

## 2022年度 13)若手国際フィールド観測実験 目次詳細

### 2022 13) International travel support for field and laboratory experiments by students and early-carrier scientists List

10 件

\*所属・職名あるいは学年は2023年3月現在

\*Affiliation and Job title or year of graduate school displayed are current as of March 2023.

(注1): 新型コロナウイルスの影響で中止 / Cancelled due to COVID-19

(注2): 中止 / Cancelled

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局 Department	職名か学年* Job title or year of graduate school	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
森井 雄大	名古屋大学	宇宙地球環境研究所 総合解析研究部	博士前期課程 1年	ノルウェー・トロムソにおけるオーロラ多波長観測	328	
Islam Hamama	Kochi University of Technology	Engineering	Reserach Assistant	Seismo-acoustic and optical observations of meteors over Perth, Australia	330	
南條 壮汰	電気通信大学	情報・ネットワーク工学専攻	博士後期課程 2年	ノルウェー・トロムソにおけるデジカメとジンバルを用いたオーロラのアクティブ観測	333	
古舘 千力	電気通信大学	大学院情報理工学研究科	博士前期課程 1年	ロングイアビンにおける短波長赤外分光計を用いた OH 大気光の観測	335	
近藤 大泰	東北大学	理学研究科	博士前期課程 1年	南極点アムンゼン・スコット基地における多色オーロライメージャーを用いた高エネルギー粒子降下と中層大気電離現象の解明	337	
田中 健太郎	千葉大学	大学院融合理工学府	博士前期課程 2年	フィンランドにおけるVLF/LF帯雷電波・標準電波の観測	339	
坪井 巧馬	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	博士前期課程 2年	カナダのアサバスカ観測点における中間圏大気重力波のキャンペーン観測	341	
佐藤 雅紀	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	博士前期課程 2年	ZWOカメラを用いた極域の中規模伝搬性電離圏擾乱の2点同時観測	342	(注1)
加藤 悠斗	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	博士前期課程 2年	アサバスカにおける地上観測装置を用いた脈動オーロラ、ELF/VLF帯波動とCNAの同時観測	343	
山内 大輔	名古屋大学	工学研究科 宇宙地球環境研究所	博士前期課程 1年	オーストラリア北部における微小地磁気変動のフィールド定常観測	345	

(別紙様式 13-2)

ノルウェー・トロムソにおける多波長観測  
Multi-wave length observations of aurora at Norway, Tromso

森井雄大  
名古屋大学宇宙地球環境研究所  
総合解析研究部

1. 研究背景・目的

2. 私は現在単波長観測が可能なカメラを2台用いることでオーロラを多波長でとらえ、発光強度の比からオーロラを引き起こす降下電子のエネルギー構造を求める研究を行っている。今回は私の使用しているカメラが劣化したことでカメラ感度が著しく低下し、研究に必要なデータを得ることが不可能になったため現地に赴き、交換作業を行った。

私が現在研究を行っているオメガバンドオーロラと呼ばれるオーロラは、サブストームの回復相に典型的に現れるオーロラで、内部に様々な種類のオーロラを持つため、オメガバンドオーロラ内部のエネルギー的な違いを明らかにすることで、オメガバンド発生機構の解明を目指している。

エネルギーの推定方法としては、具体的にはOno(1993)において指摘されている427.8 nmと844.6 nmの光の発光強度比と降下電子の特性エネルギーとの間の強い相関関係を用いて、発光強度の比からエネルギーの計算を行っている。そのためオメガバンドオーロラを撮影する際には雲や月など他の光のない状況が必要となり、理想的なオメガバンドオーロライベントは2016年の9月から、カメラデータの劣化の見られた2018年3月までの期間にわずか2件しか得ることができなかった。

現在、私は得られた2件のイベントのデータを解析し、イベントごとのエネルギー的な構造の特徴を求めている。今後はより多くのイベントを解析し、オメガバンドオーロラのエネルギー的な構造に関してより一般的な特徴に関して議論を行いたいと考えている。そのため今回のカメラ交換により、今後1例でも多くのオメガバンドオーロライベントをとらえられることを期待している。

3. 観測実験の内容

実験はノルウェー・トロムソにある EISCAT サイトにおいて行った。この EISCAT VHF レーダーは、放射線帯相対論的電子が降り込む現象である EPP を観測できる。先行研究において、オメガバンドオーロラは EPP を伴うことが指摘されており [Miyoshi et al. 2021]、光学観測との同時観測によってその関連性を明らかにすることも期待されている。

本経費の支援を受け 2022 年 9 月 5 日から 12 日まで、トロムソに滞在した。カメラの立ち上げは 6 日から 11 日まで行い、カメラの取り付けに加え 2 台のカメラが GPS 時刻を用いて同時に、自動的にシャッターを切れるようにするためのネットワーク構築や、データを自動で転送するシステムの構築、その後の動作確認を同行した三好由純 先生、細川敬祐 先生と協力して行った。



図 カメラ設定時の様子(左)と設定後の記念撮影時の画像(右)

#### 4. 結果

カメラ立ち上げ後の 2022/10/5 において、オメガバンドオーロライベントの発生を確認できた。このイベントでは過去 2 例よりも多くのオメガバンドオーロラ構造の通過を確認でき、また大きな渦状の構造が見られることから、プラズマ群の速度差によりケルビン-ヘルムホルツ不安定性に起因することが示唆される。今後、カメラのカウント値からレイリー値に変換するテーブルができ次第、このイベントについてもエネルギー構造の推定を行いたいと考えている。

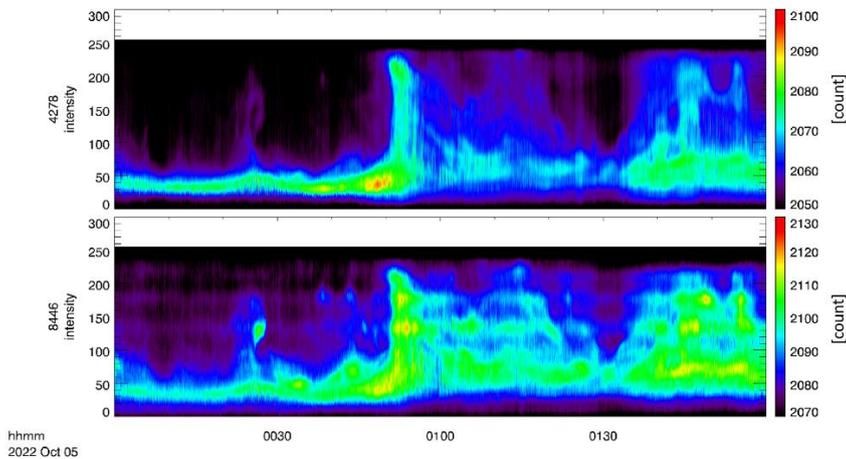


図 2022/10/5 に観測されたオメガバンドオーロラのケオグラム、横軸が時間、縦軸はピクセル数を表し、大きいほど極側を表す

#### 5. 参考文献

Ono, T., Derivation of Energy Parameters of Precipitating Auroral Electrons by Using the Intensity Ratios of Auroral Emissions, *J. Geopmag. Geoelectr.*, 45, 455-472, 1993

