

CTA報告68: モンテカルロシミュレーションによる GRB観測モードの評価

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

東海大理, 東大宇宙線研 ^A, 山形大理^B, 京大理^C, KIT^D

Outline

- CTA LSTによるGRB観測
- 広角化観測(divergent pointing)モード
- 天頂角による違い(天頂角20度,50度)
- シミュレーション条件
- GRBの推定検出確率の結果
- 今後の展望とまとめ

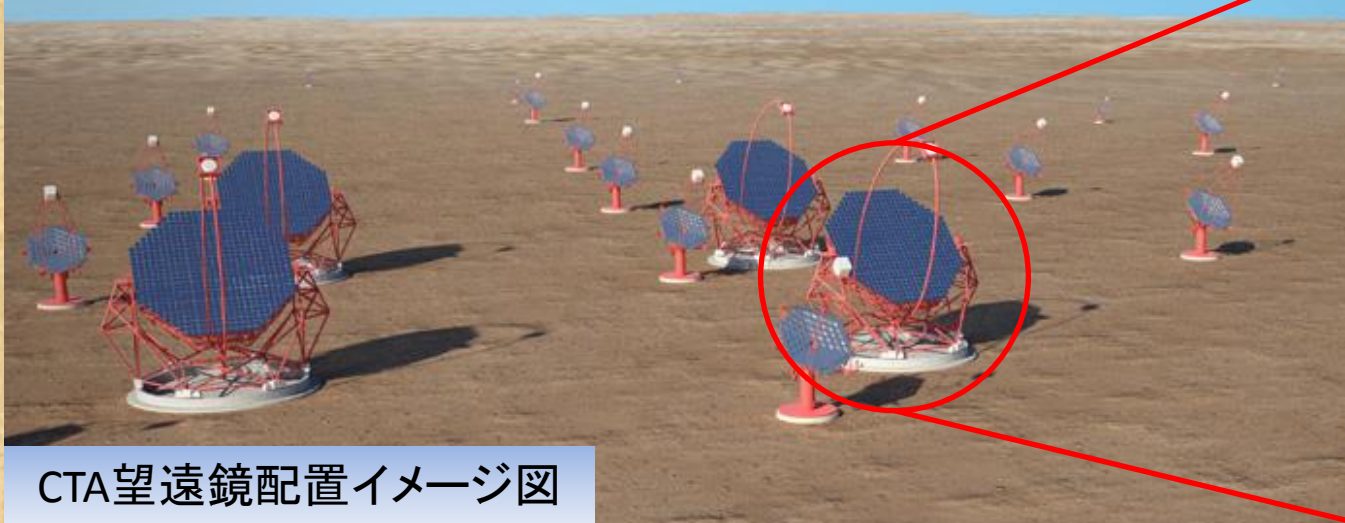
CTA LSTによるGRB観測

➤ LST (Large Area Telescope: 大口径望遠鏡)

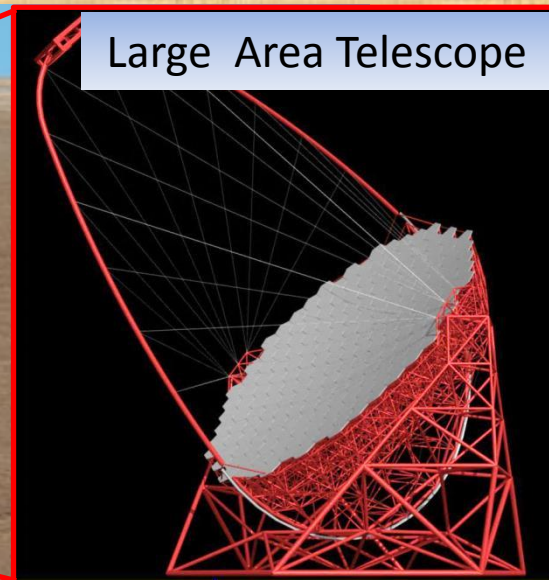
CTAの大中小口径望遠鏡の中で最もエネルギーの低い領域まで感度を持つ

口径	23 [m]
台数	4台
視野	全角4.5 [deg]
導入速度	180[deg]/20[sec]
感度	20 [GeV] - 1 [TeV]

