

2002年冬季ライダーとエアロゾルゾンデにより極成層圏で観測された 火山性エアロゾルについて

The volcanic aerosol detected by lidar and OPC sonde inside arctic vortex in the winter of 2002

白石浩一¹、林政彦¹、藤原玄夫¹、山下克也²、柴田隆³、山内恭⁴、
岩坂泰信⁵、Marion Mueller⁶ and Roland Neuber⁶

Koichi Shiraishi, Masahiko Hayashi, Katsuya Yamashita, Takashi Shibata,
Takashi Yamanouchi, Yasunobu Iwasaka, Marion Mueller and Roland Neuber

¹福岡大学、²気象研究所、³名古屋大学、⁴極地研究所、⁵金沢大学、⁶Alfred Wegener Institute
Fukuoka University, Meteorological Research Institute, Nagoya University,
National Institute of Polar Research, Kanazawa University, Alfred Wegener Institute

Abstract: Balloon borne aerosol sonde observation and lidar observation were performed at Ny-Ålesund, Norway in the winter of 2002/03. The aerosol layers with the increment of depolarization ratio were observed at the lower stratosphere below 15 km height by lidar. The size distribution show bimodal type in the height range and the effective radius of stratospheric aerosol estimated from aerosol sonde observations showed high values of 0.17~0.24 μm . The temperature in the height range was remarkably higher than the formation temperature of polar stratospheric cloud (PSC). Trajectory analysis suggested that depolarized aerosol layers were probably caused by the transport from lower latitude outside polar vortex. It might be volcanic aerosol by the eruption of Mt. El Reventador.

1. はじめに

極域では、冬季に長期間日射がない状態が継続することで成層圏と対流圏の境界が明確でなくなり大気鉛直混合が比較的容易になる。さらに、極渦の発達に伴い、成層圏の気温の低下、それに伴う極渦内部での空気塊の沈降、極成層圏雲の重力沈降による脱窒、脱水過程など、極域特有の対流圏・成層圏間の物質循環が生じていると考えられている。我々は、極域での極成層圏雲の生成・発達過程、自由対流圏・成層圏間の物質交換について明らかにすることを目的に、ノルウェイ・ニーオルスン(79N, 12E)において2002/03年冬季、ライダーとエアロゾルゾンデによる北極大気エアロゾルの観測を行った。本発表では、極渦内バックグラウンドエアロゾルの粒径分布観測の詳細と成層圏下層部(12-15km)で観測された火山性エアロゾルらしいエアロゾル層について述べる。

2. 観測装置

ライダーシステムは、光源にNd:YAGレーザーの1064nmと532nmのレーザー光を利用した。受信は、口径35cmのシュミットカセグレン望遠鏡で集光し、532nmの射出したレーザー光の偏光面に対する平行成分と垂直成分、1064nmの後方散乱光を各々光電子増倍管で受光し電気信号に変え、フォトンカウンティング法で計測した。エアロゾルゾンデは、2種類使用した。ひとつは、従来の0.15 μm から1.8 μm の粒径域を計測可能なエアロゾルゾンデ(OPCと称す)と、もう一つはより小さい粒子(0.056 μm ~0.15 μm)を計測することができるエアロゾルゾンデ(LPCと称す)である。いずれの装置も5段階に分級し計測している。

3. 2003年1月18-19日極渦内でのエアロゾル粒径分布観測

2002/03年冬季は、ニーオルスン上空の成層圏の気温は、11月下旬から1月初旬にかけて非常に低温になり、PSCを頻繁に観測した報告がなされていた。しかし2003年1月中旬以降、成層圏気温は上昇し、ニーオルスンは極渦の内側に位置するものの、我々のライダー観測(やOPC・LPC観測でも

PSCは観測されなかった。2003年1月18日と19日に行ったOPCとLPCの観測結果を図1に示す。気球の到達高度はOPC、LPCそれぞれ、25 km、24 kmであった。圏界面高度7.5 kmに位置し、対流圏界面より上方(7.5 km)から25 kmにかけてバックグランドエアロゾルの詳細な粒径分布が観測されている。ニーオルスン上空の成層圏の気温は、氷点下70度以上と高い。

