

2015年 - 2017年冬期の 金沢地域における 雷雲ガンマ線データの解析

松元崇弘^A

和田有希^{A, B}, 古田禄大^C, 中澤知洋^D, 榎戸輝揚^E,
湯浅孝行^B, 土屋晴文^C, 牧島一夫^B, 小高裕和^A, 馬場彩^A,
米徳大輔^F, 澤野達哉^F

東大理^A, 理研^B, 原研^C, 名大理^D, 京大理^E, 金沢大数物^F

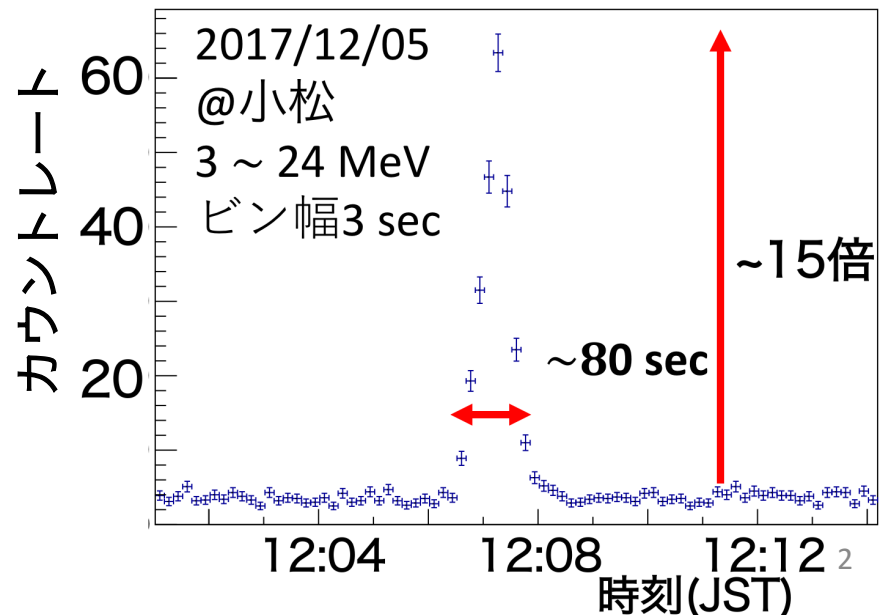
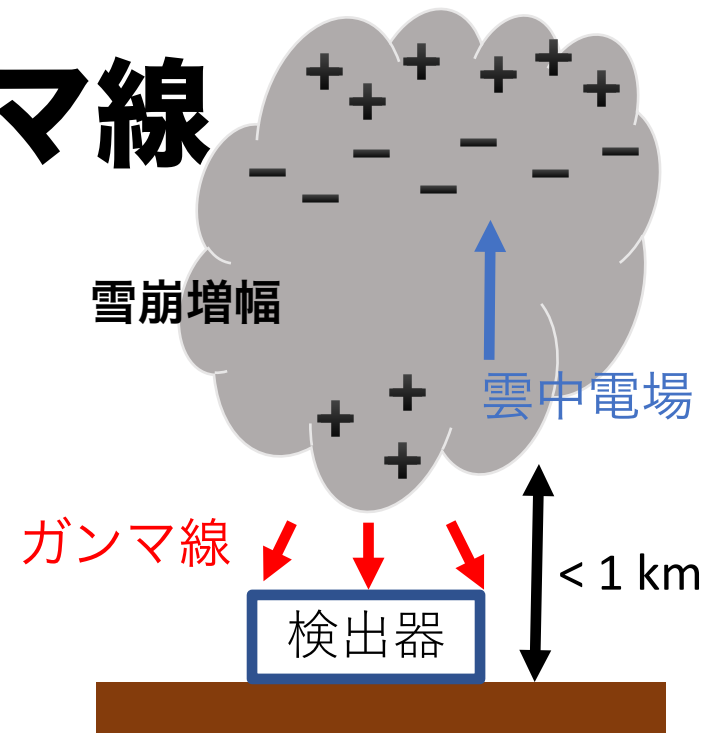
1.1. 雷雲からのガンマ線

雷雲内の電場による電子加速

- ・ 雷活動にガンマ線が伴うことがわかってきた (鳥居+02, 土屋+07など)
- ・ 自然界で唯一知られる、磁場が関与しない電場による粒子加速
- ・ 雷雲内の電場で加速・雪崩増幅された電子が制動放射を生じる (逃走電子雪崩; Grevich+92)

典型的な雷雲ガンマ線

- ・ 雷雲が検出器上空を通過する数十秒間、線量が増加する
- ・ 多くは落雷を伴わない
- ・ ~ 20 MeVまで延びるスペクトル
- ・ 「ロングバースト」と呼ばれる



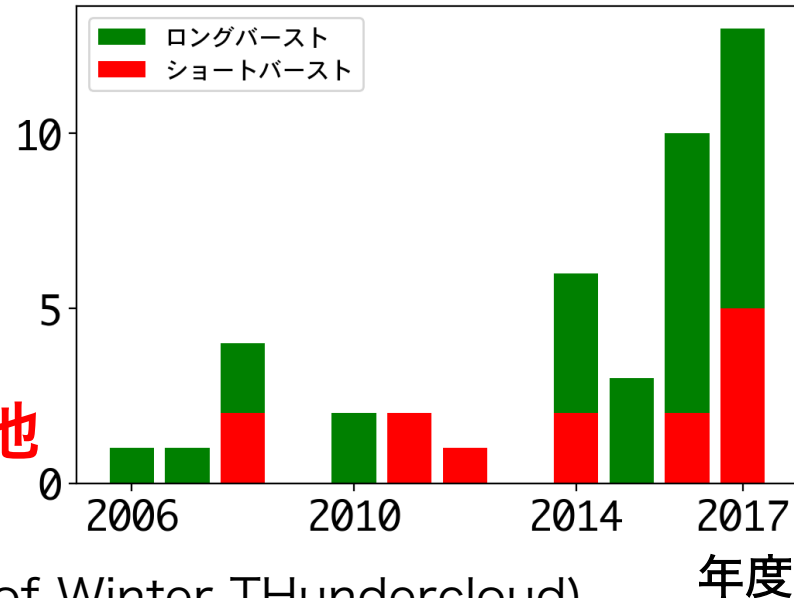
1.2. GROWTHの多地点観測

ガンマ線検出数

北陸の冬季雷雲の特徴

- ・ 夏季雷雲より低い雲底(< 1 km)
～ ガンマ線の平均自由行程；数百 m
→ ガンマ線が地上に届きやすい
- ・ エネルギーの大きい落雷が多い

→ 北陸は雷雲ガンマ線研究の最適地



GROWTH実験 (Gamma-Ray Observation of Winter Thundercloud)

- ・ 2006年度から新潟県柏崎で始めた雷雲ガンマ線の地上観測
- ・ 2015年度から金沢・小松で多地点観測に着手(和田+年次大会 16)
 - ・ 雷雲加速器の時間発展を追跡
 - ・ ロングバーストとは異なる様々な放射線イベントの観測
(例：継続時間～ ミリ秒のショートバースト(榎戸+ 17))

