



日本海沿岸における 冬の雷や雷雲に伴う放射線観測

土屋晴文¹、榎戸輝揚²、和田有希^{3,4}、古田禄大³、中澤知洋^{3,5}、
湯浅孝行⁴、奥田和史³、牧島一夫⁴、中野俊男⁴、楳本大悟⁴
(GROWTH コラボレーション)

1. JAEA, 2. 京都大学, 3. 東京大学, 4. 理研, 5. 名古屋大学

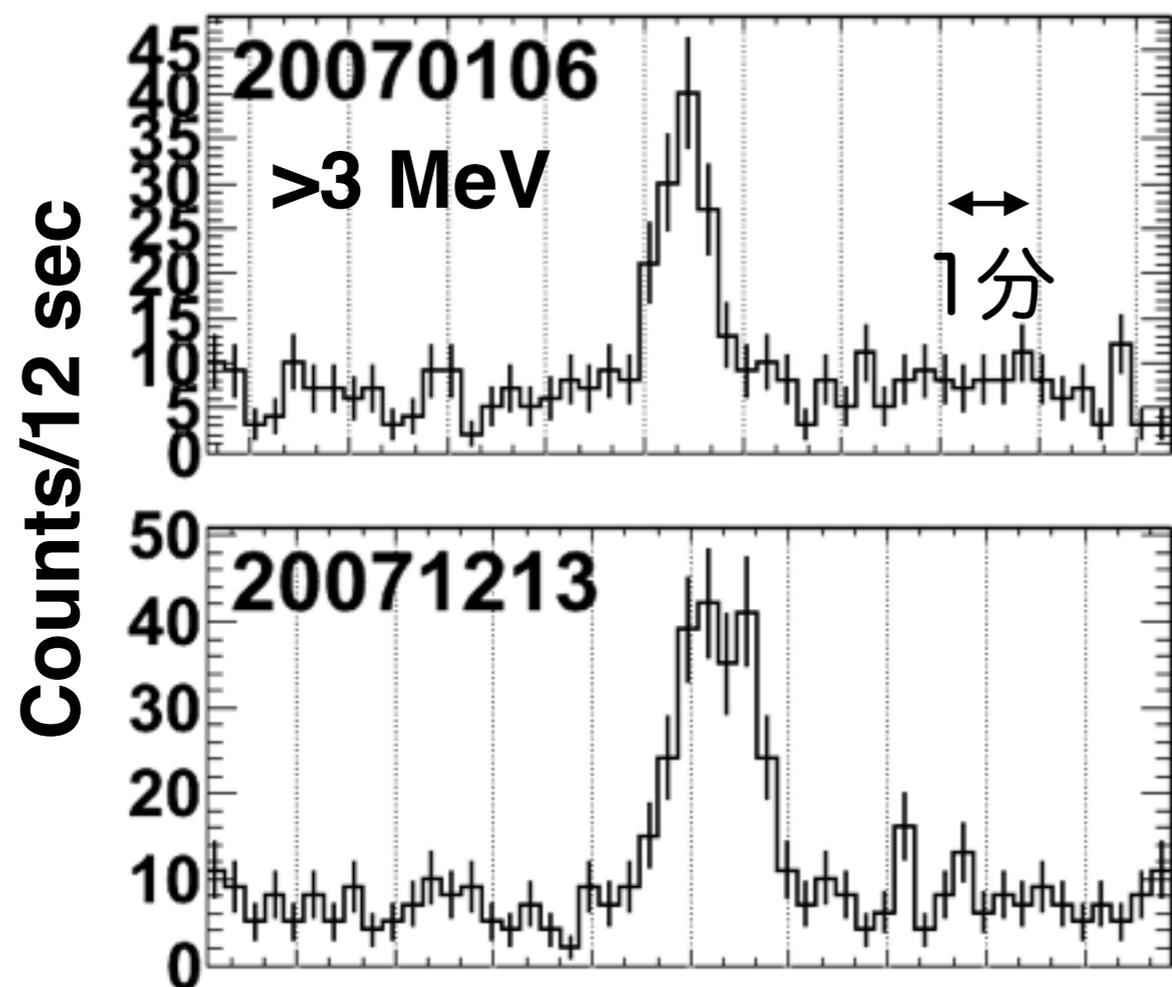
背景

- 冬季の放射線増大事象 -

日本海沿岸の原子力発電所や自治体のモニタリングポストで
冬季の雷が頻発する時期に観測(Torii+2002, Tsuchiya+2007)

継続時間で2種類に分類

- ★ロングバースト
- ✓雷と必ずしも同期しない
- ✓~1分程度増加が継続



背景

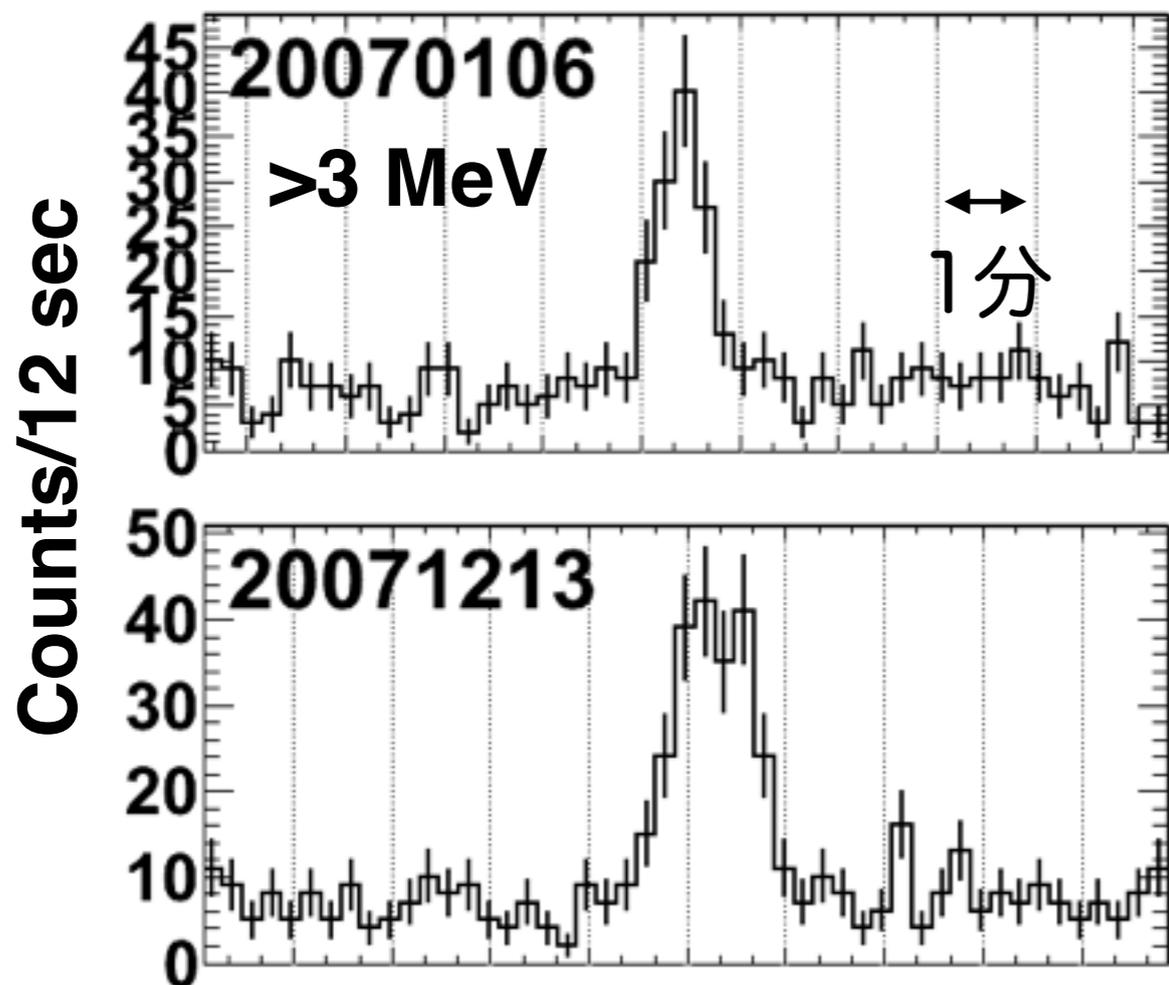
- 冬季の放射線増大事象 -

日本海沿岸の原子力発電所や自治体のモニタリングポストで
冬季の雷が頻発する時期に観測(Torii+2002, Tsuchiya+2007)

