

CTA報告 23:

CTA モンテカルロシミュレーション

大石理子, 櫛田淳子^A, 小谷一仁^A, 榊直人^B, 中森健之^C,
西嶋恭司^A, 原敏^D, 山本常夏^E, 吉越貴紀
他 CTA-Japan Consortium

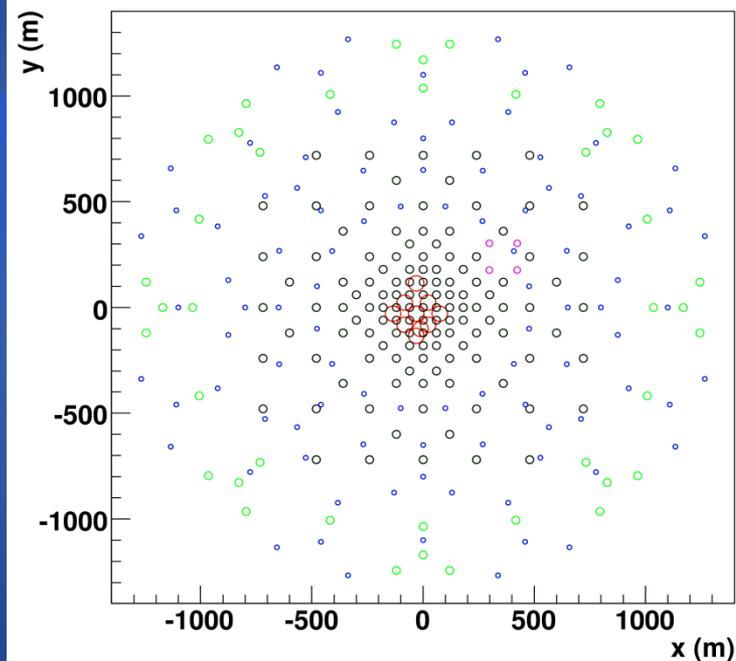
東大宇宙線研, 東海大理^A, 青学大理工^B, 早大理工^C,
山梨学院大^D, 甲南大理工^E

目次

- エネルギーごとの解析パラメータ調整によるフルアレイ(アレイE)に対する感度曲線の改善
- LST/SSTについてのCTA-Japan WPによる study の進捗状況
 - LST: Divergent pointing 観測モードに対する感度の推定 (小谷, 榊)
 - SST: チェレンコフ光子のTime Gradientを利用したシャワー再構築方法の導入 (大石, 吉越)

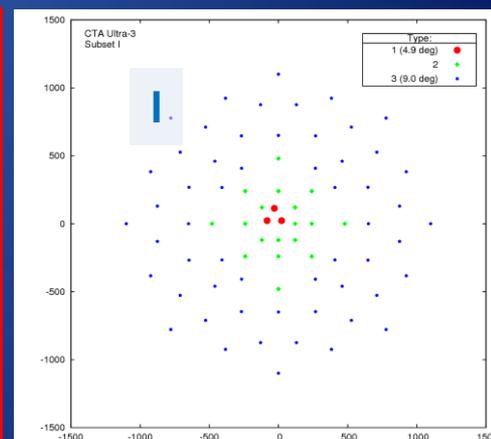
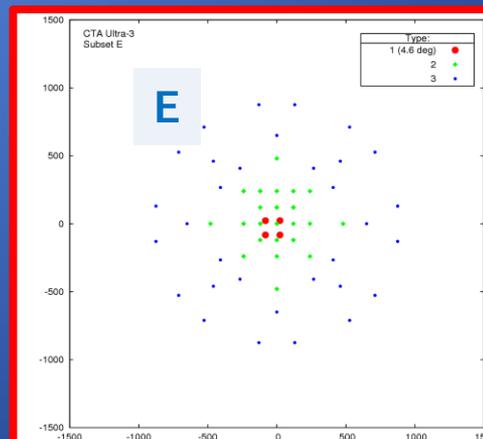
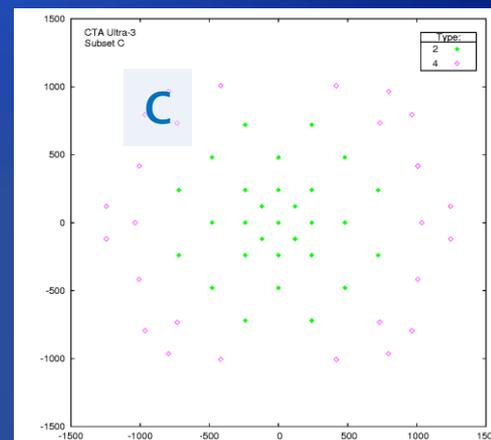
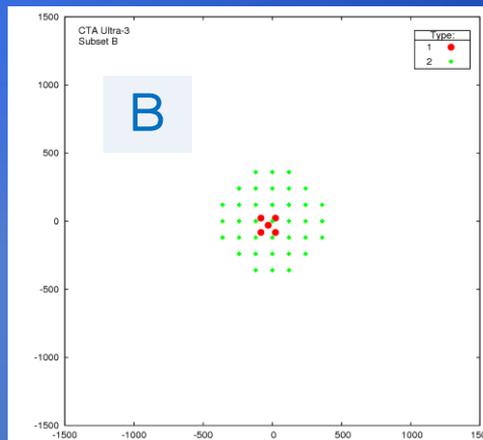
CTAのレイ構成

