

ヘリコプターによる汚染物質の測定とその問題点

中 浦 久 雄 京 田 三 恵 福 岡 三 郎
大 平 俊 男

1. はじめに

光化学スモッグの汚染機構の解明には、実験室的にはスモッグチャンバー等により研究が進んでいるが、フィールドにおける反応機構は、これら閉鎖系空間とちがいより複雑な反応を呈している。

また、地表面付近における汚染物質の測定とともに、上空の汚染物質、気象状況を把握し、立体的に汚染機構をとらえる必要がある。

大気汚染物質を立体的に調査するには塔体、カイツーン、ヘリコプター、リモートセンシング等が用いられているが、塔体は測定地点に限られ、測定高度にも制約がある。カイツーンは測定地点が比較的任意に選べるが、高度(500m位まで)に制限があり、また風速が5 m/s

程度以上であると測定できない等の欠点がある。ヘリコプターは測定地点、高度とも比較的自由に選定でき、多地点上空での連続測定が可能である。

ここでは、ヘリコプターによる大気汚染物質の調査の方法と測定結果の一部について報告する。

2. 調査方法

(1) 測定項目および使用機器

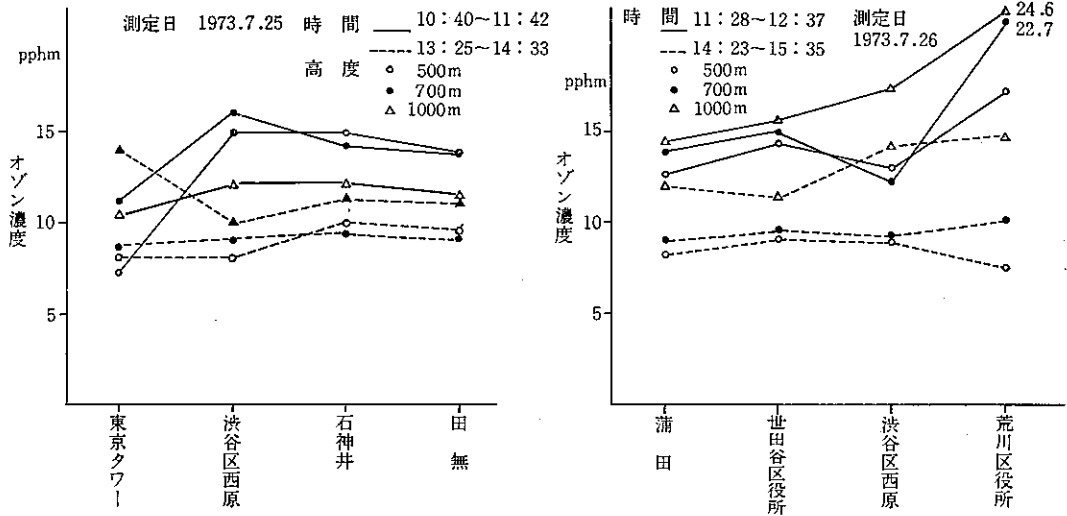
オゾン(化学発光法)……………紀本電子工業株式会社
二酸化硫黄(導電率法)……………紀本電子工業株式会社
窒素酸化物(ザルツマン法)……………紀本電子工業株式会社
温度(サーミスタ温度計)……………小笠原測器株式会社

(2) 測定方法

表1 ヘリコプターによる調査概要(1973年)

測定日	測定時間	測定場所(飛行コース)	測定高度(m)	備考
5月30日	10:21~11:20 13:33~14:33	東京タワー→新宿→高円寺→田無	300, 500, 700	
5月31日	10:31~11:38 14:45~15:45	蒲田→世田谷区役所→新宿→荒川区役所 →墨田区向島	300, 500, 700	
7月25日	10:40~11:42 13:25~14:33	東京タワー→渋谷区西原→石神井→田無	500, 700, 1000	
7月26日	11:28~12:37 14:23~15:35	蒲田→世田谷区役所→渋谷区西原→荒川区役所	500, 700, 1000	
8月3日	10:35~11:48 13:46~15:00	調布→八王子→花小金井→巣鴨 →亀戸→豪徳寺→調布	300	水平飛行
9月26日	10:14~11:26 13:16~14:27	東京タワー→高円寺→立川→青梅	300, 500, 700	
9月27日	10:11~11:08 13:21~14:40	蒲田→世田谷区役所→新宿→池袋→亀戸	300, 500, 700	

