃は1,000m付近で最小値(55～65ppb)を取り、その上層では75～90ppb、その下層では80～100ppb程度を示している。またわずかながら高度が下がるにつれて濃度が増加する傾向が見られる。総じてNO₂とO₃の変動パターンがよく似ていることが特徴として挙げられる。

なお、セスナからもほぼ同様なパターンの結果が得られたが、ほぼ同一時刻のO₃濃度レベルが約20ppb程度高いのが目立つ。(この差はRUN 6においても同様であった。)

大宮上空の300～1,200mの層ではNO₂が10ppbとほぼ一様、O₃が100～130ppbの間で下層に向かってゆるやかな増加傾向を示している。また川越上空は300～1,000mの層で、NO₂が25ppb、O₃も150～160ppbで一様な分布であった。

新宿2回目の分布は1回目から約1時間半後に1,200 m以下のみ観測された。NO₂ はおよそ1,100 mではば5 ppb それ以下で下向きに増加傾向がある（最大値35~50 ppb）。一方、O₃ にもわずかながら同様な傾向が見られる（45~90 ppb の範囲であった）。これらを1回目と比べるとほぼ同様で、濃度分布がほとんど変化していない。

(6) 8月11日の観測結果の特徴について

本調査では南関東地域における首都圏を中心とし、水平距離南北約80 km、高度1,700 mにわたる広域かつ立体的な汚染物質の動態を連続的に把握することが出来た。

6.1 上層気象の特徴（新宿における日変化を中心として）

1) 上層風

a) 高度1,500 m付近を中心とした4~5 m/s 程度の上層風が顕著に見られ、その風向は早朝北西系で日中北系を経て夕方北東系へと時計回りに変化する。

b) 昼から午後にかけて下層で南風が次第に強まり、その上限高度は上層風の風向、風速などにより変化する。一般的に800~1,200 mの層で風向・風速が大きく変化し上層と下層との境界を成している。上層風が強く下層と大きく風向の異なる場合には、その境目となる層で風速が弱まり、風向も極端に不連続となり、雲が生ずることが多い。

c) 下層における風は局地性を強く示している。早朝では風速も弱く（2~3 m/s 以下）、風向も乱れているがおおむね400~500 mに境目が見られる。午後には上述の南風が成長するが（3~5 m/s 程度）その風向は最初は南東系で、遅くなると（ほぼ17時以降）南~南西系に変わる。

2) 上層気温

a) 気温の鉛直分布の日変化を見ると、早朝にその特徴が見られる。つまり、300~600 m 及び800~1,200 mの層に等温ないしは逆転といった強い安定状態を示すことが多く、昼にかけて地上からの昇温に伴い1,200 m付近までほぼ中立状態となり、その上昇ではやや安定気味となっている。午後はほぼこの状態が継続する。

以上のことから強い安定状態を示す層では風速が弱く、風向が大きく変化していると言える。（しかしこの逆は言えない。）

6.2 上層汚染物質の分布の特徴

1) 高度別水平分布

各種汚染物質の濃度分布の広がりには水平距離20~30 kmまたはそれ以上の気団（ブロック、鉛直スケール約200~300 m）と数 kmのもの（プルーム、鉛直スケール数十 m程度）に大別される。これらは気象条件（風の流れ、安定度、反応性）、発生源分布（高煙源、面煙源）などによって支

配されているが、オキシダント高濃度日には比較的、典型的なスケールの分布が認められる。水平距離20~30kmの気団の動きを左右するのは立体的風系であり、時間的スケールも比較的長く日変化が認められ、ここでは発生量の大半を占めている地上の面源の特徴が強く現れる。

他方、数kmのスケールの気塊は風の収束する（弱風）境界領域に対応して存在し、その存続時間及び汚染物質の滞留時間スケールが、かなり長いと考えられる。

これらと異なり、プルームは汚染源の分布に対応して観測される。

一般的に下層における濃度分布から横浜以南の海上、横浜から多摩川までの臨海工業地帯、荒川、武蔵野線以南の首都圏地域、および以北の周辺地域と四つのゾーンに分けられ、その分布は風系並びに時刻により若干異なった様相を呈するものの、これらの地域ゾーンにおける発生源の特徴を良く現している。

2) 鉛直分布

高度約800m以下の層では地上付近の発生源の影響を直接受けるためNO、NO₂、C、Nの高いプルーム（京浜地帯）、気塊（首都圏地域）などが見られる。これに対してO₃は上層と下層の接する800~1200mの弱風層で最大値をとっている。このO₃最大の層は午後にはやや高度が上昇し層も厚くなっている。また、沿岸部の下層ではO₃の低いのが目立っているが、風下の内陸部では下層でもその上の最大値の層と同程度の濃度を示し、1500m位まではほぼ一様となる。また下層風下でO₃濃度がやや増加しており、その上限高度もやや高くなる傾向にある。（但し、上層風向が下層と逆方向の場合のみには逆の傾向を示す。）

3) 汚染物質相互間の関連性

特に京浜工業地帯の下層では、NO、NO₂、C、N各々とO₃の変動の間に、強い負の相関関係があり、発生源のプルーム、気塊の特徴が良く現れている。

紫外線は海上を別にするとその鉛直分布から高度とともに漸減する傾向を持ち、300m付近では1700m付近の約50~70%程度になっている。またその水平分布では風下内陸部でわずかながら減少する傾向がうかがわれる。

CESSNA-402
 水平分布 RUN5, 6, 7

(図 83 ~ 図 95)

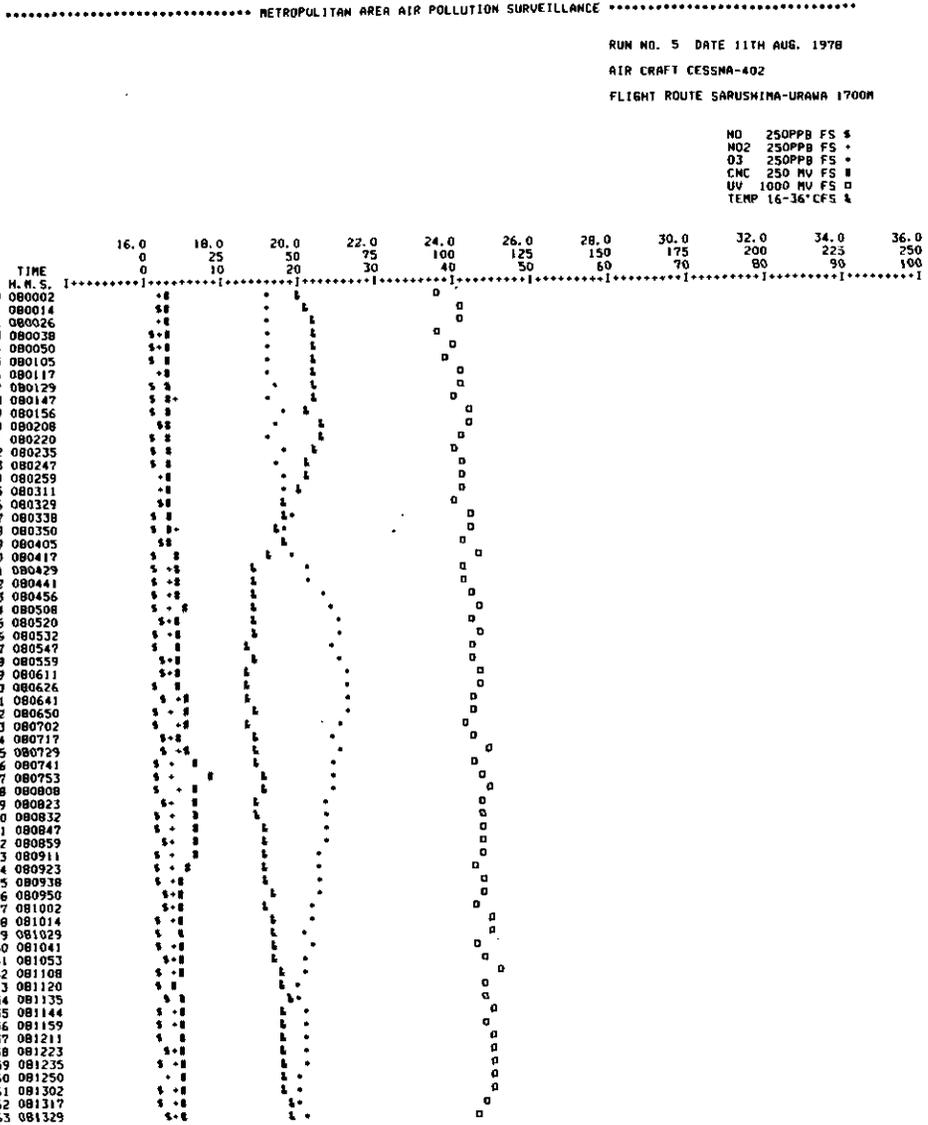


図 83 RUN5 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 5 DATE 11TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE SARUSHIMA-URAWA 1200H

NO 250PPB FS #
 NO2 250PPB FS #
 O3 250PPB FS #
 CMC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS #
 TEMP 16-36°CFS #

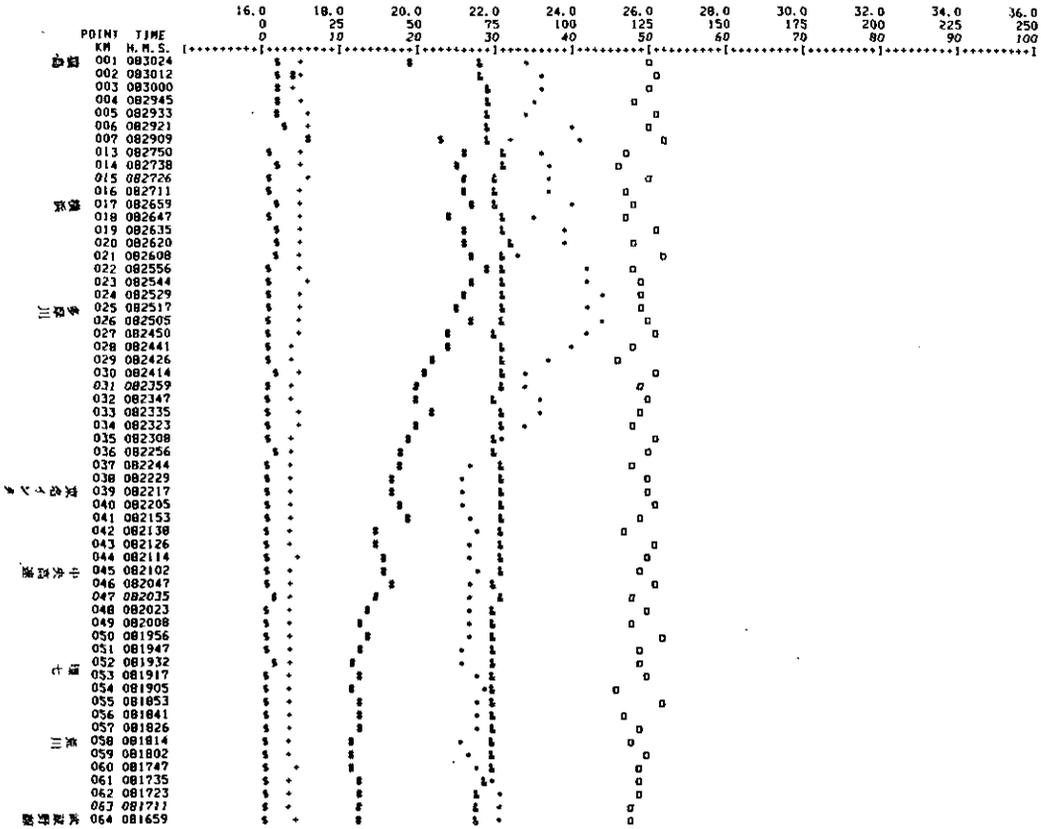


図 84 RUN5 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 5 DATE 11TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE SARUSHIMA-URAMA BOOM

NO 250PPB FS #
 NO2 250PPB FS #
 O3 250PPB FS #
 CMC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS #
 TEMP 16-36°CFS #

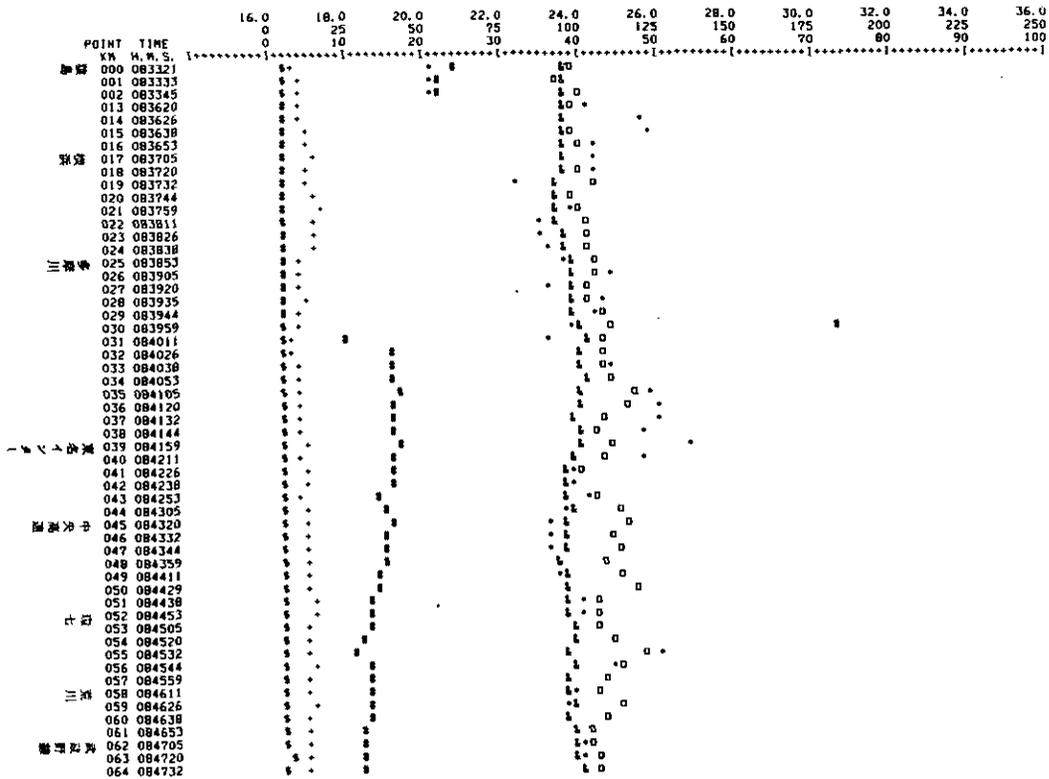


図 85 RUN5 セスナ観測結果

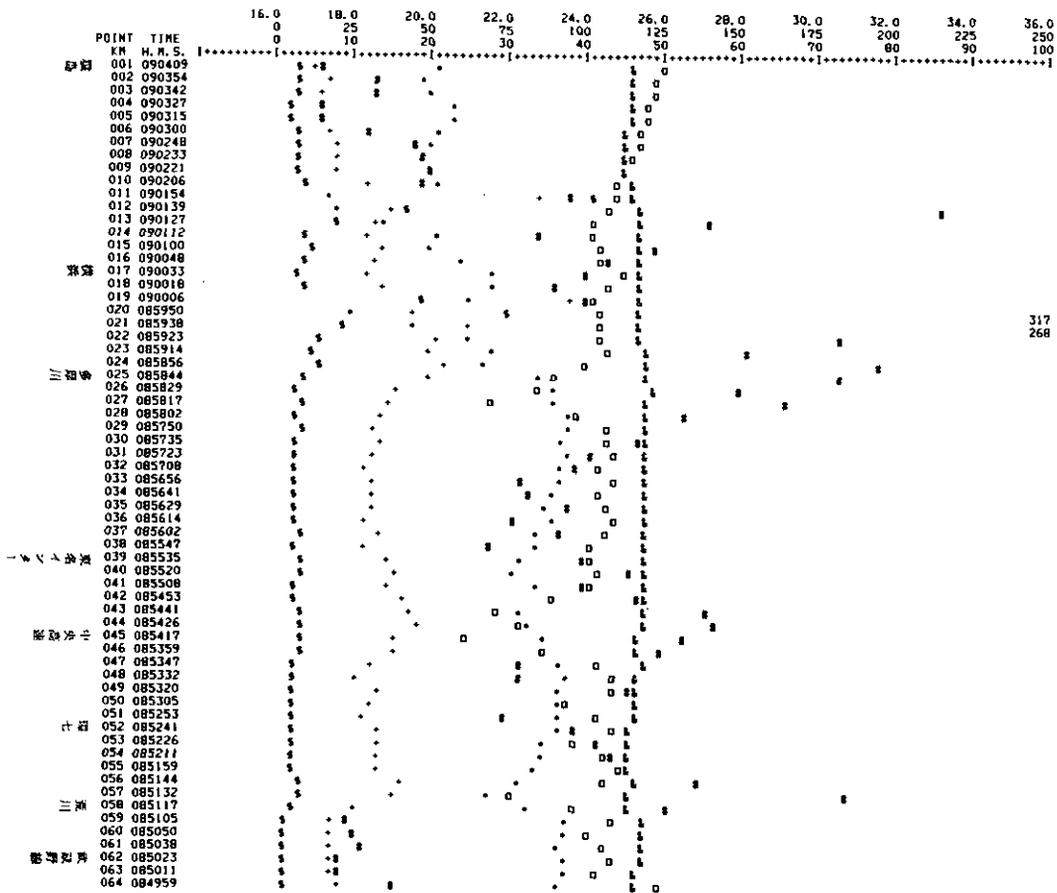
..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 5 DATE 11TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE SARUSHIMA-URAMA 500M

NO 250PPB FS #
 NO2 250PPB FS #
 O3 250PPB FS #
 CMC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS #
 TEMP 16-36°CFS #



317
268

図 86 RUN5 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 5 DATE 11TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE SARUSHIMA-URAWA 300M

NO 250PPB FS \$
 NO2 250PPB FS *
 O3 250PPB FS +
 CNC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS □
 TEMP 16-36°CFS &

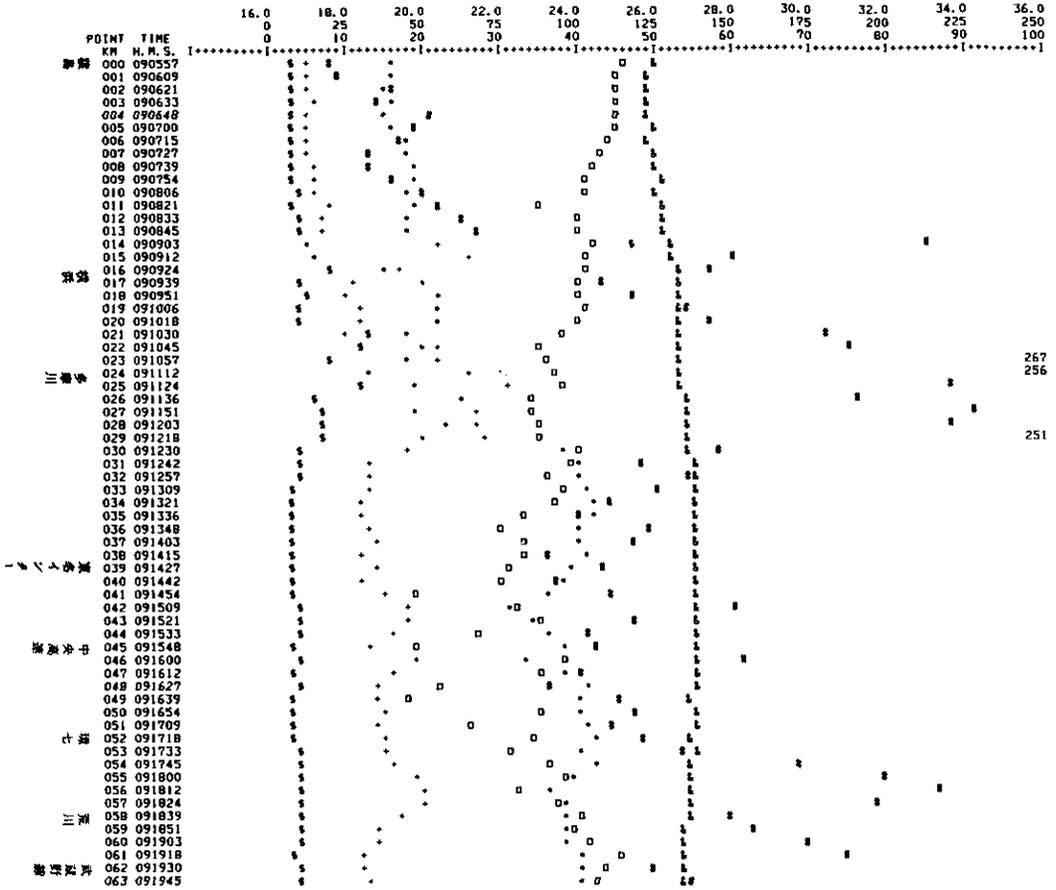


図 87 RUN5 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 6 DATE 11TH AUG. 1978
 AIR CRAFT CESSNA-402
 FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-SATTE 360M

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS %
 O3 250PPB FS %
 CNC 250 MV FS %
 UV 1000 MV FS %
 TEMP 16-36° CFS %

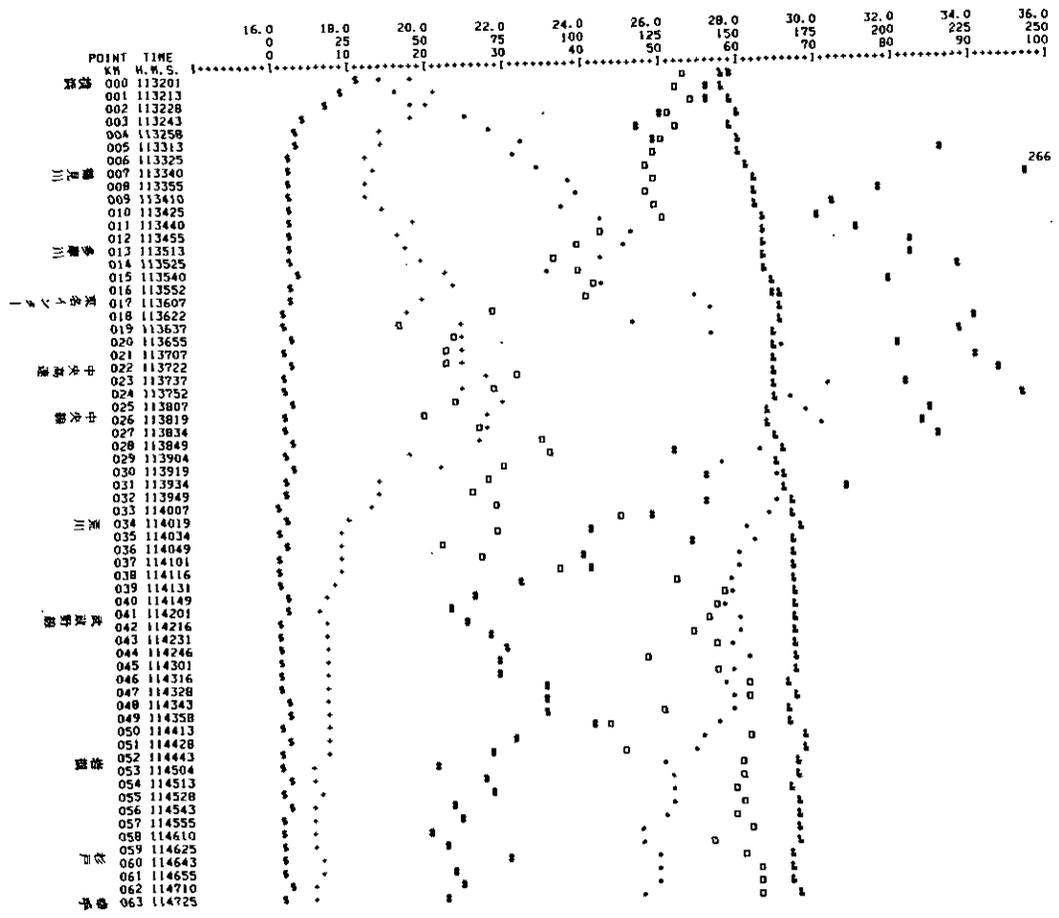


図 89 RUN6 セスナ観測結果

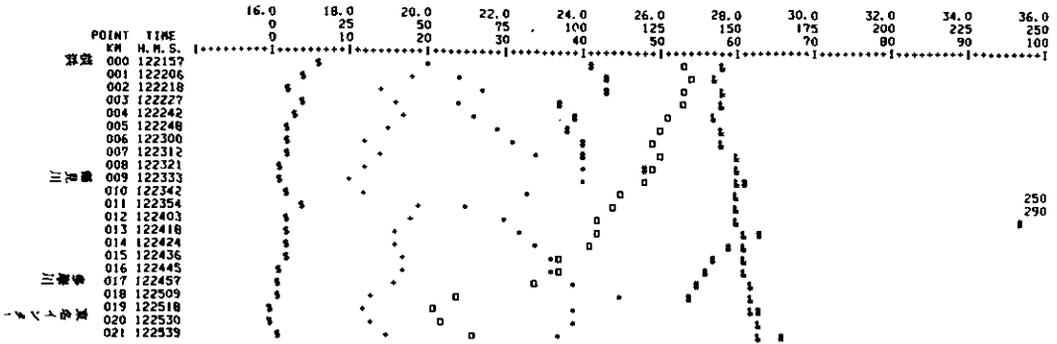
..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 6 DATE 11TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-SANGENJAYA 360M

NO 250PPB FS \$
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS =
 CNC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS D
 TEMP 16-36°CFS %



RUN NO. 6 DATE 11TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE SANGENJAYA-SATTE 360M

NO 250PPB FS \$
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS =
 CNC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS D
 TEMP 16-36°CFS %

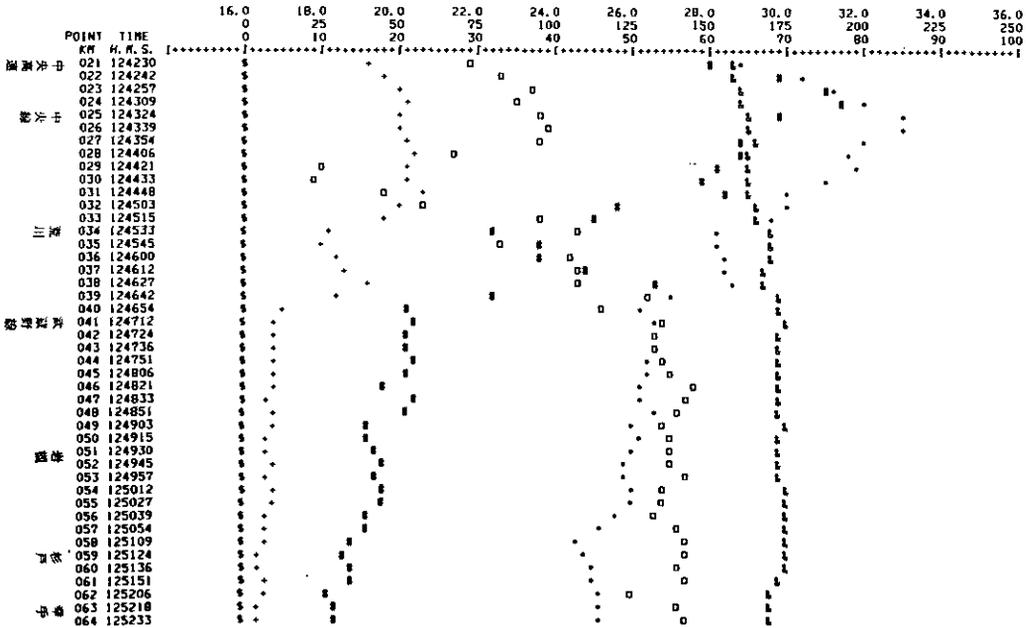


図 90 RUN6 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 7 DATE 11TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-SATTE 1700H

NO 250PPB FS #
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS +
 COC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS #
 TEMP 16-36°CFS ↓

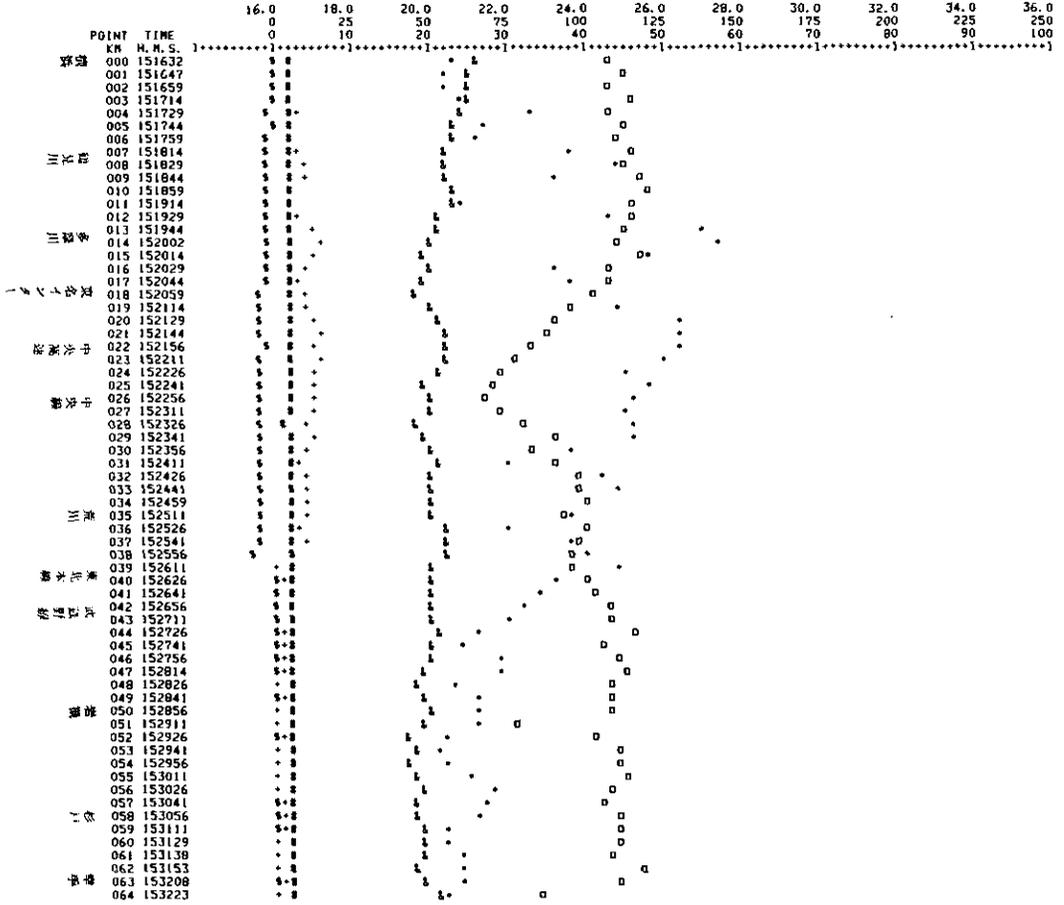


図 91 RUN7 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 7 DATE 11TH AUG. 1978
 AIR CRAFT CESSNA-402
 FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-SATTE 1200M

