

# 日本天文学会早川幸男基金渡航報告書

2019年03月10日採択

申請者氏名	和田有希 (会員番号 6421)
連絡先住所	〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学理学部1号館 611号室
所属機関	東京大学
職あるいは学年	D2: 学振
任期 (再任昇格条件)	2年 (再任不可)
渡航目的	招聘セミナー / 学会ポスター発表 / 共同研究
講演・観測・研究題目	プラハでの招聘セミナー: 日本における高エネルギー大気現象の地上観測 / ウィーンでのポスター発表: Estimated Number of Avalanche Electrons in a Downward TGF during Winter Thunderstorms / パリでの共同研究: Taranis衛星による地球ガンマ線フラッシュの観測
渡航先 (期間)	チェコ / オーストリア / パリ (2019年4月3日~4月17日)

私の専門は雷における高エネルギー現象の観測である。雷と天文学は一見してあまり関係がないように思われるが、雷や雷雲における高エネルギー現象を扱う学際領域「高エネルギー大気物理学」には、宇宙物理学・天文学のバックグラウンドをもつ研究者が多く関わっている。雷放電に同期して放出される強力で瞬間的な「地球ガンマ線フラッシュ」(terrestrial gamma-ray flash: TGF) は、1994年にアメリカ航空宇宙局のガンマ線天文衛星コンプトンで偶然に発見された。地球から到来するガンマ線は10 MeV以上に伸びるべき型のスペクトルをもち、雷放電における強電場領域で、大量の電子が瞬間的に相対論的なエネルギーまで加速され、その制動放射が軌道上の衛星まで到達している。これまで RHESSI、AGILE、Fermi といったガンマ線に感度をもつ歴代の天文衛星によって観測されており、TGFの観測に特化した ASIM や Taranis といったミッションも稼働中・計画中である。近年では宇宙からだけではなく、雷雲から地上に向かって放出される下向きの TGF も地上で観測されている。

強力で瞬間的な TGF とは対比的に、雷雲から数分以上にわたって到来する高エネルギー現象も観測され、我々は「ロングバースト」と呼んでいる。ロングバーストは雷雲内に準安定的に存在する強電場によって、やはり電子が相対論的な速度まで加速され、制動放射が地上に向かって放出される現象と考えられている。TGFほど明るい現象ではないため、観測するには雷雲に接近する、あるいは雷雲の中に入る必要があり、航空機や山岳での観測が行われている。近年ではアルメニアの研究グループが、標高3200 mのアラガツ山中腹に設置した太陽中性子望遠鏡を転用して観測を行っている。また日本の冬季においては北陸の日本海沿岸で雷が多発する。冬季雷では一般に雷雲が地上近くで発達するため、ロングバーストを地上で観測しやすい。そこで我々は2006年より新潟県柏崎市や石川県金沢市を中心に冬季雷での高エネルギー現象を観測する Gamma-Ray Observation of Winter Thunderclouds (GROWTH) 実験を行っている。電場は電子を直接加速できる

基本的な粒子加速機構であり、超新星残骸や太陽フレアなどでも機能することが示唆されている。しかし、電場は遮蔽のため遠方から観測することが難しい。その点で「その場観測」が唯一可能な雷雲や雷放電は、自然界における電場加速機構を代表する存在である。

今回の渡航では、まず 2019 年 4 月 3 日から 8 日までチェコの首都プラハにあるチェコ科学アカデミー 原子核物理研究所 放射線計測部門を訪問し、セミナーを行った。放射線計測部門はヨーロッパ連合が出資する「宇宙線・大気放射線研究センター」(CRREAT)の拠点である。2018 年 9 月にアルメニアで開催された国際会議で、CRREAT の副ディレクターである Ondřej Ploc 氏とお会いし、セミナーへ招待していただく運びとなった。セミナーではこれまで日本の冬季雷で観測してきた高エネルギー現象について紹介し、冬季雷という特徴的な気象現象について多くの質問を頂いた。CRREAT では無人飛行機による雷雲中の観測を計画しており、滞在中にはどのように無人機を運用するか、どのような検出器を搭載するか議論を行った。我々は地上観測用に手のひらサイズのデータ取得系を開発しており、これをセミナー中にデモンストレーションしたところ、その手軽さとコンパクトさに多くの参加者が驚いたようである。現在はドローンに搭載できるかの検討を含めた国際共同研究を実施できないか協議を進めている。

セミナーの翌日にはプラハの北西 60 km、ドイツ国境にほど近いミレシヨフカ山 (標高 837 m) へ遠足に向かった。山頂には気象観測施設が建設されており、また最近ではガンマ線観測機も設置され、雷雲における高エネルギー現象の観測も行っている。東京大学宇宙線研究所乗鞍観測所のように山頂まで車で登れるものかと思っていたら、実際は標高 400 m 地点で車を降り、荷物を簡易なケーブルカーへ載せ、参加者は徒歩で 1 時間ほどかけて登山した。おかげさまで時差ボケは吹っ飛び、また山頂で頂いたチェコビールと参加者お手製のシュニツェルは忘れられない味となった。