Miyoshi, Y., Hosokawa, K., Kurita, S. et al. Penetration of MeV electrons into the mesosphere accompanying pulsating aurorae. *Sci Rep* 11, 13724, [doi: 10.1038/s41598-021-92611-3](https://doi.org/10.1038/s41598-021-92611-3), 2021

パース上空での火球の地震波・音波および光学観測  
Seismo-acoustic and optical observations of meteors over Perth

Islam Hamama, School of Systems Engineering, Kochi University of Technology, Kochi,  
Japan

**Introduction:**

Infrasound can be identified as sound waves with low frequency range between 3 mHz to 20 Hz. There are several sources of infrasound which can be classified as natural and man-made sources. The infrasound signals could mitigate the hazard of tsunami as the tsunami waves coupling with atmosphere generates infrasound signals with higher speed of tsunami waves (200 m/s). Moreover, the disaster of celestial bodies which enter the atmosphere could be monitored and evaluated by infrasound. When the meteor enters the atmosphere with high speed, it may burn in the atmosphere and small fragments could reach to the earth, in addition, it may also be exploding at lower altitudes of atmosphere ~ 30 km and generate a shockwave which could be detected by infrasound sensors. Part of these waves propagate linearly, and others propagate non-linear. However, in infrasound analysis cross-correlation we could estimate the azimuth of generated signals from the fireballs, but the altitude estimation accuracy is still challengeable. As the ground truth is necessary also for verification of the infrasound signals, in this study INF04 sensors of Kochi University of Technology (KUT) were deployed beside Deseret Fireball Network (DFN) of Curtin University around Perth, Australia in September 2022.

**Preparation and Installation of Perth Array:**

INF04 is a unique infrasound sensor which was developed by Kochi University of Technology to be carried out in sounding rockets for detecting infrasound signals in upper atmosphere. Furthermore, this sensor was used as a part of measurements of Hayabusa-2 capsule reentry in December 2020. The sensor consists of microphone condenser, and it is integrated with 3 component accelerometer and temperature sensor. At the time of Hayabusa-2 the raspberry pi was used as a data logger and this system was initiated by Inoue-san. In this study, the system was developed to be used in real time over secure 4G connection. The infrasound system uses in IP67 boxes and tested in Yamamoto sensei's laboratory as shown in Fig. (1).



Fig. (1) Testing of INF04 sensor and datalogger in KUT at the left-hand side figure and Curtin Univ. in the right-hand side figure.

Infrasound signals can be analyzed using progressive multi-channel cross correlation (PMCC) or F-K analysis methods. In the current stage the aim of our experiment is to test the sensors on site at Perth. Four sensors were deployed in array shape with diameter of ~ 2 km near Perth observatory. In the current stage the sensors were installed in local farms under shaded zones. We expected to receive some noises in the free field installation due to the water motor noise at the morning time. As the camera system usually works good at night, such this noise will not affect the integration of the infrasound sensors with the fireball camera system.

Moreover, one single sensor was deployed in Kattaning city (~300 km south Perth) with one of DFN camera system. We are integrating both systems to make automatic detection for the fireballs near this site. Fig. (2) shows the infrasound installation of Perth array as well as Kattaning site.



Fig. (2) Deploying the infrasound sensors in Perth array sites and Katanning site.

**Current Status:**

Now the 5 sensors are working well, all the data automatically archived and could be managed remotely from Japan. We are using virtual private network (VPN) over 4G connection in Perth which we can secure our dataset. During the last few months, we were in testing phase to make sure that the system is stable and can be continue as a permanent infrasound station in Perth. The data availability exceeds 95% from September 22 to the first of December. Our dataset can be managed through a cloud service, and we have long term storage for backing up all the data daily.

There is a daily reporting system to check the daily received dataset and to confirm archiving them on the server.

### **First Detected Fireball in Perth by Our System:**

On the 7<sup>th</sup> of November at 19:00:16 UTC, the DFN cameras detected a fireball near Perth. As well as the 3 infrasound sensors of Perth array recorded coherent signals at 19:05:48 UTC from the fireball as shown in Fig. (3).

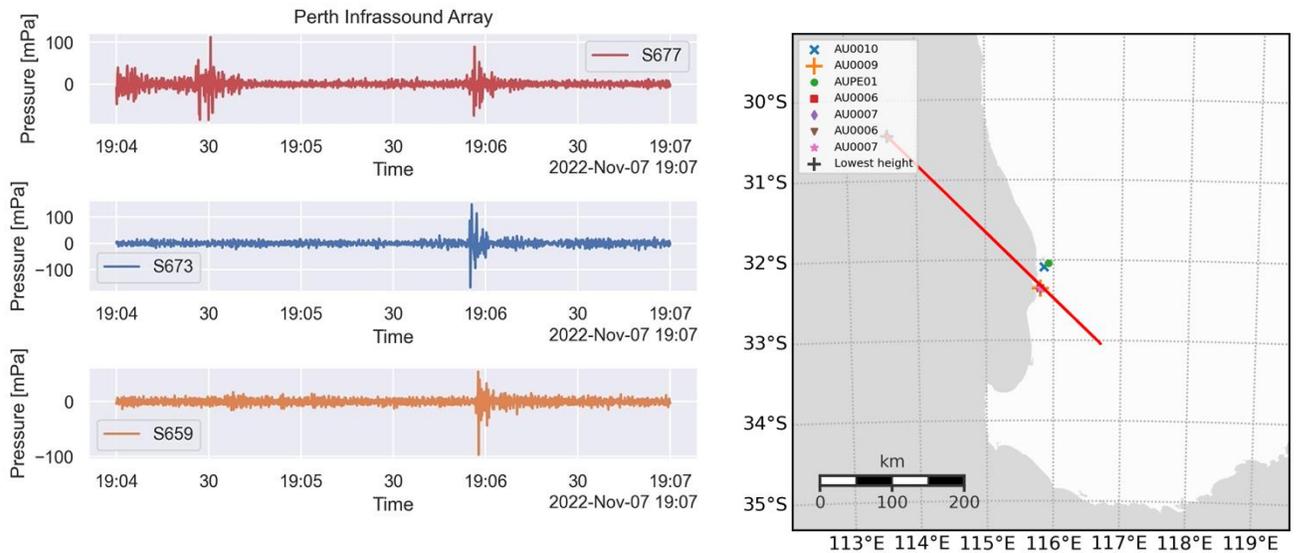


Fig. (3) Waveform of infrasound signals from detected fireball by DFN cameras near Perth

