

# CTA 報告33: CTA モンテカルロシミュレーション

榊直人, 大石理子<sup>A</sup>, 櫛田淳子<sup>B</sup>, 小谷一仁<sup>B</sup>, 斎藤雄太郎<sup>B</sup>,  
中森健之<sup>C</sup>, 西嶋恭司<sup>B</sup>, 原敏<sup>D</sup>, 山本常夏<sup>E</sup>, 吉越貴紀<sup>A</sup>,  
他 CTA-Japan Consortium

青学大理工, 東大宇宙線研<sup>A</sup>, 東海大理<sup>B</sup>, 早大理工<sup>C</sup>, 山梨学大<sup>D</sup>,  
甲南大理工<sup>E</sup>

# CTA望遠鏡

	LST	MST	SST
口径	23m	12m	6.7m
反射鏡	放物面	Davies-Cotton	Davies-Cotton
焦点距離	31.2 m	15.6 m	11.2 m
視野(直径)	5°	8°	10°
画素(直径)	0.09°	0.18°	0.25°



LST

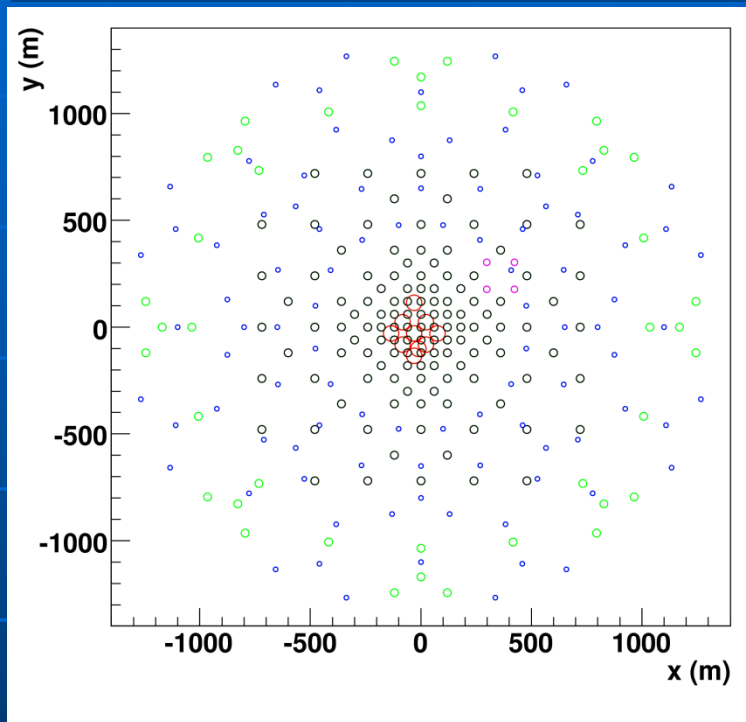
MST

SST

※現在の標準仕様  
LST,MSTはdual-mirror  
opticsも検討されている

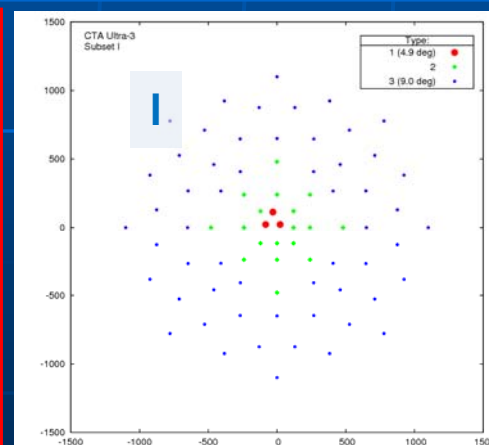
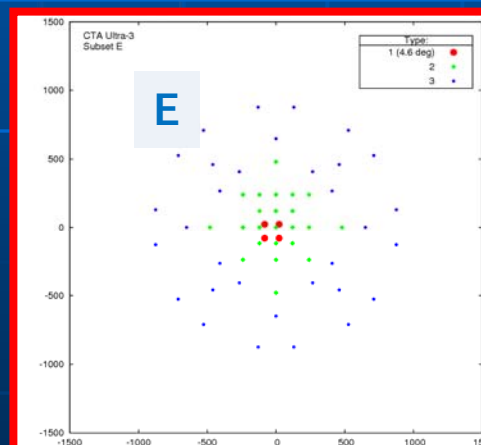
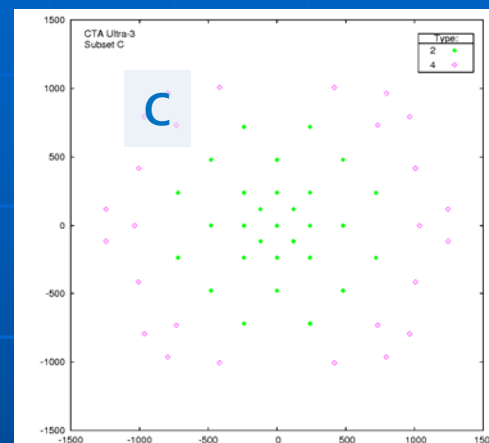
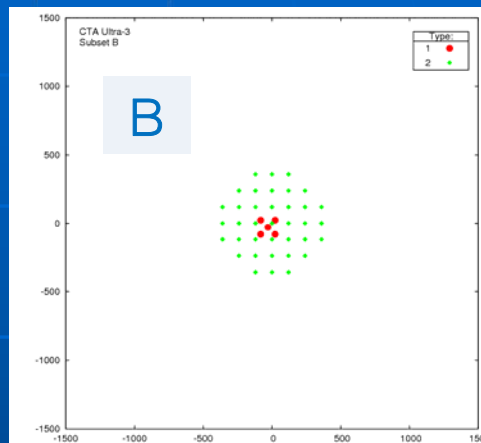
# 望遠鏡配置の検討

