

TeV領域一次宇宙線組成測定のためのモンテカルロシミュレーション

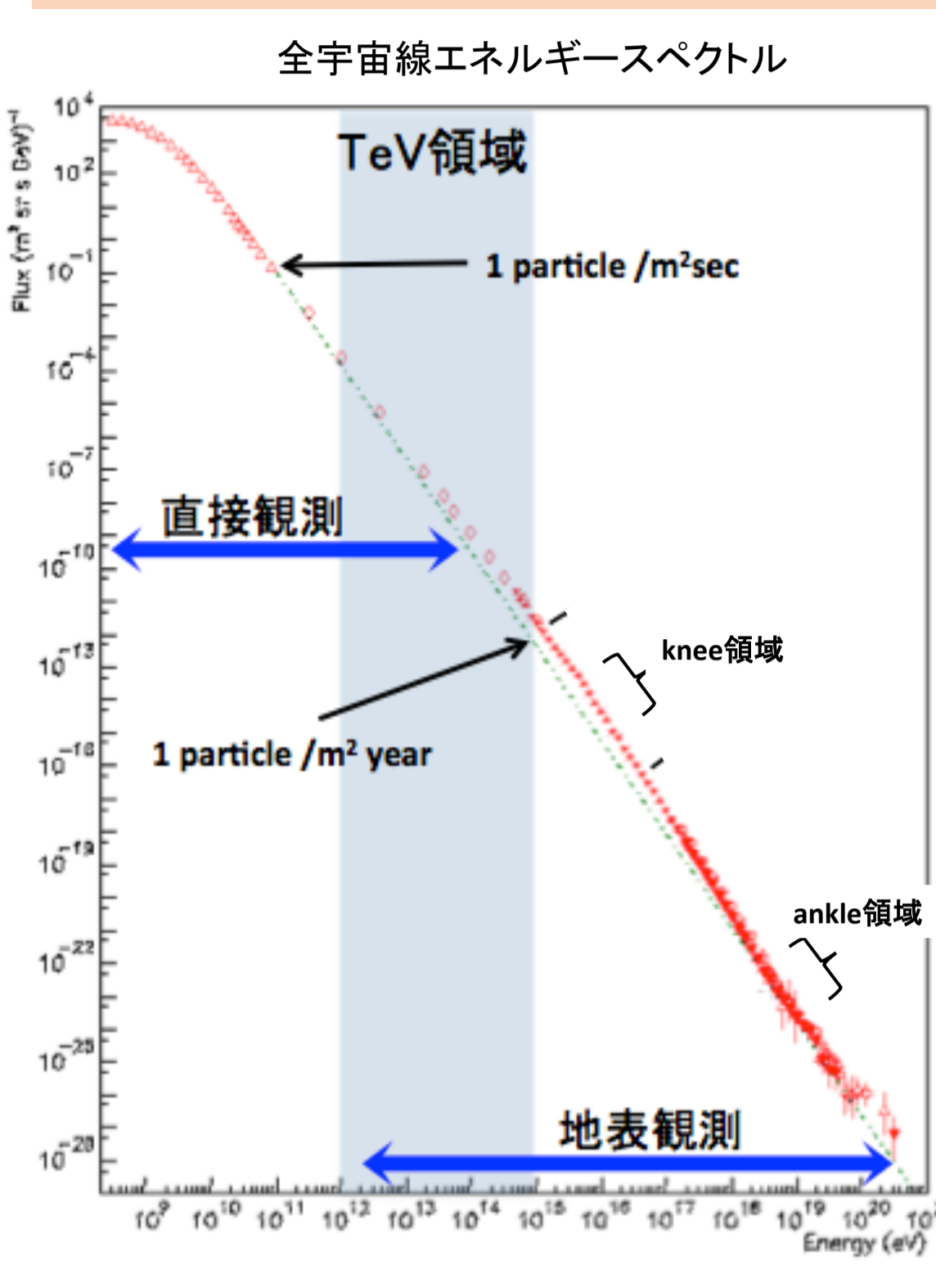
柴田研究室 16M00756 山田 遥

1. 研究背景と目的

宇宙線の観測方法

- < 直接観測 > 宇宙空間に飛行体を飛ばし、大気と相互作用する前の粒子を観測する。
- < 地表観測 > 地上で二次粒子を観測し、その情報から一次宇宙線の情報を復元する。