### **Acknowledgment:**

Thanks to Prof. Otsuka sensei and Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University for funding the travel expenses to Perth. Moreover, I'd like to thank Dr. Ellie Sansom and her team from Curtin Univ. for supporting and helping in the installation of the infrasound sensors. Also, Thanks to Dr. Colin and Perth Observatory team for negotiation and allowing us to find the suitable places for the sensors' installation. In addition, thanks to Prof. Yamamoto and Kochi University of Technology to support with the infrasound sensors and the needed hardware.



(別紙様式 13-2)

和文課題名

ノルウェー・トロムソにおけるデジカメとジンバルを用いたオーロラ  
のアクティブ観測

英文課題名

An active observation of aurora using a gimbal and DSLR camera at Tromsø, Norway

研究代表者、所属機関・部局  
南條壮汰、電気通信大学・情報・ネットワーク工学専攻

本予算の申請時には、ジンバルにカメラを搭載することで、撮影領域を自由に変更する観測手法の実現を目指したが、トロムソの観測所にジンバルを置くための十分な空間が存在しなかったことや、同手法をスウェーデン・キルナで実施するための別の予算が採択されたことから、申請時における研究計画を変更した。以下では、申請時における研究計画ではなく、実際に行った観測について記す。

【研究目的】

国際宇宙ステーション (ISS) から、市販のデジタルカメラ Nikon D5 を用いて昼夜を問わず地球表面の様子が撮影されている。これらのうち、夜間に撮影されたものの中には、オーロラが映り込んでいる場合がある。Nanjo et al. (2020) では、画像内に映り込んだ街明かりを用いることで、撮影画像を地理空間上へ投影する手法が提案された。さらに、Nanjo et al. (2021) では、地理空間に投影されたオーロラの青と緑の強度比を用いることで、脈動オーロラを発光させる電子のエネルギーが定性的に推定できることを示唆した。本研究では、先行研究から得られた示唆をより定量的に評価するため、ノルウェー・トロムソにおいて ISS で用いられているデジタルカメラと同じ Nikon D5、多波長フォトメータと EISCAT UHF レーダーを用いたオーロラの同時観測を行う。具体的には、Nikon D5 が計測した RGB 値とフォトメータが計測した精確なオーロラの輝度 (レイリー値) がどう対応するかを経験的に評価し、デジタルカメラの青と緑の比からフォトメータによる 427.8 nm と 557.7 nm の発光強度比を推定する写像を、精度評価も含めて導出する。その後、フォトメータによる 427.8 nm と 557.7 nm の発光強度比、デジタルカメラの青と緑の比、UHF レーダが計測した電子密度の高度プロファイルから CARD 法を用いて推定した降下電子のエネルギーを比較し、デジタルカメラによる青と緑の比から降下電子のエネルギーを推定することの妥当性を検証する。

【観測実験の実施状況】

8 月末に国立極地研究所の光学校正室において、積分球およびモノクロメータを用いてカメラの校正に必要なデータを取得した。9 月 6 日から 11 日にかけてノルウェー北極大学が管理する Ramfjordmoen field station に滞在し、カメラの設置作業を行った。カメラの向きは、フォトメータや UHF レーダが計測する磁気天頂が撮影画像内に含まれるよう留意した。ISS からの観測では、1 秒あたり 1-2 枚の画像を撮影しており、これは脈動オーロラの数秒程度の輝度変動「主脈動」を可視化するのに十分な時間分解能である。ただし、デジタルカメラのシャッターは耐久回数が数十万回程度であるため、従来の光学観測のように一晩中観測し続けると、すぐに観測が行えなくなってしまう。そこで、本研究では研究

所担当教員である野澤悟徳准教授が管理する同観測所内の全天カメラが撮影したリアルタイム画像 ([https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/~eiscat/obs/d5000/html/sky\\_image.html](https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/~eiscat/obs/d5000/html/sky_image.html)) を参照し、この画像中にオーロラが映り込んでいる時のみ、観測を行うようにした。オーロラの検出には Nanjo et al. (2022) で開発した深層学習モデルを利用したため、観測は完全に自動化されている。この手法で得られた観測画像のクイックルック版は、撮影後 1 日以内に <https://tromsoe-ai.cei.uec.ac.jp/#/BurstObservationList> へ自動的にアップロードされる。オリジナルデータは、電気通信大学の計算機サーバに保存されている。

## 【結果】

光学校正室の積分球を用いた実験で得られた結果より、RGB 値のばらつき (SNR) と周辺減光の評価を行った。ある ISO 感度、シャッタースピードに対して、キャップに蓋をした状態および積分球の輝度を 4 段階に変化させてそれぞれ 10 枚、合計 50 枚の画像を取得した。RGB 値はフォトンショットノイズの影響により、カウントが大きいほどばらつきが大きくなった。そのため、SNR をカウント値に依存する関数として求めた。具体的には、ある座標の周囲 9x9 ピクセルを同一の光量を受けた領域と見做し、81 ピクセル x 10 枚で得られた計 810 のカウント値の平均値を、標準偏差で除して計算した。その結果、SNR は暗いディフューズオーロラで 3-5 程度、明るいディスクリートオーロラで 10 以上であった。また、周辺減光はコサイン 4 乗に比例することが知られている (コサイン 4 乗則) ため、コサイン 4 乗に比例する関数を用いてモデル化した。これは、異なる座標でオーロラの輝度を比較する際に用いる予定である。フォトメータにより得られた輝度値との比較を行うには、磁気天頂の座標を計算する必要があるが、これは画像から自動的に星を探索するソフトウェア Astrometry.net を用いて行った。磁気天頂における時系列が作成できるようになったため、今後はフォトメータの観測結果と Nikon D5 による RGB 値を比較し、研究目的に記載した内容の検討を進める予定である。

## 【引用文献】

Nanjo, S., Y. Hozumi, K. Hosokawa, R. Kataoka, Y. Miyoshi, S. Oyama, M. Ozaki, K. Shiokawa and S. Kurita, Fine-scale visualization of aurora in a wide area using color digital camera images from the International Space Station, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 125, 2020

