

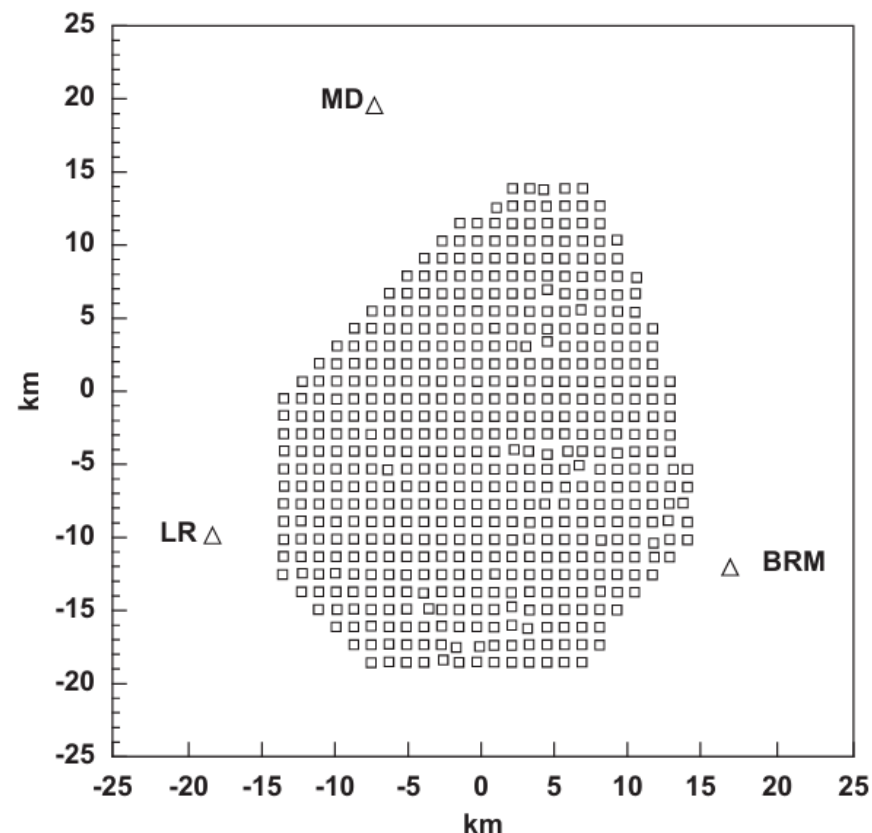
TA実験の エネルギー決定における 系統誤差の評価

大阪公立大学 宇宙線物理学研究室
A21SB024 中川心媛

Telescope Array 実験

- 10^{18} eV 以上の宇宙線をメインに観測する
北半球最大の宇宙線観測施設
- 標高約1400 mの砂漠地帯に設置されている
- 米国ユタ州に位置し、総面積は約700 km²
- FDとSDを用いて観測

宇宙線のエネルギー・到来方向・核種を決定し、
その発生源と加速メカニズムを解明することが目的



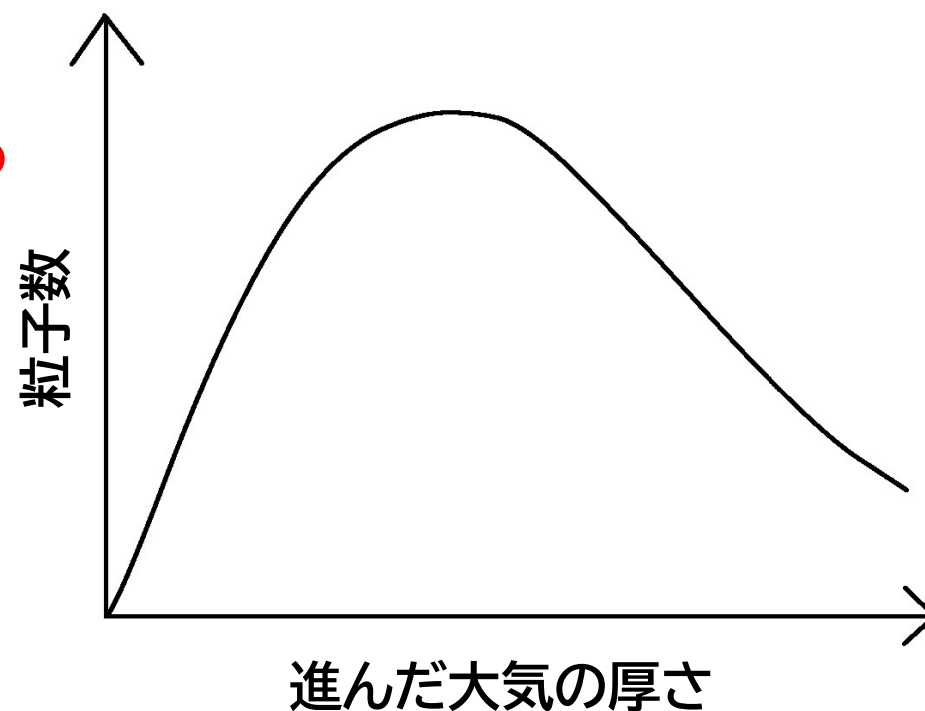
[New air fluorescence detectors employed in the Telescope Array experiment - ScienceDirect](#)

