

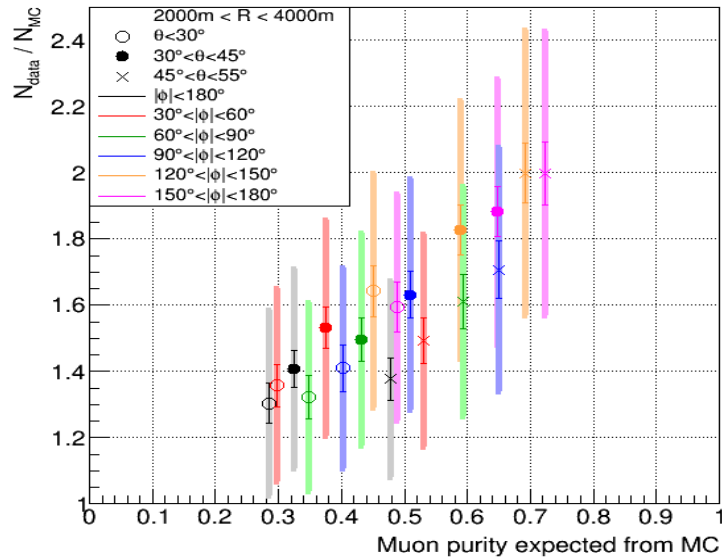
Hadron interaction & Air Shower Observations

Nobuyuki Sakurai

Outline

- 地表粒子数観測
- ミューオン発生高度観測
- 巨視的パラメータとシャワー発達
- 散乱断面積とシャワー発達
- 多重度とシャワー発達
- 弾性度とシャワー発達
- まとめ

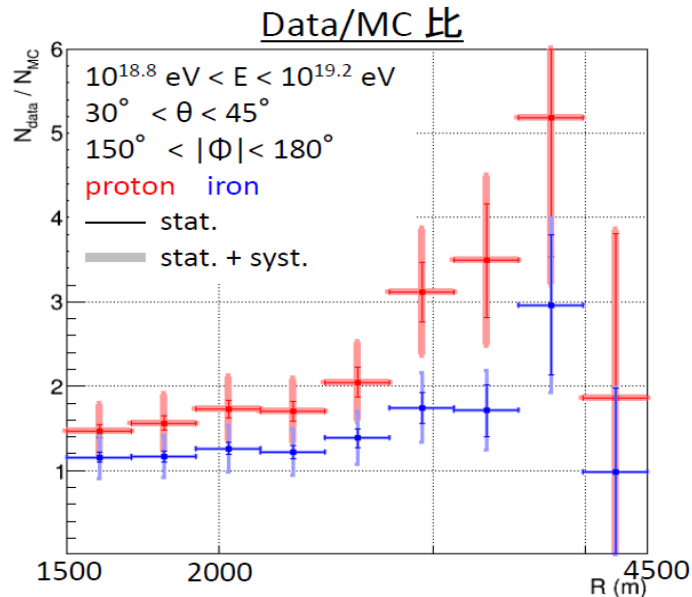
地表粒子数過剰 (Takeishi)



TA地表検出器で得られる粒子数密度は
MCの予想より多い

正の相関

- Data/MCのずれ
- MCで予想されるミューオンの割合



(おおむね)正の相関

- Data/MCのずれ
- コアからの距離

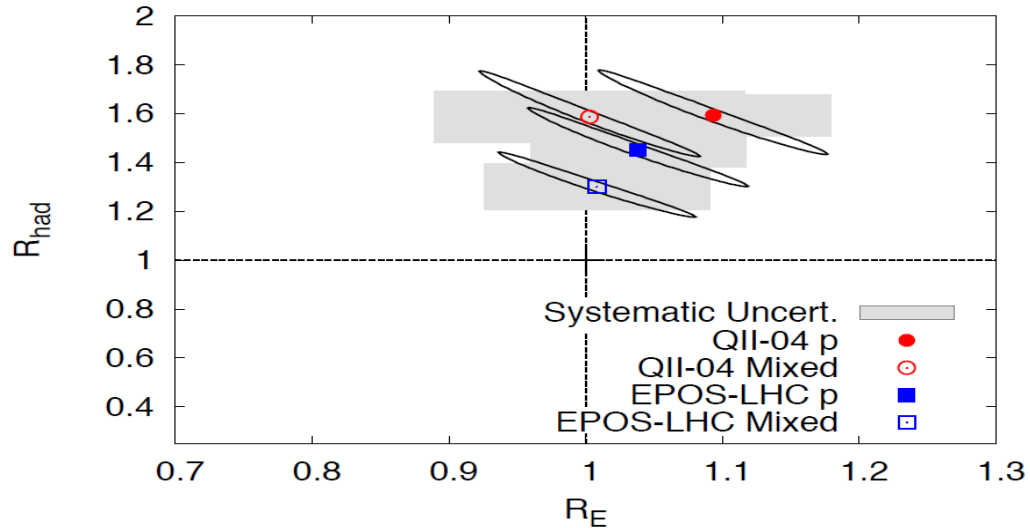
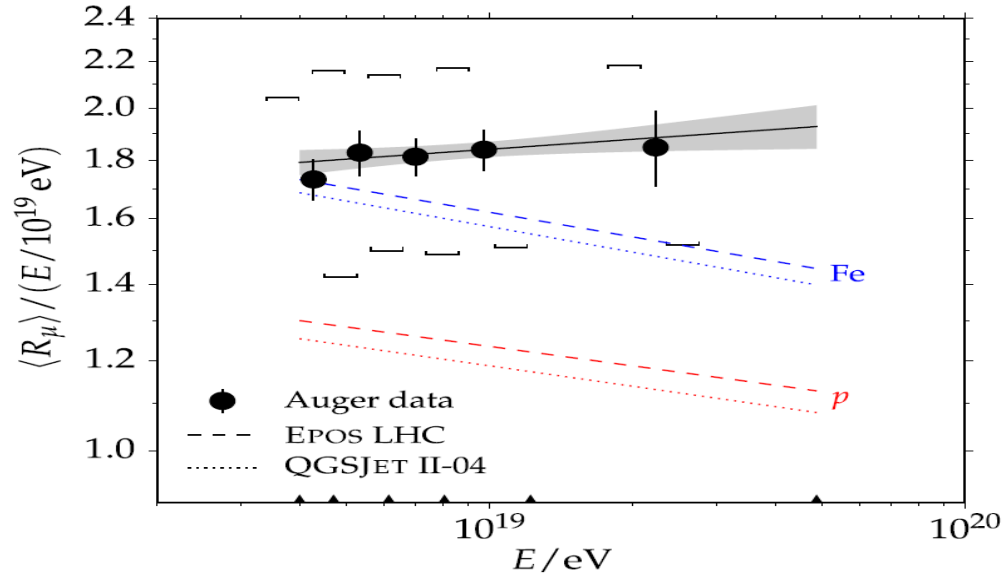
地表ミュオン数過剰 (Auger)

