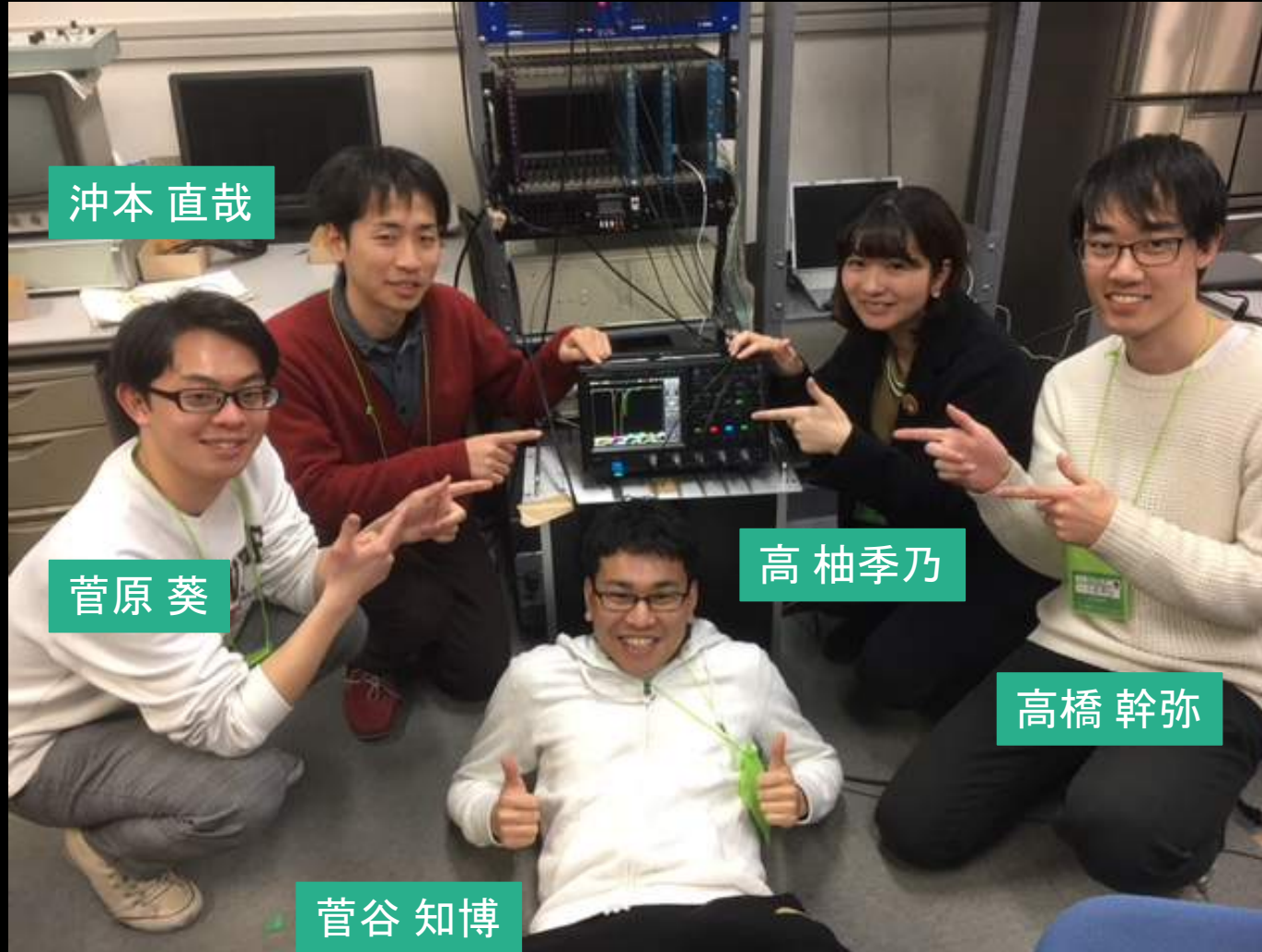


最高エネルギー宇宙線 プロジェクト研究



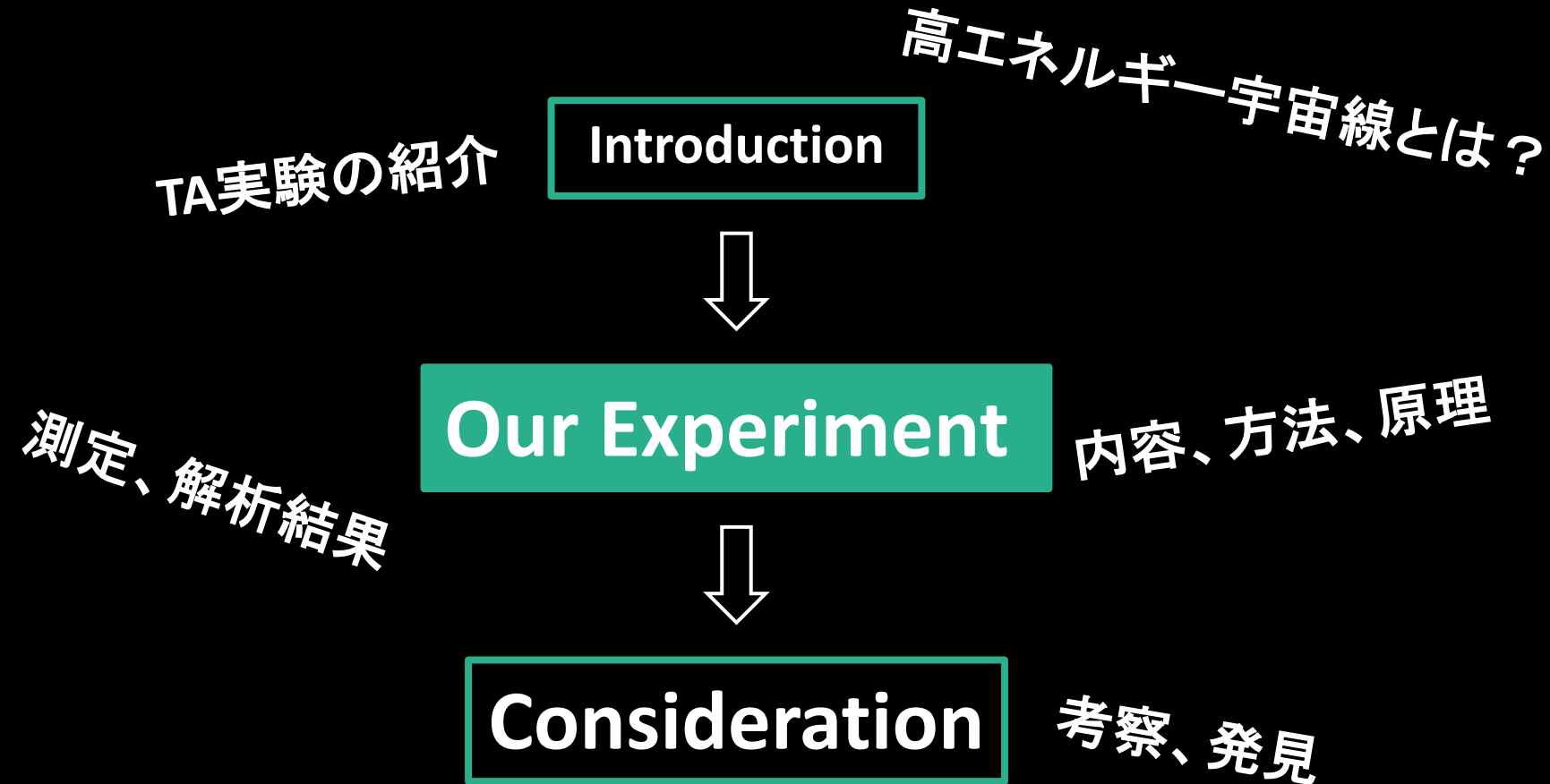
The background of the slide is a dark, teal-toned image of a particle detector's internal structure. It features a complex network of cables, connectors, and electronic components. On the right side, there are several vertical strips of red digital readouts (RDTs) displaying numbers. Two prominent, fan-shaped tracks of red and blue particles are visible, extending from the top corners towards the center. The overall aesthetic is technical and scientific.