モンテカルロ(MC)シミュレーションを用いてGRB観測モードの評価を行った



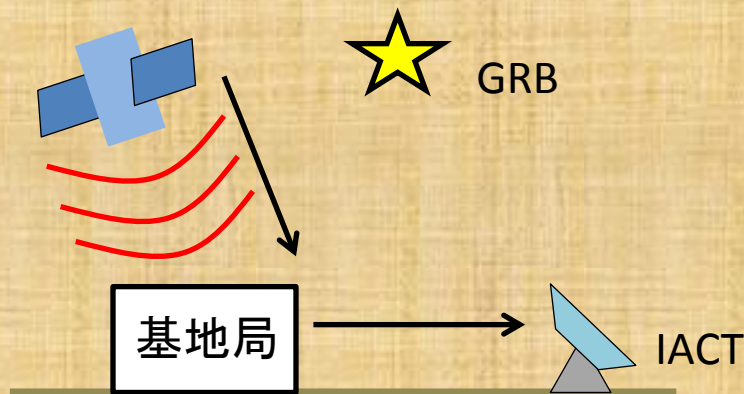
CTA望遠鏡配置イメージ図



広角化観測モードの導入①

飛行体検出器からのGRB位置情報

位置情報の伝達流れ

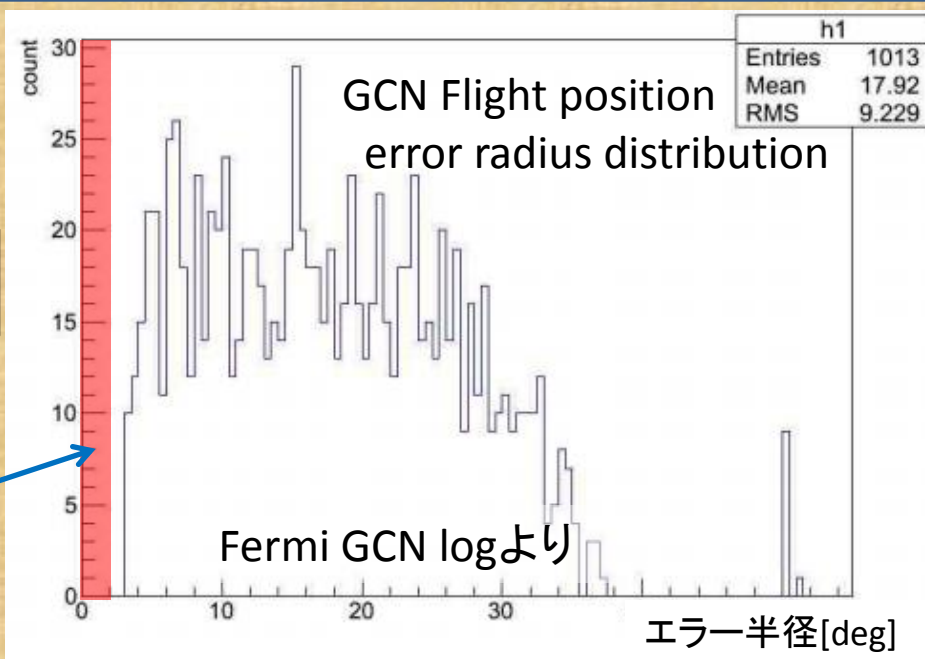


IACTは広視野を持つ飛行体検出器(今回はFermi衛星GBMを仮定)からのアラート情報から天体の座標を受け、望遠鏡の観測方向を決定する。

アラートからの天体座標の位置誤差 σ はLST視野(半角2.25[deg])より圧倒的に大きい

GRBをLSTで検出する確率を上げるために視野の広角化が必要になる

LSTの視野(半角2.25deg)

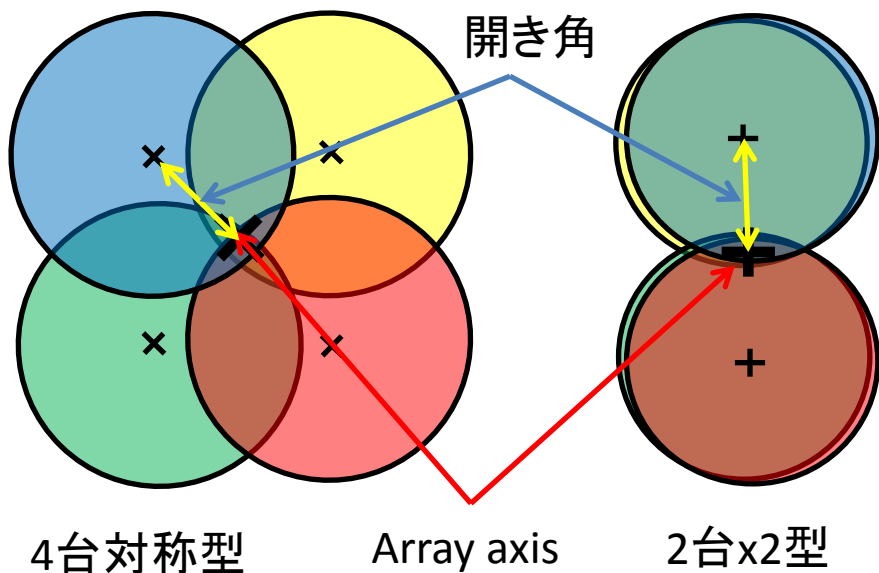


広角化観測モードの導入②

Divergent pointing mode

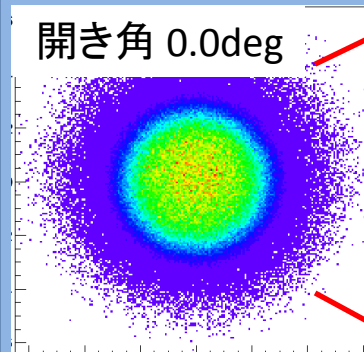
Trigger eventの到来方向分布

各LSTの視野(4台使用)

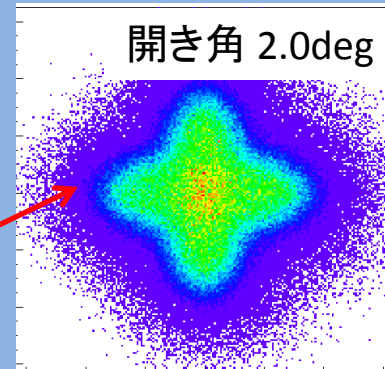


4台対称型
0.5deg 刻み

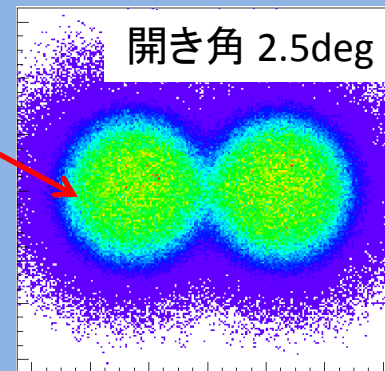
開き角 0.0deg



開き角 2.0deg



開き角 2.5deg



2台x2型
0.5deg 刻み

通常の観測モード(4台の視野を重ね望遠鏡の向きを変えず観測方法)と広角化観測モードでのGRB検出確率の違いを定量的に評価し、各観測モード有効性を比較する。

シミュレーションデータ

空気シャワーシミュレーション(CORSIKA)と望遠鏡シミュレーション(sim_telarray)を用いてdivergent pointing modeの評価を行った。