## 全ての候補アレイの重ね合わせ



MCの空気シャワーシミュレーション部分では全てのアレイ候補の望遠鏡位置を重ね合わせたものが使用され、後段の解析でそれぞれのアレイ候補に属する望遠鏡のデータを取り出す

## 有力候補として挙げられたアレイ構成

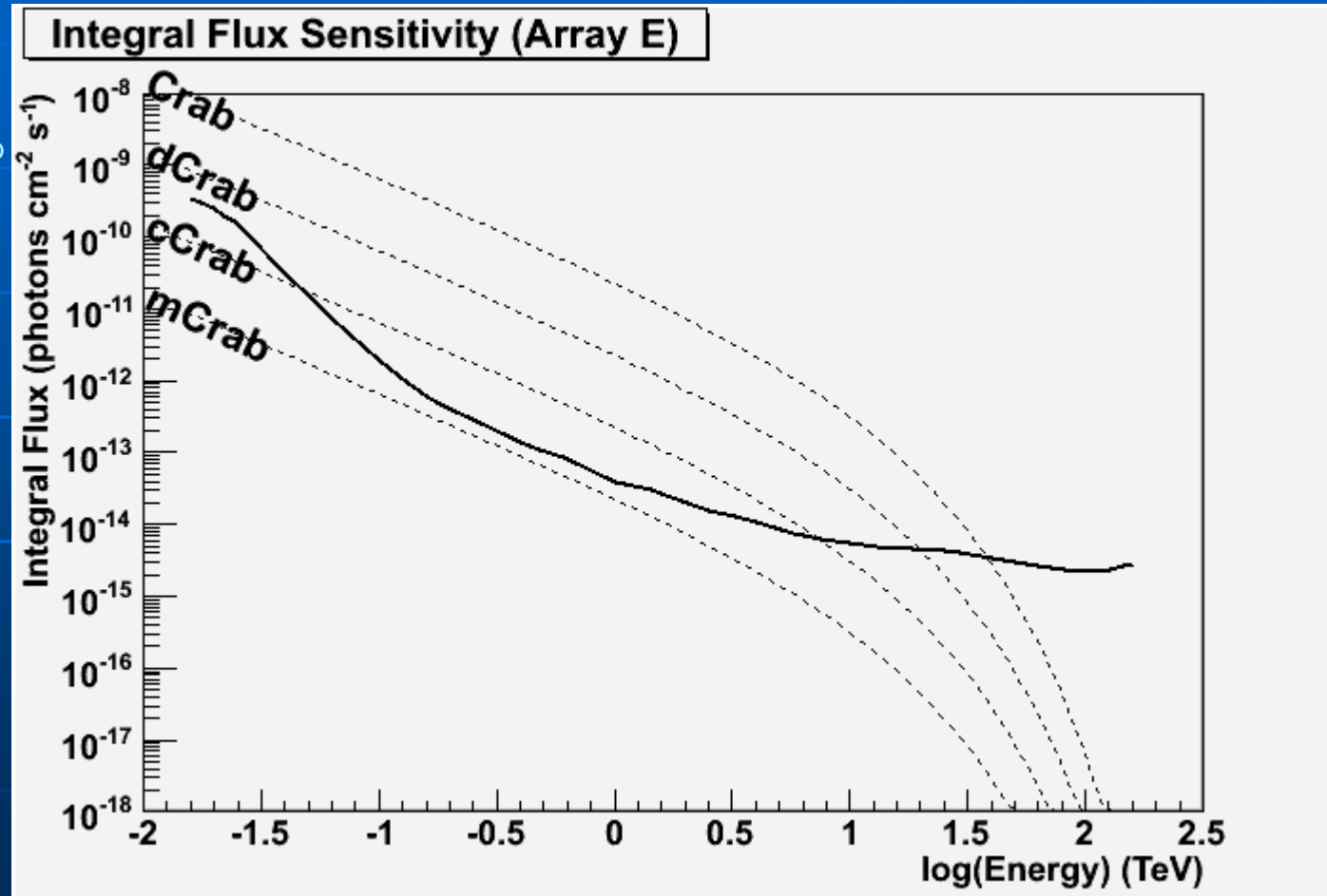


色の違いは望遠鏡の口径の違いを表す

# Array Eの感度曲線

T=50 hours, zenith=20°

