

シリーズ

「宇宙と原子」 第七回 スプライトって何？ —上層大気のカリモノ—

市川行和

yukitikawa@nifty.com

平成 25 年 2 月 25 日原稿受付

2011 年の秋、たまたま観ていた NHK のテレビ番組に目を見張る映像が映し出された。それは、高感度カメラによりスペースステーションから地球を映したものでライブで放送していた。夜の部分では街の明かりに混じって雷活動による稲妻の光がいたるところに見える。そしてときどきその雷活動の上空で赤い光が瞬間的にフラッシュする。この赤い光が今回の主題であるスプライトである。スプライトについては以前から知っていたが、実物を(肉眼ではないが)見るのは初めてであった。その後注意していると飛行機を用いた観測などスプライトをテーマとした番組がときどき放映されるようである。

スプライト(「妖精」という意味)がはじめて研究の対象になったのは、1990 年に発表された Franz らの論文である [1]。雷雲上空に発光が見られることは 19 世紀の終わりごろから知られていた。しかし証拠となる映像を撮ることが難しいので論文にはならなかった。

Franz らはロケット搭載用の高感度テレビカメラのテスト中に偶然スプライトの映像を撮ることができ、それを発表したのである。スプライトは雷雲の上空、地上から 40-90 km のあたりに現れる瞬間的(継続時間は 1 - 100 ミリ秒程度)に下から上へはしる光の像である。その一例を図 1 に示す。これはアメリカで飛行機を用いて観測したものである [2]。その後横へ広がるもの(エルヴスと呼ばれる)や青いものなど類似の現象が見つかっており、現在ではこれらを総称して TLE(Transient Luminous Events 過渡的発光現象)と呼んでいる [3]。

分光観測によると、TLE の正体は窒素分子ま

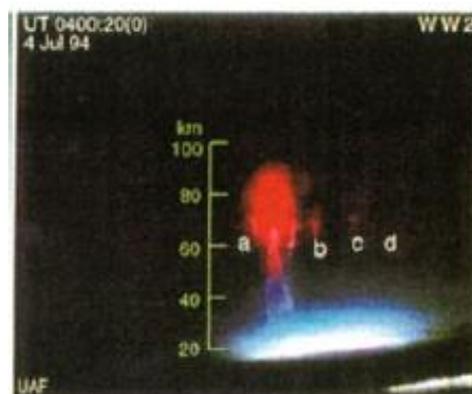


図 1: スプライトの例. 文献 [2] より転載.

たは窒素分子イオンからの発光である。特に強いのは

- (1) N_2 1 st Positive Band System
遷移 $B^3\Pi_g \rightarrow A^3\Sigma_u^+$
波長 500-1100 nm
- (2) N_2 2 nd Positive Band System
遷移 $C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$
波長 300-500 nm
- (3) N_2^+ 1 st Negative Band System
遷移 $B^2\Sigma_u^+ \rightarrow X^2\Sigma_g^+$
波長 300-600 nm

である。図 2 に実際に観測された例を示す [4]。これは 1995 年にアメリカのネブラスカ州とコロラド州の境のあたりでなされたスプライトの分光観測の結果である。図のスペクトルは N_2 の 1 st Positive Band System に対応し、そのバンドヘッドの位置が図の上方に示されているが、それとの対応は良い。ちなみにオーロラの場合にも同様の発光が見られるが、その強度をモデル計算で

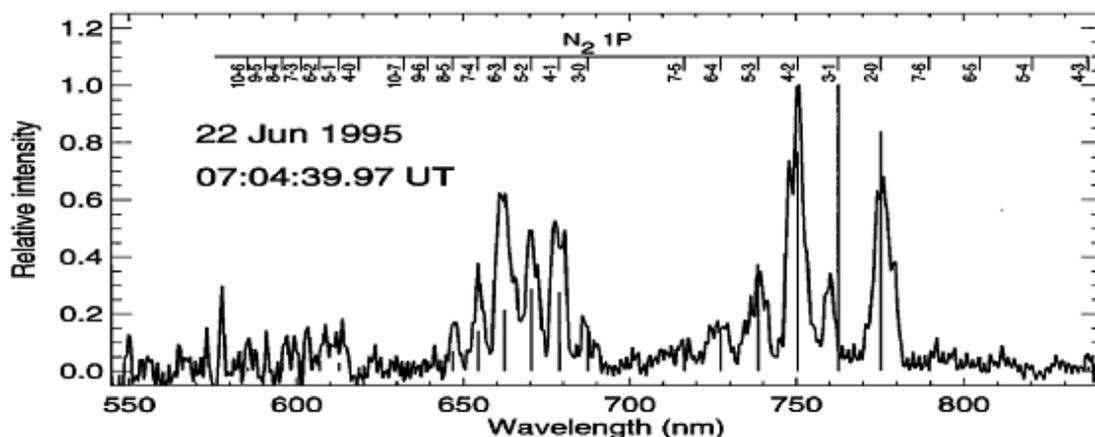
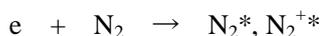


図2: スプライトの分光スペクトル. (文献 [4] より) 上方に N₂ 1 st Positive Band System のバンドヘッドの位置を示す. オーロラのモデルスペクトルを縦線で示す.