きみは感じるか、
宙の叫びを

宇宙・素粒子

SPRING SCHOOL 2018

発表の流れ



Introduction

高エネルギー宇宙線

宇宙線: 宇宙空間を飛び交う高エネルギーの放射線

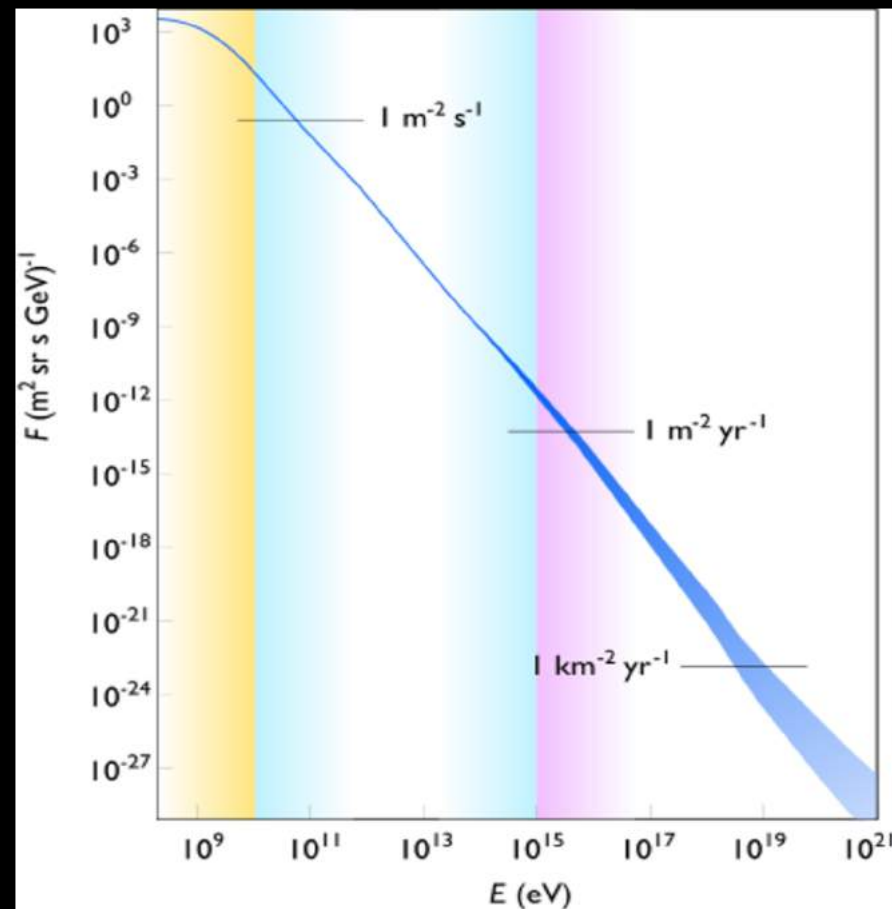
超高エネルギーの宇宙線が観測されている $\sim 10^{20}$ eV

人工加速器のエネルギー限界
 $\sim 10^{13}$ eV

エネルギーが一桁増えると
到来頻度はおよそ1/1000

100km²に年間1個

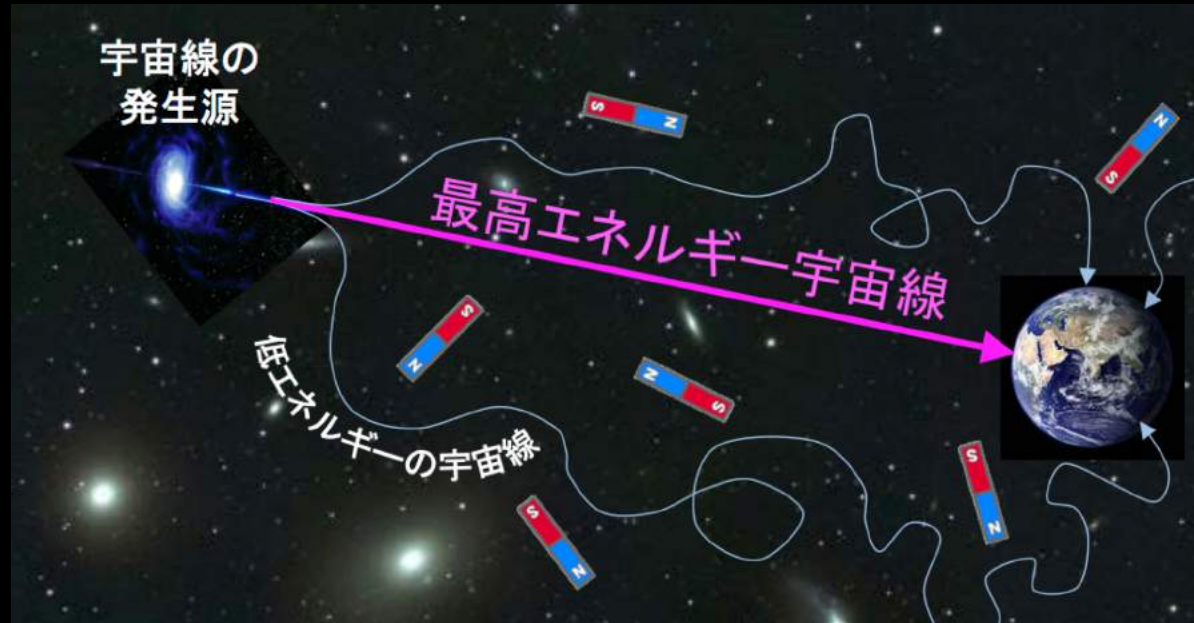
宇宙線の到来頻度



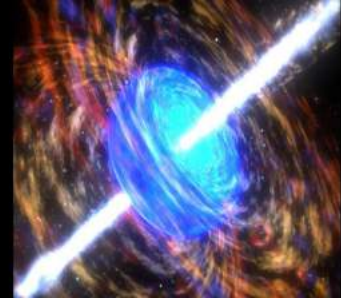
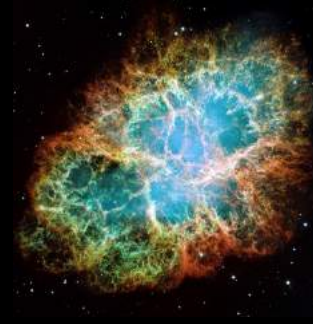
エネルギー

