

日本の夏季雷、冬季雷に伴う中間圏発光現象に対する計算機シミュレーション

ES/EM computer simulation of the mesospheric optical emissions for Japanese summer and winter lightning

浅野 智計 [1]; 早川 正士 [2]; 趙 孟佑 [3]

Tomokazu Asano[1]; Masashi Hayakawa[2]; Mengu Cho[3]

[1] 電通大・電子; [2] 電通大; [3] 九工大

[1] EE, UEC; [2] Univ. Electro-Comms.; [3] KIT

<http://seismo.ee.uec.ac.jp/>

中間圏発光現象は雷に伴って雷雲頂から電離層にかけての発光現象であり、その名称は大きく二つに分け Sprites、Elves と呼ばれている。これら諸現象は大気電気学における新たな研究テーマとして現在も盛んに研究が進められており、観測的立場から種々の性質や特性が明らかになってきている。その中でも、日本北陸地方の冬季雷に伴う Sprites が北米の大陸性の Sprites(日本の夏季の Sprites) とは極めて異なることが最近になってわかってきた。夏季にみられる Sprites は Carrot 型と呼ばれる半径の大きい人參のような形で、冬季にみられる Sprites は Column 型と呼ばれる半径の小さい柱状の形で発光する。この違いは夏季と冬季の雷放電の電気的、気象的特性の差異が中間圏発光現象の構造を左右していると考えられるのだが、理論的・解析的な立場の意見は少なく、研究の対象は主に北米の大陸性の大規模な雷雲(MCS)に伴う発光現象であったため、未だ未解明の部分が多い。今後、地球の電気的特性を知り対流圏・電離層結合の解明には中間圏発光現象を包括的に理解するための理論的、解析的立場の意見が重要であることは間違いない。

このことより本研究の目的は、大陸性の対流システムと同じ傾向の日本夏季雷に伴う発光現象と性質の大きく異なる日本冬季雷に伴う発光現象に注目し、夏季雷、冬季雷の雷放電の特性と発光現象の特徴(発光形状の大きさの違い)を結びつけることに重点を置き、解析的な見地より雷放電と中間圏発光現象を包括的に理解することである。

構築したシミュレーションは雷放電に伴う中間圏発光現象のモデリングのために静電界および電磁界での雷放電による高層大気中の電離を求めるとともに、マクスウェルの方程式に大気中の導電率を導入し、観測されたデータをもとにした電界強度 $E[V/m]$ と大気中の数密度 $n_n[1/m^3]$ の関数、 $E/n_n[Vm^2]$ の大きさに依存する関数で全てを表した [Raizer,1991]。そのことで大気中の breakdown は E/n_n が 1×10^{-19} を超えるところで発光現象が起こる可能性がある [Cho and Rycroft,1997] ので、 E/n_n の強度分布を用いて発光現象について考察した。そして、発光現象と雷放電の特性を結びつけるパラメータは電荷の存在する雷雲の半径、雷雲の厚み、雷雲の中心高度、中和電荷量、立ち上がり時間と減衰時間としてシミュレーションを行った。

結果として、雷放電後の E/n_n 強度分布が空間的・時間的変化の特徴が Sprites、Elves の光学観測における特徴とよく一致する結果が得られた。そして、雷放電の特性のパラメータは大きく分けて雷雲構造(電荷の存在する雷雲半径、雷雲層)、放電路(雷雲の中心高度)、電流波形(中和電荷量、立ち上がり時間と減衰時間)に分類でき、雷放電の特性と Sprites や Elves の発光現象を発光形状と発光条件という形で結びつける結果を得た。

これらの結果から、日本の夏季、冬季の Sprites の発光形状の違いは放電路(雷雲高度)の違いが最も重要であると推測できる。放電路の長い夏季の場合では、より高々度まで影響する垂直電界が発光形状を半径の大きな Carrot 型が発光する可能性を高くする。一方、冬季のように放電路が短い場合には電界強度の影響する高々度は落雷が起こった真上しか影響しないので発光形状は半径の小さい柱状のような型になる。ただし、冬季においても中和電荷量が大きく、電流波形の変化が大きいと夏季 Sprites と同じような発光形状になる。次に、Sprites の発光条件は、夏季と冬季では特に違いはないといえる。それは、雷雲構造の違いや高度の違いによる中和電荷量の閾値の違いに大きな違いがないからである。よって、電流波形が Sprites の発光条件を決定し、発光に関する好条件は中和電荷量の絶対値が大きいこと、ピーク電流値が大きいこと、立ち上がり時間が短いことである。Elves に関しては、Sprites の発光条件と同じいえる。ただ、夏季のような放電路の長い方が発光しやすいという点が違う。

これらのことから日本の夏季雷、冬季雷に伴う中間圏発光現象について包括して述べる結果が得られた。