# 校正された電場データを用いた晴天静穏時大気電場山岳効果の解析

鈴木裕子<sup>1</sup>、鴨川仁<sup>1</sup> 1. 東京学芸大学

#### 1. はじめに

地球は、電離圏と大地との間で球殻コンデンサーをなしており[MacGorman and Rust 1998; 日本大気 電気学会、2003」、電離圏は地上に対して 300kV電位が高い。このコンデンサーは宇宙線によってわずか に電離させられた大気を通じてたえず放電しているが、対地雷や降水などの活動により常に充電されて いる。そのため晴天静穏時(以下晴天時)の大気電場の変動は全世界的に同じ変動をすると考えられ、こ れらの地球規模の電気回路はグローバルサーキットと呼ばれている。特に大気電場の日変化図はカー ネギーカーブと呼ばれ、この変化はグローバルサーキットのいわば電源に相当する全世界的な対地雷 総エネルギーの日変化と類似し、世界時(Universal Time: UT)の20時周辺には1日のうちの最大の大気 電場が観測される。しかし、山岳における晴天時の大気電場はカーネギーカーブ型にはならず、地方時 (Local Time: LT)に従う日変化を示すことが知られている[日本大気電気学会, 2003; Israël, 1973; 関川俊 男、1960]。この地方時型日変化は、山岳効果(Mountain effect)として知られている。Israël [Israël, 1973]は、 1950 年代ヨーロッパのアルプス・ユングフラウヨッホ(3472m)での山岳観測でこの効果を発見し、この効果 の原因を下層から移流するエアロゾルの変動が起因と考えた。日本最高峰である標高 3776m の富士山 山頂においても、関川によって 1957~1958 年に大気電場をはじめとする大気電気現象の通年観測が行 われた[関川俊男. 1960]。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、冬季は世界 時型だが、春、夏、秋は地方時型となり、山岳効果が見られたと報告している。一般に、晴天時の日中は 高度 1~2km 以下の混合層(mixing layer)で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 ル濃度が比較的高くなると言われている。関川[関川俊男, 1960]の解釈では、Israël [Israël, 1973]と同様に、 大気電場の地方型日変化は混合層起源のエアロゾルの影響だとされた。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、晴天時大気電場がカーネギーカーブ型にな るとしている。

以上より、カーネギーカーブ型を示さない山岳における地方時型大気電場日変化の起因は、現代ではエアロゾルによるものであるとされている[日本大気電気学会,2003]。しかし、我々の2009年から2010年の観測によると[佐藤良衛ら,2011]、晴天時における大気電場の地方時型変動と気温との間には相関が見られた(図1)。そのため、山頂からの天頂方向・下界方向への雲画像を調べたところ、山岳効果が見られる日は雲が気温上昇とともに発達し雲海が存在していた。その結果、山頂が晴天日でも雲海が存在すれば雲海のわずかな電荷が作る電場が山頂に影響を与え地方時型大気電場変動が得られることが予想された[佐藤良衛ら2011]。山岳効果がみられた日変化での最小値(夜間)に対する最大値(日中)は約300%程度になり、カーネギーカーブ型での変動幅百数十パーセントと比べるとはるかに日中の強度が大きい。

それ故、従来のエアロゾルによる山岳効果の説明は見直す必要があり、予備的研究[佐藤良衛ら 2011]における予想を本研究では検証し発生機構を解明する。

## 2. 測定方法

本研究では2011年7月16日から8月29日に富士山測候所屋根および太郎坊(5合目)にて大気電場の計測を行った(図2)。測定器は、Boltek 社製のフィールドミル(EFM-100)を用いた。晴天および雲の確認のため、天頂カメラを富士山測候所屋根および太郎坊に、雲海の確認のために測候所より図2の2 方向に向けてカメラを設置した。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 センターによって取得された画像データを用いた。温度・湿度・日照時間の気象データは、気象庁の山 頂測定値を用いた。

富士山山頂での大気電場値のおおよその絶対値を知るために、校正を行った。校正では地方時型変

動がみられない夜間値(2011/7/26 2:30-3:30LT)を用いて、同時刻の小笠原父島での晴天時大気電場値 (すでに平面校正されたもの)と比較し校正を行った。これらの値はあくまでおおよその値を知るためであ り山頂の形状による高電位傾度などは考慮していない。さらに測定に用いているフィールドミルは温度依 存性、紫外線による測定値への影響はないことは室内実験により確認してある。