求めたものが縦線のスペクトルである. 一部を除いてスプライトの観測値とオーロラのモデルはよく一致する. このことはスプライトの発光がオーロラの場合と同じく電子衝突で起こることを示唆している. すなわち話を簡単にすると, 起こっていることは雷雲上縁と電離層の間の放電現象で, 電場で加速された電子が窒素分子に衝突して光を出す, すなわち

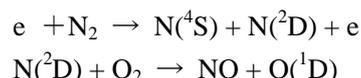


が主な過程となる. オーロラは地球大気の外から降ってくる高エネルギー電子が大気中で減速する途中で大気分子を励起して発光させる現象である. スプライトは大気中の放電により生成・加速された電子が分子を励起して起こす発光である. 大気原子分子と電子の衝突過程は比較的良好にわかっているのをそれを用いてモデル計算を行い発光スペクトルを求めることができる. しかしスプライトの場合は, 放電によりどのような電子がどれだけできるかを特定することが困難なため詳細な観測との比較はなされていない.

放電管の中ではさまざまな活性種(励起原子分子, イオン, ラジカルなど)が生成されるが, スプライト中でもそれらの生成が予想される. スプライト放電の化学としてそれらの生成消滅の様子を調べることが盛んになされている. 放電電場により加速された電子が大気分子と衝突してイオンや励起原子分子, ラジカルを作り, さらにそれらがさまざまな大気分子と反応して, 新たな分子を生成する.

一例として, Sentman らは 80 種類以上の原子

分子の存在を考慮し 800 種以上の反応を仮定してシミュレーションを行った [5]. それによると, たとえば NO が高度 70 km でスプライトにより 75% 増加する. NO の生成は主として



による. 他のグループによっても NO の増加が予想され, また同様に NO₂ も増えるとされている [6].

一方 Arnone らは人工衛星からの赤外観測でスプライトによる NO₂ の変化を調べた [7]. 彼らは赤外観測の結果と地上の雷観測のデータとを比べて雷活動の激しいところとそうでないところで NO₂ の量に違いがあるかどうかをみた. すると雷により NO₂ が数十%増大していることがわかった. これは個々のスプライトの結果を見ているわけではなく, ある時間幅である領域を観測した結果である. また上記のモデル計算とは必ずしも同じ条件ではないので, 確定的なことは言えないが興味ある結果である. これらの窒素酸化物(NO, NO₂)は上層大気のおゾン(O₃)を破壊する分子として知られており [8], その影響に関心もたれている.

最後に我が国で開始された組織的な研究について触れておこう. それは, 日本がスペースステーションにもつ実験プラットフォーム「きぼう」を使うものである. これは JEM-GLIMS(Global Lightning and Sprite Measurements on Japanese Experiment Module) と呼ばれるプロジェクトで, 地上 400 km から常時(もちろん夜間のみ)連続し

てスプライトを観測する。高い空間分解能をもったカメラと高い時間分解能を持つ測光器を組み合わせたもので、後者はフィルターを使って前記三つの発光帯を分けて測ることができる。これまで N_2 1st Positive Band System に比べて波長の短い N_2 2nd Positive Band System や N_2^+ 1st Negative Band System の観測が少ないのは、後者では大気による吸収が大きいために、地上や飛行機からの観測では見えにくいとされている。それを大気密度の小さい上空から見ることでよりはっきりとした観測が可能になる。この三者の発光帯は励起のしきい値が異なり、衝突する電子のエネルギー分布により微妙にその強度が変化するはずである。すなわち三者を比べることで衝突電子に関する情報が得られることになる。観測は始まったばかりであるが、今後が期待される [9]。

参考文献

- [1] R.C. Franz, R.J. Nemzek and J.R. Winckler, *Science* **249**, 48 (1990).
- [2] D.D. Sentman et al., *Geophys. Res. Lett.* **22**, 1205 (1995).
- [3] V.P. Pasko, Y. Yair and C.-L. Kuo, *Space Sci. Rev.* **168**, 475 (2012).
- [4] D.L. Hampton et al., *Geophys. Res. Lett.* **23**, 89 (1996).
- [5] D.D. Sentman et al., *J. Geophys. Res.* **D113**, 11112 (2008).
- [6] V.P. Pasko, *J. Geophys. Res.* **A115**, 00E35 (2010).
- [7] E. Arnone et al., *Geophys. Res. Lett.* **35**, L05807 (2008).
- [8] D. Kinnison, H. Johnston and D. Wuebbles, *J. Geophys. Res. D* **93**, 14165 (1988).
- [9] GLIMS については
www.ep.sci.hokudai.ac.jp/~jemglims/
 参照.