エネルギースペクトル

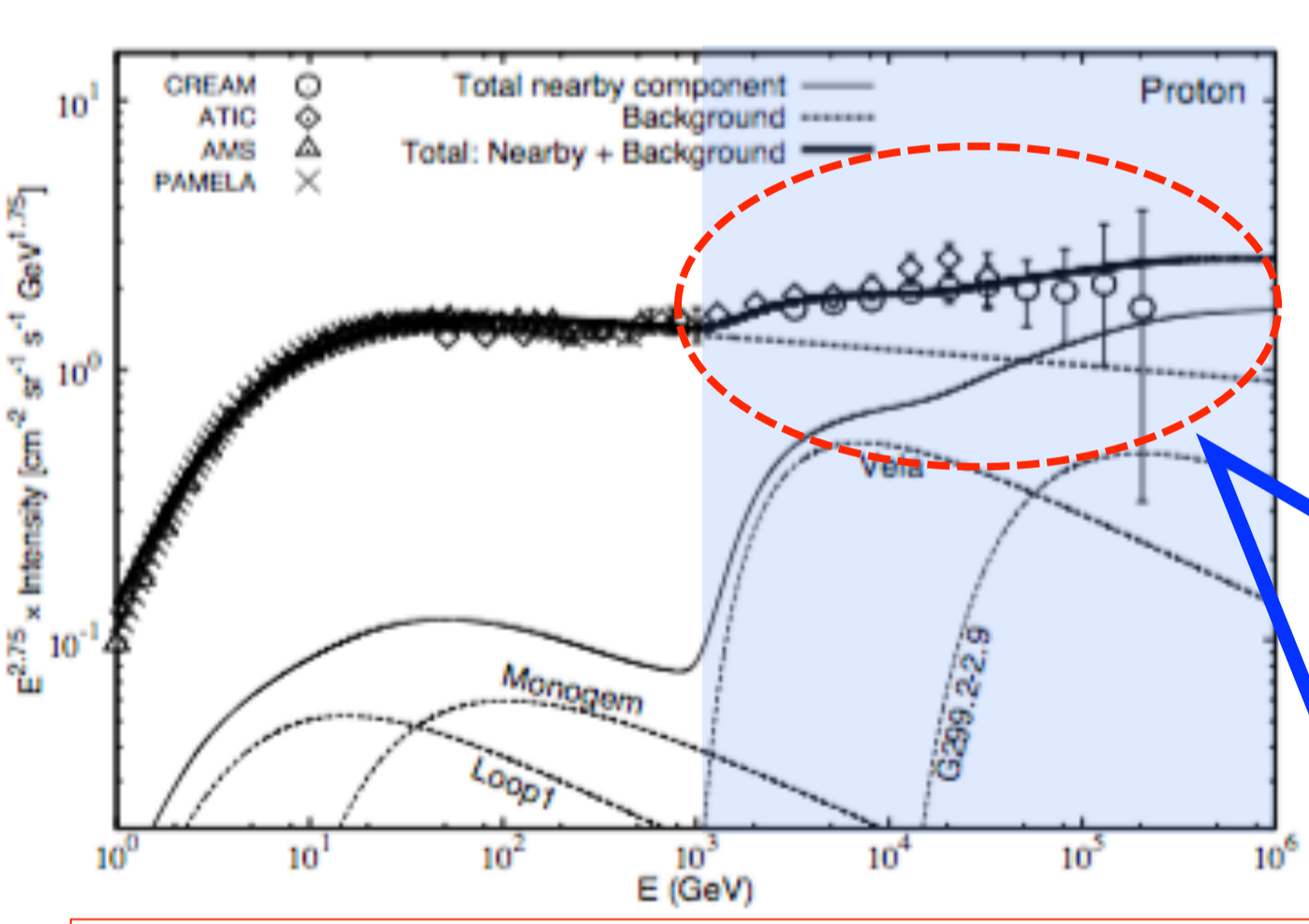


宇宙線の到来頻度を表す

- 様々な観測方法から得た結果をつなぎ 10⁸ eV ~ 10²⁰ eV以上と広範囲にわたる。
- 太陽活動による影響がきかない10¹⁰ eV以上では、ベキ関数 $J(E) \propto E^{-\gamma}$ に従う。
- 指数部 γ が変化しスペクトルが折れ曲がる。
knee(4 × 10¹⁵ eV)付近の γ : 2.7 → 3.0
ankle(5 × 10¹⁸ eV)付近の γ : 3.0 → 2.8
- ➡ 宇宙線起源の情報をもつ。

▶ TeV領域の観測はどちらの方法でも難しい

TeV領域エネルギースペクトルの測定の現状



直接観測による装置の大型化と長期観測が成功

- ▶ 数百GeV領域から硬化しはじめその状態は数百TeVまで続く。
- ▶ 100 TeVあたりを超えるとこの硬化が弱まるよう見える。

- ▶ 一般的な標準モデルでは、スペクトル硬化は再現しない。
- ▶ 実験グループによって結果が一致していない。
- ▶ 誤差が大きく、十分な統計精度とはいえない。

