

モンテカルロシミュレーションを用いた CTAハードウェア仕様の検証

京都大 増田周

井川大地^A、大石理子^B、大竹峻平^C、櫛田淳子^A、
窪秀利、郡司修一^C、齋藤隆之、榊直人^D、
西嶋恭司^A、吉越貴紀^B、他 CTA-Japan Consortium

京大理、東海大理^A、東大宇宙線研^B、山形大理^C、KIT^D



Cherenkov Telescope Array (CTA)

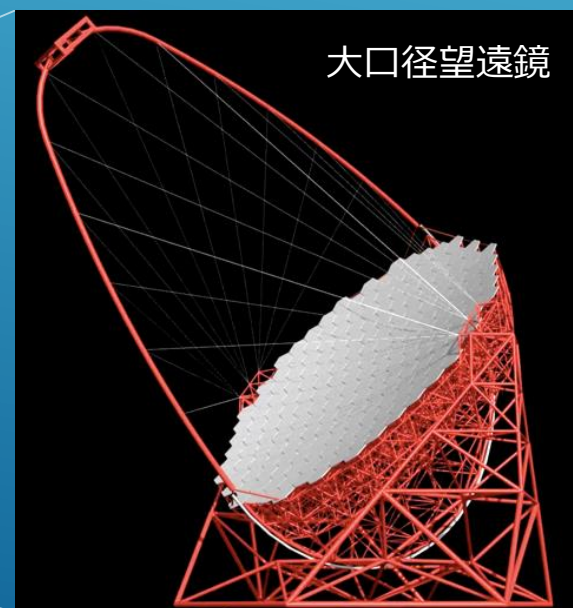
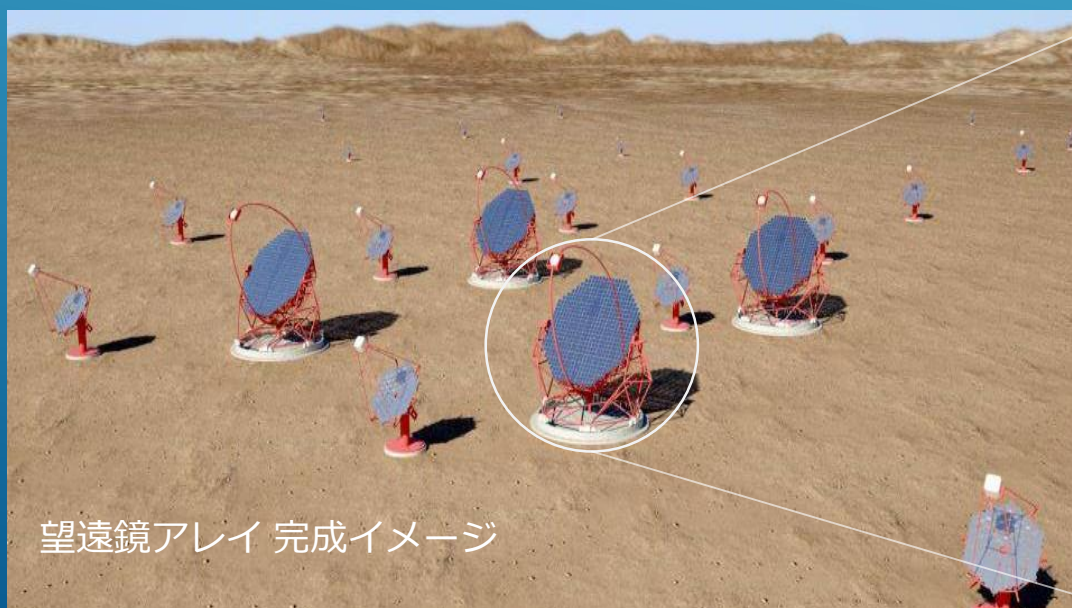
▶ 大口径望遠鏡 (LST)

▶ 23 m 口径

エネルギー閾値を出来るだけ下げるためにどのようなハードウェアパラメータが必要か検証する

▶ 南北合リットに4台建設予定

▶ 20 GeV – 1 TeV のエネルギーのガンマ線を狙う



方法

- ▶ 空気シャワーシミュレーションの“CORSIKA”と組み合わせた、CTAヨーロッパグループ開発の望遠鏡シミュレーションプログラム“*sim_telarray*”を用いCTA大口径望遠鏡の性能の評価
- ▶ 光検出器の光電子増倍管からの信号**波形幅**や**アフターパルス**の発生確率の違いによる望遠鏡性能への影響を検証

