

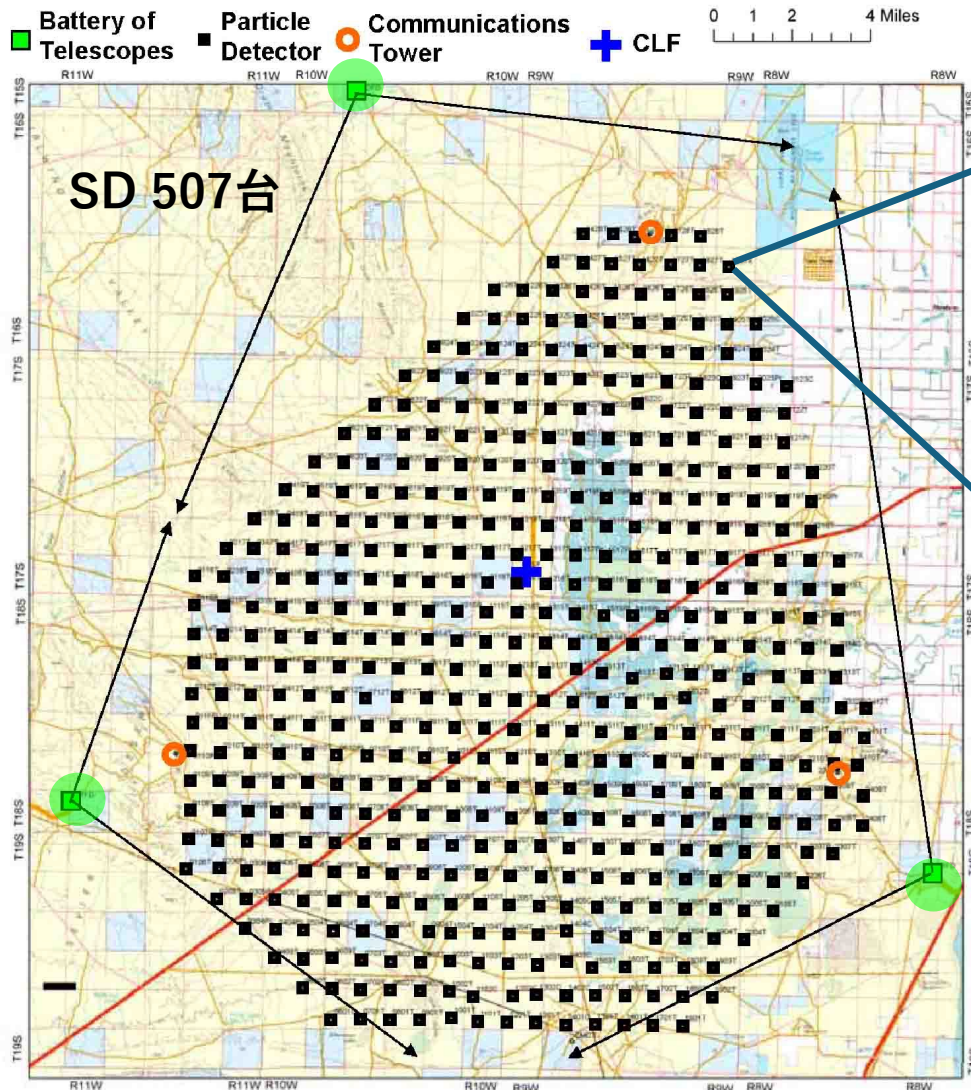
TA SDによる大天頂角 ニュートリノシャワー解析手法の開発

東京大学宇宙線研究所

高橋薫

Telescope Array Surface Detector (SD)

Desert of Delta, Utah, USA (西経113° ,北緯39°)

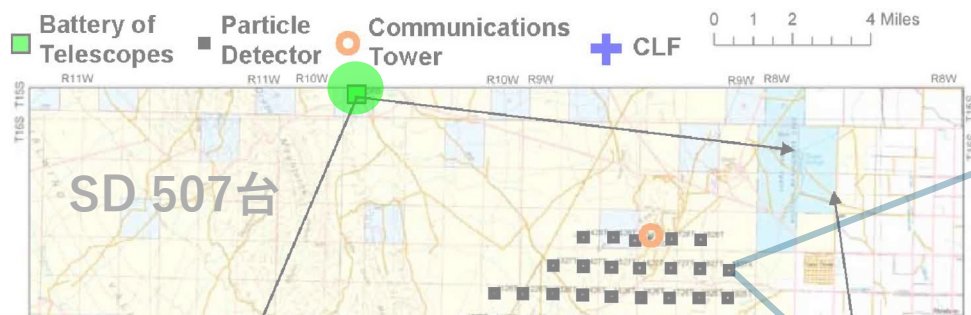


地表検出器(SD)

1.2km間隔で配置した507台のSD(3m²)アレイ。
宇宙線空気シャワーを地表から観測する。

Telescope Array Surface Detector (SD)

Desert of Delta, Utah, USA (西経113° ,北緯39°)

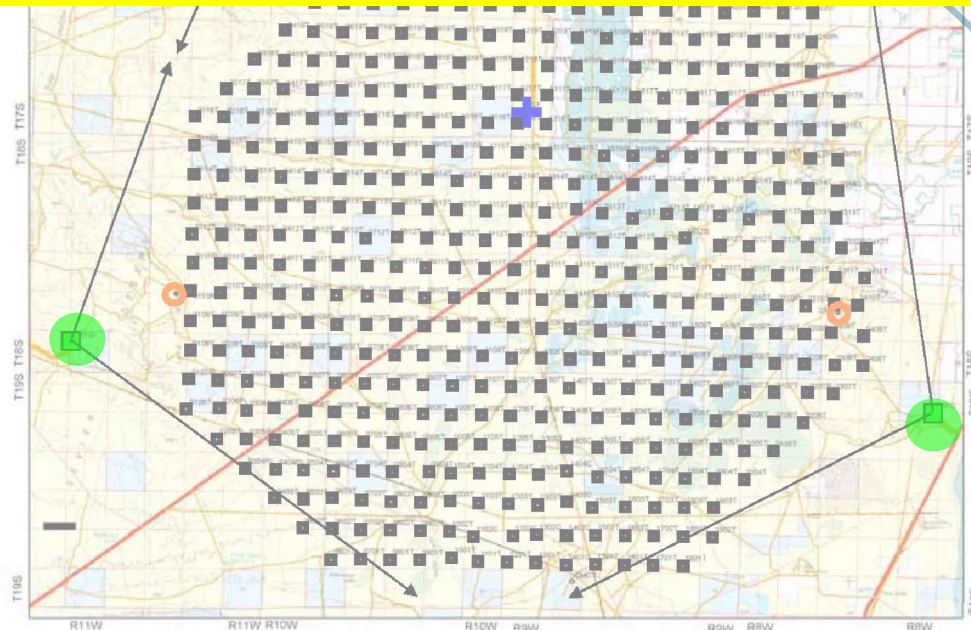


最高エネルギー宇宙線の起源天体を探索する



地表検出器(SD)

1.2km間隔で配置した507台のSD(3m²)アレイ。
宇宙線空気シャワーを地表から観測する。

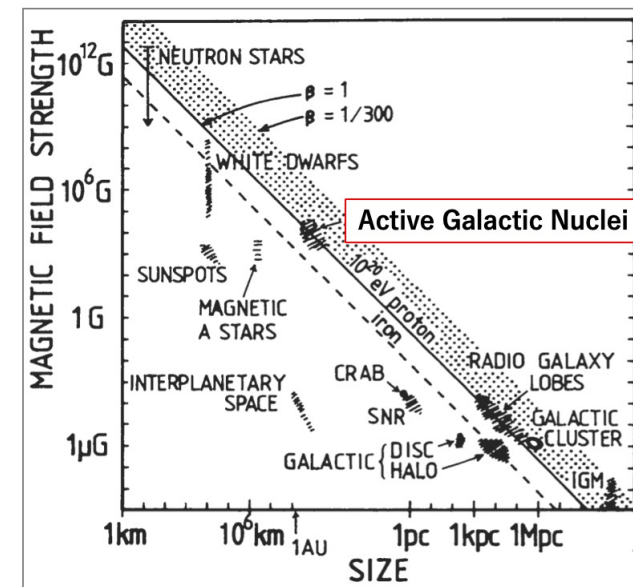
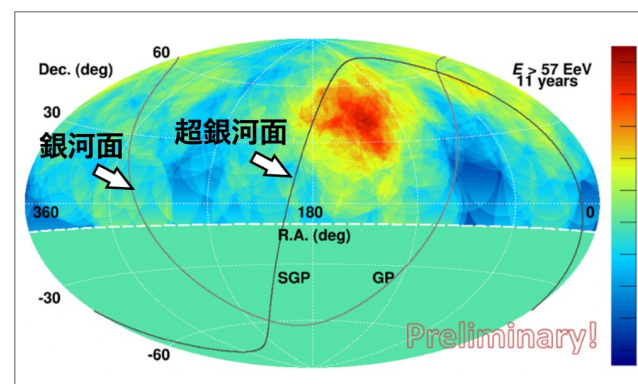


[最高エネルギー宇宙線の起源天体を探索する]

① 銀河系外からも到来できる粒子での探索

最高エネルギー宇宙線の起源天体は銀河系外にあると考えられている

- : TA, Augerの観測による宇宙線過剰の方向から
- : EeVまでの宇宙線加速に必要な
磁場と大きさを備えた天体が系内にない

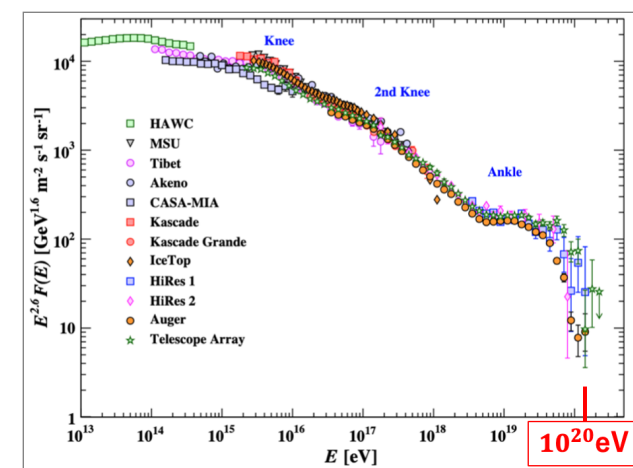


② 磁場に影響されずに直進できる粒子での探索

- : 荷電粒子は宇宙空間の磁場に影響されて方向情報を失う

③ 到来頻度が低いので空気シャワーによる大面積の観測

- : 宇宙線のエネルギースペクトルは冪型。
エネルギーが高いほど到来頻度が低い。

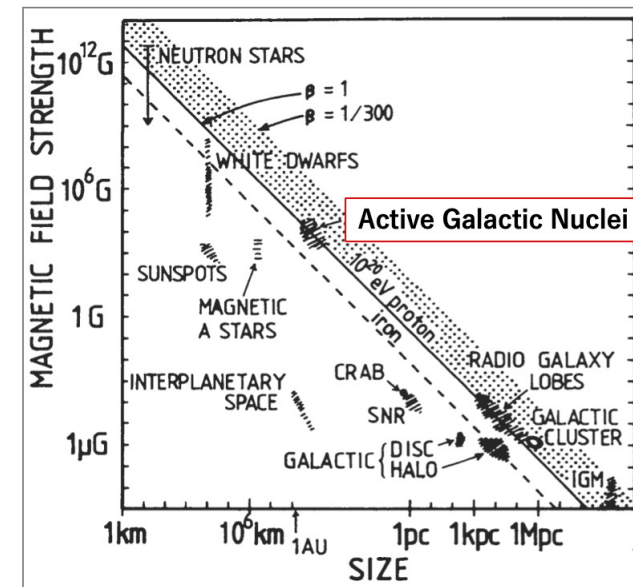
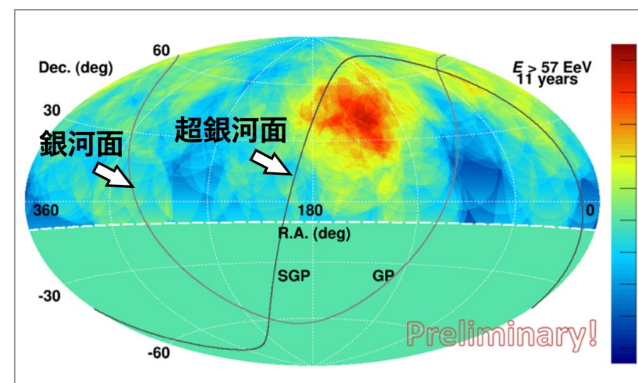


[最高エネルギー宇宙線の起源天体を探索する]

① 銀河系外からも到来できる粒子での探索 → 相互作用断面積が小さい

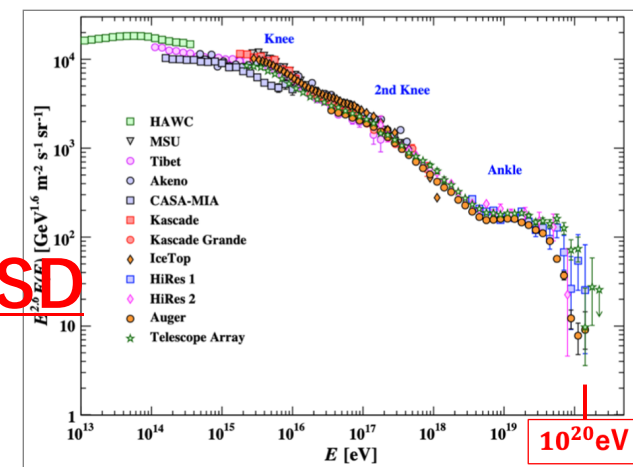
最高エネルギー宇宙線の起源天体は銀河系外にあると考えられている

- : TA, Augerの観測による宇宙線過剰の方向から
- : EeVまでの宇宙線加速に必要な磁場と大きさを備えた天体が系内にない



② 磁場に影響されずに直進できる粒子での探索 → 中性粒子

- : 荷電粒子は宇宙空間の磁場に影響されて方向情報を失う



③ 到来頻度が低いので空気シャワーによる大面積の観測 → TA SD

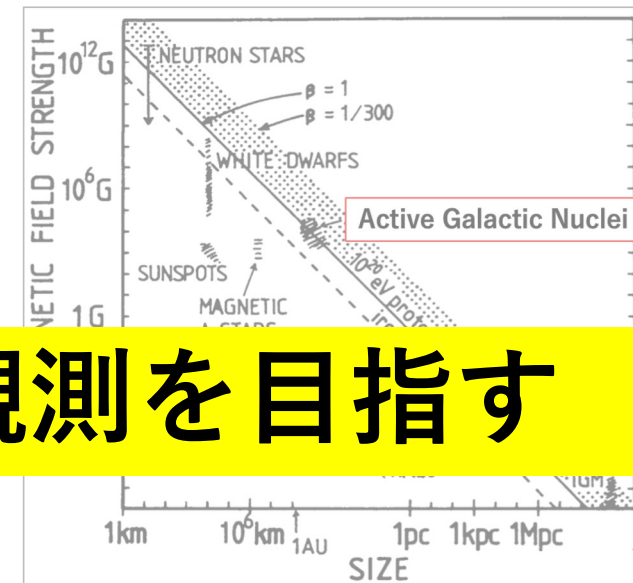
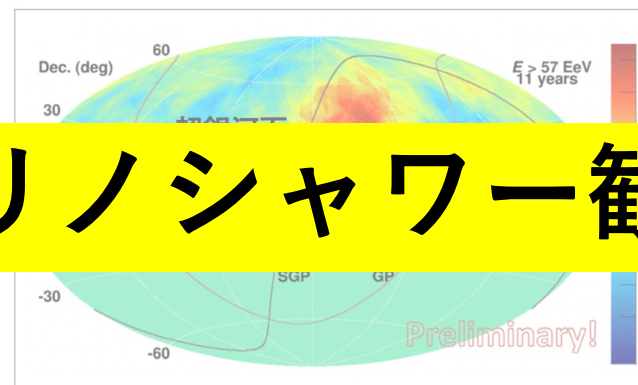
- : 宇宙線のエネルギースペクトルは冪型。エネルギーが高いほど到来頻度が低い。

