

雷雲電場による電子加速のガンマ線観測プロジェクト: 小型読み出し系の開発と 北陸地方における多地点運用



土屋



松元



古川



榎戸



中澤



和田



湯浅



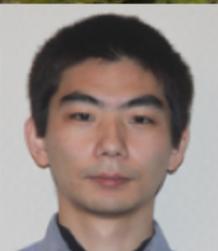
奥田



古田



榎本



和田有希¹, 榎戸輝揚², 湯浅孝行³, 中澤知洋¹,
土屋晴文³, 中野俊男³, 奥田和史¹, 古田禄大¹,
牧島一夫³, 鴨川仁⁴, 瀧田正人⁵, 米徳大輔⁶,
澤野達哉⁶, 渡會兼也⁷, 米口一彦⁸, 木村光一郎⁹,
北野皓嗣¹⁰, 榎本大悟¹ ほか GROWTH グループ

1)東大理, 2)京大理, 3)理研, 4)学芸大, 5)宇宙線研, 6)金沢大,
7)金大附属高, 8)泉丘高校, 9)小松高校, 10)サイエンスヒルズこまつ

1. 可搬型ガンマ線検出器の開発

小型読み出し系の新規開発



シンチレータ + PMT

小型読み出し系
(波形増幅+ADC+PC)

ネットワーク回線
(モバイルルータ)

HVの供給・前置増幅・波形整形、デジタルサンプリング・波形解析、データの蓄積をまとめて行う9.5 cm × 9.5 cm の回路基板 (榎戸講演)

拡張端子

9.5万円

FPGA/ADCボード

- 50 MHzサンプル 12 bit ADC × 4ch
- FPGAで波高値と検出時刻などを抽出
- 小型Linux PCのRaspberry Piと組み合わせてイベント毎に記録
 - 1イベントが最小28 bytes
 - 波形も保存可能
- DC12V/5W
- 湯浅氏/シマフジ電機が設計を担当

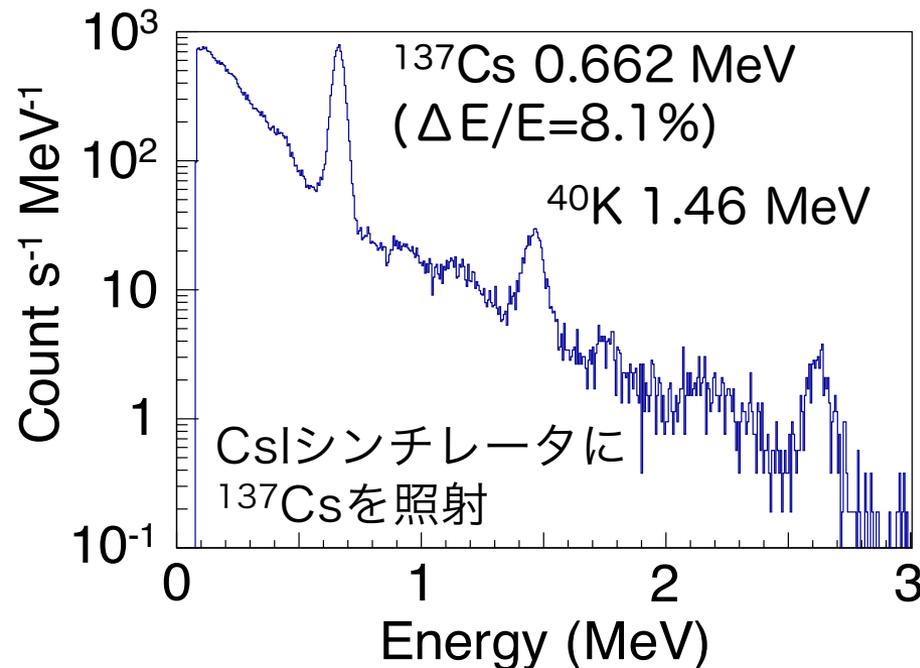
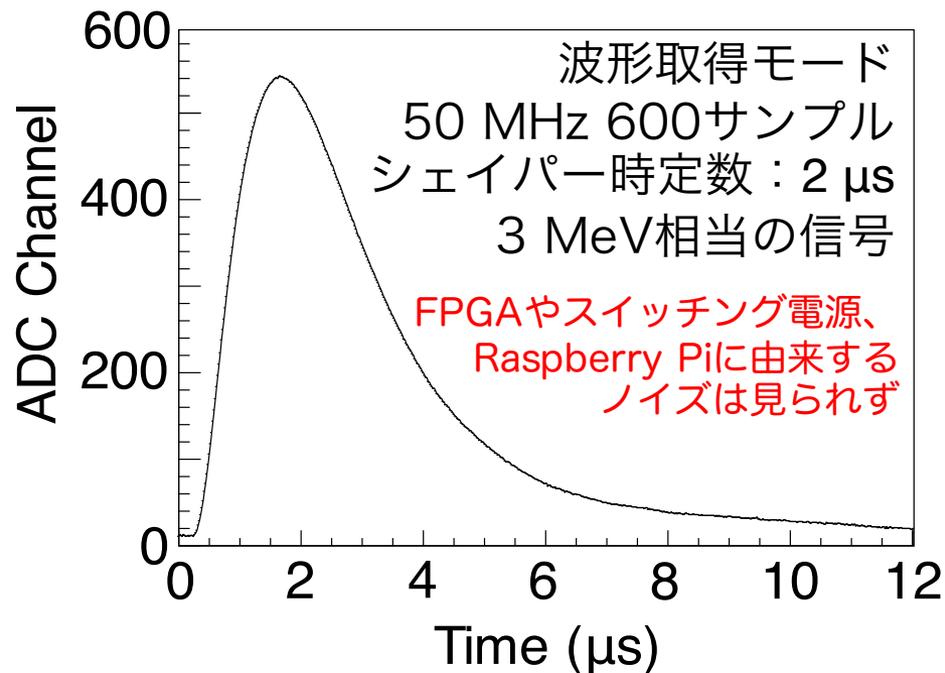
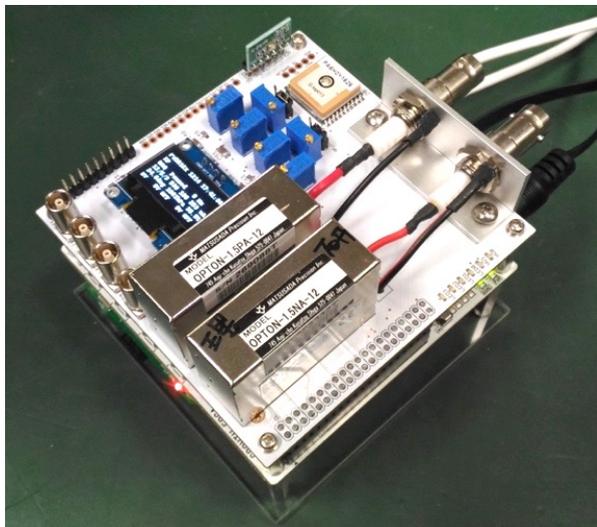
Raspberry Pi 3

1. 可搬型ガンマ線検出器の開発



フロントエンドカード

- 和田がSPICEでの回路設計とパターン設計を担当
- シンチレータ+PMTの信号読み出しに最適化
 - HVモジュール ×2 (松定 OPTON-Aシリーズ)
 - プリアンプ+シェイパー ×4
 - 時刻付け用のGPS受信機 (マイクロ秒の精度)
 - 温湿度/大気圧センサー (BME280)、ディスプレイ

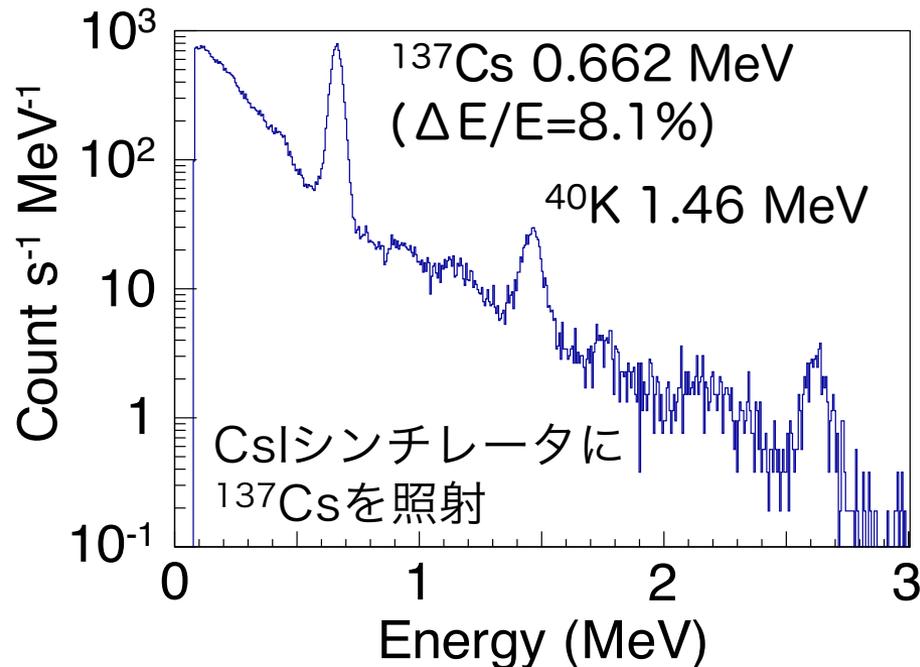
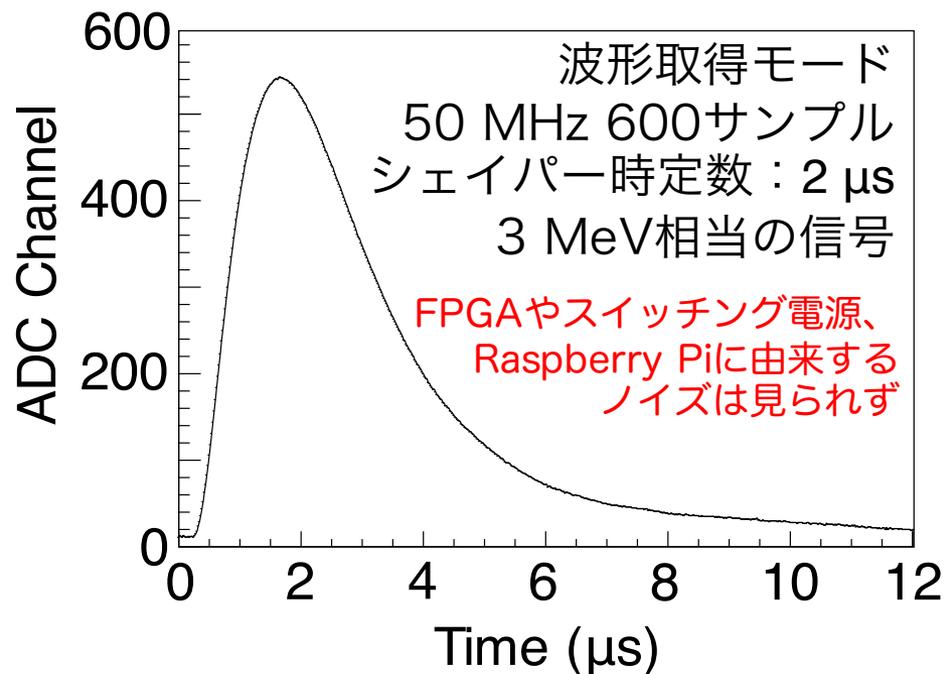
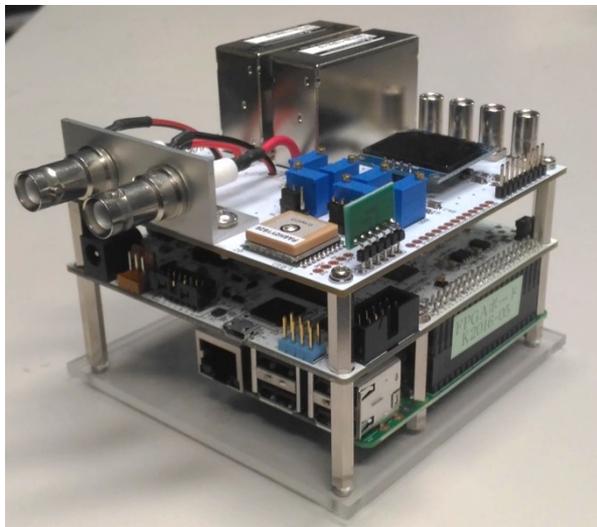