Nanjo, S., Y. Hozumi, K. Hosokawa, R. Kataoka, Y. Miyoshi, S.-I. Oyama, M. Ozaki, K. Shiokawa and S. Kurita, Periodicities and colors of pulsating auroras: DSLR camera observations from the International Space Station, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 126, 2021

Nanjo, S., S. Nozawa, M. Yamamoto, T. Kawabata, M. G. Johnsen, T. T. Tsuda and K. Hosokawa, An automated auroral detection system using deep learning: real-time operation in Tromsø, Norway, *Scientific Reports*, 12, 2022

(別紙様式13-2)

ロングイアビンにおける短波長赤外分光計を用いた OH 大気光の観測  
OH airglow observations using SWIR spectrograph at Longyearbyen

古舘 千力、電気通信大学 情報理工学研究所

## 研究目的

OH 大気光を利用した上部中間圏の温度計測は長年研究されてきており、近年では検出器の進歩や民生品化が進んだことによって、短波長赤外領域の OH 発光バンドの観測が比較的容易になった。短波長赤外領域の OH 大気光は可視領域に比べて発光強度が大きいため、温度計測の高精度化が期待されている。しかしながら、極冠域での観測例は少なく、極域における大気光観測ではスペクトル中にオーロラ発光が混入することが考えられる。先行研究では、南極昭和基地における OH(3,1)バンド(1.5  $\mu\text{m}$  付近)の観測において、オーロラ発光の混入により温度計測が約 40 K 過小評価される可能性が指摘されている[Nishiyama et al., EPS, 2021]。本課題では、オーロラ発光の影響が小さいと考えられる 1.1-1.3  $\mu\text{m}$  帯 OH 大気光の分光観測によって、極域における短波長赤外 OH 大気光観測による温度観測手法を確立し、北極上部中間圏における大気温度変動の動態解明に資することを目的とする。

## 実施状況

短波長赤外分光器及びオーロラ観測のための小型全天デジカメの開発を行い、2022年11月にスバル諸島・ロングイアビエン(78.1°N, 16.0°E)の The Kjell Henriksen Observatory (KHO)に設置した。小型全天カメラの観測データは電通大のウェブページにて準リアルタイムで公開している。

OH 観測に特化した観測モードで1か月の連続観測を行い、その内2日間のデータについて詳細な解析を行った。OH(7,4)バンドと OH(8,5)バンドをそれぞれ利用した Boltzmann plot 法による温度推定結果及び、小型全天デジカメによるケオグラムを図1に示す。900秒積算で求めた温度データの観測誤差は OH(8,5)で 4.8 K, OH(7,4)で 13.6 K 程度であった。中間圏温度観測で実績のある NASA の Aura 衛星の Micro Limb Sounder による温度観測と比較したところ、本観測で得られた温度データは、Aura/MLS 温度データとおおよそ一致していた。また、11月26日 18:28 UT 頃のオーロラ発生時の観測スペクトルを図2に示す。オーロラ発生直前の1時間を積算することで OH 大気光スペクトルを生成し、オーロラ発生時の 30秒積算スペクトルとの差分を取ることで、オーロラによる発光スペクトル成分のみを抽出した。その結果、OH(7,4)バンドの P ブランチが存在する 1220~1240 nm において N<sub>2</sub> 1st positive (0,1)バンド、1315 nm に存在する OH(8,5)の P<sub>1</sub>(4)線付近で O 原子の発光が確認された。300秒積算時の OH(7,4)バンドによるオーロラ発生前の推定温度は 218 K で、オーロラ

発光混入時の 300 秒積算時の推定温度は 195 K であったため、最大 23 K の過小評価の可能性があると考えられる。一方、OH(8,5)バンドによる温度推定では、オーロラ発光混入の可能性のある P1(4)線を除くことで誤差 5 K 程度で温度推定が可能であった。この手法によるオーロラ発生前の推定温度は 221 K で、発生時の推定温度は 234 K であった。

## 今後の方針

OH(7,4)と OH(8,5)バンドの温度推定結果を比較すると OH(8,5)バンドの方がやや温度が高めに推定される傾向がある。今後、KHO に設置されている他分光器[e.g., Sigernes et al., 2003]との OH 大気光の同時観測による温度を比較し、絶対温度の推定精度について検証する。

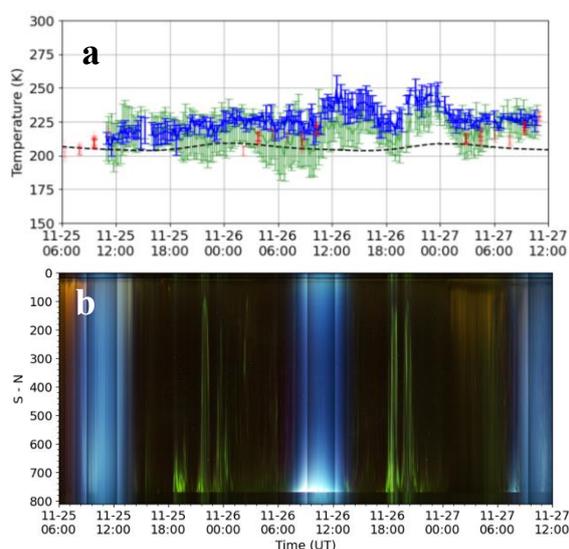


図 1. (a)積算時間 900 秒での OH(8,5)バンド(青)と OH(7,4)バンド(緑)によって推定された 2 日間の温度変化。Aura/MLS(赤)と NRLMSISE2.0(黒)の温度データ。(b)小型全天デジカメの撮影画像から作成した磁気南北方向のケオグラム。

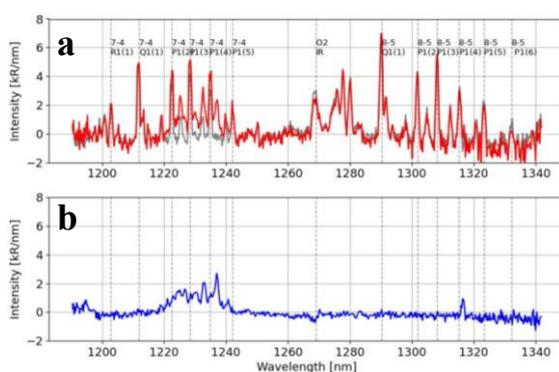


図 2. (a)オーロラが発生する直前の 1 時間積算スペクトル(黒)とオーロラ発生時の 30 秒積算スペクトル(赤)。(b)1 時間積算スペクトルと 30 秒積算スペクトルの差分スペクトル(青)。