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS +
 CNC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS 0
 TEMP 16-36°CFS ↓

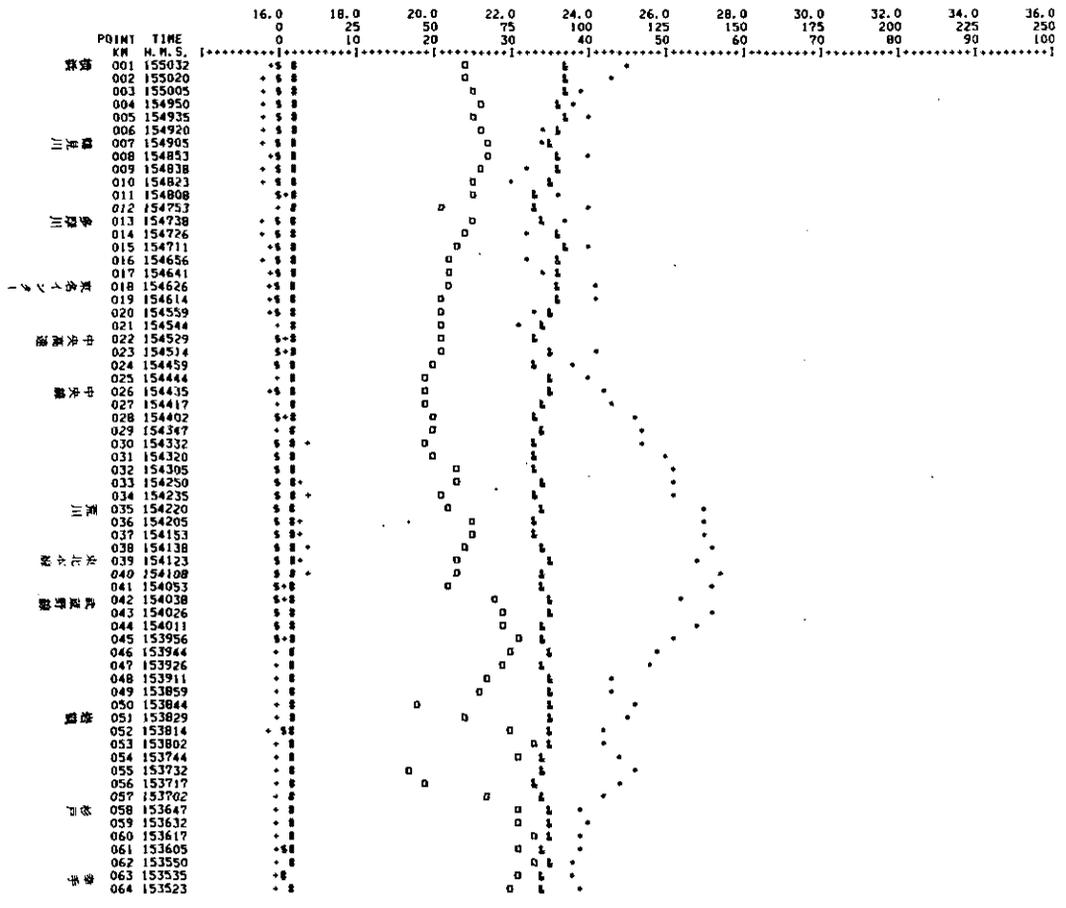


図 92 RUN7 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 7 DATE 11TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-SATTE BOON

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS %
 O3 250PPB FS %
 CMC 250 MV FS %
 UU 1000 MV FS %
 TEMP 16-36°C FS %

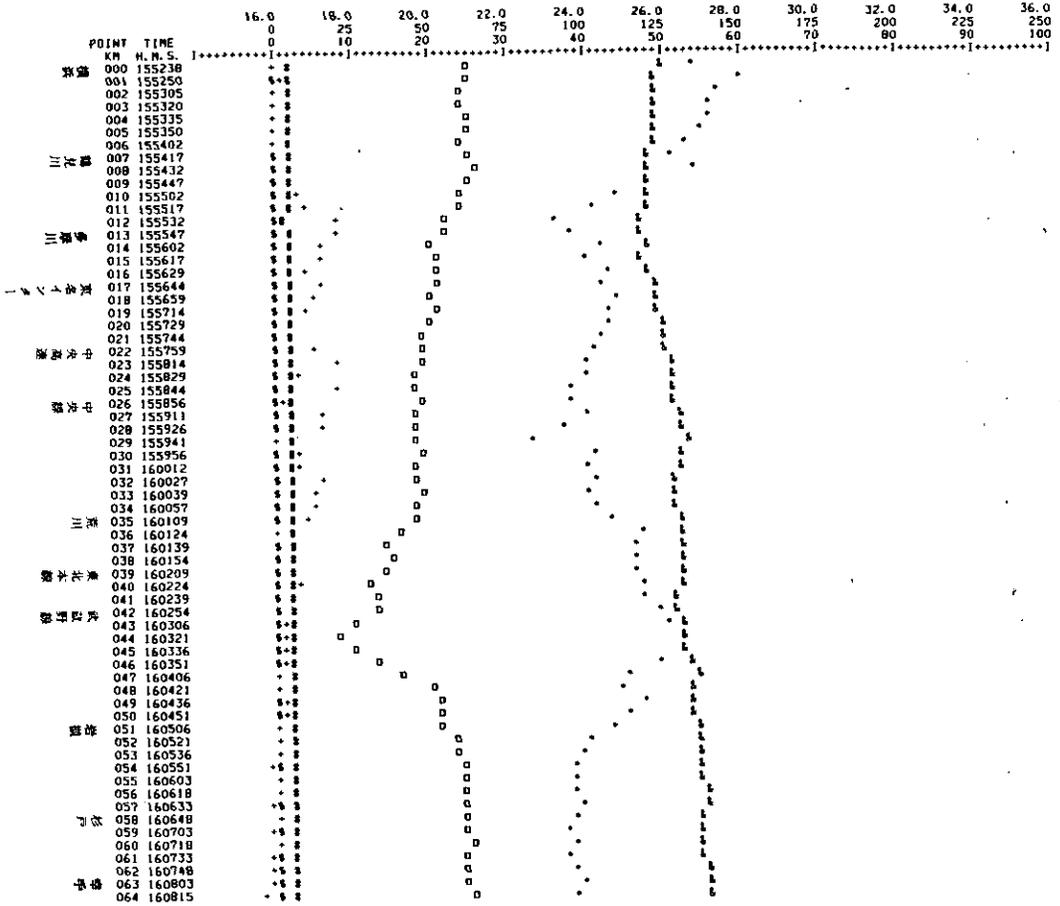


図 93 RUN7 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 7 DATE 11TH AUG. 1978
 AIR CRAFT CESSNA-402
 FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-SATTE 300M

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS %
 O3 250PPB FS %
 CNC 250 MV FS %
 UV 1000 MV FS %
 TEMP 16-36°C FS %

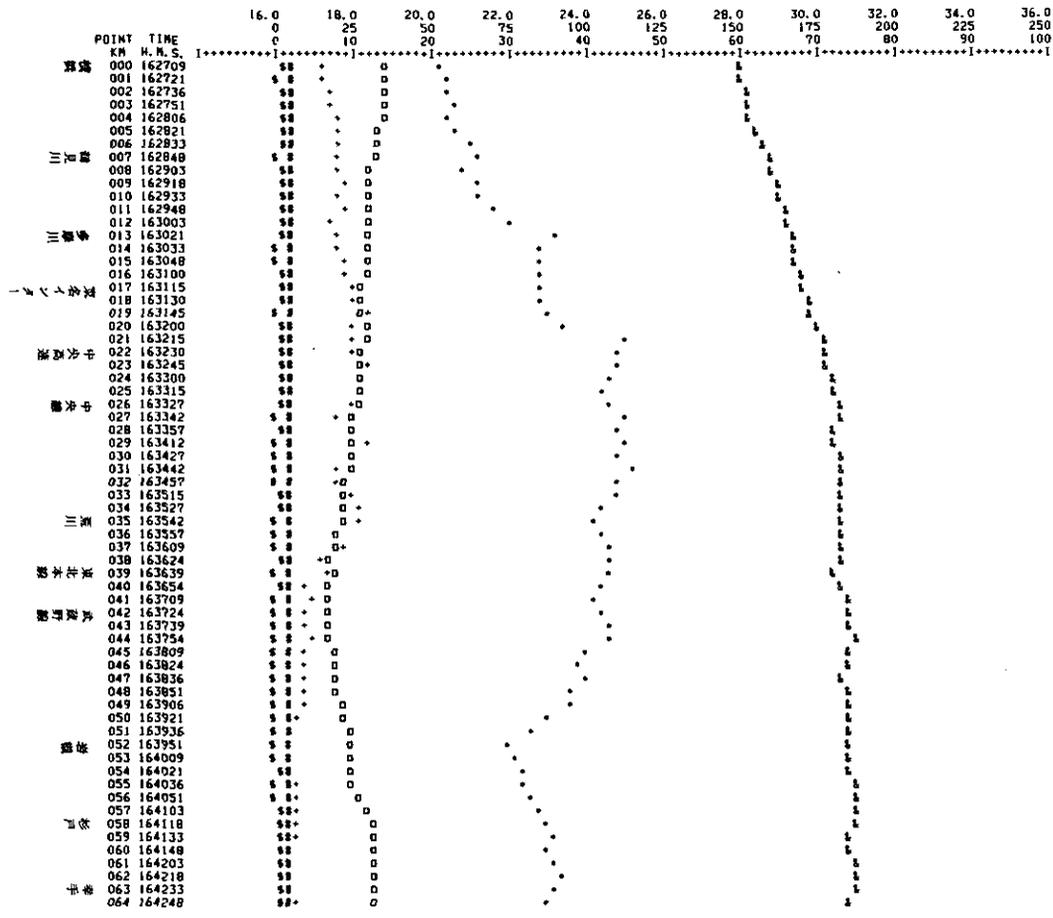


図 94 RUN7 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 7 DATE 11TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-SATTE 500M

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS *
 CNC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS D
 TEMP 16-36° CFS %

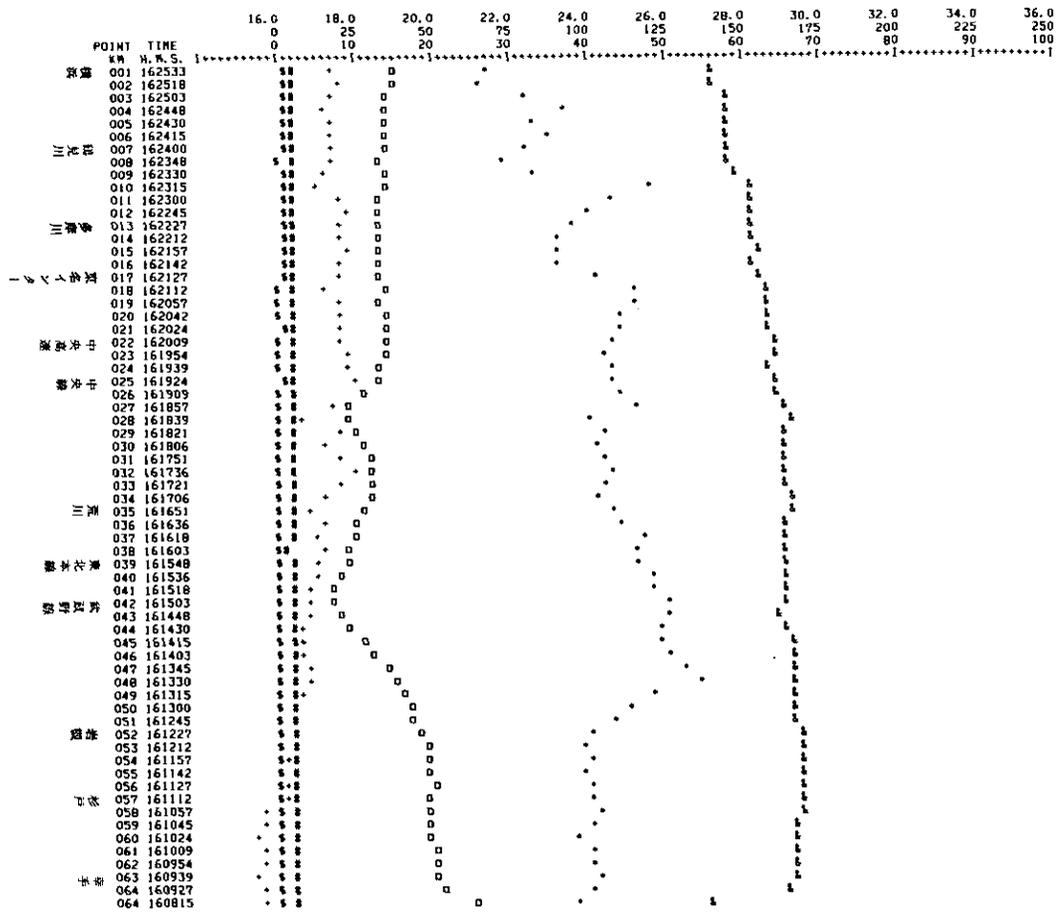


図 95 RUN7 セスナ観測結果

HELI AL-3

垂直分布 RUN 6, 7

(図 96 ~ 図 102)

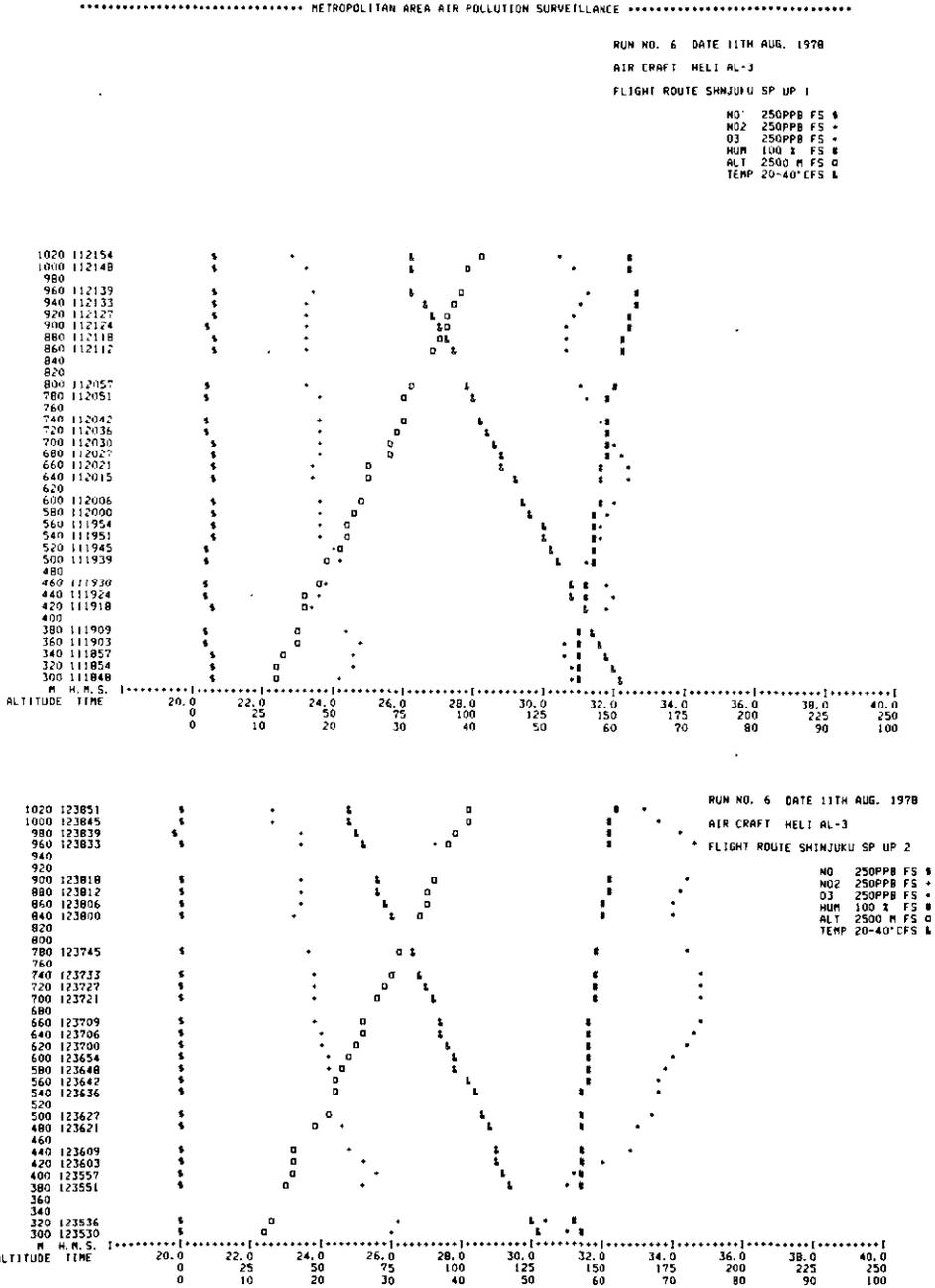


図 96 RUN6 ヘリコプター観測結果

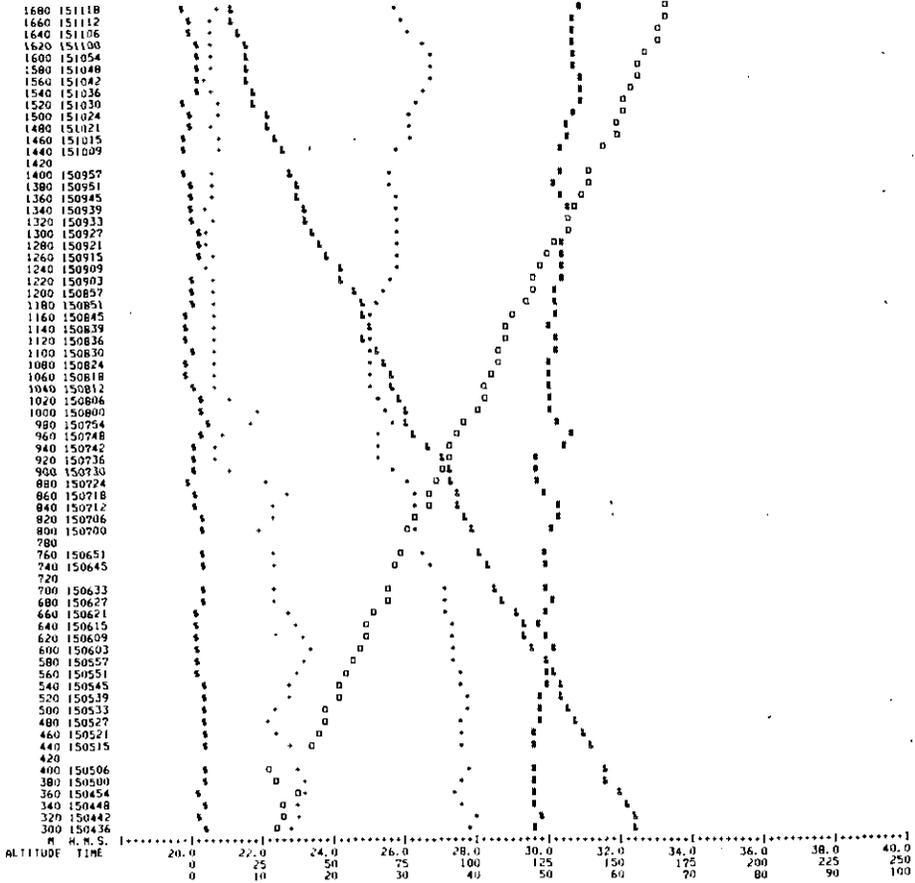
..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 7 DATE 11TH AUG. 1978

AIR CRAFT HELI AL-3

FLIGHT ROUTE SHINJUKU SP UP ↓

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS %
 O3 250PPB FS %
 HUM 100 % FS %
 ALT 2500 M FS %
 TEMP 20-40°C FS %



☒ 97 RUN7 ヘリコプター観測結果

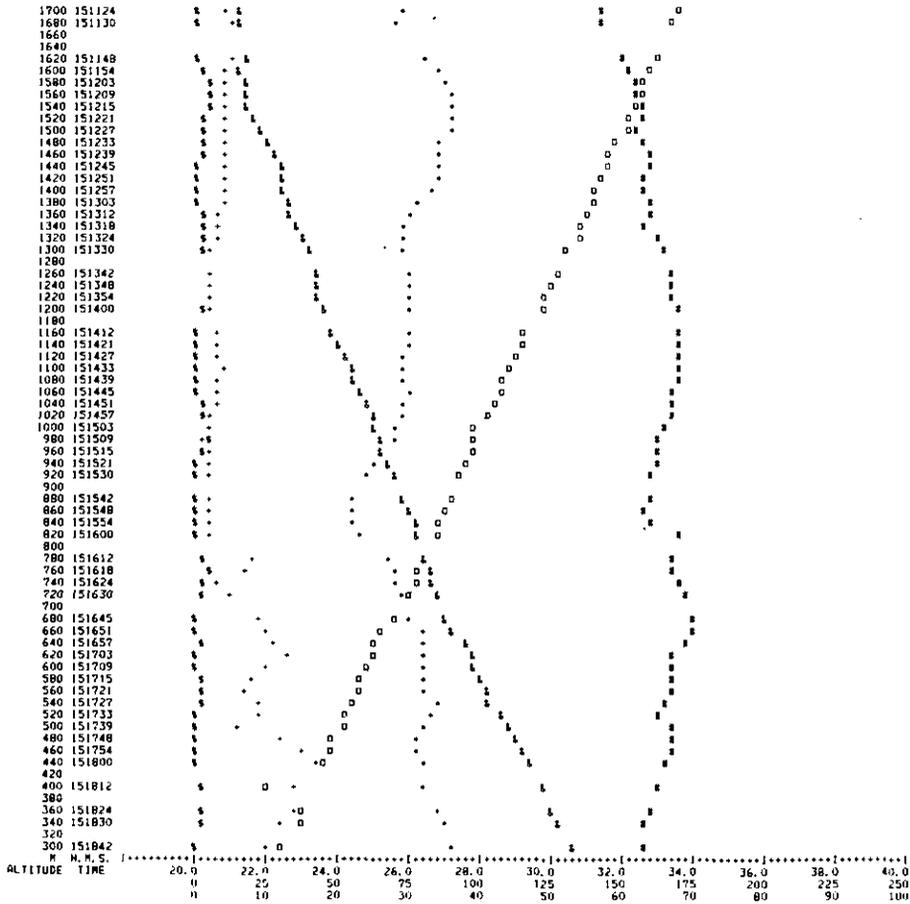
..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 7 DATE 11TH AUG. 1978

AIR CRAFT HELI AL-3

FLIGHT ROUTE SHINJUKU SP DN J

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS %
 O3 250PPB FS %
 HUM 100 % FS %
 ALT 2500 M FS %
 TEMP 20-40°C FS %



☒ 98 RUN7 ヘリコプター観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 7 DATE 11TH AUG. 1978

AIR CRAFT HELI AL-3

FLIGHT ROUTE SHINJUKU SP DN 1

NO 250PPB FS #
 NO2 250PPB FS #
 O3 250PPB FS #
 HUM 100 F FS #
 ALT. 2500 M FS #
 TEMP 20-40 C FS #

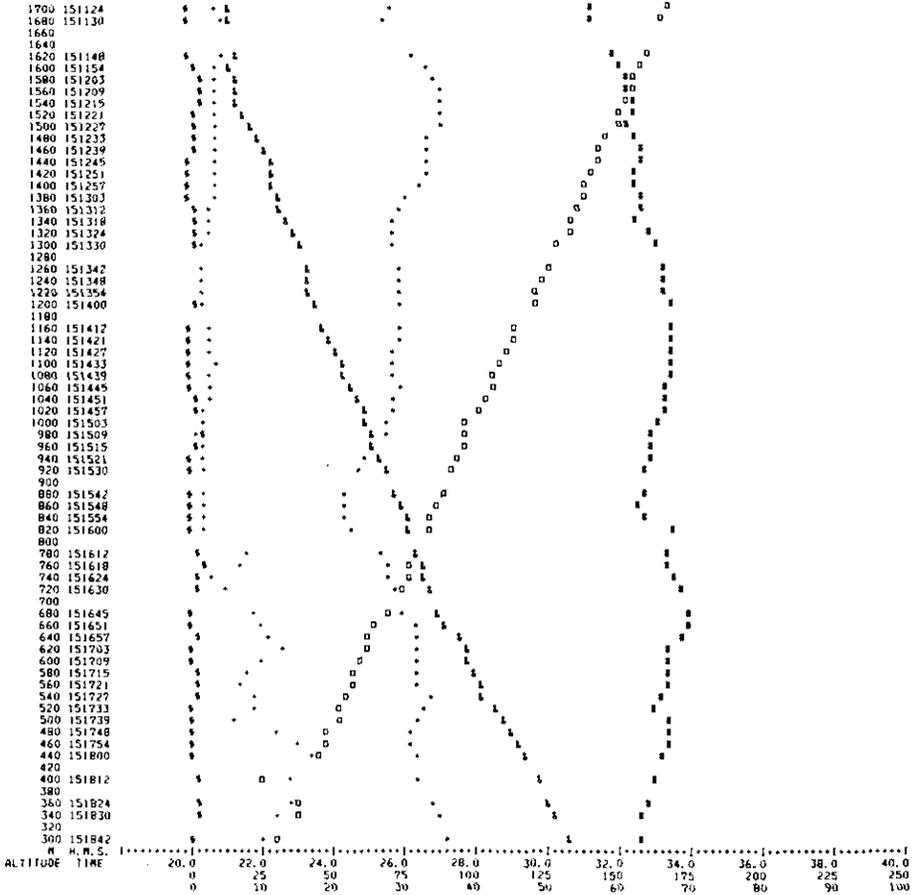


図 99 RUN7 ヘリコプター観測結果

----- METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE -----

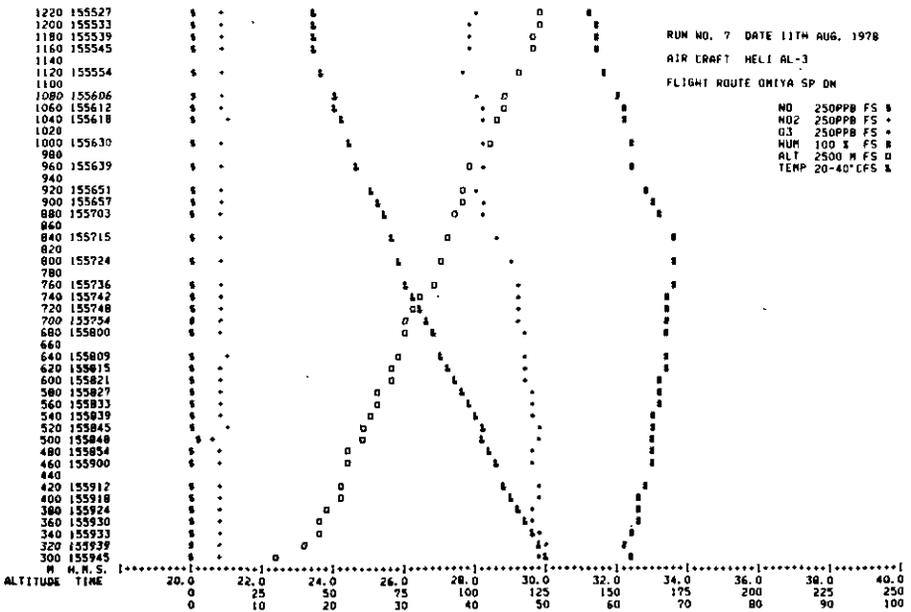
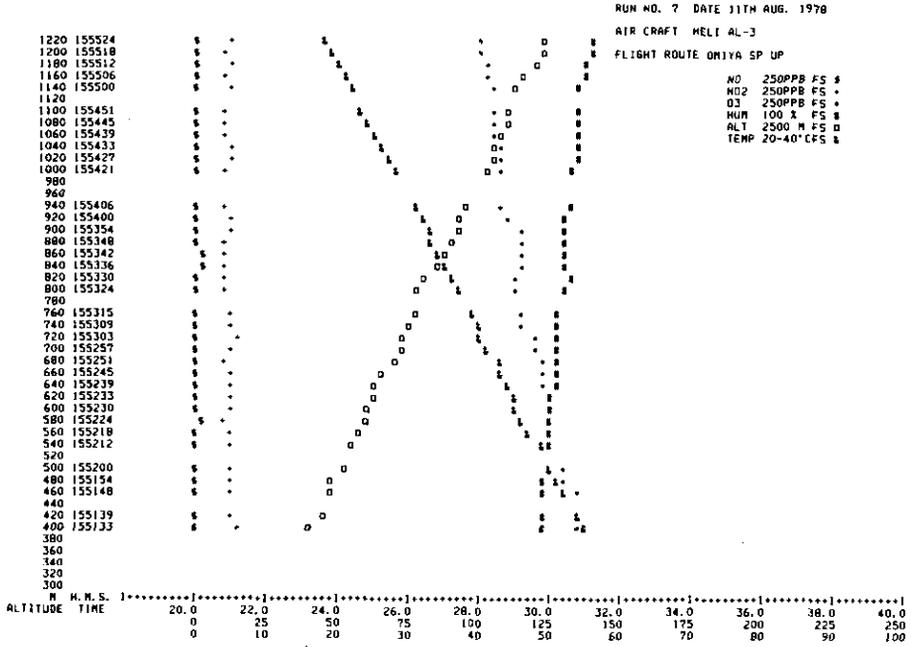


図 100 RUN7 ヘリコプター観測結果

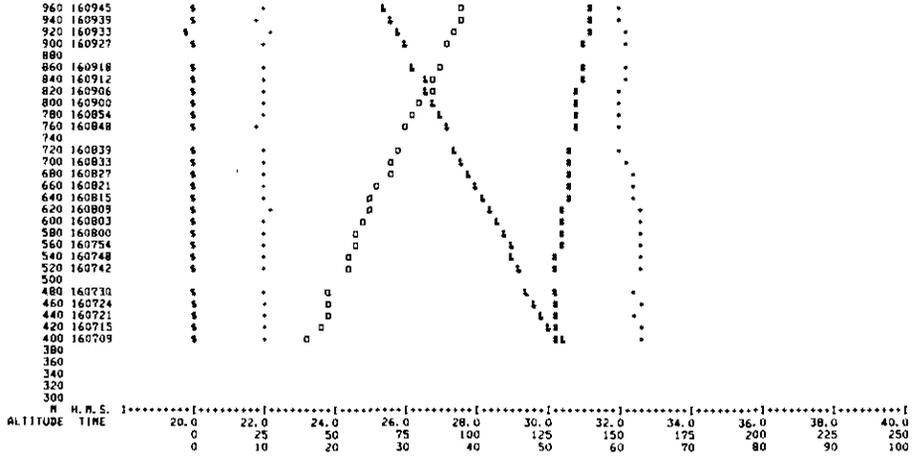
..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 7 DATE 11TH AUG. 1978