パラメータ	設定内容	パラメータ	設定内容
望遠鏡配置	LST 4台 100m間隔正方形	開き角範囲 (0.5deg刻み)	0.0-2.0deg (4台対称)
生成粒子	ガンマ線, 陽子 電子		0.5 – 2.5deg (2台x2)
生成イベント数 Gammaの場合	8×10^8 event (天頂角20deg) 2×10^8 event (天頂角50deg)	解析 Energy band	31.6-100[GeV] z=20deg 100-316 [GeV] z=50deg

GRB Selectionと広角化観測モード有効性

- CTAでのDivergent pointing mode の有効性を評価するためにGRB (継続時間 T , フラックス F , 位置誤差 σ) の設定が必要になる。
- “The First Fermi LAT Gamma-Ray burst Burst Catalog”(Ackerman et al.,2013) では35個のGRBが検出されているが、その中のfluence値が2番目に大きい080916Cと3番目に大きい090926Aの値をもつGRBのパラメータを用いた

今回用いたGRBパラメータ

GRB	GBMT95-GBMT05[s]	Error radius [deg]	Flux(100MeV-10GeV) $10^{-5}[\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}]$	Fluence(100MeV-10GeV) $10^{-5}[\text{erg cm}^{-2}]$
080916C	1.3 - 65.5	5.15	82	4.3
090926A	2.8 - 25.0	3.47	350	3.5

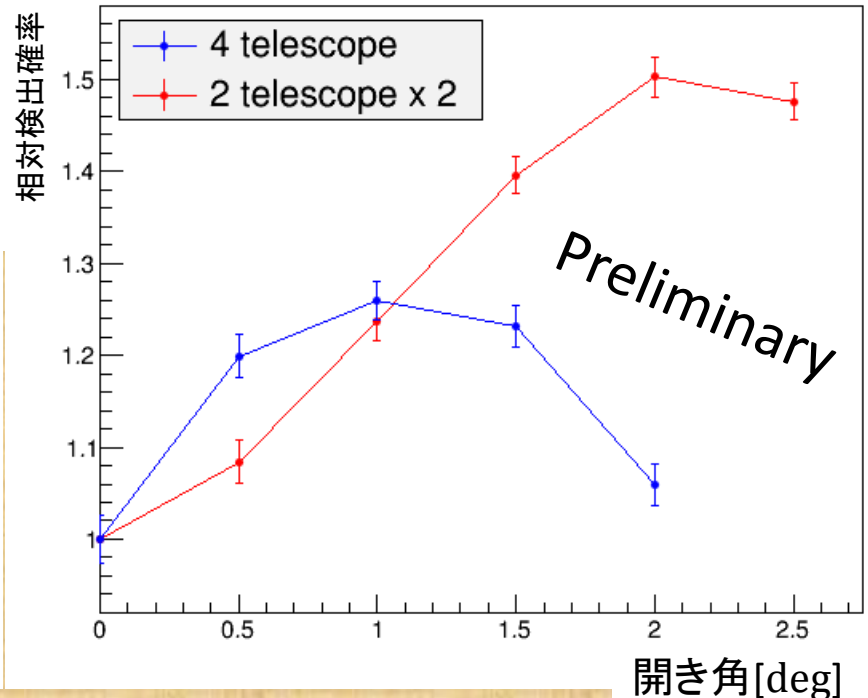
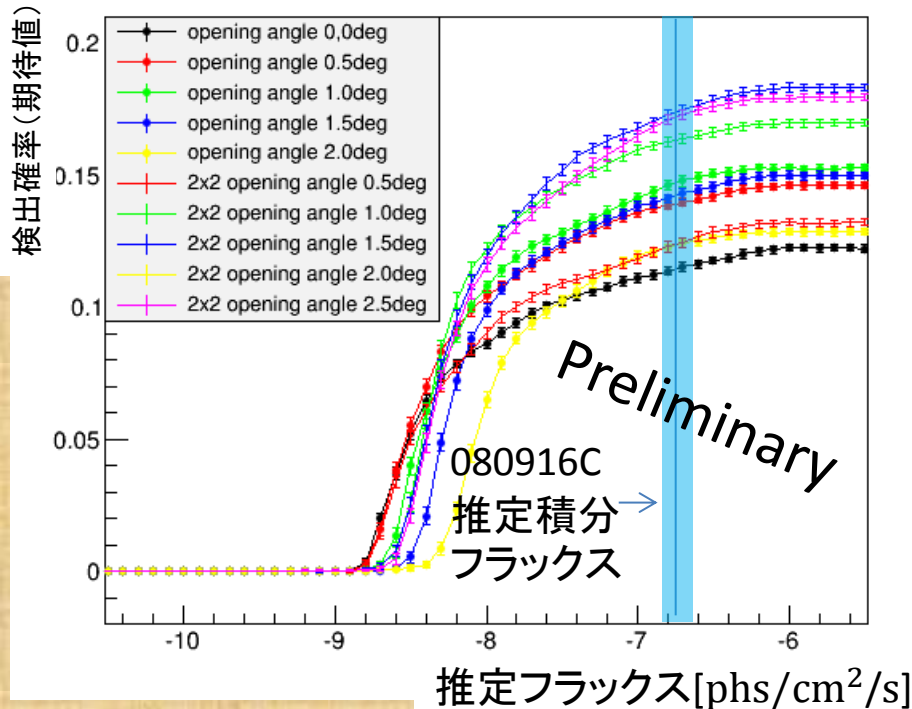
- T : GBM T95 – GBM T05 (実際の観測では追尾するまでの時間ロスがあるがここでは考慮しない)
- Flux : 継続時間 T の時間幅の中でGBM-LAT joint fitしたスペクトルをCTA領域まで外挿
- σ : Fermi GCN log中、GBM Flight positionの”GRB_ERROR”の値を使用