## 学会発表

- (1) S. Furutachi, T. T. Tsuda, and T. Nishiyama, Temperature estimation from OH Meinel (8,5) band around 1.3  $\mu\text{m}$  and its quantitative evaluations, JpGU Meeting 2022, online, May 2022. (poster)
- (2) 古舘千力, 津田卓雄, 西山尚典, 極冠域における 1.1-1.3  $\mu\text{m}$  帯 OH 大気光分光観測計画: 分光器の性能検証・試験観測・感度較正実験, MTI 研究集会, オンライン, 2022 年 9 月. (ポスター)
- (3) S. Furutachi, T. Nishiyama, T. T. Tsuda, Y. Ogawa, S. Nozawa, and F. Sigernes, Spectroscopic observation of OH airglow in 1.1-1.3  $\mu\text{m}$  in the polar region, ISAR-7, Tachikawa, Japan, March 2023. (poster)

(別紙様式 13-2)

南極点アムンゼン・スコット基地における多色オーロライメージャーを用いた  
高エネルギー粒子降下と中層大気電離現象の解明

High-energy particle precipitation and ionization in the middle atmosphere obtained with  
multi-wavelength auroral imagers at Amundsen-Scott South Pole Station

研究代表者：近藤大泰、東北大学・大学院理学研究科

〈 研究目的 〉

本研究は、「地球環境は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、極冠域に存在する観測基地を訪問して、全天イメージャーを複数台設置する計画である。

極冠域は、太陽風や惑星間空間に直接つながる、宇宙に開かれた窓としてユニークな領域である。特に、太陽プロトンイベント (SEP) 発生時には、高エネルギープロトンが極冠に降下し、中間圏大気を電離させてオゾンや NO<sub>x</sub>, HO<sub>x</sub> の変動を引き起こす。また、夜側ではローブ領域と結合し、シータオーロラなど太陽風磁場変動によって引き起こされる複雑な磁気圏ダイナミクス反映する。この研究は、国立極地研究所の第 X 期重点研究計画 (AJ1007、研究代表：片岡龍峰准教授) で展開する南極内陸のオーロラネットワーク観測や宇宙線観測等と共同研究である。これらの多点データを組み合わせて、オーロラ電子や太陽プロトン陽子による中層大気への化学反応・電離インパクトや、極冠オーロラ現象に現れる磁気圏ローブのトポロジー解明のためのシミュレーションとのデータ同化を進める。これにより、様々な宇宙天気現象の物理メカニズムの解明を行い、長期的で学際的な宇宙気候の諸問題の解明・予測にも貢献することを最終目標としている。

〈 観測実験の実施状況 〉

本申請時には、極冠域の米国アムンゼン・スコット南極点基地に新たに 5 波長同時撮像高感度 CMOS 全天イメージャーを設置する予定であった。このための全天イメージャーの開発は予定通り実施された。本年度当初より開発を開始し、波長 391.4nm, 557.7nm, 630.0nm, 670.0nm, 844.6nm の干渉フィルター (Andover 社製)、小型高感度 CMOS (ZWO 製 ASI-183MMpro)、カメラ制御 PC 小型 PC (ESC 社製 LIVA-Z2) およびデータサーバーから校正される観測システムを構築した。2022 年夏頃まで長期運用試験、2022 年 9 月末に極地研積分球を用いて感度校正試験が行い、この観測システムを完成させた。しかしながら、コロナ禍のため、アムンゼン・スコット南極点基地訪問に不可欠な米国側の受入体制が整わず、訪問は不可能となった。このために、塩川和夫教授、ならびに共同研究をすすめていた国立極地研究所の片岡龍峰准教授、小川泰信教授、田中良昌准教授、西山尚典助教ら

と検討を行い、本研究経費を活用して、北極域ノルウェー・ロングイヤービン・UNIS が管理する Kjell Henriksen Observatory に全天カメラ 2 台 (391.4nm, 630nm) 設置することとした。Kjell Henriksen Observatory は極冠域に位置し、研究目的の達成に最適かつ訪問可能な観測所の一つである。また、他研究期間の地上観測装置や EISCAT Svalbard Rader による協調観測も期待される。加えて、第 64 次南極地域越冬隊観測の一部として、全天カメラ 4 台 (391.4nm, 557.7nm, 630nm, 670nm) を設置することとした。

#### < 結果 >

本経費を用いて、2022 年 11 月 8-20 日にかけて、極地研究所・小川泰信教授および西山尚典助教と同行して、近藤大泰 (研究代表者) が Kjell Henriksen Observatory を訪問して、全天カメラ 2 台を設置した。設置後は、撮像間隔 20 秒で 2 台のカメラの連続動作を現在まで継続している。

さらに、第 64 次南極地域南極越冬隊において、極地研・田中良昌准教授らによって南極昭和基地に全天カメラ 4 台からなる観測システムが設置された。このシステムは、2023 年 2 月から 4 台同時撮像を開始し、現在まで連続動作している。

以上のとおり、当初計画されたアムンゼン・スコット基地への設置はコロナ禍のために達成できなかったが、北極冠域に 2 台の全天カメラ、南極昭和基地に 4 台の全天カメラを新たに設置し、連続撮像を開始することができた。本研究と観測装置を活用した共同研究により、研究目的に掲げた極冠域への高エネルギー粒子降下現象や磁気圏ローブ域現象の解明を今後進めていく計画である。なお、これらの成果は、極域科学シンポジウムおよび SGEPS 等の学会・研究会で成果報告された。

#### < 成果発表 >

Kondo, H., T. Sakanoi, M. Kagitani, R. Kataoka, Y. Tanaka, Y. Ogawa, T. Nishiyama, K. Murase, Y. Miyoshi, Y. Ebihara, S. Yamashina, Y. Hozumi, Development of new multi-wavelength all-sky imagers for observation of polar cap aurora, 13th Symposium on Polar Science, online meeting, NIPR, 15-18 Nov., 2022.

近藤大泰, 坂野井健, 海老原祐輔, 片岡龍峰, 山科佐紀, 穂積裕太, 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, SGEPS 第 152 回総会・講演会, 相模原市立産業会館, 相模原, Nov. 3-7, 2022.