Introduction

高エネルギー宇宙線



発生源候補



超新星残骸(かに星雲) 活動銀河核 ガンマ線バースト

いまだに謎

発生源が特定できる！！！！



Introduction

Air Shower

1秒間で手のひらに**60個**

1次宇宙線

高エネルギー1次宇宙線

2次宇宙線

宇宙線が地球大気に突入すると
非常に多くの粒子群**空気シャワー**を作る

地球の大気

1秒間で手のひらに**1個** 地球の地表

広範囲に広がる

2次粒子 ... μ 粒子、 γ 線、陽電子、電子

Introduction



テレスコー

⇒大気蛍光望遠鏡
大気分子が励起

⇒地表検出器
地上に降って



空気シャワー、
下から見るか？
横から見るか？

繰り返す夏休みの1日、何度でも君に恋をする

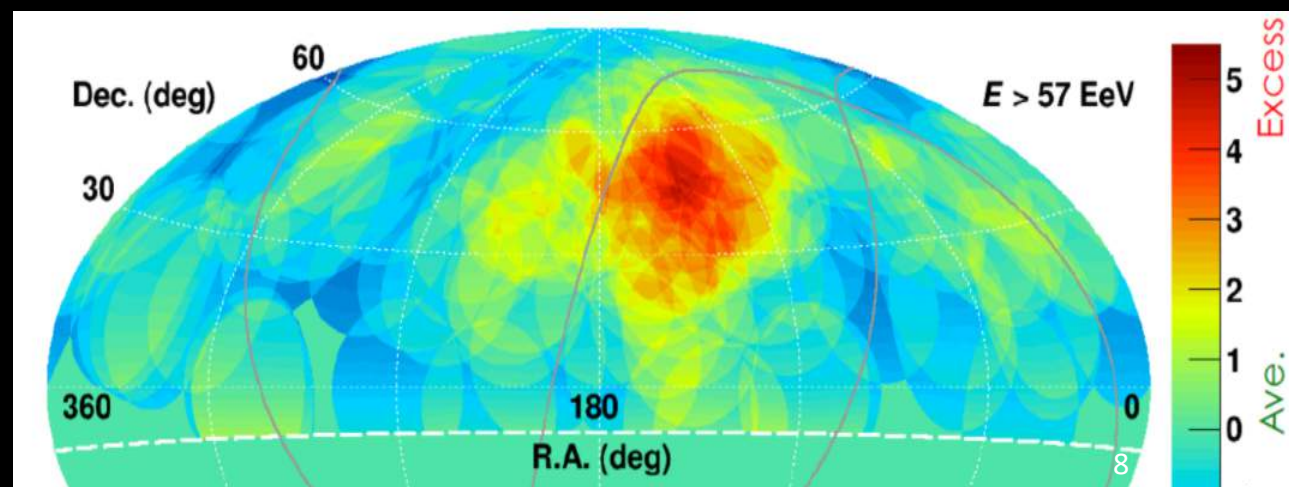
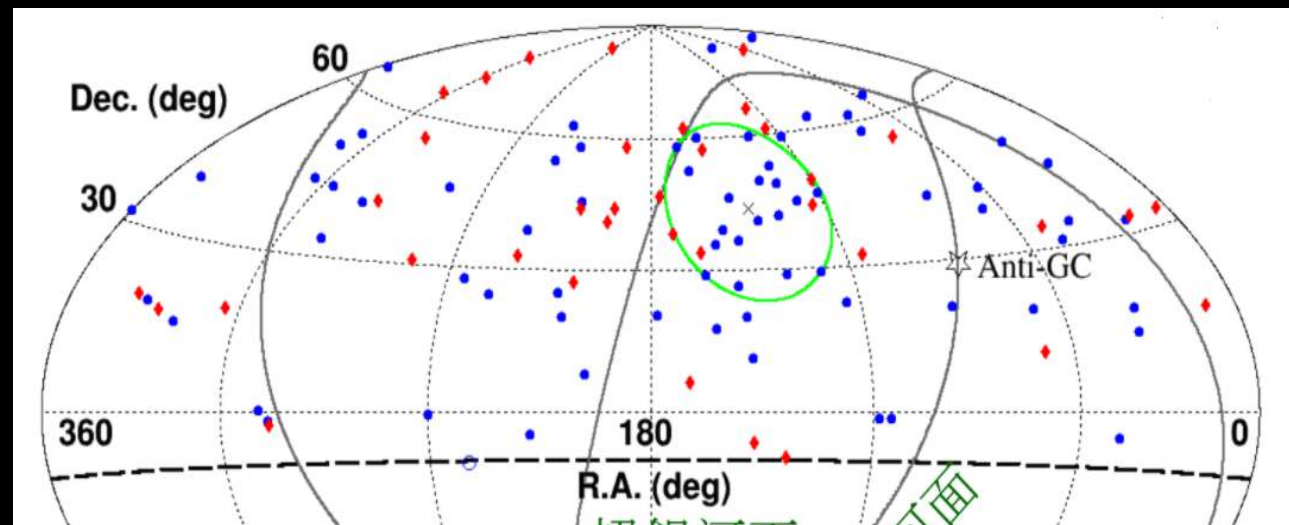
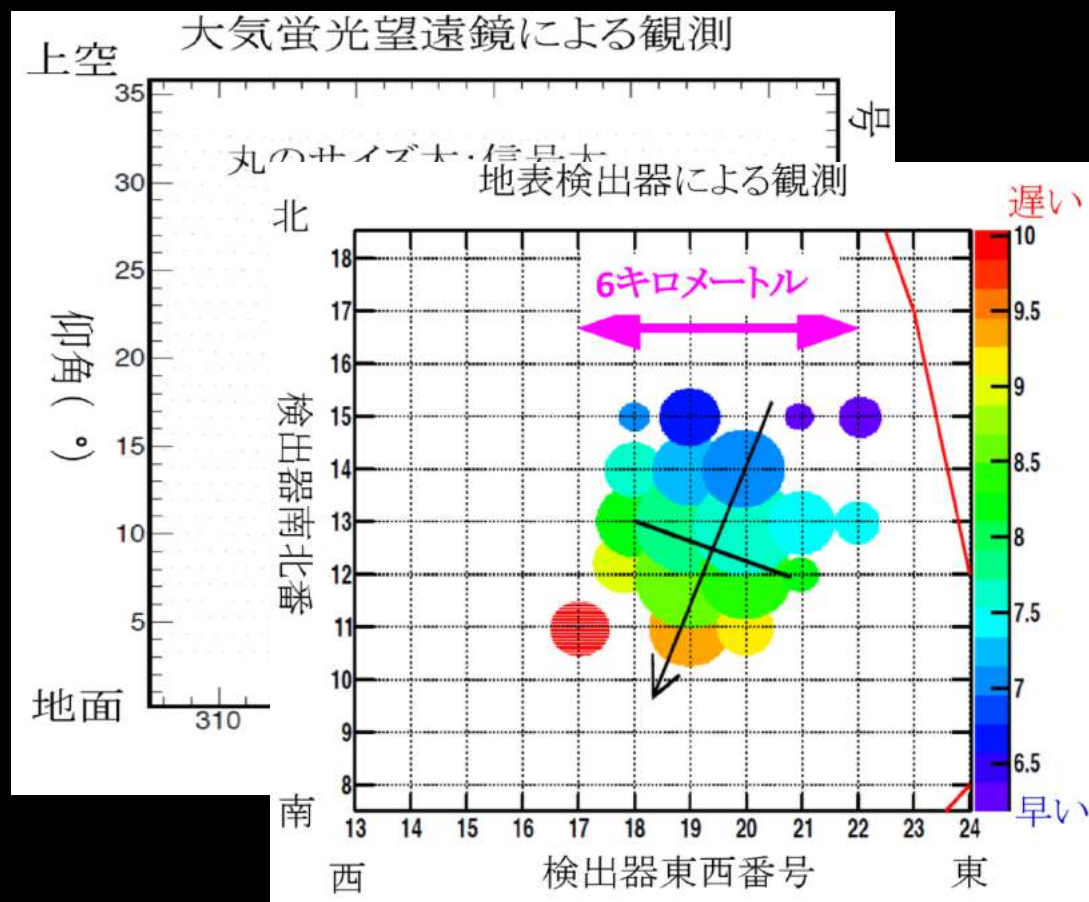


シャワーの中心や到来方向がわかる

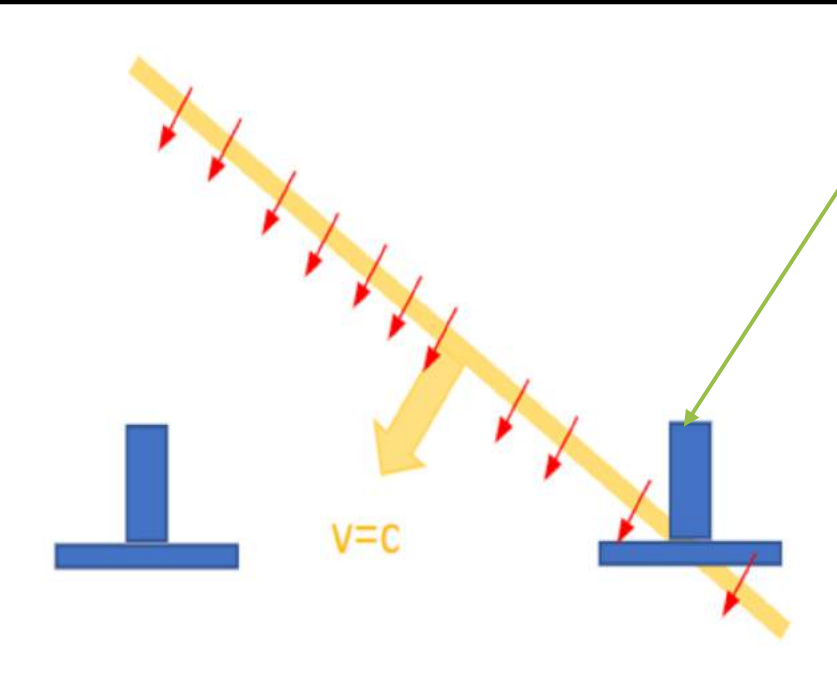
Introduction

到来方向の分布からHot Spotの存在を確認

三次元的に空気シャワーの動向を確認



Our Experiment

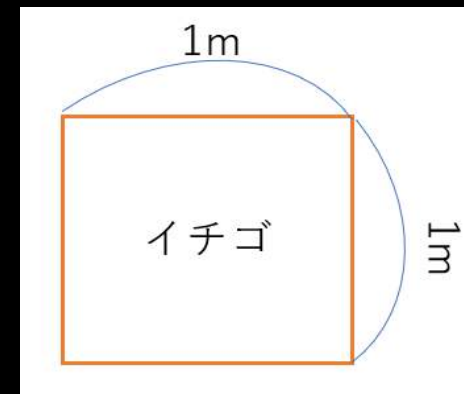
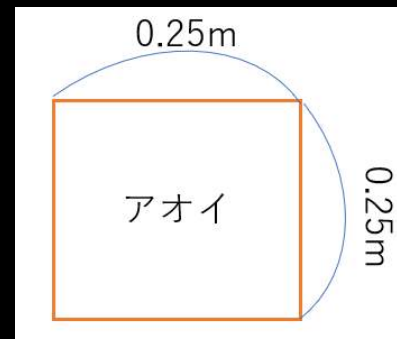
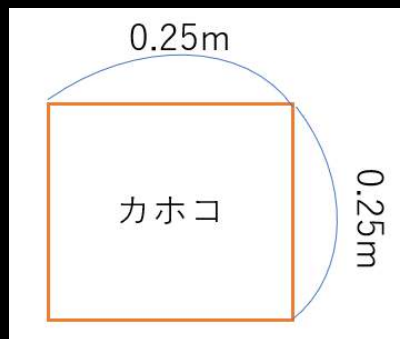