継続時間で2種類に分類

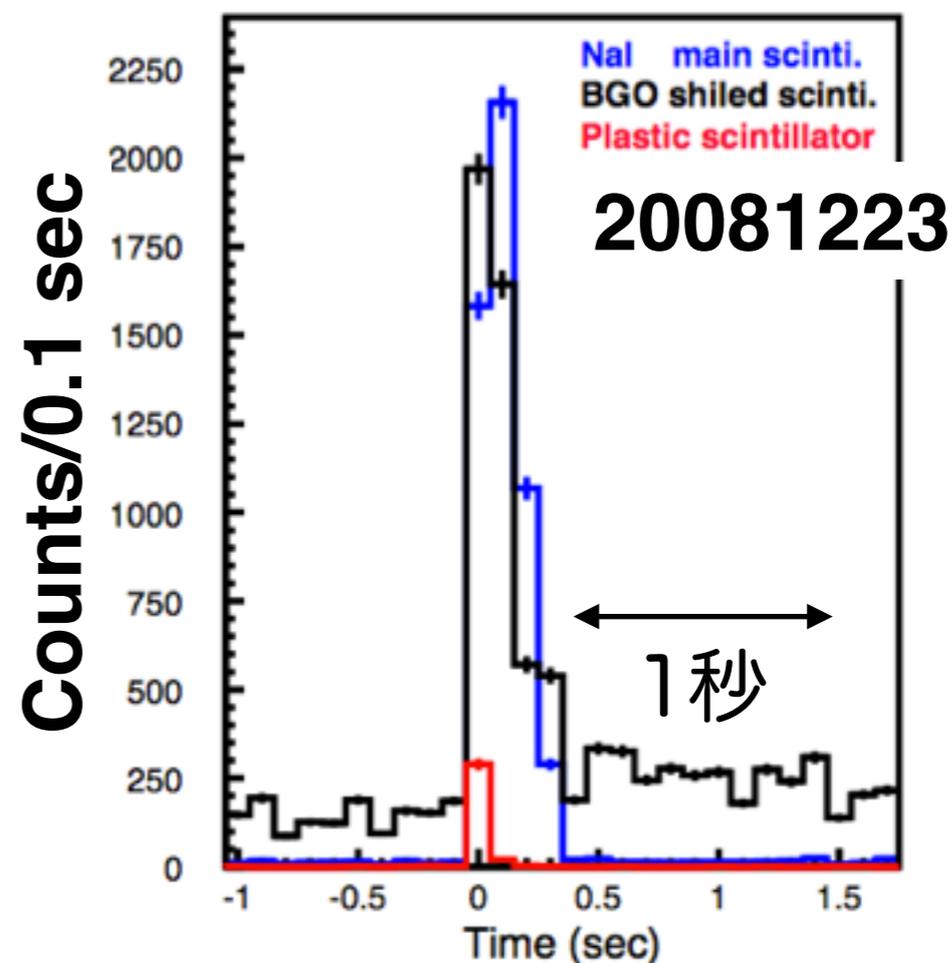
★ロングバースト

- ✓ 雷と必ずしも同期しない
- ✓ ~1分程度増加が継続



★ショートバースト

- ✓ 雷と同期する
- ✓ ~1秒かそれ以下増加が継続



背景

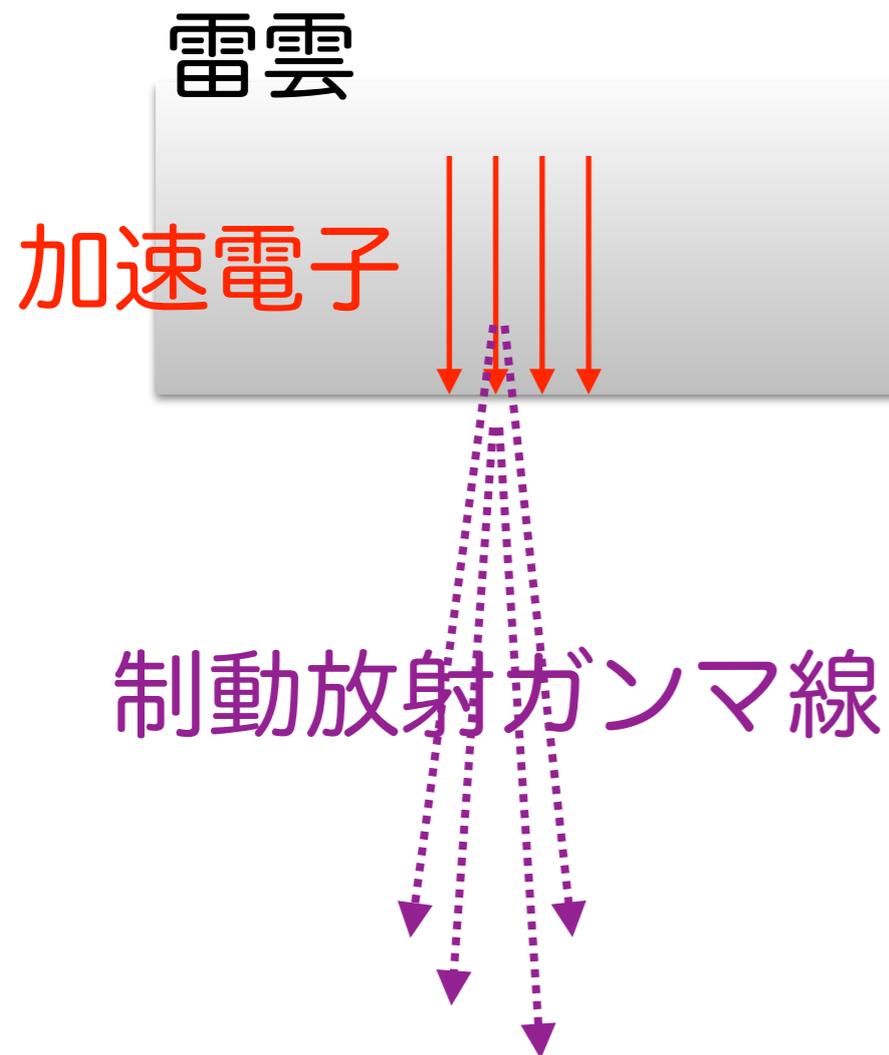
- 冬季の放射線増大事象 -

日本海沿岸の原子力発電所や自治体のモニタリングポストで
冬季の雷が頻発する時期に観測(Torii+2002, Tsuchiya+2007)

継続時間で2種類に分類

★ロングバースト

★ショートバースト



背景

- 冬季の放射線増大事象 -

日本海沿岸の原子力発電所や自治体のモニタリングポストで
冬季の雷が頻発する時期に観測(Torii+2002, Tsuchiya+2007)

