

## バリウム・ストロンチウムを用いたカusp領域プラズマドリフト・熱圏風計測における高精度な解析手法の提案

# 渡邊 太郎 [1]; 山本 真行 [2]; 柿並 義宏 [3]  
[1] 高知工科大・シス工・電子; [2] 高知工科大; [3] 苫小牧高専

### Proposition of accurate analytical method for wind measurement of cusp region using Barium and Strontium chemical releases

# Taro Watanabe[1]; Masa-yuki Yamamoto[2]; Yoshihiro Kakinami[3]  
[1] Electronic, Kochi Univ. of Tech.; [2] Kochi Univ. of Tech.; [3] Tomakomai College

In the cusp region, there are phenomena such as aurora and density fluctuation of neutral atmosphere due to the energy input from outer space. The density fluctuation of neutral atmosphere causes global density fluctuation in thermosphere and affects altitude and orbital motion of low orbital satellites (LEO) and space debris. For safer operation of the satellites, accurate prediction of the density fluctuation of neutral atmosphere is indispensable. Recently, in the cusp region, density rising of neutral atmosphere was discovered, which presumed to be caused by Joule heating due to small scale fluctuation of the electric field. In order to support this phenomenon, there is a method of releasing Ba (to be ionized in a short time by extreme ultraviolet (EUV) from the Sun) and Sr (not ionized in a short time) from a sounding rocket, then observing resonance scattering emission of  $Ba^+$  and Sr simultaneously from multiple sites so as to obtain fluctuation of the electric field and Joule heating.

In November 2014, we conducted a US-Japan joint rocket experiment called the Cusp Region Experiment 1 (CREX-1) in the Arctic region, but we could not observe the cusp region at that time. Currently, we are planning a space experiment, based on the CREX-1 results, using two sounding rockets of the Cusp Region Experiment 2 (CREX-2) and the Joint Japan-US Cusp Heating Investigation (CHI) aiming at observing of the cusp region in December 2019.

In CREX-1, at Andoya Rocket Range in Norway, we launched an sounding rocket equipped with 24 discernible type small canisters that release Ba/Sr gases. Canisters released the both gases at multiple altitudes after separating from the rocket at planned altitudes. Resonant scattering emission of released Ba/ $Ba^+$ /Sr gases was optically observed from two points of Longyearbyen and Ny-Alesund in Svalbard, and the position of the multiple luminescent cloud was determined every successive moment by triangulation, and ion drift and neutral atmospheric wind speed were measured. Since the wavelengths of the emission are 553.5 nm for Ba, 455.4 nm for  $Ba^+$  and 460.7 nm for Sr, respectively, two cameras for Ba and  $Ba^+$ /Sr with a bandpass filter with a width of 12 nm were installed at each site. The experiment was carried out in the morning with good S/N between the luminescent cloud and the background. As a result, 10 canisters in 24 successfully released Ba/Sr gases between the altitude of 393.82 km and 198.90 km (Kakinami et al., 2015), but they were released where deviated location from the cusp region, direct observation of the cusp region was not fulfilled at that time.

In the experiment scheduled in December 2019, simultaneous launches of the CREX-2 from Andoya and the CHI from Ny-Alesund are planned, with releasing Ba/Sr gases in a wide range of the cusp region to capture the cusp reliably, so as to measure the neutral atmospheric wind and ion drift. Also, to observe  $Ba^+$  and Sr independently, we plan to install a 4 nm bandpass filter on the cameras. In addition, the time resolution will be improved by using a high sensitivity camera using the latest imaging sensor.

Currently, with the aim of establishing highly accurate observation methods and analytical methods for the CREX-2 and CHI, we are working on proposing/establishing a method to correct the lens distortion using the background stars, a method of measuring the position of weighted illuminating center of each tracer, and a method of obtaining the appropriate  $Ba^+$  illuminating area of spreading along the direction of geomagnetic field lines, based on the CREX-1 data. In this presentation we will report initial results of the proposing methods.

#### References:

Y. Kakinami, S. Watanabe, M.-Y. Yamamoto, D. Kihara, M. Conde and M.F. Larsen, Measurement of thermospheric wind and plasma drift using barium strontium in cusp region, the 138th SGPSS Meeting, 2015.

