



落雷による光核反応の発見： 地上観測による中性子と陽電子の検出

和田有希 (東京大学/理化学研究所)

古田禄大, 榎戸輝揚, 中澤知洋, 湯浅孝行, 奥田和史, 牧島一夫,
佐藤光輝, 佐藤陽祐, 中野俊男, 鈴木寛大, 榎本大悟, 土屋晴文

[Enoto, Wada, et al., *Nature* 551, 481-484 \(2017\)](#)

雷や雷雲からの高エネルギー放射線

- ・ 1990年代から雷放電と同期するガンマ線放射を天文衛星が観測
 - 地球ガンマ線 (Terrestrial Gamma-ray Flashes: TGFs)

(Fishman+1994, Smith+2005, Briggs+2011, Marisaldi+2015)

- ・ 地上観測 (冬季 / 夏季山岳) で雷活動に関連したガンマ線を検出

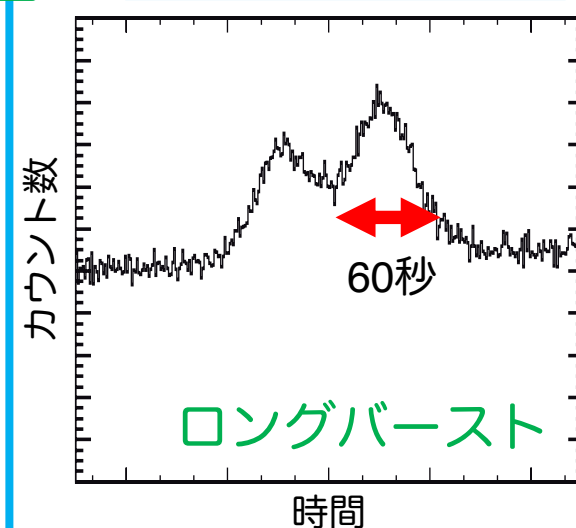
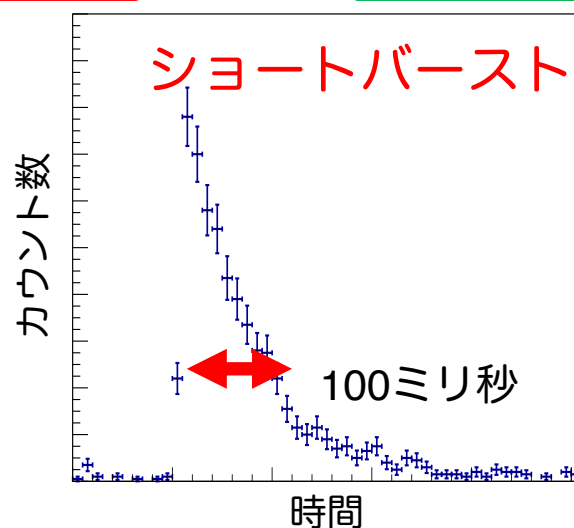
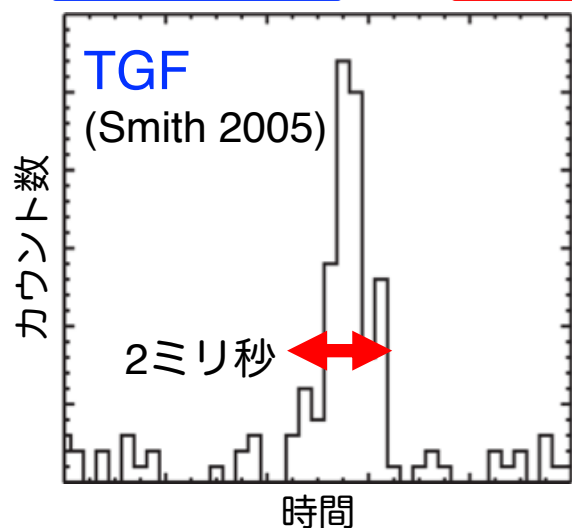
(Moore+2001, Torii+2002, 2011, Tsuchiya+2007, 2009, Chilingarian+2010, 2016, Umemoto+2016, Kuroda+2016)

宇宙から

雷と同期

地上から

雷と同期しない



- ・ 雷雲や雷放電の強電場領域で加速・増幅された電子からの制動放射か
 - 数十 MeVに達する自然界で唯一観測可能な電場加速
 - 加速メカニズム・加速が起きる条件などが未解決
- ・ TGF (>10 MeV) の光核反応による中性子生成の予想 (Babich+2007, Carlson+2010)

