

# オゾン濃度の平面分布と気流の観測\*

若松伸司\*\*

## 要旨

オゾン濃度の平面分布と風の流れの関係を把握することを目的として、ヘリコプターを用いて、一定高度でのオゾン濃度や、気温の観測を行った。また、地表面での高濃度の出現に大きな影響を与えらると思われる局所的な上昇・下降流を把握するためにノンリフトバルーンによる気流の観測を実施した。観測の結果、上空 300 m でのオゾンの分布は地上のそれとほぼ対応していること、また、地表面の熱的性状の違いや、河川の影響によると思われるかなり強い、垂直流が存在していることが確認された。

## 1. はじめに

南関東地域において高濃度のオキシダントが発生する日には例外なく海風の出現がみられ、またそれに伴い局地的な不連続線が形成されている例も多く、この不連続線の持続や、移動が、地表付近でのオキシダント濃度の平面分布に重要な影響を与えることは、すでに知られている事実である。しかし上空においての平面分布についてはあまり観測例がなく、海風との関連でその動態を把握する事が重要な課題となっている。一方、地上での光化学スモッグによると思われる急性の健康被害の発生地域を見ると、いわゆるスポット的に発生する事が多く、この原因として、局地的に特殊な気象条件、すなわち下降気流等があるのではないかと、いわれている。しかし、これらを裏付ける観測はまだ行われていない。

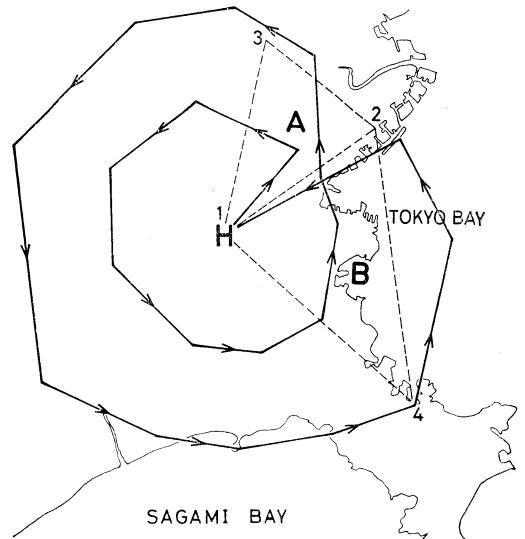
LYONS と OLSSON (1972), LYONS と COLE (1973) は、ミンガン湖周辺で風の観測を行い、15 km 程度のスケールのよく発達した風の循環を観測した。また、湖岸部では秒速 1メートル以上の強い垂直流があった事を報告している。ANGELL et al. (1972) は、定容量気球(テトルーン)を用いてロスアンゼルスにおいて調査を行い、日中にかなり大きな垂直変動を観測した。

上空にかなり高濃度のオゾンの層が存在している事は、EDINGER (1972) (1973), GLORIA (1974) および若

松 (1975) により確認されているため、もし、下降流が局地的に存在すれば、極めて高濃度のオゾンが地上に降下する事は十分に考えられることであり、局所的な垂直流の動態の解明が光化学スモッグの発生機構を把握するうえで重要なポイントとなっている。このような観点から、高度 300 メーターでのオゾンの平面分布、及びノンリフトバルーンを用いた気流観測を実施した。

## 2. 観測の概要

1972年から1973年にかけてのべ8日間にわたり 300 m



第1図 高度 300 メーターにおける平面調査飛行コース。1～4はパイバル観測点であり、A Bは発散量の計算領域である。

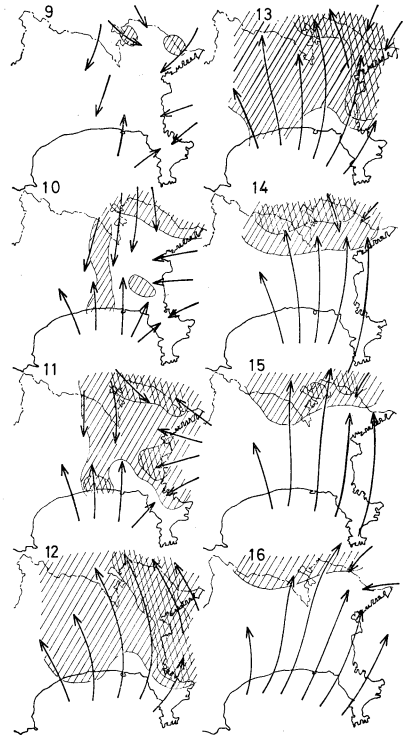
\* An Observational Survey on Horizontal Ozone Distribution.

