

R006-68

Zoom meeting B : 11/4 PM2 (15:45-17:30)  
16:00-16:15

## LAMP ロケット実験搭載多波長オーロラ観測カメラの開発現状

#川村 美季<sup>1)</sup>, 坂野井 健<sup>2)</sup>, 浅村 和史<sup>3)</sup>, 岩田 直子<sup>8)</sup>, 柴野 靖子<sup>8)</sup>, 三好 由純<sup>4)</sup>, 細川 敬祐<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup>東北大学, <sup>2)</sup>東北大学・理, <sup>3)</sup>宇宙研, <sup>4)</sup>名大 ISEE, <sup>5)</sup>電通大, <sup>6)</sup>GSFC/NASA, USA, <sup>7)</sup>University of New Hampshire, USA, <sup>8)</sup>宇宙航空研究開発機構

## Current status of development of multi-spectral auroral cameras on the LAMP experiments

#Miki Kawamura<sup>1)</sup>, Takeshi Sakano<sup>2)</sup>, Kazushi Asamura<sup>3)</sup>, Naoko Iwata<sup>8)</sup>, Yasuko Shibano<sup>8)</sup>, Yoshizumi Miyoshi<sup>4)</sup>, Keisuke Hosokawa<sup>5)</sup>, Jones Sarah L.<sup>6)</sup>, Lessard Marc<sup>7)</sup>

<sup>1)</sup>TU, <sup>2)</sup>Grad. School of Science, Tohoku Univ., <sup>3)</sup>ISAS/JAXA, <sup>4)</sup>ISEE, Nagoya Univ., <sup>5)</sup>UEC, <sup>6)</sup>GSFC/NASA, USA, <sup>7)</sup>University of New Hampshire, USA, <sup>8)</sup>JAXA

We are developing the multi-spectral auroral camera (AIC2) installed on the LAMP rocket which is scheduled to be launched in Alaska in the winter of 2021. We report the current status of development and future plan of AIC2. Chorus waves generated in the magnetospheric equatorial region are thought to cause the pitch angle scattering of electrons in a wide energy range (several keV -1 MeV and more). Since the pulsating aurora is caused by several keV to tens keV electrons and 'microburst' is the electron precipitation with a relativistic energy range, the generation process of pulsating aurora is possibly the same as that of microburst, and therefore, the positive relationship between pulsating aurora and microbursts is expected. However, there is no simultaneous observation between them. The purpose of the LAMP rocket is to clarify the relationship between pulsating aurora and microbursts by particle and electromagnetic wave measurement and auroral optical observation. The project PI is Dr. Jones of NASA/GSFC. Instruments measuring thermal electrons, low energy electrons, medium energy electrons and magnetic field are provided from institutes in US, and the instrumental package called PARM2 (Pulsating AuRora and Microburst 2) is provided by the Japanese team. In addition, we plan to carry out the ground network observation using an ultra-high-speed phantom camera, high speed EMCCD imager, all-sky CMOS imagers, magnetometers at Poker Flat, Venetie, Fort Yukon, and Toolik stations. AIC2 is a one of the PARM package which consists of two CMOS detectors called AIC-S1 and S2, and the data processing electronics AIC-E, and will perform auroral imaging at two wavelengths simultaneously. Concerning the design, AIC2 is characterized by a low noise (1.6 e-RMS) and wide dynamic range sampling capability (12bit A/D) using the consumer CMOS sensors (ZWO AS1183MM). AIC-S1 targets the E region N2 1PG aurora with an interference filter (Andover, CW 670 nm, FWHM 20 nm) and a fast objective lens (SpaceCom JF17095M, f= 17 mm, F/0.95, field of view 29 deg x 29 deg). AIC-S2 is designed to observe the F-region OI 844.6 nm aurora with an interference