

南極点アムンゼン・スコット基地ならびに南極冠域無人観測網における多波長同時オーロラ撮像計画にむけた新オーロライメージャー開発の現状

#近藤 大泰¹⁾, 坂野井 健²⁾, 海老原 祐輔³⁾, 片岡 龍峰⁴⁾, 山科 佐紀⁵⁾, 穂積 裕太⁶⁾

⁽¹⁾ 東北大・理・惑星プラズマ・大気研究センター, ⁽²⁾ 東北大・理・惑星プラズマ・大気研究センター, ⁽³⁾ 京都大学・生存圏研究所, ⁽⁴⁾ 国立極地研究所, ⁽⁵⁾ 京都大・理, ⁽⁶⁾ 国立研究開発法人情報通信研究機構

Development of new auroral imaging system for simultaneous multi-wavelength observations at the Amundsen-Scott South Pole station.

#Hiroyasu Kondo¹⁾, Takeshi Sakanoi²⁾, Yusuke Ebihara³⁾, Ryuho Kataoka⁴⁾, Saki Yamashina⁵⁾, Yuta Hozumi⁶⁾

⁽¹⁾PPARC, Tohoku Univ., ⁽²⁾PPARC, Tohoku Univ., ⁽³⁾RISH, Kyoto Univ., ⁽⁴⁾NIPR, ⁽⁵⁾Kyoto Univ., ⁽⁶⁾NICT

We are developing camera system to observe the aurora in the polar cap region because the number of auroral events will increase during the solar maximum period, which will provide the best opportunity for observation. In this presentation, we will report the latest status of the development of the all-sky monochromatic imager system to be installed at the South Pole. The polar cap region is the area where the Earth's magnetic field lines are directly connected to the solar wind and Interplanetary Magnetic Field and is open to space. Particularly during solar proton events(SEPs), the high energy particles directly precipitate along the magnetic field lines in the polar cap region and enter deep regions of the Earth's atmosphere. The precipitated particles cause changes in molecules such as SO_x and HO_x that make up the mesosphere. The phase X Priority Research Program of the National Institute of Polar Research, which began in FY2022, the purpose is to understand how the Earth's environment is an open system to space. So far, there have been few observations in the polar cap region because of limited observational places, and only a limited number of large space weather events such as solar proton events have been reported. During this Priority Research Program period, it comes the solar maximum, and we will require sufficient instruments not to miss this opportunity. Our group has continued auroral imaging since 2008 at the Amundsen-Scott Station at the South Pole. The current imaging system uses filters of five wavelengths(427.8nm, 557.7nm, 630.0nm, 486.1nm, and 589.0nm)alternately. However, the motor for rotating the filters has broken down, making it impossible to exchange wavelengths. Additionally, the CCD camera and its peripheral equipment are aging, so we needed a drastic update of the observation system. For this reason, we are planning to install several all-sky monochromatic imagers, combining an ASI183MM Pro CMOS camera(ZWO)and a FUJINON LENS FE185C086HA-1(Fujifilm, focal length 2.7 mm, F value 1.8for simultaneous multi-wavelength imaging. This all-sky imager observation system is based on the one used on the Antarctic research vessel Shirase until last year. We will develop 5 camera, each of which will use 391.4nm, 557.7nm, 630.0nm, 670.0nm: N2 First Positive Band, 844.6nm filters(Andover)to simultaneously image the entire sky with five wavelengths.

The cameras will be controlled by a small PCs(ESC LIVA-Q2, OS: Linux Ubuntu); one LIVA-Q2 is designed to control one camera, and five cameras will be operated in parallel. The imaging schedule is based on a program whose start and end times are automatically generated each day. This program determines the nighttime based on the time series of solar zenith angles and automatically determines the schedule. The imaging program uses a part of ZWO's "ASISudio" library as a module, and automatic operation is performed based on the imaging schedule. This automatic operation uses "cron". The exposure time is set to 18 seconds and the interval to 20 seconds, but you can freely change this parameters according to the scientific purpose.

The imaged data is stored on a NAS(Synology DS918+)via network. The storage mode is RAID 1, and data is constantly mirrored and backed up to prevent data loss in the event of HDD failure. The NAS can be equipped with four HDDs. Therefore, if one 12TB HDD is used, the total capacity is 48TB, which means that NAS can store the observational data of 24TB.

The LIVA-Q2 and NAS are powered by an Internet switch(Watchboot by Meikyo Denki); Watchboot is capable of ping monitoring via the Internet, and when there is no response from the PC, it determines that the device has frozen and turns the power off and on. Continuous observation in the Shirase has proven that this method can recover the equipment and achieve stable automatic operation over a long period of time.

