

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：82401

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2020～2021

課題番号：20K21843

研究課題名(和文)シチズンサイエンスを活用した雷雲放射線の発生条件の解明

研究課題名(英文)Citizen science to elucidate the high-energy radiation mechanism from accelerated electrons in winter thunderstorms

研究代表者

榎戸 輝揚 (Enoto, Teruaki)

国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・理研白眉研究チームリーダー

研究者番号：20748123

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：日本海沿岸に冬季に到来する雷雲からガンマ線が検出されることがある。どのような雷雲でこのような現象が起きるかを系統的に調べるため、金沢の市街地に市民サポーターの協力を得て、シチズンサイエンスの枠組みで多地点の放射線マッピング観測網を構築した。このプロジェクトでは、小型でボタンひとつで動作する全自動の放射線モニター「コガモ」(Compact Gamma-ray Monitor)を開発して、市民サポーターに配布して測定を行うことができるようになってきた。本研究の期間内に、合計54台のコガモを展開し、送信データをサーバー上でリアルタイム解析して雷雲からのガンマ線の自動アラートを発出できるようになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自然放射線には、地球の誕生当初から存在する長寿命の放射性核種と、宇宙線に由来する成分がある。しかし、近年の研究で、雷雲や雷もその強い電場により電子を加速し第三の自然放射線源であるとわかってきた。雷雲からの放射線は人体には影響がないレベルと考えられるが、雷雲到来時に限っては地面や宇宙線よりも強い放射線が到来しており、環境放射線のよりよい理解のためには、定量化とどのような気象条件で発生するかの理解が大切である。本研究では、オープンサイエンスの枠組みを活用し、市民が参加でき、楽しむことのできるシチズンサイエンスとして、多地点の雷雲ガンマ線のマッピング観測網の構築を推進した意義が大きい。

研究成果の概要(英文)：In winter, gamma rays are sometimes detected from thunderclouds along the Japan Sea coast. In order to systematically investigate what kind of thunderclouds cause this phenomenon, a multi-point radiation mapping observation network was constructed in the framework of Citizen Science in the urban area of Kanazawa with the cooperation of citizen supporters. In this project, a small, one-button-operated, fully automatic radiation monitor called "Cogamo" (Compact Gamma-ray Monitor) has been developed and distributed to citizen supporters to make measurements. A total of 54 Cogamo modules were deployed within the timeframe of this program, and the transmitted data can now be analyzed in real-time on a server to issue automatic alerts for gamma radiation from thunderclouds.

研究分野：高エネルギー宇宙物理学

キーワード：シチズンサイエンス 高エネルギー大気物理学 雷雲ガンマ線 環境放射線 電子加速 雷雲プロジェクト gamma-ray glow citizen science

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

身の回りの環境放射線には、原発事故や核実験など人為的な由来を除けば、地球誕生時から存在する長寿命の天然放射性核種からと、絶えず降り注ぐ宇宙線からの2つの自然放射線が知られている。ところが近年の研究から、雷雲はこれまで知られていない第三の天然放射線源であることがわかってきた。雷雲の近傍での航空機や地上による観測で MeV に達する放射線が相次いで検出されている。これは、雷雲内に強い電場が形成され、宇宙線の空気シャワーなどをきっかけにして、電場により電子が相対論的な領域まで加速され、制動放射光が地上向きに生じている現象と考えられている。

実は日本は雷雲の放射線観測で世界的に最も有利である。夏季雷雲では雷活動の発生する高度が 10 km ほどと高く、放射線が発生しても大気に吸収され地上まで届かない。一方で、日本海沿岸で冬に発生する冬季雷雲は、シベリア寒気団の冷たい風が暖流の上を通過して発達し、雲底高度が厳冬期には 1 km 以下と低くなる。そのため、大気吸収の影響が小さく、地上でも放射線が観測できる。これに着目し、私たちは実際に柏崎、金沢、小松、珠洲などでパイロット観測を行い、冬季雷雲の通過時に 10 MeV に達する放射線が上空から数分間降り注ぐ現象を観測した。雷雲から放射線が出ることは確立しつつあるが、放射線の発生機構はあくまで仮説に過ぎず、いったいどのような雲から、どういう気象条件が満たされると放射線が生じるかは、全くわかっていない。

2. 研究の目的

放射線を出す雲を気象学的に特定するには、放射線のマッピング観測が必須である。これは、X線やガンマ線(~10 MeV)は大気中で吸収され数百 m も飛ばないため、電波や可視光のような遠隔観測は行えず、その場観測が基本となるためだ。そこで日本で最も雷活動の活発な金沢の市街地で、雲の通り道に沿って数百 m 間隔で観測網を構築する。私たちは既にX線天文学の技術を活用し、可搬型で感度が良く、電源を入れると自動で測定してウェブにデータを送信できる、メンテナンスフリーな放射線モニタ「コガモ」を開発した。しかし、研究者のみでは、広範で密なマッピング観測網を少人数の研究者で構築するには限界がある。そこで本研究では、研究者では対応できない数の放射線のマッピング観測を、インターネットでの情報共有が簡単になったオープンサイエンスの枠組みを活用し、市民が参加でき、楽しむことのできるシチズンサイエンス化を通して実現していく。

