

気象研ライダーで観測した成層圏エアロゾルの長期変動（1982–2012 年） Long-term variation of stratospheric aerosol observed with lidar over Tsukuba (1982–2012)

○酒井 哲¹、永井智広¹、内野 修^{1,2}、藤本 敏文³、真野 裕三¹、田端 功¹
○Tetsu Sakai, Tomohiro Nagai, Osamu Uchino, Toshifumi Fujimoto, Isao Tabata

¹ 気象研究所・² 国立環境研究所・³ 長崎海洋気象台

¹Meteorological Research Institute, ²National Institute for Environmental Science, ³Nagasaki Marine Observatory

Abstract: The vertical distribution of stratospheric aerosol has been measured with lidars at Meteorological Research Institute (MRI) over Tsukuba since 1982. After two major volcanic eruptions (Mt. El Chichon in 1982 and Mt. Pinatubo in 1991), stratospheric aerosol increased about 50-100 times compared with the background level. There is an increasing trend (5.3% year⁻¹) after 2000. Continuing observation is necessary for monitoring the stratospheric aerosol trend and assessing its impact on climate and the ozone layer.

1. はじめに

成層圏エアロゾルは、高度約 10 km～30 km に世界規模で分布するサブミクロンサイズの硫酸液滴粒子である。その量は、大規模火山噴火によって SO₂ ガスが成層圏に注入されることで、平穏時の数十倍に増大する。また 2000 年以降は、微かな増加傾向にあることが報告されている (Hofmann et al., 2009)。成層圏エアロゾルは太陽光を散乱するため、地表温度を低下させる働きがある。最近ではこの働きを地球温暖化対策に利用して、人工的に成層圏エアロゾルを注入する方法も提案もされている (Crutzen, 2006)。また、成層圏エアロゾルはオゾン層を破壊する塩素化合物を活性化させる働きもある。成層圏エアロゾルが気候に及ぼす影響を正確に評価していくためには、その分布を精度良く観測していく必要である。

気象研究所では、1982 年から現在までライダーによる成層圏エアロゾル観測を行ってきた。本発表では、その観測結果を報告する。

2. 気象研ライダーによる成層圏エアロゾル観測

成層圏エアロゾル観測に用いられてきた気象研ライダーの遍歴を述べる。これまで合計 6 台のライダーが成層圏エアロゾル観測に用いられている。エルチチョン火山噴火直後の 1982 年 4 月から、ルビーライダー（波長 694 nm）による観測が行われた (Uchino et al., 1984, 1985, 1988, Naito et al., 1986)。この観測は、エルチチョン火山の影響がほぼ収まる 1987 年まで行われた。その後 1988 年以降、Nd:YAG レーザ（波長 532 nm）を用いたライダーによる観測が行われている。1988 年から 1991 年までは、可搬型 Mark-II ライダー (Uchino et al., 1991)、1991 年 6 月のピナツボ火山噴火直後から 2002 年までは、成層圏エアロゾルを専用に観測するライダー (Nagai et al., 1993)、2003 年から現在までは、無人連続観測を行うライダーシステムで観測を続けている。Fig.1 にルビーライダーと現在観測を行っている無人連続観測ライダー（二代目）の概観写真を示す。

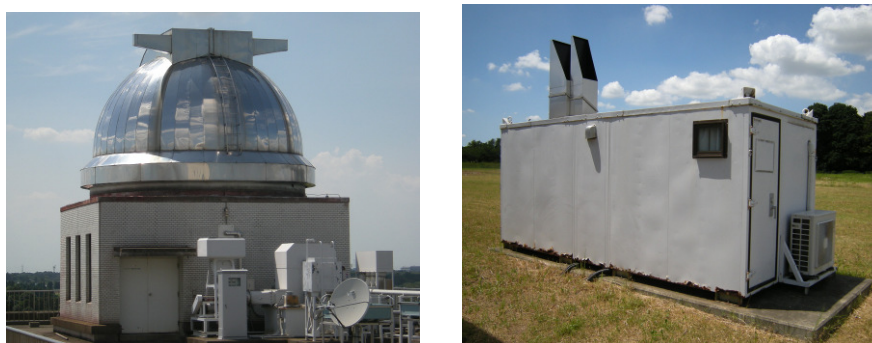


Figure 1: Photographs of Ruby lidar (left) and current Rayleigh-Mie lidar (right) at MRI.

3. 観測結果 成層圏エアロゾルの長期変動

Fig. 2 に 1982 年～2012 年の成層圏エアロゾル後方散乱係数（波長 532 nm）の高度積算値 (Integrated aerosol backscattering coefficient, IBC) の時系列を示す。高度積算範囲は 16.5 km～

30.5 km(黒)と第一圏界面～高度 33 km(青)である。なお、初期(1982～1987年)のルビーライダーデータについては、Jäger and Deshler (1987)の変換係数を用いて、波長 694 nm の値を 532 nm の値に変換した。図上の橙印は大規模火山の噴火日を示す。

IBC の値は、1982 年 4 月のエルチチョン火山(メキシコ、17.3°N)、1991 年 6 月のピナツボ火山(フィリピン、15.1°N)噴火後急激に増大した。その最大値(積分高度範囲 16.5～30.5 km)は、それぞれ $3.1 \times 10^{-3} \text{ sr}^{-1}$ (1982 年 7 月 2 日)、 $5.8 \times 10^{-3} \text{ sr}^{-1}$ (1992 年 2 月 22 日)(Uchino et al., 1995)であった。これらの値は、平穏時($6.0 \times 10^{-5} \text{ sr}^{-1}$ 、1997 年 10 月～2001 年 9 月平均値)の 52 倍、96 倍である。対応する光学的厚さは、ライダー比を 50 sr と仮定するとそれぞれ 0.16、0.29 になる。