SDのエネルギー決定方法

空気シャワーの**粒子数**は宇宙線のエネルギーに関係している。

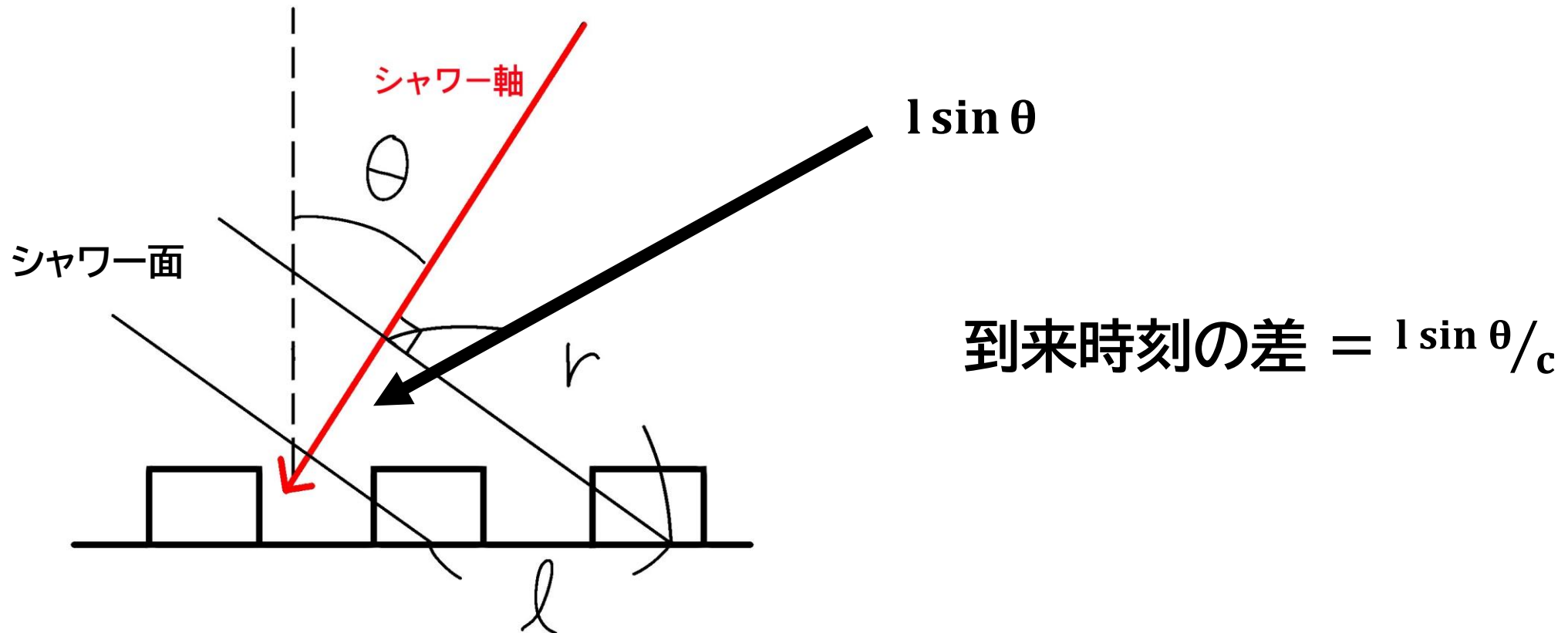
粒子数は進んだ大気の厚さにも関係する

エネルギー決定には天頂角 θ も必要



SDのエネルギー決定方法

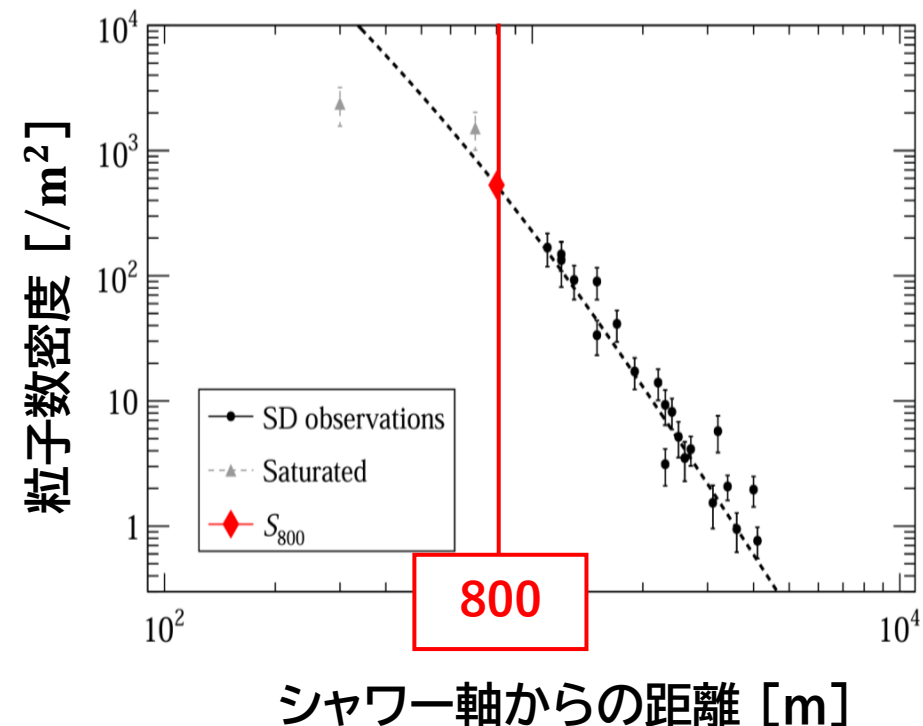
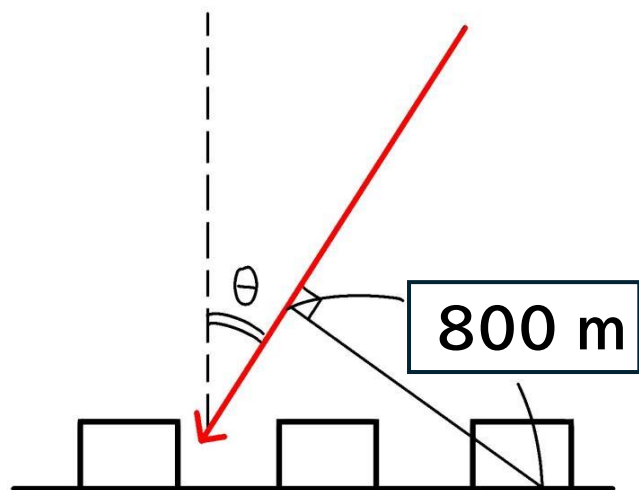
- 到来時刻の差から方位角 φ と天頂角 θ を求める



SDのエネルギー決定方法

- S_{800} と天頂角 θ からエネルギー決定

シャワー軸から800 m離れた場所での粒子数密度



Supplementary materials of Science 382, 903 (2023)

エネルギー決定テーブル

空気シャワーシミュレーション

CORSIKA

核種、 θ 、 E_{sim} を与える



検出器シミュレーション

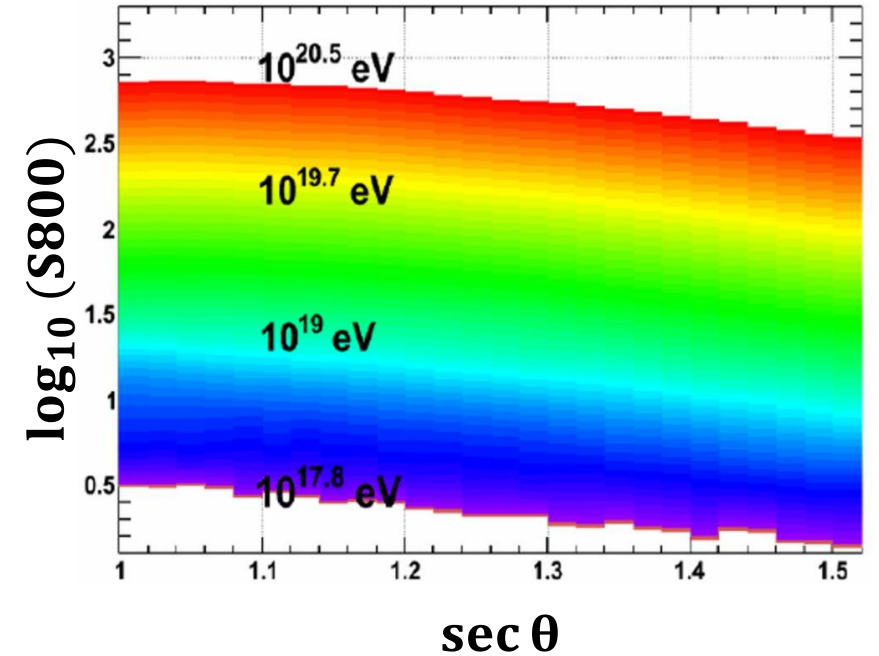
Geant4



再構成プログラム

S_{800} が得られる

$$\sec \theta = 1 / \cos \theta$$



エネルギースケール見直しの必要性

現在のTA実験

ハドロン相互作用モデル : QGSJet II-03
核種 : 陽子



エネルギーを決定

実際の観測では陽子や鉄が混ざっている。
ハドロン相互作用モデル間にも系統的な差がある。

系統誤差が大きい可能性

ハドロン相互作用モデル

- 加速器実験では高エネルギー宇宙線と大気との相互作用を再現できないため、よくわかっていない。
- ハドロン相互作用モデルによって一回の相互作用で生成される**粒子の数**が違う。

粒子の数が変わってしまうため推定エネルギーも変わる

研究内容

- 異なるハドロン相互作用モデル
(EPOS-LHC, QGSJet II -04)のエネルギー決定
テーブルを作成。
- ハドロン相互作用モデルを変えたときに推定エネルギー
はどれほど変わるのか調べる。

用いたデータセット

- MCで陽子由来の空気シャワーを生成
- データ数

QGSJet II-04 : 118560

EPOS-LHC : 119576

ハドロン相互作用モデル	QGSJet II-04, EPOS-LHC
陽子のエネルギー	$10^{19} \sim 10^{20}$ eV
天頂角 θ	0 ~ 45 deg

エネルギー決定テーブルの作り方

sec θ を1.00から1.40まで0.05刻みで**8つのビン**に分ける

ビンに含まれるデータの $\log_{10} E_{\text{sim}}$ と $\log_{10} S_{800}$ の散布図を描く

$\log_{10} S_{800} < 1.5$ では2次関数、 $\log_{10} S_{800} \geq 1.5$ では1次関数
でフィッティングしパラメータを求める