1. 可搬型ガンマ線検出器の開発



フロントエンドカード

- 和田がSPICEでの回路設計とパターン設計を担当
- シンチレータ+PMTの信号読み出しに最適化
 - HVモジュール ×2 (松定 OPTON-Aシリーズ)
 - プリアンプ+シェイパー ×4
 - 時刻付け用のGPS受信機 (マイクロ秒の精度)
 - 温湿度/大気圧センサー (BME280)、ディスプレイ

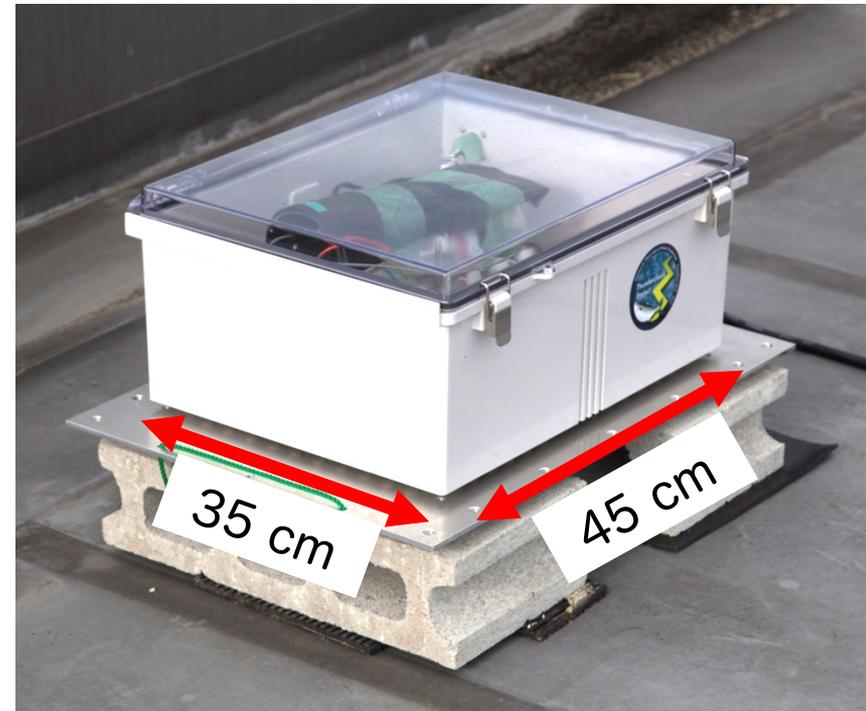
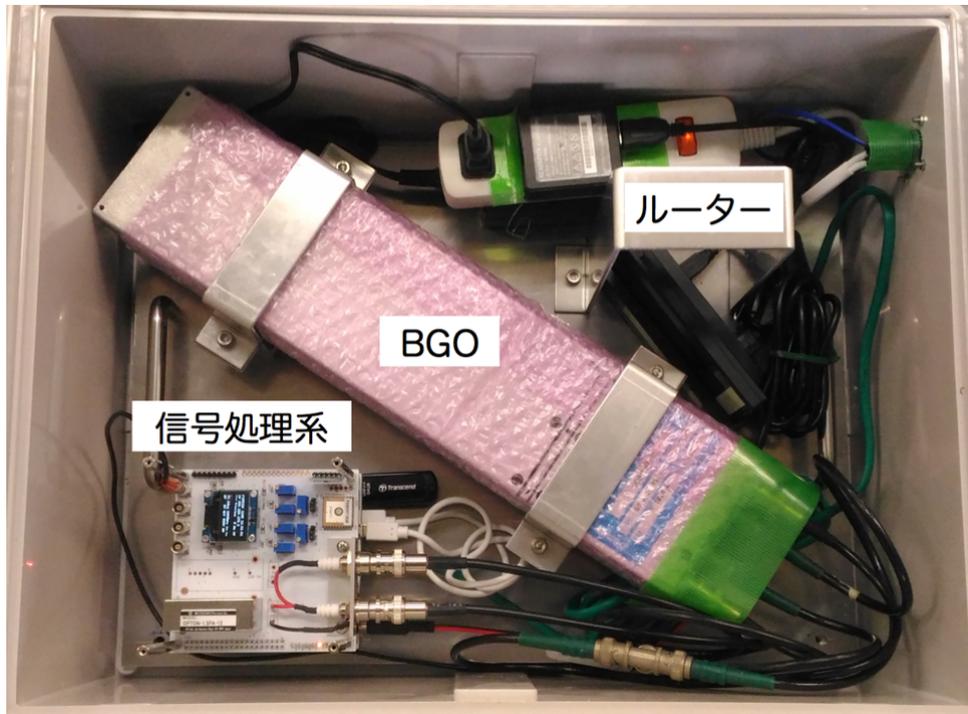


1. 可搬型ガンマ線検出器の開発



可搬型ガンマ線検出器の組み上げ

- BGOシンチレータ (25 × 8 × 2.5 cm³、R1924Aと接合) を搭載
 - 10 MeVのガンマ線と約50%の反応確率
- システムを防水ボックスに封入 -> 屋外使用に耐える可搬(10 kg)な仕様
- 携帯回線経由で検出器の温度を常に監視 -> 異常時にはアラート
- 通信容量 (5GB) の制限内でデータを転送して即座に解析可能



