

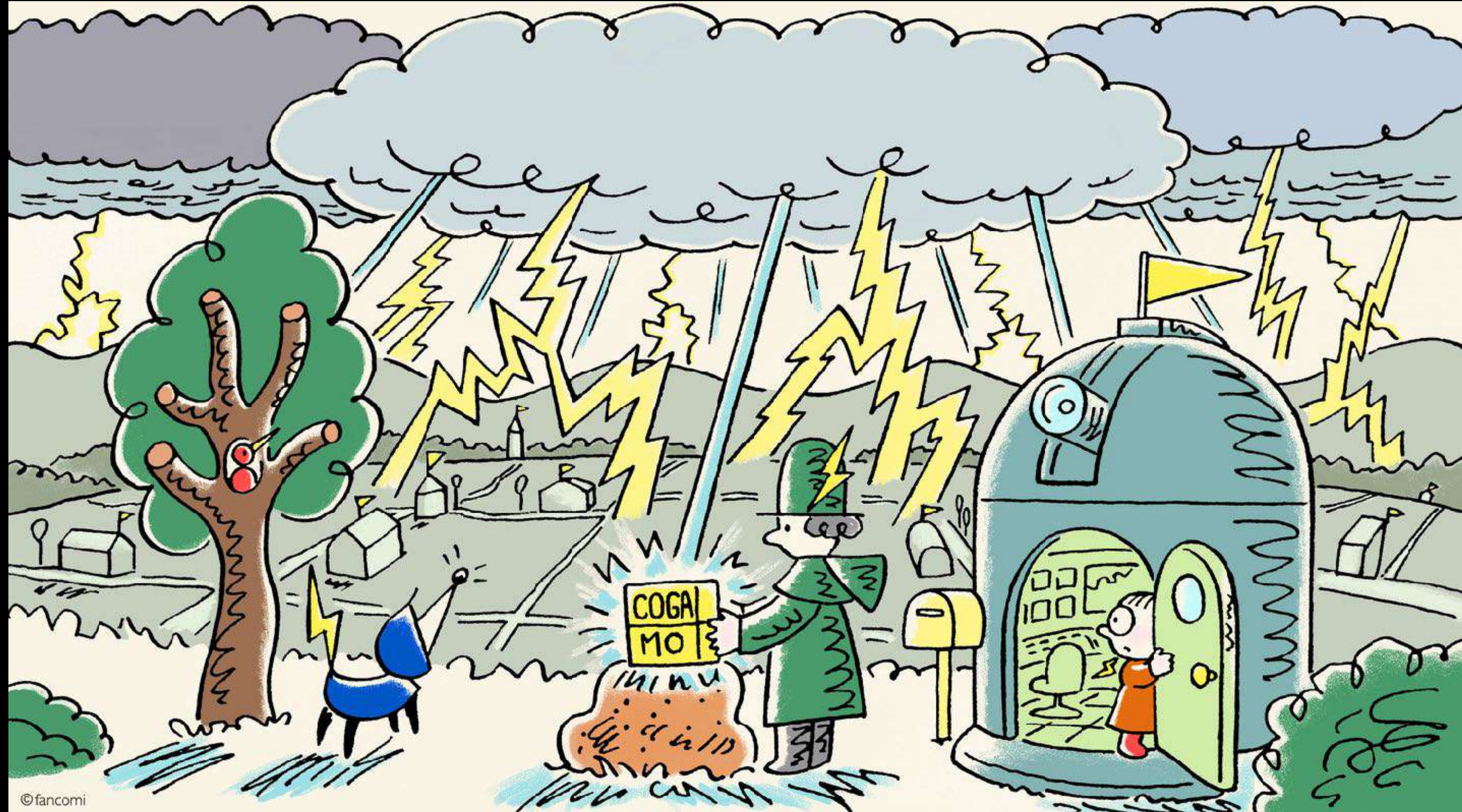
宇宙線と雷雲の相互作用と電場による粒子加速を 解明するシチズンサイエンス「雷雲プロジェクト」

えのとてるあき

榎戸 輝揚

(京都大学, 理研)

雷雲プロジェクト



雷雲電場と空気シャワーの相互作用→雷雲ガンマ線

- 雷雲の内部で電荷分離が発生し、強い電場領域が形成される

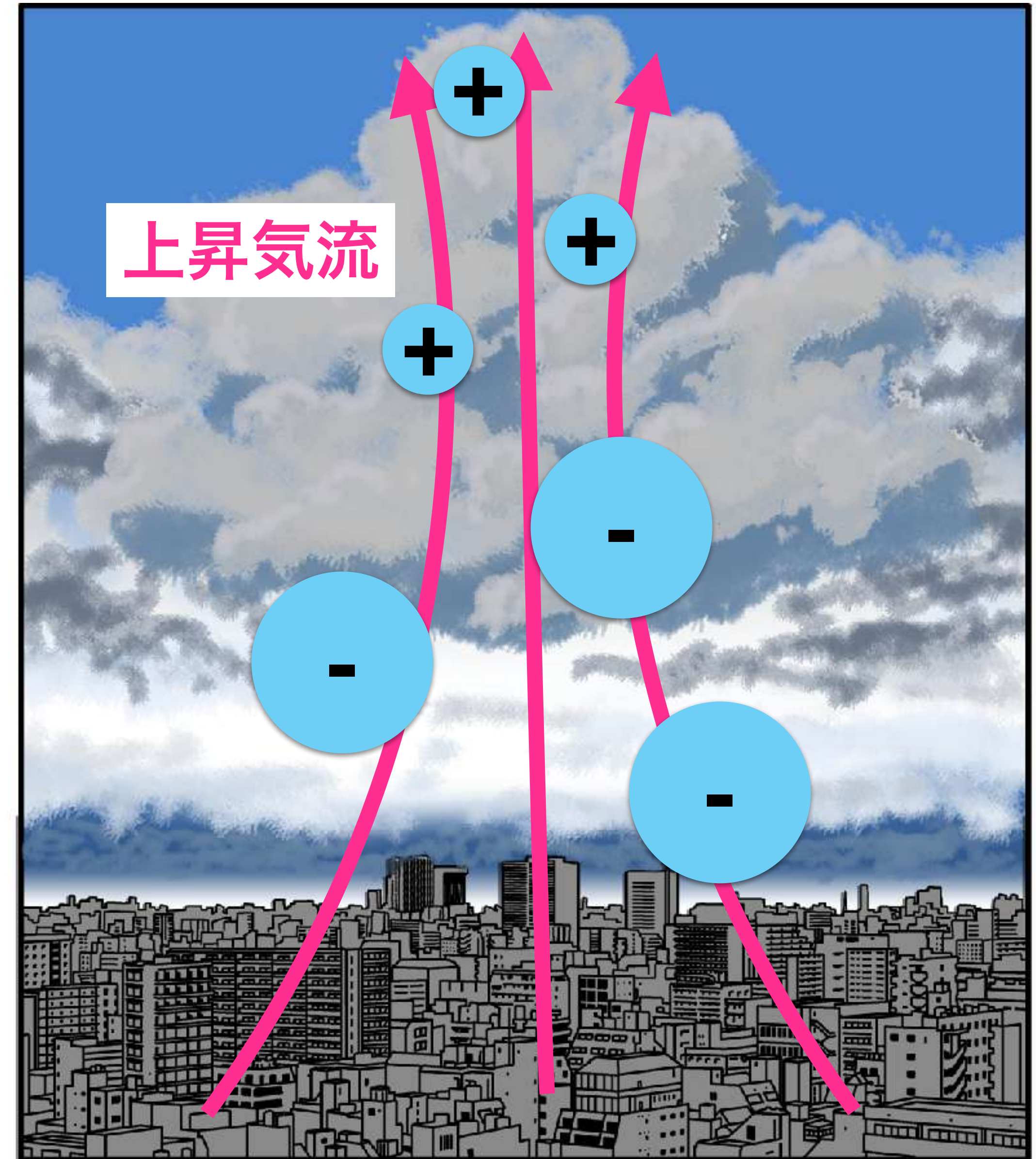


Illustration: Hayanon Science Manga Studio

雷雲電場と空気シャワーの相互作用→雷雲ガンマ線

- 雷雲の内部で電荷分離が発生し、強い電場領域が形成される

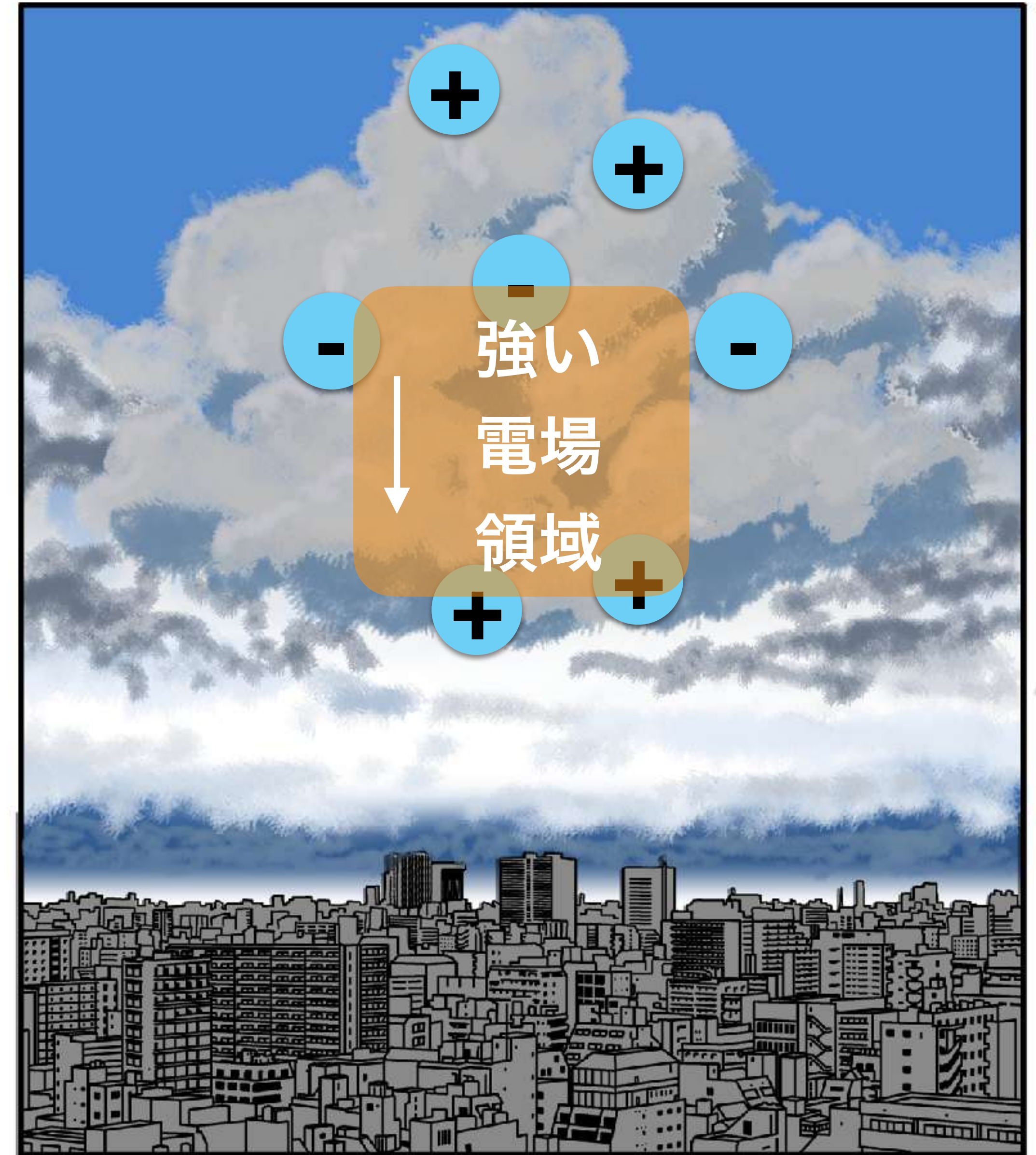


Illustration: Hayanon Science Manga Studio

雷雲電場と空気シャワーの相互作用→雷雲ガンマ線

- 雷雲の内部で電荷分離が発生し、強い電場領域が形成される
- 宇宙線の空気シャワーをもとに相対論的な電子の雪崩増幅が発生
- 加速電子が大気にぶつかりガンマ線帯域の制動放射が地上へ放射