GROWTH実験の展開

一地点観測から多地点のマッピング観測へ

- ロングバーストのライフサイクル・放射域の構造
- ショートバーストの発生位置

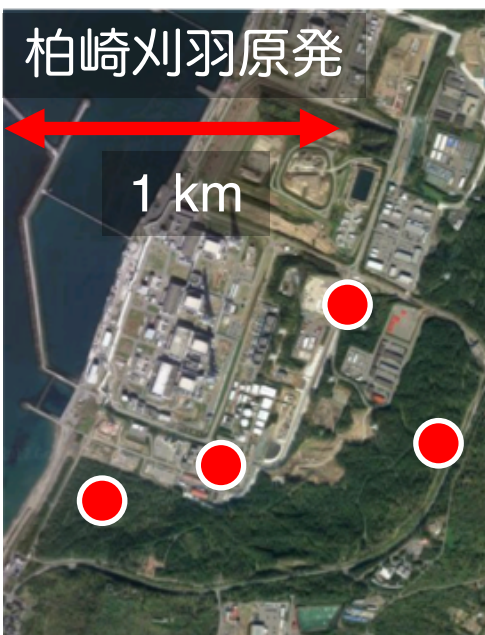


冬季雷を中心に観測

- 雲底が低い = 放射線が地表に届きやすい
- 雷放電一発の解放エネルギーが大きい

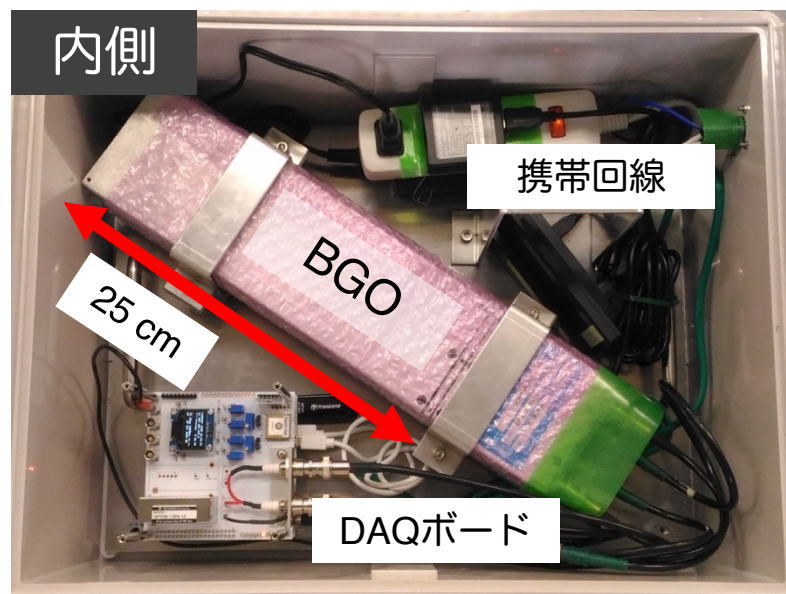
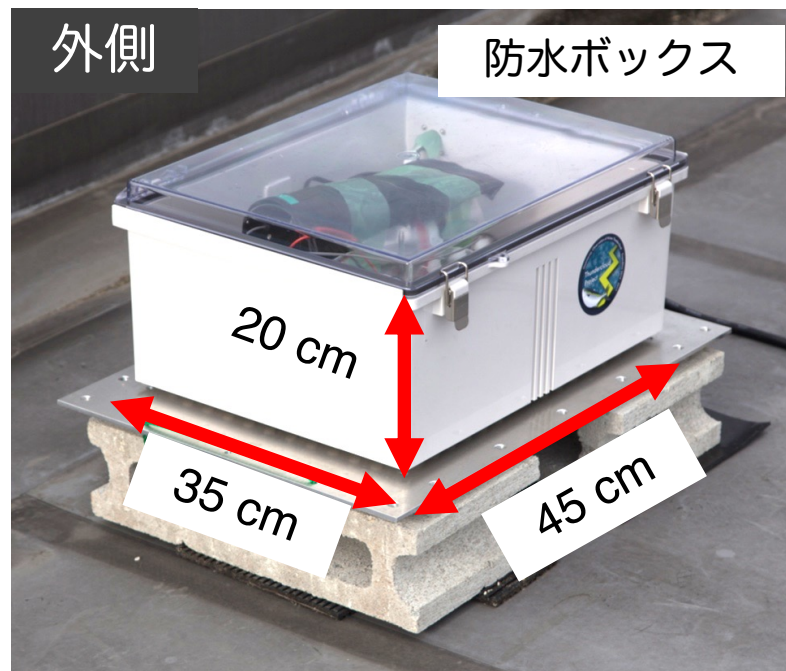
各地域の特性を調査中