粒径 $r > 0.056 \mu\text{m}$ と $r > 0.075 \mu\text{m}$ の粒子数濃度の鉛直分布は9.5 m付近にピークを持つが、それより大きい粒子の数濃度は、14 km付近にピークを持つ。OPCの可測粒径域である $0.15 \mu\text{m}$ より大きい数濃度は、20 km以上の高度域で急激に減少している。一方、LPCの測定領域の $0.056 \mu\text{m}$ から $0.15 \mu\text{m}$ の数濃度の減少は、それほど顕著ではない。高度10~15kmの低い高度域では、 $r > 1.8 \mu\text{m}$ の粒子数濃度の増加が頻繁に観測されている。後述するが、ライダーで偏光解消度の増加が観測されており、非球形粒子が観測されていることが分かった。

4. ライダーとエアロゾルゾンデで観測された成層圏エアロゾルの後方散乱係数の比較

OPCとLPCの観測結果に対して、二山の対数正規分布でフィッティングを行い、粒径分布を得た。図2にフィッティングした粒径分布を示す。丸印が観測された積算粒子数濃度、破線が対数正規分布、実線が観測値にフィットした結果である。15 kmよりも低い高度域では半径 $0.6 \mu\text{m}$ 以上の粒径に一つの山がみられる。

OPC、LPCの観測結果は、球形、屈折率1.4のエアロゾルの光学的等価粒径として得られる。フィッティングして得られた粒径分布に対して、エアロゾルの屈折率 $1.4+0i$ を仮定し、ミー散乱理論に基づく後方散乱係数を算出し、ライダーの観測結果との比較を行った。図3にOPCとLPC観測による粒径分布から算出された波長532 nmでの後方散乱係数とライダー観測の後方散乱係数の鉛直分布の比較を示す。ライダーの観測結果により適合するのは、OPCに加えてLPCを用いたバイモード粒径分布であること

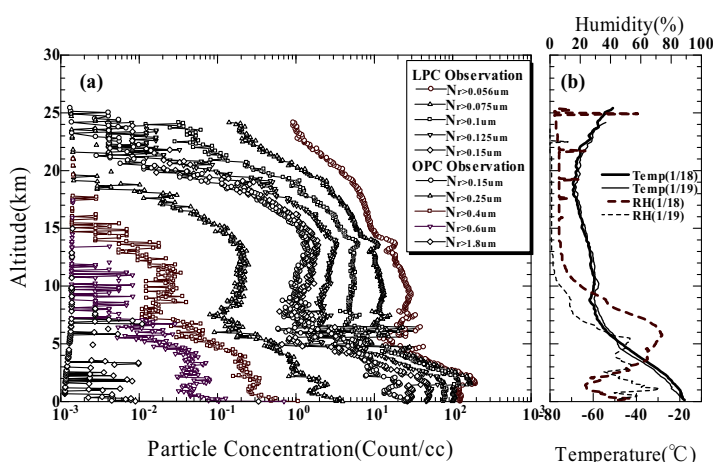


Fig. 1 Vertical distributions of (a) size-integrated particle concentration, (b) temperature and relative humidity radius by OPC on January 18, 2003 and LPC on January 19, 2003.

