

Arctic Lidar Observation (Eureka) I

永井智広, 内野 修¹, 藤本敏文, 板部敏和², 水谷耕平², 柴田 隆³

Tomohiro Nagai, Osamu Uchino¹, Toshifumi Fujimoto, Itabe Toshikazu²,
Kohei Mizutani², Takashi Shibata³

気象研究所, ¹ 気象庁, ² 通信総研, ³ 名大 STE 研

Meteorological Research Institute, ¹ Japan Meteorological Agency,

² Communications Research Laboratory, ³ Nagoya University

Abstract : Lidar observations of the polar stratospheric clouds, PSC, and stratospheric aerosols have been carried out since February 1993 at Eureka (80°N, 86°W) in the Canadian Arctic. Backscattering ratio and depolarization ratio were measured in the three winter campaigns of 1992/1993, 1993/1994 and 1994/1995 by a Nd:YAG lidar. The characteristics of the PSC observed on December 1994 and January 1995 suggests the existence of the PSCs composed of different compositions other than NAT and/or extremely nitric rich environment in the stratosphere. Stratospheric aerosol in all the three winter campaigns showed the specific character caused by the dynamics of the Arctic atmosphere.

1. はじめに

近年, オゾンホールが発見を発端として, 成層圏オゾンの破壊に大きな関心が集まってきている。極域成層圏では, 特に南極で顕著なオゾンの破壊(オゾンホール)が起こっているが, 北極域の成層圏でもオゾンの破壊が起こる可能性があることが指摘され, 実際に小規模な減少は観測されている。極域成層圏では, 極夜の時期に発生する極成層圏雲 (PSC : Polar Stratospheric Cloud) や成層圏エロゾルの表面で起こる不均一反応が, オゾンの破壊に大きくかかわっていることが知られてきている。PSC は, 極域成層圏の気温がある限度を下回ると NAT (Nitrate Acid Trihydrate : 三水和硝酸) や氷の雲として出現すると考えられてきたが, 観測や室内実験が進むにつれ, それまで考えられていた以上に複雑な成分・構造を持ち, 単純な考え方では説明のつかないことが明らかとなってきた。このような PSC の理解をするためには, 実際の成層圏中での PSC の実態を把握することが非常に重要である。また, 成層圏エロゾルは大規模な火山噴火後急激に増加し, 静穏時に戻るまでに数年から 10 年近くを要するが, その時間変化を追っての観測が必要である。気象研究所と通信総合研究所では, このような PSC や成層圏エロゾルの実態を把握するため, カナダ大気環境

庁 (AES : Atmospheric Environment Service) と協力してカナダ北極圏ユーレカ (北緯 80°, 西経 86°) において, 1993年2月から冬季にライダー (レーザ・レーダ) 観測を実施している。この中で, 1994年12月と1995年1月に明瞭な PSC が出現したが, この PSC の特徴や, 1991年6月のフィリピン・ピナトゥボ火山噴火を起源とする成層圏エロゾルの観測結果について報告する。

2. 観測

ユーレカでの観測は, 1992年2月に開始し, その後, 1993年から1994年にかけてと1994年から1995年にかけての冬季に実施した。ここで用いたライダーは, 送信部に Nd:YAG レーザを用いたもので, このレーザの基本波 (1,064nm) と第 2 高調波 (532nm) を用いて, PSC や成層圏エロゾルの後方散乱係数 (散乱比) や偏光解消度の観測が可能である。Table 1 にこの観測で使用したライダーの諸元を示す。PSC は, 1992年の 2, 3月と 1993年から1994年にかけての冬季には観測されなかったが, 1994年から1995年にかけての冬季には, 1994年12月と1995年1月の 2 回にわたり PSC が観測された。成層圏エロゾルについては, ピナトゥボ火山噴火を起源とするエロゾルが開始当初から観測され, 時間の経過とともに減少していく様子や極域特有の振る舞いが明らかとなった。

Table 1 Specifications of the lidar for PSC and stratospheric aerosol observation.

