

CTA報告131 :
CTA 大口径望遠鏡の
モンテカルロシミュレーションによる
月光下での性能評価

三浦 智佳, 大石 理子^A, 奥村 暁^B, 折戸 玲子^C, 片桐 秀明, 神本 匠^D, 櫛田 淳子^D,
郡司 修一^E, 齋藤 隆之^A, 榊 直人^A, 佐々井 義矩^B, 高橋 知也^E, 種田 裕貴^D, 千川 道幸^F,
中森 健之^E, 西嶋 恭司^D, 吉越 貴紀^A, 吉田 龍生, 李 健^F, 他 CTA-Japan Consortium
茨城大理, 東大宇宙線研^A, 名大ISEE ^B, 徳島大総科^C, 東海大理^D, 山形大理^E, 近畿大理工^F

Cherenkov Telescope Array (CTA)計画とは

CTA 完成予想図

大口径望遠鏡

Large-Sized Telescope(LST)

20 GeV–1 TeV 直径 23 m 視野 4.5°

中口径望遠鏡

Medium-Sized Telescope(MST)

100 GeV – 10 TeV 直径 12 m 視野 8°

小口径望遠鏡

Small-Sized Telescope(SST)

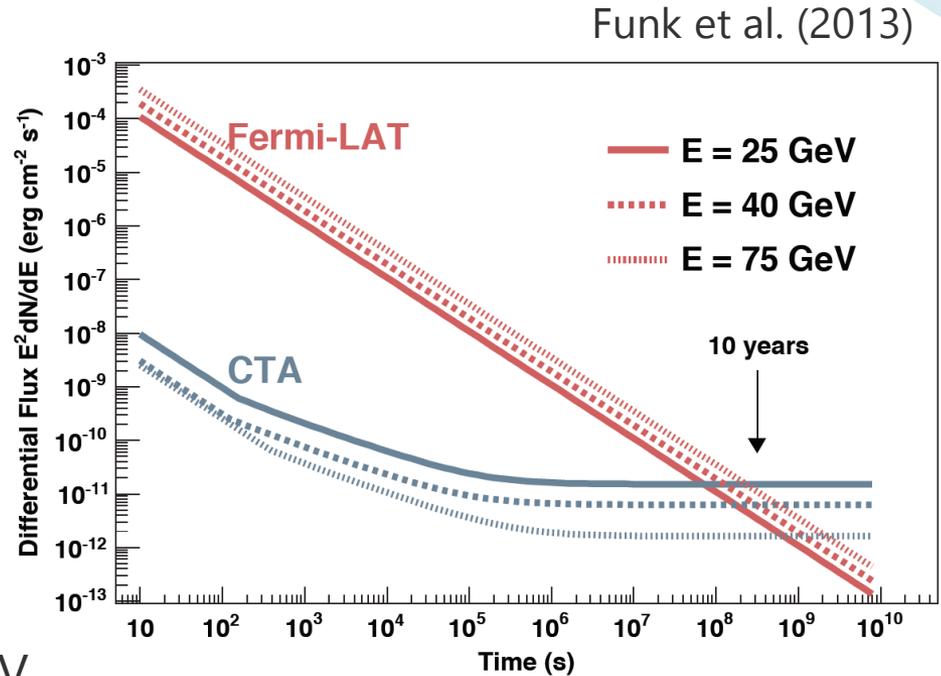
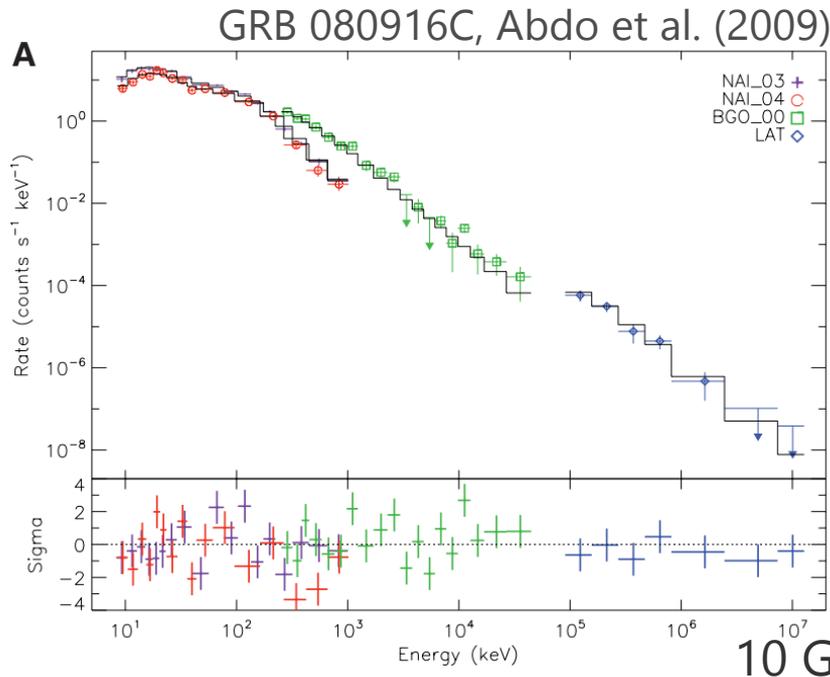
5–300TeV 直径 4 m 視野 ~9°