観測する上でバックグラウンドとなる事象

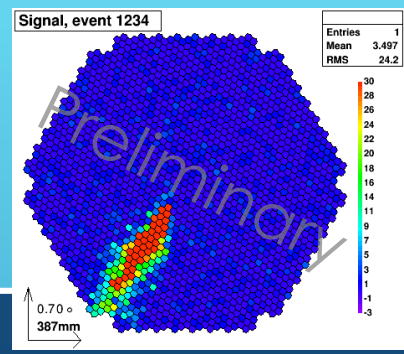
▶ 宇宙線バックグラウンド

- ▶ 陽子やヘリウムなどのハドロンや電子、2次宇宙線ミューオン

▶ Night Sky Background (NSB)

- ▶ 星の光や、大気蛍光による夜光バックグラウンド
- ▶ NSBフォトン
は1カメラピクセル当たり約 200 MHz のレートで
検出される

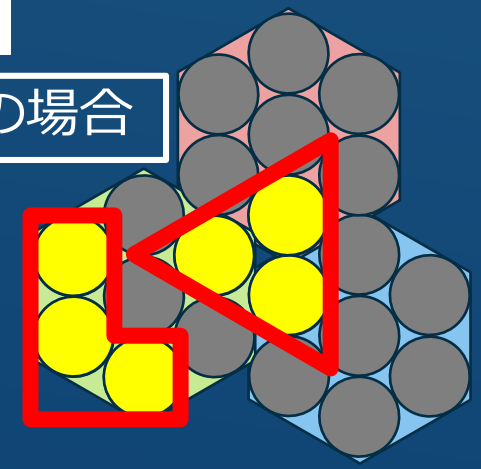
2タイプのトリガー



▶ NN logic trigger

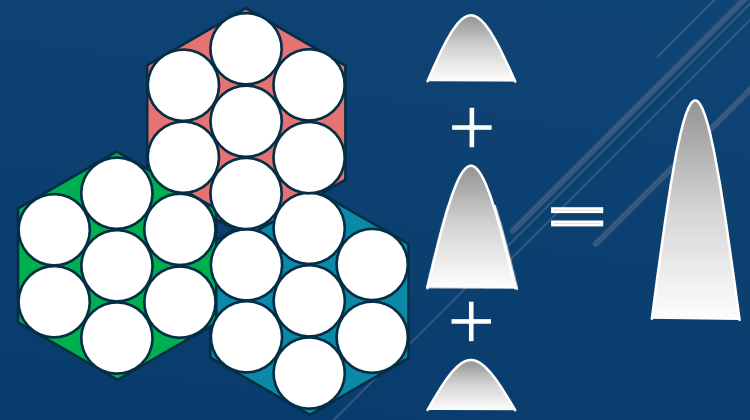
- ▶ ある一定数以上(例えば3個以上)の隣接するカメラピクセルの信号が同時に閾値を超えた場合にトリガーされる

