

## GBAS 電離圏脅威モデルのためのプラズマバブルに伴う電離圏勾配の視線方向依存性解析

# 中村 真帆 [1]; 斎藤 享 [2]; 吉原 貴之 [3]  
[1] 電子航法研; [2] 電子航法研; [3] 電子航法研

### Line-of-sight dependence of ionospheric delay gradients associated with plasma bubbles for a GBAS ionospheric threat model

# Maho Nakamura[1]; Susumu Saito[2]; Takayuki Yoshihara[3]  
[1] NAV Department, ENRI; [2] ENRI, MPAT; [3] ENRI

Global navigation satellite systems (GNSS) is now implementing to the air navigation systems as a next generation technique, in addition that the satellite-based augmentation system (SBAS) is investing as the MTSAT-based Augmentation System (MSAS), the Ground-Based Augmentation System (GBAS) is planned to be implemented in Japan in the near future.

Since the GBAS uses the differential positioning technology based on the L1 frequency only, steep gradients of ionospheric delay (proportional to the total electron contents) differences between the airplane and ground station can result in large position errors which is a threat to the safety of GBAS. To design safe and available GBAS, an ionospheric threat model that defines the ranges of parameters describing the characteristics of the ionospheric gradient is necessary.

In Japan which is located from low to lower mid-latitude regions, the equatorial plasma bubbles (EPB) is one of the major sources that associate such steep ionospheric gradients. It is also known that the ionospheric gradients associated with EPBs are greater than those associated with severe magnetic storms [Saito and Yoshihara, Radio Sci., 2017; Saito et al., GPS Solutions, 2017]. Therefore, if the ionospheric threat model for EPBs are applied for all the locations in Japan and for all the satellites in view, the system availability would be limited.

On the other hand, it is known that the EPBs would have a limited latitudinal extent. It is also known that EPBs have structures stretching predominantly in the north-south direction. By taking these characteristics into account in the ionospheric threat model, the threat space could be limited and the GBAS availability would be improved.

ENRI has been executing to develop and optimize the ionospheric threat model for GBAS for the magnetic lower latitude to mid latitude region include Japan. In this study, the data used are obtained from GEONET. The single-frequency-carrier-phase based and code-aided technique which is not subject to the frequency-biases [Fujita et al., JAAA, 2011; Saito et al., ION GNSS 2012] to estimate ionospheric delay variations and for the auto detection of plasma bubbles candidates. In addition, dual-frequency observations for ionospheric delay variations are also used for the speeds and spatial scale analyses of the ionospheric gradients [Saito and Yoshihara, Radio Sci., 2017; Nakamura et al., ION PNT 2019].

In this paper, the latitudinal limits of the occurrence of ionospheric gradients that are threat to GBAS and the dependence of them on the satellite line-of-sights are presented.

衛星航法 (GNSS) は、次世代の航空航法として航空システムへの導入が進んでおり、日本においても静止衛星型衛星航法補強システム (Satellite-based augmentation system: SBAS) が運輸多目的衛星用衛星航法補強システムとして運用されているほか、地上型衛星航法補強システム (Ground-based augmentation system: GBAS) の導入が進められている。GBAS では、1 周波を用いたディファレンシャル測位が用いられており、地上観測装置と航空機の間大きな電離圏電子密度勾配が存在すると、ディファレンシャル測位誤差を生じ、安全上の脅威となる。そのため、電離圏勾配を記述するパラメータの範囲を規定する電離圏脅威モデルが必要となる。

中緯度から低緯度にかけて存在する日本付近においては、プラズマバブルに伴う電離圏遅延量 (電離圏全電子数に比例) の急勾配が主な脅威の一つと考えられる。プラズマバブルに伴う電離圏勾配は、中緯度地域における磁気嵐に伴う電離圏勾配に比べて大きいことが知られている [Saito and Yoshihara, Radio Sci., 2017; Saito et al., GPS Solutions, 2017] ため、プラズマバブルを想定した電離圏脅威モデルを日本の全ての領域において、全ての可視衛星について適用すると、システムの可用性が損なわれやすくなる。一方で、日本は低緯度から中緯度への遷移領域に位置しており、プラズマバブルの影響を受ける範囲には一定の北限があると推測される。さらに、プラズマバブルには南北に伸びた特徴的な構造があり、影響を受ける衛星の視線方向には一定の範囲があると予想される。これらの特徴を取り入れることにより、GBAS に対するプラズマバブルに伴う電離圏勾配の範囲を制限し、システムの可用性を向上することができると期待される。

電子航法研究所 (ENRI) では、日本が位置する中緯度から低緯度の電離圏現象の遷移領域における GBAS のための電離圏脅威モデルの最適化に取り組んでおり、GNSS 観測網を用いて、GBAS に影響を与えるプラズマバブルを抽出、スケールサイズ等のパラメータ算出を行う解析手法を開発してきた。具体的には、周波数間バイアスの影響を受けない L1 信号のみを用いた Single-Frequency Carrier-Based and Code-Aided 法 [Fujita et al., JAAA, 2011; Saito et al., ION GNSS 2012] により電離圏遅延量勾配を推定するとともに、2 周波観測を用いた電離圏遅延量時間変動を利用し電離圏遅延量勾配の速度・空間スケールの変動解析 [Saito and Yoshihara, Radio Sci., 2017; Nakamura et al., ION PNT 2019] を行っている。

本研究ではこれらの解析手法を用いて、プラズマバブルに伴う GBAS に影響を与える電離圏勾配の発生緯度範囲と、電離圏勾配の衛星視線方向に対する特性について調べ報告する。