080916C [z=20deg] の結果

前学会講演での結果

開き角0.0deg の検出確率を
1にしたときの相対確率

080916C [z = 20deg]

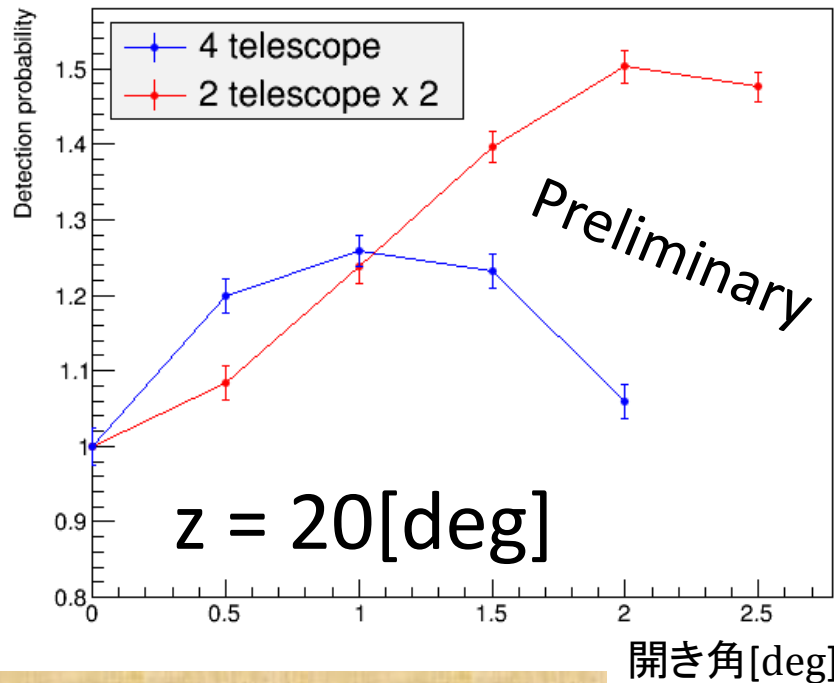


※青縦線:CTA領域のGRB推定積分フラックス

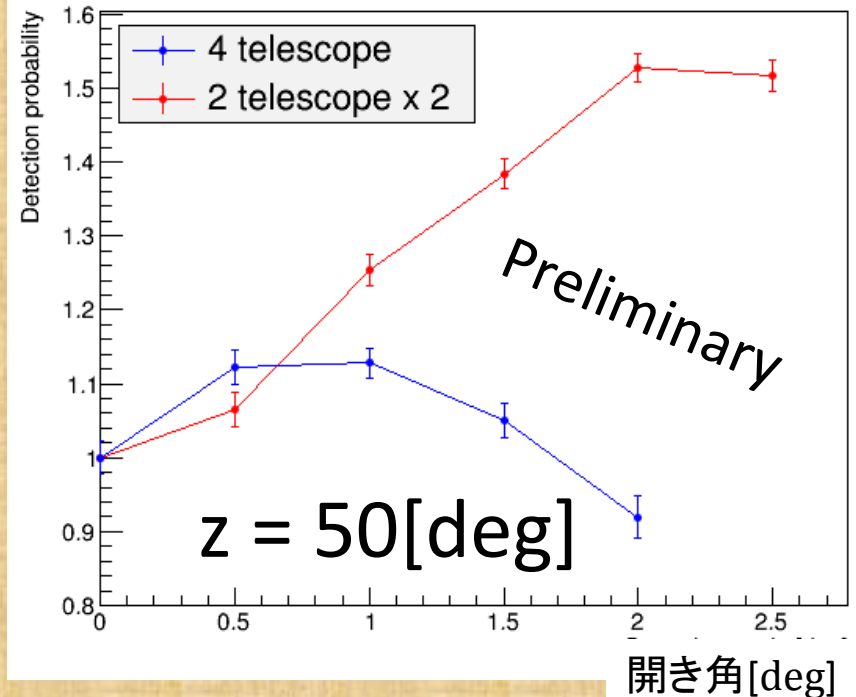
080916Cの場合、2台x2型の開き角2.0deg付近で相対検出確率が最も高くなる

