

2017/9/15 日本物理学会@宇都宮

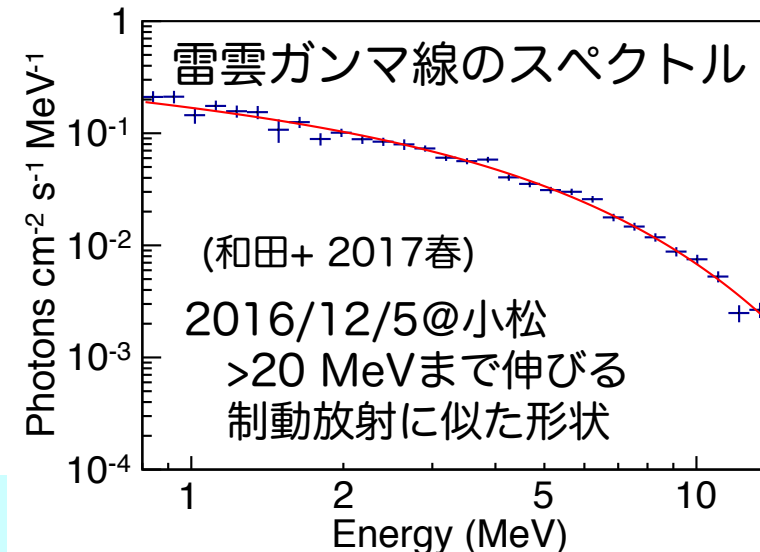
雷雲ガンマ線の地上観測の現状と 2017年のGROWTH実験計画

中澤 知洋^A, 榎戸 輝揚^B, 和田有希^{AC}, 古田禄大^A,
楳本大悟^C, 清野愛海^A, 松元崇弘^A, 樋口裕真^A,
湯浅孝行^C, 土屋晴文^{CD}, 牧島一夫^C, 中野 俊男^C, ほか
GROWTH コラボレーション
東大理^A, 京都大^B, 理研^C, 原子力機構^D

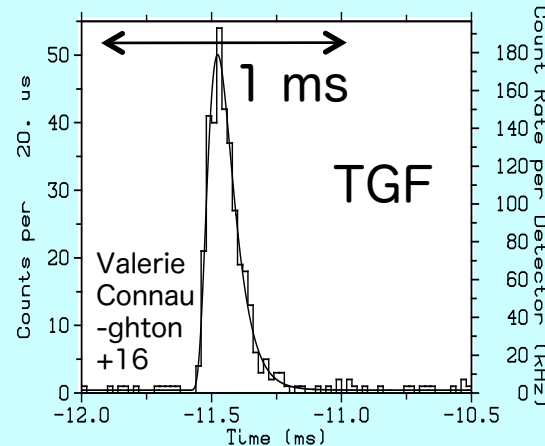
雷雲ガンマ線の物理

○ 雷雲からのガンマ線

- ・ 数10MeVまでのガンマ線放射の観測
 - 宇宙から (Terrestrial Gamma-ray Flash: TGF)
e.g. Fishman+94, Smith+05, Briggs+10, Marisaldi+10
 - 地上から (Long/Short burst)
e.g. 鳥居+02, 土屋+07

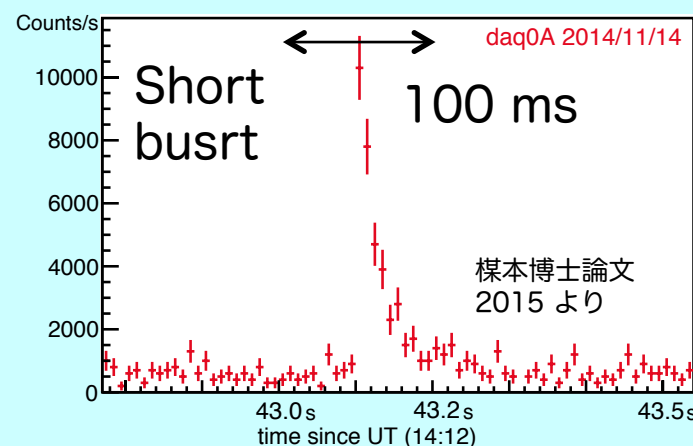


3種類の雷・雷雲ガンマ線 (時間変動から)



