

富士山における地方時型晴天時大気電気変動の観測

阪井陸真¹、鳥居建男²、保田浩志³、大河内博⁴、鴨川仁¹

1.東京学芸大学物理科、2.日本原子力研究開発機構、
3.放射線医学総合研究所、4.早稲田大学理工学術院

1. はじめに

晴天時の大気電場変動は全世界で同時に変化をする(以後、世界時(Universal Time: UT)型と記載する)(MacGorman and Rust, 1998)。しかしながら、山岳においては地方時(Local Time: LT)での日変化を示すことが1950年代から指摘されている(以後、地方時型と記載する)(Israël, 1952; Chalmers, 1957; Ogawa, 1960; Muir, 1977; Raina and Makhdomi, 1980; 関川, 1960)。この変動は日の出とともに大気電場が上昇し、日の入りとともに定常値に戻ることから、本現象は日の出・日の入効果(Sunrise Sunset effect)ないしは山岳で観測されることから山岳効果(Mountain effect)と呼ばれている。Israël (1952)、Chalmers (1960)、Ogawa (1977)は、これらは夜明けに生じる人間活動起因の大気粒子が原因であるとした。さらにKasemir (1956)は、大気の循環が原因であるとし、Raina and Makhdomi (1980)は、日光が当たることによる電極効果であることが原因であるとした。その後いくつかの論文で説明を試みているが、現象は明確に解明できたとはいえない。

日本最高峰である標高3776mの富士山山頂においても、大気電場をはじめとした大気電気現象の通年観測が関川によって1957-1958年に行われた(関川, 1960)。大気電場の連続観測で得られた晴天時大気電場の季節ごとの平均日変化曲線は、春、夏、秋は地方時型だが、冬季は全く異なり世界時型になると報告している。一般に晴天時の日中、陸上における高度1~2km以下の混合層(mixing layer)では対流活動が盛んであり、大気電場に影響を与えるエアロゾル濃度が比較的高いと言われている。関川の解釈では、これらの晴天時電場の地方時型は、この混合層起源のエアロゾルの影響だとしている。さらに冬季における富士山山頂大気は、混合層を突き抜けた上層大気と同一となるため、晴天時電場は世界時型になるとしている。

以上より、世界時型を示さない山岳における大気電場変動の起因は未解明であるため、本研究では富士山山頂にて大気電場観測を行いこれらの発生メカニズムを探る。

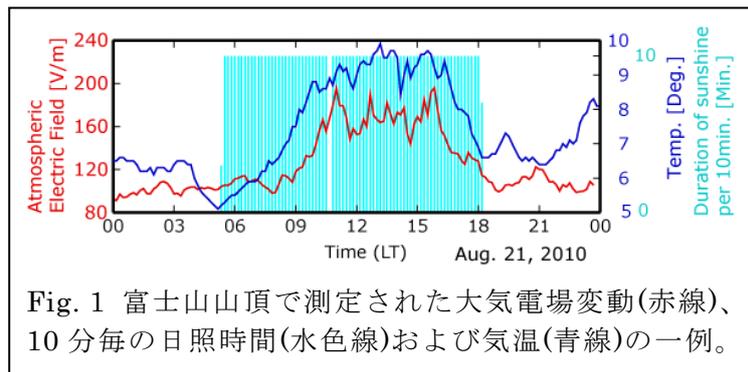


Fig. 1 富士山山頂で測定された大気電場変動(赤線)、10分毎の日照時間(水色線)および気温(青線)の一例。

2. 測定方法

本研究ではBoltek社製のフィールドミルを用いて、富士山山頂において晴天時大気電場の計測を行うべく富士山測候所に装置を設置した。計測は2009、2010、2011年の7月下旬から8月下旬のそれぞれ約1ヶ月間行った。温度・日照時間の気象データは、気象庁による測定値を用いた。富士山全景を見るための雲カメラ画像は環境省自然環境局生物多様性センター(N35°27'10", 138°45'44")の画像データ、山頂からはワテック社WAT-232による天頂雲連続観測および適宜、山頂滞在時にデジカメによる雲海、天頂方向の雲撮影を行った。