[最高エネルギー宇宙線の起源天体を探索する]

① 銀河系外からも到来できる粒子での探索 → 相互作用断面積が小さい

最高エネルギー宇宙線の起源天体は銀河系外にあると考えられている

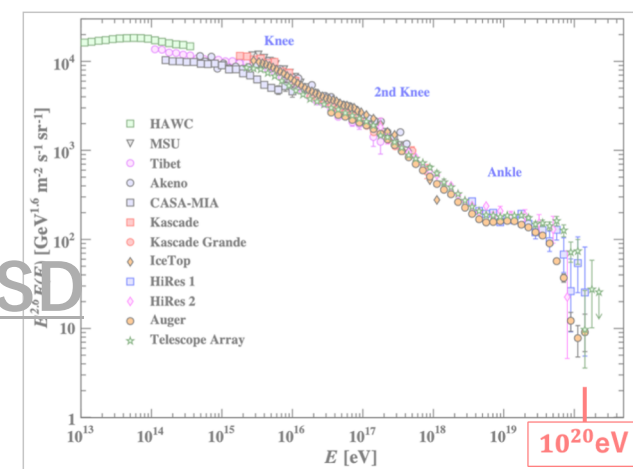
- : TA, Augerの観測による宇宙線過剰の方向から
- : EeVまでの宇宙線加速に必要な
磁場と大きさを備えた天体が系内にない



TA SDによるニュートリノシャワー観測を目指す

② 磁場に影響されずに直進できる粒子での探索 → 中性粒子

- : 荷電粒子は宇宙空間の磁場に影響されて方向情報を失う



③ 到来頻度が低いので空気シャワーによる大面積の観測 → TA SD

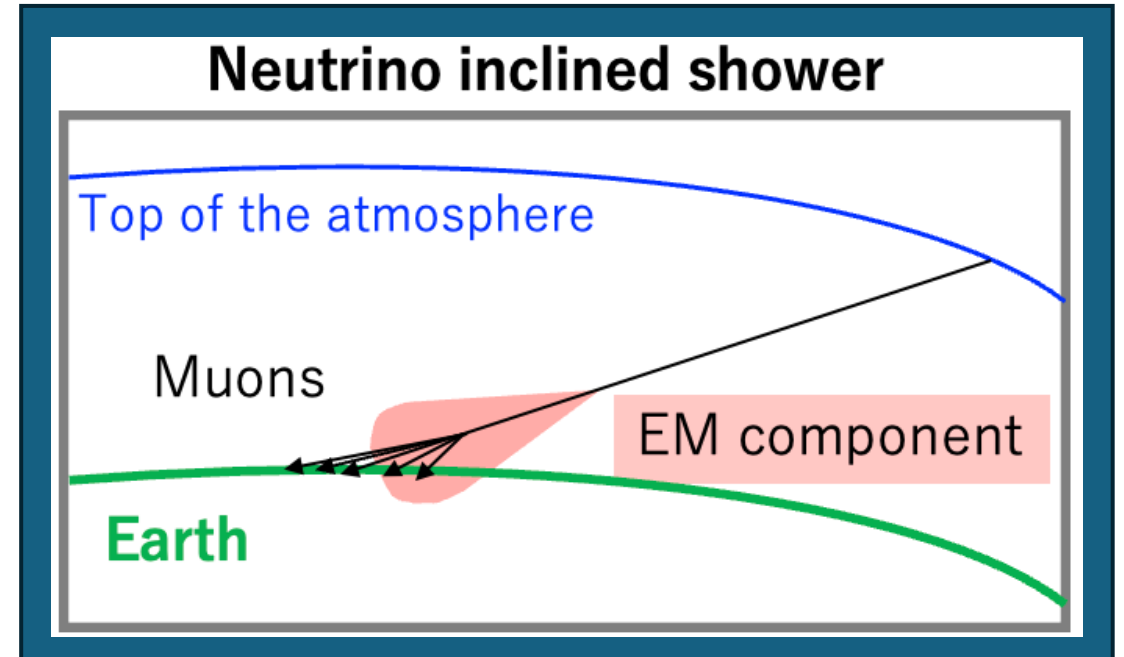
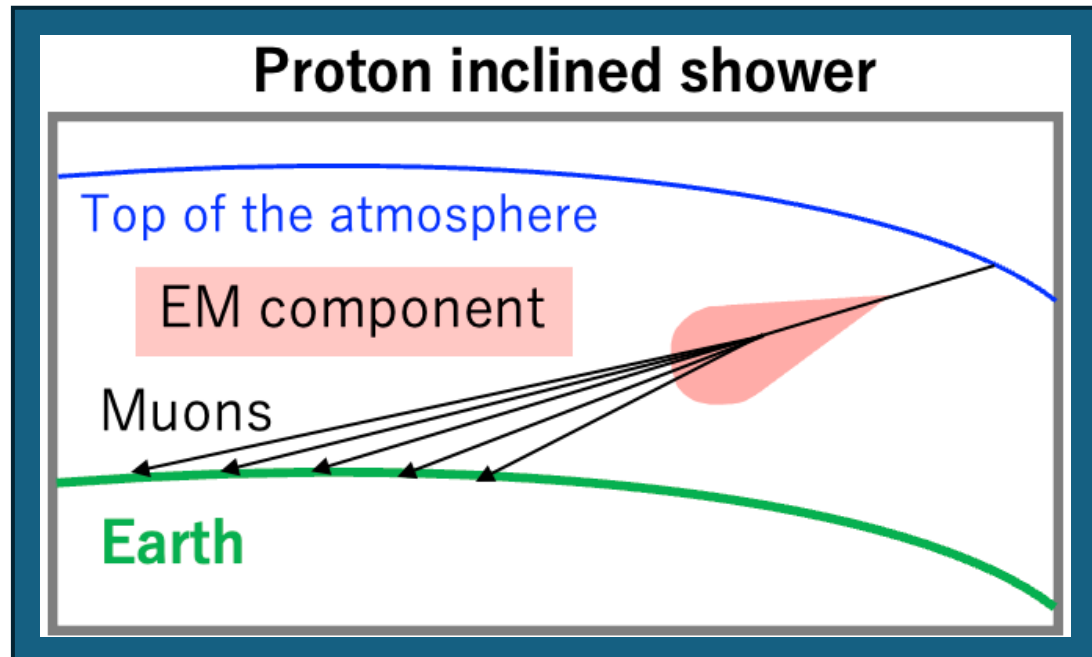
- : 宇宙線のエネルギースペクトルは冪型。
エネルギーが高いほど到来頻度が低い。

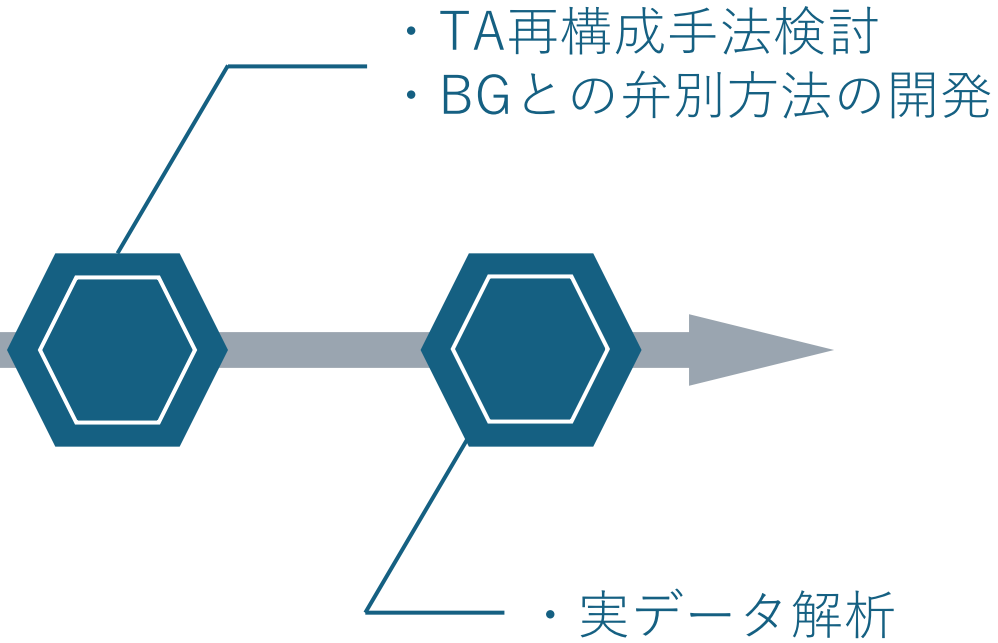
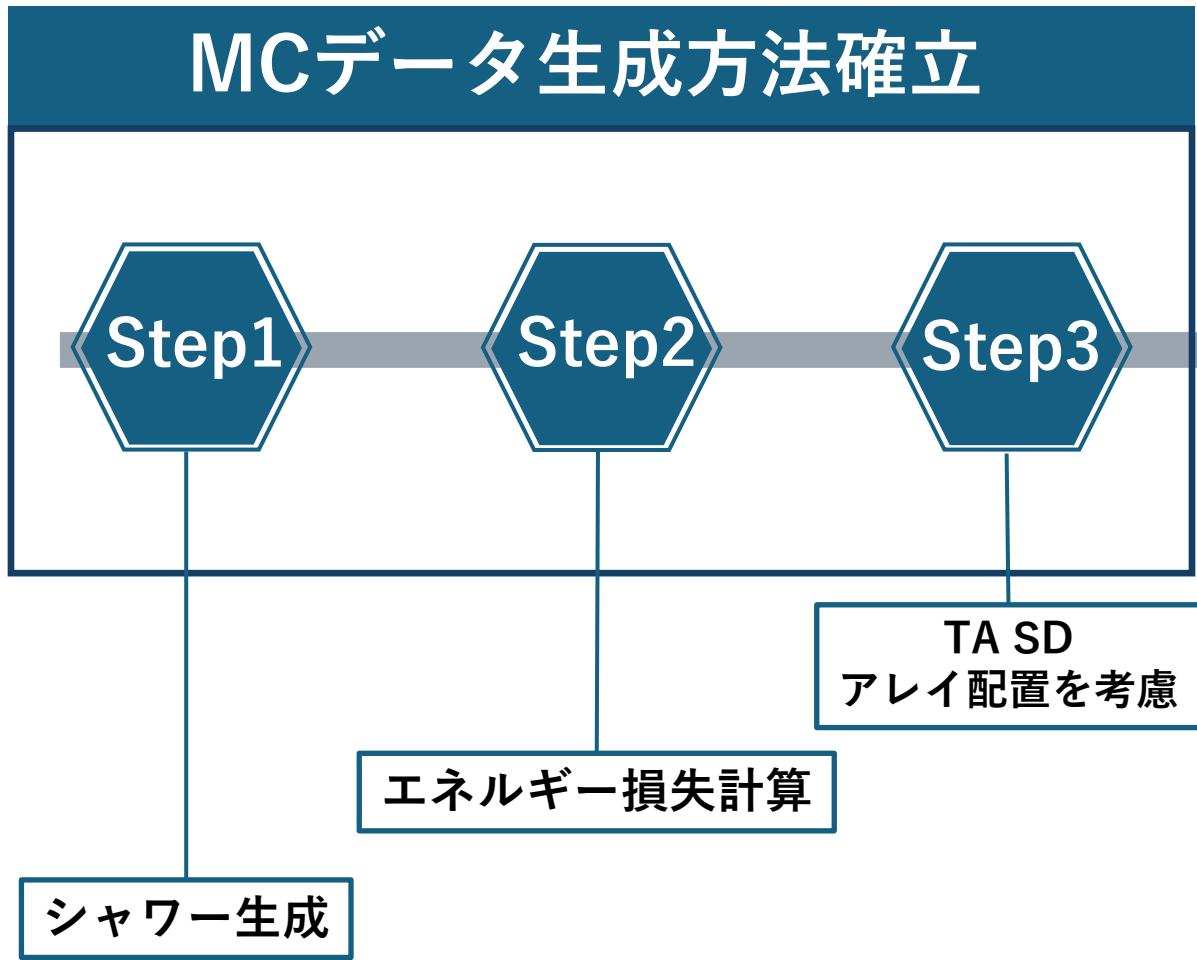
[TA SDによるニュートリノシャワー観測]

TA SDの**大天頂角データ**からニュートリノシャワーを探索する

[大天頂角探索のメリット]

- ・ニュートリノが大気と反応しやすい
- ・BGとなるハドロンシャワーとの弁別がしやすい





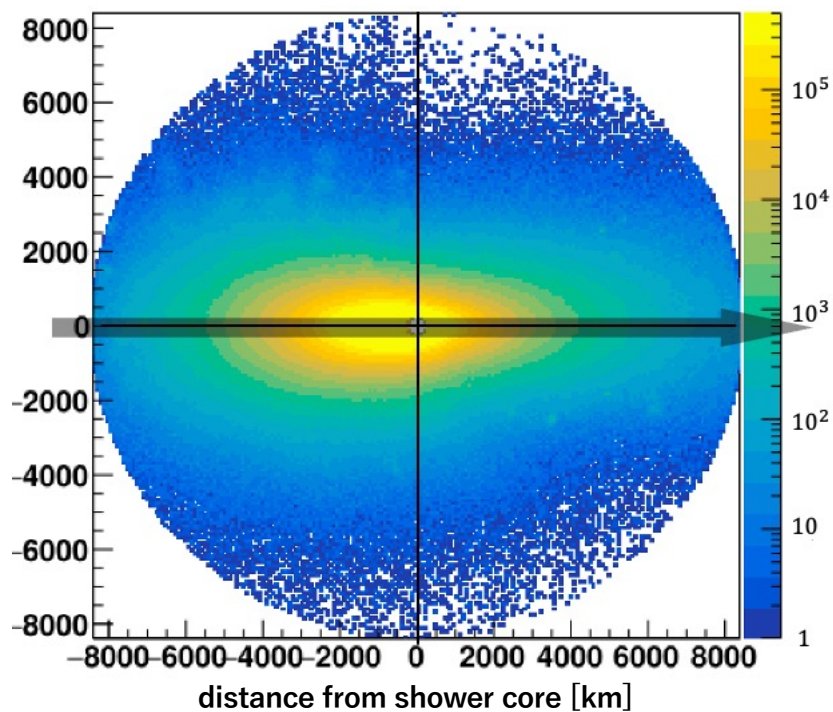
Example of each step

Particle information

Primary Particle : ν_e
 Primary Energy : 10^{18} eV
 Primary Zenith angle : 70 deg
 1st interaction point : 5.31km asl., Charged Current