filter (Andover, CW 846.1 nm, FWHM 4.4 nm) and a wide-angle objective lens (SpaceCom HF3.5M-2, f= 3.5mm, F/1.6, field of view 106 deg x 106 deg). To gain S/N and reduce data size, binning is performed to an original 3660 pix x 3600 pix image, and a 60 bin x 60 bin image is produced. AIC2 is mounted on a despun platform of the rocket to cancel a rocket spin. Combining the despun platform with the rocket attitude control, AIC-S1 will point to the magnetic footprint to perform simultaneous observation between the fine structure of pulsating aurora and precipitating electrons. AIC-S2 will point slantingly west covering the wide area from the limb of the earth to nadir to obtain the height profile of O 844.6 nm emission as well as the pulsating auroral distribution. The time resolution of each camera is 10 frames/s. At the apex altitude (~450km), the spatial resolution at nadir is 3.0 km x 3.0 km for AIC-S1 (E-region), and 6.3 km x 6.3 km for AIC-S2 (F-region). The AIC-E consists of two NanoPi M4 board computers, two FPGAs, and power supply to handle a large amount of image data produced by the two cameras. We newly developed a heat pipe unit to cool the two CPUs of NanoPiM4. Total weight and power of AIC2 are 2.6kg and 20W, respectively. On the development of AIC2, we carried out electrical function and system evaluation tests, such as 1) evaluation of time accuracy of the image data, 2) sensitivity calibration, and 3) data communication via a despun platform. Regarding (1), we suspected that there might be discrepancy between recorded time of image data and actual time since the camera images are taken by self-produced timing without trigger synchronization. Thus, we evaluated the accuracy of time of image data recorded with NanoPiM4 by the following test. Since the time recorded by AIC2 and other instruments on the LAMP rocket is required to be sufficiently consistent with the ground-based instruments to examine high-frequency variations in pulsating aurora and microburst, such as 3Hz modulation. In the test, we fixed a continuous LED light on an aluminum disk, and rotated the disk accurately with a period of 420ms using a stepping motor. From the analysis of data taken for more than one hour, we found that the time of image data is precisely proportional to the rotation angle of LED which equals to the timing, and finally conclude that the time of AIC2 is sufficiently accurate to compare with other rocket and ground instruments. Regarding (2), a calibration test was carried out with an integrated sphere in the National Institute of Polar Research. We obtained the relationship between the counts in image data and absolute intensity in Rayleigh, and the dynamic ranges AIC-S1 and S2 are 0-480kR and 0-360kR, respectively. Data is recorded in a logarithmic scale with a sensitivity resolution in the range of 6-100R. We found that the read noise is negligibly small, and the photon shot noise is dominant. Regarding (3), we installed the AIC2 on the flight model of despun platform and carried out the data communication test via rotating terminal in the despun platform with a spin rate of 1Hz for approximately one hour. As a result, we had no error in the image data, and

