

パルセーティングオーロラのソース領域の統計解析と波動粒子相互作用

西山 尚典 [1]; 坂野井 健 [2]; 海老原 祐輔 [3]; 浅村 和史 [4]; 山崎 敦 [5]; 岡野 章一 [1]; 平原 聖文 [6]
[1] 東北大・理; [2] 東北大・理; [3] 名大高等研究院; [4] 宇宙研; [5] 宇宙科学研究本部; [6] 東大・理・地惑

Statistical analysis of the source regions of pulsating aurora and wave-particle interactions.

Takanori Nishiyama[1]; Takeshi Sakanoi[2]; Yusuke Ebihara[3]; Kazushi Asamura[4]; Atsushi Yamazaki[5]; Shoichi Okano[1]; Masafumi Hirahara[6]

[1] PPARC, Tohoku Univ.; [2] PPARC, Grad. School of Sci., Tohoku Univ.; [3] Nagoua Univ., IAR; [4] ISAS/JAXA; [5] ISAS/JAXA; [6] Dept. Earth & Planet. Sci, Univ. Tokyo

Pulsating aurora is a phenomenon which shows periodic emission variation in diffuse aurora. The emission is characterized by not a sinusoidal change but a pulsation, and its typical period ranges from a few seconds to a few tens of seconds. Energy range of precipitating electrons which generate pulsating aurora was estimated from a rocket observation by *Sandahl et al.*, [1980]. Because pulsating aurora appears in diffuse aurora, electrons are thought to undergo cyclotron resonance with whistler mode waves in the equatorial region of the magnetosphere and to precipitate into Earth's upper atmosphere by pitch angle scattering. This concept is widely accepted, but there is a few observations conflicting this idea. *Sato et al.*, [2004] recently suggested that the source region of pulsating aurora is located earthward, far from the equatorial plane, raising a question about the source region of pulsating aurora.

The purpose of this study is to search for the source regions of pulsating aurora using simultaneous image and particle observation data from REIMEI satellite in statistical basis. A great advantage of REIMEI is that it can make simultaneous observation of aurora image and particle flux by an attitude control that makes it possible to point the field of view of Multi-spectral Aurora Camera (MAC) to a footprint of magnetic field line threading the satellite. We used mainly MAC and Electron/Ion energy Spectrum Analyzer (E/ISA) in this study. MAC takes a picture with three wavelengths; 427.8 (N_2^+ 1st Negative Band), 557.7 (O Green line) and 670.0 (N_2 1st Positive Band) nm. The field of view is 7.6 degrees and the time and spatial resolutions are 120 ms and 1 km, respectively. E/ISA is tophat type electrostatic analyzer with energy range from 10 eV to 12 keV and time resolution of 40 ms. In observation of pulsating aurora, energy dispersion of electron flux associated with pulsating aurora is seen. From the difference of energy and time, we carried out Time of Flight analysis and calculated a distance of the source region from REIMEI. The distance was traced along a magnetic field line using Tsyganenko-89 model and the source regions were identified.

We analyzed 15 paths from November 2005 to November 2007 and 38 source regions were identified. The results revealed that the source regions are not necessarily located close to the equatorial plane but distribute continuously in an extent of 30 degrees from the equatorial plane. In the outer zone of radiation belt, it is reported that whistler mode wave frequently appears in an extent of 20 degrees from the equatorial plane at recovery phase (*Meredith et al.*, [2001]) and it is consistent with our results. So, we carried out numerical calculation for cyclotron resonance between whistler mode wave (ELF-VLF) and electrons in order to examine the results. We used the code which takes account of high order resonance by *Albert*, [1999] and calculated pitch angle scattering rate D_{aa} as changed the location where the resonance takes place from equator to 30 degrees. As a result, the peak values of D_{aa} for equatorial pitch angles are about 10^{-3} [1/s] and show no change in the values to the location, but in higher latitude region, D_{aa} for large pitch angles are extremely low and show high order resonance are dominant. This suggests the resonance occurs in the region from an equator to latitude of 30 degrees and supports the model that pulsating aurora is produced by interactions between whistler mode waves and electrons.