- 柏崎地域の高密度マッピング
- 金沢・小松地域での広域マッピング



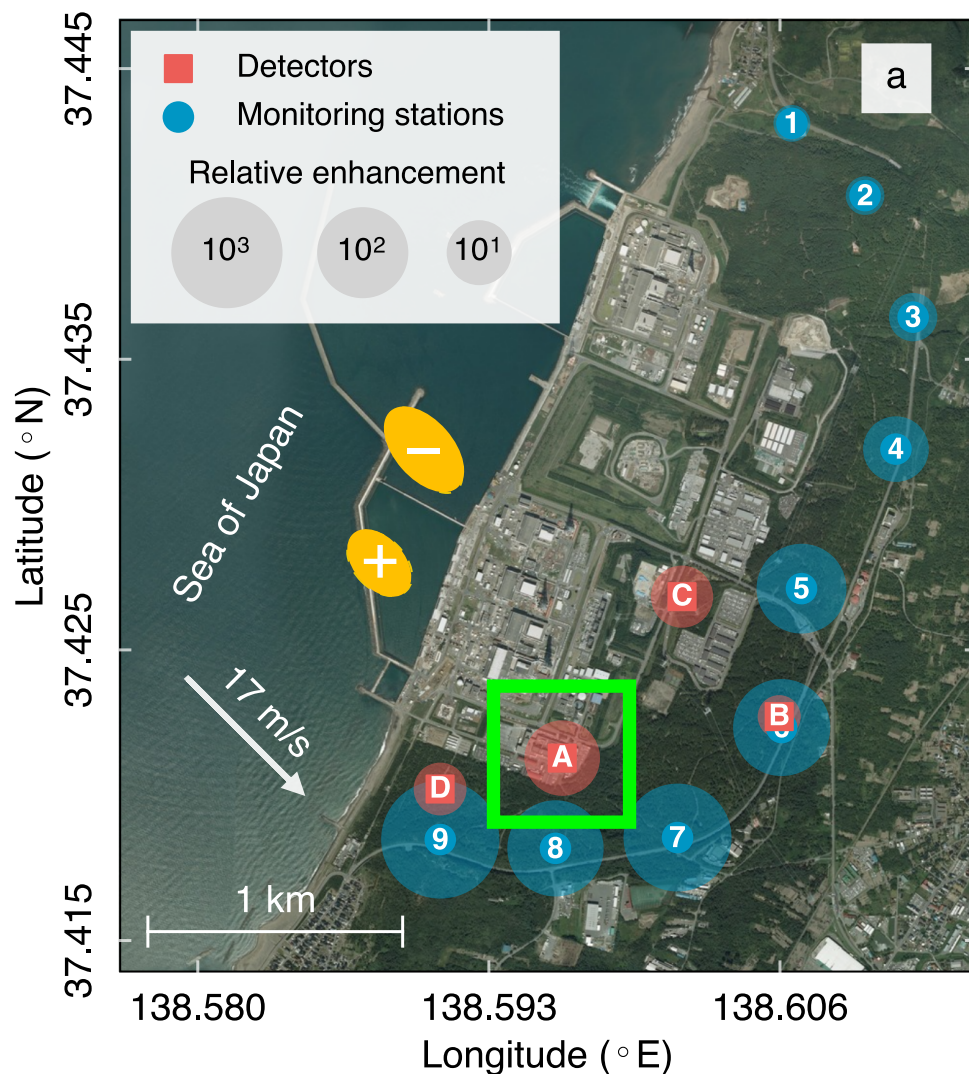
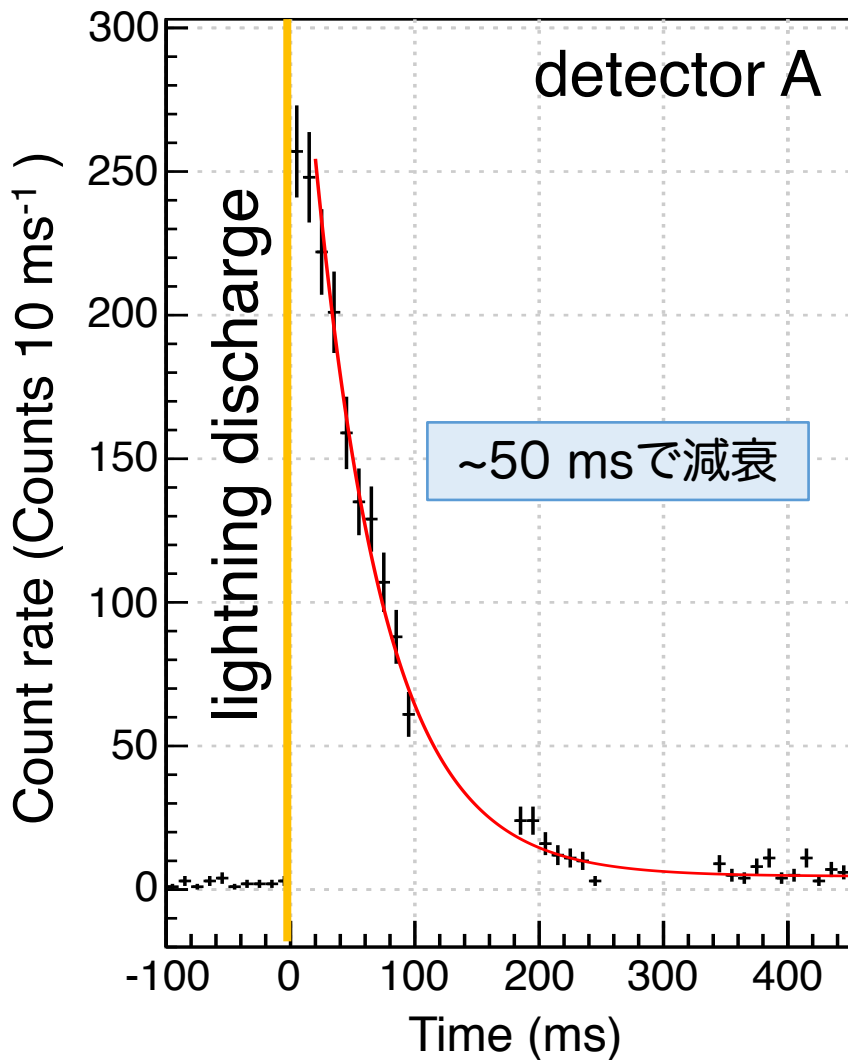
観測装置