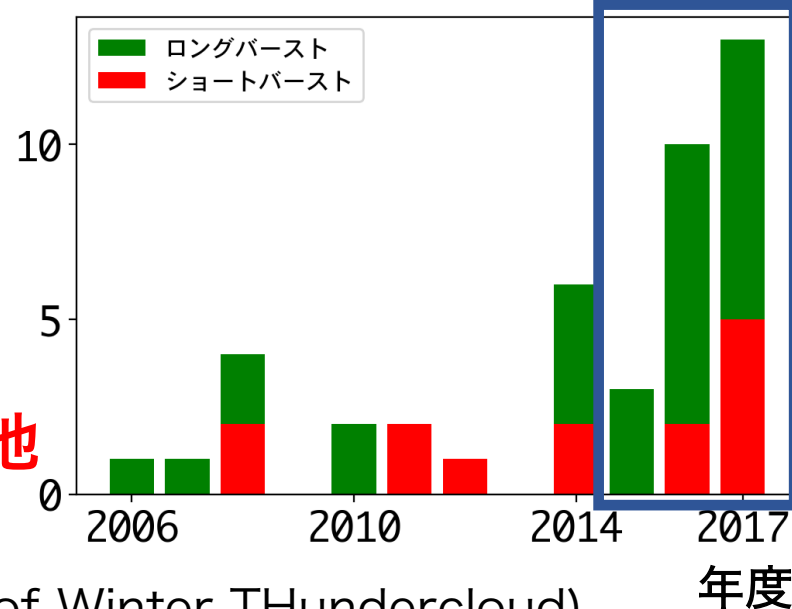
1.2. GROWTHの多地点観測

本講演の対象

北陸の冬季雷雲の特徴

- ・ 夏季雷雲より低い雲底(< 1 km)
～ ガンマ線の平均自由行程；数百 m
→ ガンマ線が地上に届きやすい
- ・ エネルギーの大きい落雷が多い

→ 北陸は雷雲ガンマ線研究の最適地



GROWTH実験 (Gamma-Ray Observation of Winter Thundercloud)

- ・ 2006年度から新潟県柏崎で始めた雷雲ガンマ線の地上観測(土屋+11)
- ・ 2015年度から金沢・小松で多地点観測に着手(和田+年次大会 16)

3年間で28件のイベントを観測でき、
十分な数のイベントが揃ってきた

- ・ スペクトルの系統解析
- ・ 気象条件との比較

を通してロングバーストの物理的描像を解釈する

2. 観測地点と検出器

GROWTH金沢・小松サイト

- ・ 海岸から山間部に至る広い平野部
- ・ 冬期の雷日数が多い

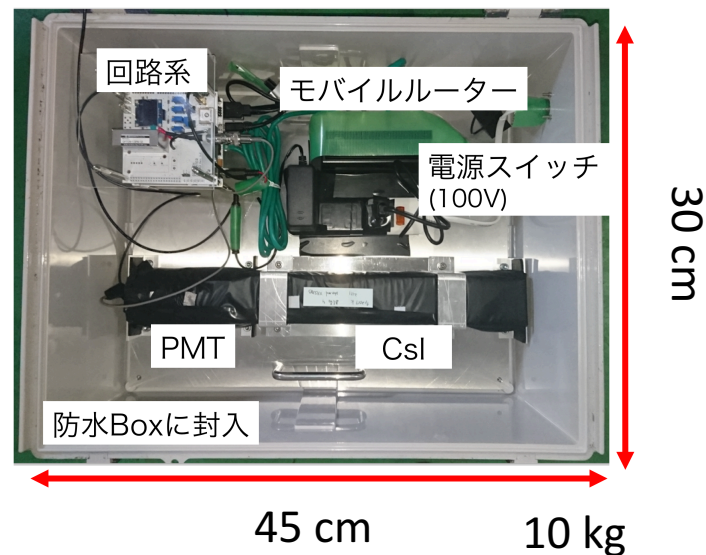
金沢で 8 台、小松で 2 台の観測網

可搬型ガンマ線検出器

- ・ 大型のCsI(5 x 5 x 30 cm)やBGO(8 x 2.5 x 25 cm)を使い 大有効面積を実現
- ・ 広いエネルギー帯域
(2017年度は 0.4–20 MeV)
- ・ 50 MHzサンプルで 1 イベントごとに記録
- ・ 遠隔で制御・データ取得が可能

3 年間にわたって冬季に延べ 300 日運用し、
28 件の雷雲ガンマ線を観測した
うち 24 件がロングバースト

金沢地域 ● 検出器設置場所

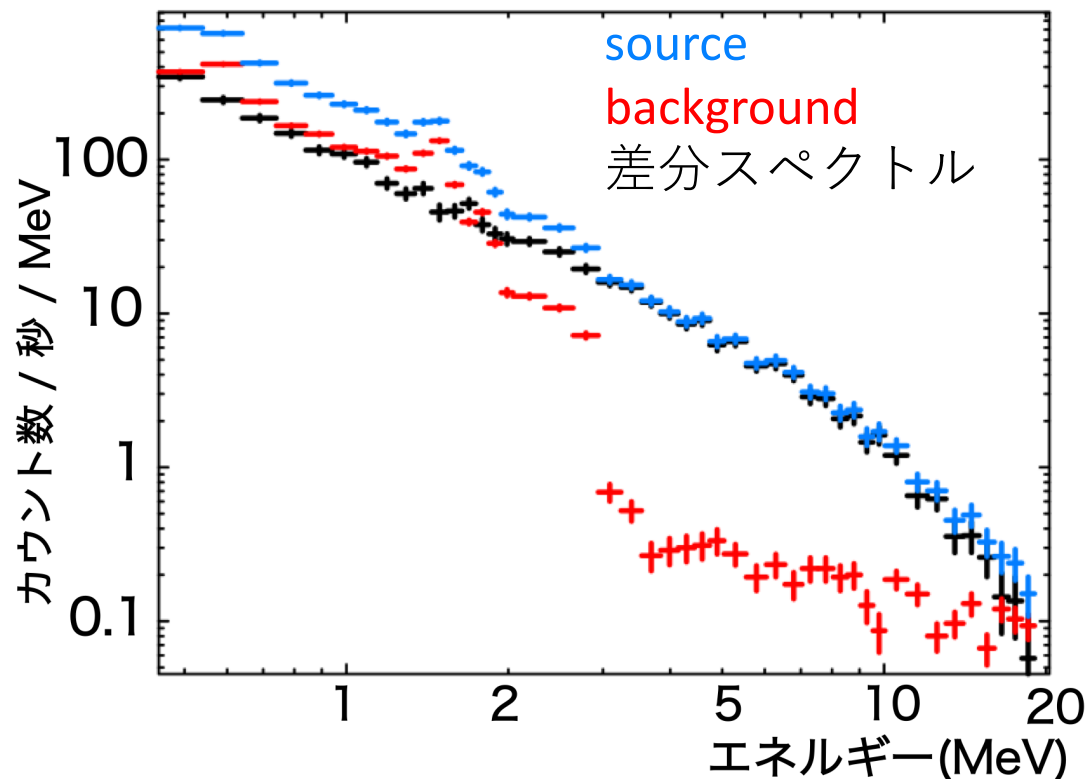
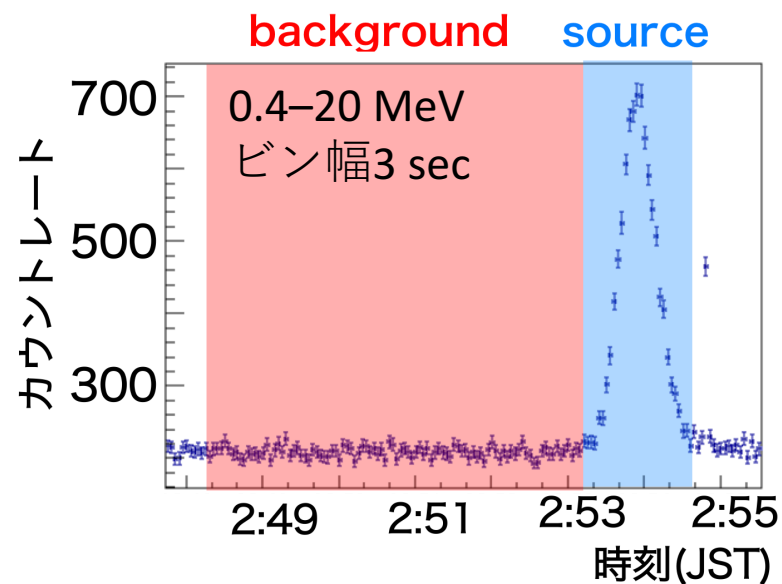