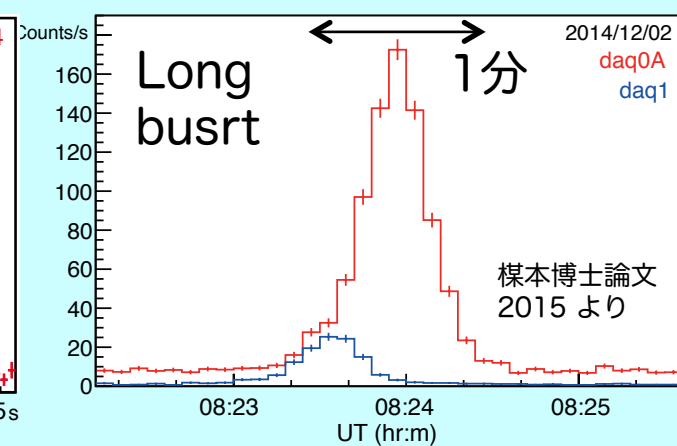
宇宙から

雷放電(by 電波)と同期



地上観測(by GROWTH)

雷放電と(ほぼ)同期



雷雲そのものから

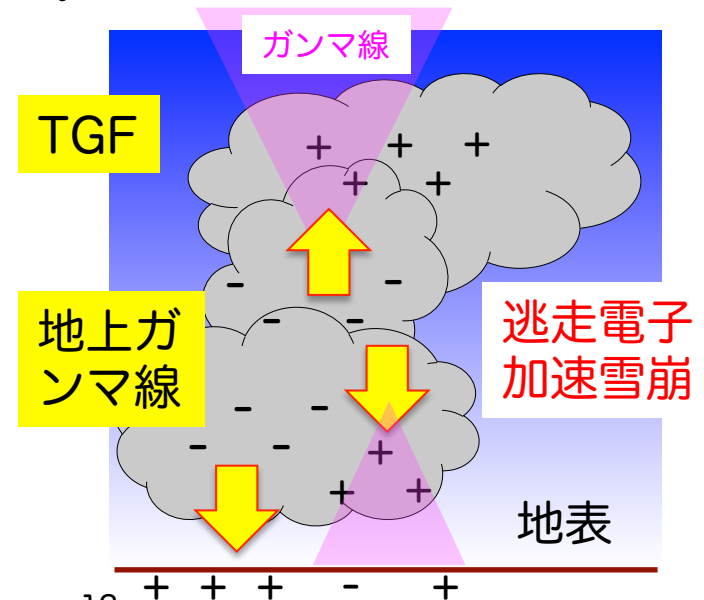
雷雲ガンマ線の物理

○ 雷雲からのガンマ線

- 数10MeVまでのガンマ線放射の観測
 - 宇宙から (Terrestrial Gamma-ray Flash: TGF)
e.g. Fishman+94, Smith+05, Briggs+10, Marisaldi+10
 - 地上から (Long/Short burst)
e.g. 鳥居+02, 土屋+07