AIR CRAFT HELI AL-3

FLIGHT ROUTE KAWAGOE SP UP

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS %
 O3 250PPB FS %
 HUM 100 % FS #
 ALT 2500 M FS 0
 TEMP 20-40°C FS %

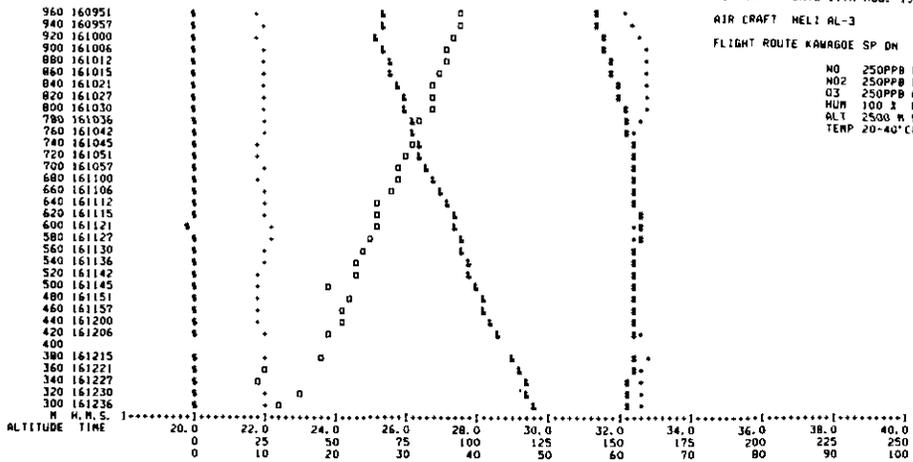


RUN NO. 7 DATE 11TH AUG. 1978

AIR CRAFT HELI AL-3

FLIGHT ROUTE KAWAGOE SP DN

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS %
 O3 250PPB FS %
 HUM 100 % FS #
 ALT 2500 M FS 0
 TEMP 20-40°C FS %



☒ 101 RUN7 ヘリコプター観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 7 DATE 11TH AUG. 1978

AIR CRAFT HELI AL-3

FLIGHT ROUTE SHINJUKU SP UP 2

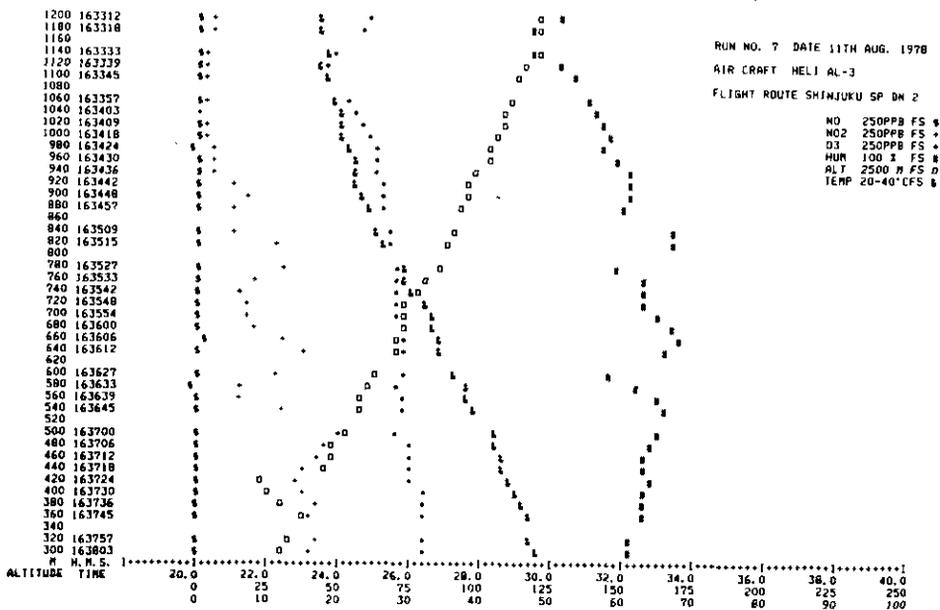
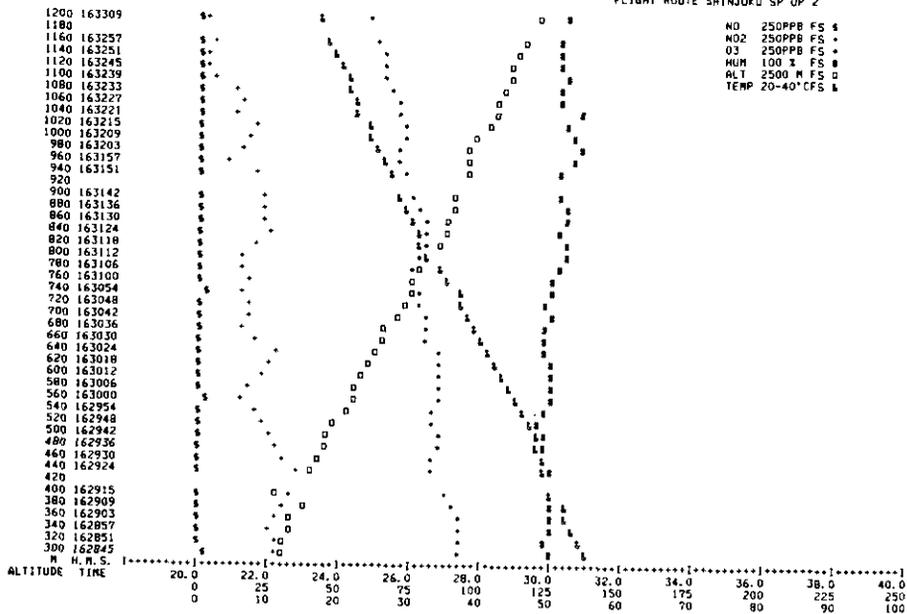


図 102 RUN7 ヘリコプター観測結果

2.3.4 1978年8月12日の観測結果*

(1) 天気概況

前日と同様に、太平洋高気圧におおわれて夏型の天候が続いた。

(2) 地上風

早朝は、南関東全域で北寄りの弱い(3m/s以下)風であった。西部の山麓地帯では、西寄りの山風であった。東京湾海風は、09時頃から、東京湾南部の神奈川県および千葉県の沿岸地域で吹き始めた。一方、相模湾沿岸地域でも、09時頃より南～南西の相模湾海風が吹き始めた。東京以北では、風は北から次第に北東となった。東京湾北部の東京では11時過ぎに海風が吹き始めたが、千葉県北部から東京北部および埼玉県にかけては東寄りの風となり、東京湾海風との間に収束帯が東京中部に東西に形成された。また、東京湾海風と相模湾海風との間にも、三浦半島の稜線沿いに南東から北西方向へ、収束帯が形成された。14時過ぎには、太平洋海風が東京湾南部にまで侵入し、東京地域の東京湾海風と合流して、東風との間の収束帯は次第に北上して18時には埼玉県南部にまで達した。

(3) 上層風

06、07時における新宿での高度2 kmまでの上層風は、3層から成っていた。地上から500 mまでは北北西の風であり、最大風速は高度250～350 mで5～6 m/sであった。600 mから1500 mまでは、北東～東風であり、1000 mまでは風速1～2 m/sと弱く、1300～1400 mで最大3 m/s前後吹いていた。1600 m以上では再び北西の弱い風が吹いていた。

07時過ぎには、最下層の風は次第に弱まるとともに、10時前後には北から北東へと変化した。

12時には、厚さ400 mの南東の約3 m/sの海風が吹き込み始め、次第に厚くなり、17時には、この南東の大規模な海風は高度1500 mにまで達した。最大風速は6～7 m/sとなった。

なお、館野での09時の上層風は、高度2300 mまで風速5～6 m/sの北東風が吹いていた。それゆえ、新宿での早朝の600～1500 mの北東～東風は、この北東風と同一のものであろう。

(4) 気温垂直分布

新宿での低層ゾンデによる気温垂直分布の経時変化は0530 JSTでは、逆転層が、150～200 mと430～500 mに存在した。500～900 mでは0.8℃/100 mの減率で、その上層では0.6℃/100 mの減率であった。なお、500 m以下では0.3℃/100 mの減率で安定であった。0735 JSTでは、逆転層は、330～350 m、600～650 mに存在した。低い方は、放射冷却による接地逆転で、高い方は、北北西風の高さとも一致していた。0930 JSTでは、接地逆転は解消し、800～

* 鶴田 治雄

850mで0.3℃逆転となっており、地上から350mまでは、1.0℃/100mの減率で、その上層は800mまで0.8℃/100mであった。1130 JSTでは、800m付近までほぼ中立となり、1,250～1,300mで等温となった。1400 JSTでは、1,000m付近まで中立で、1,300～1,400mで等温であった。1600 JSTでは、200mまで中立であったが200～1,600mでは0.8℃/100mの減率であった。

(5) 上空における濃度分布

<Run 8> (0629～0846 JST) の観測結果

1) 飛行コース

Run 8では、セスナ402による観測を行い、ヘリコプターでの観測は行わなかった。セスナの飛行コースは、図17、18に見られるように、まず最初に新宿、横浜港、猿島の3地点で、高度300mから1,700mまで旋回飛行を行い、垂直分布を測定した。次に、猿島-横浜港-蕨間の高度300、500、800、1,200、1,700mで水平飛行を行い、水平分布を測定した。

2) 垂直分布

上層風は3層から成っており、地上から500mまでが北北西風、500～1,500mで東～北東風(500～900mまでは1～2m/sの弱風)、1,500m以上は再び北西風であった。気温は、300mから500～600mまで約0.4℃/100mの減率で、その上層の700～750mまで等温あるいは逆転層となっており、さらに上層約1,500mまで(0.5～0.6)℃/100mの減率で、上層風と比較的対応していた。

NO_x濃度は、猿島の上層300～550mで約50ppb検出されただけであった。このNO_xの発生源は、地上風および上層風、また、新宿および横浜港でNO_x濃度が検出限界以下であったことから推測すると、京浜工業地帯であったと考えられる。なお、O₃濃度は、15～30ppbと、その上層や同じ高度の風上側の新宿および横浜港より20～40ppbも低く、O₃がNO等の反応で分解していたことを示している。

O₃濃度は、横浜港上空の800mで85ppb、猿島上空の650mで65ppbとピークを示したが、この高度の気温は、等温あるいは逆転層となっており、上層風は東寄りの弱風域であり、NO_x濃度も検出限界以下であったので、少なくとも前日に生成されたものであろう(なお、新宿上空では、このピークに対応するO₃濃度の増加は存在しなかった)。

O₃濃度は、このピークより(新宿上空では650mより)上層では1,500mまで40～45ppbと一定で、1,500m以上では、わずかに増加した。

3) 水平分布

猿島-蕨間における5高度での水平分布の観測が行われた。

300 mでのNO_x濃度の水平分布によれば、京浜工業地帯の北側では25~30 ppbであったが、南側では40~70 ppbと北側の2倍も高かった。東京から神奈川東部での地上風は、まだ弱い北寄りの風であった。また、500 mでの水平分布では、NO₂濃度は北側で5~10 ppbであったが、南側では10~20 ppbと北側よりやや高かった（NO濃度はN.D.）。しかし、800 mでは、NO、NO₂濃度はN.D.であった。なお、新宿での0640 JSTにおける300~1,700 mまでの垂直分布によれば、NO、NO₂濃度はN.D.であった。新宿での0735 JSTにおける気温の垂直分布によれば、300 mと600 mに弱い逆転があったが、0930 JSTでの測定では下層の逆転は消滅して800 mに弱い逆転がまだ残っていた。500、300 mにおける水平分布の測定時間が0807~0838 JSTであったので、人間活動が開始されて発生源から大量のNO_xが排出され、また、日射量の増加により垂直混合が活発となり、すでに下層の逆転は消滅して、地表付近の汚染物質は次第に上層に運ばれつつあり、混合層高度はたかだか上層の逆転層以下であったと考えられる。測定されたNO_xの発生源は、北側では東京地域の主として自動車であり、南側では、京浜工業地帯（およびその風上側の東京地域）によるものであろう。

横浜港から猿島にかけての東京湾上での300 mにおけるNO、NO₂、O₃濃度の水平分布は、湾中央部より北部と南部とで異なっていた。すなわち、北部では、NO濃度が約20 ppb 検出されておりNO₂濃度も50 ppbと高かったがO₃濃度は25 ppbと低かった。南部では、NO濃度は5 ppb以下と低く、NO₂濃度も35 ppbであったが、O₃濃度は45 ppbと高かった。測定時刻は0830 JSTであり、地上風は、東京から京浜工業地帯にかけてはまだ弱い北寄りの風であったが、東京湾南西部の沿岸地帯では東京湾海風が吹き始めた。それゆえ、東京湾上は次第に北寄りの風が弱くなって海風への交代時期になってきたと考えられる。東京湾上の汚染分布の変化が、汚染気塊の中心からずれたためか、あるいは、海風発生による風系の変化に起因しているのか、については現状では良くわからない。

高度800 mで、横浜港から東名高速にかけての上空でO₃濃度が70~80 ppbと高かった。早朝の垂直分布で見られた横浜港上空800 mでのO₃濃度のピーク（85 ppb）と対応していたと推測される。また、高度1,700 mでもO₃濃度は、中央線以北の上空で80~85 ppbと高かった。上層でのO₃濃度は約45 ppbと空間的に一定であったが、その2倍の濃度の気塊が点在しており、その生成原因は不明である。

なお、300 mでの東京地域上空では、NO濃度はN.D.であったが、これは、NOからNO₂への変換が300 mよりも下層で進行していたことを示している。また、NO₂濃度とO₃濃度とが比較的負の相関関係にあったので、まだこの時間帯では、NO + O₃ → NO₂ + O₂の反応が支配的であったと考えられる。

<Run 9> (1113~1324 JST) の観測結果

1) 飛行コース

Run 9では、セスナとヘリコプターとによる観測を並行して行った。セスナの飛行コースは、新宿で高度300mから2,000mまで垂直飛行を行い、その後、横浜港-新宿-幸手間の高度1,700, 1,200, 800, 500, 300mで水平飛行を行った（なお300mでの水平飛行は、横浜港-新宿-岩槻間であった）。ヘリコプターは、新宿で300~1,500m間の上昇下降の垂直飛行を行い、その後、ノンリフトバルーンを追跡した。

2) 垂直分布

新宿でのセスナによる垂直分布の観測結果では、300mから1,250mまでは、 O_3 濃度は100~150ppbと変動が大きく、 NO_2 濃度は5~20ppbであり、気温減率は $0.8^\circ C/100m$ と一定であった。その上層の気温の等温層内で、 O_3 と NO_2 の濃度は急激に低くなっており、 O_3 濃度は、1,400~1,600で55ppbと一定だった。雲は1,300~1,600mで生成されており、その下面付近までが混合層であった。雲の層で O_3 濃度が低くなっていたという現象は、この調査の前に行われた神奈川県臨海地区大気汚染調査協議会による立体調査でも報告されており、雲粒によって O_3 が分解していると考えられる。

地上風は、10時には京浜工業地帯でも東京湾海風が吹いており、12時には、東京南部の港や目黒で南東の東京湾海風が吹いていたが、その北側は東寄りの風であった。一方、新宿での上層風によれば、400m付近まで南東の風となっており、東京湾海風が到達していた。また、東京湾北部の千葉県側の沿岸地域では東風となっており、この東風によって京葉地帯の汚染物質が東京地域へ輸送されたという可能性もある。それゆえ、新宿での1,250mまでの高濃度の O_3 の生成に寄与した発生源は、東京の自動車だけでなく、京葉工業地帯も考えられる。

3) 水平分布

5高度での NO 、 NO_2 、 O_3 、C.N.濃度の水平分布観測が行われた。

この水平分布によれば、1,700mを除いて、荒川以北では、 O_3 濃度は100ppb以下と低く、 NO 、 NO_2 濃度もN.D.であったが、荒川以南では、 O_3 濃度が高く、最高は140ppbから180ppbにまで達した。同時に、C.N.は、 O_3 濃度と相対的に同様な変化を示し、 NO_2 濃度も荒川以南で5~20ppb検出された。新宿での13時の上層風によれば、南東寄りの海風は、高度600~700mにまで達し、その上層では北東寄りの風となっていた。地上風では、13時頃に南東の海風の前線は、荒川付近に到達したと推測され、この海風領域で O_3 濃度が非常に高かったのである。さらに、300m、500mでは、 O_3 の高濃度のピークが2か所存在した。1か所は、横浜港から鶴見川にかけての京浜工業地帯の上空であり、他の1か所は、東名高速から中央線にかけての上空であった。800mでは、この二つのピークは下層ほど明確にはならなくなり、1,200mでは、鶴見川から東名高速にかけてピークが一つだけであった。これらの汚染大気中では O_3 濃度とC.N.濃度とは相対的に同様な変化を示し、 NO_2 濃度も絶対値は低かったが、同様な変動を示した。 NO 濃度は、

京浜工業地帯の高煙突の煙流中以外では、N.D.であった。これらの汚染源はどこであろうか？

NO_xの排出量分布から判断すると、横浜港から鶴見川にかけての汚染気塊は、京浜工業地帯、東名高速から中央線にかけての汚染気塊は東京都心の移動発生源に起因すると考えられる。さらに、南側の汚染気塊には、午前中に北寄りの風により東京湾上へ輸送された汚染物質が海風とともに沿岸地域へ運ばれることにより、含まれている可能性がある。また、北側の汚染気塊中には、風向から判断して、京浜工業地帯の東側の発生源による汚染物質が加わっていることも考えられる。

一方、千葉県北部、埼玉県および東京都北部での東寄りの風の存在により、南東の海風の進入速度は非常にゆっくりであり、荒川から京浜工業地帯にかけて高度1,200m以上で雲が発生していた。それゆえ、これらの地域では強い上昇気流が存在しており、このため下層の汚染気塊は、少なくとも1,200mまで上層に運ばれたのであろう。しかし、雲の層の上面付近の高度1,700mでは、O₃濃度70~90ppbとほぼ一定で、混合層より上方であったが、京浜工業地帯付近の上空1,700mでは、NO₂、C.N.濃度はわずかに検出限界以上となり、この高さまで汚染物質が上昇したことを示している。

下層の汚染気塊中では、NO濃度は検出限界以下、NO₂濃度も20ppb以下であった。京浜工業地帯のNO_xの排出量は大きく、神奈川県臨海地区大気汚染調査協議会による冬期の立体調査では、京浜工業地帯の風下側で逆転層の存在していた東京湾上でのNO_x濃度は、高度300m以下で300ppbにも達した、と報告されている。しかし、本調査の前に実施された同協議会の立体調査によれば、午前中、北東風の時、京浜工業地帯の風下側の10km以内でも高度300mにおけるNO_x濃度はたかだか40~50ppbであった。これらより、夏期は日射が強いため、NO_xは排出された後、比較的速く変質してしまい、その濃度は300m付近では低くなっているのであろう。(混合層が夏の方が厚いことも原因の一つである)。Los Angeles Basinでの光化学大気汚染調査によれば、NO_x濃度は、日中でも300m以上で100ppb近く検出されていた。発生源強度が、東京湾沿岸地域とLos Angeles Basinとの比較により、NO_x濃度の差異は、相対的なものか、変質機構によるものか、どちらかの検討が可能であろう。

11時半前後に新宿上空でのセスナによるO₃の垂直分布と同時に、ヘリコプターの上昇、下降時におけるO₃濃度の垂直分布が観測された。上昇、下降で高度300mでは約13分間ずれていた。高度1,000mから1,500mにかけて濃度分布は異なっていたが、1,000m以下ではほぼ一致していた。一方、セスナとヘリコプターの上昇時とを比較すると、300mから1,250mまでどちらもO₃濃度は100ppb以上であったが、セスナの方が濃度変動が大きかった。これは、セスナの巡回半径が約2kmとヘリコプターよりはるかに大きいため、空間変動を同時に測定していた可能性も考えられる。

<Run 10> (1431~1640JST)の観測結果

1) 飛行コース

Run10では、セスナとヘリコプターとによる観測を並行して行った。セスナの飛行コースは、雲やスモッグで視程が非常に悪かったため、図21, 22に見られるように、横浜駅で高度300mから1,500mまで垂直飛行をして、その後、横浜駅-豊島園-松戸間を、高度1,500, 800, 300mで水平飛行した(1,500mの豊島園-松戸間は、視程が悪かったので1,200mの高度で水平飛行した)。さらに、流山-所沢-町田間を高度300, 800, 1,500mで水平飛行した(1,500mでの浦和-所沢-町田間は、視程が悪かったので1,000mの高度で水平飛行した)。

一方、ヘリコプターは、新宿で300-1,500m、蕨で300-1,250m、川越で500-1,000m、東松山で500-1,000mで順に垂直上昇・下降を行った後、水平高度500mで熊谷まで北上して、再び田無へ南下した。

2) 垂直分布

横浜駅上空では、1,050mまでO₃濃度は130~175ppbと高かった。その上層では、1,250~1,500mで約55ppbと一定であった。しかし、その風下側の新宿ではほぼ同時刻にヘリコプターで測定された垂直分布では、300~1,500mではほぼ一定で、105~80ppbであった(上昇および下降時での差はなかった)。さらに、荒川の北側の蕨では、300~1,250mではほぼ一定の70~75ppbであり、南側の2地点よりもO₃濃度は低かった。地上風は16時には、大規模な南寄りの海風は荒川付近まで到達しており、その北側は、広範囲に東寄りの風が吹いていた。Run 9でも、東風の地域でのO₃濃度は、100ppb以下と低かった。蕨での測定は15時30分前後であり、まだ東寄りの風が吹いていたので、低濃度を示したのである。

なお、新宿における15時の上層風は、1,110m付近まで南東風であり、その上層では、東から北へと変化していた。新宿でのO₃濃度は1,200m前後から上層では、ゆるやかに低くなっており、上層風の変化と対応していた。

蕨から北西方向の川越、東松山でのヘリコプターによる垂直分布では、各500~1,000mで90ppb、500~1,200mで100ppbと一定であった。川越よりも東松山でO₃濃度が約10ppbと高かったが、この直後、熊谷から川越を通過して富士見へ南下した時、O₃濃度は、100ppbから70ppbへと低くなっていた。この時は16時を過ぎて日射量も少なくなっていたことから、このO₃濃度の変化は、地上からの汚染物質の寄与の積分効果によるものであろう。また、新宿以北の各地点での垂直分布によれば、O₃濃度は高さ方向にはほぼ一定であった。気温減率は、各地点とも0.8~0.9℃/100mとほぼ中立に近かったので、垂直混合が激しく、一様な濃度になったと推測される。

3) 水平分布

横浜駅-豊島園-松戸間の水平分布によれば、多摩川付近の上空300, 800, 1,500mでいずれもO₃濃度が最高値を示し、約160~170ppbであった。NO₂濃度も、O₃のピークの位置で高くな

ったが、絶対値は非常に低かったと推測される。この汚染気塊の発生源は、風向が南寄りであったので、京浜臨海工業地帯であると考えられる。なお、16時でも、東京湾の西部沿岸地帯では O_x 濃度が高かったので、東京湾上にも汚染気塊が存在しており、この汚染気塊と京浜臨海工業地帯で排出された汚染物質が加わったものと考えられる。Run 9においても、京浜工業地帯に起因すると推測される高濃度の O_3 を含む汚染気塊が見られた。どちらの場合も、 NO_2 濃度は20 ppb以下でNO濃度はN. D. であり、NOの酸化および NO_2 の消滅が速く進んでいると考えられる。

なお、新宿での O_3 濃度は、各高度とも110~120 ppbで、前述したヘリコプターによる垂直分布での測定の方が、10~15 ppbも低かった。

さらに、豊島園-松戸間では、 O_3 濃度は、荒川以西では90~120 ppbであったが、東側では65~90 ppbと低かった。この濃度の差は、風向の違いによるものであり、荒川以东では東風、以西では南風であった。なお、豊島園-荒川間は、風上側に東京都心が存在していたが、京浜工業地帯に起因したと考えられる汚染気塊の O_3 濃度よりは低かった。

次に、流山-所沢-町田間の300 m、800 mでの水平分布によれば、荒川より東側では、 O_3 濃度は65~75 ppbと一定で低かった。しかし、荒川の西側では、 O_3 濃度は急激に高くなり、所沢で135~140 ppbとなった。この区間は南東風で、東京地域の汚染気塊が輸送されてきたために、 O_3 濃度が高くなったと考えられる。

さらに、所沢-町田間の300 mでの水平分布によれば、国分寺付近で、 O_3 濃度は、145 ppbから急激に高くなって最高値200 ppbを示した。800 mでの水平分布でも、300 mでの水平分布で見られたほど顕著ではなかったが、やはり、国分寺付近で O_3 濃度は高くなり、最高165 ppbを記録した。14時と16時の地上の O_x 濃度では、町田から立川にかけて130~170 ppbと高かった。この汚染気塊は、どこからやってきたのだろうか？このためには、流跡線解析を行うことによって一定の結果が得られるであろうが、その地域周辺にこれだけの汚染ポテンシャルがあるのだ、とも考えられるし、また、12時の地上風を見ると、多摩川中流域では、東寄りの風となっているので、京浜臨海工業地帯の汚染気塊が、この時間帯では、南東方向に多摩川に沿って輸送されたとも推測される。

CESSNA-402
 水平分布 RUN8, 9, 10
 (103 ~ 118)

***** METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE *****

RUN NO. 8 DATE 12TH AUG. 1978
 AIR CRAFT CESSNA-402
 FLIGHT ROUTE SARUSHIMA-WARABI 1700M

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS %
 O3 250PPB FS %
 CMC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS #
 TEMP 16-36°CFS %

POINT	TIME	KM	H. M. S.	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0	36.0
				0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
000	071818			\$+8		1	.							
001	071830			\$+8		1	.							
002	071845			\$+8		1	.							
003	071857			\$+8		1	.							
004	071912			\$+8		1	.							
005	071927			\$+8		1	.							
006	071942			\$+8		1	.							
007	071954			\$+8		1	.							
008	072009			\$+8		1	.							
009	072024			\$+8		1	.							
010	072039			\$+8		1	.							
011	072051			\$+8		1	.							
012	072106			\$+8		1	.							
013	072121			\$+8		1	.							
014	072136			\$+8		1	.							
015	072151			\$+8		1	.							
016	072203			\$+8		1	.							
017	072218			\$+8		1	.							
018	072233			\$+8		1	.							
019	072248			\$+8		1	.							
020	072300			\$+8		1	.							
021	072315			\$+8		1	.							
022	072330			\$+8		1	.							
023	072345			\$+8		1	.							
024	072357			\$+8		1	.							
025	072412			\$+8		1	.							
026	072427			\$+8		1	.							
027	072442			\$+8		1	.							
028	072454			\$+8		1	.							
029	072509			\$+8		1	.							
030	072524			\$+8		1	.							
031	072539			\$+8		1	.							
032	072554			\$+8		1	.							
033	072606			\$+8		1	.							
034	072621			\$+8		1	.							
035	072636			\$+8		1	.							
036	072651			\$+8		1	.							
037	072703			\$+8		1	.							
038	072718			\$+8		1	.							
039	072736			\$+8		1	.							
040	072748			\$+8		1	.							
041	072800			\$+8		1	.							
042	072815			\$+8		1	.							
043	072830			\$+8		1	.							
044	072845			\$+8		1	.							
045	072857			\$+8		1	.							
046	072915			\$+8		1	.							
047	072927			\$+8		1	.							
048	072942			\$+8		1	.							
049	072954			\$+8		1	.							
050	073009			\$+8		1	.							
051	073024			\$+8		1	.							
052	073039			\$+8		1	.							
053	073051			\$+8		1	.							
054	073106			\$+8		1	.							
055	073121			\$+8		1	.							
056	073136			\$+8		1	.							
057	073151			\$+8		1	.							
058	073203			\$+8		1	.							