2. 検出器の設置

北陸地方への多地点展開

- ・ 2016年10月から12月にかけて石川県と新潟県の7ヶ所へ8台を設置



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

2. 検出器の設置

北陸地方への多地点展開

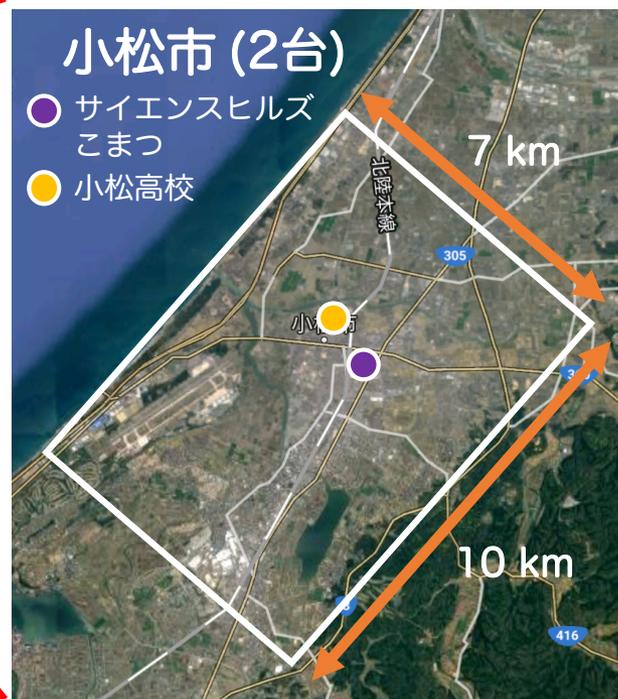


・ 2016年10月から12月にかけて石川県と新潟県の7ヶ所へ8台を設置



(c) Google, ZENRIN, DATA SIO, NOAA, US

教育機関や公共施設の協力により
石川県金沢市・小松市の観測点を確保
-> マッピング観測を拡充



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

2. 検出器の設置

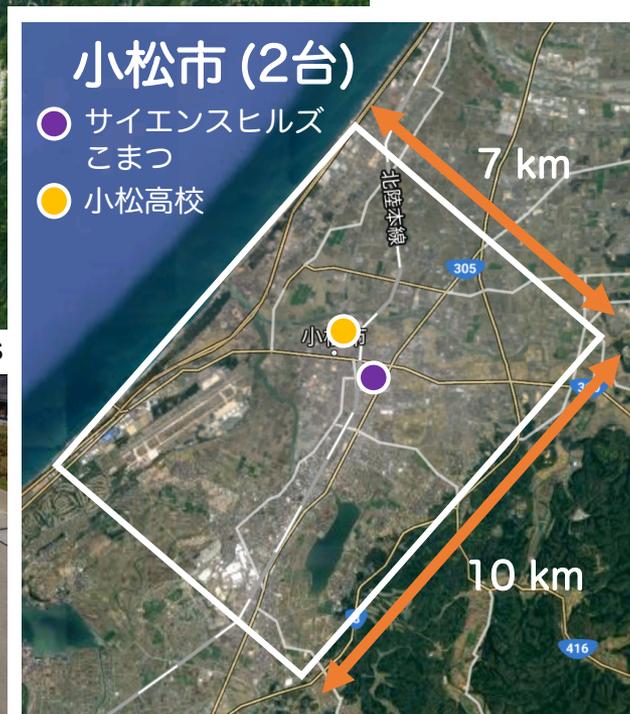
北陸地方への多地点展開



・ 2016年10月から12月にかけて石川県と新潟県の7ヶ所へ8台を設置



教育機関や公共施設の協力により
石川県金沢市・小松市の観測点を確保
-> マッピング観測を拡充



(c) Google, ZENRIN, DATA SIO, NOAA, US

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



3. 観測データの解析

雷雲ガンマ線イベントの検出

- ・ 2016年12月8日と9日に日本海沿岸で多数の落雷
- ・ 降雨による環境放射線の変動が見られない3 MeV以上を解析

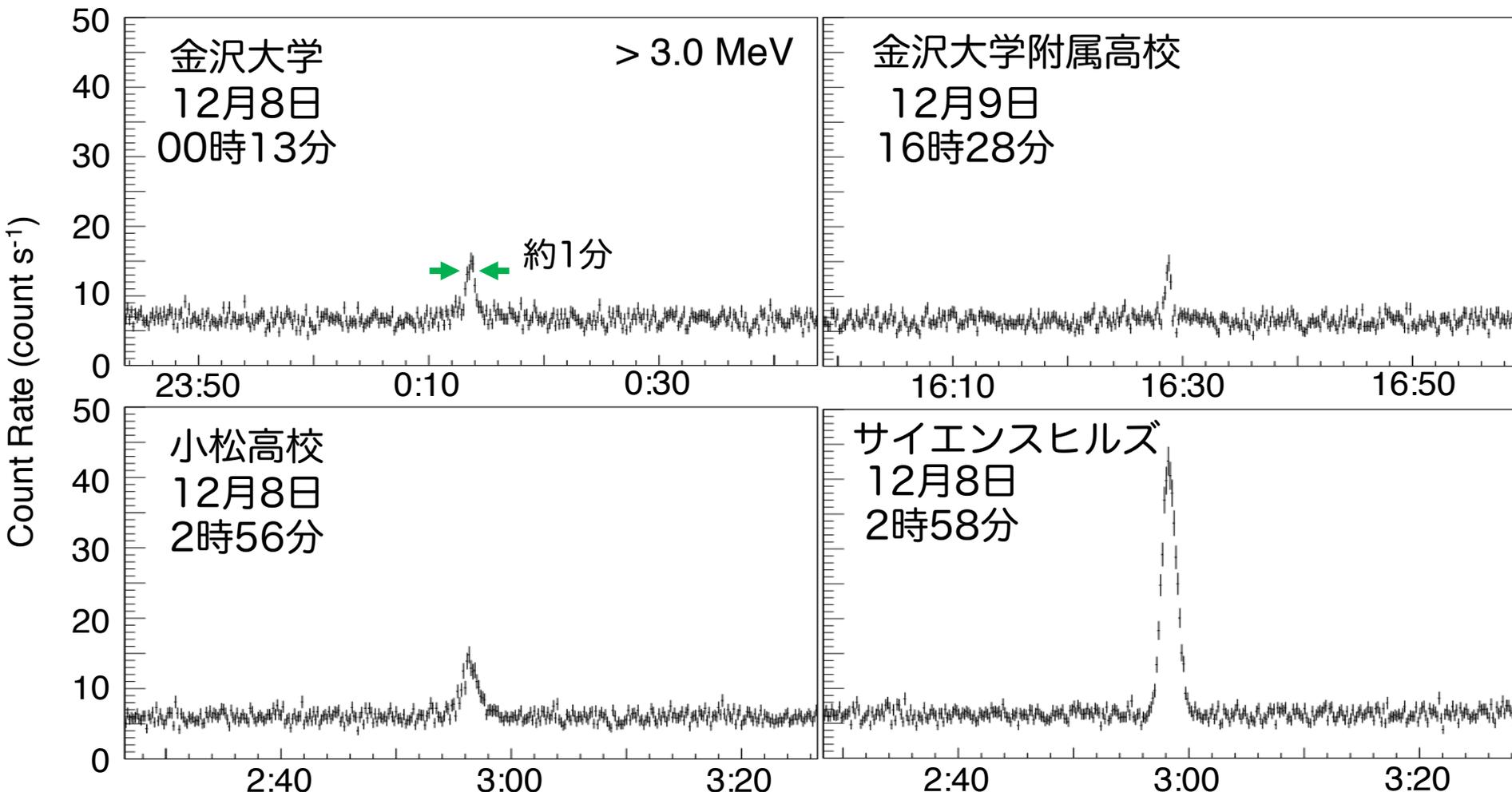


3. 観測データの解析



雷雲ガンマ線イベントの検出

- ・ 2016年12月8日と9日に日本海沿岸で多数の落雷
- ・ 降雨による環境放射線の変動が見られない3 MeV以上を解析

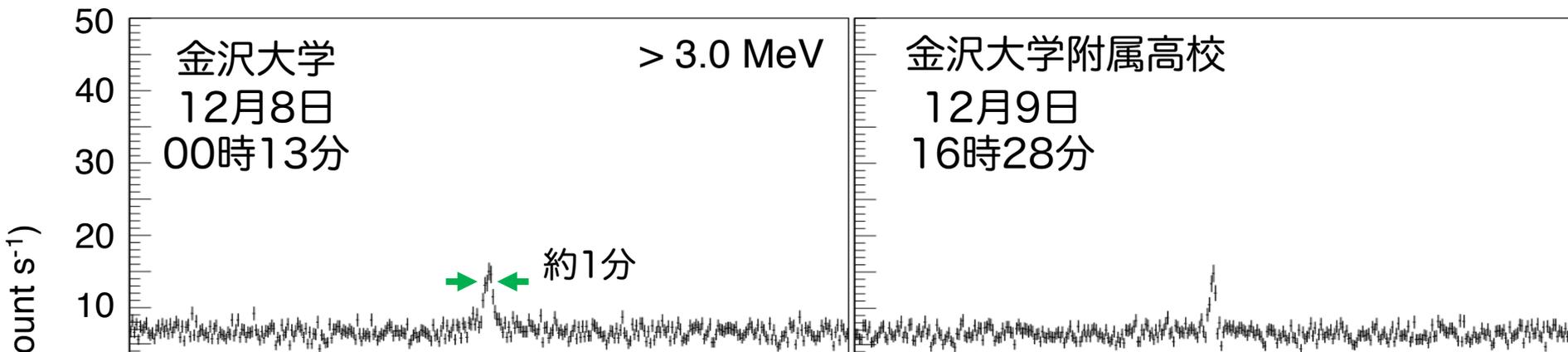


3. 観測データの解析

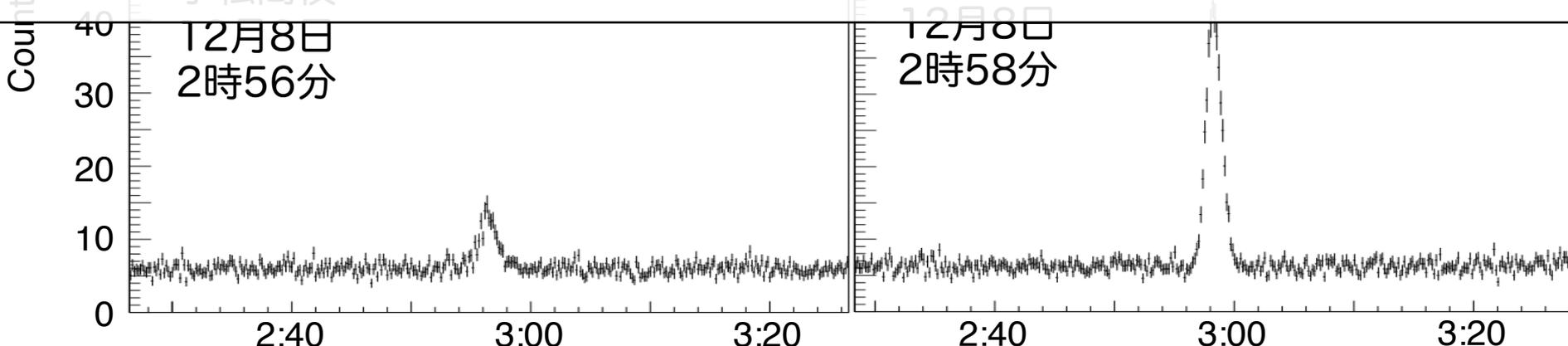


雷雲ガンマ線イベントの検出

- ・ 2016年12月8日と9日に日本海沿岸で多数の落雷
- ・ 降雨による環境放射線の変動が見られない3 MeV以上を解析



金沢市・小松市の4ヶ所で雷雲ガンマ線を検出!

