

CTA報告51:

モンテカルロシミュレーション

大石理子, 栗根悠介^A, 櫛田淳子^B, 小谷一仁^B, 齊藤雄太郎^B,
榊直人^C, 西嶋恭司^B, 山本常夏^D, 吉越貴紀
他 CTA-Japan Consortium

東大宇宙線研, 京大理^A, 東海大理^B, KIT^C, 甲南大理工^D

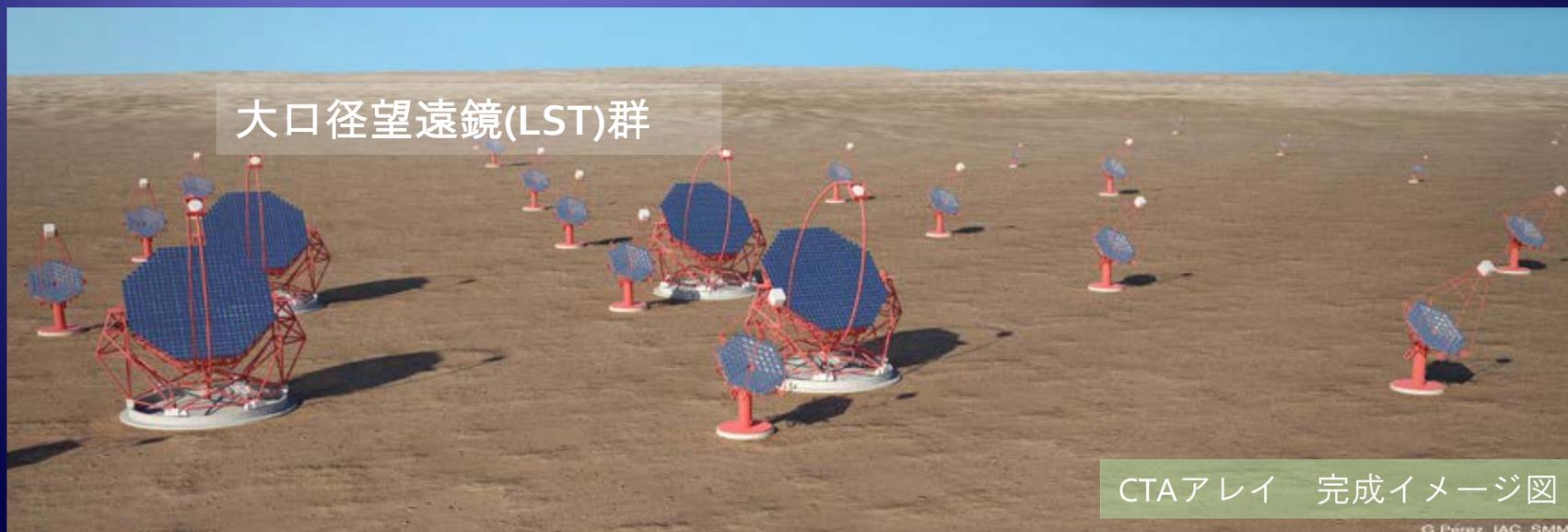
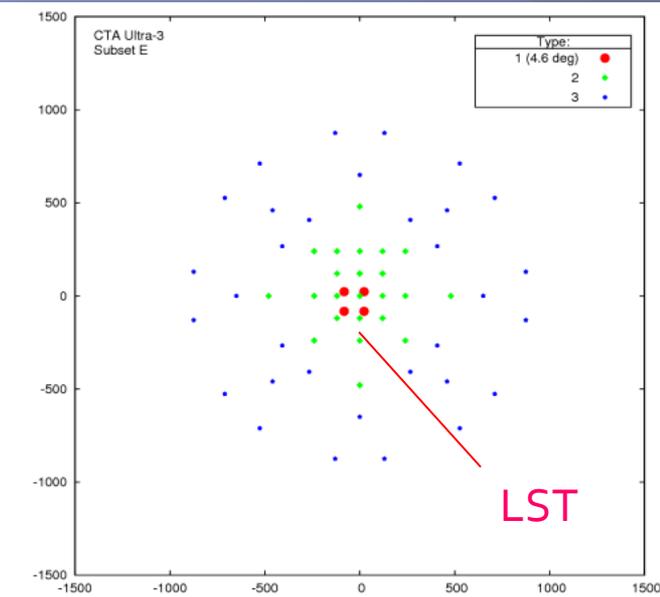
Outline

- ◆ CTA-LSTによるGRB観測
- ◆ Divergent pointing modeの概略
- ◆ 日本国内でのシミュレーションデータ生成
- ◆ Divergent pointing modeにおけるガンマ線微分感度の各パラメータ（開き角、 θ ）依存性
- ◆ 任意の θ におけるNormal modeとdivergent pointing modeの感度の比較