As for handling the data, the HDDs can be picked up only about once a year. Therefore, as with the Shirase observations, a Quick Look(QL)of the acquired data will be automatically generated and sent to Japan via e-mail every day to check whether the observation system is available.

The observation system is originally planned to be installed at the South Pole Station in November 2022, but due to COVID-19, the plan has not yet been decided officially. Therefore, in order to confirm the continuous operation of the observation system, we will have the 63rd Antarctic Research Expedition, which will depart this year, transport the equipment and install it at Showa Station in parallel with the plan.

我々は、これから迎える太陽活動の極大期ではオーロラのイベント数が増え、絶好の観測の機会を迎えるため、極冠域のオーロラを観測するためにカメラの開発を行っている。本発表では、南極点に設置予定の全天単色イメージャーのシステム開発について最新の状況を報告する。極冠域は、地球の磁力線が太陽風や惑星空間磁場と直接つながる領域で

あり、宇宙空間に開かれている。特に、太陽プロトンイベント（SEP）発生時には、高いエネルギーをもった粒子が磁力線に沿って極冠域に直接降り込み、地球大気の深い領域まで入り込む。降り込んだ粒子は中間圏を構成している SO_x や HO_x といった分子の変動を引き起こす。2022 年度より開始された国立極地研究所の第 X 期重点研究計画では、地球環境がどう宇宙にオープンなシステムかを理解することを目的としている。これまで極冠域における観測は、拠点が少なかった上に、太陽プロトンイベントのような大きな宇宙天気イベントは限られた数しか報告されていない。この重点研究計画期間に太陽活動の極大期を迎え、この機会を最大限に生かすために十分な観測装置が求められる。我々グループは、南極点のアムゼン・スコット基地において 2008 年よりオーロラ撮像を継続してきた。現在設置されている撮像装置は、5 波長（427.8nm, 557.7nm, 630.0nm, 486.1nm, 589.0nm）のフィルターを交互に使用し、撮像していた。しかし、現在フィルターの回転用のモーターが故障しており、波長交換できない上に、CCD カメラやその周辺機器の老朽化も見られるため、抜本的な観測システムの更新が必要である。このため我々は、CMOS カメラ ASI183MM Pro（ZWO 社製）と FUJINON LENS FE185C086HA-1（富士フィルム製、焦点距離 2.7mm、F 値 1.8）を組み合わせた全天単色イメージャーを複数台設置し、同時多波長撮像を実施する計画を進めている。この全天イメージャー観測システムは、昨年まで南極観測船しらせで実績があるものを採用した。これを 5 台開発し、それぞれに波長 391.4nm, 557.7nm, 630.0nm, 670.0nm: N 帯 First Positive Band, 844.6nm のフィルター（Andover 社製）を用いることで、全天を 5 波長同時撮像する。

カメラの制御は、小型 PC（ESC 社製 LIVA-Q2、OS : Linux Ubuntu）を使用する。1 台の LIVA-Q2 は 1 台のカメラを制御する設計であり、5 台を並列に動作させる。撮像のスケジュールは、開始時刻と終了時刻が毎日自動生成されるプログラムをもとに決められる。このプログラムは、太陽天頂角の時系列から夜間を判定し、スケジュールを自動決定する。自作の撮像プログラムは、ZWO 社ライブラリ「ASISudio」の一部をモジュールとして利用し、撮像スケジュールをもとに自動運用が行われる。この自動運用は、cron を用いる。撮像の露光時間は 18 秒、間隔は 20 秒としているが、これは科学目的に応じて自由に変更可能である。

撮像されたデータは、NAS（Synology 社製 DS918+）にネットワーク経由で保存する。保存には RAID1 を使用し、常にミラーリングしてバックアップをとるため、HDD 故障が生じてもデータの損失を防ぐことが可能である。なお、この NAS には 4 つの HDD を搭載可能である。したがって、1 つ 12TB の HDD を使用した場合、合計容量は 48TB になるため、24TB 分の観測データを保存可能である。

LIVA-Q2 や NAS の電源は、インターネットスイッチ（明京電気製 Watchboot）を用いる。Watchboot はインターネット経由で ping 監視が可能であり、PC からの応答がない場合はフリーズしたと判定して電源の OFF/ON を行う。これにより機器を復旧させて長期的に安定した自動運用を達成できることが、しらせにおける連続観測で実証されている。

HDD に記録された全データ回収は、1 年間に 1 回程度の機会しかない。このため、しらせ観測と同様に、取得データの Quick Look(QL) を自動作成し、毎日 E-mail により日本に送信して機器の健全性を確認する。

当初本観測システムは 2022 年 11 月に南極点基地に設置する計画であったが、COVID-19 の影響のため現状で未確定である。このため、観測システムの連続動作確認のために、本年出発する 63 次南極観測隊で機器を輸送し、昭和基地に設置計画を並行して進めている。