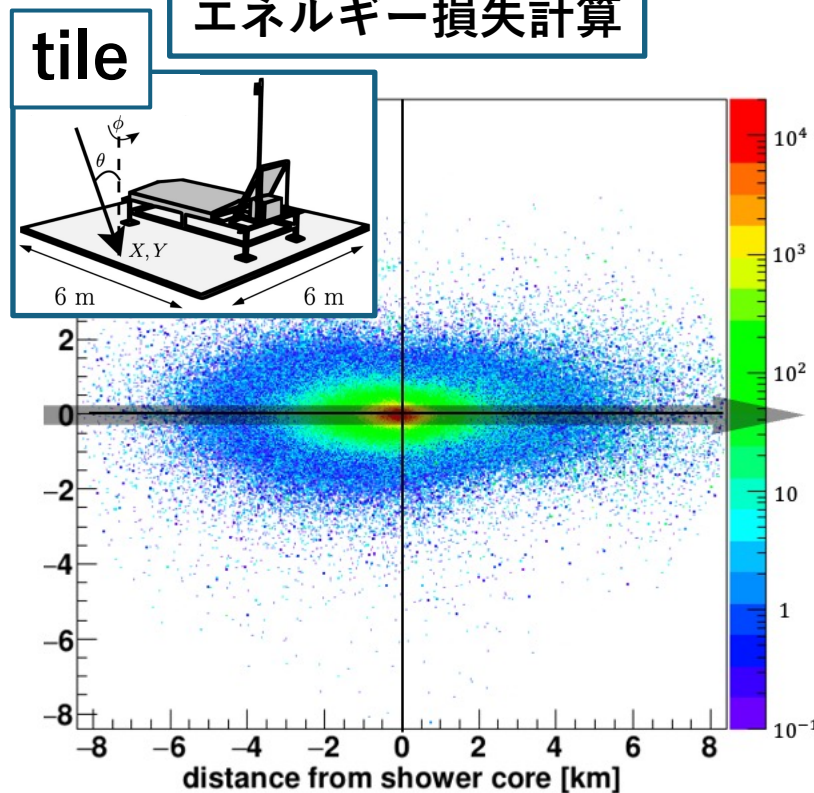
Step1

シャワー生成



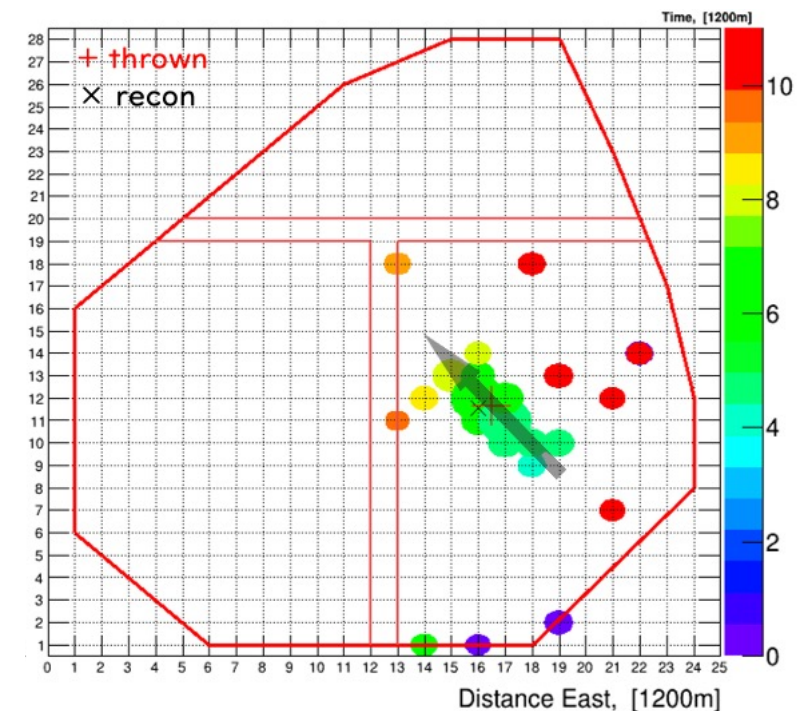
Step2

エネルギー損失計算



Step3

TA SDアレイ配置を考慮



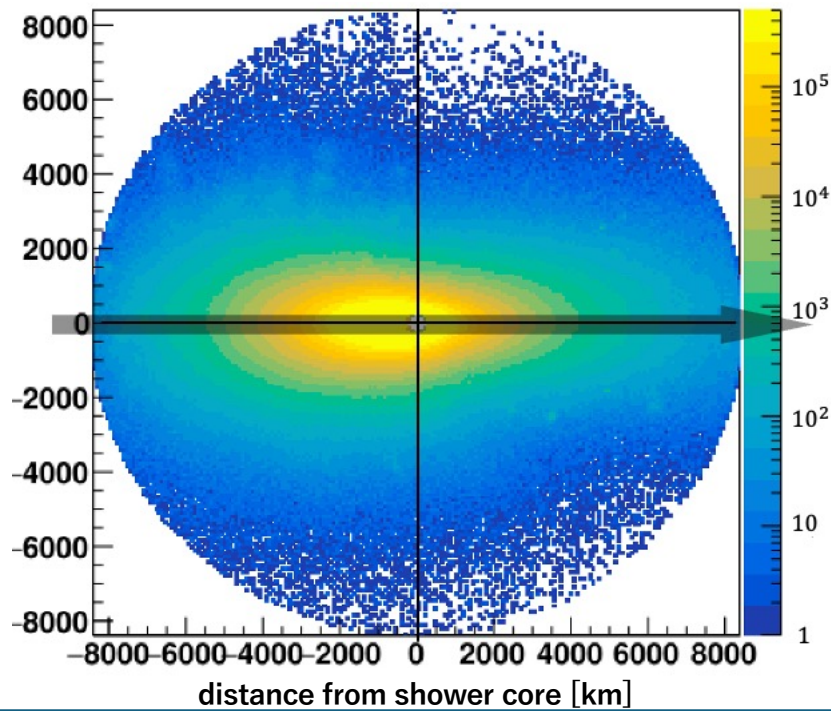
Example of each step

Particle information

Primary Particle : ν_e
Primary Energy : 10^{18} eV
Primary Zenith angle : 70 deg
1st interaction point : 5.31km asl., Charged Current

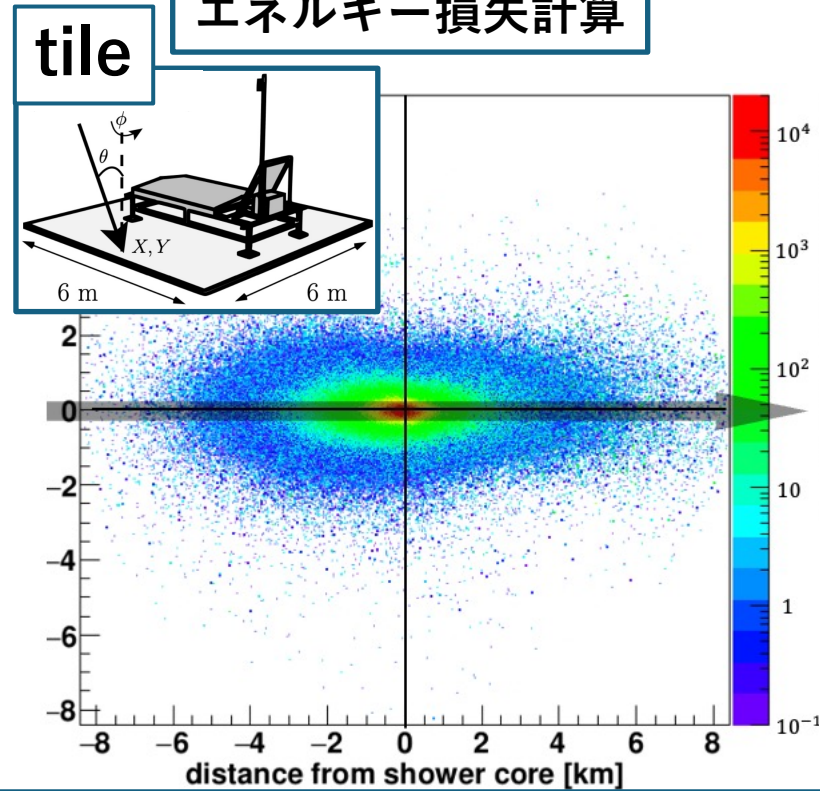
Step1

シャワー生成



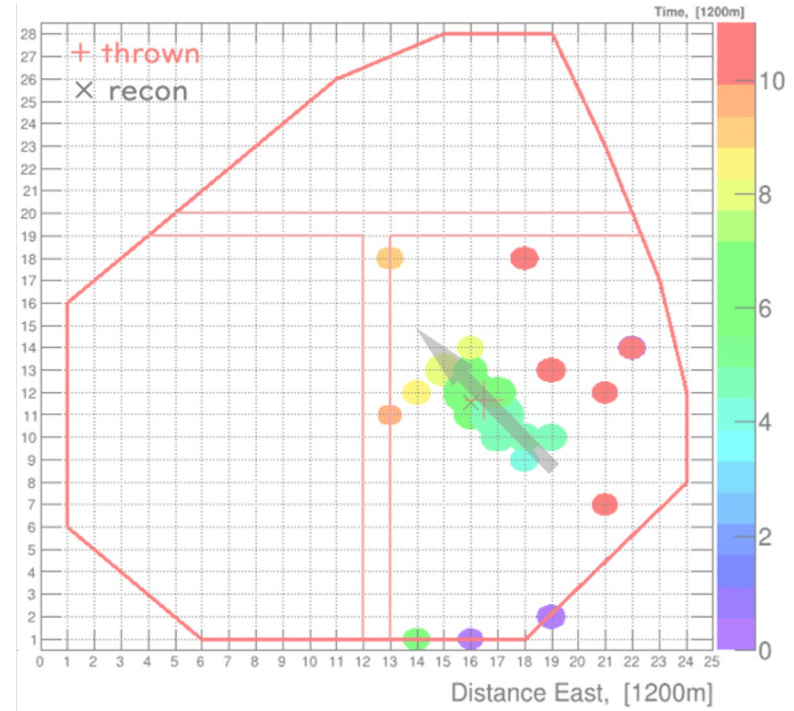
Step2

エネルギー損失計算



Step3

TA SDアレイ配置を考慮



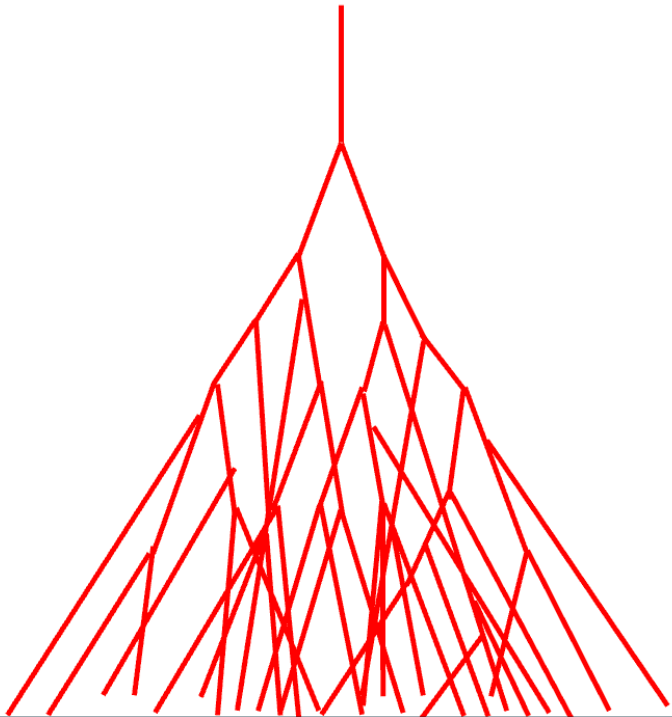
Thinning/Dethinning

Step1

シャワー生成

Nothinning

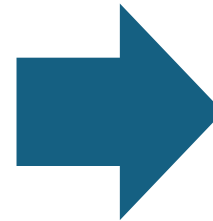
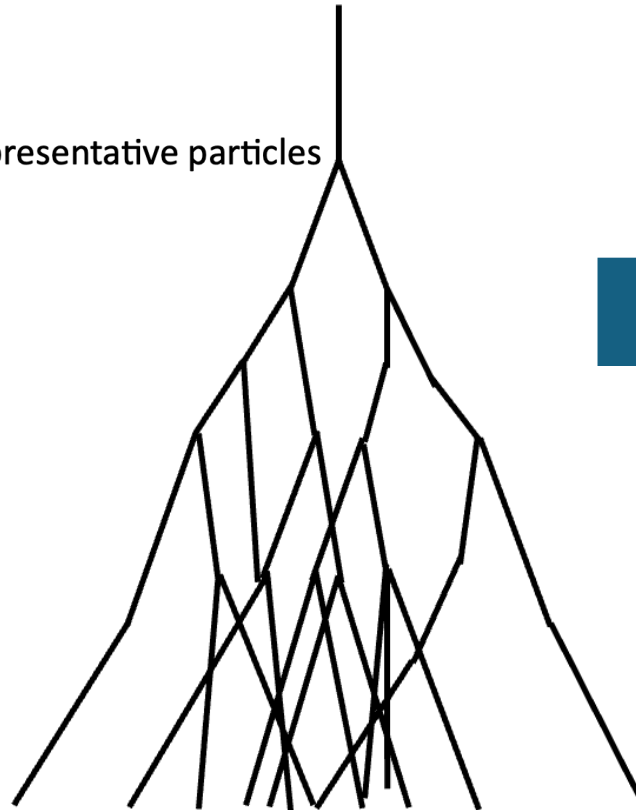
→全ての粒子軌道を追った場合