図1 地点別、高度別オゾン濃度分布



汚染物質の立体調査は、高度別汚染の把握として鉛直分布、また上空の広域的な汚染の把握として水平分布に分けられるが、これら汚染物質の測定とともに大気安定度が鉛直分布に大きな影響を与えているものと思われるので、これらと同時に気温分布を測定した。

① 鉛直分布

各測定地点の、高度300m, 500m, 700m, 1000mにおいて2~3分間旋回し測定する。旋回半径は約350m 高度間の上昇率は約200m/minである。

② 水平分布

高度300mで旋回し測定を行う。飛行速度は約130km/hである。

③ 気温分布

高度1500mまで上昇し、旋回半径約350m, 下降率200m/minで下降しながら気温と汚染物質の測定を行う。

(3) 試料採取方法

ヘリコプターで飛行中、ローターによるダウンウォッシュで気流が乱れるので、採取位置はこれらの影響のない所を選定しなければならない。ヘリコプターにおけるローターのダウンウォッシュ効果については、渡辺らが行っているが¹⁾、それによるとスキッド先端が比較的影響が少ないようである。

このことにより、ヘリコプター前面下部が影響が少ないと思われる。サンプリング用テフロンチューブをパイロット用ドアの窓から出し、ヘリコプターのピトー管静圧測定感部付近に動圧の影響を取り除くために飛行方向

と反対方向にチューブの先端を取り付けた。

温度計感部は飛行方向に向けステップに取り付けた。

(4) 測定機器等の電源

ヘリコプター調査における大きな問題点の一つに搭載する測定機の電源の確保がある。

ヘリコプターに測定機を設置後、飛行前に測定機の調整を必要とするが、地上においては交流100Vを使用し、ヘリコプターのエンジンが始動してから電源をバッテリー電源に切換えて使用する。ヘリコプター機上電源またはバッテリー(12V-50AH)を直列にして直流24Vを取り出し、ローターインバーターで交流100Vに変換する。なお機上電源は、一般的には直流28Vなので入力24V用インバーターを用いると電圧、周波数変動があるので注意を要する。できれば、機上電源を24Vに下げて使用するのがのぞましい。

3. 測定結果

ヘリコプターによる汚染物質測定結果の一例として、1973年のオゾン濃度調査結果を以下に紹介する。1973年のヘリコプターによる調査は、表1に示すように実施されている。

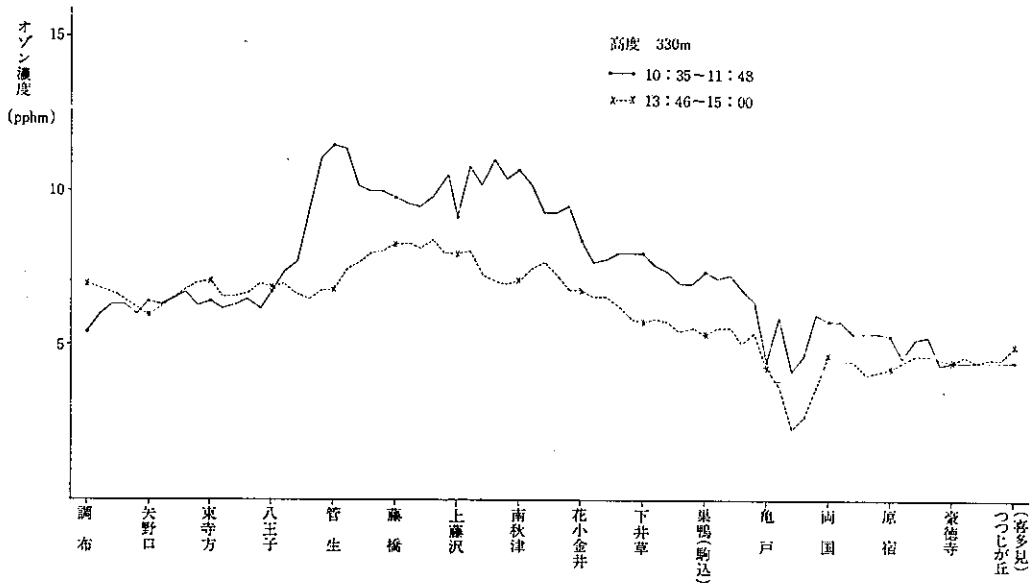
(1) オゾン(以下 O₃)濃度の高度別分布

O₃濃度高度別分布を O₃濃度が比較的高かった7月25日・26日について図1に示す。

[7月25日]

