

雷雲内における電子加速現象の観測研究

加藤陽

岩田修一^A, 井上慶純^B, 川崎健夫^A, 蓑輪眞^C

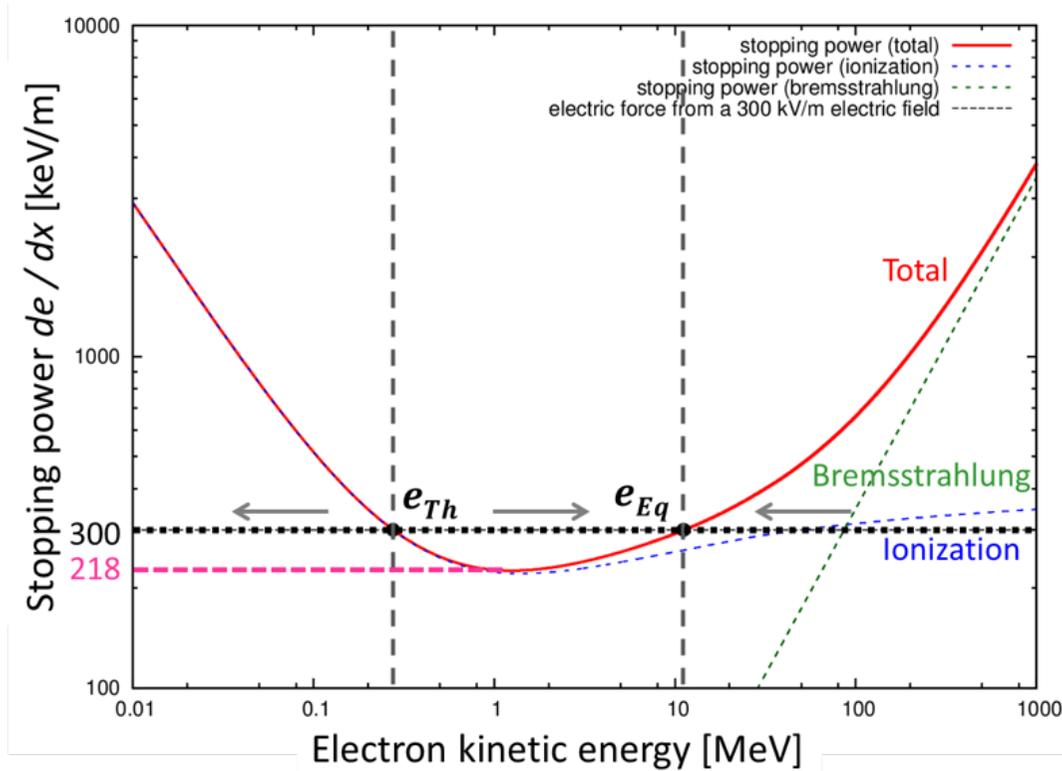
東大宇宙線研, 北里大理^A, 東大素粒子センター^B, 東大理^C

2016年12月9日

東京大学宇宙線研究所共同利用研究成果発表会

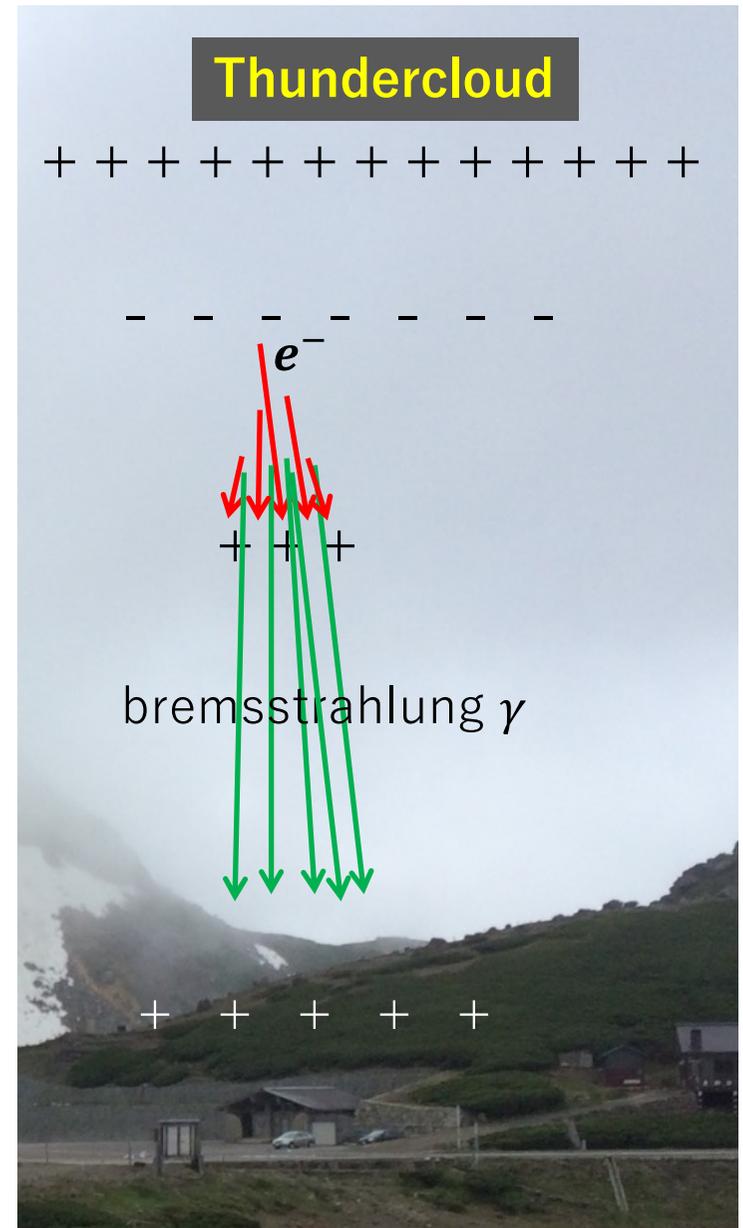
雷ガンマ線バースト