3.1. 典型的なガンマ線スペクトル

2018年1月10日に観測された
ロングバースト

- ・ 継続時間：90 sec
- ・ 光子数：3361 個

検出器応答込みのスペクトル



3.1. 典型的なガンマ線スペクトル

2018年1月10日に
観測されたロングバースト

- ・ 継続時間：90 sec
- ・ 光子数：3361 個

カットオフのある、べき形関数で
0.4–20 MeV の範囲をフィット

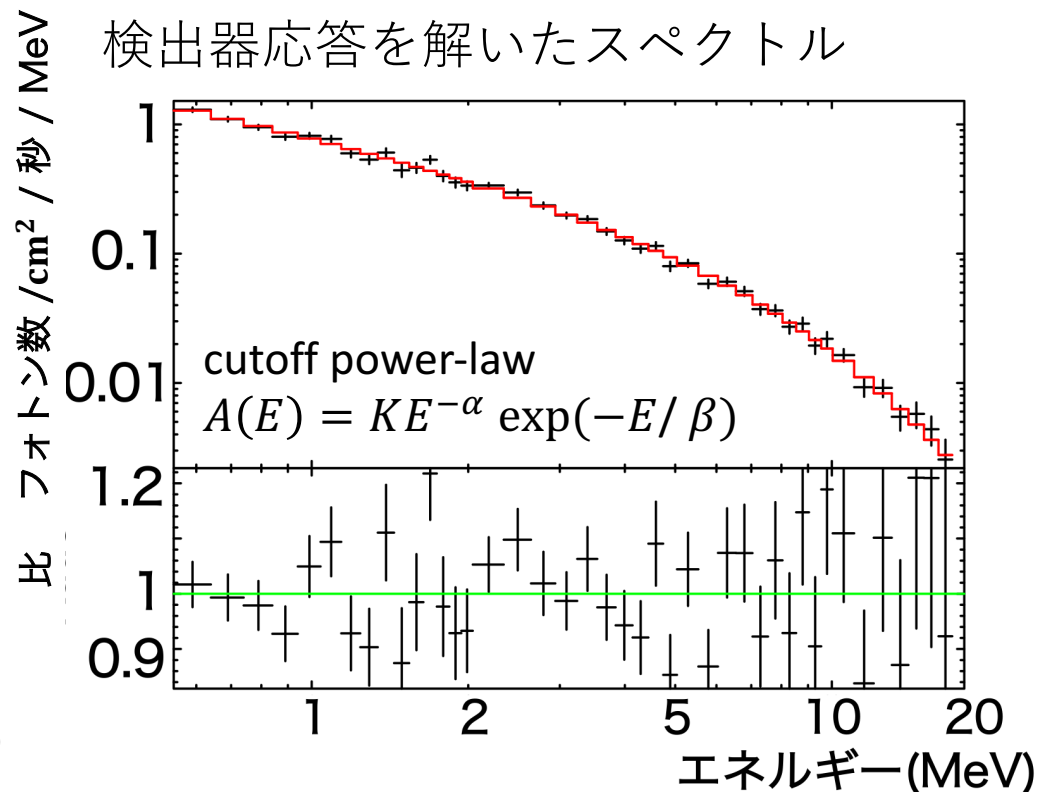
$$\text{べき } \alpha = 0.79 \pm_{0.6}^{0.5}$$

$$\text{カットオフ } \beta = 4.5 \pm_{0.3}^{0.4} \text{ MeV}$$

(90%誤差)