パルセーティングオーロラはディフューズオーロラ中に見られる周期的な明滅を繰り返す現象であり、サブストームの回復相にオーロラオーバルの低緯度側で観測されている。その発光は三角関数的な変化ではなくパルス状（方形波）として特徴づけられ、代表的な周期は2,3秒から30秒程度とされている。また、*Sandahl et al.*, [1980]ではロケット観測の結果からパルセーティングオーロラを発光させる電子のエネルギーは5keVから40keV程度と見積もられている。パルセーティングオーロラがディフューズオーロラ領域に出現することから、これを発光させる電子はプラズマシートの磁気赤道面付近においてwhistlerモードの波動とサイクロトロン共鳴を起こし、ピッチ角散乱によって地球の上層大気に降下してきたものと考えられてきた。このモデルは広く受け入れられているものの、過去にこのモデルの観測的実証はほとんどなく、近年では*Sato et al.*, [2004]によってソース領域は磁気赤道域ではなくより地球近傍に位置しているという結果も報告されているため、ソース領域がどこなのかという問題は依然残されたままである。

本研究の目的はれいめい衛星の画像-粒子同時観測データを用いてパルセーティングオーロラのソース領域を統計的に求めることである。れいめいの最大の特徴は、磁力線のフットプリントに対して多波長オーロラカメラ (MAC) の視野を向けるように姿勢制御を行うことによりオーロラ発光に対応する降下粒子のエネルギーを同時観測できる点であり、これによって画像データから特定されたパルセーティングオーロラの発光に寄与している電子のエネルギーフラックス

を得ることができる。本研究で用いたれいめいの主な観測機器は MAC とオーロラ粒子観測器 (E/ISA) である。MAC は 427.8(N₂⁺ 1st Negative Band)、557.7(O Green line)、670.0(N₂ 1st Positive Band)nm の 3 波長で撮像しており、視野が 7.6 ° で空間・時間分解能がそれぞれ 1km、120ms となっている。E/ISA はトップハット型の静電分析器で 10eV-12keV のエネルギーレンジと、40ms の時間分解能を有する。パルセーティングオーロラ発生時には、電子フラックスが高エネルギーから低エネルギーに変化するエネルギー分散が観測される。このエネルギー差と時間差から Time of Flight 解析を行い、ソースまでの距離を算出する。さらに、磁場モデル Tsyganenko-89 によって得られた距離分だけ磁力線トレースすることでソースを求めた。

解析は 2005 年 11 月から 2007 年 11 月までの 15 パスの合計 38 例について行い、ソース領域を特定した。得られた結果はソース領域が必ずしも磁気赤道面付近には存在せず、磁気赤道面から 30 ° 程度の広がりをもって連続的に分布していることを示すものとなった。放射線帯外帯ではサブストーム時において whistler モードの波動が磁気赤道から南北 20 ° にわたり出現していることが報告されており (Meredith et al., [2001])、今回得られたソース域とよく対応している。そこで、得られたソース域の広がりを検証するため、whistler モードの波動と電子のサイクロトロン共鳴を仮定し数値計算を行った。計算手法は Albert, [1999] で提唱されている高次の共鳴を考慮したコードを用い、共鳴の起きる位置を磁気赤道から磁気緯度 30 ° まで変化させそれぞれの位置でのピッチ角拡散係数 D_{aa} を求めた。その結果、赤道ピッチ角に対する D_{aa} の最大値は磁気緯度 0 ° から 30 ° において 10^{-3} [1/s] 程度とあまり変化は見られなかったが、30 ° 付近の共鳴では赤道ピッチ角の大きい電子に対し D_{aa} が極端に小さな値になっており、高次の共鳴が支配的であることが予想される結果が得られた。これは磁気赤道から磁気緯度 30 ° までの領域においてサイクロトロン共鳴が起こる可能性を示唆し、パルセーティングオーロラが whistler モードの波動と電子の相互作用によって生成されるというモデルを支持するものである。