雷雲中での電子加速と雷雲バースト



RREA (Relativistic Runaway Electron Avalanche)

シード電子が加速 → ノックオン電子が大量生成
→ 加速 → ノックオン電子が大量生成... (繰り返し)



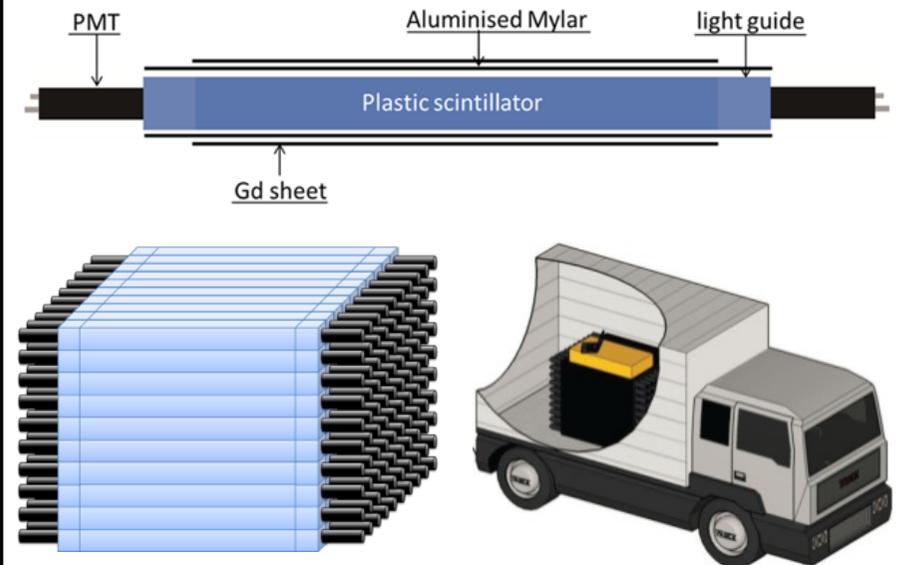
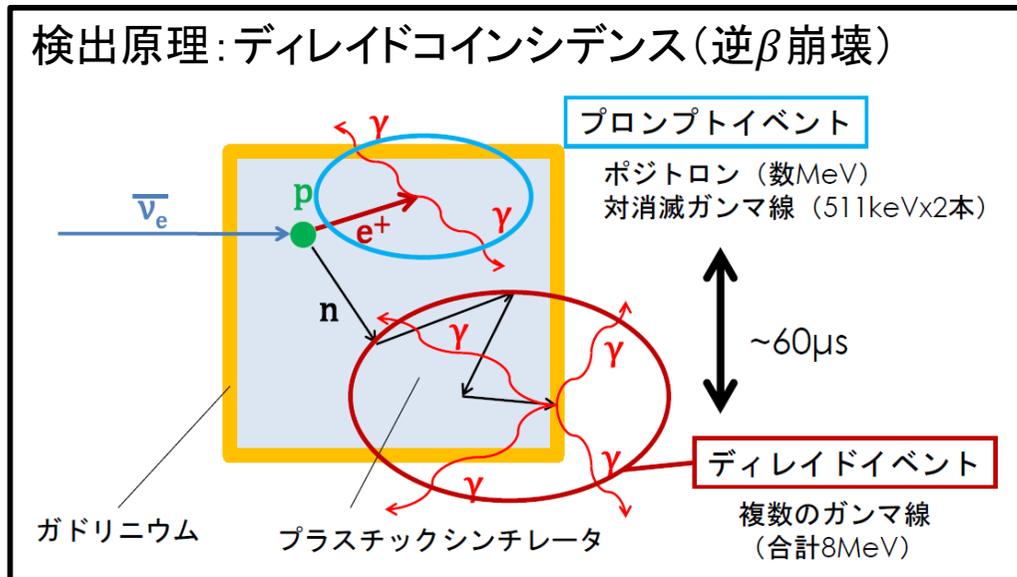
検出器