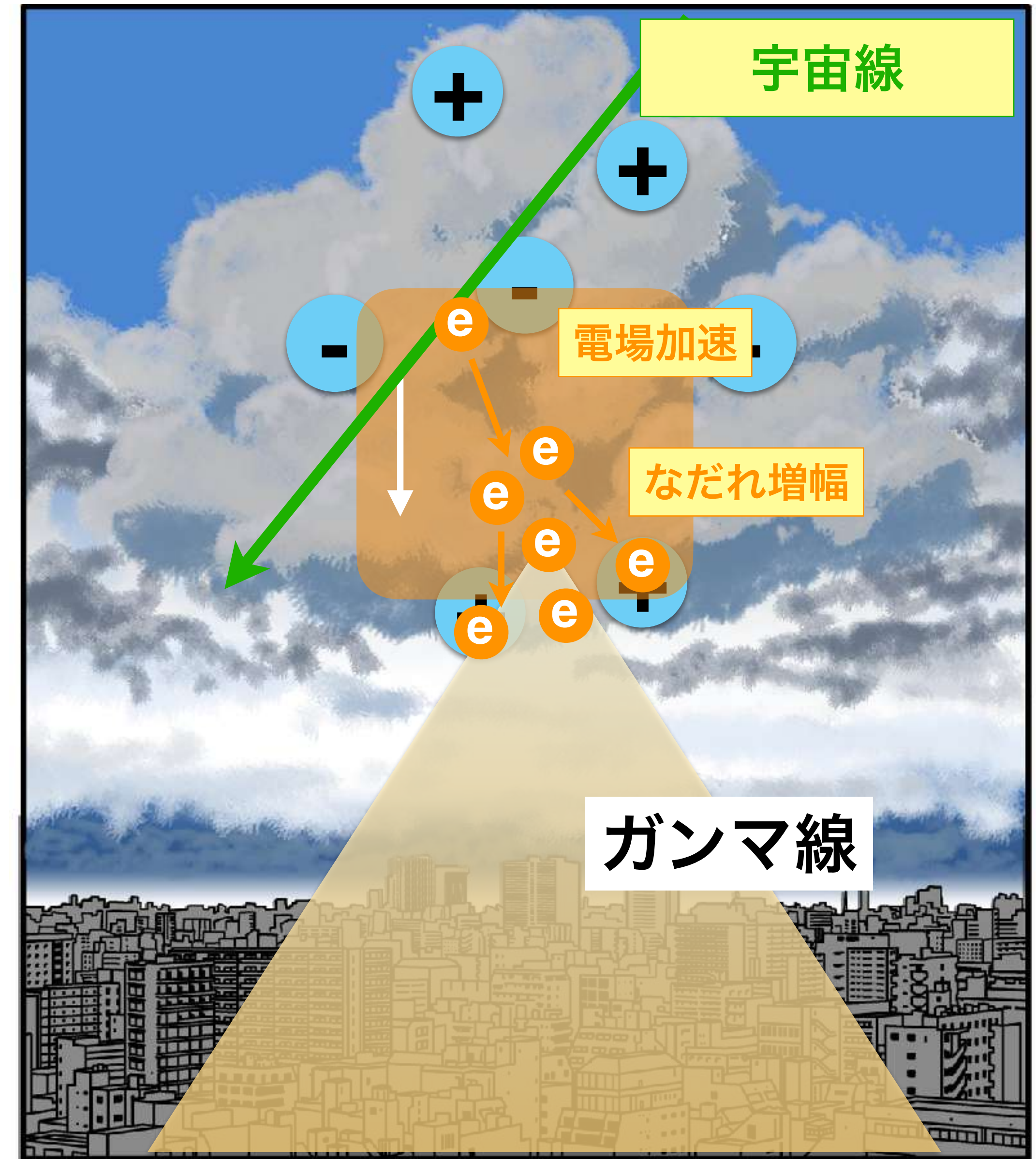


Illustration: Hayanon Science Manga Studio

雷雲電場と空気シャワーの相互作用→雷雲ガンマ線

- 雷雲の内部で電荷分離が発生し、強い電場領域が形成される
- 宇宙線の空気シャワーをもとに相対論的な電子の雪崩増幅が発生
- 加速電子が大気にぶつかりガンマ線帯域の制動放射が地上へ放射
- 未解明の雷トリガーの謎に、宇宙線や高エネルギー電子が関与？

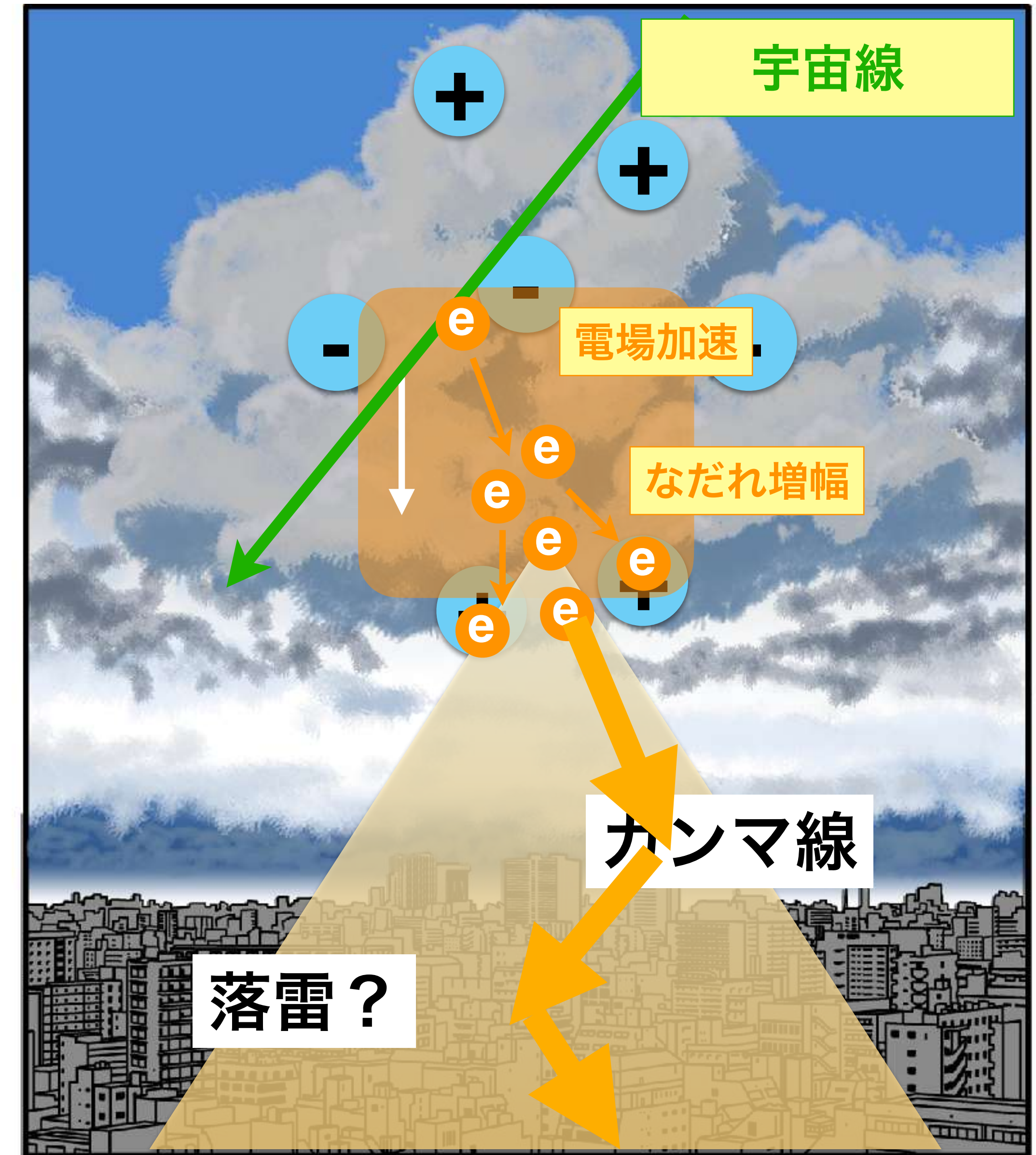


Illustration: Hayanon Science Manga Studio

雷雲電場と空気シャワーの相互作用→雷雲ガンマ線

- 雷雲の内部で電荷分離が発生し、強い電場領域が形成される
- 宇宙線の空気シャワーをもとに相対論的な電子の雪崩増幅が発生
- 加速電子が大気にぶつかりガンマ線帯域の制動放射が地上へ放射
- 未解明の雷トリガーの謎に、宇宙線や高エネルギー電子が関与？
- 宇宙線と雷雲の相互作用や、電場での電子加速という魅力的テーマ

