

# 首都圏に設置されたライダーとシーロメーターにより観測された 浅間山からの火山灰 –火山灰輸送における局地風循環の影響–

Volcanic ash transport from Mount Asama observed by the lidar and ceilometer installed in  
the Tokyo metropolitan area –Influence of the local wind circulation on ash transport–

常松展充<sup>1</sup>、永井智広<sup>2</sup>、村山利幸<sup>3</sup>、足立アホロ<sup>2</sup>

Nobumitsu TSUNEMATSU<sup>1</sup>, Tomohiro NAGAI<sup>2</sup>, Toshiyuki MURAYAMA<sup>3</sup>, Ahoro ADACHI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 科学技術振興機構/気象研究所 (Japan Science and Technology Agency/Meteorological Research Institute)

<sup>2</sup> 気象研究所 (Meteorological Research Institute)

<sup>3</sup> 東京海洋大学 (Tokyo University of Marine Science and Technology)

## Abstract

An active volcano in Japan, Mount Asama, erupted on a summer sunny day, Sep. 16, 2004, bringing ashfall to the Kanto Plain including the Tokyo metropolitan area which is located to the southeast of the mountain. Satellites showed the ash cloud trailing toward the south in the morning but southeast in the afternoon. A ground-based lidar and a ceilometer which were installed in the metropolitan area continuously observed the southeastward-transported ash passing mainly altitudes of 2.5-4.5 km above sea level (ASL) in the nighttime. Results of meteorological analyses and numerical experiments showed that the southeasterly extended sea breeze (ESB) prevailed at altitudes below 1.5 km ASL over the plain on that day under a weak-synoptic-flow condition and induced the northwesterly compensatory return flow (CRF) at altitudes of 1.5-4.5 km ASL. The numerical experiments then showed a close relationship between the CRF and ash transport; the direction of the ash transport gradually turned from the south to southeast while the northwesterly CRF prevailed. This relationship demonstrates that the ash was transported by the CRF. The nocturnal ash transport, however, depended on the intensified synoptic flow. Thus, in addition to the synoptic flow, the CRF of ESB prevailing over the Kanto Plain can influence ash transport originating from Mt. Asama, increasing the possibility of ashfall in the Tokyo metropolitan area.

## 1. はじめに

関東地方においては、一般風の弱い夏季晴天日の午後、水平スケールが 200km に及ぶ「大規模海風」が発達することが知られている(e.g., Fujibe and Asai, 1984; Kondo, 1990a; Kondo, 1990b; Kurita et al., 1990)。そして、大規模海風の上空ではその反流(以後単に「反流」と呼ぶ)が卓越する。反流は関東山地から関東平野に向けて水蒸気を輸送し、平野部における夜間の降水頻度を高めることが指摘されている(e.g., Sato and Kimura, 2003; Sato and Kimura, 2005)。これと同様に、関東山地の一部といえる浅間山から放出される火山灰も、反流によって輸送される可能性がある。本研究では、2004年9月16日に首都圏で浅間山起源の降灰が観測された事例を対象とし、その可能性について調査した。その日の関東地方は、移動性高気圧に緩やかに覆われて良く晴れており、大規模海風が発達しやすい状況下にあった。また、同日の高層天気図によると、関東地方上空の対流圏中層では北風が卓越していた。なお、気象庁の火山観測情報によると、16日の噴煙高度は浅間山山頂上約1500mに達していた。

