

R005-P18

ポスター 3 : 9/26 AM1/AM2 (9:00-12:30)

## EISCAT\_3D レーダー観測に向けた 1 局・複数ビーム観測による電離圏イオン速度再構成手法の検討

#吹澤 瑞貴<sup>1)</sup>, 小川 泰信<sup>1)</sup>, 西村 耕司<sup>2)</sup>, 西山 尚典<sup>1)</sup>, 橋本 大志<sup>1)</sup>, 津田 卓雄<sup>3)</sup>

(<sup>1)</sup> 極地研, (<sup>2)</sup> 京大, (<sup>3)</sup> 電通大)

## Feasibility study of ionospheric ion velocity reconstruction method for monostatic and multi-beam EISCAT\_3D radar observation

#Mizuki Fukizawa<sup>1)</sup>, Yasunobu Ogawa<sup>1)</sup>, Koji Nishimura<sup>2)</sup>, Takanori Nishiyama<sup>1)</sup>, Taishi Hashimoto<sup>1)</sup>, Takuo Tsuda<sup>3)</sup>

(<sup>1)</sup>National Institute of Polar Research, (<sup>2)</sup>Kyoto University, (<sup>3)</sup>University of Electro-Communications

EISCAT\_3D radar (E3D) is the world's first multi-static phased-array incoherent scatter radar to observe the three-dimensional (3-D) distribution of ionospheric physical parameters with high temporal resolution. E3D is planned to consist of a central active (transmitting/receiving) site ("core") and four receive-only sites. Currently, the core site in Skibotn, Norway (geographic latitude (GLAT): 69.340 degrees, geographic longitude (GLON): 20.313 degrees), and receiving sites in Karesuvanto, Finland (GLAT: 68.463 degrees, GLON: 22.458 degrees) and Kaiseniemi, Sweden (GLAT: 68.267 degrees, GLON: 19.448 degrees) are under construction. The E3D is capable of deriving the 3-D distribution of ionospheric ion velocity vectors from multi-beam observations from at least three stations. These observations will contribute to the understanding of the magnetosphere-ionosphere-thermosphere coupling process. The E3D observation is scheduled to start in 2024 with one station, followed by a three-station observation system. In this study, a method to reconstruct the 3-D distribution of ionospheric ion velocity vectors from line-of-sight (LOS) ion velocity observation data by monostatic and multi-beams was investigated.

In the Common Program of E3D, which is the common experiment to all member countries of the EISCAT Scientific Association, a total of 27 beams (10 low-elevation beams, 10 high-elevation beams, and 7 meridional beams) are suggested to be used for observations. For the low-elevation beams, the azimuth and zenith angles were determined so that the beam points are equi-latitude spaced on the meridian +/-150 km east-west from the core site at an altitude of 250 km. The azimuth and zenith angles of the high-elevation beams were then determined by tracing the magnetic field lines from the 110 km altitude of these beams to the 250 km altitude and passing through these points. For the meridional beams, we determined four beams with elevation angles of 30 and 60 degrees for azimuth angles of 0 and 180 degrees, respectively; two beams with vertical and magnetic zenith directions; and two beams with an azimuth angle of 180 degrees and elevation angle of 60 +/- 6 degrees.

From the LOS ion velocity observations at an altitude of 250 km by the 27 beams determined in this way, the ion velocity vectors were derived using data from three adjacent observation points. The number of grids (north-south x east-west) connecting the three adjacent points was 8 x 2 grids for a range of +/-30 km in the east-west direction from the core site and 6 x 4 grids for a range of +/-150 km. The spatial resolution in the north-south direction was approximately 30 km and 60 km, respectively. In order to generate pseudo-E3D observation data, the atmosphere-ionosphere coupling model GAIA (Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy) was used. The projected component of the GAIA's ion velocity to the 27 beam directions in E3D was obtained as the E3D LOS ion velocity observation data. The ion velocity vectors were then derived from the pseudo-E3D observation data at three adjacent points. As a result, the original GAIA data were reproduced well. However, since this derivation assumes that the ion velocity is constant at the three adjacent points, it was confirmed that the error tends to be large at the edge of the field of view, where the spacing between the three beams is large.

