

雷雲電場による電子加速の観測的研究

~夏季の高山観測と冬季の多地点観測へ向けた取り組み~

新任教員枠での採択
ありがとうございました

榎戸 輝揚¹, 和田有希², 湯浅孝行³,
中澤知洋², 中野俊男³, 土屋晴文³

1) 京都大学 白眉センター/宇宙物理学教室
2) 東京大学 物理学専攻, 3) 理化学研究所

雷雲内の電子加速の観測的研究

雷雲ガンマ線は
雷放電の前駆現象？

宇宙線

正電荷

負電荷

電子加速

雪崩増幅

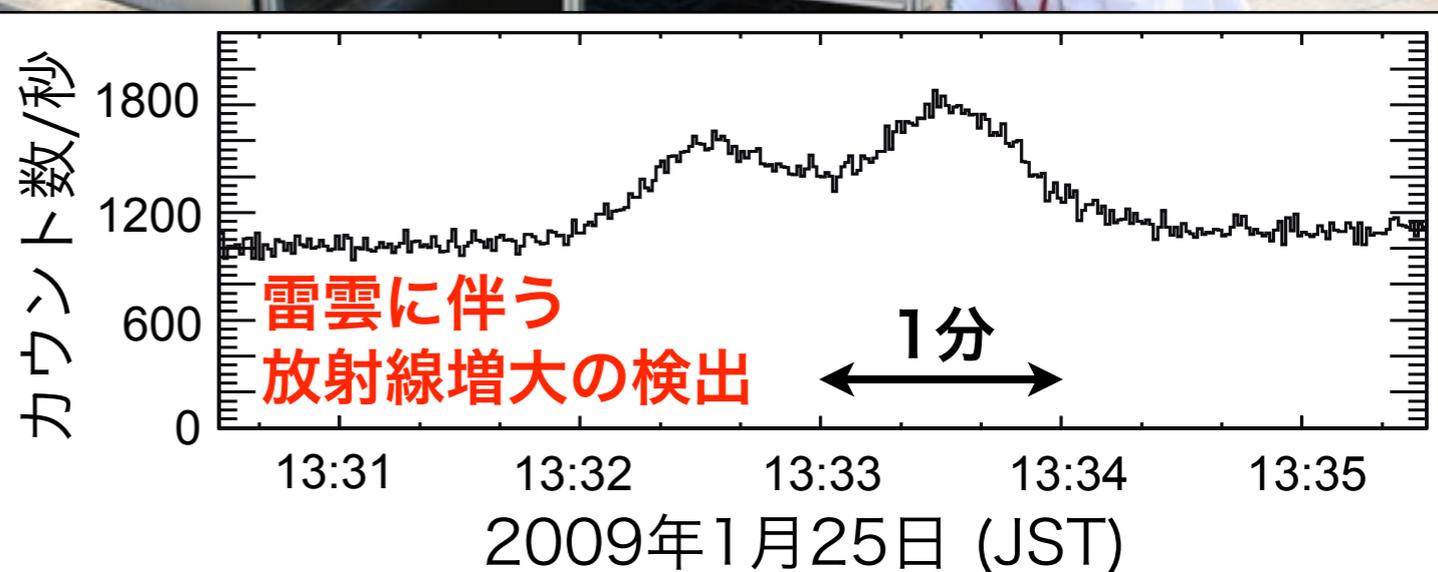
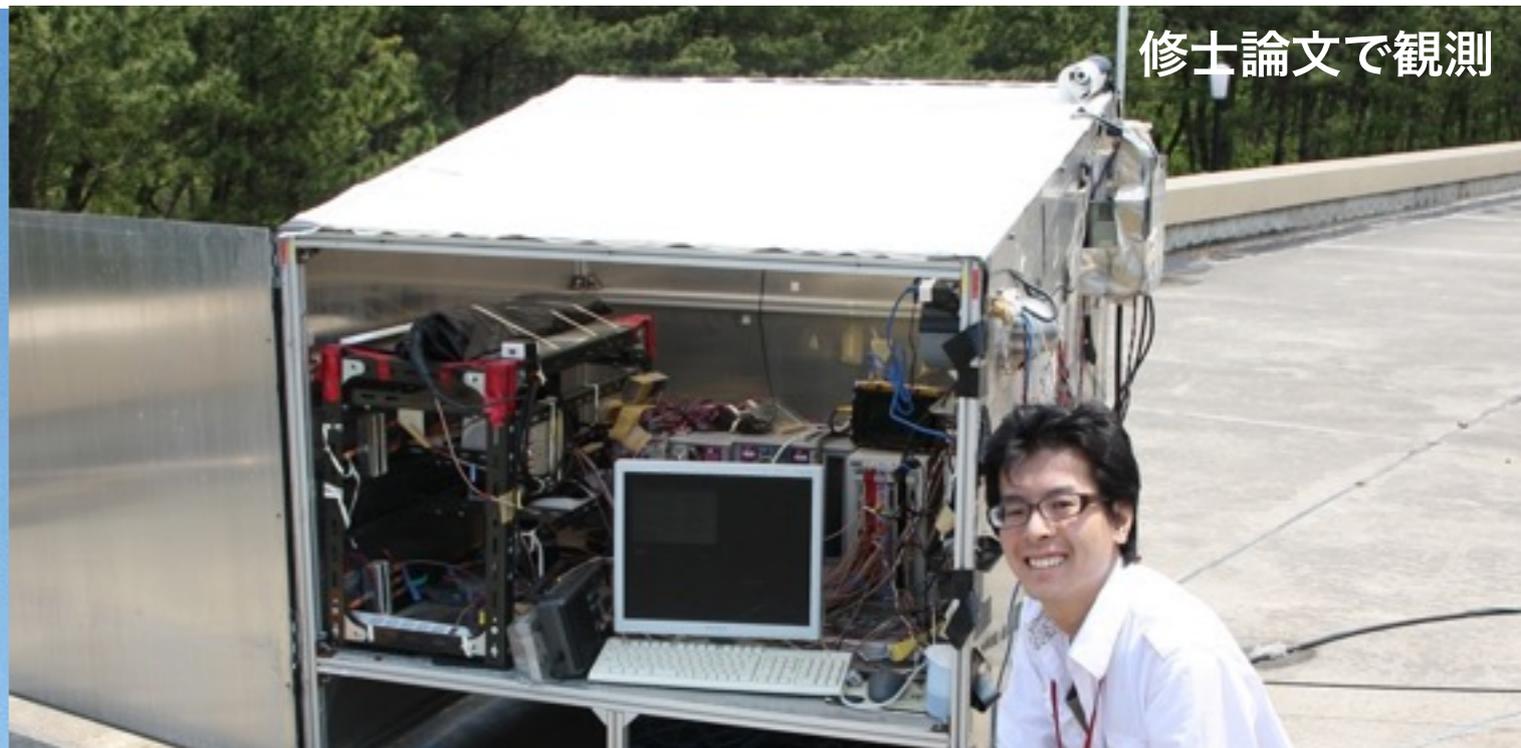
強電場域
 L_{av}

正電荷
(ポケット正電荷)

制動放射
ガンマ線

雷放電
(落雷)