## 2. 研究手法(ライダーシステム等)

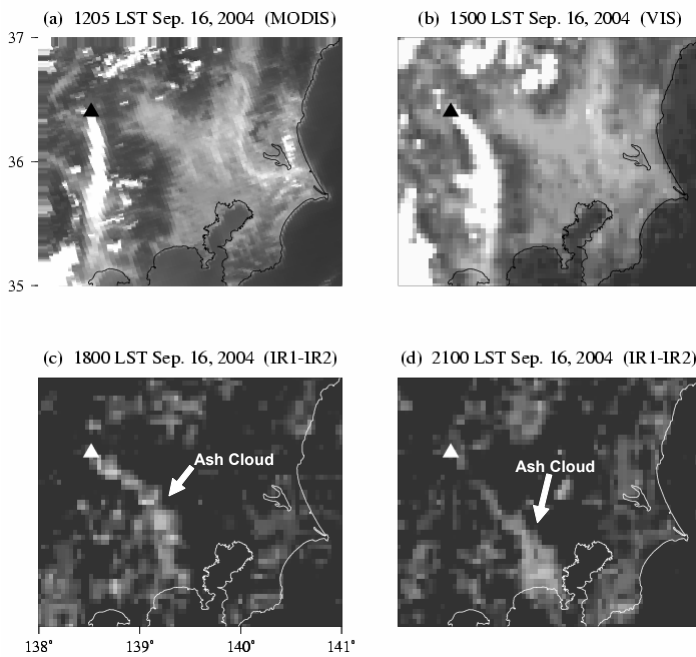
浅間山から輸送されてきた火山灰を検出するために、首都圏に設置されたライダーとシーロメーターの観測データを分析した。ライダーは、つくば市にある気象研究所に設置されたエアロゾルライダーである。このライダーでは、波長 532nm の Nd:YAG レーザーを発射し、地上付近から成層圏下部にかけての後方散乱光を直径 200mm と 355mm の望遠鏡によって捕捉する。捕捉された後方散乱光は、発射されたレーザーの偏光面に対して平行な成分と垂直な成分に分けられたうえで光電子増倍管により検出され、電気信号として出力される。一方、東京江東区

にある東京海洋大学に設置されたシーロメーターでは、波長 905nm のレーザーにより観測が行われている。

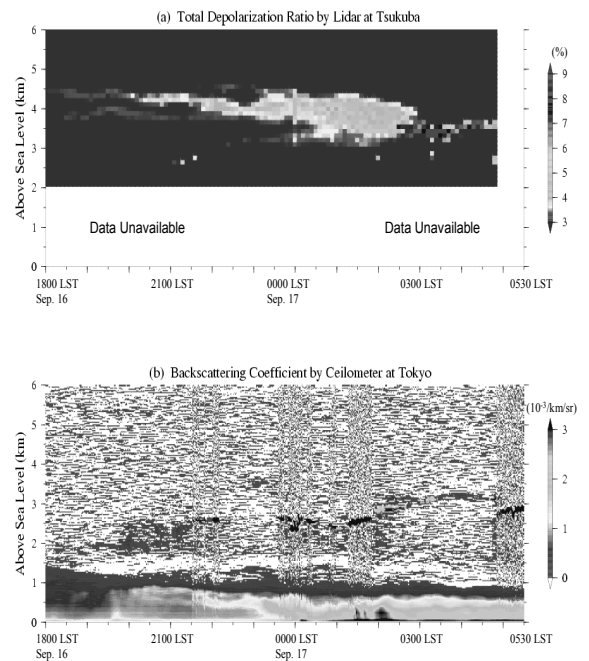
火山灰の輸送状況は、地球観測衛星 TERRA と AQUA に搭載された MODIS と、気象衛星 GOES-9 の VIS および IR の観測データを解析することにより把握した。また、地上・高層気象観測データを用いた気象解析と、領域気象モデル RAMS の改良版である TERC-RAMS (e.g., Okamura and Kimura, 2003; Tsunematsu and Kai, 2004; Tsunematsu et al., 2005) と移流拡散モデル (Kimura and Yohikawa, 1988; Tsunematsu et al., 2005) を用いた数値実験により、気象場の分析と火山灰輸送の再現を行った。火山灰の放出高度は先に述べた火山観測情報に従った。