目的

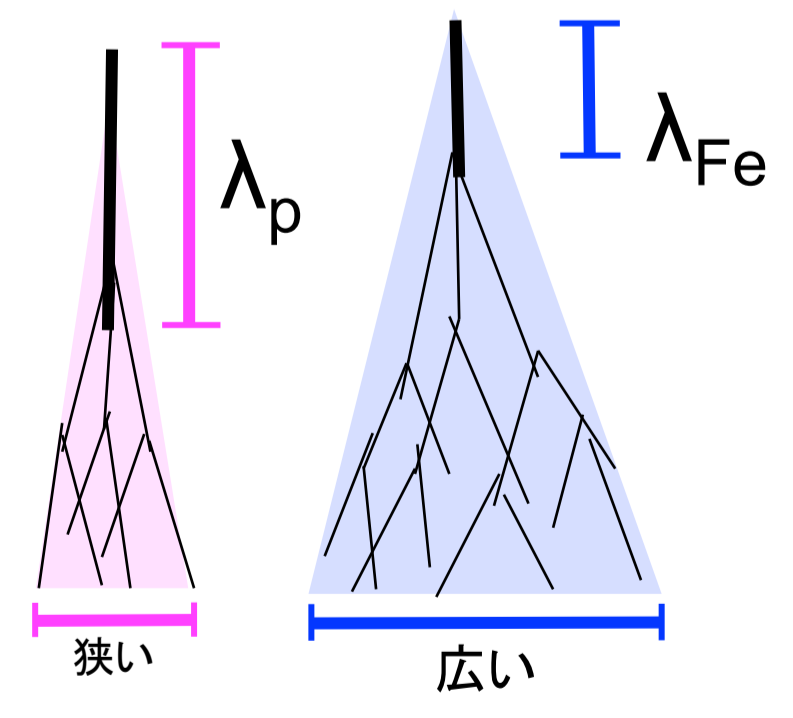
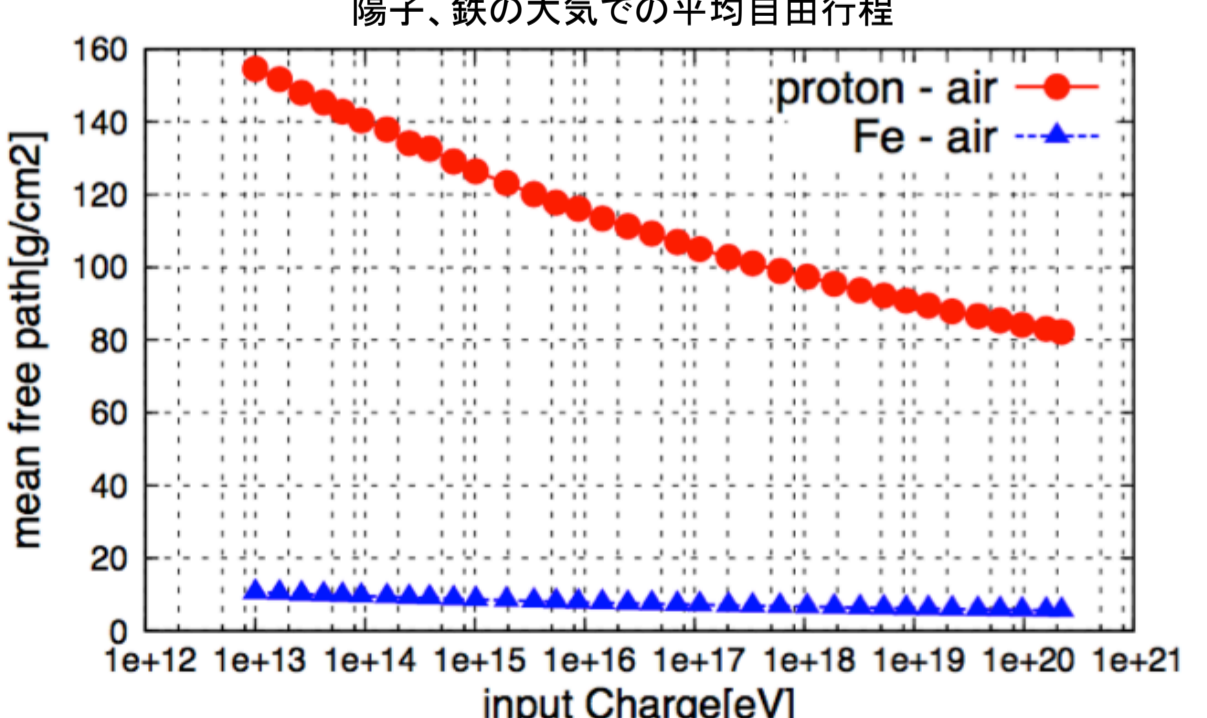
高山での空気シャワー観測の特徴を利用した地表観測による、高精度でのTeV領域一次宇宙線の測定方法を調査する。

2. 空気シャワー

大気中の原子核と相互作用し多数の二次粒子が生成される現象

核種選別：粒子の横広がり

- 鉄の方が大きくなる傾向がある
- ▶ 相互作用断面積が大きいいためより上空でシャワーを生成。
- ▶ 核子あたりのエネルギーが小さいためエネルギーの細分化が早く進む。



