

令和 4(2022)年 8 月 26 日

大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 国立極地研究所

国立大学法人東北大学

国立大学法人電気通信大学

## コンピュータトモグラフィにより脈動オーロラの3次元構造の復元に成功！

国立極地研究所の吹澤瑞貴特任研究員、田中良昌特任准教授、小川泰信教授を中心とする、東北大学、電気通信大学などの研究グループは、北欧の 3 地点で観測されたオーロラ画像に、医療診断の分野で多く用いられているコンピュータトモグラフィ(CT)の手法を適用し、脈動オーロラ(注 1)の 3 次元構造を復元することに世界で初めて成功しました(図 1)。さらに、宇宙空間から地球大気中に降り込んでオーロラ発光を引き起こす電子の 2 次元分布の復元にも成功し、その時空間変動を明らかにしました。

最近の研究で、脈動オーロラの発生時には、電離圏(注 2)に降下してオーロラを光らせる電子のほかに、より高エネルギーの電子も降下して成層圏のオゾン破壊を誘発すると示唆されています。本成果は、脈動オーロラ発生中の電子降下の全体像を理解することにつながると期待されます。

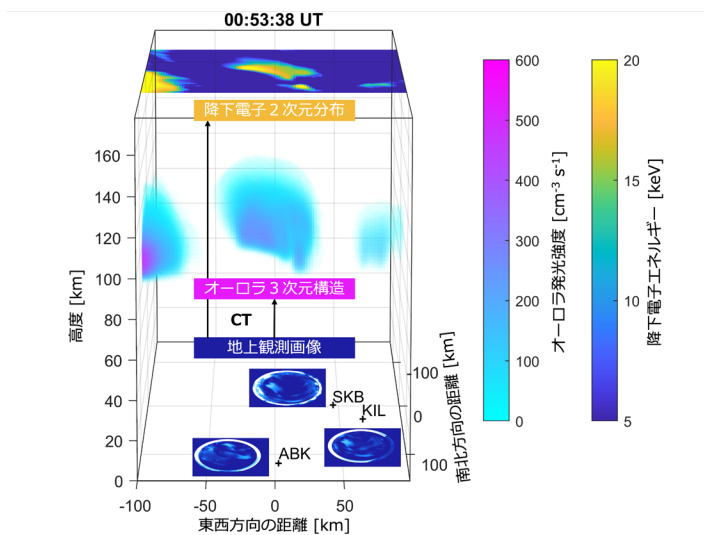


図 1: 地上 3 地点で観測されたオーロラ 2 次元画像にコンピュータトモグラフィ(CT)を適用することで復元された脈動オーロラの 3 次元構造と降下電子エネルギーの 2 次元分布。

## <研究の背景>

その美しい輝きで人々を魅了するオーロラは、宇宙空間から地球大気中に降り込んできた電子（降下電子）が地球大気中の窒素や酸素などの粒子と衝突することで発光します。最近の研究では、脈動オーロラが発生しているとき、同時に成層圏のオゾン破壊に関与するような高エネルギー電子が地球大気中に降下していることが示唆されており、注目を集めています。これまで、オーロラ発光を引き起こす降下電子は、オーロラ発光領域内や発光領域上空を飛翔する観測ロケットや科学衛星などによって直接観測されてきました。しかし、これらの飛翔体は高速で移動しながら観測を行うため、観測されたデータの変動が時間変化によるものか、それとも空間変化によるものか区別することができませんでした。また、飛翔体での観測はその軌道上に限られるため、3次元的に広がる脈動オーロラ発光の構造や降下電子の空間分布も明らかにされていませんでした。