全ての候補レイの重ね合わせ



- 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レイ構成



色の違いは望遠鏡の口径の違いを表す

望遠鏡種とパラメータ

	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

CTAフルアレイ(E)に対する感度曲線

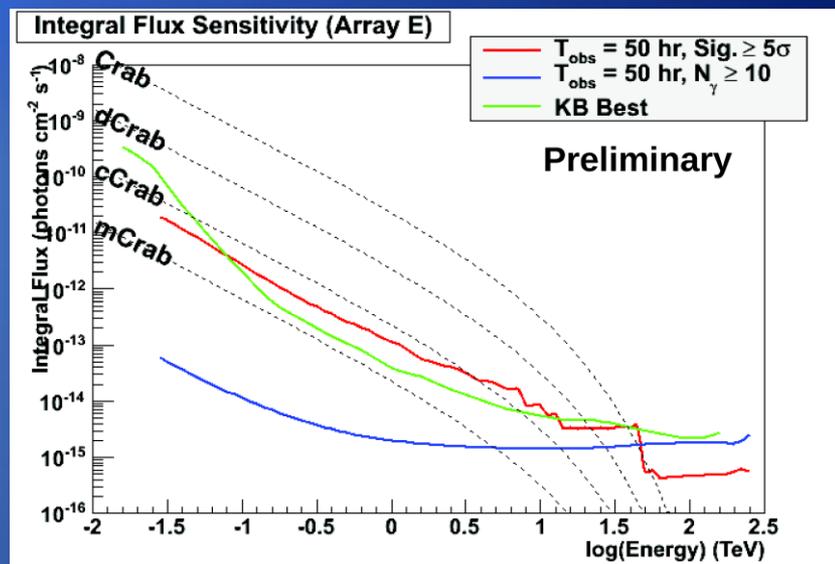
- 前回講演時:ヨーロッパ側で生成されたMCデータ・解析ツールを用いて、特定のアレイパターン(アレイE)に対する感度曲線を試算したが、さらに深い感度を得るために解析パラメータの調整を行う余地があった。