モデルごとの違いは小さい

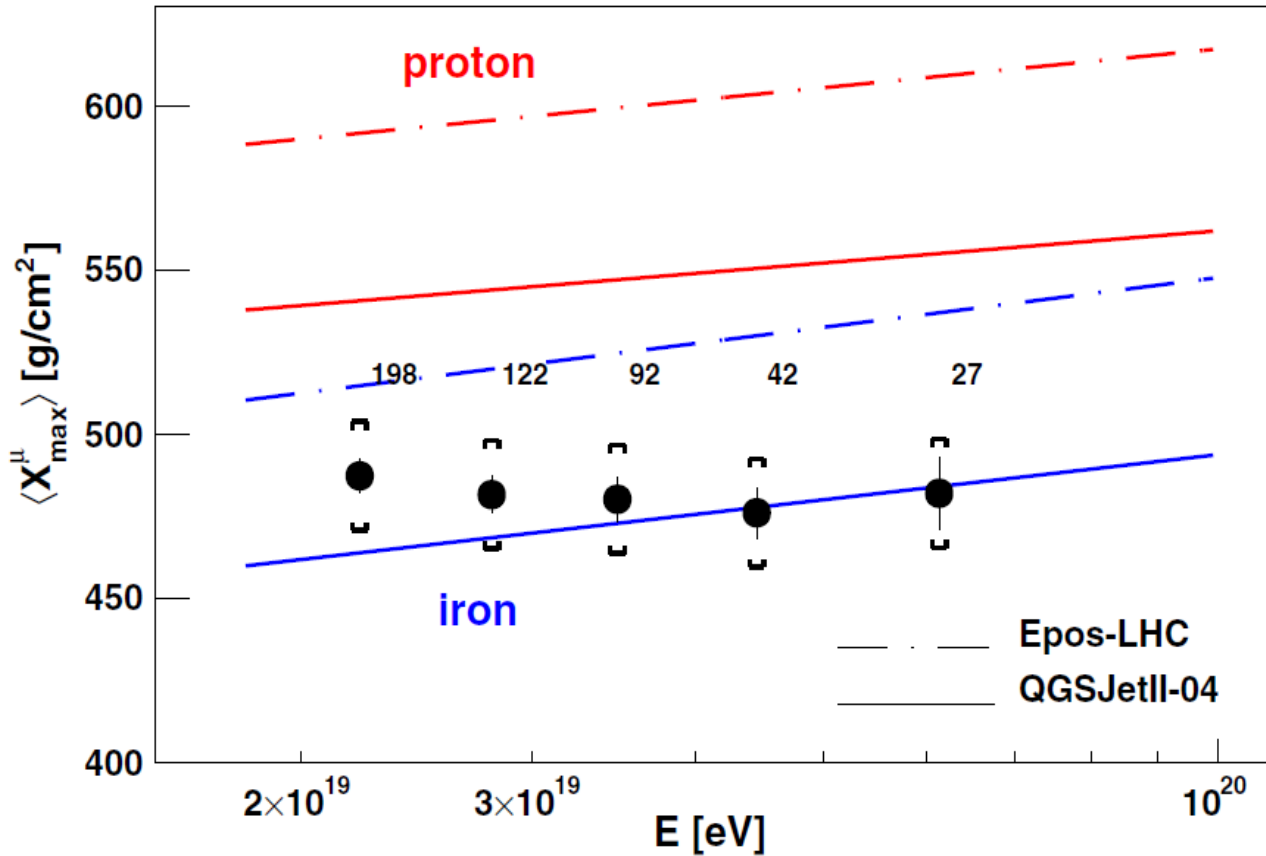
データの系統誤差がまだ大きい

- ・エネルギースケール
- ・検出器応答

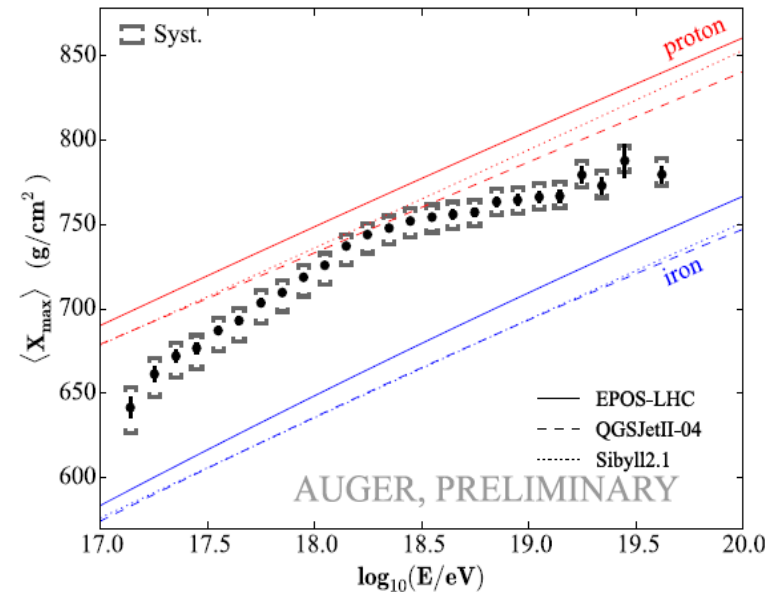
電磁成分ではなくミュオン数が過剰



ミューオン発生高度 (Auger)