さらに富士山山頂での大気電場値の校正を行うため、地方時型変動がみられない夜間値(2010/8/13 3:00-3:10LT)を用いて、同時刻の小笠原父島での晴天時大気電場値と比較し校正を行った。

2011年においては、山頂から雲海を撮影するカメラ画像(富士宮方向および山梨)を入手し、雲海下部になる太郎坊においても大気電場および天頂方向の雲撮影を行った。

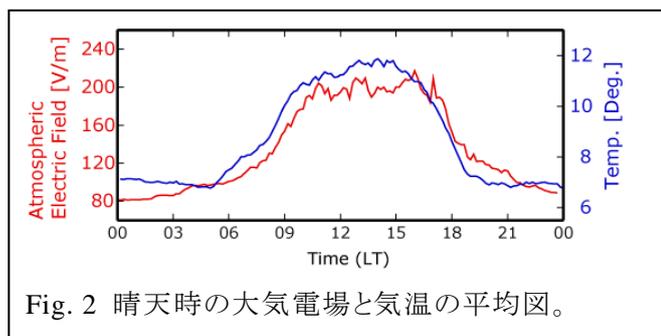


Fig. 2 晴天時の大気電場と気温の平均図。

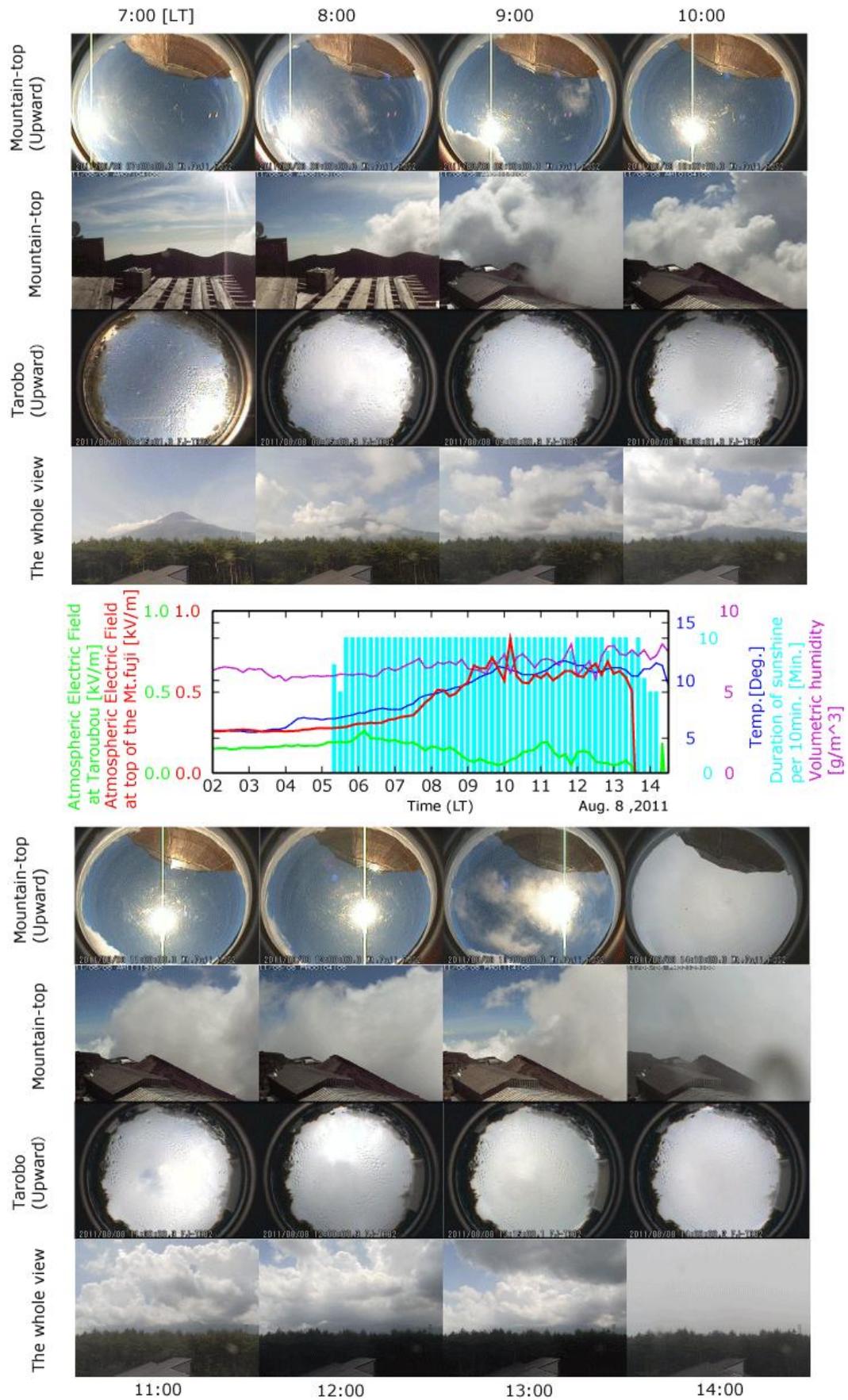


Fig. 3 大気電場の上昇(中段)とそのときの雲の様子(時刻順に上段から下段)。

3. 測定方法

関川(1960)と同様に山頂における大気電場変動は晴天時に世界型を示すことはなく地方時型を示した(Fig. 1)。つまりほぼ日の出とともに大気電場が正に上昇し、日の入りとともに減少する。また、この変動は最小値と最大値の比が約 3 倍程度になり、世界時型での約 1.5 倍程度と比べるとはるかに日中の強度が大きい。晴天時での変動は気温との相関が見られたため、山頂に雲がない状態(山頂に設置された日照計データおよび全天カメラから判断) 8 日分の大気電場変動と気温の各時刻における平均図を求めた(Fig. 2)。相関解析を行うと温度は大気電場より 40 分先行して変動していることが分かった。なお室内実験より、測定に用いているフィールドミルに温度依存性はないことが分かっている。この温度変動が先行することを調べるために雲画像を調べたところ、いずれの場合も雲が気温上昇とともに発達し雲海が生じていることが分かった(Fig. 3)。この雲頂は山頂から撮影されたカメラから 3500m 前後の一定の高度になることがわかる。