修士論文で観測



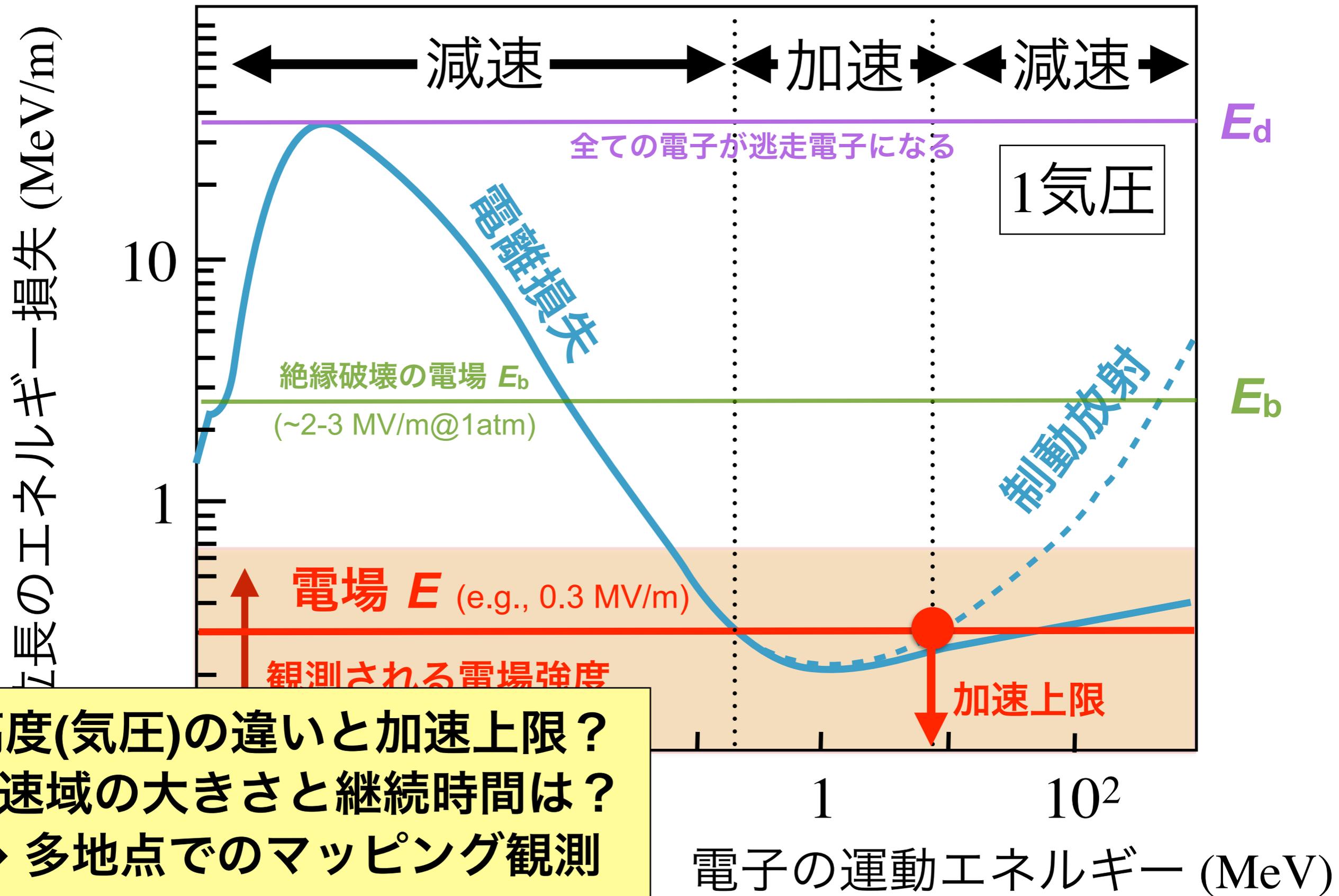
柏崎刈羽原発での定点観測から
雷雲電場による電子加速を観測

Tsuchiya, Enoto, et al., PRL 2007, 2009

榎戸, 修論 「雷雲電場による粒子加速の観測的研究」 東大 (2007)

榎戸&土屋 「雷雲は天然の粒子加速器か？」 天文月報 (2008)

大気中の電子加速: 冬季雷雲と夏季高山

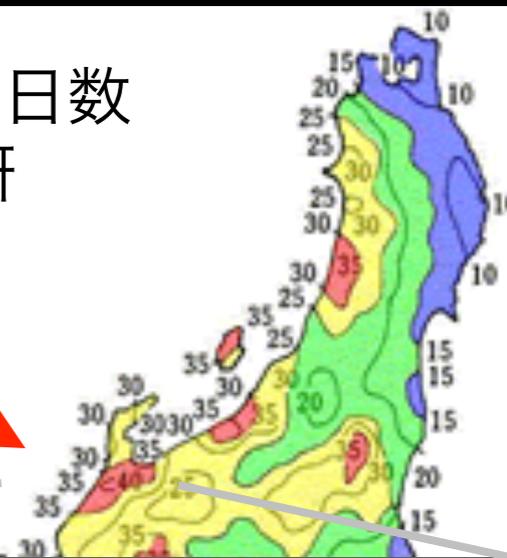


冬季雷雲マッピング観測への新展開

シベリア寒気団からの冷たい北西の季節風が、暖かく湿った日本海を渡って積乱雲を発達。強力な落雷(10^{1-3} 倍)や低い雲底(<1 km)。

年間雷雨発生日数
(C)電中研

金沢は雷の
宝庫!!



観測場所の確保!



金沢大学附属高校への訪問説明

金大付属
高校

金沢大学

泉丘高校

小松高校

サイエン
スヒルズ
こまつ



平成27年度: 学術系クラウドファンディング SNS を活用して、2ヶ月で100万円を目指す!