実験室内で3つの放射線検出器で同時に放射線が到来する現象をとらえ
信号の到来時刻の差から空気シャワーの到来方向を計算



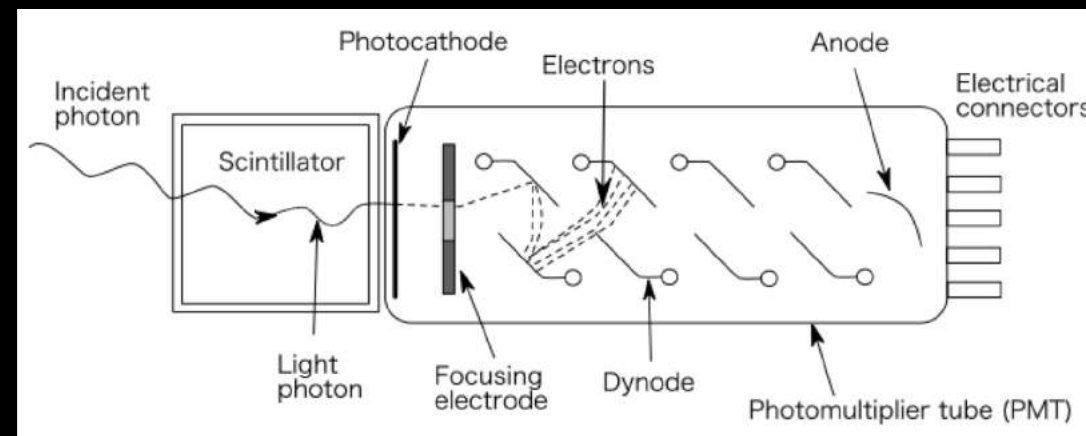
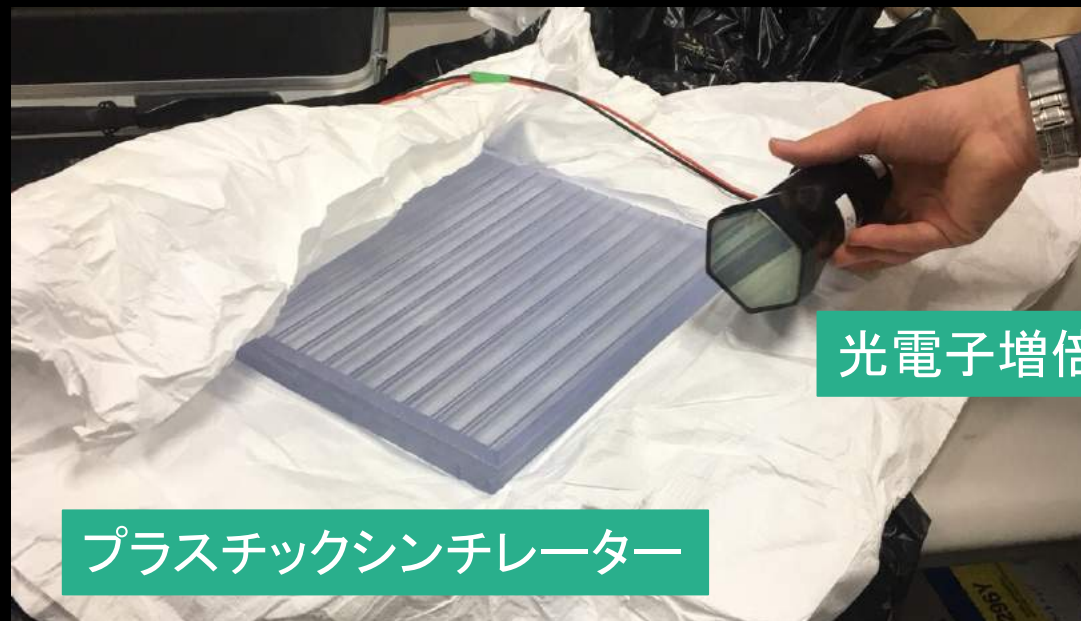
到来方向を天球座標に変換し
宇宙線の天体との対応や**角度分布**を議論

Our Experiment



Detecting

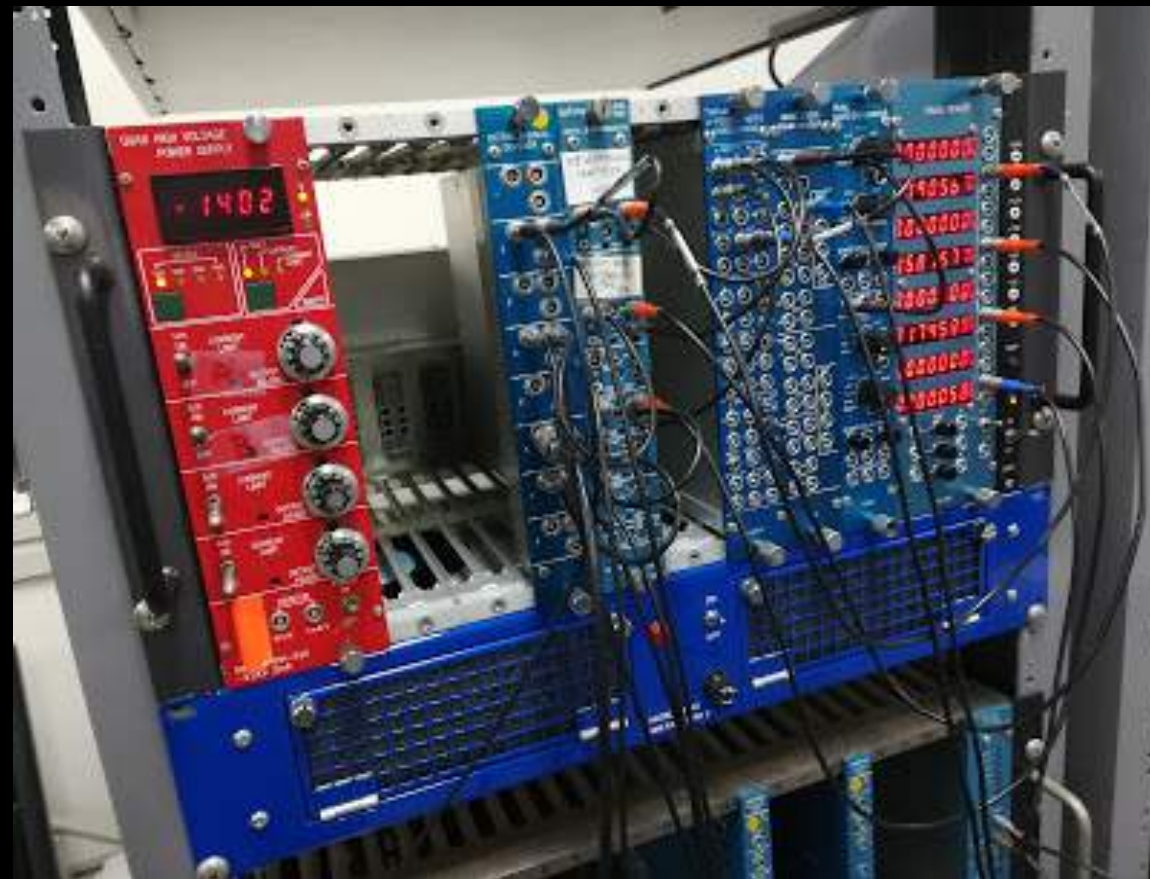
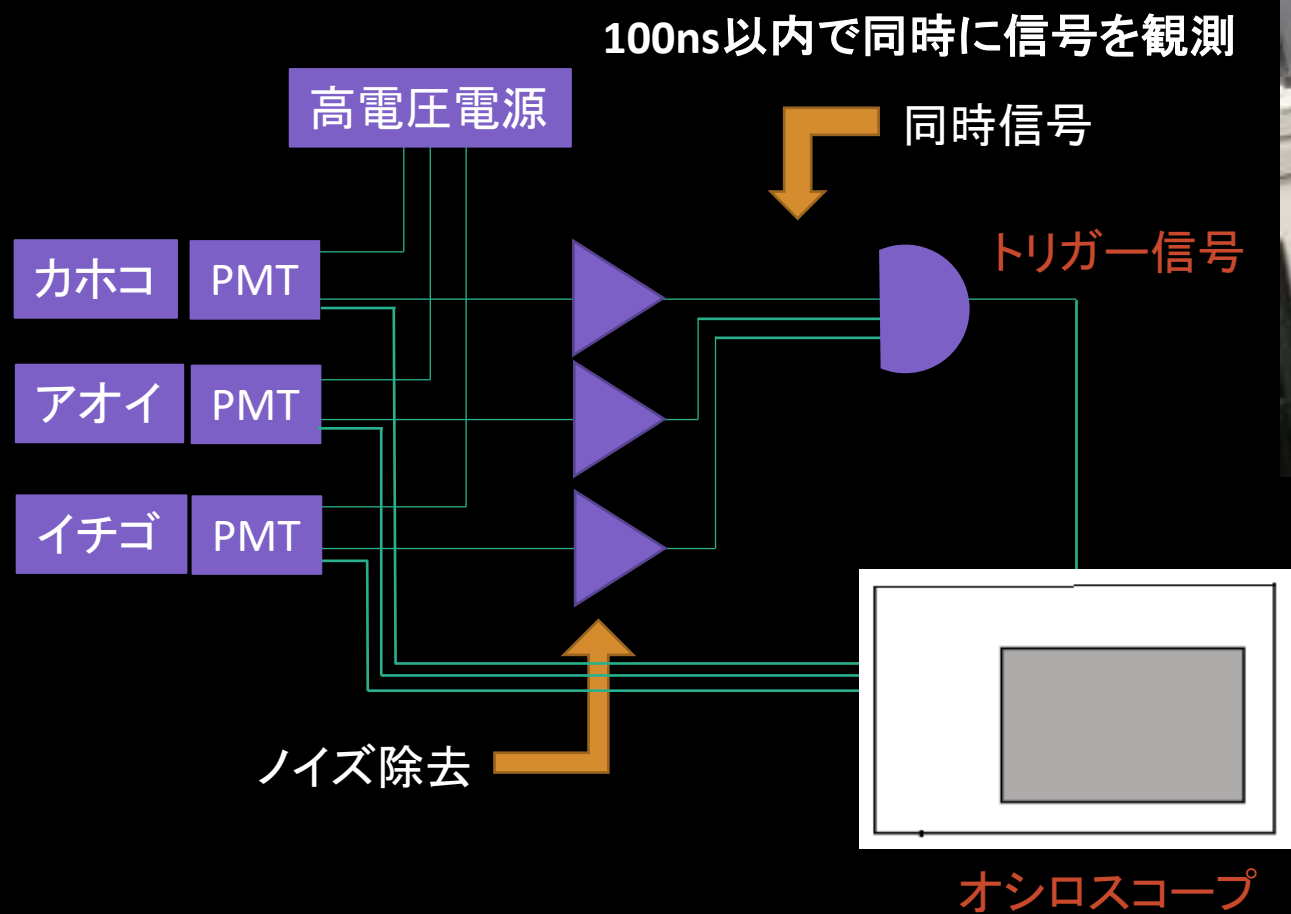
2次電子効果を繰り返し電子を増幅して電流パルスを得る