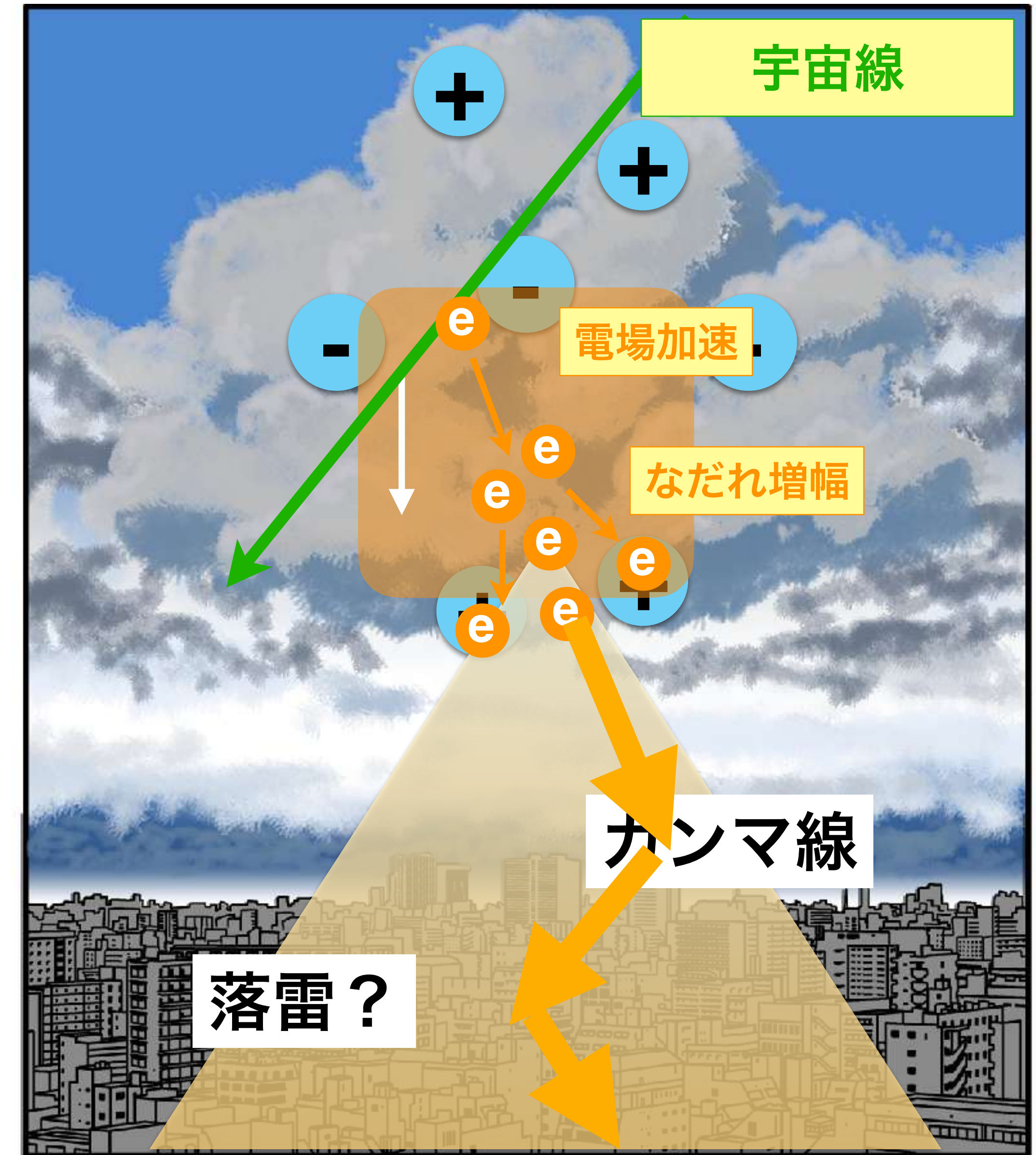
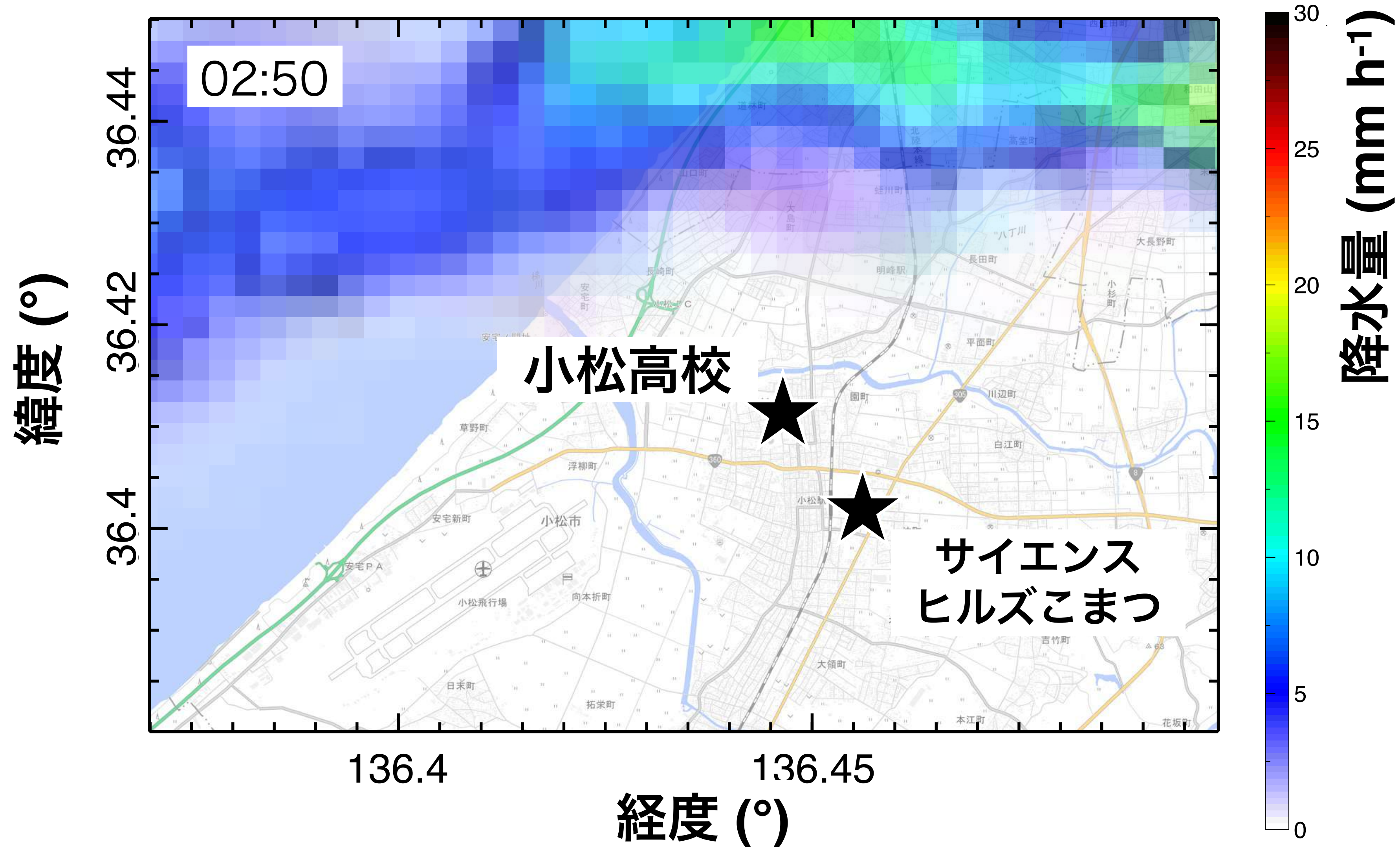


Illustration: Hayanon Science Manga Studio

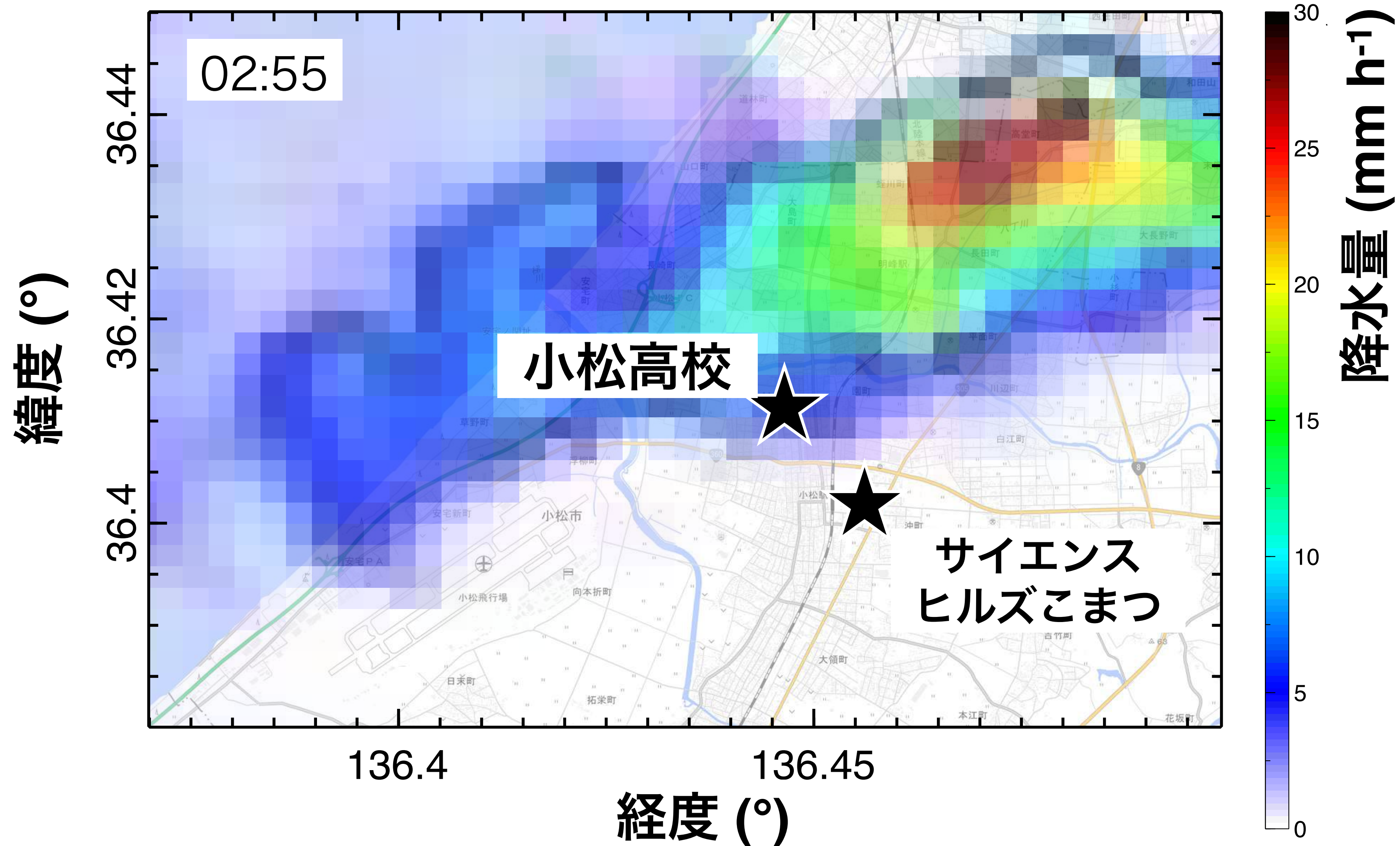
雷雲ガンマ線 (Gamma-ray Glow)