$$\text{Reduced } \chi^2 / \text{d.o.f.} = 1.25 / 39$$

**カットオフのある、べき形関数で
よく合うことが確認出来る
(cf. 松元+年次大会 17)**

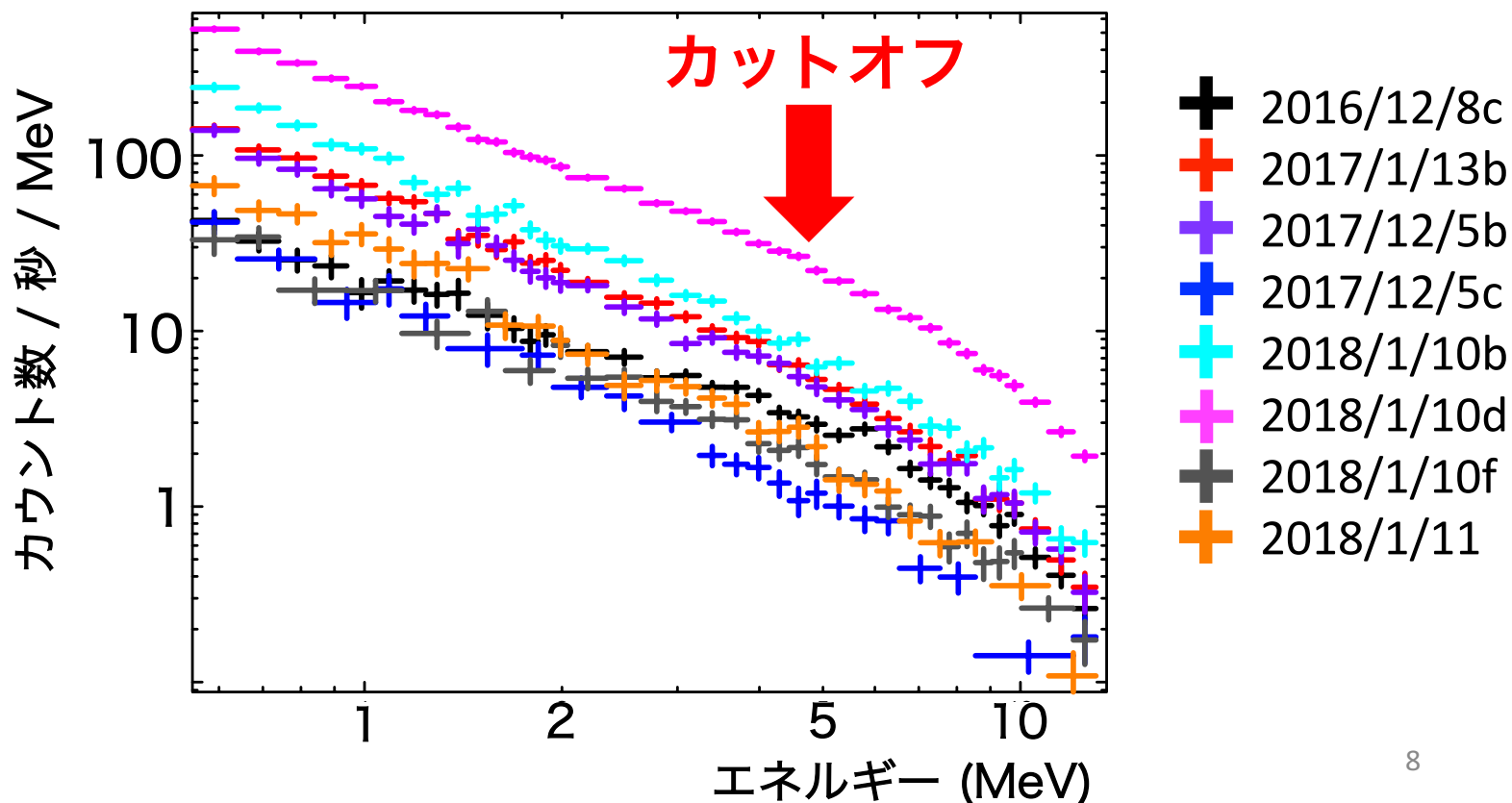


Geant4を用いてシミュレーションを
行い、レスポンスを作成した

3.2. スペクトルの系統的な解析

24 イベントのロングバーストのうち、光子数が1000を超える高統計な 8 イベントを解析

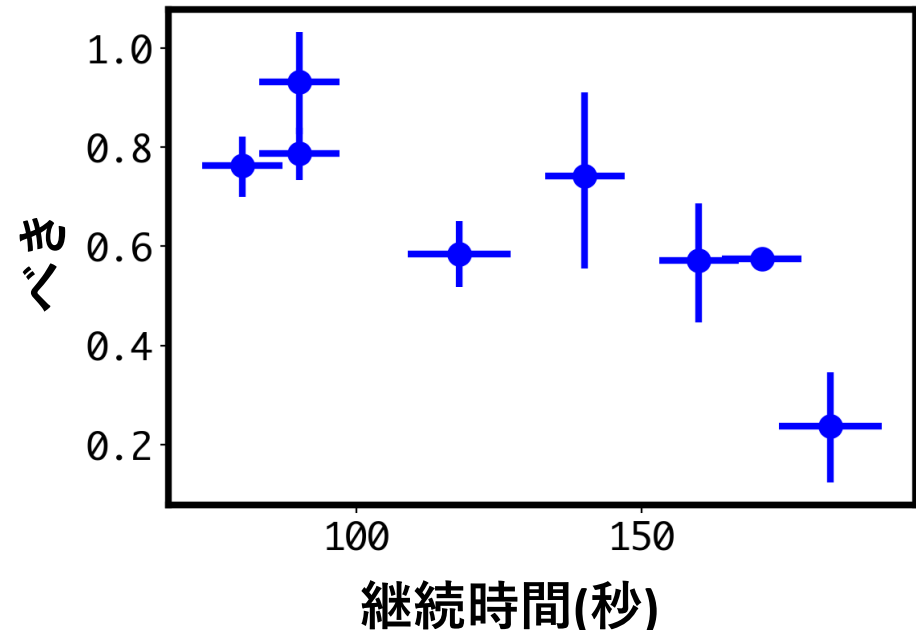
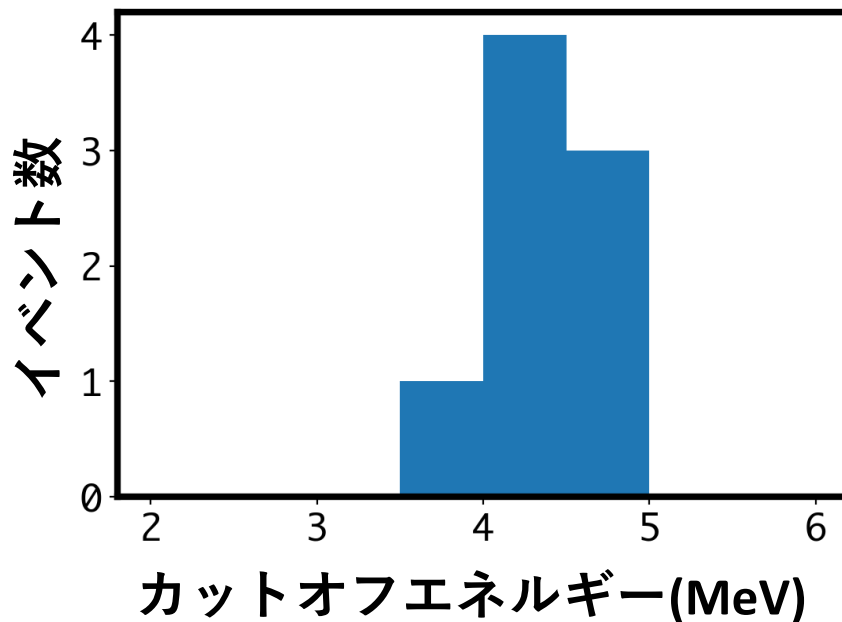
- **3-5 MeVの範囲に有意なカットオフが存在するべき形スペクトル**でよく表される



3.2. スペクトルの系統的な解析

24 イベントのロングバーストのうち、光子数が1000を超える高統計な 8 イベントを解析

- **3-5 MeVの範囲に有意なカットオフが存在するべき形スペクトル**でよく表される
- べきと放射継続時間
相関係数 = -0.82 ← **負の相関がある**

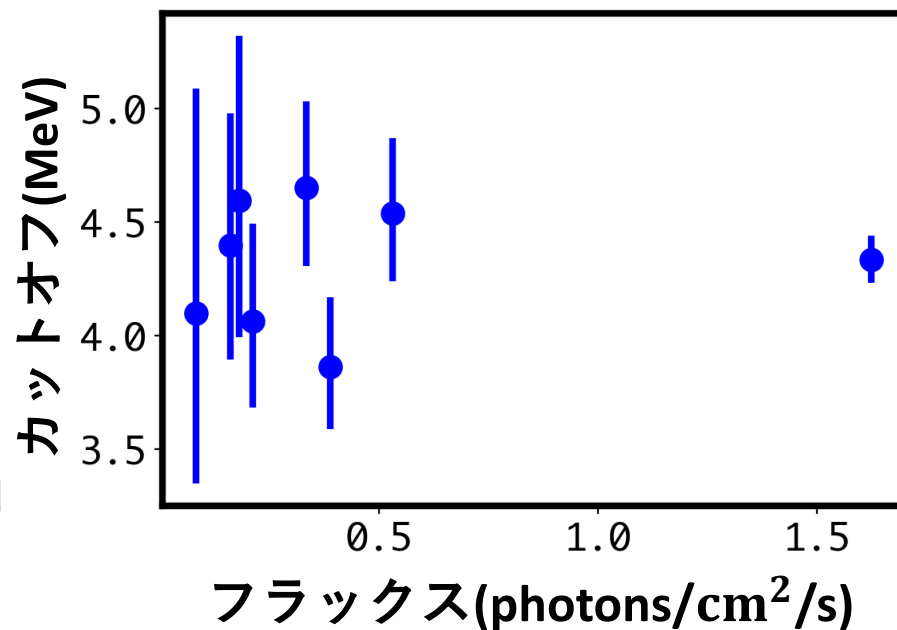
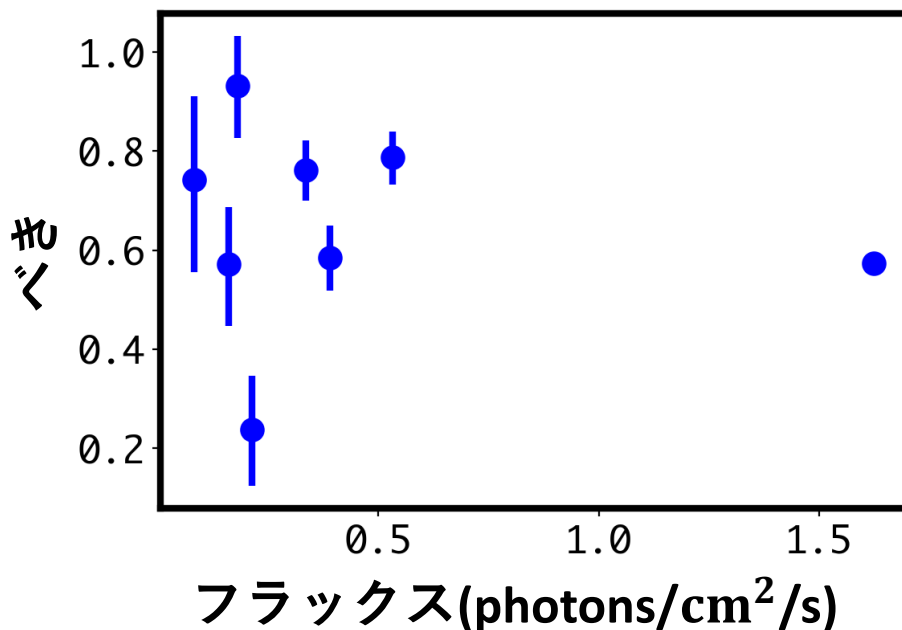