- 現状の計算方法で感度曲線を支配する条件は、

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

の3つがあり、エネルギーによって支配的な要因が変化する。解析条件をエネルギーごとに変化させることで感度曲線の改善を行った。

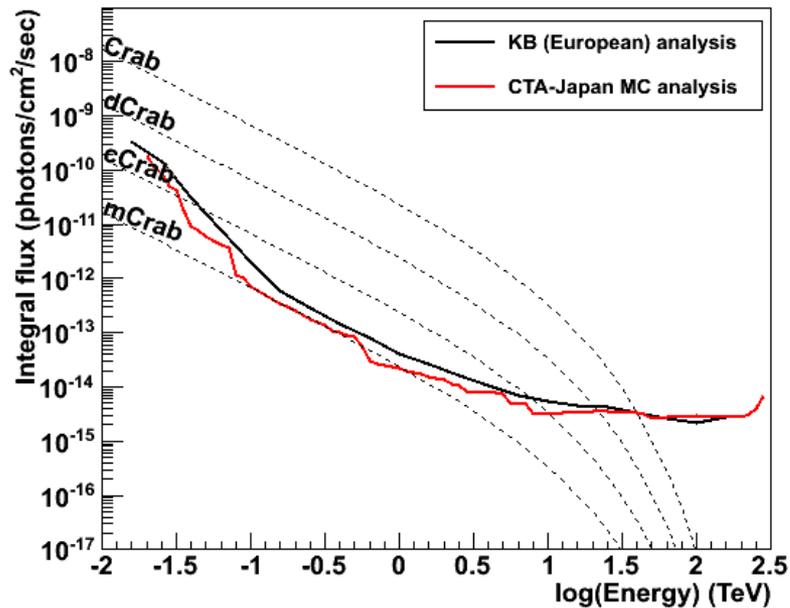
前回講演時の感度曲線



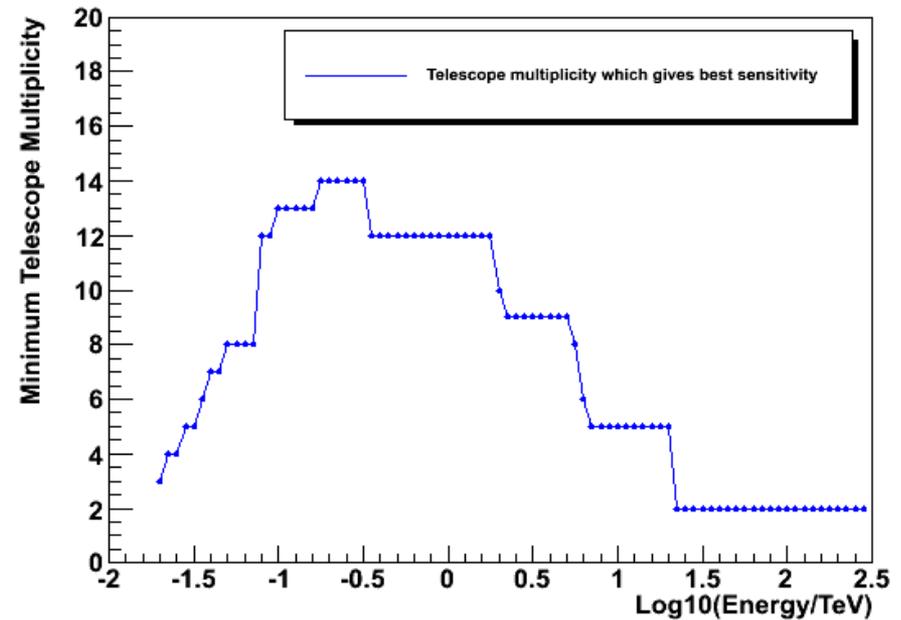
- 天頂角20度
- On-axisの点源
- 観測時間 50時間
に対する計算