小松市, 2016年12月8日の観測例



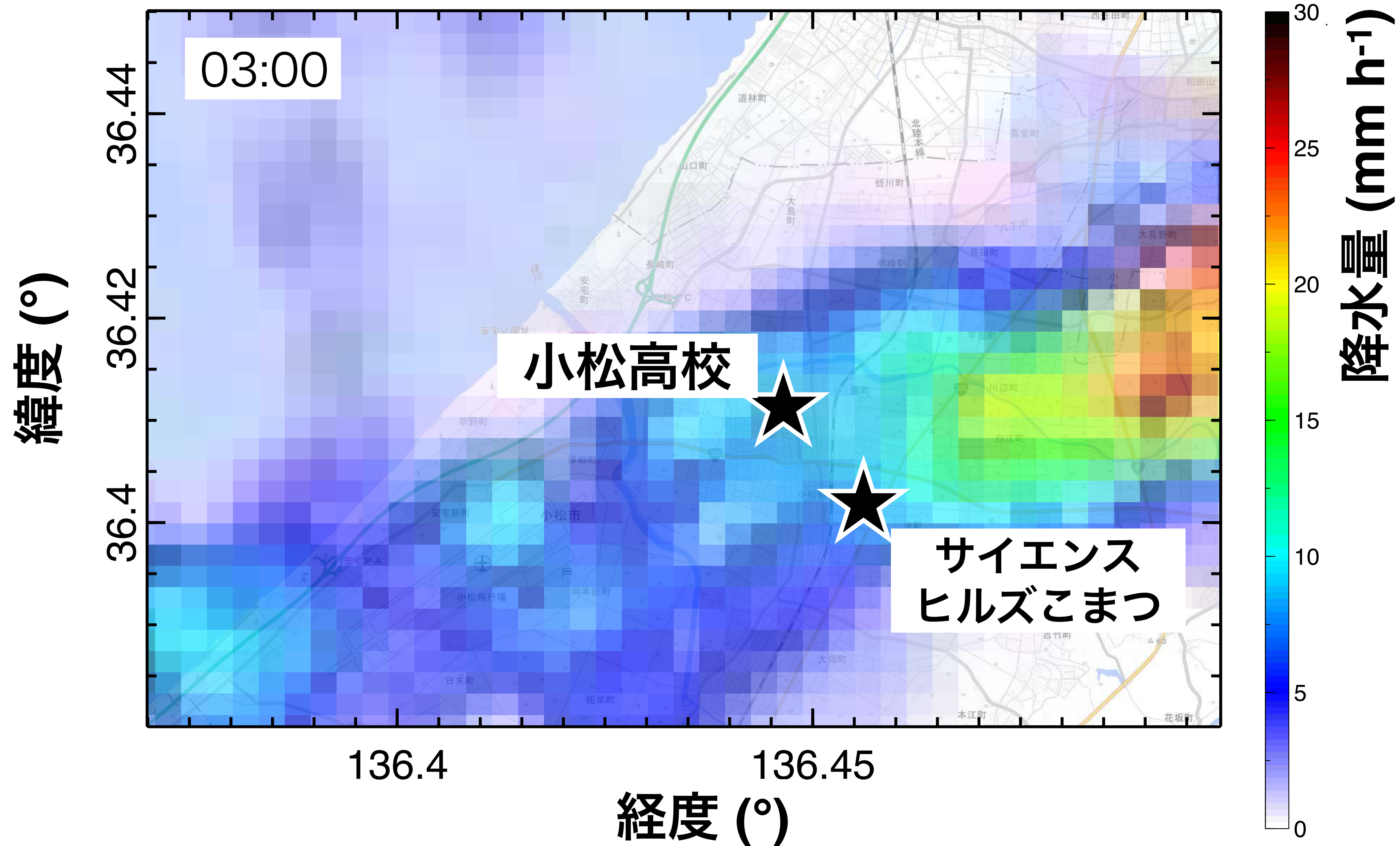
雷雲ガンマ線 (Gamma-ray Glow)

小松市, 2016年12月8日の観測例



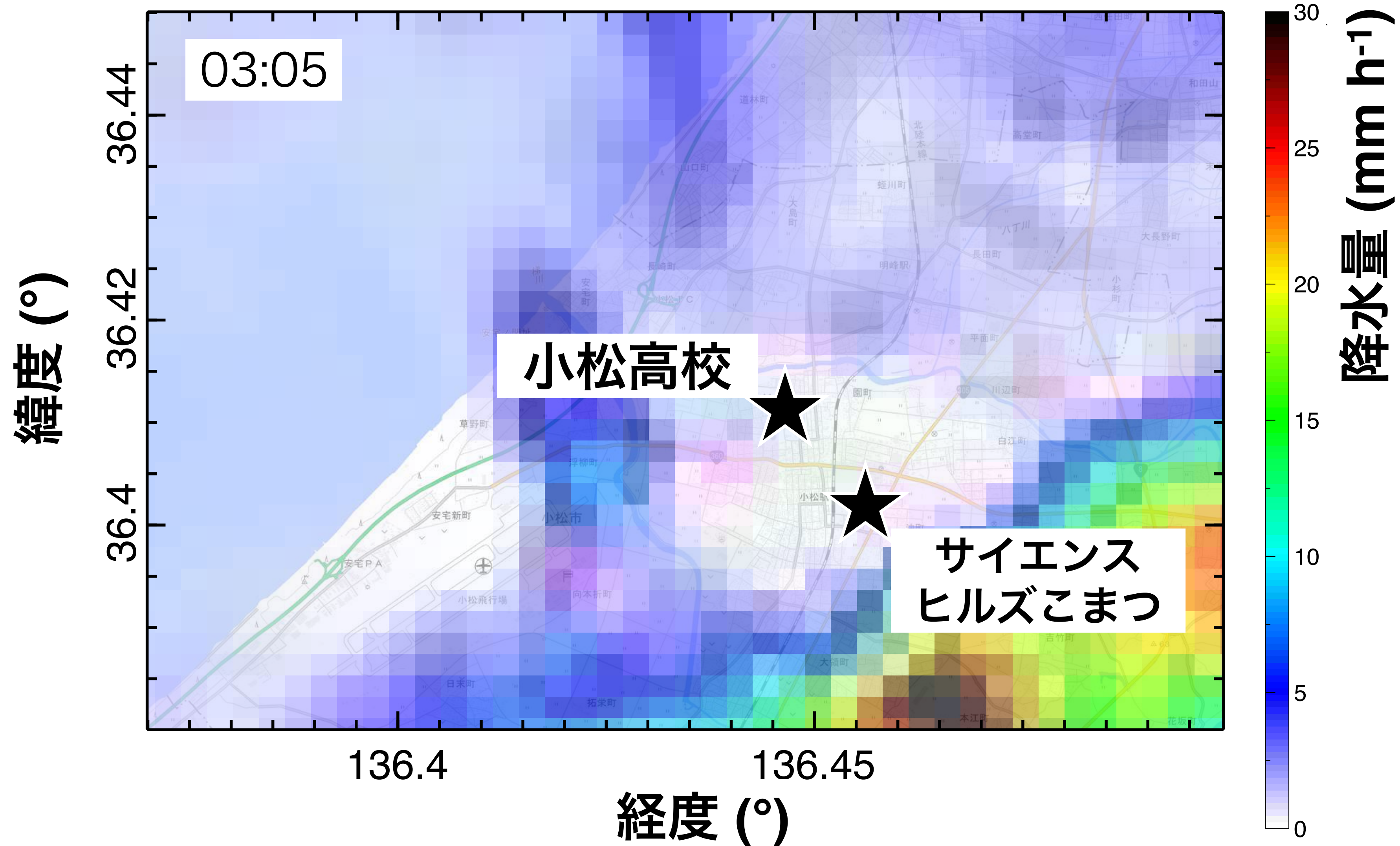
雷雲ガンマ線 (Gamma-ray Glow)

小松市, 2016年12月8日の観測例



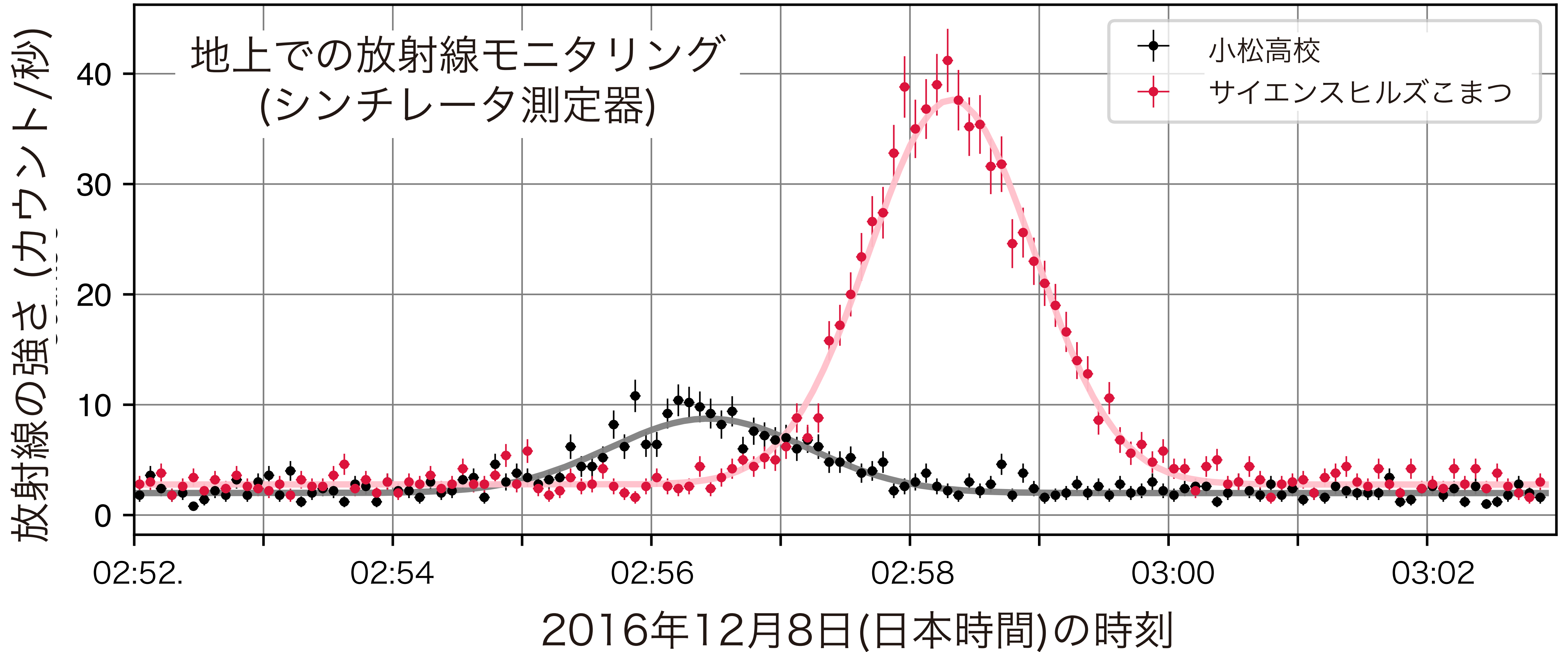
雷雲ガンマ線 (Gamma-ray Glow)