\*\* S. WAKAMATSU, 神奈川県公害センター  
 —1974年4月20日受理—  
 —1975年6月10日改稿受理—

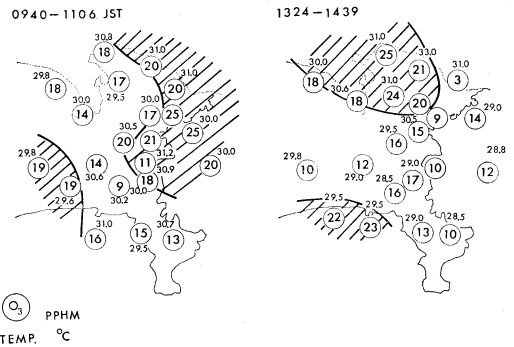
高度でのオゾンと気温の平面分布観測を行った。観測地域は、西部の山岳地帯を除いた神奈川県全域であり、第1図に飛行コースを示した。気温はサーミスター温度計、オゾンは、エチレン発光によるケミルミネッセンス法オゾンモニターを使用した。ノンリフトバルーンの観測には、自重約160 grの合成樹脂フィルム製テトルーン（気球製作所製）を用いた。今回はこれをパイロットバルーンで一定高度まで引き上げ、導火線を用いて両者を切り離し、一定高度に浮遊させ、それをヘリコプターで追跡する事により、風の流れ方や、上下変動の様子を観測する方法をとった。この方法は、無線で追跡する方法に比べて簡単であり、放球地点も、調査の目的や、その日の気象条件により容易に変更出来るという利点がある反面、測定はかなり主観的となり、小さな風の変動等を把握することができない欠陥がある。しかし地表面の大規模な熱的性状の変化や、河川等の影響を定性的に把握する事は十分に可能である。

3. オゾン濃度の平面分布と風の立体構造

神奈川県において風の不連続線が発生する地域は、普通、横浜、川崎の北西部から三浦半島にまたがる地域と、厚木、秦野付近の央央地域であり、前者は東京湾海風と相模湾海風が、ぶつかることにより生じる。夏季には一般に相模湾海風が卓越しているため前者の不連続線は短時間のうちに解消することが多い。一方、後者の不連続線は、東京、埼玉方面まで北上し、南関東内陸部での高濃度オキシダント発生の主因となる。南関東各地区での高濃度オキシダントの発生時刻は、相模湾海風の吹出し時刻や、その強さと重大な関連がある。神奈川県で高濃度のオキシダントが発生し持続する場合は、海風の吹出し時刻が遅くて風速が弱い事が多く、強風下で発生する事は少ないが、強風時には不連続線は埼玉県まで北上し、停滞するため東京内陸部から埼玉南部で、高濃度が発生し、持続することが多い。さて、これらの地上でのオキシダントの分布と、上空での分布の関連についてヘリコプターを用いて調査を行ったところ、300メートルの高度では、オゾンの平面分布はほぼ地上のオキシダント濃度の分布と対応しており、時間変化も、午前中は、海岸付近で高濃度が観測され、午後になると内陸部に移動していた。代表例として、1973年7月18日と19日の観測資料を中心にして解析を行う。7月18日は夏型の気圧配置であり北太平洋の高気圧が日本列島をおおっていた。天候は晴天であり最高気温は32.1°C 平均風速は2.3 m/sec 日照時間は9.0時間（横浜地方気象台）で、



第2図 1973. 7. 18 の神奈川県における地上風系とオキシダント濃度の分布。  
(斜線部は10 pp hm 以上のオキシダント一時間平均値の出現地域、二重斜線部は15 pp hm 以上の地域 図中の数字は時刻をあらわす。)



第3図 1973. 7. 18 の高度300mにおけるオゾンと気温の分布。

午前中から高濃度のオキシダントが観測され、横浜、川崎地区には光化学注意報が発令された。この日の地上での流線図、濃度分布図、高度300mでのオゾンと気温の

第1表 1973. 7. 18 の area A における高度別

水平発散量  $\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right)$  の時間変化.単位は  $\times 10^{-4}/\text{sec}$ .

