

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：12612

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K20940

研究課題名（和文）国際宇宙ステーションから宇宙飛行士がデジカメで撮影した画像のオーロラ研究への活用

研究課題名（英文）Use of digital camera images from ISS for scientific studies of aurorae

研究代表者

細川 敬祐（Hosokawa, Keisuke）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：80361830

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：ISSからのデジカメ画像を地理座標上にマップする作業を行い、観測領域の近傍にある地上カメラとの比較を行うことによって、マッピングの精度がオーロラのサイエンスを行うために十分なものであることを確認した。また、ISSからのデジタルカメラ観測で得られた画像のRGBチャンネルの発光強度比を用いて、オーロラ電子のエネルギー推定を行い、オーロラが明るくなった時間帯に、より高いエネルギーの電子が降下していることを示した。さらに、機械学習を用いたオーロラの自動判定システムを構築し、オーロラが発生したときのみ高時間分解能で観測を行う仕組みを実装することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ISSからのデジタルカメラ画像が、ディスプレイオーロラのような微細な空間構造を有するオーロラだけでなく、脈動オーロラのような激しく時間変化するオーロラにも適用可能であることを示した。この結果は、デジタルカメラ画像のオーロラ科学への活用の意義を示すものとして評価されている。また、深層学習を用いてオーロラの出現状況や形態などを自動的に判定するシステムの開発に成功し、市民サイエンスへの応用が可能であることを示した。

研究成果の概要（英文）：We mapped the digital camera images from the ISS onto geographic coordinates and confirmed that the mapping accuracy is sufficient for conducting aurora science by comparing it with ground-based cameras in the vicinity of the observation area. Additionally, by using the emission intensity ratio of the RGB channels obtained from the digital camera observations from the ISS, we estimated the energy of auroral electrons and demonstrated that higher energy electrons are precipitating during the periods when the aurora brightened. Furthermore, we successfully implemented a system for high temporal resolution observations that only operate when auroras occur by developing an automatic aurora detection system using machine learning.

研究分野：超高層大気物理学

キーワード：オーロラ 国際宇宙ステーション

## 1. 研究開始当初の背景

オーロラは、極域の高度 100-300 km に存在する大気原子・分子が、宇宙空間（磁気圏）から磁力線に沿って降下する「オーロラ電子」によって励起され、発光する現象である。大気というスクリーンに投影されるオーロラをトレーサーにして、オーロラ電子の源である磁気圏における電子の加速機構や消失過程を 2 次元的に可視化することができることが示唆されてきた。オーロラに関連する諸現象をさらに深く理解していくためには、人工衛星からの光学観測を「広い観測視野で」かつ「高い時空間分解能で」行うことが必要不可欠である。しかし、この厳しい要求を満たす地球周回の科学衛星からの光学観測は、これまでに一度も実現されたことがなく、今後行われる予定もない状況であった。

## 2. 研究の目的

上記のような背景のもと、本研究では、高度 400 km を飛翔する国際宇宙ステーション (ISS) から、宇宙飛行士が市販のデジタルカメラを用いて撮影した地球の画像を活用することを着想した。これらの画像は、パブリックアウトリーチ活動のために取得され、NASA のウェブサイトにおいて、全てのデータが公開されているものである。秒以下の時間分解能と 4K の空間解像度を有し、数千キロにわたって広がるオーロラの空間構造を俯瞰的に見ることができる。ただし、これらの ISS デジカメ画像は言わば「見えたまま」の画像であり、カメラの向きや画角、歪み、撮像時刻などの「カメラパラメータ」の情報が存在しない。そのため、各ピクセルの地理座標上での位置情報 (ジオロケーション) が分からず、地球科学のデータとしては完全に「捨てられて」きた。本研究は、「ISS デジカメ画像のジオロケーションを決定する手法」を確立し、科学データとして再生することを目的として実施した。最終的には、ISS において取得されているような商用カラーデジタルカメラのデータをオーロラの科学研究に用いるというアプローチを、「市民参加型のプロジェクト」として推進し、市民サイエンスとしてのオーロラ科学の新しい方向性を開拓することを発展的課題として設定した。