- Significance  $> 5\sigma$ ,
- $N_\gamma > 10$ ,
- $N_\gamma / N_{BG} > 0.05$



MCによる基本的な性能評価ができています

# CTA MC WPの活動

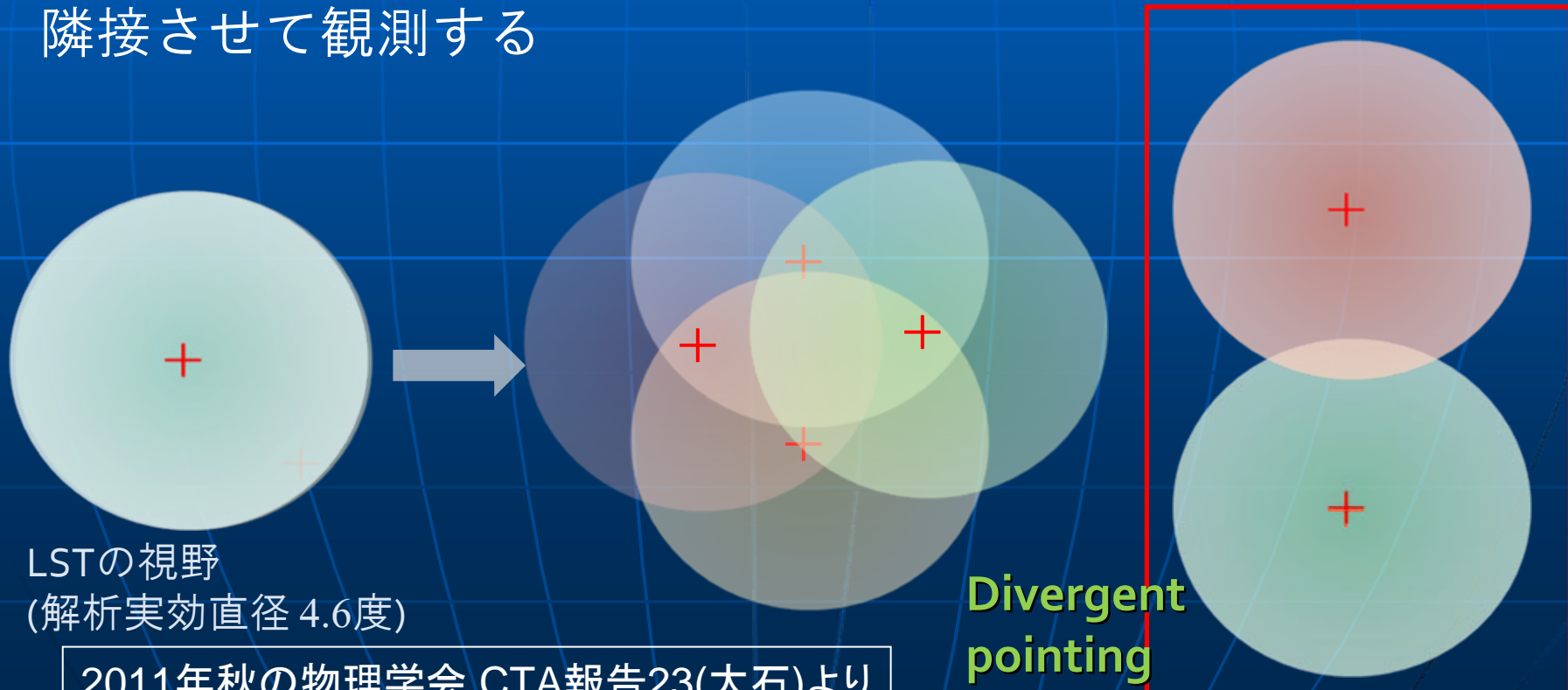
- 国際的にさらに詳細な評価へ
  - 詳細設計の反映
  - トリガー条件、解析条件の最適化
  - 様々な観測条件に対するMCデータの生成
  - etc.

