

## アイスランドで観測された MF 帯オーロラ電波の出現特性について

# 佐藤 由佳 [1]; 小野 高幸 [2]; 飯島 雅英 [3]; 佐藤 夏雄 [4]; 門倉 昭 [4]; 宮岡 宏 [5]  
[1] 東北大・理・地球物理; [2] 東北大・理; [3] 東北大・理・地物; [4] 極地研; [5] 極地研

### Occurrence characteristics of MF auroral radio emissions observed in Iceland

# Yuka Sato[1]; Takayuki Ono[2]; Masahide Iizima[3]; Natsuo Sato[4]; Akira Kadokura[4]; Hiroshi Miyaoka[5]  
[1] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ.; [2] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ.; [3] Geophysical Inst., Tohoku Univ.; [4] NIPR; [5] National Inst. Polar Res.

The polar ionosphere is well known as the source region of various radio emissions. In the decades, vigorous and copious observations have been carried out for understanding physical mechanisms of VLF/LF auroral radio emissions such as auroral hiss and auroral kilometric radiation (AKR); however, there are unsolved problems in MF auroral radio emissions (referred to as auroral roar and MF burst). In order to study the generation and propagation processes of the MF auroral radio emissions in the polar ionosphere, an Auroral Radio Spectrograph (ARS) system was installed at Husafell station in Iceland (invariant latitude: 65.3deg). It was designed to identify the spectrum and polarization character of radio waves in the MF range.

After being refurbished in late 2006, the ARS has detected several MF auroral radio emissions, which were identified as left-handed polarized waves. Polarization character of the MF bursts is consistent to the previous observation result by Shepherd et al. [1997] and  $3f_{ce}$  roar is verified for the first time to be L-O mode electromagnetic wave. This observational evidence supports an idea about the generation mechanism proposed by LaBelle and Treumann [2002].

To understand the occurrence characteristics and physical mechanism of the MF auroral radio emissions, we also analyzed geomagnetic field data and riometer data. It is suggested that auroral roar appears during magnetic storm recovery phase while MF burst is associated with aurora breakup. We compared the  $3f_{ce}$  roar detected between 21:03 - 21:25 UT on May 23, 2007 with auroral image observed by the Polar/UVI and auroral particle observed by the DMSP/SSJ4 in the southern hemisphere. These image data show that the auroral oval has multilayer structure and the Husafell station is located between arcs. In such a region either without strong electron precipitation or with relatively low energy electron precipitation (several 100 eV), MF radio waves can propagate to the ground because ionization in the D and E layers is low. Therefore, there are two possible generation as following. One is that high energy electrons (more than several keV) precipitating apart from the observation site generate auroral roar emission, and it propagates to the observation site through the highly transparent region. The other idea is that auroral roar generated by low energy electrons precipitating near the site can propagate downward to the ground. Since the energy spectra of precipitating electrons affect not only plasma instability but also ionization of low altitude region, it is an important parameter for the generation mechanism.

On the hypothesis that the frequency of auroral roar coincides with harmonics of the electron cyclotron frequency in the source region, the observation frequencies of 3.1-3.5 MHz and 3.7-4.0 MHz correspond to the altitude range of 550-880 km and 220-420 km, respectively. The former case (3.1-3.5 MHz roar) has a problem that electron density should be more than  $10^5$  /c.c. in this altitude range (550-880 km). This altitude versus density relation seems unusual for the polar ionosphere. When we introduce alternative hypothesis that the plasma instability occurs at  $(n+1/2)f_{ce}$  ESCH waves, the estimated altitude of the source region becomes 250-350 km. Thus, we have to reexamine the proposed generation mechanism of the MF auroral radio emissions. For this purpose, it is necessary to examine not only particle data observed by satellites but also electron density distribution obtained from the ground.

極域電離圏は様々な電波の放射源となっていることがよく知られている。ここ数十年間、auroral hiss や AKR のような VLF/LF 帯の電波放射の物理機構の理解のために、多くの観測が精力的に行われてきたが、auroral roar や MF burst と呼ばれる MF 帯のオーロラ電波放射については、まだ未解明の問題が多く残っている。この MF 帯オーロラ電波放射の発生・伝搬機構を研究するため、アイスランドのフッサフェル観測所（不変磁気緯度 65.3°）に新たに観測装置（ARS）を設置した。本装置は MF 帯電波のスペクトルや偏波特性を得るように設計されている。

2006 年のシステム改良後、ARS により複数の MF 帯オーロラ電波が観測され、それらは全て左旋偏波としての特徴を持っていることが明らかとなった。MF burst の偏波特性は Shepherd et al.[1997] による観測結果と一致しており、さらに、 $3f_{ce}$  roar の偏波特性が L-O mode であることを示す結果が、本観測により初めて得られている。この観測結果は LaBelle and Treumann [2002] によって提案された発生機構を支持するものである。

さらに、地磁気やリオメータデータと比較したところ、auroral roar は磁気嵐回復相で出現する一方、MF burst はオーロラブレークアップに対応するという傾向が示された。また、2007 年 5 月 23 日 UT21:03-21:25 に観測された特異なダイナミックスペクトルを呈する  $3f_{ce}$  roar について、南半球側で観測された Polar 衛星 UVI による紫外オーロライメージや DMSP 衛星 SSJ4 による電子エネルギースペクトルと比較したところ、オーロラオーバルは多層構造をしており、フッサフェル観測所付近はオーロラアークに挟まれた領域になっていることが示唆された。このような降下電子のない領域、または低エネルギー（数 100eV 程度）の電子降下が支配的な領域では、D 層、E 層における電離が低く、電波吸収量が小さいため、MF 帯電波が地上に伝搬しやすい条件が整っていると考えられる。従って、auroral roar の放射・伝搬機構としては 2 つ挙げられる。1 つ目は、観測点から離れた場所に降下する数 keV 以上の高エネルギー電子によって auroral roar が励起され、低電離の領域を通過して観測点まで伝搬できると考えるもので、2 つ目は、観測点付近に降下する数 100eV

程度のエネルギーの電子で励起された auroral roar が真下に伝搬すると考えるものである。降下電子のスペクトルは、プラズマ不安定による波動の励起だけでなく、電離にも大きく影響し、電波の伝搬条件を変えるため、MF 帯オーロラ電波の物理機構を議論する上で重要なパラメータである。

また、auroral roar の周波数が発生域の電子サイクロトロン周波数  $f_{ce}$  の整数倍であるという仮説を支持すると、観測された周波数 3.1-3.5 MHz, 3.7-4.0 MHz の auroral roar の発生域は高度 550-880 km, 220-420 km となり、その高度での電子密度が  $10^5$  /c.c. に達していることになる。さらに、特に前者の場合は、上部電離圏で発生した auroral roar が地上に伝搬するために、この現象の説明には、特殊な電子密度分布を考えなければならない困難が生じている。一方で、別の放射機構として、 $(n+1/2)f_{ce}$  に対応する ESCH 波が auroral roar の起源であると考えれば、発生域は 250-350 km 程度となり、この困難を克服することができるため、発生機構の有力な候補の一つとして議論していく必要がある。つまり、現在提唱されている放射・伝搬機構の妥当性を含め、MF 帯オーロラ電波の物理機構を詳細に検証していく必要がある。そのためには、プラズマ不安定の発生とプラズマ波動の伝播過程の吟味をするために、衛星による粒子計測データだけでなく、地上レーダ観測による電離圏電子密度分布の情報を得ることが重要であり、今後の課題である。