小松市, 2016年12月8日の観測例

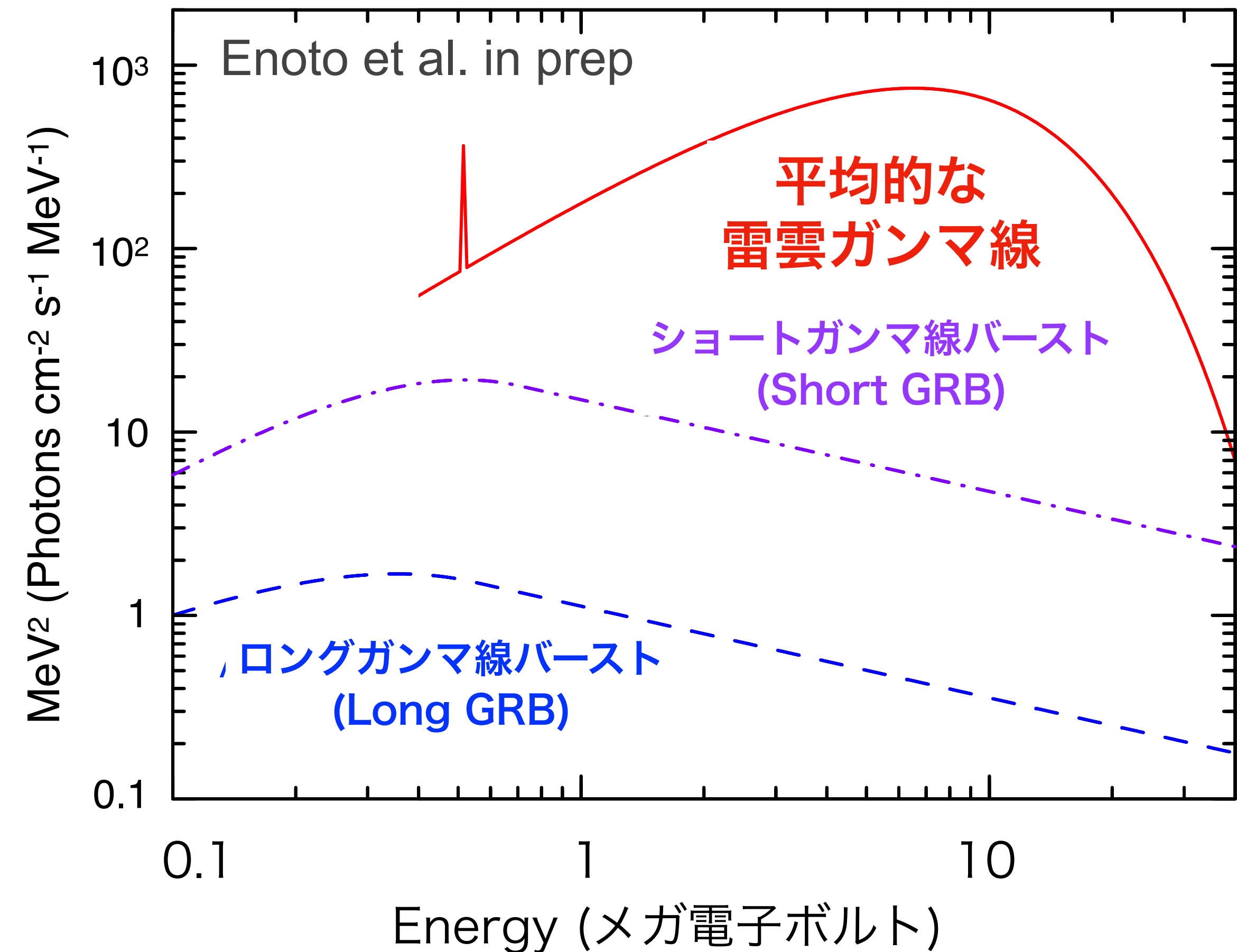
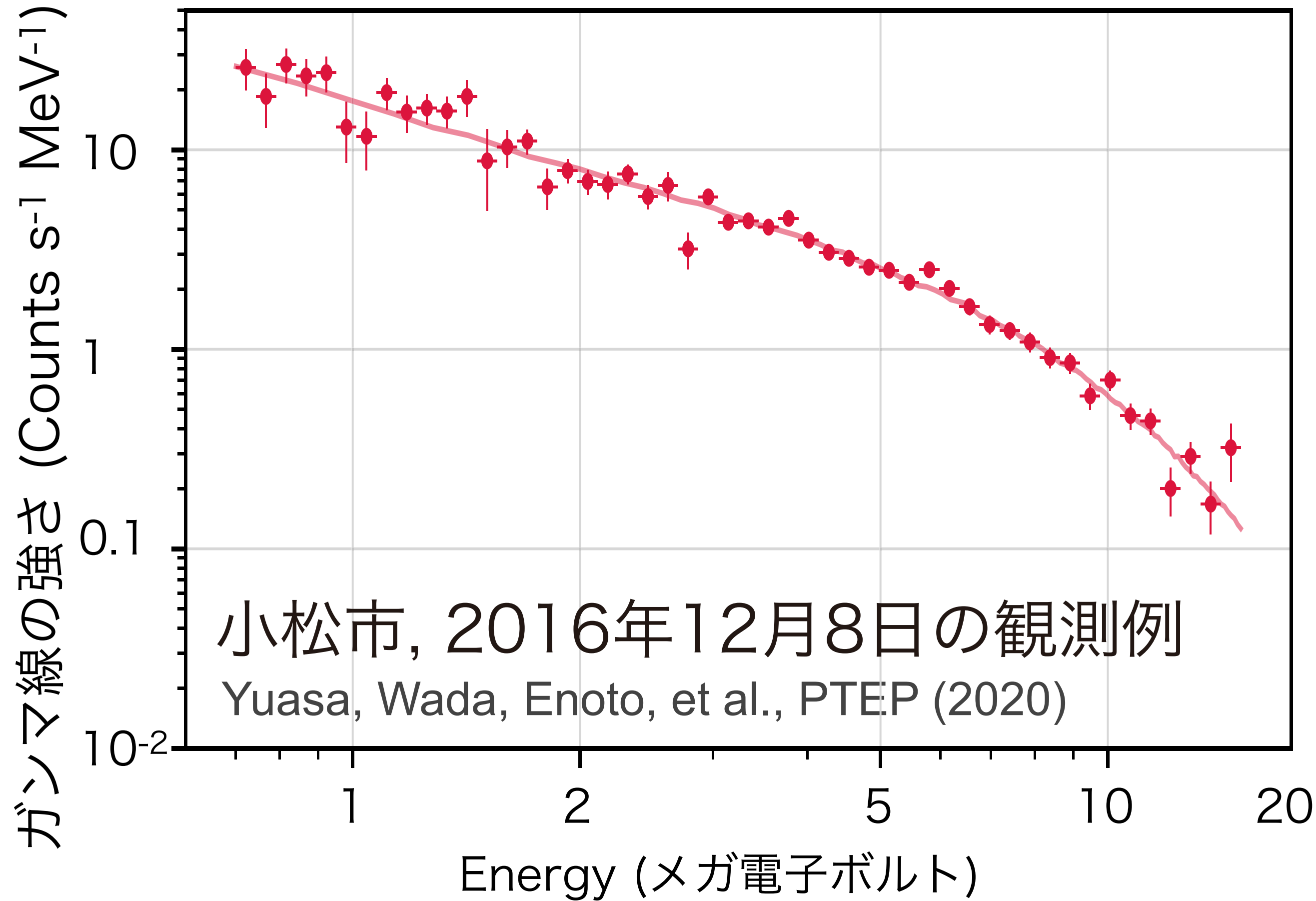


雷雲ガンマ線 (Gamma-ray Glow)

小松市, 2016年12月8日の観測例



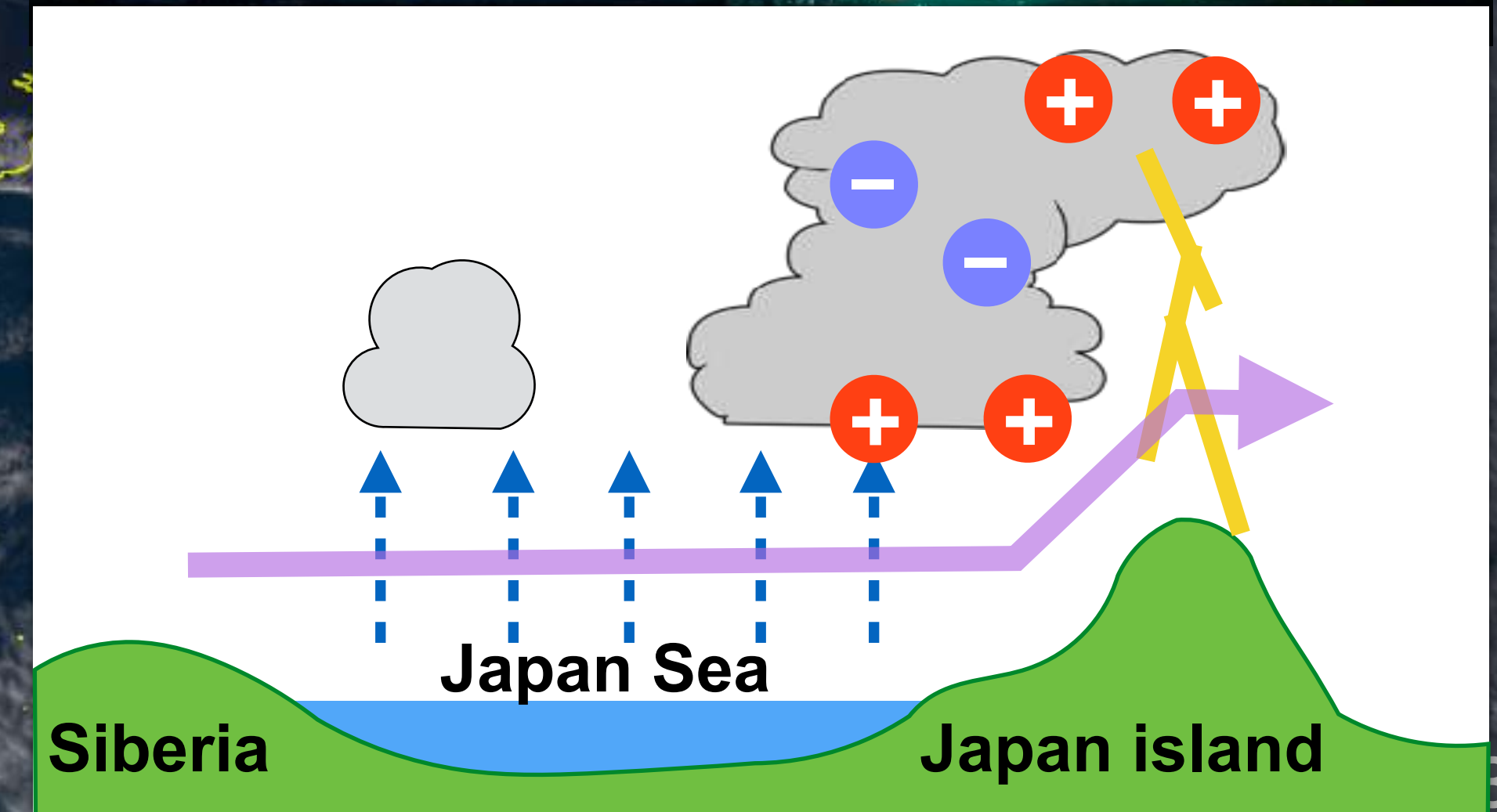
雷雲ガンマ線 (Gamma-ray Glow)