3 NN の場合



▶ Analog Sum trigger

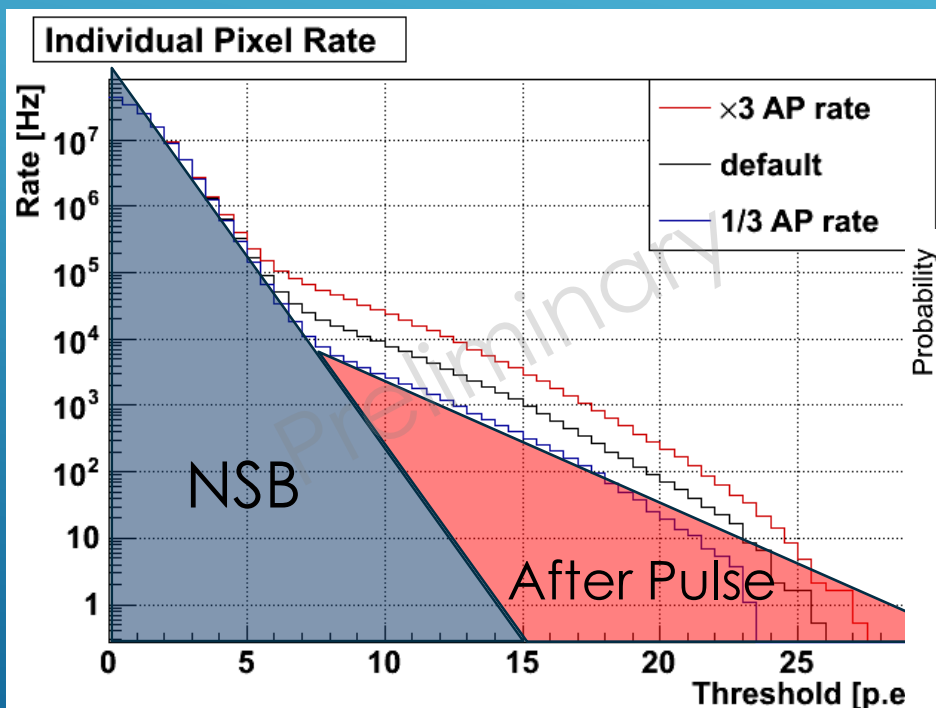
- ▶ 21ピクセルの信号をアナログ的に足し合わせ、閾値を超えた場合にトリガーされる
- ▶ その際アフターパルスの影響を除去するためにパルスを切り取る「クリッピング」をしてから足す