学術系クラウドファンディングサイト「academist (アカデミスト)」

オリジナルリターンの準備

(協)アダチ・デザイン研究室

マグカップ

オリジナル T シャツ

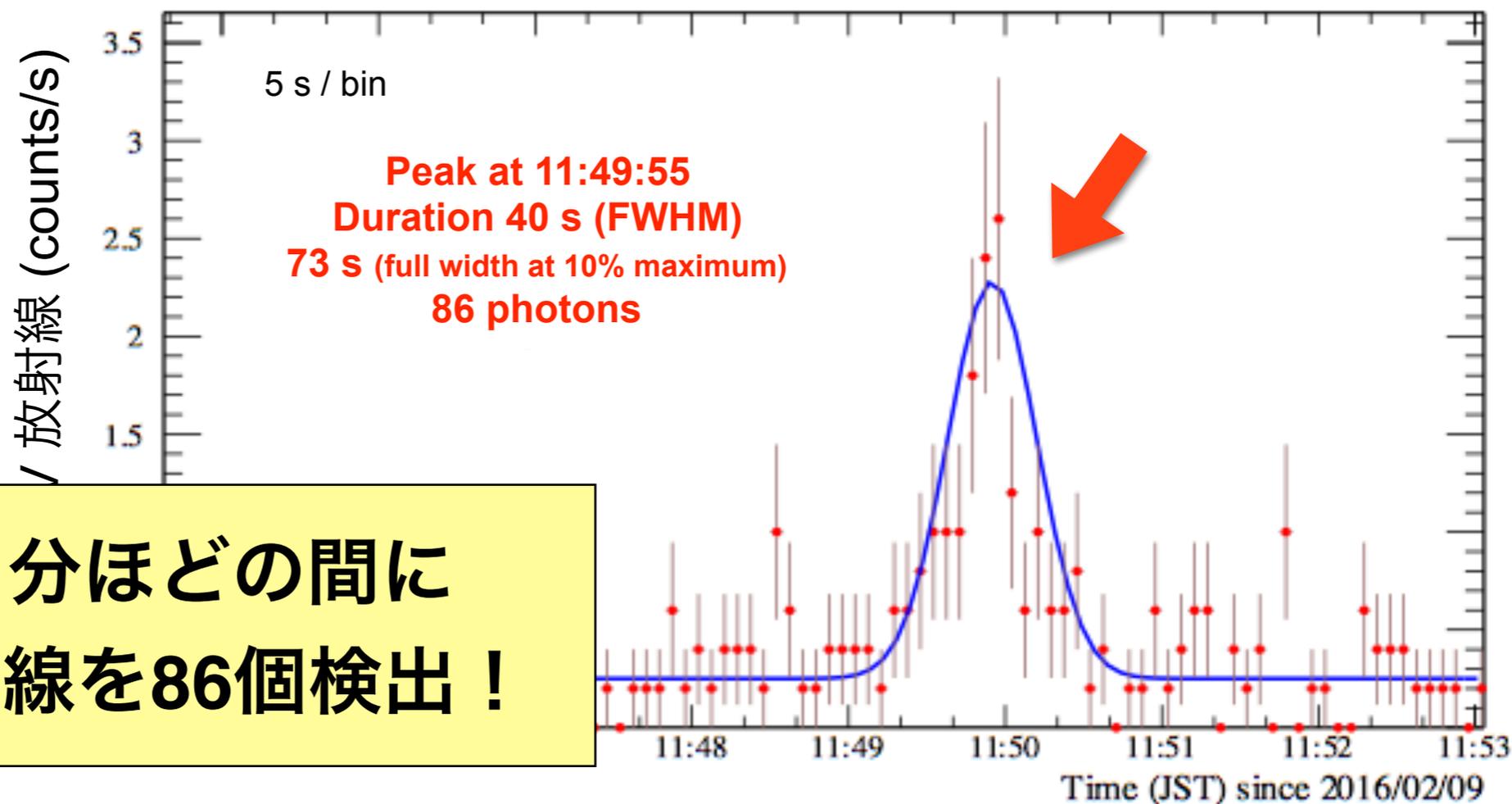
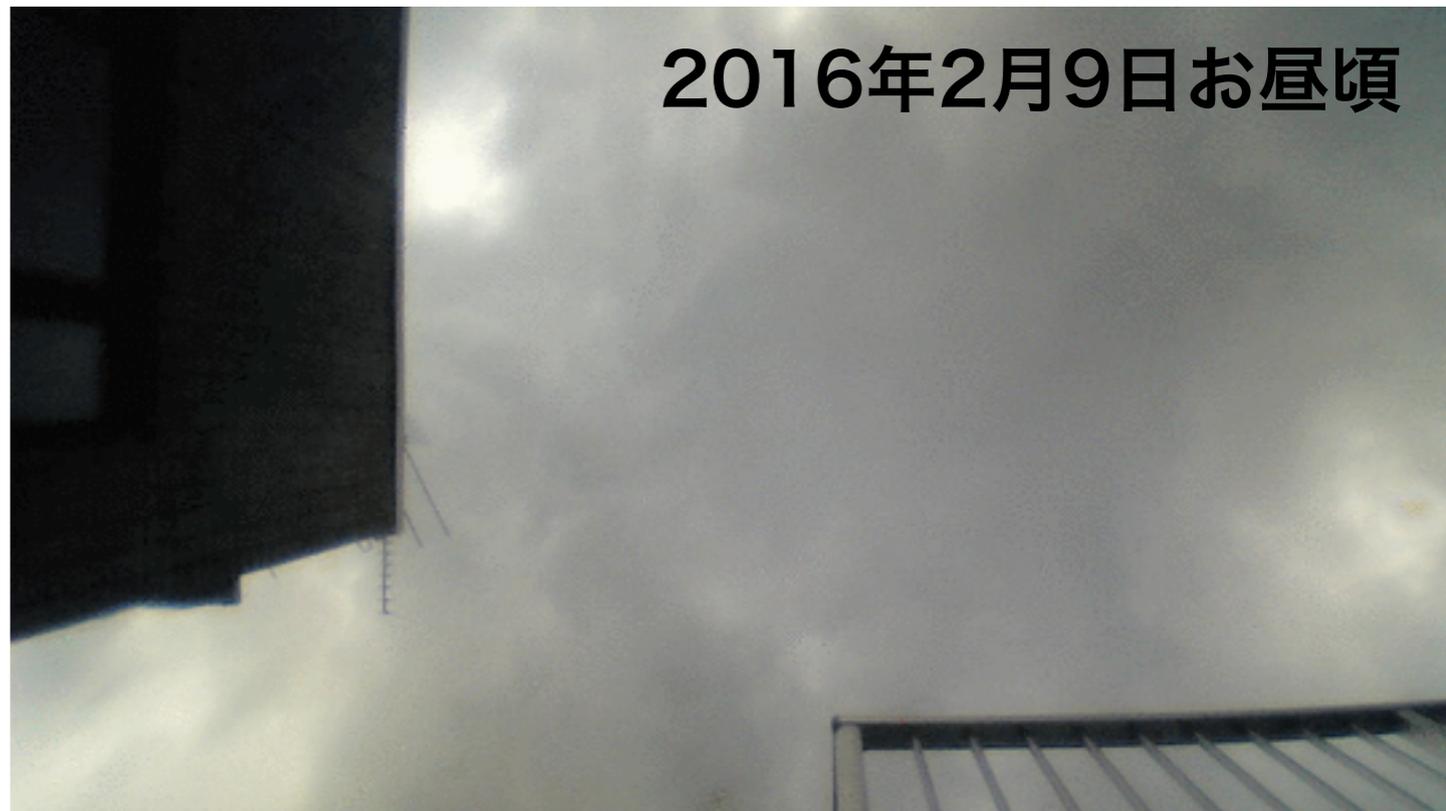
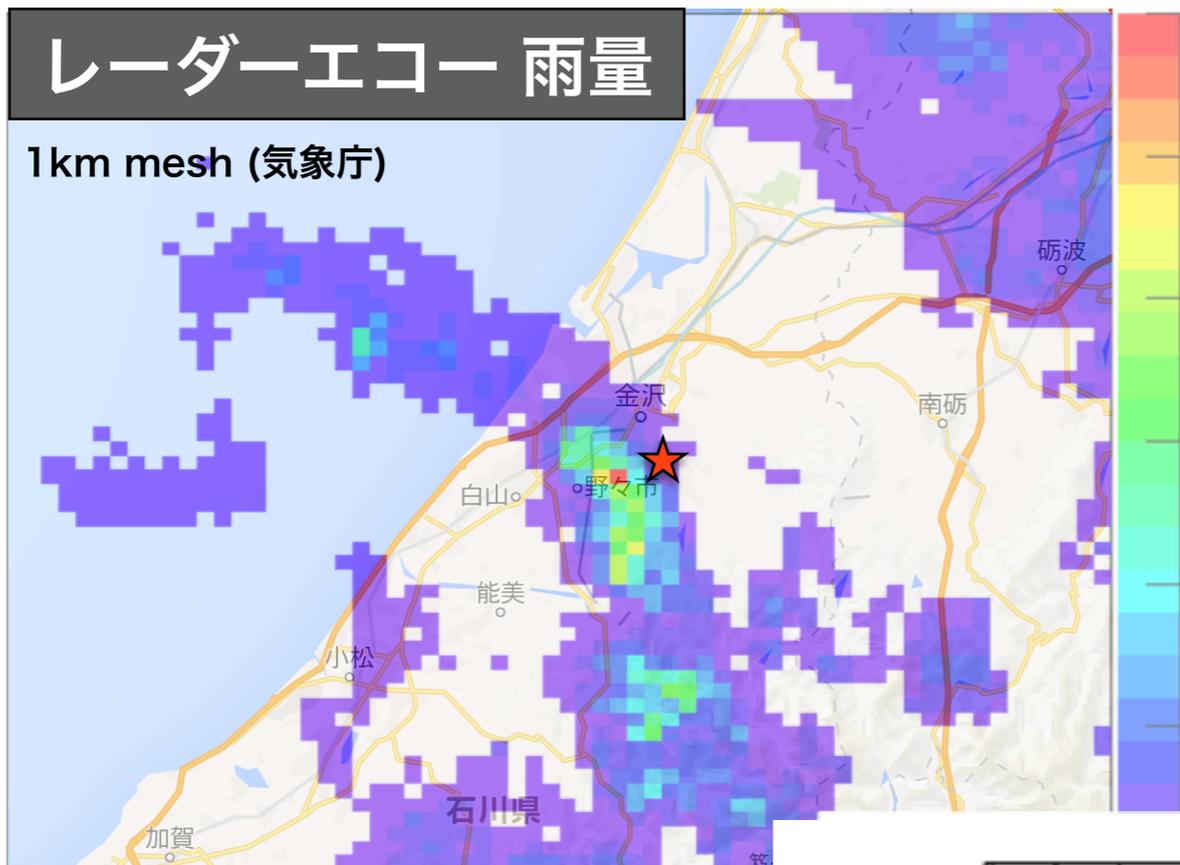
主んでいたことがあり、冬季の雷を思い出しま
興味深い研究だと思えます。応援しています。

電源コンセントの
設置に大いに活用

サポートしてくださった皆様
ありがとうございました!!