通常、電荷を持った雷雲および対流雲(一部は成長し雷雲になる)でない平常時の雲の電荷は大きくないが、雷雲と同様に上・下部に正・負の電荷が蓄積される(MacGorman and Rust, 1998)。故に、雲海のわずかな電荷の電場が山頂での観測に影響を与えていることが予想される。さらに、Fig. 3 によれば太郎坊での大気電場の計測では、山頂における大気電場と反対に雷雲の成長と共に電場が小さくなっている。そのことから仮説を指示していることがわかる。

4. 数値計算による検証

雲海から生じる電荷がどのように山頂に電場を生じさせるかを調べるために、電位 ϕ および電場 \mathbf{E} を数値的に算出した。本研究では二次元のポワソン方程式

$$\Delta \mathbf{E} = -\rho(x, y) / \epsilon \quad (1)$$

をガウス=ザイデル法にて取り扱う。ここで x, y は、それぞれ水平、鉛直方向、 ϵ は空気中の誘電率、 ρ は電荷密度を表わす。雲海がない場合の山頂における大気電場が 40V/m かつ雲海の存在で山頂での電場が 3 倍程度つまり 120V/m になるためには、雲海の上部に電荷面密度 $1 \times 10^{-10} \text{ C/m}^2$ 程度の正電荷が必要である(Fig. 4)。一方、Fig. 4 (c)で示されるように、雲海の雲頂・雲底の電荷を逆にすると観測とは一致しない。つまりこのことから雲海内の正負の電荷配置も正しい事が理解できる。

5. おわりに

富士山山頂における地方型大気電場変動は、夏季期間に気温上昇とともに発生する雲の雲頂に生じる電荷によるものが起因であると考えられる。長い間、日の出・日の入り効果ないしは山岳効果と呼ばれていた山頂における地方型大気電場変動も同様な仕組みで生じている可能性が高い。

