

レーザーダ観測から見た成層圏エアロゾル 混合比の季節変化*

岩坂泰信** 長屋勝博** 三田昭吉** 和田 誠***

近年、成層圏エアロゾルの観測のために用いられる手法は多様化し、それに伴って興味ある観測結果も加速度的に増加している。レーザーダを用いた観測法もそのひとつであり、1970年代に入って世界各地で観測が行われはじめた。この観測法の利点は、リモートセンシング法一般に言えることであるが、時間スケールの長い観測が出来ること、短時間のうちに地上から成層圏高度まで探査出来ること、等である。

ここでは、名古屋大学水圏科学研究所において1975年8月より続けられて来ている、レーザーダによる成層圏エアロゾルの観測結果の一部を報告する。観測データの解析は、現在種々の面から行われており、最終的な結論を引き出すのに、いましばらく時間が必要と思われる。よって、現時点で得られている事実のうちで、興味ある結果のひとつを、速報として述べたい。

レーザーダ方程式は、通常(1)式のように書くことが出来る(鉛直方向のみ)。

$$P_r = P_0 K \beta(z) T^2(z)/z^2 \quad (1)$$

ここに、 P_r = 受信電力

P_0 = 射出されたレーザーパルス電力

$\beta(z)$ = 高度 z における、全体積後方散乱断面積

$T(z)$ = 地上から z までの大気透過関数

K = システムの光学系・電気系によって決まる定数

である。

全後方散乱断面積 $\beta(z)$ は、エアロゾルに起因する部

分と、大気原子・分子による部分にわけて考えることが出来る。即ち(2)式のように表すことが出来る。

$$\beta(z) = \beta_{Mie}(z) + \beta_{Rayleigh}(z) \quad (2)$$

ここで、添字 Mie 及び $Rayleigh$ は、それぞれエアロゾルによる散乱(ミー散乱)と大気中の原子・分子による散乱(レーリー散乱)の意味をもっている。標準大気モデル(US Standard Atmosphere, 1975)を用いて、 $\beta_{Rayleigh}(z)$ を推定し、観測から得られる $\beta(z)$ から $\beta_{Rayleigh}(z)$ を引きさり、その残りを $\beta_{Mie}(z)$ とした。この手法(いわゆる“Matching Method”)については、Russell 等によって詳しい議論がなされているので、ここでは触れない(Russell et al., 1976)。次に式(3)で、

$$\begin{aligned} S(z) &= R(z) - 1 \\ &= (\beta/\beta_{Rayleigh}) - 1 \\ &= \beta_{Mie}/\beta_{Rayleigh} \end{aligned} \quad (3)$$

を定義してやる。この値は、光学的に見たエアロゾルの混合比を意味するものである。Remsberg・Northam によると、この値とエアロゾルの重量混合比やエアロゾルの大気の単位重量あたりの数密度に対して、ある程度比例した関係をもっていることが確かめられている(エアロゾル層のかなりの領域で)。このことは、成層圏エアロゾルの粒径分布や光学定数が、時間・空間的に大きな変化をしていないことを暗示している(Russell et al., 1975; Remsberg・Northam, 1975)。この事実が今の観測結果にもあてはめられるならば、(3)で決められる量は、エアロゾルの空間濃度(例えば、大気の単位質量あたりの数)にほぼ比例しているものと言える。ただしこのことについては観測例が少なく、今後種々の時間帯、観測地点で確かめられる必要がある。レーザーダによってエアロゾルの粒径分布関数がわかれば、重量混合比や個数密度といった量にひき直して考えることも可能である(Iwasaka, 1977)。使用したレーザーダの諸元等は、既に詳しく述べてあるので、主要なもののみを第1表に示しておいた(Iwasaka・Mita・Isono, 1976)。観測は

* Seasonal variation of stratospheric aerosol mixing ratio found by laser radar measurements.

** Yasunobu Iwasaka, Katsuhiro Nagaya and Akiyoshi Mita, 名古屋大学水圏科学研究所.

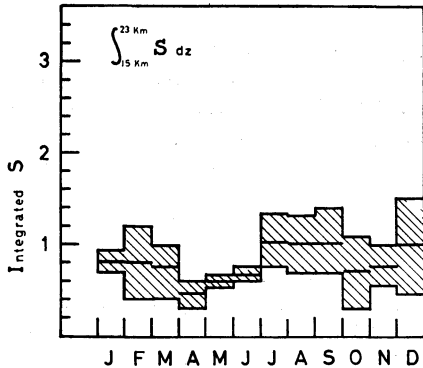
*** Makoto Wada, 国立極地研究所.