CTA-LSTによるGRB観測

- **LST**(大口径望遠鏡) : CTAの3種類の望遠鏡の中で低エネルギー側(**20 GeV-1 TeV**)に感度を持つ
 - GRBは重要な標的天体
- 口径: **23m** 台数: **4台**
視野: **4.5度**(全角)
導入速度 **180 deg./20sec** を予定
(詳細は前講演)

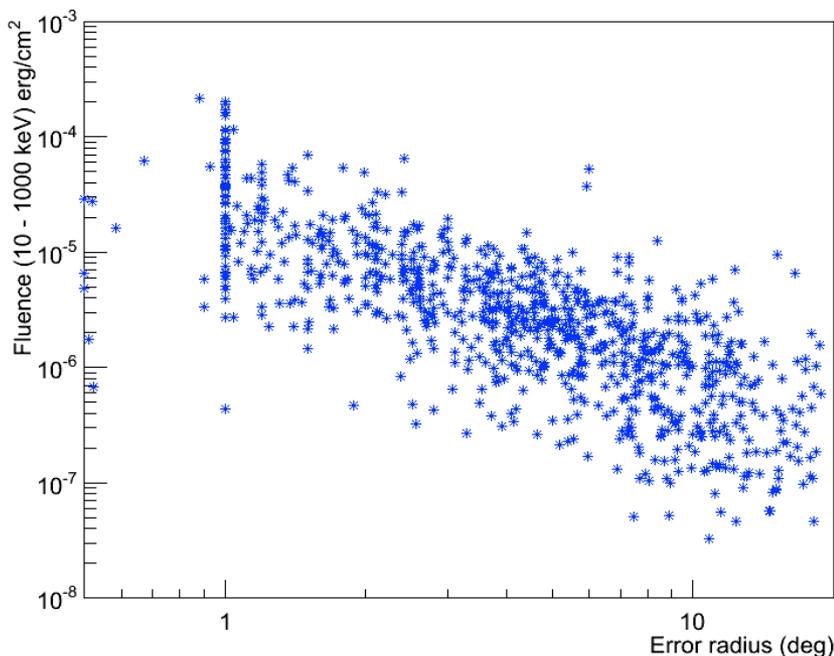
CTA Array E 望遠鏡配置図



LSTによるGRB観測：既存のGRB衛星観測から

- 大気チェレンコフ望遠鏡の視野は狭く単独でのGRB探索は困難であるため、より視野の広い飛行体検出器からGRBの座標情報を受け取り、速やかに望遠鏡視野に導入する

Fermi GRB burst catalogueによるFluenceとError radiusの関係



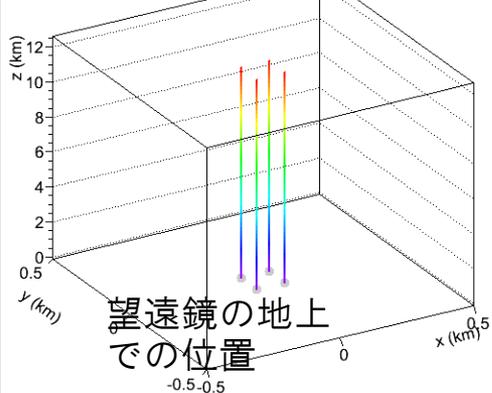
- 衛星から受け取る座標情報の精度は チェレンコフ望遠鏡の視野（LSTの場合は半角 **2°.25**）と比べて十分に小さいことが望まれるが、現実はそれよりも大きい
- 例えばFermi GBMの場合では、人間が介在した位置解析でも $\sigma = 3°.8 \pm 0°.5$ 程度の位置誤差がある (Briggs et al., 2009)

Divergent pointing modeの概略

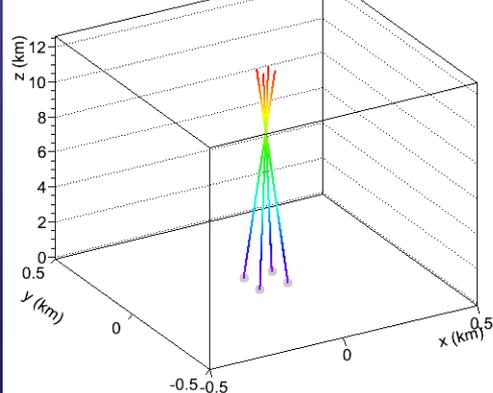
- カメラ視野サイズを固定したまま、位置不定性の大きい点源に対して実効的な感度を改善する可能性がある手法として提案
- 4台のLSTの視野を小角度ずつずらし、広い空間範囲に浅い感度を持たせる

各望遠鏡の位置と光軸の角度との関係 (天頂観測の場合)

