

小型で安価な大気光イメージャを用いたプラズマバブルの観測

高見 晃平 [1]; 細川 敬祐 [2]; 斎藤 亨 [3]; 小川 泰信 [4]
[1] 電通大; [2] 電通大; [3] 電子航法研・航法システム; [4] 極地研

Observation of plasma bubbles with a small and low-cost airglow imager

Kohei Takami[1]; Keisuke Hosokawa[2]; Susumu Saito[3]; Yasunobu Ogawa[4]
[1] none; [2] UEC; [3] NAV Department, ENRI; [4] NIPR

Plasma bubbles are regions in the nighttime equatorial F-region ionosphere where the plasma density is significantly depleted locally. Plasma bubbles affect the accuracy of GPS positioning because of its steep gradient in the total electron contents and associated small-scale irregularities can disturb GPS signals propagating through the ionosphere. 630.0 nm airglow observations with ground-based all-sky imagers have been used for imaging two-dimensional structures of plasma bubbles in the last two decades. However, such systems are typically large and expensive; thus, it has been difficult to carry out global imaging of plasma bubbles from multiple stations. If we could use small and low-cost imagers for 630.0 nm airglow measurements, it would be possible to image the large-scale structure of plasma bubbles by combining many imagers.

In this study, we evaluate the feasibility of observations of plasma bubbles by using small and low-cost all-sky airglow imagers. For this purpose, a low-cost imager has been tested at Ishigaki (24 N, 124 E) in Japan since August 2014. This system consists of a small camera (WAT-910HX), a fisheye lens and an optical filter. The observation interval is 4 s. One of the problems of this low-cost observation is low S/N ratio due to noises of the non-cooled CCD with a small aperture. By averaging raw images for a few minutes and extracting 1-h average background image from the average image, we succeeded in imaging the detailed structure of plasma bubbles. When the magnitudes of depletion in brightness in the raw images were 25, 50, 100 and 150 R, S/N ratios were estimated to be 0.4, 0.9, 1.8, and 2.7, respectively. If we use 2 min average images, S/N ratios were 2.9, 5.8, 11.6, and 17.4, respectively. This indicates that if we use longer interval for averaging, S/N ratio increases. However, the processed image can be blurred because plasma bubbles move with a speed of approximately 100 m/s. By comparing the interval of averaging and the imaged structure of plasma bubbles, it is determined that 2 min average interval is appropriate for observations of plasma bubbles with the low-cost imagers.

In March 13, 2015, the low-cost imager detected plasma bubbles whose moving velocity gradually decreased. The eastward drift velocity estimated with an assumed emission altitude of 250km changed from 100 m/s to 40 m/s. In the presentation, we discuss the possible cause of this reduction of the drift velocity of the plasma bubble. In addition, we investigated variation of amplitude scintillation of GPS signals, which is characterized by S4 index, during intervals of plasma bubbles detected by the low-cost imager. It was found that the S4 index suddenly increased when the satellite passed across the plasma bubbles, especially at their leading edges (eastern edges).

赤道電離圏において、F 領域の電子密度が局所的に大きく減少した領域が観測されることがある。この領域のことをプラズマバブルと呼ぶ。プラズマバブルは、周囲との間に極端に大きな電離圏全電子数の勾配と小規模不規則構造を作り出すため GPS 測位の精度に大きな影響を及ぼすことが知られている。従来、プラズマバブルの研究には大型の大気光イメージャによる 630.0 nm 大気光の 2 次元観測が用いられてきた。しかし、観測システムが高価で観測点が少ないため、複数点からの広域イメージングは行われてこなかった。安価で簡易な観測システムによってプラズマバブルを観測することができれば、観測点の増加につながり、広域イメージングが可能になると考えられる。

本研究では、安価で小型の大気光カメラを用いてプラズマバブルの観測が行えるかどうかについて、実際の観測に基づいた検証を行った。観測は、2014 年 8 月 26 日から石垣島 (北緯 24 度、東経 124 度) にある電子航法研究所の観測施設において実施している。観測機器はカメラ (Watec WAT-910HX)、魚眼レンズ (Fujinon YV2.2*1.4A-2)、中心波長 632 nm、半値幅 10 nm の光学フィルターによって構成されている。カメラは約 4 秒の露光時間を持ち、毎晩 18 から 06 JST まで観測を行っている。

本イメージャ観測の問題点は非冷却の CCD カメラを用いているために得られた画像にノイズが入り、プラズマバブルの詳細な構造を観測できないことである。そこで、4 秒の原画像を数分にわたって平均し、さらに 1 時間の平均画像を背景画像と仮定し差し引く処理を行った結果、プラズマバブルの詳細な空間構造を可視化することができた。プラズマバブルによる大気光強度の減少値は観測時間、位置で異なる。今回は減少値、 $S = 25, 50, 100, 150 R$ の場合について S/N 比を算出した。原画像ではそれぞれ約 0.4, 0.9, 1.8, 2.7、2 分間移動平均した画像の場合 2.9, 5.8, 11.6, 17.4 となり、移動平均する時間を長く確保すれば S/N 比が向上することが分かった。しかし、プラズマバブルは約 100 m/s で移動するため、平均時間を長くすると画像がぼやけ詳細構造の判別が難しくなる。本イメージャ観測での適切な平均時間を決定するため、S/N 比と処理画像におけるプラズマバブルの見え方を比較検討した結果、2 分間平均が適切であると判断した。

この観測システムを用い 2014 年 9 月から 2016 年 7 月まで観測を行った結果、3 月、9 月付近でプラズマバブルの発生頻度が高いこと、西から東に移動することを確認できた。これは過去研究に示されたプラズマバブルの特徴と一致している。2015 年 3 月 13 日には、プラズマバブルの移動速度が徐々に遅くなる事例が観測された。その事例について解析したところ、発光層を 250km とした場合 100 m/s から 40 m/s まで速度が減少していた。発表では、このプラズマバブルのドリフト速度減少の要因について考察を行う。さらに、プラズマバブル発生時の GPS シンチレーションデータとの

比較を行い、プラズマバブルによる S4 指数の変化について調べた。2016 年 3 月 1 日に観測された事例では、S4 指数はプラズマバブル通過時に最大で 0.7 まで上昇した。またプラズマバブルの前方(東側)の輪郭部分において特に S4 指数が上昇することが分かった。