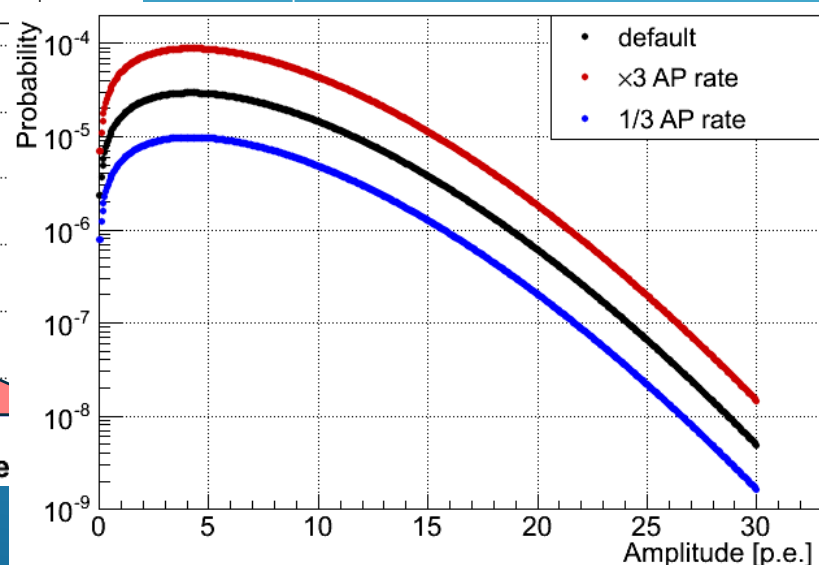
1ピクセル当たりのレート

▶ 2種類の成分：NSB・アフターパルス

▶ 低閾値側ではNSBが、高閾値側ではアフターパルスが優勢



アフターパルスの波高値
当たりの発生確率



※アフターパルス

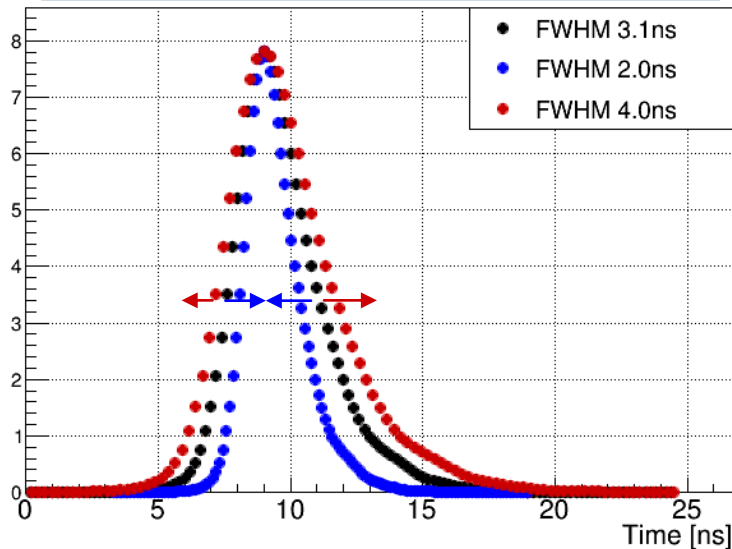
PMT内の残留ガスと電子の衝突によるイオンフィードバックにより発生する

NSBによるトリガーレートの評価

- ▶ シャワーを振らず、NSBのみのシミュレーション