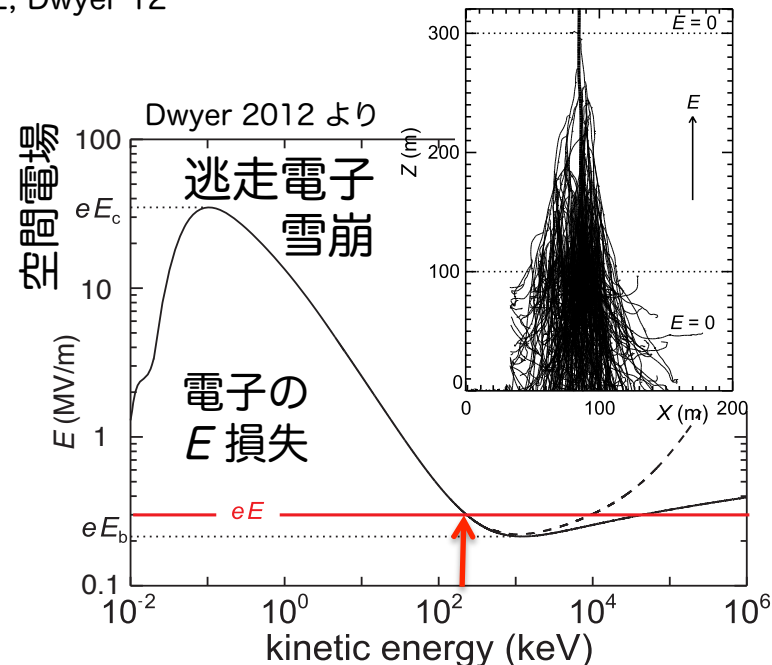
○ 放射モデルの仮説

- 逃走電子加速 + 雪崩增幅 e.g. Wilson 1925, Grevitch+92, Dwyer 12



雷・雷雲ガンマ線の存在は確立したが、

- ・放射モデルは妥当か？特にLong burstは、なぜ安定して存在するのか？
 - ・雷雲中のどこに存在し、成立条件は何か？
 - ・3種の現象の関係は？
- が現在の重要な課題。



GROWTH実験 (理研、東大、京大他)

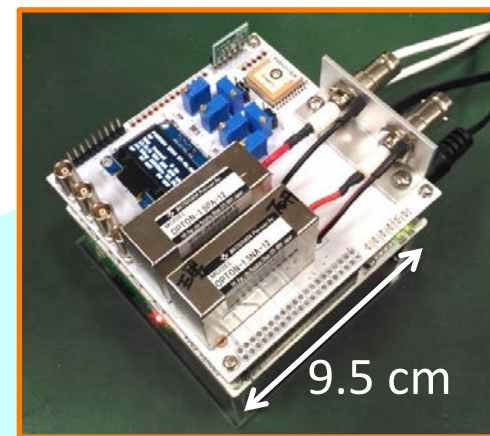
○ これまでの実績・わかったこと

- 第1世代('06~'14)@1-2箇所：Long/Shortを14/6例雷放電で止まるLong、照射域サイズ(~1 km四方)など

土屋+PRL 13, 榎本博士論文2016 他

- 第2世代('15-)：コンパクトなDAQを新規開発。検出器を多数配置。2016年は10台で、8/2例検出。

2017春学会 榎戸+、榎本+、奥田+、和田+、古田+



2016年冬期のGROWTH実験



和田+ 2017春講演, 2017AGU

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



榎戸+
2017 AGU



小松市 (2台)

サイエンスヒルズ
こまつ
小松高校



金沢市 (3台)

金沢大学
金沢泉丘高校
金沢大学附属高校

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

GROWTH実験 (理研、東大、京大他)

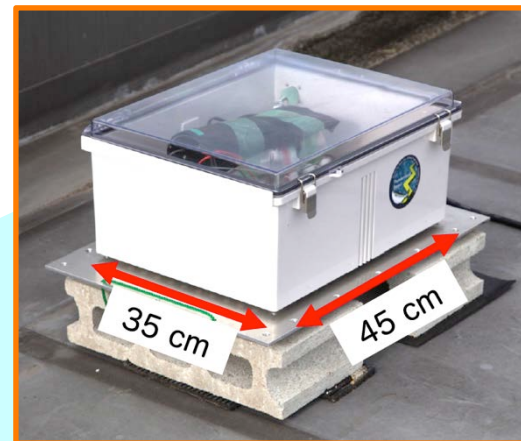
○ これまでの実績・わかったこと

- ・ 第1世代('06~'14)@1-2箇所：Long/Shortを14/6例
雷放電で止まるLong、照射域サイズ(~1 km四方)など

土屋+PRL 13, 榎本博士論文2016 他

- ・ 第2世代('15-)：コンパクトなDAQを新規開発。検出器を多数配置。2016年は10台で、8/2例検出。

2017春学会 榎戸+, 榎本+, 奥田+, 和田+, 古田+



○ 取り組んでいる課題

既出: データとモンテカルロで、電子スペクトルと空間分布を推定(古田講演)