### 3. 2004 年 9 月 16 日の火山灰輸送

衛星観測データの解析画像を Figure 1 に示す。浅間山から放出された火山灰は、16 日正午まではほぼ真南へ輸送されていたが (Fig. 1a)、その後は徐々に南東の方向へ輸送されるようになった (Figs. 1b-d)。南東へ輸送された火山灰は関東平野上に移流し、首都圏に降灰をもたらした。ライダーによる全偏光解消度 ( $\delta_t$ ; Figure 2a) を見ると、16 日 20 時以降、高度 3-4.5km で非球形粒子が連続して観測されている。ここでは図を省略するが、この非球形粒子による後方散乱比はほぼ 1 であり、それらの粒子が極微量であったことを示している。21 時のラジオゾンデ観測結果 (図省略) によると、同高度では、空気が非常に乾燥し、気温は 0 度以上であり、北西風吹いていた。このことから、その粒子は風上の浅間山から輸送されてきた火山灰粒子であるものと見なすことができる。一方、シーロメーターによるエアロゾル後方散乱係数 ( $\beta_a$ ; Figure 2b) を見ると、16 日 21 時 30 分以降、高度 2.5km 付近で強い散乱体が観測されているが、ラジオゾンデ観測結果において同高度の相対湿度はほぼ 100% であり、また散乱係数も大きいことから、それは雲と判別される。しかし、17 日 2-5 時に高度 3km 付近に見られる散乱体は、雲と見られる散乱体とは高度的に不連続であり、また散乱係数も比較的小さいことから、火山灰と見なすことができる。このことは、Figure 3 に示すように、移流拡散モデルによる拡散シミュレーション結果との比較において、より明らかになる。つまり、17 日 1 時までには雲と見られる強い散乱体の上に少数の火山灰粒子が分布しているが (Figs. 3a-b)、2 時以降は観測された散乱体 (高度 3km 付近) とほぼ同高度に火山灰粒子が分布している (Figs. 3c-f)。また、つくばの観測結果 (Fig. 2a) と照らし合わせて考えると、2 時以前においても、実際には雲の上に極微量の火山灰粒子が移流していた可能性が高い。なお、散乱係数は 1 時以降、地上付近においても増えており、首都圏の降灰の事実を裏付けている。



**Fig. 1.** Satellite images at (a) 1205 LST (Band1/MODIS/AQUA) (b) 1500 LST (VIS/GOES-9), (c) 1800 LST (IR1-IR2/GOES-9), and (d) 2100 LST (IR1-IR2/GOES-9) on Sep. 16, 2004. A triangle mark in each panel indicates Mt. Asama.



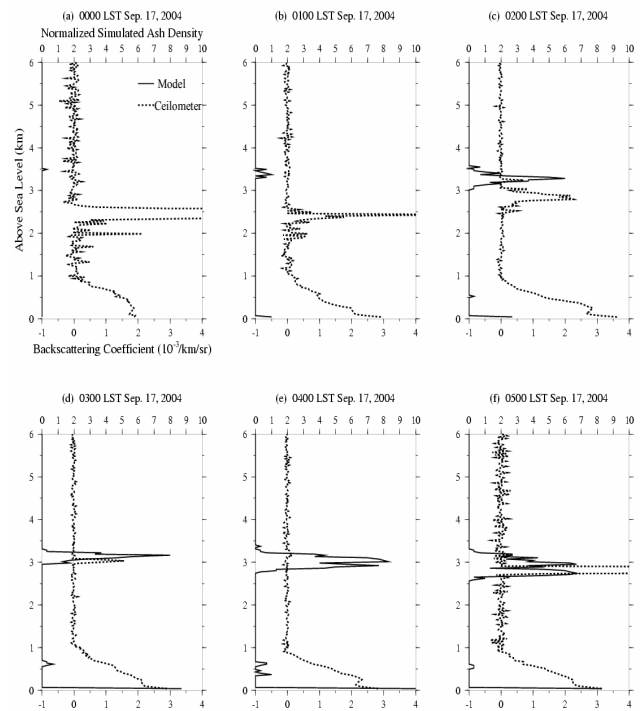
**Fig. 2.** Time-height cross sections of (a)  $\delta_t$  by the lidar at Tsukuba and (b)  $\beta_a$  by the ceilometer at Tokyo for the period from 1800 LST Sep. 16 to 0530 LST Sep. 17, 2004.

