

# 観測ロケット放出バリウム・ストロンチウムを用いた極域カusp領域におけるイオンドリフト・熱圏大気風の同時測定および風速解析手法の開発

Simultaneous observation of ion drift and thermospheric neutral wind in the polar cusp region using barium and strontium released from a sounding rocket with developing wind speed analysis method

1235130 渡邊 太郎 (宇宙地球探査システム研修室)

(指導教員 山本 真行 教授)

## 1. 背景と目的

衛星観測により地球極域カusp領域において中性大気密度増大が見つかり、従来観測では見つかっていない微細な電場構造によるジュール加熱が熱圏大気に上昇流を引き起こし、中性大気密度増大を引き起こしている可能性が示唆された[1]。カuspにおける電場によるジュール加熱を見積もることによって現象の解明につながる可能性があり、これを目的として北極域で2つの観測ロケット実験(C-REX-2, CHI)が計画された。実験ではBa/Srガスを熱圏に放出しBa<sup>+</sup>/Sr<sup>+</sup>発光雲の動きからイオンドリフトと中性大気風を測定し、電場を見積もる。

本研究では、バンドパスフィルタ(BPF)を取り付けたカメラで発光雲を光学観測するため、一般向けカメラを用いた光学観測システムの構築とその光学的特性の測定、C-REX-2, CHIによるBa<sup>+</sup>/Sr<sup>+</sup>共鳴散乱発光の地上観測、3次元風速解析手法の確立、観測画像からイオンドリフトおよび熱圏中性大気風の解析を目的とする。

## 2. 観測と解析手法

### 2.1. 光学観測システム

過去の実験C-REX-1での12nm幅BPFによる観測を基に、Ba<sup>+</sup>とSr<sup>+</sup>の発光を分離するため、新たにターゲット波長をBa<sup>+</sup>(614.2nm)/Sr<sup>+</sup>(460.7nm)とした6nm幅のBPFを開発した。また一般向けカメラを用いた観測システムを構築し、観測や解析において必要となるシステムの特性を理解するため、カメラの露光時間の測定、BPFの分光透過特性、積分球を用いた観測システムの絶対感度特性の測定を実施した。画像は無加工データが記録されるRAW形式で記録した。

### 2.2. 地上観測

NorwayのSvalbard諸島にて地上2地点から観測を行った。カメラの向き、露光設定、撮影間隔といった観測条件は、2.1節の観測システムの特性和、現地での予備観測と周辺地形などの地理情報を基に決定した。

### 2.3. イオンドリフトおよび熱圏中性大気風の解析

発光雲の3次元位置を測定するため、各地点の観測画像から発光雲の方位角と仰角を得る必要がある。このため、まず観測画像の背景に写った星を用いて、カメラの姿勢、レンズ歪みを推定し、画像上の任意の点が指す方位角・仰角(地平座標)が得られる変換テーブルを作成した。変換テーブルを基に、観測画像上で発光雲の地平座標を精密にトレースした後、2地点から発光雲の方向に伸ばした線分が最も接近する位置を発光雲の3次元位置とし、その時間変化からイオンドリフトおよび中性大気風の測定を行った。

## 3. 結果および考察

観測ロケット実験の結果として、CHIは2019年12月10日9:30 UTに打ち上げられた。C-REX-2は磁気圏の低い活動度や天候を理由に打上中止となった。地上観測では約25分間にわたりCHIロケット放出の8つの発光雲の撮影に成功した。

露光時間の測定により、設定時の表示と実際の露光時間が異なっていることがわかったが、実際の露光時間に対する感度特性はほぼ歪みのない線形となっていたことから、RAW画像は純粋な積分値を記録していると考えられる。また、計測したBPFの分光透過特性と観測画像(Fig. 1)から、6nm幅BPFはSrとBa<sup>+</sup>の発光をよく分離でき、イオンドリフトと中性大

気風を分離観測できることがわかった。

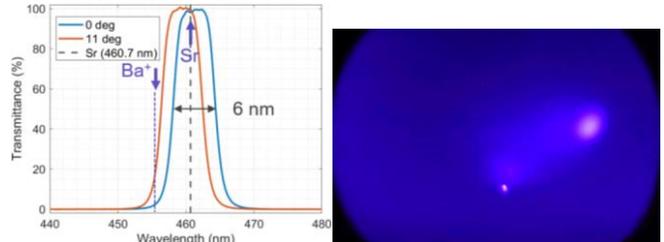


Fig. 1 Sr用6nm BPFの透過特性(左)とSr発光雲画像(右)

観測画像に写った星を用いてカメラの姿勢とレンズ歪みを推定し、画像の任意点から地平座標に変換するテーブルを作成した。画像上の星の位置と変換テーブル上の星の位置の比較から高精度に姿勢およびレンズ歪みが推定できていることが確認された。

変換テーブルを用いて発光雲の地平座標を得て、三角測量により3次元位置を推定した、発光雲の高度をFig. 2に示す。Ion #3が放出から平均速度322 m/sで継続的に上昇しているこれは、Baを用いた北極域における実験においてこれまでに見られないイオンの上昇流を示唆するデータである。ほか、Ion #5は放出直後に#5a、#5bのふたつに分かれ、異なる速度で移動している様子が確認された。一方中性大気のトレーサであるSr発光雲は、Fig. 1の観測画像に示すように高高度での拡散が速く、また重なり合っていたことからNeutral #1, #8のみトレースできた。Fig. 2に示すようにゆっくりと沈降しており、上昇流は確認できていない。

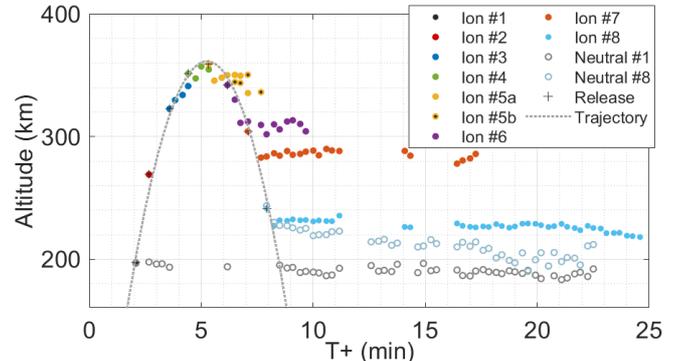


Fig. 2 発光雲の放出高度および高度の時間変化

## 4. 結論

一般向けカメラを用いた計測について、露光時間の設定表示と実際が異なるがRAW画像から線形の感度特性が得られることがわかった。観測ロケットは1機のみ打ち上げられ、放出された発光雲の地上観測に成功した。また新たに開発したBPFによりイオンと中性大気との分離観測に成功、有効性を示すことができた。三角測量解析では、画像中の星からカメラ視野を高精度推定する手法および専用ソフトウェアを開発し、発光雲トレースからイオン上昇流を示唆する結果を得た。発光雲トレースは初期解析結果にすぎず、今後シミュレーションも併せた手法により精査する必要がある。

## 参考文献

[1] Lühr, H., M. Rother, W. Köhler, P. Ritter, L. Grunwaldt, Thermospheric up-welling in the cusp region: Evidence from CHAMP observations, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 31, L06805, 2004.