Thinned shower

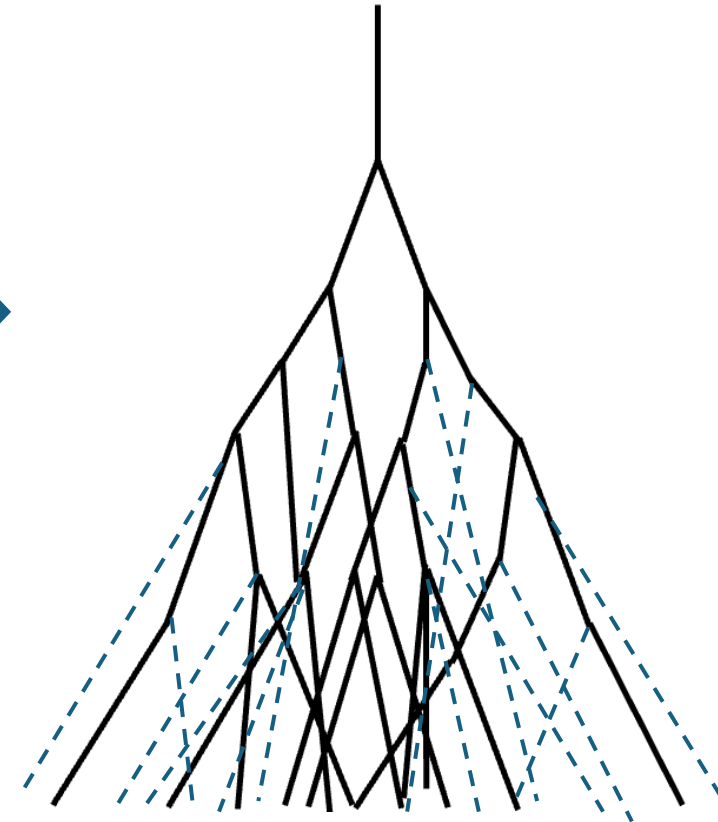
粒子を間引いて
weight付けした代表粒子のみ追跡する
→計算時間を短縮

— representative particles



Dethinned shower

代表粒子のweightに従って
Nothinningを再現する



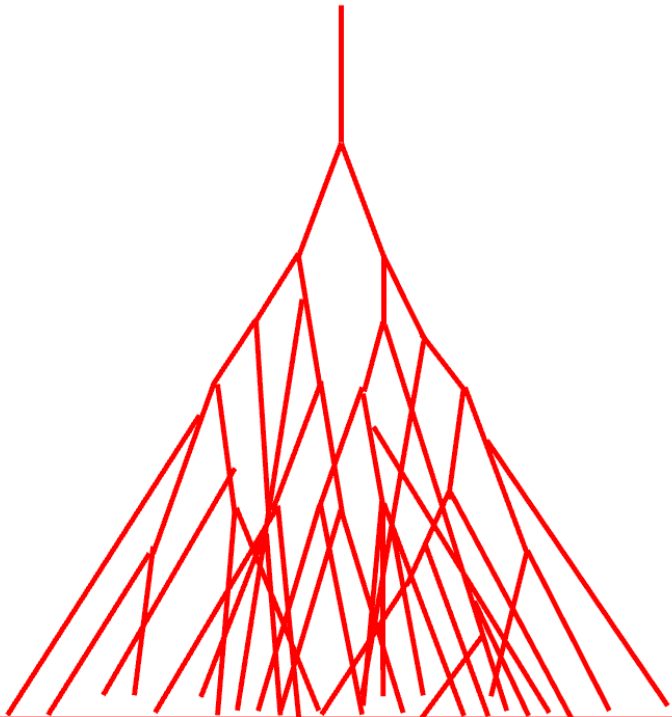
Thinning/Dethinning

Step1

シャワー生成

Nothinning

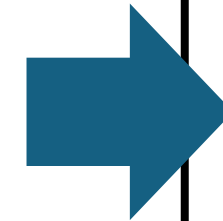
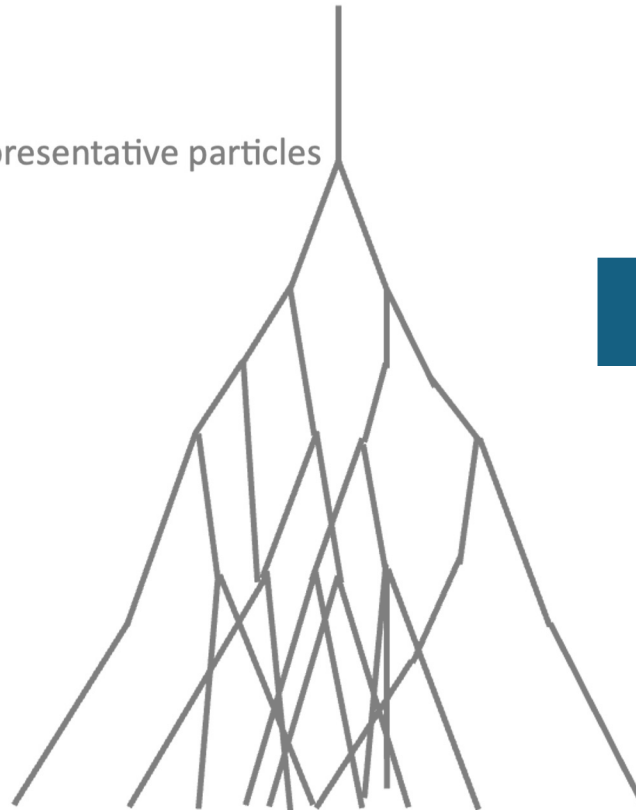
→全ての粒子軌道を追った場合



Thinned shower

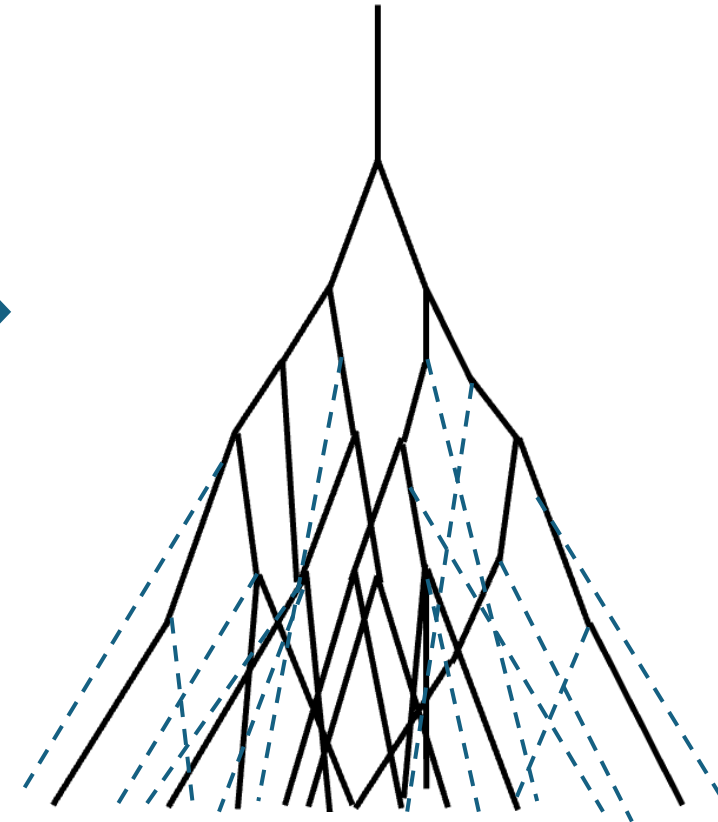
粒子を間引いて
weight付けした代表粒子のみ追跡する
→計算時間を短縮

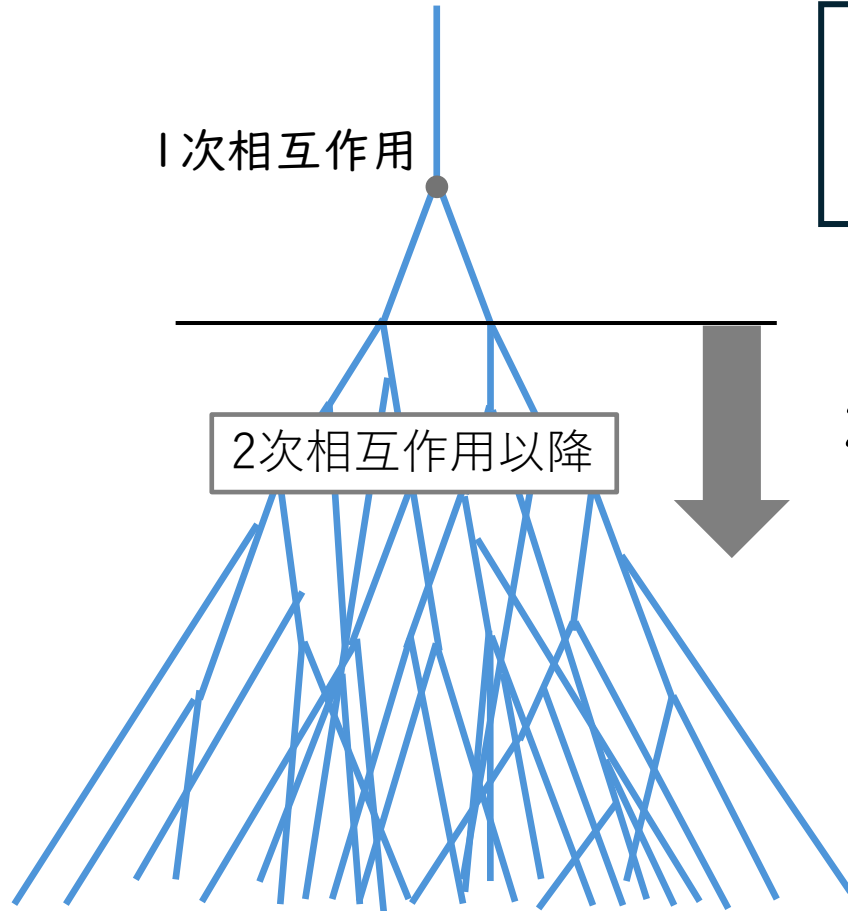
— representative particles



Dethinned shower

代表粒子のweightに従って
Nothinningを再現する





Nothinningのシャワー(全部追った場合)と
Thinningしたシャワー(間引いた場合)を同時に生成。

[利点]

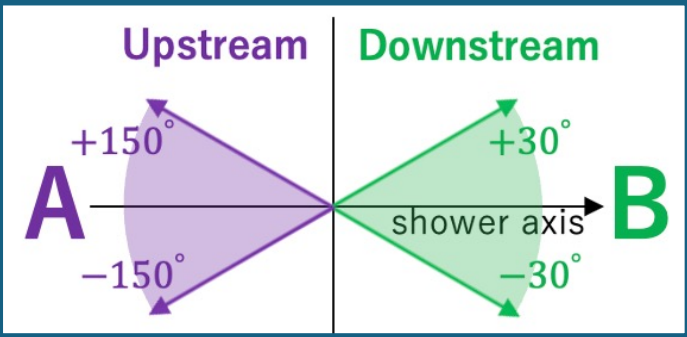
2次相互作用以降も全て同じ反応を起こした全く同じシャワーを生成し、NothinningシャワーとThinningシャワーを比較できる。

Step1

シャワー生成

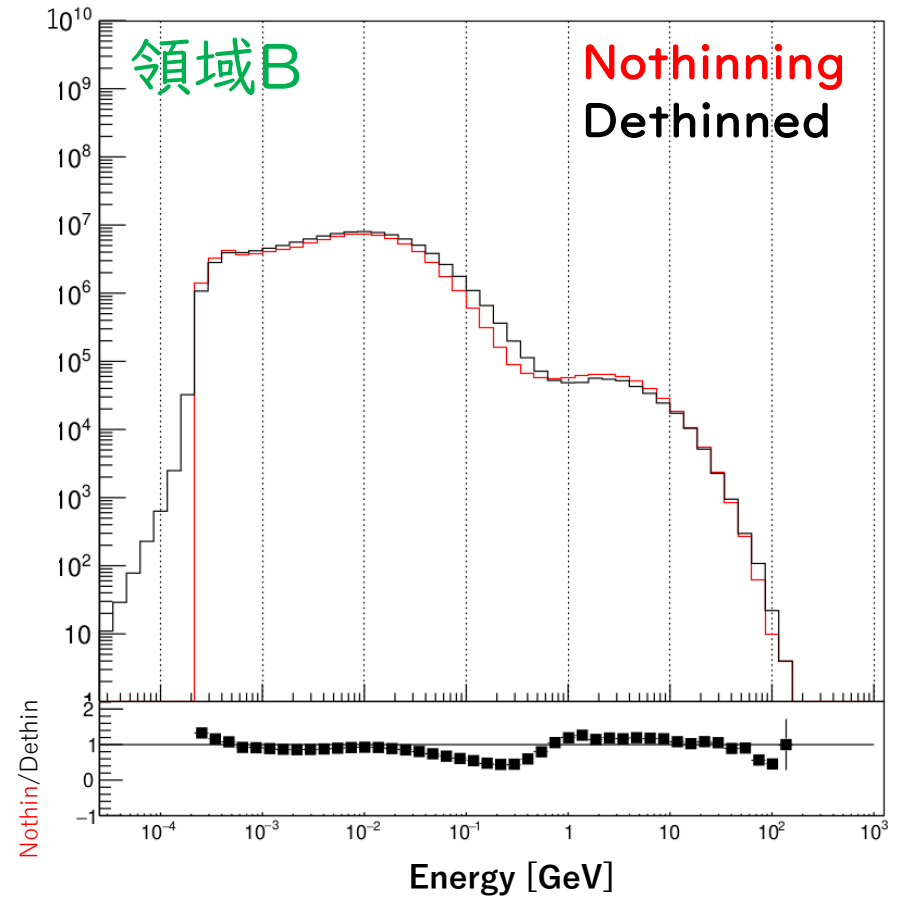
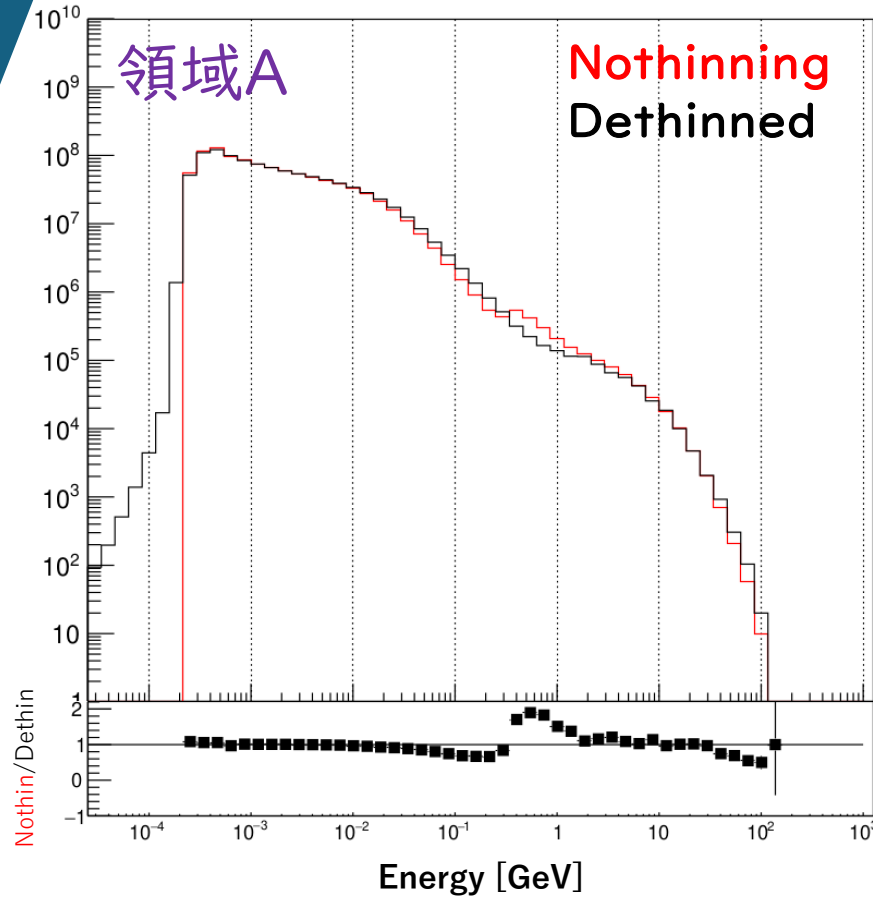
70deg shower

Primary Particle : ν_e
 Primary Energy : 10^{18} eV
 Primary Zenith angle : 70 deg
 1st interaction point : 5.31km asl.
 1st interaction : CC