## 日本グループの活動

- LST: 広視野観測モード(divergent pointing mode)に対する感度の推定 (斎藤, 小谷, 榊)
- SST: チェレンコフ光子の到来時刻勾配(Time Gradient)を利用したシャワー再構築方法の導入 (大石, 吉越)

# LST: divergent pointing モード

- ガンマ線バーストのフォローアップ観測（FermiのGBMはfluenceの低いものでは10度近い検出位置不定性がある）に対応するため、LSTで広い視野を確保することを目的として考えられたモード
- 具体的には4台のLSTの追尾位置を各々少しずつずらして視野を稼ぐ・望遠鏡2台を1組としてそれぞれの視野を隣接させて観測する



# 評価の手順

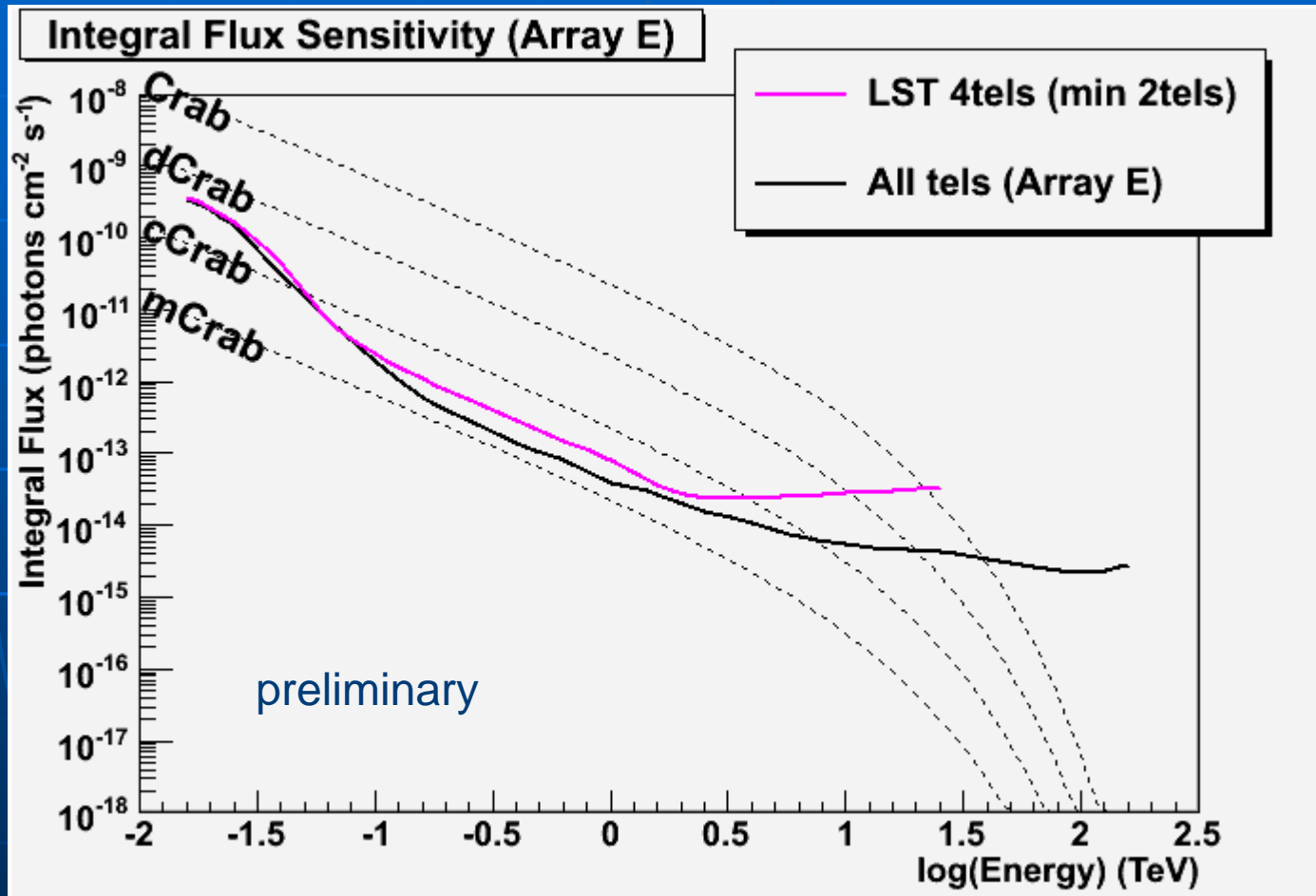
## 現存するMCデータセット

- CORSIKA(ASチェレンコフ生成)→望遠鏡sim  
→基本的な解析(イメージパラメーター計算など)
- Point source data / diffuse source data  
天頂角20度、50度