フィッティング関数

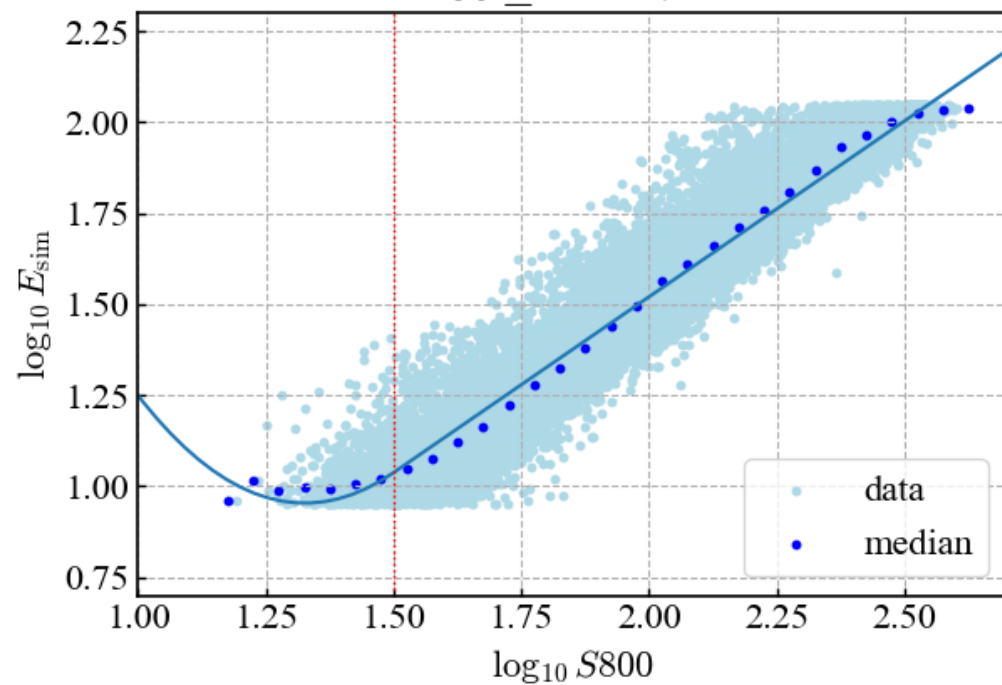
$$y = a + b(x - 1.5) + c(x - 1.5)^2 \quad x < 1.5$$
$$y = a + b(x - 1.5) \quad x \geq 1.5$$