## 3. 研究の方法

ISS デジカメ画像中の街明かりをマーカーにすることで、カメラの向きや画角などの「カメラパラメータ」を決定した。ISS からのデジカメ撮像によって得られた「見えたままの元画像」とは別に、街明かりの全球画像を用意し、ISS からある撮像パラメータで地球を撮像したときに得られる (であろう) 「仮想観測画像」を作成した。見えたままの元画像と仮想観測画像の双方で、街明かりが同じ場所に現れるようになるまで反復収束計算を行い、カメラパラメータを決定する作業を行った。その結果、デジカメ画像を地理座標上 (緯度経度座標上) にマッピングすることが可能になった。並行して、カラーデジタルカメラの画像からオーロラ電子のエネルギーを求める手法の開発を行った。オーロラは、降下電子のエネルギーによって発光色が異なる。この性質を用いて、デジカメ画像の RGB 色空間情報からオーロラ電子のエネルギーを推定する手法を新たに考案した。具体的には、デジタルカメラの RGB チャンネルの発光強度の比から電のエネルギーを逆算する手法のフィージビリティを検証した。最終的には、ジオロケーション情報が得られている ISS デジカメ画像に対してこの手法を適用し、オーロラ電子エネルギーの広域マップを導出した。

## 4. 研究成果

ISS からデジタルカメラを用いて撮像されたディスクリートオーロラ、ディフューズオーロラを含む画像について、街明かりとの比較からカメラパラメータを決定し、地理座標上にマップする作業を行った (図 1)。このジオロケーション作業によって得られた緯度・経度情報に従って、ディスクリートオーロラを 100 km 高度にマッピングし、観測領域の近傍にある地上カメラとの比較を行うことによって、マッピングの精度がオーロラのサイエンスを行うために十分なものであることを確認した。また、脈動オーロラと呼ばれる数秒から数十秒で明滅を繰り返すオーロラについても、ISS デジカメ画像を用いた時系列解析を行い、地上からの観測と整合的な時間変動を可視化することに成功している (図 2)。これらの成果は、ISS からのデジタルカメラ画像がディスクリートオーロラのような微細な空間構造を有するオーロラだけでなく、脈動オーロラのような激しく時間変化するオーロラにも適用可能であることを示すものである。この結果は、Journal of Geophysical Research 誌において発表されており (引用文献 ①)、デジタルカメラ画像のオーロラ科学への活用の意義を示すものとして評価されている。