— Nothinning
 — Dethinned

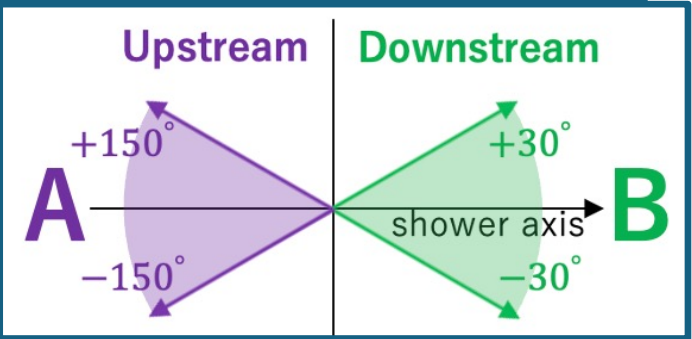
領域別の2次粒子のエネルギー分布



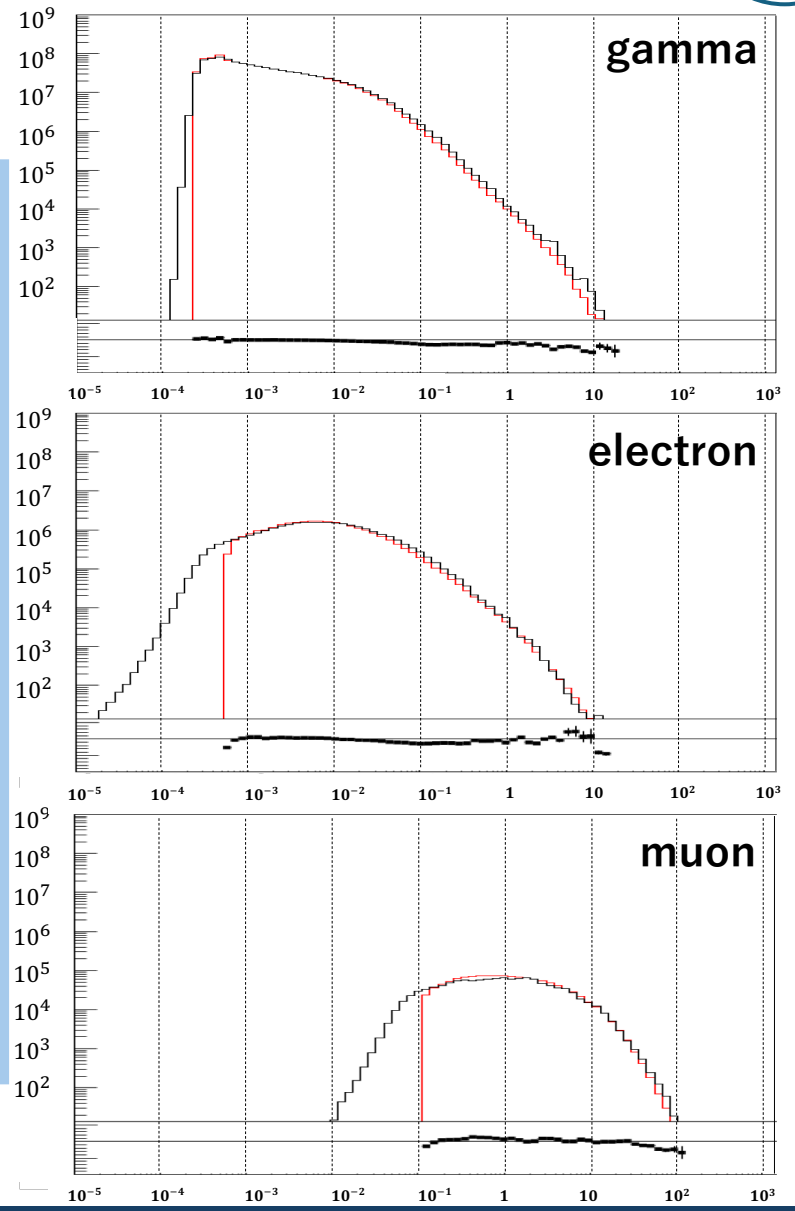
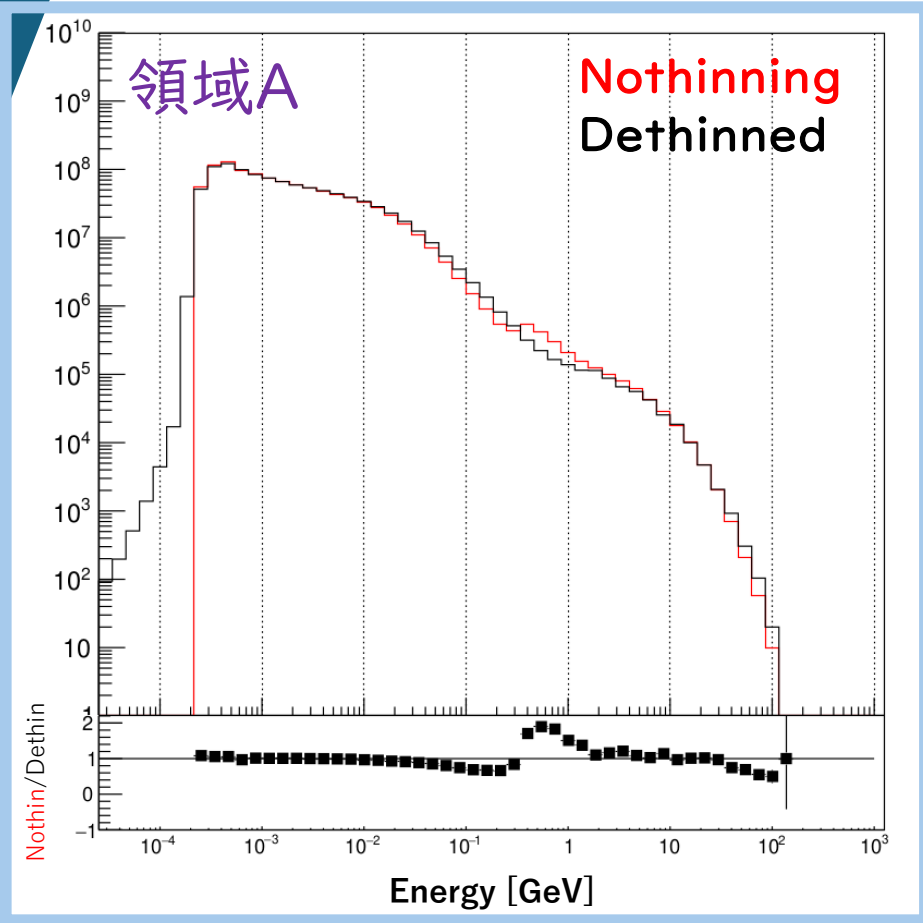
Step1 シャワー生成

70deg shower

Primary Particle : ν_e
 Primary Energy : 10^{18} eV
 Primary Zenith angle : 70 deg
 1st interaction point : 5.31km asl
 1st interaction : CC



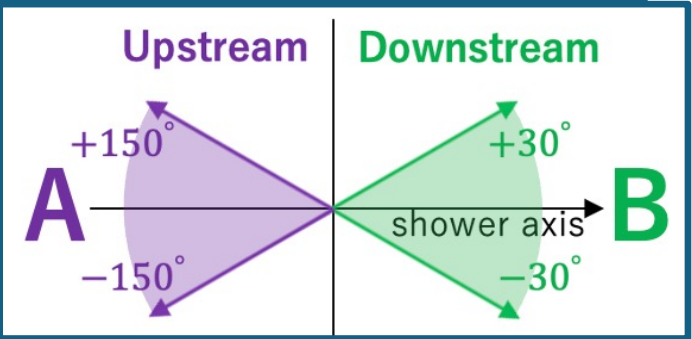
— Nothinning
 — Dethinned



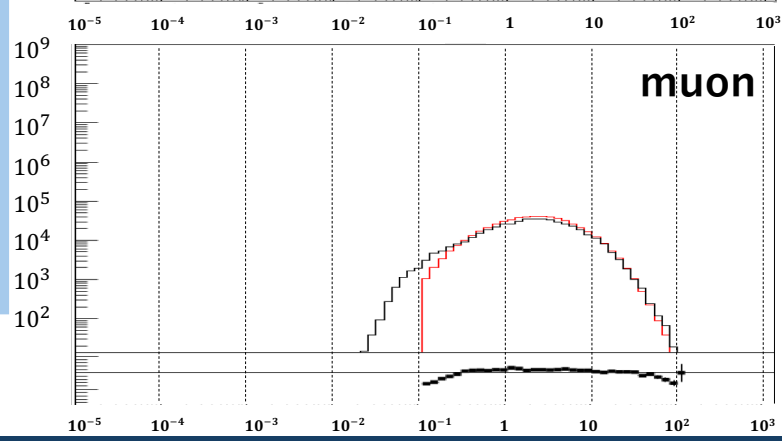
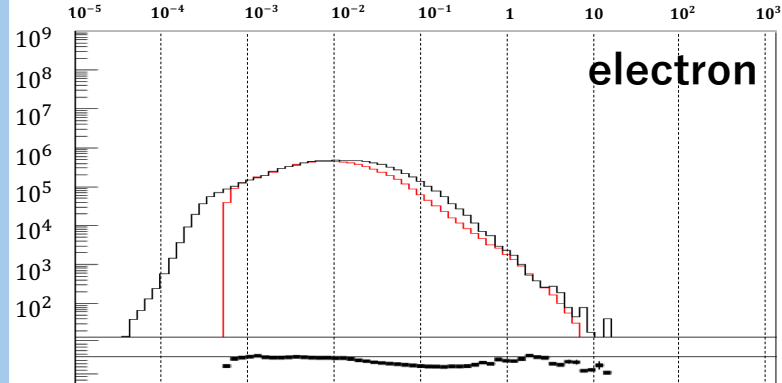
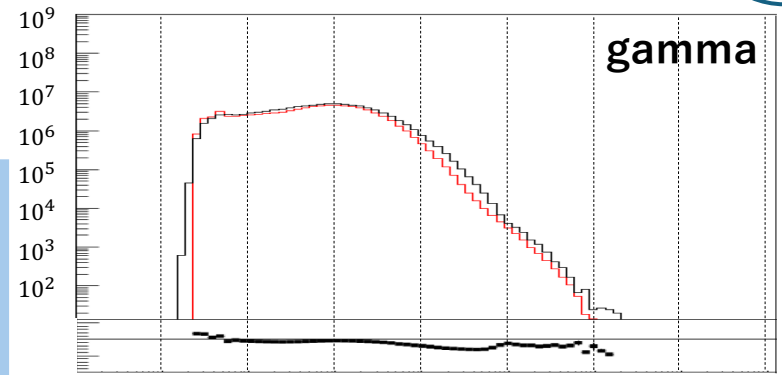
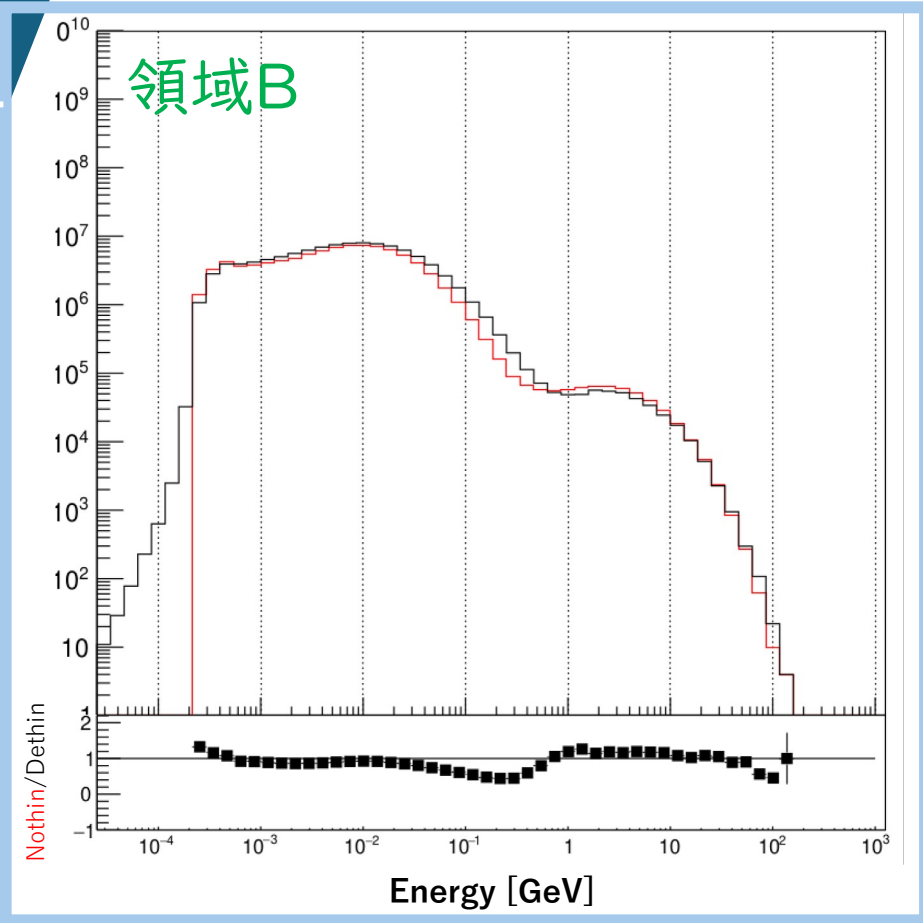
Step1 シャワー生成

70deg shower

Primary Particle : ν_e
 Primary Energy : 10^{18} eV
 Primary Zenith angle : 70 deg
 1st interaction point : 5.31km asl.
 1st interaction : CC