1,300						3.03			
1,200						-2.23			
1,100						-2.95			
1,000			1.17	3.53	4.71	0.55			-1.55
900			1.55	-1.37	2.38	0.11			-0.76
800			1.59	0.39	3.37	-1.44	2.83		2.09
700			-0.35	-0.95	1.73	-0.84	4.52		0.85
600	-0.59	-2.04	-0.39	0.90	1.20	1.05	4.75		2.46
500	-0.51	-1.55	1.20	0.02	-0.84	4.10	4.52		4.00
400	-0.33	-3.73	-0.38	-0.20	-1.44	1.51	0.33		2.35
300	-0.47	-2.37	-0.77	3.09	-1.73	0.71	0.73		0.62
200	0.05	-1.16	-3.06	3.44	-3.90	-0.42	-1.29		-0.89
100	0.38	-2.14	-0.50	2.68	-0.78	0.05	0.72		-1.51
ALTITUDE (m)	HOUR (J.S.T.)	9	10	11	12	13	14	15	16

第2表 1973. 7. 18 の area B における高度別

水平発散量  $\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right)$  の時間変化.単位は  $\times 10^{-4}/\text{sec}$ .

1,000			0.55	-1.63	5.00	-1.41			-2.09
900	-0.40		1.24	-2.03	1.71	-1.95			-1.81
800	-0.07		0.25	1.26	4.70	-1.76	2.54		0.12
700	-1.46		-1.08	-0.57	1.30	-1.18	3.24		0.89
600	-1.22	-1.46	-1.18	1.59	1.67	-1.51	3.26		2.77
500	-0.25	-1.71	-2.35	-0.29	-0.67	1.92	3.00		2.44
400	-2.64	-1.66	-1.98	-1.01	-2.48	-0.74	0.45		-0.17
300	0.17	-2.91	-1.63	1.82	-2.49	-1.41	-1.43		-1.81
200	1.69	-3.50	-2.90	0.09	-2.02	-3.46	-3.33		-1.77
100	1.82	-2.25	0.30	-0.88	-0.73	-3.44	-3.74		-4.00
ALTITUDE (m)	HOUR (J.S.T.)	9	10	11	12	13	14	15	16

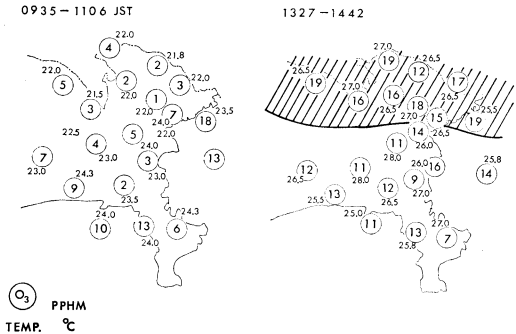
分布をそれぞれ第2図～第3図に示した。また第1図に示される地点で観測したパイロットバルーンのデータから求めた高度別水平発散量の時間変化を第1表～第2表に示す。東京湾からの海風は、横須賀では9時前から、鶴見では10時頃から吹き始め、局地的な不連続線が県央部に形成されていた。午後になると風はほぼ南風となった。一方、パイロットバルーンを用いた風の観測では第1, 2表で明らかのように高度約500メートル以下が収束

域となっており、この層が海風域であると推定される。300 m 高度でのオゾン分布は、午前中には県西部および東部で高濃度が観測され、午後には南部と北部が比較的高濃度となっていた。この傾向は、地上での観測結果ともほぼ一致していた。気温の分布は午前中は横浜南部の東京湾沿岸部および川崎の多摩川沿に高温域があり、午後になると内陸部に移動し、横浜北部、および川崎の中部から北部にかけて高温域が形成されており、これはオ