上空の O₃濃度は、東京タワーを除く各地点とも午前

図2 オゾン濃度水平分布 (1973. 8. 3)



より午後のほうが低い。地上オキシダント(以下 O_x)濃度も、午後は風が強くなったため低濃度となっている。一般的に各地点とも地上 O_x と上空の O_3 濃度は良く対応している。高度別では、東京タワーを除いて高度 300 m, 500mの濃度差はない。また高度 1000m においては午前・午後の濃度変化が他高度に比べ小さい。

[7月26日]

前日と同様、上空 O_3 濃度は午前より午後のほうが低く、荒川は午前かなり高濃度となっている。高度別 O_3 濃度は、午前・午後とも高度 1000m がいちばん高い。また 1000m に比べ 700m, 500m は午後急激に濃度が減少している。すなわち上空 O_3 濃度は、下層ほど濃度低下が早いようである。

(2) O_3 濃度の水平分布

高度 300m における O_3 濃度水平分布測定結果を図 2 に示す。

この日は朝から南成分の風が強く、また気温も高い。午前・午後とも水平分布パターンは似ているが、午前のほうが濃度は高い。一般的に内陸部が高く、亀戸・両国など城東地区の濃度が低い傾向にある。上空 300m の気層内においても、地域によってかなりの濃度変動があることは注目されよう。

O_3 濃度の水平方向の変動は、(1)の高度別測定におい

て、かなりせまい範囲でみられている。高度別測定では、各高度 3 分間直径約 700m 程度の範囲を旋回し測定を行うが、同一高度旋回中かなり O_3 濃度に変動が現われている。例えば 5 月 31 日世田谷上空の測定において、高度 300m 旋回中濃度瞬時値の最高は 8.7pphm、最低は 5.0pphm と 3.7pphm の濃度差がみられた。高度 500m, 700m と上空にいくほど、この濃度差は少なくなっている。

(3) O_3 濃度高度別分布と大気安定度の関係

高度 1500m までの測定を行い、 O_3 濃度の鉛直分布と大気安定度との関係について検討してみたところ、次の三つのパターンに分類できる。

① 安定層内部で著しく O_3 濃度が減少するタイプ

5 月 31 日 14 時 54 分～15 時 12 分、7 月 25 日 11 時 47 分～11 時 56 分の測定結果がこのタイプに属し図 3 に示す。

この結果から安定層より下方の混合層内においては、垂直混合も活発で一様に光化学反応が起っており、安定層では一次二次汚染物質の拡散が妨げられ、そのため O_3 濃度が減少あるいは低濃度 O_3 が一様に分布するといった汚染機構が考えられ、リッド(蓋)の典型的な姿とみることができる。

② 安定層内部に O_3 濃度のピークがあるタイプ

5 月 30 日 13 時 33 分～13 時 50 分、7 月 26 日 15 時 42 分～15

時52分の測定結果がこのタイプに属し、図4に示す。

5月30日は高度1400mの濃度変化で、それより下方800～900mにある等温層ではO₃濃度の変化は起きていない。7月26日は11時47分～11時52分の測定で、O₃濃度は1000mまで13pphmと一定であるが、15時42分～15時52分の測定においてO₃濃度のピークが午前中の同一高度における濃度と一致することから考えて、安定層を是んで上下の混合層においては午後の強い風によって汚染物質の拡散希釈が活発に行われ、O₃濃度の低下をきたしているのに対し、安定層内においては拡散希釈能力が弱いため、午前中のO₃濃度の残留がみられているのではないと思われる。

③ 安定層の形成がO₃濃度変化に関係ないタイプ

8月3日15時6分～15時13分、9月27日13時42分～13時56分の測定結果がこのタイプに属し、図5に示す。

8月3日の場合は500～700mに安定層が形成されているのに、O₃濃度のほうが高度別一様に分布している。12時のパイロットバルーン観測結果によると、地上から600m位まで10m/s近い南風が吹いており、汚染物質濃度は鉛直拡散より水平拡散によって支配されていると思

われる。9月27日の場合も同様な現象が現われている。このような現象が出現するのは、大気安定層が弱いことと気象要素たとえば風速・気温などが影響しているものと思われる。

以上三つのタイプについて述べたが、このような観測はロスアンゼルスで小型飛行機を使用して行われており、次の結果を得ている²⁾。

- (i) 逆転層下層に一樣なO₃高濃度が出現し、逆転層内で減少している。
- (ii) 逆転層内でO₃濃度のピークが多層にわたって出現している。
- (iii) 逆転層内で高濃度のO₃層が存在している。