(別紙様式 1 3-2)

## フィンランドにおける VLF/LF 帯雷電波・標準電波の観測

### Observations of VLF/LF atmospherics and transmitter signals in Finland

田中 健太郎、千葉大学・大学院融合理工学府基幹工学専攻電気電子工学コース

#### 1. 研究目的

磁気圏から電離圏を通過し大気圏へ降り込む高エネルギー電子による下部電離圏変動の研究のため、東北大学と共同で標準電波ネットワーク OCTAVE(Observation of CondiTiOn of ionized Atmosphere by VLF Experiment)を構築している。これまでにすでに、カナダ、アラスカ、ノルウェーに設置されているが、まだ観測点が足りないため、フィンランドに受信機を設置し、定常観測を行う。欧州各地から送信される複数の標準電波の振幅・位相データを解析し、下部電離圏の反射高度(電子密度)変動を推定する。下部電離圏は電子-中性粒子衝突周波数が非常に高く、通常の電離圏観測手法が使用できない。しかしながら、使用している標準電波は下部電離圏で反射する周波数帯であるため、下部電離圏研究に有用である。

#### 2. 観測実験の実施状況

2022年9月9日~9月19日に、大矢浩代助教(千葉大)および土屋史紀准教授(東北大)とともに、トゥルク大学 Kevo 亜寒帯研究所にて標準電波・雷電波観測装置を設置した(図1)。

観測装置は自動的に24時間定常観測を行うように設定し、フィンランド滞在中にテスト観測を行い、計画どおり、正常に標準電波および雷電波を観測できることをフィンランドで確認した。観測データは自動的にまた定期的に東北大のサーバに転送され、東北大のサーバから千葉大のHDDにダウンロードする。また、今回設置した観測装置は世界中に設置されているOCTAVEの新設のVLF/LF帯雷電波の受信システムである。Kevoに設置することにより、トロムソ上空を通過する電波伝搬経路を確保することができる。これにより、トロムソで行われているミリ波観測やEISCAT観測との共同観測が可能となる。磁気圏の電子が地球大気へ降下する現象は、磁気圏の重要な電子損失過程であると同時に、中層大気に化学的な影響を及ぼすことから、これによる電離圏変動の定量的理解が進むことが期待される。

#### 3. 結果

2017年10月9日11:00-12:00 UTの地磁気静穏時に、アサバスカ(ATH, カナダ)での観測で、図2に示すような240 s(NLK-ATH)および270 s(NDK-ATH)周期の振動が見られた。ウェーブホップ法に基づき計算したところ、VLF/LF波変動時に反射高度が4.3-4.4 km変動し、高度91 kmでD領域電離圏の電子密度が背景電子密度に対しそれぞれ129.1%および94.5%増加したことが示された。また、ATHと低緯度帯における地上磁場南北成分の変動は、VLF波変動と同様の周期でPi2型ULF波を示した。このイベントにおけるVLF/LF波変動の主な原因は、ミラーポイントが低下することによって、電子が大気圏内へ侵入したために引き起こされた可能性がある。今後、フィンランドでも同様のULF変動された高エネルギー電子の降り込みの現象が観測されることが期待でき



図1 2022年9月9~19日にKevo(フィンランド)に設置したVLF/LF帯雷電波・標準電波観測用ループアンテナ。

る。

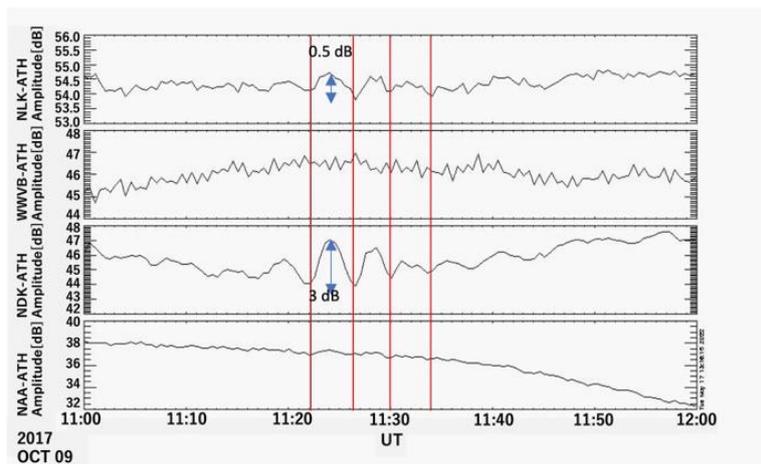


図2 2017年10月9日11:00-12:00 UTにアサバスカ(ATH, カナダ)で観測されたVLF/LF波の振動。

#### 関連した成果発表

- [1] K. Tanaka, H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Nozaki, M. Teramoto, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, M. Connors, and H. Nakata, Ultra low Frequency Modulation of Energetic Electron Precipitation in the D-Region Ionosphere in a Magnetically Quiet Time Using OCTAVE Very Low Frequency and Low Frequency (VLF/LF) Observations, URSI Radio Science Letters, Vol. 4, DOI: 10.46620/22-0049, 2022.
- [2] K. Tanaka, H. Ohya, F. Tsuchiya, M. Teramoto, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, M. Connors, and H. Nakata, ULF modulation of VLF/LF transmitter signals in the D region ionosphere, Japan Geoscience Union Meeting 2022, 幕張メッセ・オンライン, 2022年5月22日~6月3日.
- [3] K. Tanaka, H. Ohya, F. Tsuchiya, M. Teramoto, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, M. Connors, and H. Nakata, VLF/LF oscillations in the D region ionosphere by ULF modulation, Asia Oceania Geosciences Society 2022, オンライン, 2022年8月1日~8月5日.
- [4] K. Tanaka, H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Nozaki, M. Teramoto, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, M. Connors, and H. Nakata, Energetic Electron Precipitations from OCTAVE VLF/LF Observations, URSI-JRSM(日本電波科学会議) 2022, 中央大学, 2022年9月1日~9月2日.
- [5] K. Tanaka, H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Nozaki, M. Teramoto, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, M. Connors, and H. Nakata, ULF-modulated energetic electron precipitation in magnetically quiet time using OCTAVE VLF/LF observations, SGEPS 2022 秋学会, 相模原市立産業会館, 2022年11月3日~11月7日.
- [6] K. Tanaka, H. Ohya, F. Tsuchiya, K. Nozaki, M. Teramoto, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, M. Connors, and H. Nakata, ULF modulation of energetic electron precipitation in the D-region ionosphere in magnetically quiet time using OCTAVE VLF/LF observations, VERSIM 2022, オンライン, 2022年11月7日~11月11日.