3.3. スペクトルの系統的な解析②

24 イベントのロングバーストのうち、光子数が1000を超える高統計な 8 イベントを解析

- べきとフラックス(3–14 MeV)
相関係数 = -0.14
- カットオフエネルギーととフラックス(3–14 MeV)
相関係数 = 0.07

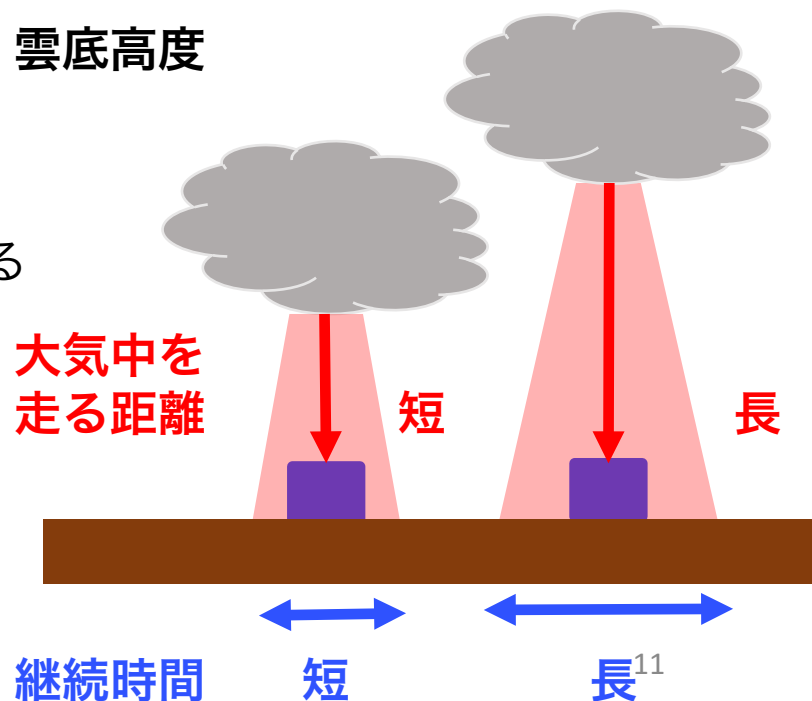
→ どちらも相関は見られない



3.4. スペクトルの解釈

スペクトルの解釈

- ・ 3-5 MeVの範囲に有意なカットオフが存在するべき形スペクトルでよく合うことから、**雷雲中で加速された電子による制動放射と解釈できる**
 - ・ シミュレーションから示唆されるカットオフ 7.3 MeV (Dwyer+12) と桁で一致
- ・ べきとフラックスに相関がないのは、GROWTH柏崎実験の結果と矛盾しない (榎本博論16)
- ・ べきと継続時間に負の相関があった
 - ・ 低エネルギーのガンマ線は大気中で吸収を強く受けるため、べきはハードになる
 - ・ 例えば同じ放射源でも、その高度が違えばべきと継続時間に負の相関を生じる
 - ・ 検出器から放射源までの水平距離など、関連するパラメーターが多く、今後の研究課題である。

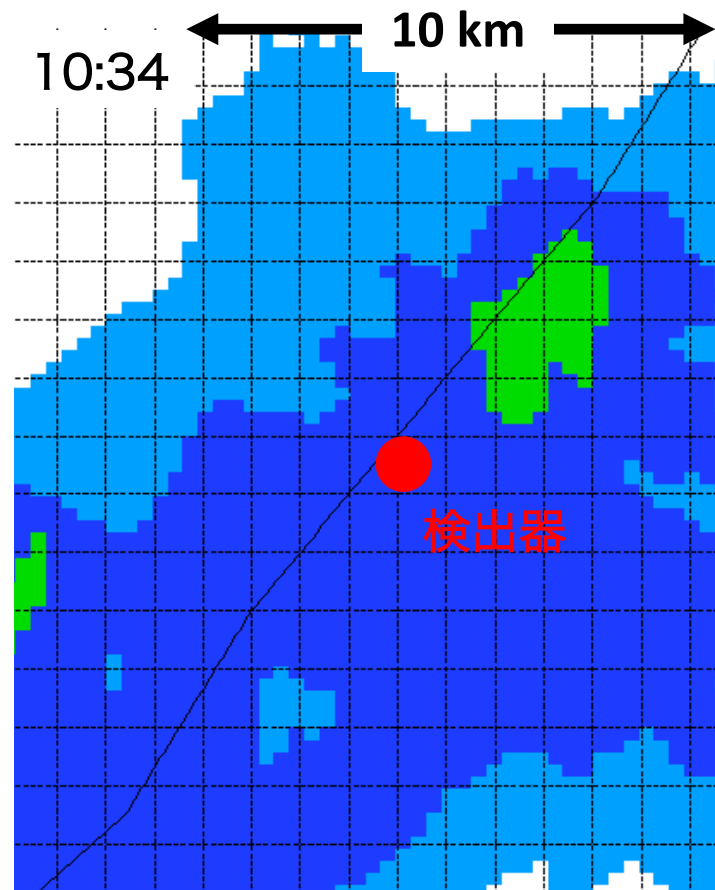
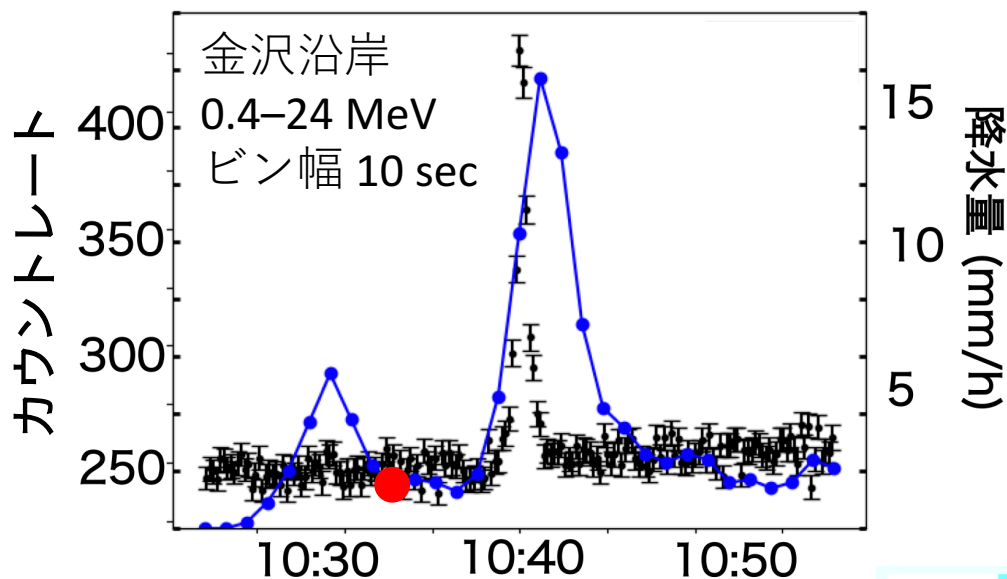


4. 気象条件とガンマ線強度

国土交通省のXバンドレーダー (250 mメッシュ・1 分間隔) で雨量を測る(利用したXRAINデータは、国土交通省より提供されたものである)