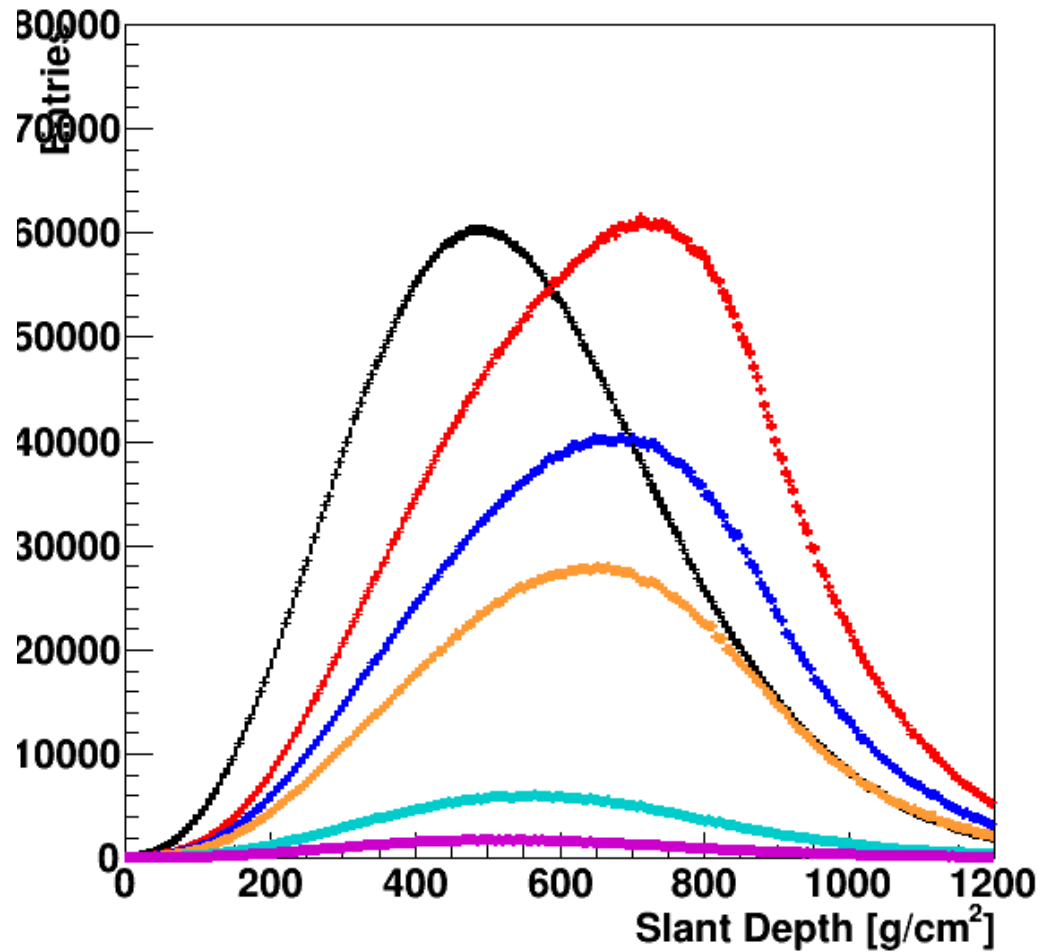


- ・モデルごとの違いが大きい
- ・データ点は重い原子核を示す
→ 電磁成分と異なる

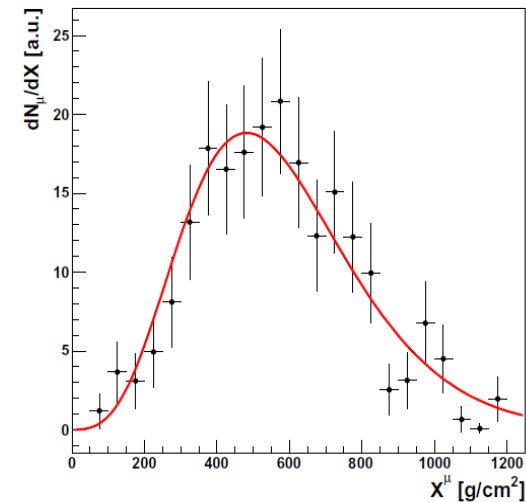


MCによるミューオン発生高度の比較

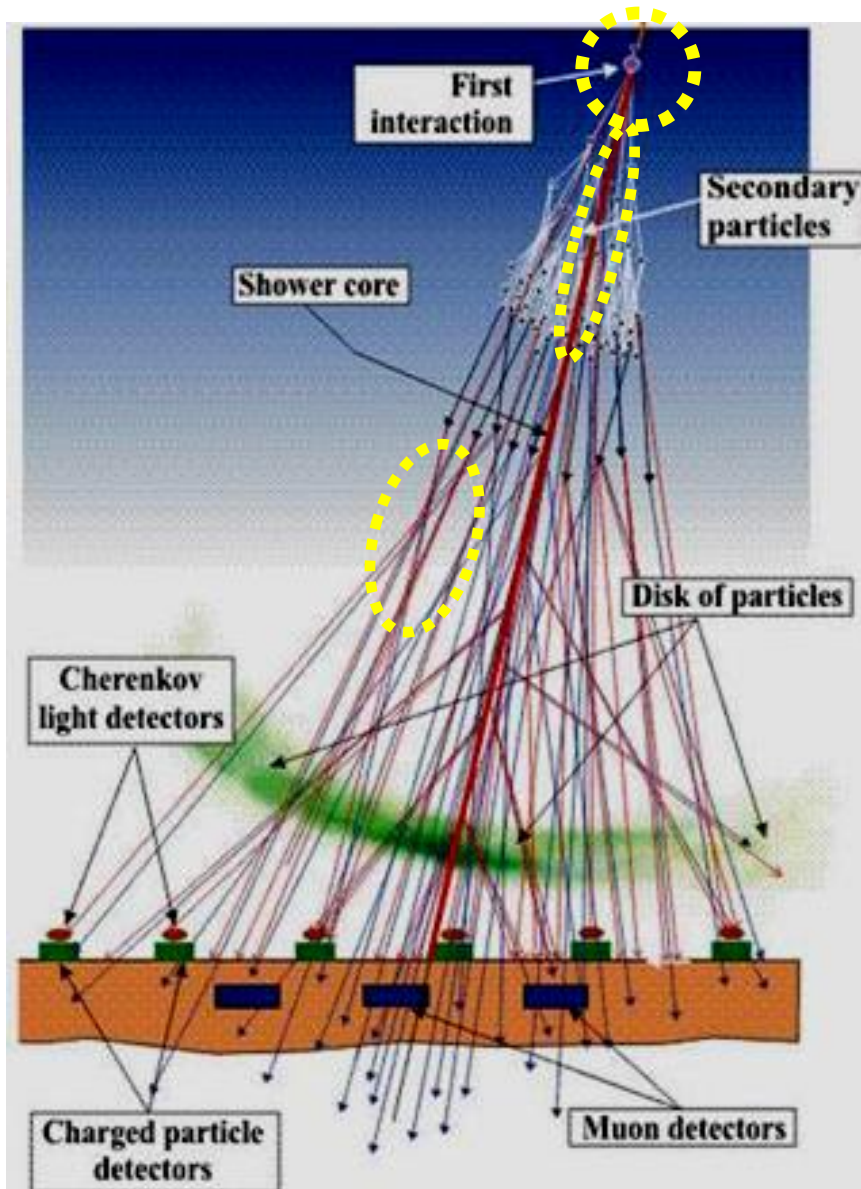
proton , logE=19.5



- $R_{core} = 600\text{m}$
- $R_{core} = 800\text{m}$
- $R_{core} = 1\text{km}$
- $R_{core} = 2\text{km}$
- $R_{core} = 3\text{km}$
- $R_{core} > 1.5\text{km}, E_{\mu} > 1\text{GeV}$



巨視的なハドロン相互作用パラメータと空気シャワー発達



① 非弾性散乱断面積 σ_{inel}

If large σ : rapid development
If small σ : deep penetrating

② 多重度(二次粒子発生数) N_{multi}

If large, rapid development
If small, deep penetrating

③ 弾性度 $\kappa = \frac{E_{leading}}{E_{total}}$

If small κ (π^0 s carry more energy)
rapid development
If large (baryons carry more energy)
deep penetrating

地表ミュオン観測量への巨視的パラメータの影響

ASシミュレーション中のハドロン相互作用で、前述のパラメータを変化させ、ミュオン観測量への影響を見積もる。

例) 断面積の場合

プログラム内で使用してる断面積に、エネルギー依存性を持たせた係数 $f(E, f_{19})$ をかける

$$\sigma'_{inel} = f(E, f_{19}) \times \sigma_{inel} \quad f_{19} : 10\text{EeVでの倍率}$$

$$f(E, f_{19}) = 1 + (f_{19} - 1)F(E)$$

$$F(E) = \begin{cases} 0 & E \leq 1\text{PeV} \\ \log_{10}(E[\text{PeV}]/1\text{PeV}) / \log_{10}(10\text{EeV}/1\text{PeV}) & E > 1\text{PeV} \end{cases}$$