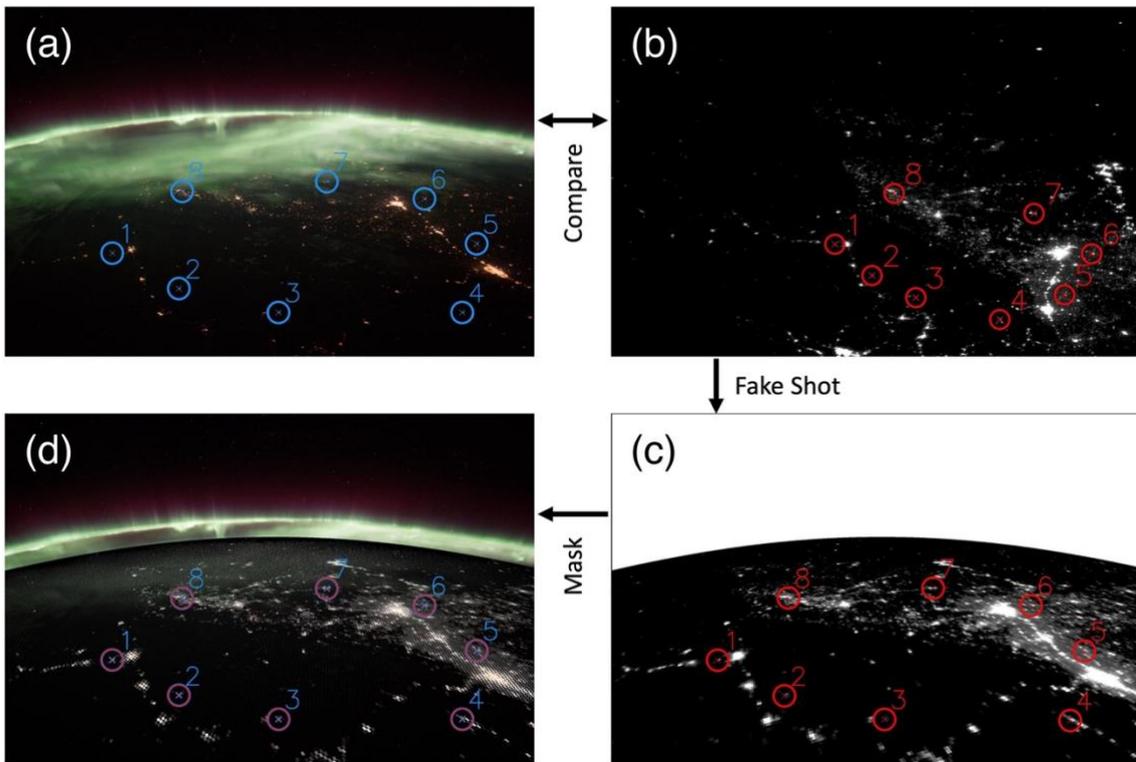


図1：ISS から撮影されたリム方向オーロラ画像のジオロケーション作業のフロー (DMSP 衛星から撮影された都市の光画像を使用)，(a) 2017 年 9 月 28 日 07:44:23 UT に ISS から撮影されたオーロラ画像，青い円で囲まれた都市の光がキャリブレーションに使用された，(b) ISS から撮影された対応する地域の DMSP 衛星から撮影された街明かりの画像，(c) 仮定されたパラメータセットを使用して (b) を処理して得られた仮想観測画像，(d) (b) を (a) に重ね合わせた画像，ここでは，青と赤の円で囲まれた都市の位置の平均距離を計算し，最適なパラメータセットを推定している。