フルアレイ感度：エネルギー毎に解析条件を最適化した場合の感度曲線

アレイEに対する感度曲線



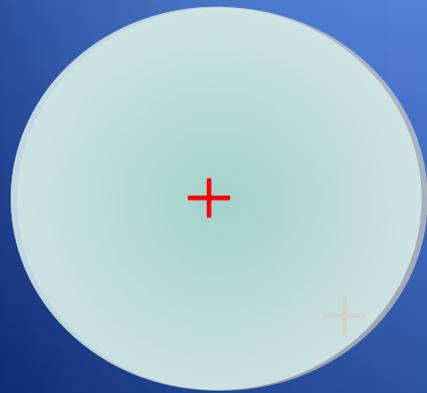
解析パラメータのエネルギー依存性



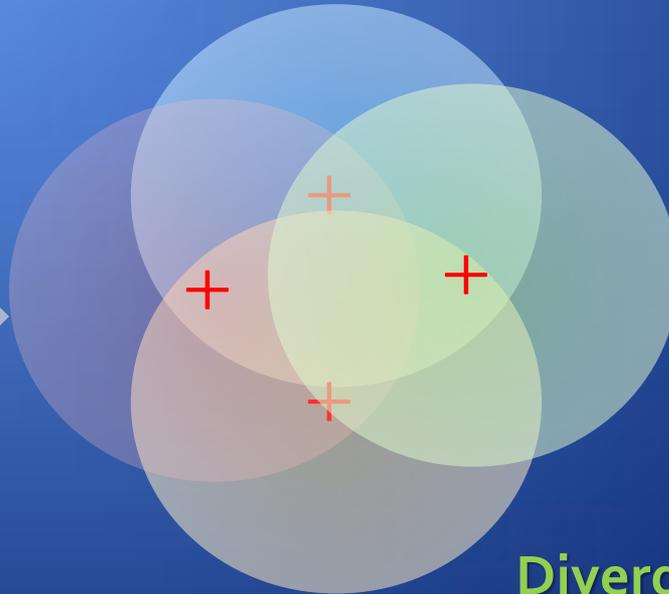
- 多数の解析パラメータの中から、Minimum telescope multiplicity (解析に使用する望遠鏡の最低台数) 1つのみを選んでエネルギー毎に設定値を調整したところ、ヨーロッパ側解析と同等の感度が得られた

LST: Divergent pointing モード

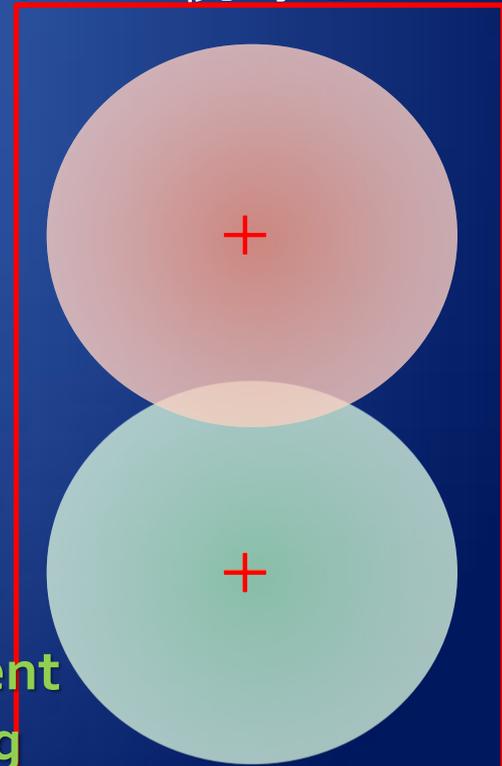
- ガンマ線バーストのフォローアップ観測（FermiのGBMはfluenceの低いものでは10度近い検出位置不定性がある）に対応するため、LSTで広い視野を確保することを目的として考えられたモード
- 具体的には4台のLSTの追尾位置を各々少しずつずらして視野を稼ぐ・望遠鏡2台を1組としてそれぞれの視野を隣接させて観測する



LSTの視野
(解析実効直径 4.6度)

