

大気環境観測所で観測した火山起源の成層圏エロゾル

坂下 卓也*1・鈴木 健司*2・足立 謙一*3・菊池 康友*4

1. はじめに

気象庁は世界気象機関による全球大気監視 (Global Atmosphere Watch: GAW) 計画の下で GAW 地域観測所として、岩手県大船渡市三陸町綾里にある大気環境観測所において温室効果ガスやエロゾル等の観測業務を行っている (気象庁 2008)。大気環境観測所では1988年1月からサンフォトメーターを用いてエロゾル光学的厚さ (Aerosol Optical Depth: AOD) の観測を行っているが、2002年3月からはライダーシステムを新たに導入し、高度約40 km までのエロゾルの鉛直分布の観測も可能となった (気象庁 2004)。

2008年8月7日から8日にかけて、アリューシャン列島のカサトチ火山が噴火した。9月10日21時より大気環境観測所の高度約18 km の成層圏において、この火山噴火を起源とすると考えられる顕著なエロゾルを観測したのでその結果を報告する。

2. ライダーによるエロゾルの観測方法

まずライダーによるエロゾル観測の原理について、ごく簡単に記述する (詳細は気象庁 (2004) を参照)。ライダーは可視波長域レーザー光 (大気環境観測所では波長532 nm) の短パルスを連続して上空に向けて発射して、大気中のエロゾルや雲等の散乱体

によって後方に散乱された散乱光を望遠鏡で受信する観測装置である。レーザー光を発射した後に検出するまでの遅延時間より、散乱体の地表からの高度が分かる。また、空気のみ存在すると仮定して計算した散乱光の強度に対する、実際に観測した散乱光の強度の比を散乱比といい、散乱比から散乱体の量に関する情報を得ることができる。レーザー光が単位距離進むごとにエロゾルによって散乱・吸収されて減衰する割合である消散係数からは、これを鉛直方向に積分することで AOD を求めることができる。

直線偏光の状態が発射されたレーザー光が散乱されて直線偏光が崩れた度合い (偏光解消度) からは、散乱体の形に関する情報を得ることができる。球形の散乱体による散乱では偏光解消度が0であるが、非球形の度合いが大きくなるにつれて偏光解消度が大きくなる。散乱体にはエロゾルのほかに雲等があるが、これらを存在高度と散乱比や偏光解消度から推定できる場合がある。例えば、対流圏上層で散乱比および偏光解消度の大きな散乱体は巻雲等の氷晶雲、対流圏中下層で偏光解消度の大きな散乱体は黄砂粒子などと推定できる。

大気環境観測所における観測頻度は1日4回 (日本時間02~04時, 08~09時, 14~15時, 20~22時) であるが、降水があれば観測を行わない。日中の観測では太陽光によるノイズの影響で成層圏の観測精度が落ちるため、02~04時と、20~22時の夜間の観測結果のみを示し、それぞれ03時, 21時の観測と記述する。基本データは1分値で得られるが、厚い雲などがあるとそれより上空にレーザー光が届かないためそれらは除去し、残りのデータを平均して各観測時刻の観測結果としている。

*1 Takuya SAKASHITA, 気象庁地球環境・海洋部環境気象管理官付。

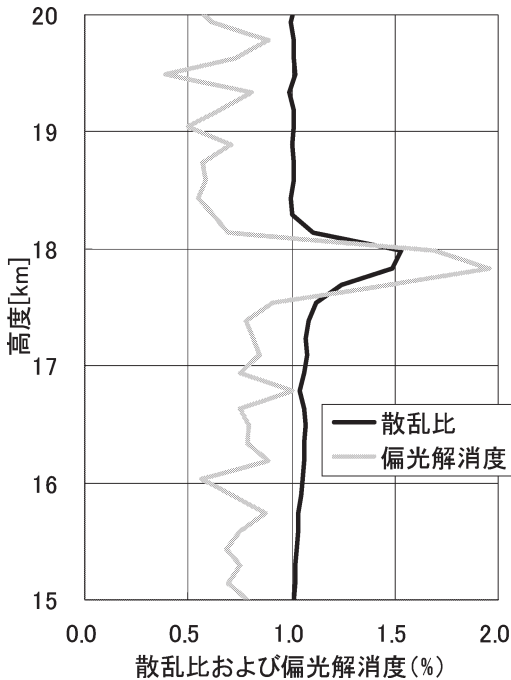
*2 Kenji SUZUKI, 気象庁地球環境・海洋部環境気象管理官付。

*3 Ken-ichi ADACHI, 気象庁地球環境・海洋部環境気象管理官付 (現: 大阪管区気象台気候・調査課)。

*4 Yasutomo KIKUCHI, 気象庁地球環境・海洋部環境気象管理官付大気環境観測所。

3. 観測結果

9月10日21時に大気環境観測所の高度約18 kmの成層圏において、最大散乱比1.53、最大偏光解消度2%、上端と下端の高度差である上下幅が約500 mの顕著なエアロゾルを観測した(第1図)。大気環境観測所では2002年3月の観測開始以来、成層圏においてこれほど大きな散乱比を示すエアロゾルを観測したことはない。2002年から2007年までに観測した散乱比の