- ・ 可搬型の放射線検出器 (和田 修士論文2017)
 - システム全てを防水ボックスに封入
 - AC100Vで駆動 (10 W)
- ・ ガンマ線検出部
 - BGO・NaI・CsIシンチレータ
 - PMT読み出し
- ・ データ取得系
 - 50 Msps 波形取得型ADC/FPGAボード (GROWTHボード：シマフジ電機)
 - 増幅系・HV系を搭載した子基板
 - イベント毎に時間とエネルギーを記録
 - Raspberry Pi 3で駆動・制御
- ・ データ転送系
 - ドコモLTE回線を使用
 - Raspberry Piを遠隔制御・SSH可能
 - 常にテレメトリーを送信・遠隔監視



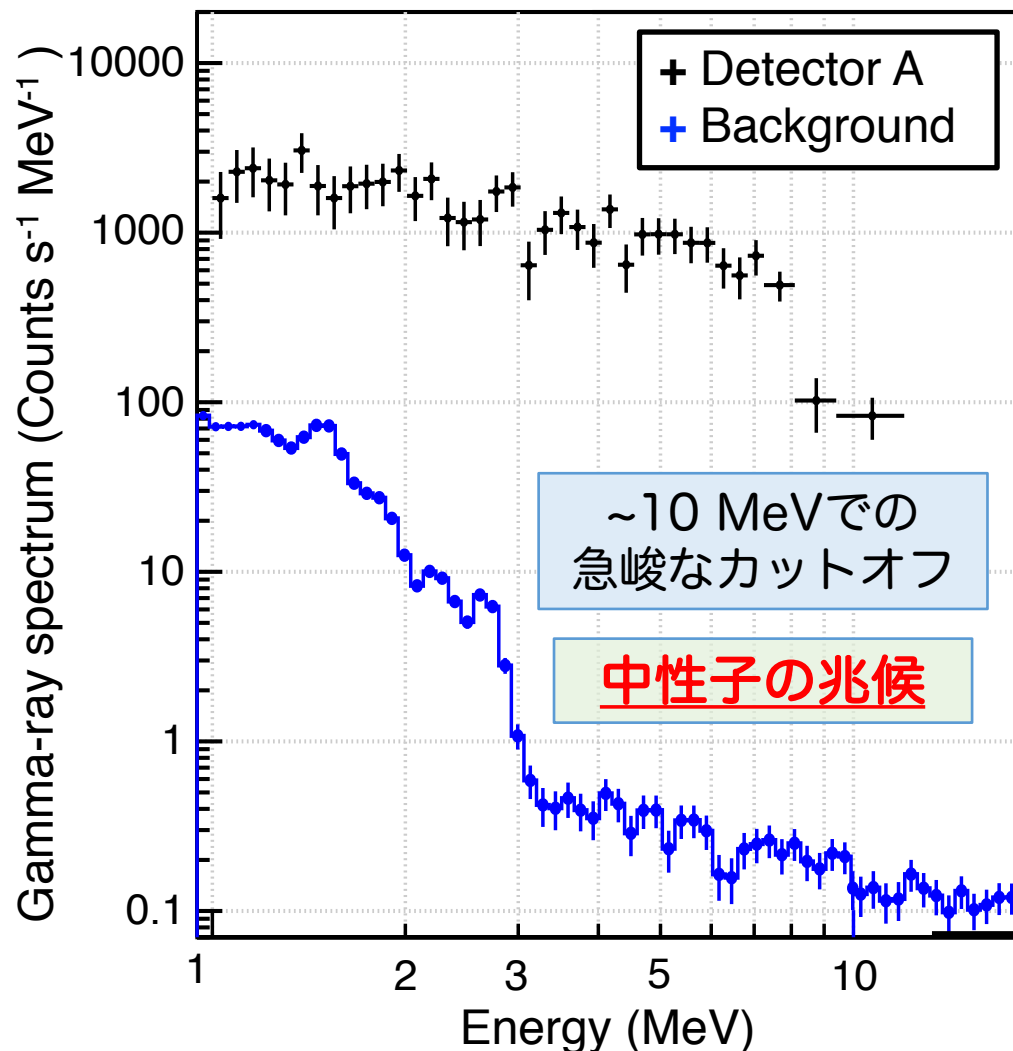
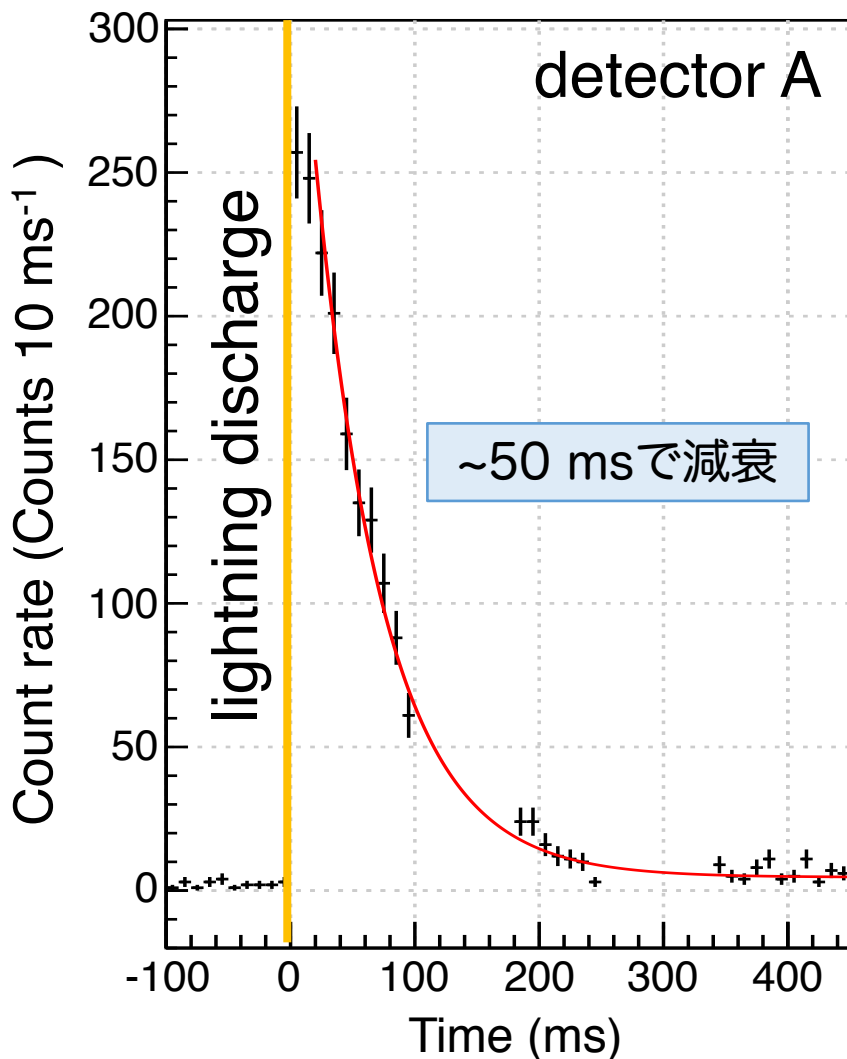
雷放電とガンマ線放射