Wavelength	532 nm	1,064 nm
Pulse Energy	400 mJ	400 mJ
Pulse Repetition	10 Hz	
Beam Divergence	0.2 mrad	
Telescope Dia.	250 mm	500 mm
Telescope Type	Schmidt Cassegrain	Newtonian
Field of view	3.0 mrad	3.33 mrad
Polarization	P and S	
Gate Width	7.5 m minimum	
Signal Processing	Photon Counting	

2.1 PSC の観測

PSC は、1994年から1995年にかけての冬季の観測の開始直後の1994年12月12日から観測された。Figure 1 に観測開始直後に見られた PSC の観測例を示す。この PSC は、1,064 nmと532 nm で観測された散乱比と532 nmの偏光解消度の観測から、TYPE I a に分類される (Browell et. al., 1990)。NAT の飽和温度とゾンデで観測された気温を見ると、PSC が出現した 19km 以上の高度での気温は $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ を下回っており、これは観測から通常存在するであろうと考えられている水蒸気と硝酸の濃度 (各々 5 ppmv, 5 ppbv 程度) で計算した NAT (Nitric Acid Trihydrate) の飽和温度 (Hanson and Mauersberger, 1988) よりも低いことと偏光解消度が比較的大きく球形からずれた散乱体であることから、凍結した NAT であろうと考えられる。この PSC は、この日から12月16日までほぼ継続的に観測されたが、その偏光解消度の時系列変化を Fig. 2 に示す。この時の成層圏には、まだ、ピナトゥボ火山起源のエロゾルが残っており、散乱比のみで PSC を識別するのは困難であるが、偏光解消度からは容易に識別できるため、ここでは偏光解消度のデータを用いた。PSC は成層圏中で気温の最も低下した 21~22km 付近を中心に発生し、徐々に層の厚みを増している様子が分かる。

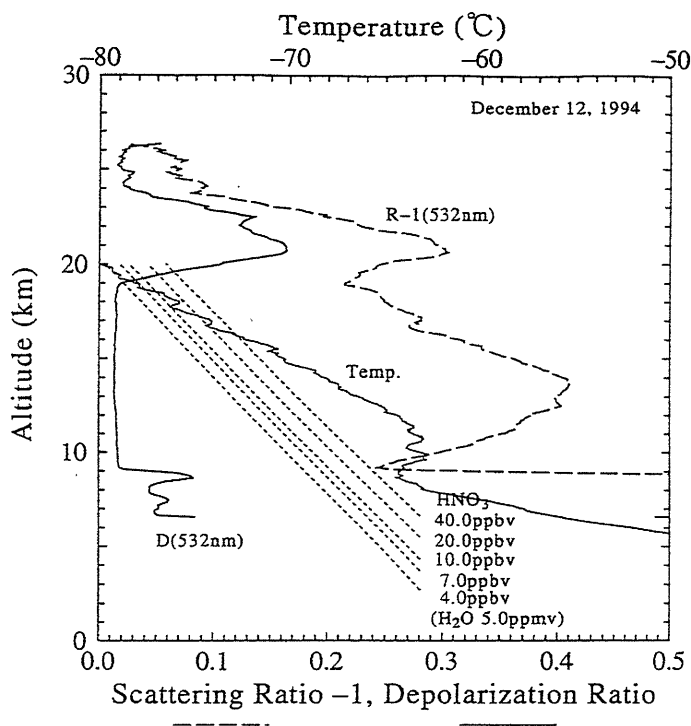


Figure 1 Polar stratospheric clouds observed by a Nd:YAG lidar over Eureka, Canadian Arctic on December 12, 1994. Backscattering ratio (R), depolarization (D) and temperature (Temp.) profiles are shown. The frost point of the NAT particle is also plotted in dotted line in various HNO_3 vapor pressure with 5ppmv water vapor.