非弾性散乱断面積

1st interaction だけでなく、

p-p散乱断面積

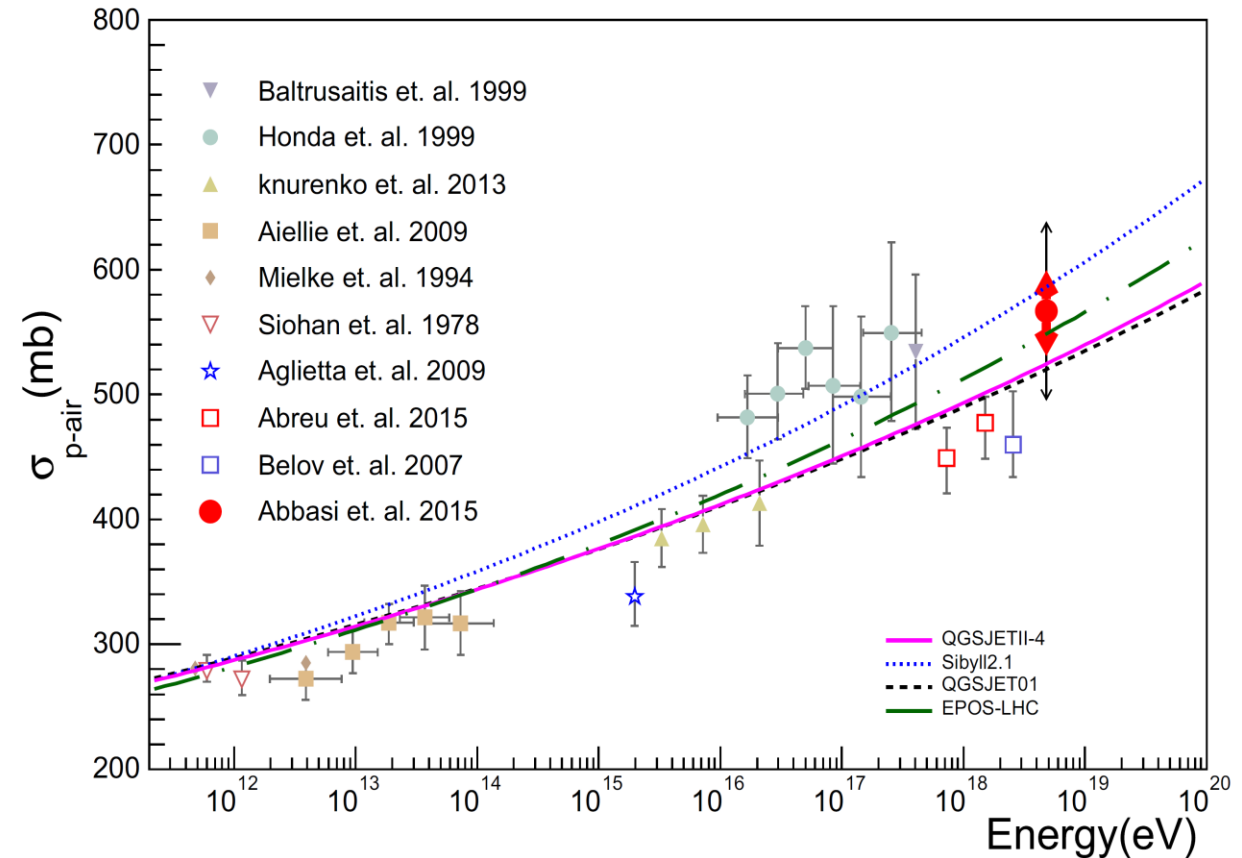
π -p散乱断面積

K-p散乱断面積

も変更した。

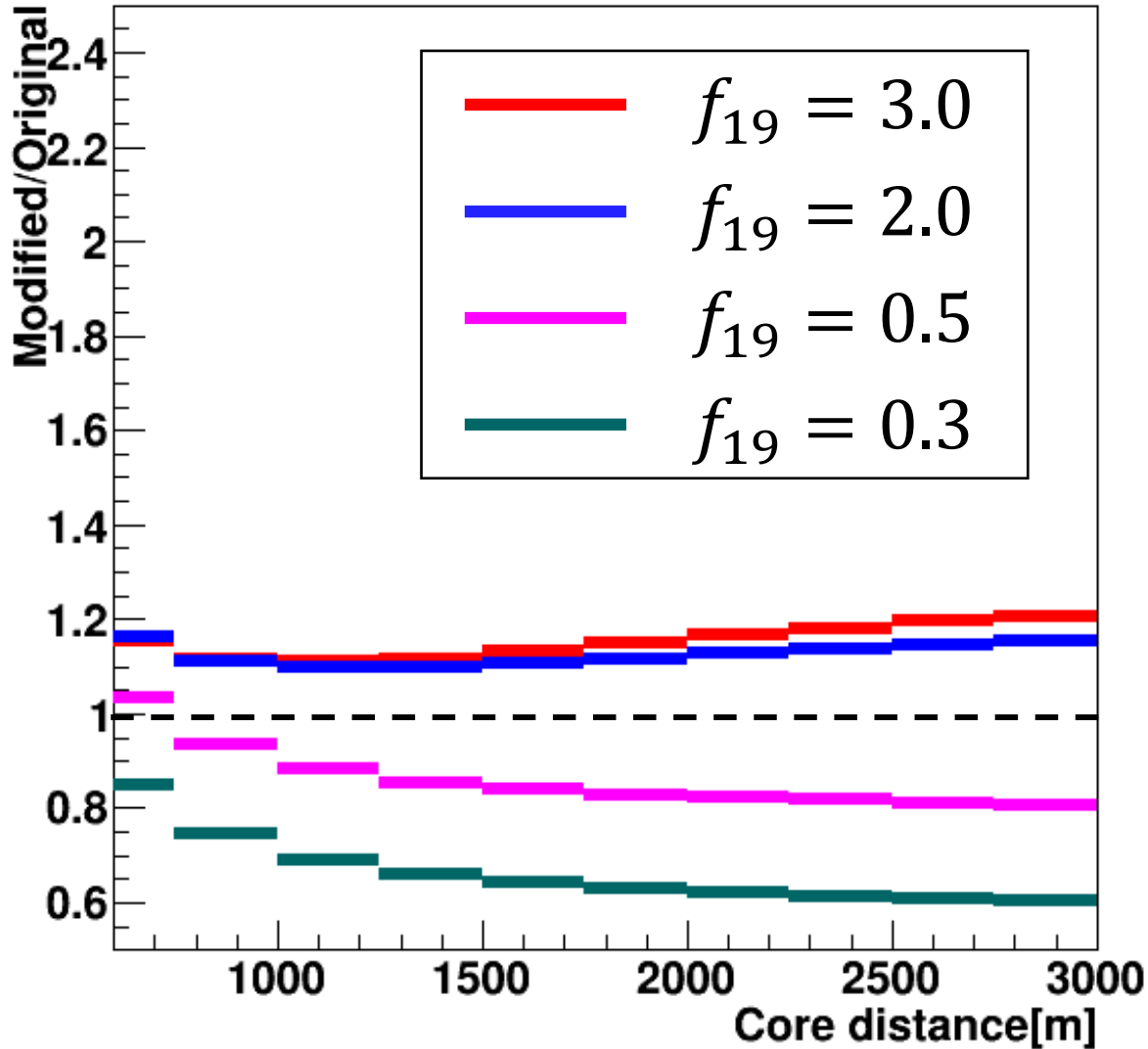
$f_{19} = 0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0$ の5種類

p-Air cross section (by R. Abbasi)



- TAの観測結果 > Post-LHCモデル
- QGSJET-II-04 > EPOS-LHC

地表ミュオン数



Primary particle = **proton**

Energy = $10^{19.5}$ eV

Zenith angle = 0~60deg.