A: 10 km四方に~30台を設置し、Long burstの生成から消滅を追うアレイ

→ コンパクトで大面積の検出器。DAQがあるので、シンチレータと検出器システムの準備が重要。

B: 1つのイベントを多地点から同時観測する高密度アレイ@柏崎

→ Long burst の加速器の位置と大きさを観測するための検出器

C: Short burstの理解へのための“小型”検出器

A: 量産型の大型ガンマ線検出器(1)

○ 反射材改良によるコスト低減

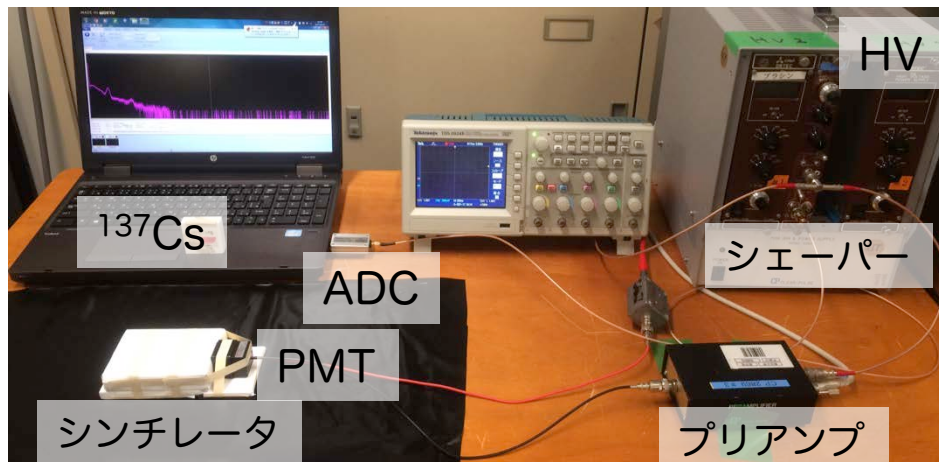
- ・ 検出効率vsコスト → CsIが最適
- ・ 高い湿度の屋外で数年運用→潮解対策
- ・ アルミパッケージは高価

工夫① 光量測定の改良

- ・ PMT間にシリコンシートを使用
- ・ つけ外し再現性が

BGOで4.7% pk-pk

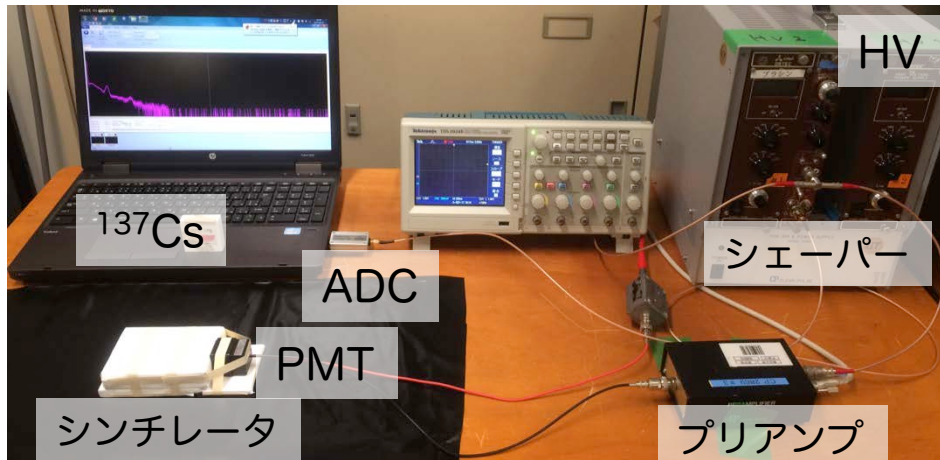
CsIで2.7% pk-pk



A: 量産型の大型ガンマ線検出器(1)