小型ニュートリノ検出器PANDA Plastic Anti-Neutrino Detector Array

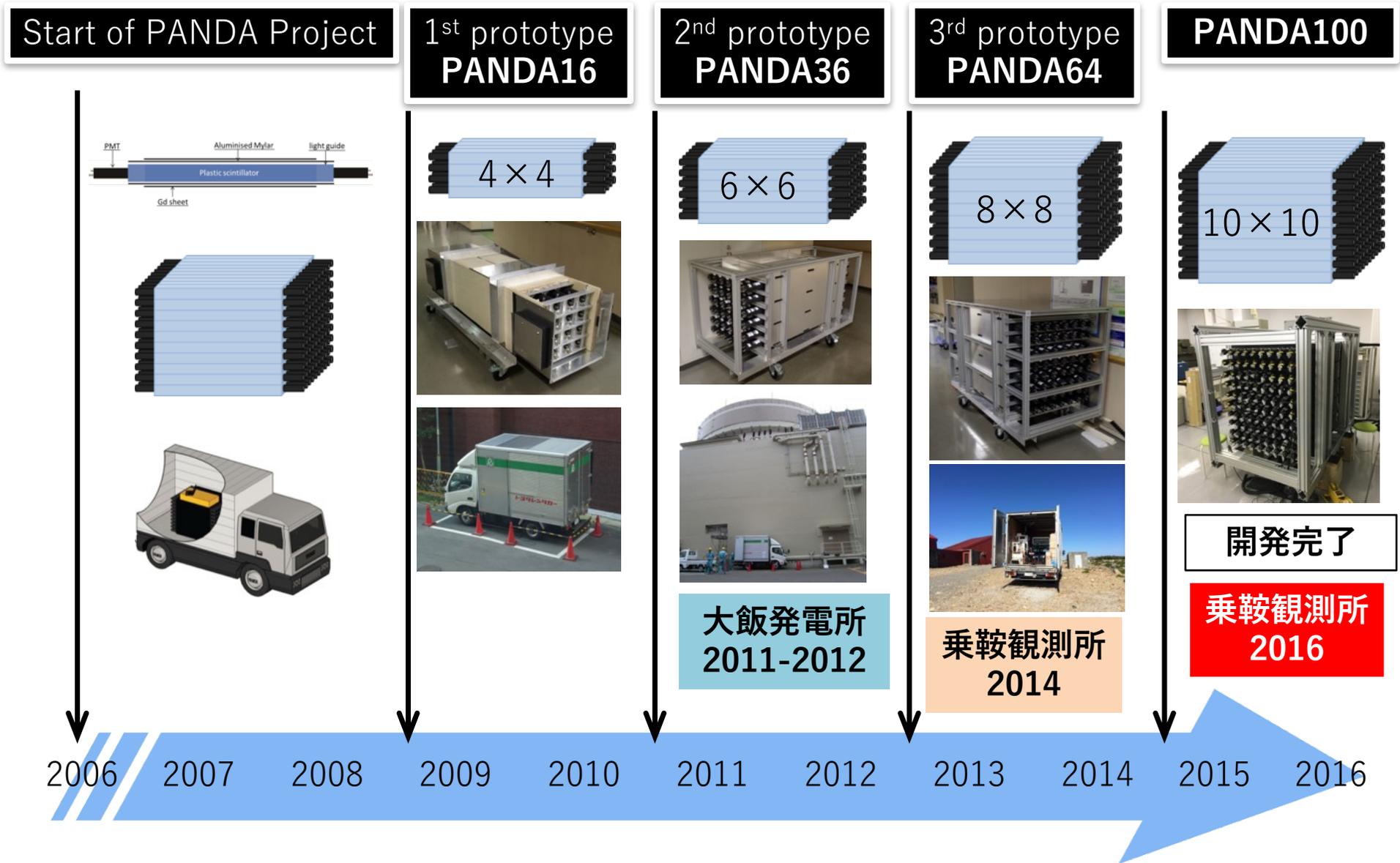
炉心から放出される $\bar{\nu}_e$ をモニターしてIAEAの査察に使用