荷電粒子が電離によって失ったエネルギーに比例して蛍光を発する

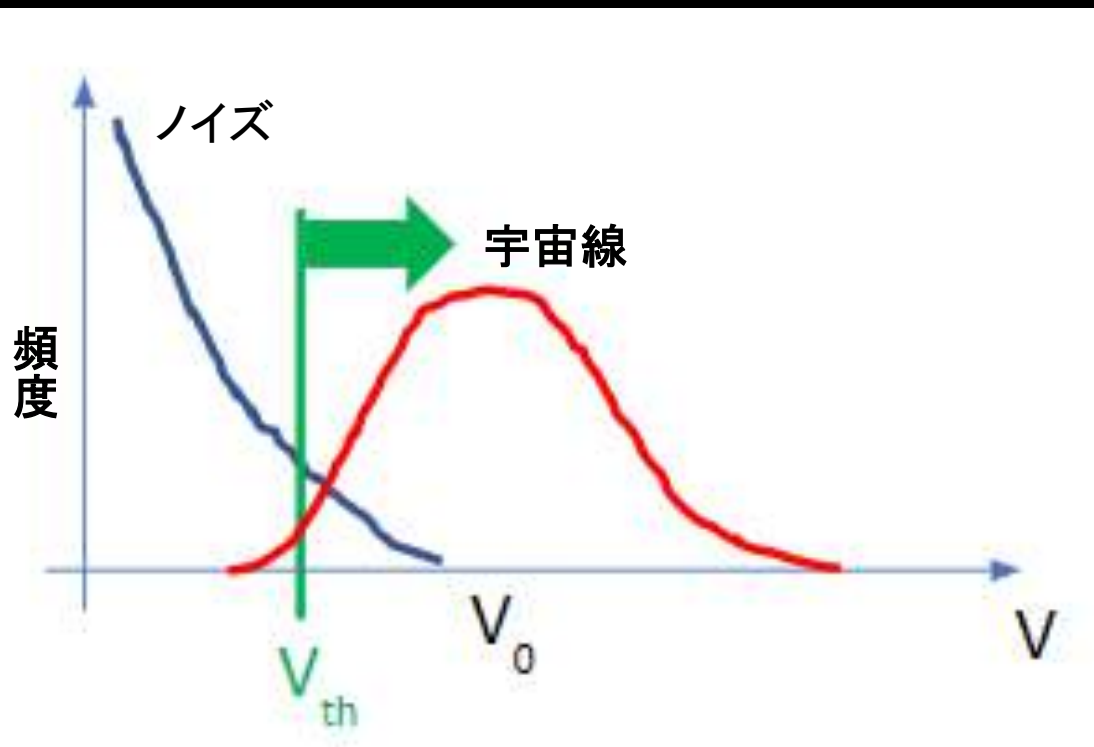
Our Experiment

Detecting

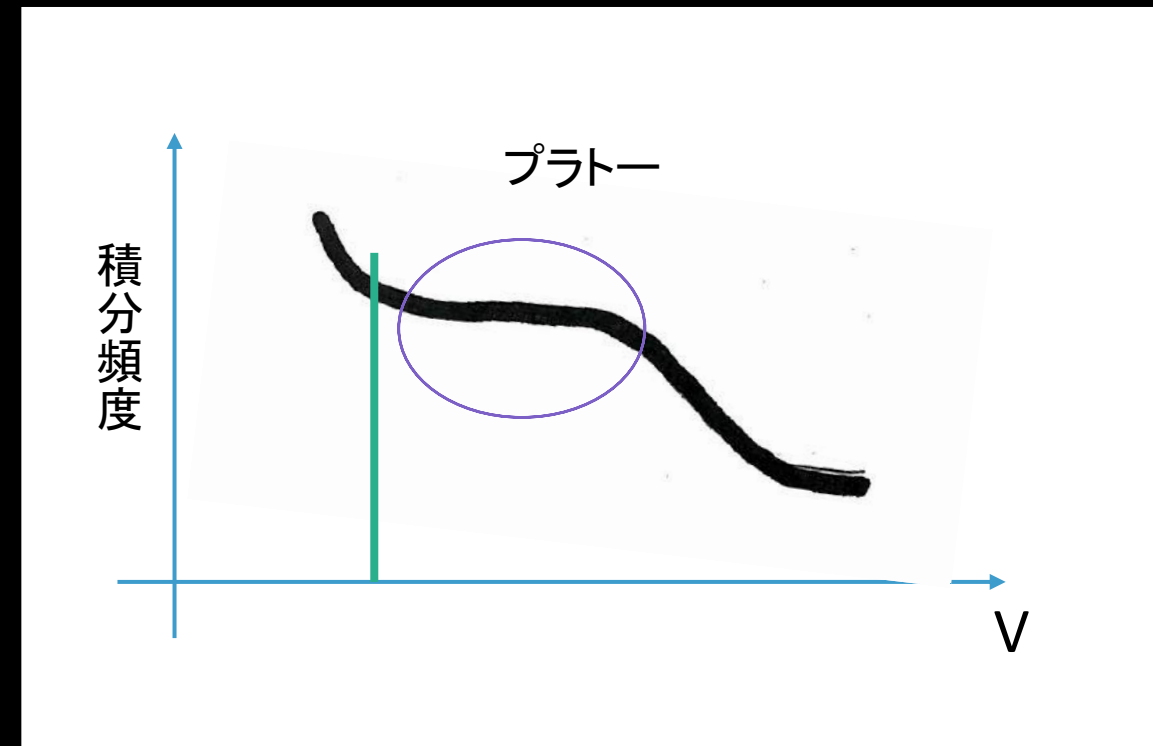


Our Experiment

閾値の設定 ノイズ(光電子増倍管の熱雑音)の除去

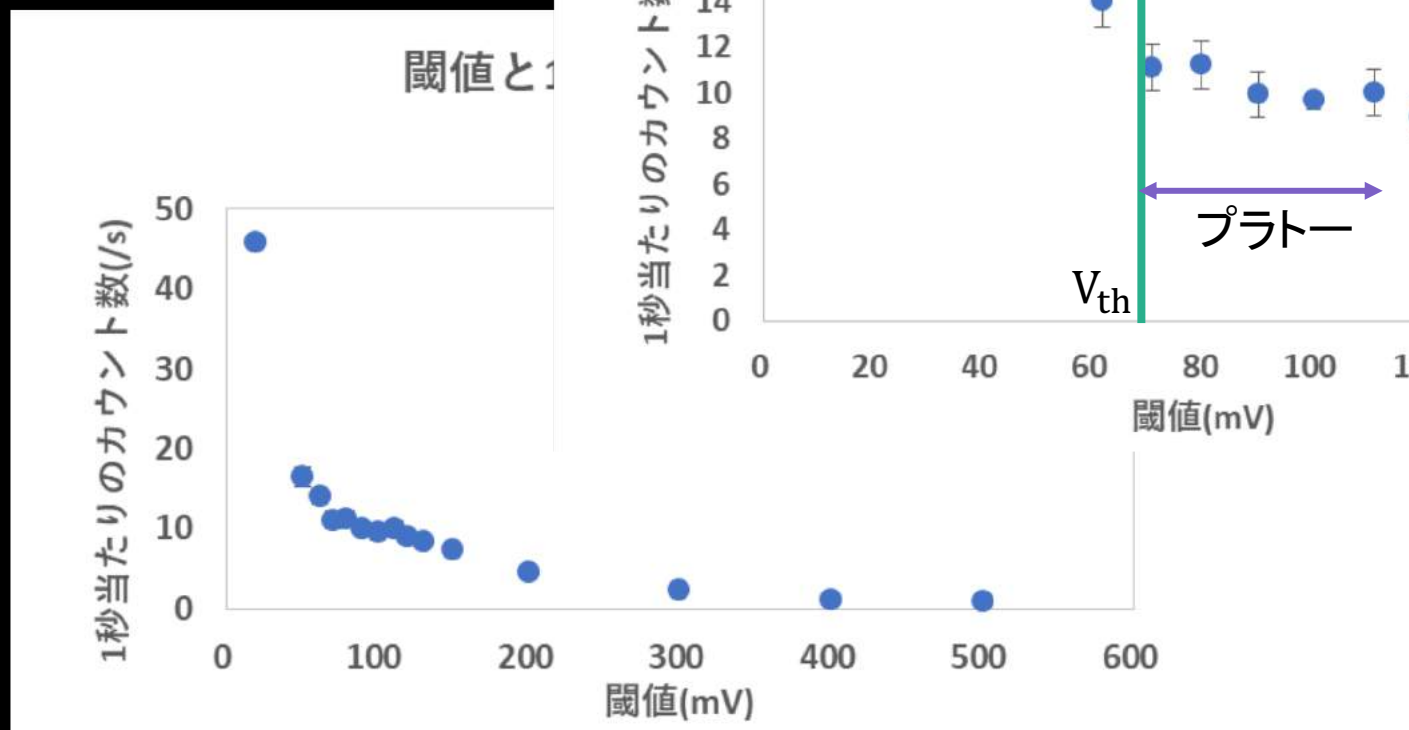


予想



Our Experiment

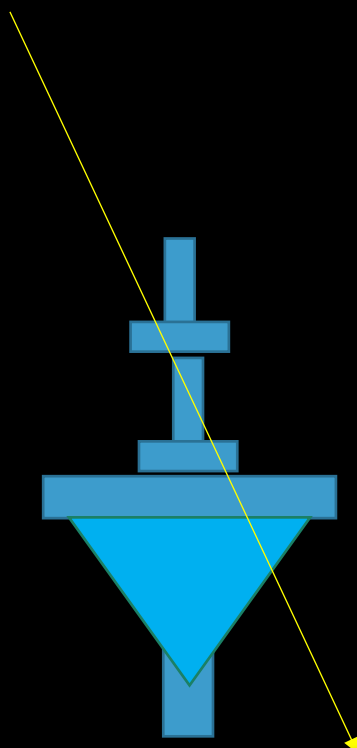
閾値の設定



	カホコ	アオイ	イチゴ
V_{th}	70mV	59mV	110mV

Our Experiment

時間の較正

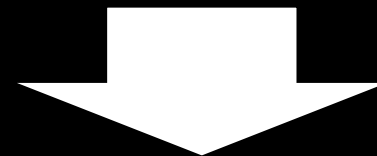


Δt	アオイ-カホコ	イチゴ-カホコ
(ns)	12.6 ± 0.1	65.5 ± 0.1

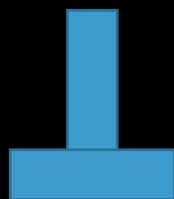