- ・電波を発射し、雨滴に当たって帰ってくる反射波を測定している

→ **ガンマ線強度が強いとき
雨量も多い傾向にある**



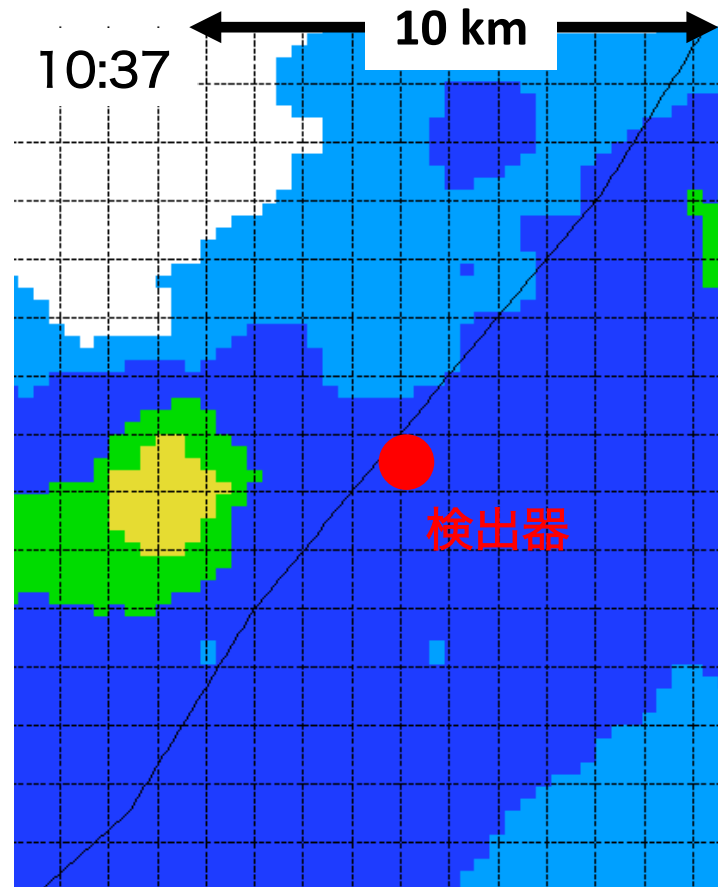
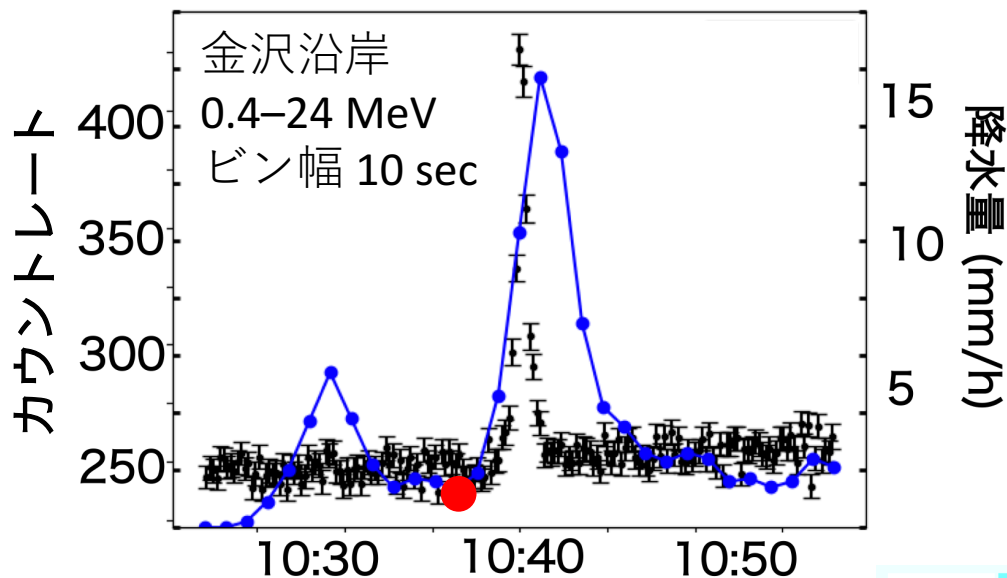
2018/01/11

4. 気象条件とガンマ線強度

国土交通省のXバンドレーダー(250 mメッシュ・1 分間隔)で雨量を測る(利用したXRAINデータは、国土交通省より提供されたものである)

- ・電波を発射し、雨滴に当たって帰ってくる反射波を測定している

→ **ガンマ線強度が強いとき
雨量も多い傾向にある**



2018/01/11

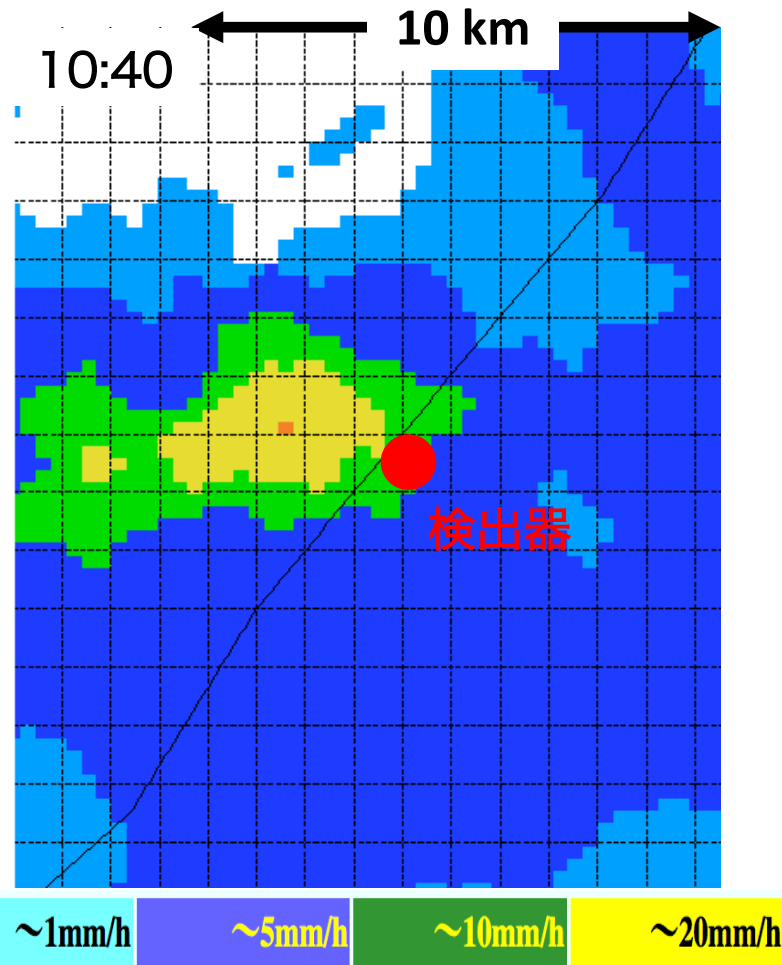
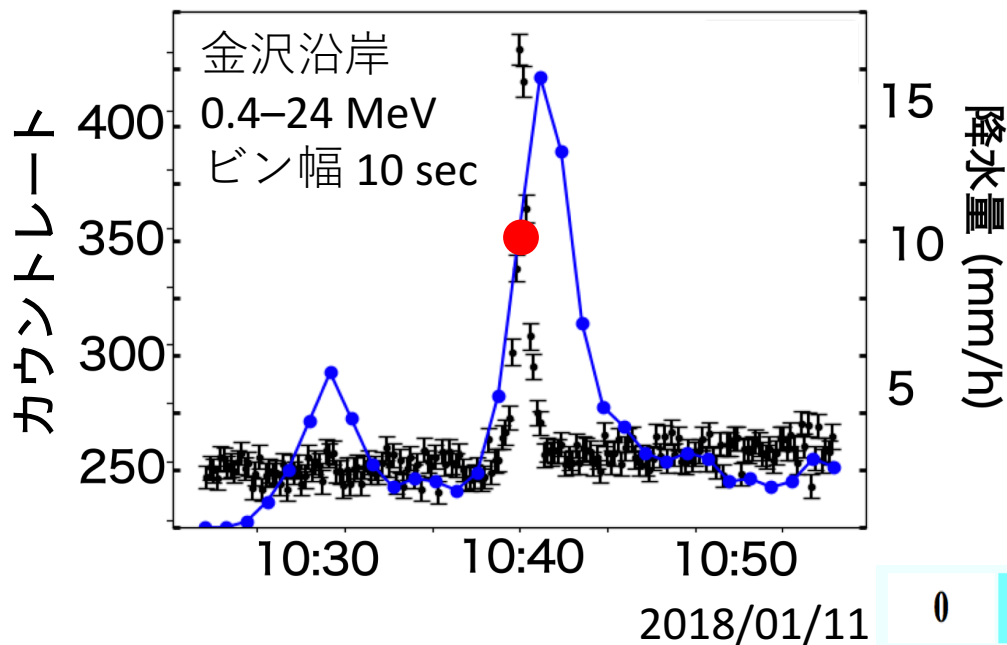