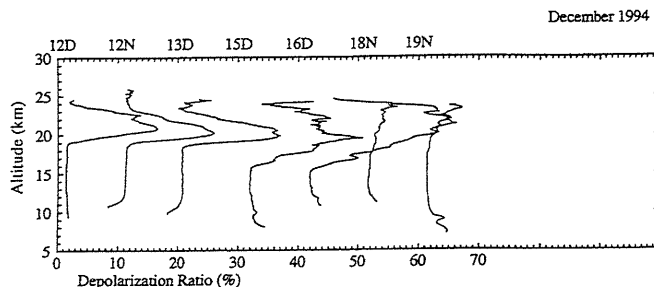


Figure 2 Time series of the depolarization ratio profiles of the PSC from December 12 to 16, 1994.

Figure 3 に1995年1月5日から始まった 2 度目の現象の偏光解消度の時系列変化を示す。この時の現象では、出現開始時に顕著に見られるように、比較的大きな偏光解消度を持つ20 km 付近を中心とする層の下に、垂れ下がるように偏光解消度が盛り上がる層が見られたことが大きな特徴である。Figure 4 に1月5日の観測例を示す。PSC 出現域の気温は、最下端の 14.2 km では最高 -71°C にまで達しており、これは、仮にこの層が NAT で構成されていると考えると、重ねて示した NAT の飽和温度から考えて、硝酸の濃度が非常に濃い（約 30 ppbv）領域があったことになる。しかしながら、硝酸の濃度がここまで濃い例はほとんど観測された例がなく、実際の成層圏では現実的な条件ではないことを考えると、これは NAT 以外の成分、例えば SAT (Sulfate Acid Trihydrate), SAD (Sulfate Acid Dihydrate), NAD (Nitric Acid Dihydrate), NAM (Nitric Acid Monohydrate) などをその成分とする PSC が実在したことを示唆しており、大変に貴重なデータである。

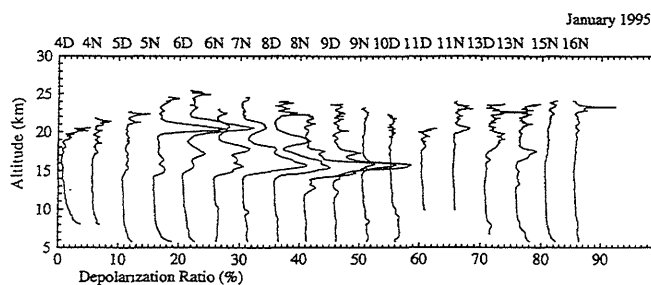


Figure 3 Same as Fig. 2 but from January 5 to 9 and from 11 to 13, 1995.

2.2 成層圏エアロゾルの観測

成層圏エアロゾルは、1993年2月に観測開始当初から噴火後2年近くを経過してはいたが、1991年のピナトボ火山噴火を起源とするエアロゾルがまだ十分に滞留していたため、3回のキャンペーン期間中、十分に観測が行えた。Figure 5 に対流圏界面から 30km の高度範囲の後方散乱比の積分値を、中緯度の例としてつくばでの観測値と重ねて示してある。この量は、成層圏エアロゾルのコラム総量に相当するが、これを見ると、ユーレカのエアロゾルの量はつくばとほぼ同じか数倍多くなっていることが分かる。Figure 6 には、光学的な混合比に相当する後方散乱比が最大となる高度を示す。対流圏界面が中緯度に比べて低いことを反映し、ユーレカではつくばよりエアロゾル層の高度が低くなっている。また、極域の成層圏に極夜期に存在する極渦の内外で気塊がアイソレートされている（極渦内にはエアロゾルのより少ない気塊がある）ことと、極渦そのものが激しく動くことを反映し、ユーレカでのエアロゾル層の高度はつくばより激しく変動していることが分かる。