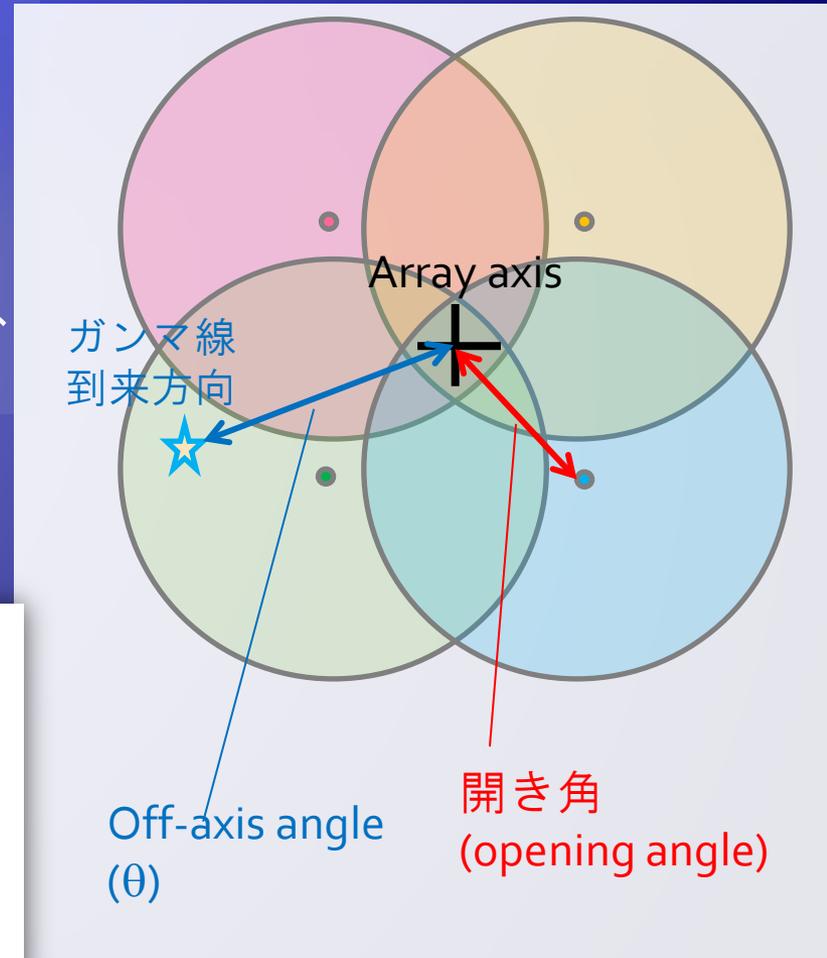
開き角: $0^{\circ}.0$



開き角: $0^{\circ}.5$



各望遠鏡の視野の位置関係

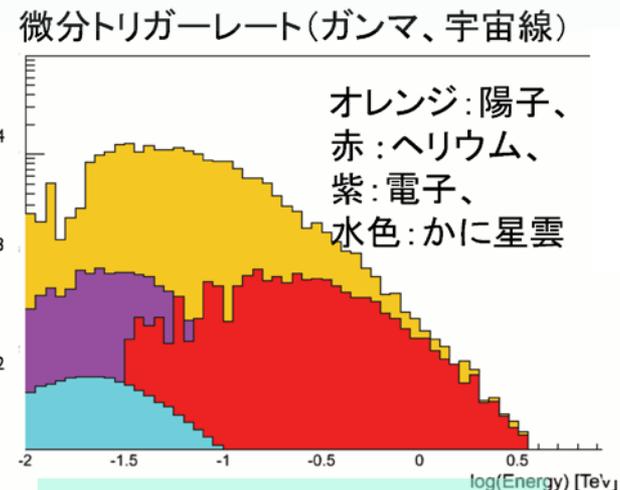


日本国内におけるシミュレーション データ生成

- 過去のCTA-Japan MC WPのstudyにはヨーロッパで生成されたシミュレーションデータを使用
- Divergent pointing modeの感度検証は比較的新しい試みであり、ヨーロッパ生成のデータでは対応できない → 日本国内の計算機リソースを用いて空気シャワーシミュレーションから行い解析用データを生成
- Divergent pointing modeの感度は望遠鏡の開き角（前頁で定義）に強く依存することが予想され、開き角も刻んで最適な設定を見つける必要がある

パラメータ種	設定内容
望遠鏡配置	LST4台 105m間隔正方形
生成粒子	γ , p, e^- *
生成イベント数	γ , e^- : 2×10^7 p: 2×10^8
開き角	0°.0 から2°.0 まで0°.5刻み
到来方向分布	天頂角20°中心, 0°-8°(半角) 等方分布