a, b, cを求める

パラメータの決定

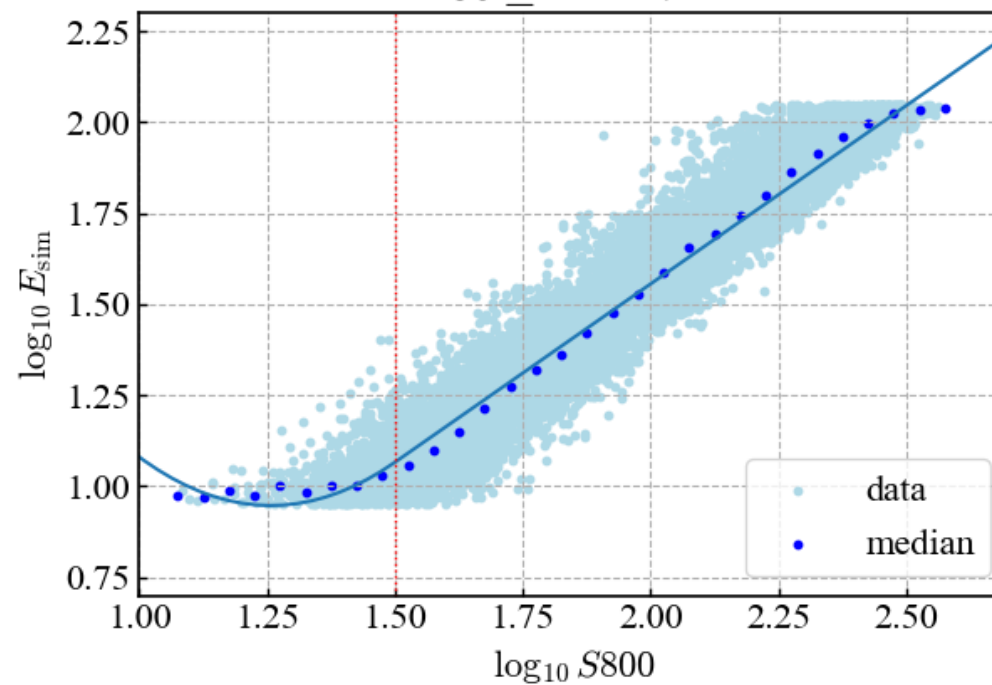
EPOS-LHC

$$1.05 \leq \sec \theta < 1.1$$



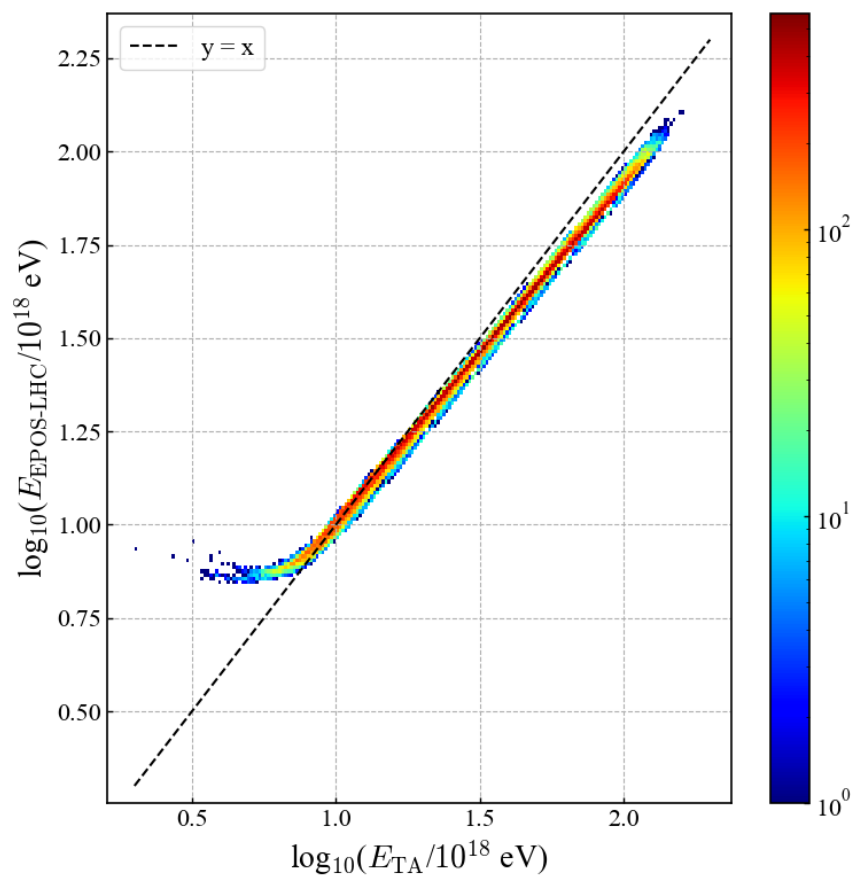
QGSJet II -04

$$1.05 \leq \sec \theta < 1.1$$

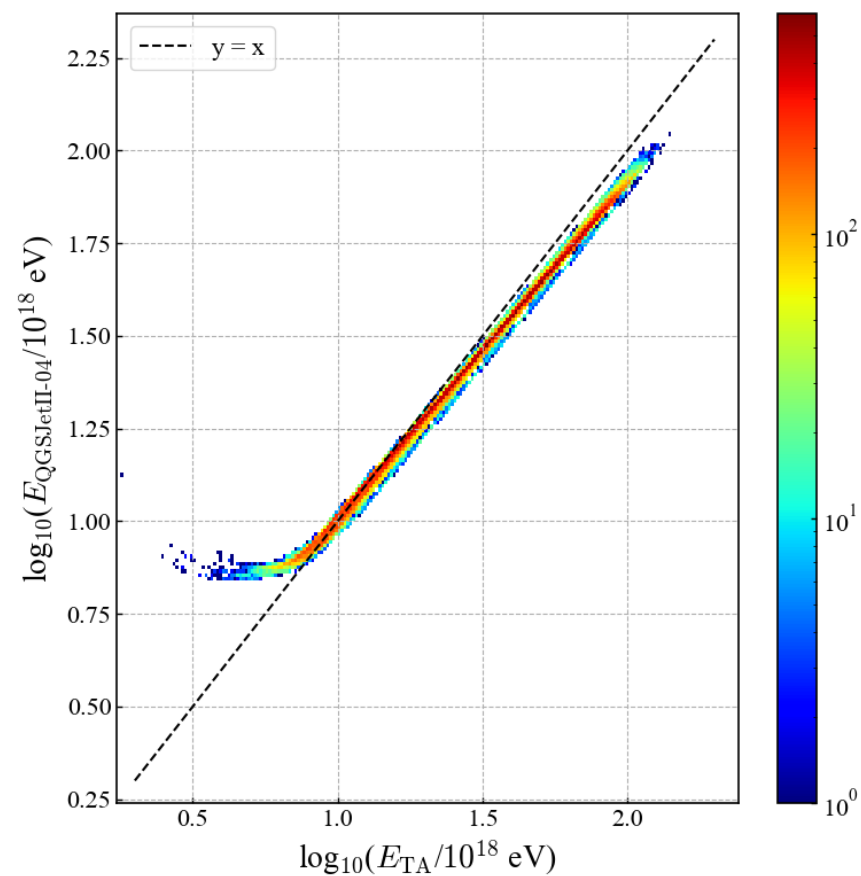


求まったエネルギーと TA実験で推定されたエネルギーの比較

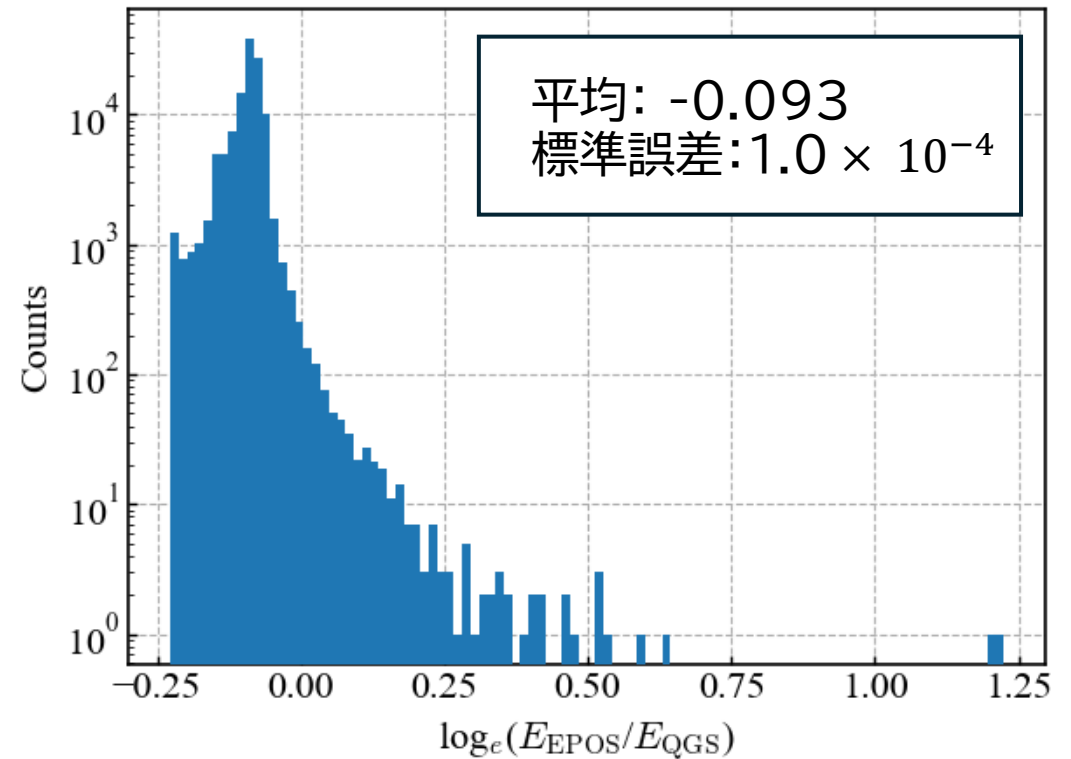
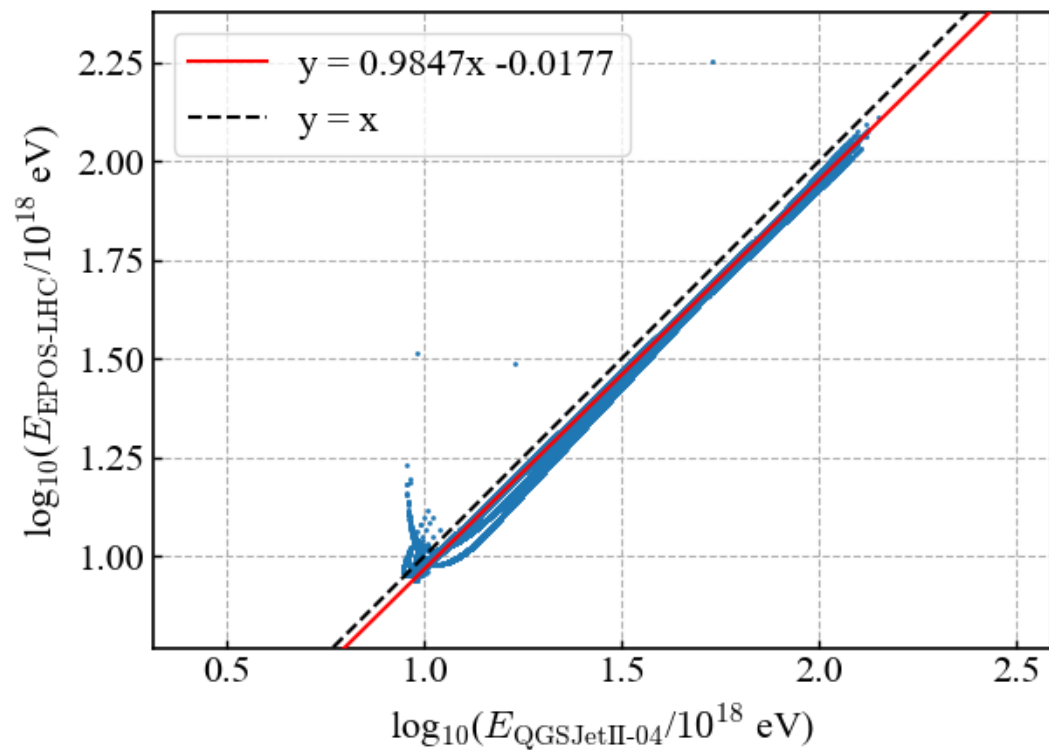
EPOS-LHC