Credit: Gabriel Pérez Diaz, IAC, SMM

- ◆ **高エネルギーガンマ線**が大気突入時に放つチェレンコフ光を利用してガンマ線放射天体を観測する望遠鏡。
- ◆ 大中小の口径をもつチェレンコフ望遠鏡を、北半球のLa Palma島に計19台(L4,M15)、南半球のParanalに計99台(L4,M25,S70)配置する予定。
- ◆ 現行のチェレンコフ望遠鏡と比較して
 - 観測可能なエネルギー領域を**20 GeV-300 TeV**に拡大。
 - **10倍の感度**の向上。

CTA Key Science Projectの一例：ガンマ線バースト



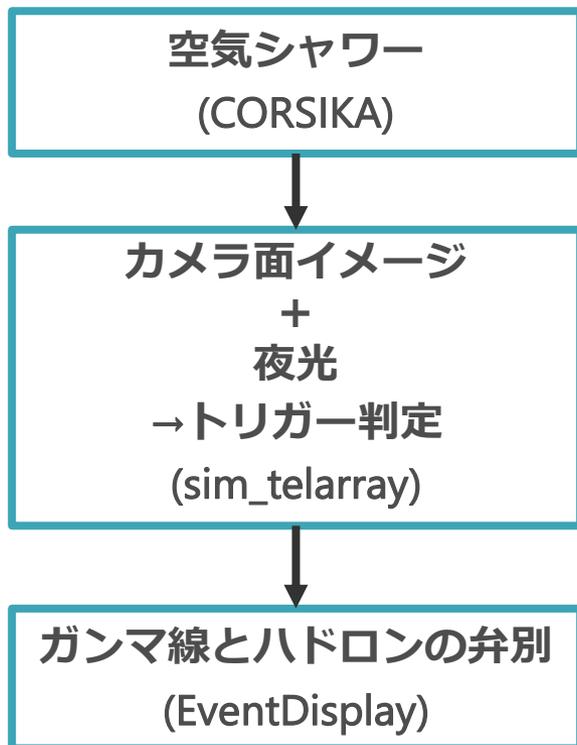
- ◆ Fermi衛星により10 GeV程度のガンマ線バーストまで観測されたが、**限られた検出有効面積**のFermi衛星のみでは高エネルギーガンマ線の統計が不足。
- ◆ **大口径望遠鏡**は20 GeV- 1TeVのエネルギー範囲を**広い検出有効面積**で観測可能であり、短時間の観測でガンマ線バーストのより詳細なスペクトルや時間変動のデータが期待できる。
- ◆ しかしガンマ線バーストは、地上では1年に1回程度の頻度でしか観測が期待できないため、**月光などがある悪条件下**でも観測を行うことが望まれる。

本研究の目的

- ◆ガンマ線バーストなどの突発天体の観測を、月光下で行うことを想定し、La Palma島に設置される予定の大口径望遠鏡4台の月光下での性能を、モンテカルロシミュレーションを用いて評価する。