080916Cの相対検出確率

開き角0.0degの検出確率を
1にしたときの相対確率



開き角0.0degの検出確率を
1にしたときの相対確率

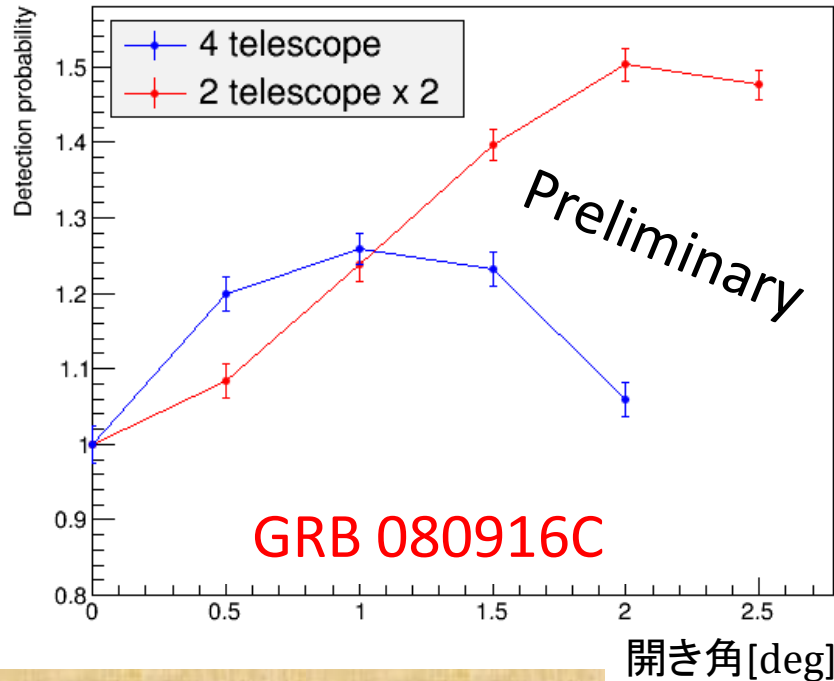


天頂角50degのデータにおいても、天頂角20degのデータと同様に推定検出確率を求め、相対検出確率を算出した。

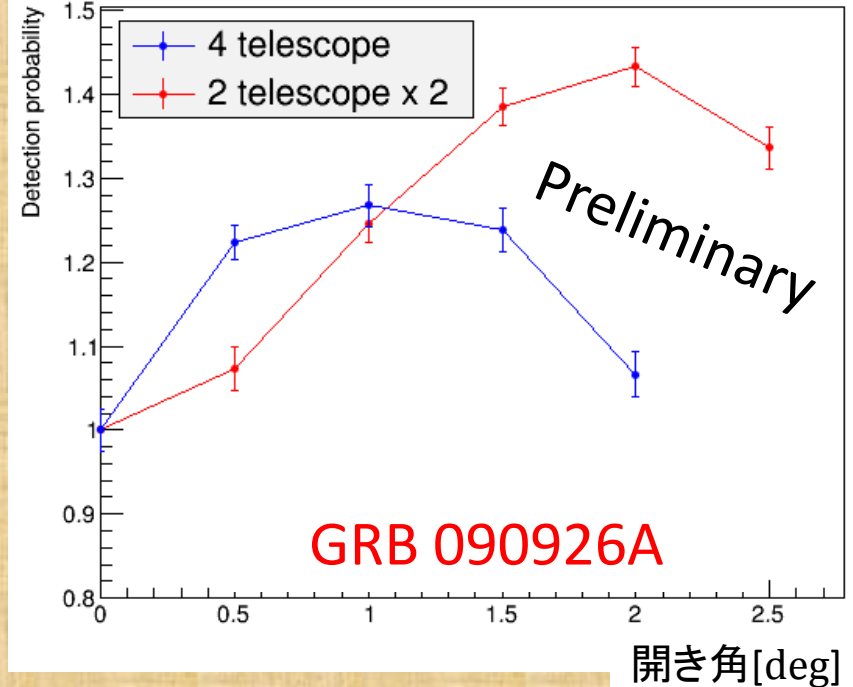
- 4台逸らし型は天頂角を20degから50degにしたとき、相対検出確率が落ちる
- 2台x2はどちらの天頂角も開き角2.0deg付近で相対検出確率が最も高くなる

2天体の相対検出確率[z=20deg]