- ▶ パルス幅を変えた場合とアフターパルス確率を変えた場合での変化を比較する

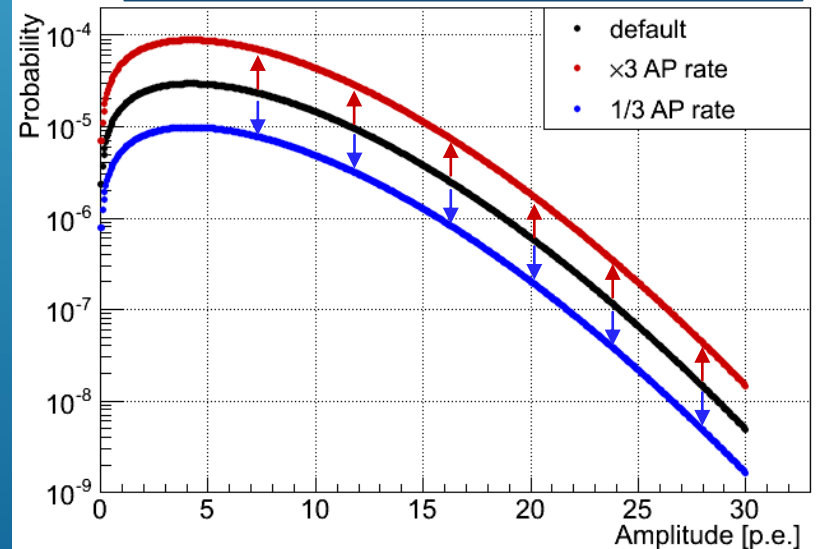
パルス幅

2.0 ns ← 3.1 ns → 4.0 ns



アフターパルス確率

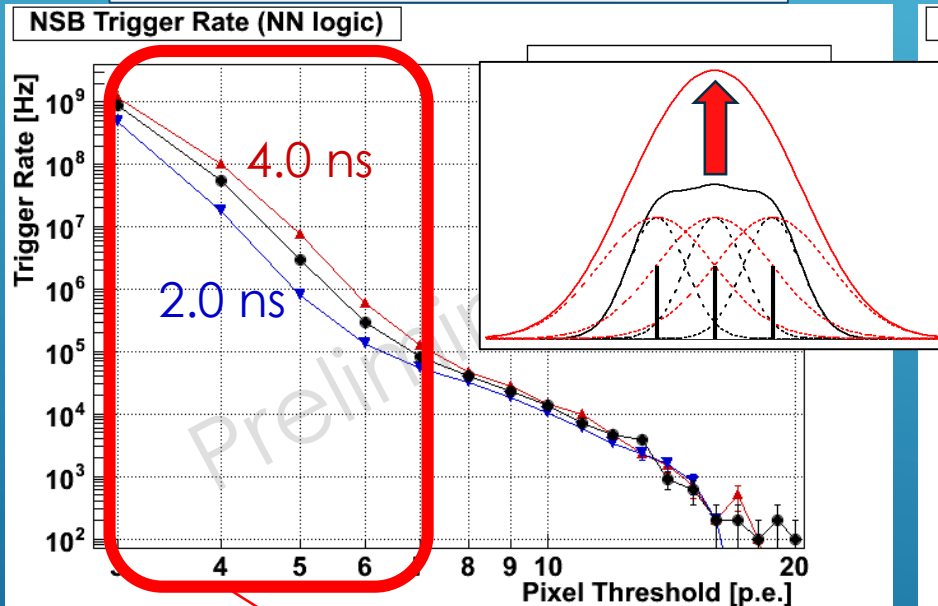
1/3 倍 ← default値 → 3 倍



NSBによるトリガーレートの評価

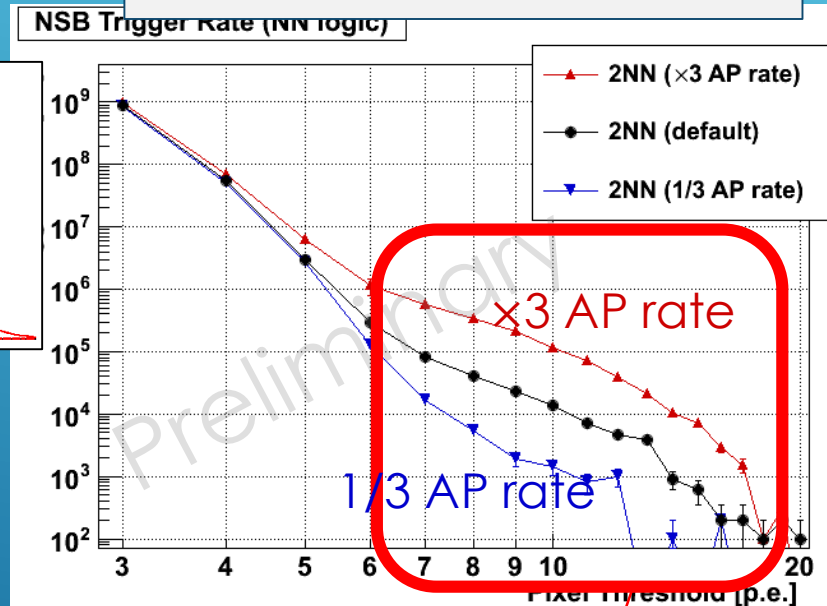
▶ NN logic trigger の場合 (2 NN)