#### 4. 大規模海風とその反流の卓越

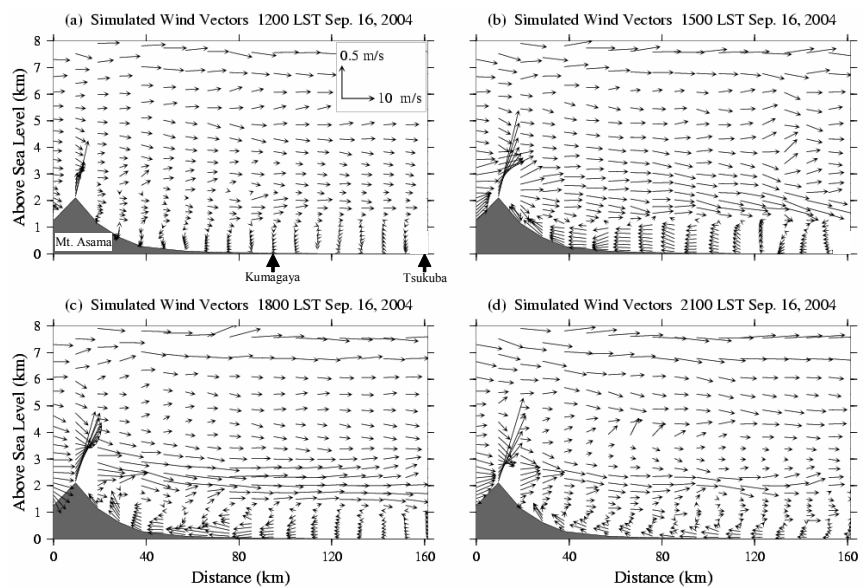
アメダスによる16日の地上風分布(図省略)によると、朝方に関東平野の所々で吹いていた弱い山風と陸風は9時までに消滅し、代わって谷風が吹くようになる。そして、沿岸部で吹き始めた海風が徐々に内陸へ侵入し、15時までに谷風と結合して大規模海風に発達する。このように、関東地方における16日の地上風の場合には、明瞭な日変化が見られた。つぎに、Figure 4は、TERC-RAMSによる計算結果から得られた、浅間山とつくばを結ぶ線に平行な風の水平成分と鉛直成分のベクトルの鉛直分布である。12時以降、平野上の高度1.5km以下で大規模海風が卓越し、その反流が強い北西寄りの風として高度1.5-4.5kmに形成されている様子が明瞭に見られる(Figs. 4a-b)。この反流は少なくとも18時まで持続し(Fig. 4c)、その後衰退している(Fig. 4d)。熊谷に設置されているウインドプロファイラーの観測結果においても、海風の進入と反流の存在が確認された(図省略)。

#### 5. 火山灰輸送に対する反流の影響

Figure 5は移流拡散モデルによる火山灰輸送の再現実験の結果である。火山灰粒子は16日12時において南へ輸送されているが(Fig. 5a)、12時から18時にかけて徐々に南東へ輸送されるようになる(Figs. 5b-c)。この実験結果は、先の衛星画像(Fig. 1)に見られた火山灰輸送の様子を良く再現している。Fig. 4とFig. 5をあわせて見てみると、反流が形成される前の12時においては、火山灰は南へ輸送されているが(Figs. 4a and 5a)、反流が発達する12時から18時の間に南東へ輸送されるようになる(Figs. 4b-c and 5b-c)。反流が衰退した21時においては、火山灰輸送の方向が浅間山付近において再び南に戻る(Figs. 4d and 5d)。このことは、浅間山から放出された火山灰が、北西寄りの反流の影響を受けて南東へ輸送されたことを証明している。17日0時以降、火山灰は浅間山付近で東へ輸送され、その後は南または南東の方向へ輸送されている(Figs. 5e-f)。この時間においては、既に反流が衰退していることから(図省略)、火山灰は主に一般風によって輸送されたものと判断される。



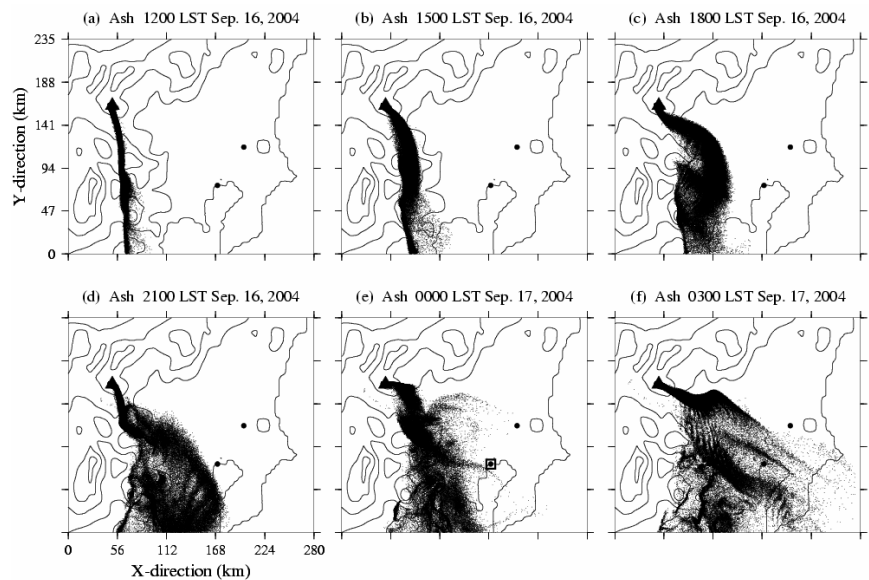
**Fig. 3.** Vertical profiles of the simulated-ash number density by the diffusion model and  $\beta_a$  by the ceilometer at (a) 0000 LST, (b) 0100 LST, (c) 0200 LST, (d) 0300 LST, (e) 0400 LST, and (f) 0500 LST on Sep. 16, 2004. The number density of ash particles was calculated for the range of the small box in Fig. 5e ( $X = 165-175$  km and  $Y = 70-80$  km) from ground surface up to 6 km ASL at intervals of 30 m. The density was normalized by assuming the maximum value in the period to be 10.