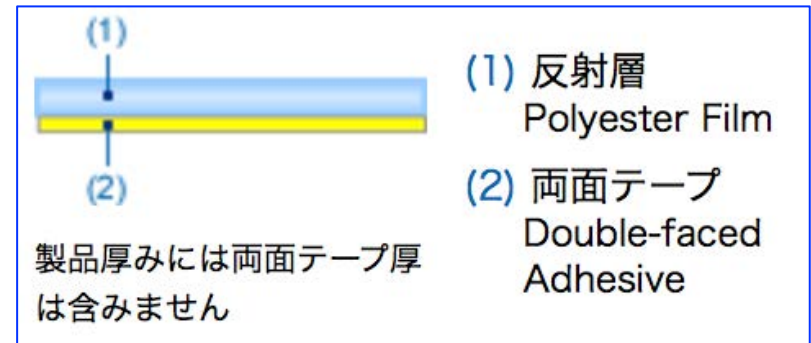
○ 反射材改良によるコスト低減

- ・ 検出効率vsコスト → CsIが最適
- ・ 高い湿度の屋外で数年運用→潮解対策
- ・ アルミパッケージは高価



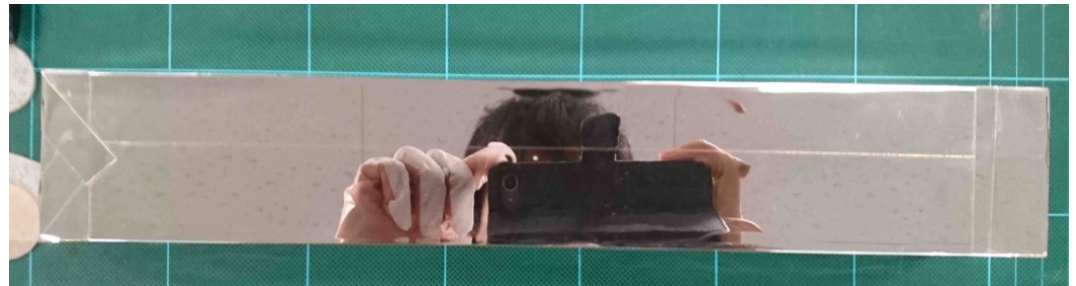
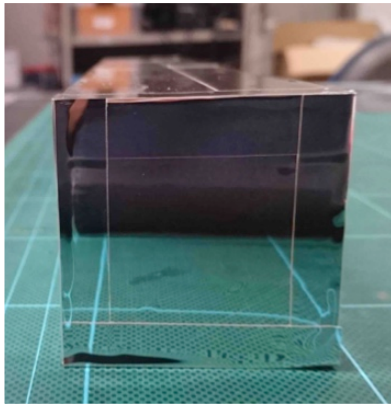
○ 片面粘着材つきESR

- ・ SmartPhone等で使用
- ・ 粘着剤側をCsIに貼る→湿気対策
- ・ 粘着剤の吸収+空気による全反射の抑制で、光量低下は？



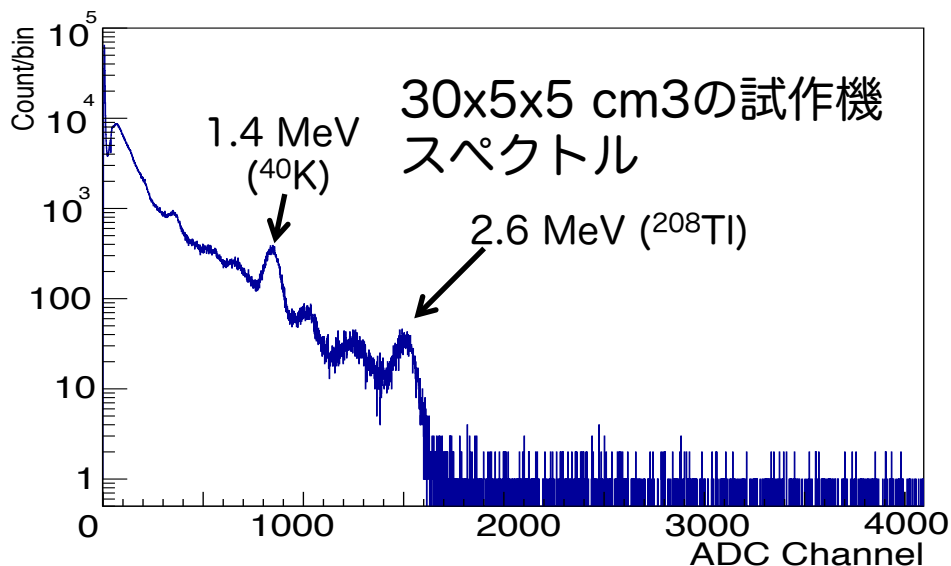
粘着ESRを貼った30x5x5 cm³ CsI

3M web より



A: 量産型の大型ガンマ線検出器(2)