Fig. 3 に各年のエアロゾル後方散乱比の鉛直プロファイルを示す。火山噴火後における後方散乱比の最大値は、21(1982 年 7 月 2 日、高度 23.5 km、694 nm で 44)、14(1992 年 11 月 29 日、高度 22.7 km)であった。これらの値は、平穏時(1.09、1997 年 10 月～2001 年 9 月平均値)の 19 倍、13 倍である。火山噴火で増加したエアロゾル量は、5 年後にほぼ平穏状態まで減少している。

また、2000 年以降はエアロゾル量が増加傾向にある。2000 年 1 月～2012 年 7 月の IBC 増加率は $1.06 \times 10^{-5} \text{ sr}^{-1} \text{ year}^{-1}$ (5.3% year⁻¹)である。この増加傾向は、ハワイマウナロアや北米ボウルダー(Hofmann et al., 2009)、ニュージーランドでも観測されている(Nagai et al., 2010)。増大の主な原因は、小規模火山の噴火と考えられるが(Vernier et al., 2011)、人為起源の硫黄排出量増加などによる可能性も残されている(Hofmann et al., 2009)。成層圏エアロゾルの増大は、CO₂ 濃度増大による温室効果を相殺する方向に働く(Solomon et al., 2010)ことやオゾン層にも影響するため、今後も観測を継続してその動向を監視していくことが重要である。

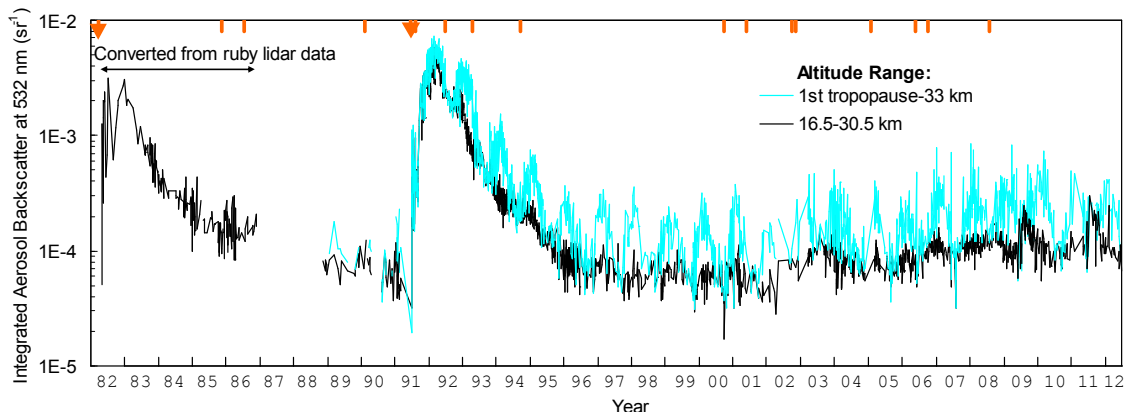


Figure 2: Temporal variation of integrated aerosol backscattering coefficient at 532 nm observed with the lidars over Tsukuba from 1982 to 2012. The range of the integration is between 16.5 km and 30.5 km (black) and between the first tropopause and 33 km (blue). The values from 1982 to 1987 are converted from Ruby lidar data at 694 nm to 532 nm using the factor of Jäger and Deshler (1987). Major volcanic eruptions are indicated with short orange lines at the top of figure.

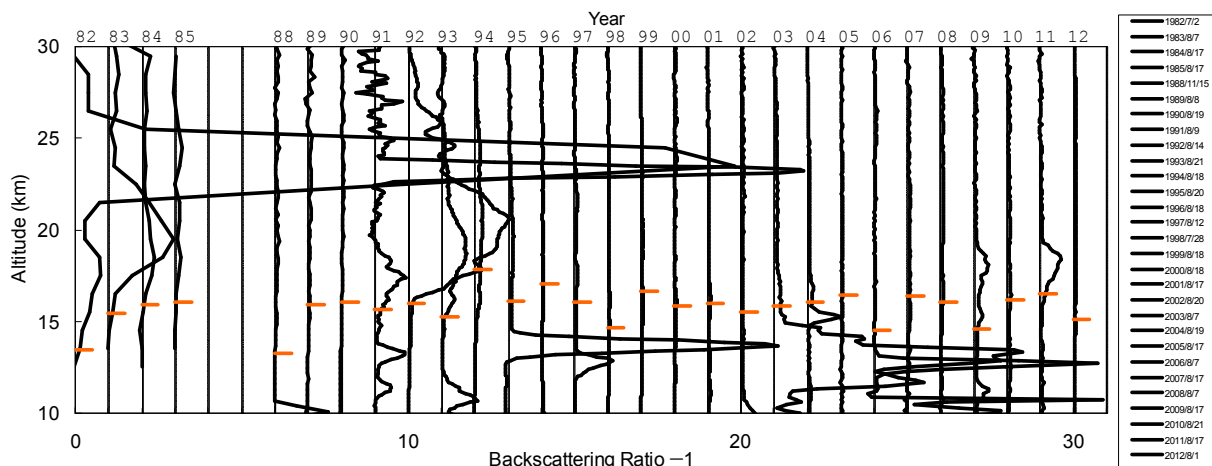


Figure 3: Vertical distributions of aerosol backscattering ratio (backscattering ratio-1) at 532 nm from July 2, 1982 to August 11, 2012. The values from 1982 to 1985 are converted from Ruby lidar data at 694 nm to 532 nm using the factor of Jäger and Deshler (1987). Each profile is plotted with the backscattering ratio progressively offset by 1. Horizontal orange lines show the first tropopause altitudes.