シミュレーションパラメータ

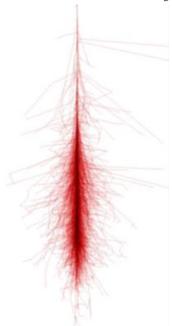


パラメータ	
サイト	La Palma
アレイ	大口径望遠鏡 4台
粒子種	ガンマ線、電子、陽子
エネルギー範囲	ガンマ線・電子：2 GeV – 10 TeV 陽子：4 GeV – 30 TeV
べき指数	-2.0 [※]
天頂角	20 deg.
方位角	0 deg. (South)
立体角半径	ガンマ線：0 deg. 電子・陽子：10 deg.
コア半径	ガンマ線：800 m 電子：1000 m 陽子：2500 m
夜光光電子レート	標準：0.3498 GHz/pixel 5倍：1.749 GHz/pixel

※解析時に任意のスペクトルを再現するためイベントの重みがけを行っている

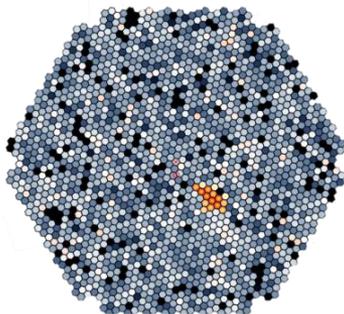
月光のシミュレーション

空気シャワー
(CORSIKA)



<https://www.ikp.kit.edu/corsika/>

カメラ面イメージ
+
夜光



→トリガー判定
(sim_telarray)

- ◆ CTAの大口徑望遠鏡で観測した場合、La Palma島の月明かりのないときの夜光（星の光など）のレートは光電子(p.e.)単位で

0.3498 GHz/pixel

- ◆ 半月の場合、空の80%が標準の夜光量の5倍

1.749 GHz/pixel

程度の夜光量になると推定される。

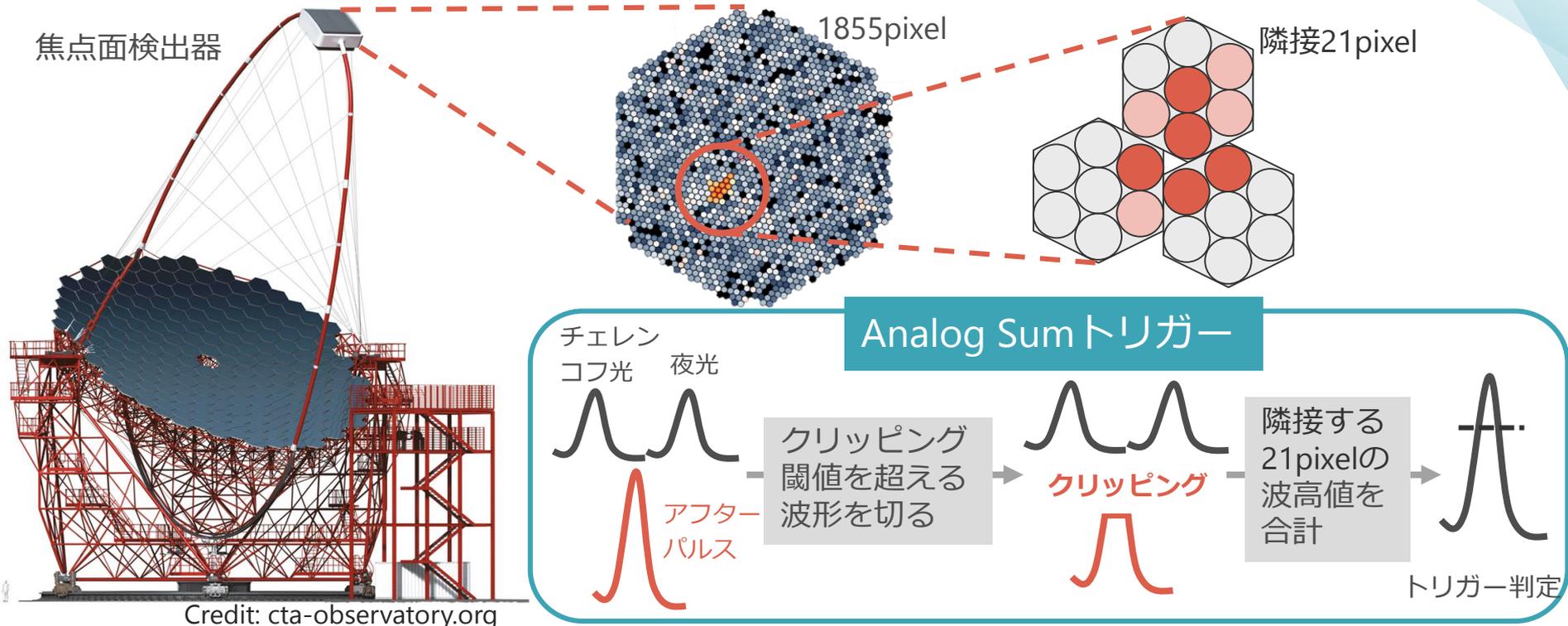
- ◆ 半月以下の月明かりがあるときにも観測できれば、望遠鏡の稼働率が20%程度増加する。