パルス幅を変えた場合



パルス幅が広がると
各々のパルスが積み重なりあい、
閾値にかかりやすくなる

アフターパルス確率を変えた
場合

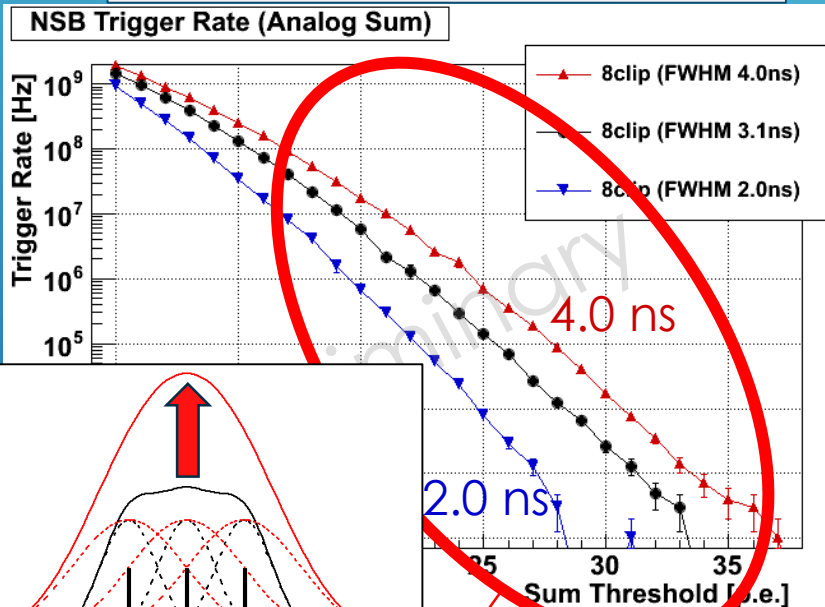


高閾値側は
アフターパルスが
効いてくる！

NSBによるトリガーレートの評価

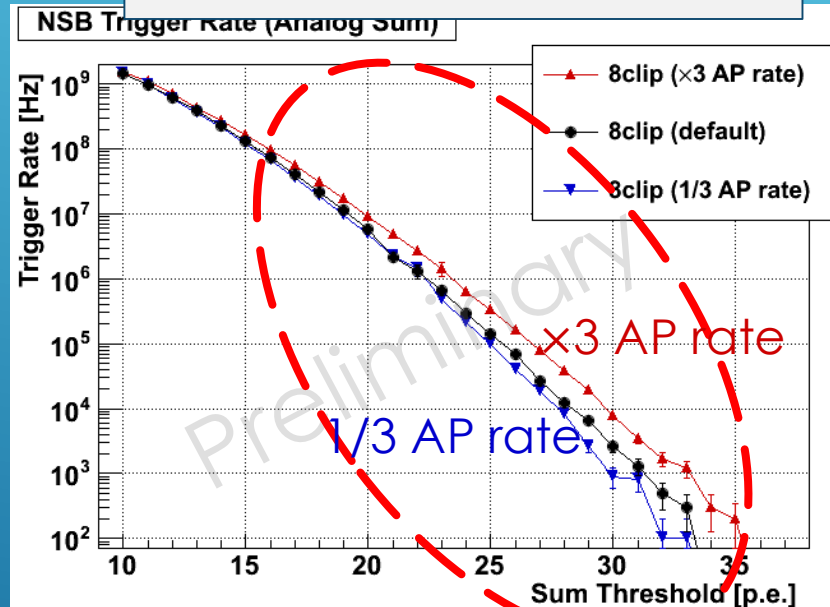
▶ Analog Sum trigger の場合 (clipping level 8 p.e.)

パルス幅を変えた場合



NN logic の場合と同様の理由で
レートが大きく変化する

アフターパルス確率を変えた
場合

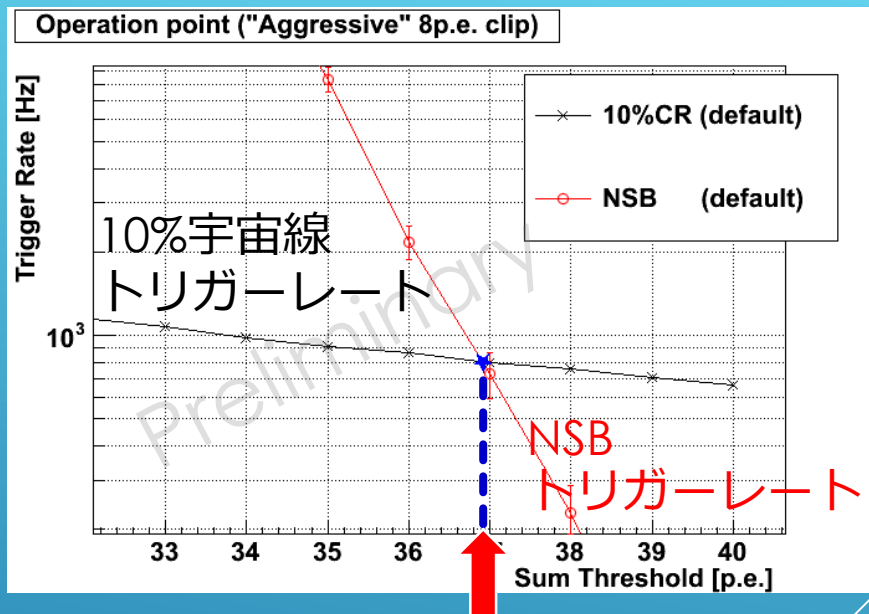
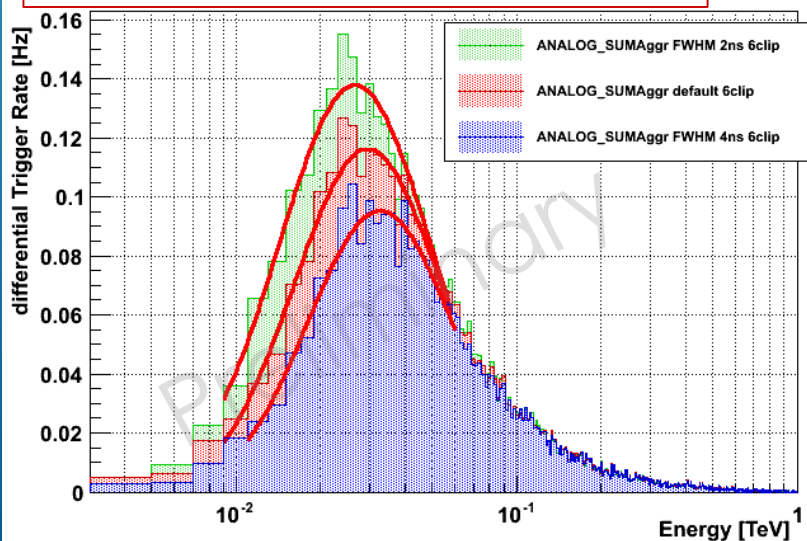