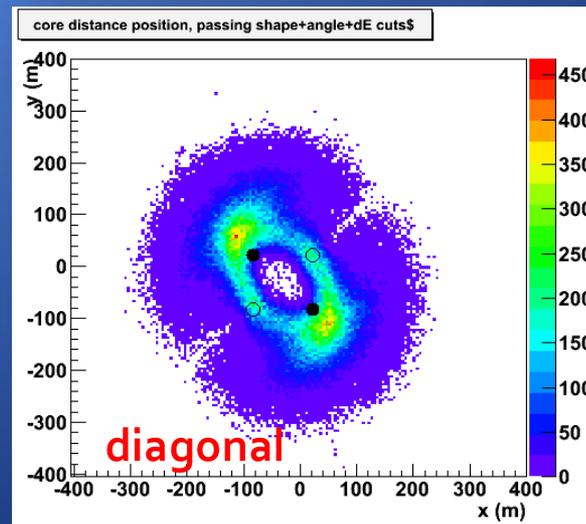
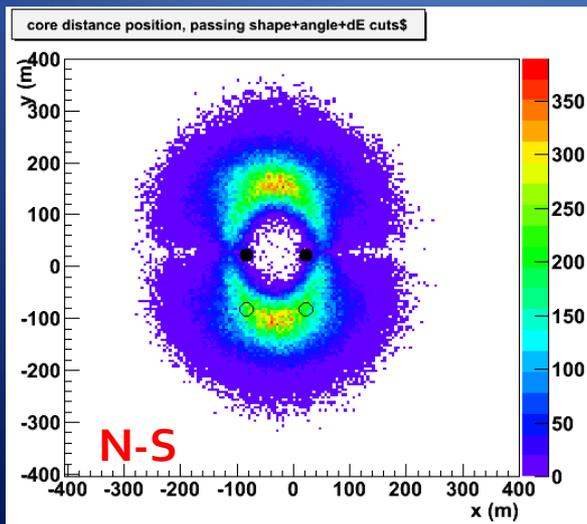
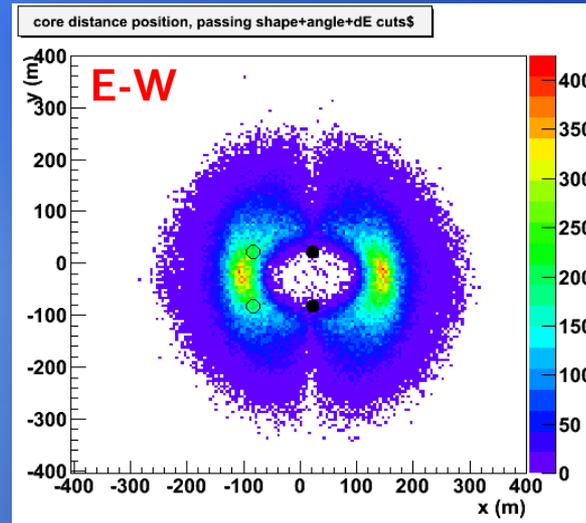
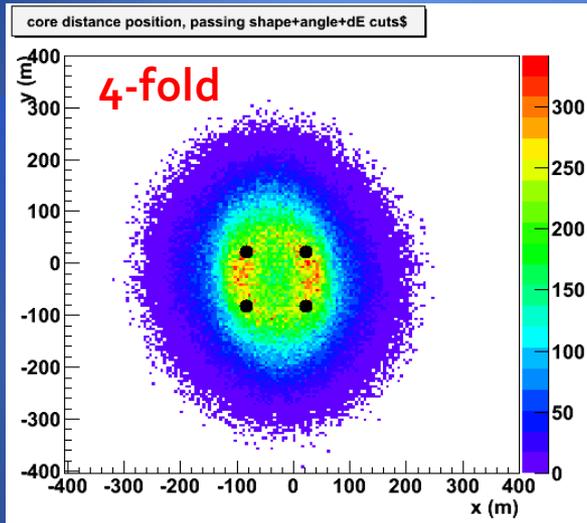