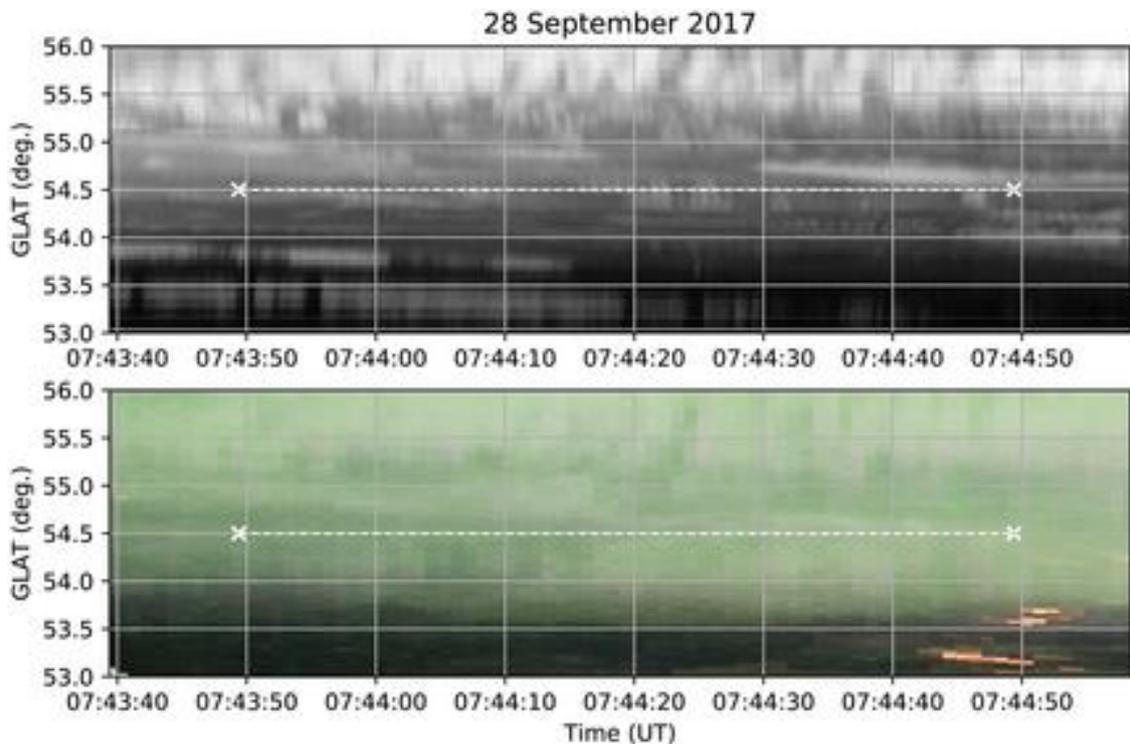


図2：ISS からのデジタルカメラ観測および地上カメラによる脈動オーロラの同時観測事例。(a) 地上からの CCD カメラによる脈動オーロラの観測例，全天カメラの視野の南北断面の時系列を示している。内部に見られる縞状の構造が数秒から数十秒で明滅する脈動オーロラを示している。(b) 同じ領域を観測している ISS デジタルカメラのカラー画像。地上観測と同様の縞状構造を見て取ることができる。

上述のマッピング手法を用いて、ISS からのデジタルカメラ観測で得られた画像の RGB チャンネルの発光強度比を用いて、オーロラ降下電子エネルギーを定性的に求めることに取り組んだ。特に、G チャンネルと B チャンネルの比に着目することで、脈動オーロラと呼ばれる発光強度が時間的に変動するオーロラについてエネルギー推定を行い、脈動オーロラが明るくなった時間帯に、より高いエネルギーの電子が降下していることを示した (図 3)。この成果を Journal of Geophysical Research 誌に発表し (引用文献 ②)、国際学会でも報告を行った。