— Nothinning
 — Dethinned

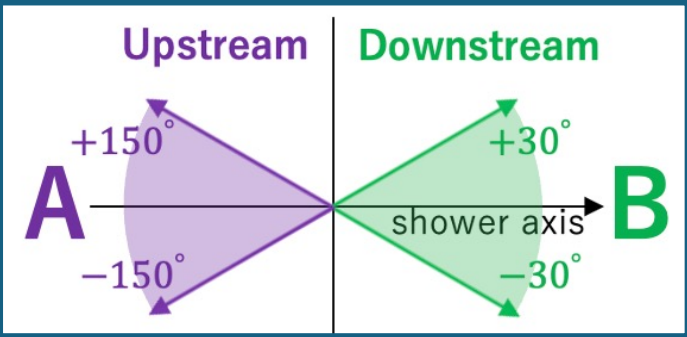


Step1

シャワー生成

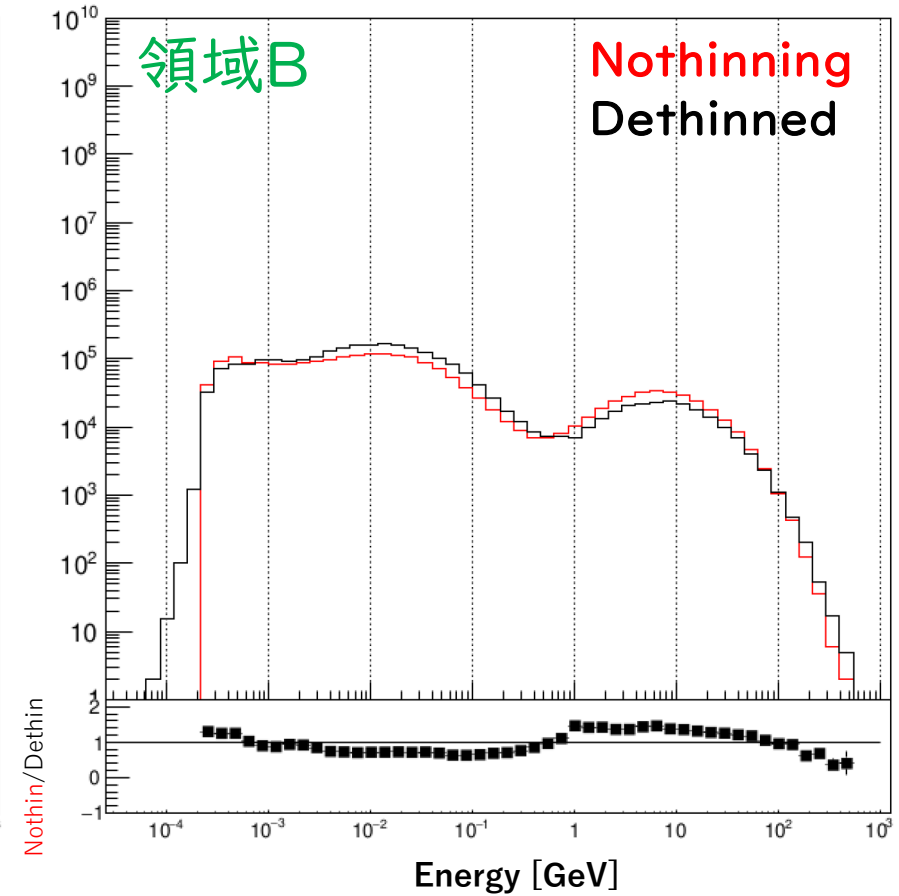
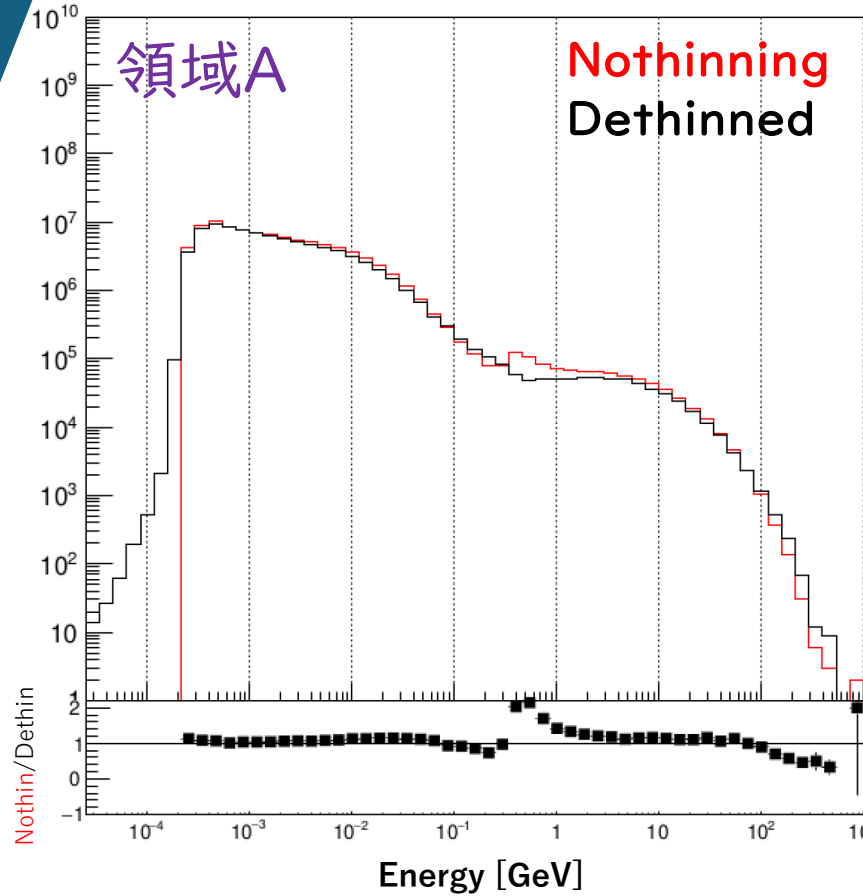
80deg shower

Primary Particle : ν_e
 Primary Energy : 10^{18} eV
 Primary Zenith angle : 80 deg
 1st interaction point : 5.31km asl.
 1st interaction : CC



— Nothinning
 — Dethinned

領域別の2次粒子のエネルギー分布



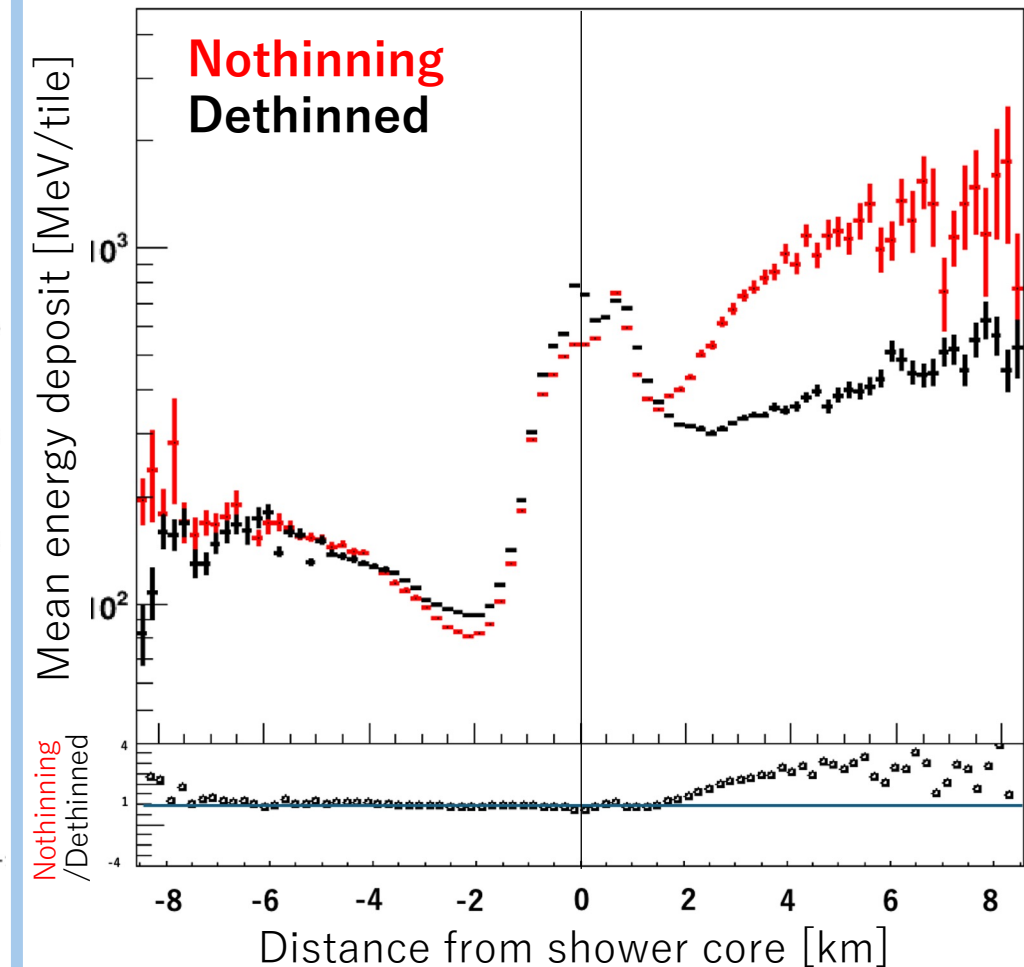
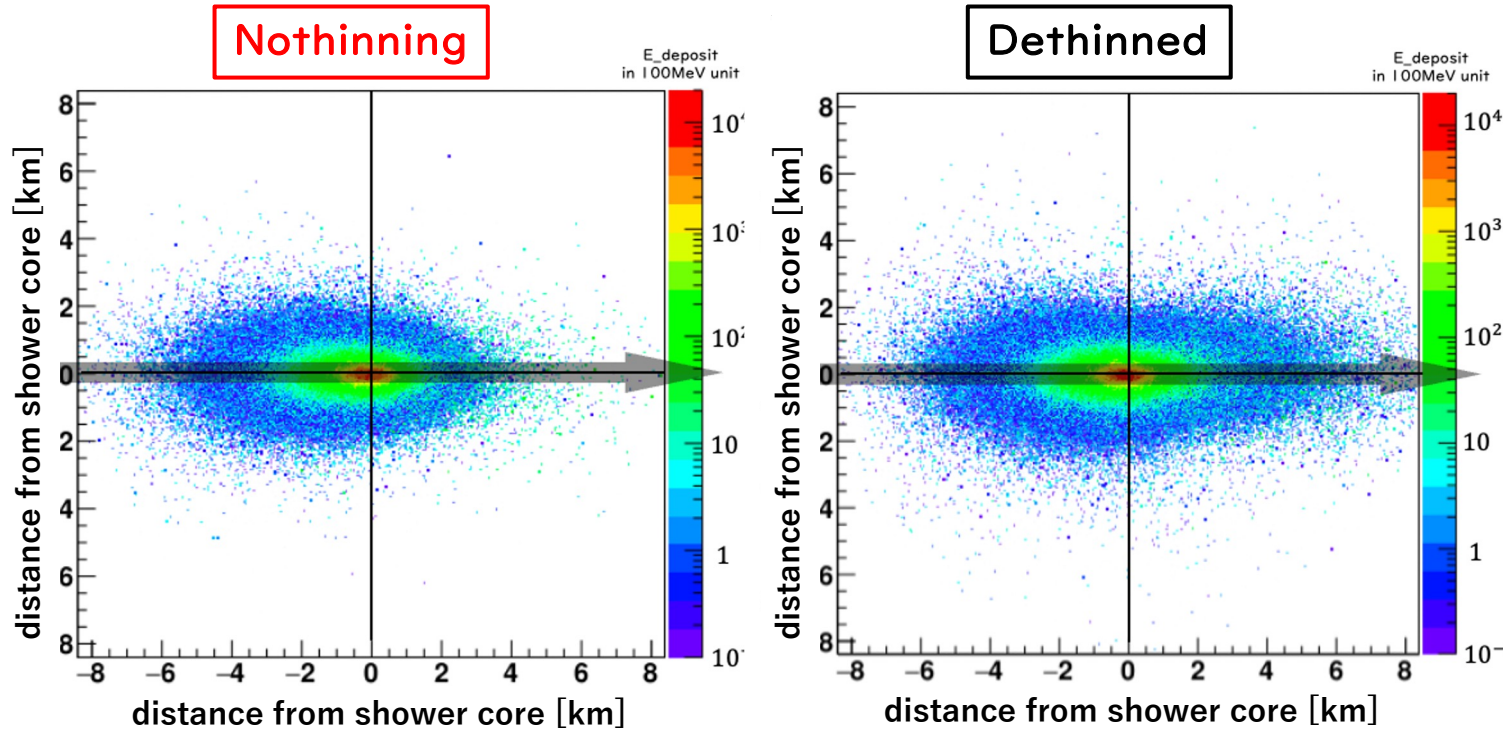
Step2 エネルギー損失計算

Primary Particle : ν_e
 Primary Energy : 10^{18} eV
 Primary Zenith angle : 70 deg
 1st interaction point : 5.31km asl.
 1st interaction : CC

70deg shower

シャワー下流側でNothinningのエネルギー損失が多い

Energy deposit in each tile



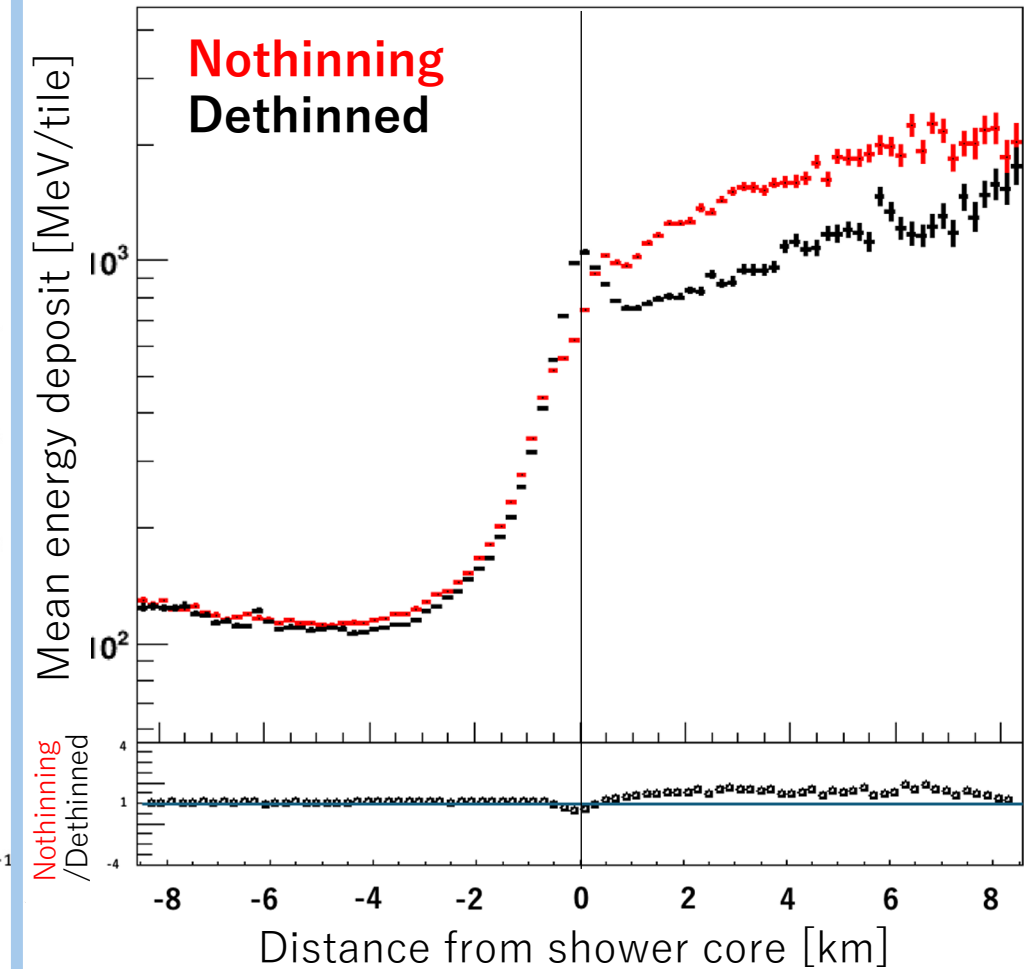
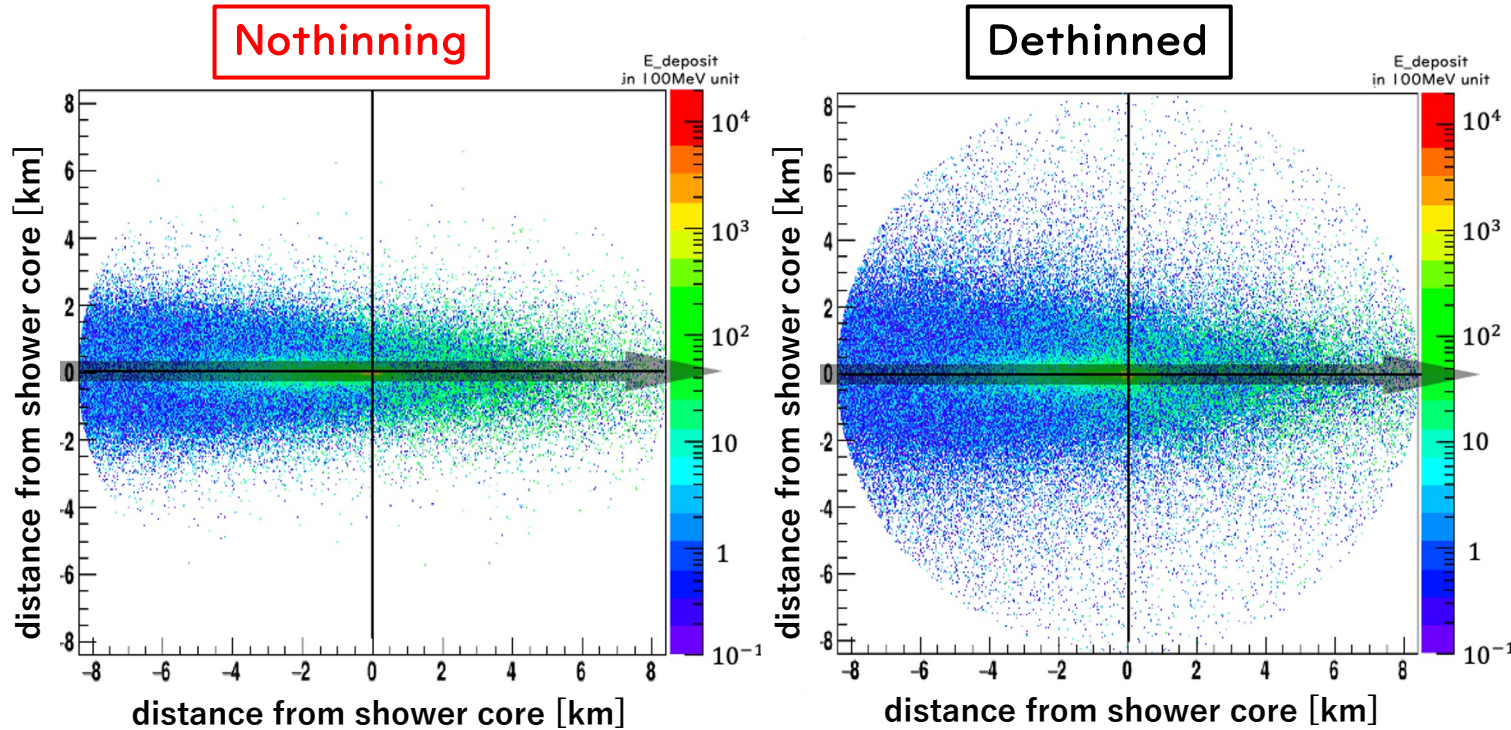
Step2 エネルギー損失計算