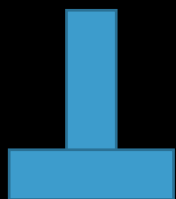
時間差から到来方向の判定

空気シャワーの面

空気シャワーの面が傾いていると
検出器が受け取る信号に差が生じる



3台の検出器を用いることで
3台の座標と時間差から到来方向を決定できる



空気シャワーの到来方向の決定

* 極座標形式<天頂角(θ),方位角(ϕ)>で表記する

* シャワーは光速 c で進む

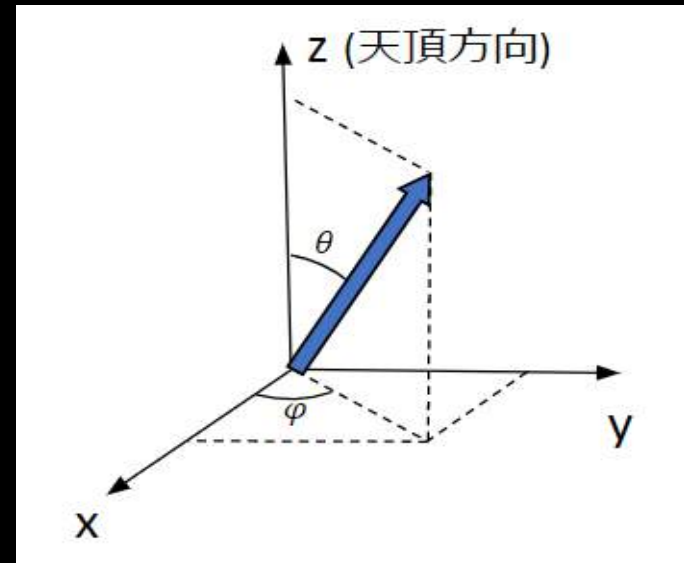
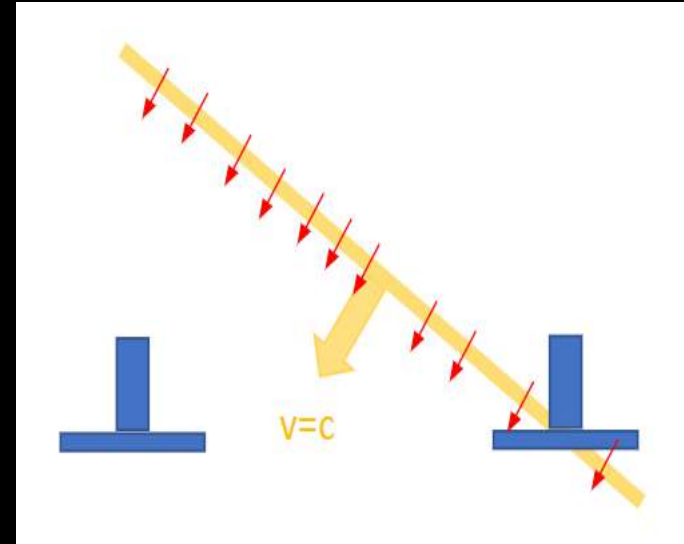
それぞれの検出器の座標および宇宙線の到来時間を

$$(t_1, x_1, y_1, z_1), (t_2, x_2, y_2, z_2), (t_3, x_3, y_3, z_3)$$

とする

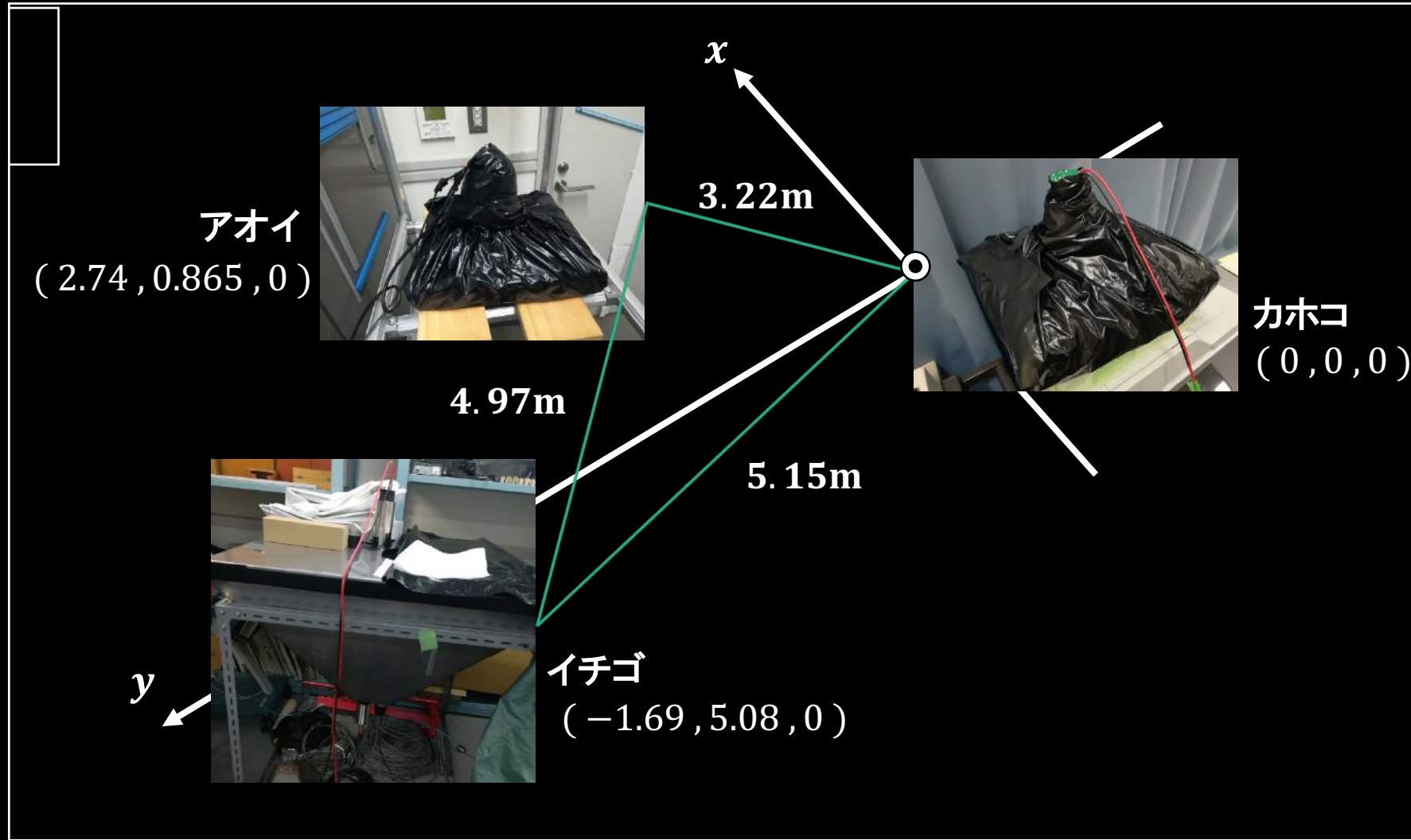
そして座標及び到来時間から最終的に

θ と ϕ を解く(時間 t で表す)