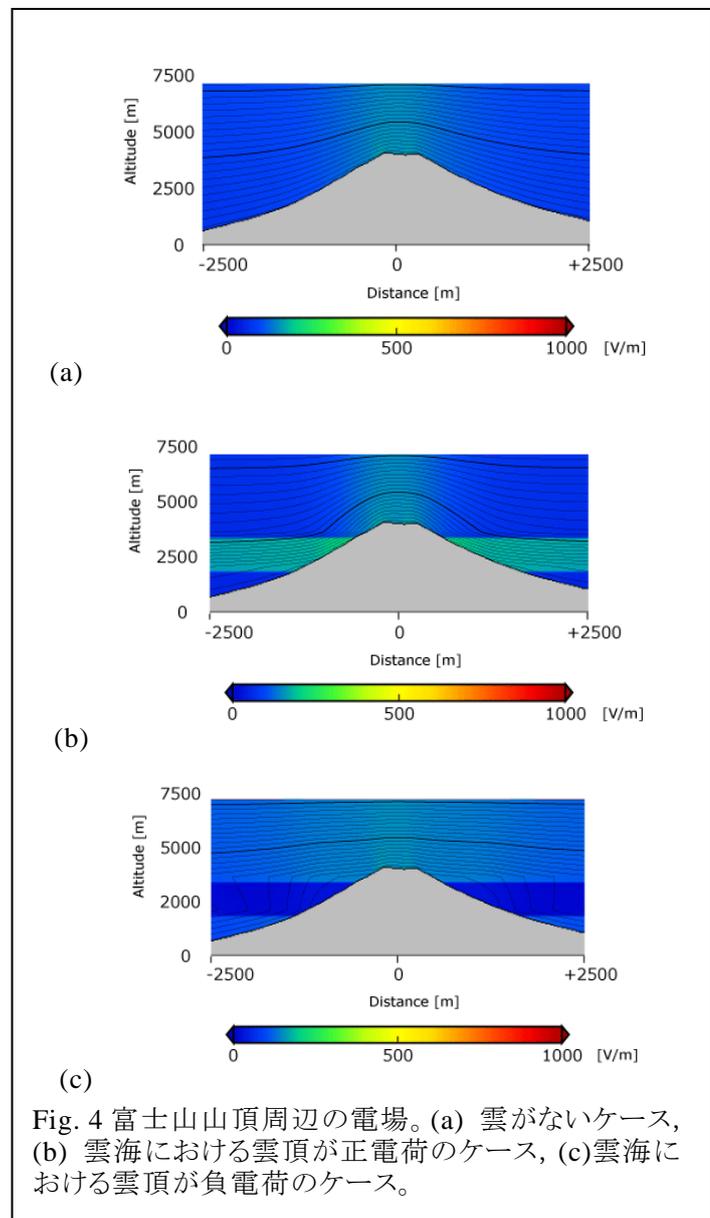


Fig. 4 富士山山頂周辺の電場。(a) 雲がないケース、(b) 雲海における雲頂が正電荷のケース、(c) 雲海における雲頂が負電荷のケース。

参考文献

- MacGorman, D. R., and Rust, W. D. (1998) *The Electrical Nature of Storms*, 422 pp., Oxford University Press, New York
- Israël, H. (1952) The Diurnal Variation of Atmospheric Electricity as a Meteorological-Aerological Phenomenon, *J. Atmos. Sci.*, 9, 328-332.
- Chalmers, J. A. (1957) The effects of condensation nuclei in atmospheric electricity, *Pure Appl. Geophys.*, 36, 211-217.
- Ogawa, T. (1960) Diurnal Variation in Atmospheric Electricity, *J. Geomag. Geoelect.*, 12, 1-12.
- Muir, M. S. (1977) The potential gradient sunrise effect in atmospheric electricity, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 39, 229-233.
- Kasemir, H.W. (1956) Zur Strömungstheorie des lufterlektrischen Feldes III: Der Austauschgenerator. *Meteorologisches Observatorium Aachen des Deutschen Wetterdienstes*, 551, 1-14.
- Raina, B. N. and Makhdomi, B.A. (1980) On the sunrise effect in atmospheric electricity, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 42, 155-160.
- 関川俊夫 (1960), 富士山頂における気象電気の観測, *天気*, 7, 65-71.

*連絡先: 鴨川仁 (Masashi KAMOGAWA)、kamogawa@u-gakugei.ac.jp