## 評価手順

1. LSTのみを使用したときのPoint source data  
によるon-axis感度の導出
2. Diffuse source dataによるoff-axis感度の導出
3. ( $\gamma$ 線バースト検出頻度の評価)

# LSTのon-axis感度曲線

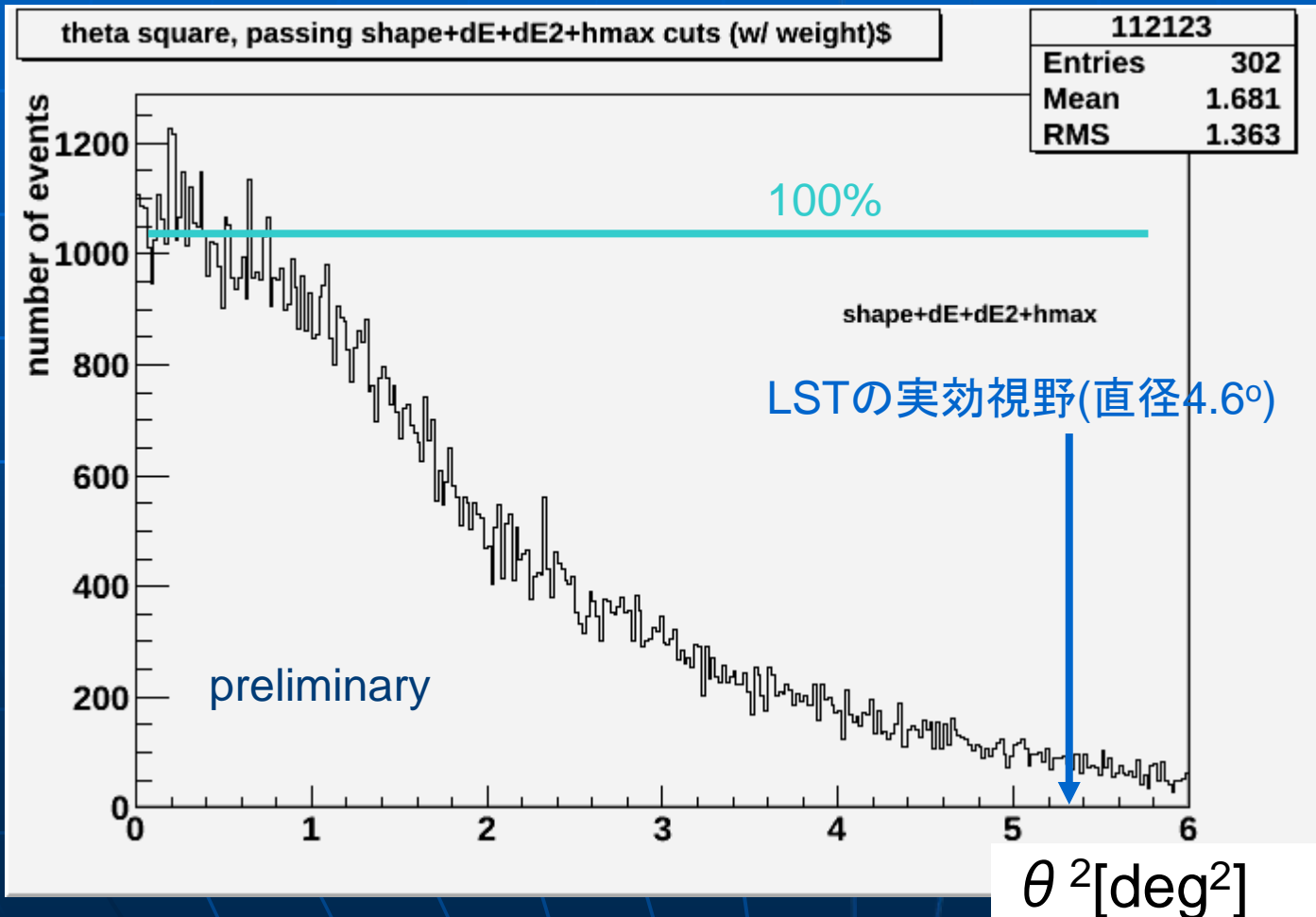


LST4台(2台以上トリガー)