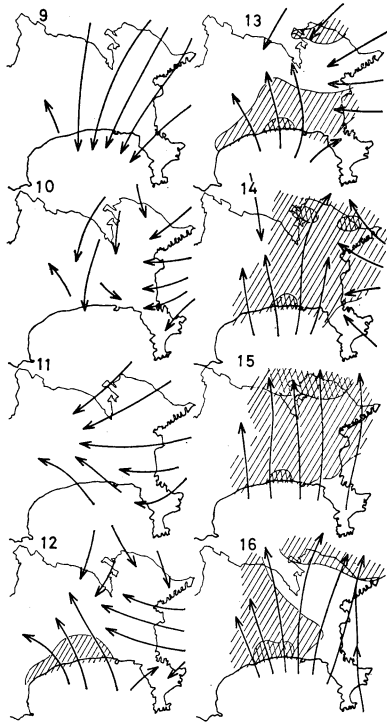
ゾンの高濃度域とはほぼ一致していた。翌19日は、いわゆる北高型に近い気圧配置であり、オホーツク海の高気圧の影響で、関東以北には冷気が入り、平均気温は低く、風向は朝のうちは北風であり、その後、東風となった。天候は午前中は曇天であったが、14時頃に相模湾からの南風が入るとともに晴天となった。4地点で得られた、パイバルのデータから求めた水平発散量の計算結果では

500 m 以下が収束場となっており海風域であった。平均気温が比較的良かったため午前中は、オゾン濃度はあまり上昇しなかったが、午後には県北部で高濃度が観測された。その結果を第4図に示す。地上では、午後になりやはり県北部と、相模湾沿地域で、高濃度となった。特に、県央から相模湾岸にかけての地域では、夕方、16時頃まで高濃度が持続した。その状況を第5図に示す。これは、午前中に、相模湾上に流された一次汚染物が、湾上で、強い日射のもとに光化学反応を起こし、それが、午後の南風に乗って陸上に吹き込んで来たためであろうと推察される。

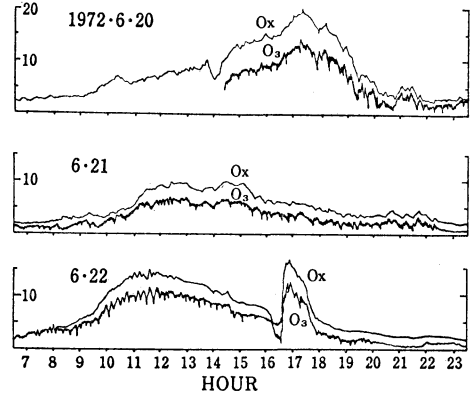
以上2日間の観測例について、上空と地上のオゾンおよびオキシダントの水平分布と風の関係について解析したが他の観測の場合もほぼ同様の傾向が認められた。今回の観測では、上空のオゾンの測定は、エチレンを用いたケミルミネッセンス法により行い、地上では、中性ヨウ化カリ法を用いた比色法によったが、定量的な、解析



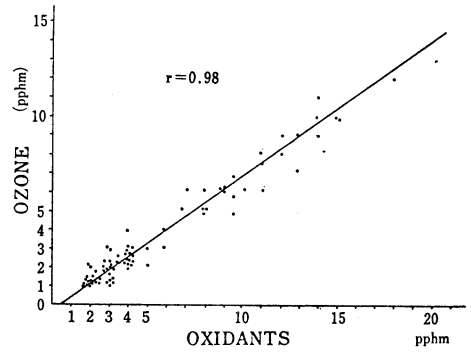
第4図 1973. 7. 19 の高度300mにおけるオゾンと気温の分布.



第5図 1973. 7. 19 の神奈川県における地上風系とオキシダント濃度の分布。(記号その他は第2図と同じ)



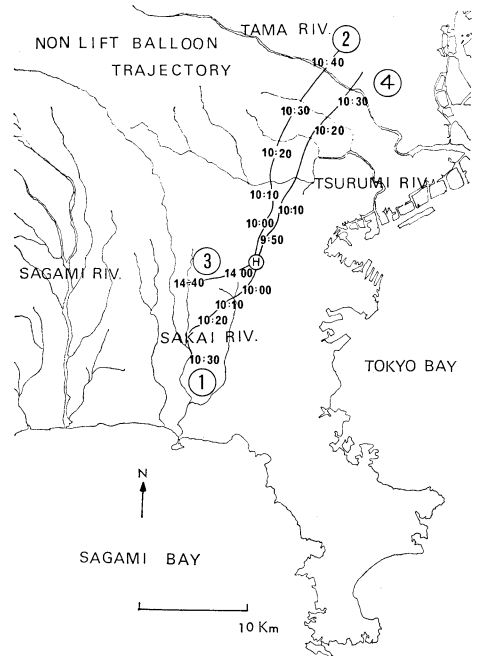
第6図 オゾンとオキシダント濃度の経時変化(座間市役所での観測例)