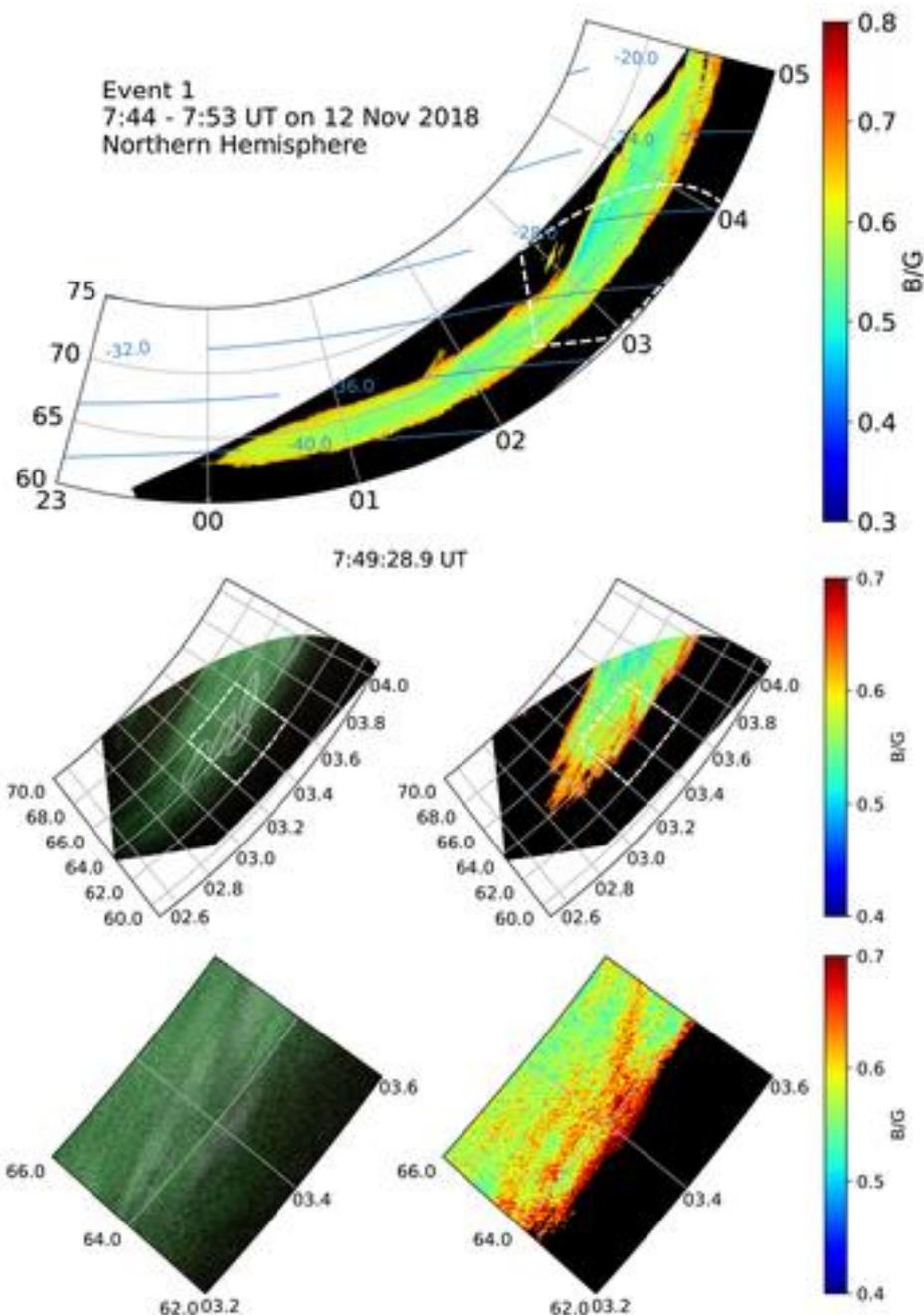


図 3 : ISS からのデジタルカメラ画像の B チャンネルと G チャンネルの比を計算し、地図上にマッピングした結果。低緯度側の領域において、B/G 比が高くなり、高いエネルギーのオーロラ電子が降り込んで来ていることを示している。下側の 4 枚のパネルは、高いエネルギーの電子が降り込んで来ている部分を拡大したものであるが、その領域において脈動オーロラが発生し、脈動オーロラパッチの内部において B/G 比が大きくなっていることが分かる。

これらの作業と並行して、ノルウェートロムソにおいて、ISS に搭載されているものと同型のデジタルカメラによる地上実験を行うための観測システムの開発を行った。その過程では、機械学習を用いたオーロラの自動判定システムを構築し、オーロラが発生したときのみ高時間分解能で観測を行う仕組みを実装することに成功した。自動判定を行う際に、これまでに撮影された 8 万枚を超えるデータを目視で分類することで教師データを作成し、深層学習モデルをチューニングすることで、オーロラの有無だけでなく、オーロラの形態の識別までを行うことができ

る分類器を作成した (図 4)。この分類器を 10 年分の観測データに適用することによって、オーロラの発生率の年変動、月変動、世界時変動を導出し、肉眼を使用して得られた結果を再現できることを示した。この分類器は、検証データを使用した評価においても 93% 以上の高い F1 スコアを示しており、専門家の目と同等の性能を持っていることが確認されている。さらに、この分類器を用いてオーロラの出現状況をリアルタイムに通知するウェブアプリケーション「Tromsø AI (tromsoe-ai.cei.uec.ac.jp)」を公開することで、市民科学の枠組みにおける商用デジタルカメラ観測の科学研究への活用貢献している。このオーロラ自動判定システムは、Scientific Reports 誌に論文として発表され (引用文献 ③)、プレスリリースを通じて、中日新聞などのメディアに取り上げられた。