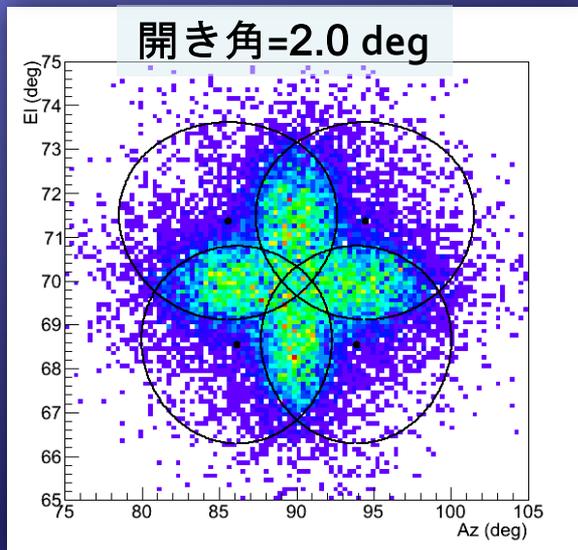
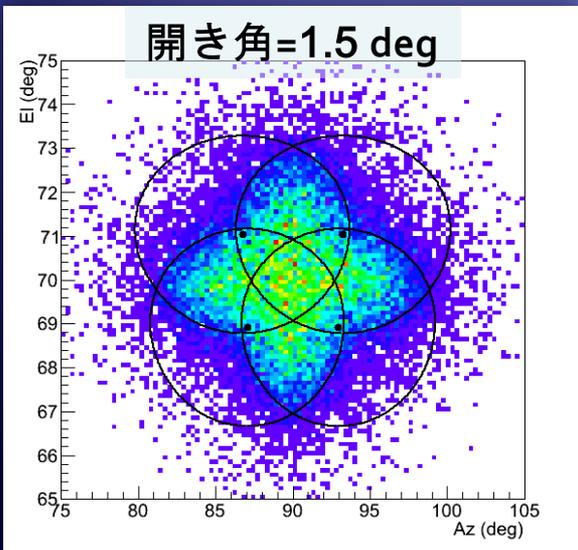
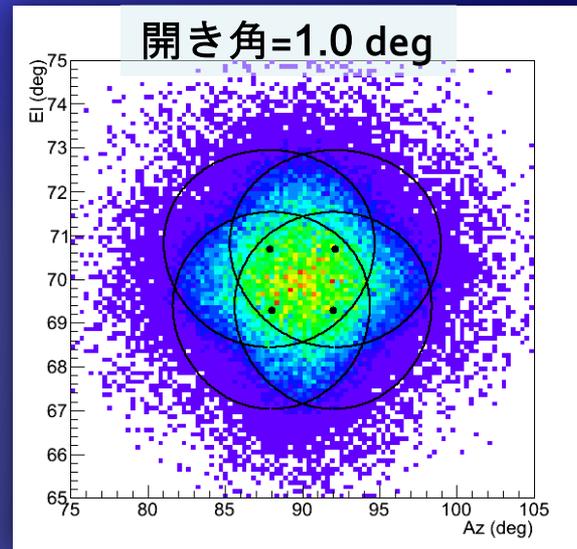
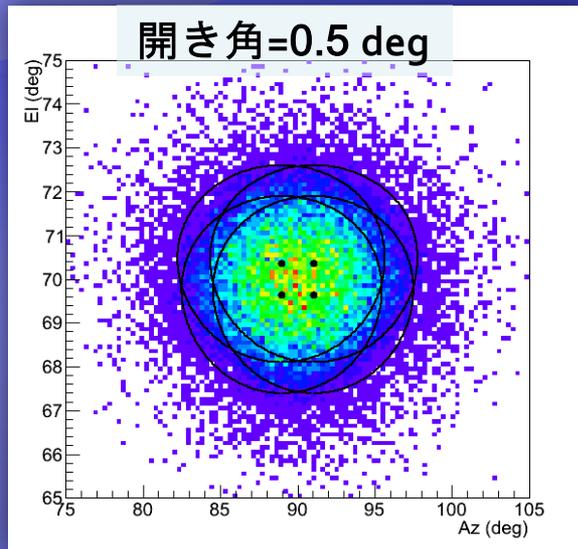
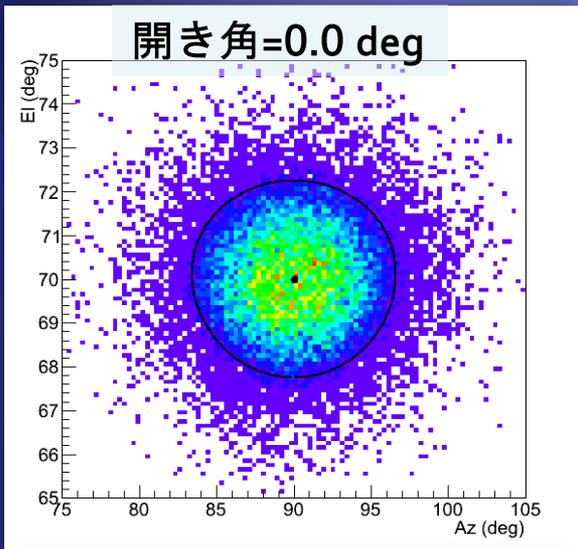
*LSTのエネルギー領域では、宇宙線重元素(He, Si等)の雑音としての寄与は陽子に比べて十分小さいため(右図)



栗根, 京大修論 (2013)

4pixels > 7p.e.