Divergent pointing



LST:2台/4台運用の場合の感度検証

カット後に残ったイベントのコア位置と望遠鏡位置との関係



- LSTのみを使用した場合を検討
- 4台使用時は ANY2の場合も試算中

● 解析に使用した望遠鏡

○ 解析からはずした望遠鏡

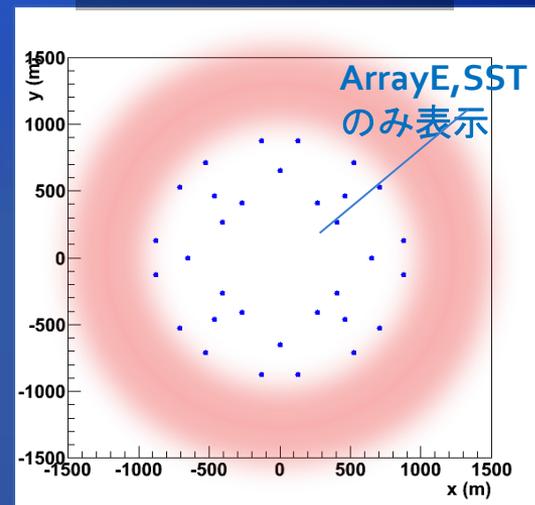
LSTについてのCTA Japan MC WPによるStudyの今後の展望

- 低エネルギー側の感度を最良にする解析パラメータの探索を行い、感度曲線を求める
- 検出感度のoff-axis angleに対する依存性をdiffuse sourceデータを用いて求め、divergent pointingモード導入時のずらし角について検討する
- Divergent pointingモード観測に対応した空気シャワーシミュレーションを行い感度の見積もりを行う

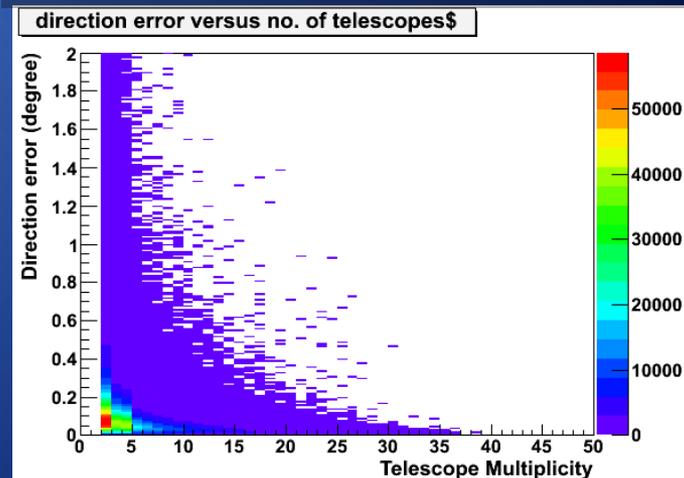
SSTに関するStudy: Time gradient 解析導入の意義

- $E > 10\text{TeV}$ の高エネルギー領域ではCherenkov light plateauの外側領域でもトリガーがかかる程度の光量が見込まれる
- 一方で外側領域のイベントはcore distanceが大きくlow telescope multiplicityであり、現状の解析手法では角度・エネルギー分解能が顕著に低下する
- Cherenkov光子のTime gradient情報を用いた解析手法の導入によって、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低下を緩和し、結果的に有効検出面積を拡大できる可能性があるため、これを検討する