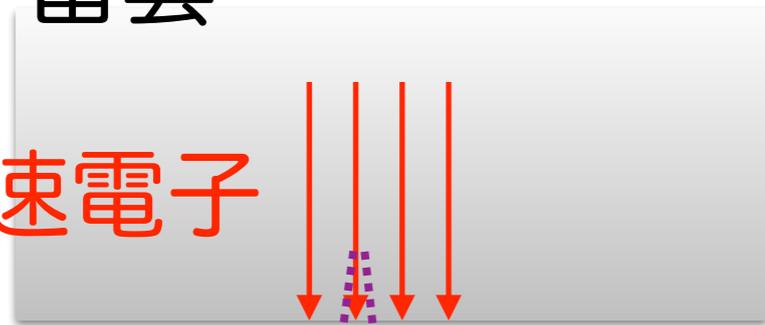
継続時間で2種類に分類

★ロングバースト

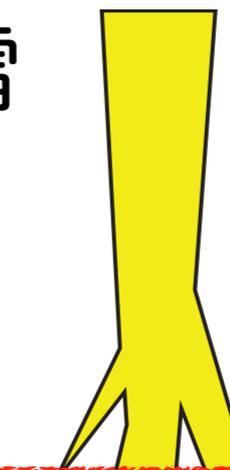
★ショートバースト

雷雲

加速電子

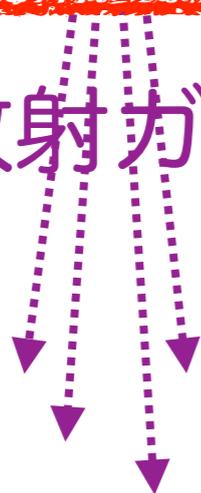


雷

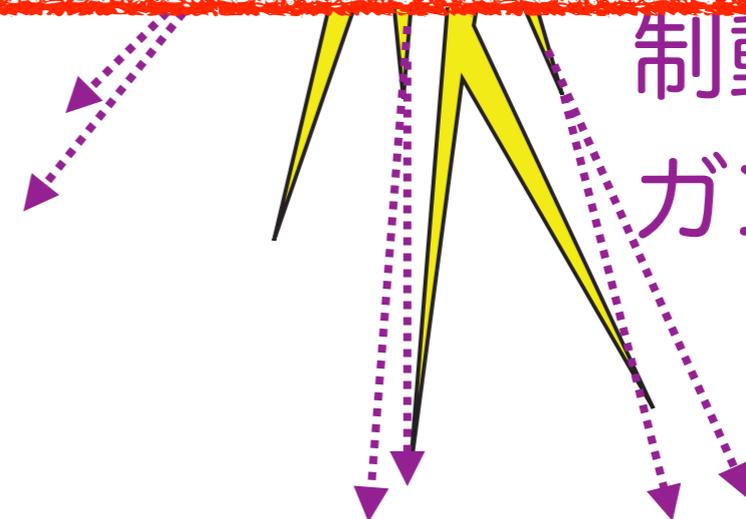


▶ 両者とも加速された電子の制動放射ガンマ線なのか？

制動放射ガンマ線



制動放射
ガンマ線

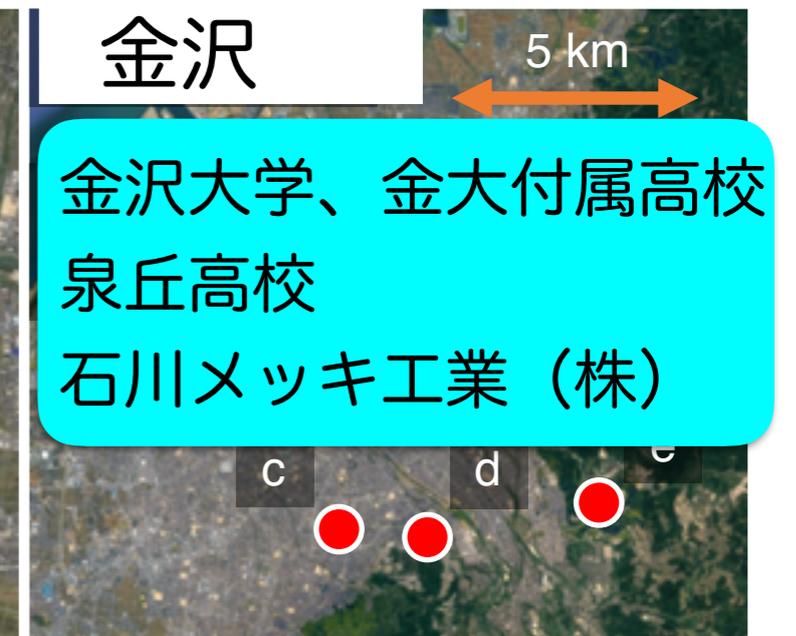
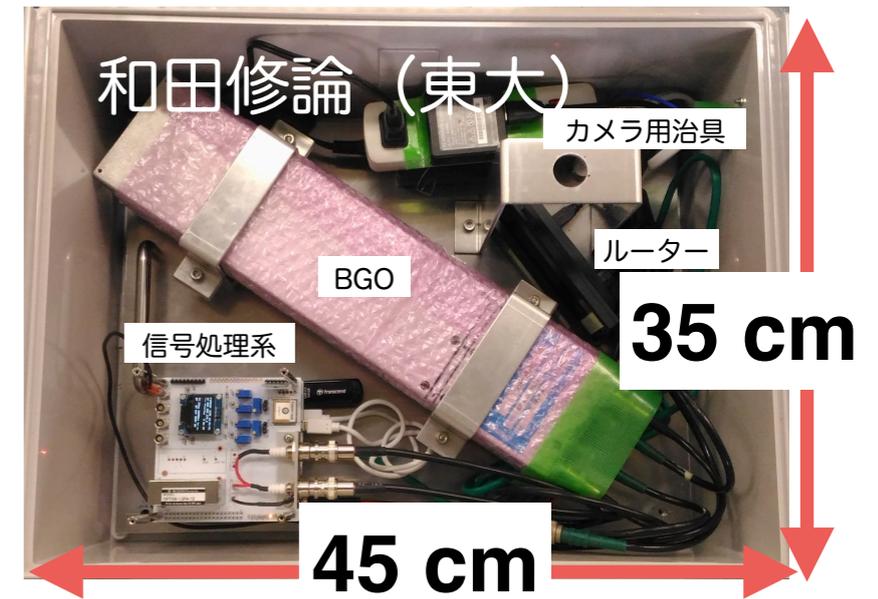


GROWTH実験

Gamma Ray Observation of Winter Thunderclouds

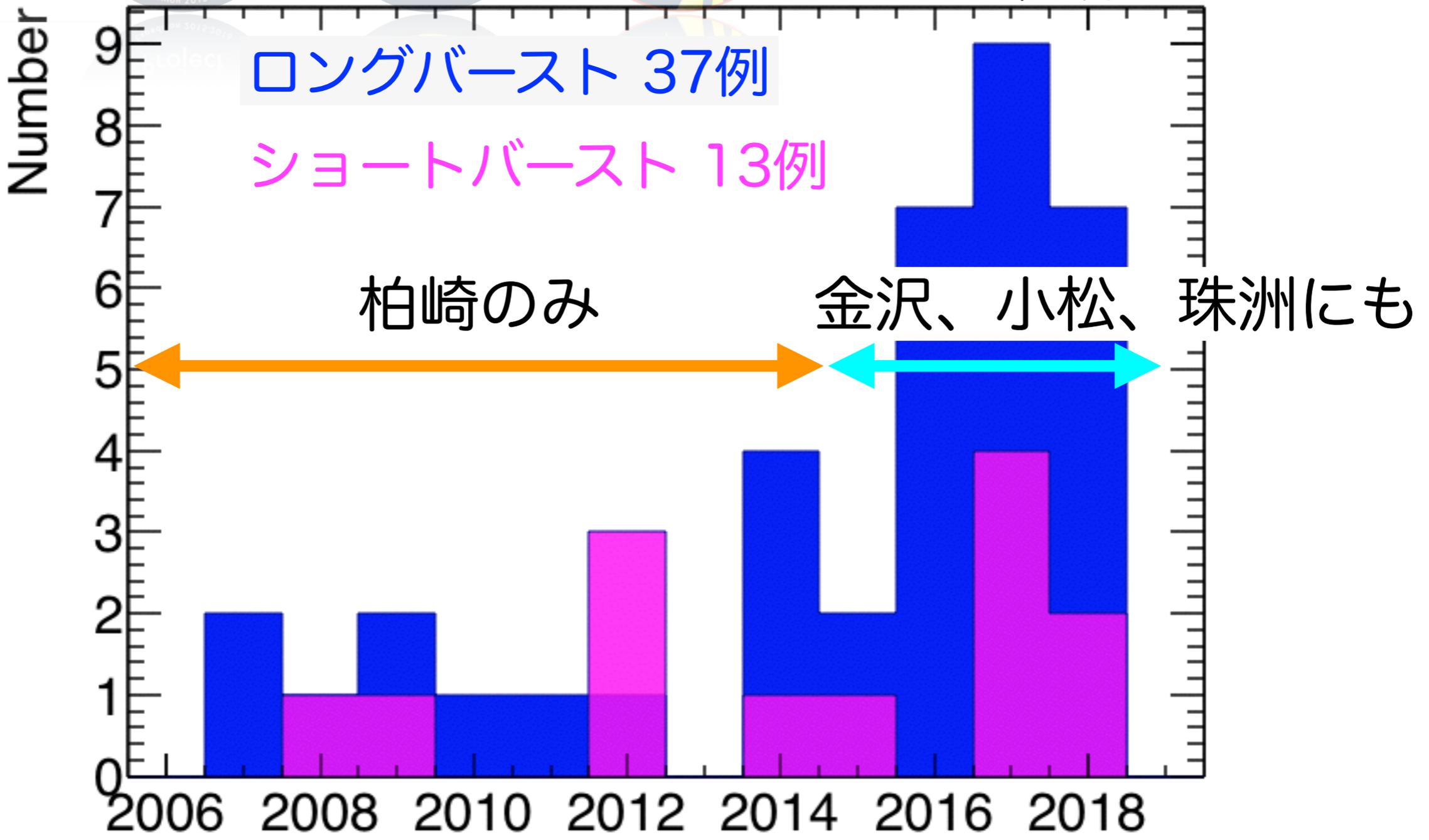
-観測場所や装置-

- ☑ 2006年に柏崎で観測開始（冬季雷雲は雲底が低く、観測条件が良い）
- ☑ NaI, CsI, BGOなどの無機シンチレータ+Raspberry Piで装置を小型化
- ☑ 2018年現在、金沢、小松、珠洲にも観測地点を設置(和田,東大修論2017)