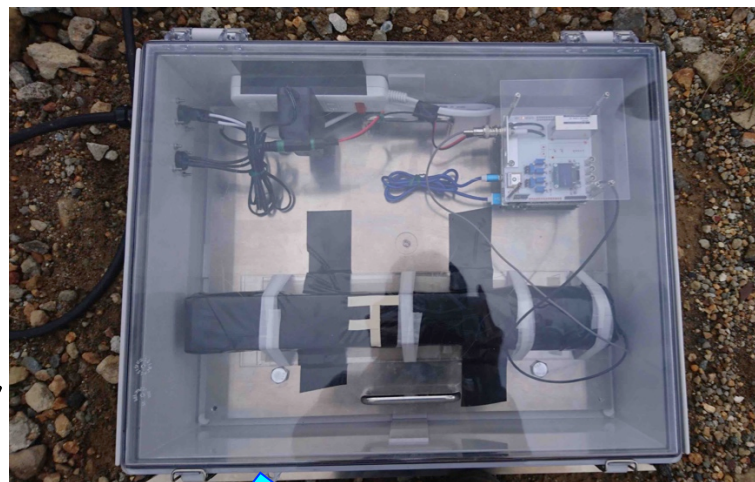
○片面粘着材つきESRによる光量



コアテックス2重と比較して

- 10x7x3 cm³の試作機で17%減
- 30x5x5 cm³の一号機で23%減

清野+ 今期天文学会



- 光量は2割ほど減るが、施工は容易でアルミパッケージより大幅に安価

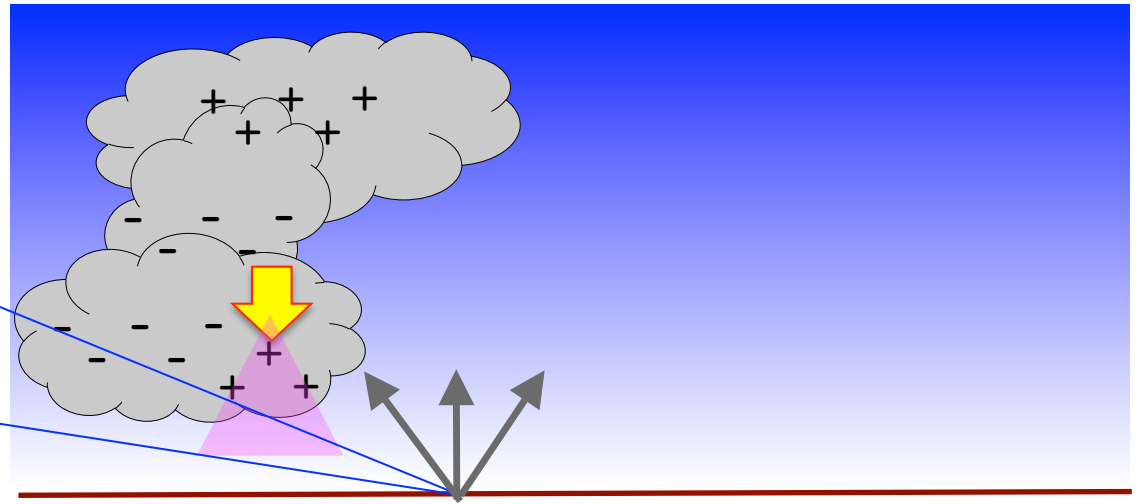
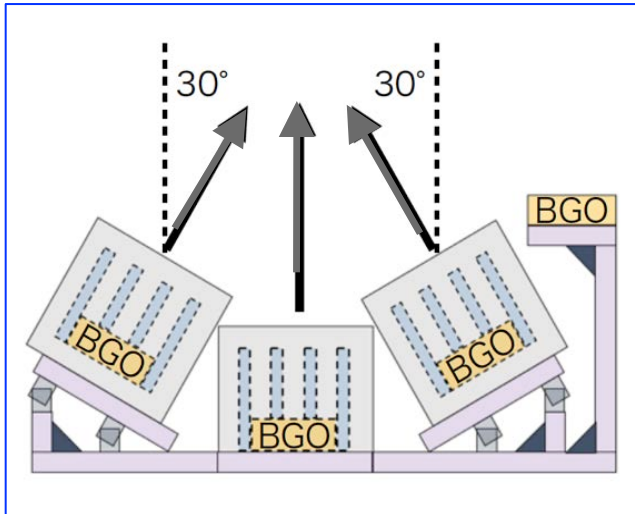
→ 1台が乗鞍観測所で2ヶ月動作中