SSTの外側領域

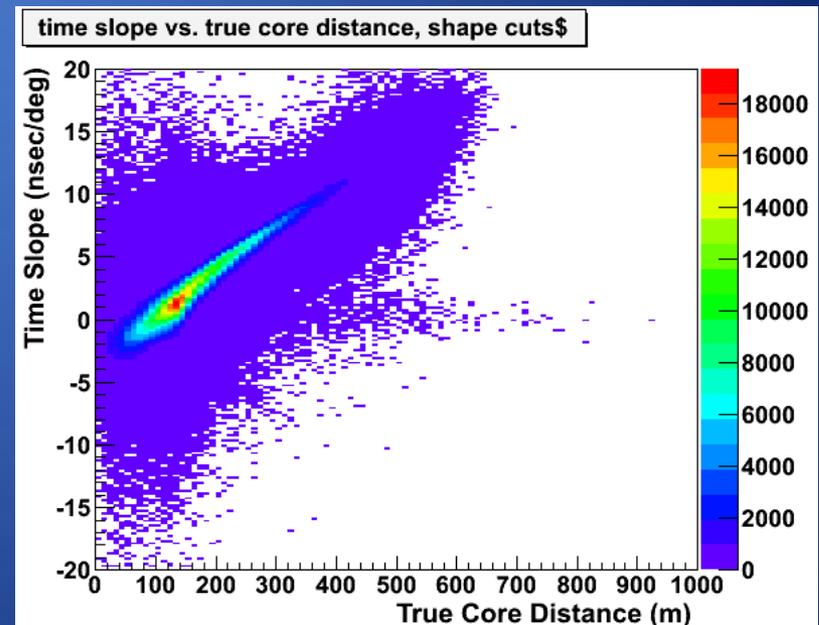
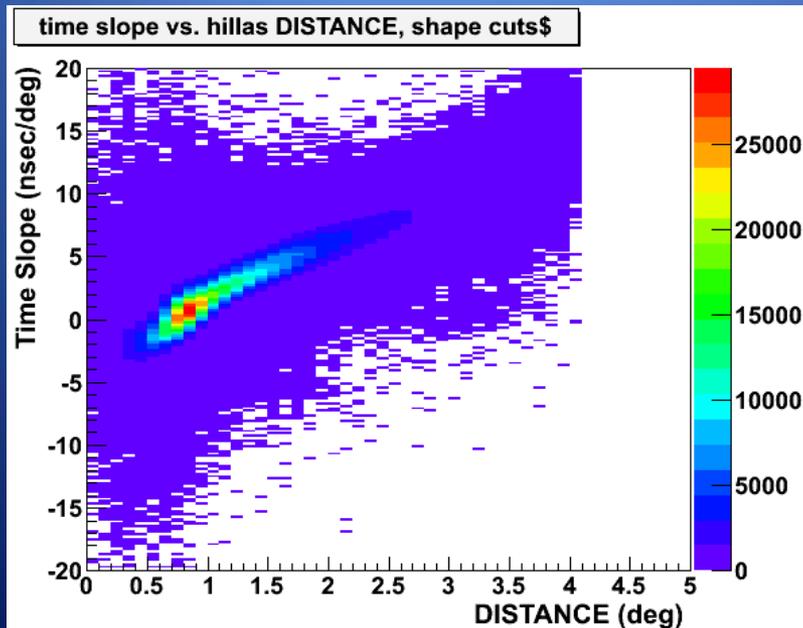


Tel. Multiplicityと角度決定誤差



SST: low tel. multiplicity領域データ解析の方法論

- 間隔がsparseなアレイについてはDISTANCE(ガンマ線源とイメージ重心との距離) Cherenkov光子のTime gradientとの間に良い相関があることが知られている(Stamatescu 2011). 実際にCTAのSSTアレイについて相関を調べたものが下図
- DISTANCE情報を利用した到来方向再構築手法を取り入れる



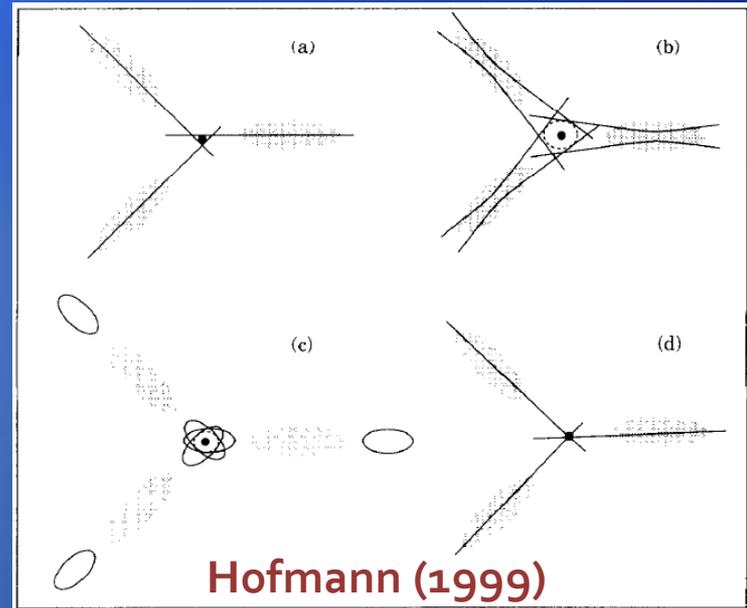
DISTANCEとTime Gradientの相関

Core distanceとTime Gradientの相関

DISTANCE情報を利用した到来方向構築手法

- 楕円長軸交点（現状解析）
楕円イメージの長軸の交点を到来方向と推定する 3つ以上イメージがある場合はそれぞれの交点についてweightをかけて平均を求める

- 確率密度関数(Probability Density Function, PDF)
MCのガンマ線データを使用してイメージ重心位置に対するソース位置の確率密度分布を求めておき、実データに適用してPDFが最大になる点を到来方向と推定する