開き角0.0deg の検出確率を
1にしたときの相対確率



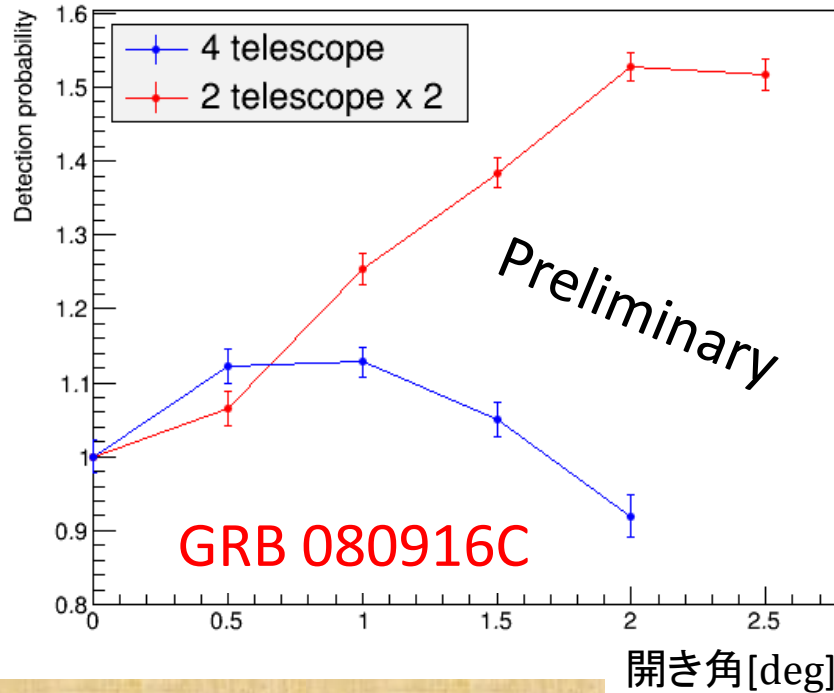
開き角0.0deg の検出確率を
1にしたときの相対確率



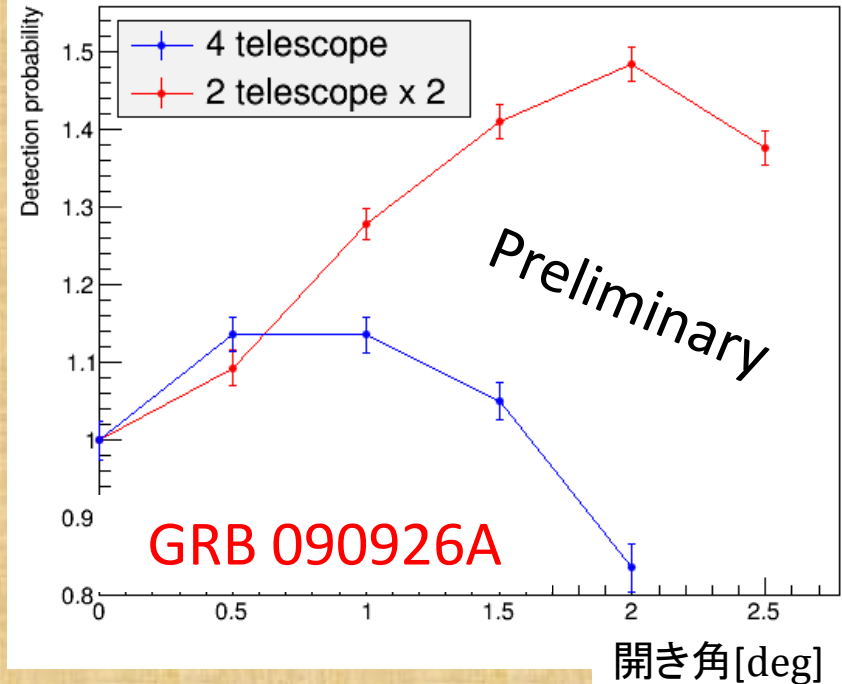
相対検出確率の傾向は似ており、2天体とも2台x2の開き角
2.0deg付近で最も大きくなる

2天体の相対検出確率[z=50deg]

開き角0.0degの検出確率を
1にしたときの相対確率

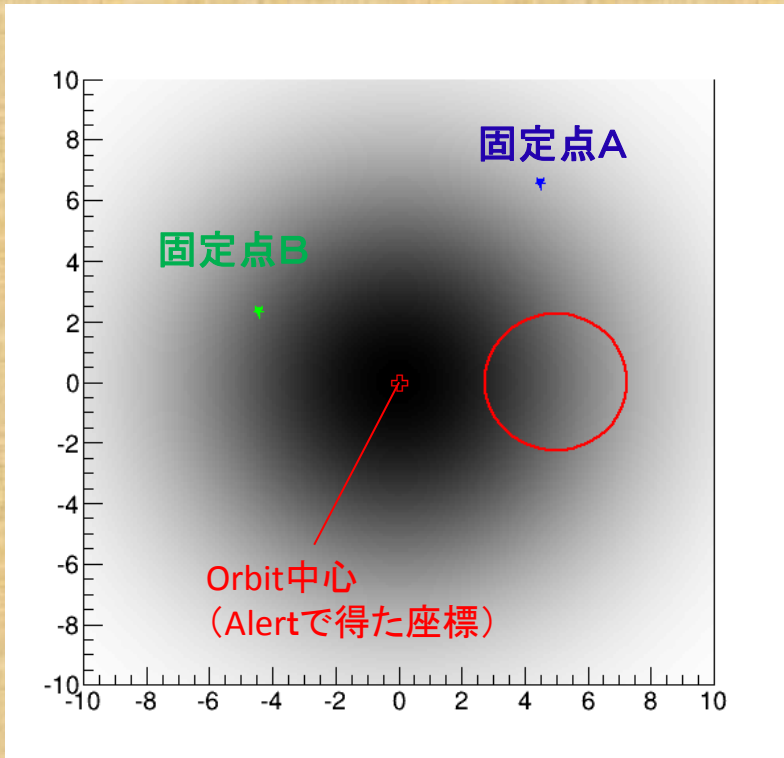


開き角0.0degの検出確率を
1にしたときの相対確率



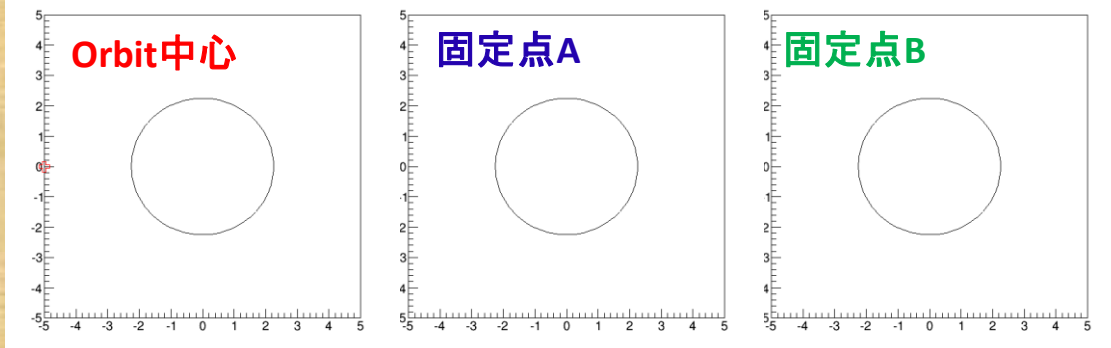
相対検出確率の傾向は似ており、2天体とも2台x2の開き角
2.0deg付近で最も大きくなる