THUNDER CLOUD
PROJECT

平成27年度: 高校の屋上で観測、金沢で初検出

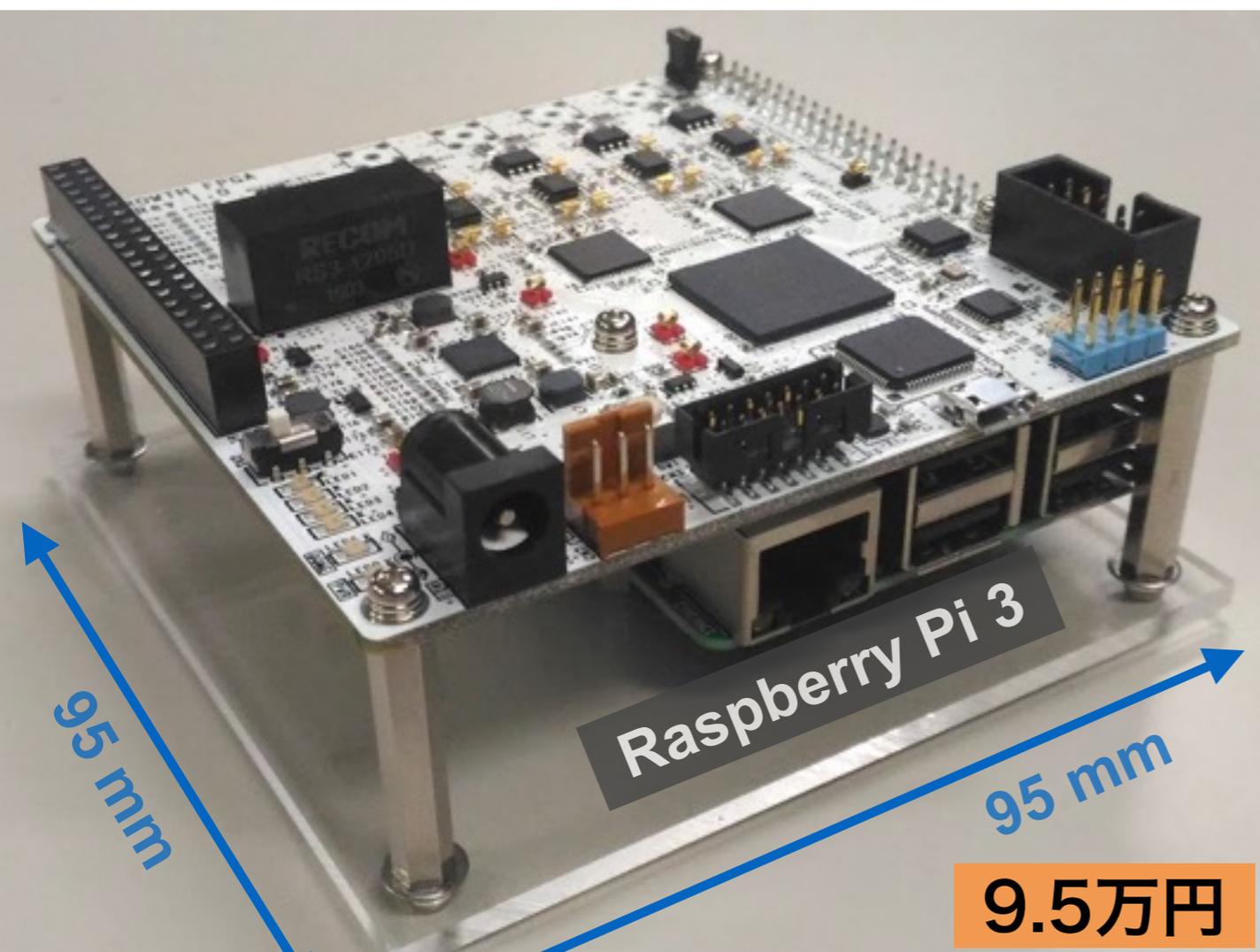


11:50分頃に約1分ほどの間に
雷雲からのガンマ線を86個検出！

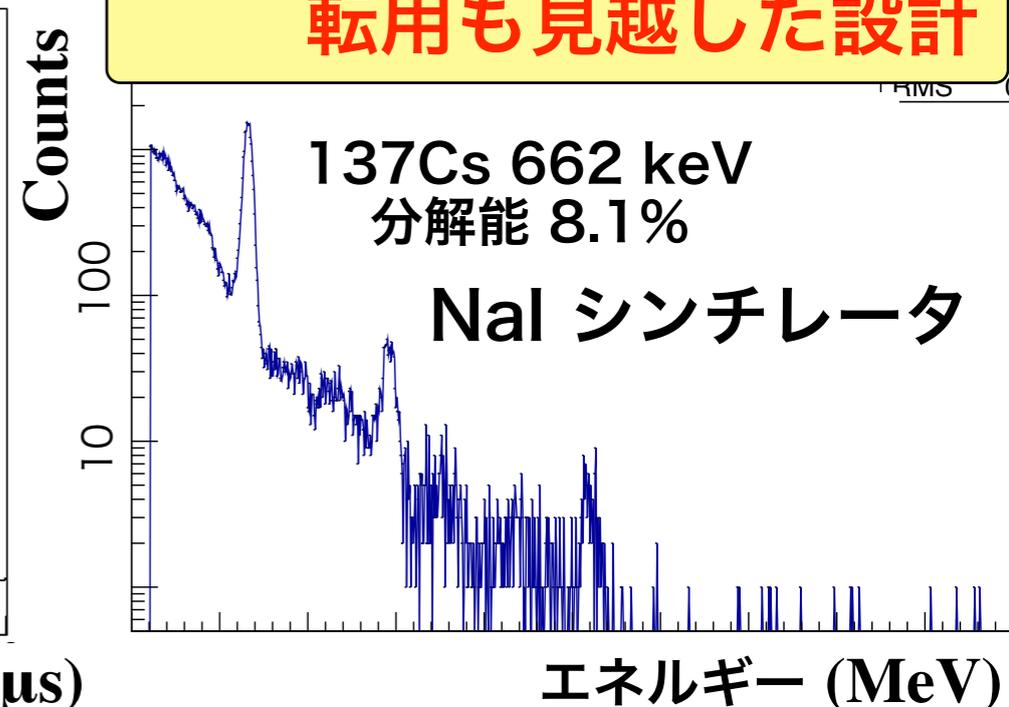
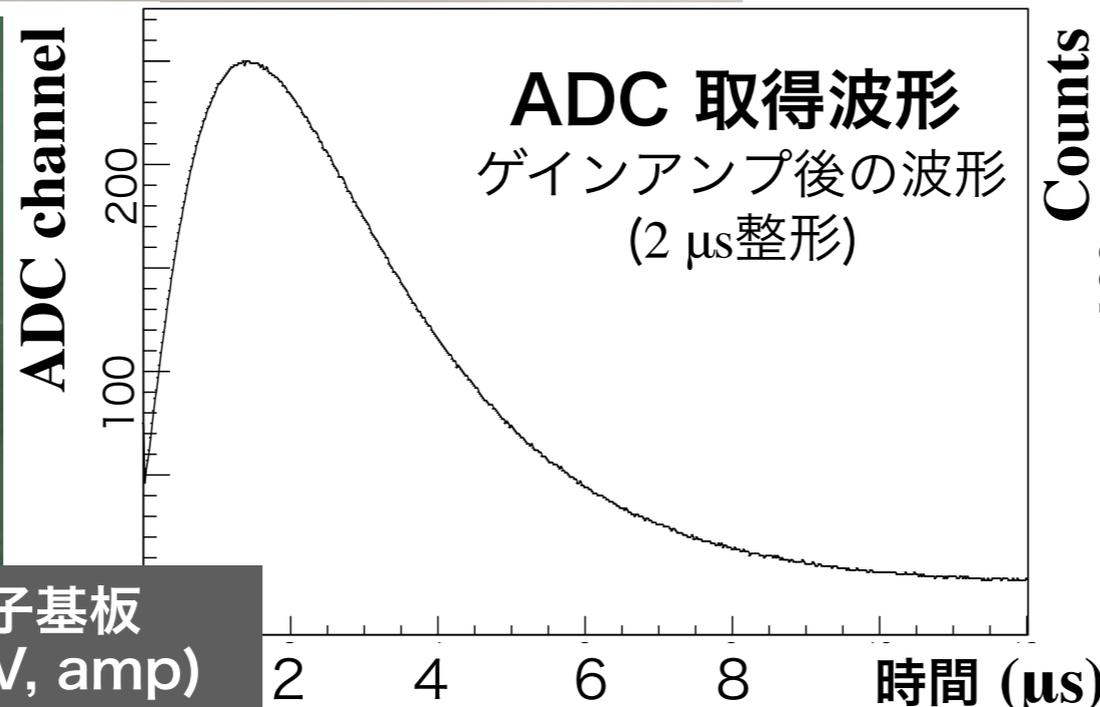
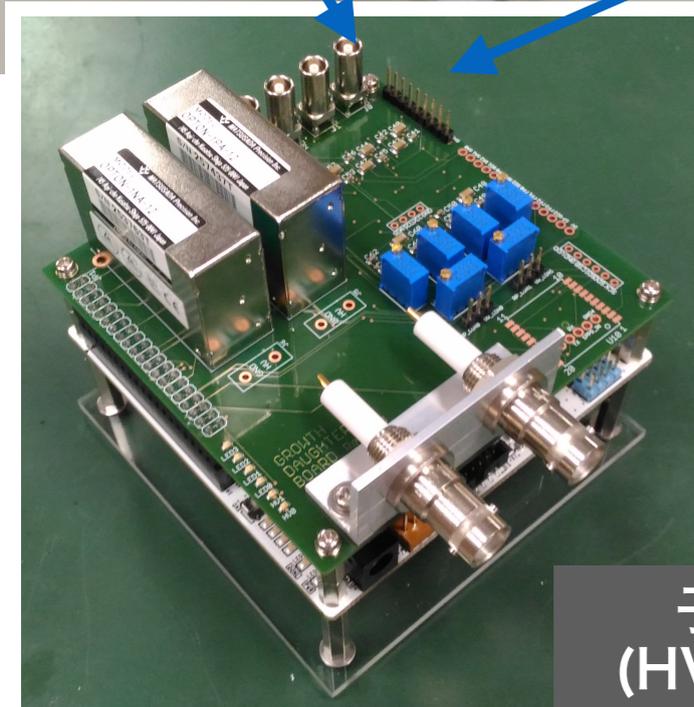
Raspberry Pi 駆動の小型で安価な放射線モニタ