- 透過性が高く遮蔽が困難：原子炉建屋の外から測定可能
- 代替 $\bar{\nu}_e$ ソースが無い：原子炉の運転状況を隠せない

- 引火しないプラスチックシンチレータを使用
- セグメント化構造を利用したBG識別
- トラックやコンテナに積載したまま測定可能



これまでの開発状況



PANDAによる過去の観測

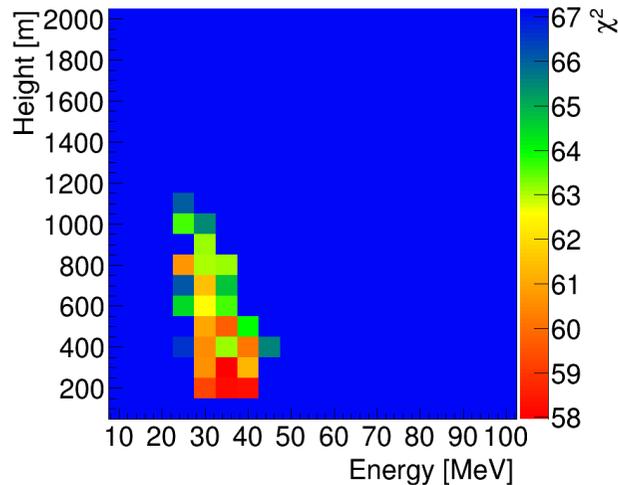
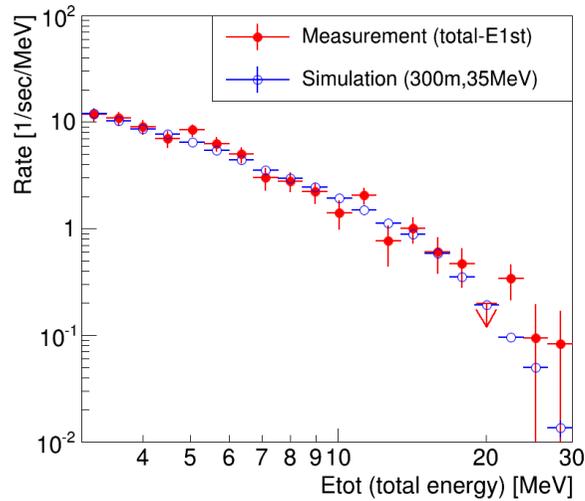
| | 沿岸地域での観測(2011) | 山岳地帯での観測(2014) |
|------|---|--|
| 検出器 | 第2次プロトタイプ PANDA36 | 第3次プロトタイプ PANDA64 |
| 観測地点 | 大飯発電所 (海拔10m) | 乗鞍観測所 (海拔2770m) |
| 測定期間 | 2か月間 (冬季) | 2か月間 (夏季) |
| 実験目的 | 原子炉モニタリング | 雷雲バースト観測 |
| |  |  |

Y. Kuroda, et al., Physics Letters B, Volume 758, 10 July 2016, Pages 286-291, ISSN 0370-2693,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2016.05.029>.

大飯発電所(PANDA36/2011年): 62日間でバースト**3**回
 乗鞍観測所(PANDA64/2014年): 54日間でバースト**12**回

これまでの研究成果

エネルギースペクトルから雷雲中での電子エネルギーとフラックスを推定



2011大飯 vs. 2014乗鞍

| Burst | Energy [MeV] | f_{source} [/sec/m ²] |
|-----------------------|--------------|-------------------------------------|
| 20140708-1 (Norikura) | 65 | $(2.62 \pm 0.37) \times 10^2$ |
| 20140718-1 (Norikura) | 50 | $(1.66 \pm 0.22) \times 10^2$ |
| 20140719-1 (Norikura) | 55 | $(0.98 \pm 0.15) \times 10^2$ |
| 20140731-1 (Norikura) | 35 | $(6.78 \pm 0.34) \times 10^2$ |
| 20140822-1 (Norikura) | 55 | $(2.16 \pm 0.37) \times 10^2$ |
| 20140823-1 (Norikura) | 40 | $(1.28 \pm 0.04) \times 10^3$ |
| 20140826-1 (Norikura) | 95 | $(2.40 \pm 0.40) \times 10^2$ |
| 20140830-1 (Norikura) | 80 | $(0.95 \pm 0.12) \times 10^2$ |
| 20140830-2 (Norikura) | 65 | $(1.29 \pm 0.22) \times 10^2$ |
| 20140905-1 (Norikura) | 50 | $(1.45 \pm 0.14) \times 10^3$ |
| 20140905-2 (Norikura) | 65 | $(1.90 \pm 0.12) \times 10^2$ |
| 20140905-3 (Norikura) | 40 | $(4.48 \pm 0.38) \times 10^2$ |
| 20111225 (Ohi) | 16 | $(4.7 \pm 0.3) \times 10^5$ |
| 20120102 (Ohi) | 16 | $(1.4 \pm 0.0) \times 10^6$ |
| 20120105 (Ohi) | 16 | $(2.4 \pm 0.1) \times 10^5$ |