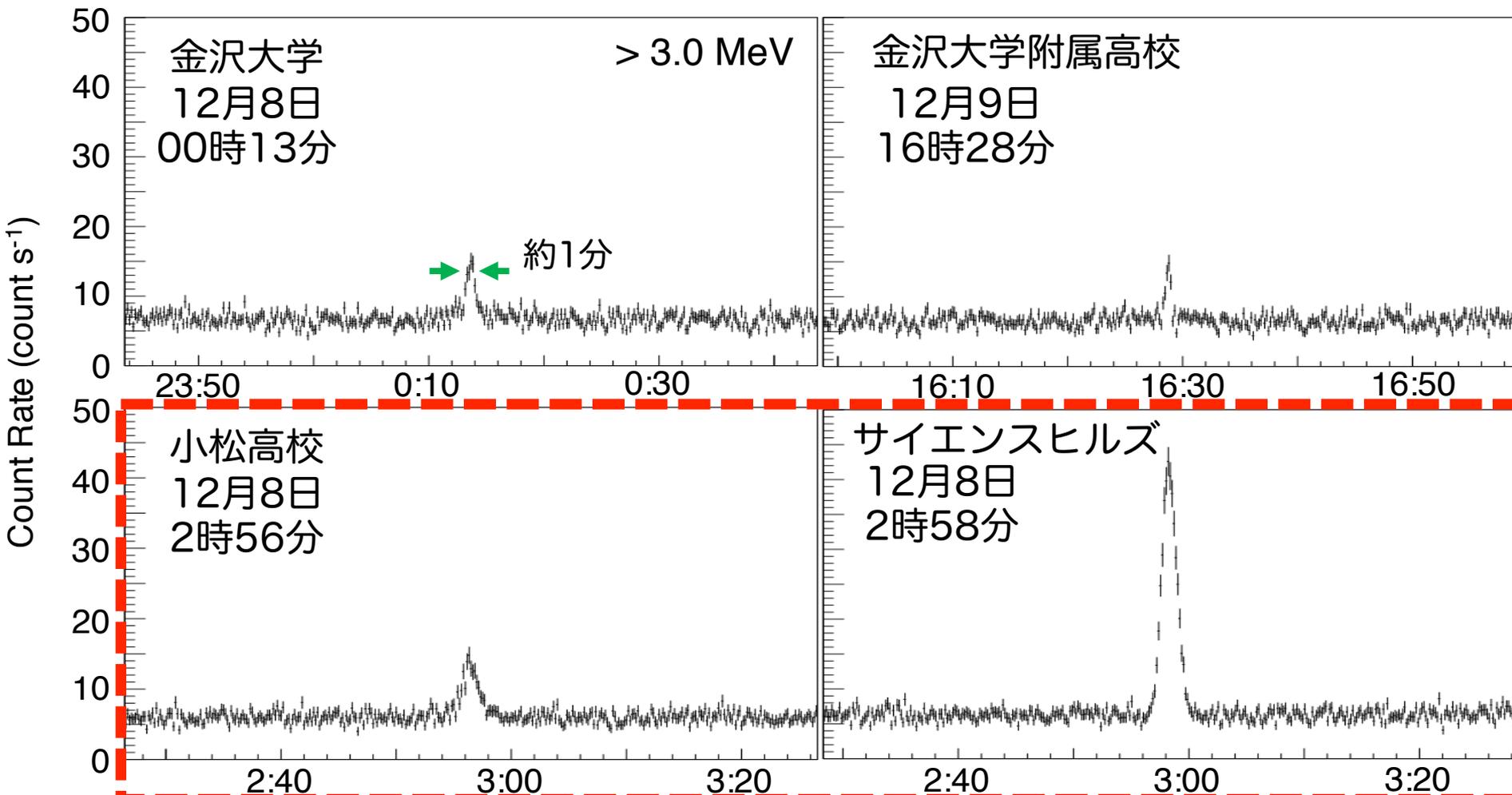


3. 観測データの解析



雷雲ガンマ線イベントの検出

- ・ 2016年12月8日と9日に日本海沿岸で多数の落雷
- ・ 降雨による環境放射線の変動が見られない3 MeV以上を解析

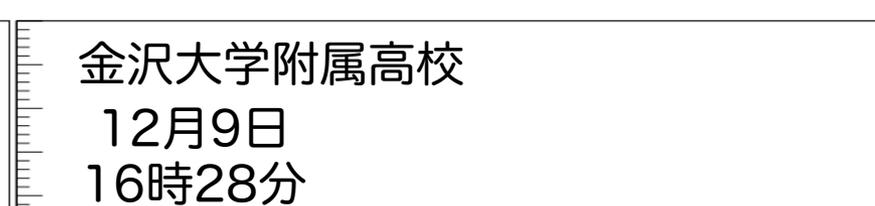


3. 観測データの解析



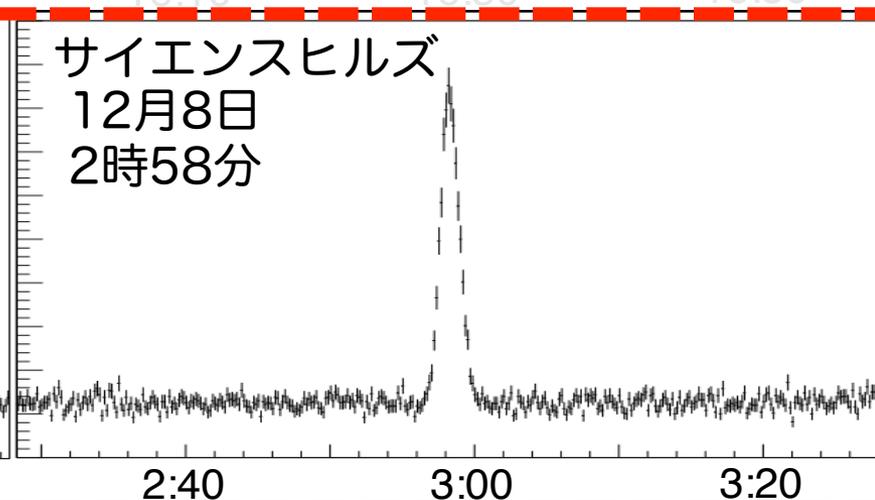
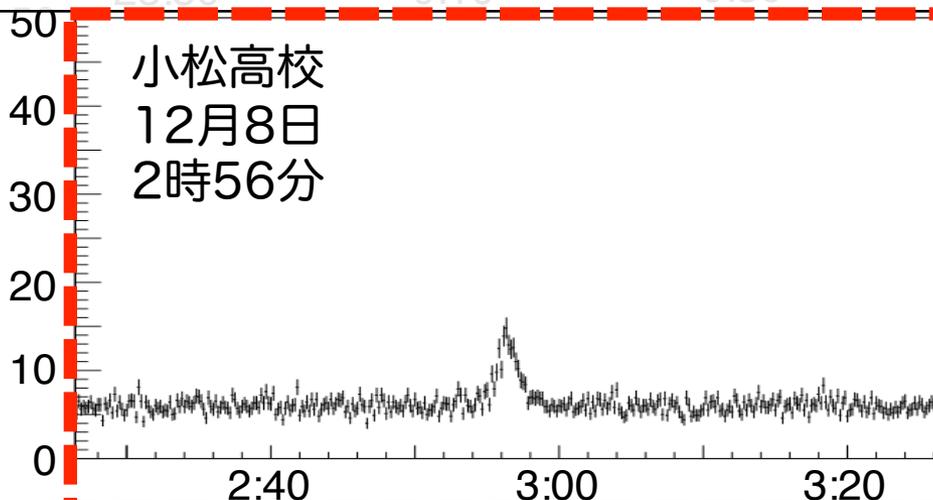
雷雲ガンマ線イベントの検出

- ・ 2016年12月8日と9日に日本海沿岸で多数の落雷
- ・ 降雨による環境放射線の変動が見られない3 MeV以上を解析



小松市の2ヶ所で同一のイベントを検出か？

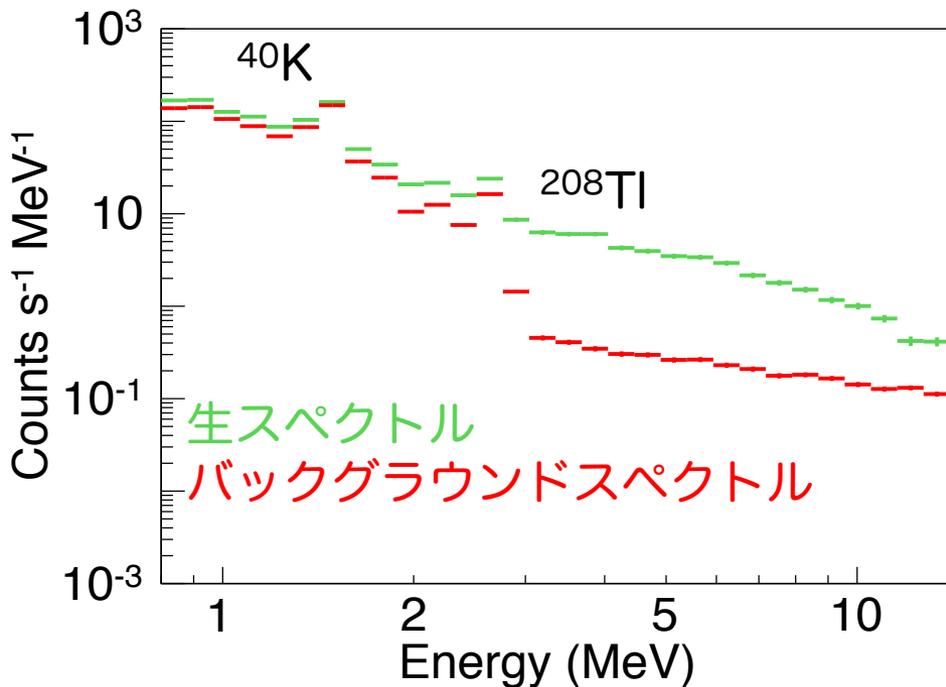
-> 本講演の最後で考察



3-1. スペクトル解析

サイエンスヒルズこまつでのイベント

- ・ イベント (150秒) からバックグラウンド (前後15分) を差し引いて抽出
- ・ Geant4を用いて簡易的に検出器応答を解いたスペクトルをフィッティング

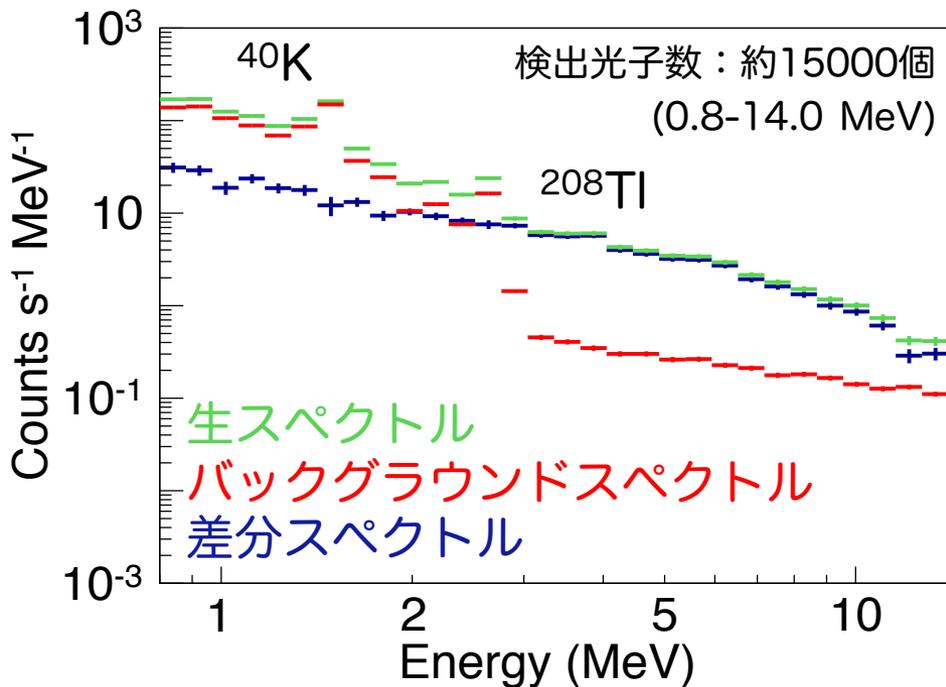


3-1. スペクトル解析



サイエンスヒルズこまつでのイベント

- ・ イベント (150秒) からバックグラウンド (前後15分) を差し引いて抽出
- ・ Geant4を用いて簡易的に検出器応答を解いたスペクトルをフィッティング

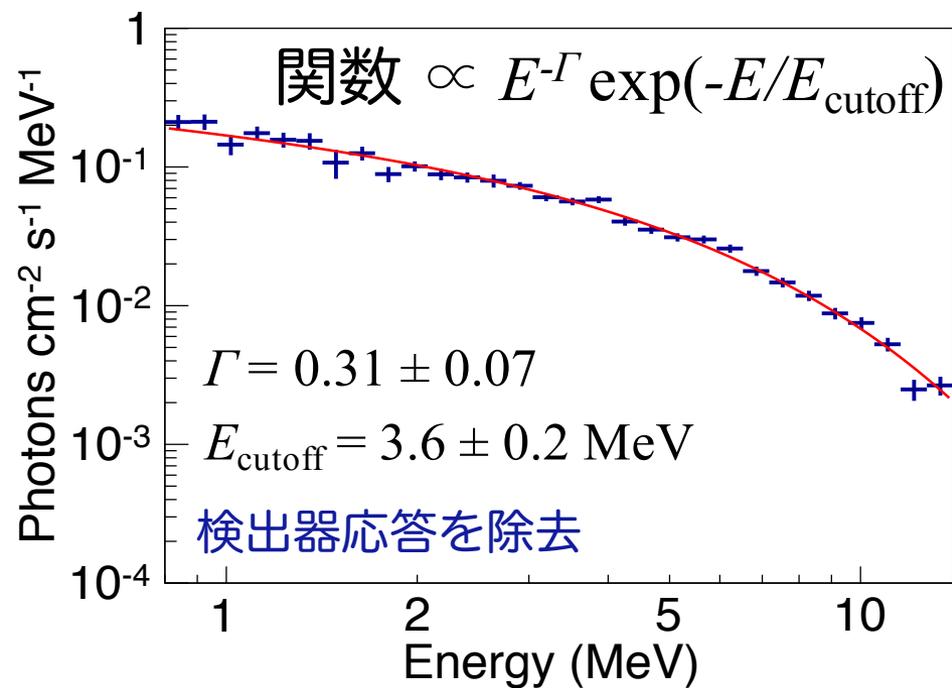
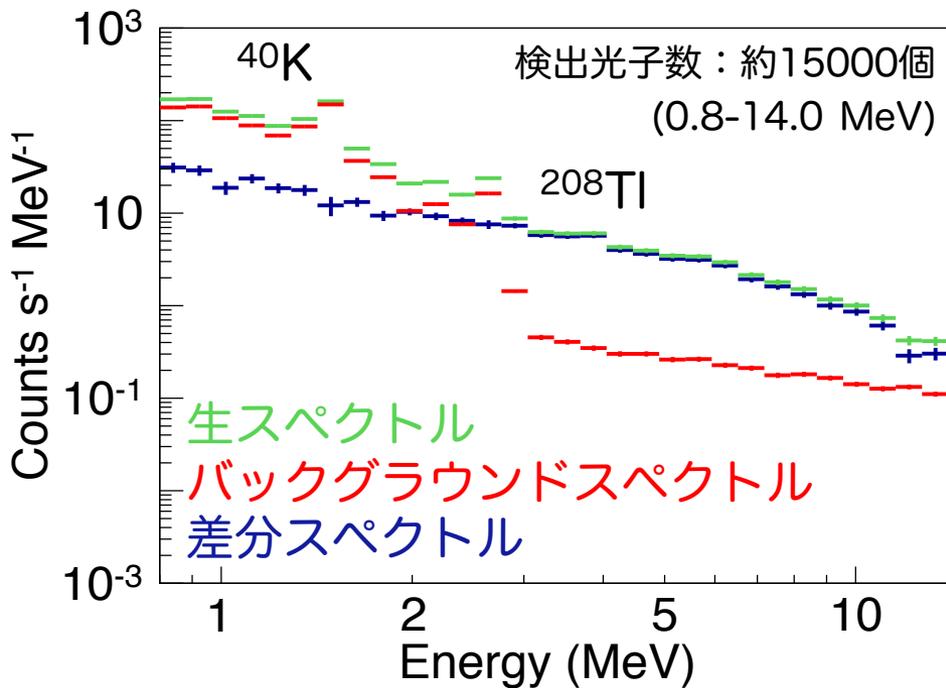