(別紙様式 13-2)

カナダのアサバスカ観測点における中間圏大気重力波のキャンペーン観測

Campaign observation of atmospheric gravity waves in the mesosphere at Athabasca in Canada

塩川和夫、宇宙地球環境研究所  
Martin Connors、Athabasca University  
坪井巧馬、宇宙地球環境研究所

私は本支援の援助を受け、2022年8月30日から9月3日にカナダのアサバスカでWATECカメラを用いた中間圏大気重力波のキャンペーン観測をおこなった。本キャンペーン観測は一昨年より宇宙地球環境研究所電磁気圏研究部で提案者らが開発してきたWATECカメラをカナダのアサバスカの大学構内の観測所に設置し、水平距離で43km南西に離れたアサバスカ大学の観測所(AUGSO)で運用されている超高層大気イメージングシステム(OMTI)と合わせて、中間圏のOH大気光による大気重力波の2点同時観測を行うというものである。WATECカメラについては、現在運用中のOMTIに代わるカメラとして、一昨年から開発を続けているカメラであり、本研究の提案者はこの開発メンバーのひとりとして、カメラの較正実験や機器システムの開発、自動運用化などについて一から開発に携わってきた。昨年8-9月には信楽観測点において約1か月間の自動運用のテスト観測を行い、中間圏の大気重力波の自動観測を成功させた。本キャンペーン観測は、WATECカメラにとって実戦を兼ねた最後のテスト観測となった。

本キャンペーン観測の結果、残念ながら大気重力波の観測をすることはできなかった

ものの、pulsating aurora や diffuse aurora、purple aurora、STEVE など様々な種類のオーロラを観測することができた。これらのオーロラは無事にWATECカメラで自動・連続撮影を行うことができ、WATECカメラのテスト観測としては成功となった。この結果を受けて、現在WATECカメラはタイのチェンマイにおいて実戦運用されている。

また、観測データの解析をしている私にとって、その元となる観測機器の設置を自分の手でおこなうというのは新鮮な体験だった。普段は意識することのない現場やハード面の問題(電源までケーブルが届かない、カメラに反射光が写りこむ等)に苦労したがとても貴重な経験となった。

最後に、私の本キャンペーン観測の実施を支援していただいた関係者の皆様に心より御礼申し上げます。



図1 diffuse aurora と観測所

(Form 13-2)

# ZWO カメラを用いた極域の中規模伝搬性電離圏擾乱の2点同時観測

佐藤 雅紀  
名古屋大学  
宇宙地球環境研究所

新型コロナウイルスの影響で中止

(別紙様式 13-2)

アサバスカにおける地上観測装置を用いた脈動オーロラ、ELF/VLF帯  
波動とCNAの同時観測

Simultaneous observations of pulsating auroras, ELF/VLF waves  
and CNA using ground-based instruments in Athabasca

加藤悠斗、宇宙地球環境研究所  
塩川和夫、宇宙地球環境研究所  
Martin Connors、Athabasca University  
三好由純、宇宙地球環境研究所

私は本支援の援助を受け、2022年8月30日から9月3日にカナダのアサバスカでWATECカメラを用いた脈動オーロラ、ELF/VLF帯波動とCNAの同時観測をおこなった。本観測では一昨年より宇宙地球環境研究所電磁気圏研究部で提案者らが開発してきたWATECカメラに窒素分子イオン発光を取得することができる650nm以上の波長を透過する干渉フィルターを搭載し、周期が数秒から数十秒の脈動オーロラの明滅を観測するというものである。このカメラをカナダ・アサバスカ大学構内に設置し、そこから43km南西に離れたアサバスカ大学地球物理観測所(AUGSO)で宇宙地球環境研究所が運用しているEMCCDカメラと2点同時観測を行うというものである。WATECカメラについては、現在運用中のOMTIに代わるカメラとして、一昨年からの開発を続けているカメラであり、本研究の提案者はこの開発メンバーのひとりとして、カメラの較正実験や機器システムの開発、自動運用化などについて一から開発に携わってきた。昨年8-9月には信楽観測点において約1か月間の自動運用のテスト観測を行っており、本観測は、WATECカメラにとって実戦を兼ねた最後のテスト観測となった。

本観測の結果、脈動オーロラをWATECカメラを用いて、サンプリング速度1Hzで自動・連続撮影を行うことができた。図1にWATECカメラで1秒ごとに撮影された大気光画像を示す。画像の上が北である。これらの画像より、WATECカメラでも脈動オーロラの明滅をとらえることができたことが分かる。

しかし、脈動オーロラの明滅間隔は数秒スケールであるため、より時間分解能の低いCNA、ELF/VLF帯波動との対応を明らかにすることはできなかった。

ただ、本観測では、脈動オーロラのほかにも、STEVE(図2)やディフューズオーロラをWATECカメラで観測することに成功した。この結果を受けて、現在WATECカメラはタイのチェンマイにおいて実戦運用されている。

また、カメラの設置や、現地のネットワーク設定、そしてリモートでPCを操作する中で様々な障害があったが、そのたびに原因を考え、解決していくという、フィールド観測ならではの貴重な経験をすることができた。

最後に、私の本観測の実施を支援していただいた関係者の皆様に心より御礼申し上げます。

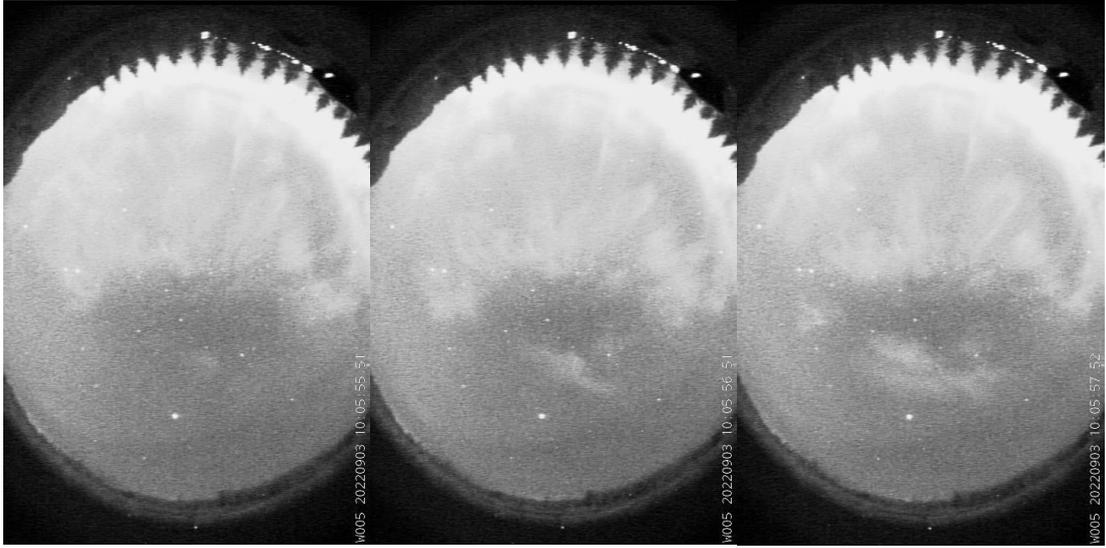


図1 WATECカメラで撮影された脈動オーロラ  
(左) 10:05:55 UT (中) 10:05:56 UT (右) 10:05:57 UT)