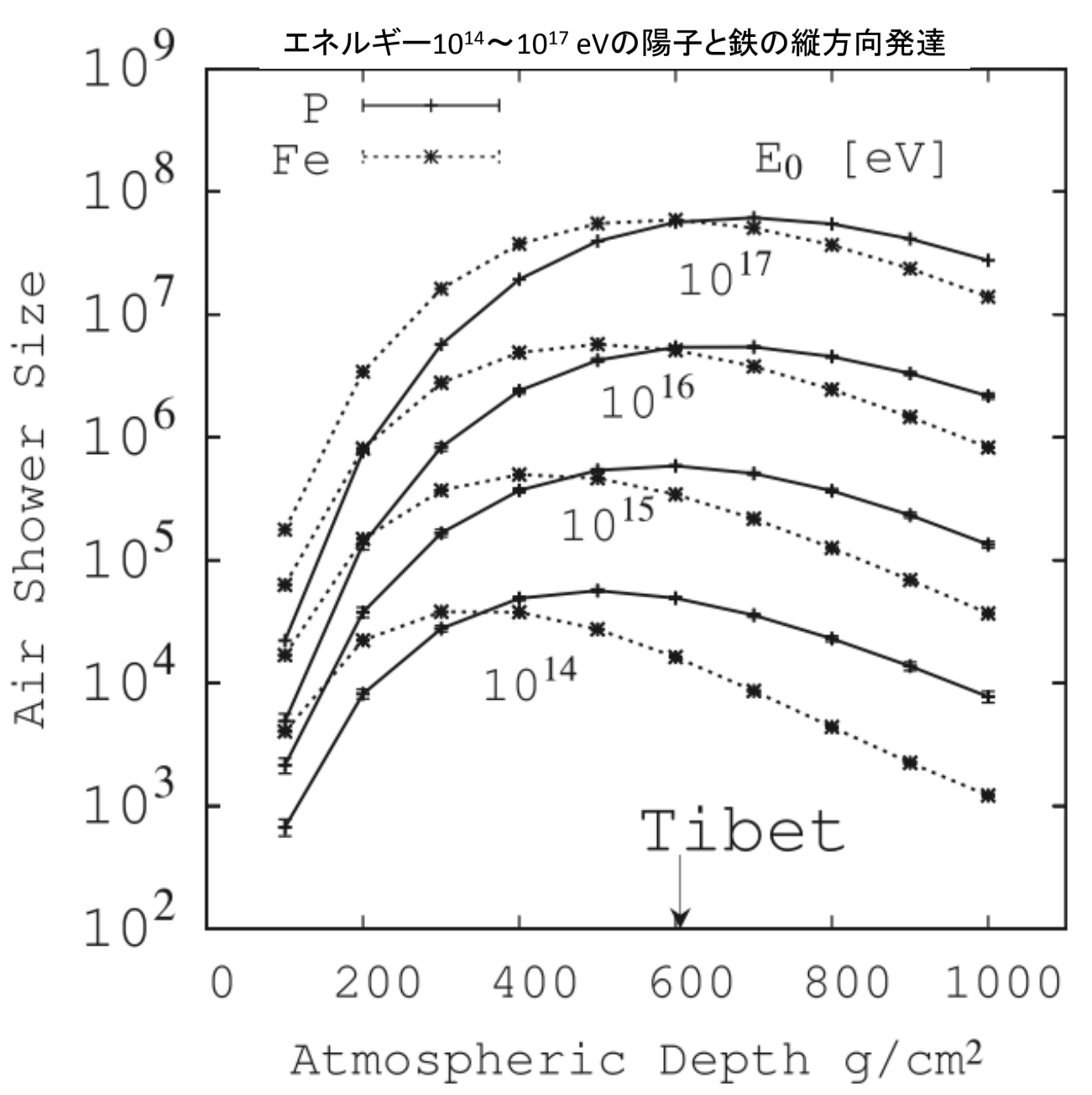
エネルギー選別：シャワーサイズ(電子の総数)

$$N_e(X) = N_e^{max} \left(\frac{X - X_0}{X_{max} - X_0} \right)^{\lambda} \exp\left(\frac{X_{max} - X}{\lambda} \right)$$

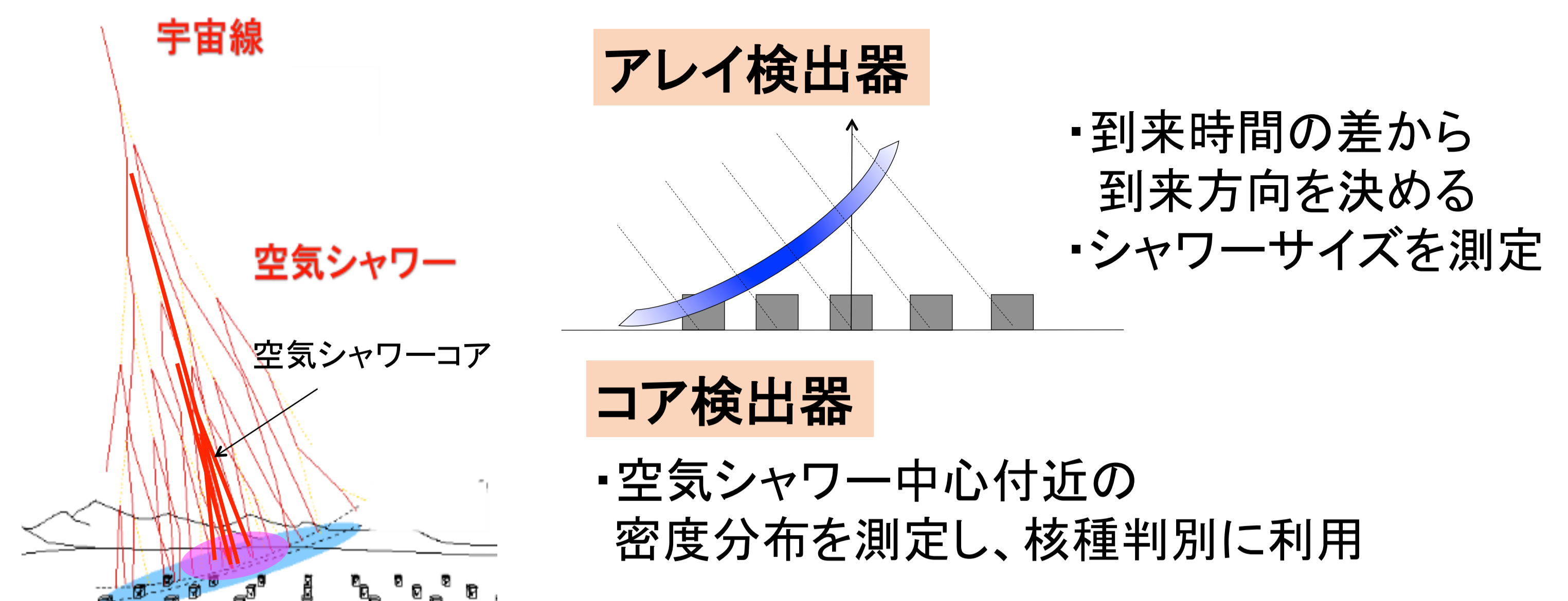
N_{max} : シャワー最大発達時の粒子数
 X_{max} : シャワー最大発達の深さ[g/cm²]
 X_0 : 一次宇宙線の最初の相互作用の深さ[g/cm²]
 λ : 平均自由行程