これまでのイベント数

★2018年1月まで



2015年以降、多地点観測により
観測イベント数の増大を実現

未解決の観測結果

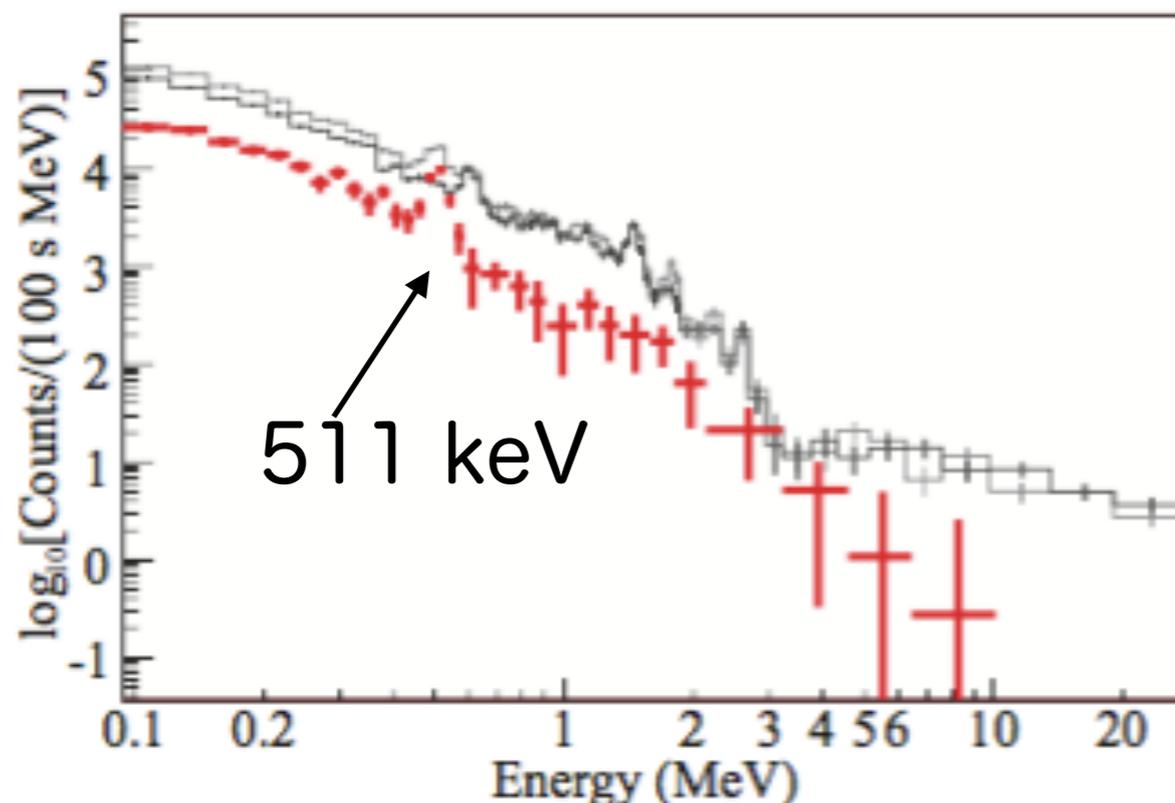
★ ショートバーストで中性子生成の可能性

✓ 雷でDD反応により中性子が生成という報告 Shah+, Nature(1985)

✓ DD反応ではなく光核反応で中性子が生成という予測 Babich+, JGR (2006)

★ 雷から遅れた対消滅ガンマ線の放射

20120113 (GROWTH実験, Umemoto+ PRE,2016)