Primary Particle : ν_e
 Primary Energy : 10^{18} eV
 Primary Zenith angle : 80 deg
 1st interaction point : 5.31km asl.
 1st interaction : CC

80deg shower

シャワー下流側でNothinningのエネルギー損失が多い

Energy deposit in each tile



Summary and prospects

Step1

シャワー生成

領域別の2次粒子エネルギー分布に大きな違いは見られなかった。

Step2

エネルギー損失計算

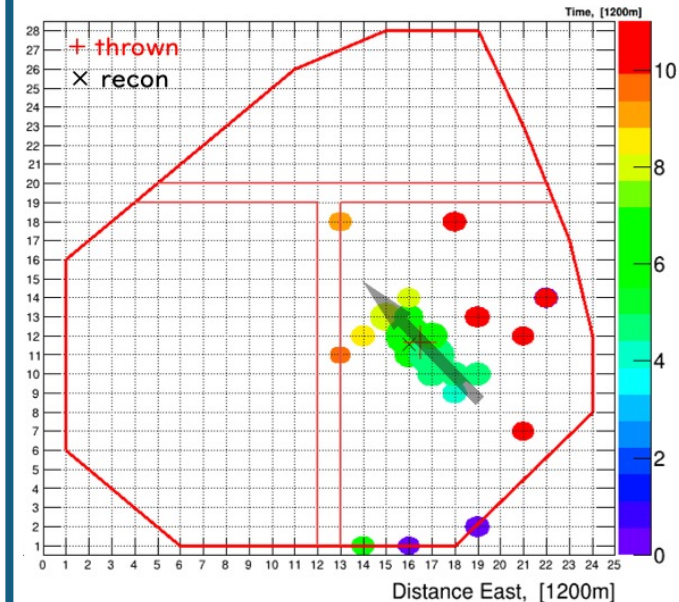
tileごとのエネルギー損失平均には違いがみられた。
シャワーの下流側でNothinningのほうがDethinnedよりも大きかった。

NEXT

Step3

TA SDアレイ配置を考慮

実際に観測で得る値に違いが現れるかを調査
(Step2の違いがどのくらい影響するか)



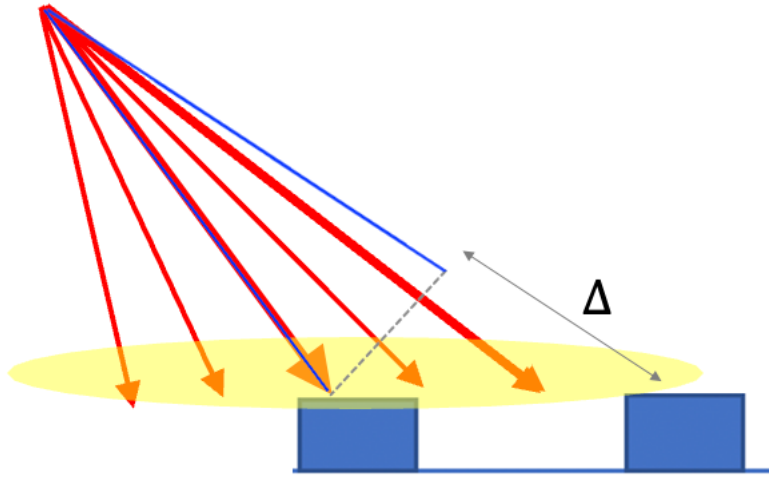
✓ 反応したSD数

✓ SDの分布の形

Appendix

Dethinning 2つのプロセス

① dethinned particleを確率的に消している



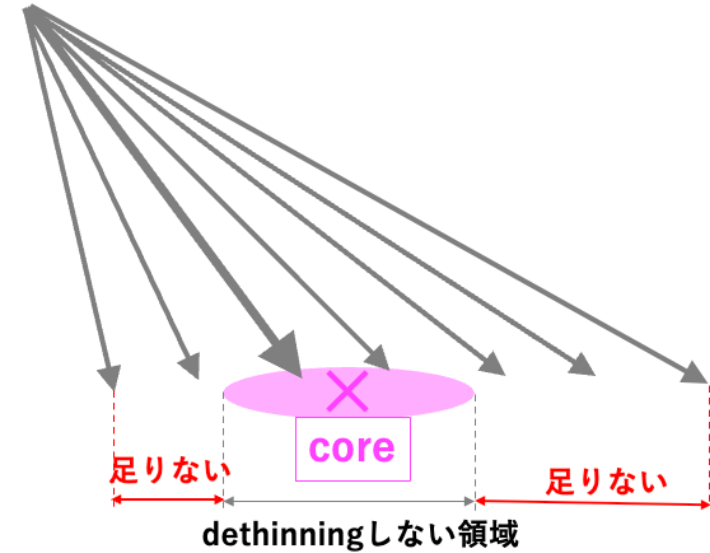
単純にdethinningしても、
dethinned particlesのいくつかは
元のトラックよりとても長い距離を走ることになる

→大角度ではdethinned particleが
確率的に消されてしまう

ある増幅されたparticleが生き残る確率： $e^{-(\Delta/(50\text{g}/\text{cm}^2))}$

mean free path $50\text{g}/\text{cm}^2$ でattenuation

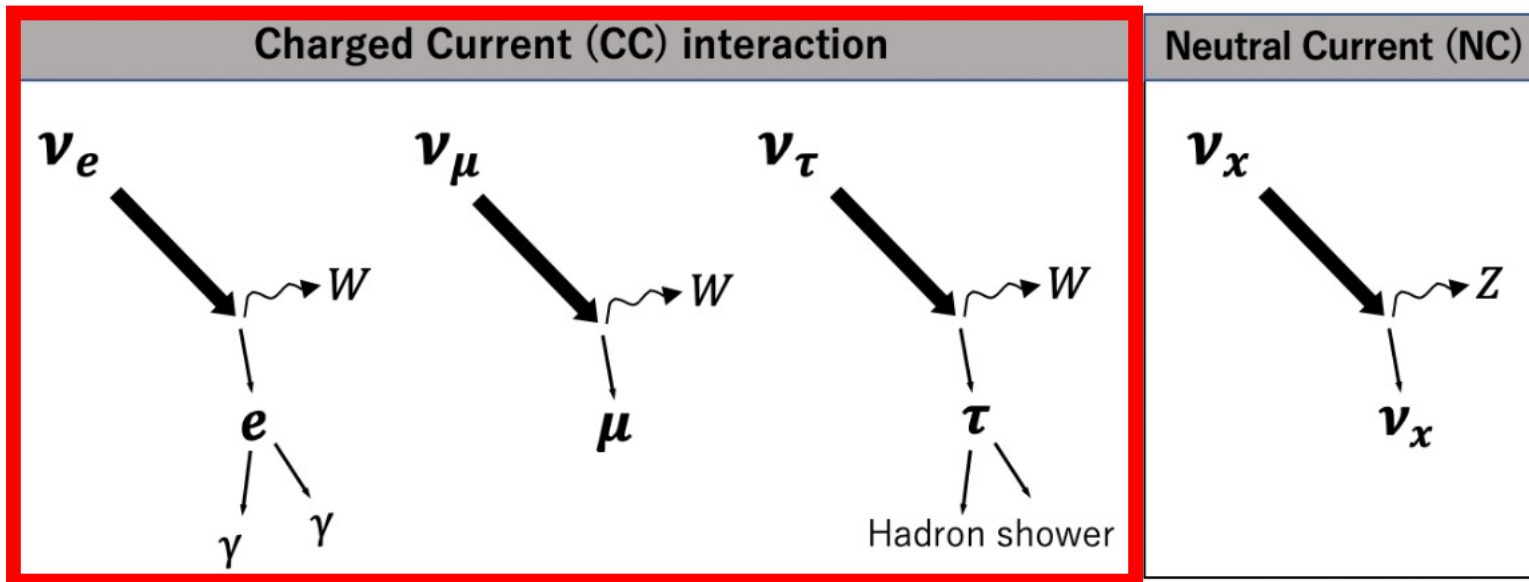
② コア付近をdethinningしない



Core付近に落ちたthinned particleはdethinningされない

↓
本当はdethinningで増やされるはずだった粒子が
コアの向こう側でより多い

↓
大角度ほど顕著にコアの向こう側に粒子がない現象が起きる
(コアの手前側に粒子が集中してしまう)



Charged Current

NC反応ではニュートリノがほとんどのエネルギーを保持する

ν_e : 電子を放出し、電磁シャワーを作る

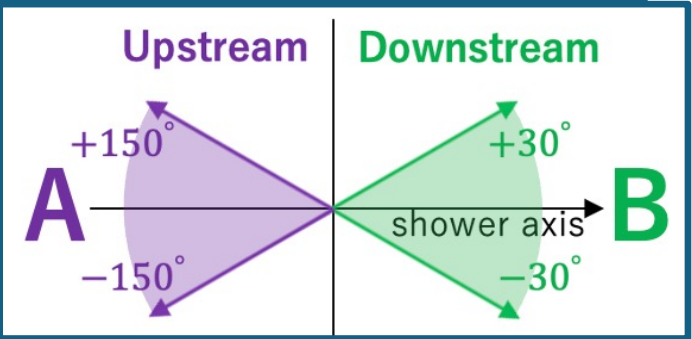
ν_μ : ミューオンを放出し、高エネルギーで制動放射、電磁シャワーを作る

ν_τ : タウを放出し、60%ほどがハドロンに崩壊、ハドロンシャワーを作る

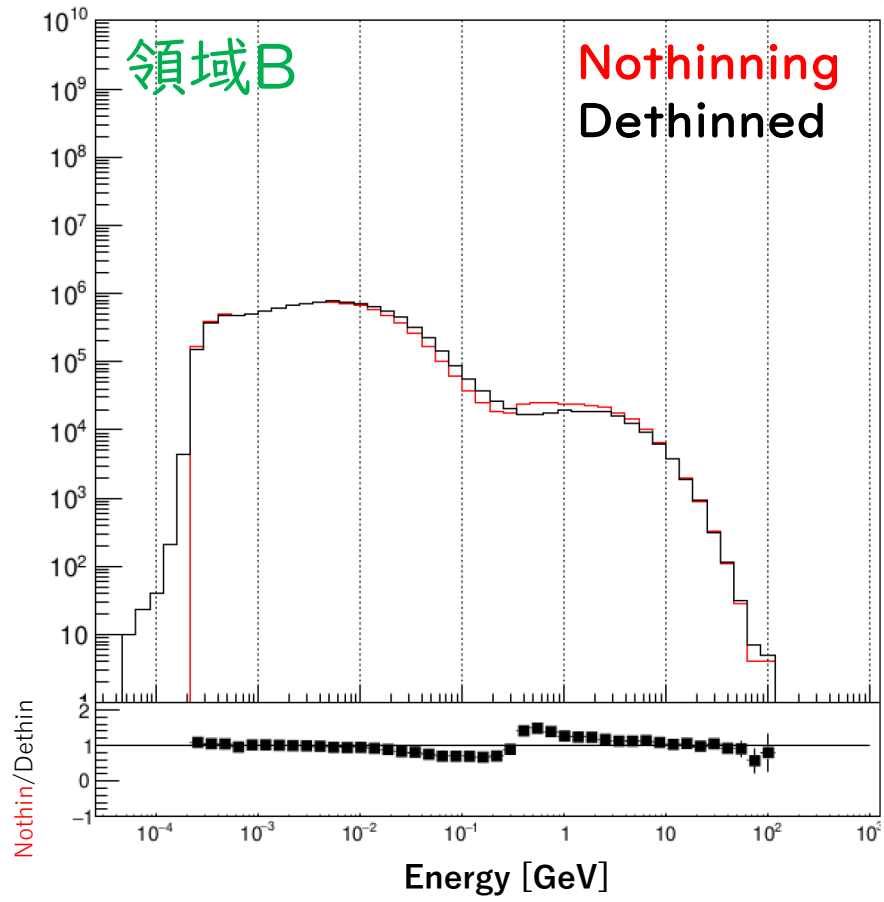
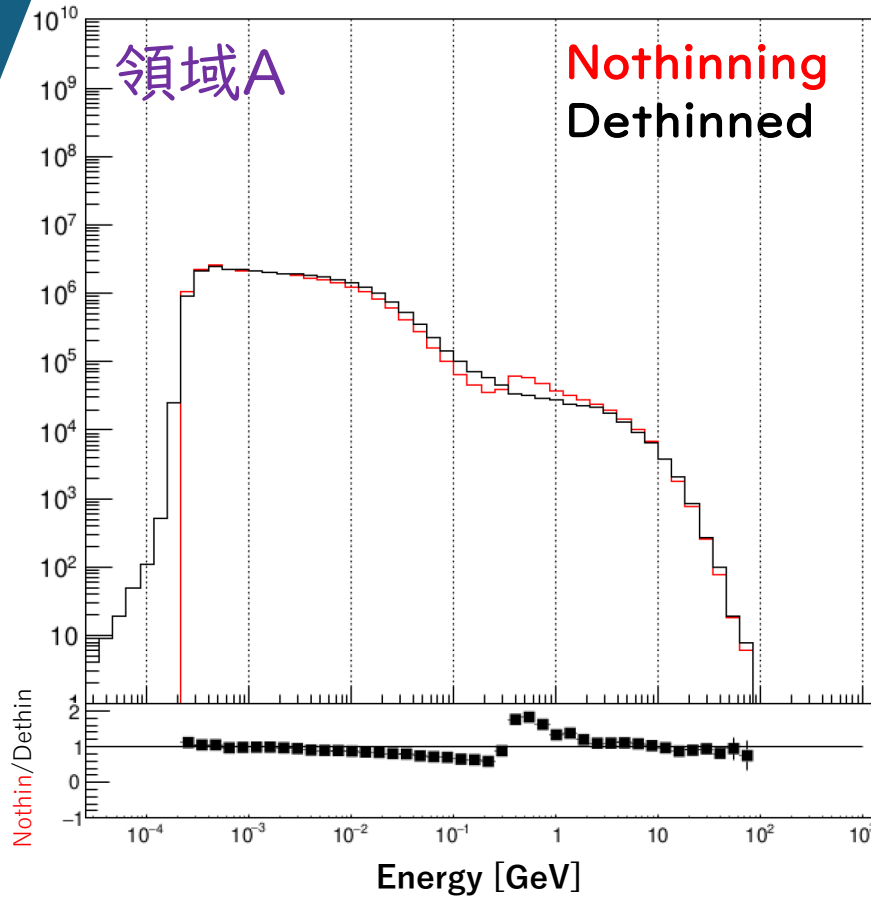
Step1 シャワー生成

Primary Particle : proton
 Primary Energy : 2.3×10^{17} eV
 Primary Zenith angle : 35.4 deg
 1st interaction point : 17.6km asl.