could demonstrate the data communication with the despun table. In summary, from the function and calibration tests described in 1)- 3), we evaluated the optical and electrical performance of AIC2 quantitatively, and confirmed that they satisfy the scientific requirements. We are conducting electrical test of the improved AIC-E and AIC2 including the heat pipe. In the presentation, we give the latest results of AIC2, such as the vacuum test with the heat pipes, thermal cycle test, and focus adjustment.

私たちは北米アラスカから打上げが予定されている LAMP ロケット搭載オーロラ観測用多波長カメラ(AIC2)の開発をしている。本講演では AIC2 の開発の現状と、今後の開発予定について報告する。コーラス波は磁気赤道面近傍において広いエネルギー帯の電子(数 keV-1Mev 以上)とのピッチ角散乱を発生させることが理論的に指摘されている。したがって、数~10keV の電子で発光する脈動オーロラと相対論的高エネルギー電子降下「マイクロバースト」は関係性があると期待される。しかし、それらの同時観測をした例は今までにない。LAMP ロケットは、粒子・電磁波動計測とオーロラ光学観測により、脈動オーロラと「マイクロバースト」の発生過程の関係性を明らかにすることを目的として、北米アラスカ・ポーカフラットより 2021 年の冬に打ち上げられる。プロジェクト PI は NASA/GSFC の S. Jones 博士で、日本側からは多波長オーロラカメラ (AIC2)、高エネルギー電子計測器 (HEP)、磁場計測器 (MIM) からなる PARM2(Pulsating AuRora and Microburst 2)パッケージが提供される。一方、米国側からは熱的電子計測器、低エネルギー・中間エネルギー電子計測器、磁場計測器が搭載される。さらに、地上では複数の観測拠点にファントムカメラによる超高速撮像、EMCCD による高速撮像、全天カメラ撮像、地磁気・電磁波計測のネットワーク観測が計画されている。AIC2 は 2 台の CMOS 検出器 (AIC-S1、AIC-S2) と信号処理エレクトロニクス (AIC-E) で構成される。CMOS 検出器には低ノイズ(1.6 e-RMS)かつ広いダイナミックレンジ(12bit A/D)に特徴がある ZWO 社 ASI-183MM を採用した。AIC-S1 は E 領域の N2 1PG 発光 (中心波長 670 nm, FWHM 20 nm)を視野 29 deg x 29 deg (対物レンズ SpaceCom JF17095M, f= 17 mm, F/0.95)で撮像する。また、AIC-S2 は F 領域の OI 発光 (中心波長 846.1 nm, FWHM 4.4 nm)を広角視野 106 deg x 106 deg (対物レンズ SpacaCom HF3.5M-2, f= 3.5mm, F/1.6)で撮像する。カメラはロケットスピンを打ち消すデスパンプラットフォームに搭載され、姿勢制御を組み合わせる視野の制御を行う。具体的には、S1 は磁力線フットプリント周辺の N2 オーロラ微細構造 (Apex 高度 450km における空間分解能 3 km x 3 km) を捉え、オーロラ発光と粒子同時計測を行う。また、S2 は磁力線フットプリント (Apex 高度 450km における空間分解能 6 km x 6 km) からリムまでをカバーし、脈動オーロラの広範囲分布に加えて F 領域発光の高度分布(高度分解能 2 km)を得る。2 台のカメラは 10 frames/s で同時撮像する。CMOS の元々の画素は 3660pix x 3660pix だが、S/N を上げ、かつデータ通信レート条件を満たすためにオンボードでビニング処理し、60bin x 60bin 空間分解画像 (1bin あたり 16bit 深さ) とする。AIC-E は 2 台のボードコンピュータ NanopiM4 と 2 台の FPGA 回路、電力供給等で構成される。AIC2 全体の重量は 2.6kg、電力は 20W である。NanopiM4 基板上で局所的に高温になる CPU の冷却には新開発のヒートパイプを用いる。私たちはこれまで AIC2 の主な開発課題として、(1)記録される時刻精度の検証、(2)感度校正、(3)デスパンプラットホームを介したデータ通信検証などの性能評価に取り組んできた。(1)について、カメラの撮像は時刻同期をしない自走式で行われており、NanopiM4 上で記録される時刻データが実際の時刻と食い違う可能性があった。このため、私たちは、NanopiM4 が記録する時刻データが、実際に撮像された時刻とどれだけのずれがあるか実験により評価した。特に AIC2 をはじめとする LAMP ロケット搭載機器と地上観測期は脈動オーロラやマイクロバーストに見られる 3Hz モジュレーションを計測することを目標としている。このため、AIC2 データの時刻と地上機器の時刻の時刻は、この現象が十分な精度で整合的である必要がある。実験では、オシレーターをもちいて LED を台に固定し、この台をステッピングモーターで正確に回転 (回転周期 420ms) する回転光源を製作した。この撮像実験の結果、LED 光源の回転角度と画像時刻の関係には良好な比例関係があり、AIC2 の時刻は、脈動オーロラの 3 Hz モジュレーションなどの高速変調の現象観測において、LAMP ロケットの搭載機器や地上機器と比較するのに十分な精度を持っていることを確認した。(2)について、国立極地研究所において、積分球を用いた校正実験を行った。この結果、ダイナミックレンジは AIC-S1 で 0-480kR、AIC-S2 で 0-360kR であることを示した。感度分解能は、対数圧縮記録のため明るさにより異なるが、6-100R であり、十分小さく、またリードノイズ成分は無視出来るほど小さい。(3)についてフライトモデルのデスパンプラットフォームを用いて、カメラ撮像試験を行った。この試験では、デスパンプ部を 1rev/s で回転させ、デスパンプラットフォーム内の回転端子を介してカメラ撮像を連続 1 時間実施し、取得データ通信に抜けやエラーが発生しないことを確認した。以上まとめると、課題 (1) ~ (3) について AIC 光学的・電气的性能を実験により検証し、科学目的を満たすことを示した。現在、AIC-E の改良を進めており、改良された AIC-E とヒートパイプを含めた AIC2 の統合的な電気試験を行っている。講演では、最新の電気試験と、宇宙科学研究所等の真空チャンバ設備をもちいてヒートパイプの動作検証を含む真空中の動作試験、大気中での熱サイクル試験、およびフォーカス・アライメント調整などの結果について報告する。