第1図 9月10日21時のライダー観測結果。

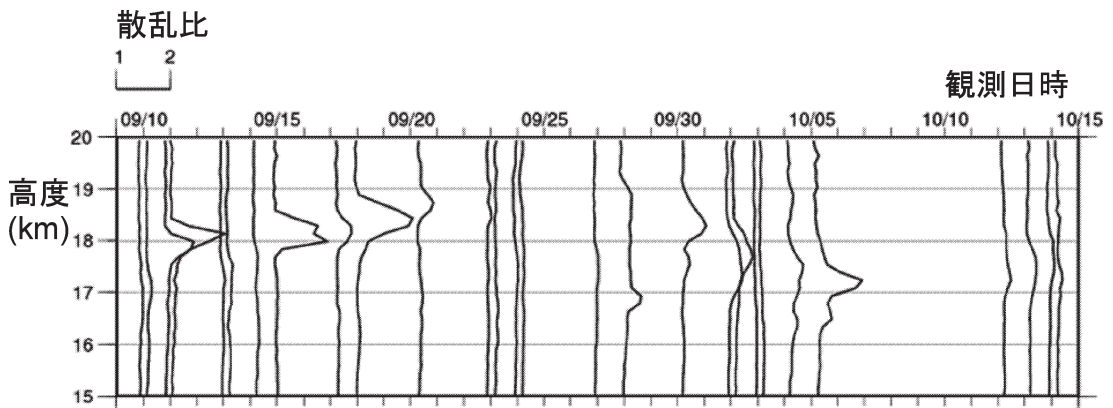
平均値は、高度15 km から20 kmの間では1.02から1.04である。

9月9日以降の散乱比の鉛直分布を観測時刻順に並べたものを第2図に示す。観測時刻が飛び飛びになっているのは、観測時間中すべてのデータが厚い雲の影響を受けた分を除去したためである。成層圏の顕著なエアロゾルは9月10日以後も1ヶ月以上の間、ピークの高度や散乱比の最大値および鉛直分布を様々に変えながら断続的に観測されたことが分かる。

各観測結果を詳しく見るために、第1表に観測時刻毎の散乱比の最大値とその高度、顕著なエアロゾルの上下幅、成層圏および全層のAOD、そして偏光解消度の最大値をまとめた。これによると、顕著なエアロゾルは10日21時に高度約18 kmで初めて観測され、次の観測時刻の11日03時にも連続して観測された。その後14日03時まで観測されなくなるが、14日21時に再び観測された。上下幅は200 m から2 kmに達することもあり、観測毎にばらつきが大きく全体的な傾向は見られない。このエアロゾルによるAODは最大で0.005であり、9月の対流圏も含めた全層の平均的なAODの値(0.1~0.2)と比較すると、20~40分の1だった。偏光解消度の最大値は初めて観測した10日と11日には約2%と高い値だったが、14日以降に再び観測されたときには0.5%前後と小さくなっていった。

4. 考察

このように突然現れて大きな散乱比を示す成層圏エアロゾルの起源としては、火山噴火による火山ガスの成層圏への注入が挙げられる。例えば1991年6月にピナトゥポ火山が大噴火を起こした際には、国内各地



第2図 各観測時刻における散乱比の鉛直分布図。各鉛直分布は第1表に示した観測日時に対応する。

に設置されたライダーで顕著な成層圏エアロゾルが観測されている (Uchino *et al.* 1993; Nagai *et al.* 1993).

8月7日から8日にかけてアリューシャン列島のカサトチ火山が噴火し、噴煙高度は13.7 kmに達した (Smithsonian Institution 2008). AURA 衛星搭載の OMI による観測結果を解析した SO₂鉛直積算の分布図を見ると、カサトチ火山の噴火により大量の SO₂が放出されて広がっていく様子が分かる。8月7日にカサトチ火山から放出された SO₂は、22日には大気の流れによって北半球の様々な領域に、薄まりながら

複雑な分布となって広がった (第3図)。噴火によって放出された火山灰や、SO₂から化学反応して生成される硫酸エアロゾルも同様に複雑な分布をもって広がったと考えられる。不均一な分布をしているために地上の観測点から見ると断続的に通過することになるが、これは今回大気環境観測所で観測したエアロゾルが断続的だったことと整合する。