一次宇宙線のエネルギー E_0 が同じ場合、入射原子核によらず電子の最大発達数はほぼ同じになる。

$$E_0 [\text{GeV}] \sim 1.4 \times N_e^{max}$$



3. 検討した検出器



4. モンテカルロシミュレーション

1. 空気シャワーの構造解析

シミュレーション条件(CORSIKAコード)	
核種	Proton / Fe
入射エネルギー	1, 5, 10, 50 TeV
試行回数	10000回
観測高度	4500 m
天頂角	0度
方位角	-180度 ≤ φ ≤ 180度

- 解析には実際に得られる測定値である以下のような物理量を用いた
- ・シャワーサイズ (電子の総粒子数) N_e
 - ・軸からR[m]以内のコア粒子数 N_{cor}
 - ・軸からR[m]以内の粒子のエネルギー和 E_{cor}
- エネルギー決定: N_e / 核種決定: N_{cor}, E_{cor}

検出効率

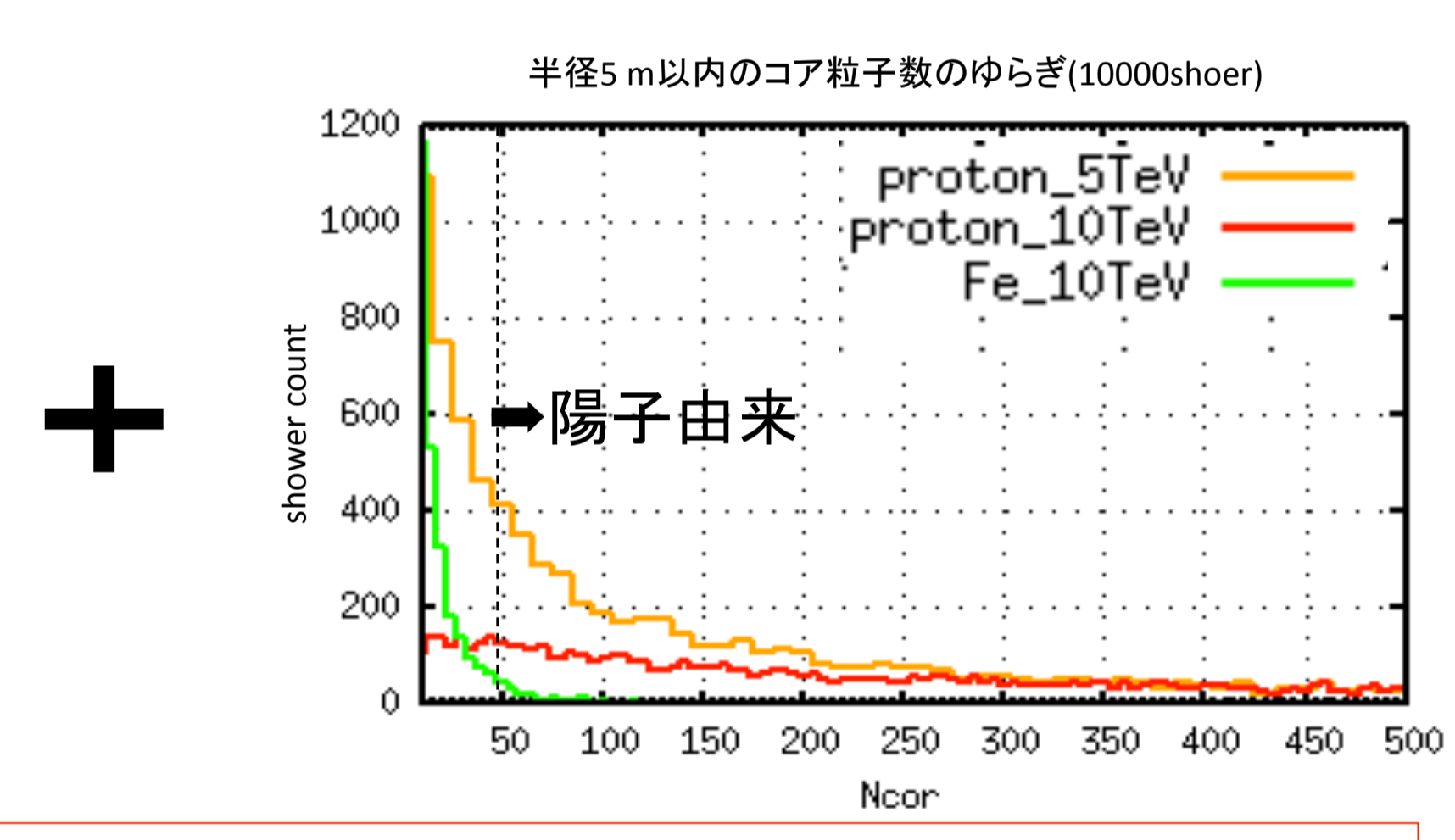
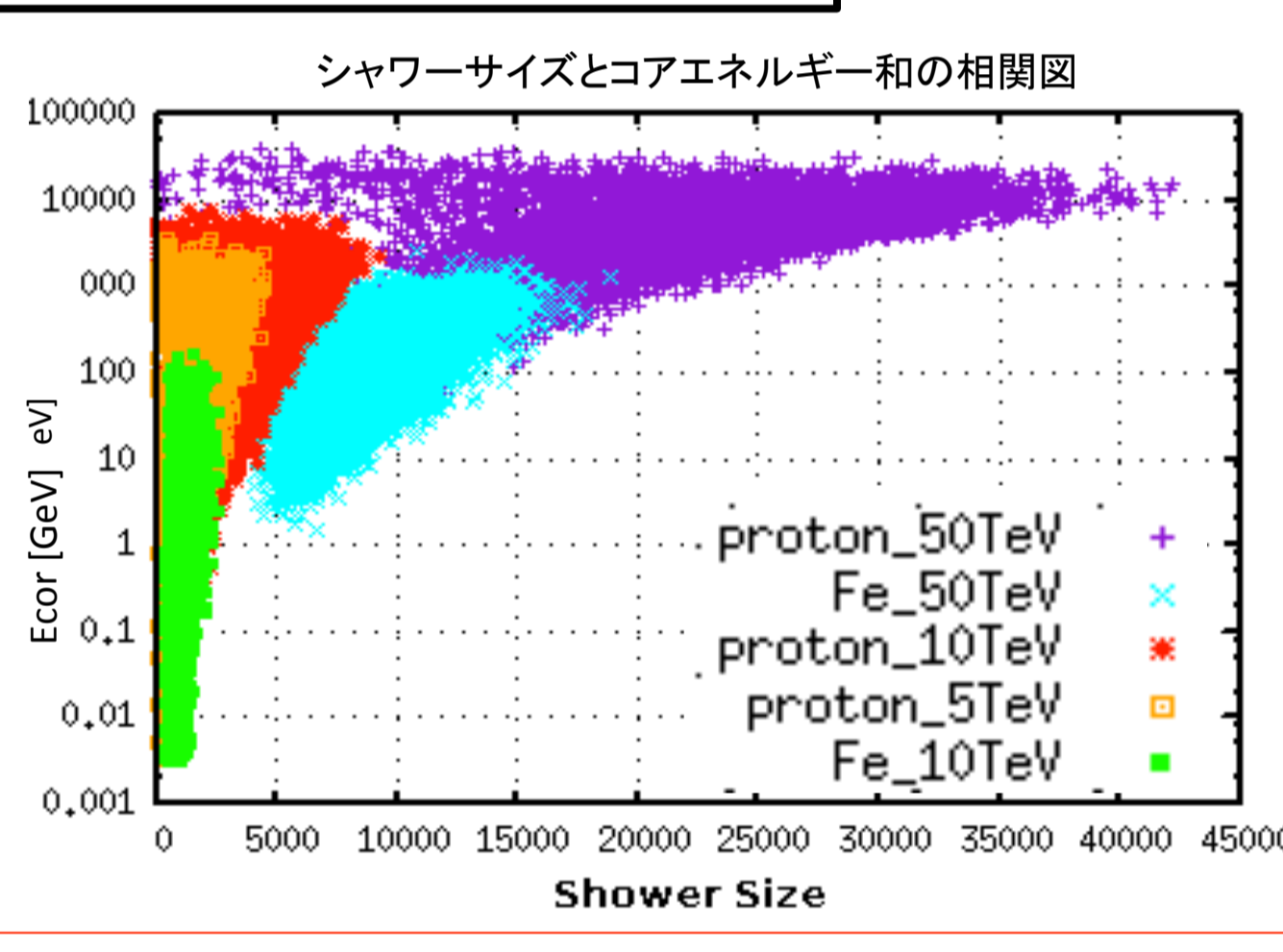
半径5 m以内で5粒子以上を検出可能とした場合...