逃走電子エネルギー
乗鞍 > 大飯



逃走電子フラックス
乗鞍 << 大飯

今回の観測の目的

同一検出器で2地点観測して検証したい。

→冬に日本海沿岸で観測を計画中

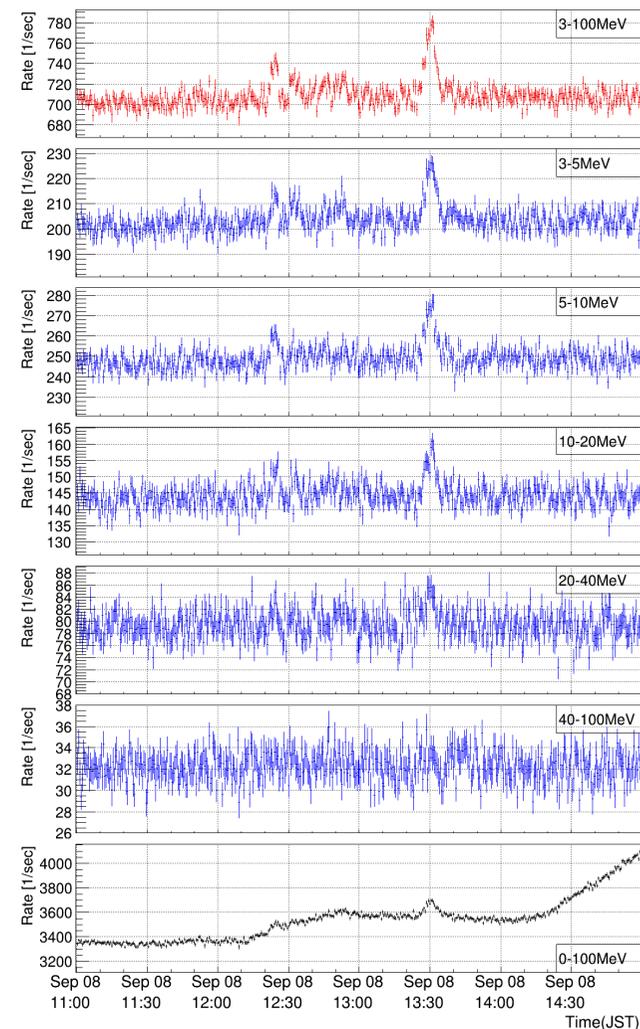
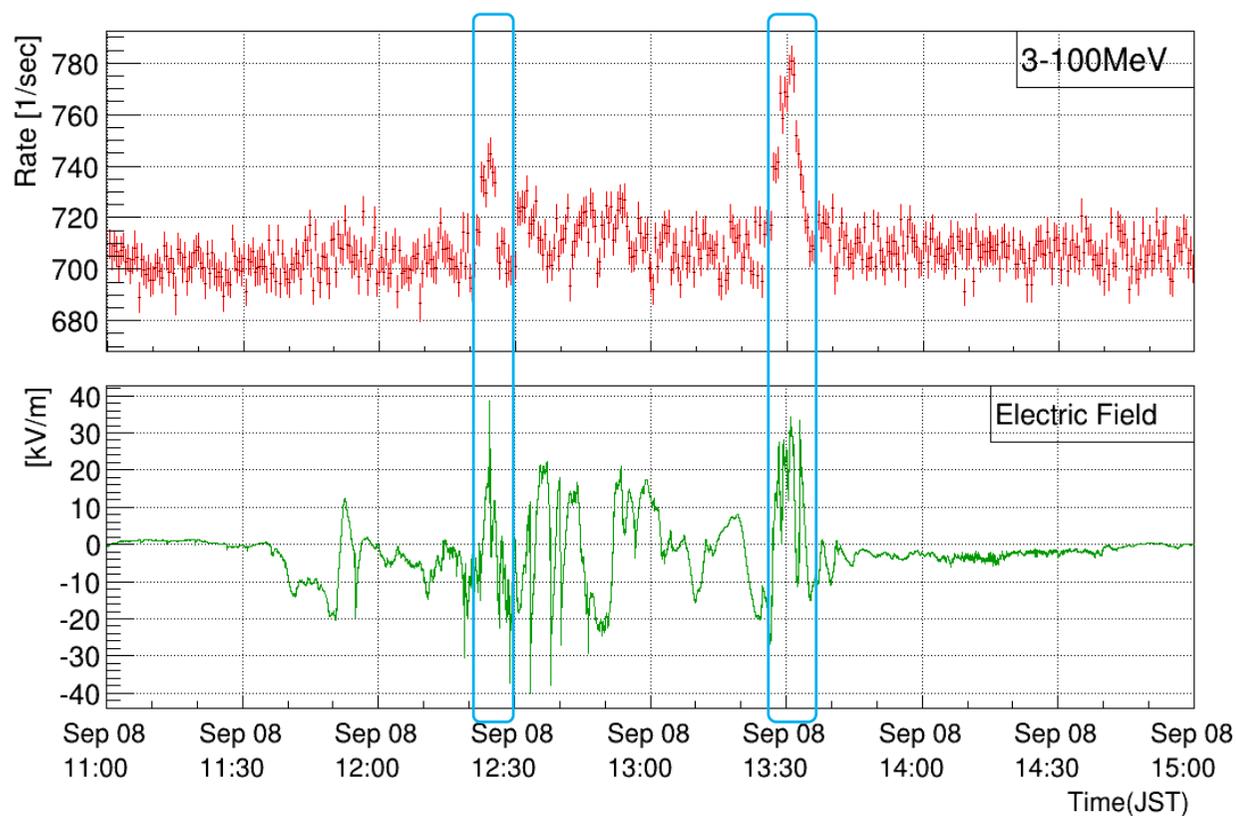
(+ 気球での雷雲内部直接観測も予定)