Scan mode (orbit mode)



- 望遠鏡視野は4台同一にとるが、追尾位置を変化させて広い領域を観測するモード
- 追尾位置の軌跡はさまざまなパターンが考えられるが、ここでは単純な円周回軌道を考える
- 周回の半径(r_{orbit})と周回速度のパラメータの自由度がある

望遠鏡視野に対する天球上の固定点の動き

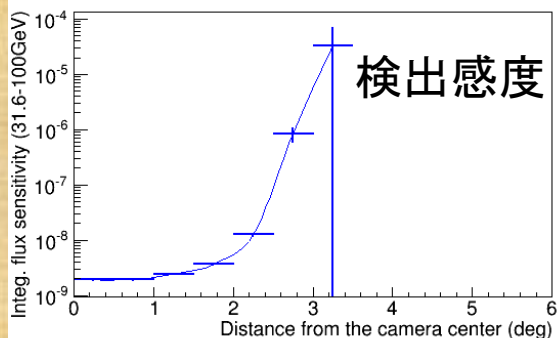
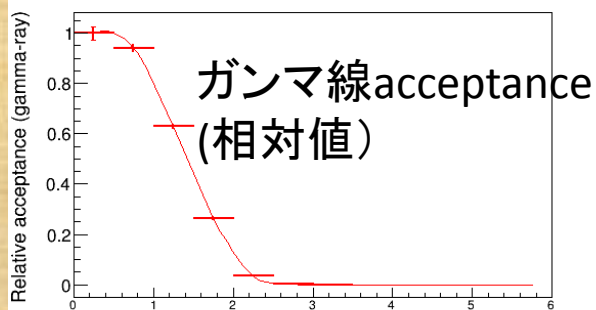


- ガンマ線源に対する検出感度は望遠鏡焦点面検出器(カメラ)の中心からの距離に依存する

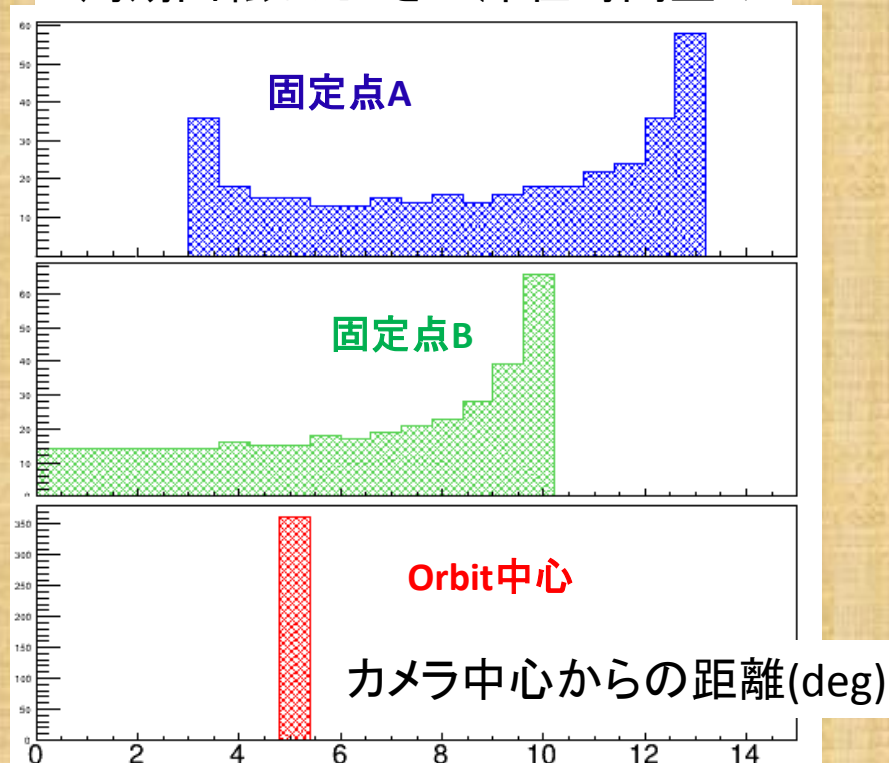
Orbit modeの感度計算

- ◆ 4台同視野のときはガンマ線源検出感度の分布はほぼ軸対象であり、中心からの距離が大きくなるとacceptanceが下落し感度は悪化する
- ◆ ガンマ線acceptance,とbackground rateをカメラ中心からの距離に対する関数として求め、任意の時間幅の中で望遠鏡が回ったときの距離の分布で重みづけして平均化した感度を求め直す
- ◆ 今回は簡単な近似として**1回転した場合の分布を計算に使用した**

γ -線 acceptance と検出感度のカメラ中心からの距離への依存(開き角0.0deg)