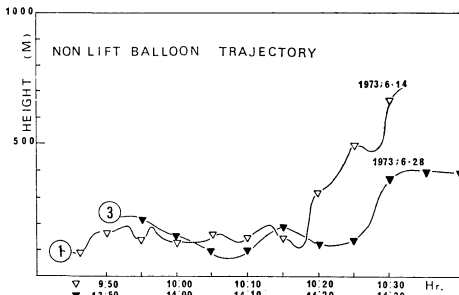
第7図 オゾンとオキシダントの濃度相関図(座間市役所での観測例)

を行うためには、両者の測定方法の関連を明らかにしておく必要がある。観測の一例を第6図、第7図に示した。変動の時間変化は良く一致している。次に、いわゆる、オキシダントの中に占めるオゾンの割合について述べる。1973年の5月中旬から6月中旬にかけて、神奈川県内では比較的空氣が清浄であると思われる箱根地区と、最も汚染が進んでいると思われる川崎市の工場地帯で、オゾンと、オキシダントの同時測定を実施した空氣清浄地区では約7割、工場地帯では約4割がオゾンであった。この割合から考えれば、今回調査をした、一般環境においては、オキシダント中の50~60%が、オゾンであろうと思われる。しかし地上と上空とは、各種汚染質の濃度や、それらの全体の汚染物中に占める割合もおそらく異なっているであろうから、単純に上空のオゾンの計測値にある常数を乗じて地上のオキシダント濃度と比較することは出来ない。

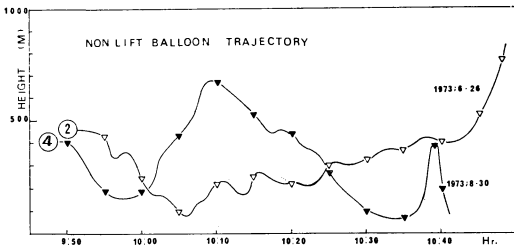
さて、地上での高濃度オキシダント出現のメカニズムを解明するにあたり、重視されなければならない要因の一つとして風の垂直流がある。上空に形成されている高濃度の光化学生成物が局地的な下降気流に伴って地上に達し地表付近に高濃度をもたらすのではないかと、ということが以前から考えられていたが、それらを裏付ける観



第10図 ノンリフトバルーンの航跡。



第8図 ノンリフトバルーン高度の時間変化。浮遊軌跡は第10図に示す。



第9図 ノンリフトバルーン高度の時刻変化。浮遊軌跡は第10図に示す。

測結果はまだ得られていない。そこで、これらの点の解明を目的として、ノンリフトバルーンによる観測を実施した。その一例を第8図~第10図に示した。ノンリフトバルーンをヘリコプターで追跡し、目視により位置を確認する方法をとったため、周期の小さな変動は把握出来ないが、傾向としては、大きな川の近くや、地表面の比熱の違いの大きい所で、かなり強い上昇、下降流が局地的に存在していることが観測された。例えば、1973年6月26日の場合には、多摩川を越えて東京都世田ヶ谷区に入った所で約90 cm/secの上昇流をとらえている。これは、市街地の地表面の昇温による上昇気流であろうと思われる。また、8月30日の例では多摩川沿で、河川の影響と思われる急激な風の垂直循環を観測した。いわゆる光化学スモッグによる被害の発生しやすい地域は、地形的な原因や、熱的原因により、上昇下降流が発生しやすい所に多いといわれており、また、ピンポイント的に被害が発生する事が多いなど、かなり小さなスケールの対流が主役を担っているのではないかと推察される。