3-1. スペクトル解析



サイエンスヒルズこまつでのイベント

- ・ イベント (150秒) からバックグラウンド (前後15分) を差し引いて抽出
- ・ Geant4を用いて簡易的に検出器応答を解いたスペクトルをフィッティング

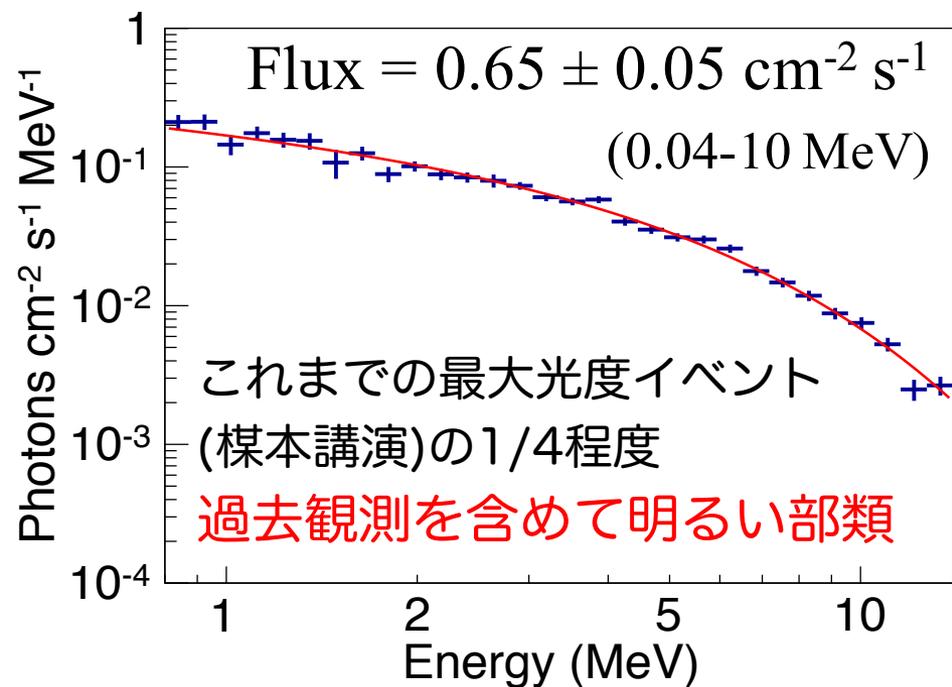
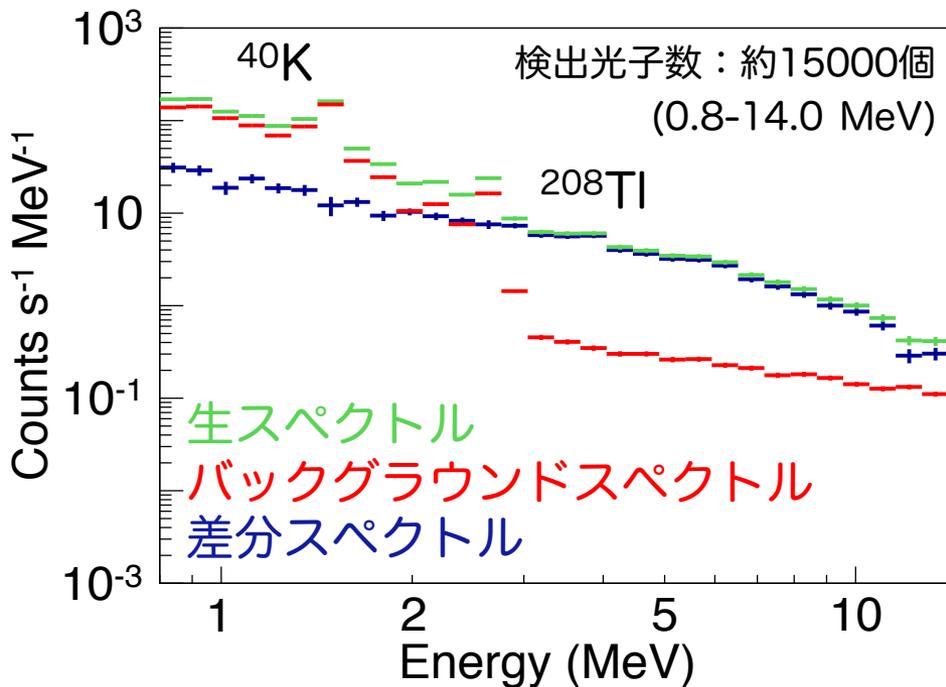


3-1. スペクトル解析



サイエンスヒルズこまつでのイベント

- ・ イベント (150秒) からバックグラウンド (前後15分) を差し引いて抽出
- ・ Geant4を用いて簡易的に検出器応答を解いたスペクトルをフィッティング

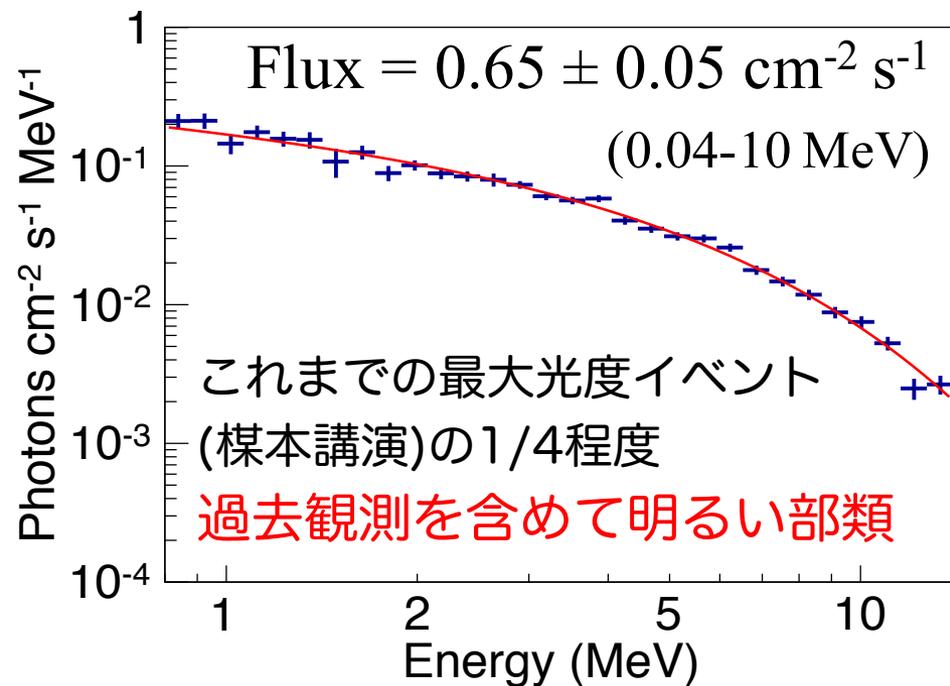
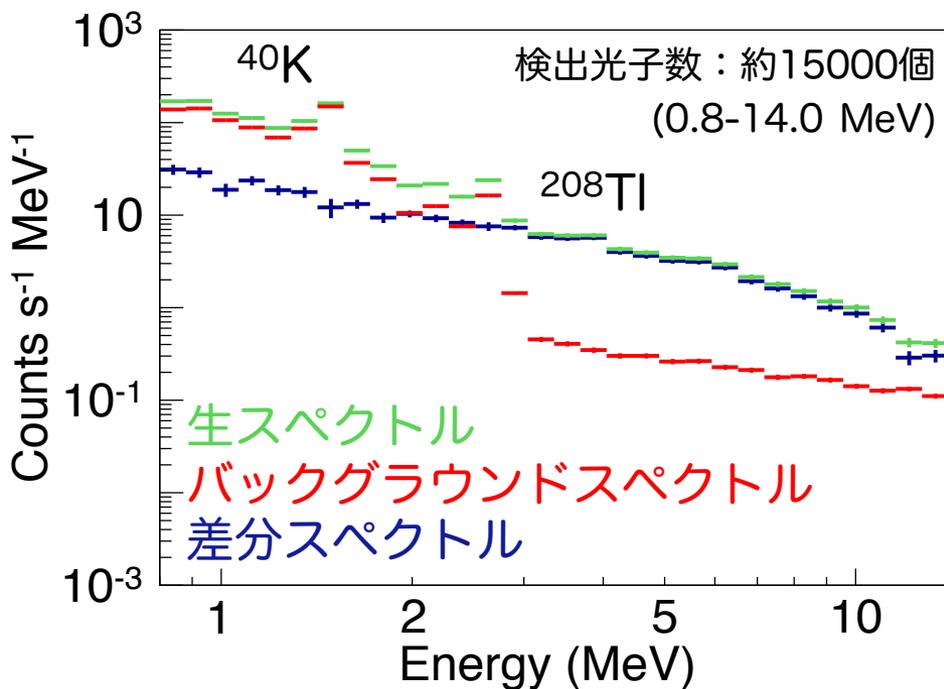


3-1. スペクトル解析



サイエンスヒルズこまつでのイベント

- ・ イベント (150秒) からバックグラウンド (前後15分) を差し引いて抽出
- ・ Geant4を用いて簡易的に検出器応答を解いたスペクトルをフィッティング