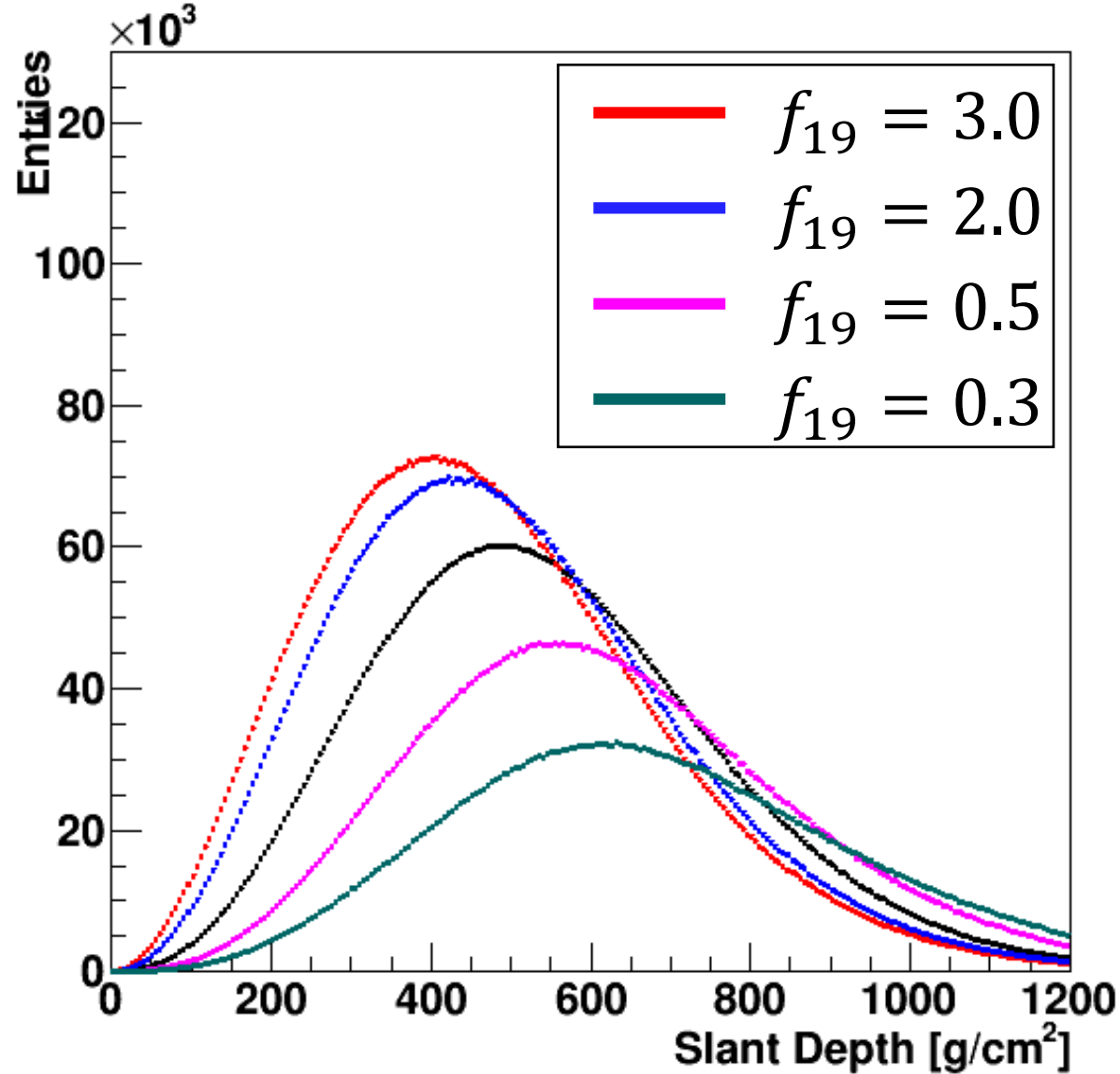
250 showers

Interaction model: **QGSJET-II-04**

全ミュオン数の比を距離ごとにとった

- ・断面積を大きくすると N_{μ} が大
→ Ulrich論文と傾向が逆
- ・距離による変化は大きい
→ 武石解析とは傾向が異なる

ミューオン発生高度



ミューオン選別条件

TA高度($872\text{g}/\text{cm}^2$)で観測
コアからの距離 $>1500\text{m}$
ミューオンエネルギー $>1\text{GeV}$

断面積を大きくするとMPD小

→ Auger MPD観測結果を解決する方向

TAのp-Air反応断面積の観測結果も
モデル計算よりp-Air断面積が大きい

多重度

ハドロン相互作用で発生した二次粒子の粒子数を変更

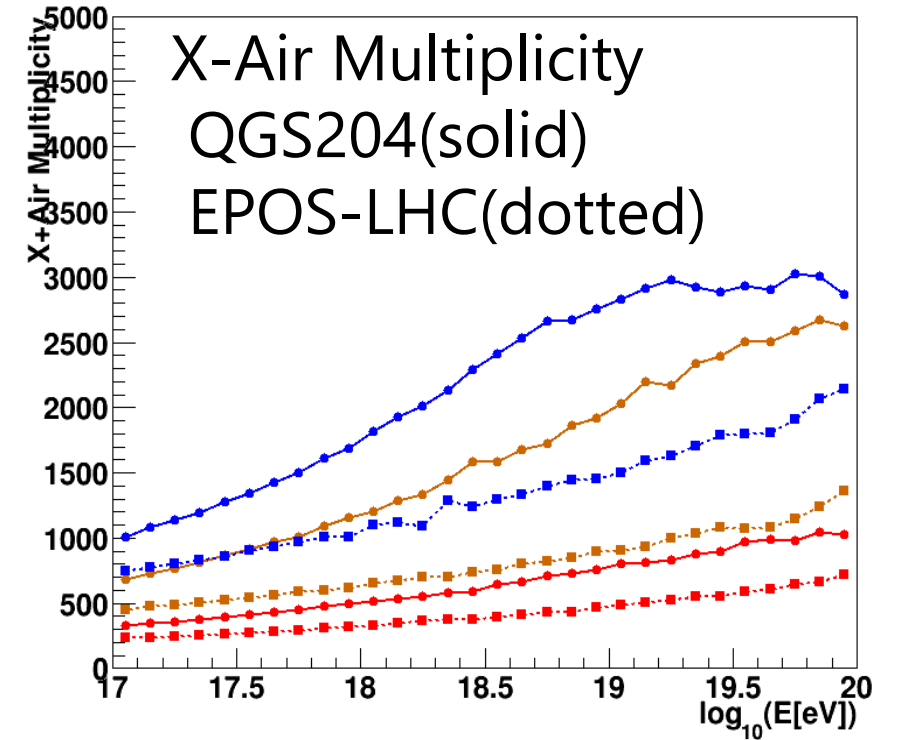
$$N'_{mult} = f(E, f_{19}) \times N_{mult}$$