**Fig. 4.** Vertical cross sections of simulated winds over the diagonal dotted line connecting Mt. Asama and Tsukuba at (a) 1200 LST, (b) 1500 LST (c) 1800 LST, and (d) 2100 LST on Sep. 16, 2004. Gray shading represents topography.

## 6. まとめ

2004年9月16日に首都圏で浅間山起源の降灰が観測された事例を対象として、関東地方で発達する大規模海風の反流が浅間山からの火山灰輸送に及ぼす影響について調査した。衛星観測データの解析画像から、火山灰は正午まではほぼ真南へ輸送されていたが、午後から夕方にかけて南東へ輸送されるようになった。南東へ輸送された火山灰は首都圏に設置されたライダーとシーロメーターによって、主に高度3-4.5kmにおいて観測された。気象解析結果と数値実験の結果、16日午後に関東平野上空の高度1.5-4.5kmでは、大規模海風の反流が強い北西寄り風として明瞭に形成されていたことが分かった。数値実験結果はさらに、その北西寄りの反流の影響を受けて火山灰が南東へ輸送されたことを証明した。



**Fig. 5.** Simulated ash distributions at (a) 1200 LST Sep. 16, (b) 1500 LST Sep. 16, (c) 1800 LST Sep. 16, (d) 2100 LST Sep. 16, (e) 0000 LST Sep. 17, and (f) 0300 LST Sep. 17, 2004. Each dot represents an ash particle. A triangle mark in each panel indicates Mt. Asama. Two black round marks in each panel indicate the location of Tsukuba and Tokyo. A box in (e) indicates the range for the calculation of the number density of ash particles in Fig. 3. The solid contour lines are drawn at intervals of 500 m.

## 参考文献

- Fujibe, F., and T. Asai, 1984: A detailed analysis of the land and sea breeze in the Sagami Bay area in summer, *J. Meteor. Soc. Japan*, **62**, 534-551.
- Kimura, F., and T. Yoshikawa, 1988: Numerical simulation of global scale dispersion of radioactive pollutants from the accident at the Chernobyl nuclear power plant, *J. Meteor. Soc. Japan*, **66**, 489-495.
- Kondo, H., 1990a: A numerical experiment of the “extended sea breeze” over the Kanto Plain, *J. Meteor. Soc. Japan*, **68**, 419-434.
- Kondo, H., 1990b: A numerical experiment on the interaction between sea breeze and valley wind to generate the so-called “extended sea breeze”, *J. Meteor. Soc. Japan*, **68**, 435-446.
- Kurita, H., H. Ueda, and S. Mitsumoto, 1990: Combination of local wind systems under light gradient wind conditions and its contribution to the long-range transport of air pollutants, *J. Appl. Meteor.*, **29**, 331-348.
- Okamura, O., and F. Kimura, 2003: Behavior of GPS-derived precipitable water vapor in the mountain lee after the passage of a cold front, *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 10.1029/2003GL017572.
- Sato, T., and F. Kimura, 2003: A two-dimensional numerical study on diurnal cycle of mountain lee precipitation, *J. Atmos. Sci.*, **60**, 1992-2003.
- Sato, T., and F. Kimura, 2005: Diurnal cycle of convective instability around the Central Mountains in Japan during the warm season, *J. Atmos. Sci.*, **62**, 1626-1636.
- Tsunematsu, N., and K. Kai, 2004: Time variation of cloud distribution near surface wind convergence zone in the Nobi Plain during daytime on summer sunny days, *J. Meteor. Soc. Japan*, **82**, 1505-1520.
- Tsunematsu, N., T. Sato, F. Kimura, K. Kai, Y. Kurosaki, T. Nagai, H. Zhou, and M. Mikami, 2005: Extensive dust outbreaks following the morning inversion breakup in the Taklimakan Desert, *J. Geophys. Res.*, in press.