

R005-03

Zoom meeting C : 11/1 AM1 (9:00-10:30)

9:30~9:45

## オーロラコンピュータトモグラフィによる脈動オーロラの3次元構造と降下電子の再構成

#吹澤 瑞貴<sup>1)</sup>, 坂野井 健<sup>2)</sup>, 田中 良昌<sup>3)</sup>, 小川 泰信<sup>4)</sup>

(<sup>1)</sup> 東北大・理, (<sup>2)</sup> 東北大・理・PPARC, (<sup>3)</sup> 国立極地研究所/ROIS-DS/総研大, (<sup>4)</sup> 極地研, (<sup>5)</sup> ノルウェー北極大学 - トロムソ大学, (<sup>6)</sup> フィンランド気象研究所, (<sup>7)</sup> 欧州非干渉散乱レーダー科学協会, (<sup>8)</sup> オウル大学ソダンキラ地球物理観測所, (<sup>9)</sup> スウェーデン宇宙物理学研究所

## Reconstruction of the three-dimensional structure and precipitating electrons of pulsating auroras by Aurora Computed Tomography

#Mizuki Fukizawa<sup>1)</sup>, Takeshi Sakanoi<sup>2)</sup>, Yoshimasa Tanaka<sup>3)</sup>, Yasunobu Ogawa<sup>4)</sup>, Bjorn Gustavsson<sup>5)</sup>, Kirsti Kauristie<sup>6)</sup>, Carl-Fredrik Enell<sup>7)</sup>, Alexander Kozlovsky<sup>8)</sup>, Tero Raita<sup>8)</sup>, Urban Brandstrom<sup>9)</sup>, Tima Sergienko<sup>9)</sup>

(<sup>1)</sup> Graduate School of Science, Tohoku University, (<sup>2)</sup> PPARC, Grad. School of Science, Tohoku Univ., (<sup>3)</sup> NIPR/ROIS-DS/SOKENDAI, (<sup>4)</sup> NIPR, (<sup>5)</sup> UiT - The Arctic University of Norway, (<sup>6)</sup> Finnish Meteorological Institute, (<sup>7)</sup> EISCAT Scientific Association, (<sup>8)</sup> Sodankyla Geophysical Observatory, University of Oulu, (<sup>9)</sup> Swedish Institute of Space Physics

Aurora Computed Tomography (ACT) is an inversion analysis method to reconstruct the three-dimensional (3-D) distribution of auroral luminosity and the energy and spatial distributions of precipitating electrons from monochromatic auroral images obtained with multiple ground-based optical instruments (e.g., Aso et al., EPS, 1998). The ACT method has been applied to discrete auroras (e.g., Tanaka et al., Ann. Geophys., 2011). On the other hand, it is relatively difficult to reconstruct the 3-D structure of pulsating auroras (PsAs) by ACT since PsAs generally have low contrast and faint structures. Therefore, there have been no reports of 3-D reconstruction of PsAs so far.

This study aims (1) to reconstruct the 3-D distribution of the PsA emission intensity and the energy and spatial distribution of precipitating electrons and (2) to estimate the 3-D distribution of the ionospheric electron density from the reconstructed volume emission rate.

We used monochromatic auroral images obtained with three all-sky imagers in Skibotn (69.35 degrees north, 18.82 degrees east), Kilpisjarvi (69.05 degrees north, 20.36 degrees east), and Abisko (68.36 degrees north, 18.82 degrees east) during the substorm recovery phase in 0-2 UT on 18 February 2018. The observation wavelength is 427.8 nm and temporal resolution is 2 s. We selected PsA patches observed at the observation point of the EISCAT radar in Tromsø (69.58 degrees north, 19.23 degrees east).

We applied ACT to the PsA patches and obtained the 3-D distribution of the volume emission rate from the auroral images. The background diffuse auroral emission was subtracted from the auroral images as uniform emission to reduce noises before conducting ACT. The peak altitudes of the reconstructed volume emission rates were 92-96 km and the full widths at half maximum were 18-22 km.

The horizontal distributions of the reconstructed precipitating electrons' average energy were high at the edge of the PsA patches. The total energy flux of the reconstructed precipitating electrons was proportional to the square of the average energy. This relationship indicates that the precipitating electrons are accelerated by a field-aligned electric potential drop at the edge of the PsA patches (Ono and Morishima, GRL, 1994). To confirm whether these distributions are artifacts from the ACT analysis, ACT was applied to the pseudo images obtained by solving the forward problem assuming that the precipitating electrons have a uniform total and average energy distributions on the horizontal plane. The horizontal distribution of the reconstructed precipitating electrons' average energy was uniform and not high at the edge of the PsA patch. This indicates that ACT could solve the inversion problem correctly and that the result obtained from observation data would not be artifacts.