✓ 雷の終了から数十秒続き、
ロングバースト的な振る舞い
を示す。

▶ 昨年、こうした現象を統一的に理解できる
イベントを観測

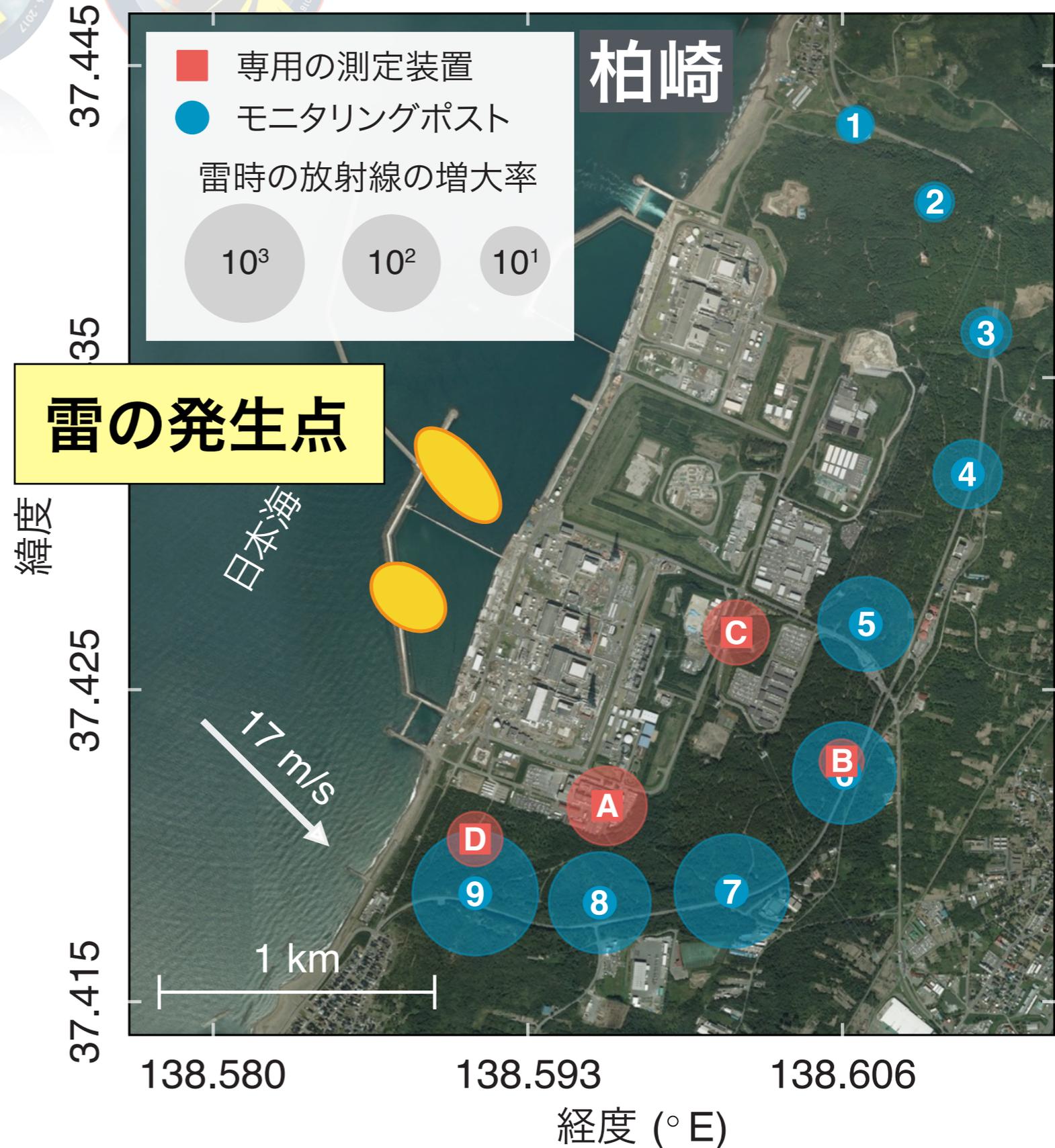
雷での光核反応発生を実証したイベント

Enoto, Wada, Furuta+,
Nature, 2017

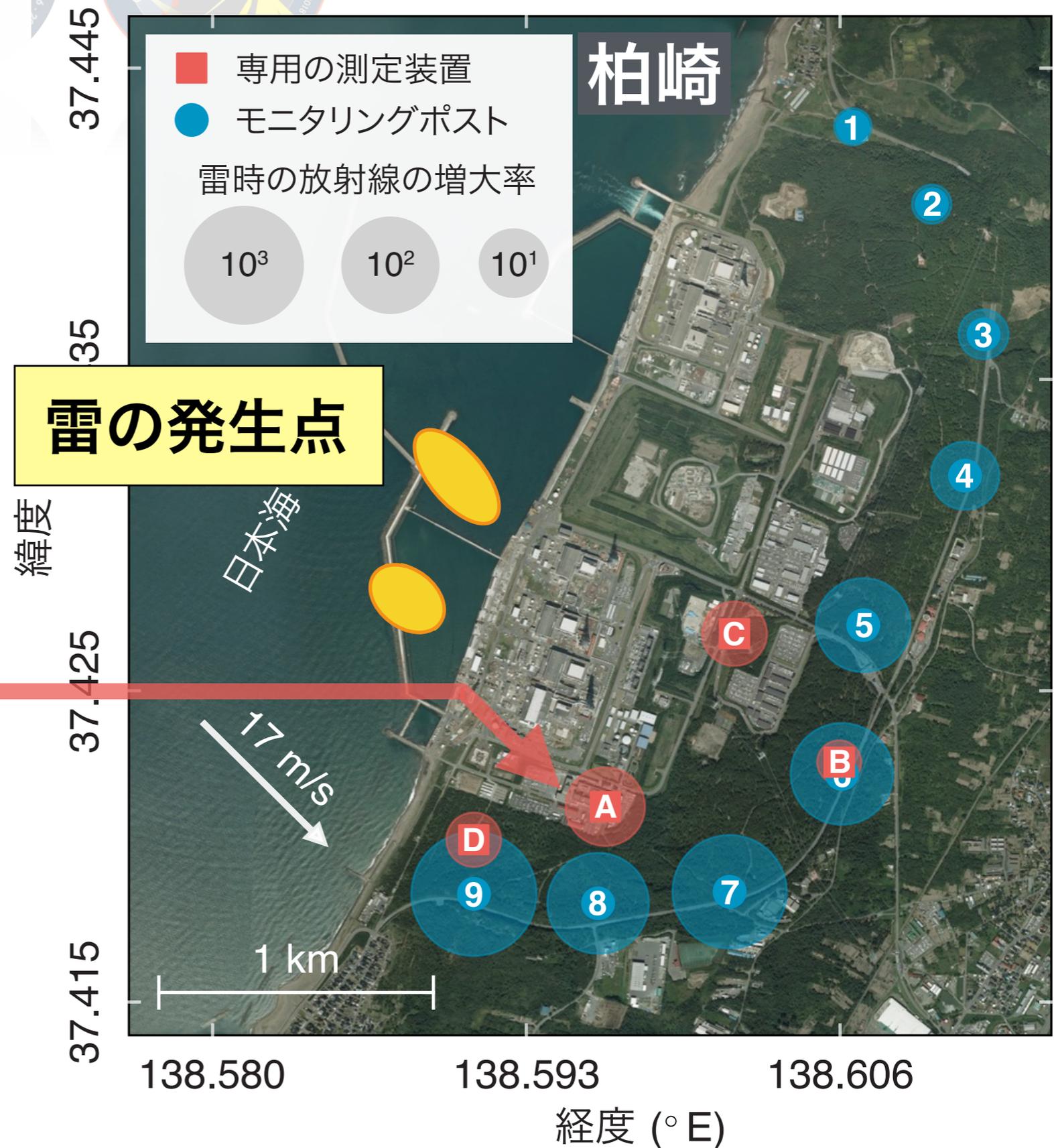
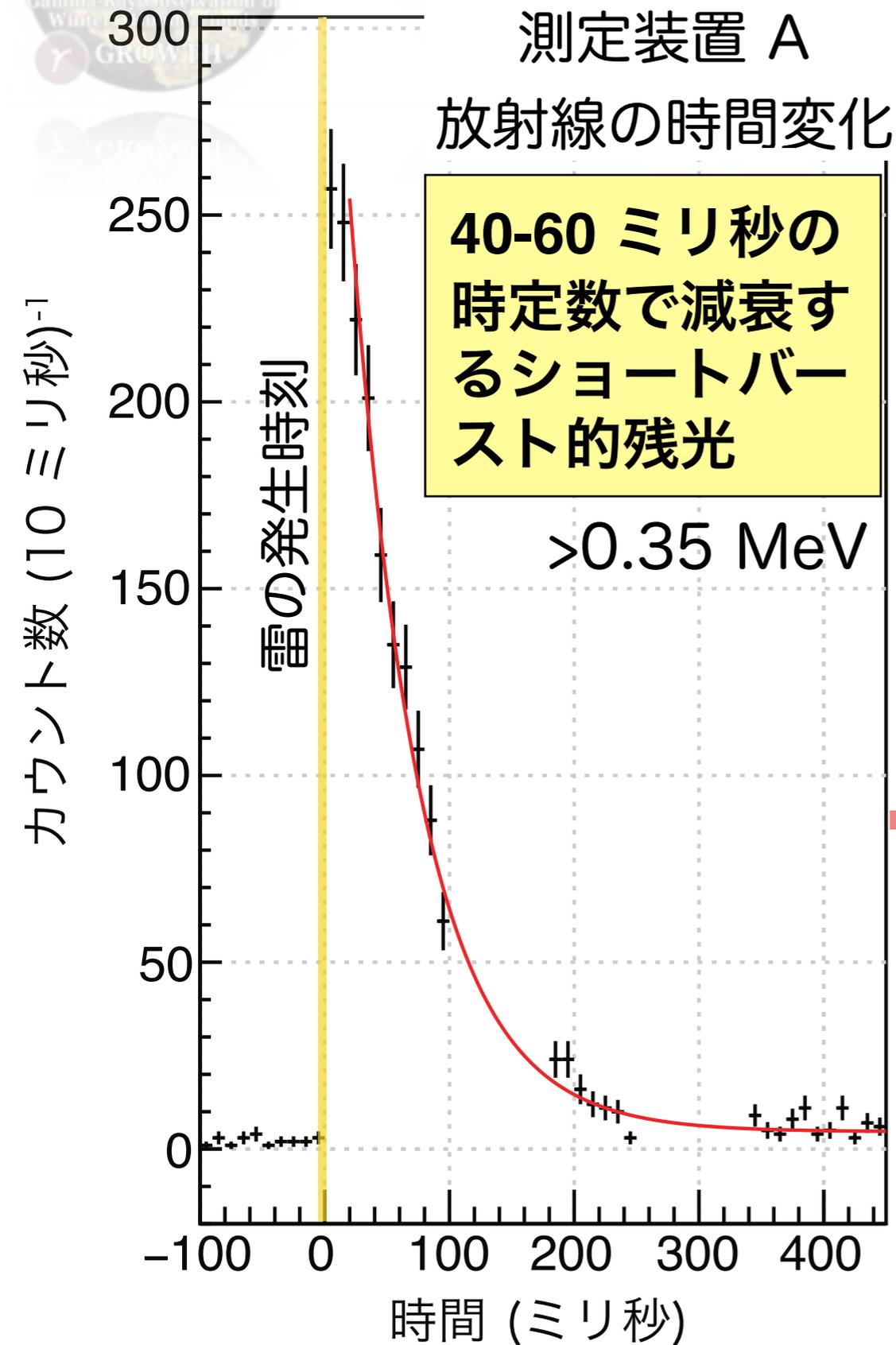
- 2017年2月6日 17:34:06
(日本時間) に柏崎で雷が発生。