- 地上に降り注ぐガンマ線は10 MeV 以上まで。ガンマ線バーストより明るい。
- 雷雲の中で電子が相対論的なエネルギーまで加速されている観測的な証拠。

日本海沿岸の冬季雷雲や高山は絶好の観測対象

- 大気中でのガンマ線の減衰を考えると雲が地表に近づく環境が望ましい
- 高山や冬季雷雲が絶好のターゲット。乗鞍観測所にも設置予定。神岡にも設置(2021年~)



シチズンサイエンス「雷雲プロジェクト」



シチズンサイエンス 「雷雲プロジェクト」

- 大気中でガンマ線は数百メートルしか飛ばず、多地点でのマッピング観測が必須。学術系クラウドファンディングからスタート!
- 市民サポーターに小型の特注の放射線モニタ「コガモ (Compact Gamma-ray Monitor, CoGaMo)」を配ってシチズンサイエンスに

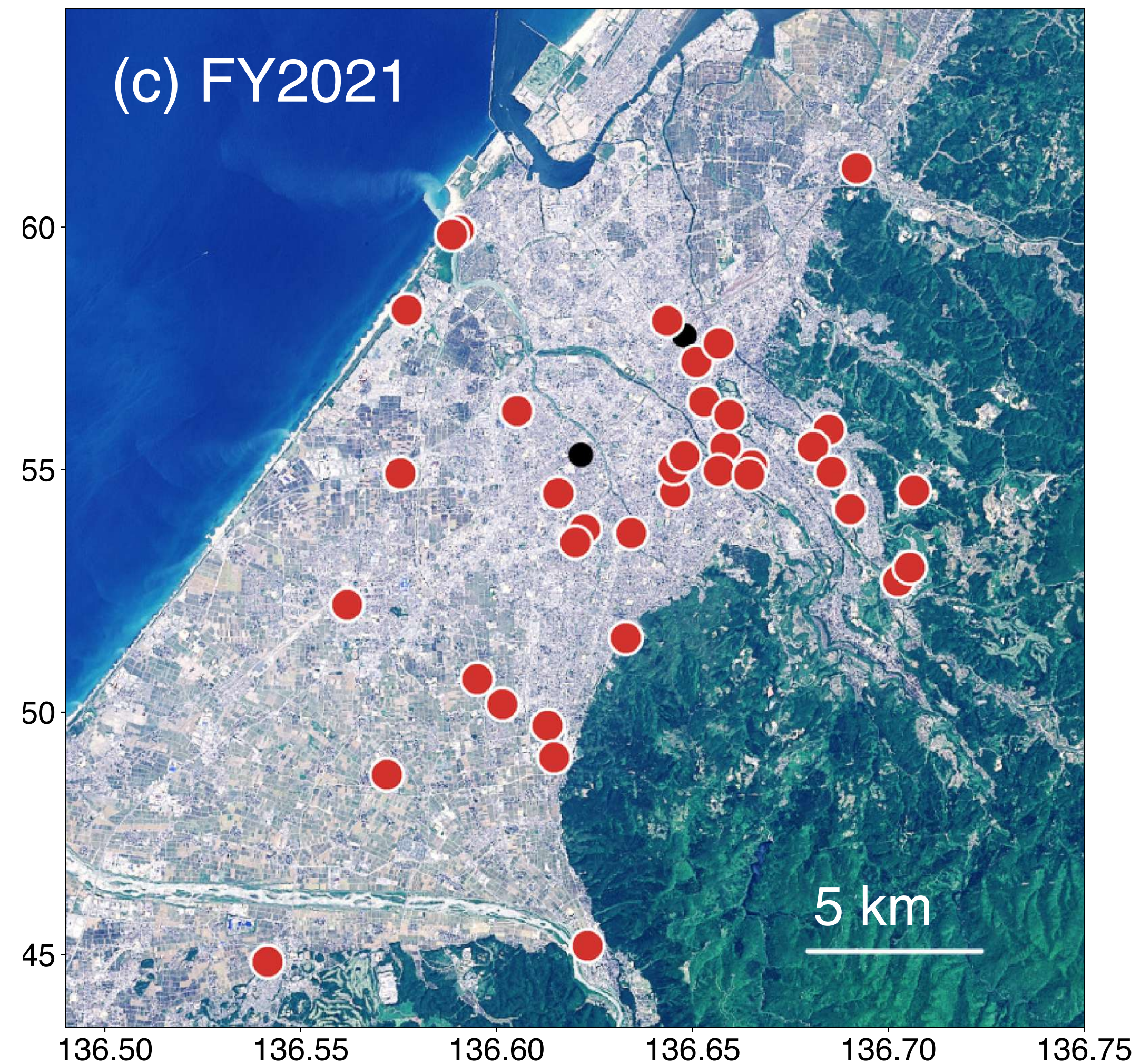


これまで培ってきた宇宙観測の技術や経験を活かして、挑みたいと考えているからです。



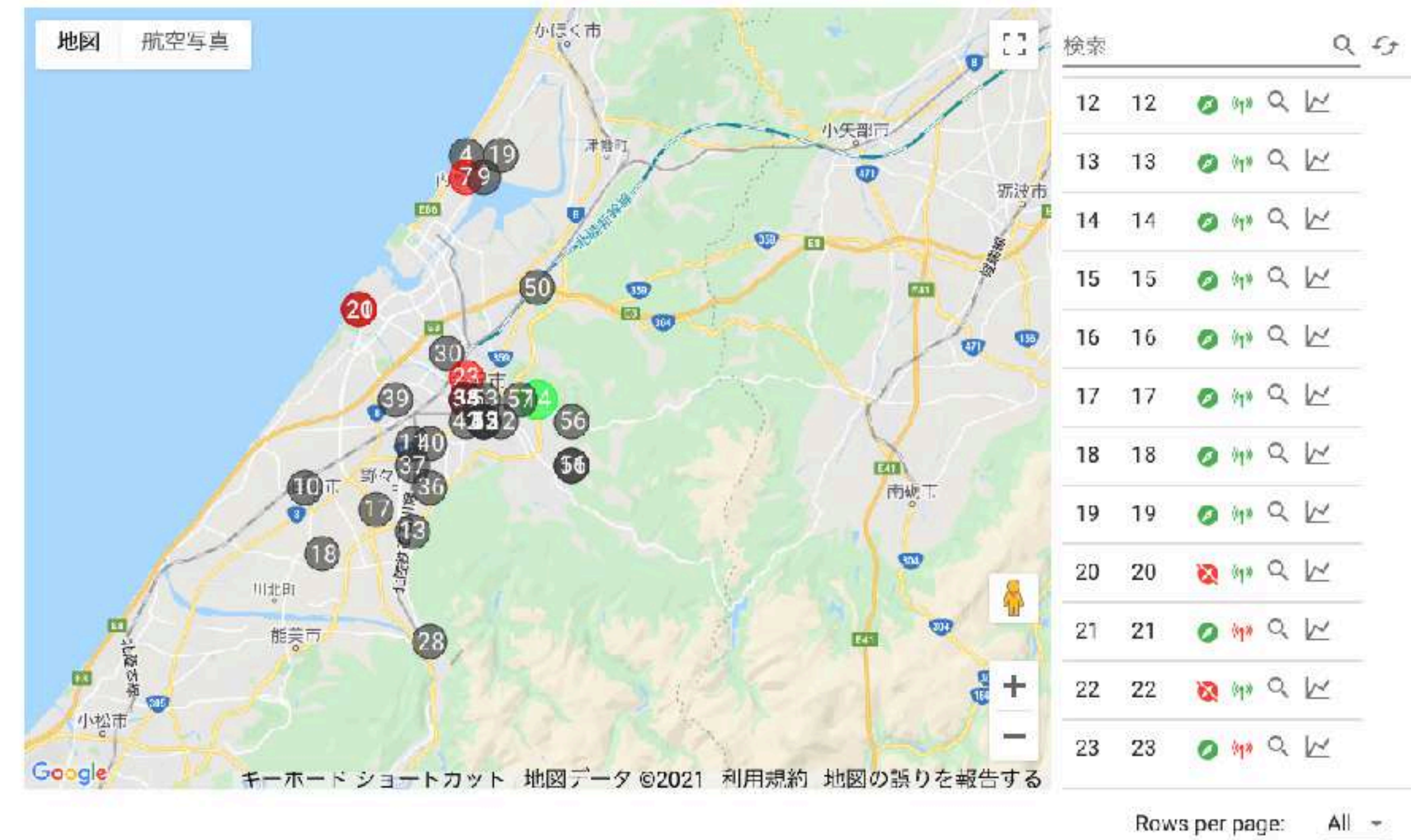
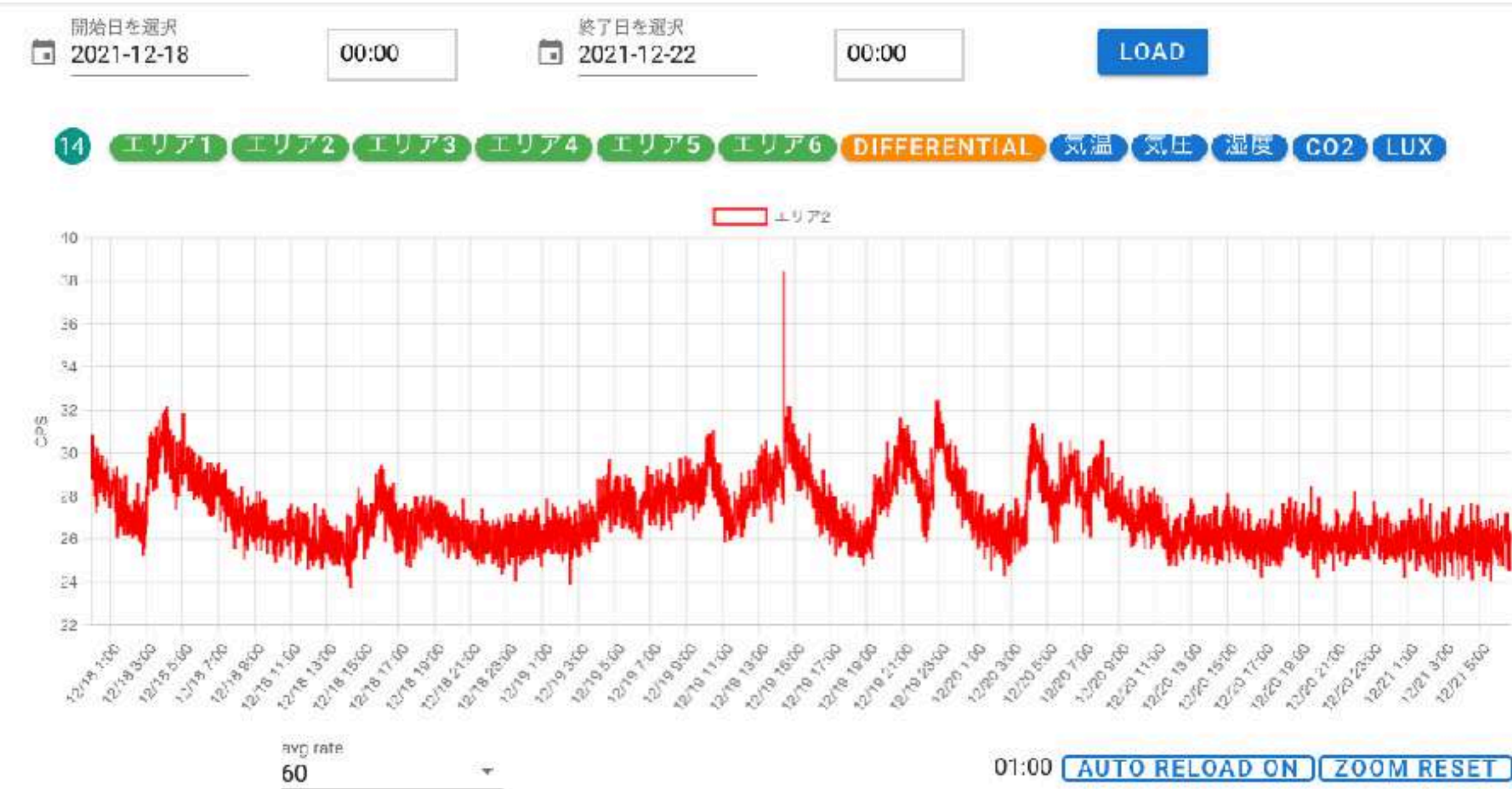
シチズンサイエンス「雷雲プロジェクト」