湯浅らとシマフジ電機で協力し
FPGA/ADC ボードを開発

- DC 12 V 駆動
- ADC 入力: $\pm 5V$, 50Ω
- 50 MHz サンプル 12 bit ADC 4ch
- Raspberry Pi / Mac から制御可能
- SpareWire 端子も搭載
- 拡張コネクタで小基板を接続可
- 単体での消費電力 5 W
- 95 x 95 mm



1U サイズ 小型衛星への
転用も見越した設計



2015-16年にかけての観測網の構築



(c) Google, SK telecom, Zenrin, Data SIO, NOAA, Hydrographic Association, L



(c) Google, Data Japan Hydrographic Association

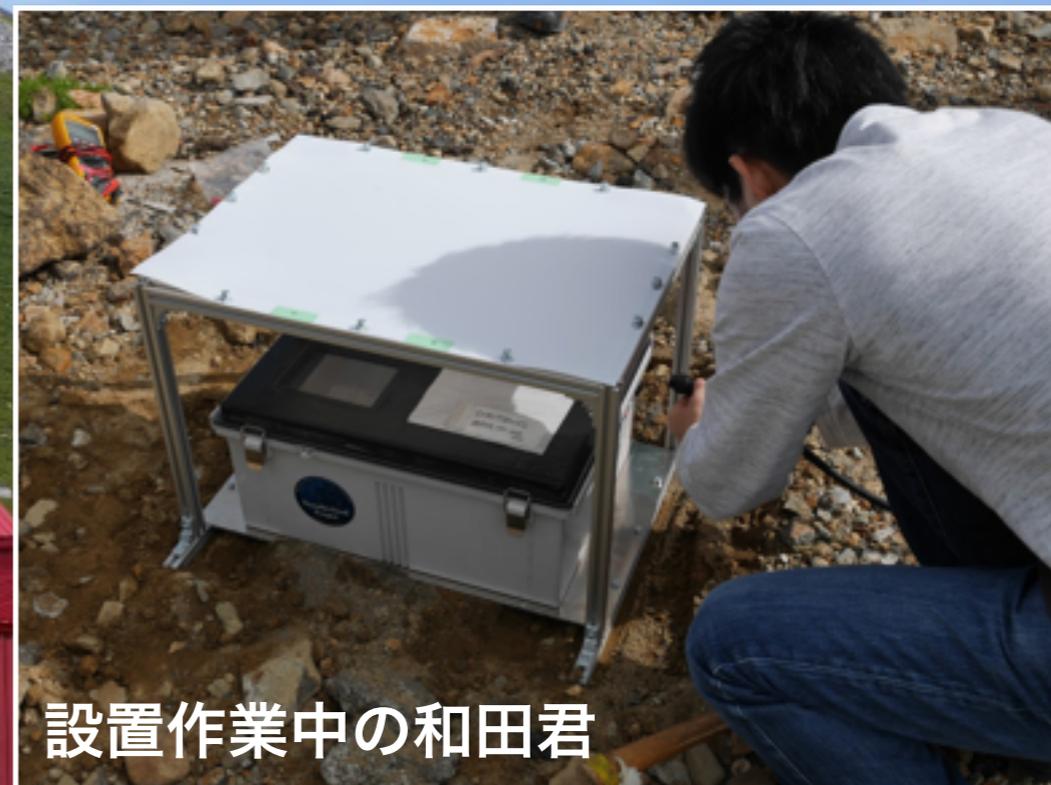


(c) Google, ZENRIN, DATA SIO, NOAA, US Navy, NGA, GEBCO, Landsat

【1】 乗鞍岳 宇宙線観測所(2,770 m)への設置

2016年7月11-12日に実施
1台を設置

コロナ観測所にも
置きたいなあ



設置作業中の和田君

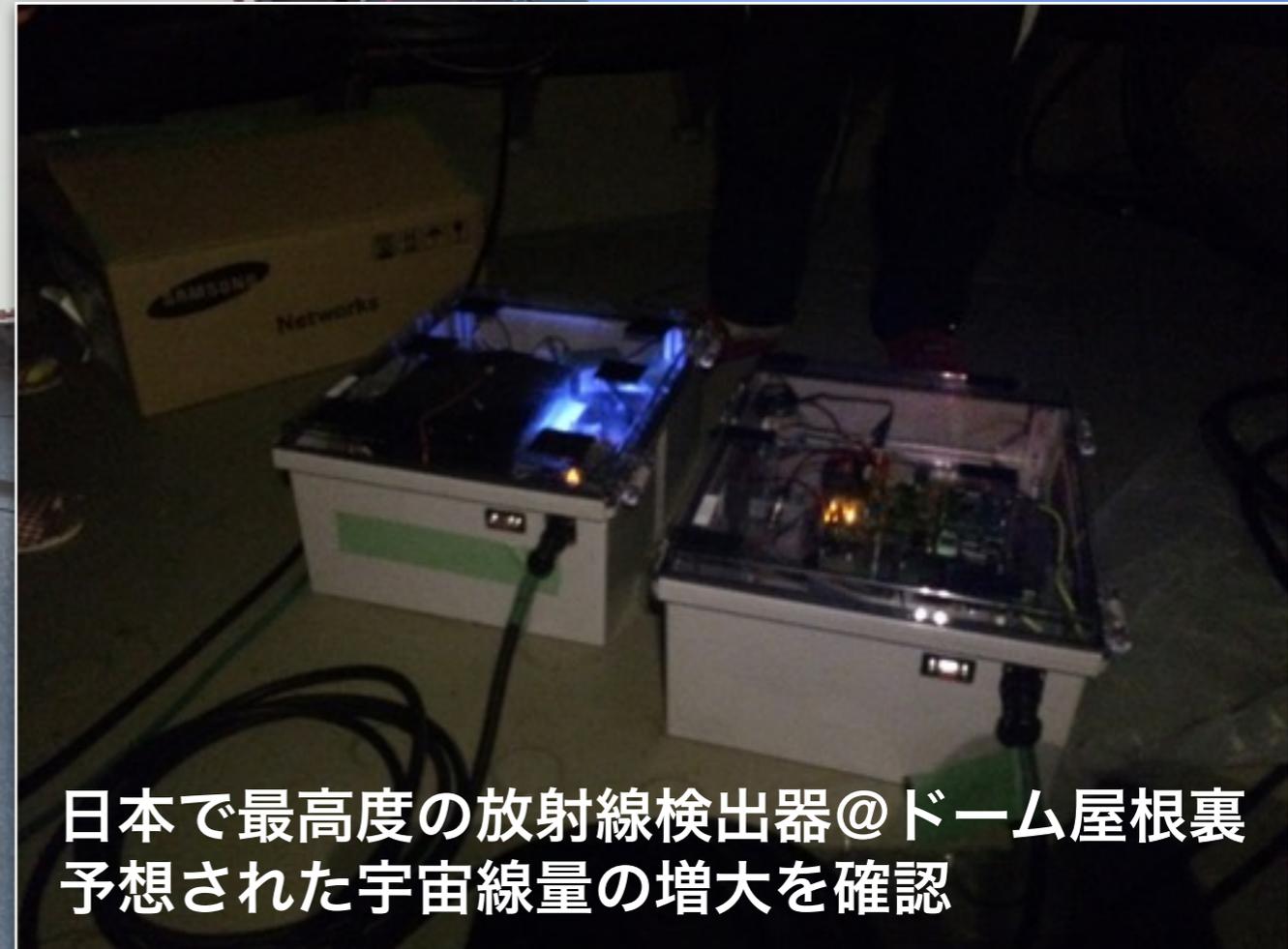