4. 気象条件とガンマ線強度

国土交通省のXバンドレーダー (250 mメッシュ・1 分間隔) で雨量を測る(利用したXRAINデータは、国土交通省より提供されたものである)

- ・電波を発射し、雨滴に当たって帰ってくる反射波を測定している

→ **ガンマ線強度が強いとき
雨量も多い傾向にある**

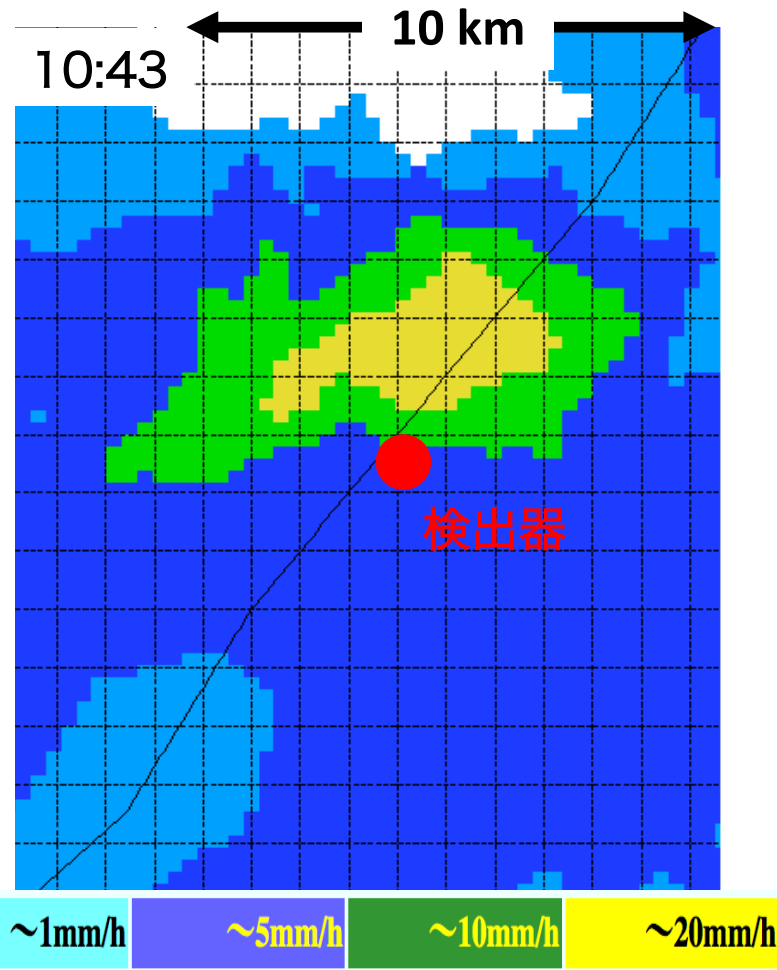
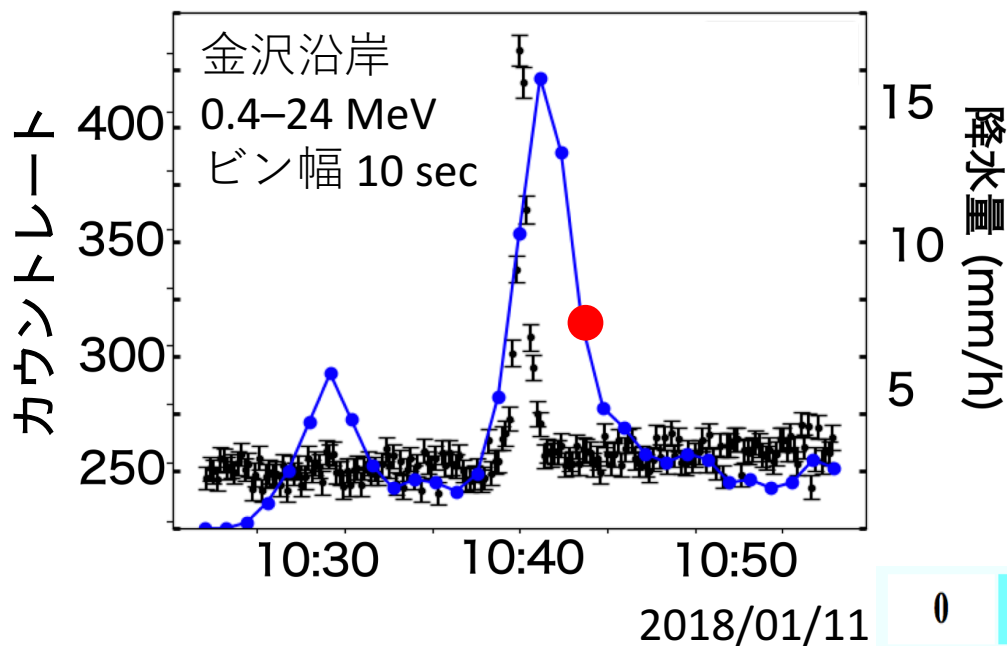


4. 気象条件とガンマ線強度

国土交通省のXバンドレーダー(250 mメッシュ・1 分間隔)で雨量を測る(利用したXRAINデータは、国土交通省より提供されたものである)

- ・電波を発射し、雨滴に当たって帰ってくる反射波を測定している

→ **ガンマ線強度が強いとき
雨量も多い傾向にある**

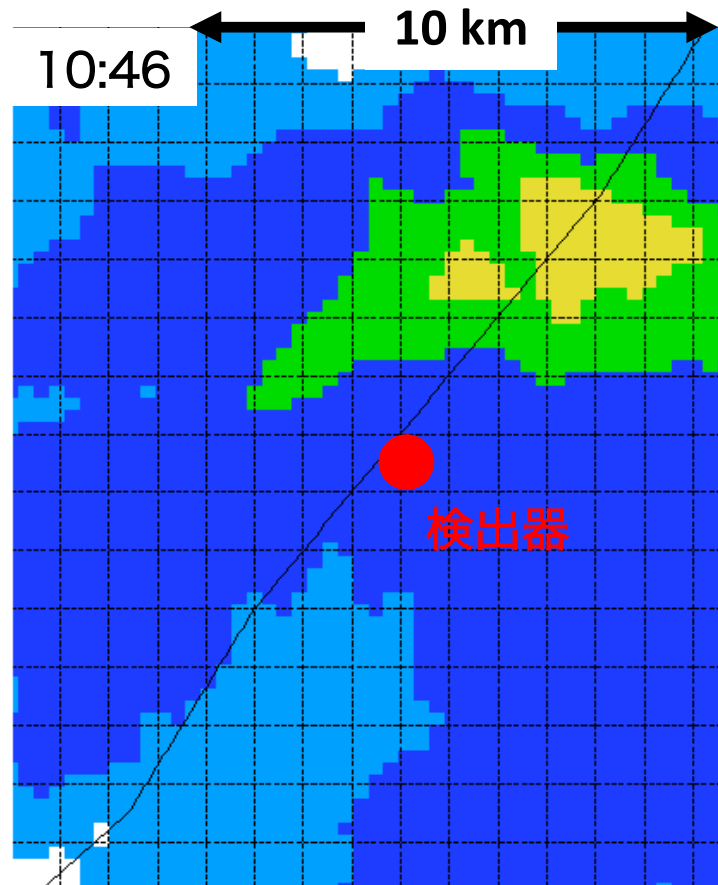
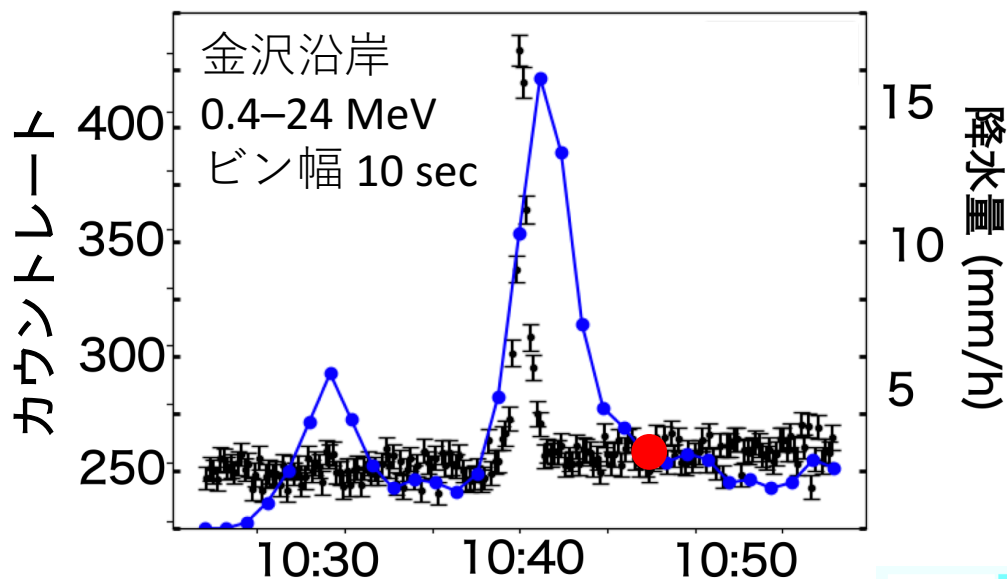