QGSJet II -04

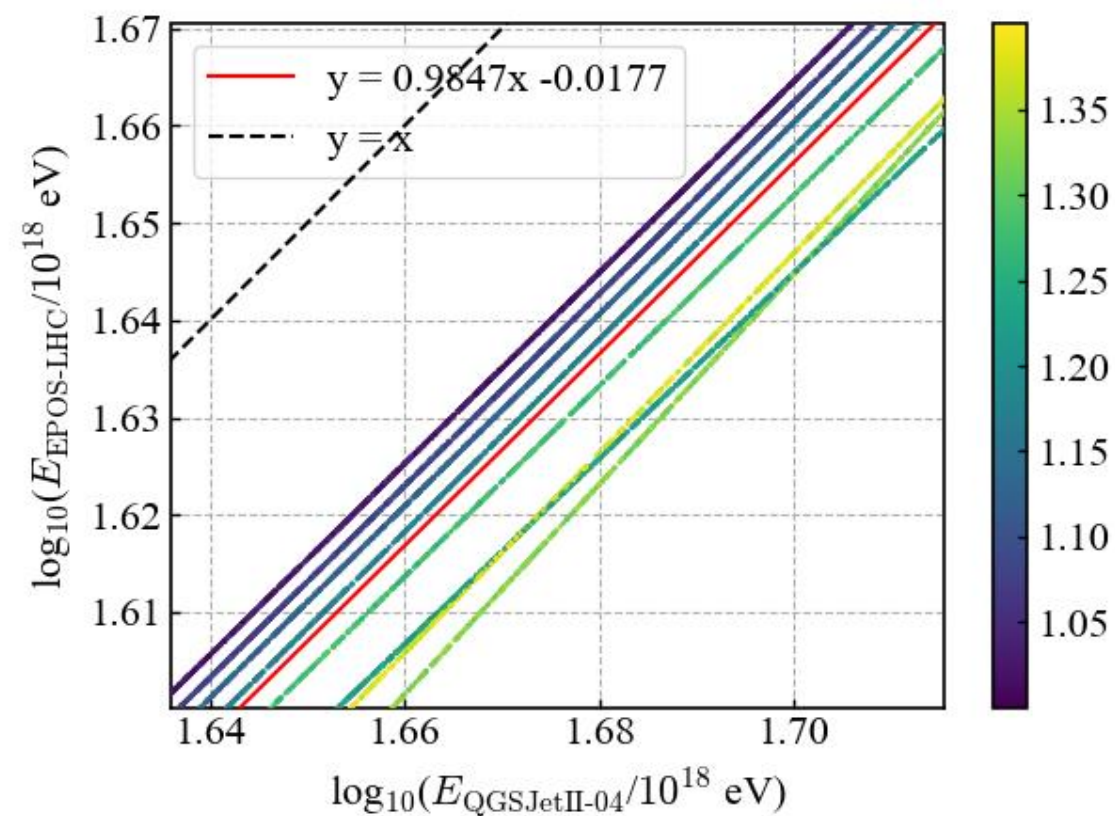
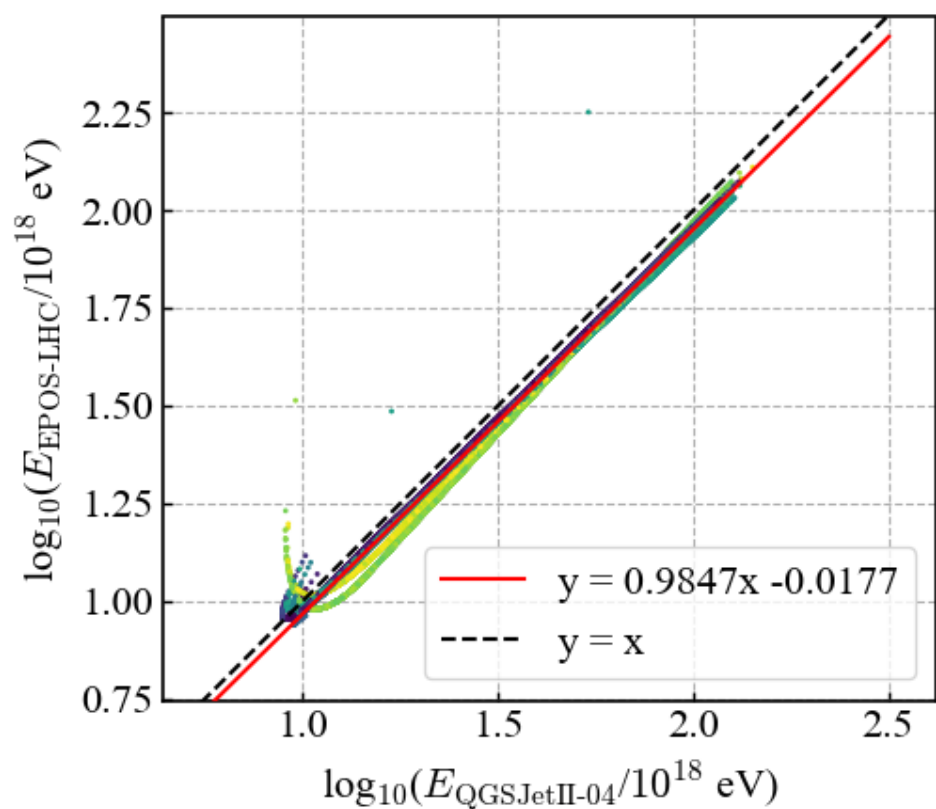


EPOS-LHCとQGSJet II-04の比較



EPOS-LHCとQGSJet II-04の比較

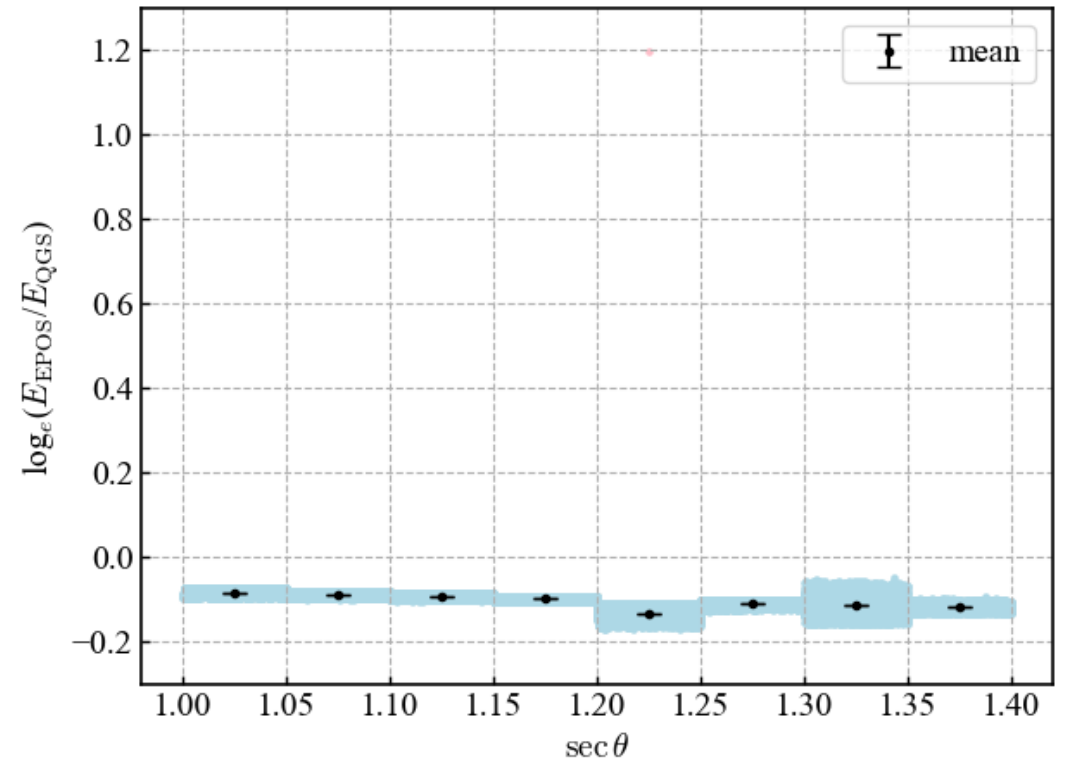
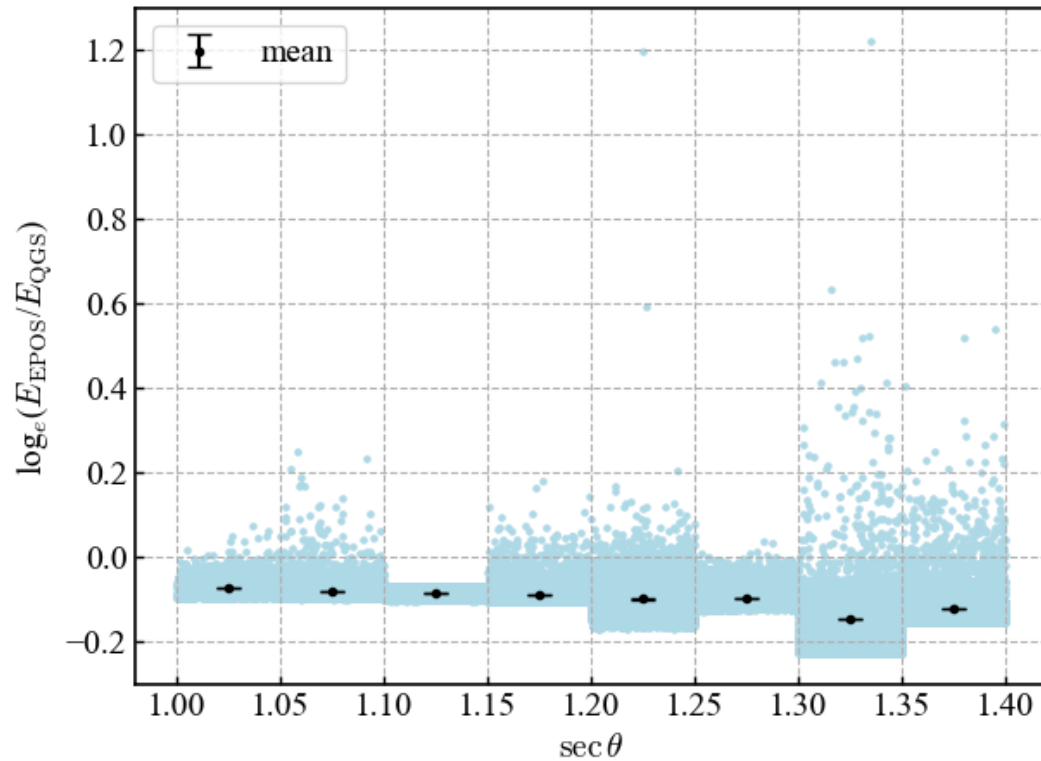
sec θ で色分け