35deg proton



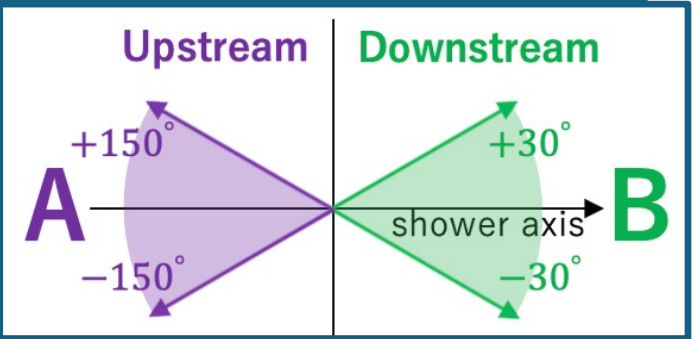
— Nothinning
 — Dethinned



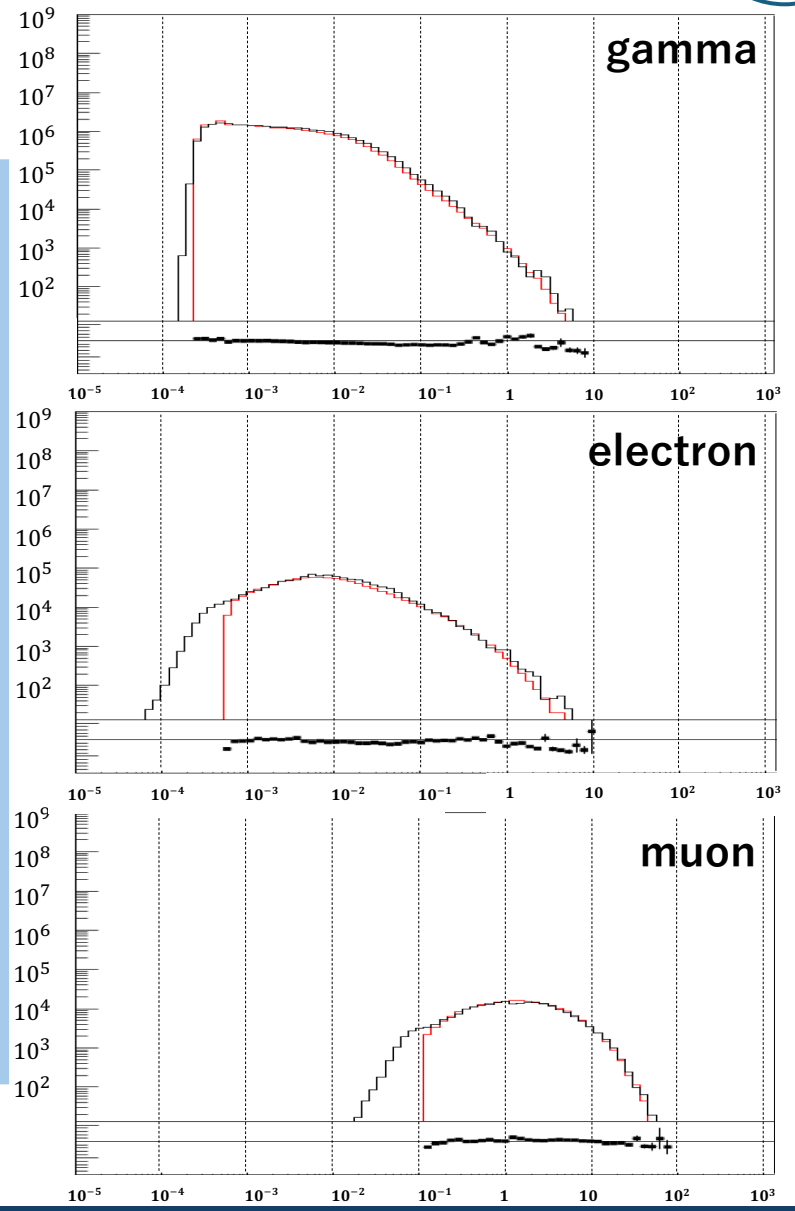
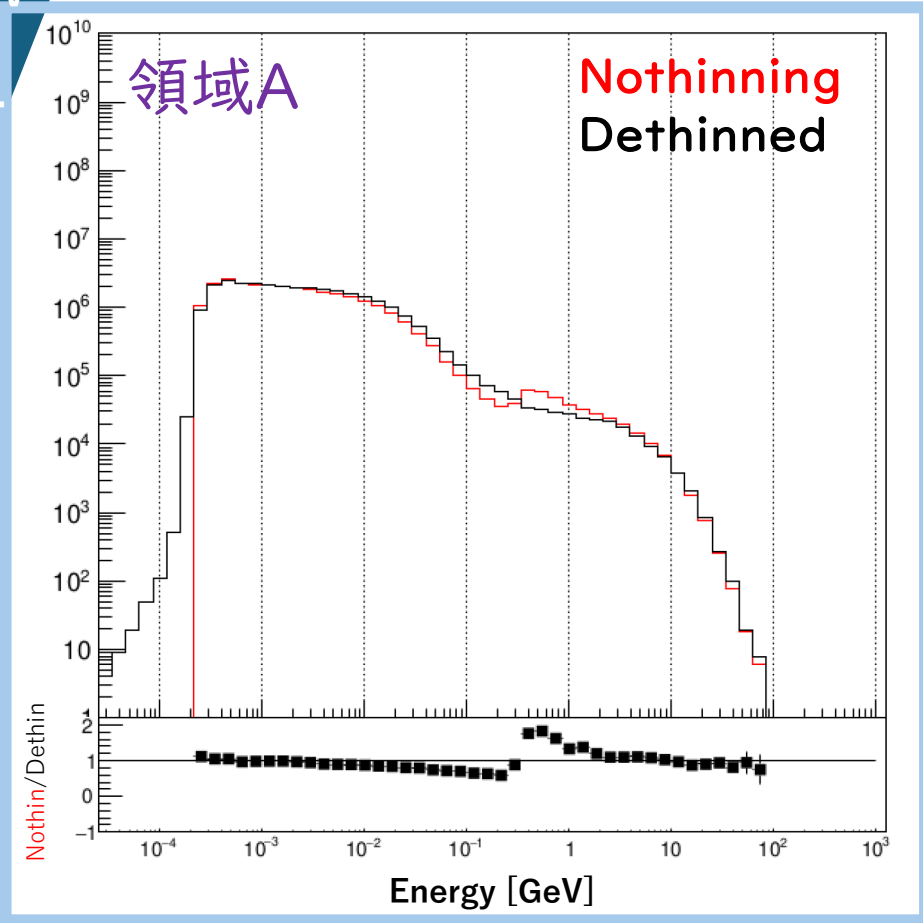
Step1 シャワー生成

35deg proton

Primary Particle : proton
 Primary Energy : 2.3×10^{17} eV
 Primary Zenith angle : 35.4 deg
 1st interaction point : 17.6km asl.



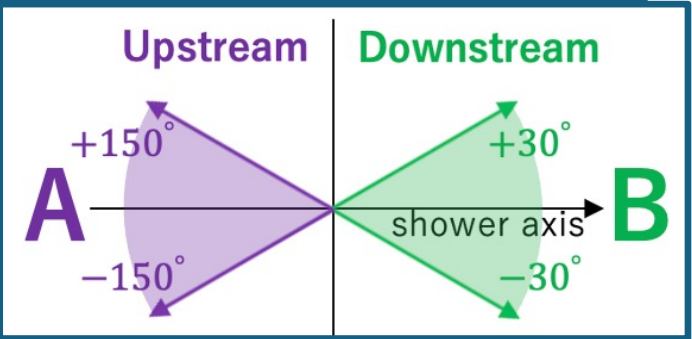
— Nothinning
 — Dethinned



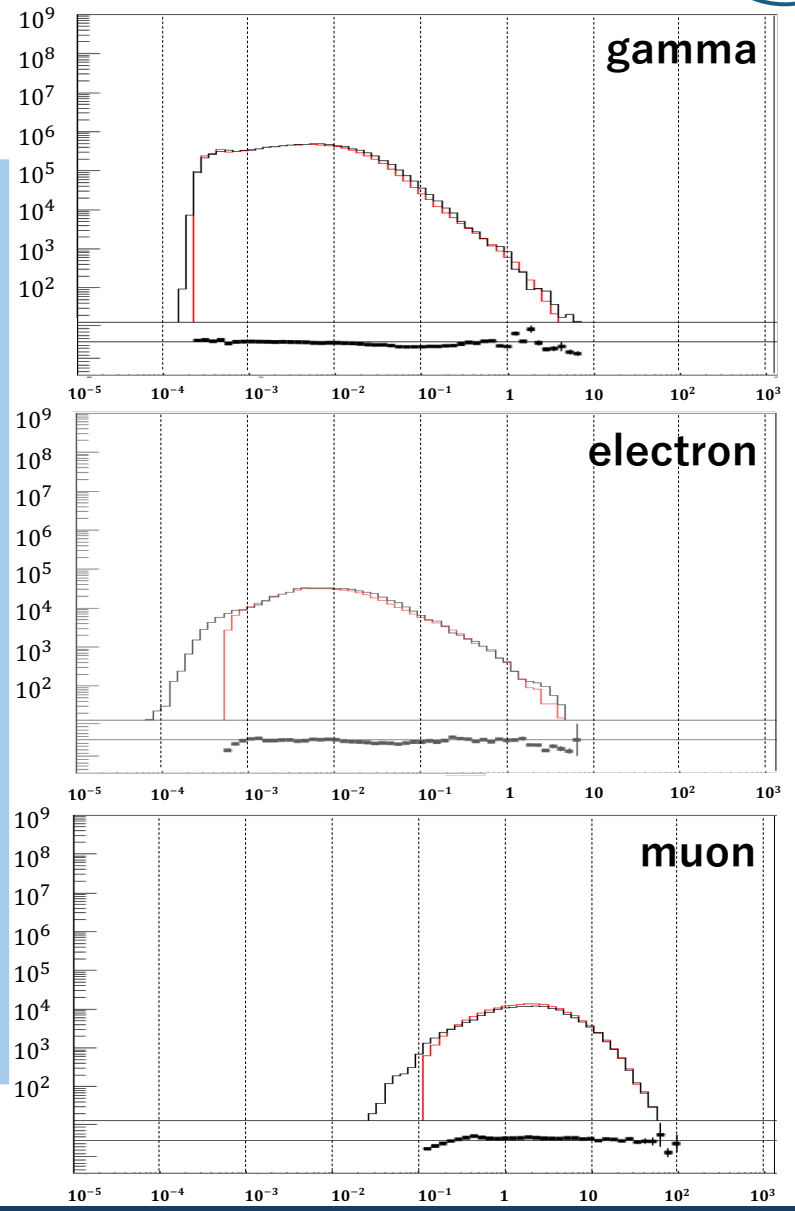
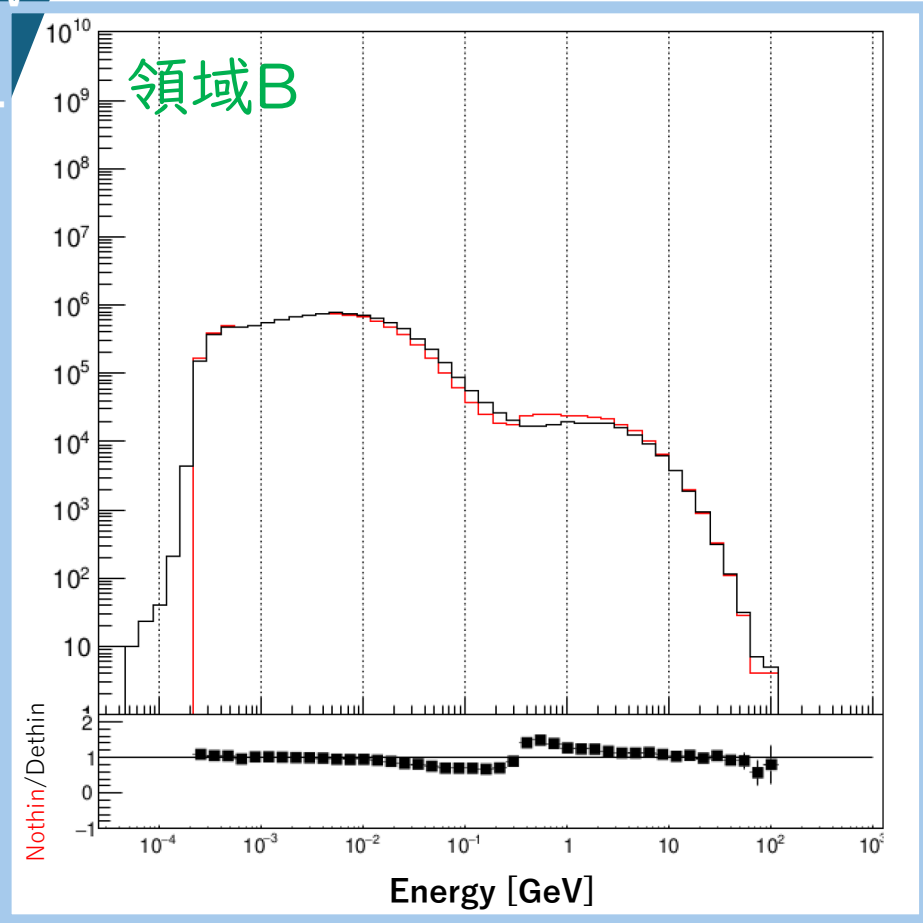
Step1 シャワー生成

35deg proton

Primary Particle : proton
 Primary Energy : 2.3×10^{17} eV
 Primary Zenith angle : 35.4 deg
 1st interaction point : 17.6km asl.



— Nothinning
 — Dethinned



Step2 エネルギー損失計算

35deg proton

Primary Particle : proton
 Primary Energy : 2.3×10^{17} eV
 Primary Zenith angle : 35.4 deg
 1st interaction point : 17.6km asl.

シャワー下流側でNothinningのエネルギー損失が多い

Energy deposit in each tile