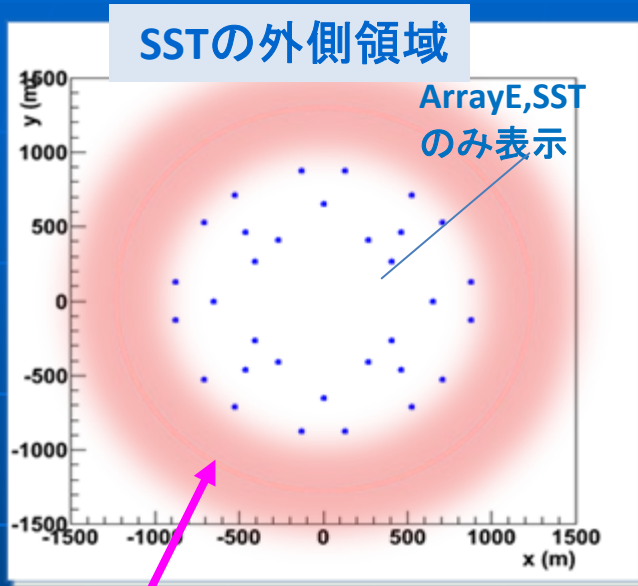
# 視野内の相対アクセプタンス

半径10度の範囲で一様に振ったDiffuse source data使用

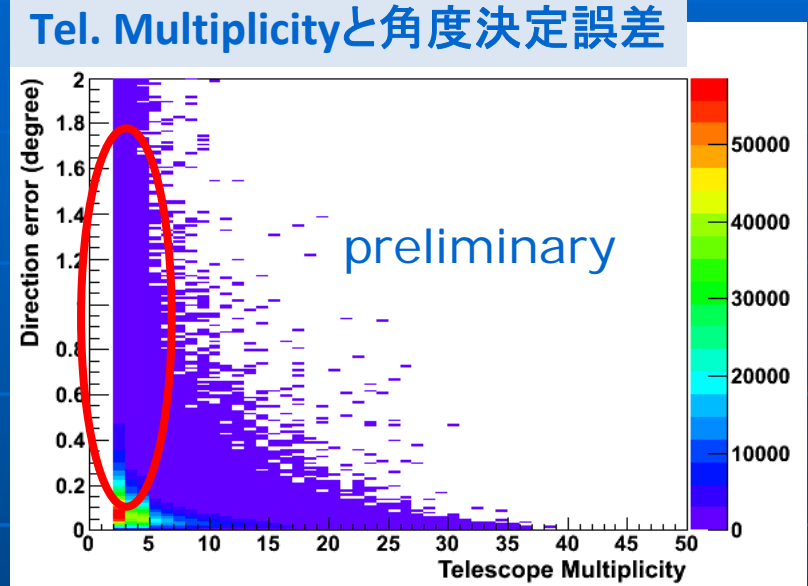


◇Array type E  
LST:4  
Minimum tels:2  
power law:-2.57  
zenith 20 deg.

# SSTに関するStudy: Time gradient 解析導入の意義



$E > 10\text{TeV}$ ではCherenkov light plateauの外側でも十分な光量



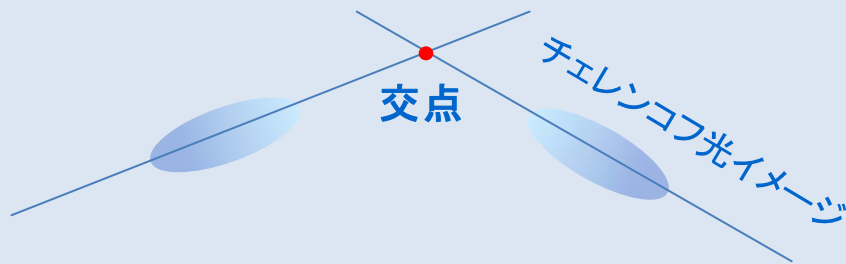
{ core distance大  
low telescope multiplicity  
⇒ 角度・エネルギー分解能の低下

## Cherenkov光子のTime gradient情報の利用

light plateauの外側のイベントに対しても  
角度・エネルギー分解能の向上 } 検討  
有効検出面積の拡大

# 確率密度分布を利用した到来方向再構築手法

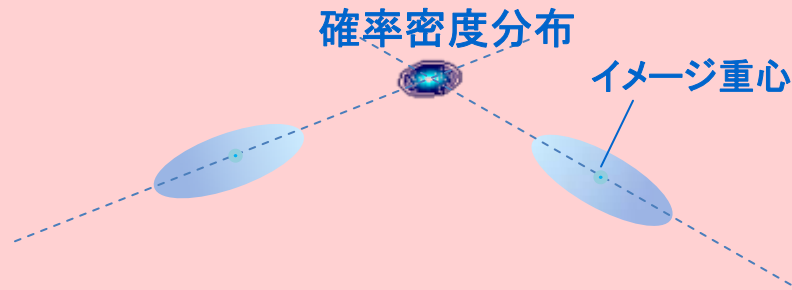
## 長軸交点法(現在の標準解析)



楕円状イメージの長軸の交点=到来方向  
イメージの数は最低2つ必要。

Telescope multiplicityが低く、  
イメージ長軸のなす角度が小さい  
(shower coreが遠方or望遠鏡間)  
イベントの角度構築精度が悪い。