※ 粒子種ごとにエネルギー総量を保存する。
但しLeading particleは処理から除く
(弾性度を保存するため)

※ 粒子種ごとに電荷量を保存する。
(±1の変化まで許容する)

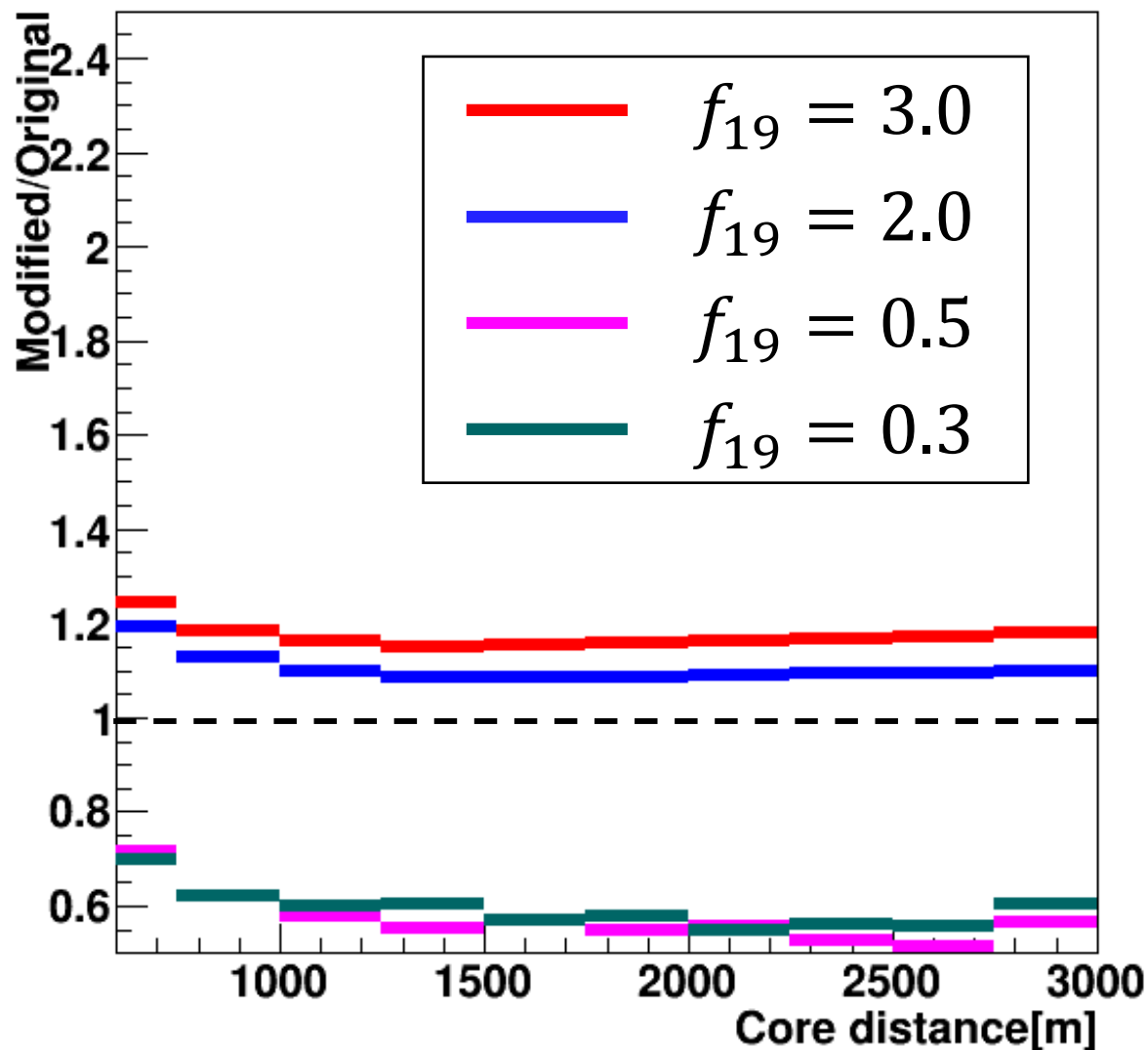
QGSJET-II-04はEPOS-LHCよりも多重度が大きい

多重度(QGS204 & EPO-LHC)



BLUE: IRON
BROWN: NITROGEN
RED: PROTON

多重度変更による地表ミューオン数の変化



Primary particle = proton

Energy = $10^{19.5}$ eV

Zenith angle (0~60deg.)