—1980年5月21日受領—

—1980年8月25日受理—

第1表 レーザレーダの主要諸元

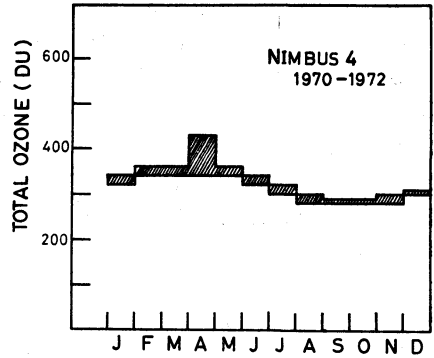
Wavelength	0.6943 μm
Power of laser pulse	1.0 J/pulse (Maximum)
Repetition rate of pulse	0.2/sec
Telescope of receiver	40 cm ϕ
Photomultiplier	R694
Display of data	Photon Counting



第1図 $\int_{15\text{ km}}^{21\text{ km}} S(z) dz$ の月別平均値 (1975年8月より1978年12月までの観測による)。斜線をほどこした部分は分散の中を示す ($S(z)$ については、本文参照)。

Clean night の条件で行われ、30 km からの受信電力は光子数にして約100~200程度 (ただし1時間の時間分解能) のものが一番多く、それ故、受信光子数の統計的なゆらぎにもとづく誤差は10~7%となる。この高度より下層の大気については、当然のことながら、より小さな相対誤差になる。第1図に $S(z)$ を高度 15 km から 21 km まで積分したものの月平均値を示した。この値は、1975年8月より1978年12月までの3年あまりの観測に基づくものであり、斜線をほどこした部分は、月平均値に対する分散の中を示している。成層圏エアロゾルのほとんどはこの領域内で観測されているので、この値は成層圏エアロゾルの全体の混合比を表わしていると考えることが出来よう。第1図には、春から夏にかけて極小、夏から初秋の極大、秋から冬にかけて極小、冬の極大が見られる。Wyoming 大学のグループによる観測 (大気球に搭載した dust counter による) の結果にも大きい冬の極大が見られ、夏にきわめて弱い極大が見られる

1980年11月



第2図 NIMBUS IV に搭載された、太陽紫外光・後方散乱方式のオゾン測定器によって得られたオゾン全量の月別平均値 (北緯45度地帯の1970年~1972年5月までの観測値による、Hilsenrath et al., 1979 の論文を基に作製)。

(Hofmann et al., 1975; Hofmann・Rosen, 1977)。彼らの研究では、成層圏エアロゾルの濃度変化は、tropopause の高度変化と対応があることが明らかにされている。このことは、エアロゾルの濃度変化と成層圏・対流圏間の物質の交換現象や大規模な大気循環との関係を考えさせて興味あるものである。名古屋での値では、夏の極大が Wyoming 大学のグループのもの大きく異なる点である。ただ、名古屋での値も年別に見ると1976年の初夏の極大、1977年の夏の極大は顕著であるが、1978年の夏はきわめて小さく、この年のパターンは Wyoming 大学の例ときわめて類似性の高いものであった。

下部成層圏のオゾン量の変化については、この量が、大気の運動に強く左右されていること、さらにはオゾンとエアロゾルとの間には、オゾンのエアロゾルに対する化学吸着 (Olszyna et al., 1979) や、いわゆる Gas to Particle Conversion に関与する種々の化学反応を通して、互いに深い関係がある (Crutzen, 1976; Turco et al., 1979)。それ故、エアロゾル濃度変化とオゾン濃度変化との関係がいかなるものであるかは、大いに興味を持たれる所である。この点に関する、系統だった研究は、成層圏エアロゾルの探査にレーザーレーダが用いられはじめた頃にある (Grams・Fiocco, 1967)。しかしその後は、やや関心が薄らいだかに見える。今日、レーザーレーダ技術の大きな進歩や、エアロゾルに関する種々の研究の発展、オゾン観測技術の向上等、当時と較べ大きな状況の変化があり、再度このような点について検討を加えて見るべき時が来ているように思われる。第2図は、