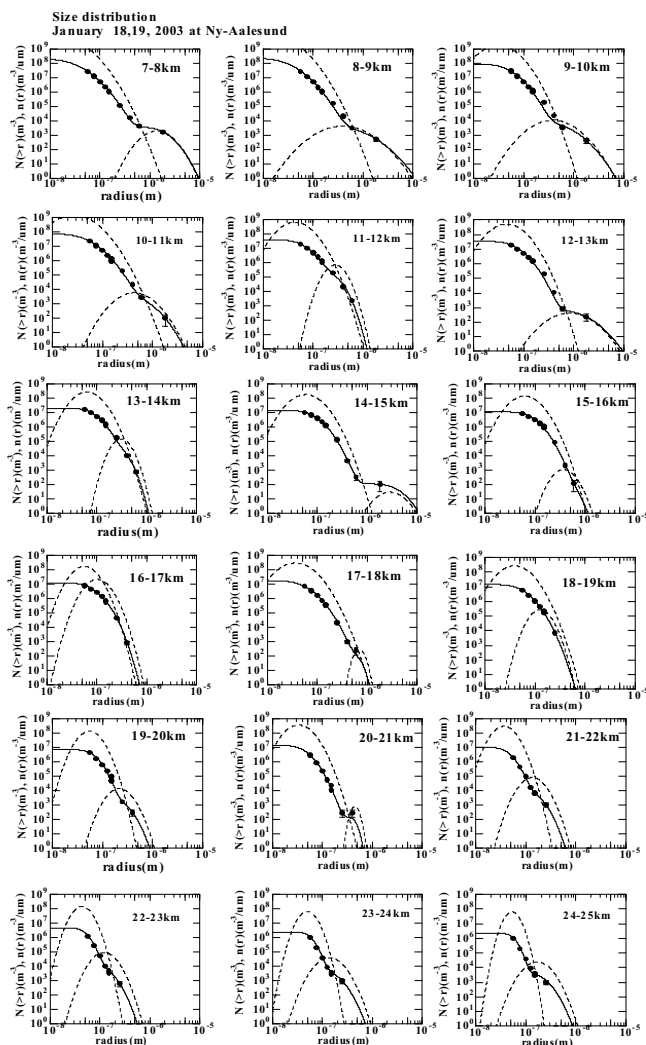


Fig.2 Aerosol size distributions from 7 km to 25 km height obtained by fitting the result of OPC observation on January 18, 2003 and LPC on January 19, 2003.

が明らかである。とくに、LPCを併用したバイモード粒径分布の有効性は、高度20 km以上で顕著になる。図4には、OPCとLPC観測により導出した高度15 kmと24 kmでの対数正規分布に粒子1個あたりのエアロゾルの後方散乱断面積をかけて導出した、エアロゾルの粒径に対する後方散乱係数の寄与を示している。図4に示した後方散乱係数を粒径に対して積分すると、図3に示した高度15 km、24 kmでのOPCの後方散乱係数になる。ここで示した高度15 kmおよび24 kmの図は、それぞれOPC計測粒径の高濃度・低濃度領域に対応している。高度15 kmでは0.05 μmから0.4 μmの大きさ(半径)を持つエアロゾルが主に寄与しているのに対して、高度24 kmでは0.01 μmから0.1 μmの粒径のエアロゾルが主に寄与している。高い高度域(20 kmより高い高度)ではPSCの出現しない状態での後方散乱係数の評価には、LPC計測(0.056~0.15 μm)がきわめて重要であることを示している。

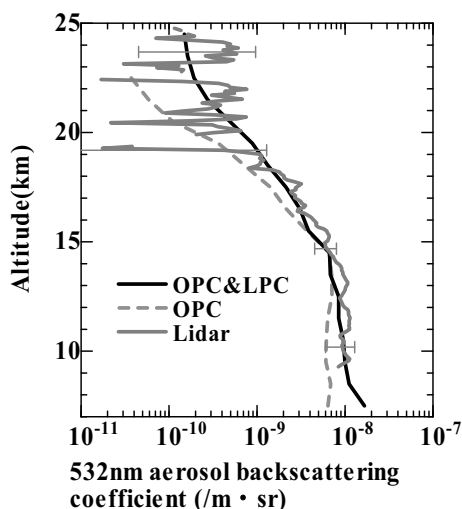


Fig.3 Comparison of the aerosol backscattering coefficients derived from OPC and LPC observations with those derived from the lidar.