→ 放射線の増大を同時観測

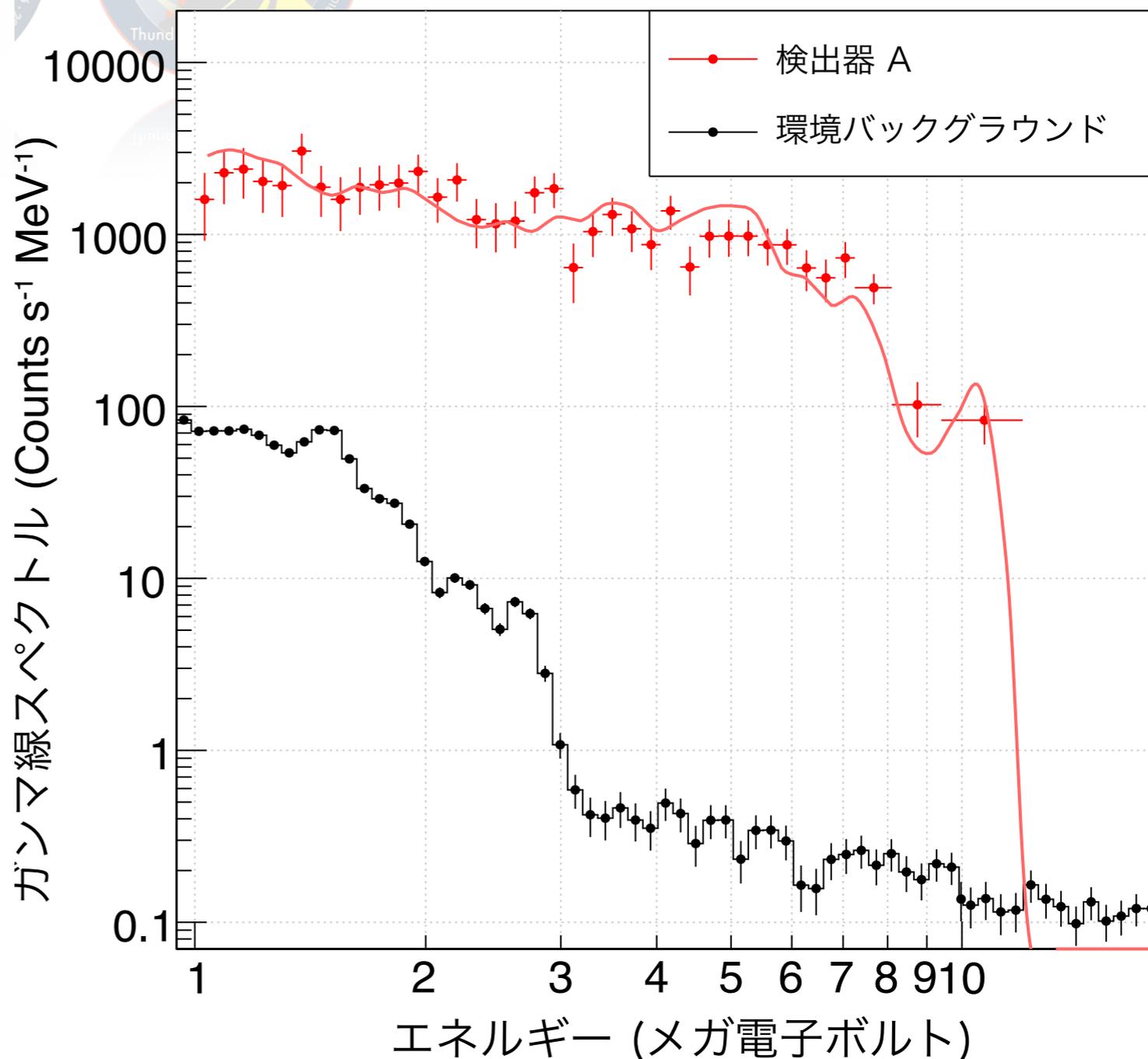
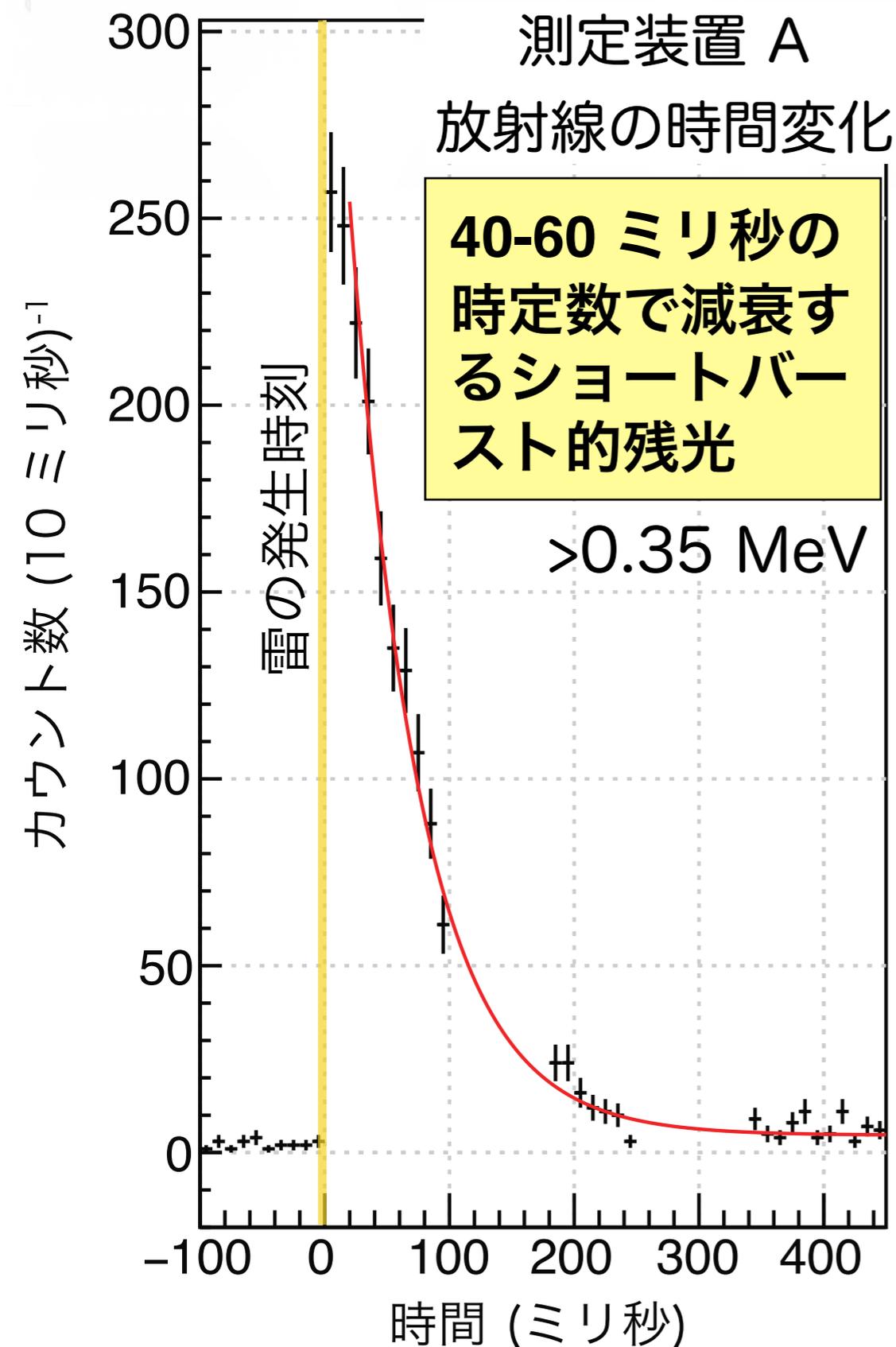
- 雷観測ネットワーク (JLDN)
に加え、佐藤ら (北大) の電波
観測で雷の発生を確認。