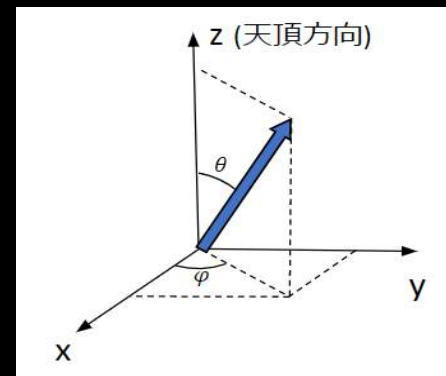
Our Experiment

Entrance



計算結果(θ, ϕ の関数として)

※z方向成分は3台の検出器の高さを合わせている。



$$\Phi = \arctan \left(\frac{\Delta t_2 \Delta x_3 - \Delta t_3 \Delta x_2}{\Delta t_3 \Delta y_2 - \Delta t_2 \Delta y_3} \right)$$

$$\theta = \arcsin \left(\frac{c \sqrt{\Delta t_3^2 (\Delta x_2^2 + \Delta y_2^2) - 2 \Delta t_2 \Delta t_3 (\Delta x_2 \Delta x_3 + \Delta y_2 \Delta y_3) + \Delta t_2^2 (\Delta x_3^2 + \Delta y_3^2)}}{(\Delta x_3 \Delta y_2 - \Delta x_2 \Delta y_3)} \right)$$

$$\text{※} \Delta A_n = A_n - A_1$$

z成分の高さが等しいので、差は0となる。

最終的には地平座標を赤道座標に変換して分布図を作成する

地表座標から赤道座標へ

- 赤道座標 = 地球の自転を基準とした座標系

$$\cos h \sin A = -\cos \delta \sin H$$

$$\cos h \cos A = \cos \varphi \sin \delta - \sin \varphi \cos \delta \cos H$$

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos H$$

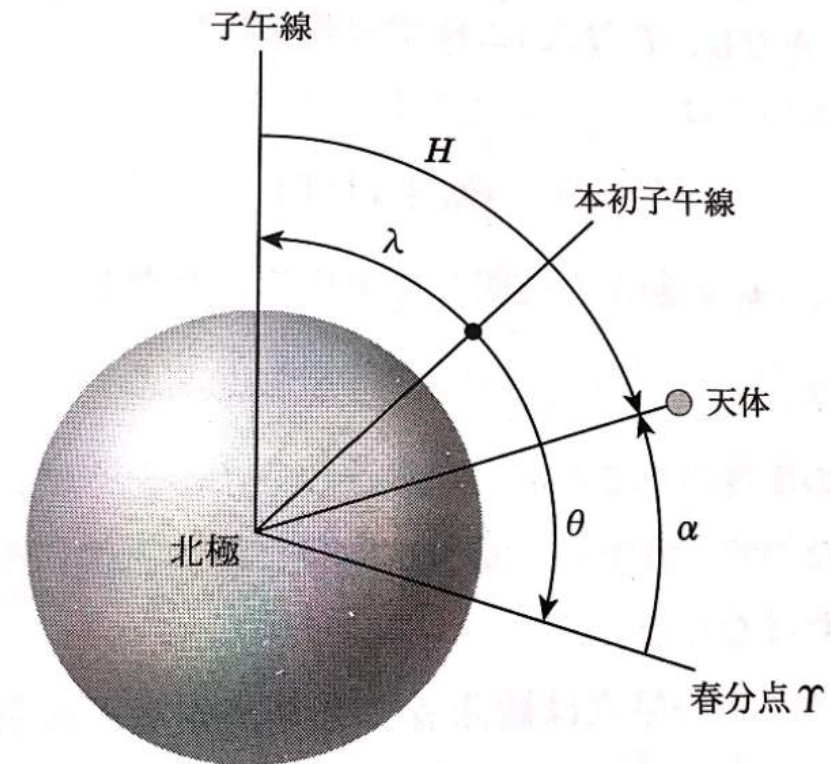
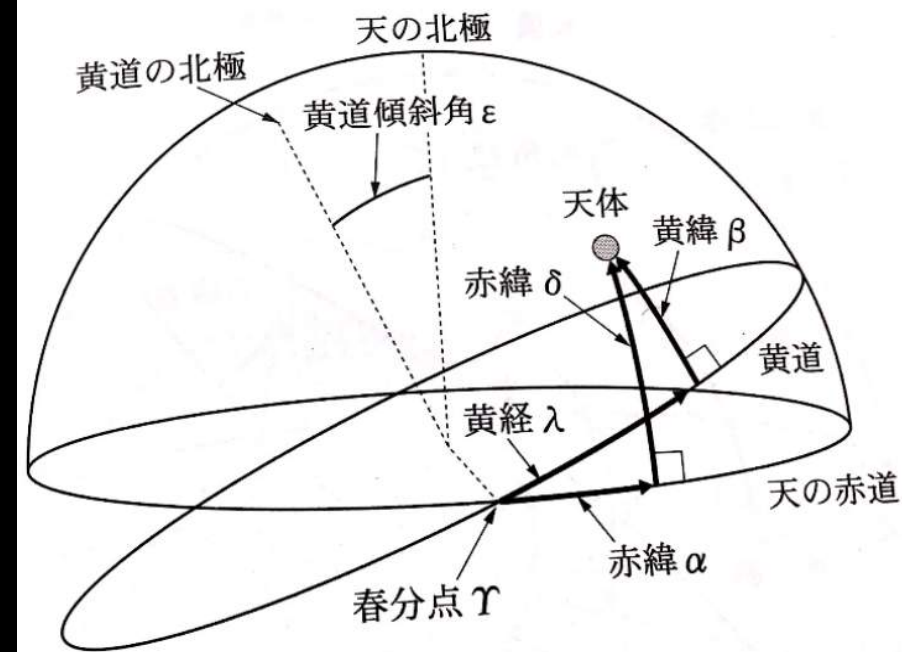
$$(H = \Theta + \lambda - \alpha)$$

緯度 φ 経度 λ (ある地点)

天頂角 h 方位角 A (空気シャワーのベクトル)