このように、東京での観測とほぼ同様な結果であるが、ロスアンゼルスにおいては逆転層の深さが300～900mで、その間の温度差が5～18℃、O₃最高濃度は35pphmと東京での観測と比較してかなり強い大気安定状態であることがわかる。

4. ヘリコプターによる測定上の問題点

ヘリコプターによる測定は、必然的に地上で行う測定

図3 オゾン濃度と気温の高度別分布

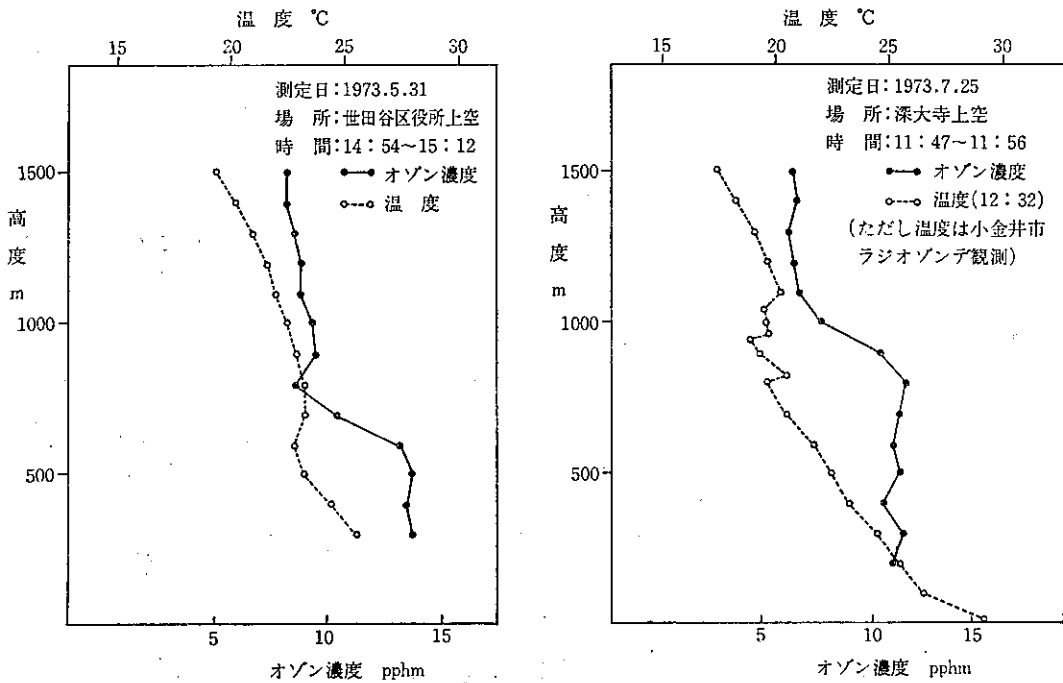


図4 オゾン濃度と気温の高度別分布

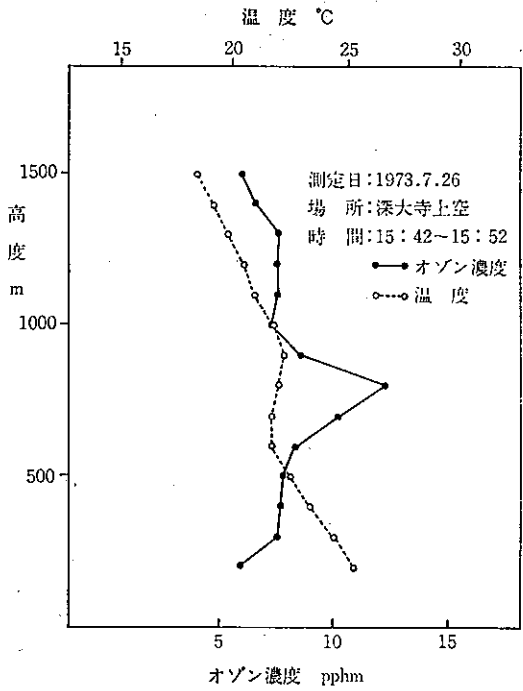
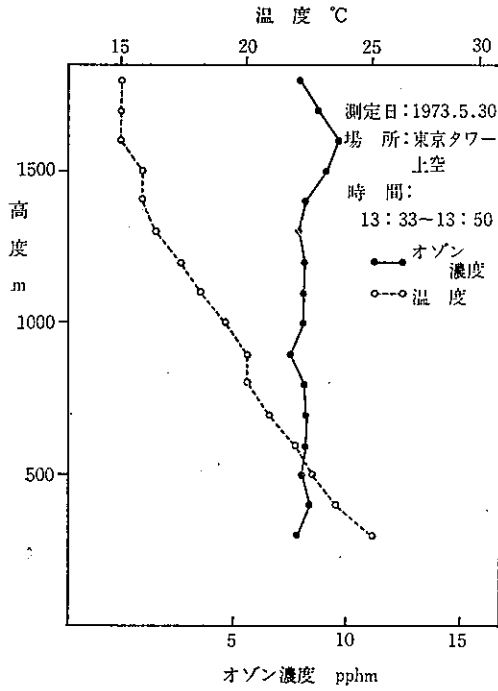
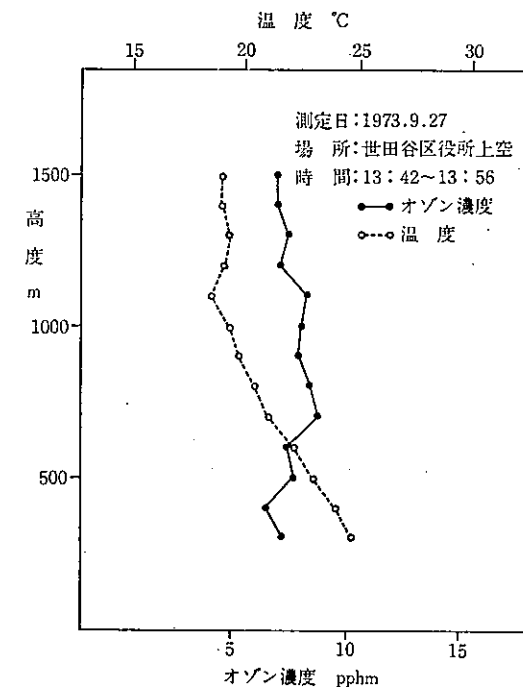
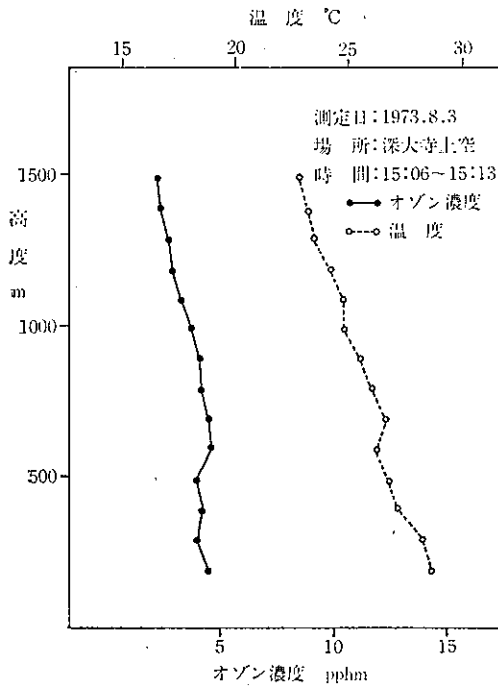


図5 オゾン濃度と気温の高度別分布



とは異なり困難な点が多く、特に測定法・測定装置および飛行時間等に制限されている。測定法は一般的に手分析で O_3 、 SO_2 等が測定されていたが、最近連続的に測定できる自動分析装置が開発され測定に利用されるようになってきた。ヘリコプター搭載に適する自動測定機は連続測定が可能で、測定方法が簡便であり、装置は小型、軽量、応答時間が早く、記録計に接続できる出力を有する等の性能を必要としている。

ここでは、ヘリコプター搭載用測定機および調査方法の問題点について検討してみる³⁾。

(1) 測定機

① オゾン

化学発光法を利用した測定機で 90% 応答が 10 秒と早く、装置も小型である。地上 O_3 濃度と対比するために測定機の校正は 10% KI 法で行った。測定上の問題点としては、上空の気圧・気温の変動により反応チャンパー内の気圧、温度変化が測定値にどう影響するかである。この点については、気温、気圧変動時におけるキャリブレーションの実施などを検討する必要があるだろう。