## <成果の内容>

本研究では、脈動オーロラの3次元構造とオーロラ発光を引き起こす降下電子の2次元分布の時空間変動を明らかにするために、医療診断の分野でよく用いられるコンピュータモグラフィ(CT)解析手法を応用しました。CTは複数の方向から撮影された2次元画像から元の3次元構造を復元する手法です。本研究グループは、北欧の3地点に設置されたオーロラ観測用の高感度カメラ(図2)によって同時に観測された脈動オーロラの連続画像(動画1)に対してCT解析を行い、脈動オーロラの3次元構造が時々刻々と変化する様子の可視化に世界で初めて成功しました(動画2)。復元された3次元構造は、大型大気レーダー「EISCATレーダー」(図3、注3)による電離圏の電子密度の観測結果を精度良く再現できていることが確かめられました。

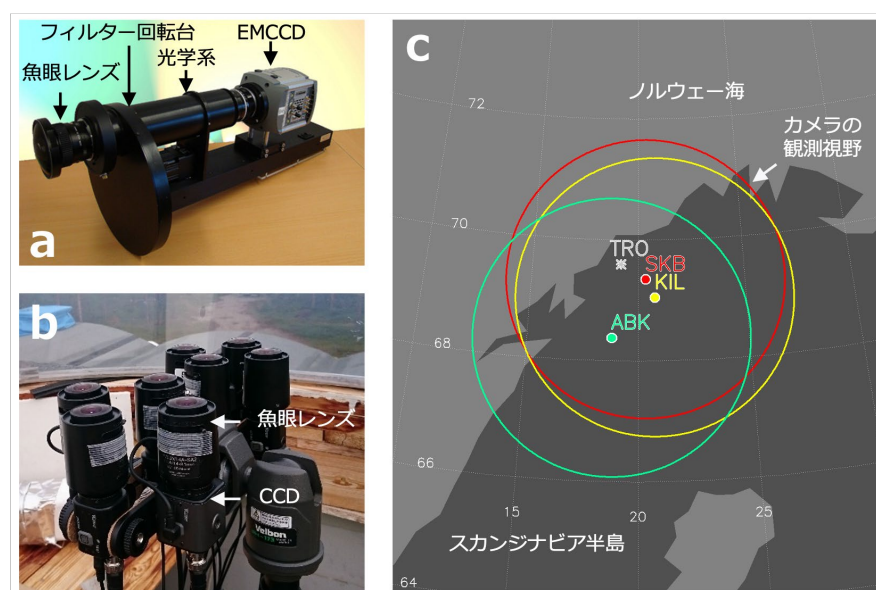
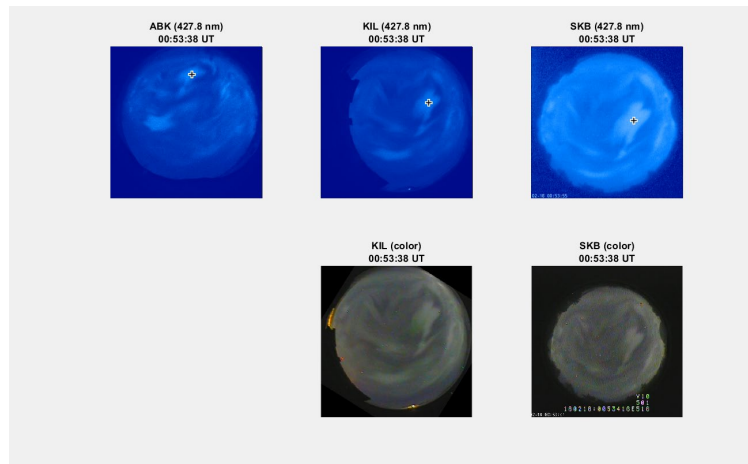
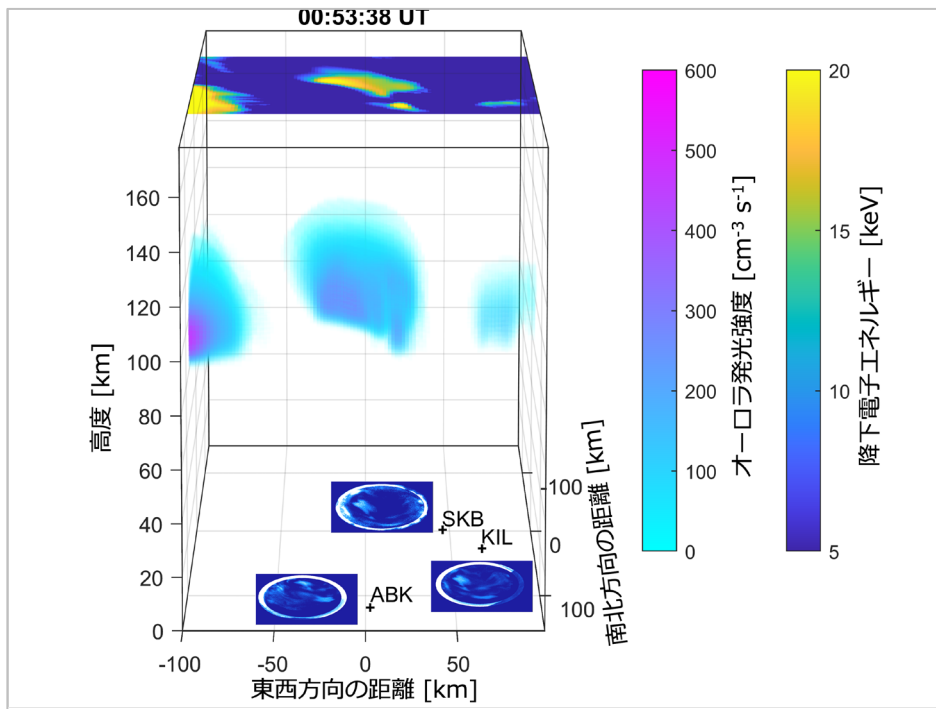