クリッピングの効果
アフターパルスレートには
ほとんど左右されない

エネルギー閾値の評価

- ▶ ステレオトリガーで
NSBトリガーレート
= 10%宇宙線トリガーレート
となるようにトリガー閾値を設定

Analog Sum triggerの場合の
 γ 線微分トリガーレート

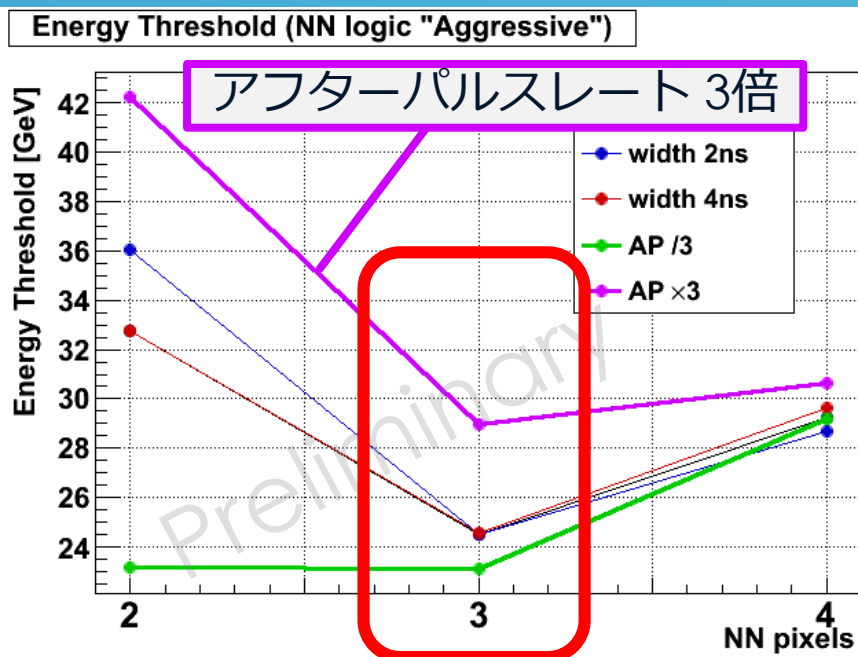


Operation Point

- ▶ かに星雲のFluxを仮定した場合の γ 線の微分トリガーレートを計算、ピークをエネルギー閾値と定義

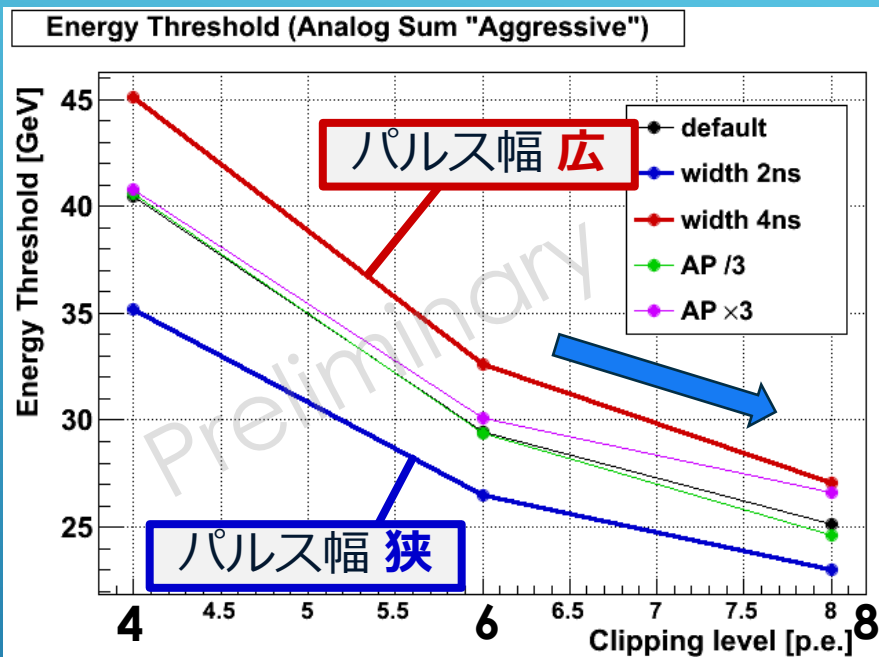
エネルギー閾値

▶ NN logic trigger の場合



- ▶ **3 NN** が最も有効で、エネルギー閾値は 25 GeV 程度
- ▶ アフターパルス確率により閾値は大きく変化を受ける

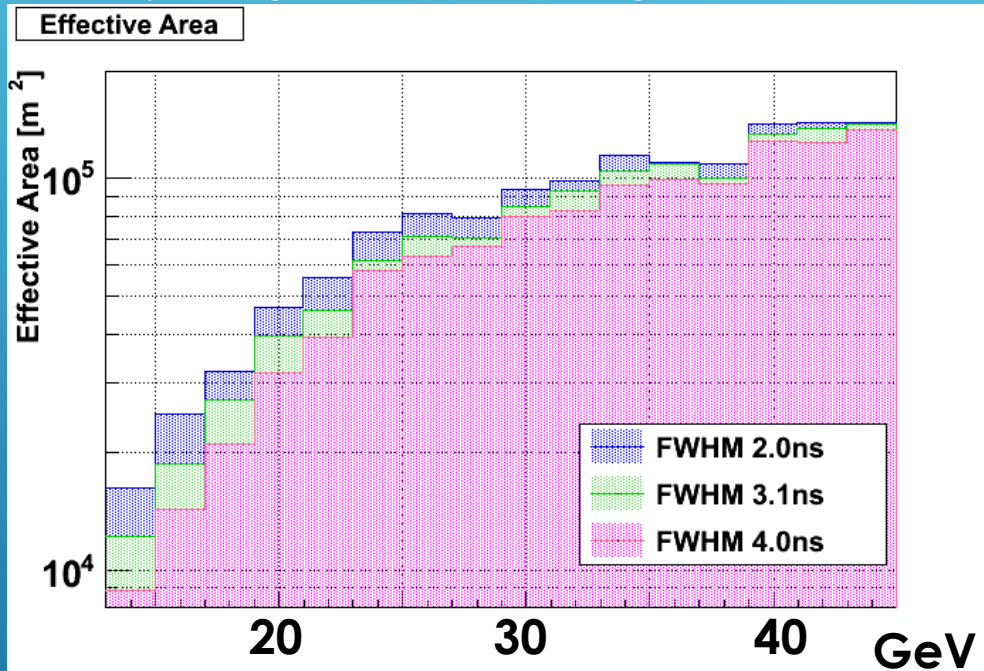
▶ Analog Sum trigger の場合



- ▶ パルス幅の影響を大きく受ける
⇒ **狭いパルス幅**が求められる
- ▶ エネルギー閾値はまだ下げられる可能性が……
⇒ クリッピングレベルをさらに詳しく調べる必要がある

観測に与える影響(e.g. GRB)

有効面積(Analog Sum, 8 p.e. clipping, パルス幅による違い)