- 本年10月までに6台追加予定(計7台に)。施工を改良。粘着剤の変更、UV反射率強化ESR(奥村+15)の利用など



B: Long burstの高度測定(1)

○ コリメータ付き装置による角度測定

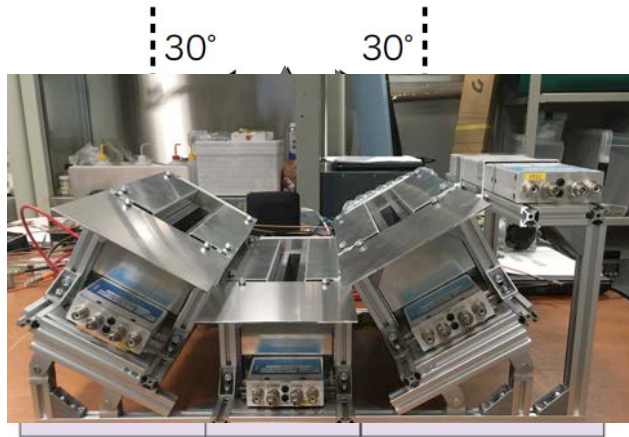


奥田+2017春学会

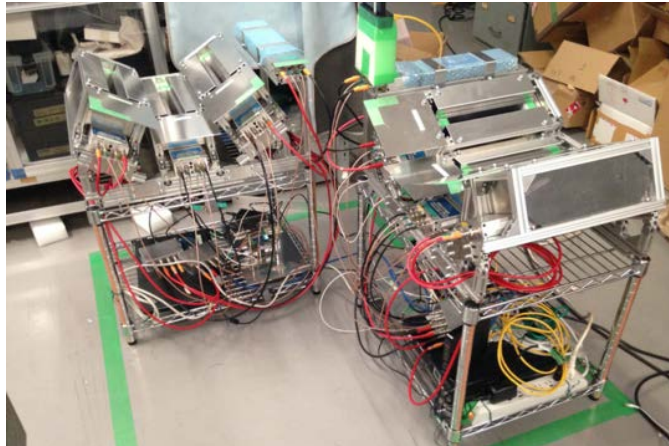
- ・ > 3 MeVではコンプトン散乱が少なく、ガンマ線が発生源の情報をもつ
- ・ $\Delta \pm 30^\circ$ のコリメータで簡易撮像し、風速を用いた三角測量で、加速器の高度を導出
- ・ 加速器「高度」がわかれば、ガンマ線スペクトルから、電子スペクトルがわかる（古田講演）

B: Long burstの高度測定(2)