8 日にはプラハからオーストリア・ウィーンへチェコ国鉄の高速鉄道 RailJet にてウィーンへ向かい、ヨーロッパ地球惑星科学連合 (EGU) 2019 年大会に参加した。EGU は毎年 4 月にウィーンで開催され、12 月に開催されるアメリカ地球物理学連合大会と並んで地球・惑星科学のすべての分野について活発な議論が行われる巨大な学会である。私は「Atmospheric Electricity, Thunderstorms, Lightning and their effects」というセッションにおいて「Estimated Number of Avalanche Electrons in a Downward TGF during Winter Thunderstorms」というタイトルでポスター発表を行った。この発表では地上観測した TGF の吸収線量とモンテカルロ・シミュレーションを組み合わせることにより、TGF において加速された総電子数を推定した結果を示した。TGF は先述のように宇宙観測では頻繁に検出されているものの、観測範囲の狭い地上観測では、その例は決して多くない。また発生源から観測機器までの距離が近いため、検出器が飽和するという問題も起きる。そこで我々は、原子力発電所モニタリングポストの高線量計を用いて検出器を飽和させることなく吸収線量を計測し、一方で従来の我々のシンチレーション検出器で発生のタイミングを計測し、今回のケースでは合計 4 発のガンマ線フラッシュが 2 ミリ秒間隔で発生していることを突き止めた。発表では主に総電子数の推定結果について報告したが、聴衆が興味をもったのは TGF が 4 発のフラッシュをもつ、という部分であった。ポスターセッションに先立つ口頭セッションでは 2018 年 4 月に国際宇宙ステーションへ搭載された TGF 観測専用のミッション ASIM の初期成果が報告され、会場は大いに沸いた。その中で、ASIM が観測した TGF は複数のフラッシュで構成されるものがあり、フラッシュの間隔はほとんど

どのケースで2ミリ秒だ、という報告がなされていた。私の発表はまさにその地上観測版であり、図らずもタイムリーな話題となった。ポスター発表では聴衆の数が限られるものの、濃密な議論を行うことができ、TGF研究の大家である Joseph R. Dwyer 氏や ASIM での TGF 観測をリードする Nikolai Østgaard 氏などと意見交換を行った。

11日にはウィーンからパリへ移動し、パリ第7大学宇宙論・宇宙線研究所 (APC 研究所) での打ち合わせに参加した。フランスではフランス宇宙科学研究センターが主導して全球での雷・TGF 観測を実現する衛星ミッション Taranis を推進しており、2020年前半に打ち上げ予定である。私は Taranis に搭載される X 線・ガンマ線・相対論電子検出器 (XGRE 検出器) の開発メンバーとして2018年に APC 研究所に長期滞在していた。今回の滞在では XGRE 検出器の共同 PI であり、Integral 衛星 IBIS 検出器の共同 PI も務める Philippe Laurent 氏ほかと打ち合わせを行い、検出器の開発状況、2019年9月に行われる衛星全体のキャリブレーションについての状況を確認した。また Laurent 氏は宇宙から雷を観測する Taranis とは相補的に、地上におけるガンマ線検出プロジェクト Belisama を立ち上げ、私はコアメンバーとして検出器開発に参加している。今回のパリ滞在期間中に2日間のキックオフワークショップが開催された。Belisama プロジェクトにおいては検出器をパリや近郊の高校に設置することで台数を稼ぎ、一方で高校の先生方や生徒たちに検出器や取得データを触ってもらうことで、放射線教育を行うという画期的なプログラムとなっている。ワークショップには研究者や高校の先生が参加し、1日目には Taranis や Belisama で期待される科学成果が報告された。2日目には参加者に検出器の組み立て方や使い方、解析の仕方を習得してもらう実習形式のプログラムを行い、私は検出器の解説などを行った。ワークショップにはフランス放射線防護・原子力安全研究所の François Trompier 氏も参加され、放射線の時間変動・スペクトルの両方が取得できる Belisama の小型検出器に興味を持っていただき、原子力発電の割合が大きいフランスでの放射線モニタリングにおいても我々の技術が有効であることを確認した。

15日間の3カ国に及ぶ長旅ではあったが、プラハ・パリにおける共同研究、ウィーンでの学会における濃密な議論と、とても充実した滞在にすることができた。この渡航を支援いただいた日本天文学会 早川幸男基金の関係者に深く感謝申し上げたい。現地でのトラブルは全くなかったが、パリ滞在中にノートルダム大聖堂の失火に遭遇した。前日にそばを通ったときには、また来る機会があるだろう、と思って通り過ぎたが、それがまさか最後になってしまうとはとても悲しいものである。実際に目撃した、燃える大聖堂とそれを祈るように見つめる市民・観光客の姿が今でも目に焼き付いている。今後数百年にわたって語り継がれるであろう歴史的な大惨事を目の当たりにした、貴重な経験となった、