4. まとめ

地上でのオキシダント濃度は、海風の inland への侵入と深い関連があり、特に、局地的な不連続線の形成とその移動の仕方が、高濃度の発生や持続に大きく関与している。上空においても地上と同様の傾向があり、また、高

濃度域は、ほぼ高温域と対応していた。高濃度域は、多摩川沿の川崎内陸部や、相模川沿の県央部、および河口部の平塚付近に多くあらわれ、午後になると東京方面に移動する傾向が、地上でも上空でもよくみられたが、午前中は北風で、午後になってから海風の侵入があるような場合には相模湾沿岸部に高濃度が持続する傾向がある。

神奈川県においては夏季の海風高度は、一般に500～600メートル位であり、これ以下の海風域では収束場で、それより上空では発散場となっていることが多く、500メートル位の所で、滞留域が形成され高濃度のオゾンが観測されている。一方、高濃度が発生しやすい場所は、地形的にみて、局地的な対流が発生しやすい地域であることが多く、これらの上空の高濃度が、下降流により地上に達し、高濃度をもちらすものと思われる。ノンリフトバルーンの観測でもかなり強い垂直流が、川沿の地域や、市街地で認められた。

局地的な高濃度発生メカニズムについては未知の点が多く、特に、相模川河口付近は、伊豆半島を越えてくる南西風と、丹沢山塊—相模湾風系との境界線上にあるといわれており、その関連での解明を行う必要がある。また、光化学反応の立体的なメカニズムを明らかにするためには、窒素酸化物等の汚染物の立体分布の観測が是非とも必要であり、今後の課題である。

謝 辞

御指導、御協力いただいた神奈川県公害センターの皆様方に深く御礼申し上げます。また困難な、ノンリフトバルーンの追跡飛行をお引き受け下さった、神奈川県警航空隊の佐藤隊長、石田機長、小田機長、並びに隊員の方々に記して謝意を表します。

文 献

Alan, E. Strong, 1972; The Influence of a Great

Lake Anticyclone on the Atmospheric Circulation, *J. Appl. Meteor.*, 11, 598-612.  
 Angell, J.K., Pack, D.H., Machta, L., Dickson, C.R., and Hoecker, W.H., 1972; Three-Dimensional Air Trajectories Determined from Tetron Flights in the Planetary Boundary Layer of the Los Angeles Basin, *J. Appl. Meteor.*, 11, 451-471.  
 Angell, J.K., et al.: 1973; Urban Influence on a Strong Daytime Air Flow as Determined from Tetron Flights, *J. Appl. Meteor.*, 12, 924-936.  
 Edinger, J.G., McCutchan M.H., Miller, P.R., Ryan, B.C., Schroeder, M.J., Behar, J.V., 1972; Penetration and Duration of Oxidant Air Pollution in the South Coast Air Basin of California, *J. Air Poll. Control Assoc.*, 22, 882-886.  
 Edinger, J.G., 1973; Vertical Distribution of photochemical Smog in Los Angeles Basin, *Environ. Sci. Technol.* 7, 247-252.  
 Gloria, H.R., Bradburn, G., Reinisch, R.F., Pitts, J.N., Behar, J.V., and Zafonte, L., 1974; Airborne Survey of Major Air Basins in California, *J. Air. Poll. Control Assoc.*, 24, 645-652.  
 Lyons, W.A., and Olsson, L.E., 1972; Mesoscale Air Pollution Transport in the Chicago Lake Breeze, *J. Air. Pollution Control Assoc.*, 22, 876-881.  
 Lyons, W.A., and Cole H.S., 1973; Fumigation and Plume Trapping on the Shores of Lake Michigan During Stable Onshore Flow, *Appl. Meteor.*, 12, 494-510.  
 中村喜三雄, 1971; 東京, 神奈川付近の海風前線と光化学スモッグの発生, *天気*, 18, 539-540.  
 中村喜三雄, 1973; 東京周辺における強い南風の特性について, *天気*, 20, 689-691.  
 若松伸司, 1975; 接地境界層内部でのオゾンの鉛直分布, *天気*, 投稿中。  
 昭和47年度 一都三県光化学スモッグ共同調査報告書, 1973 (一都三県公害防止協議会)。  
 昭和48年度 一都三県光化学スモッグ共同調査報告書, 1974 (一都三県公害防止協議会)。