図 2: (a)スウェーデンのアビスコ(ABK)、フィンランドのキルピスヤルヴィ(KIL)、(b) ノルウェーのシーボトン(SKB)に設置されているオーロラ観測用高感度カメラ(a: フィンランド気象研究所より写真提供。b: 小川泰信教授撮影)。(c) ABK、KIL、SKBの地図上の位置と高度 100 km に投影した a と b のカメラの観測視野。EISCATレーダーが設置されているノルウェーのトロムソ(TRO)の位置も示す。



動画 1(国立極地研究所ウェブサイト <https://www.nipr.ac.jp/info/notice/20220826.html> で閲覧可能):  
 世界標準時(注 5)2018 年 2 月 18 日 0 時 0 分~1 時 30 分にスウェーデンのアビスコ(ABK)、フィンランドのキルピスヤルヴィ(KIL)、ノルウェーのシーボトン(SKB)に設置されたカメラによって観測されたオーロラの全天画像(上段:波長 427.8 nm の窒素分子イオン発光の画像。下段:カラー画像)。プラスマークは EISCAT レーダーの観測点を表す。カラー画像はオーロラと雲を識別するために用い、コンピュータトモグラフィ(CT)解析には世界標準時 0 時 54 分 30 秒~0 時 54 分 42 秒の波長 427.8 nm の画像を用いた。



動画 2(国立極地研究所ウェブサイト <https://www.nipr.ac.jp/info/notice/20220826.html> で閲覧可能):  
 地上 3 地点のオーロラ観測画像を基にコンピュータトモグラフィ(CT)解析により復元されたオーロラ発光の 3 次元構造と降下電子エネルギーの 2 次元分布の復元結果。

さらに、CT 解析にオーロラ発光モデルを組み込むことで、脈動オーロラ発光を引き起こす降下電子のエネルギーの 2 次元分布の復元にも世界で初めて成功しました。復元したデータから、斑点状の脈動オーロラ中で、降下電子のエネルギーが高い領域が時間によって変化していることが明らか

となりました(動画 2)。降下電子のエネルギーは宇宙空間の磁場やプラズマの環境に依存します。本研究により、降下電子のエネルギーという遠く離れた宇宙空間の物理量を、地上に設置されたカメラから遠隔で観測することが可能となりました。