## 確率密度関数(PDF)法



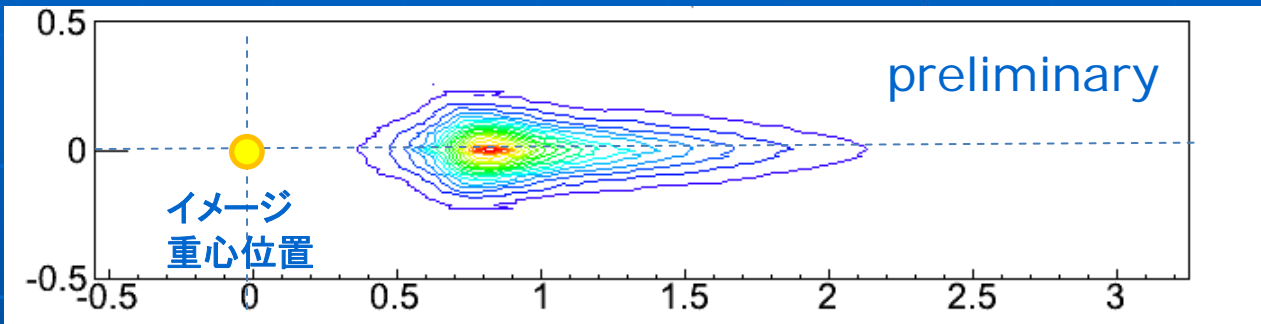
- イメージの重心位置とガンマ線源の位置の関係をMonte Carlo sim.で学習させておき、イベント毎にガンマ線源位置の確率密度分布を計算。
- 確率密度のピーク位置=到来方向。
- 原理的にイメージの数が1台から導入可能。

□ 確率密度関数(PDF)法を導入することでアレイの外縁領域のイベントの角度分解能を高める

# ガンマ線源-イメージ重心距離の Time Gradient 依存性

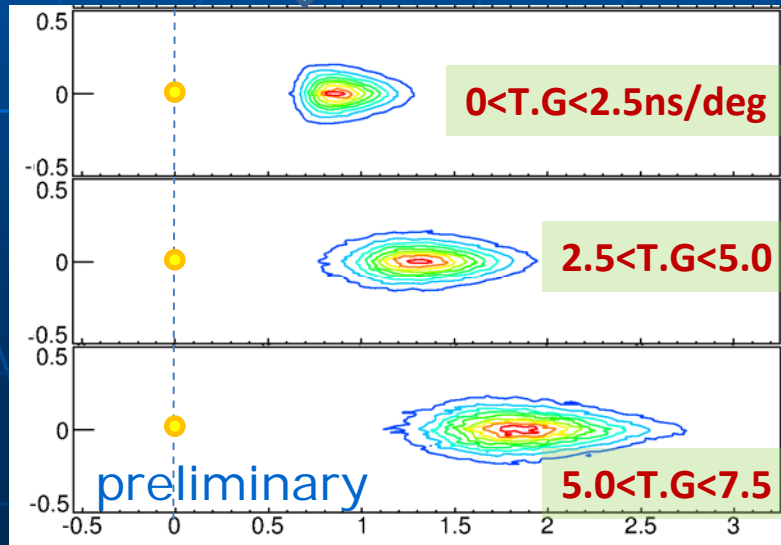
MCデータを使って求めたガンマ線源位置の確率密度分布 (Array E all SST tels)

イメージ短軸方向に  
測った距離(degree)



イメージ長軸方向に測った距離(degree)

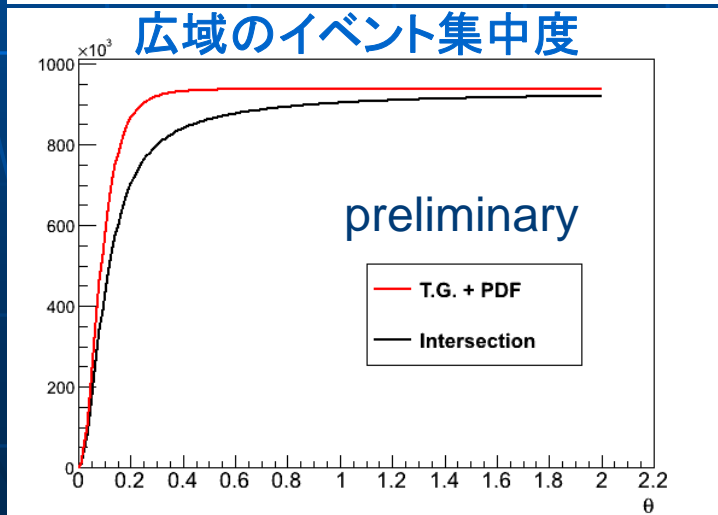
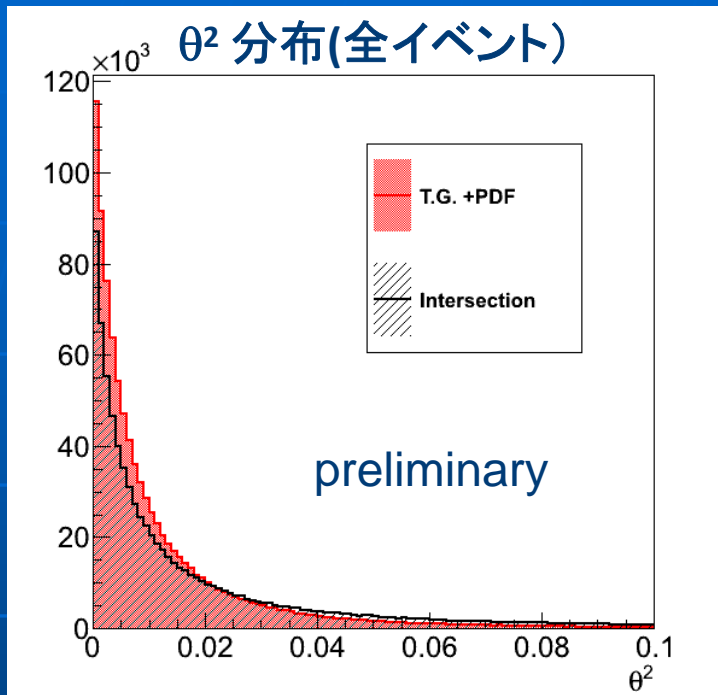
イメージ短軸方向に  
測った距離(degree)