- ◆ 夜光の量を

標準とその5倍の2パターン

でシミュレーションする。

ハードウェアトリガー方式



◆トリガー閾値を小さくする

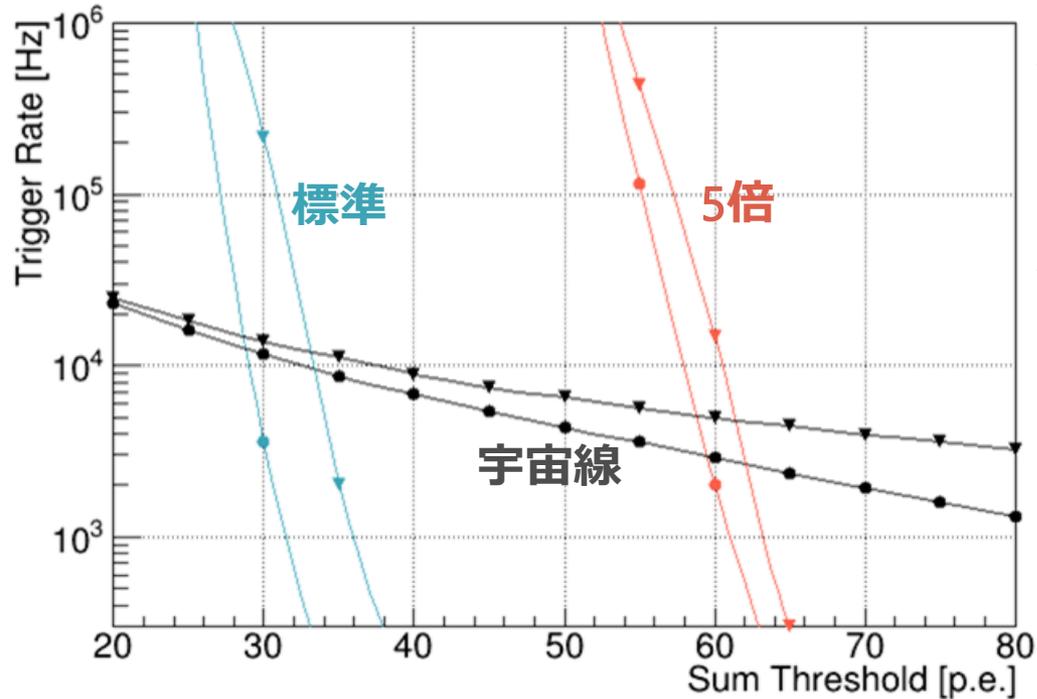
→ 月光によるアクシデンタルトリガーレートが増加し、データが取得しきれない。

◆トリガー閾値を大きくする

→ 観測できるガンマ線のエネルギー閾値があがる。

→ トリガーレートとエネルギー閾値から最適なトリガー条件を求める

夜光と宇宙線のトリガーレート



0.3498 GHz/pixelの夜光のトリガーレート

1.749 GHz/pixelの夜光のトリガーレート

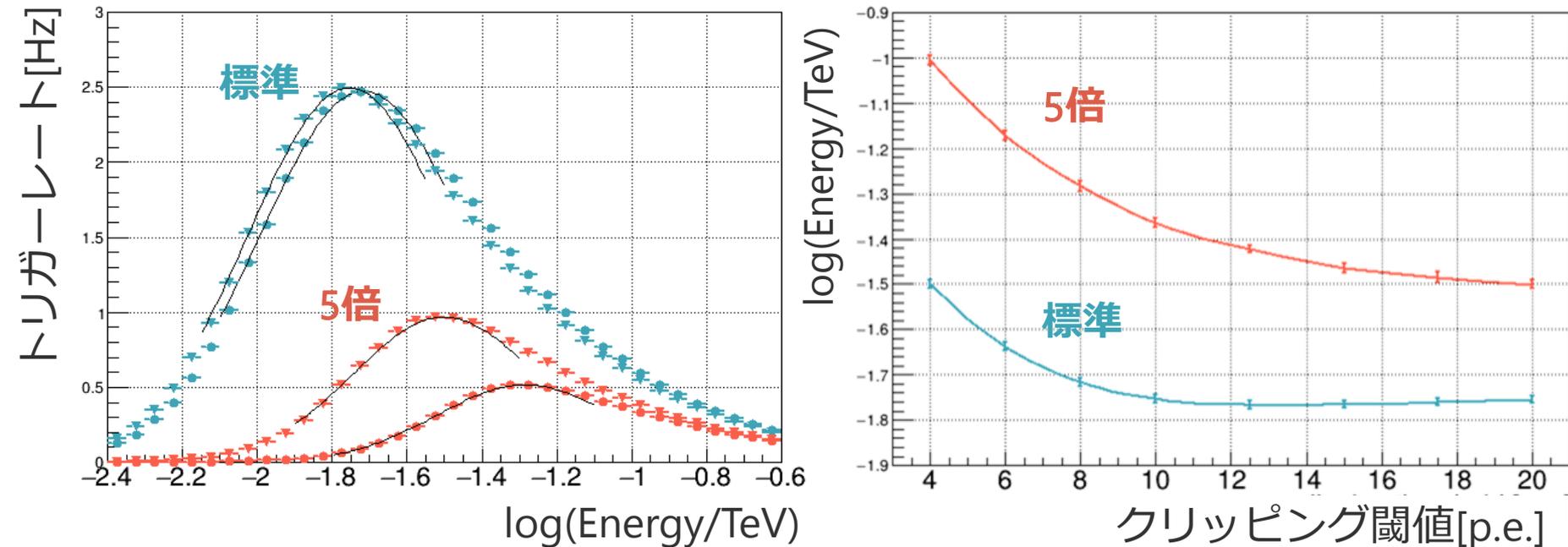
宇宙線のトリガーレート

● : clipping 8 p.e.

▼ : clipping 20 p.e.

- ◆ チェレンコフ光がない夜光のみのデータと宇宙線のみのデータのトリガーレートを計算。
- ◆ 夜光のトリガーレートを十分に抑えられるトリガー閾値にするため、夜光のトリガーレートが宇宙線のトリガーレートの100分の1となる点をトリガー閾値に取った。
- ◆ 各クリッピング閾値でトリガー閾値を決定。

ガンマ線のエネルギー閾値



— 0.3498 GHz/pixel

— 1.749 GHz/pixel

● : clipping 8 p.e.

▼ : clipping 20 p.e.

◆ トリガーされるガンマ線のエネルギー閾値が、一定になるところのクリッピング閾値を求めた。

標準: クリッピング閾値 : 12.5 p.e.

エネルギー閾値 : 17 GeV

5倍: クリッピング閾値 : 20 p.e.