250 showers

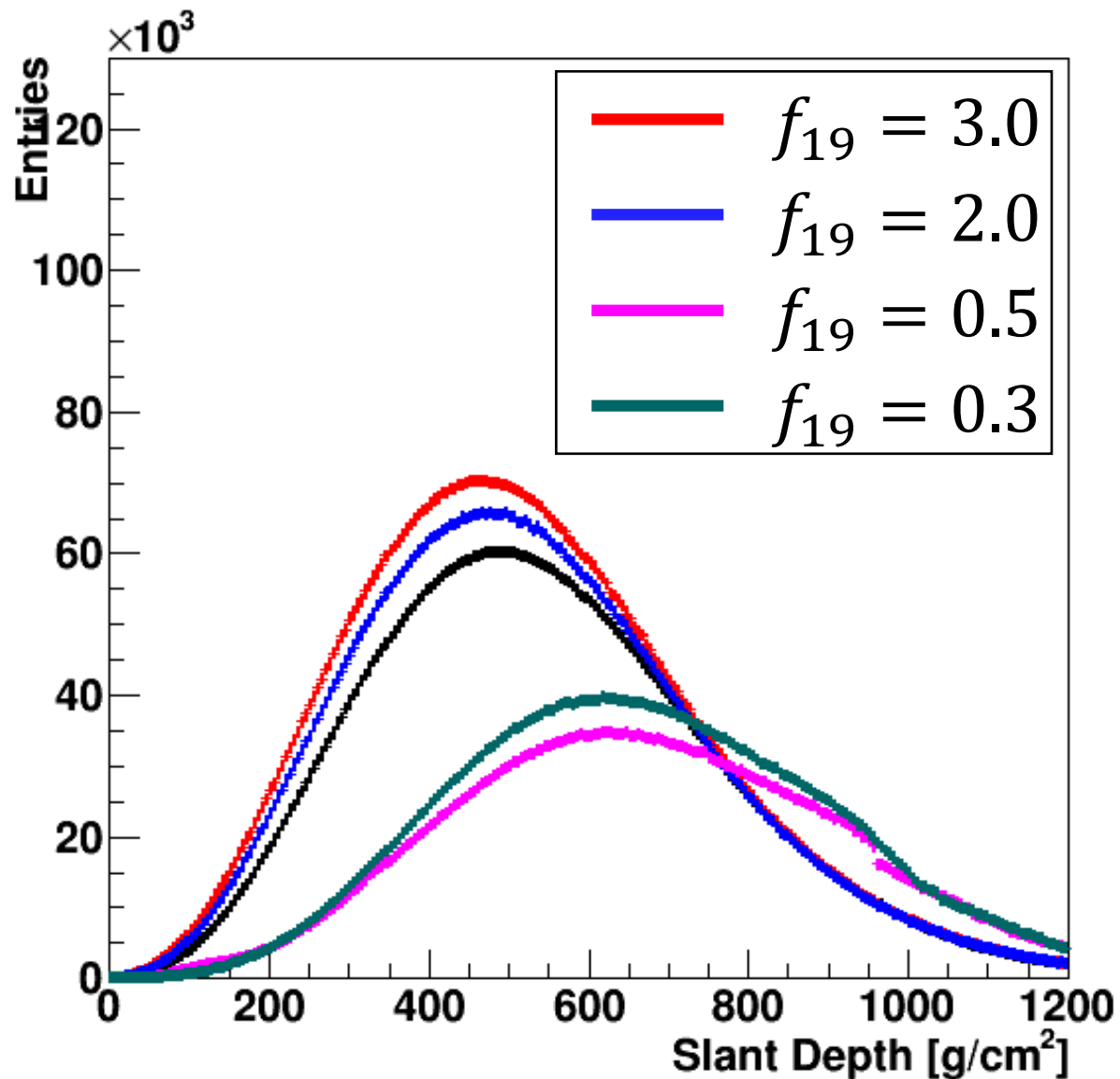
全ミューオン数の比を距離ごとにとった

多重度を大きくすると N_{μ} が大

距離による変化は大きい

→ 武石解析とは傾向が異なる

多重度変更によるミュオン発生高度の変化



ミュオン選別条件

TA高度(872g/cm²)で観測
コアからの距離 >1500m
ミュオンエネルギー >1GeV

多重度を大きくするとMPD小

→ Auger MPD観測結果を解決する方向

※ミュオン発生数は大きくなる

別モデル(EPOS-LHC)との違いが拡大

弾性度

ハドロン相互作用で発生した二次粒子から弾性度を計算して変更。

$$\kappa' = f(E, f_{19}) \times \kappa$$

※変更できる上限は、

「Leading particle以外の全粒子が静止エネルギーのみ」

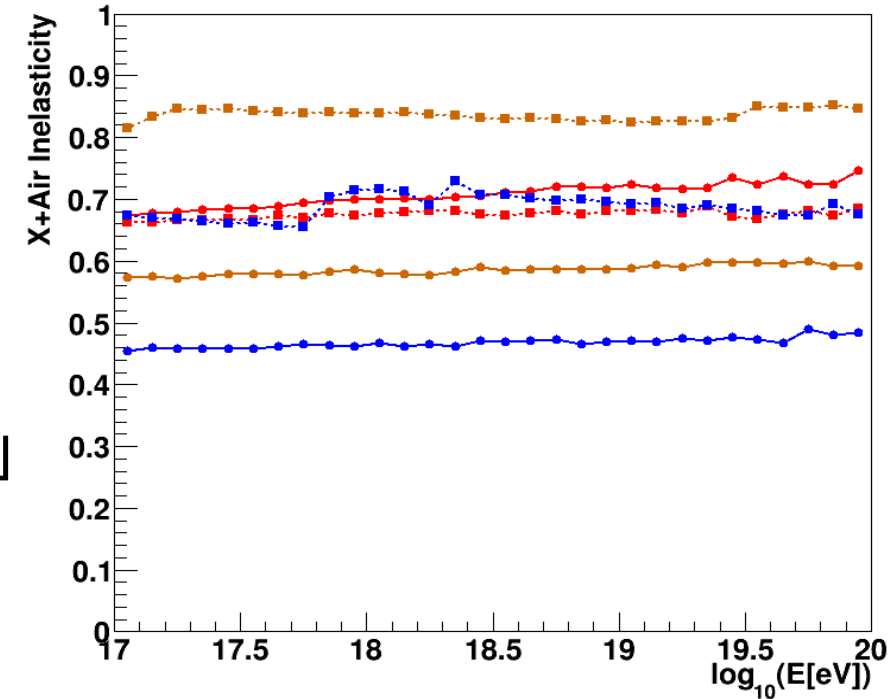
※変更できる下限は、

「全2次粒子が同じエネルギー」

※全粒子数、総エネルギー、粒子種などは変更なし

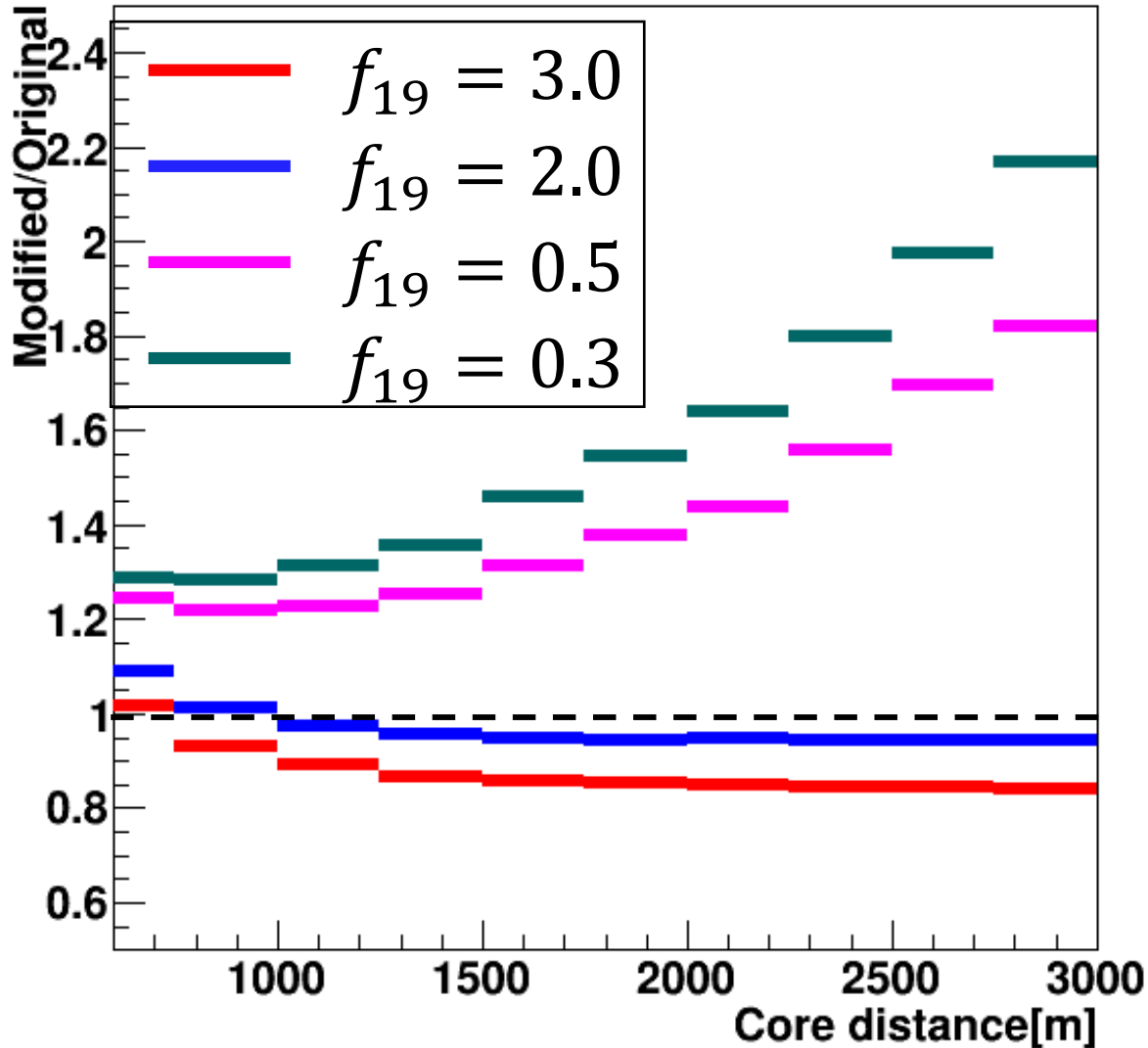
非弾性度(QGS204 & EPO-LHC)