103 RUN8 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 8 DATE 12TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE SARUSHIMA-WARABI 1200H

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS %
 O3 250PPB FS %
 CO 250 MV FS %
 UV 1000 MV FS %
 TEMP 16-36°C FS %

POINT	TIME	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0	36.0	
		0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	
KM	H. A. S.	[.....]											
001	074851	\$	\$										
002	074836	\$	\$										
003	074824	\$	\$										
004	074809	\$	\$										
005	074754	\$	\$										
006	074739	\$	\$										
007	074724	\$	\$										
008	074712	\$	\$										
009	074657	\$	\$										
010	074642	\$	\$										
011	074627	\$	\$										
012	074612	\$	\$										
013	074557	\$	\$										
014	074542	\$	\$										
015	074533	\$	\$										
016	074515	\$	\$										
017	074500	\$	\$										
018	074445	\$	\$										
019	074430	\$	\$										
020	074415	\$	\$										
021	074403	\$	\$										
022	074348	\$	\$										
023	074333	\$	\$										
024	074318	\$	\$										
025	074303	\$	\$										
026	074251	\$	\$										
027	074236	\$	\$										
028	074221	\$	\$										
029	074206	\$	\$										
030	074151	\$	\$										
031	074136	\$	\$										
032	074124	\$	\$										
033	074109	\$	\$										
034	074054	\$	\$										
035	074039	\$	\$										
036	074024	\$	\$										
037	074009	\$	\$										
038	073957	\$	\$										
039	073942	\$	\$										
040	073927	\$	\$										
041	073912	\$	\$										
042	073900	\$	\$										
043	073842	\$	\$										
044	073830	\$	\$										
045	073815	\$	\$										
046	073800	\$	\$										
047	073745	\$	\$										
048	073730	\$	\$										
049	073715	\$	\$										
050	073703	\$	\$										
051	073648	\$	\$										
052	073633	\$	\$										
053	073618	\$	\$										
054	073603	\$	\$										
055	073548	\$	\$										
056	073536	\$	\$										
057	073521	\$	\$										
058	073506	\$	\$										
059	073454	\$	\$										

図 104 RUN8 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 8 DATE 12TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE SARUSHIMA-WARABI 00M

NO 250PPB . \$
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS +
 CMC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS 0
 TEMP 16-36° CFS &

POINT	TIME	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0	36.0
		0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
KM	H.M.S.	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----										
000	075115	\$ + #										
001	075127	\$ + #			0							
002	075142	\$ + #			0							
003	075157	\$ + #			0							
004	075209	\$ + #			0							
005	075224	\$ + #			0							
006	075239	\$ + #			0							
007	075254	\$ + #			0							
008	075309	\$ + #			0							
009	075324	\$ + #			0							
010	075336	\$ + #			0							
011	075351	\$ + #			0							
012	075406	\$ + #			0							
013	075421	\$ + #			0							
014	075436	\$ + #			0							
015	075451	\$ + #			0							
016	075503	\$ + #			0							
017	075521	\$ + #			0							
018	075533	\$ + #			0							
019	075548	\$ + #			0							
020	075603	\$ + #			0							
021	075618	\$ + #			0							
022	075630	\$ + #			0							
023	075645	\$ + #			0							
024	075700	\$ + #			0							
025	075715	\$ + #			0							
026	075730	\$ + #			0							
027	075745	\$ + #			0							
028	075757	\$ + #			0							
029	075812	\$ + #			0							
030	075827	\$ + #			0							
031	075842	\$ + #			0							
032	075857	\$ + #			0							
033	075912	\$ + #			0							
034	075924	\$ + #			0							
035	075939	\$ + #			0							
036	075954	\$ + #			0							
037	080012	\$ + #			0							
038	080024	\$ + #			0							
039	080036	\$ + #			0							
040	080051	\$ + #			0							
041	080106	\$ + #			0							
042	080121	\$ + #			0							
043	080136	\$ + #			0							
044	080154	\$ + #			0							
045	080203	\$ + #			0							
046	080218	\$ + #			0							
047	080233	\$ + #			0							
048	080248	\$ + #			0							
049	080303	\$ + #			0							
050	080318	\$ + #			0							
051	080333	\$ + #			0							
052	080345	\$ + #			0							
053	080400	\$ + #			0							
054	080415	\$ + #			0							
055	080430	\$ + #			0							
056	080445	\$ + #			0							
057	080457	\$ + #			0							
058	080512	\$ + #			0							

☒ 105 RUN8 セセスナ 観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. B DATE 12TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE SARUSHIMA-WARABI 500M

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS +
 CMC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS □
 TEMP 10-36°CFS &

POINT	TIME	KM	H. M. S.	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0	36.0
				0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
				0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
001	082115			+	+			□						
002	082103			+	+			□						
003	082048			+	+			□						
004	082033			+	+			□						
005	082018			+	+			□						
006	082003			+	+			□						
007	081954			+	+			□						
008	081936			+	+			□						
009	081921			+	+			□						
010	081906			+	+			□						
011	081854			+	+			□						
012	081839			+	+			□						
013	081824			+	+			□						
014	081809			+	+			□						
015	081752			+	+			□						
016	081742			+	+			□						
017	081727			+	+			□						
018	081712			+	+			□						
019	081700			+	+			□						
020	081645			+	+			□						
021	081630			+	+			□						
022	081615			+	+			□						
023	081603			+	+			□						
024	081548			+	+			□						
025	081533			+	+			□						
026	081518			+	+			□						
027	081503			+	+			□						
028	081451			+	+			□						
029	081436			+	+			□						
030	081421			+	+			□						
031	081406			+	+			□						
032	081354			+	+			□						
033	081339			+	+			□						
034	081324			+	+			□						
035	081309			+	+			□						
036	081257			+	+			□						
037	081242			+	+			□						
038	081227			+	+			□						
039	081212			+	+			□						
040	081200			+	+			□						
041	081145			+	+			□						
042	081130			+	+			□						
043	081115			+	+			□						
044	081103			+	+			□						
045	081048			+	+			□						
046	081033			+	+			□						
047	081018			+	+			□						
048	081006			+	+			□						
049	080951			+	+			□						
050	080936			+	+			□						
051	080921			+	+			□						
052	080906			+	+			□						
053	080854			+	+			□						
054	080839			+	+			□						
055	080827			+	+			□						
056	080809			+	+			□						
057	080757			+	+			□						
058	080742			+	+			□						
059	080730			+	+			□						

図 106 RUN8 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 8 DATE 12TH AUG. 1978
 AIR CRAFT CESSNA-402
 FLIGHT ROUTE SARUSHIWA-WARABI 300M

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS *
 CNC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS □
 TEMP 16-36°CFS %

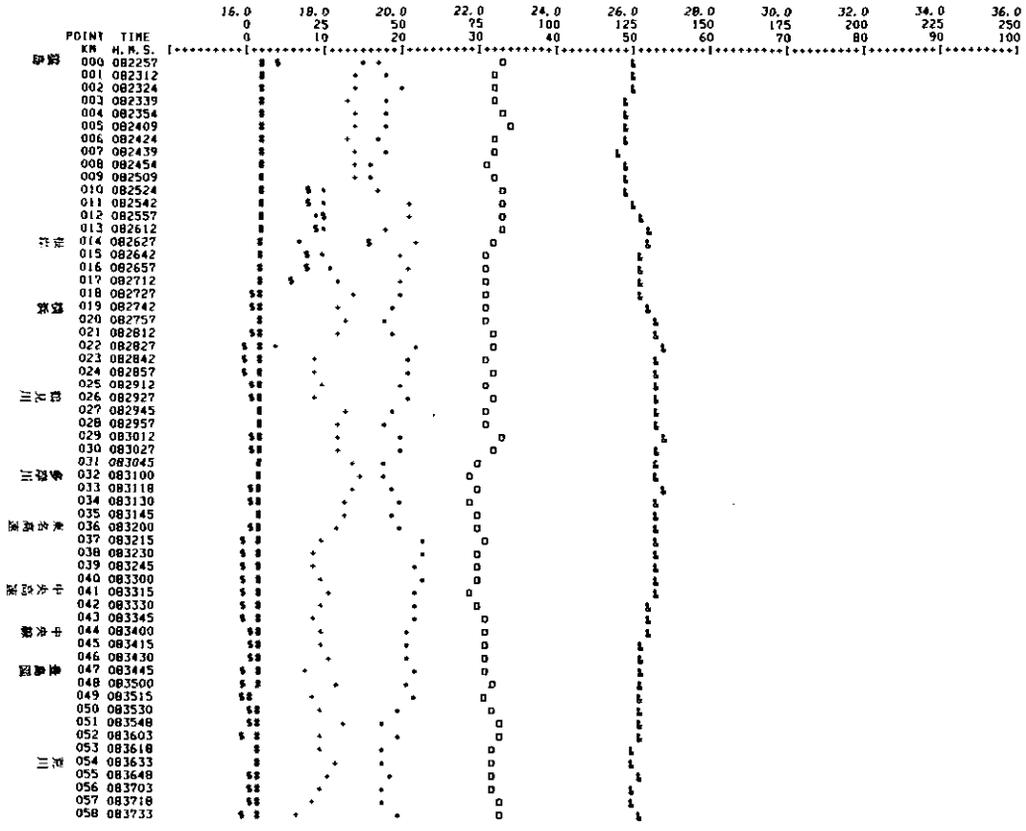


図 107 RUN8 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 9 DATE 12TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-SATTE 1700M

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS %
 O3 250PPB FS %
 CNC 250 MV FS %
 UV 1000 MV FS %
 TEMP 16-36°C FS %

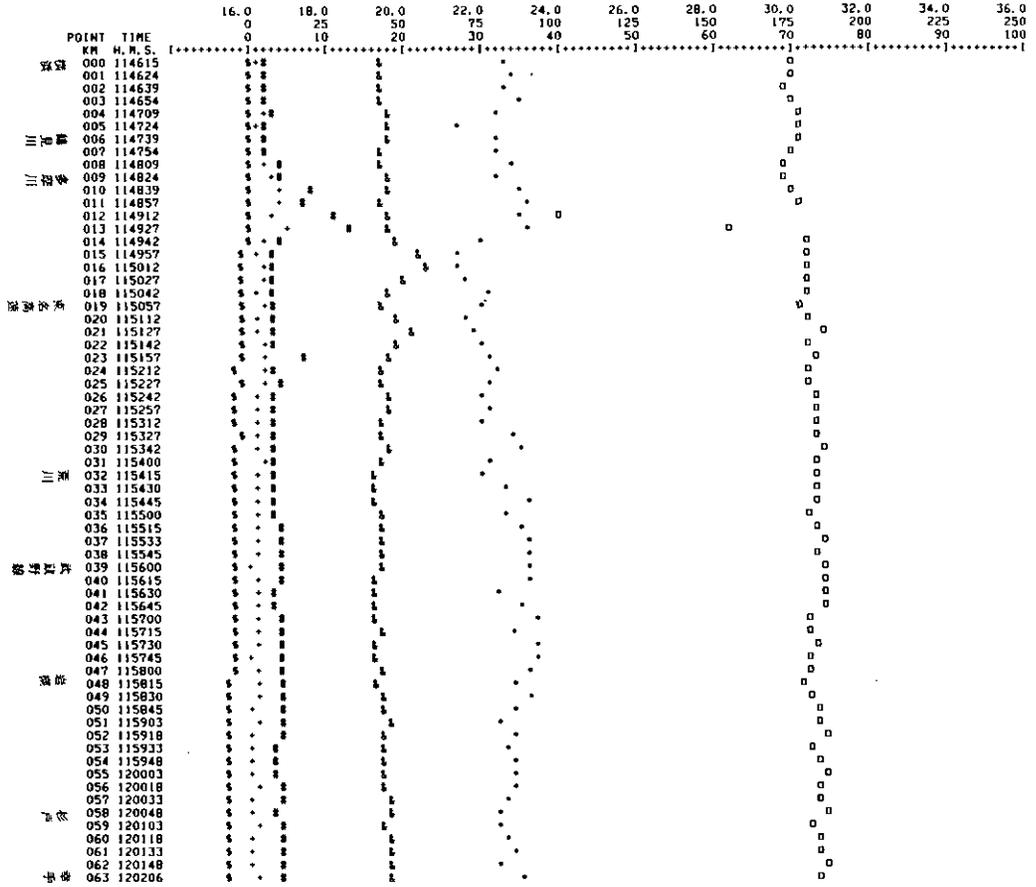


図 108 RUN9 セスナ観測結果

METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 9 DATE 12TH AUG, 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-SAITTE 1200H

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS *
 CNC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS □
 TEMP 16-36°C FS &

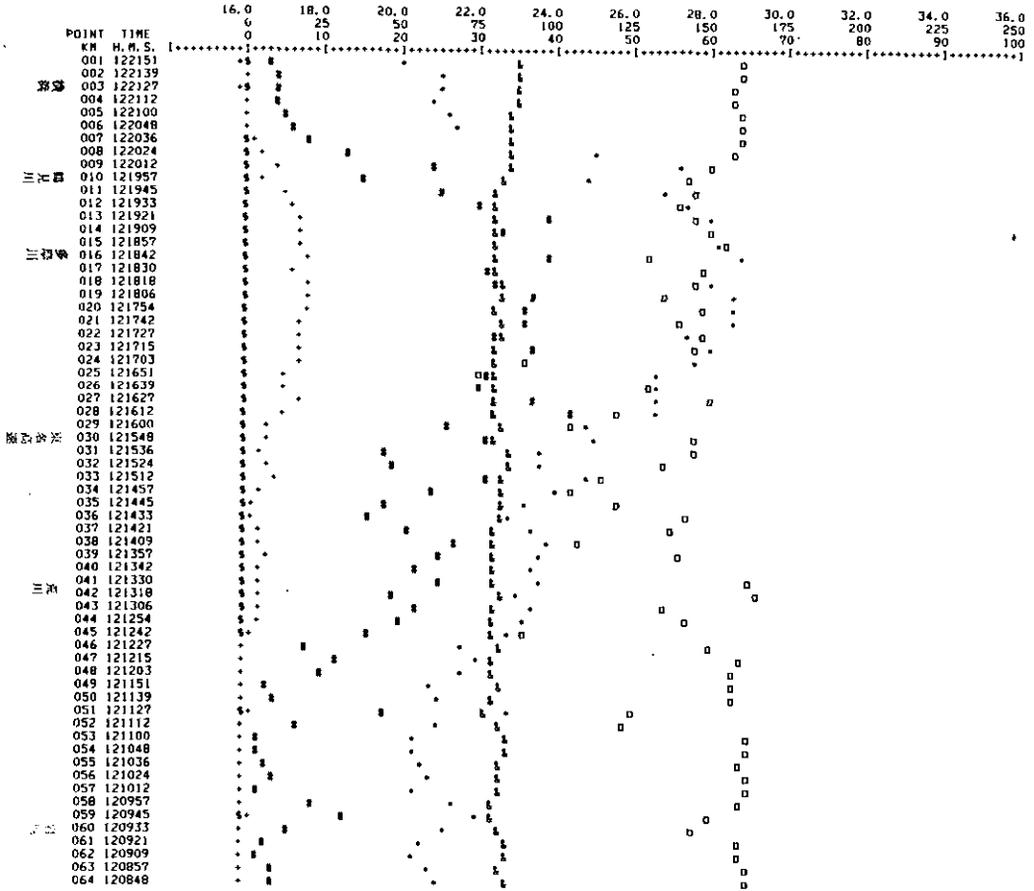


図 109 RUN9 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 9 DATE 12TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-SAITTE BODM

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS %
 O3 250PPB FS %
 COC 250 MV FS %
 UV 1000 MV FS %
 TEMP 16-36°C FS %

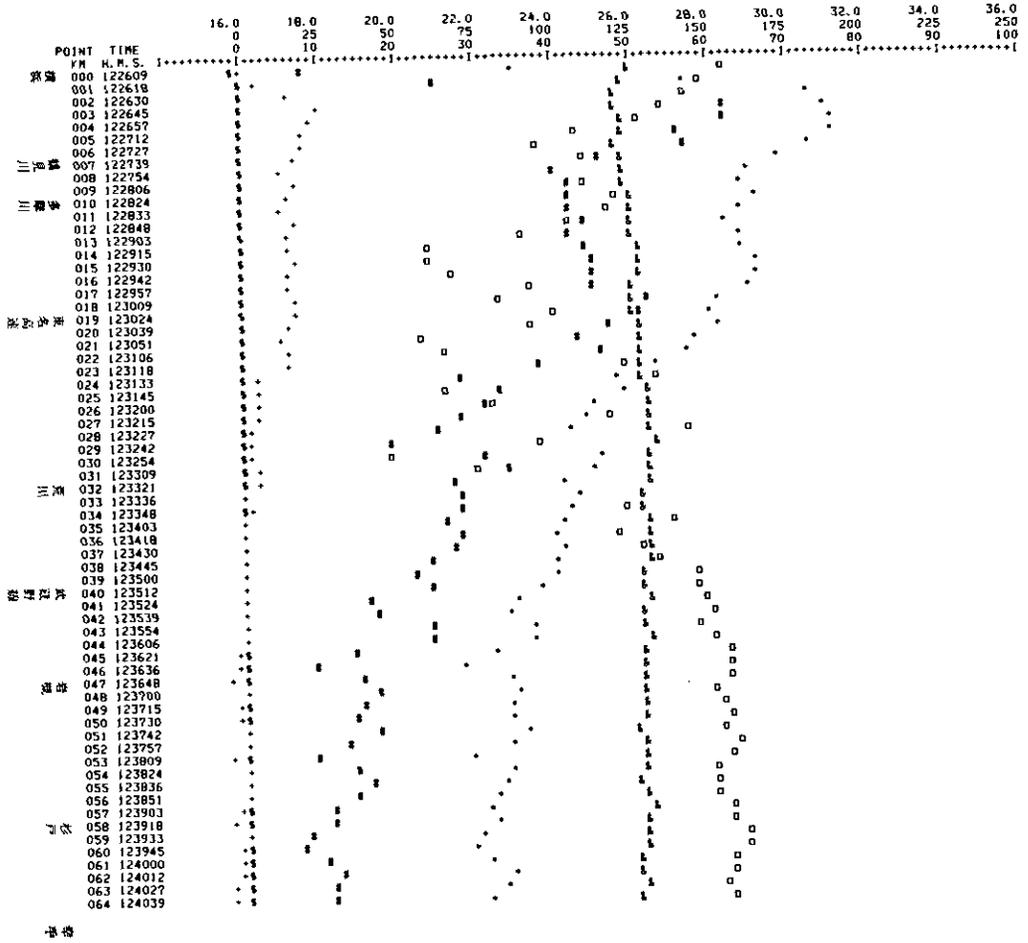


図 110 RUN9 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 9 DATE 12TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-SAITTE 500M

NO 250PPB FS #
 NO2 250PPB FS #
 O3 250PPB FS #
 CNC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS #
 TEMP 16-36°CFS ↓

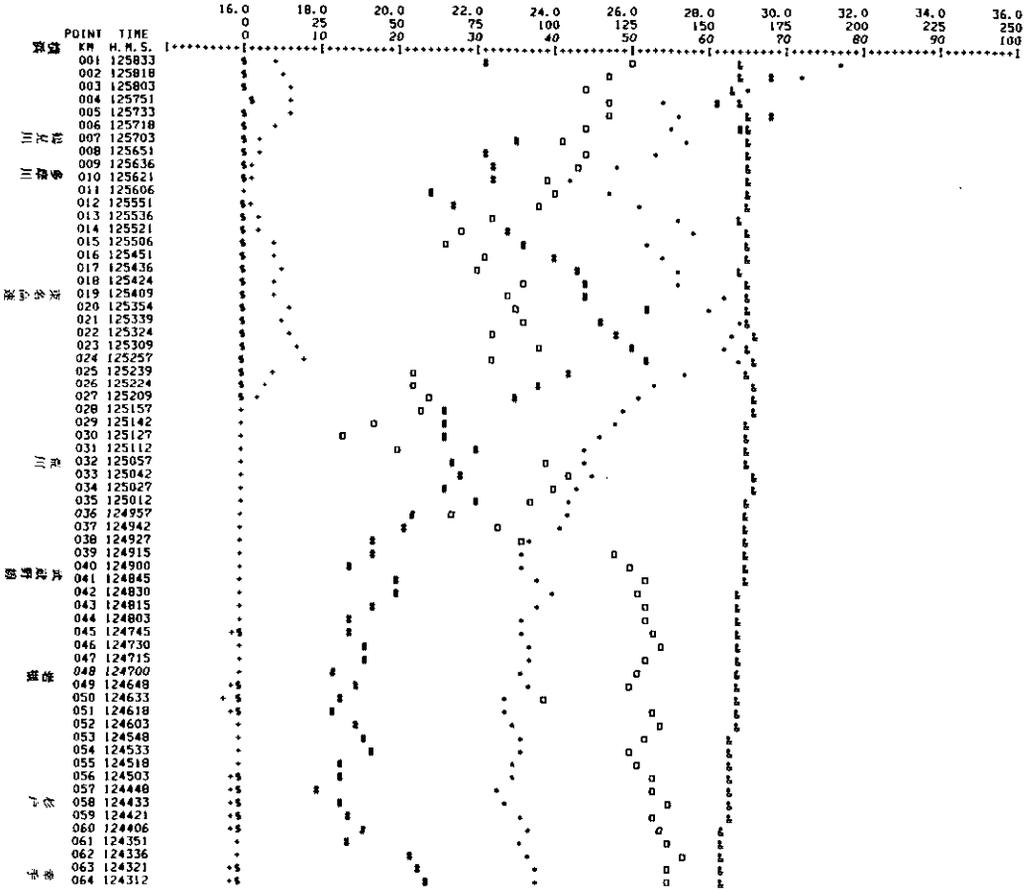


図 111 RUN9 . セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 9 DATE 12TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE YOKOHAMA-IMATSUKI 300M

NO 250PPB FS \$
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS *
 CNC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS 0
 TEMP 16-35 CFS #

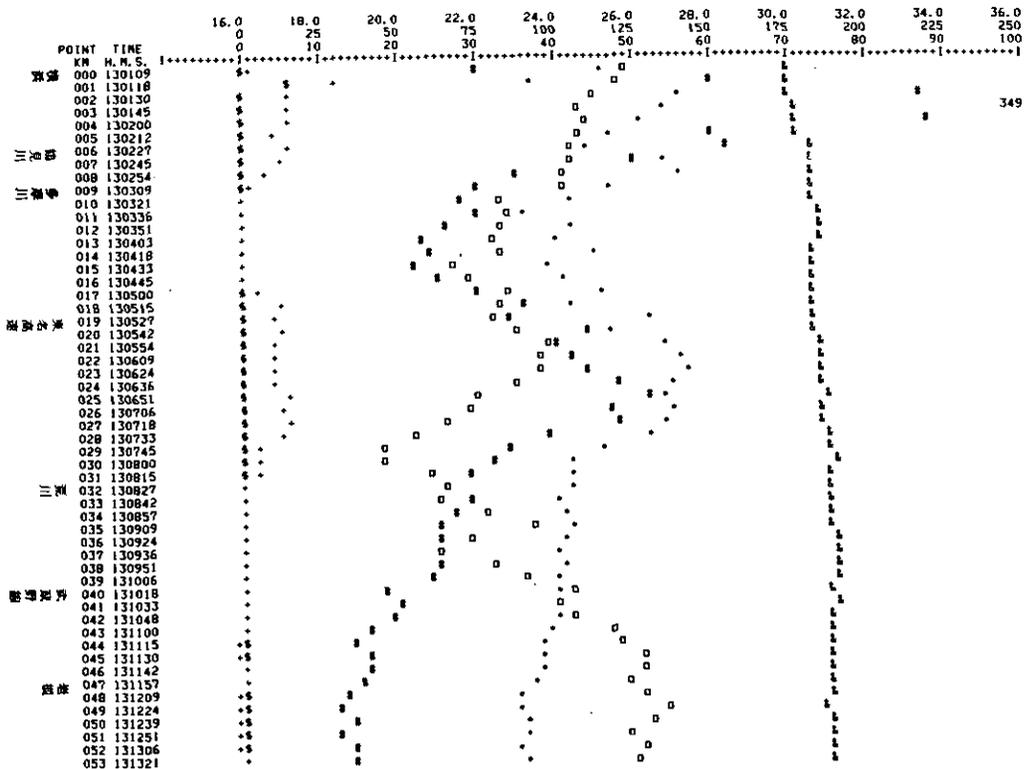


図 112 RUN9 セスナ観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 9 DATE 12TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE ONIYA-MITAKA 360M

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS +
 CNC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS 0
 TEMP 16-36°C FS &

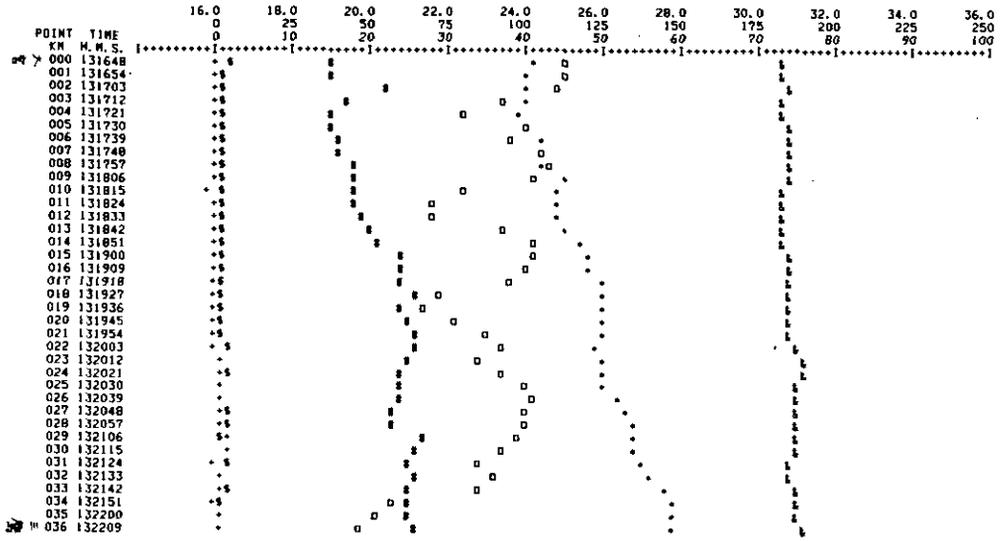


図 113 RUN9 セスナ観測結果

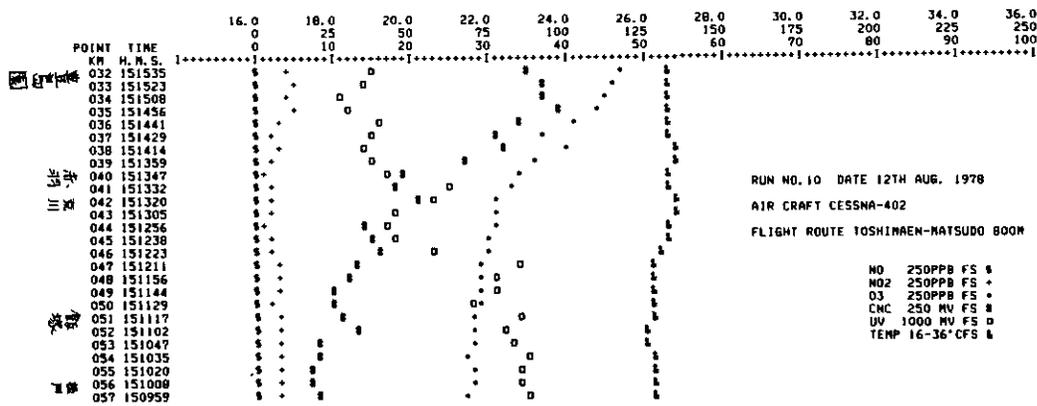
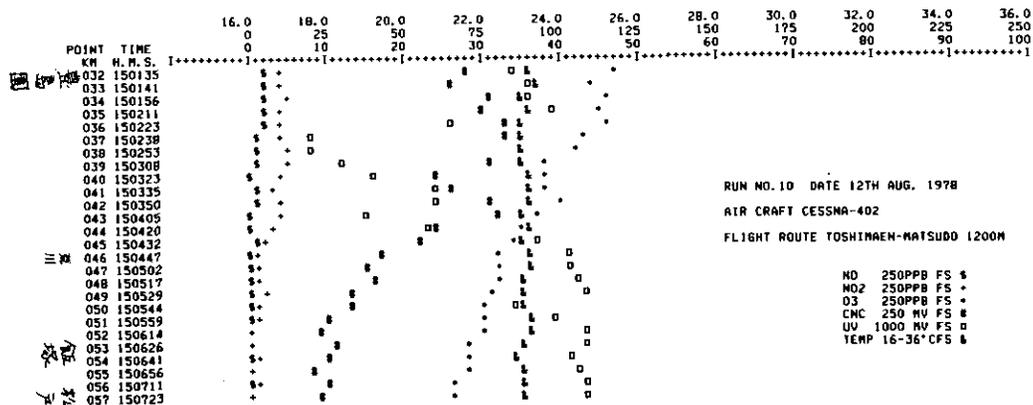
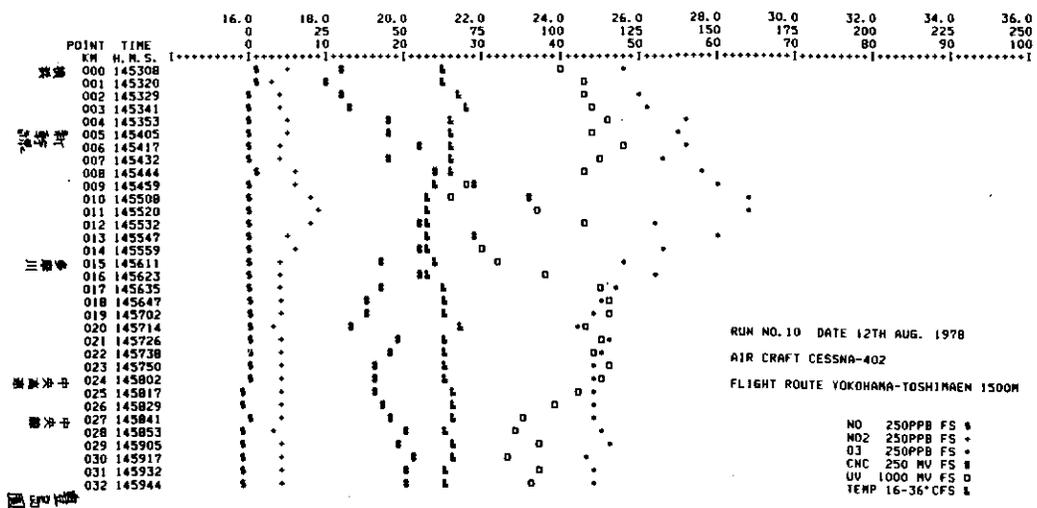


図 114 RUN10 セスナ観測結果

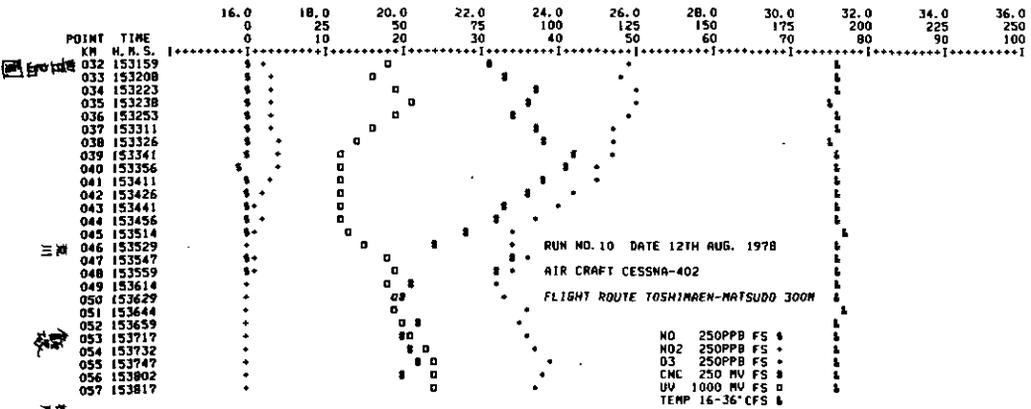
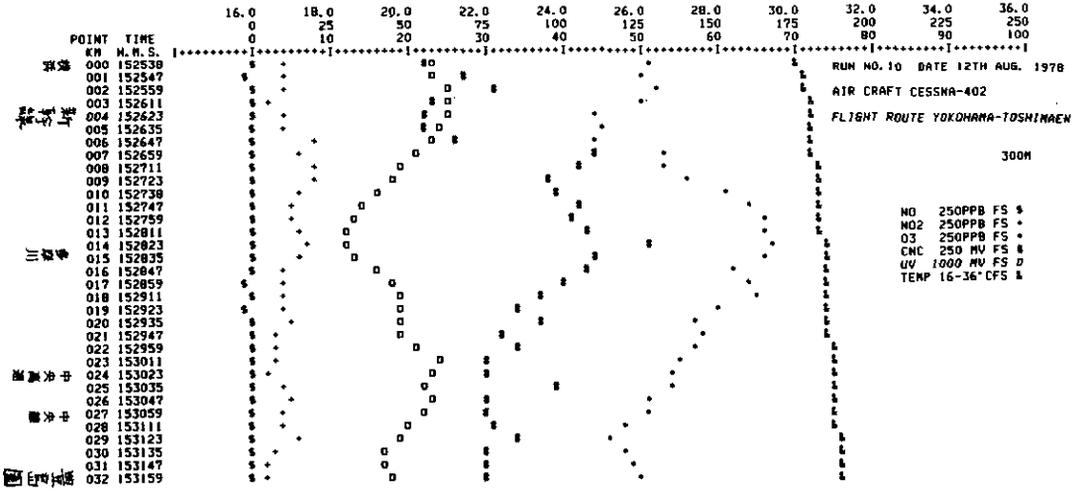
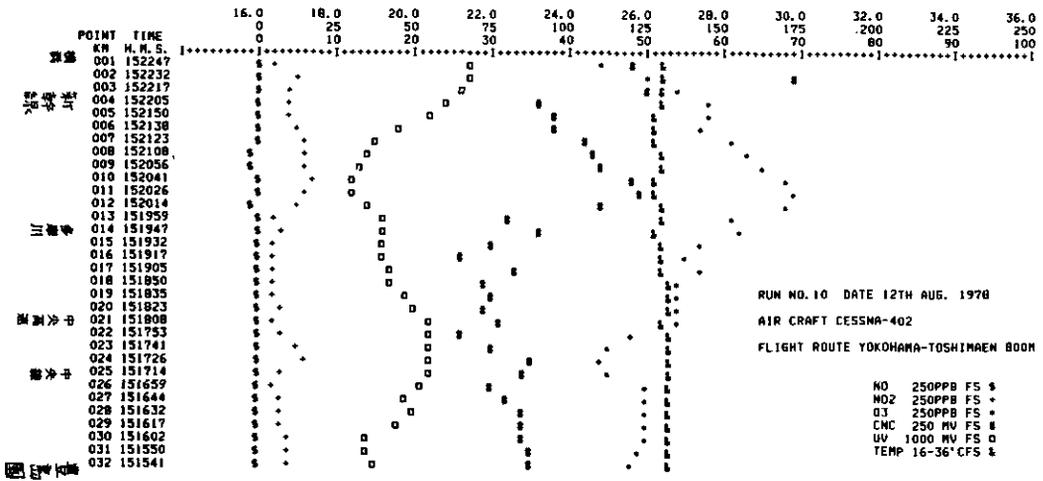