Divergent pointing mode data : ガンマ線 trigger eventsの到来方向分布

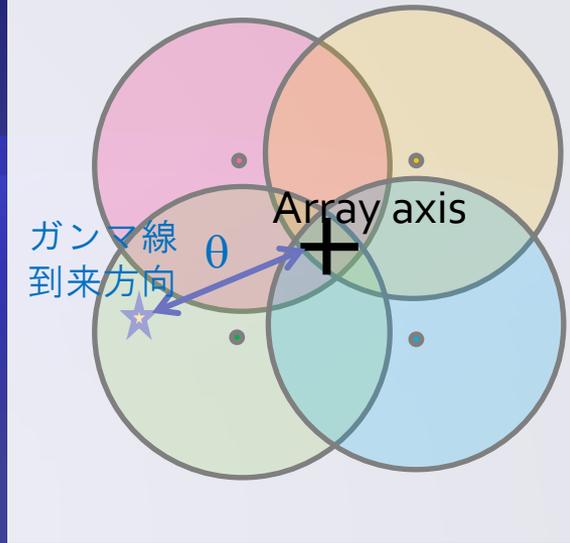


黒線：各望遠鏡の視野

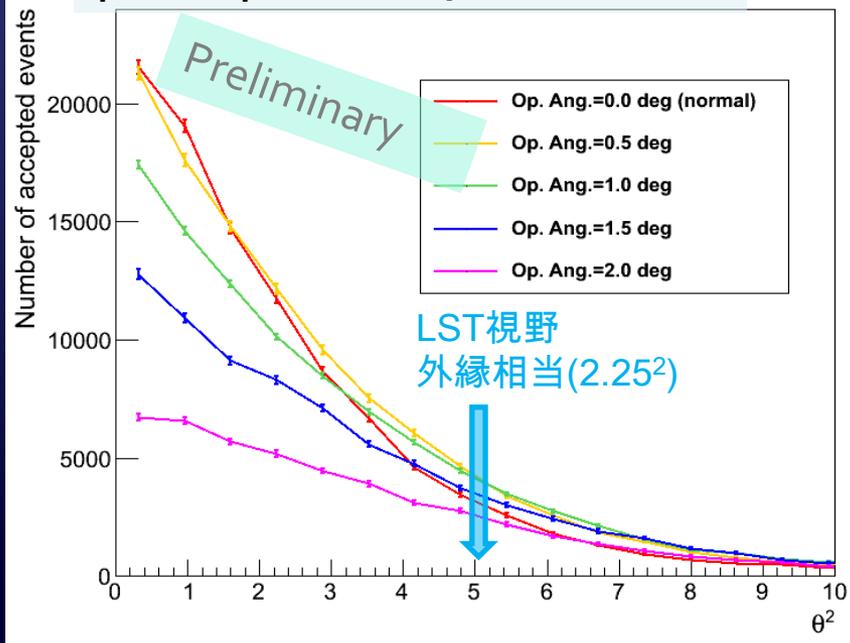
視野の重なる領域近くではcoincidenceが取りやすいためイベント生存率が高くなる

ガンマ線 acceptanceの θ 依存性

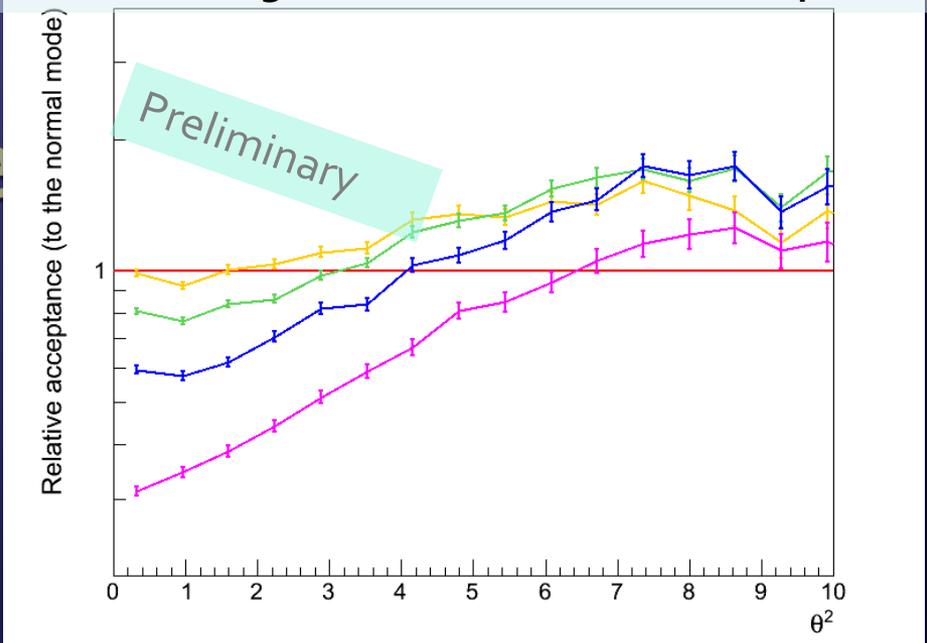
- ガンマ線 acceptanceはArray axis中心から外側に向かって低下するが、傾斜は divergent pointingの開き角に依存する
- 有限の開き角を持たせることにより、中心から遠い領域ではnormal mode(開き角 0.0deg)より高い acceptanceを持たせることができるが、開き角が大きすぎると coincidence を取ることが困難になるため全体の acceptance が下がる