- 金沢周辺の市民サポーターのご自宅にコガモを送付し、シチズンサイエンスで雷雲ガンマ線の観測を開始



リアルタイムの観測データ

- コガモには Csl(Tl) シンチレータを搭載し、放射線のエネルギーと検出時刻を記録している。
- さらに、気温、湿度、照度、気圧などの環境情報も記録する。
- データの一部は、IoT モジュールを使ってサーバーに自動送信。
- サーバー上でデータを自動解析して、雷雲ガンマ線を検知すると Twitter (現 X) に自動アラート



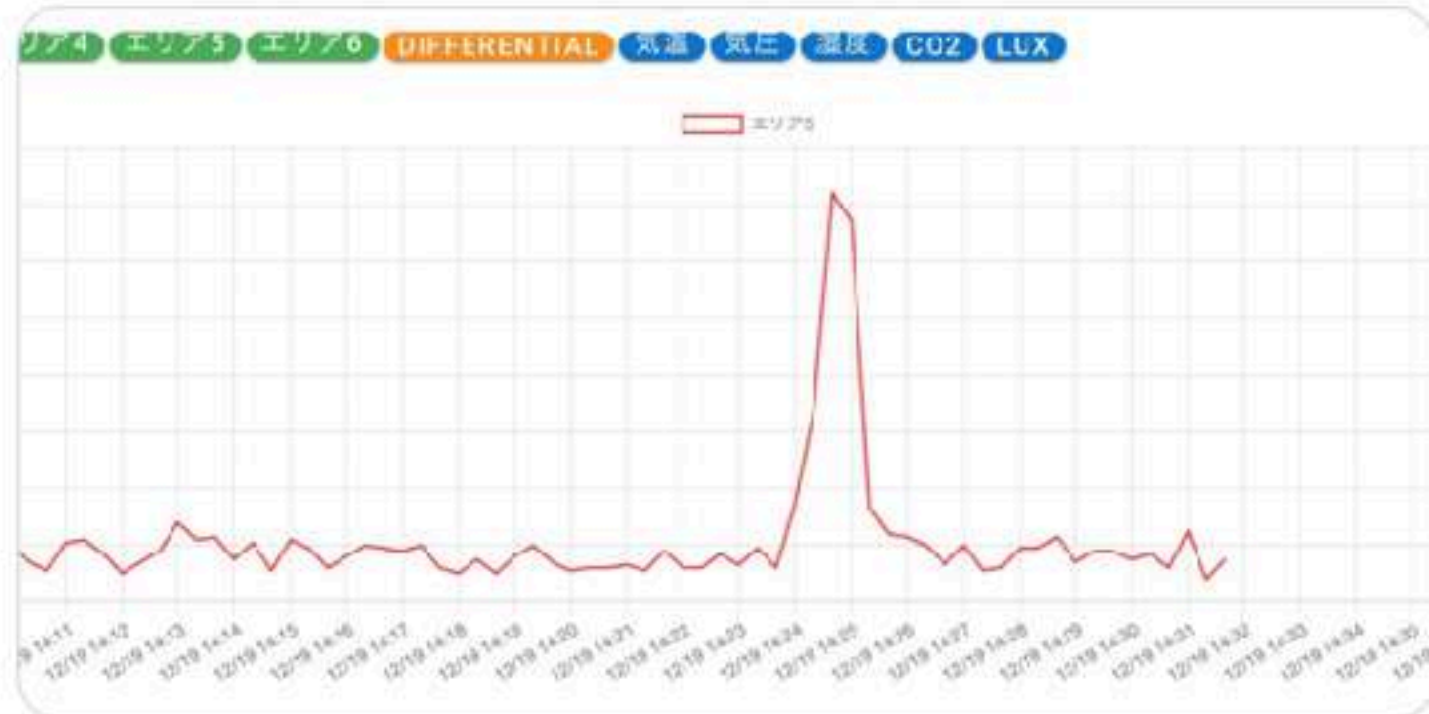
雷雲ガンマ線の検出をツイート！



雷雲プロジェクト ⚡
@thdr_proj

本日、金沢の若松町の周辺で、14:25 頃に雷雲からのガンマ線（ガンモ、専門用語で gamma-ray glow）と思われる現象が検出されました！いま近くの方は、気象の様子を教えてください！#雷雲プロジェクト

[Translate Tweet](#)



cogamo_alert @tac_maker · Dec 19

ID:14 CPS:42.1 AVG:19.439473684211 ALE:39.157218831266 AREA:3
ALP:20.00 NUM:19 TIME:2021-12-19 14:24:40

2:37 PM · Dec 19, 2021 · Twitter Web App

14:16:09:15 ●

雷雲ガンマ線の領域から始まった雷放電

2021年10月30日 金沢市で NHK のハイスピードカメラが捉えた画像

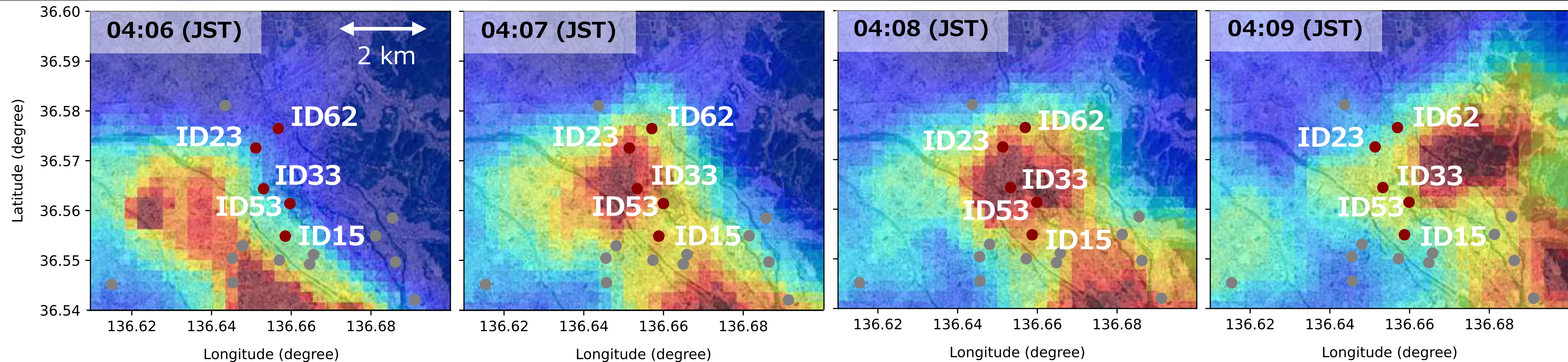


雷雲ガンマ線の領域から始まった雷放電

2021年10月30日 金沢市で NHK のハイスピードカメラが捉えた画像

- 雷雲の移動をレーダーで捉える
- その下で雷雲ガンマ線を検出
- ガンマ線領域で雷放電が発生
- 雲内の強電場や加速電子が雷のトリガーにどう関係するか？

雷放電が発生!!

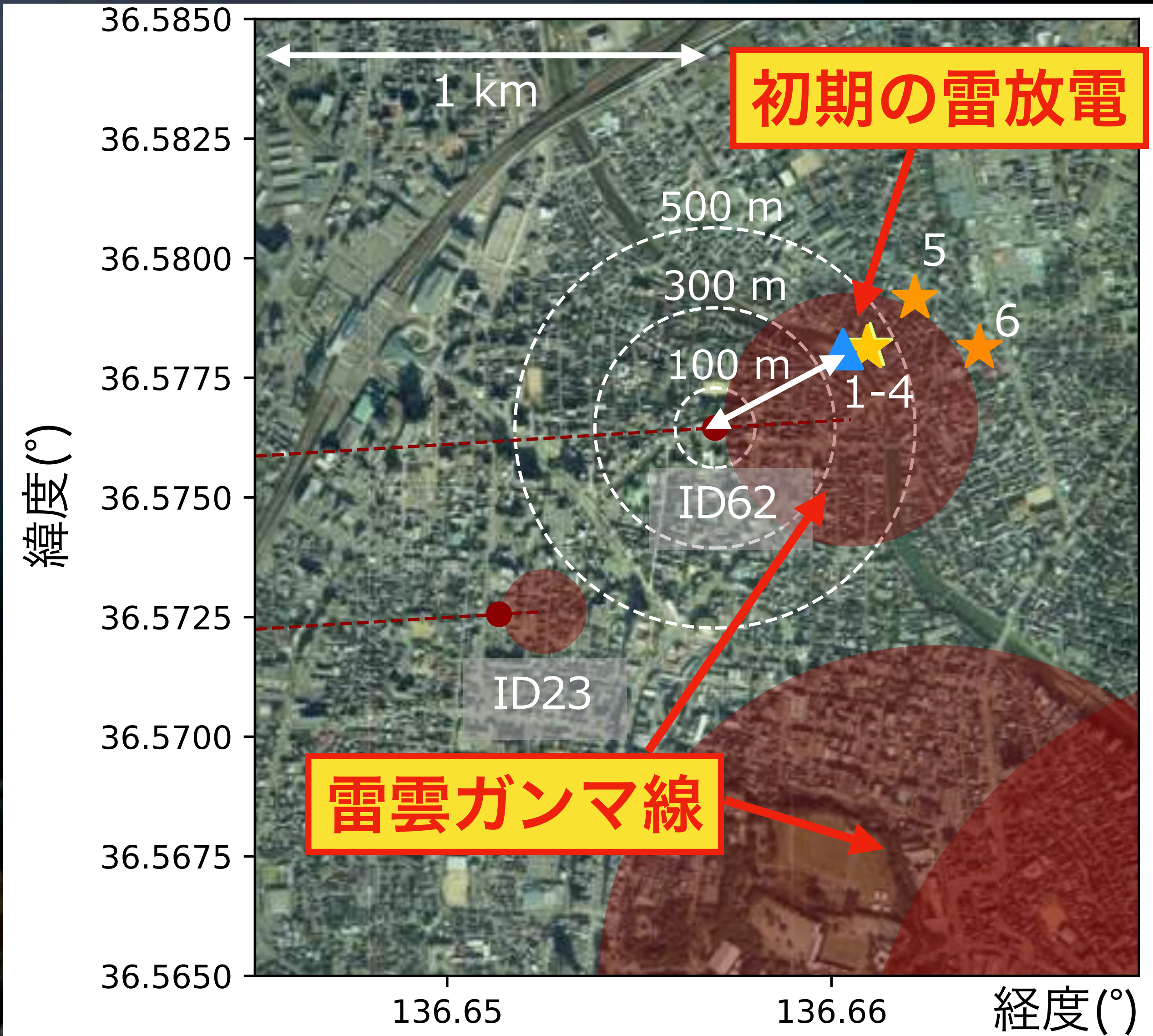


雷雲ガンマ線の領域から始まった雷放電

2021年10月30日 金沢市で NHK のハイスピードカメラが捉えた画像

- 雷雲の移動をレーダーで捉える
- その下で雷雲ガンマ線を検出
- ガンマ線領域で雷放電が発生
- 雲内の強電場や加速電子が雷のトリガーにどう関係するか？

Tsurumi, Enoto et al., *Geophys. Lett.* (2023)