- 2017年2月6日17時34分に柏崎サイト付近の雷に同期してショートバースト。
 - 4地点の放射線検出器と原発内のモニタリングポストで同時検出。



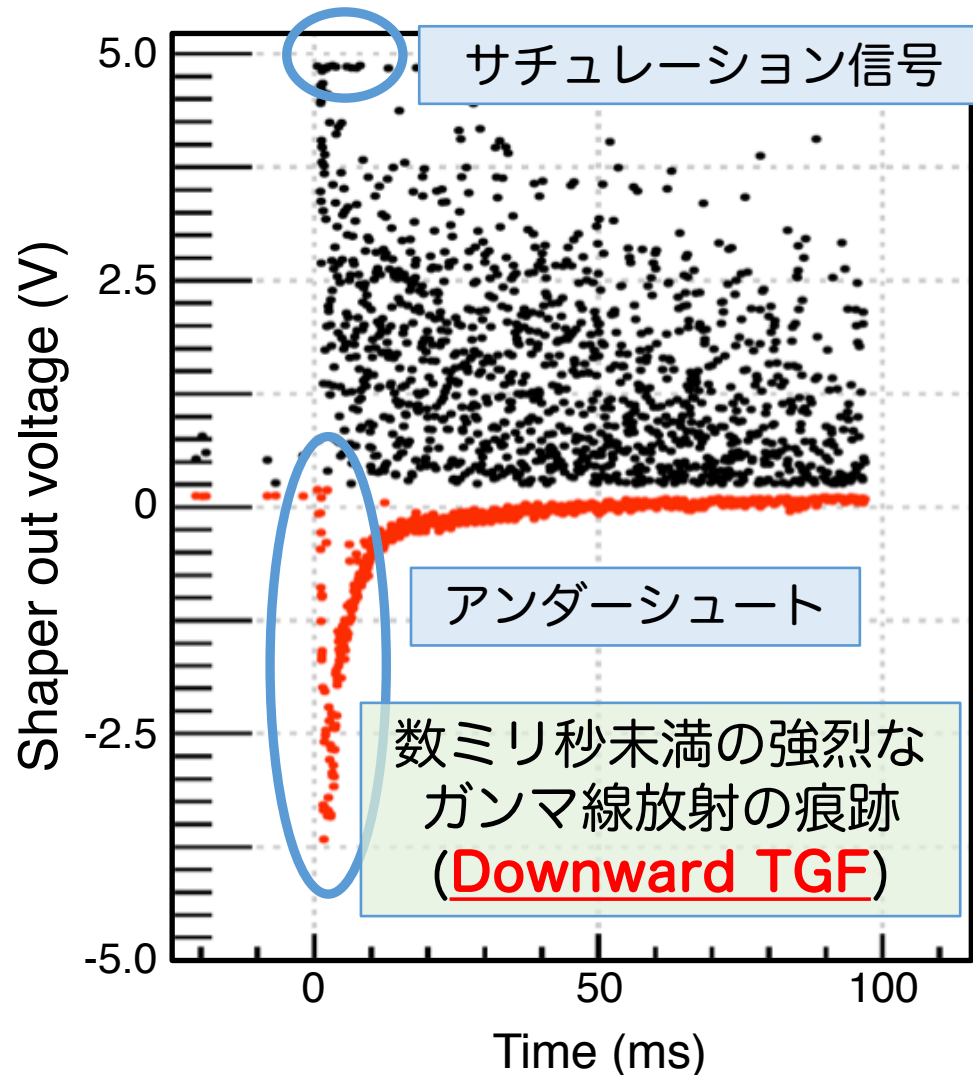
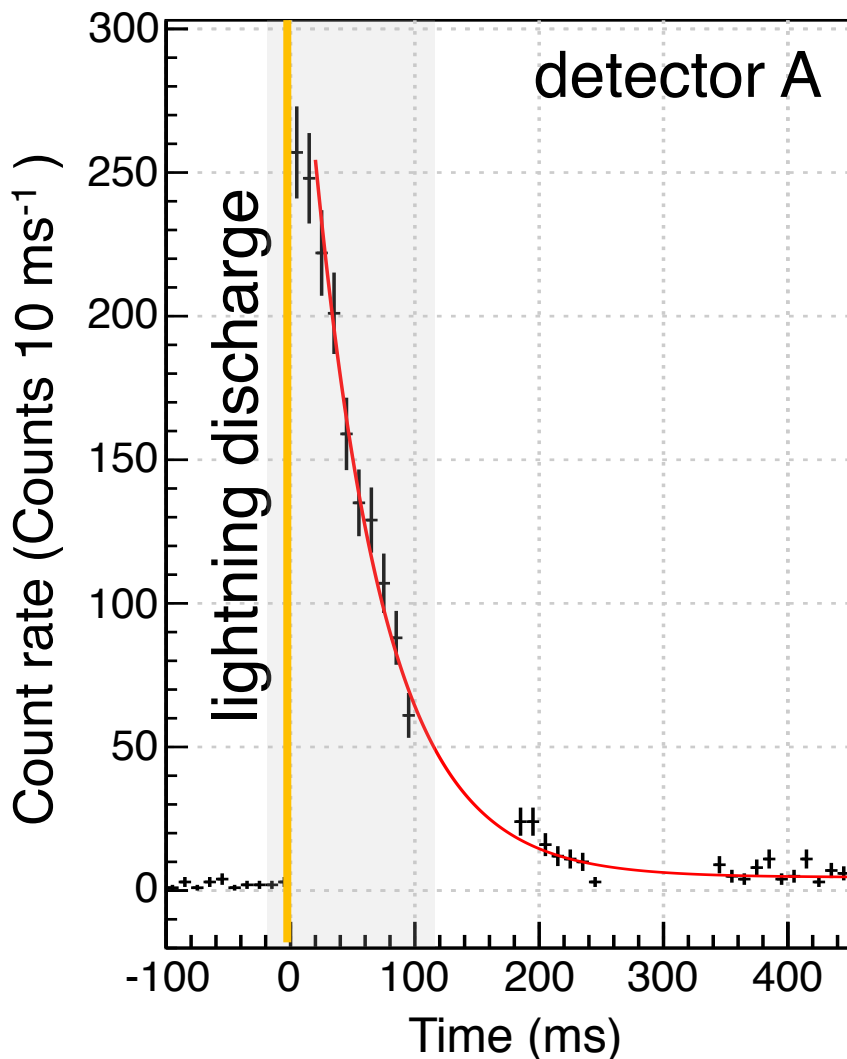
ショートバーストのスペクトル