図 115 RUN10 セスナ観測結果

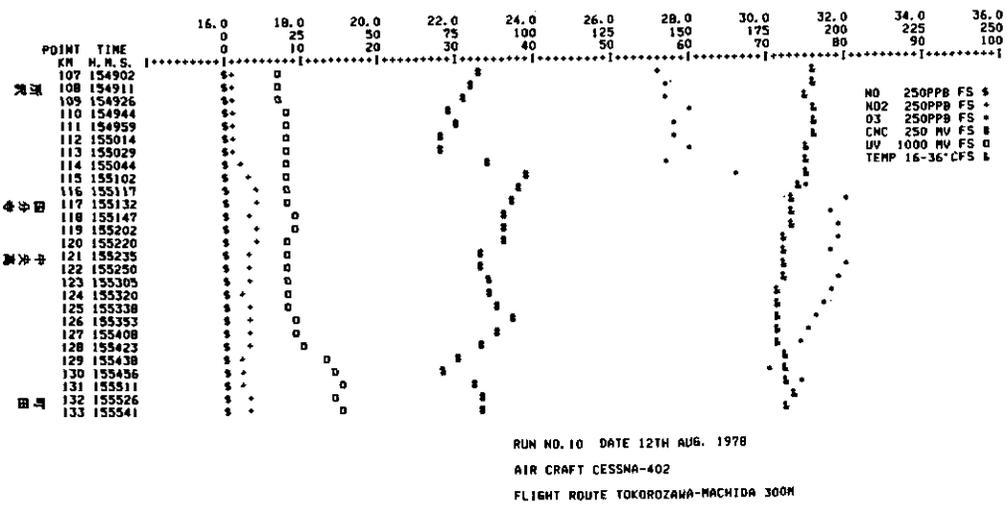
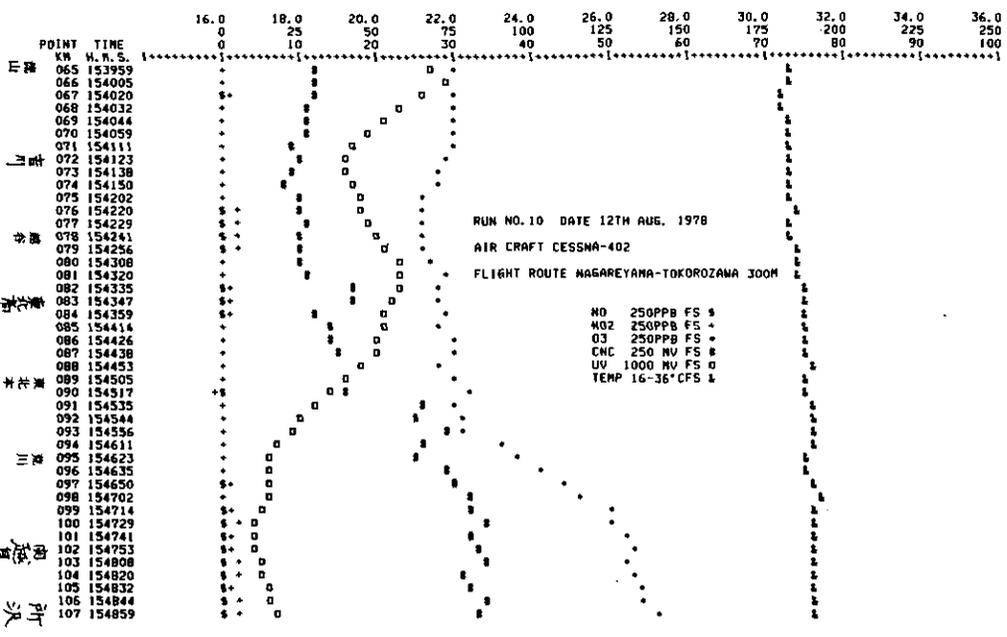
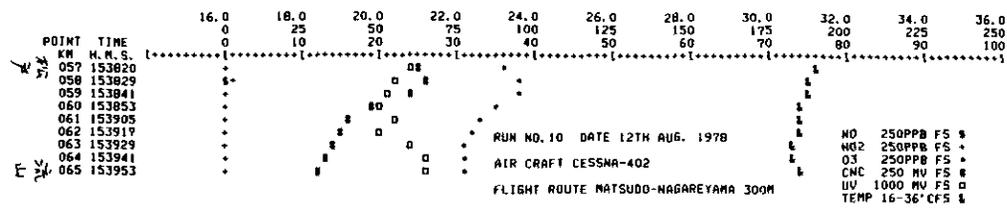


図 116 RUN10 セスナ観測結果

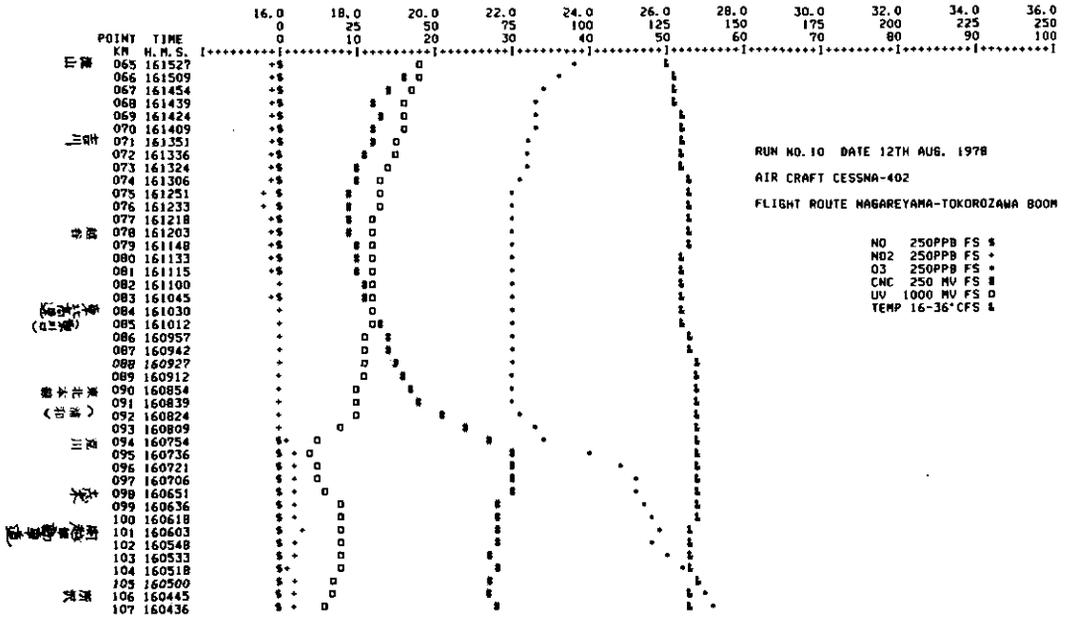
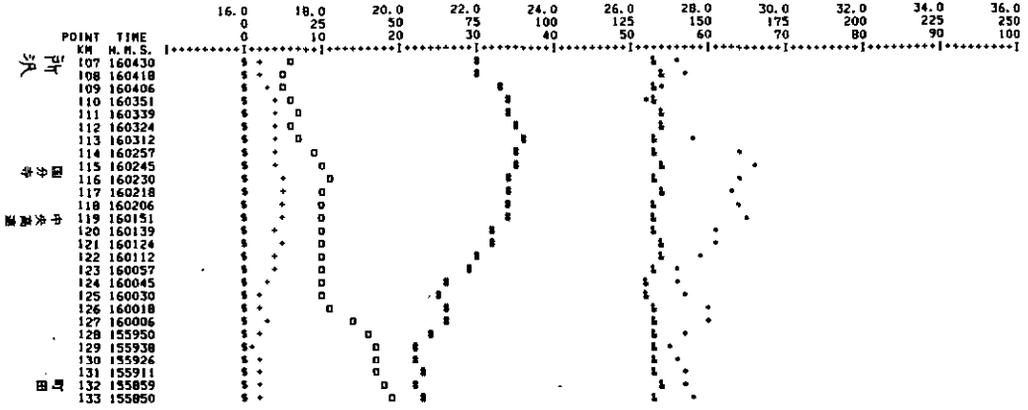
..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO.10 DATE 12TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE TOKOROZAWA-MACHIDA BOOM

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS %
 O3 250PPB FS %
 CNC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS #
 TEMP 16-36°CFS %



RUN NO.10 DATE 12TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE NAGAREYAMA-TOKOROZAWA BOOM

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS %
 O3 250PPB FS %
 CNC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS #
 TEMP 16-36°CFS %

☒ 117 RUN10 セスナ観測結果

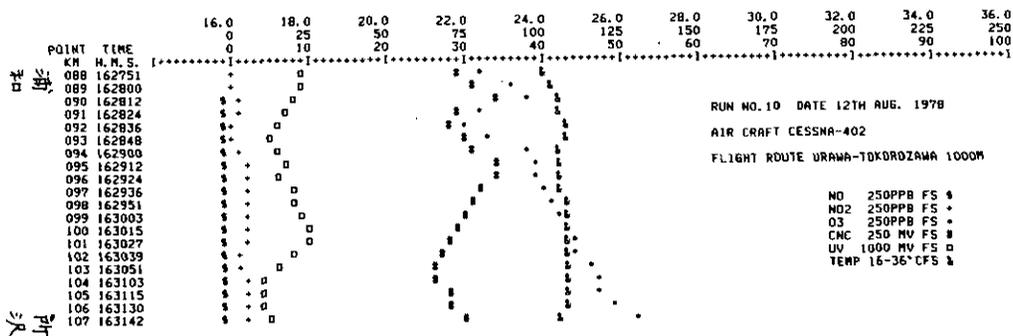
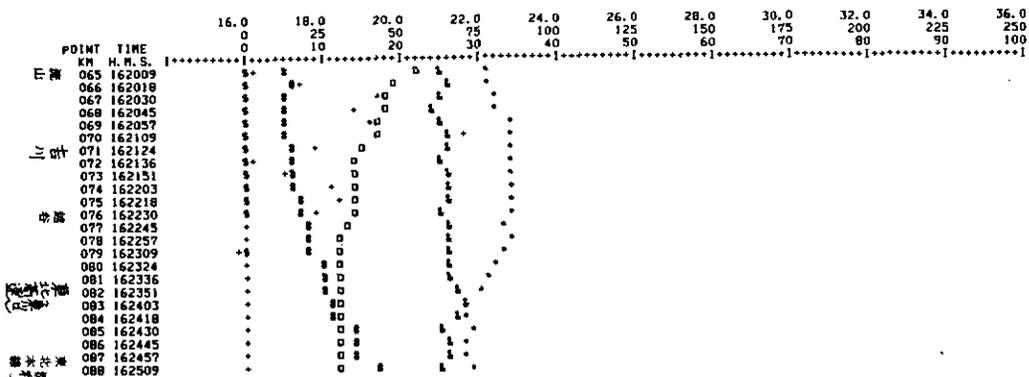
..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO.10 DATE 12TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE NAGAREYAMA-URAMA 1500M

NO 250PPB FS #
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS +
 CNC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS □
 TEMP 16-36°CFS &

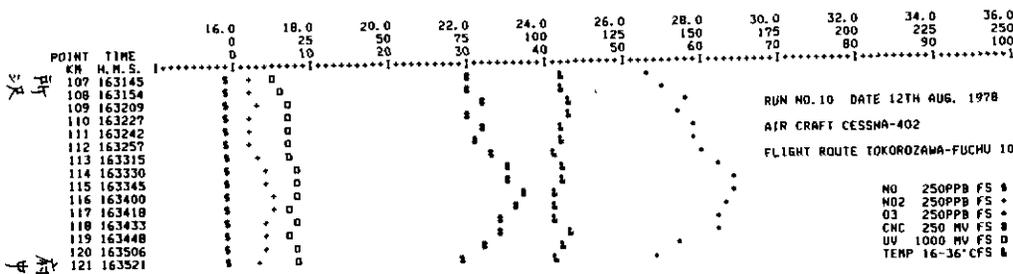


RUN NO.10 DATE 12TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE URAMA-TOKOROZAWA 1000M

NO 250PPB FS #
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS +
 CNC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS □
 TEMP 16-36°CFS &



RUN NO.10 DATE 12TH AUG. 1978

AIR CRAFT CESSNA-402

FLIGHT ROUTE TOKOROZAWA-FUCHU 1000M

NO 250PPB FS #
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS +
 CNC 250 MV FS #
 UV 1000 MV FS □
 TEMP 16-36°CFS &

☒ 118 RUN10 セスナ観測結果

HELI AL-3 垂直分布 RUN9, 10

(図 119 ~ 図 125)

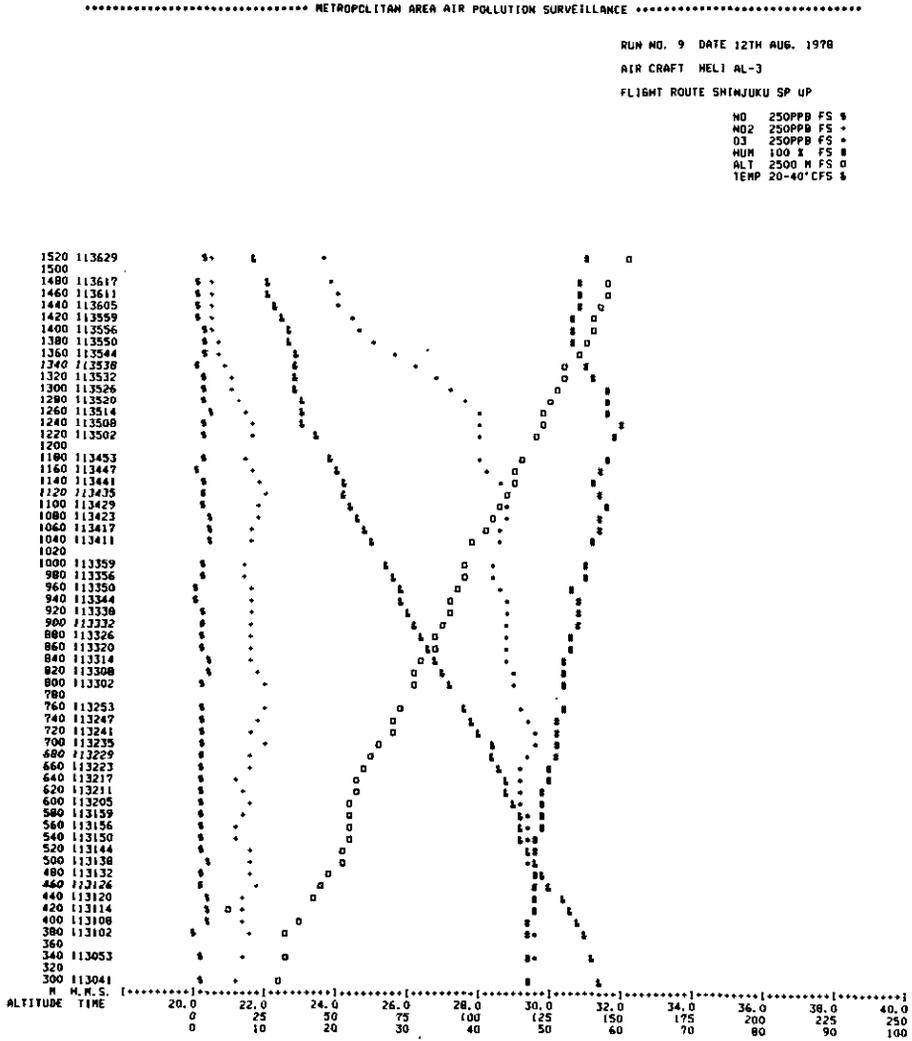


図 119 RUN9 ヘリコプター観測結果

RUN NO. 9 DATE 12TH AUG. 1978

AIR CRAFT HELI AL-3

FLIGHT ROUTE SHINJUKU SP DN

MO 250PPB FS #
 NO2 250PPB FS #
 O3 250PPB FS #
 HUM 100 % FS #
 ALT 2500 M FS #
 TEMP 20-40°C FS #

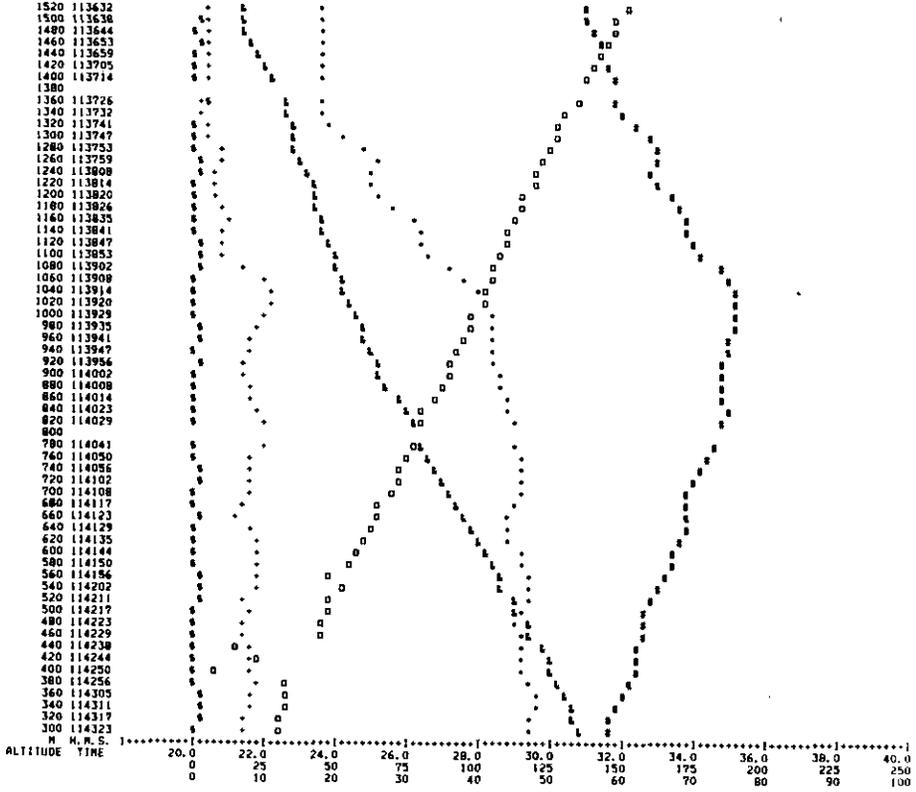


図 120 RUN9 ヘリコプター観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 10 DATE 12TH AUG. 1970

AIR CRAFT HELI AL-3

FLIGHT ROUTE SHINJUKU SP UP

NO 250PPB FS #
 NO2 250PPB FS #
 O3 250PPB FS #
 HUM 100 % FS #
 ALT 2500 H FS #
 TEMP 20-40° CFS #

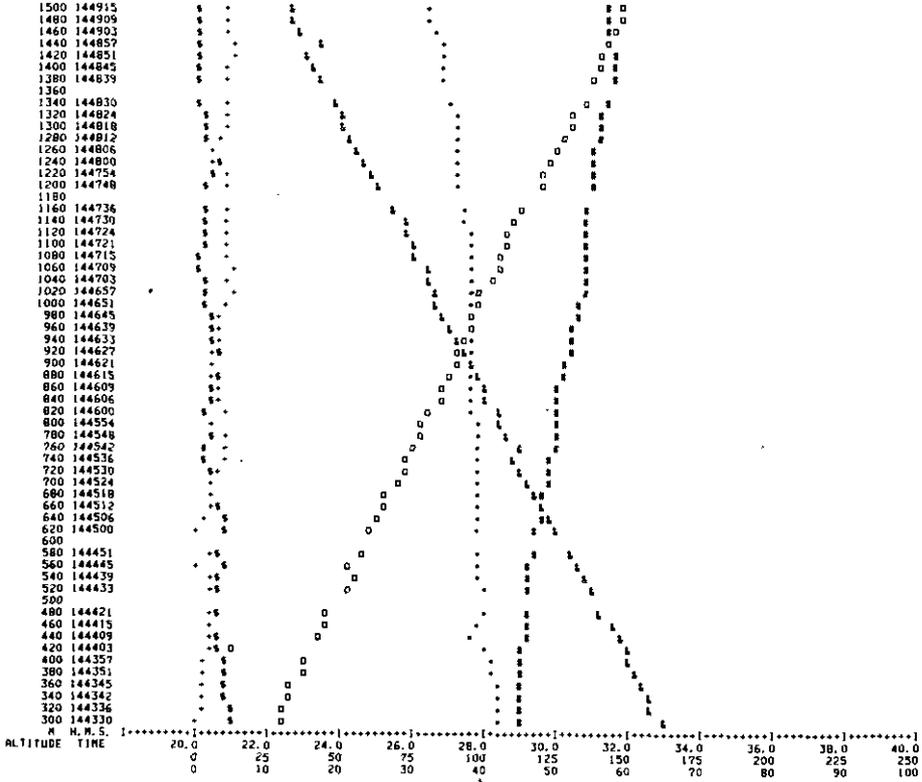


図 121 RUN10 ヘリコプター観測結果

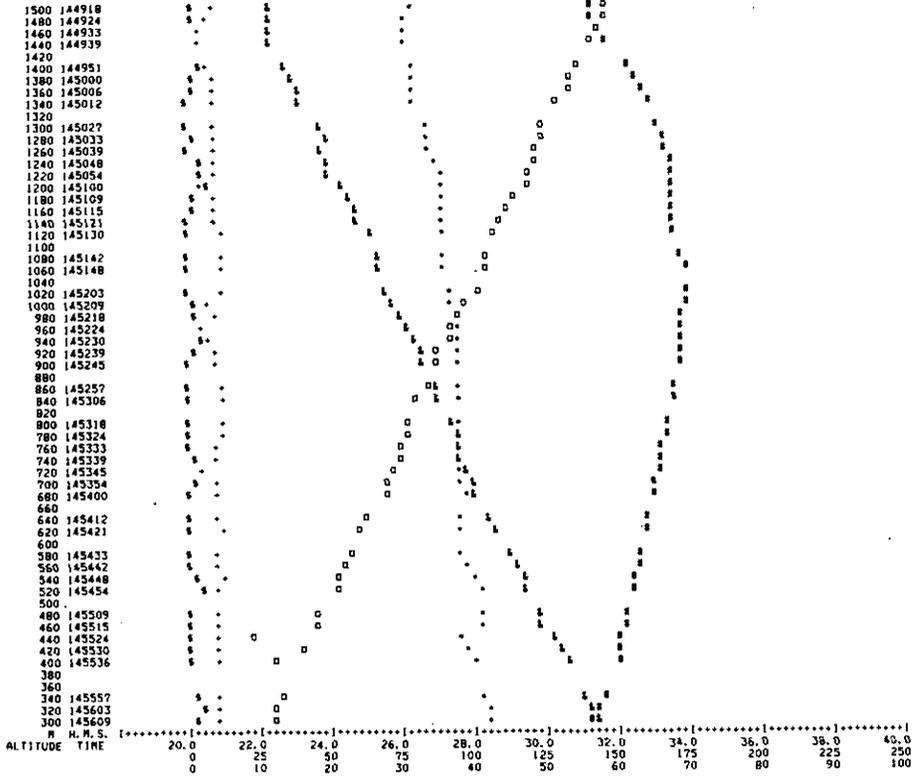
..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

RUN NO. 10 DATE 12TH AUG. 1978

AIR CRAFT HELI AL-3

FLIGHT ROUTE SHINJUKU SP DN

NO 250PPB FS #
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS *
 HUM 100 % FS #
 ALT 2500 M FS D
 TEMP 20-40° CFS #

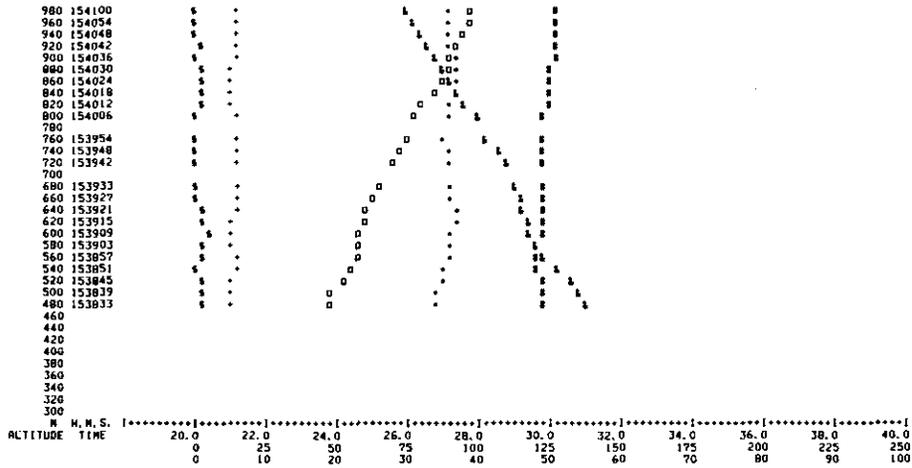


☒ 122 RUN10 ヘリコプター観測結果

***** METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE *****

RUN NO. 10 DATE 12TH AUG. 1978
 AIR CRAFT HELI AL-3
 FLIGHT ROUTE KAWAGOE SP UP

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS +
 HUM 100 I FS #
 ALT 2500 M FS 0
 TEMP 20-40°C FS %



RUN NO. 10 DATE 12TH AUG. 1978
 AIR CRAFT HELI AL-3
 FLIGHT ROUTE KAWAGOE SP DN

NO 250PPB FS %
 NO2 250PPB FS +
 O3 250PPB FS +
 HUM 100 I FS #
 ALT 2500 M FS 0
 TEMP 20-40°C FS %

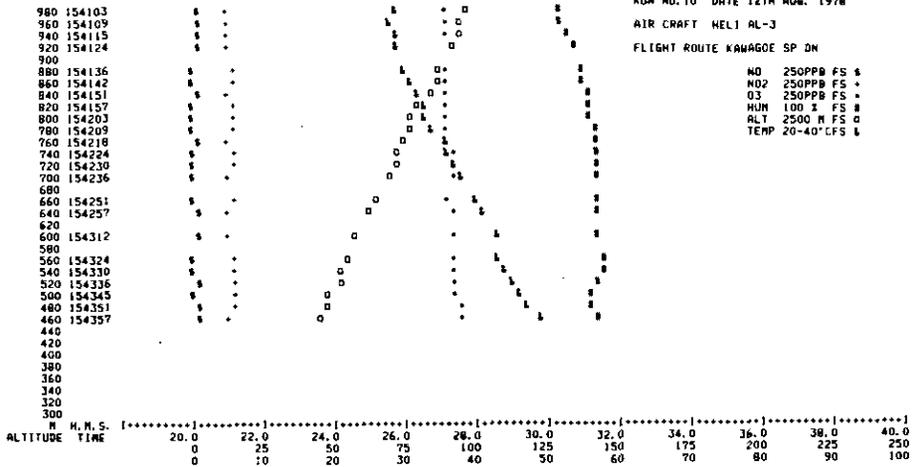
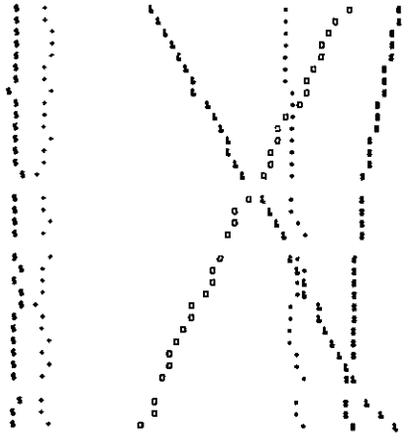


図 124 RUN10 ヘリコプター観測結果

..... METROPOLITAN AREA AIR POLLUTION SURVEILLANCE

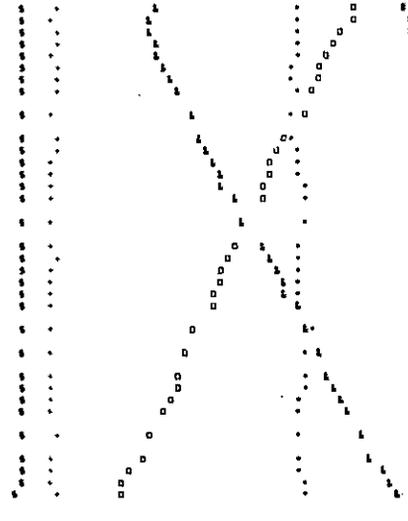
1180 155121
1160 155115
1140 155109
1120 155103
1100 155057
1080 155051
1060 155045
1040 155039
1020 155033
1000 155027
980 155021
960 155015
940 155009
920 155003
900 154957
880
860 154945
840 154939
820 154933
800 154927
780
760 154918
740 154912
720 154906
700 154900
680 154854
660 154848
640 154842
620 154836
600 154830
580 154824
560 154818
540
520 154806
500 154800
480 154754
460
440
420
400
380
360
340
320
300