光化学スモッグの基準となっている O_3 は一般に 10% KI 溶液を用いる比色法であり、応答時間が遅いのでヘリコプター調査には適していない。

② 二酸化硫黄

溶液導電率により、大気吸引量 $1\ell/\text{min}$ 、反応液送液量 $0.8\text{ml}/\text{min}$ で試料吸収部はスパイラル管による瞬間連続測定機である。応答時間は遅く 90% 応答で約 6 分間である。大気と吸収液の接触時間が約 1 分間位であり、捕収効率とのかねあいから、湿式法においては応答速度がどうしても遅くなる傾向にある。

③ 窒素酸化物

(i) ザルツマン法

ザルツマン試薬による比色法で吸収発色部はパプラーを用い、 $NO \cdot NO_2$ の応答速度を早めるため並列測定にした。大気と吸収液が反応し測定されるまで約 1 分間位であるが、一般的に NO_2 が反応して十分発色するまで 1⁵ 分位を要するといわれるが、反応後十分発色しない状態で測定してしまい、満足な結果が得られない。また比色部の光源が不安定でゼロドリフトが起る。このように、ザルツマン法で反応速度を早めるには限界があり、ヘリコプター調査には適さないようである。

(ii) 化学発光法

NO と O_3 が反応し発光することを利用した測定機で $NO \cdot NO_2$ を 30 秒ごとに測定し、応答時間も比較的早く電力消費量 (約 350W) が多いのを除けばヘリコプター調査に適していると思われる。また上空 (4000 ft) においてゼロ・スパンをチェックしたところ約 3% 程度の誤差であった。しかし上空における気圧・気温・湿度等の変動が測定機に与える影響について、さらに検討を加える必要がある。

④ 炭化水素

光化学スモッグの解明に炭化水素の測定が必要であるが、現在のところヘリコプター搭載に適した自動測定機は開発されておらず、テフロンバック等に試料を採取し地上でガスクロ等で分析するしか方法がない。

⑤ 温度

立体調査において気温測定は、大気安定状態の把握に重要な要素の一つである。応答時間を早くするために、感部にサーミスター素子を用いた温度計を使用している。

(2) 調査方法の問題点

ヘリコプターによる調査は飛行条件・飛行方法など測定に制約されることが多いが、これらの条件を十分に把握し、無理のない飛行計画を立て、事故を起さないよう心がけるべきである。ヘリコプター調査における長所・短所としては次のような点があげられる。

① 長所

- (i) 比較的自由に飛行コースが選定でき、短時間に広範囲の地点上空で連続測定することができる。
- (ii) カイツーンなどと異なり、目的に応じた高度での観測が可能である。
- (iii) 小型・軽量な自動測定機が搭載でき、連続的に記録することができる。

② 短所

- (i) 東京国際空港・立川・横田基地等飛行管制区域内での飛行ができないので、測定場所は制限される。
- (ii) 一般的に光化学スモッグ出現時は視程が悪いといわれているが、飛行条件は視程 5 km 以上、最低雲高 1000 ft 以上でないとい飛行の許可がおりない。
- (iii) 飛行継続時間 (約 2 時間位) が短いため長時間の測定はできない。
- (iv) 飛行高度は市街地上空では地上より 1000 ft 以上でなければならない、低層での測定ができない。

(v) ヘリコプターをチャーターするため、調査期間が限定され、大気汚染の悪化した最適の条件下で測定できるとは限らない。

(vi) 飛行中、ヘリコプターの振動により測定機に何らかの影響があるものと思われる。

5. むすび

ヘリコプターによる上空の汚染物質測定は、光化学スモッグなどの大気汚染機構解明に重要な手がかりを与えることが前述の測定結果からも理解されよう。とくに、大気安定層と汚染物質濃度との関係については、ヘリコプター調査によってのみ知ることができるといっても過言ではない。

このように大気汚染機構究明にとって重要なヘリコプター調査は、地上測定と異なって多くの制約があり、調

査を実施するにあたって解決せねばならない問題点が多い。ヘリコプター調査自身も持っている短所については早急に解決することはむずかしいが、飛行方法、電源、測定機などの諸問題については検討を急がねばならないだろう。

参 考 文 献

- 1) 渡辺好弘他：ヘリコプターによる大気温度測定の実験(1), 天気, Vol. 19, (9), 31 (1972)
- 2) J. G. Edinger : Vertical Distribution of Photochemical Smog in Los Angeles Basin, Environmental Science & Technology, Vol. 7, (3), 247 (1973)
- 3) 一都三県公害防止協議会：一都三県光化学スモッグ報告書, 昭和48年5月, 昭和49年4月