## 3. 観測方法

2011年の観測においても関川[関川俊男, 1960]および予備的研究[佐藤良衛ら, 2011]と同様に、山頂における大気電場変動は晴天時にカーネギーカーブ型を示すことはなく地方時型を示した。山頂上空が晴天の時間を含む日、全23日のうち16日で山岳効果が見られた(ただし雷雲時による変化が一時的にあった場合も含む。ここでは例として2011年8月8日を図3に示した)。晴天時での変動は予備的研究[佐藤良衛ら, 2011]と同様に気温との相関が見られたため、各雲画像を調べたところ、山岳効果が見られる日はいずれ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(図3)。通常、電荷を持った雷雲および対流雲でない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場合がある[Imyanitov et al., 1971]。これらは雲の上部の正の電荷が作り出す電場が重ね合わされるため、雲の成長と大気電場の相関関係が得られていると考えられる。また、雲頂が一定の高度にある場合、電場に同じ値を取り続けること、雲海の下部である太郎坊の大気電場が、雲の下部の負の電荷のつくる電場によって減少方向に変動していることからも雲海の成長と関係していることがわかる。

## 4. 数値計算による検証

雲海の電荷がどのように山頂に電場を与えるかを調べるために、電位 φ および電場 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 ΔE=ρ(x,y)/ε 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。東京海洋大学村山らによっ て太郎坊に設置されたシーロメータでの雲底高度の観測[村山利幸, 2011]、カメラから推定した雲の厚さ は 1800 m ほどであったため、雲海の厚さが 1800 m と仮定して計算を行った。雲海がない場合の山頂に おける大気電場が 200 V/m かつ雲海の存在で山頂での電場が 2 倍程度つまり 400 V/m になるためには、 2 次元計算においては雲海の上部に電荷面密度 0.7×10-11 C/m2 程度の正電荷が必要である(図4)。本計 算は二次元のシミュレーションであるが、この電荷密度を単位体積中に換算すると 10-11 C/m<sup>3</sup> のオーダ ー[石田泰治、山本三郎、1957]であるため妥当といえる。

また、長岡ら[長岡信頼ら, 2012]は本研究と同一カ所(測候所および太郎坊)および同一期間、小イオン (正)の観測を行った。その濃度変動は関川[関川俊男, 1960]や本研究とほぼ同様な地方時型の日変化 をした。長岡らの観測結果は Israël [Israël, 1973]や関川[関川俊男, 1960]の提示するエアロゾル仮説を暗 示しているが、大気電場の地方時型変化日との比較を行うと、小イオン濃度変動が地方時型を示す 8 月 10日において大気電場には同様な変化はなく、雲海も存在しなかった。そのため、大気電場の地方時型 変化はイオンの変動によるものではないと考えられる。

#### 5. 結論

多点多種測定により富士山山頂における地方時型大気電場変動は、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が起因する。長い間、山岳効果と呼ばれていた山頂における地方時型大気電場変動も同様な仕組みで生じていると考えられる。富士山での冬季は夏季よりも雲量が少ない[石田泰治,山本三郎,1957]ため、山岳効果が見られなくなり、カーネギーカーブ型大気電場変動[関川俊男,1960]となると考えられる。

#### 参考文献

MacGorman, D. R., and W. D. Rust (1998), The Electrical Nature of Storms, Oxford University Press, 422p. 日本大気電気学会 (2003), 大気電気学概論, コロナ社, 237p.

Israël, H. (1973), Atmospheric Electricity, Israël Program for Scientific Translations.

関川俊男 (1960), 富士山頂における気象電気の観測, 天気, 7, 65. 佐藤良衛ら (2011), フィールドミルによる晴天日大気電場計測の一考察, 大気電気学研究, 78, 65-66. Imyanitov, I. M., Chubarina, Y. V., and Shvarts, Y. M. (1971), NASA Technical Translation, TT-F-718, 14p. 村山利幸 (2011), private communication. 石田泰治, 山本三郎 (1957), 富士山近傍の俯雲量と雲海について, 天気, 4, 246p.

長岡信頼ら (2012), 富士山における小イオンの測定, 大気電気研究, 80, ibid.

石田泰治,山本三郎 (1957),富士山近傍の俯雲量と雲海について,天気,4,246p.

\*連絡先:鈴木 裕子(Yuko SUZUKI)、f097131m@st.u-gakugei.ac.jp



図1 富士山山頂で測定された 2010 年 7~8 月の晴天日 8 日間平均。大気電場変動および気温。



図 2.富士山山頂(FJS)および太郎坊(TRB)におけるカメラの視線方向は矢印で示した。また生物多様性 センター(BCJ)からのカメラ方向も示してある。



図3 大気電場の上昇(中段:山頂及び太郎坊の大気電場)とそのときの雲の様子(上段と下段:上から順に、 山頂での天頂カメラ、山頂からふもと方向へのカメラ、太郎坊での天頂カメラ、富士山の全景カメラ)。プ ロットは 2011 年8月8日で14:00頃の雷雲発生前までの山岳効果が描かれている。



図4 富士山山頂周辺の電場。(a) 雲海がある場合, (b) 固まった雲がある場合。