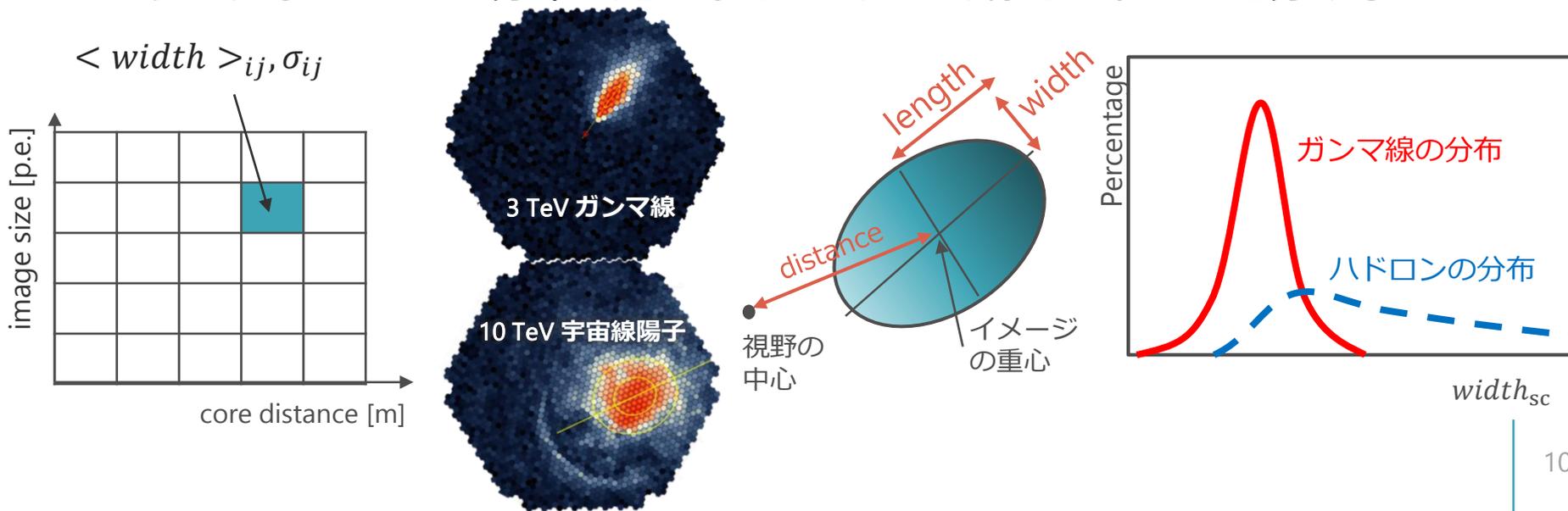
エネルギー閾値 : 32 GeV

ガンマ線とハドロンの弁別

- ◆ ガンマ線のシミュレーションデータから得られるwidth, length等のパラメータの平均値と分散をコアディスタンス(i)、イメージサイズ(j)ごとに計算し、表(Look-up Table)を作成。
- ◆ 実際の観測で得られたあるイベントの $width_{ij}$ をLook-up tableを用いて

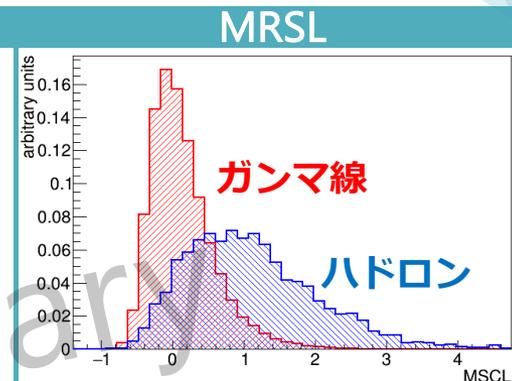
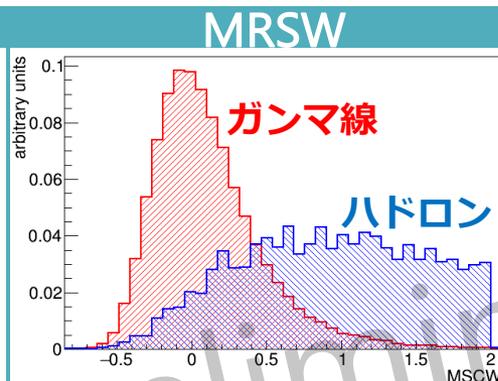
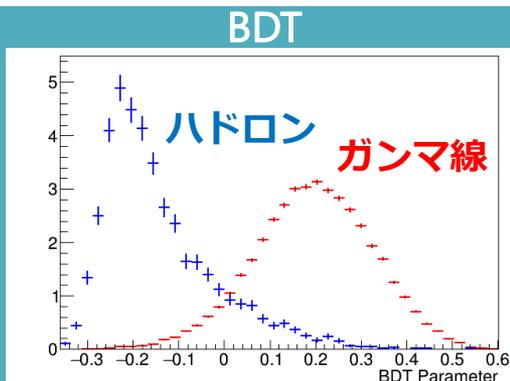
$$width_{sc} = \frac{width_{ij} - \langle width \rangle_{ij}}{\sigma_{ij}}, MRSW = \frac{\sum_{tel} width_{sc}}{N_{tel}}$$