(1) 雷と同期した放射線増大を検出



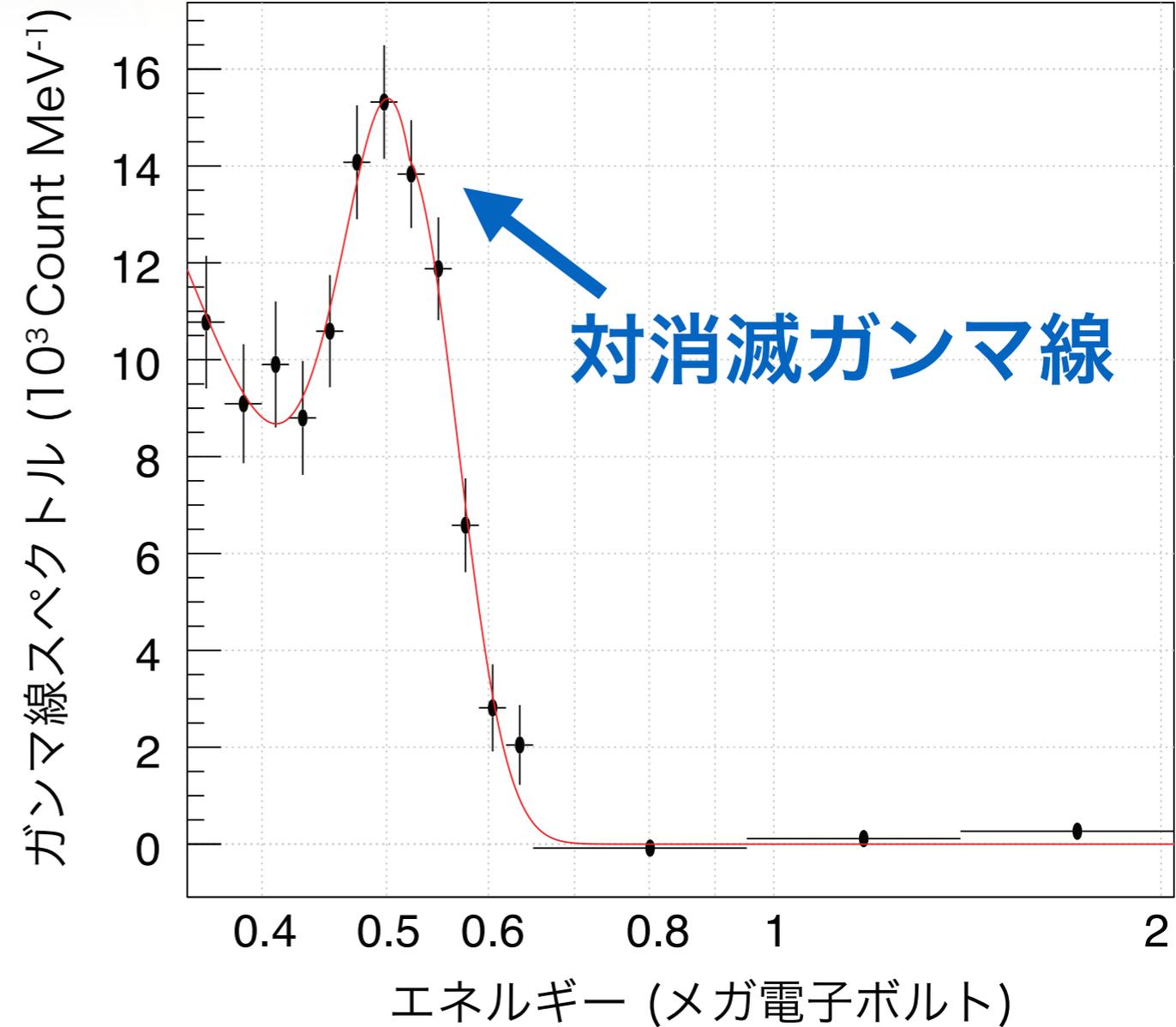
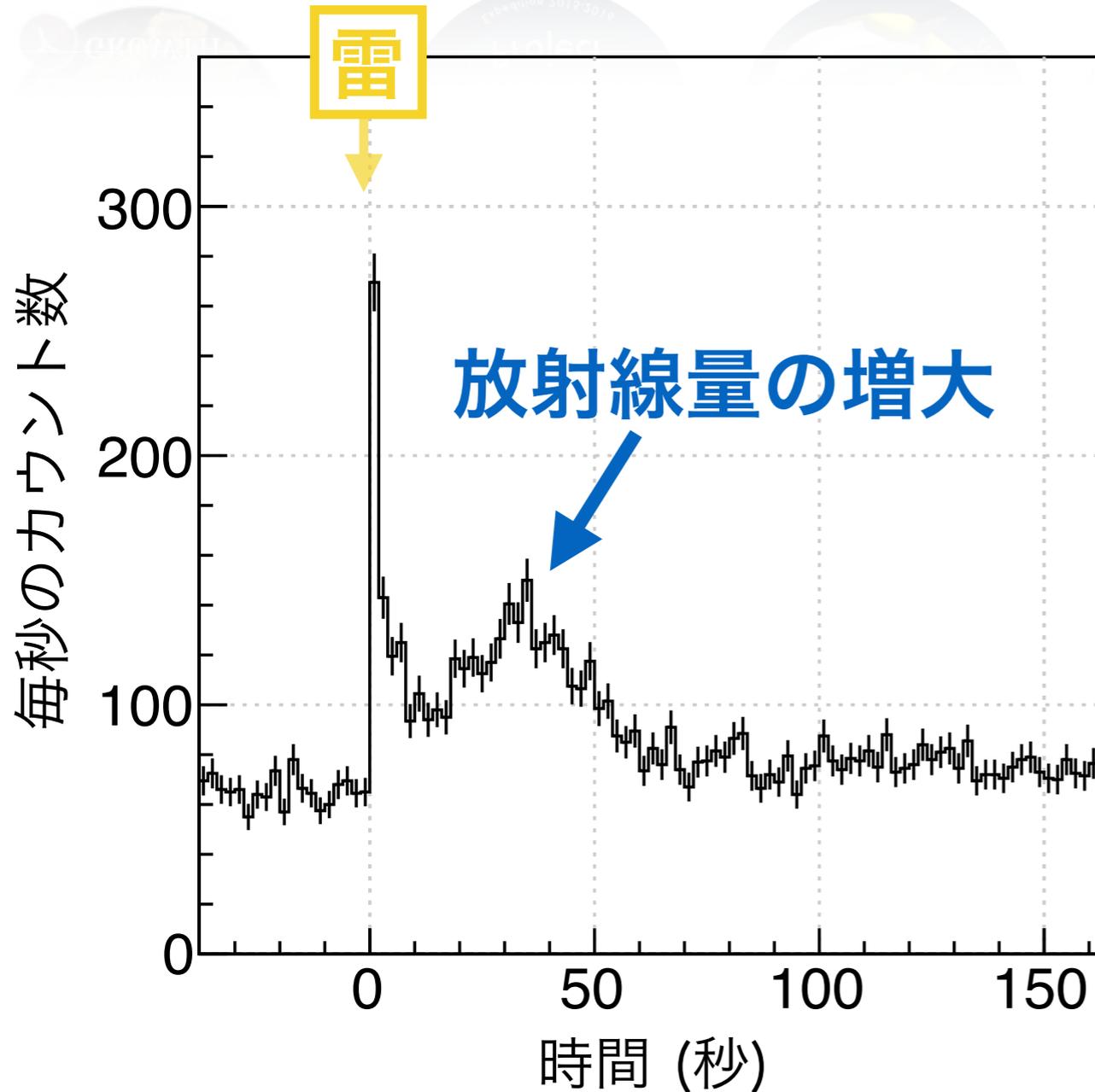
(2) 雷直後から～100 ms までのエネルギースペクトル