電源ケーブル埋設を手伝ってくれた
東大の古川健人君, 松元崇弘君

瀧田所長はじめ、観測所みなさん
には大変お世話になりました。
どうもありがとうございました！

【2】 富士山山頂測候所 (3,775 m)への設置

2016年7月15-16日に実施
2台を設置



日本で最高度の放射線検出器@ドーム屋根裏
予想された宇宙線量の増大を確認

鴨川仁さん(学芸大)グループ、NPO富士山
測候所を活用する会のみなさまのご支援、
大変ありがとうございました！

【3】 金沢~小松の大学と高校 5箇所を設置

2016年9月10-14日に実施
5台を設置

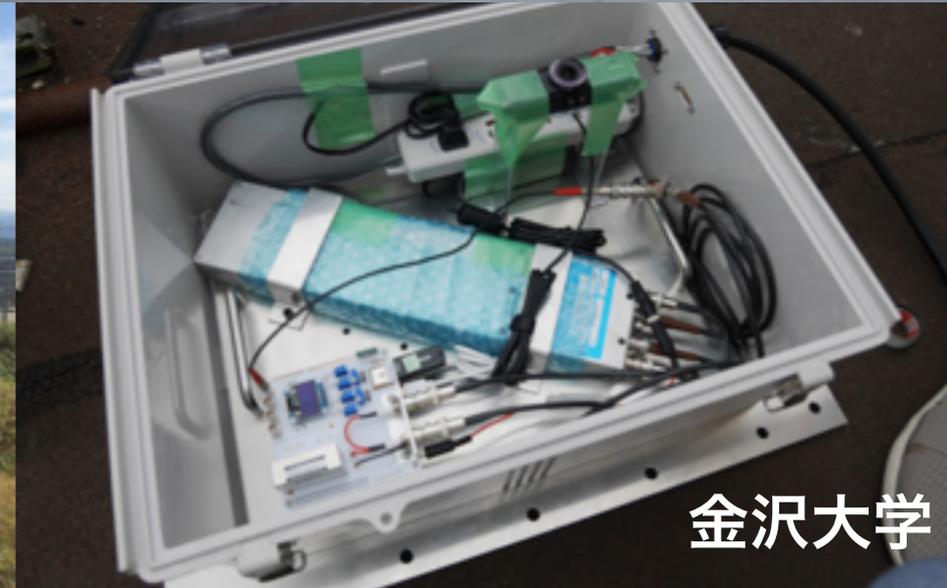


金沢市 泉丘高校の屋上

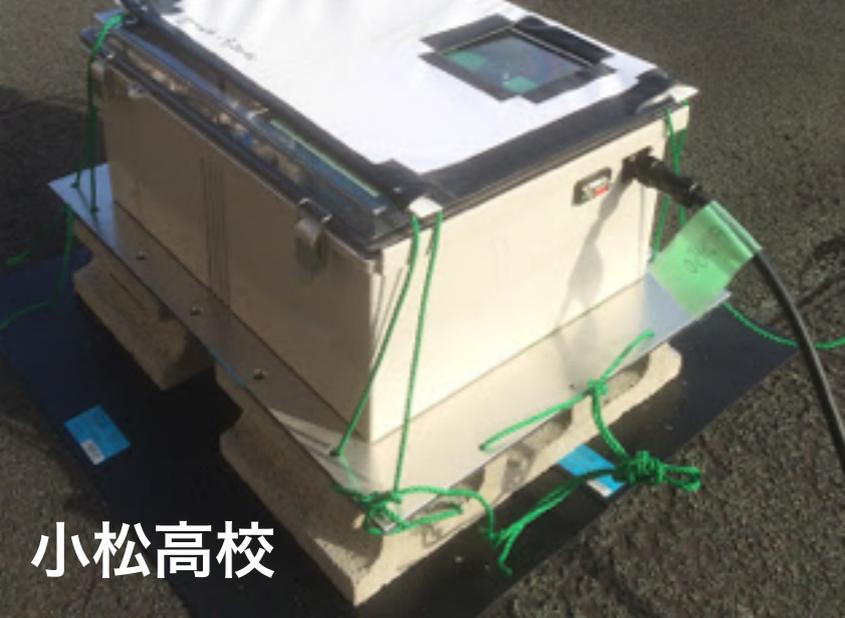
米徳さん(金沢大学)はじめ各高校の
先生のご協力、ありがとうございました



サイエンスヒルズこまつ
ひとつものづくり科学館



金沢大学



小松高校



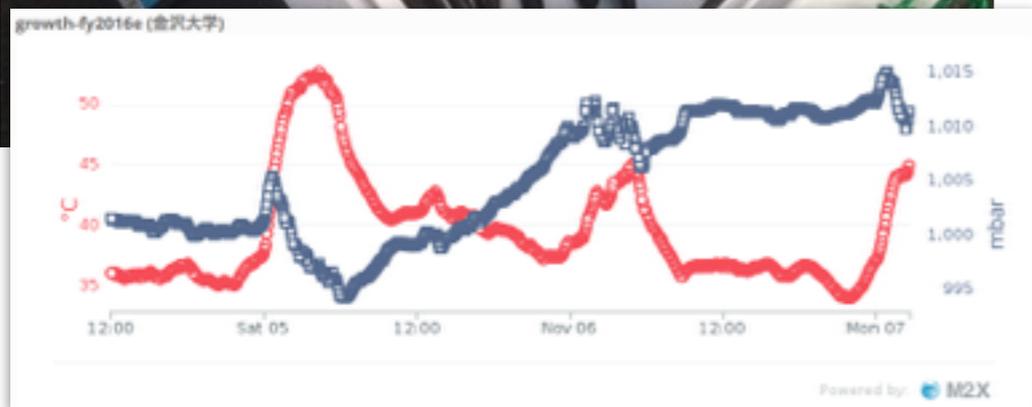
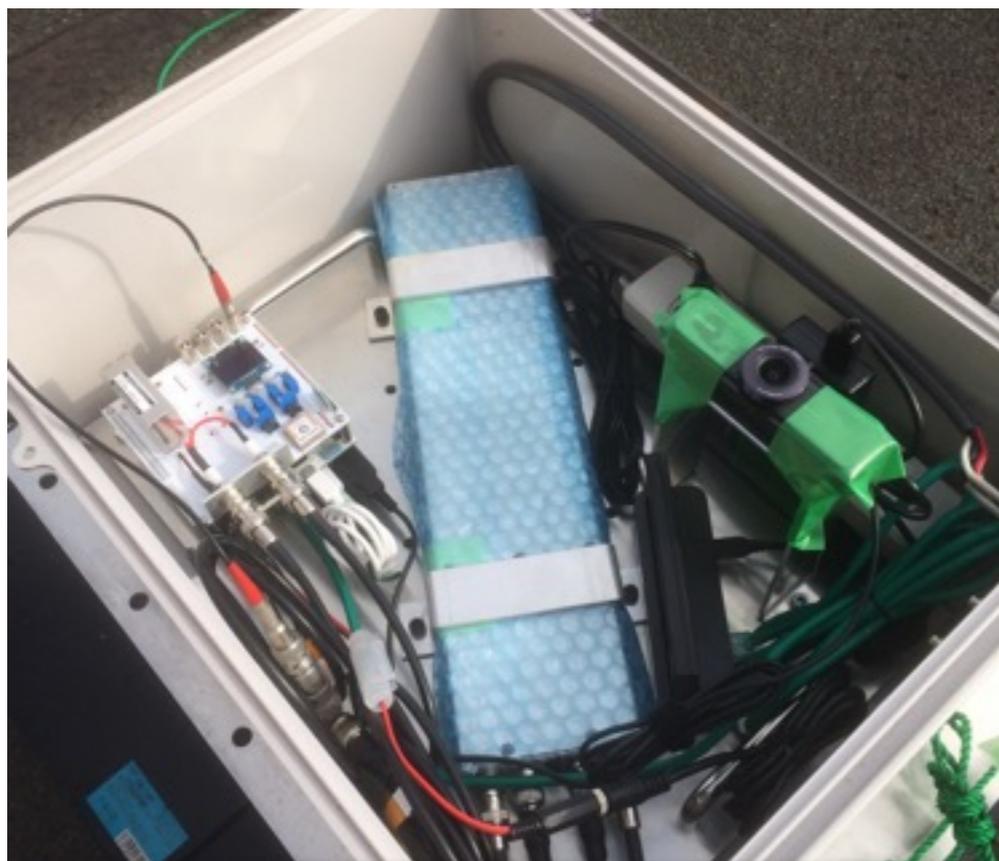
金沢大学附属高校



泉丘高校 (出前授業も!)