- ▶ *Fermi*-LATでは過去にGRBから数十GeVの光子を検出
- ▶ エネルギー閾値の上下は有効面積の上下(特に低エネルギー側)を意味

- ▶ 例えば20GeVでは有効面積はパルス幅が4 nsの時に比べ、3 ns, 2 ns幅の方が1.2倍, 1.5倍広くなり、その分GRBの検出確率も上がる

Summary

- ▶ CTAグループ独自のMCシミュレーションプログラムを用いて、CTA大口径望遠鏡のハードウェア仕様の検証を行った
- ▶ 信号パルス幅とアフターパルスの波高値分布を変え、バックグラウンド・NSBのトリガーレートにどのような影響を及ぼすかが理解できた
 - ▶ パルス幅、アフターパルス分布の変化に対して、2種類のトリガーアルゴリズムはそれぞれ異なる振る舞いを見せた
- ▶ バックグラウンドのトリガーレートからトリガー閾値を決め、 γ 線のエネルギー閾値を見積もった
 - ▶ 結果から、低エネルギー閾値の実現には以下のことが求められる
 - ▶ NN logic triggerの場合、**アフターパルスレート**は **0.02 % (>4 p.e.) 以下**にする必要がある
 - ▶ Analog Sum triggerの場合、可能な限り**パルス幅を狭く**する
 - ▶ Analog Sum triggerに関してはクリッピングについてさらに検証する必要がある