

# 低軌道衛星を利用した電離圏プラズマバブルの観測に関する研究

## A Study on the Observation of Ionospheric Plasma Bubbles Using Low Earth Orbit Satellites

仲瀬寛輝  
Yoshiki Nakase

大阪府立大学大学院 工学研究科  
Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University

### 1. 背景

電離圏で発生する擾乱現象は測位システムに大きな影響をもたらす。局所的なプラズマ密度の不規則構造を持つプラズマバブルは、GNSS 衛星信号の振幅・位相シンチレーションを引き起こす原因となる。本研究では、電離圏プラズマバブルのリモートセンシングにおいて、近年注目されている低軌道衛星（以下、LEO 衛星）を応用することの有効性をシミュレーションにより検証し、初期検討の結果をまとめる。

### 2. シミュレーション内容・評価方法

本研究では、電離層を3次元モデルではなくシングルレイヤーモデルとして考え、平面のプラズマバブルの観測性についてシミュレーションを行った。また、観測性を評価するために、GNSS 衛星からの信号伝搬経路と平面プラズマバブルの交点である電離層貫通点（IPP）のマッピングを行った。このときのGPS 衛星捕捉数およびIPP マッピングの軌跡の長さを評価指標とした。

#### 2.1. 軌道シミュレーション

本シミュレーションでは、LEO 衛星1機およびGPS 衛星30機について、摂動項を無視した2体問題として、4次ルンゲ・クッタ法を用いて軌道計算を行った。なお、各衛星の初期値については軌道高度、離心率、軌道傾斜角、昇交点赤経、近地点指数、真近点離角の軌道要素を与えた。また、プラズマバブルの観測性におけるLEO 衛星との比較対象として地上での観測点も設定した。

#### 2.2. プラズマバブルのモデル

シミュレーションにおけるプラズマバブルのシングルレイヤーモデルの概略図を以下に示す。なお、下図においてプラズマバブルの縮尺については、実際の設計より大きく示している。

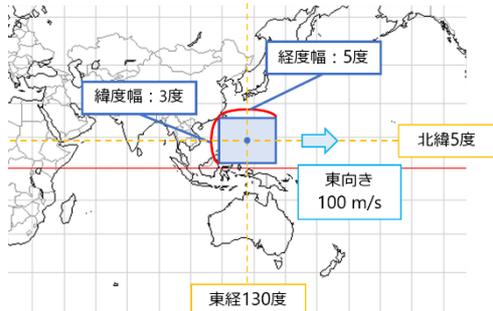


図1 平面プラズマバブルのモデル

#### 2.3. 解析方法・解析結果

2.2節でモデリングした平面プラズマバブルにおいて、GPS からの信号伝搬経路が貫通する点（IPP）のプロットおよびその軌跡を表示し、観測領域について評価した。

衛星軌道および平面プラズマバブルのモデルについて、軌道計算およびプラズマバブル伝播の時間ステップ幅を5sとし、6時間観測を行うシミュレーションを実行した際の、LEO 衛星および地上局それぞれの観測におけるIPPの解析結果を以下に示す。又、プラズマバブル観測時のGPS 衛星捕捉数およびIPPの軌跡の全長の算出結果を表1に示す。

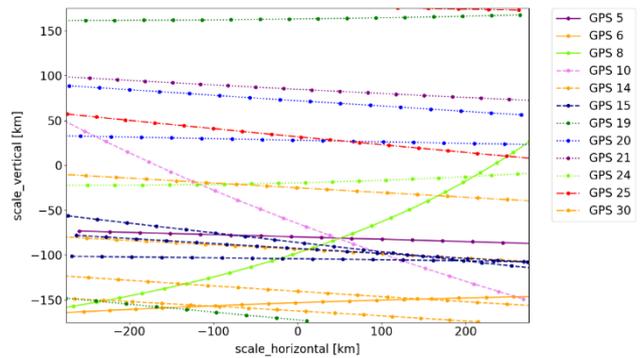


図2 LEO衛星による観測でのIPP解析結果

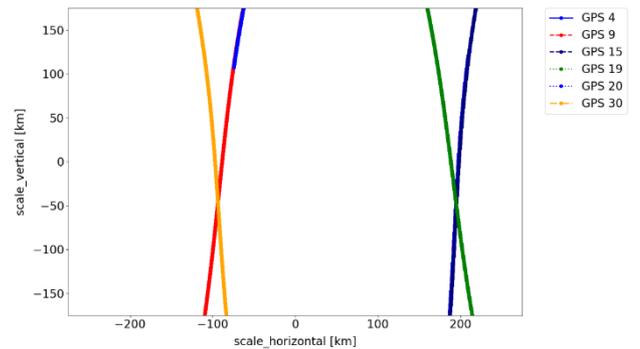


図3 地上局による観測でのIPP解析結果

表1 IPP解析結果から得られた観測量

	LEO衛星	地上局
GPS衛星捕捉数 [機]	12	6
IPP軌跡全長 [km]	9951.87	1794.85

図2と図3を比較すると、LEO衛星を利用して観測を行った場合の方が、地上で観測を行った場合と比べ、観測領域が広範囲にわたることが見て取れる。表1より、LEO衛星を用いて観測を行うことで、GPS衛星の捕捉数、IPPの軌跡の全長いずれも大きくなり、観測性が大きく向上したことが確認できた。

### 3. まとめ

今回は、プラズマバブル観測におけるLEO衛星利用の有効性の検証のため、2次元のプラズマバブルを仮定したが、実際は3次元の立体構造による影響を評価する必要があるため、今後は3次元モデルの観測法について検討する。