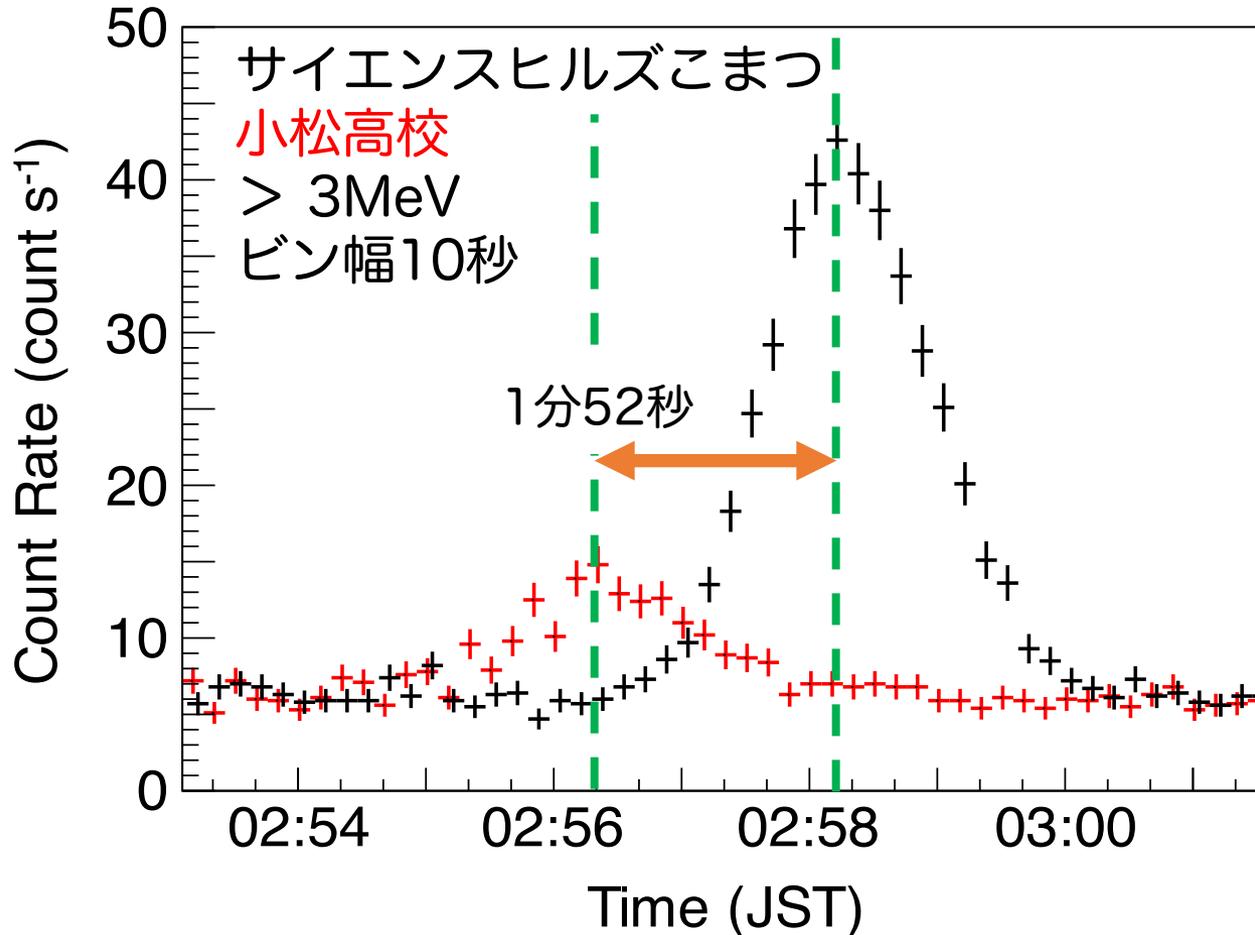
サイエンスヒルズこまつで10 MeVを超える連続成分をもつ
比較的明るいガンマ線イベントを検出