平成28年度に構築した観測システム

和田(東大・馬場中澤研 M2)を中心にシステム設計, 製作, 設置, 観測を実施



- BGOシンチレータ (80 x 25 x 250 mm³)は理研仁科センターから借用。
- ~0.5-8 MeV の放射線イベントごとにGPS時刻、エネルギー等を記録。
- 和田ほかがフロントエンドボード(子基板)を製作。HV, センサー, ゲイン, GPS ほかを搭載。
- 温度、気圧ほか環境データ、装置の健康診断の情報も取得。M2X でリアルタイム監視。
- モバイル通信で遠隔操作 (ssh)、データ送信可。ただし、通信料の関係で送信を制限。
- ウェブカメラで空の様子も記録。
- シンチレータを除く、読み出し回路の製作費用は 80万円から20万円以下まで低減。

さらなる広域観測に市民との連携が必須。オープンサイエンス(市民科学)の可能性も模索。データ公開サイト <http://thdr.info> も準備。

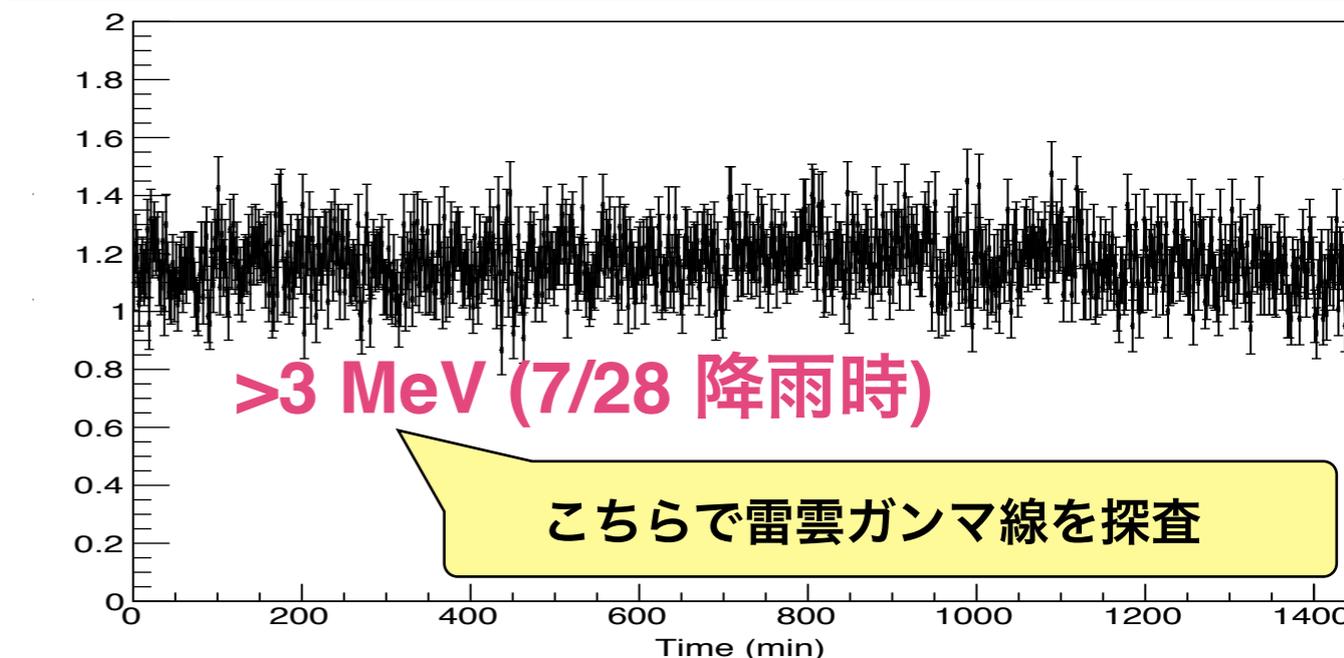
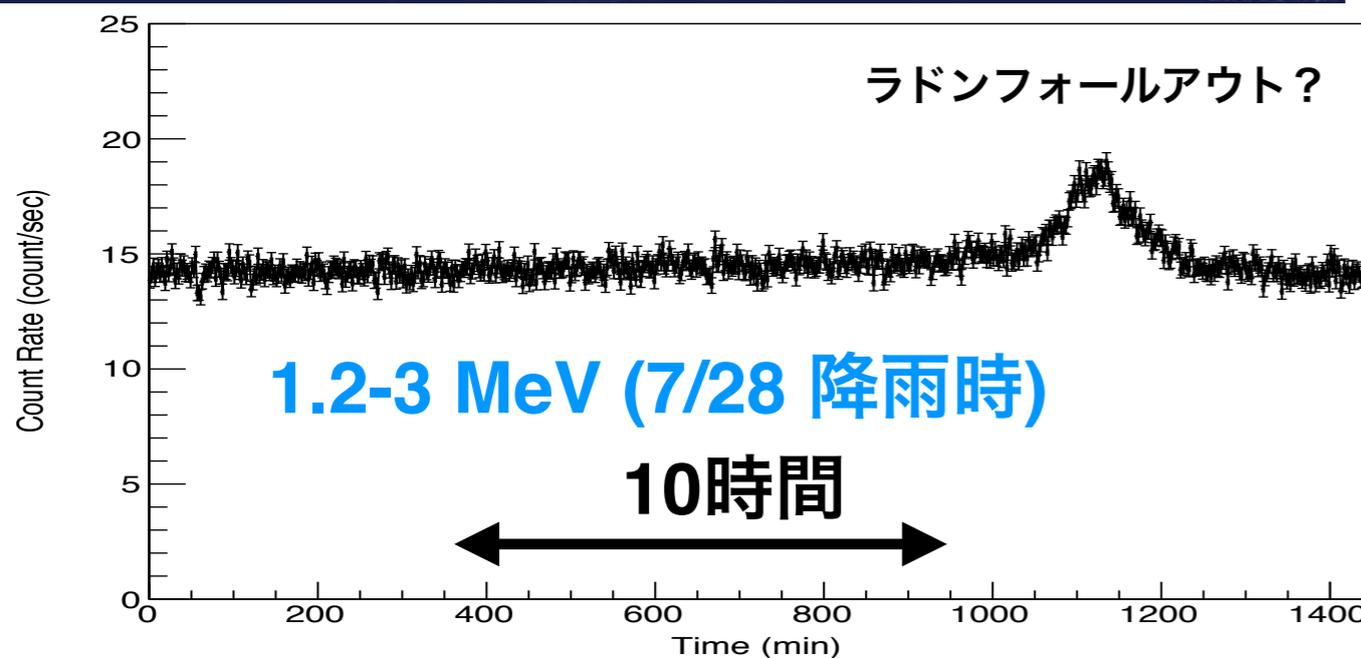
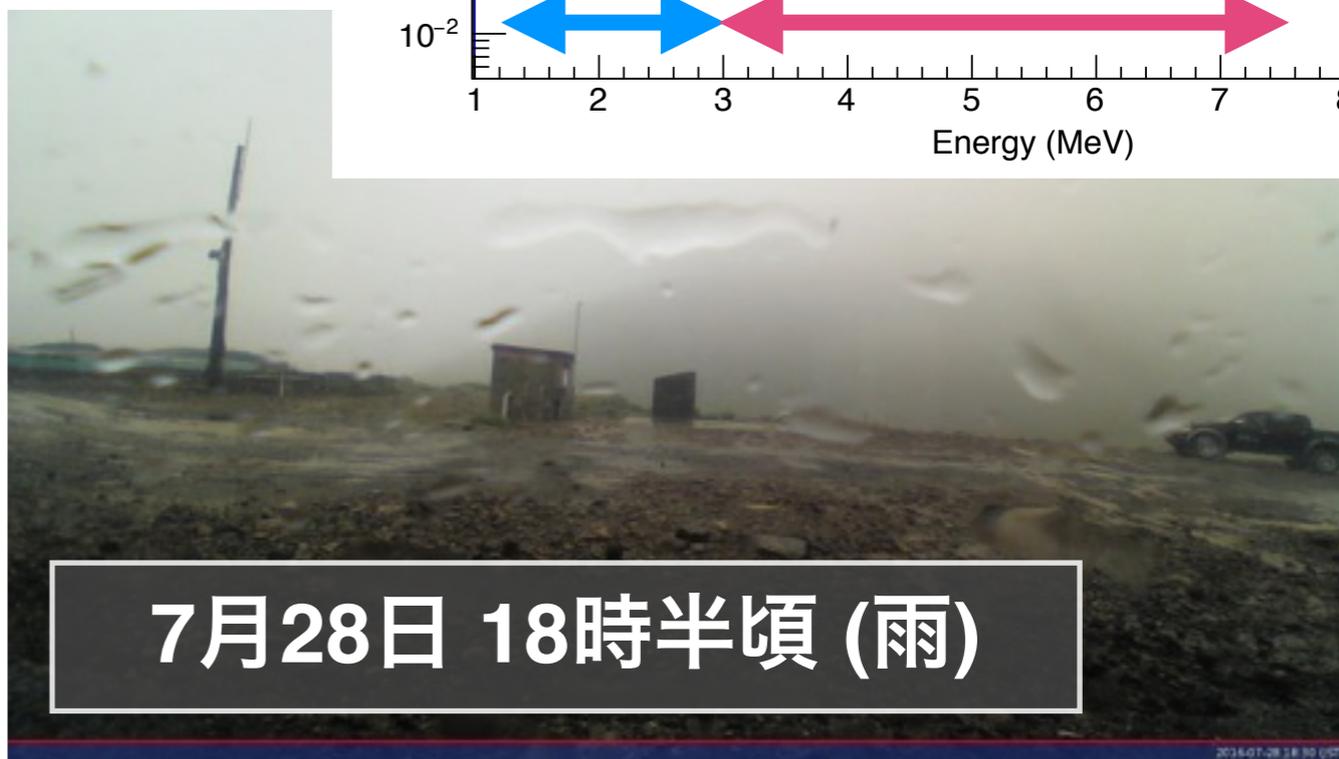
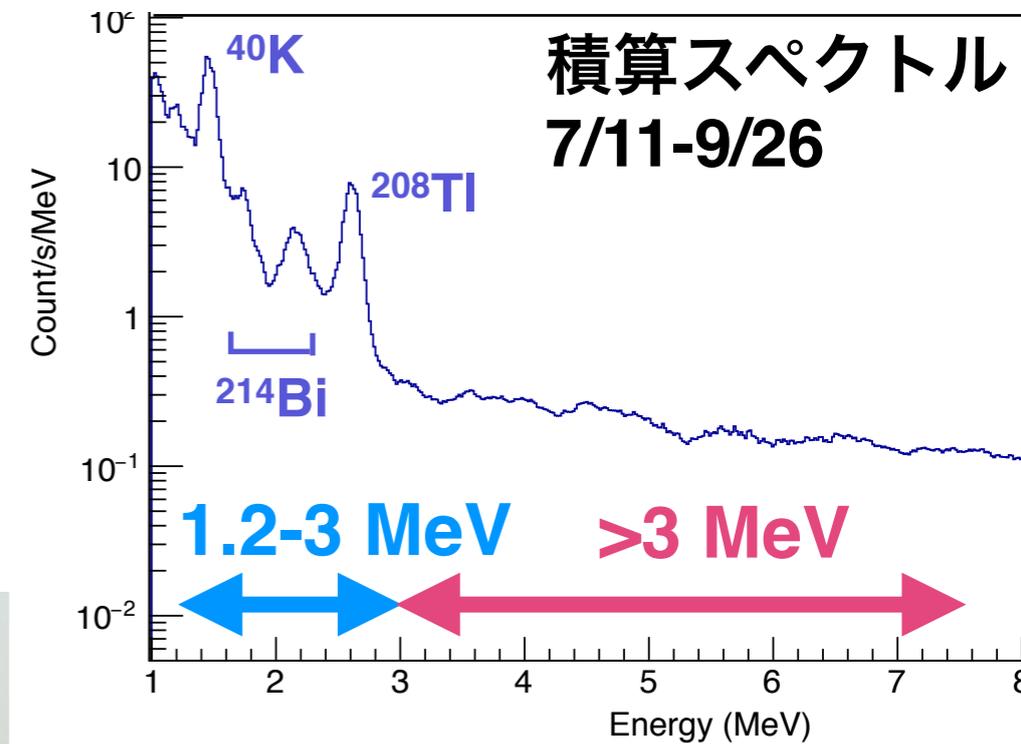
KYOTO オープンサイエンス勉強会 (毎月1回開催, 世話人:小野英理 & 榎戸輝揚)