4. 気象条件とガンマ線強度

国土交通省のXバンドレーダー (250 mメッシュ・1 分間隔) で雨量を測る(利用したXRAINデータは、国土交通省より提供されたものである)

- ・電波を発射し、雨滴に当たって帰ってくる反射波を測定している

→ **ガンマ線強度が強いとき
雨量も多い傾向にある**



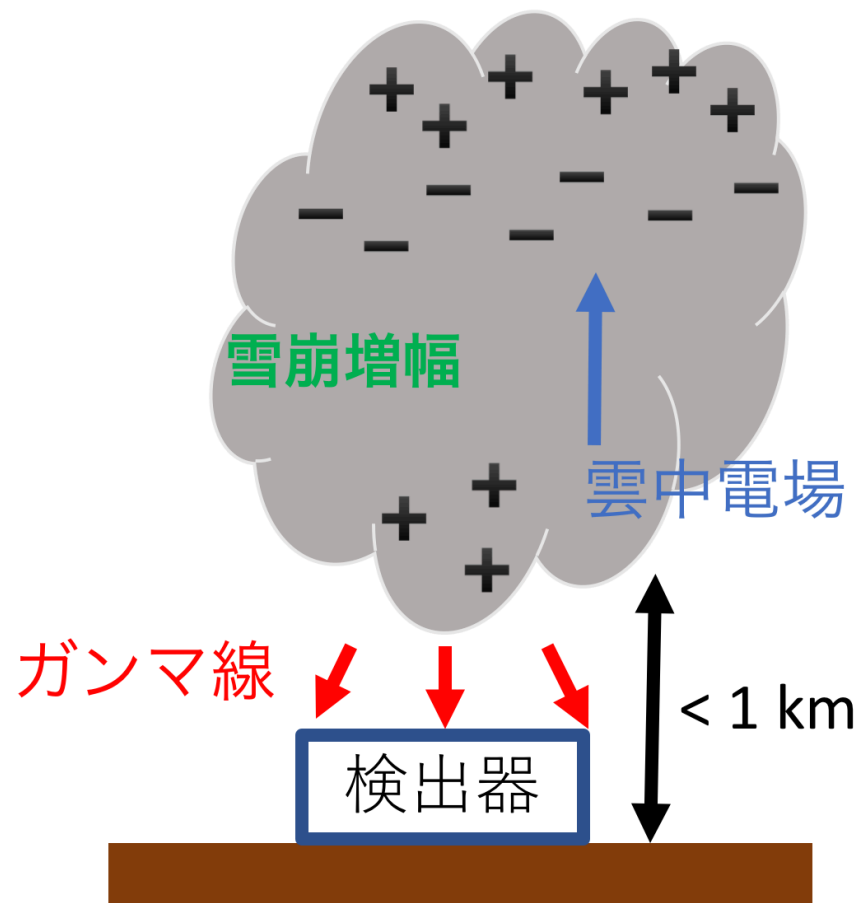
2018/01/11
2018/01/11

5. 気象条件との比較

気象との比較

- ・ ガンマ線の放射強度が強いとき雨量も多い
- ・ 上昇気流が強いと雲がよく発達して雨量が多くなる。
- ・ 同時に、電荷分離が大きくなる(北川96)ため、放射線量も強くなるからか

利用したデータセットは、文部科学省の委託事業により開発・運用されているデータ統合・解析システム(DIAS)の下で、収集・提供されたものである



6. まとめ

1. 2015年度から2017年度の3年間にわたり、金沢地域での冬期雷雲観測網を拡大してきた。合計で延べ24件のロングバーストを観測した。
2. 統計の良い8件はカットオフを持つべき関数で表され、カットオフエネルギーは3-5 MeVの範囲に収まった。雲中の電場で加速された電子による制動放射と解釈できる。べきと放射線の継続時間に負の相関を発見した。検出器と放射源の中心の水平位置の違いによって定性的に説明できる。
3. 降水量との比較を行い、放射線強度が強いところは雨量も強い傾向にあることがわかった。

今年度は金沢・小松地域に検出器を14台新たに追加する。より多くのガンマ線を観測できると期待している。

7. 引用

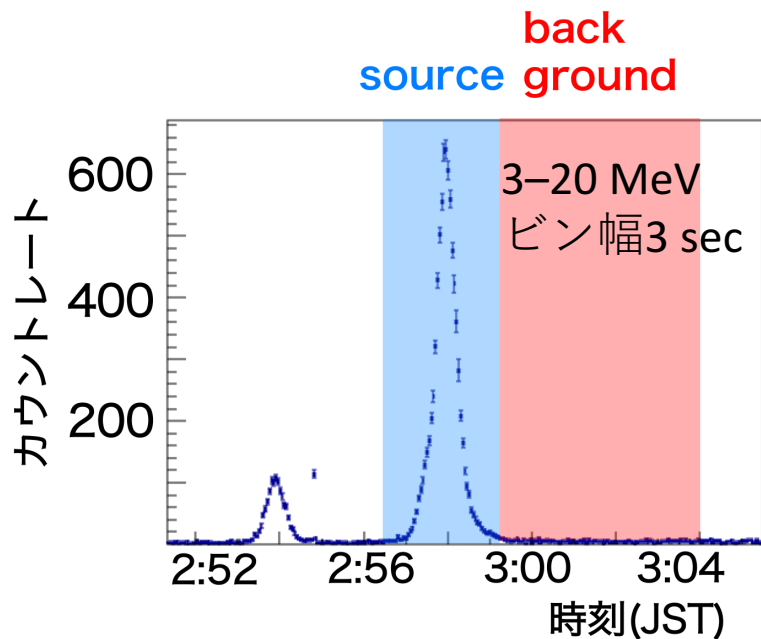
利用したデータセットは、文部科学省の委託事業により開発・運用されているデータ統合・解析システム(DIAS)の下で、収集・提供されたものである

3.1'. 強いガンマ線イベント

source
background
差分スペクトル

2018年1月10日に観測された
ロングバースト

- ・ 継続時間：90 sec
- ・ 光子数：3361 個



検出器応答込みのスペクトル