柏崎での観測と同様に雷雲内で加速された電子による制動放射か

3-2. 同時検出イベントの解析

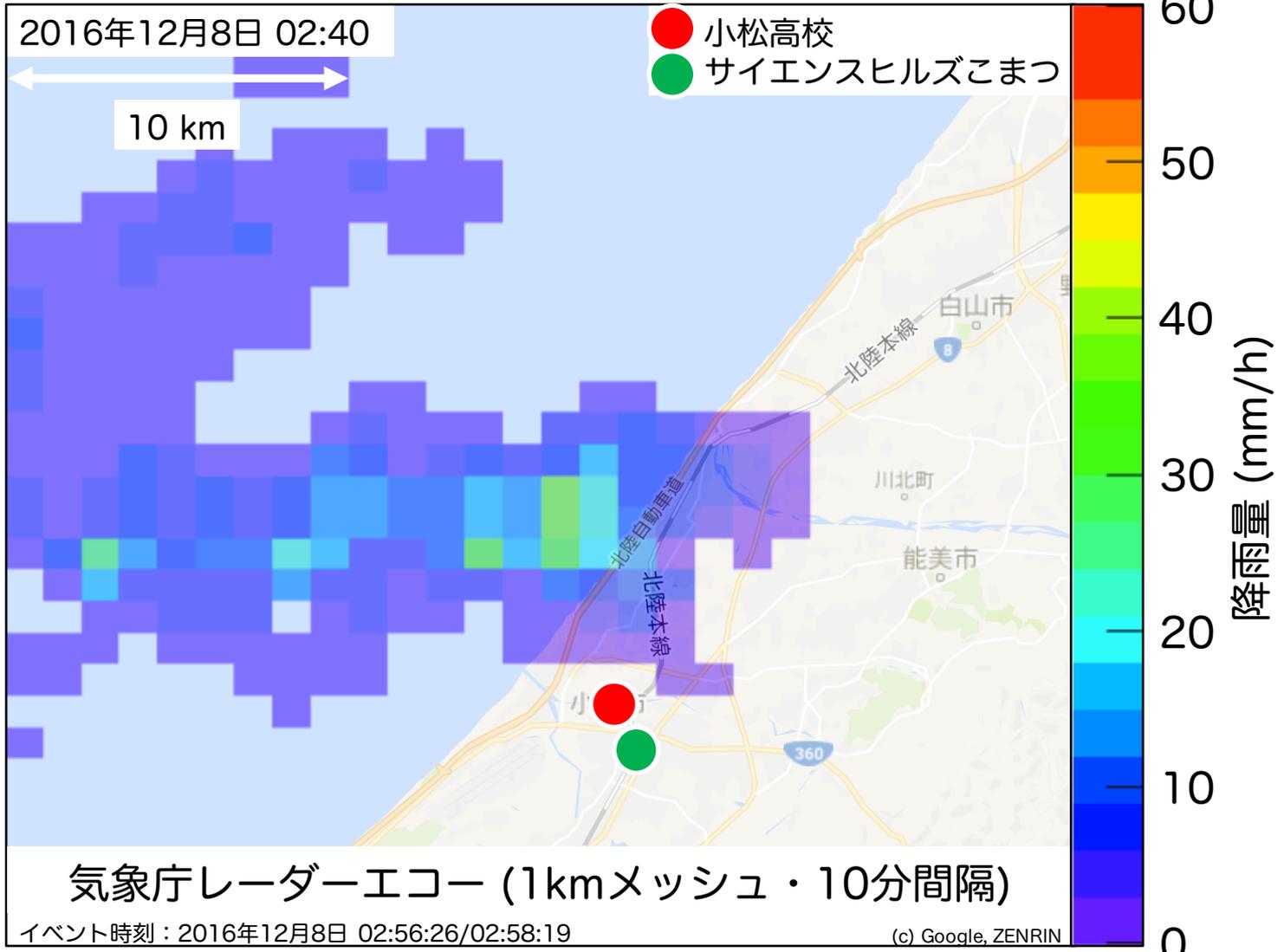


- ・小松市で検出された2つのイベントは時間が隣接
 - > 2点間の距離は約1.4 km
 - > 1つの雷雲から照射されたガンマ線を2点で捉えた可能性



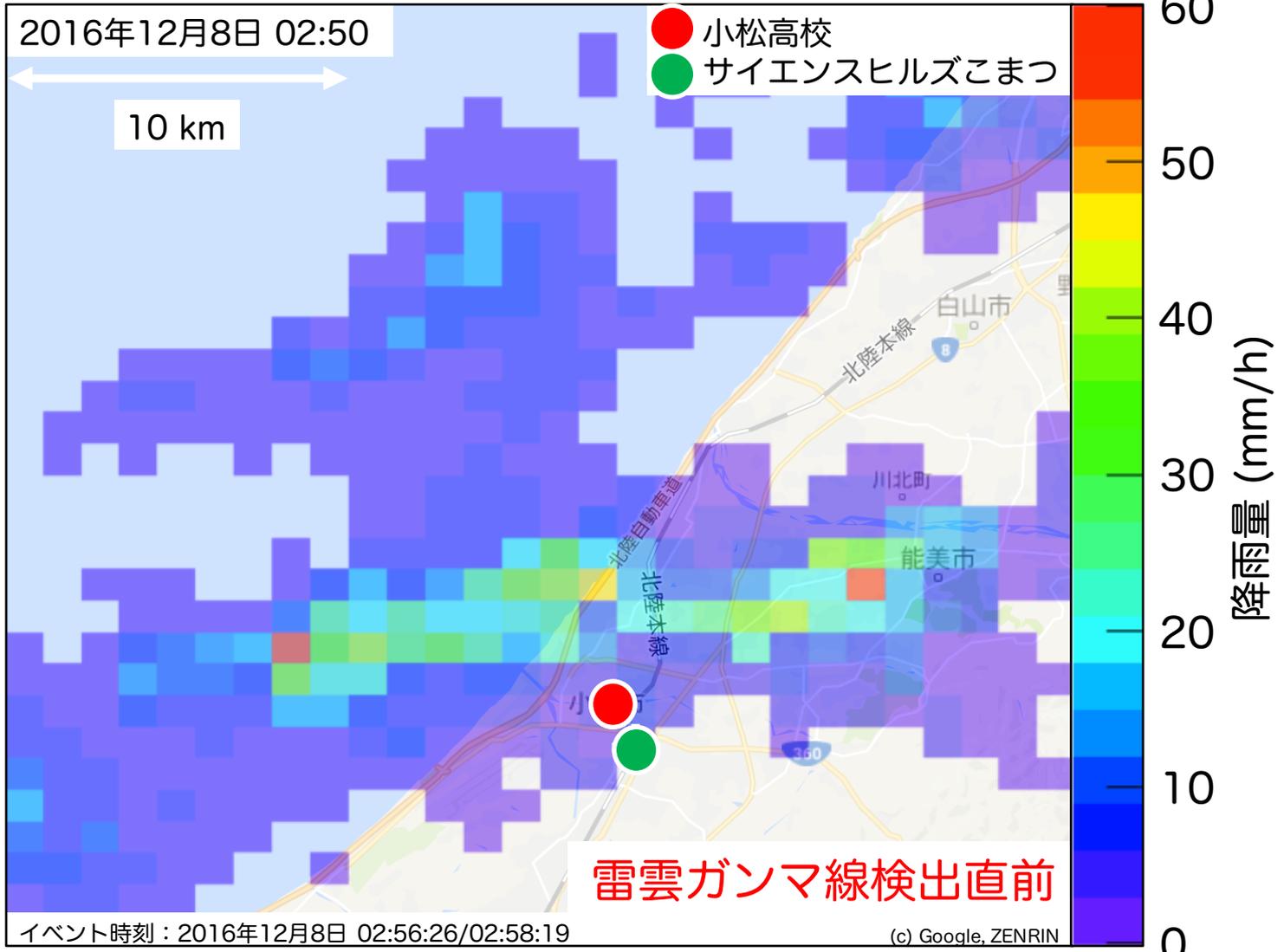
3-2. 同時検出イベントの解析

気象レーダーによる雷雲の追跡



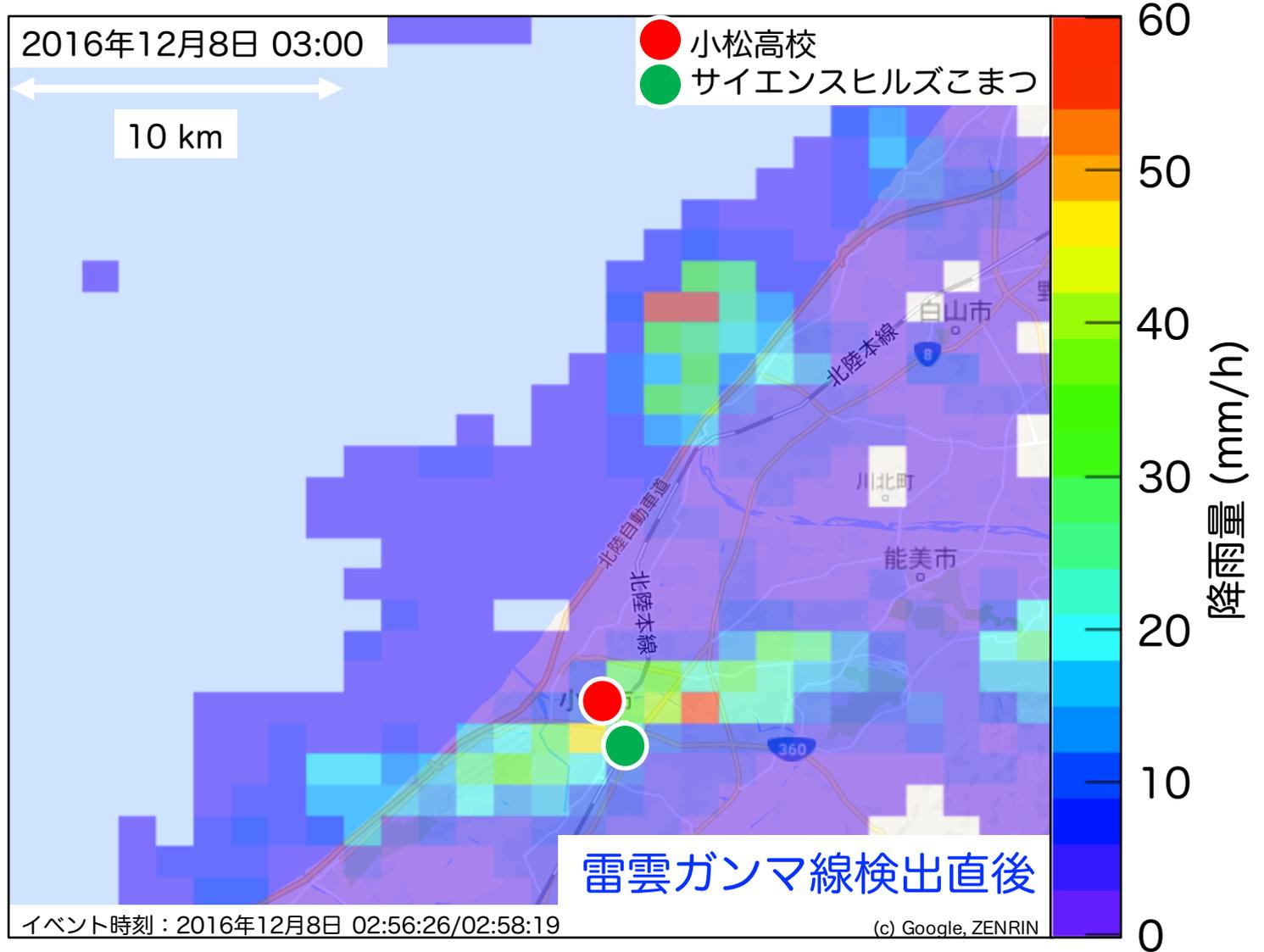
3-2. 同時検出イベントの解析

気象レーダーによる雷雲の追跡



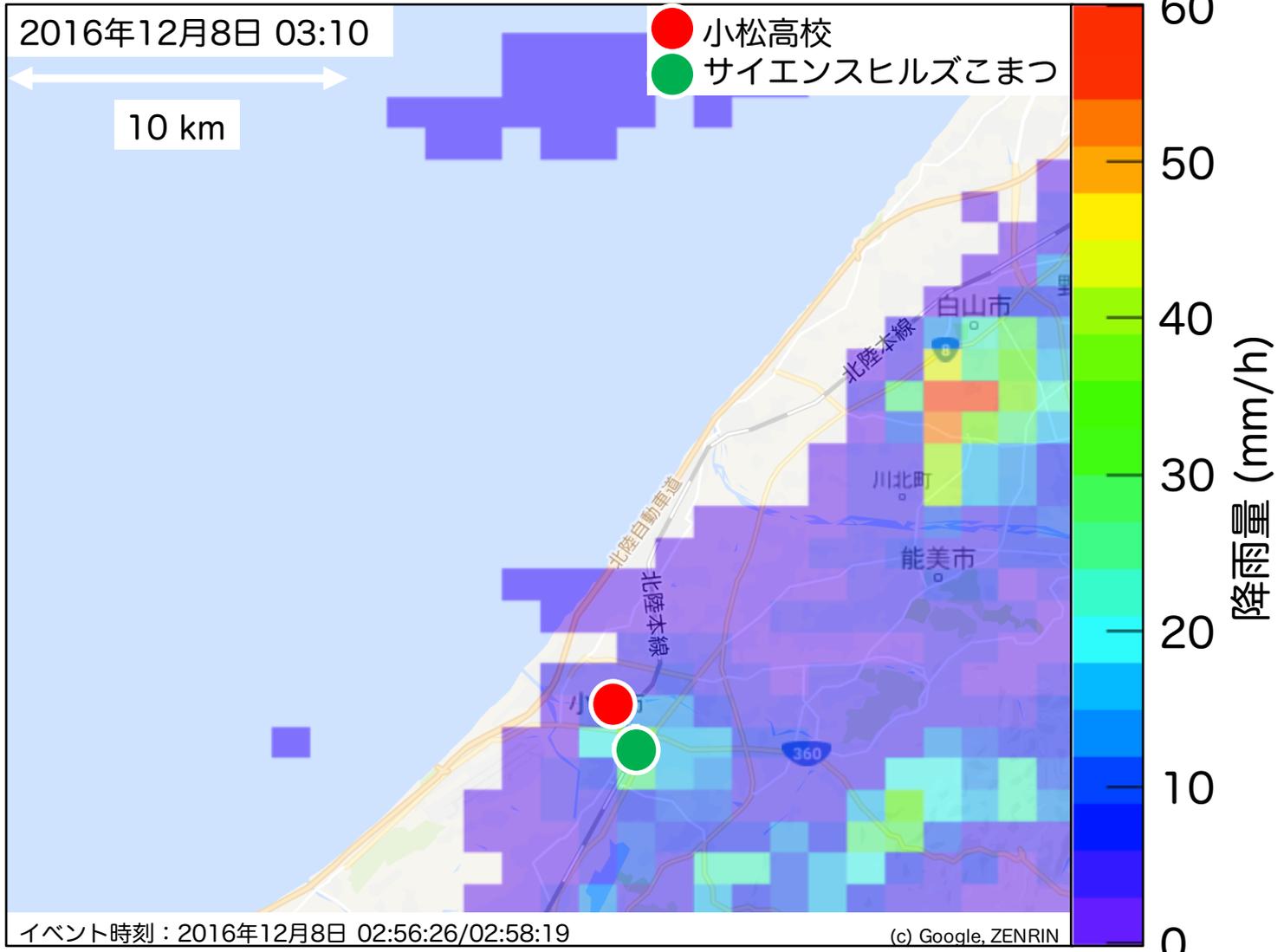
3-2. 同時検出イベントの解析

気象レーダーによる雷雲の追跡



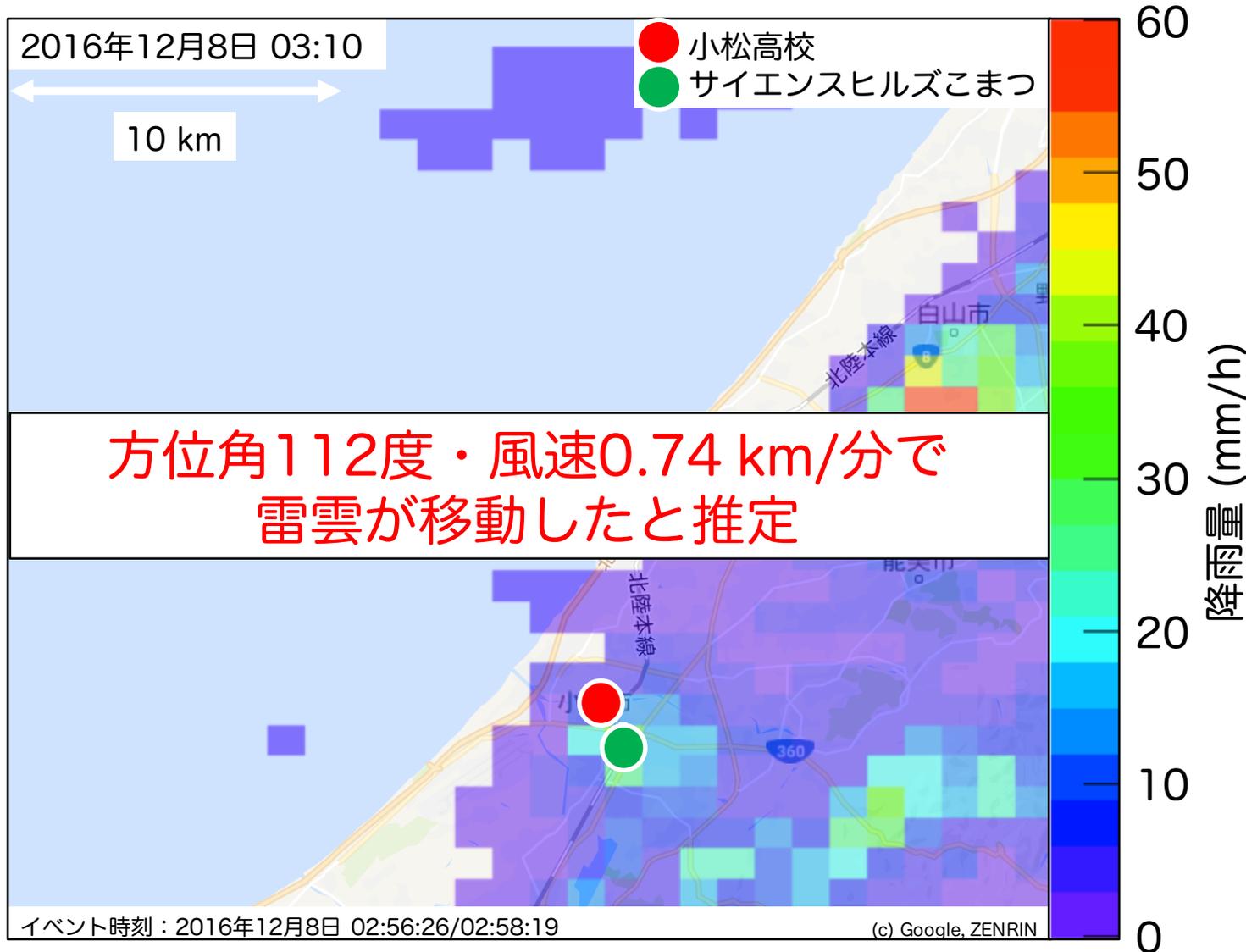
3-2. 同時検出イベントの解析

気象レーダーによる雷雲の追跡



3-2. 同時検出イベントの解析

気象レーダーによる雷雲の追跡



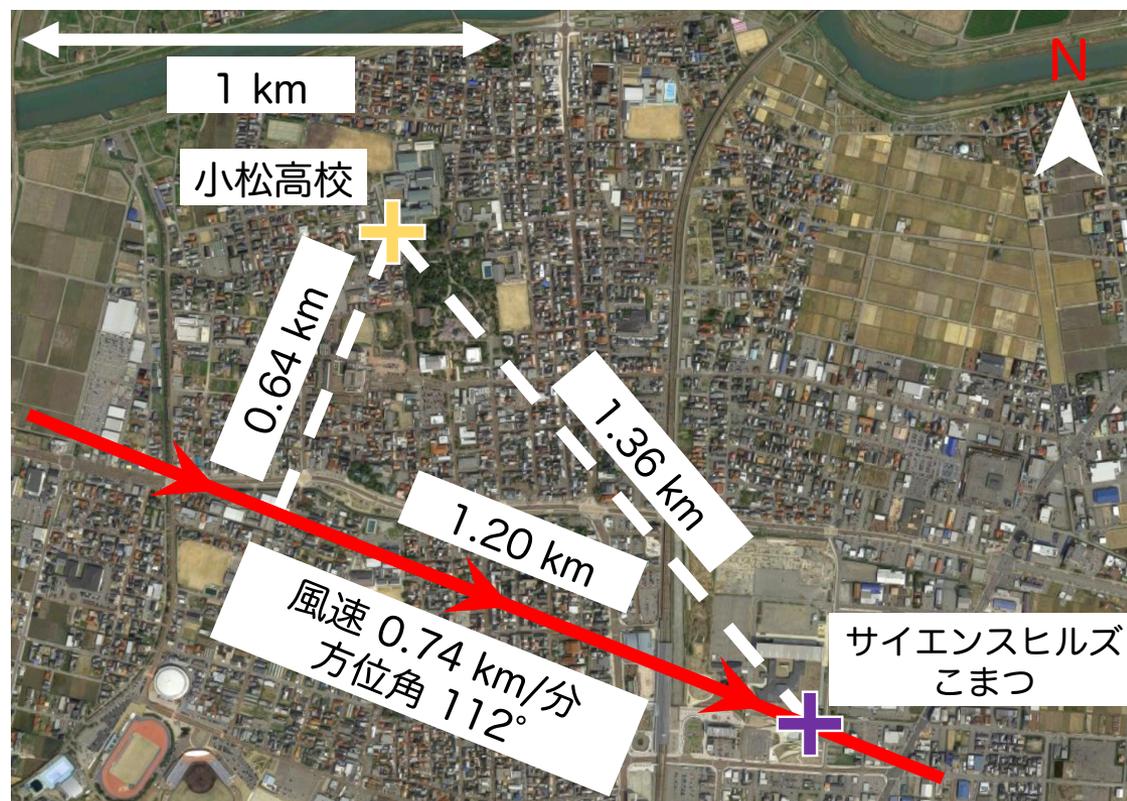
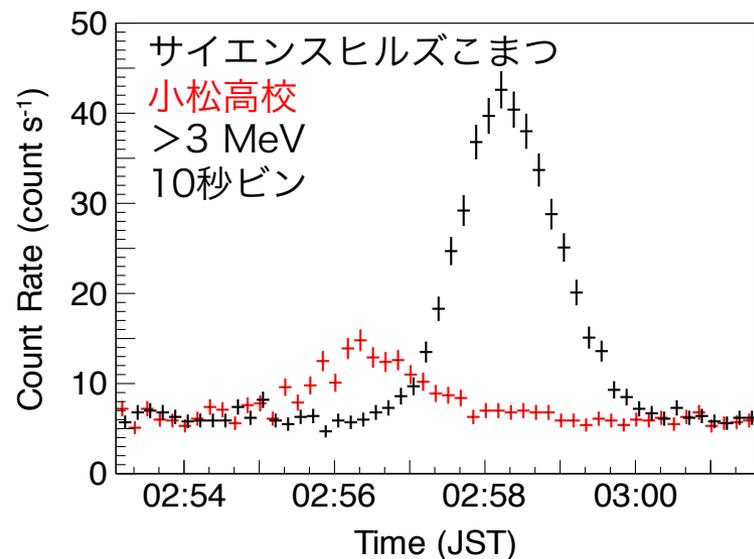
3-2. 同時検出イベントの解析

雷雲の軌跡と検出器のジオメトリ



- ・ 照射域の中心がサイエンスヒルズこまつ上空を通過したと仮定
- ・ 雷雲の移動時間：1分37秒±15秒 → ガンマ線の時間差1分52秒と一致

雷雲が移動しながら放射したガンマ線を2地点で観測



(c) Google

4. 考察と将来展望

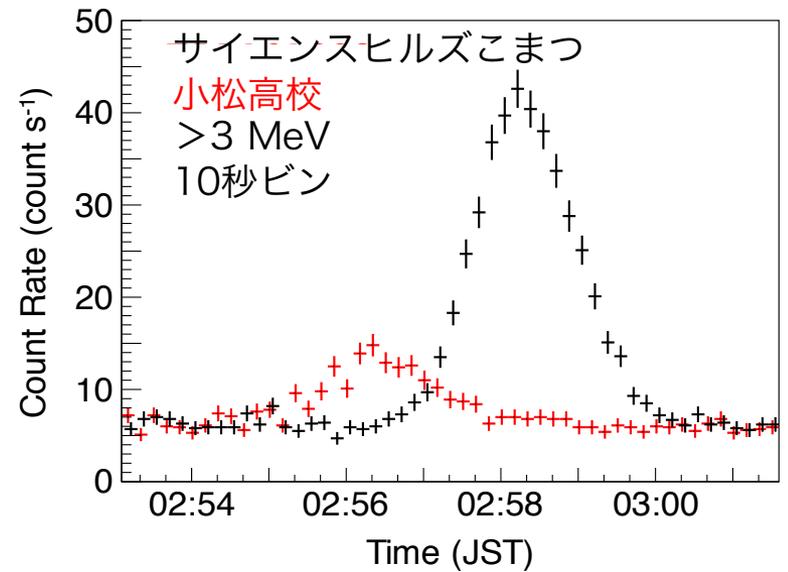