文献

NIMBUS IV の太陽紫外光の後方散乱を利用したオゾン全量の測定結果によるものである (Hilsenrath *et al.*, 1979 の結果をもとに作った)。この図は、1970年4月から1972年5月までのデータの月平均値を重ねて書いたものであり、斜線部分は、それらの最大値と最小値の間にある領域を示す(緯度にして北緯45度の場所の値を用いている)。第1図及び第2図を比較してまず気づくことは、春のエアロゾルの極小とオゾンの極大であろう。次にエアロゾルが夏の極大を示しているが、オゾン濃度ではそれが見られず、秋に極小期に向けて一様に減少している。Grams・Fioccoによると“オゾン全量と成層圏エアロゾルの濃度変化は、おおよそ-0.5の相関係数を持つ、負の相関係数にある”と言われており、我々の示す結果もこのこととは矛盾しないものである。ここで用いられたオゾン全量と、成層圏エアロゾル混合比のデータについては、3年間にわたる観測にもとづいており、ここで議論されている現象の時間スケールを考えると十分に長いものである。又観測日時については、両者とも成層圏がひどく乱されている(火山等で)時期ではないと考えられる。ただしエアロゾルの混合比に関するデータに関しては、1974年のFuego火山爆発の影響が少し残っている可能性があり、それらの変化が重なっていると思われる。オゾンについては、オゾン全量を用いたが、オゾン濃度の平均的な高度分布を考えるなら、かなりの部分は成層圏オゾンによっていると見てよい。それ故このオゾン全量の変化は、成層圏内の変化によるところが大きいと考えられる。

今後、解析結果がまとまり次第詳しい報告をする予定であるが、とりあえず“中緯度地帯でのエアロゾル混合比の変化は、冬に極大、又夏にも極大が見られ、春及び秋に極小となる”こと、オゾンとの対比では、大きな傾向としては“逆位相で変化する時期がかなりある(例えば、1月から9月頃にかけて)”という事実のみを報告した。

謝辞

この長い観測期間中、磯野謙治教授(当時)をはじめ多くの人の有形・無形の助力を得た。ここに感謝の意を表したい。

- Crutzen, P.J., 1976: The possible importance of CSO for the sulfate layer of the stratosphere, *Geophys. Res. Letters*, **3**, 73-76.
- Grams, G. and G. Fiocco, 1976: Stratospheric aerosol Layer during 1964 and 1965, *J. Geophys. Res.*, **72**, 3523-3542.
- Hilsenrath, E., D.F. Heath and B.M. Schlesinger, 1979: Seasonal and internal variations in total ozone revealed by the Nimbus IV backscattered ultraviolet experiment, *J. Geophys. Res.*, **84**, 6969-6979.
- Hofmann, D. J., J. M. Rosen, T.J. Pepin and R. G. Pinnick, 1975: Stratospheric aerosol experiments I: Time variations at northern midlatitudes, *J. Atmos. Sci.*, **32**, 1446-1456.
- , ———, 1977: Balloon observations of the time development of the stratospheric aerosol event of 1974-1975, *J. Geophys. Res.*, **82**, 1435-1440.
- Iwasaka, Y., A. Mita and K. Isono, 1976: Measurements of the stratospheric aerosols by two-color lidar, *Rep. Ionos, Space Res. Japan*, **30**, 16-20.
- Iwasaka, Y., 1977: Determination of aerosol size distribution by two-color lidar, *J. Met. Soc. Japan*, **55**, 457-463.
- Olszyna, K., R.A. Cadle and R.G. dePena, 1979: Stratospheric heterogeneous decomposition of ozone, *J. Geophys. Res.*, **84**, 1771-1775.
- Remsberg, E.E. and G.B. Northam, 1975: A comparison of dust sonde and lidar measurements of stratospheric aerosols, *Proc. IV th Conf. CIAP Feb. 1975*, 507-509.
- Russell, P.B., W. Viezee, R.D. Hake, Jr. and R. T.H. Collis, 1975: Lidar observations of the stratospheric aerosol: Summary of results and a calibration-error assesment, *Proc. IVth conf. CIAP Feb. 1975*, 497-508.
- Russell, P.B., W. Viezee, R.D. Hake and R.T.H. Collis, 1976: Lidar observations of the stratospheric aerosol: California, October 1972-March 1974, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **102**, 619-639.
- Turco, R.P., P. Hamill, O.B. Toon, R.C. Whitten and C.S. Kiang, 1979: A one dimensional model describing aerosol formation and evolution in the stratosphere: I, Physical processes and mathematical analogs, *J. Atmos. Sci.*, **36**, 699-717.