As another method, a linearly constrained least-squares problem is set up and the ion velocity vector is derived using the Lagrange multiplier method. As a constraint condition, the ionospheric ion velocity above the 200 km altitude is assumed to follow the  $E \times B$  drift, and the rotation and divergence of the ion velocity in the horizontal plane are given zero based on Gauss's law and Faraday's law under the conditions of electric neutrality and a steady state magnetic field. Under these conditions, we are considering problem setups that minimize the first- and second-order derivatives of the ion velocity in the spatial direction. In the presentation, we will also show the results of these methods.

The dataset used for this study is from the GAIA project carried out by the National Institute of Information and Communications Technology, Kyushu University, and Seikei University.

EISCAT\_3D レーダー (E3D) は電離圏物理量の 3 次元分布を高時間分解能で観測する世界初の複数局フェーズドアレイ式非干渉散乱レーダーである。E3D は 1 つの送受信局と 4 つの受信局から構成される計画であり、現在は 1 つの送受信局 (主局、シーボトン: 北緯 69.340 度、東経 20.313 度) と 2 つの受信局 (カレスバント: 北緯 68.463 度、東経 22.458 度、カイセニエミ: 北緯 68.267 度、東経 19.448 度) の建設が進んでいる。E3D は少なくとも 3 地点からの複数ビーム観測により電離圏イオン速度ベクトルの 3 次元分布を導出することが可能である。電離圏のイオン速度の 3 次元分布が分かれば電離圏電場や熱圏中性風の分布の推定が可能となり、磁気圏-電離圏-熱圏結合過程の理解に貢献することが期

待される。E3D による観測は、まず主局のみの 1 局方式による共同利用を 2024 年に開始予定であり、その後 3 局方式による観測運営体制が整えられる予定である。そこで、本研究では 1 局・複数ビームによる視線方向のイオン速度観測データから電離圏イオン速度ベクトルの 3 次元分布を再構成する手法の検討を行なった。

E3D の Common Program と呼ばれる EISCAT 科学協会全加盟国の共通実験では、低仰角 10 本、高仰角 10 本、子午線上 7 本の合計 27 本のビームを使った観測が提案されており、それらのビームの方位角と天頂角をまず決める必要がある。低仰角のビームについては、高度 250 km において送信局から東西方向に  $\pm 150$  km の子午線上においてビーム点が等緯度間隔となるようにビームの方位角と天頂角を決定した。次にこれらのビームの高度 110 km 地点から高度 250 km まで磁力線を辿り、その点を通るように高仰角ビームの方位角・天頂角を決定した。子午線上のビームについては、方位角 0 度、180 度それぞれについて仰角 30 度、60 度の 4 本、鉛直方向、磁気天頂方向の 2 本、そして方位角 180 度、仰角  $60 \pm 6$  度の 2 本とした。

このように決定した 27 本のビームによる高度 250 km における視線方向イオン速度観測から、隣接する 3 点の観測データを用いてイオン速度ベクトルの導出を行った。隣接する 3 点を結んだグリッド数（南北×東西）は、主局から東西方向に  $\pm 30$  km の範囲では  $8 \times 2$  グリッド、 $\pm 150$  km の範囲では  $6 \times 4$  グリッドとなった。南北方向の空間分解能はそれぞれ約 30 km と約 60 km となった。擬似的な E3D 観測データを作成するために、大気圏-電離圏結合モデル GAIA (Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy) を用いて電離圏イオン速度ベクトルの 3 次元分布を生成し、E3D の 27 本のビーム方向の射影成分を求めた。そして、隣接する 3 点のデータからイオン速度ベクトルを導出した。その結果、元の GAIA データをよく再現することができたが、この導出では隣接する 3 点でイオン速度が一定と仮定しているため、3 点のビームの間隔が広い視野の端では誤差が大きい傾向が確認された。

また、別の手法として、線形拘束付き最小二乗問題を設定し、ラグランジュ未定乗数法を用いてイオン速度ベクトルを導出する手法の検討を行っている。拘束条件としては高度 200 km 以上の電離圏イオン速度が  $E \times B$  ドリフトに従うと仮定し、電気的中性条件や磁場定常状態を仮定した際のガウスの法則とファラデーの法則から水平面内のイオン速度の回転や発散が 0 という条件を与え、この条件下でイオン速度の空間方向の 1 階微分や 2 階微分を最小化するような問題設定を検討している。当日の発表ではこれらの手法の検討結果についても示す予定である。

本研究で利用したデータセットは、国立研究開発法人情報通信研究機構、九州大学、成蹊大学による GAIA プロジェクトから提供されたものである。