3. 研究の方法

シチズンサイエンスとして成立させるため、ツイッター等の SNS なども活用して「雷雲プロジェクト:ふしぎな雷雲ガンモを探せ」のウェブページや、専用のツイッターアカウント@thdr_proj などを作成して、検出器を設置してもらえる市民サポーターを集めた。図1のようなイラストも用意し、また、サポーター候補者向けの説明会を開催した。これらを通して「コガモ」検出器を設置してもらえるサポーターを確保し、2020年度には石川県内に16台のコガモを送付、設置することができ、さらに2021年度には56台のコガモを設置することができた。これらのコガモが測定した放射線データの一部や、温度・湿度・照度などの環境センサーの記録データは、Sakura Io モジュールを用いて遠隔送信され、リアルタイムに検出器の状況を把握することが可能になった。サーバー上では、雷雲からのガンマ線を探索し、候補となる雷雲からの放射線イベントが見つかった際には、ツイッター上に自動でアラートが送信できるシステムを構築できた。2021年度の冬季には、市民サポーターへの状況共有会を開催したり、民間の気象予報会社と連携したイベントを開催したり、複数のアウトリーチ活動も行った。

4. 研究成果

これらにより、2020年度には11個以上、2021年度には17個以上の雷雲からの放射線イベントの検出に成功した。また、2021年度12月19日には、上記のサーバー上でのリアルタイム監視が成功して、ツイッターでの雷雲ガンマ線検出の速報システムが機能し始めている。図2には、実際に観測された雷雲からのガンマ線の例を示している。本プロジェクトでは、雷雲からのガンマ線現象を科学的に研究することに加えて、市民サポーターと連携したシチズンサイエンスの枠組みを作り、金沢の市民サポーターと文化としての科学研究を構築していくことを目指しており、研究者と市民サポーターとの間のネットワークや交流もでき始めていることが、本挑戦的研究の成果のひとつとも言えるであろう。本科研費による研究は終了するが、今回構築できた観測体制を次年度以降も継続することで、金沢でのシチズンサイエンスによる多地点の放射線マッピング測定による冬季雷雲の観測プログラムを継続していく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yuasa Takayuki, Wada Yuuki, Enoto Teruaki, Furuta Yoshihiro, Tsuchiya Harufumi, Hisadomi Shohei, Tsuji Yuna, Okuda Kazufumi, Matsumoto Takahiro, Nakazawa Kazuhiro, Makishima Kazuo, Miyake Shoko, Ikkatai Yuko	4. 巻 2020
2. 論文標題 Thundercloud Project: Exploring high-energy phenomena in thundercloud and lightning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 103H01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptaa115	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 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 3件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Teruaki Enoto, Yuuki Wada, Takayuki Yuasa, Yuko Ikkatai, Kazuhiro Nakazawa, Shohei Hisadomi, Yuna Tsuji, Harufumi Tsuchiya, Takeshi Morimoto, Yoshitaka Nakamura, Masashi Kamogawa, Yousuke Sato
2. 発表標題 Thunder Cloud Project : Ground-based multipoint radiation measurement campaign of high-energy atmospheric phenomena
3. 学会等名 the JpGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 榎戸輝揚, 和田有希, 久富富平, 辻結菜, 中澤知洋, 湯浅孝行, 一方井祐子, 三宅晶子, 土屋晴文
2. 発表標題 雷雲プロジェクト:シチズンサイエンスも活用した高エネルギー大気物理現象の観測網
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 榎戸輝揚, 志岐真
2. 発表標題 みんなで探る雷の不思議
3. 学会等名 理研DAY: 研究者と話そう! (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名	Teruaki Enoto, Yuuki Wada, Takayuki Yuasa, Yuko Ikkatai, Shohei Hisadomi, Yuna Tsuji, Kazuhiro Nakazawa, Gabriel Sousa Diniz, Harufumi Tsuchiya, Takeshi Morimoto, Yoshitaka Nakamura, Masashi Kamogawa, Yousuke Sato
2. 発表標題	High-Energy Atmospheric Physics of Lightning and Thunderstorms Observed along the Sea of Japan
3. 学会等名	Connecting high-energy astroparticle physics for origins of cosmic rays and future perspectives (招待講演)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Teruaki Enoto, Yuuki Wada, Takayuki Yuasa, Yuko Ikkatai, Shohei Hisadomi, Yuna Tsuji, Kazuhiro Nakazawa, Gabriel Sousa Diniz, Harufumi Tsuchiya, Takeshi Morimoto, Yoshitaka Nakamura, Masashi Kamogawa, Yousuke Sato
2. 発表標題	Thundercloud Project: Citizen Science Observation Campaign of High-energy Atmospheric Phenomena from Lightning and Thunderstorms in Japan
3. 学会等名	American Geophysical Union - Fall Meeting 2020
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	榎戸輝揚, 早野龍五
2. 発表標題	X線天文学者が挑む雷の不思議
3. 学会等名	おうちでアストロノミー・バブ(招待講演)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	榎戸輝揚, 和田有希, Gabriel Diniz, 沼澤正樹, 加藤陽, 中澤知洋, 久富富平, 辻結菜, 一方井祐子, 三宅晶子, 土屋晴文, 湯浅孝行, 高垣徹, 森本健志, 中村佳敬, 鴨川仁, 佐藤陽祐, 篠田太郎, 小野英理
2. 発表標題	雷雲電場における粒子加速と宇宙線シャワーへの影響の観測的研究
3. 学会等名	東京大学宇宙線研究所・2020年度共同利用成果報告会
4. 発表年	2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Thundercloud Project https://thdr.info 雷雲プロジェクト：ふしぎな雷雲ガンを探せ！ https://fabcafe.com/jp/labs/%25branch%25/thunderstorm/ 榎戸極限自然現象研白眉研究チーム http://enotolab.com
--

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	一方井 祐子 (IKKATAI YUKO) (00709214)	金沢大学・人間科学系・准教授 (13301)	

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
---------	---------