○ 2016年冬季の装置と2017年への展開



装置断面



南北検出器と東西検出器



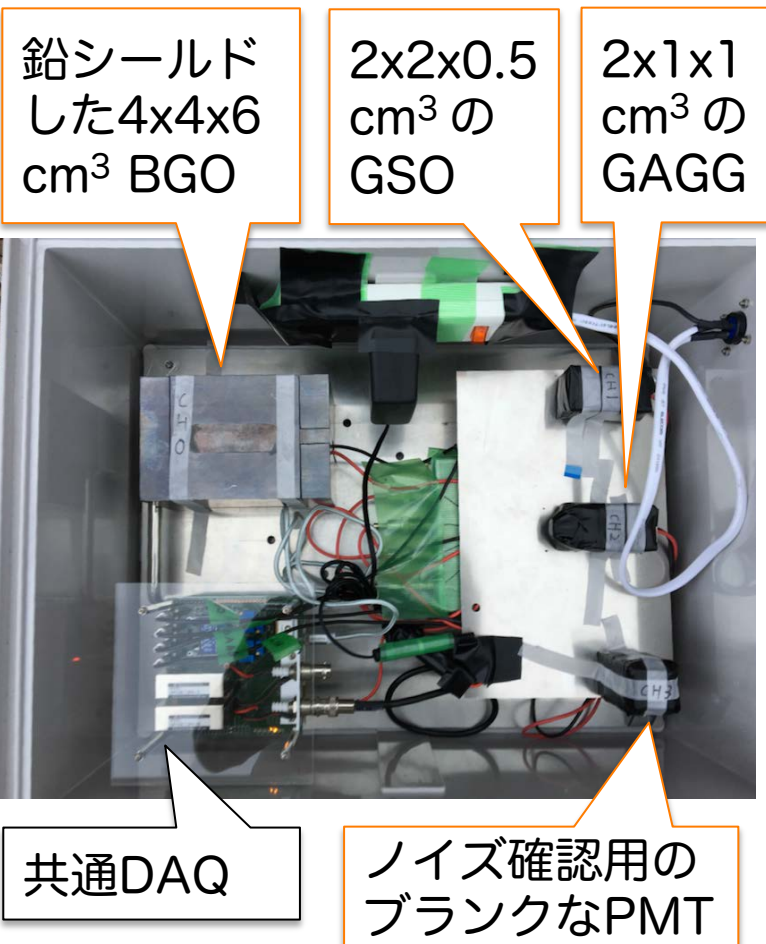
設置小屋@柏崎

- ・ 昨季は、Long burstはなく、代わりに特大の Short burstを2つ検出。
→大面積+多点観測によりShort Burst の理解が進展（次の学会で報告）
- ・ 「今季こそ」 Long Burstの高度測定を目指す。
- ・ 改良点＝データ取得レートを増やして、エネルギー帯域を1-40 MeVから、0.3-40 MeV へ拡大。ショートバースト対応のシステムも追加 → 次項

C: ショートバーストへの取り組み

○ 瞬間的な光度の大きなイベントにも対応できるシステム

- ・ Long burst用の大型検出器と組み合わせる小型シンチで high-rate に対応する
- ・ 10 MeV電子のGAGG中での飛程は 0.9cm
→ シンチレータが小さ過ぎてもダメ
- ・ いずれ「高速読み出し」が必要だが、これは将来への課題とする



こちらも1台が乗鞍観測所で2ヶ月動作中



* 今夏は別のシステムも富士山頂でも運用

まとめに換えて

○ 2017年度冬季の展開予定

- ・ 昨冬季から、新たに7台の検出器を追加予定。一部の検出器には、ショートバーストに対応する改良も実施する。
- ・ 柏崎では、検出器4台(コリメータ付1台)を継続。石川では、検出器5台を、少なくとも8台に増強。その他、珠洲@能登半島などへも展開予定
- ・ 雷雲中での、加速器の位置と成立条件を、観測から明らかにしたい。
- ・ 放射モデルの妥当性を確かめ、かつTGF、Short burst、Long burst の相似・相違を観測的に理解する。

○ 「雷雲と宇宙線の相互作用に伴う高エネルギー現象」研究会のおしらせ

(京大、理研、東大、神大、日大、JAEA、学芸大、宇都宮、横国大、北里大など)

- ・ 日程は 2018/2/24 頃(TBC)@宇宙線研。
- ・ 大きく進展してきた国内の雷・雷雲ガンマ線観測の連携を図る。制動放射 MeVガンマ線に加え、光核反応、種電子の起源など多くの高E物理を。
- ・ 大気電気分野との連携も重要