

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観測

#香川 大輔¹⁾, 橋本 大志²⁾, 西村 耕司³⁾, 齊藤 昭則⁴⁾

¹⁾京大・理, ²⁾極地研, ³⁾京大・生存研, ⁴⁾京都大・理・地球物理

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

#Daisuke Kagawa¹⁾, Taishi Hashimoto²⁾, Koji Nishimura³⁾, Akinori Saito⁴⁾

¹⁾Kyoto University Graduate School of Science, ²⁾National Institute of Polar Research, ³⁾Kyoto University, RISH,

⁴⁾Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University

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.

PANSY radar has the array for observing meteors (Meteor array) as well as the FAI array. The FAI array has the degree of freedom only of azimuth angles because its antennas are positioned linearly, whereas the Meteor array can observe FAIs three-dimensionally because the five antennas of the Meteor array are positioned areally. Therefore, we expect that we transmit the radio waves using the FAI array and receive the FAI echoes using the Meteor array.

However, it is expected that the Fourier imaging or 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 is considered that the "ghosts" are 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 Alternating Direction Method of Multipliers; ADMM (Boyd et al.(2011)). This algorithm sequentially estimates the three-dimensional position of FAI which is the local solution in the Convex Optimization Problem, observation of the FAI by the PANSY radar. We can conduct high-resolution FAI imaging observation because the algorithm makes the smaller responses of the non-mainlobe region, such as grating lobes and sidelobes, by conducting iteration process until the estimate converges.

In this presentation, we will introduce the result of the application of imaging method based on the ADMM which can remove the effects of the antenna pattern and conduct accurate and high-resolution FAI observation.

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 観測用アンテナアレイ (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。

PANSY レーダーには FAI アレイのほか、流星観測用アレイ (以下、流星アレイ) も備えられている。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。そのため、本研究では FAI アレイを用いて電波の送信を行い、流星アレイを用いて FAI からの反射波の受信を行うことを想定する。

しかし、観測された FAI に対して Fourier 法や Capon 法等でエコー到来方向を推定すると、アンテナパターンに起因した空間構造の不確実性が発生することが想定される。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が、流星アレイのアンテナ間隔が大きいため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ると考えられる。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、本研究では交互方向乗数法 (Alternating Direction Method of Multipliers; ADMM) (Boyd et al.(2011)) に基づいた処理を行った。本アルゴリズムでは、PANSY レーダーによる FAI 位置推定という凸最適化問題において FAI 位置、つまり局所解を逐次的に推定する。イタレーション処理を収束するまで行うことにより、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における応答値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抑圧し FAI の正確かつ高分解能に観測できる、ADMM に基づいたイメージング手法の適用について、シミュレーション結果及び実データに対する初期結果を紹介する。