～10 MeVまで伸びるスペクトル

(3) 雷から遅れた0.511 MeV 対消滅線の観測

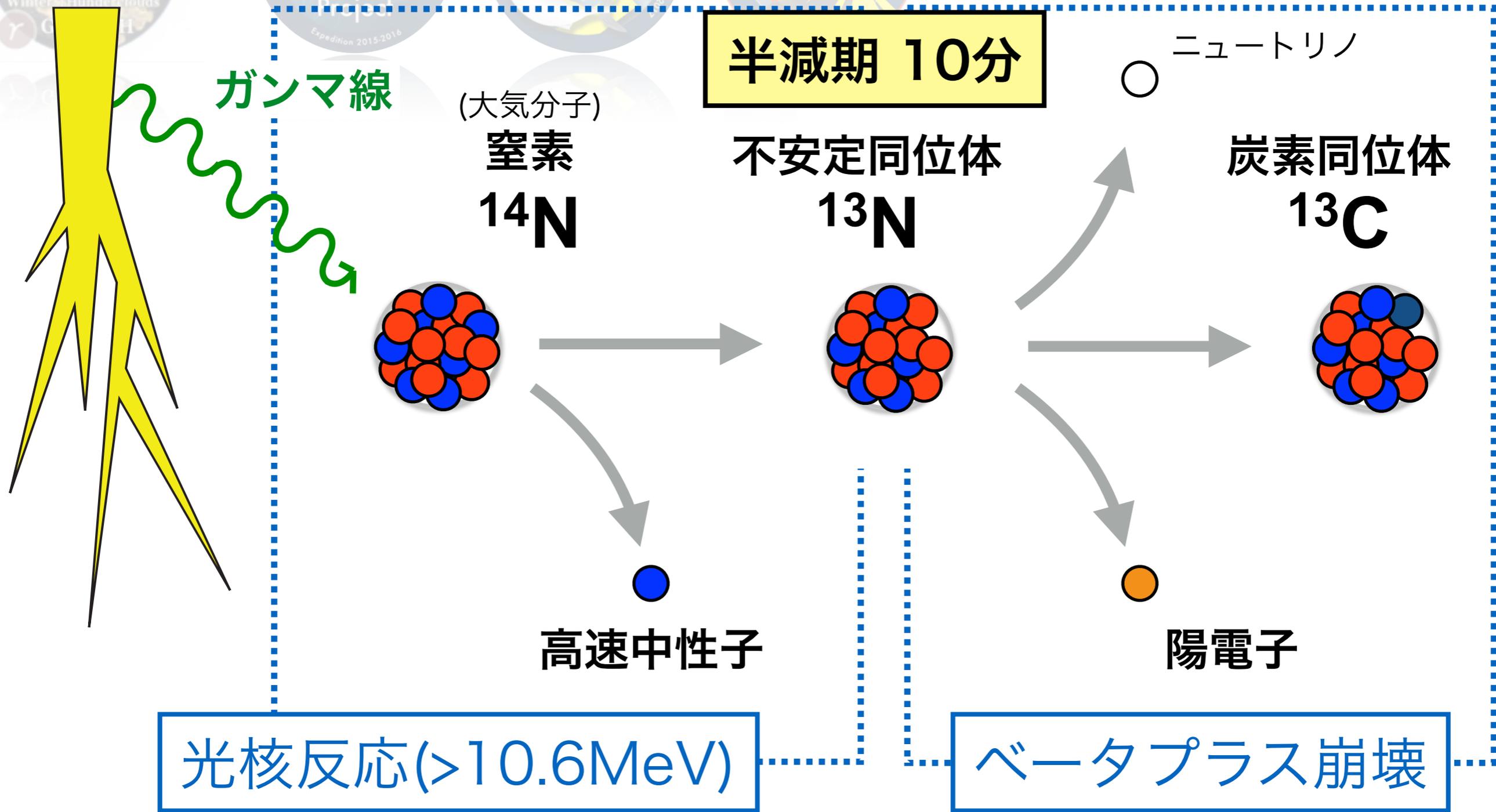
放射線量の変動 (0.35-0.60 MeV) 雷の後 1-63秒の間のスペクトル



およそ35秒ほど遅れて、雷発生点の下流の検出器で放射線が増大!

対消滅ガンマ線を検出!

イベントの解釈：雷ガンマ線による光核反応



光核反応(>10.6MeV)

ベータプラス崩壊



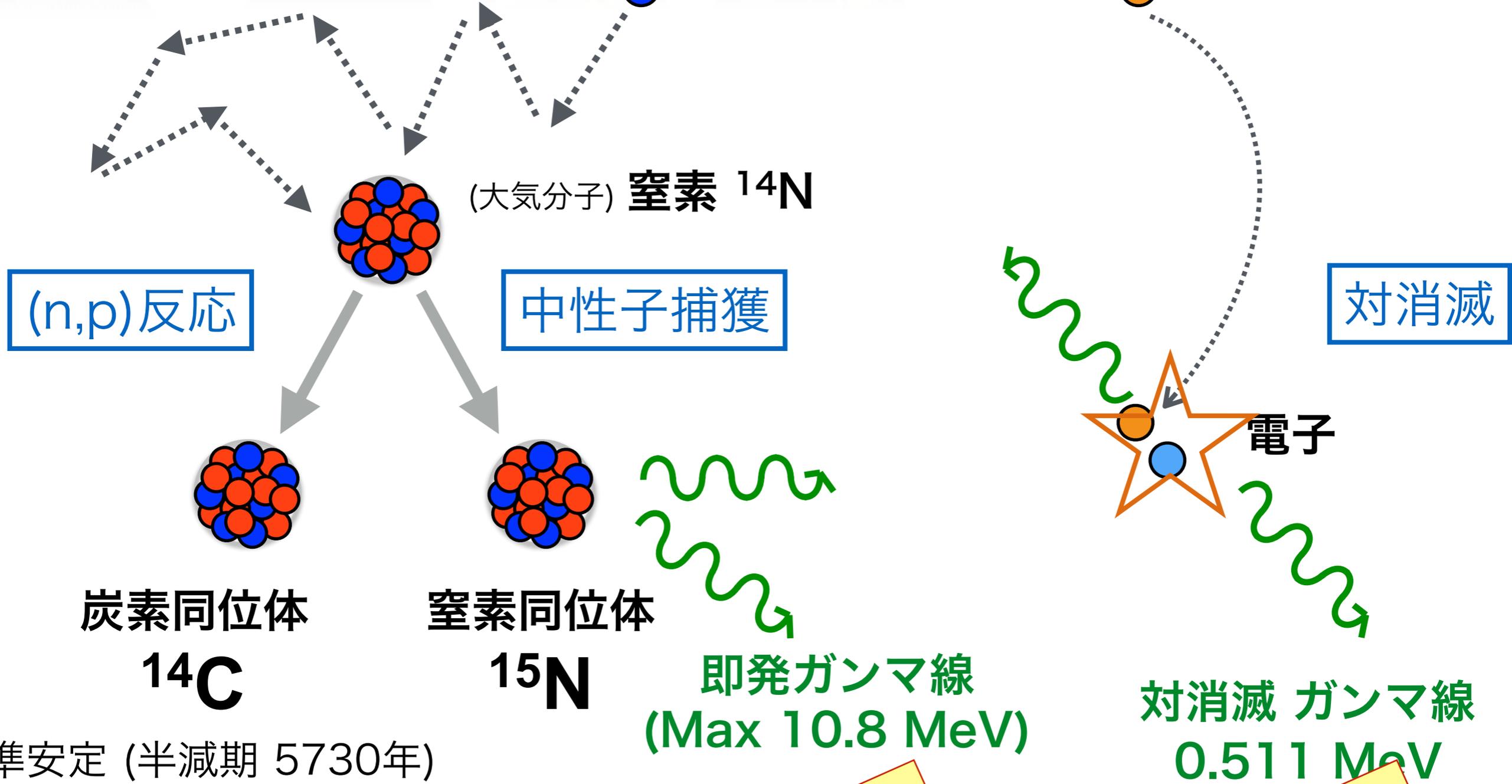
イベントの解釈：雷ガンマ線による光核反応

10 MeV中性子が0.1 eV

となる時間:56 ms(観測の時定数と一致)

高速中性子

陽電子



準安定 (半減期 5730年)
年代測定に使われる

即発ガンマ線
(Max 10.8 MeV)

対消滅ガンマ線
0.511 MeV

検出!

検出!

まとめ

★冬の日本海側では二種類の放射線増加現象が観測されている

ロングバーストとショートバースト

★装置の小型化により多地点観測を実施し、増加現象をより数多く捉えることに成功

★雷の中で光核反応が引き起こされることを実証

- ☑中性子捕獲による即発ガンマ線がショートバーストに寄与
- ☑雷から遅れたロングバースト的な511 keV放射の原因を説明
- ☑ ^{14}C が雷で作られる可能性を示唆