- ・ ライトカーブは2ヶ所とも左右対称
-> 2分のタイムスケールで放射強度は大きく変化していない
- ・ 小松高校とサイエンスヒルズこまつでガンマ線フラックスが約4倍増加
-> 小松高校の方が放射中心から遠かった
- ・ 単一の雷雲からのガンマ線を2ヶ所で捉えたことは多地点観測の先駆け的な成果

照射域の広がりと移動・ガンマ線強度の推移を

区別して測定するための

多地点観測の拡充に期待がかかる

-> 金沢・小松地域での20-30台展開へ



4. 考察と将来展望

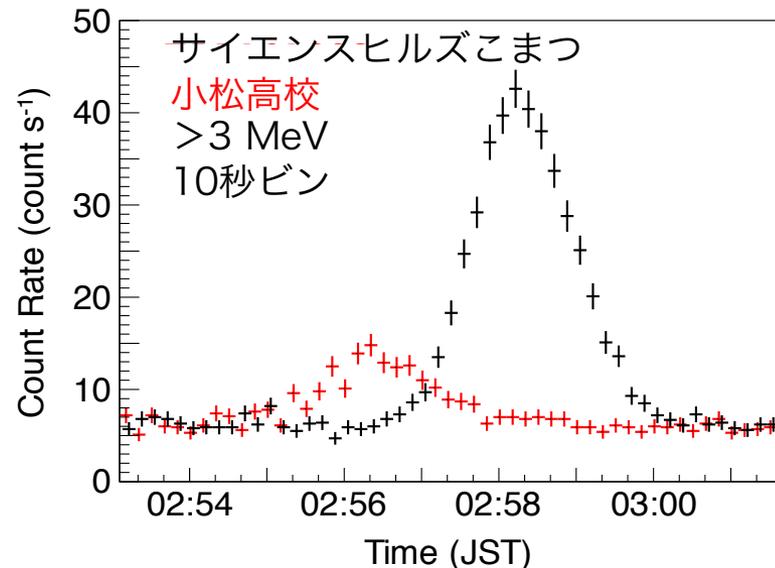
- ・ ライトカーブは2ヶ所とも左右対称
-> 2分のタイムスケールで放射強度は大きく変化していない
- ・ 小松高校とサイエンスヒルズこまつでガンマ線フラックスが約4倍増加
-> 小松高校の方が放射中心から遠かった
- ・ 単一の雷雲からのガンマ線を2ヶ所で捉えたことは多地点観測の先駆け的な成果

照射域の広がりと移動・ガンマ線強度の推移を

区別して測定するための

多地点観測の拡充に期待がかかる

-> 金沢・小松地域での20-30台展開へ



5. まとめ



- Raspberry Piと組み合わせて光電子増倍管からの信号を読み出す小型のFPGA/ADCボードとフロントエンドカードを開発
- BGOシンチレータを組み込んだ可搬型ガンマ線検出器を8台製作し、石川県金沢市、小松市、珠洲市、新潟県柏崎市へ設置
- 2016年12月8日から9日にかけて、活発な雷雲活動に伴い、金沢市と小松市の4ヶ所でガンマ線増光を検出
- 電子の制動放射を示唆する10 MeVを超えるガンマ線が到来
- 1つの雷雲から放射されたガンマ線を小松市の2地点で捉える多地点検出に成功し、今後の観測網拡大を期待する結果を得た