極域では、地球磁場の磁力線構造が宇宙空間に対して開いているカuspと呼ばれる領域が存在し、カusp領域から流入する宇宙からのエネルギーによってオーロラや中性大気密度変動といった現象が起こる。中性大気密度変動は全球熱圏密度変動を引き起こし、低軌道周回衛星 (LEO) やデブリの姿勢および軌道運動に影響を及ぼすため、衛星の安全な運用にはその正確な予測が不可欠である。近年カusp領域において、小さいスケールでの電場の変動によるジュール加熱が要因と推測される中性大気密度上昇が発見された。この裏付けを得るための宇宙実験の手法として、太陽極端紫外線により短時間でイオン化する Ba と短時間にはイオン化しない Sr を観測ロケットから放出し、 $Ba^+$  と Sr の共鳴散乱発光をトレーサーとして、イオンドリフトおよび中性大気風を同時観測することで電場の変動とジュール加熱を求める手法がある。

電場の変動を観測するために、2014年11月に Cusp Region Experiment 1(以下 CREX-1) と称した日米共同のロケット実験を北極域で実施したが、カusp領域の観測は行えなかった。現在、CREX-1の結果と課題を踏まえ、2019年12月に

カスプ領域の観測を目指す Cusp Region Experiment 2(以下 CREX-2), The Joint Japan-U.S. Cusp Heating Investigation(以下 CHI) の 2 機の観測ロケットを用いた宇宙実験を計画中である。

CREX-1 では, Ba/Sr ガスを放出する分離式小型キャニスター 24 個を搭載した観測ロケット 1 機をノルウェーのアンダーヤロケット実験場から打ち上げた。キャニスターは上空の計画高度でそれぞれロケットから分離の後に複数の高度においてガスを放出した。放出された Ba/Ba<sup>+</sup>/Sr ガスの共鳴散乱光をスバル諸島ロングヤービン, ニーオルスンの 2 地点から光学観測し, 三角測量によって複数の発光雲の時々刻々の位置を定め, イオンドリフトと中性大気風速を得る。Ba は 553.5 nm, Ba<sup>+</sup> は 455.4 nm, Sr は 460.7 nm で共鳴散乱するため, それぞれの観測地点には 12 nm 幅のバンドパスフィルタを取り付けた Ba 用と Ba<sup>+</sup>/Sr 用の 2 台のカメラを設置して観測した。実験は, 発光雲と背景光との S/N が良好な早朝に行われた。実験結果として, 高度 393.82 km から 198.90 km の間で 24 個中 10 個のキャニスターが正常動作し Ba/Sr ガス放出に成功した(柿並 他, 2015) が, カスプ領域から外れた場所に放出されたため, カスプ領域の直接観測に至らなかった。

2019 年 12 月に予定される実験では, CREX-2 をアンダーヤから, CHI をニーオルスンから同時に発射し, カスプ領域の広範囲に Ba/Sr ガスを放出することで確実にカスプを捉え, 中性大気風とイオンドリフトの計測を可能とする。また, Ba<sup>+</sup> と Sr を分離して観測するため, 新たに 4 nm 幅のバンドパスフィルタを取り付ける。加えて, 最新の撮像素子を用いた高感度カメラを用いることで, 時間分解能を改善する。

CREX-1 には高知工科大学のメンバーを含む日本チームが参画し, 地上および航空機からの光学観測および風速解析を行っており, CREX-2 および CHI にも参画する予定である。日米共同の観測チームでは, 長年にわたって中性大気観測に取り組んできており, 高知工科大学では撮像機器の開発に加え, 2007 年の Li 放出実験から継続的に複数回の熱圏中性大気風の観測に参画し, これまで専用レンズ開発による S/N 向上や同時観測の運用精度の改善などを行ってきた。ロケットからのガス放出技術の確立に加え, 広視野な特殊カメラを用いた同時観測による精密な位置計測とそれを基にした流れの精密解析のため, 様々な観測条件に合わせた最適な解析手法の確立が課題である。

現在, CREX-2 および CHI に向けた観測手法や解析手法の高精度化の確立を目的とし, CREX-1 のデータを用いて, 背景の星の座標を用いたレンズ歪みの補正方法や各トレーサーの重心位置を測定する手法, Ba<sup>+</sup> の磁力線方向の拡がりを求める手法を提案しその確立に取り組んでおり, 本発表で初期結果を報告する。

#### 参考文献:

柿並義宏, 渡部重十, 山本真行, 木原大城, M. Conde, M.F. Larsen, カスプ領域でのバリウム・ストロンチウムを用いた熱圏風・プラズマドリフト計測, 第 138 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 2015.