X-Air Inelasticity ($1 - \kappa$)



BLUE: IRON
BROWN: NITROGEN
RED: PROTON

弾性度変更による地表ミューオン数の変化



Primary particle = proton

Energy = $10^{19.5}$ eV

Zenith angle (0~60deg.)

250 showers

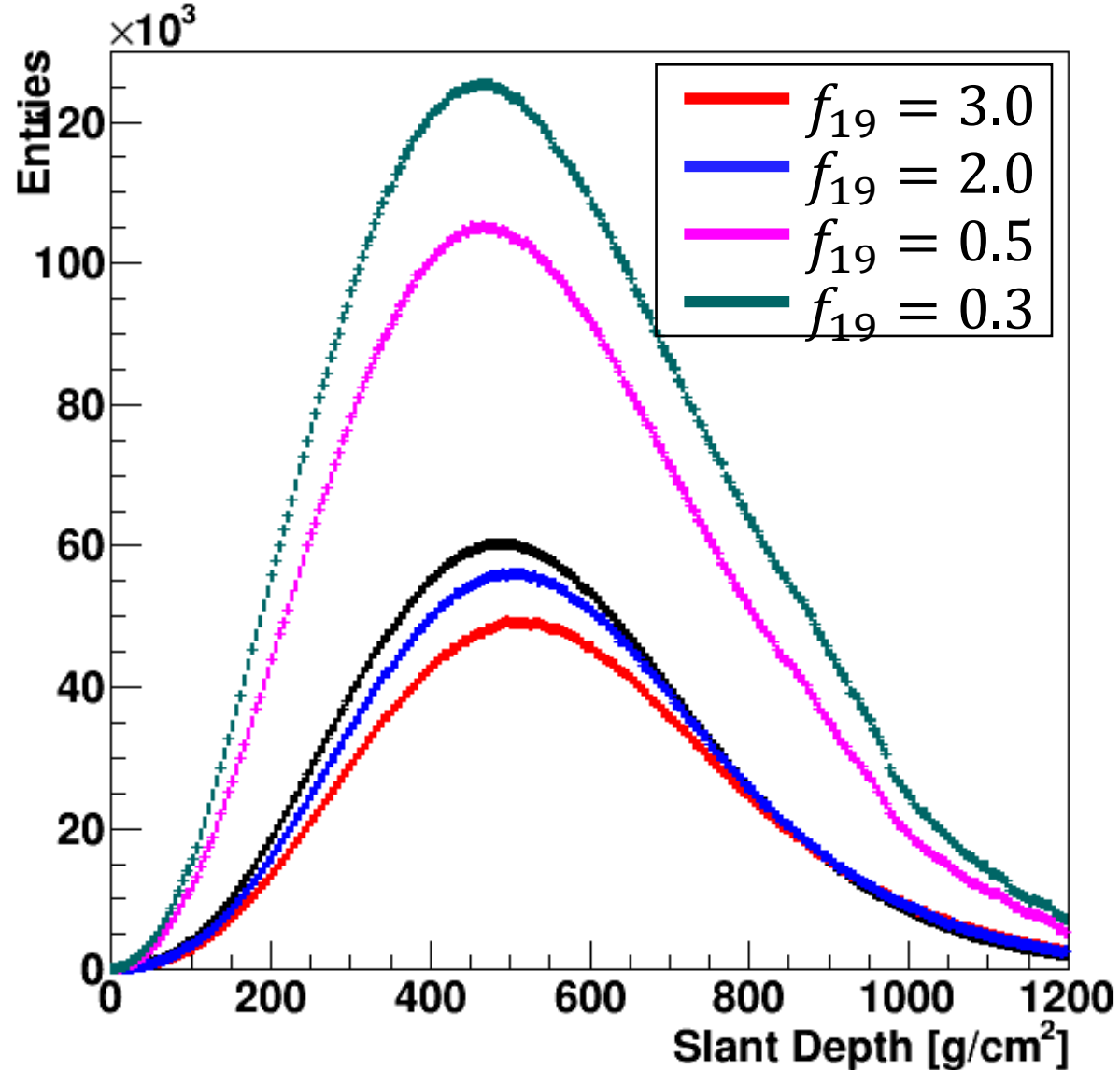
全ミューオン数の比を距離ごとにとった

弾性度を小さくすると N_{μ} が大

距離による変化が大きい

→ 武石解析と傾向が類似

弾性度変更によるミュオン発生高度の変化



ミュオン選別条件

TA高度(872g/cm²)で観測

コアからの距離 >1500m

ミュオンエネルギー >1GeV

弾性度を小さくするとMPDも小さくなる

→ Auger MPD観測結果を解決

変化による N_{μ} の増加が非常に大

まとめ

散乱断面積・多重度・弾性度を変化させて、実際のミュオン観測量と定性的な比較を試みた。

散乱断面積: 非常に大きく変動させても、コアから遠方でのミュオン数はさほど増加しない。

断面積を大きくするとミュオン発生高度は上がる。

多重度: ミュオン増加数は問題を解決するほどではない。

多重度増加でミュオン発生高度は上がる。

弾性度: 弾性度を減少させることで、ミュオン数は大幅に増加した。

ミュオン発生高度は高くなり問題解決はあがる。