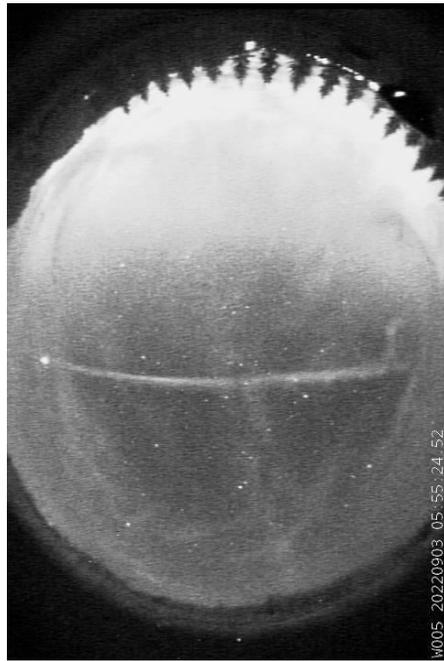


図2 WATECカメラで撮影された STEVE

オーストラリア北部における微小地磁気変動のフィールド定常観測  
Field Steady-State Observations of Micro-Geomagnetic Fluctuations in Northern Australia

山内大輔 名古屋大学宇宙地球環境研究所・電磁気圏研究部・塩川研究室

【研究目的】

電離層は、E層、F層のように積層構造をしており、その間に電磁流体波動(=プラズマ中の低周波電磁波動)が閉じ込められ、電離層空洞共振器を形成しうる。こうした電離層空洞共振器は低緯度には形成されないと考えられてきたが、近年の長期間にわたる観測データに基づき、日本のような低緯度でも存在することが明らかになってきた。この研究では、磁力線に沿って日本の共役関係にあるオーストラリアにおいても同様の共振が存在するかどうか、またその共振器にエネルギーを供給する源は何かを調査するため、オーストラリアに観測データ収集システム(誘導磁力計)を設置することを目的とする。

【観測実験の実施状況】

・実施期間

2023年3月5日から2023年3月9日

・作業員氏名

能勢正仁・山内大輔(名古屋大学)、山本和弘(東京大学)、

Bill Jones・Liejun Wang (Geoscience Australia)

・滞在した観測拠点

Kakadu Geophysical Observatory

・研究機関

Australian Government

・設置場所

地理経緯度( $-12.69^{\circ}$ ,  $132.47^{\circ}$ )、地磁気経緯度( $-20.96^{\circ}$ ,  $-153.66^{\circ}$ )、高度約22 m

磁場観測に干渉しないよう、観測所から約100 m 離して設置した。

・設置状況

誘導磁力計はx, y, z各成分の磁場を計測するため、三つのセンサーからなる。動物に噛まれたりするのを防ぐため、各センサーとケーブルを保護した上でトレンチに埋めた。

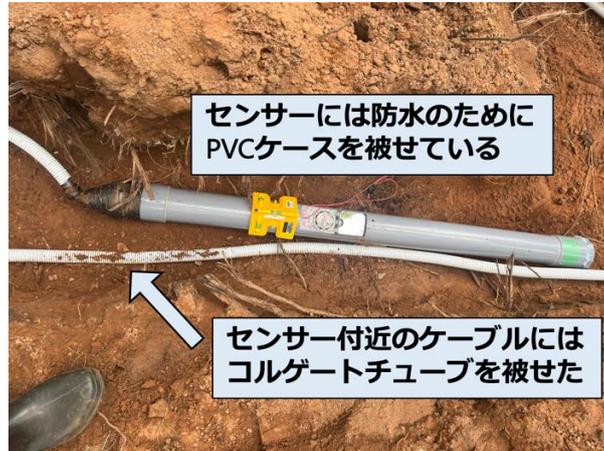


図1. 設置したセンサーの概要

【結果】

設置した誘導磁力計による初期測定結果を以下に示す。3月7日は、15Hzと25Hz付近のノイズを除き、きれいなデータだった。これらのノイズは、特にY成分とZ成分で同様に現れる。これらのノイズを除けば、シューマン共振を見ることができる。

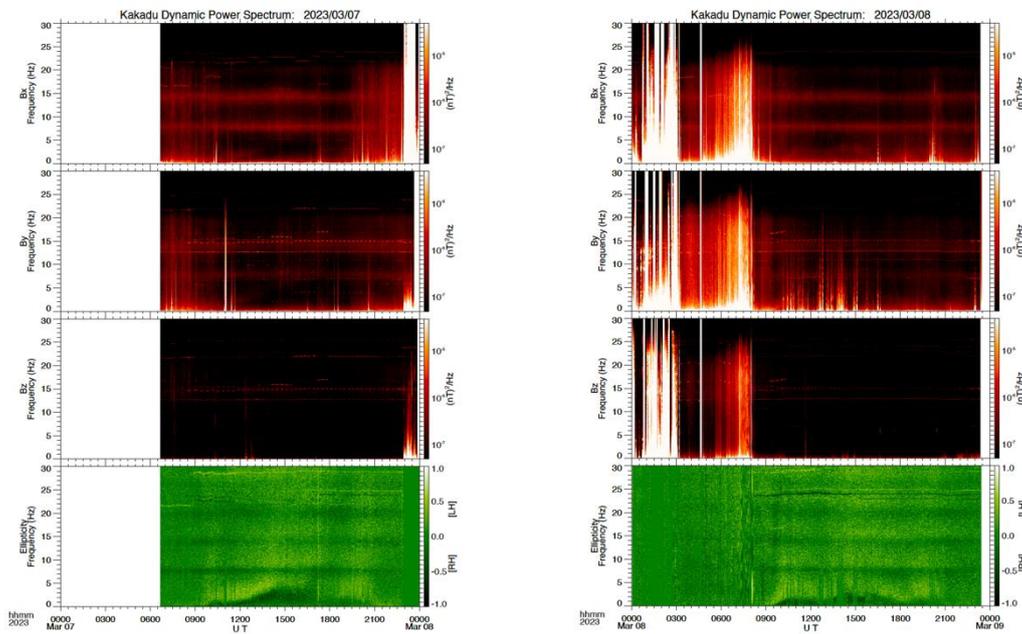


図2. 初期測定結果(2023/03/07-08)