

プラズマバブル監視用地上設置型リアルタイム全天観測システムの開発

直井 隆浩 [1]; 坂口 歌織 [1]; 小川 泰信 [2]; 久保 勇樹 [1]
[1] 情報通信研究機構; [2] 極地研

Development of the ground-based real-time all-sky imager for plasma bubble monitoring

Takahiro Naoi[1]; Kaori Sakaguchi[1]; Yasunobu Ogawa[2]; Yuki Kubo[1]
[1] NICT; [2] NIPR

The development of the ground-based optical observation system for monitoring of equatorial plasma bubbles is shown. We manufactured the system with catalog items only, so that it was made much cheaper than the general products were. As degradation such as by the solar radiation at day time needs not mind for the low-cost product, the system is suitable for full-time monitoring observation. This system has been installed at YAMAGAWA radio observation facility of NICT (National Institute of Information and Communications Technology) on the 13th February 2019 and started observation.

Plasma bubbles are irregular and low-density regions generated locally in the equatorial and low-latitude ionosphere. Plasma bubbles usually begin to appear around sunset near the magnetic equator and propagate eastward having with structures aligned with the magnetic field. Plasma bubbles occasionally reach Japanese latitudes under high solar activity or certain geomagnetic storm conditions. Satellite communication and navigation are often disrupted by irregularities in the ionospheric plasma density. The evaluation and forecast of such plasma density irregularities are regarded as a critical issue for stable communication and precise navigation.

We chose 630.0 nm atomic oxygen emission to identify the plasma bubbles. The airglow has the brightness at the point about 50 km below the peak of the F layer. When plasma bubbles appear in ionosphere, the number of the atomic oxygen and electron are rapidly decrease. As a result, the intensity of the glow is weakened and the one like a dark shadow is recognized there. The propagation velocity and spatial change can be known by the consecutive imaging with high-sensitivity camera. Our new system was installed at the roof of the main two-story building, $31^{\circ}12'17''\text{N}$ $130^{\circ}36'58''\text{E}$, in the YAMAGAWA facility, Ibusuki, Kagoshima, Japan. Because the geomagnetic latitude there is relatively low compare to the geographical latitude, plasma bubbles are observable from the facility.

The system includes optics, housing, and control parts. The optics consists of a color (WAT-221S2) and a monochrome (WAT-910HX) high-sensitivity cameras with wide field-of-view fish-eye lens (TV1634DC). As a 630.0 nm filter is mounted in the monochrome camera, we can distinguish easily between the bubbles and clouds. The exposure time is 1/60 sec and the number of the integration is 256 times, so that the cameras show the images about every 4.3 seconds which are sent to a video encoder (M7014). The encoder received the analogue data and send them to a control PC 14 times per minute through the internet. The data are captured at night time from 5 p.m. until 5 a.m. every day. Concerning the housing, we adopted a plastic box (PL20-44) for outdoor use. Two acrylic domes were attached on the top of the box and sealed for waterproofing. The camera sets, video encoder, and a power tap were installed in it. The PC saves the image data in the external HDD and transfers them to NICT at Koganei headquarters in real time. The transferred data are processed into movies automatically which enable us to recognize the bubbles easily. Besides, the calibration experiment for the monochrome camera with 630.0 nm filter was done at NIPR (National Institute of Polar Research). Here, we report the results of the observation at YAMAGAWA but also discussion about the absolute sensitivity and comparison among the similar observations.

本発表では、プラズマバブルの監視目的のため、地上設置型の光学観測システムの開発と最初の運用結果について示す。システムはカタログ品を組み合わせて低廉化することで、製造コストを低く抑えることに成功している。廉価カメラによる観測は月や日中の日射などを特に気にすることなく観測を続けることができるため、定常観測に適している。システムは、情報通信研究機構の山川電波観測施設に設置され、リアルタイム監視による定常観測運用を行っている。

プラズマバブルは、地表から高度 100km 以上の電離圏で発生する局所的にプラズマ密度が低い領域と考えられている。多くの場合、日没時刻頃に赤道域で発生し、南北に伸びた構造を保ちながら、背景大気の影響で東にゆっくり伝搬することがわかっている。プラズマバブルに伴う局所的なプラズマ密度の不規則構造が発生した場合には、電波の振幅や位相の急激な変動が生じる。これらは一般に擾乱(じょうらん)、もしくはシンチレーションと呼ばれ、測位衛星等を利用した電子航法に深刻な障害を及ぼすことが知られている。

この現象を捉えるため、本観測では、630.0nm の酸素原子大気光をターゲットとした。この大気光は F 層のピーク高度よりも 50km ほど下に発光のピークを持つと考えられている。電離圏でプラズマバブルが発生すると、その場の O⁺ と電子が急減するため、大気光発光強度も弱くなり、観測画像に黒い影のように認められる。高感度の光学観測機器を用いた連続観測で、この空間的な広がりや伝搬時間の変化を捉えることができる。システムは、鹿児島県指宿市にある情報通信研究機構山川電波観測施設(北緯 31 度 12 分 17 秒、東経 130 度 36 分 58 秒)の観測棟 2 階屋上に設置した。日本周辺は地理緯度に対して磁気緯度が比較的低くなっており、同施設から赤道電離圏擾乱現象のひとつであるプラズマバブルの観測が可能である。

観測システムはカメラ等の光学系、カメラを収納するハウジング、これらを制御するソフトウェアからなる。カメラはカラー(WAT-221S2)と白黒(WAT-910HX)の2式を用意した。双方のカメラに魚眼レンズ(TV1634DC)を装着し、また白黒カメラには632nm(FWHM=10nm)の光学フィルタをインストールしている。カラーカメラで同時に撮像すること

により、画像内の領域がプラズマバブルか雲かを区別しやすくしている。カメラは、シャッター速度 1/60 秒、256 積分により、およそ 4.3 秒に 1 度の割合で信号を切り替える。アナログ信号を受けたエンコーダ (M7014) は、1 分間に 14 回、ネットワーク経由で制御 PC へ信号を送っている。データは、現地時間で午後 5 時から午前 5 時までの、夜間のみの取得としている。ハウジングには、一般に屋外へ配電盤などを収納するためのプラスチックボックスを採用した (PL20-44)。天板を加工してアクリルドームを固定し、防水性を高めるためにシールした。ボックス内部の基盤取り付け板にカメラ用の雲台を固定し、他に電源とエンコーダを収納した。制御 PC には CentOS 7 をインストールし、自前の制御ソフトによりデータの保存と加工及び転送を行っている。データは準リアルタイムで小金井へも転送している。情報通信研究機構小金井本部へ送信された画像データは、通常画像の動画化と差分を取った画像の動画化を行い、バブルの動きを直感的にとらえやすくする加工施している。全自動で処理されたこれらの結果は、ブラウザ上で簡単に閲覧できるようにした。また、絶対放射強度を見積もるためのカメラの較正実験を行った。実験には、国立極地研究所の較正実験施設を利用した。発光の絶対強度を知ることは、類似の観測結果との比較に不可欠である。他の観測点や異なる波長での観測結果の比較は、水平方向のドリフトだけでなく、高度プロファイルの見積もりを可能とし、三次元構造の推定ができるようになる。

プラズマバブルを捉え可視化することで、空間的広がりや理解、伝搬時間の把握、本州への電波通信障害の予測への応用、が可能である。プラズマバブルが本州付近を通過する際の電波障害のリアルタイム予報に役立てられ、宇宙天気予報業務に貢献できる。