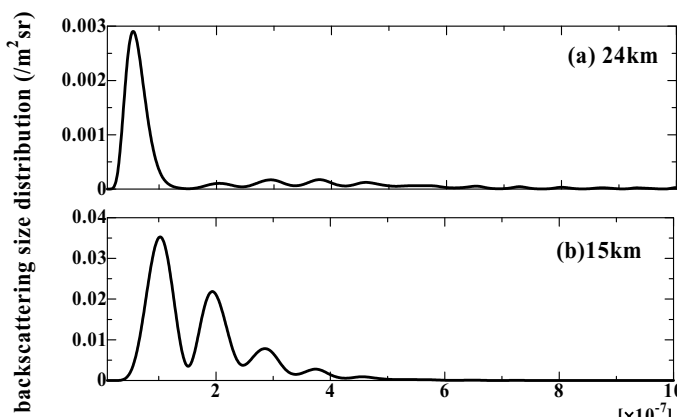


Fig.4 The backscattering size distributions at the height of (a) 24 km and (b) 15 km, which were derived by multiplying the log-normal size

5. 成層圏最下層部で観測された偏光解消度層～レベントアール火山起源エアロゾルの可能性について

ライダー観測は2003年1月10日から1月27日にかけて行われた。観測期間中高度10km~15kmの高度域に連日偏光解消度の高いエアロゾル層を検出した(図5)。極渦の勢力が弱まった1月後半の27日には、この高度域での偏光解消度はさらに増加し、より高い高度域(17 km)まで偏光解消度の増加が観測されていた。また、OPCにより導出した粒径分布でも12-13km、14-15 kmの高度域で明確な2山分布を示していた(図2)。図6に粒径分布から導出した有効半径の鉛直分布を示している。それらの高度域で有効半径の増加が観測されている(高度12-13kmで0.17 μm、14-15kmで0.24 μm)。NOAAのHYSPLITモデル(<http://www.ready.noaa.gov/ready/open/hysplit4.html>)を使用して、ライダー観測期間中(2003年1月10日から27日)のニーオルスン上空の高度13 kmにある空気塊に対して10日間の後方粒跡線解析を行い、中緯度からの空気塊の流入の可能性について検討ところ、多くの空気塊が、ニーオルスン上空に到達する2日から8日くらいまでの間に、極渦の外側から流入してきたことが分かった。また、その時空気塊が経験した温度も205 Kから220 Kまでの高い温度を示していた。今回高度15 km以下に観測した偏光解消度の高いエアロゾル層は、11月下旬から1月初旬にかけて発達したPSCが重力沈降し、成層圏下層部で非球形粒子が観測された可能性もある。しかしながら、空気塊の経験した気温が非常に高いことや、極渦の外から空気塊の流入している可能性が高いこと、極渦の勢力が弱まった1月後半に偏光解消度の増加がみられたこと等から、非球形粒子が極渦の外から運ばれた可能性が強い。2002年11月3日に噴火したエクアドルのエル・レベントアール火山の噴煙が成層圏に注入され、その噴煙が11月下旬から12月にかけて赤道、中緯度域の下部成層圏で衛星やライダー観測等により検出されている(Kulkarni et al., 2008; Thomason

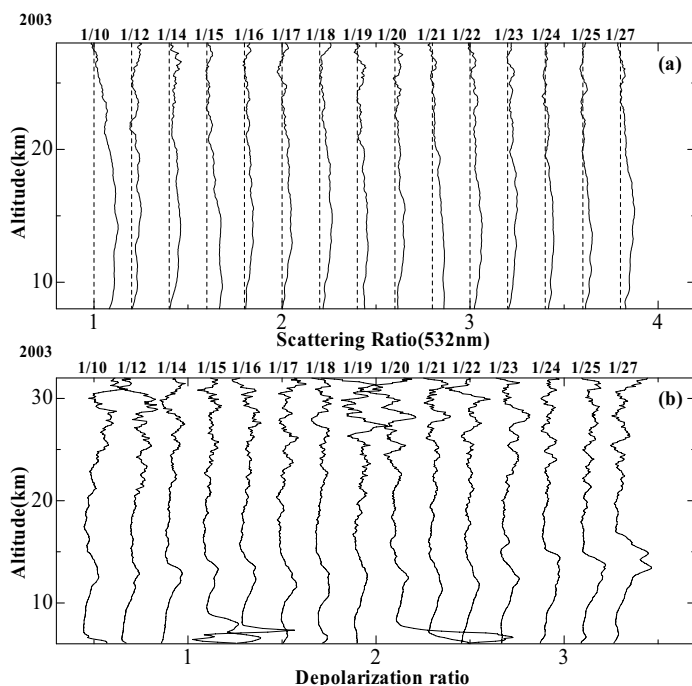


Fig.5 Vertical profiles of (a) scattering ratio at 532 nm and (b) depolarization ratio observed from January 10, 2003 to January 27, 2003.