CALIPSO 衛星は搭載しているライダーでエアロゾルの観測を行っているが、これによるとカサトチ火山の噴火直前まで見られなかった成層圏の顕著なエアロゾルが、噴火直後は火山付近で見られ、次第に北半球の各地に広がっていった様子が観測されている。このエアロゾルは9月11日に大気環境観測所付近に初めて到達したが、このときの高度は約18 kmだった (第4図)。これは大気環境観測所のライダーで観測したものと時空間的に近いことから、同じものであるといえる。なお、CALIPSO 衛星の観測では噴火3日後の8月10日の時点でエアロゾルの高度が約19 kmであったことから、今回観測したエアロゾルは噴火によって、初めは大気環境観測所で観測した高度以上まで達していたことが分かる。

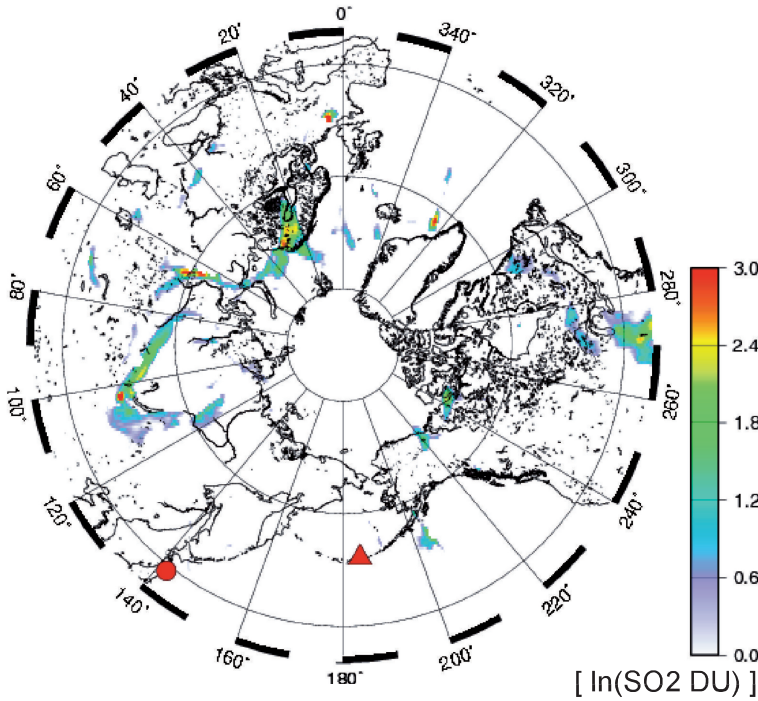
以上により、大気環境観測所上空の成層圏で断続的に観測した顕著なエアロゾルは、カサトチ火山の噴火を起源とし、複雑な分布をもって広がりながら上空を通過したものであるという結論に達する。

5. まとめ

2008年9月10日より1ヶ月以上の間、大気環境観測所では高度約18 kmの成層圏において、成層圏として

第1表 各観測時刻について最大散乱比、顕著な成層圏エアロゾルのピーク高度とその上下幅、成層圏 AOD、全層 AOD、最大偏光解消度。グレーで色付けた観測時刻に顕著なエアロゾルを観測した。全層 AOD は巻雲等の影響で求めることのできなかった時刻がある。