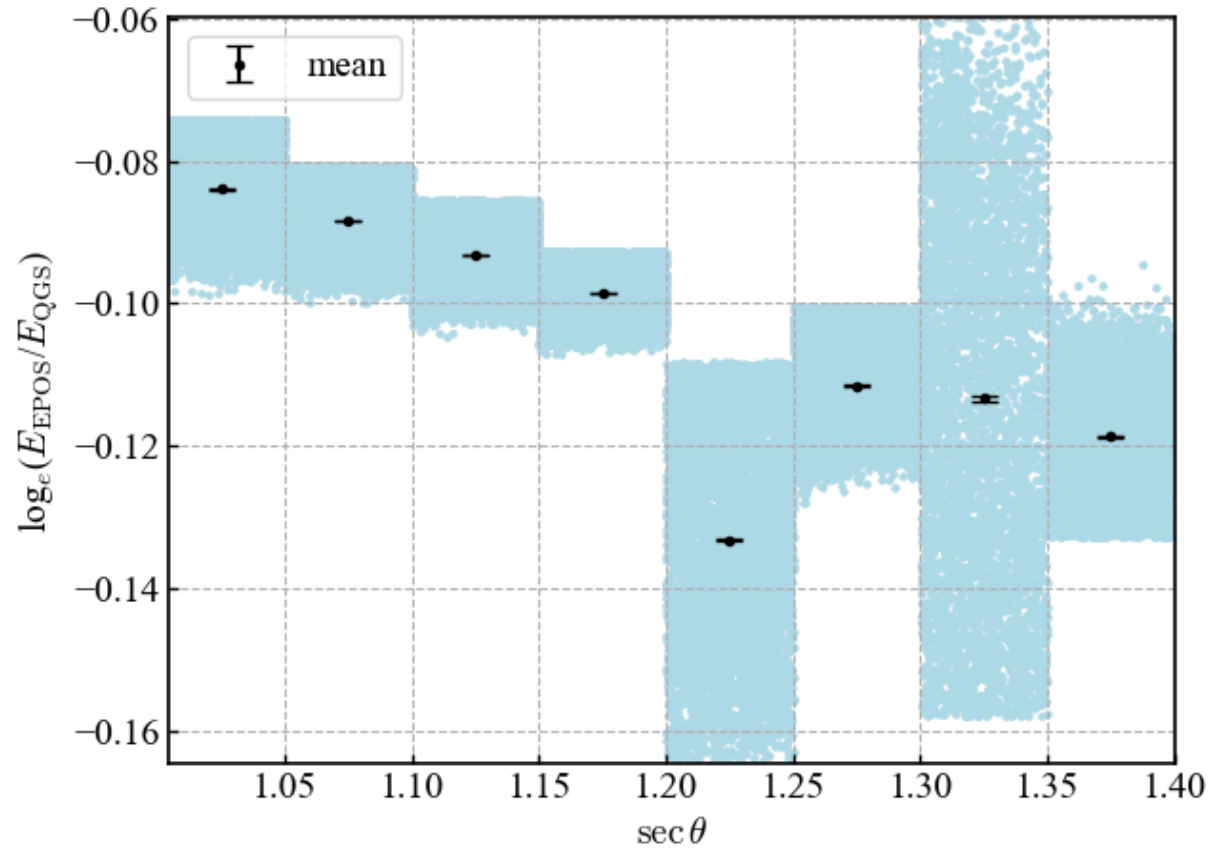
EPOS-LHCとQGSJet II-04の比較

相対誤差と $\sec \theta$ の関係

カット有り

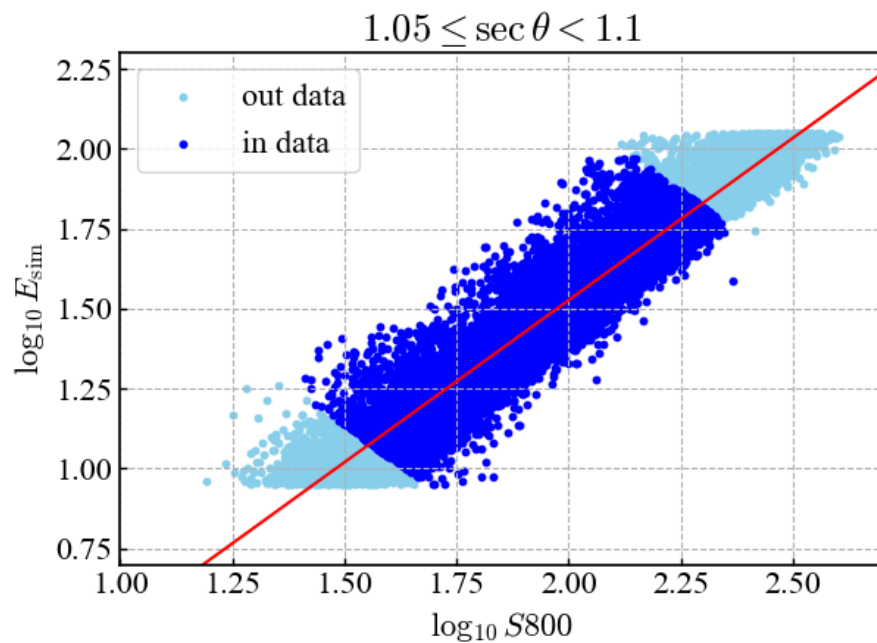


EPOS-LHCとQGSJet II-04の比較

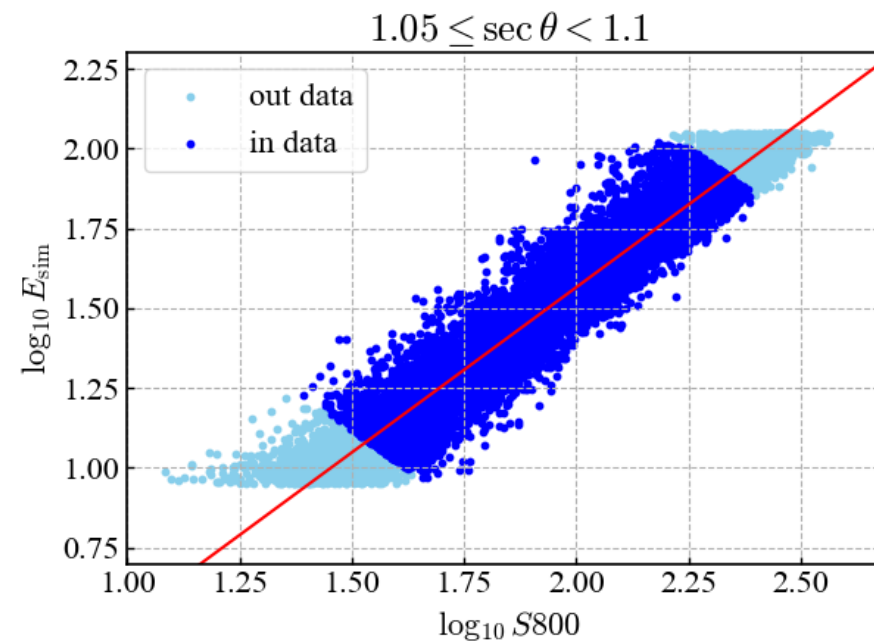


別の方法で エネルギー決定テーブルを作成

EPOS-LHC

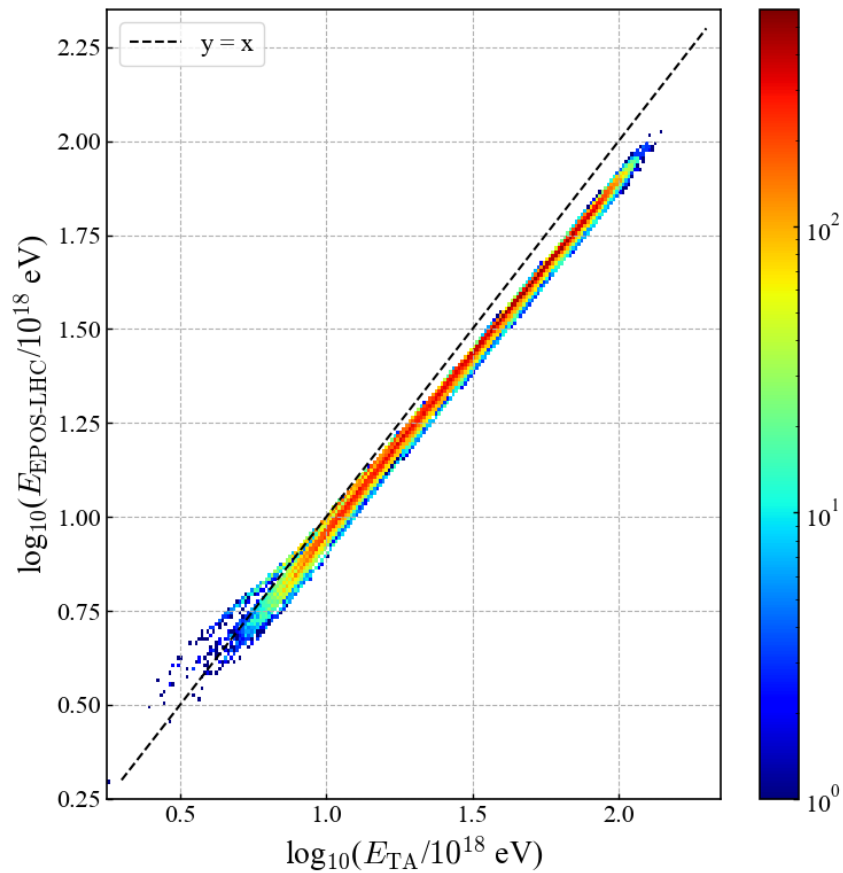


QGSJet II -04

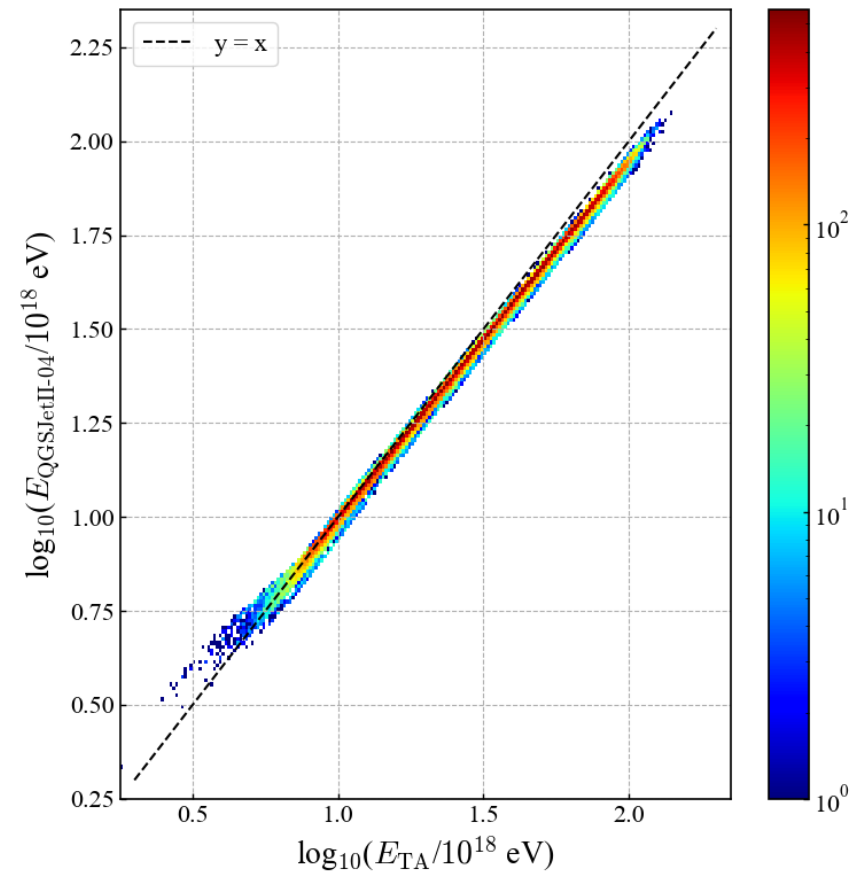


求めたエネルギーと TA実験で推定されたエネルギーの比較

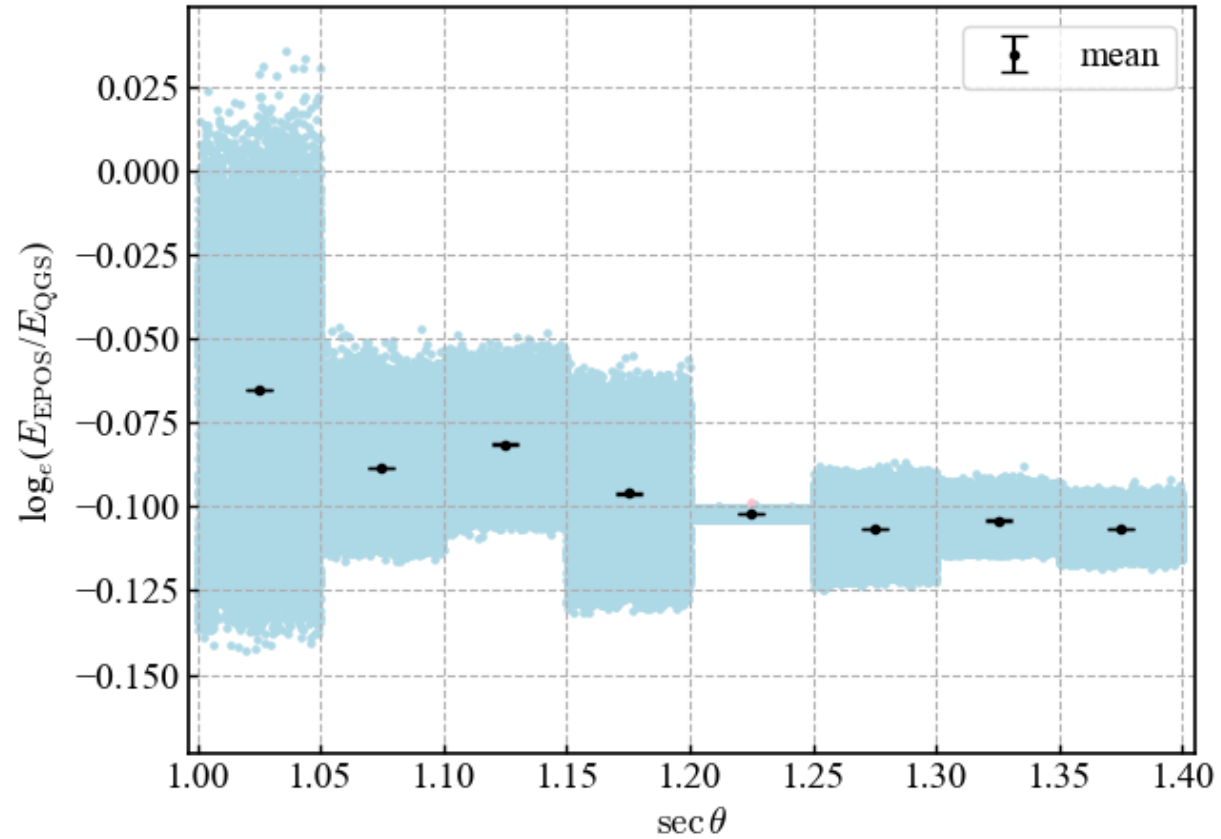
EPOS-LHC



QGSJet II -04



EPOS-LHCとQGSJet II-04の比較