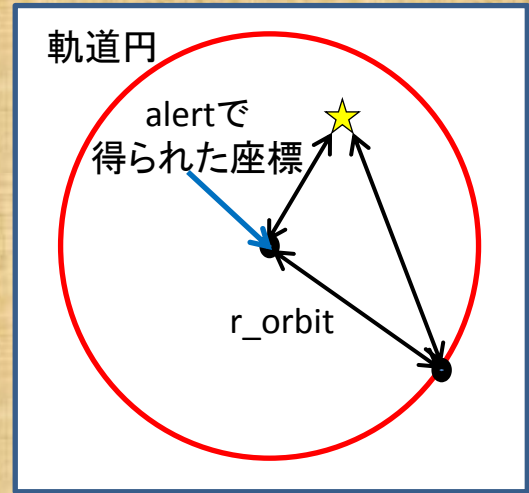
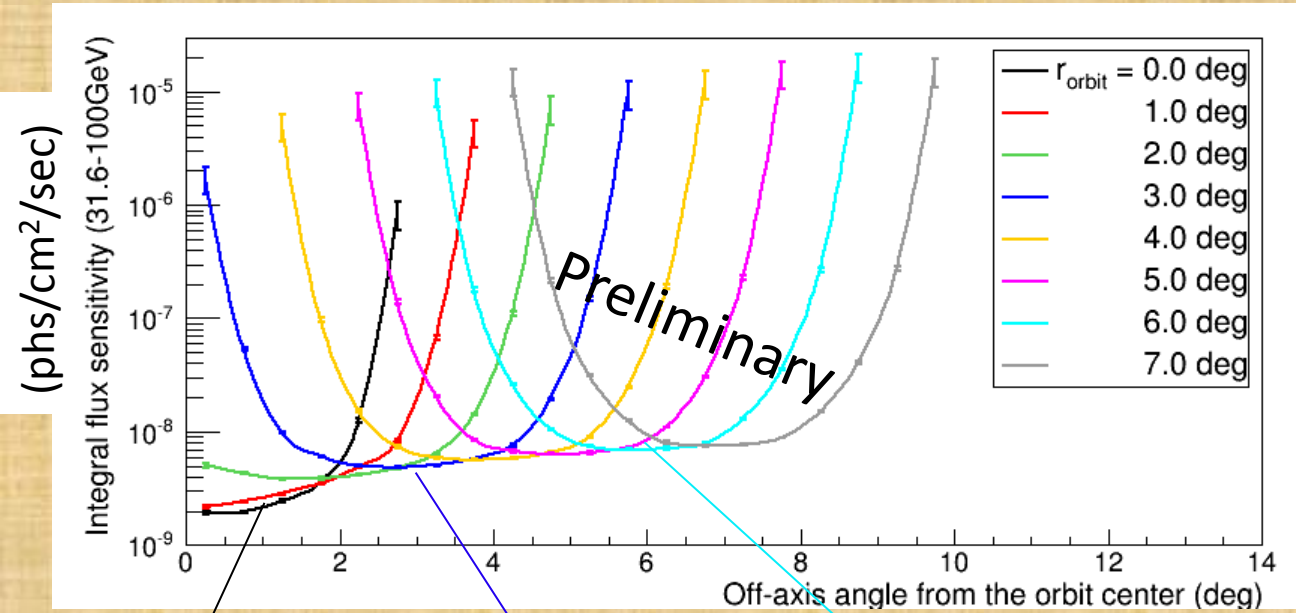


1周期回転したときの滞在時間重み

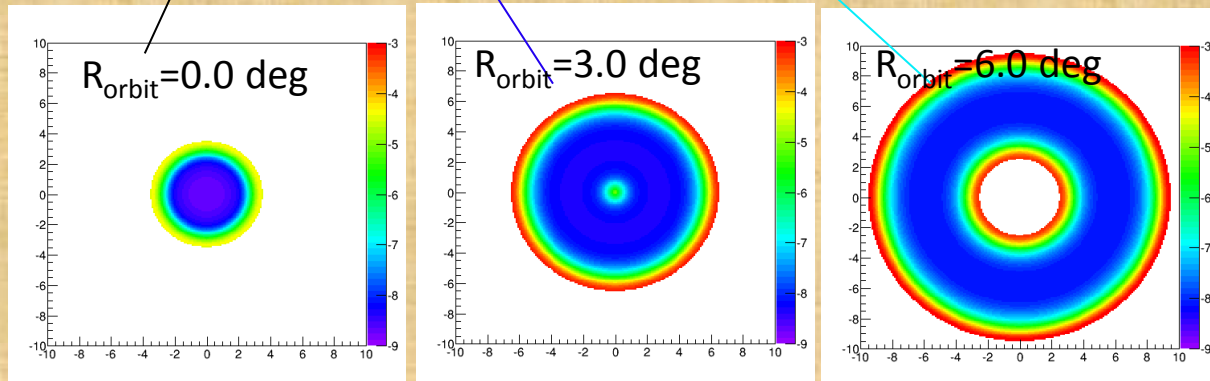


Orbit平均の感度

t = 100秒で1周期回り切った場合のフラックス感度(31.6 - 100GeV)



➤ 点源が軌道周回上に存在しても、 r_{orbit} が大きくなると位相角 ϕ の違いにより視野から外れる時間帯が長くなるため、感度の底値はゆるやかに($\sim\sqrt{r_{orbit}}$)で悪くなってゆく



赤:感度が悪い 青:感度が良い

➤ 検出確率の換算は一定感度を満たす領域でGRB存在位置確率を積分することで得られる

まとめ

- 前学会講演から大天頂角(天頂角50deg)のデータを加え、divergent pointing modeの評価を行った
- 4台逸らし型は天頂角を大きくすると、相対検出確率が落ちる
- 2台x2型は天頂角・天体を変えても、開き角2.0deg付近で相対検出確率が最も大きくなった
- 今後GRBのサンプル数を増やし、推定検出確率の傾向を見る
- さらに、今後の展望として、scanning mode (orbit mode) の検出確率を求めdivergent pointing modeの有効性と比較する。