- 2017年2月6日17時34分に柏崎サイト付近の雷に同期してショートバースト。
 - 4地点の放射線検出器と原発内のモニタリングポストで同時検出。



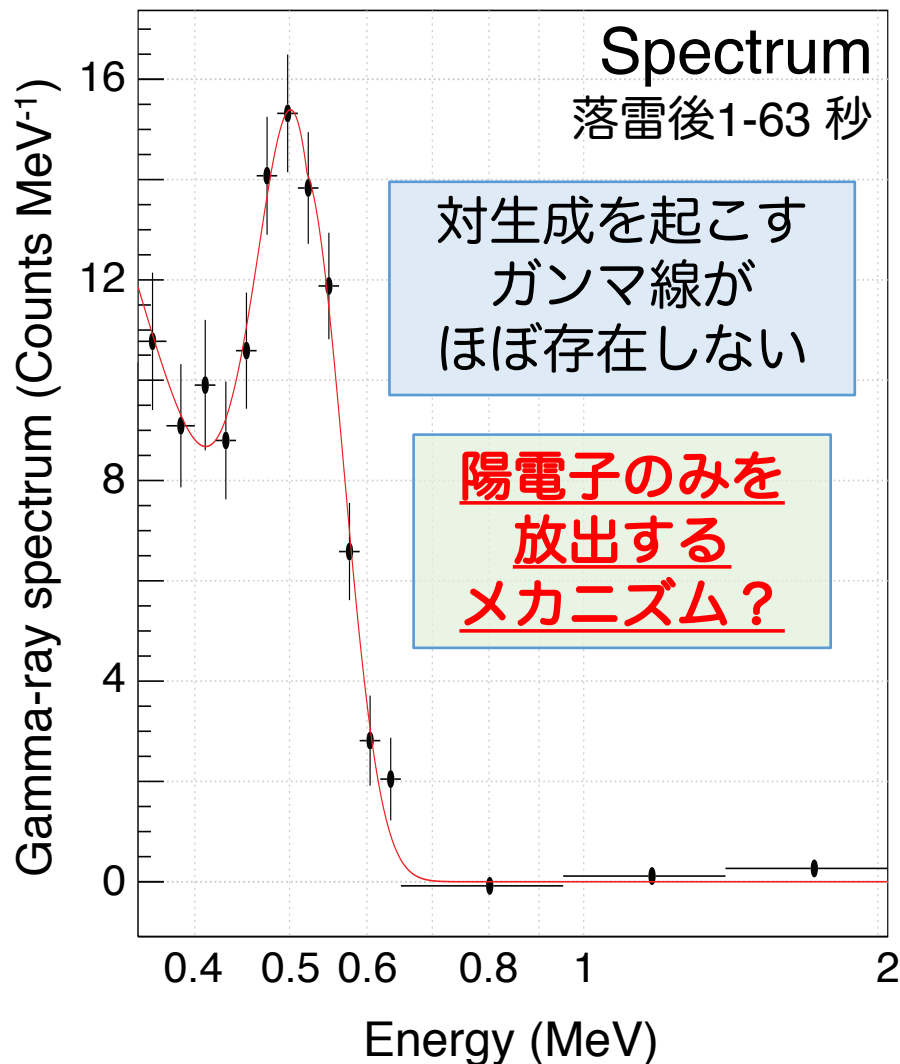
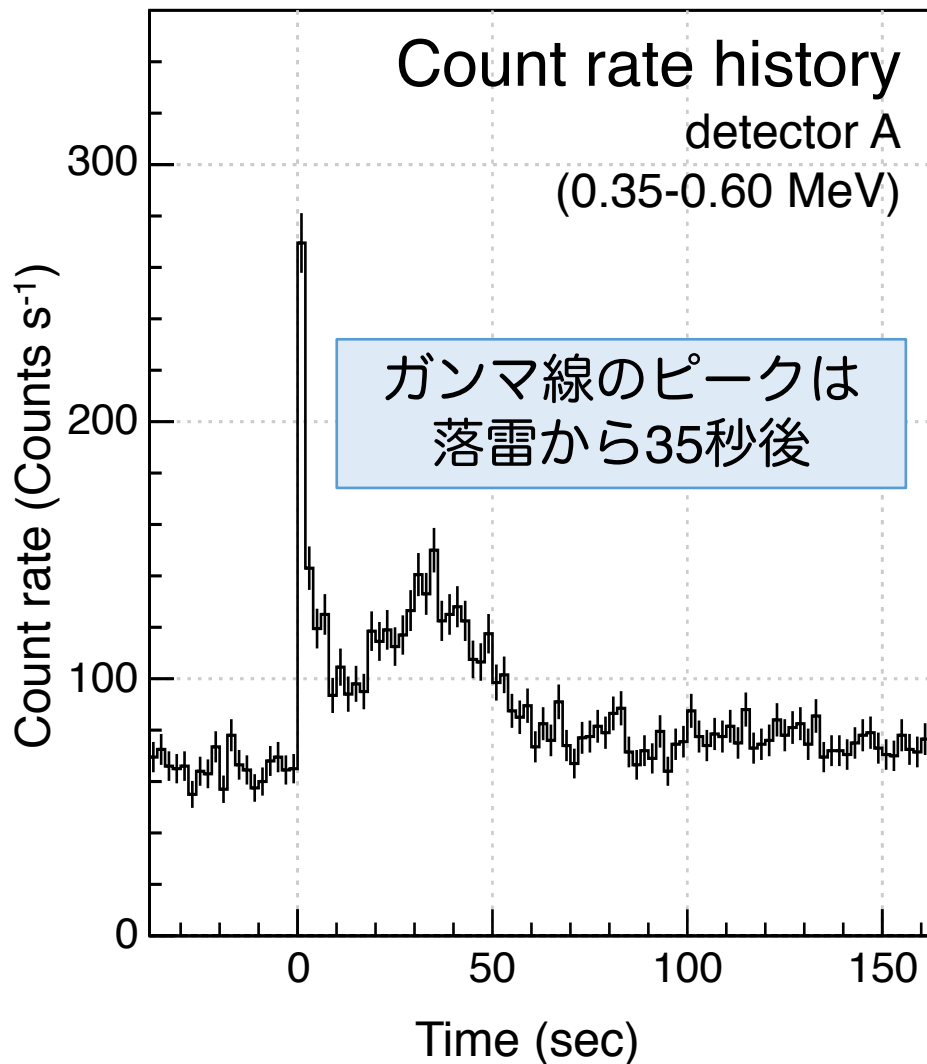
Downward TGFの兆候