γ 線 acceptanceの θ^2 ,開き角依存性



開き角 0.0degを1としたときの相対 acceptance

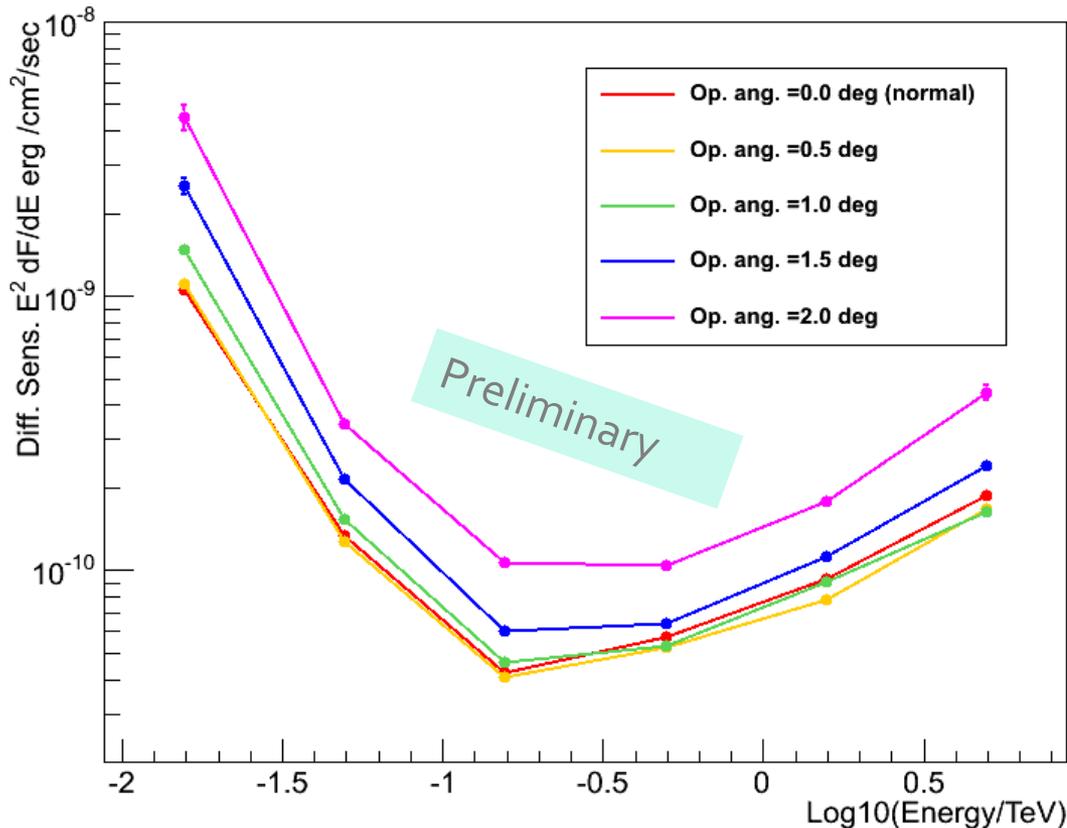


Divergent pointing mode データ解析手法

- 感度解析手法については過去の学会での講演内容に準ずる.
- 開き角 0.0deg のデータ等を用いてヨーロッパ側の解析結果とクロスチェックを実行済み
- 観測時間は 0.5h を仮定
- MCガンマ線データを用いた最適パラメータカット値の学習 (Lookup テーブルの作成) には、到来方向が等方分布 ($\theta=0-8\text{ deg}$) の全ガンマ線データを使用
- 到来方向が等方分布のdiffuseなデータを点源の重ね合わせとして解析
- 3種類の解析パラメータ (最小積分光量, multiplicity, ヒットピクセル数) について、最適カット値を探索
- 微分フラックス感度のエネルギービンは $2\text{ bin} / 1\text{ decade}$ とし、主に $100\text{ GeV} - 316\text{ GeV}$ のバンドの解析を行う。(感度 S はエネルギー E , 開き角, offset angle θ , 観測時間 の4つの変数の関数として与えられる)
- LSTのエネルギー領域では、背景宇宙線イベントに対する信号雑音比が感度曲線を決定する最重要要素
- 背景宇宙線スペクトルについては ハドロンはIchimura et al. (1993), 電子はFermiの結果 Abdo et al. (2009) を使用