RUN NO. 10 DATE 12TH AUG. 1978
AIR CRAFT HELI AL-3
FLIGHT ROUTE 〱〱〱〱〱〱〱〱 SP UP
NO 250PPB FS 〱
NO2 250PPB FS 〱
O3 250PPB FS 〱
HUM 100 % FS 〱
ALT 2500 M FS 〱
TEMP 20-40°CFS 〱

H. M. S.]-----[
ALTITUDE TIME 20.0 22.0 24.0 26.0 28.0 30.0 32.0 34.0 36.0 38.0 40.0
0 25 50 75 100 125 150 175 200 225 250
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

1180 155124
1160 155130
1140 155136
1120 155145
1100 155151
1080 155157
1060 155203
1040 155212
1020
1000 155224
980
960 155236
940 155245
920 155251
900 155257
880 155303
860 155312
840
820 155324
800
780 155336
760 155345
740 155351
720 155357
700 155403
680 155412
660
640 155424
620
600 155436
580
560 155451
540 155457
520 155503
500 155512
480
460 155524
440
420 155536
400 155545
380 155551
360 155557
340
320
300



RUN NO. 10 DATE 12TH AUG. 1978
AIR CRAFT HELI AL-3
FLIGHT ROUTE 〱〱〱〱〱〱〱〱 SP DN
NO 250PPB FS 〱
NO2 250PPB FS 〱
O3 250PPB FS 〱
HUM 100 % FS 〱
ALT 2500 M FS 〱
TEMP 20-40°CFS 〱

H. M. S.]-----[
ALTITUDE TIME 20.0 22.0 24.0 26.0 28.0 30.0 32.0 34.0 36.0 38.0 40.0
0 25 50 75 100 125 150 175 200 225 250
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

☒ 125 RUN10 ヘリコプター観測結果

第3章 解析および考察

3.1 光化学汚染質の垂直断面分布と気象の関係*

光化学汚染質の垂直断面分布を把握することは、汚染の立体的な構造を解明する上で極めて有効である。1978年の観測では、C-402により、図2に示したA~Cのコースを、南北に4~5回飛行し、高度300 mから1,700 mの範囲にわたる垂直断面分布の観測を行った。飛行は、高度の高い方から低い方に順次実施されており、1回の観測に要した時間は約2時間であった。

1978年8月8日までは、強い夏型の気圧配置が持続しており、このため5日から8日にかけては、南又は南西の季節風が終日卓越していた。しかし、9日から12日にかけては季節風が弱まり、関東地方では海陸風、山谷風等の局地風系が発達した。

ここでは典型的な相模湾海風が卓越した8月9日と、東京湾、相模湾および鹿島からの海風の相互作用が顕著に現れた8月12日を中心に解析を行う。なお、この期間、新宿御苑においてパイロットバルーン、低層ゾンデを用いて、風と気温の垂直分布観測を実施したがその結果が図25~32に示されている。

8月9日の関東地方の天気は晴れて日射も強く、気温は30°C以上となり真夏日となったが、午後からは低気圧の影響を受け雲が現れ、気温、日射量ともに午前中より下まわった。関東地方における午前1時から12時の間の流跡線を図126に示したが、午前中は南関東地域で南西風、北関東地域では北西の陸風が吹走していた。この流跡線の計算にあたっては図33に示した、関東地域約150局の毎時刻における風向、風速データを用いた。解析にあたっては、北緯34°40'、東経138°40'を基準とした26×12の10 kmメッシュを作り、各メッシュの観測データ内挿値を求め基本データとした。計算結果は、4日間を12時間ごとの八つの時間帯(a)~(h)に分けて図示されている。なお図中のa₁, a₂, …等の記号は、代表的な流跡線の時間帯を越えた動きを表すための識別記号である。

図127にRun 2が行われた午前11時における地上流線図とRun 2の観測飛行コースを示したが、東京から千葉にかけて東西に走る不連続線が形成されていることがわかる。図128, 129にC-402によるRun 2のO₃とNO₂の断面分布観測結果を示す。飛行コースは、横浜-菅生沼間の約65 kmの範囲である。O₃のピークが出現する高度は約500 mで、15 km地点と33 km地点でそれぞれ140, 150 ppbを示している。濃度が100 ppb以上の範囲は高度約1200 mにおよんでいるが、20~25 kmの所で、二つのブロックに汚染気塊が分離されている。NO₂も同様に500 m付近が全域に

* 若松伸司

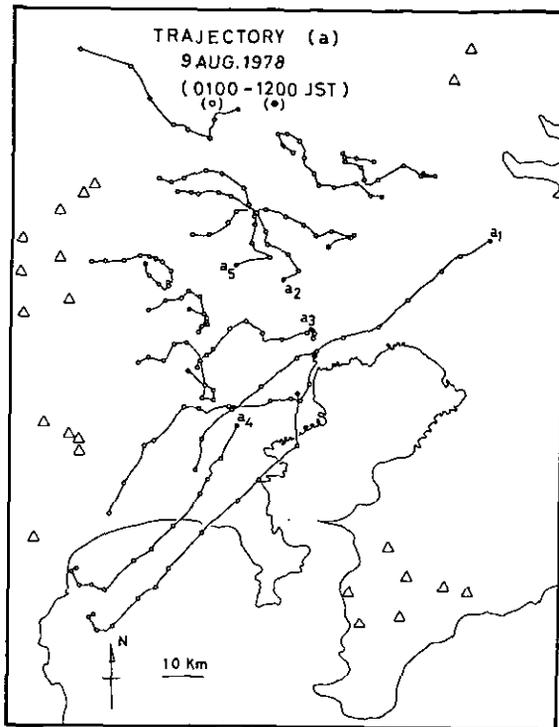


図 126 1978年8月9日、午前1時から12時の間における流跡線

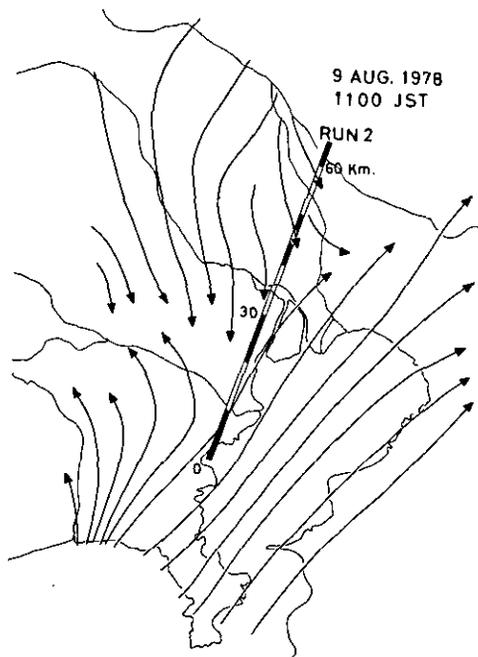


図 127 RUN2が行われた時刻の流線図とRUN2の飛行コース

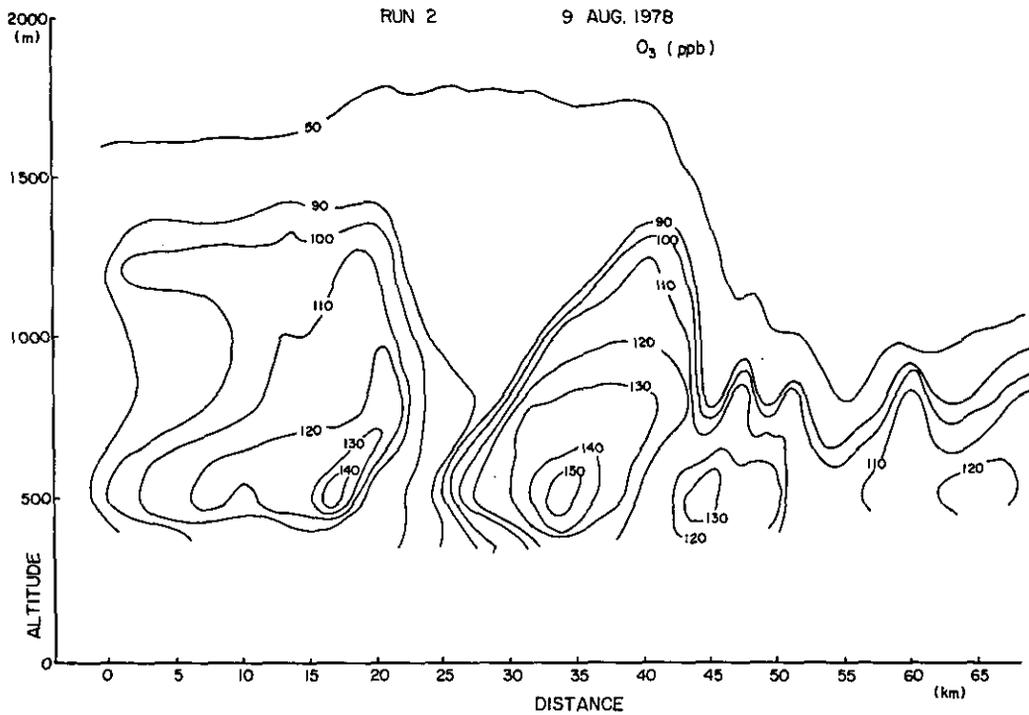


図 128 RUN2, O₃ の垂直断面分布

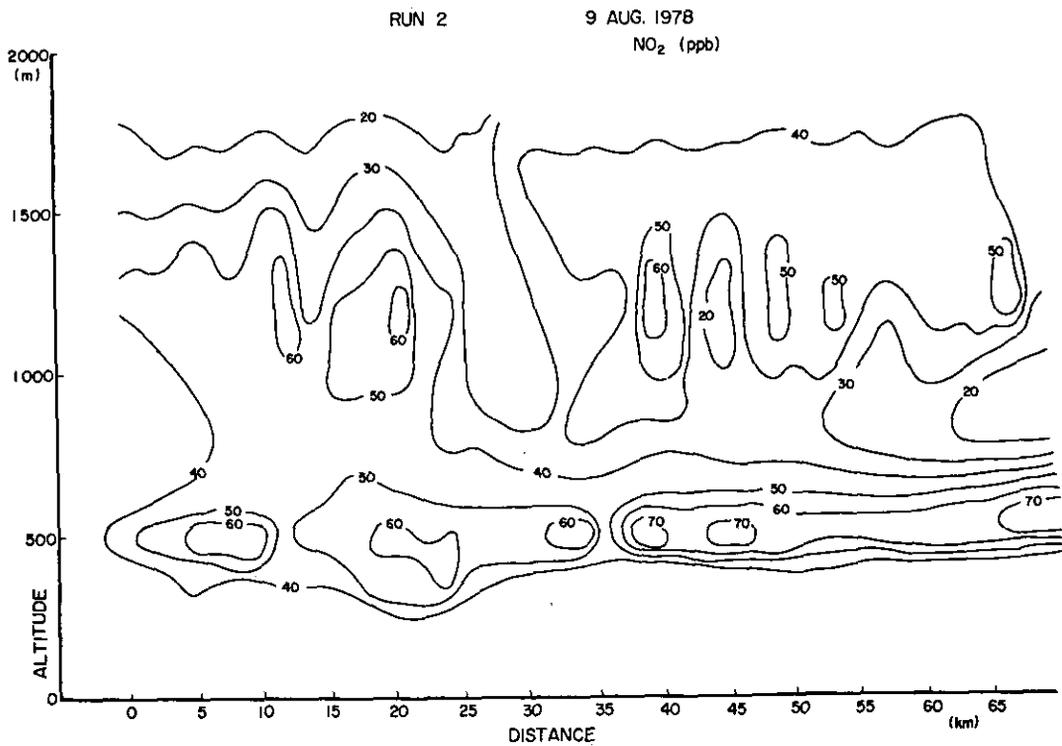


図 129 RUN2, NO₂ の垂直断面分布

わたり50~70ppbの濃度であるが、やはり25~30kmの所で気塊が分離されている。また、上空での濃度分布はかなり複雑に入り組んでいる。図126, 127に明らかなように、20 kmから30 kmの範囲に風の不連続線があり、これより南側は海風域、北側は陸風域となっている。この不連続線を境として汚染気団が分離されていることがわかる。

この二つの気塊は、図126の流跡線から明らかなように、その履歴が異なっている。すなわち、図127の不連続線より北側の気塊は、前日の夜間に内陸にまで侵入した気塊が陸風により押し戻されたものであり、南側の気塊はその日の朝に、相模湾方面から京浜工業地帯の上空を通過して来たものである。

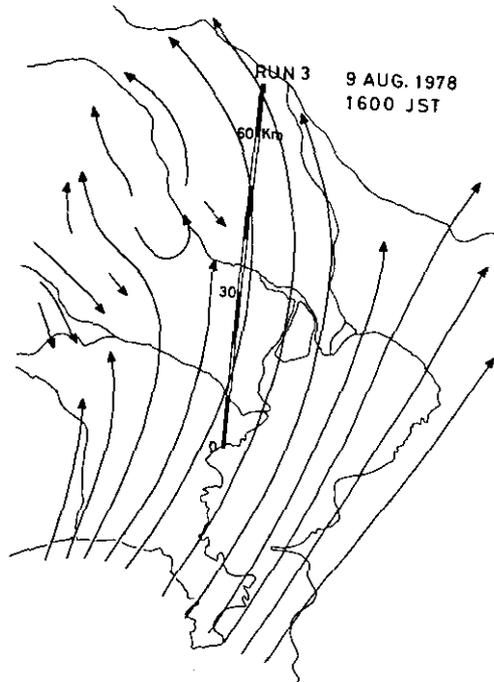


図130 RUN3が行われた時刻の地上流線とRUN3の飛行コース

図130にRun3が行われた午後4時における地上流線図とRun3の観測飛行コースを示したが、相模湾からの海風は内陸深くまで侵入していた。図25のパイバル観測結果によれば、この時刻の上層風は1000m付近までは南風であり、それより上層では東風となっている。この時の O_3 、 NO_2 、C. N. (凝結核小粒子)の観測結果を図131~133に示す。なおC. N. は出力のmVそのもので示してあるが、1mVが約300個/mlに対応しており、粒径はほぼ $0.1 \mu m$ 以下のものをカウントしている。飛行コースは、横浜-幸手間の65kmの範囲である。

O_3 のピーク出現高度は、午前中に比べて高い所にあり、1200m付近に出現し、その濃度も午

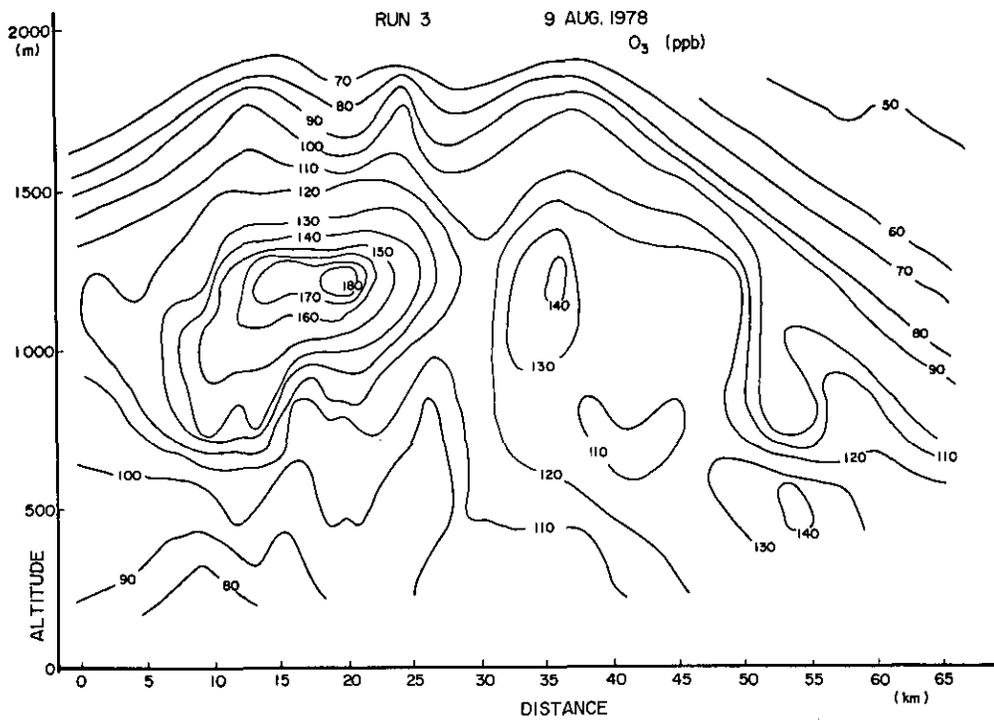


図 131 RUN3, O₃ の垂直断面分布

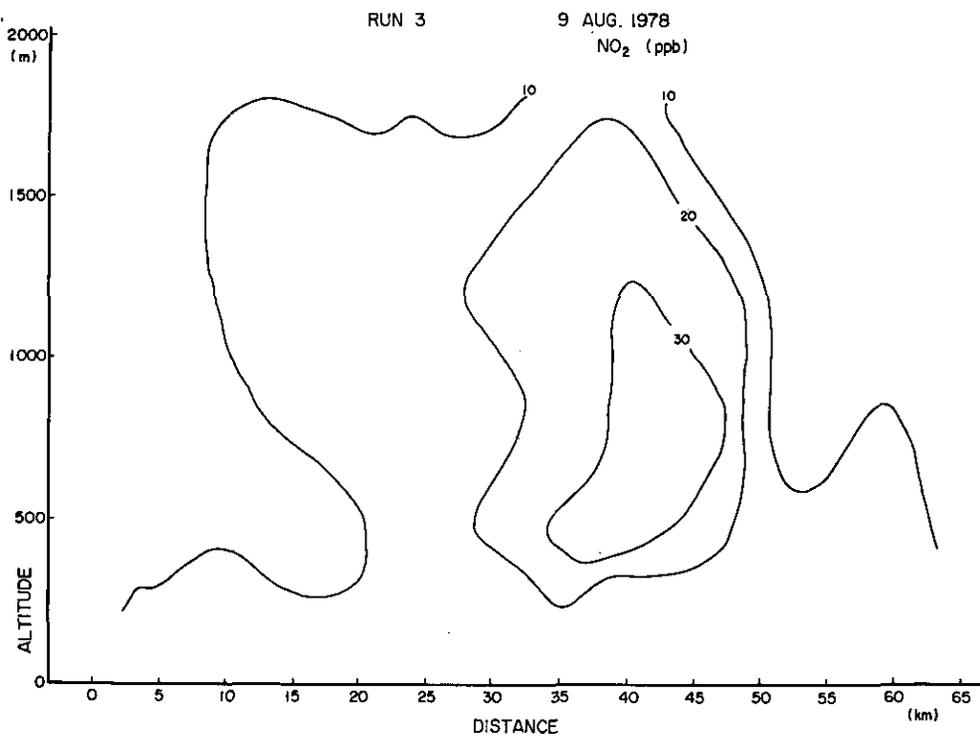


図 132 RUN3, NO₂ の垂直断面分布

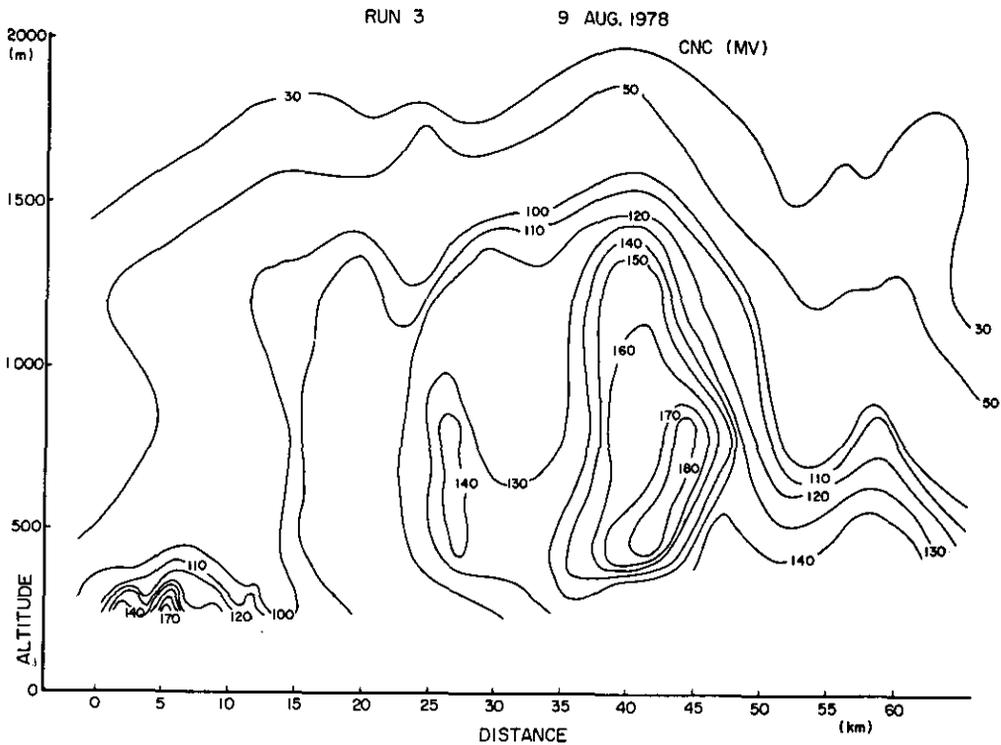


図 133 RUN3, C. N. の垂直断面分布

前中より上昇し、20 km地点で180ppb、35 km地点で140ppbであった。300～500 mの大気低層では、内陸に入るにつれて O_3 濃度は上昇しているが、より上層（500～1500 m）では高濃度域が荒川付近を境に二つの部分に分離されている。

NO_2 は全域、全高度にわたり午前中より濃度が減少しているが、35 kmと45 kmの間に30 ppbの相対的な高濃度域が出現している。一方C. N.は、川崎、東京の上空300 mで高濃度となっている。これは工場地帯からの排煙そのものを観測したためであろう。また、40～45 kmのほぼ高度600 mの所にピーク値が見られる。C. N.の垂直断面分布は、全域にわたり NO_2 の分布と比較的に一致しており、 O_3 の濃度分布とは30 kmまではほぼ逆の関係にあるが、それより北側では全体的な傾向としては同様な変化を示している。なお、Run 3の観測中、45 km付近で降雨が見られた。

図25に示したように、Run 2が行われた11時頃の南西風の高さは約500 mであったが、午後になり相模湾方面からの海風が侵入しその高度は1200 mに達した。

一方、図29に示したようにLidの高さも時刻とともに上昇しており9時28分の観測では約1000 mであったが、13時の観測では1500～1600 mに達した。これに伴って海風域における O_3 の高濃度

域も500mから1200~1300mに上昇し、濃度は140ppbであったものが180ppbとなった。

一方、30km~35km(荒川付近上空)より北側の領域においても、 O_3 の高濃度が出現する高さは、午後になり、海風域と同じ高さまで上昇していたが、濃度の上昇は認められていない。

航空機に搭載したUV計の観測結果によれば、Run 3の15km地点における500mと1,000mの高さでの日射量(290-385nm)は、それぞれ 0.52 と 0.80mwCm^{-2} であったのに対し、45km地点における500mと1,000mの高さでの値は、 0.04 と 0.20mwCm^{-2} であり、このことから、北側の領域では光化学反応がほとんど進行していなかったものと推察される。また、この領域では図131~133で明らかのように、 O_3 、 NO_2 、C. N.の間には正の相関関係が見られる。

図126の流跡線図に示したように、Run 3における40km地点より北側の部分の空気は、前日に一度内陸に輸送された汚染気塊が山風により押し戻されて来たものであり、十分に時間の経った汚染気塊であると考えられる。

8月12日は、太平洋高気圧が大きく張り出し、本州全土を覆ったため朝から快晴の良い天気となった。

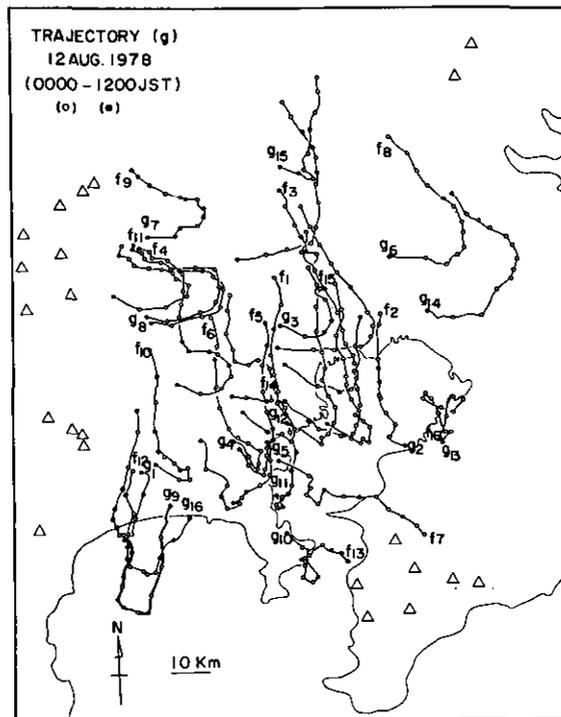


図134 1978年8月12日午前0時から12時の間における流跡線

図134に午前0時から12時までの流跡線を示したが、東京湾、相模湾からの海風が09時頃から吹き始めた。一方、千葉県から埼玉県にかけては、09時頃から東風が吹走しており、この3者の間に風の不連続線が形成された。15時には相模湾からの大規模海風が、東京都の湾沿地域にまで侵入し、東京湾海風と合流した。この南風と鹿島方面からの東風との間に出来た収束域は、夕方から夜間にかけて埼玉県南部に停滞した。

図28の新宿での上層風観測によれば、11時頃までは北寄りの一般風が1500m以上まで存在していたが、その後南東の大規模な海風が吹き込み17時には1500mにまで達した。

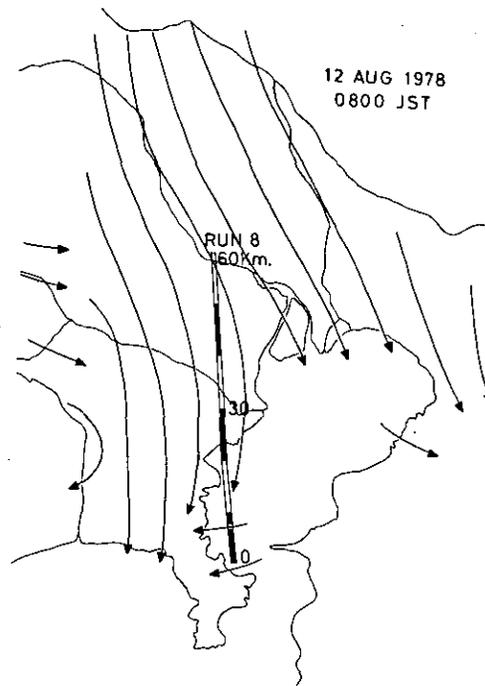


図135 RUN8が行われた時刻の地上流線とRUN8の飛行コース

図135はRun 8の観測コースと8時の地上流線図である。ほぼ全域にわたり陸風が吹走している。この時の O_3 と NO_2 の観測結果を図136, 137に示す。

O_3 濃度は東京湾海上で低層より上層がやや高めとなっているが、35 km地点の多摩川上空付近800 m程度の所に70~80 ppbの相対的な高濃度域が観測され、内陸に入るにしたがって濃度は減少する傾向にある。しかし、45~60 km地点の上空1700 m付近では80 ppbの濃度となっている。新宿における風の垂直分布の観測結果によれば、500 mまでは北成分の風が卓越し、700 mから1500 mの範囲では東成分の風が吹走し、それより上層は西風となっていた。この鹿島方面からの清浄な東風によって、前日からの汚染空気が吹きはらわれたため、700 mから1500 mでの O_3 濃

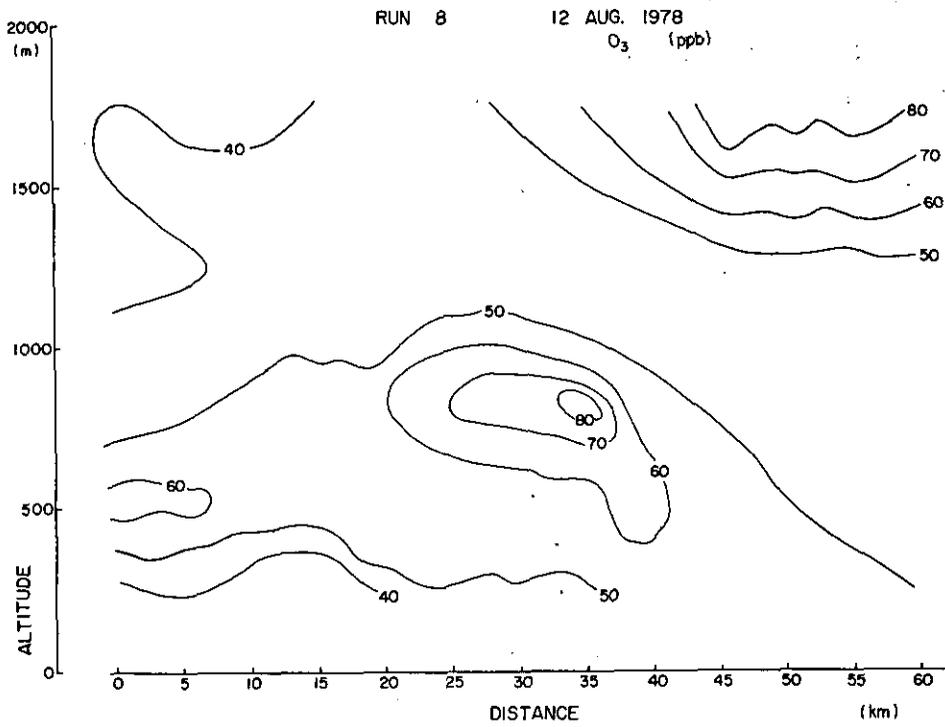


図 136 RUN8, O₃ の垂直断面分布

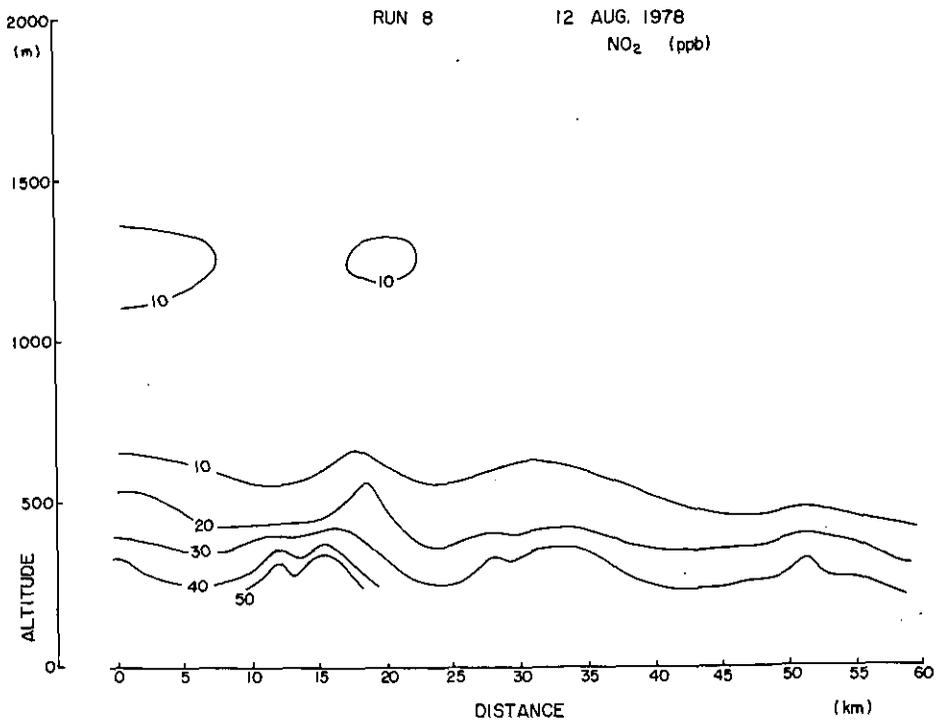


図 137 RUN8, NO₂ の垂直断面分布

度は50 ppb以下の低濃度となったものと思われる。図32に示したようにRun 8 の観測が行われた時間帯のLidの高さは07時35分で300 m, 09時30分で800 mであった。