とスケーリングする。これによりコアディスタンスとイメージサイズの依存性を補正することができる。このMRSWと、lengthを同様にスケーリングしたMRSLの分布の違いなどからガンマ線とハドロンを分ける。

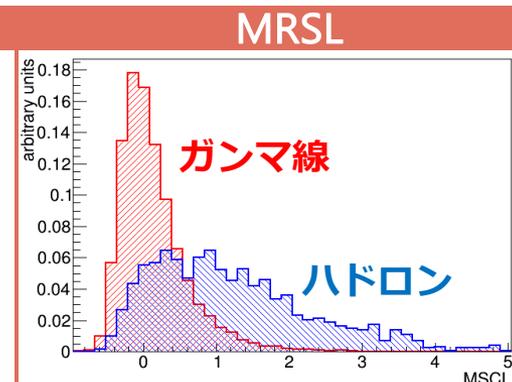
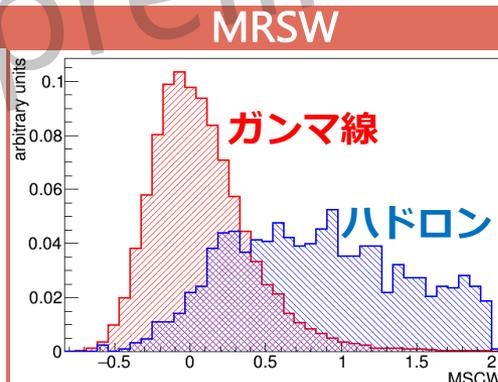
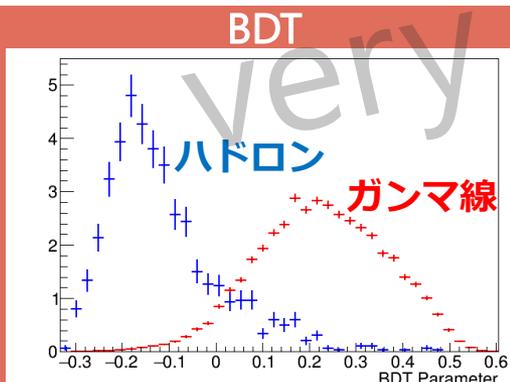


ガンマ線とハドロンの弁別

標準
63-160 GeV



5倍
63-160 GeV



- ◆ 複数あるイメージのパラメータ (MRSW, MRSL等) を、単一の指標 (ガンマ線、ハドロンらしさ) に変換する**多変量解析**を行った。
- ◆ BDT (Boosted Decision Tree)を使用。
- ◆ 標準と5倍のときで、ガンマ線とハドロンで**ほぼ同等の分離**が得られている。

La Palma 大口径望遠鏡4台の点源に対する感度 (50h, 天頂角 20度)



- ◆5倍の夜光量のとき、閾値が2.5倍(25 GeVから63 GeV)に上がる。

まとめと今後

- ◆ **大口径望遠鏡はガンマ線バースト**のより詳細なスペクトルや時間変動の観測が期待されており、**月光下**でも観測を行う必要が出てくる。
- ◆ **クリッピング閾値を4から20p.e.まで変化**させ、トリガーレートを見積もった。
- ◆ 夜光のトリガーレートを抑え、ガンマ線のエネルギー閾値が一定になるところでトリガー条件を決定した。
- ◆ ガンマ線とハドロンの弁別能力は、**標準と5倍の夜光量でほぼ同等**であった。
- ◆ La Palma 大口径望遠鏡4台の解析結果
 - 5倍の夜光量するとき、**閾値が2.5倍**(25 GeVから63 GeV)に上がる。
- ◆ 今後、エネルギー閾値を下げるために解析手法を最適化し、**短時間の感度**の見積もりも行う。