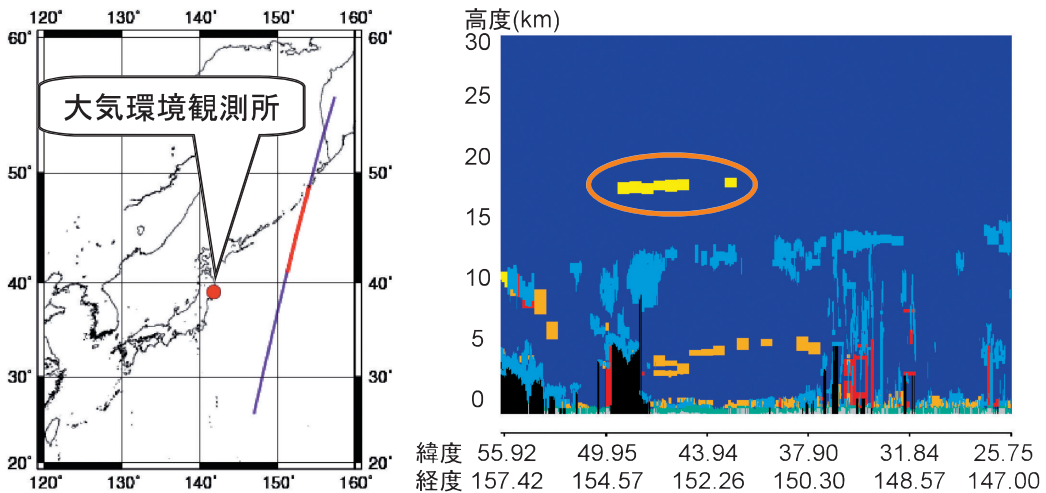
観測月日時	最大散乱比	ピーク高度 (km)	上下幅 (×100 m)	AOD (成層圏, ×10 ⁻³)	AOD (全層, ×10 ⁻³)	最大偏光解消度 (%)
9/9 21 h	1.08	---	---	1	104	0.6
9/10 03 h	1.11	---	---	1	91	0.6
9/10 21 h	1.53	18.0	5	2	75	2.0
9/11 03 h	2.00	18.1	6	3	89	2.1
9/12 21 h	1.12	---	---	1	160	0.7
9/13 03 h	1.14	---	---	1	---	0.6
9/14 03 h	1.13	---	---	2	149	0.5
9/14 21 h	2.03	18.0	7	4	215	0.9
9/17 03 h	1.35	18.1	6	3	---	0.7
9/17 21 h	2.13	18.4	12	5	---	0.7
9/20 03 h	1.39	18.7	5	3	---	0.7
9/22 21 h	1.11	---	---	1	115	0.5
9/23 03 h	1.10	---	---	1	80	0.7
9/23 21 h	1.10	---	---	1	61	0.6
9/24 03 h	1.09	---	---	2	95	0.6
9/26 21 h	1.11	---	---	1	123	0.6
9/27 21 h	1.41	16.9	21	4	113	0.7
9/30 03 h	1.49	18.3	7	3	50	0.5
10/1 21 h	1.29	17.4	11	2	106	0.8
10/2 03 h	1.36	17.7	9	2	71	0.8
10/2 21 h	1.08	---	---	1	122	0.6
10/3 03 h	1.09	---	---	1	171	0.6
10/4 03 h	1.31	17.5	9	2	249	0.9
10/5 03 h	1.92	17.2	16	4	270	1.0
10/12 03 h	1.20	17.2	3	1	116	0.4
10/13 03 h	1.18	17.5	3	1	---	0.7
10/13 21 h	1.14	---	---	1	73	0.5
10/14 03 h	1.16	---	---	2	122	0.9



第3図 AURA 衛星に搭載されている OMI による観測結果を解析した 2008 年 8 月 22 日の SO₂ 鉛直積算の分布 (ln(DU))。カサトチ火山を赤三角で、大気環境観測所を赤丸で示す。DU は気体成分の気柱全量を表す単位で、気体成分の気柱全量を標準状態 (0℃, 1 気圧) にしたときの厚さ (1 mm のときに 100 DU) である。

は 2002 年 3 月の観測開始以来最大の散乱比を示すエアロゾルを断続的に観測した。このエアロゾルの起源は、AURA 衛星による SO₂ 鉛直積算分布の解析結果や CALIPSO 衛星に搭載したライダーによる観測から、アリューシャン列島にあるカサトチ火山の噴火であろうことが分かった。

ただしエアロゾルに関する知見はまだ十分でなく、特に成層圏まで観測できるライダーは限られていることから、観測体制の更なる充実が求められる。このような観測事例が集まることで知見が得られ、成層圏エアロゾルの実態解明が進むことを期待したい。今後もライダーによる成層圏のエアロゾル観測を継続し、観測結果に注目していく。



第4図 CALIPSO 衛星に搭載されているライダーによる、日本時間 2008 年 9 月 11 日 01 時頃のエアロゾル観測結果。左図の紫または赤線で示す軌道に沿って、右図が軌道 (横軸)/高度 (縦軸) の断面図 (左ほど北)。右図の色分けは観測結果を雲やエアロゾル等に分類したもの。右図の橙色の丸で囲んだ黄色部分は「stratospheric feature」とされており、左図の軌道では赤線の場合に対応する。

謝 辞

本稿を執筆するにあたって、気象研究所の永井智広氏、国立環境研究所の内野 修氏には多くの有益なご意見をいただきました。この場を借りてお礼申し上げます。

参 考 文 献

気象庁, 2004 : エアロゾル観測・監視システムによるエアロゾルの観測. 測候時報, **71**, 147-164.
気象庁, 2008 : 大気・海洋環境観測報告 第8号 2006年観測結果.

Nagai, T., O. Uchino, T. Fujimoto, Y. Sai, K. Tamashiro, R. Nomura and T. Sunagawa, 1993 : Lidar observation of the stratospheric aerosol layer over Okinawa, Japan, after the Mt. Pinatubo volcanic eruption. *J. Meteor. Soc. Japan*, **71**, 749-755.
Smithsonian Institution, 2008 : SI/USGS Weekly volcanic activity report. <http://www.volcano.si.edu/reports/usgs/> (2009年3月25日閲覧).
Uchino, O. *et al.*, 1993 : Observation of the Pinatubo volcanic cloud by lidar network in Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **71**, 285-295.