- 2017年2月6日17時34分に柏崎サイト付近の雷に同期してショートバースト。
 - 4地点の放射線検出器と原発内のモニタリングポストで同時検出。

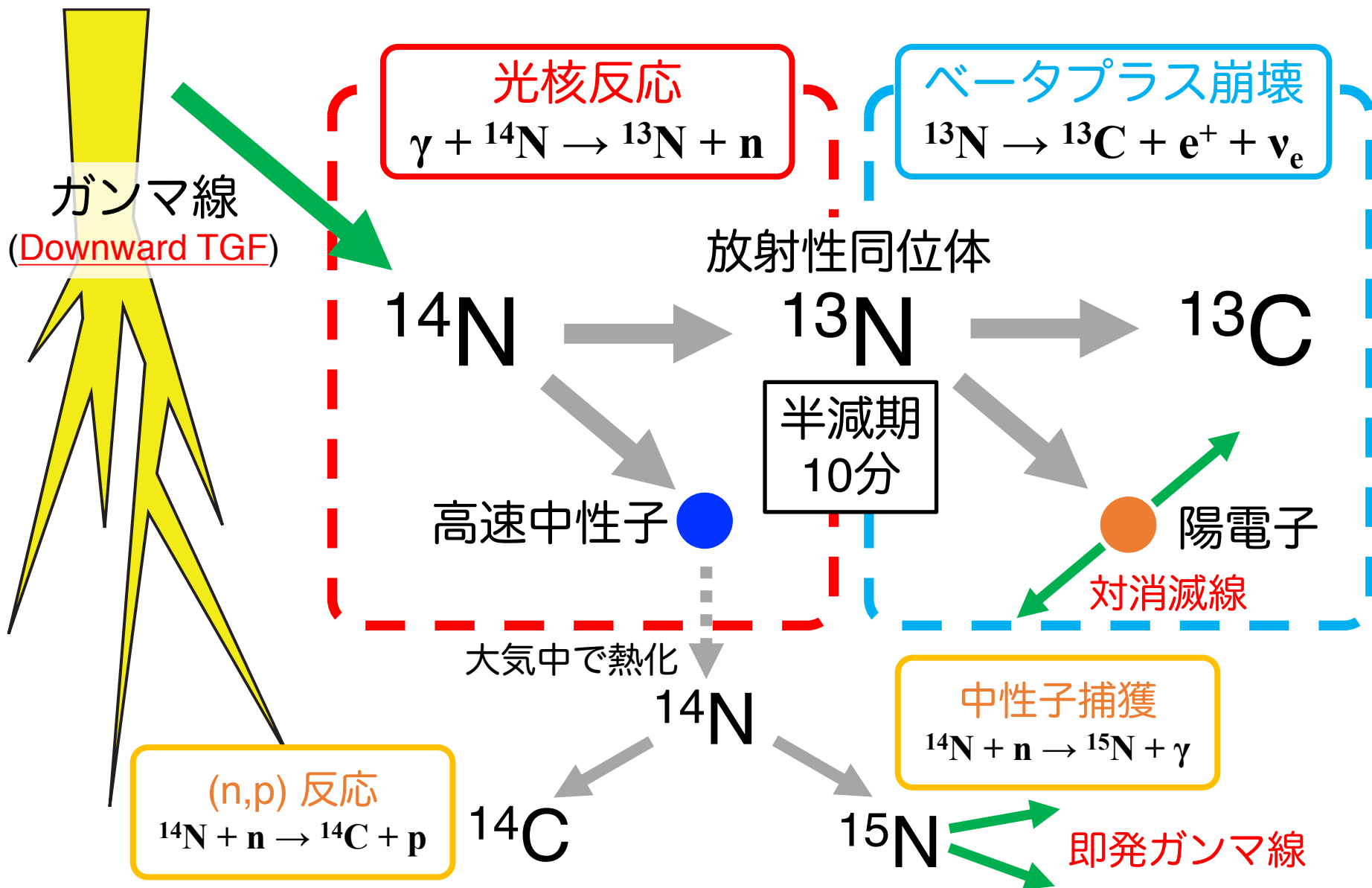


対消滅線の到来

- ・ ショートバーストの後に1分ほど継続する残光を2台の検出器で観測
 - 陽電子起源の511 keV 輝線



雷によって引き起こされた光核反応



まとめ

- 2017年2月6日に柏崎刈羽原発付近で発生した雷放電と同期して、ガンマ線放射を複数の検出器で観測。
- 雷放電の直後、数ミリ秒未満の強烈なガンマ線放射の痕跡があり、Downward TGFの兆候と考えられる。
- 約50ミリ秒で減衰し、スペクトルが10 MeVで急激にカットオフするショートバーストを観測。
- 雷放電から35秒遅れてカウントレートのピークが到来する電子・陽電子対消滅線を検出。
- これらは雷放電と同期したDownward TGFによる光核反応の観測的証拠と考えられる。