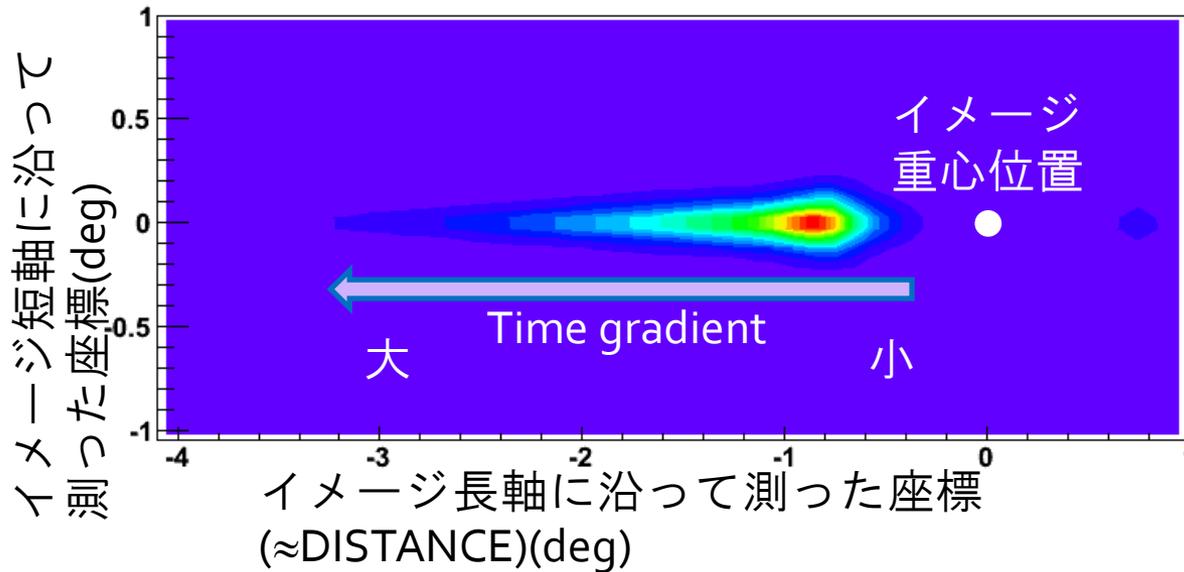


様々なシャワー到来方向再構築方法の説明図

PDFは左下の(C). Telescope multiplicityが低く,シャワーの光軸のなす角度が小さい場合は長軸交点法よりPDF方法の方が精度がよい

SST:到来方向確率密度分布

SSTアレイのイメージ重心位置に対するガンマ線源位置の確率密度分布



- 確率密度分布はイメージ長軸に沿った方向に広い拡がりを見せるが、Time gradientに対する依存性を利用してデータを補正し、確率密度分布をコンパクトにしてから到来方向決定に使うことが可能。

今後のStudyの展望：

- 現状の解析ツールにPDF再構築法を実装し、low multiplicity / large core distanceイベントに対する角度・エネルギー分解能の改善度を調査する
- 上記の結果をもとに、同じ台数でよりsparseなアレイを組んで有効検出面積をさらに拡大することができるか検証を行う

まとめ

- エネルギー毎に解析パラメータを調整することにより前回学会発表時よりも感度曲線が改善され、ヨーロッパ側解析とほぼ同等の感度を得ている
- 日本MCチームの取り組みとして、
 - LSTについてGRBフォローアップ観測のための広視野観測モードの感度の検討,
 - SSTについてCherenkov light plateauの外側のイベントを拾い有効面積を拡大することを目的としたTime gradientを用いた解析手法の検討を開始した。