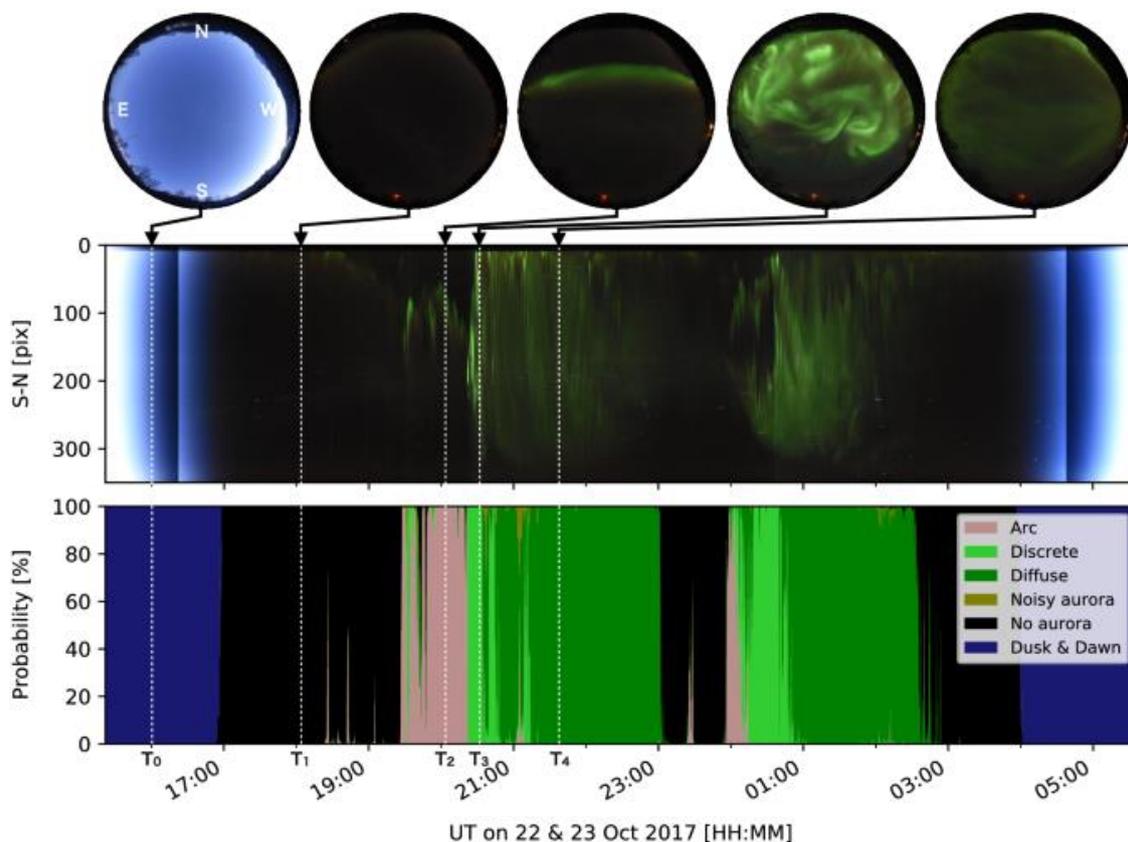


図 4: 深層学習を用いてオーロラの出現, および形態を自動的に判定するシステムの応用例

<引用文献>

- ① 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
- ② 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
- ③ 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