陽子 : 1 TeVから観測見込みがある。

鉄 : 1~5 TeVの観測は期待できない。

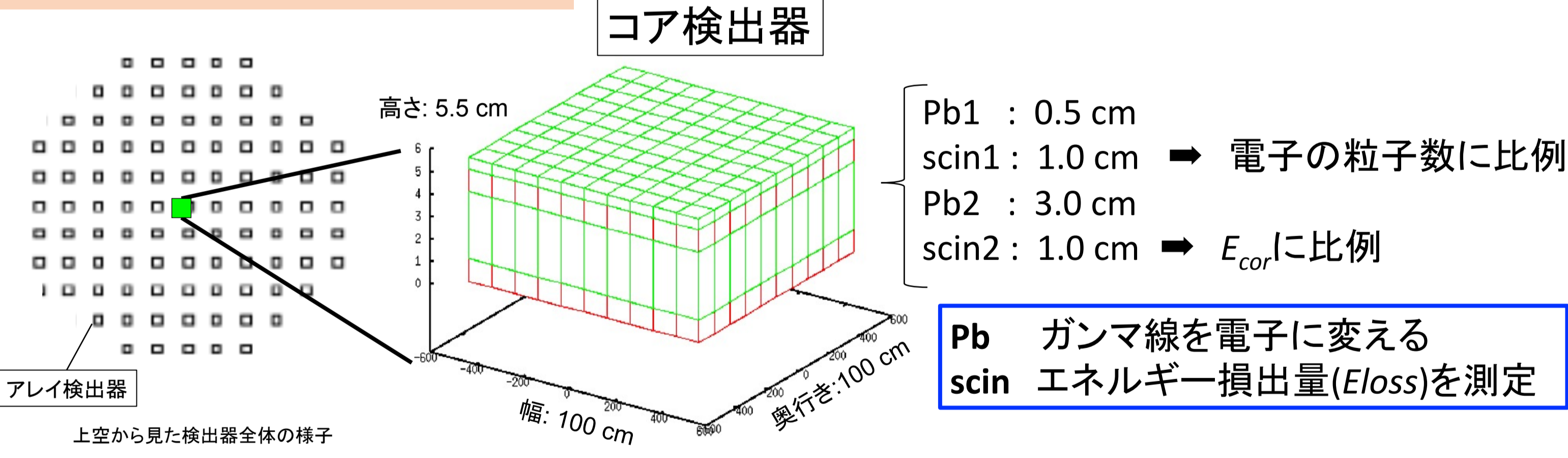
	1 TeV	5 TeV	10 TeV	50 TeV
陽子	22.46%	91.26%	99.43%	99.94%
鉄	0%	5.77%	52.21%	100%