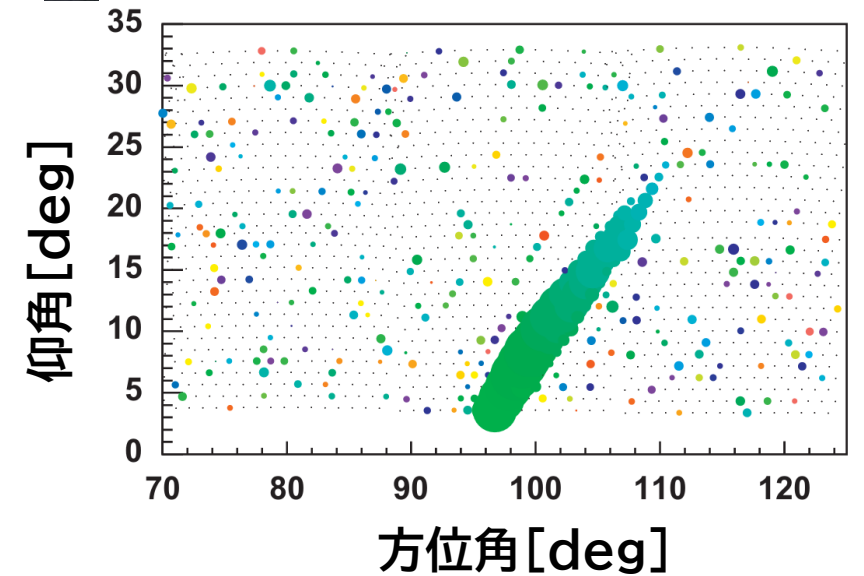
まとめと今後

- EPOS-LHCとQGSJet II -04のエネルギー決定テーブルを作成
- 相対誤差に天頂角依存性がある可能性
- 生成する空気シャワーのエネルギー範囲を広げる
- 陽子と鉄で推定エネルギーを比較する

バックアップ

FD

- 3カ所38基
- 256個のPMTからなるカメラと反射鏡とで構成
- 電子、陽電子、ミューオンが大気中の分子を励起
→シンチレーション光
- 稼働率は10%ほど
- エネルギー決定においてSDより系統誤差が小さい



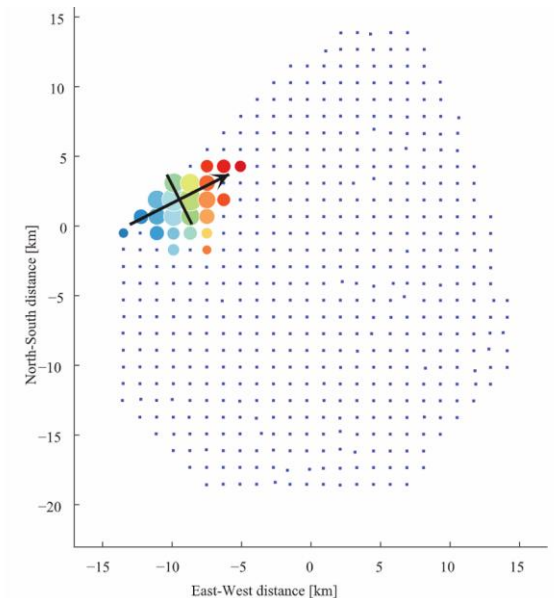
[New air fluorescence detectors employed in the Telescope Array experiment - ScienceDirect](#)

SD

- 507台のプラスチックシンチレータ地表粒子検出器
- 荷電粒子がシンチレータ内でエネルギー損失
→シンチレーション光が発生
→光電子増倍管へ集光し記録