T. フェダー「市民参加型, クラウドソーシング的研究が大成果」月刊誌パリティ2016年9月号(榎戸翻訳)

乗鞍での観測データ例

全データは和田(東大M2)の修士論文にて！

- 天然放射性核種のラドンの影響は 3 MeV 以下
- 雷雲ガンマ線は 10 MeV 近くまで伸びる



【まとめ】平成28年度の研究報告

- 雷雲電場による電子加速の解明には多地点マッピング観測が本質的。石川県や乗鞍岳、富士山に展開できる観測システムの構築を行った。
- FPGA/ADC ボードを始めとする読み出しシステムを開発し、シンチレータを除く1台の開発コストを80万円から20万円まで低減した。
- 夏季高山として乗鞍岳宇宙線観測所、富士山山頂の2箇所、金沢と小松市内の5箇所など、合計10箇所にて観測を開始した。
- 夏季、冬季の全データ解析が進行中 (和田修士論文へ)。
- 今後はより広域展開を目指したサポーターを含む観測体制を目指す。

今後3年間を目処に科学成果を目指します。よろしくお願ひします！

[査定25万円+新任教員枠50万]

- 屋外用電源ケーブル等の製作: 42.5万円
- 防水ボックスの購入と加工: 17.7万円
- 乗鞍旅費 (7/11-12, 9/26-27): 14.0万円

シンチレータを探しています！

現在、シンチレータの有効面積で雷雲ガンマ線の検出が制限される状況です。研究費の関係で中古品に心当たりのある方いらっしゃらないでしょうか？

天然放射性核種

3つの種類に分類される

1. 原始放射性核種 (壊変系列をなす)

半減期が長く、太陽系ができた約45億年前から消えずに生き残った、放射性元素を親とする放射壊変系列に属するもの。 ^{238}U (半減期 45億年) を親とするウラン系列核種、 ^{232}Th (半減期140億年) を親とするトリウム系列核種など。

2. 原始放射性核種 (壊変系列をなさない)

^{40}K (半減期 12.7億年)のように、放射壊変系列に属さない長寿命の核種。全カリウム中に 0.0117% ほど存在する。他にルビジウム87 (^{87}Rb , 半減期475億年)などがある。

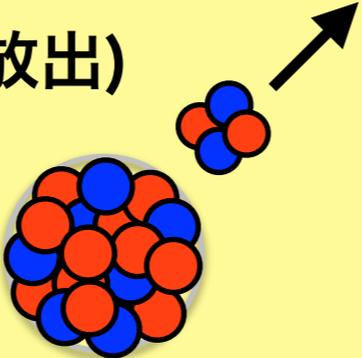
3. 誘導放射性核種

宇宙線と高層大気中での原子核(窒素、酸素、アルゴンなど)が核反応(破砕反応)を起こしたり、その際の中性子が二次的な反応を起こして生じる核種 (^3H , ^{14}C など)。現在も生成されている。

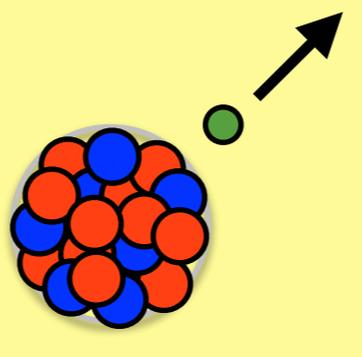
天然放射性核種: ウラン系列

半減期が地球年(約45億年)と同度で現在でも生き残っている

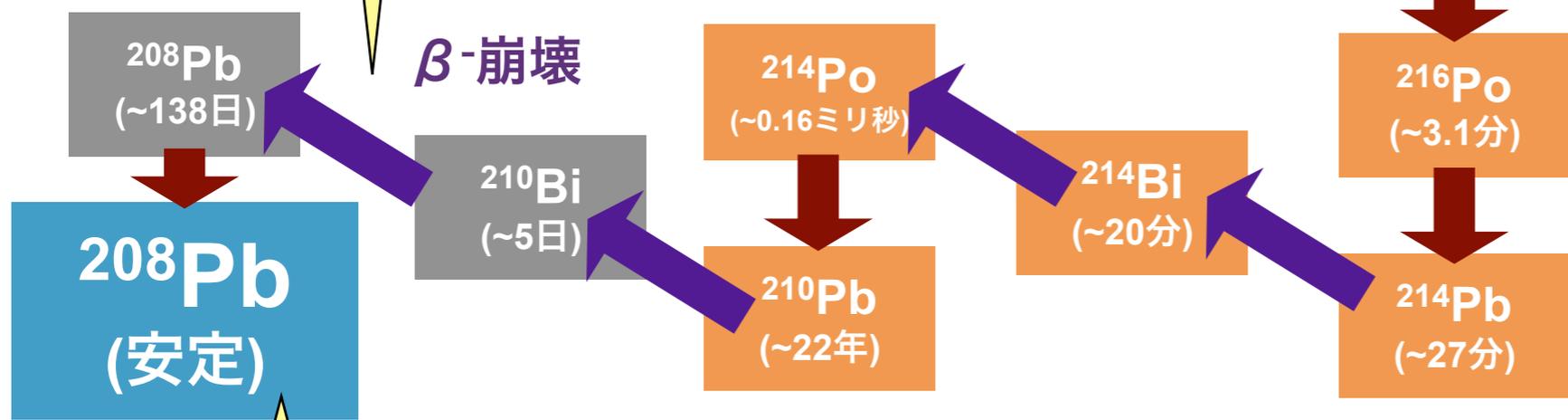
α崩壊 (ヘリウム原子核を放出)

$${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2 \text{He}$$


β崩壊 (電子を放出)

$${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + {}^0_{-1} e^-$$


Z=陽子数, A=陽子数+中性子数



安定な最終生成物である鉛

希ガス元素で、土壌や岩石の隙間から大気中に放出される

- 典型的に地表面から 1 pCi/m² の割合で大気中に放出。
- 高度 10 km 以下の対流圏にわたって空気中にほぼ一様に ~100 pCi/m³ の濃度で拡散。
- 降雨とともに降下。