エネルギー/核種の同定

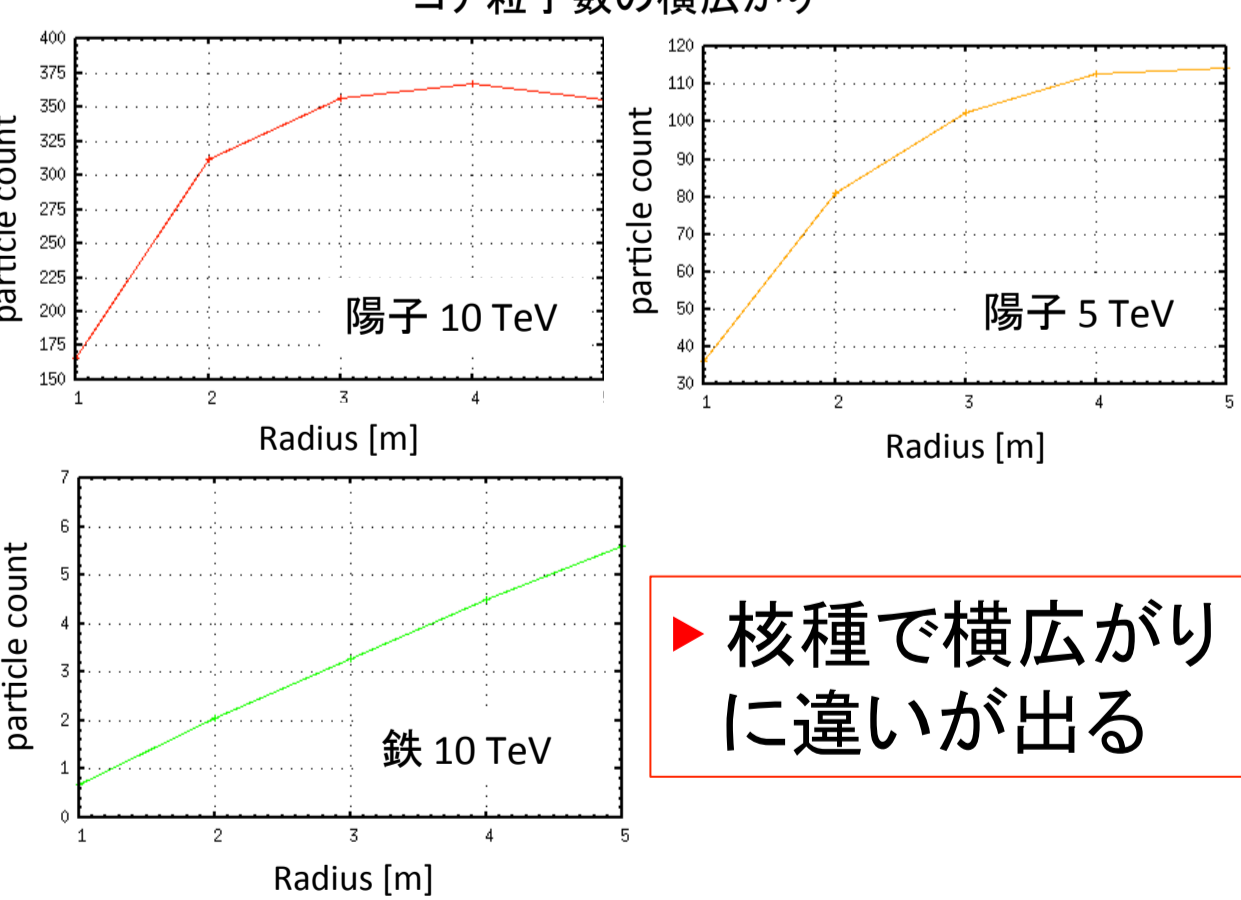
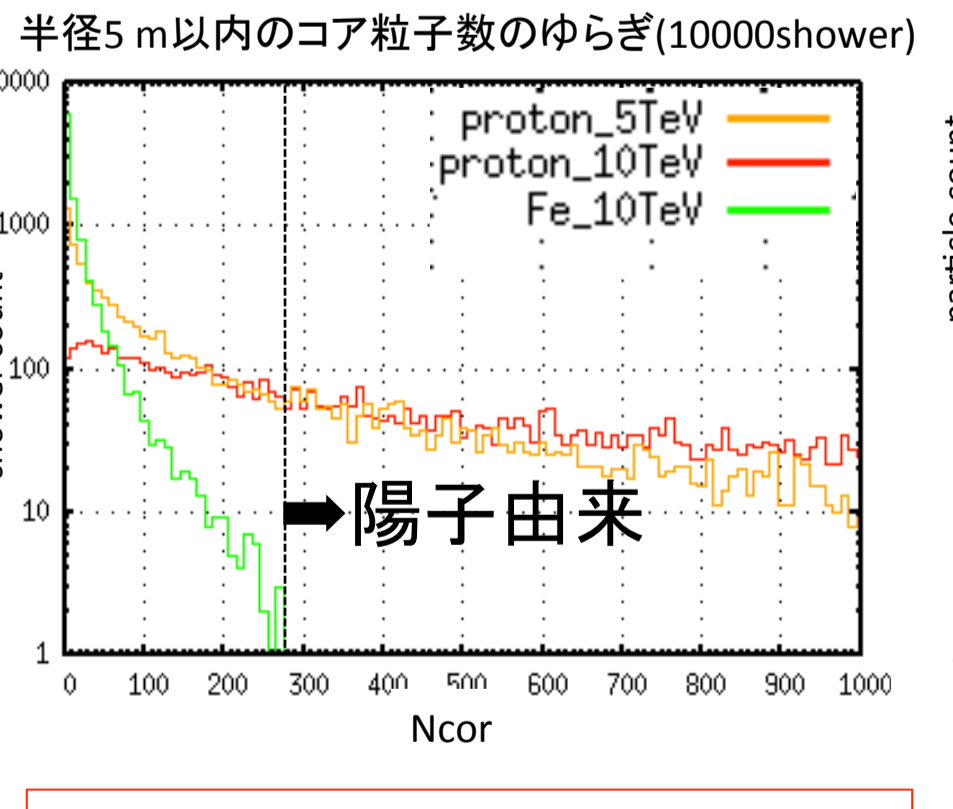
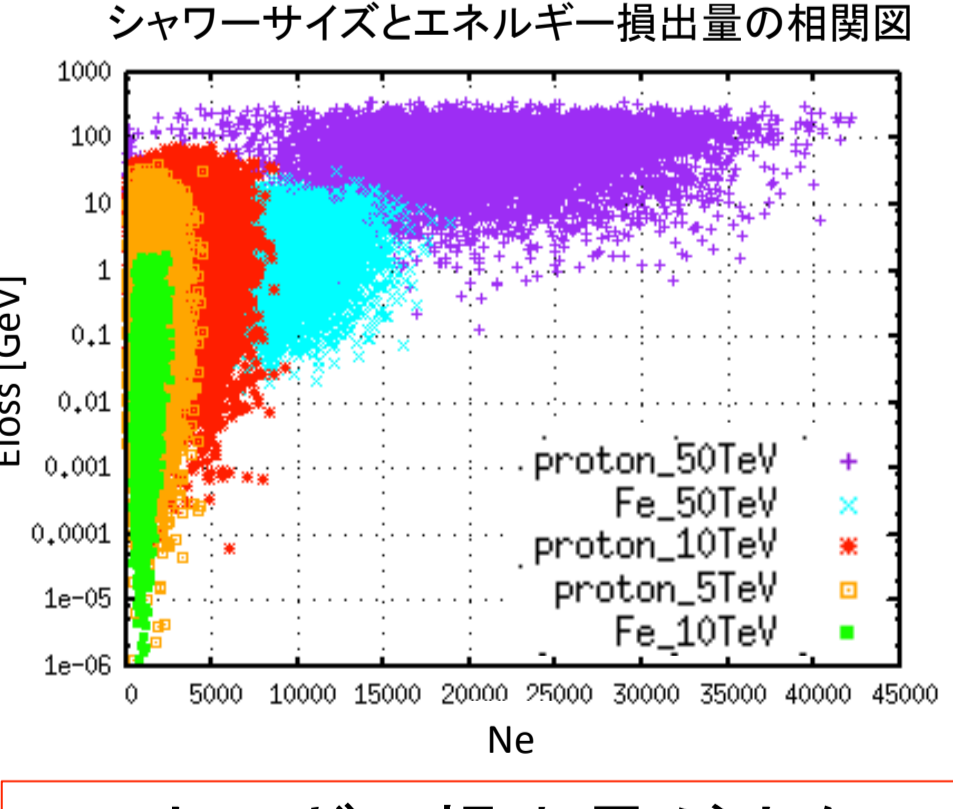


- ▶ N_e vs E_{cor} の相関図では、重なって分布し決定精度が良くない。
- ▶ コア粒子数 N_{cor} を測定することで核種の区別が可能。
- ▶ N_e, N_{cor}, E_{cor} の測定だけでは入射エネルギーを決定するのは難しい。

2. 検出シミュレーション



エネルギー/核種の同定



- ▶ エネルギー損失量が少ない
- ▶ コア粒子数の違いが出る

5. まとめ

TeV領域の一次宇宙線組成測定のためのシミュレーションを行った。

- 空気シャワー解析
 - ・コア検出器によって、陽子は1 TeVから観測が期待出来る。
 - ・鉄5 TeVまではほとんど地上に到来せず、相関図から除去できる。
 - ・コア粒子数、横広がりで核種を陽子と鉄を区別できる。
- 検出シミュレーション
 - ・陽子と鉄の横広がりやコア粒子数の違いを再現できる。

謝辞：この研究を行うにあたり、指導教員であった横浜国大の片寄祐作先生には研究方針から解析方法など基礎的な部分に至るまで丁寧にご指導いただきました。深くお礼を申し上げます。