

北欧 Ba/Sr 放出ロケット実験に向けた人工発光雲座標の精密解析法の基礎開発

1190183 渡邊 太郎 (宇宙地球探査システム研究室)
(指導教員 山本 真行 教授)

1. 目的

地球の極域には地球磁力線構造が宇宙空間に対して唯一開いているカスプと呼ばれる領域が存在し、カスプを通じた宇宙からのエネルギー流入によって大気が加熱されて全球熱圏密度変動を引き起こし、人工衛星などの軌道運動に影響を及ぼす。加熱現象の理解にはカスプにおけるプラズマドリフトと中性大気風の見積もりが必要であり、これを目的として観測ロケット実験 CREX-1 が 2014 年 11 月に行われた。CREX-1 では上空で Ba/Sr ガスを放出し、Ba⁺/Sr 発光雲の動きをバンドパスフィルタを取り付けたカメラで光学観測することでプラズマドリフトと中性大気風を同時に測定する予定だったが、ガス放出域がカスプを外れたため目的未達となった。また加熱現象の解明のため、2019 年 12 月に再度実験が行われる予定である。

将来目標として、次回実験に向けて一意に発光雲の動きを 3 次元的にトレースするアルゴリズム開発を目指し、本研究ではその基礎として CREX-1 の画像データを利用して発光雲座標の精密解析法の基礎開発を目的とする。

2. 解析

2.1. RAW 画像を用いた解析

これまででは JPEG 画像からの解析が主であり、RAW 画像を用いることで無加工データの利用や輝度分解能向上が見込めるため、新たに RAW 画像を用いた解析手法の確立を目指した。解析に使用した MATLAB で RAW 画像を読むために Adobe DNG Converter で DNG 画像へ変換し、MATLAB 上で RGB 各色チャンネルの抽出を行った。Ba⁺/Sr 観測画像例と、その Blue-Ch 画像の輝度等高線図を Fig. 1 に示す。

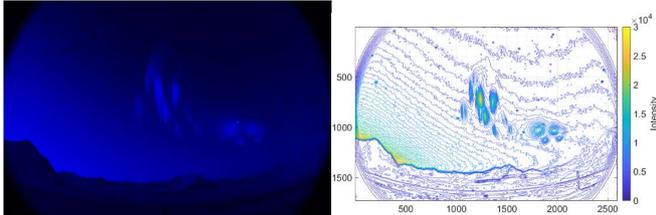


Fig. 1 Ba⁺/Sr 観測画像例とその Blue-Ch の輝度等高線図

2.2. 積分球画像による輝度補正

観測画像の輝度校正のために積分球を用いて行われた、CREX-1 光学観測系校正実験の RAW 画像から校正用データを作成した。画像からイメージセンサに対するレンズ中心のズレとレンズの周辺減光特性を測定して、各条件における輝度代表値を求めるための画像中の平均範囲を決定した後、イメージセンサの露光特性を測定した。

2.3. 発光雲の中心決定手法の開発

観測画像 1 枚から Sr 発光雲 1 個を切り出し、輝度に対して線形補間内挿で画素間を補間した曲面と縦横 5 次ずつの多項式近似を行なった曲面で最急降下法による最適化を行なって輝度の極大を求め、協力者 6 人が手作業で決定した中心 60 点とその重心との比較を行い、これまで手作業で行われてきた中心決定作業を、最適化で一意に行う事が可能か検討した。

2.4. 比較暗合成画像による背景光除去

画像中から発光雲を自動的に見つけ出す処理においてノイズとなる太陽由来の背景光を除去するために背景画像が必要だが、今回は同構図で発光雲が写っていない画像がなく、発光雲が写った観測画像 32 枚を比較暗合成し背景光画像の作成を試みた。また、ターゲット画像と背景光画像の差の絶対

値の総和を最小化する係数を最適化によって求め、これを用いて背景光の明るさの時間変化に追従する手法を試みた。

3. 結果・成果

柿並 他(2015)[1]による JPEG 画像から測定した露光特性と、今回解析した RAW 画像の露光特性を Fig. 2 に示す。JPEG では被写体が明るくなるほど輝度値が増加しにくくなる弓形の曲線となっているが RAW 画像では線形となったことから、JPEG 画像の露光特性は現像時の味付けだけと考えられる。

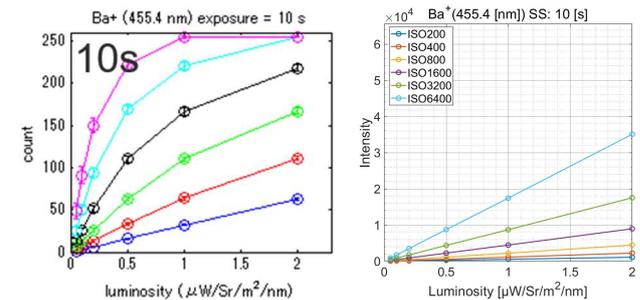


Fig. 2 JPEG(左)[1]と RAW(右)の輝度特性

最急降下法と手作業による中心決定の比較を Fig. 3(左)に示す。最急降下法では開始点 8 点すべてから同じ点に収束したことから一意に決定するという点では有効だと考えられる。ただし連続画像に対して発光雲をトレースしたときの発光雲の軌跡 Fig. 3(右)は最急降下法と手作業はあまり似ておらず、最急降下法で得られる点は真の中心ではない可能性がある。

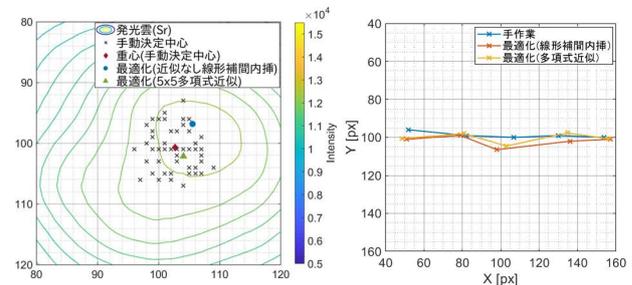


Fig. 3 Sr 発光雲の手作業と最急降下法による中心位置(左)と連続画像 5 枚からトレースした発光雲の軌跡(右)

比較暗合成および背景光の明るさ変化に追従した背景光除去については、背景光とその勾配が効果的に除去でき、発光雲と星を抽出できたが、合成画像に過補正による発光雲の影が残り、除去時に発光雲の形状に影響を及ぼしていた。また、太陽高度が高くなると太陽方向(Fig. 1(右) 左下)で背景光が急激に明るくなり、低仰角の背景光が除去しきれなくなった。

4. 結論

RAW 画像の利用により、8 bit から 14 bit の輝度分解能の向上のほか各色チャンネルの無加工データ抽出による SN 向上や線形の露光特性が得られるなど、数値解析における RAW 画像の有用性が示された。発光雲の中心決定手法については、最急降下法は一意に極大を求められるが真の中心でない可能性がある。今後別の手法を検討する。背景光除去については、背景光勾配除去に対しては効果的であるが合成段階の過補正により残る発光雲の影の影響が大きいという課題がある。

参考文献

[1] 柿並義宏, 渡部重十, 山本真行 他, 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.