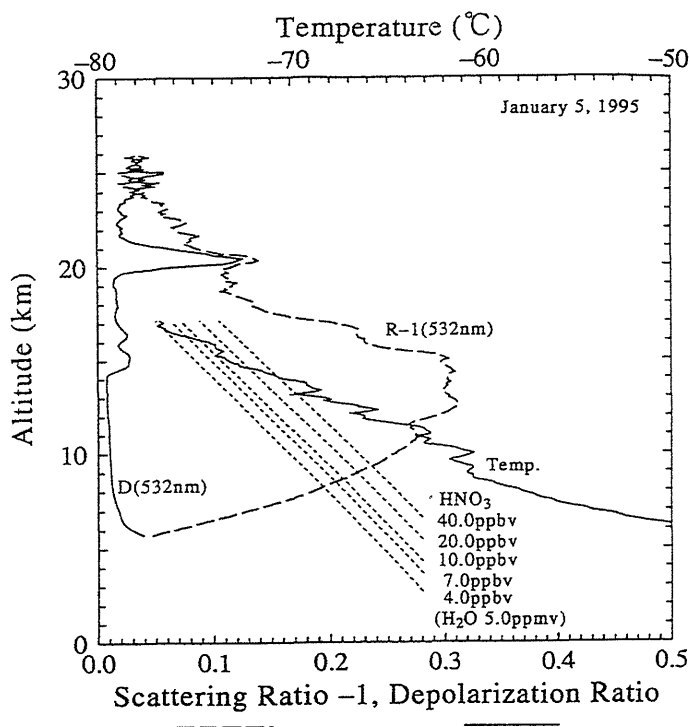


Figure 4 Same as Fig. 1 but on January 5, 1995.

3. まとめ

1994年から1995年にかけてユーレカで観測された PSC の高度範囲と NAT の飽和温度、気温を比較したところ、これまで考えられていたのとは比べ非常に高い気温で出現する PSC が認められた。これは、非常に濃い硝酸濃度の領域が成層圏中に存在するか、NAT 以外の成分の PSC の存在を示唆するものである。

また、成層圏エーロゾルの観測からは、極域特有の大気の動きを反映したエーロゾルの変動の振る舞いが明らかとなった。

<参考文献>

- Browell, E. V., et. al., *Geophys. Res. Lett.*, **17**, 385, 1990.
 Hanson, D. R. and K. Mauersberger, *Geophys. Res. Lett.*, **15**, 855, 1988.

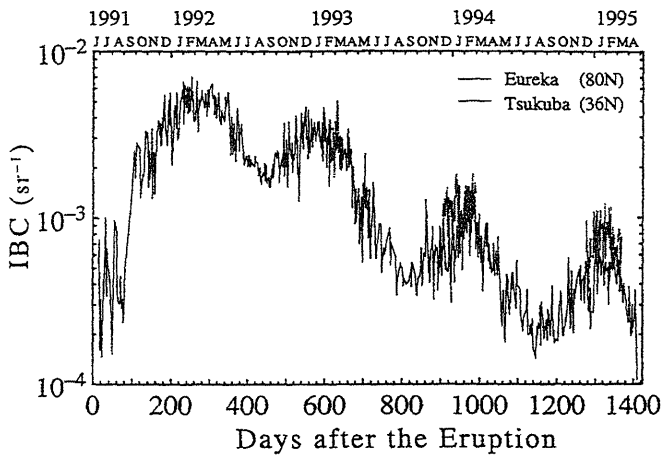


Figure 5 Time evolution of the Integrated backscattering coefficient (IBC) observed over Eureka and Tsukuba.

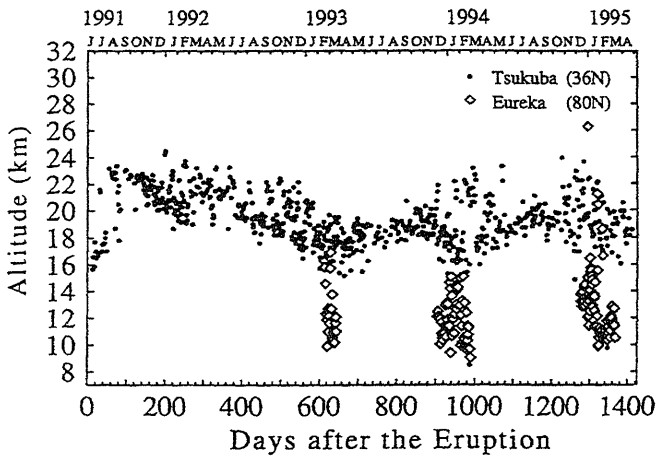


Figure 6 Same as Fig. 5 but for the altitude with maximum scattering ratio.