乗鞍観測所での観測 (2016年)



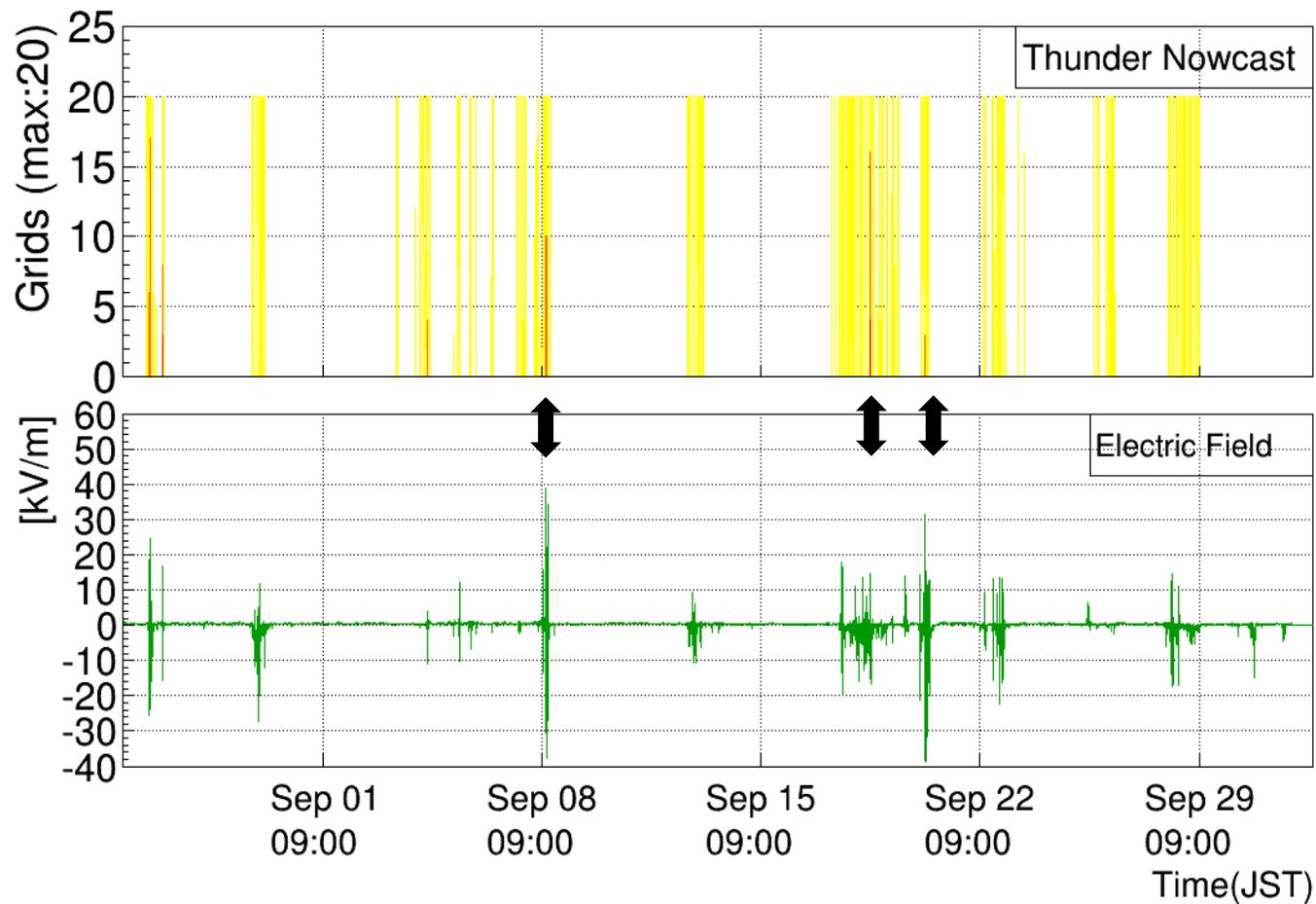
- 2016/8/26～2016/10/2終了
- 2トントラック積載
- シールドなし
- フィールドミル・光センサー設置
- トリガー条件：内側64本が1本以上発光
- トリガーレートは～6kHz程度
- 無人運転