- 3 m² 1.2 km間隔
- **稼働率がほぼ100%**
- **エネルギー決定においてFDより系統誤差が大きい**



[トップページ](#) | [テレスコープアレイ\[TA\]実験WEBSITE](#)



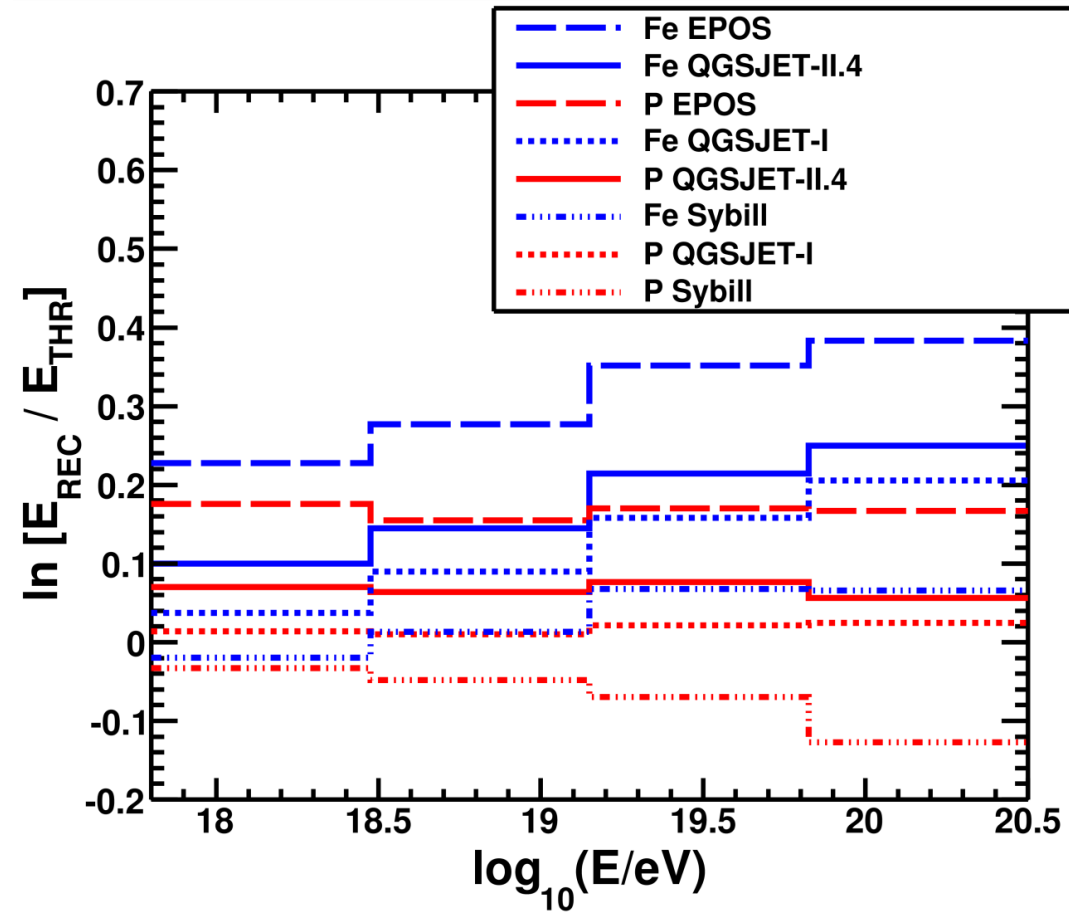
[An extremely energetic cosmic ray observed by a surface detector array | Science](#) 24

$$\log_e (1 + \delta) \cong \delta$$

$$1 + \delta = \frac{E_{\text{EPOS}}}{E_{\text{QGS}}}$$

$$\delta = \frac{E_{\text{EPOS}}}{E_{\text{QGS}}} - 1 = \frac{E_{\text{EPOS}} - E_{\text{QGS}}}{E_{\text{QGS}}}$$

先行研究



B. Stokes (ICRC2013)