Divergent pointing mode: 等方分布を用いた 解析パラメータ最適化

θ 0-8 degの等方分布ガンマ線データ (点源の重ね合わせとして解析) に対して最適化された感度曲線

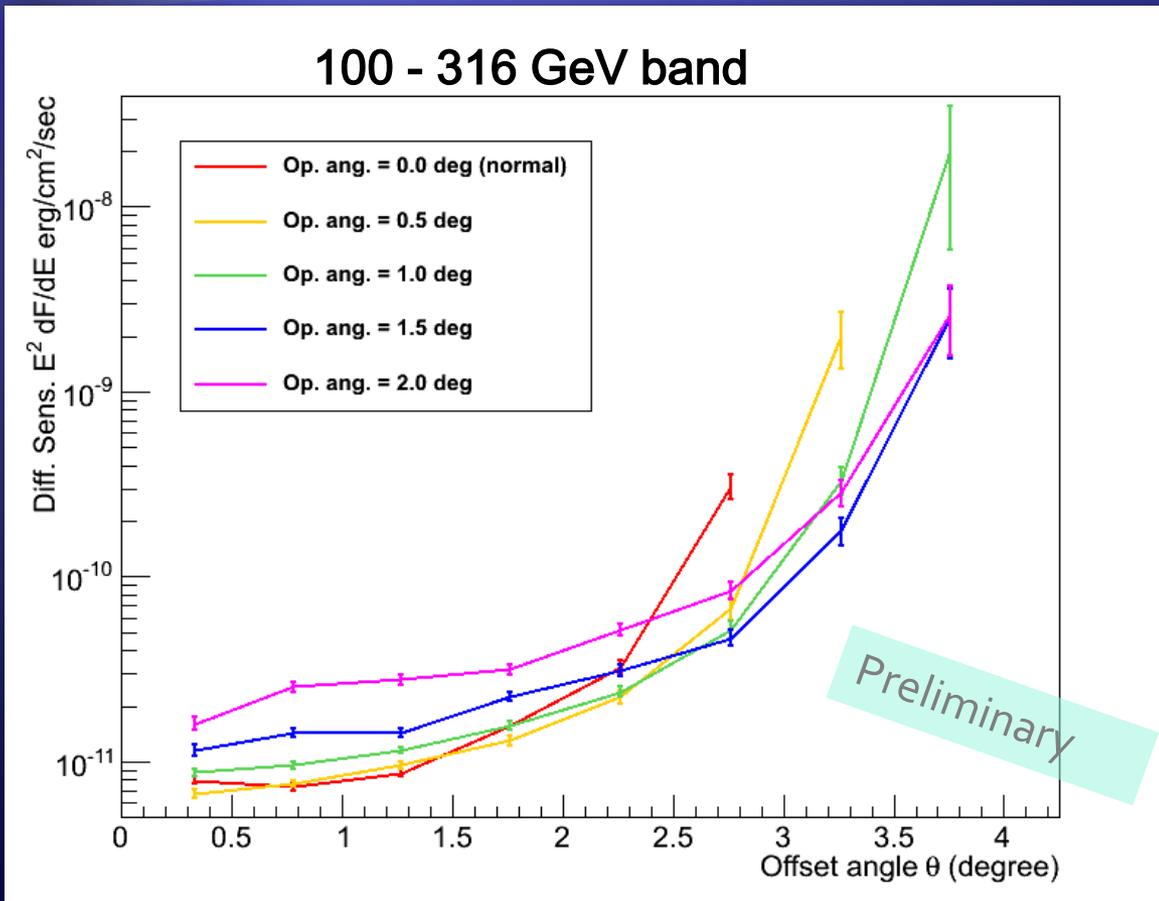


■ 3種類の解析パラメータを一定の範囲で振って各々感度曲線を求め、最良感度を与えるパラメータ値・カット有無の組み合わせを選択

■ $\theta=0-8$ degの間で存在確率分布がuniformである点源に対する“期待値”感度と読み替えることができる

Divergent pointing mode data 感度解析

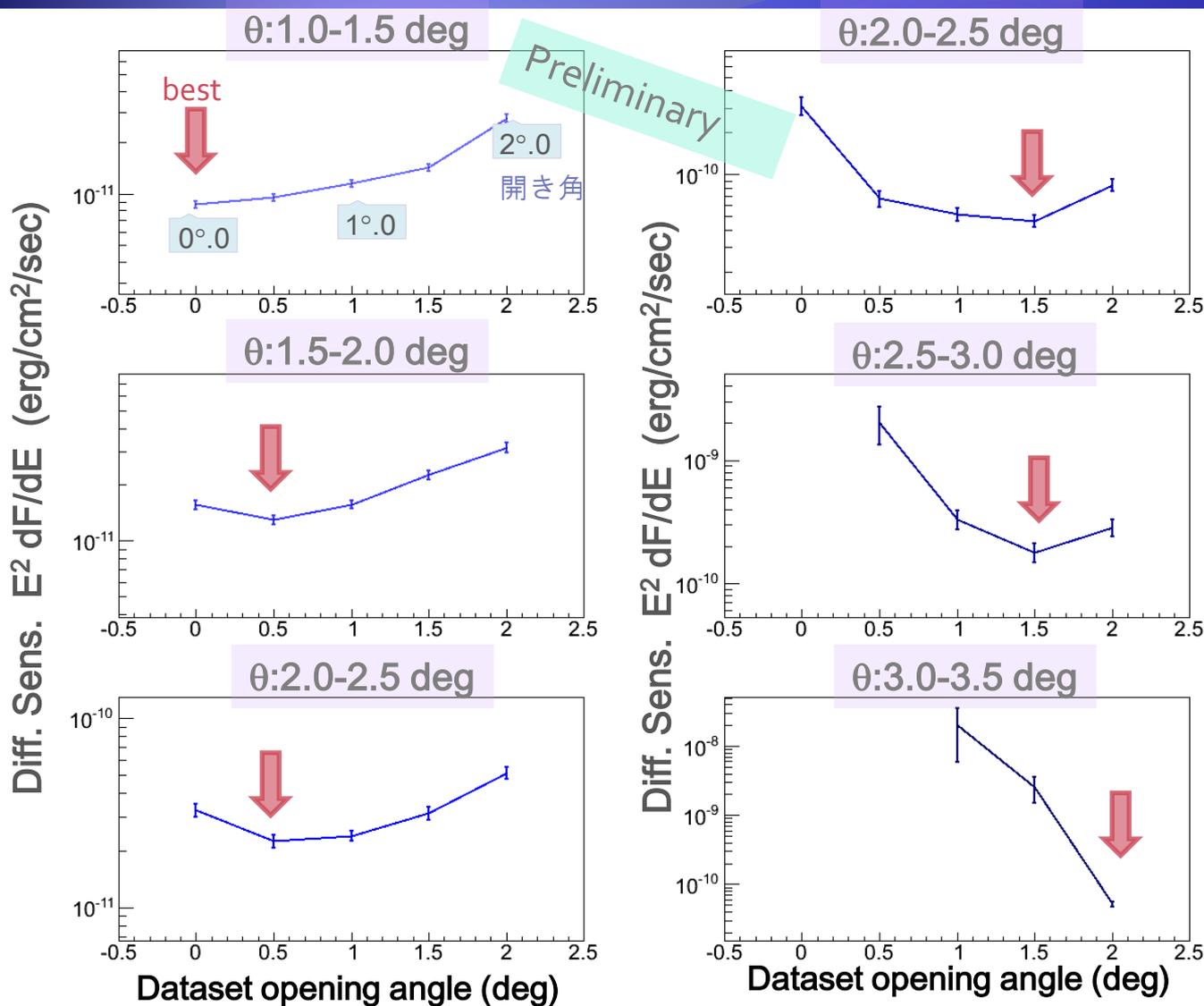
微分フラックス感度と 開き角, off-axis angle θ の関係



■ θ は中心(0°)から $0^\circ.5$ 幅のリングで区切って評価

■ どの開き角でもOff-axis angle θ が大きくなる (Array axisから外側に離れてゆく) と感度は悪化するが、悪化の傾斜は開き角が大きい方が小さくなる (γ 線acceptanceに似た傾向)

各 θ 区分ごとのDivergent pointing と normal modeの感度比較



- 100 – 316 GeV band
- 縦軸: 微分フラックス感度
- 横軸: 開き角 (0.0deg \equiv normal mode)

Summary

- ◆ CTAの大口徑望遠鏡でのGRB観測などを想定し、広範囲で浅い感度を達成することを目的とした“Divergent Pointing Mode”の感度について定量的な評価を行った
 - ◆ ヨーロッパ生成データに頼らず、特定の条件に対応したシミュレーションデータを日本国内で生成する体制が整えられつつあり、解析の幅と機動性は改善された
 - ◆ Divergent pointing modeの任意のoffset angle θ におけるガンマ線検出感度は“開き角“の設定に強く依存するため、各データセットについてよりイベント数を増して統計精度を上げた評価を行うことが好ましい
 - ◆ 今後はこのモードで観測を想定している天体の存在位置確率分布(GRBであれば衛星から受け取る座標のerror radiusから推定される)による重みづけを行った評価を加える