バースト候補イベント (2016/09/08)



- 2016/9/8にバースト候補イベントを確認
- 3MeV以上の領域で数分～十数分間カウントレート上昇
- 10MeV以上の領域でもカウントレート上昇 (2014年観測のバーストと同じ)
- エネルギースペクトルや逃走電子ソース位置推定などを今後解析

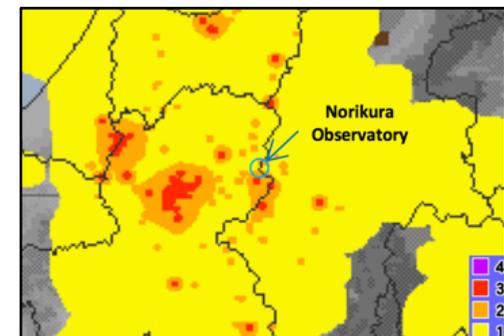
雷情報と地上電場



- 9/8には測定期間中最大規模の雷雲活動
 - 雷ノウキャストLv2、地上電場±~40kV/m
- 9/8以外にも複数のバースト候補イベント
 - 9/17, 9/20



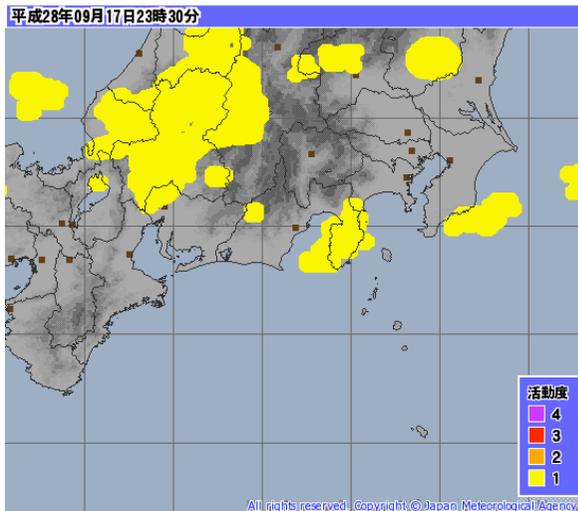
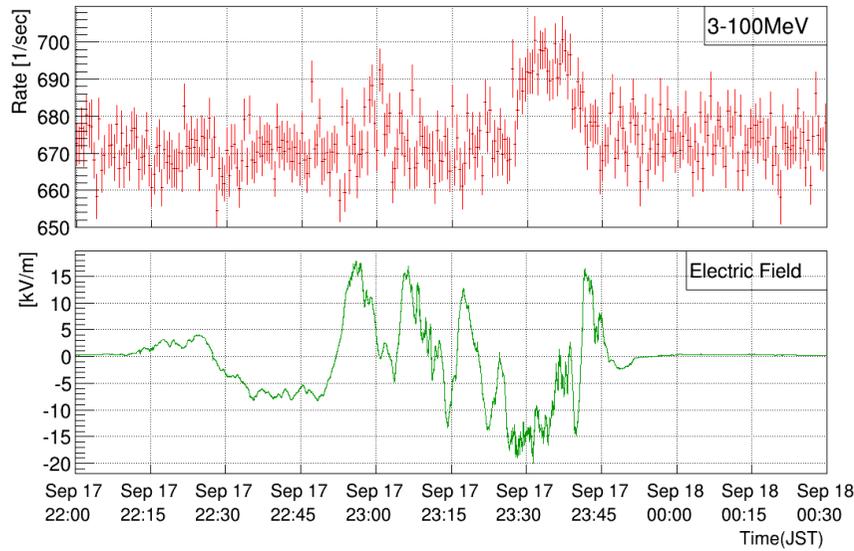
| | | |
|---------|--------|--------------------------------|
| Level 4 | 激しい雷 | 落雷が多数発生している。 |
| Level 3 | やや激しい雷 | 落雷がある。 |
| Level 2 | 雷あり | 雷光が見えたり雷鳴が聞こえる。落雷の可能性が高くなっている。 |
| Level 1 | 雷可能性あり | 現在は雷は発生していないが、今後落雷の可能性はある。 |