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Nanjo Sota, Nozawa Satonori, Yamamoto Masaki, Kawabata Tetsuya, Johnsen Magnar G., Tsuda Takuo T., Hosokawa Keisuke	4. 巻 12
2. 論文標題 An automated auroral detection system using deep learning: real-time operation in Troms?, Norway	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-11686-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Nanjo Sota, Hozumi Yuta, Hosokawa Keisuke, Kataoka Ryuho, Miyoshi Yoshizumi, Oyama Shin ichiro, Ozaki Mitsunori, Shiokawa Kazuo, Kurita Satoshi	4. 巻 126
2. 論文標題 Periodicities and Colors of Pulsating Auroras: DSLR Camera Observations From the International Space Station	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2021JA029564	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nanjo Sota, Hozumi Yuta, Hosokawa Keisuke, Kataoka Ryuho, Miyoshi Yoshizumi, Oyama Shin ichiro, Ozaki Mitsunori, Shiokawa Kazuo, Kurita Satoshi	4. 巻 125
2. 論文標題 Fine Scale Visualization of Aurora in a Wide Area Using Color Digital Camera Images From the International Space Station	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2019JA027729	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hosokawa K., Oyama S. I., Ogawa Y., Miyoshi Y., Kurita S., Teramoto M., Nozawa S., Kawabata T., Kawamura Y., Tanaka Y. M., Miyaoka H., Kataoka R., Shiokawa K., Br?ndstr?m U., Turunen E., Raita T., Johnsen M. G., Hall C., Hampton D., Ebihara Y., Kasahara Y., Matsuda S., Shinohara I., Fujii R.	4. 巻 128
2. 論文標題 A Ground Based Instrument Suite for Integrated High Time Resolution Measurements of Pulsating Aurora With Arase	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2023JA031527	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsurutani Bruce T., Zank Gary P., Sterken Veerle J., Shibata Kazunari, Nagai Tsugunobu, Mannucci Anthony J., Malaspina David M., Lakhina Gurbax S., Kanekal Shrikanth G., Hosokawa Keisuke, Horne Richard B., Hajra Rajkumar, Glassmeier Karl-Heinz, Gaunt C. Trevor, Chen Peng-Fei, Akasofu Syun-Ichi	4. 巻 51
2. 論文標題 Space Plasma Physics: A Review	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Plasma Science	6. 最初と最後の頁 1595 ~ 1655
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TPS.2022.3208906	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nanjo S., Ebukuro S., Nakamura S., Miyoshi Y., Kurita S., Oyama S. I., Ogawa Y., Keika K., Kasahara Y., Kasahara S., Matsuoka A., Hori T., Yokota S., Matsuda S., Shinohara I., Wang S. Y., Kazama Y., Jun C. W., Kitahara M., Hosokawa K.	4. 巻 128
2. 論文標題 An Implication of Detecting the Internal Modulation in a Pulsating Aurora: A Conjugate Observation by the Arase Satellite and All Sky Imagers	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2023JA031499	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chen L., Shiokawa K., Miyoshi Y., Oyama S., Jun C. W., Ogawa Y., Hosokawa K., Kazama Y., Wang S. Y., Tam S. W. Y., Chang T. F., Wang B. J., Asamura K., Kasahara S., Yokota S., Hori T., Keika K., Kasaba Y., Kumamoto A., Tsuchiya F., Shoji M., Kasahara Y., Matsuoka A., Shinohara I., Nakamura S.	4. 巻 128
2. 論文標題 Correspondence of Pi2 Pulsations, Aurora Luminosity, and Plasma Flux Fluctuation Near a Substorm Brightening Aurora: Arase Observations	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2023JA031648	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fukizawa Mizuki, Tanaka Yoshimasa, Ogawa Yasunobu, Hosokawa Keisuke, Raita Tero, Kauristie Kirsti	4. 巻 41
2. 論文標題 Three-dimensional ionospheric conductivity associated with pulsating auroral patches: reconstruction from ground-based optical observations	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Annales Geophysicae	6. 最初と最後の頁 511 ~ 528
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/angeo-41-511-2023	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 南條壮汰, Urban Brandstrom, 津田卓雄, 青木猛, 細川敬祐
2. 発表標題 AI とジンバルを用いたアクティブなオーロラ観測システムの開発と運用
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南條壮汰, 細川敬祐, 野澤悟徳, Magnar G. Johnsen
2. 発表標題 深層学習を用いたオーロラの自動検出システム：ノルウェー・トロムソにおけるリアルタイム運用