一方、NO₂の観測結果によれば、15 km地点の東京湾上300 mで40~50 ppbとなっており、NOも最高20 ppb程度存在している。この相対的な高濃度域はO₃の低濃度域に対応している。この現象は、主に京浜工業地帯で排出されたNO_xが、北寄りの風により東京湾上へ輸送されたことを示している。

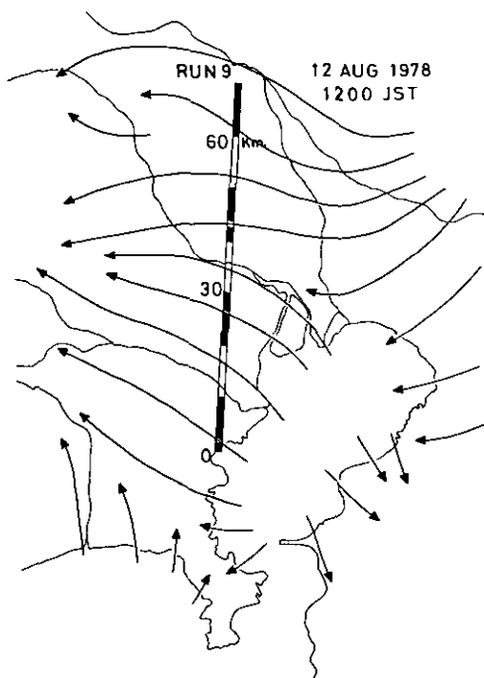


図 138 RUN9が行われた時刻の地上流線とRUN9の飛行コース

図 138 は、Run 9 観測コースと地上流線図である。飛行は、横浜市と幸手を結ぶ約65 kmの線上で行われた。

地上の風系は、東京湾と相模湾からの海風が、より規模の大きい鹿島からの海風に巻き込まれるような形となっており、全域にわたり、東成分の風が卓越している。図28の新宿での観測結果は、500 mまでは南東風であり、上層500~1500 mにおいては東風が卓越していることを示している。また、Lidの高さは11時30分で1200 m, 14時には1300 mであった。Run 9のO₃, NO₂, C·Nの濃度断面分布を図139~141に示した。

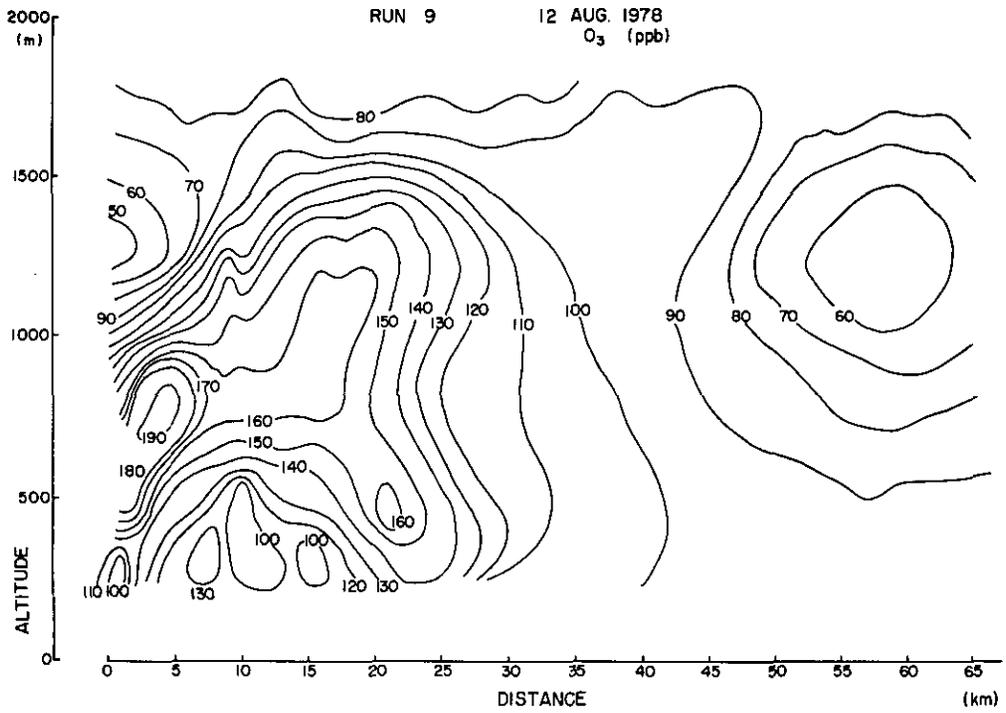


図 139 RUN9, O₃ の垂直断面分布

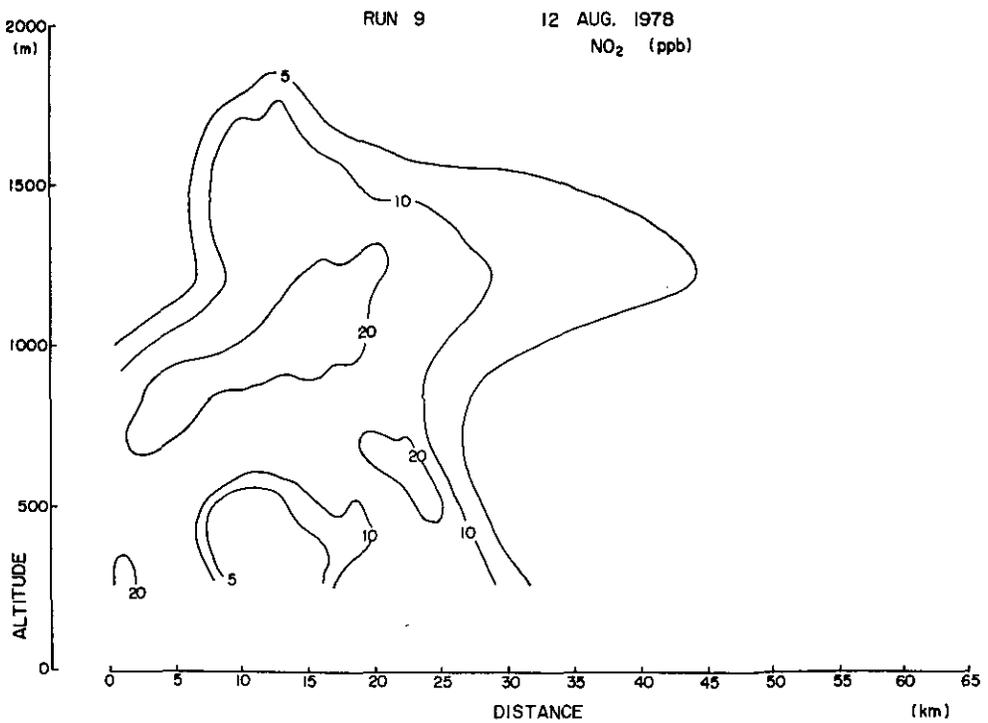


図 140 RUN9, NO₂ の垂直断面分布

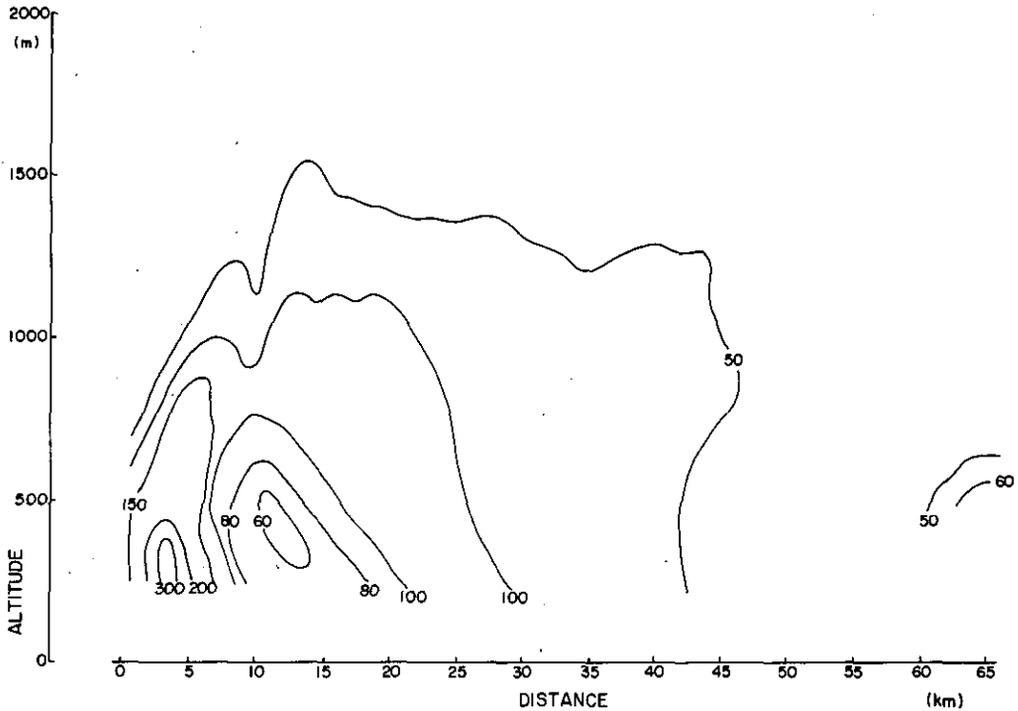


図 141 RUN9, C. N. の垂直断面分布

O_3 の垂直断面分布は非常に特徴的な形となっている。すなわち、100 ppb 以上の濃度の出現範囲は、40 km 地点から南側に限定されており、その高度は横浜で 1000 m で、13 km 地点で 1500 m であったが、30 km 地点より北側に急速に濃度は低くなっていた。一方内陸部では 700 m から 1600 m の範囲に O_3 の低濃度領域が存在し、1000 ~ 1400 m の所が 60 ~ 70 ppb とバックグラウンドレベルに近い値となっている。0 ~ 25 km の高度 700 m 付近が最も O_3 濃度が高い領域であるが、詳細を見ると、0 ~ 10 km と 15 ~ 25 km の二つの部分に分離されていることがわかる。

NO_2 は 30 km 地点までは馬蹄形状に 20 ppb 前後の値となっており、それより内陸部では全高度にわたって検出限界以下の低い値となっている。一方、C. N. も NO_2 と類似した馬蹄形状の断面分布をしており、0 ~ 10 km の範囲の高度 300 m 付近で特に高濃度を示している。

このような垂直断面分布が形成される最大の理由は、風系の地域分布に求めることが出来る。すなわち、30 km 地点までは東京湾海風が卓越する領域であり、それより北部は、クリアーな鹿島方面からの東風の卓越する領域であるため 30 ~ 35 km の荒川付近を境として明瞭な濃度差が現れている。

また、馬蹄形状となる理由は、汚染源の違いによるものであろう。すなわち、300 m と 500 m の荒川以南の上空では、 O_3 、C. N.、 NO_2 濃度のピークが 2 か所存在しているわけであるが、

Run 9 の 5 km 地点付近上空の 190ppb という高濃度の O_3 を含む気塊は、図134によれば、東京湾に一度出たものが、海風とともに再び上陸して来たものであると考えられる。すなわち、横浜付近の高濃度は、京浜工業地帯からの汚染気塊を測定したものであろうし、もう一方のピークは、東京首都圏の排出源からの汚染気塊であろうと推察される。

C-402とAL-Ⅲの観測コースは図21と22のRun 10に示されている。また図142と143に、C-402とAL-Ⅲの水平分布観測結果を示した。C-402の横浜駅-豊島園-松戸間の水平分布に

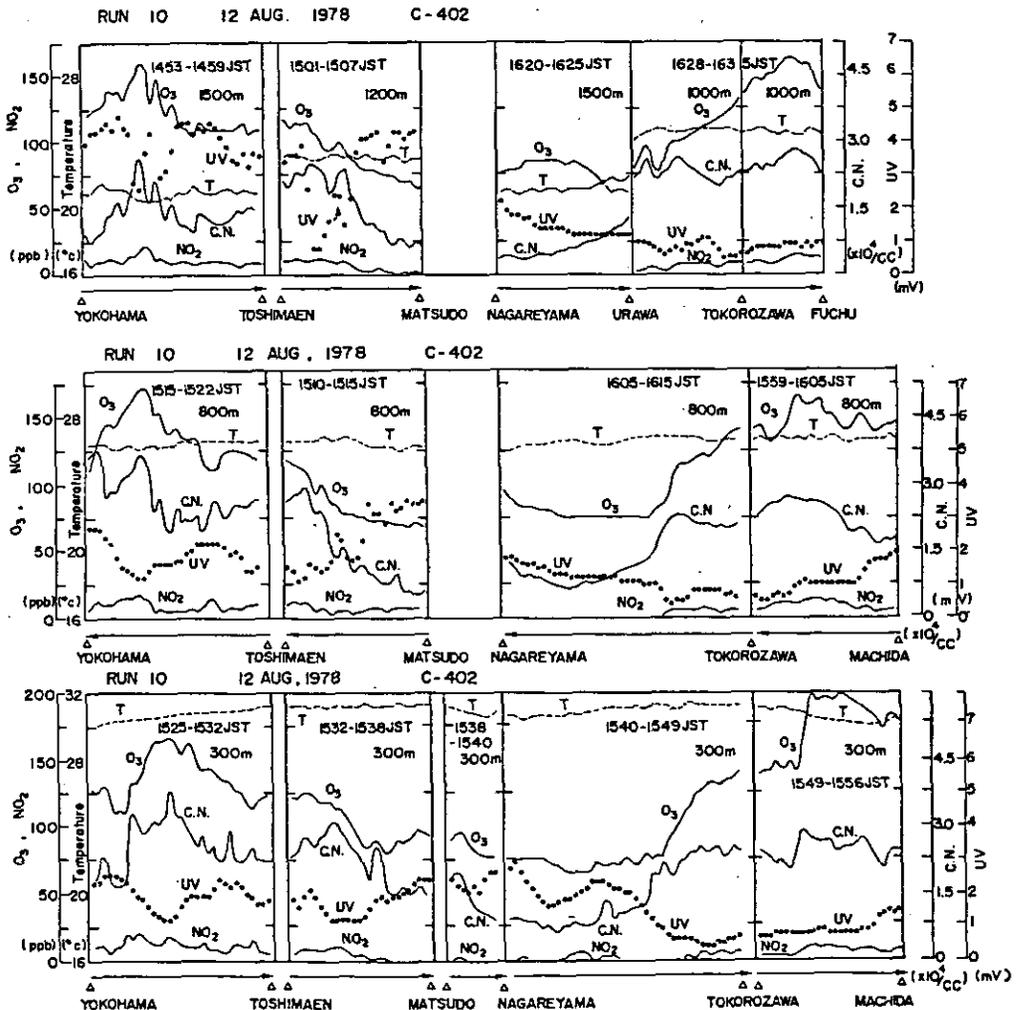


図142 RUN10, セスナによる観測結果

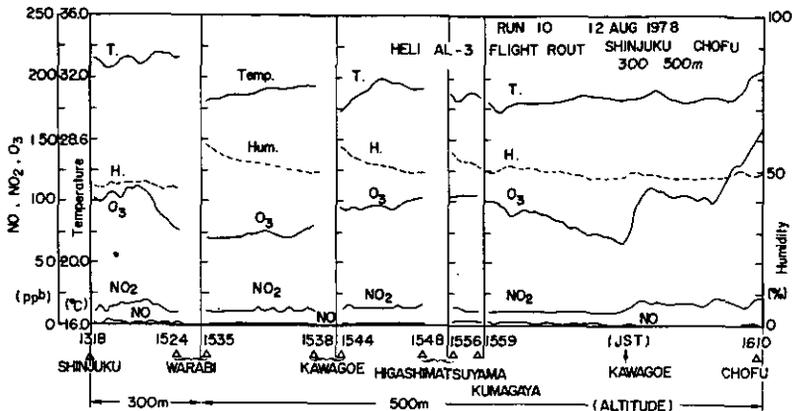


図 143 RUN10, ヘリコプターによる観測結果

よれば、多摩川付近の上空 300, 800, 1500m でいずれも O_3 濃度が最高値を示し、約 160 ~ 170ppb であった。 NO_2 濃度も、 O_3 のピークの位置で高くなっていた。この汚染気塊の発生源は、風向が南寄りであったので、京浜臨海工業地帯であると考えられる。豊島園-松戸間での O_3 濃度は、荒川以西では 90~120ppb であったが、東側では 65~90 ppb と低かった。この濃度の差は、風向の違いによるものである。図 144 に 16 時の地上流線図を示したが、この図から明らかな

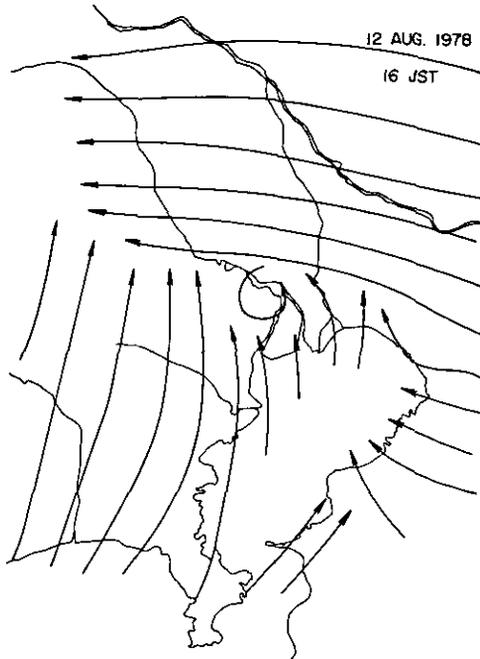


図 144 RUN10 が行われた時刻の地上流線

ように荒川以東では、鹿島方面からの東風が吹走しており、以南では南風であった。このために東風が卓越する領域での濃度は低い値を示した。

流山-所沢-町田間の300, 800mでの水平分布によれば、荒川より東側では、 O_3 濃度は65~75ppbと一定で低かった。しかし、荒川の西側では、 O_3 濃度は急激に高くなり、所沢で135~140ppbとなった。この区間は南東風で、東京地域の汚染気塊が輸送されて来たために、 O_3 濃度が高くなったと考えられる。さらに、所沢-町田間の300mでの水平分布によれば、国分寺付近で145ppbから急激に高くなって最高値200ppbを示した。800mでの水平分布でも、300mでの水平分布で見られたほど顕著ではなかったが、 O_3 濃度はやはり国分寺付近で高くなり最高165ppbを記録した。

このような傾向は図143のAL-IIIの観測にも示されており、川越から調布に至る西部地域で O_3 が非常に高い値となっていた。図145には、この日の12時から24時の間の流跡線を示したが、

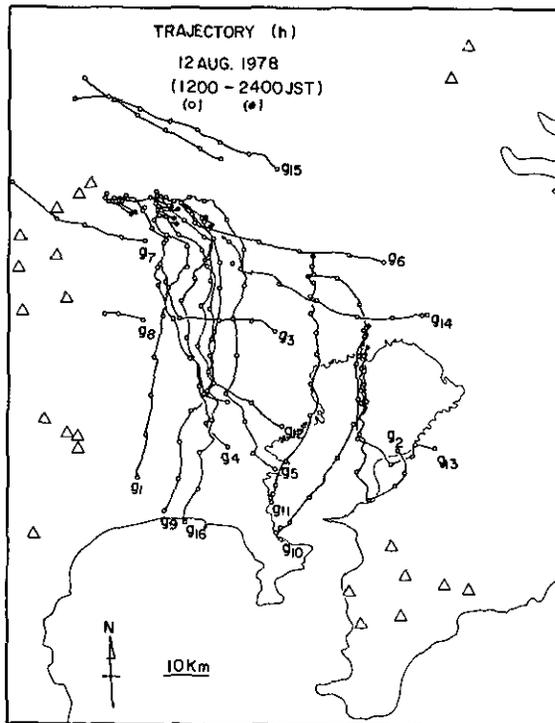


図145 1978年8月12日、午後0時から12時の間における流跡線

東京湾、および相模湾沿岸地域から出発したほとんどの気塊は、真夜中には、所沢以西の埼玉県西部に収束していることがわかる。

なお、図中のgの記号は、図134の記号と対応しており、図134と図145で、24時間にわたる気塊の動きを表している。

これらのことから、Run 10で観測された西部地域の高濃度域は、首都圏および、臨海地域の工場群からの汚染気塊が、輸送されたことによりもたされたものであることがわかる。

関東平野における光化学スモッグの挙動の解明を目的として、1978年8月9日から4日間にわたり大気汚染質と気象の立体観測を行った。その結果、大気汚染濃度の立体的な分布と、局地的な気候、気象条件との間に密接な関係があることがわかった。8月9日には典型的な海風の出現が見られ、これが、関東内陸部での高濃度光化学スモッグ発生の主因となっていた。午前中の濃度の垂直断面分布によれば、海風前線をはさむ形で O_3 の二つの高濃度域が500 m付近（140~150ppb）に観測されており25 km付近にある海風前線の所が相対的な低濃度域となっていたが、午後になると相模湾からの海風の侵入により500 m以下では内陸に行くにしたがって O_3 濃度は増大していた。また O_3 濃度の極大域は、1,200 m付近にまで上がっており、その濃度も上昇していたが、水平方向の出現位置には大きな変化は認められなかった。

関東平野においては、地形条件により三つの異なった海風系が通常観測される。すなわち、東京湾、相模湾、および鹿島からの海風系である。東京湾からのものは比較的規模が小さく、東京の中心部には早い時刻に南東風の形で吹き込むことが多い。相模湾からの海風は、より規模の大きい海風であり、一般には東京湾海風よりも遅い時刻に南風となって関東内陸部に向けて吹き込むものである。今一つの大規模海風は、鹿島方面から吹き込む東風である。これら三つの海風が、一般風や関東内陸部にできる熱低気圧、北部と西部の山塊からの山風、および東京を中心として発生する都市風などと相互に関連し、極めて複雑な風系を形成することが知られている。

8月12日の観測では、これら三つの海風系の相互作用が顕著に現れていた。

正午頃の汚染質の立体分布観測結果によれば、鹿島からの東風系が吹走する関東北部においては、バックグラウンド値程度の低い値を示していたのに対し、これより南側の領域では東京、横浜地域を中心として、すべての汚染物質が高濃度を示しており、この高濃度域も詳細に観察すると二つの部分に分離されていた。南側の高濃度域は京浜工業地帯からの影響を強く受けた部分であり、それより北側の高濃度域は、東京首都圏の影響によるものであろうと推察される。

午後になると、東京湾、および相模湾岸地域から出発したほとんどの気塊が、埼玉県の西部地域に収束したため、関東西部地域に、首都圏および臨海地域の工場群からの汚染気塊が輸送され、この地域で高濃度の光化学スモッグが観測された。

これら4日間の観測により、東京首都圏地域における光化学スモッグの生成、消滅過程を解明するためには、以下の点を特に考慮する必要があることが明らかとなった。

第1点目は、局地的な気候、気象の特徴（海陸風、山谷風、都市と郊外の粗度や熱収支の違い）、地形の特徴に十分な注意を払う必要があることであり、第2点目は、現象のスケールが100 kmと大きく、かつ立体的に把握しなければならないことである。そして第3点目は、発生源の分布が複

雑で広域である点である。

本研究の当面のテーマは、関東地域における光化学汚染気塊の生成と移流、拡散、変質にどのような要因がどの程度のウェイトで寄与しているのかを明らかにすることであるが、広域にわたる長時間の現象を解明するためには、多数の航空機による同時刻の観測を夜間も含めて連続的に行う必要があり、また、変質過程を解明するためには、炭化水素汚染質の成分分析を、多点にわたり実施する必要がある。

3.2 浮遊粒子状物質（エアロゾル）の高度分布と水平分布*

3.2.1 調査方法

調査は、1978年8月9日～12日の4日間、調布飛行場を基地として行った。調査時刻、飛行コース、天気概況、風系の全体とエアロゾル測定器以外の測定器の概要は、前章までで明らかにされている。

エアロゾル測定器としては、凝結核測定器と光散乱粒子計数器を使用した。凝結核（Condensation Nuclei (C. N.)) 濃度は、Environment/One社製凝結核測定器 Condensation Nuclei Counter (CNC) Model Rich 100型により測定した。この装置は、微小粒子（ほぼ $\leq 0.1 \mu\text{m}$ の粒子）を、断熱膨張により粒子表面上に水分を凝結させ光散乱粒子として、光量の減衰により粒子数濃度を求めるものである。小粒子側の検出限界の粒子径は諸説がある（ $30\sim 50 \text{ \AA}$ ）。しかし微小粒子は凝集速度が大きいので発生源の近くでしか問題にならない。吸引流量は、約2.8 l/分である。測定器は、ほぼ連続の1秒サイクルでデータを出力するが、データレコーダーは、3秒間の平均値を取り込む。航空機の移動距離は、3秒間で約210 mである。

光散乱粒子 Light Scattering Particle (LSP) 濃度測定は、Royco社製光散乱粒子計数器 (Optical Particle Counter (OPC)), Royco Model 225/518を使用した。この測定器は、粒子による前方散乱光により、電圧パルスを発生し、パルス高が粒径に比例すると仮定し、粒径分布を5段階に分けて（ $0.5\sim 0.7$, $0.7\sim 1.4$, $1.4\sim 3$, $3\sim 5 \mu\text{m}$, $5 \mu\text{m}$ 以上）粒子数濃度を示す。吸引流量は約2.83 l/分であり、測定は移動距離約4.2 kmの1分間の積算値を得た。

3.2.2 結果と考察

C. N. とLSP（ $\geq 0.5 \mu\text{m}$ の全粒子）の高度、地域分布は、関東地方での代表地点上の濃度変化として、それぞれ個/mlと個/lの単位で図に示した。NO₂とO₃の濃度変化もppb単位で図に示した。測定機器のトラブルにより測定できたのは、C. N. はRun 4, 6, 9, 10, LSP はRun 6, 9, 10であった。以下各Runにおける特徴的な変化を記す。

Run 4 8月10日 14:00～ 横浜↔幸手

観測飛行コースと高度、水平変化は図9, 10に示されている。この観測で得られたNO₂, O₃, C. N. 濃度の高度、地域変化を図146に示した。

高度1700 m: C. N. 濃度は低く、地域的な差はほとんどない。O₃は自然界のバックグラウンド濃度の約40～50 ppbであった。1200 m: 東名高速道、東北本線間でC. N. 濃度が少し増加している。

* 村野 健太郎

C. N. と O₃ のきれいな正相関が全地域にわたって存在している。

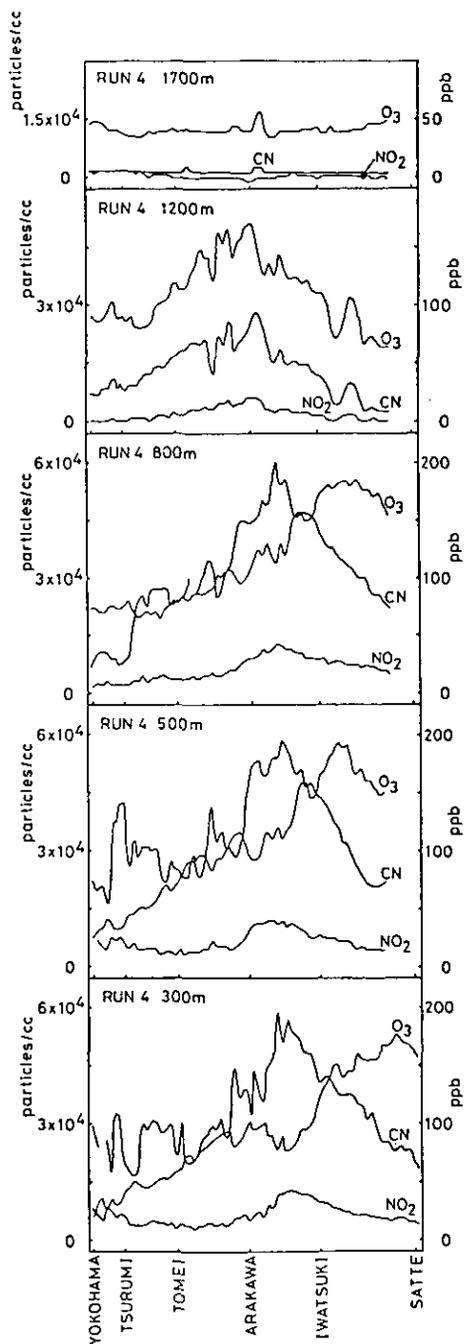


図 146 RUN 4 の観測結果

800 m : 荒川, 岩槻間でさらに C, N, 濃度が増加した。C, N, と NO_2 の正相関は存在するが, 高度 1,200 m と異なり, C, N, と O_3 の相関は全然なく, 岩槻, 杉戸間の O_3 最高濃度 (180 ppb) で C, N, は減少している。500 m : 高度 800 m と同地域の他に, 鶴見川付近の狭い地域で C, N, 濃度がかかなり増加している。この地点では, O_3 が減少し, NO_2 が増加していることから, NO や C, N, の排出源があるものと考えられる。300 m : 高度 500 m とほぼ同様の状況を示しているが, 高度 500 m より後のフライトであるため, O_3 の最高濃度地点が相模湾海風により, 濃度は変化せず, さらに北方 (幸手側) へ移動している。

Run 6 8月11日 11:00~ 横浜↔幸手

観測飛行コースの高度, 水平変化は図13, 14に示されている。この観測で得られた C, N, LSP 濃度の高度, 地域変化を図147, 148に示した。 NO_2 , O_3 , C, N, LSPとも鶴見川, 荒川間で

