

スプライト中の電子温度の推定

Estimation of Electron Energy in Sprites

世良 匡晃[1], # 高橋 幸弘[2], 福西 浩[3], 渡邊 芳明[4], 内田 亮宏[1], Steve, Reising,[5]
masaaki sera[1], # Yukihiro Takahashi[2], Hiroshi Fukunishi[3], Yoshiaki Watanabe[4], Akihiro Uchida[5], Steve Reising[6]

[1] 東北大・理, [2] 東北大・理・地球物理, [3] 東北大・理・地物, [4] 富士写真フィルム, [5] マサチューセッツ大学

[1] Dept. of geophysics, Tohoku Univ., [2] Dept. Geophysics, Tohoku University, [3] Department of Geophysics, Tohoku Univ., [4] fujifilm, [5] Science, Tohoku Univ., [6] the Univ. of Massachusetts

スプライト中の電子温度を推定するために、鉛直方向に 16 チャンネルの空間分解能を持つマルチアノードアレイフォトメータを 2 台持ち込み、赤領域 (560-800 nm) および青領域 (380-500 nm) の発光を観測し、青/赤の発光強度比から、マクスウェル分布を仮定した電子温度の時間空間変化を見積もることが出来た。その結果、発光強度が強くなる前に電子温度は高くなり、キャロット型スプライトでは Hair 領域と Head 領域の境界 75-85 km 付近の発光強度が弱い領域で、電子温度が極大値を持つことが明らかになった。

スプライトと呼ばれる雷雲地上間放電に伴って中間圏で発生する大気発光現象は、近年の様々な観測やシミュレーションにより、基本的なパラメータや発光の物理過程が明らかになりつつある。スプライトの発光を引き起こす電子のエネルギーの高度プロファイルおよび時間変化を調べることは、スプライトが周りの大気に与える影響度を調べるのに重要である。しかしスプライトはその発光の継続時間が数 ms と非常に短いために、CCD カメラを用いたこれまでのスペクトル観測では、スプライトを発生させる電子のエネルギーの時間変化を捉えることが出来ていない。これまでフォトメータによる観測も行われてきたものの、それを用いて電子温度を導出するには至っていない。さらにスプライトを引き起こす電子温度の空間分布は調べられていない。スプライトの発光強度と電荷モーメントとの定量的な関係を理解することは、スプライトの発生メカニズムやそこで消費されるエネルギー量を定量的に解明する上で重要であると考えられるが、これまでの研究では定量的な関係は見いだされてはいない。

我々は米国コロラド州 Ft. Collins 郊外のヤッカリッジ観測所 (40.7° N, 104.9° W) で実施された SPRITES'96, '98 及び '99 キャンペーンに参加し、スプライトの高時間、高空間分解能観測を行った。使用した観測機器は、鉛直方向に空間分解能を持つ 2 台の高速マルチアノードアレイフォトメータ (MAP)、CCD カメラ、ELF/VLF 受信器である。MAP はフィルターを用い、2 つの波長域での発光強度を定量的に観測した。1 つは 560-800 nm (Red)、もう 1 つは 380-500 nm (Blue) に感度を持つ。観測で得られたイベントのうち、Red、Blue の良好なデータ 6 例について、Red/Blue の発光強度比から、マクスウェル分布を仮定した電子温度の時間空間変化を見積もることが出来た。また、スプライト起源の ELF 電波が観測されたデータ 9 例について、発光強度と電荷モーメントとの関係を定量的に初めて見積もることができた。その結果、以下のことが明らかになった。

スプライト発光を引き起こす電子エネルギーの時間変化を導出した結果、全ての高度において発光の初期段階で、Red の発光強度がピークとなる前に、電子温度が極大値を持つことが分かった。この特徴はキャロット型スプライト、コラム型スプライトのタイプに依らずに見られた。Red 発光が時間的にピークとなる前の電子温度の最大値は 14-20 eV であった。

キャロット型スプライトを引き起こす電子温度の空間構造を調べた結果、Hair 領域と Head 領域の境界 75-85 km 付近の発光強度が弱い領域で、電子温度が極大値を持つことが明らかになった。極大となる領域での電子温度の値は 12-20 eV である。この高度より下の Head 領域での電子エネルギーは、下方に向かって高くなり、その値は高度 60 km で約 15 eV であった。Tendrils が存在するスプライトでは、その領域ではどこも 25 eV 以上という高温になっていたことがわかった。

コラム型スプライトを引き起こす電子温度の空間構造を調べた結果、Hair 領域の高度 90 km で電子エネルギーは極大値を持つが、全体としてはスプライトの下部領域で電子エネルギーが高くなっていることが分かった。最も電子温度が高くなっているのは、高度 74 km の Head 領域で約 14 eV であった。これより上の領域では約 2-6 eV でキャロット型スプライトより電子エネルギーが少し低いことが分かった。

さらに、スプライトの Red の発光強度とスプライトに起因すると考えられる ELF 電波強度との関係を調べた。その結果、電荷モーメントが大きいくほど、発光強度も大きくなるのが定量的に初めて明らかになった。この関係は、今後スプライトの発生メカニズムやそこで消費されるエネルギーを定量的に解明する上で重要なパラメータになると考えられる。