図 3: ノルウェーのトロムソに設置されている大型大気レーダー「EISCAT レーダー」。

#### <今後の展望>

観測ロケットや科学衛星による観測に比べて、地上でのカメラによる観測は、安価で簡単に設置でき、しかも長時間の連続観測が可能です。実際に、今回研究に用いた北欧のカメラ以外にも、北米や南極大陸など極域の多くの地点にオーロラ観測用の高感度カメラが設置され、多くのオーロラ画像データが蓄積されています。今後は、これらの大量のデータを網羅的に解析し、オーロラ物理学の理解を進める上で重要な情報を抽出することが求められています。本研究グループは、本研究によって確立した CT 解析手法を、脈動オーロラに限らずカーテン状オーロラなど様々なオーロラに適用し、それぞれのオーロラの 3 次元構造や降下電子分布の統計的な解明を進めていく予定です。

また、2023 年 1 月頃には EISCAT\_3D レーダー(図 4、注 4)という世界最先端の大型大気レーダーによって電離圏大気の 3 次元観測が始まります。この EISCAT\_3D レーダーによって取得される 3 次元データと、本研究の CT 解析から得られたオーロラ 3 次元構造を組み合わせることで、オーロラ発光を介して地球超高層大気と宇宙空間を繋ぐ電流構造の可視化にも取り組む予定です。オーロラに伴い流れる電流は宇宙空間のプラズマの運動に影響を与えるため、宇宙空間のプラズマ運動学やオーロラの形態学の理解が進むことが期待されます。さらに、EISCAT\_3D レーダーのデータを用いることで、オーロラを発光させる電子よりも高エネルギーの電子の復元も可能になります。脈動オーロラ発光中には成層圏のオゾン破壊を誘発する高エネルギー電子が降下することも報告されており、本研究をさらに発展させることで地球環境変化の理解にも貢献することが期待されます。

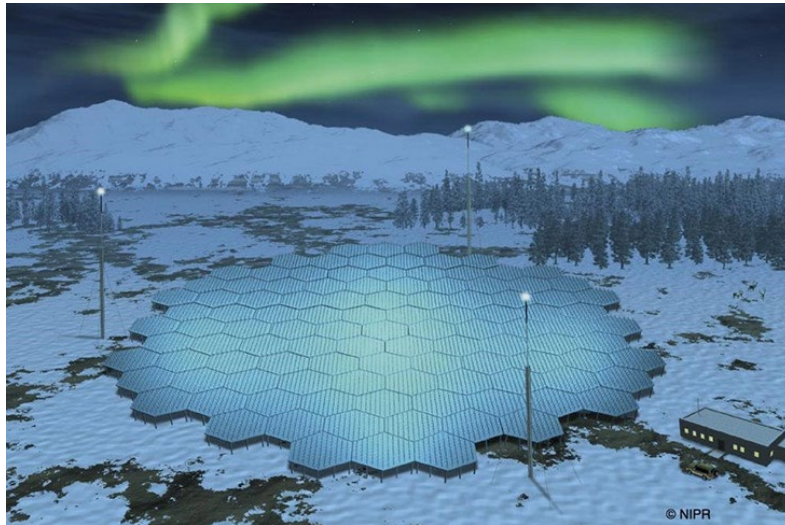


図 4: 2023 年から観測開始予定の「EISCAT\_3D レーダー」のイメージ図

< 研究サポート >

本研究は JSPS 科研費 (JP17K05672, JP20J11829, JP21H01152) の助成を受けて実施されました。

< 注 >

注 1: 脈動オーロラ

数秒から数十秒で準周期的に脈を打つように点滅するオーロラで、真夜中付近から昼間側まで広い範囲で発生する。

注 2: 電離圏

高度約 60~1000 km の地球大気の一部が電子とイオンに電離した電離気体のこと。オーロラの発光高度は約 100~300 km である。

注 3: EISCAT レーダー

ノルウェーのトロンソに設置されている大型大気レーダー。日本、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、英国、中国の 6 ヶ国による EISCAT 科学協会が運営。大型のパラボラアンテナを用いて強力な電波を上空に向けて発射し、大気中で散乱され戻ってきた微弱な電波を検出することで電離圏の観測をする。

