

南極昭和基地大型大気レーダーによる電離圏沿磁力線不規則構造のイメージング観測

#香川 大輔¹⁾, 橋本 大志²⁾, 齊藤 昭則³⁾, 西村 耕司⁴⁾, 堤 雅基²⁾, 佐藤 亨⁵⁾, 佐藤 薫⁶⁾

⁽¹⁾京大・理,⁽²⁾極地研,⁽³⁾京都大・理・地球物理,⁽⁴⁾京都大・生存圏研究所,⁽⁵⁾京大・国際高等教育院,⁽⁶⁾東大・理

Imaging Observation of Ionospheric Field Aligned Irregularities by the PANSY radar at Antarctic Syowa Station

#Daisuke Kagawa¹⁾, Taishi Hashimoto²⁾, Akinori Saito³⁾, Koji Nishimura⁴⁾, Masaki Tsutsumi²⁾, Toru Sato⁵⁾, Kaoru Sato⁶⁾

⁽¹⁾Kyoto Univ.,⁽²⁾NIPR,⁽³⁾Dept. of Geophysics, Kyoto Univ.,⁽⁴⁾RISH, Kyoto Univ.,⁽⁵⁾ILAS, Kyoto Univ.,⁽⁶⁾Graduate School of Science, Univ. of Tokyo

Program of Antarctic Syowa MST/IS radar (PANSY radar) is the large atmospheric and VHF-band radar located at the Antarctic Syowa Station. This radar has the capability of observing plasma quantities at altitudes of 100-500km using the ionospheric incoherent scatter (IS). In 2015, the PANSY radar performed the first ionospheric IS observation in the Antarctica. This radar also has a frequency of 47MHz, so it can observe the echoes of field aligned irregularities (FAIs) in E-region. If FAIs have a space scale of half wavelength of radio waves, they are coherently backscattered, so the PANSY radar observes the coherent echoes from 3-meter-scale FAIs in E-region. In order to suppress contamination from the FAI echoes during the IS observation, Hashimoto et al.(2019) separated the FAI echoes from IS echoes by the multichannel signal processing technique using the antenna array for observing FAIs ("FAI array"). On the other hand, if we utilize this method to observe FAIs, we can resolve E-region FAIs in detail and measure their motion.

In this research, we conduct the experimental observation of E-region FAIs in 19th November 2021. In this experiment, we transmitted the radio waves using the FAI array and received the FAI echoes using the meteor array installed for observing the meteor. The FAI array has the degree of freedom only of azimuth angles, whereas the meteor array can observe FAIs three-dimensionally because the five antennas of the meteor array are positioned areally. First, FAI imaging was performed using the Capon method for FAIs observed in this experiment, but it was found that the Capon imaging cannot accurately measure the spatial structures caused by the antenna pattern. FAI echoes are generally observed if the conditions that radio waves are perpendicular to FAI are satisfied. The grating lobes, however, are generated because the distance of adjacent antenna are wide, so it was considered that the "ghosts" were also mistakenly generated in the non-echoing region. Therefore, due to remove their effects and provide the accurate spatial structure, we conducted deconvolution based on the CLEAN algorithm. In this algorithm, we subtract the transmit pattern of the FAI array and receive pattern of the meteor array in each iteration. This algorithm makes smaller the responses of the non-mainlobe region, such as grating lobes and sidelobes, because the antenna pattern are subtracted, so we can suppress the "ghosts" and conduct high-resolution FAI imaging observation.

In this presentation, we will introduce the result of application of imaging method based on the CLEAN algorithm which can remove the effects of the antenna pattern and conduct accurate and high-resolution FAI observation. Also, we try to find out physical processes of FAI generation and the spatial structure of FAIs.

南極昭和基地大型大気レーダー (PANSY レーダー) は、南極の昭和基地に設置されている大型 VHF 帯大気レーダーである。本レーダーは電離圏非干渉性散乱 (IS) を用いて地表 100km から 500km におけるプラズマ物理量を観測することが可能であり、2015 年には南極で初となる電離圏 IS 観測が開始された。また、47MHz の周波数を用いているため、E 領域における沿磁力線不規則構造 (Field Aligned Irregularity; FAI) エコーの観測も可能である。FAI がレーダー電波の半波長の空間スケールを持つとき、電波をコヒーレントに散乱するため、PANSY レーダーでは約 3m スケールの E 領域 FAI からのコヒーレント・エコーを観測できる。Hashimoto et al.(2019) では、この FAI エコーの混入による IS 観測への干渉を除去するため、PANSY レーダーに備えられた FAI 受信用アンテナアレイ (以下、FAI アレイ) を用いた多チャンネル信号処理技術により、異なる角度からの信号 (IS エコーと FAI エコー) を分離した。一方、FAI の観測に主眼を置いて同様の手法を用いれば、E 領域 FAI を詳細に解像し、その運動を観測することが可能である。

そこで本研究では、2021 年 11 月 19 日に E 領域 FAI の観測実験を行った。本実験では FAI アレイを用いて電波の送信を行い、流星観測用に設置されている流星アレイを用いて FAI からの反射波の受信を行った。FAI アレイは直線状に配置されているため自由度は方位角方向にしか持たないのに対し、流星アレイは 5 本のアンテナが面的に配置されているため、流星アレイを用いることで FAI の立体的な位置情報を得ることができる。まず、本実験で観測された FAI に対し Capon 法を用いてイメージングを行ったところ、空間構造にアンテナパターンに起因する角度の不確実性が発生した。本来、FAI はレーダー電波と地磁気の磁力線が直交するところで観測されるはずである。しかし、流星アレイのアンテナ間隔が大きいためにグレーティングローブを生じ、これによってそれ以外の方位にも偽像が生じたと考えられた。そこで、その影響を除去し真の空間構造を推定するために、本観測では CLEAN アルゴリズムに基づいたデコンボリューション

ン処理を行った。本アルゴリズムでは、毎回のイタレーション処理において、FAI アレイの送信パターンと流星アレイの受信パターンを組み合わせたパターンを差し引いている。これにより、グレーティングローブやサイドローブといったメインローブ以外の領域でもアンテナパターンが考慮されて自動的に応答値が小さくなるため、偽像を抑えつつ高分解能なFAI のイメージング観測が可能となる。

本発表では、アンテナの放射パターンの影響を除去しFAI の正確かつ高分解能に観測できる、CLEAN アルゴリズムに基づいたイメージング手法の適用結果を紹介する。また、これによって得られたイメージから、FAI 発生の物理過程および空間構造の解明を試みる。