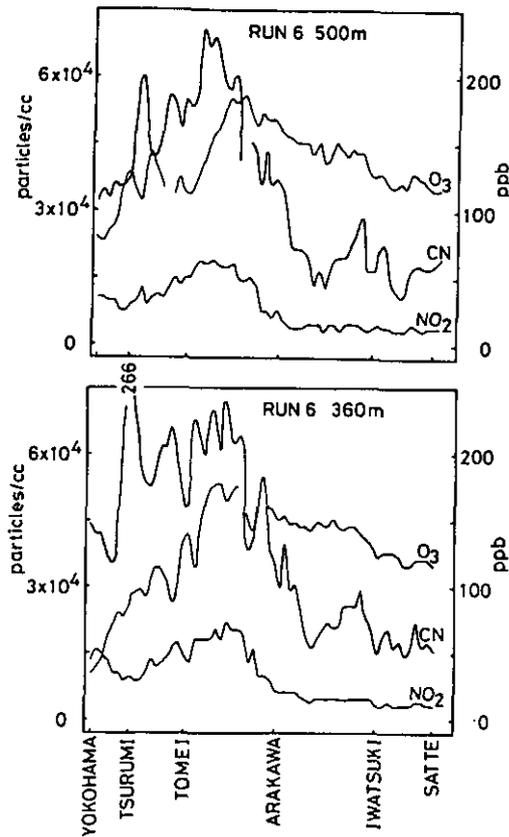


図 147 RUN6 の観測結果

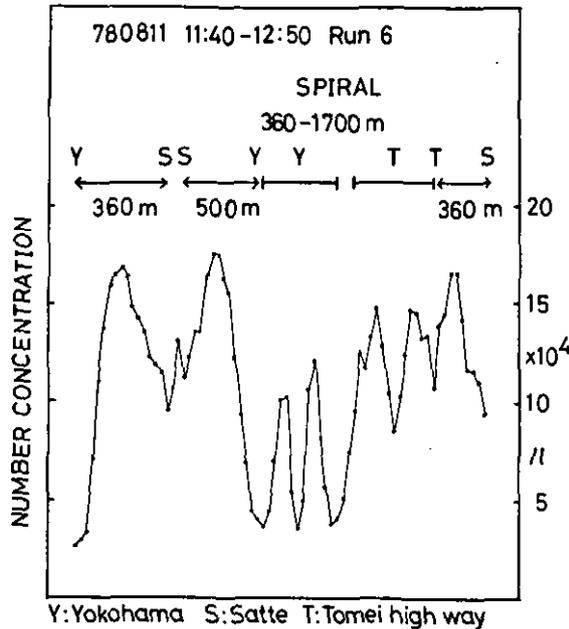


図 148 RUN6 の観測結果 (LSP)

高濃度を示し、360mと500mの2高度では、ほぼ濃度変化はないが、鶴見川付近のC.N.の高濃度は360mの方が著しい。NO₂とC.N.は正相関を示すが、C.N.とO₃は相関がない。横浜↔幸手間のLSPの濃度変化は東京都心部で最高濃度を示し、北方側で濃度が高く、C.N.の濃度変化とは逆の変化を示している。図149に横浜駅、東名高速道上空でのスパイラル飛行における、NO₂、O₃、C.N.の濃度変化を示した。横浜駅上空では、500~600mにNO₂、C.N.の高濃度地域があり、同高度でO₃が減少している。O₃は1200~1400mで最高濃度(170ppb)を示しているが、C.N.は500~1700mでほぼ直線的に減少している。東名高速道上空では、O₃は高度による変化が少なく、C.N.は横浜駅上空と同じパターンであった。横浜駅、東名高速道上空ともスパイラル飛行によるLSP濃度の変化は再現性があり、図148に示したように、360~1700mの間に最高濃度が存在し、C.N.濃度の単調な減少とは異なっていた。

Run 9 8月12日 12:00~ 横浜↔幸手

観測飛行コースの高度、水平変化は図19、20に示されている。この観測で得られたC.N.、LSP濃度の高度、地域変化を図150、151に示した。

高度1700m:全区域にわたりC.N.濃度は低い。1200m:鶴見川、東名高速道間で少しC.N.濃度が増加している。800m:横浜駅、東名高速道間でC.N.濃度が高いが、特に横浜駅、鶴見川

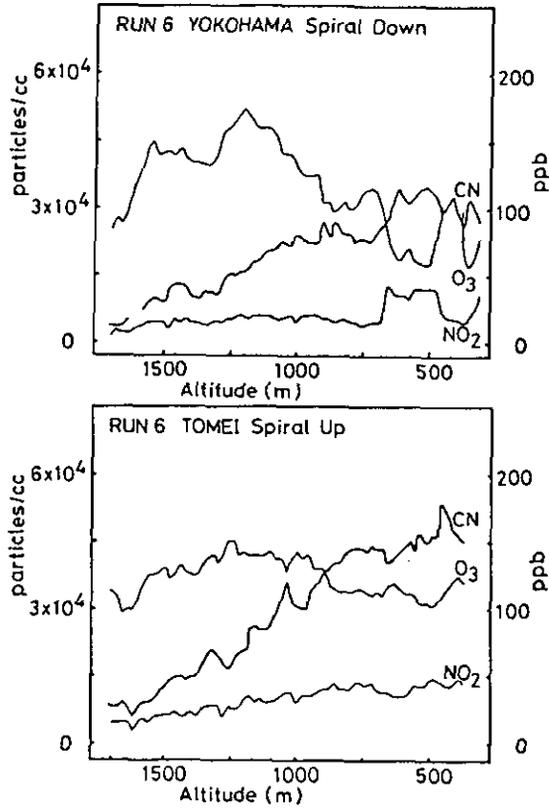


図 149 RUN6 の観測結果
東名高速道路上空の垂直分布。

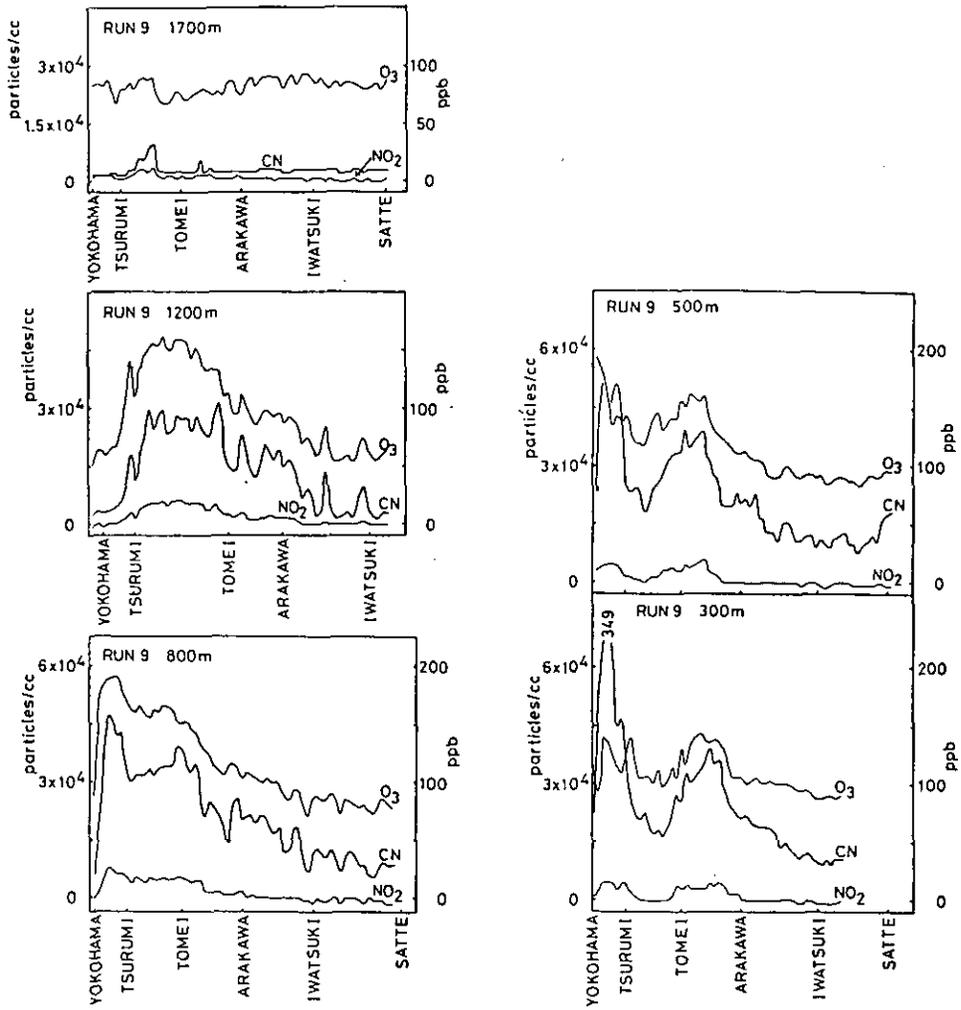


図 150 RUN9の観測結果

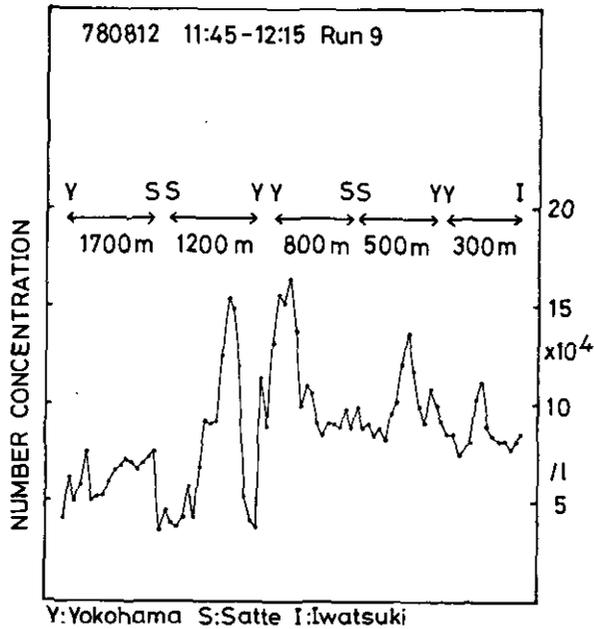


図 151 RUN9の観測結果 (LSP)

間で高濃度を示している。500 m：多摩川上空でC. N. 濃度が減少している。300 m：500 mのフライトの時の都心の高濃度が少し北方へ移動した状況を呈し、横浜駅、鶴見川間でC. N. , NO₂が増加し、O₃濃度が減少している事から、Run 4と同じく排出源が存在するものと考えられるが、LSP濃度は同地域で増加していない。NO₂、O₃、C. N. 濃度は全高度で正相関を示している。LSP濃度は、1700 mを除く全高度で東名高速道上空において、その高度の最高濃度を示しているが、1200 m、800 mの時は最高濃度である。500 m、300 m では全区域にわたり、濃度が平均化している。この事は、Run 6のスパイラル飛行で現れたLSP濃度の1000 m前後でのピークと対応している。Run 4、6、9より、鶴見川付近に排出源が存在する事、東名高速道、荒川間がO₃、C. N.、LSP濃度が高い地域である事が明らかになった。この高濃度域は、相模湾の海風により、埼玉県側へ少しずつ運ばれ、時刻を経るにつれて、東名高速道、新宿、荒川と移動する事が他のRunのO₃濃度の測定も含めて明らかになった。

Run 10 8月12日 15:00～ 横浜↔松戸 流山↔浦和↔所沢↔町田

観測飛行コースの高度、水平変化は図21、22に示されている。この観測で得られたNO₂、O₃、C. N.、LSP濃度の高度、地域変化を、図152、153、154に示した。横浜、松戸間のフライト

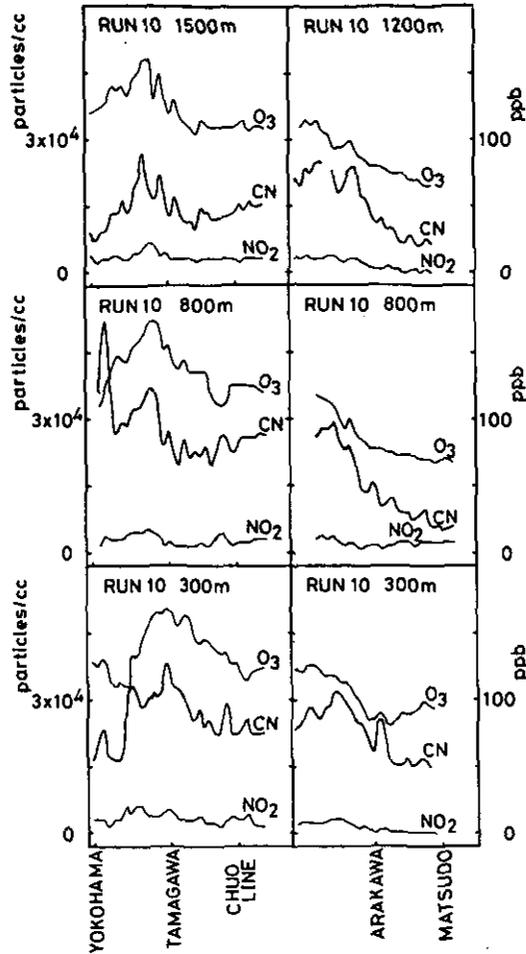


図 152 RUN10の観測結果

では東名高速道、荒川間で C.N. 濃度が高く、Run 9 と同様である。鶴見川付近の排出源の地点を除くと、全高度において、C.N. と O₃ のきわめて良い正相関が存在している。図 152, 153 から明らかなように、松戸方面と流山、浦和間では O₃、C.N. 濃度とも低く、所沢、町田間では高濃度を示している。流山、町田間では全高度、全区域にわたり、O₃、C.N. 両濃度間の正相関が存在していた。このフライトコースでは、松戸↔流山↔浦和に、O₃、C.N. 濃度のかなり低い地域が存在している。LSP 濃度の変化も図 154 で明らかなように、同じ様相を呈している。松戸、流山より東側には大きな汚染源がなく、海風が鹿島灘から吹き込み、この地域の低濃度を出現

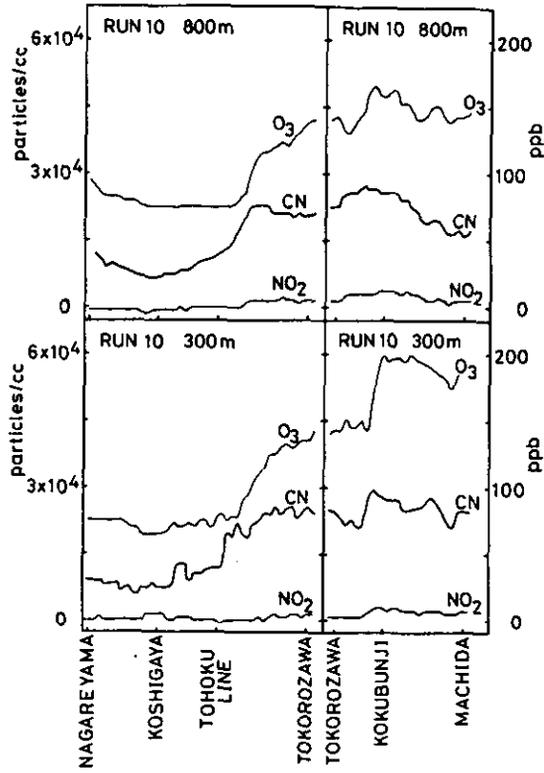


図 153 RUN10の観測結果

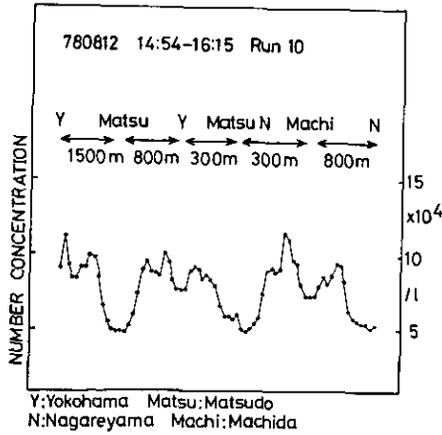


図 154 RUN10の観測結果 (LSP)

させるものと考えられる。

3.2.3 まとめ

光化学スモッグの発生しやすい時期に、東京首都圏地域の上空のエアロゾルが、いかなる濃度で、高度分布、水平分布しているかを調査した。セスナ402に、温度、湿度、紫外線量、一酸化窒素、窒素酸化物、オゾン、凝結核、光散乱粒子の測定器を設置し、航空機のノーズから大気のサンプリングを行い、各項目を測定した。地上の風向、風速測定による風系も参考にし、東京首都圏地域上空のエアロゾルの濃度変化より、以下の結論を得た。

- 1) 東名高速道、荒川間が、オゾン、凝結核、光散乱粒子濃度の高い地域であり、この汚染気塊は、相模湾の海風により内陸部へ運ばれ、時刻が過ぎるにしたがい東名高速道、新宿、荒川と北方へ移動する。
- 2) 鶴見川付近に局所的な排出源が存在する。
- 3) 凝結核濃度は、高度が上昇するに伴い単調に減少し、光散乱粒子濃度は、360m～1700m間で最高濃度を示す。
- 4) 松戸、流山より東側には大きな汚染源がなく、海風が鹿島灘から吹き込み、松戸、流山、浦和間で、オゾン、凝結核、光散乱粒子濃度が、かなり低い。

第4章 結 論*

環境大気中における光化学二次汚染物質生成機構の解明を目的として航空機を用いた立体分布観測を行い、以下の結果が得られた。

地上データの解析について

夏季の季節風が比較的弱く、局地気流循環が顕著に発達した1978年8月9日から12日にかけての関東地方143か所の地上観測局の観測データを用いて、広域大気汚染の地域分布と気流分布との関連性を検討した結果、次のようなことが明らかとなった。

- 1) 首都圏周辺地域の夏季の主要な局地風系は、東京湾周辺の海陸風、相模湾方面からの南風、鹿島方面からの東風、西部の山岳地帯からの西風、及び北部の山岳地帯からの北風の5種の風系である。
- 2) 日中の高濃度オキシダントの出現と持続および高濃度地域の広がりと移動には、主に相模湾方面からの南風、鹿島方面からの東風、および北部山塊からの北風の間形成される収束域の果たす役割りが重要である。
- 3) 南からの海風が午前中から内陸に侵入する場合にはオキシダントの高濃度域は東京都西部から埼玉県にかけての地域と、埼玉県東部地域の2か所に出現することが多く、これに対して東京都心地域はオキシダントが低く、 NO_x が高い傾向にある。都心地域では、自動車等による移動発生源からの NO_x 排出量が多いため、これらの一次汚染物質が O_3 を破壊することにより、このような地域分布が形成される。
- 4) 西部と北部の山岳地帯からの山風により形成される収束域や、これらの山風と、海風との間に形成される収束域において夜間に高濃度の NO_x が観測された。

これらの結果は、関東地方における日中の高濃度オキシダントの解明にあたっては、広域かつ長時間にわたっての現象の把握が重要であることを示している。すなわち夜間に風の収束域に滞留している汚染気塊や、海上に流出した汚染気塊が、翌日の濃度分布に果たす役割りを定量的に明らかにする必要があるといえる。

我が国におけるこれまでの地域濃度分布解析のほとんどが、日中の平野部の現象解析に限られていたため本研究で明らかにされたような事実が指摘されたことはなかったが、関東地方のような閉鎖系大気場が形成されやすいところでは、2日以上にわたる現象として光化学大気汚染を把握すること

* 奥田典夫

が極めて重要である。今後、これらの問題を解明するためには特に山岳地帯周辺での観測や、伊豆半島東部および海上での観測が望まれる。

上空データの解析について

1978年8月9日から12日にかけて10回の航空機観測を実施し、上空1700 mまでの汚染物質と気象のデータを把握した。これらのデータを解析した結果以下の結論が得られた。

- (1) 関東地方における光化学汚染現象の時間スケールは、一般風が弱い場合には2日以上にわたることもある。8月9日の観測結果によれば、早朝から午前中にかけて上空に高濃度の O_3 が認められた。この高濃度の O_3 は前日に光化学反応により生成されたものであり、その濃度は100 ppb以上であった。
- (2) 光化学汚染現象の空間的なスケールは、関東全域におよび、南西風が卓越する時は栃木県方面で、また鹿島方面からの東風が、南西の季節風と重合する時は埼玉県地域で高濃度のオキシダントが出現する傾向がある。特に西部の山沿い地域では弱風域が形成されやすいため地上においても上空においても午後から夜間にかけて高濃度が持続する。

フィールドにおける観測データをもとにして得られたこれらの解析結果は、環境大気中における光化学大気汚染現象解明のための重要な手がかりを与えるとともに、今後の研究の課題や方向性を示している。そのいくつかを以下に示す。

まず第一に長時間、および広域の立体的な現象を再現出来るモデルの開発が必要である。

長時間スケールのモデルを開発するためには、光化学反応による中間生成物質の挙動や、沈着現象を明らかにする必要がある。さらに、今回の観測で明らかにされた夜間から早朝にかけての上空の高濃度層が翌日の反応にどう寄与するかを明確にさせる必要がある。

第二は、複雑な地形場が、風の立体構造に及ぼす効果を明らかにすることである。我が国における光化学オキシダントの高濃度発生地域の大部分は、海岸線と山岳部が複雑に入り組んだ地域で発生している。このような地域では海陸風、山谷風と一般風が相互作用を及ぼし、その挙動は単純ではない。これまでに多くの研究者により海陸風の実態はある程度解明されてきたが、山谷風は観測が困難なこともあって、ほとんどその実態が知られていない。今回の観測でも関東西部の山岳地域周辺で長時間にわたって高濃度汚染が持続する現象が認められた。広域の風の場合と、光化学汚染物質の輸送現象についての解明も必要である。

第三は、環境大気中における汚染物質の立体的な観測システムに関する手法を確立することである。環境大気中での光化学二次汚染物質の変質過程を把握するためには、航空機等を用いた観測システムを開発する必要がある。このシステムは特定の汚染気塊の挙動を実時間レベルで予測し、その濃度を高分解能、高精度で計測出来るものでなければならない。HC各種成分や、アルデヒド類などの中間生成物質等の航空機を用いた観測システムの開発が望まれる。

国立公害研究所特別研究成果報告

- 第 1 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究——霞ヶ浦を対象域として。(1977)
第 2 号 陸上植物による大気汚染環境の評価と改善に関する基礎的研究——昭和51/52年度 研究報告。(1978)

(改 称)

国立公害研究所研究報告

- 第 3 号 A comparative study of adults and immature stages of nine Japanese species of the genus *Chironomus* (Diptera, Chironomidae). (1978)
(日本産ユスリカ科 *Chironomus* 属 9 種の成虫, サナギ, 幼虫の形態の比較)
- 第 4 号 スモッグチャンバーによる炭化水素——窒素酸化物系光化学反応の研究——昭和52年度 中間報告。(1978)
- 第 5 号 芳香族炭化水素——窒素酸化物系の光酸化反応機構と光酸化二次生成物の培養細胞に及ぼす影響に関する研究——昭和51/52年度 研究報告。(1978)
- 第 6 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(II)——霞ヶ浦を中心として。(1979)
- 第 7 号 A morphological study of adults and immature stages of 20 Japanese species of the family Chironomidae (Diptera). (1979)
(日本産ユスリカ科20種の成虫, サナギ, 幼虫の形態学的研究)
- 第 8 号 大気汚染物質の単一および複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究——昭和52/53年度 研究報告。(1979)
- 第 9 号 スモッグチャンバーによる炭化水素——窒素酸化物系光化学反応の研究——昭和53年度 中間報告。(1979)
- 第 10 号 陸上植物による大気汚染環境の評価と改善に関する基礎的研究——昭和51/53年度 特別研究報告。(1979)
- 第 11 号 Studies on the effects of air pollutants on plants and mechanisms of phytotoxicity. (1980)
(大気汚染物質の植物影響およびその植物毒性の機構に関する研究)
- 第 12 号 Multielement analysis studies by flame and inductively coupled plasma spectroscopy utilizing computer-controlled instrumentation. (1980)
(コンピュータ制御装置を利用したフレイムおよび誘導結合プラズマ分光法による多元素同時分析)
- 第 13 号 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1980)
Part 1. The distribution of chironomid species in a tributary in relation to the degree of pollution with sewage water.
Part 2. Description of 20 species of Chironominae recovered from a tributary.
(多摩川に発生するユスリカの研究
——第1報 その一支流に見出されたユスリカ各種の分布と下水による汚染度との関係——
——第2報 その一支流に見出された Chironominae 亜科の20種について——)
- 第 14 号 有機廃棄物, 合成有機化合物, 重金属等の土壌生態系に及ぼす影響と浄化に関する研究——昭和53, 54年度 特別研究報告。(1980)
- 第 15 号 大気汚染物質の単一および複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究——昭和54年度 特別研究報告。(1980)
- 第 16 号 計測車レーザーレーダーによる大気汚染遠隔計測。(1980)
- 第 17 号 流体の運動および輸送過程に及ぼす浮力効果——臨海地域の気象特性と大気拡散現象の研究——昭和53/54年度 特別研究報告。(1980)

- 第 18 号 Preparation, analysis and certification of PEPPERBUSH standard reference material. (1980)
(環境標準試料「リョウブ」の調製、分析および保証値)
- 第 19 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(III)——霞ヶ浦(西浦)の湖流——昭和53/54年度。(1981)
- 第 20 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(IV)——霞ヶ浦流域の地形、気象水文特性およびその湖水環境に及ぼす影響——昭和53/54年度。(1981)
- 第 21 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(V)——霞ヶ浦流入河川の流出負荷量変化とその評価——昭和53/54年度。(1981)
- 第 22 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(VI)——霞ヶ浦の生態系の構造と生物現存量——昭和53/54年度。(1981)
- 第 23 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(VII)——湖沼の富栄養化状態指標に関する基礎的研究——昭和53/54年度。(1981)
- 第 24 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(VIII)——富栄養化が湖利用に及ぼす影響の定量化に関する研究——昭和53/54年度。(1981)
- 第 25 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(IX)——*Microcystis* (藍藻類)の増殖特性——昭和53/54年度。(1981)
- 第 26 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(X)——藻類培養試験法による AGP の測定——昭和53/54年度。(1981)
- 第 27 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(XI)——研究総括——昭和53/54年度。(1981)
- 第 28 号 複合大気汚染の植物影響に関する研究——昭和54/55年度特別研究報告。(1981)
- 第 29 号 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1981)
Part 3. Species of the subfamily Orthoclaadiinae recorded at the summer survey and their distribution in relation to the pollution with sewage waters.
Part 4. Chironomidae recorded at a winter survey.
(多摩川に発生するユスリカ類の研究
——第3報 夏期の調査で見出されたエリユスリカ亜科 Orthoclaadiinae 各種の記載と、その分布の下水汚染度との関係について——
——第4報 南浅川の冬期の調査で見出された各種の分布と記載——)
- 第 30 号 海域における富栄養化と赤潮の発生機構に関する基礎的研究——昭和54/55年度 特別研究報告。(1982)
- 第 31 号 大気汚染物質の単一および複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究——昭和55年度 特別研究報告。(1981)
- 第 32 号 スモッグチャンバーによる炭化水素窒素酸化物系光化学反応の研究——昭和54年度 特別研究報告——環境大気中における光化学二次汚染物質生成機構の研究(その1)。(1982)

Report of Special Research Project the National Institute for Environmental Studies

- No. 1* Man activity and aquatic environment – with special references to Lake Kasumigaura – Progress report in 1966. (1977)
- No. 2* Studies on evaluation and amelioration of air pollution by plants – Progress report in 1976-1977. (1978)

[Starting with Report No. 3, the new title for NIES Reports was changed to:]

Research Report from the National Institute for Environmental Studies

- No. 3 A comparative study of adults and immature stages of nine Japanese species of the genus *Chironomus* (Diptera, Chironomidae). (1978)
- No. 4* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system – Progress report in 1977. (1978)
- No. 5* Studies on the photooxidation products of the alkylbenzene-nitrogen oxides system, and on their effects on Cultured Cells – Research report in 1976-1977. (1978)
- No. 6* Man activity and aquatic environment – with special references to Lake Kasumigaura – Progress report in 1977-1978. (1979)
- No. 7 A morphological study of adults and immature stages of 20 Japanese species of the family Chironomidae (Diptera). (1979)
- No. 8* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants – Research report in 1977-1978. (1979)
- No. 9* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system – Progress report in 1978. (1979)
- No.10* Studies on evaluation and amelioration of air pollution by plants – Progress report in 1976-1978. (1979)
- No.11 Studies on the effects of air pollutants on plants and mechanisms of phytotoxicity. (1980)
- No.12 Multielement analysis studies by flame and inductively coupled plasma spectroscopy utilizing computer-controlled instrumentation. (1980)
- No.13 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1980)
 - Part 1. The distribution of chironomid species in a tributary in relation to the degree of pollution with sewage water.
 - Part 2. Description of 20 species of Chironominae recovered from a tributary.
- No.14* Studies on the effect of organic wastes on the soil ecosystem – Progress report in 1978-1979. (1980)
- No.15* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants – Research report in 1979. (1980)
- No.16* Remote measurement of air pollution by a mobile laser radar. (1980)
- No.17* Influence of buoyancy on fluid motions and transport processes – Meteorological characteristics and atmospheric diffusion phenomena in the coastal region. (1980)
- No.18 Preparation, analysis and certification of PEPPERBUSH standard reference material. (1980)
- No.19* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Lake current of Kasumigaura (Nishiura) – 1978-1979. (1981)
- No.20* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Geomorphological and hydro-meteorological characteristics of Kasumigaura watershed as related to the lake environment – 1978-1979. (1981)

- No.21* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Variation of pollutant load by influent rivers to Lake Kasumigaura – 1978-1979. (1981)
- No.22* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Structure of ecosystem and standing crops in Lake Kasumigaura – 1978-1979. (1981)
- No.23* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Applicability of trophic state indices for lakes – 1978-1979. (1981)
- No.24* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Quantitative analysis of eutrophication effects on main utilization of lake water resources – 1978-1979. (1981)
- No.25* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Growth characteristics of *Microcystis* – 1978-1979. (1981)
- No.26* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Determination of algal growth potential by algal assay procedure – 1978-1979. (1981)
- No.27* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Summary of Researches – 1978-1979. (1981)
- No.28* Studies on effects of air pollutant mixtures on plants – Progress report in 1979-1980. (1981)
- No.29 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1981)
 Part 3. Species of the subfamily Orthocladiinae recorded at the summer survey and their distribution in relation to the pollution with sewage waters.
 Part 4. Chironomidae recorded at a winter survey.
- No.30* Eutrophication and Red Tides in the coastal marine environment – Progress report in 1979-1980. (1982)
- No.31* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants – Research report in 1980. (1981)
- No.32* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system-Progress report in 1979 – Research on the photochemical secondary pollutants formation mechanism in the environmental atmosphere (Part 1). (1982)
 * in Japanese