イメージ長軸方向に測った距離(degree)

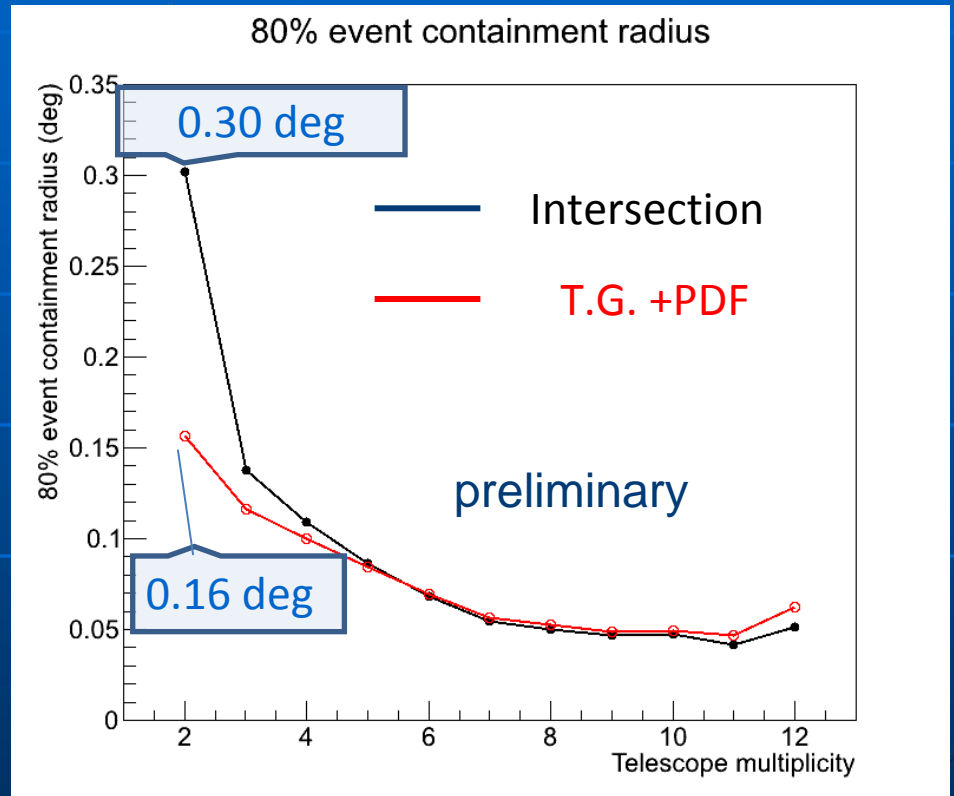
- ◆ チェレンコフ光イメージとガンマ線源との間の距離(DISTANCE)は、チェレンコフ光子のTime Gradient(T.G.)と相関がある
- ◆ このことを利用して、確率密度分布の学習時に**T.G.依存性を取り込む**ことでPDF法での到来方向の再構築精度を向上させることができる

# 二つの手法のPSF比較 (SST Array-E)



## イベント80%含有半径\*

80% event containment radius



$\theta$ : 再構築された到来方向とガンマ線源方向との角度距離

# まとめと今後の方針

- $\gamma$  線バーストfollow-up観測のための広視野観測モード (divergent pointing mode)
  - On-axis感度が求まり、Off-axis感度評価を開始した。
  - (今後) off-axis感度曲線の導出、off-axis感度を考慮した $\gamma$ 線バースト観測頻度を求める。
- チェレンコフ光子の到来時刻勾配 (Time Gradient) + 確率密度 (PDF) 法
  - 角度分解能(とShower core位置決定精度)を改善できた。
  - 特にtelescope multiplicityが低い領域(shower coreがarrayの外縁に落ちるイベント、低エネルギーのイベント)に対して有効である。
  - (今後)アレイの望遠鏡間隔を広げることで、高エネルギー領域の有効面積を拡大させることが可能かどうかを検討する。