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2021 年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋一輝, 南條壮汰, 穂積裕太, 細川敬祐, 三好由純
2. 発表標題 国際宇宙ステーションからのデジタルカメラ撮像データを用いた孤立型プロトンオーロラ鉛直構造の推定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2021 年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 南條壮汰, 田中杜雄, 佐藤夏雄, 穂積裕太, 細川敬祐, 片岡龍峰, 三好由純, 大山伸一郎, 尾崎光紀, 塩川和夫, 栗田怜
2. 発表標題 ISS から観測された “Great Wall” オーロラの生成メカニズム
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2021 年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 南條壮汰, 野澤悟徳, 山本雅毅, 川端哲也, Magnar G. Johnsen, 津田卓雄, 細川敬祐
2. 発表標題 Tromsø AI: ノルウェー・トロムソにおけるオーロラのリアルタイム検出システム
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) 第 150 回総会及び講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sota Nanjo, Satonori Nozawa, Masaki Yamamoto, Tetsuya Kawabata, Magnar G. Johnsen, Takuo T. Tsuda, Keisuke Hosokawa
2. 発表標題 Tromsø AI: real-time notification service of auroral appearance in Tromsø, Norway
3. 学会等名 American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nanjo, S., N. Sato, Y. Hozumi, K. Hosokawa, R. Kataoka, Y. Miyoshi, S.-I. Oyama, M. Ozaki, K. Shiokawa and S. Kurita
2. 発表標題 Estimation of energy of precipitating electrons causing pulsating aurora and omega band: Digital camera observations from ISS
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 南條壮汰, 佐藤夏雄, 穂積裕太, 細川敬祐, 片岡龍峰, 三好由純, 大山伸一郎, 尾崎光紀, 塩川和夫, 栗田怜
2. 発表標題 国際宇宙ステーションからのリム方向デジカメ観測を用いたオーロラ電子のエネルギー推定
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) 第 148 回総会及び講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 南條壯汰, 穂積裕太, 細川敬祐, 片岡龍峰, 三好由純, 大山伸一郎, 尾崎光紀, 塩川和夫, 栗田怜
2. 発表標題 国際宇宙ステーションからのデジカメ観測による脈動オーロラの広域空間特性
3. 学会等名 宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nanjo, S., N. Sato, Y. Hozumi, K. Hosokawa, R. Kataoka, Y. Miyoshi, S.-I. Oyama, M. Ozaki, K. Shiokawa and S. Kurita
2. 発表標題 “Great Wall” seen in the omega band: full-color digital camera observation from the International Space Station
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nanjo, S., Y. Hozumi, K. Hosokawa, R. Kataoka, Y. Miyoshi, S.-I. Oyama, M. Ozaki, K. Shiokawa and S. Kurita
2. 発表標題 Full-scale spatial characteristics of pulsating aurora derived from color digital camera images from the International Space Station
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 南條壯汰, 山内正敏, Magnar G. Johnsen, 横山佳弘, Urban Branstrom, 細川敬祐
2. 発表標題 夜側で観測されたショックオーロラを構成する 3 種類の発光とその時空間発展
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会(SGEPSS)2023 年秋季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hosokawa, K., S. Kurita, Y. Miyoshi, S.-I. Oyama, Y. Ogawa, M. Ozaki, Y. Kasahara, Y. Kasaba, S. Yagitani, S. Matsuda, F. Tsuchiya, A. Kumamoto, I. Shinohara and R. Fujii
2. 発表標題 Ring-shaped expanding pulsating aurora: simultaneous observations with Arase
3. 学会等名 35th URSI General Assembly and Scientific Symposium 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nanjo, S., U. Branstrom, T. T. Tsuda, T. Aoki, and K. Hosokawa
2. 発表標題 An AI-based auroral observation using a wide angle digital camera mounted on a gimbal
3. 学会等名 47th Annual European Meeting on Atmospheric Studies by Optical Methods (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 南條壮汰, G.A. Hofstra, 野澤悟徳, 塩川和夫, 川端哲也, 細川敬祐
2. 発表標題 Post-midnight にオーロラオーバルの極側で見られた STEVE のような発光の事例解析
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 (JpGU) 2023 年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 南條壮汰, U. Branstrom, T. Sergienko, 津田卓雄, 青木猛, 細川敬祐
2. 発表標題 広角レンズを装着したデジカメとジンバルを用いたオーロラの観測:BROR ロケット実験との同時観測を含めた観測例の紹介
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 (JpGU) 2023 年大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Tromsøe AI https://tromsøe-ai.cei.uec.ac.jp
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	野澤 悟徳 (Nozawa Satonori) (60212130)	名古屋大学・宇宙地球環境研究所・准教授  (13901)	
研究分担者	津田 卓雄 (Tsuda Takuo) (90444421)	電気通信大学・大学院情報理工学研究所・准教授  (12612)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ノルウェー	University of Tromsøe			
スウェーデン	Swedish Institute of Space Physics			