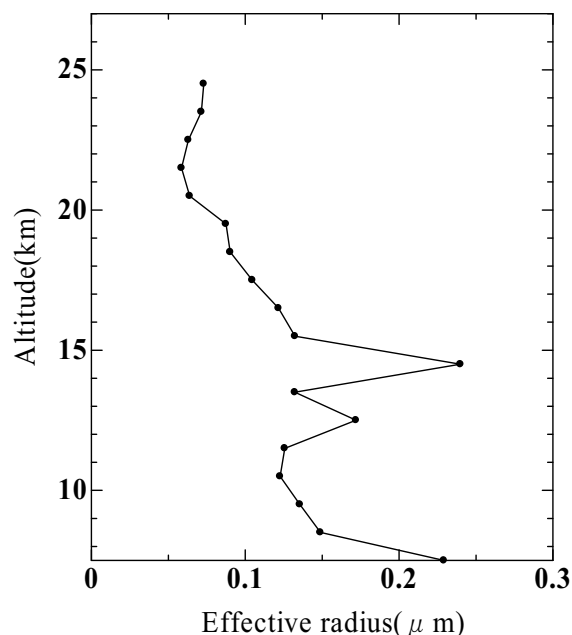


Fig.6 Vertical profile of effective radius obtained from the log-normal distribution fitted to the result of OPC and LPC observation.

et al., 2007; 大気海洋環境観測報告,2002)。火山性エアロゾルの中に火山灰が含まれていれば、偏光解消度は高い値を示す。日本の気象庁による群馬県大船渡市でのライダー観測では、2002年11月22日に高度17 km付近に偏光解消度の増加を伴ったエアロゾル層が観測されていた。1991年のフィリピンでピナトゥボ火山噴火の時には、成層圏に注入されたエアロゾルが、5-6週間ほどで北極圏内まで輸送されていた(Neuber et al., 1994)。我々がライダー観測を始めた2003年1月10日は、エル・レベントドール火山の噴火から約2カ月経過しているが、こうした火山性エアロゾルが極渦内に侵入し、今回の観測で検出した可能性がある。

6. まとめ

ライダーとエアロゾルゾンデを用いた成層圏エアロゾルの空間分布、粒径分布観測を2002/03年冬季に行った。観測期間中ライダーにより10~15 kmの高度域で偏光解消度の増加を伴ったエアロゾル層を検出した。OPCとLPC観測から導出した有効半径は、10~15 kmの高度域で高い値(0.17~0.24 μm)を示した。トラジェクトリー解析により、この高度域での空気塊は、ニューオルスン上空に到達するライダー観測の2~8日前までに極渦の外からの流入した可能性が高いことや極成層圏雲が存在可能な温度よりも非常に高い温度を経験していたことなどが示唆された。さらに、極渦の勢力が弱まったときに偏光解消度が増加したこと、極渦形成前に赤道・中緯度で衛星観測や地上でのライダー観測によりエル・レベントドール火山起源のエアロゾルが観測されていること等から、エル・レベントドール火山起源のエアロゾルを観測した可能性が強いと思われる。また、10~25 kmの高度域で推定した成層圏エアロゾルの有効半径は0.12 μm であり、1991年のピナトゥボ火山噴火より前の値とほぼ同じ値を示した。

参考文献

1. Kulkarni et al. (2008): *J. Geophys. Res.*, 113, D17, doi:10.1029/2007JD009411.
2. Thomason et al. (2007): *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 6959-6997.
- 3: 大気・海洋環境観測報告 (2002): 2002年観測成果 4. 大気混濁度, 4, 104-120.
- 4: Neuber et al.(1994): *Geophys. Res. Lett.*, 21, 13, doi:10.1029/93GL02890.