The 3-D distribution of ionospheric electron density was derived from the reconstructed precipitating electrons by solving the continuity equation for electron density with the steady state assumption. We compared the reconstruction results with the EISCAT radar data. The error between them was small when the PsA emission intensity was large. However, the derived electron density was underestimated compared to that observed by the EISCAT radar as the PsA emission intensity attenuated. Therefore, the electron density was obtained by solving the continuity equation by the Runge-Kutta method without the steady state assumption. The error at the time when the PsA emission intensity attenuated became smaller. This result indicates that it is necessary to consider the time constant of recombination between electrons and ions when deriving the electron density from the volume emission rate of 427.8 nm especially for PsAs having quasi-periodic temporal modulations.

Through this study, we were able to reconstruct the energy and spatial distribution of precipitating electrons that cause PsA and the 3-D distribution of volume emission rate from auroral images with a wavelength of 427.8 nm observed from three points on the ground. It is expected that more realistic reconstruction results can be obtained by combining the auroral images and the 3D observation data of the ionospheric electron density by EISCAT\_3D radar, which will start observation in the late 2022.

オーロラコンピュータトモグラフィ (ACT) は地上多地点に設置された単一波長のオーロラ画像から逆問題を解く

ことによってオーロラ発光強度の3次元分布や降下電子のエネルギー・空間分布を再構成する手法である (e.g., Aso et al., EPS, 1998)。これまで ACT はディスクリートオーロラに適用されてきた (e.g., Tanaka et al., Ann. Geophys., 2011)。一方、脈動オーロラはディスクリートオーロラよりも構造のコントラストが低く暗い発光であるため、発光強度の3次元構造を ACT により再構成することが難しい。このために脈動オーロラの3次元構造の報告例はなかった。

本研究は、ACT 解析により、(1) 脈動オーロラパッチの体積放射率の3次元分布と降下電子のエネルギー・空間分布を再構成すること、さらに、(2) 再構成された体積放射率から電離圏電子密度の3次元分布を推定することを目的とする。

観測データは北欧の3地点 (Skibotn (69.35° N, 18.82° E)、Kilpisjarvi (69.05° N, 20.36° E)、Abisko (68.36° N, 18.82° E)) に設置された全天カメラによって2018年2月18日0-2 UTのサブストーム回復相に取得された画像を使用した。観測波長は427.8 nm であり、時間分解能は2秒である。これら3つの全天画像の視野内の内、Tromsø(69.58° N, 19.23° E) に設置された EISCAT UHF レーダー観測点上で観測された脈動オーロラパッチに対して ACT を行った。

脈動オーロラの背景で発光しているディフューズオーロラ発光を一樣な発光と仮定して観測画像から差し引くことで、3地点の観測画像から ACT により脈動オーロラの3次元体積放射率と降下電子のエネルギー・空間分布を再構成することができた。再構成された体積放射率のピーク高度は92-96 km, 発光層の半値全幅は18-22 km であった。

再構成された降下電子の平均エネルギーの水平面分布は脈動オーロラパッチのエッジで高くなっていた。再構成された降下電子フラックスの全エネルギーは平均エネルギーの2乗に比例し、この関係は脈動オーロラパッチのエッジにおいて降下電子が沿磁力線電位降下によって加速された可能性を示唆する (Ono and Morishima, GRL, 1994)。この構造が ACT 解析によるエラーでないか確かめるために、水平面に一樣な全エネルギーと平均エネルギーの分布を持った降下電子から順問題を解くことで得た疑似画像に対して ACT を行った。その結果、再構成された降下電子の平均エネルギーの水平面分布はエッジで高くならず、一樣な分布が得られた。この結果は、観測画像からの再構成で得られた、パッチのエッジで降下電子の平均エネルギーが高い構造は ACT 解析によるエラーではないことを示唆する。

また、定常状態を仮定して電子密度の連続の式を解くことで、再構成された体積放射率から電子密度を求めた。その結果、脈動オーロラが発光している最中は EISCAT レーダー観測データとよく似た高度分布が得られた。しかし、脈動オーロラの発光強度が減衰していくと観測データよりも過小評価となった。そこで、定常状態を仮定せずに連続の式をルンゲ・クッタ法により解くことで電子密度を求めたところ、オーロラ発光強度が減衰した時間でも観測データに近い高度分布が得られた。この結果は、427.8 nm 発光と電子密度の時間変動には時間差があることを意味し、特に脈動オーロラのように準周期的な変動を伴う427.8 nm の体積放射率から電子密度を求める際には、電子とイオンとの再結合の時定数を考慮する必要があることを示す。

本研究により、地上3地点から観測された波長427.8 nm のオーロラ画像を用いて脈動オーロラを発光させる降下電子のエネルギー・空間分布と体積放射率の3次元分布を再構成することができた。2022年度後半から観測が始まる EISCAT 3D レーダーによる電離圏電子密度の3次元観測データと多点のオーロラ画像を組み合わせることで、より現実を反映した信頼性のある再構成結果が得られることが期待される。