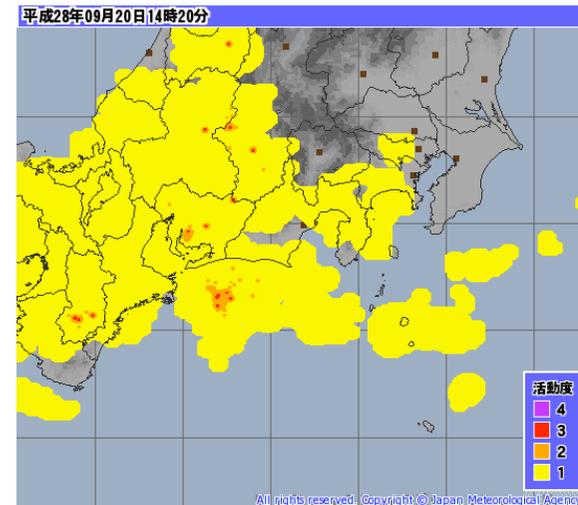
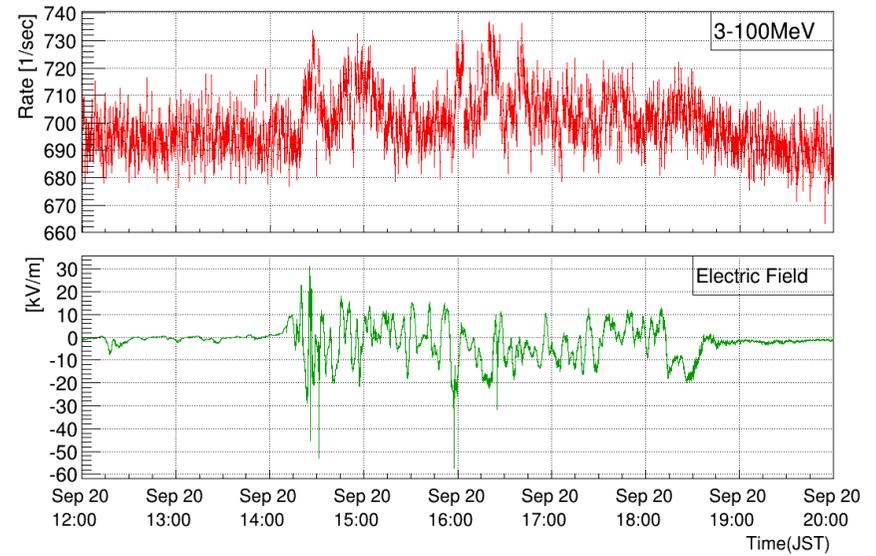
2016/09/08 12:20
雷ノウキャスト (気象庁)

バースト候補イベント

2016/09/17: 15分間程度持続



2016/09/20: 複数バーストが断続的に発生



まとめ

- 原子炉モニタリング用ニュートリノ検出器を使って、2014年の乗鞍観測所での観測に続き、2016年に再び乗鞍観測所での雷雲バースト観測を行った。
- プラスチックシンチレータ約1000kgからなるPANDA100をトラックで乗鞍観測所に輸送し、2016年8月26日に測定開始。10月2日までの約1ヶ月間測定。
- まだ一部の解析のみだが、2016/9/8にバースト候補イベント。雷情報・電場変動との相関、10MeV以上かつ数分以上のカウントレート上昇などが2014年観測のバーストと共通する特徴。
- 2016/9/17と2016/9/20にもバースト候補が見つかっている。さらに解析を進める。
- とりわけ乗鞍観測所のスタッフの皆様には大変お世話になりました。ありがとうございました。