

博士論文の要約

氏 名 源 泰拓

論文題目 南極・昭和基地における大気電場変動と全地球電気回路に関する研究

本研究では、局所的な擾乱の影響を受けていない大気電場観測値を同定して、極域のオーロラ活動に伴う大気電場の変動を示した。

地球の大気中の電氣的な現象としては雷放電がよく知られるが、晴天時にも大気中には電場が存在していて、この電場を大気電場という。観測点の近傍に電場の擾乱をもたらすものがない場合、地上の晴天域では、上空から地表への向きを正とする約 100 V/m の大気電場が存在し、上空から地表に向けて微弱な電流が流れる。一方、雷雲域では降雨や雷放電によって負電荷が地上に運ばれ、雷雲から上空の電離圏に向けて上向きの電流が流れている。これらの電流が流れる回路は全地球電気回路と呼ばれ、上空の中間圏・電離圏と地球の表層をそれぞれ正、負の極板とする、巨大な球殻コンデンサーに擬することができる。大気電場観測値は、地表から高さ $60 \sim 80 \text{ km}$ におよぶ全地球電気回路の状況を反映しており、起電力としての降水や雷活動、回路の導体としての大気の電気伝導度、さらに全地球電気回路の外部に発生する極域のオーロラ活動などをモニタリングする手段として活用できる可能性がある。

大気電場は、最小値が 03 UT 頃、最大値が 20 UT 頃となる日変動を示すことが知られている。この、観測値の地方時ではなく世界時 (UT) に固定された日変動はカーネギーカーブと呼ばれる。他方で、季節変動や永年変化といった長期の変動に関しては、その様相や原因について長年にわたり議論が続いている。また、オーロラサブストームのような短期の現象については、事例解析は行われているものの、サブストームの発生していない静穏な時期との比較を、十分な量のデータをもって統計的に実施した例はない。最も大きな阻害要因は、気象、エアロゾル、煤煙等の地表付近の局所的な擾乱を排除した「晴天静穏時」と呼ばれる時間帯のデータを抽出することの困難さにある。先行研究では各々の観測点について、独自の方法で降水、雲、飛雪のある時間帯を除いている。しかしながら、晴天静穏時でないデータを排除する閾値が示されていない論文が複数ある。また、除外基準が記載された先行研究においても、気象要素の目視観測を用いているものが多く、データ抽出の時間分解能を上げることが難しい。気象を要因としない擾乱の評価は更に困難である。極域での観測にかかわる先行研究では、発電機等の影響を避けるために特定の風向の時間帯のデータは捨象する、との基準を記したものがあるが、影響を受ける条件についての詳細な検討は窺えない。

本研究では、昭和基地における数々の大気電場の擾乱源について、その性質と影響量を一つ一つ調査した。極域では、気象条件に起因する擾乱として、吹雪に伴って観測される kV/m オーダーの正の電場変動が存在する。このことは 1960 年代から報告されていたが、その原因は不明なままであった。本研究では、雪面への衝突・跳躍を経て負に帯電した雪粒が強い電場を形成する可能性について検討した。結果、雪粒の帯電量と数密度を与えた

計算では強い電場は再現されなかったことから、観測される強い電場は、帯電した雪粒がセンサーに衝突したことによる見かけ上の電場変動である可能性が高いことを示した。浮遊する雪粒の数密度は高さによって異なるので、雪粒が浮遊している状況下では高さを変えた2点における電場観測値は異なる。このことを利用して、高さの異なる2点で観測された大気電場値の差によって浮遊する雪粒の有無を判別できる。

気象条件に起因する大気電場の擾乱源として、雲の影響が先行研究で議論されている。極域では、強い帯電が生じる対流雲の発生は稀であることから、雲の影響は限定的と考え、大気電場値と目視観測による雲量の統計解析と、大気電場値、雲量、風速、ライダー後方散乱強度、全天カメラ画像を用いた事例解析を行った。その結果、極域では雲の出現・消失が大気電場値に与える影響は軽微であることを示した。

さらに、夏季に上昇するエアロゾル濃度と、人間活動に起因する煤煙等の大気電場への影響を検討した。エアロゾルについては、昭和基地で観測されている粒子径7 nm以上の凝結核濃度と大気電場値の相関は認められなかった。煤煙については、観測時の風向と大気電場値のばらつきから、発電機等の固定した排出源からの煤煙が大気電場に与える影響を示した。これを受けて、「高さを変えた2点における電場観測値の差」と「一定時間に観測された大気電場値の標準偏差」に閾値を設定して、晴天静穏時間帯のデータを同定する方法を提示した。この手法を用いることで、気象観測、とりわけ目視観測を必要とせずに、高い時間分解能で晴天静穏時間帯のデータを同定することができる。

この新手法で抽出された晴天静穏時間帯のデータを用いて、極域のオーロラ活動に伴う大気電場の変動を検討した。オーロラ活動が静穏な条件下の晴天静穏時の大気電場値から参照値を導出し、大気電場観測値と参照値の差を、銀河雑音吸収(CNA)、地磁気、オーロラ電流の消長の指標であるAE-indexと比較したところ、午後側でAE-indexが上昇する時に大気電場が低下する事例が複数認められた。吹雪や煤煙等による局所的な影響の多くは大気電場の正の変動をもたらすので、負の変化が観測されている事象は、オーロラサブストームに伴う地上の大気電場の変動を強く示唆する。さらにAE-indexと晴天静穏時の大気電場値を比較したところ、AE-indexの上昇時には磁気地方時(MLT)午前側で大気電場が上昇、夕方から真夜中側では低下することが示された。先行研究の多くは特定の磁気嵐・オーロラサブストームの事例解析にとどまっているのに対して、本研究では、極域のオーロラ活動の影響が地表に及ぶこと、観測点のMLTによって、電場の上昇・低下のどちらになるかが決まることを、統計的にも示すことができた。

本研究では、オーロラサブストーム発生時に電離圏電位の変動が地表の大気電場を変動させる可能性について述べた。このメカニズムが検証されれば、逆に地表の電場観測網から電離圏電位をモニタリングする手法を提示することができる。さらに、本研究で示した晴天静穏時の同定手法によって蓄積される晴天静穏時データは、カーネギーカーブの季節変動・長期変動からグローバルな雷活動や降雨活動の推移を解析する、あるいは太陽活動周期と関連するような長期変動などを調べるためにも貢献できるものと考えられる。