注 4: EISCAT\_3D レーダー

EISCAT\_3D レーダーは、EISCAT 科学協会を中心とした国際共同計画により、1 万本のアンテナから構成される世界最先端のフェーズドアレイ式非干渉散乱レーダーであり、北欧の 5 地点に設置する計画である。EISCAT\_3D レーダーは、従来の EISCAT レーダーの 100 倍の性能を有し、電

離圏の 3 次元的な観測を時間分解能良く行う予定である。

注 5: 世界標準時

イギリスのグリニッジ天文台を通る経度 0 度の本初子午線上において、各季節に太陽が南中する時刻の平均を正午と定めた時間。ノルウェーとスウェーデンの地方時は世界標準時+1 時間、フィンランドの地方時は世界標準時+2 時間。略称は UT (Universal Time の略)。

< 発表論文 >

掲載誌: *Annales Geophysicae*

タイトル: Reconstruction of precipitating electrons and three-dimensional structure of a pulsating auroral patch from monochromatic auroral images obtained from multiple observation points

著者:

吹澤 瑞貴 (国立極地研究所 宙空圏研究グループ 特任研究員)

坂野井 健 (東北大学大学院理学研究科 准教授)

田中 良昌 (国立極地研究所 宙空圏研究グループ 特任准教授)

小川 泰信 (国立極地研究所 宙空圏研究グループ 教授)

細川 敬祐 (電気通信大学大学院情報理工学研究科 教授)

Björn Gustavsson (ノルウェー北極大学 - トロムソ大学 教授)

Kirsti Kauristie (フィンランド気象研究所 グループ長)

Alexander Kozlovsky (オウル大学ソダンキラ地球物理観測所 研究員)

Tero Raita (オウル大学ソダンキラ地球物理観測所 研究員)

Urban Brändström (スウェーデン宇宙物理学研究所 研究員)

Tima Sergienko (スウェーデン宇宙物理学研究所 研究員)

DOI: 10.5194/angeo-40-475-2022

URL: <https://angeo.copernicus.org/articles/40/475/2022/>

論文公開日: 2022 年 7 月 12 日

お問い合わせ先

(研究内容について)

国立極地研究所 宙空圏研究グループ 特任研究員 吹澤 瑞貴(ふきざわ みずき)

TEL:042-512-0760

E-mail: fukizawa.mizuki@nipr.ac.jp

国立極地研究所 宙空圏研究グループ 特任准教授 田中 良昌(たなか よしまさ)

E-mail: ytanaka@nipr.ac.jp

国立極地研究所 宙空圏研究グループ 教授 小川 泰信(おがわ やすのぶ)

E-mail: yogawa.mizuki@nipr.ac.jp

東北大学大学院理学研究科 地球物理学専攻 惑星プラズマ・大気研究センター

准教授 坂野井 健(さかのい たけし)

E-mail: tsakanoi@pparc.gp.tohoku.ac.jp

電気通信大学大学院情報理工学研究科 情報・ネットワーク工学専攻

教授 細川 敬祐(ほそかわ けいすけ)

E-mail: keisuke.hosokawa@uec.ac.jp

(報道について)

国立極地研究所 広報室

TEL: 042-512-0655 FAX: 042-528-3105 E-mail: kofositu@nipr.ac.jp

東北大学大学院理学研究科 広報・アウトリーチ支援室

TEL: 022-795-6708 E-mail: sci-pr@mail.sci.tohoku.ac.jp

電気通信大学 総務企画課 広報係

TEL:042-443-5019 FAX:042-443-5887 E-mail: kouhou-k@office.uec.ac.jp