科学を文化に！サポーターとのワークショップも！

- 毎年1回、市民サポーターとの交流会・講演会を開いています。
- 世界で誰も見たことのない大気現象を市民と楽しむことで、科学を文化としても楽しめる風土を作っていくのが目的です。
- 共創型サイエンス (Collective Power of Science) がスローガン！



アウトリーチ活動とシチズンサイエンスの新展開

- 2023年度の冬季は、約70台のコガモを金沢付近に展開
- 熱心な市民サポーターや、研究者・市民間の交流が自然発生
- アウトリーチ用の宇宙線モニタミニクラゲを、浜松ホトニクス社のフォトンフェアに貸し出し
- 現地のサポーターから、自分でも測定器を作りたいという要望
- コガモの次世代版へ向けた準備

空気シャワーを可視化する
物理おもちゃ「ミニクラゲ」

Sony Spresense 連携の放射線読み出しボード

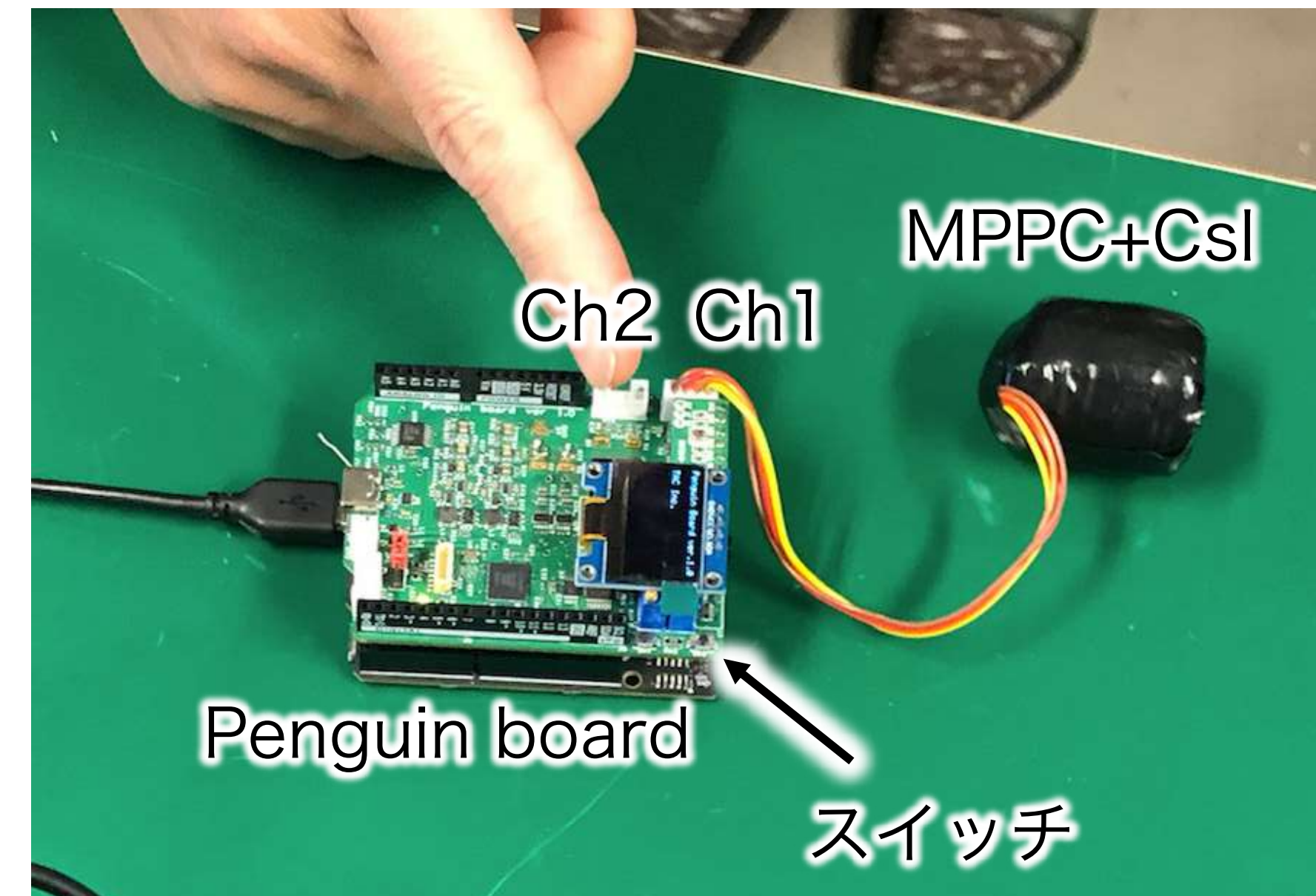
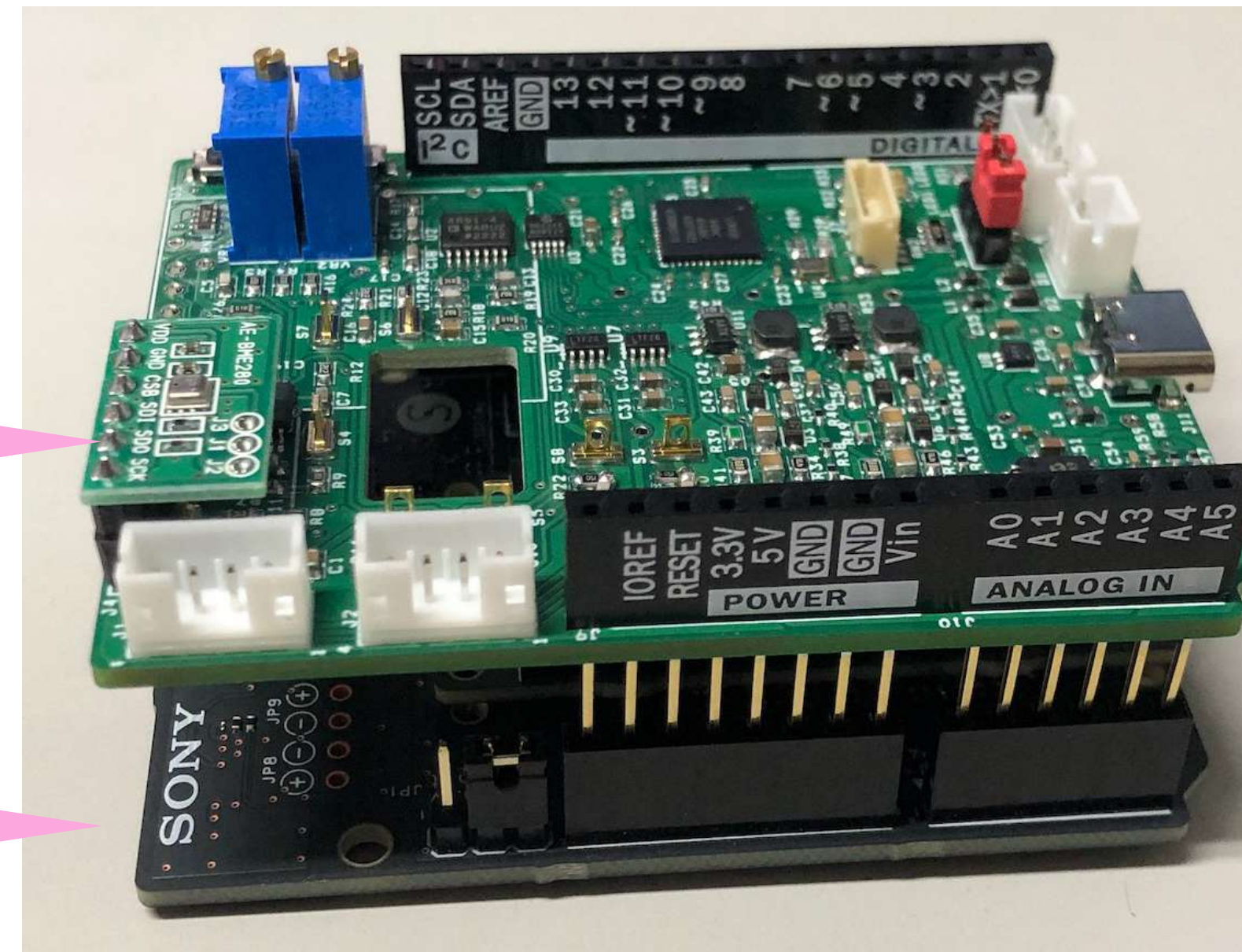
- Arduino 互換のボードコンピュータ Sony Spresense と合わせて使用 **PENGUIN** (Physics and Engineering Utility Introduction) ボードを独自に新規開発した。Python でのデータ読み出しが可能。
- 2チャンネル読み出しで、ミュオン成分とガンマ線を同時計数することで検出感度をあげる。また、大学の学部生・大学院生の演習として導入した教育効果と、シチズンサイエンスの深化に活用する。

PENGUIN board

- MPPC用のバイアス電圧供給
- 2チャンネルのアナログ波形整形
- MCU/FPGAを装備
- BME280環境センサも配備

Sony Spresense

- 新しい汎用ボードコンピュータ
- GPSも配備し、多くの適用例



本年度の成果

- シチズンサイエンス「雷雲プロジェクト」は、2023年度の冬季観測で放射線モニタ「コガモ」を約70台を金沢周辺に展開し、複数の雷雲ガンマ線(gamma-ray glow)を今年度も検出できた。
- 電波が捉えた雷の発生位置が、雷雲ガンマ線の発生領域の内部もしくは近傍である事象を論文で発表した(Tsurumi, Enoto et al., Geophys. Lett. 2023)。
- 次世代のコガモ製作や、シチズンサイエンスの深化を狙い、Sony Spresense と組み合わせて動作する PENGUIN ボードを開発した。
- 新任教員枠、65万円配分 → 新規開発 PENGUIN ボード ver 1.0 (35.2万円)、シンチレータ GAGG,CsI,EJ-200 (29.48万円)