赤経 α 赤緯 δ




時角 H グリニッジ恒星時 Θ



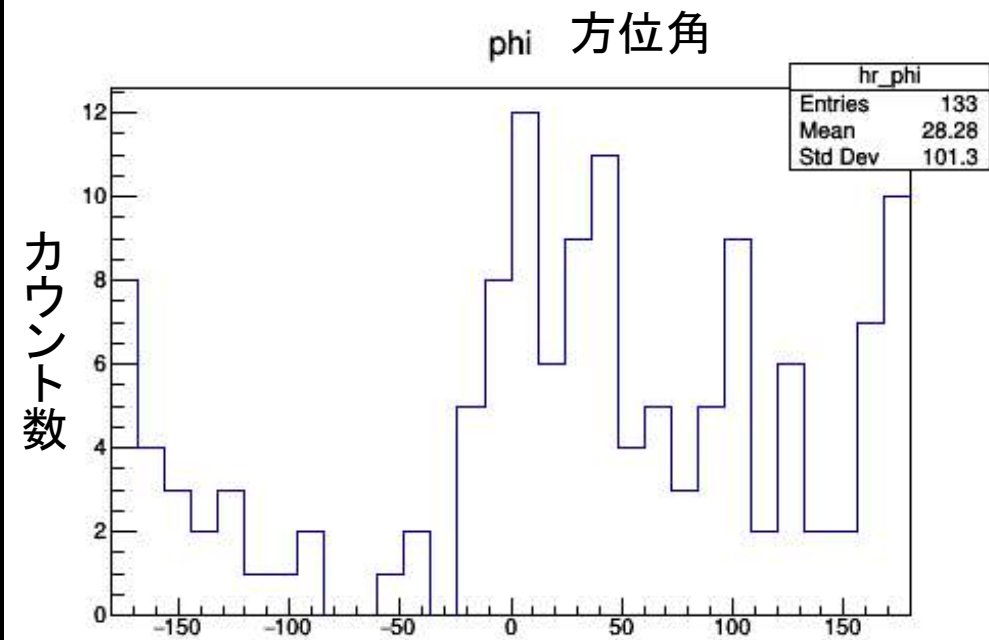
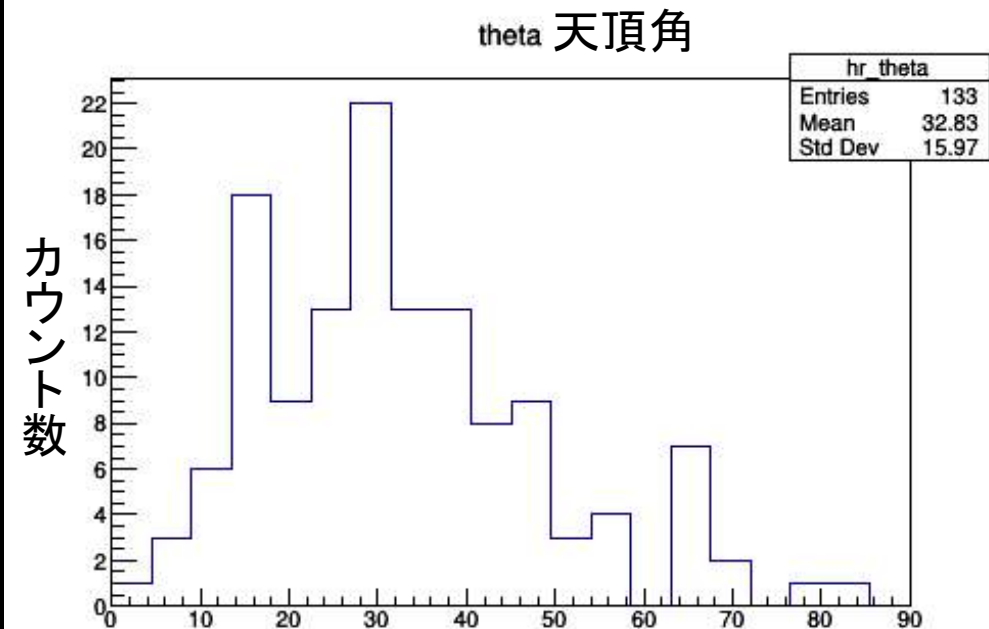
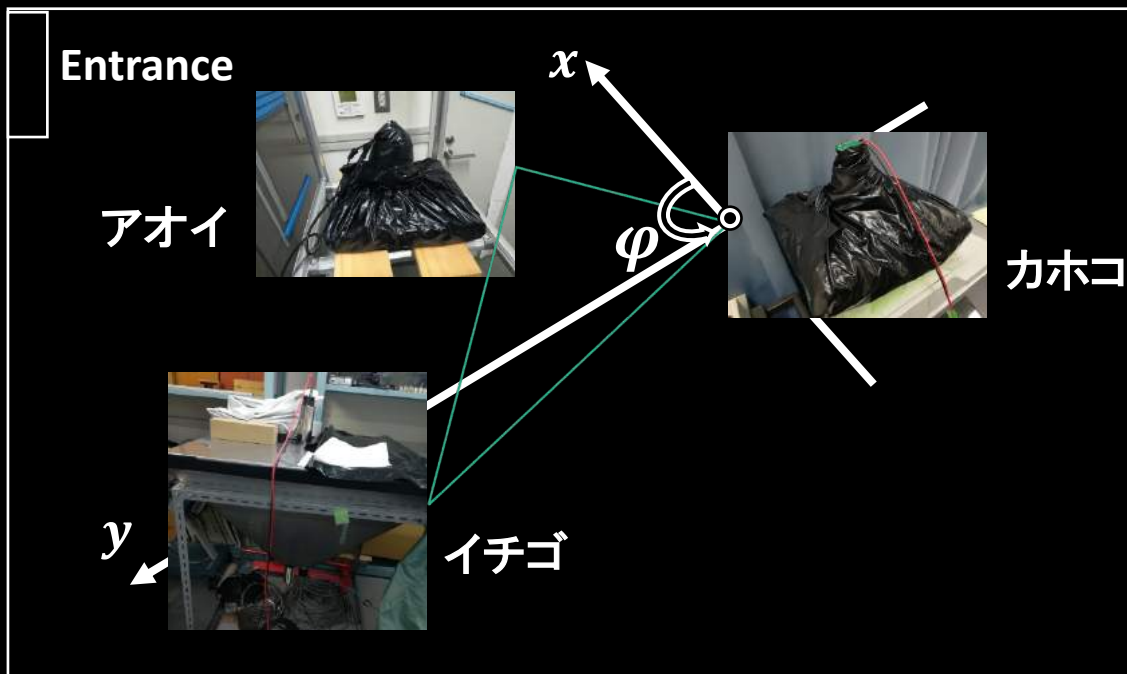
地平座標と赤道座標の解析結果(一部分)

時間差や検出器の座標をも考慮

44時間32分15秒 / 同時検出数 133回

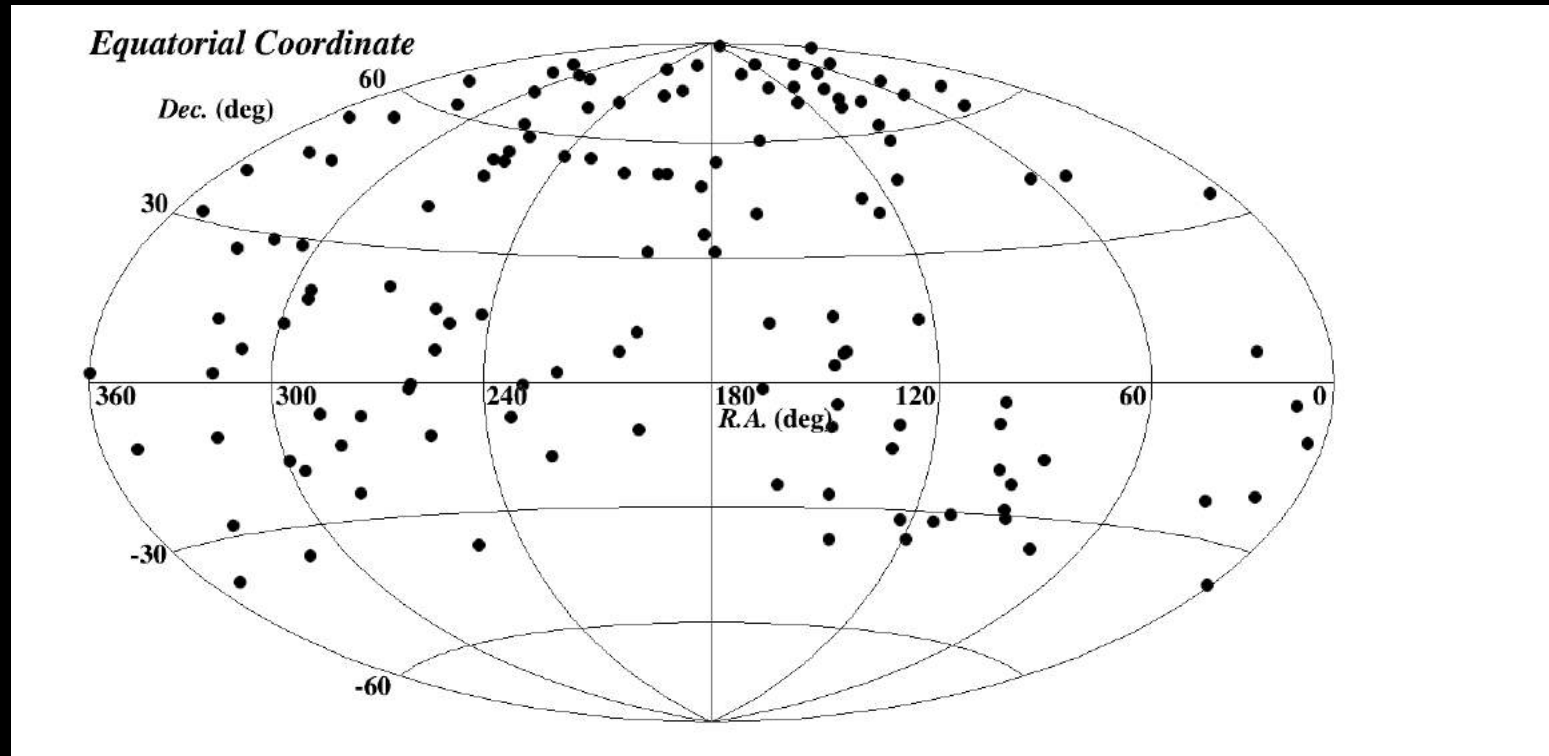
	x 座標(m)	y 座標(m)	z 座標(m)		Δt_2 (ns)	Δt_3 (ns)		天頂角(度)	方位角(度)		赤経(度)	赤緯(度)
カホコ	0	0	0		5.60	2.45		37.0	31.5		124.3	25.6
アオイ	2.74	0.865	0		-4.04	-4.55		31.9	47.2		109.5	22.7
イチゴ	-1.69	5.08	0		4.59	3.45		30.9	40.2		115.2	21.2
					-4.04	-5.55		33.8	52.2		106.0	25.5
					3.60	2.45		23.5	38.4		116.9	13.3
真上からシャワーが降ってきた場合												
タイムラグ	カホコ：アオイ(ns)	カホコ：イチゴ(ns)			Δt_2 (ns)	Δt_3 (ns)						
	12.6±0.1	65.5±0.1			アオイーカホコ	イチゴーカホコ						

Our Experiment



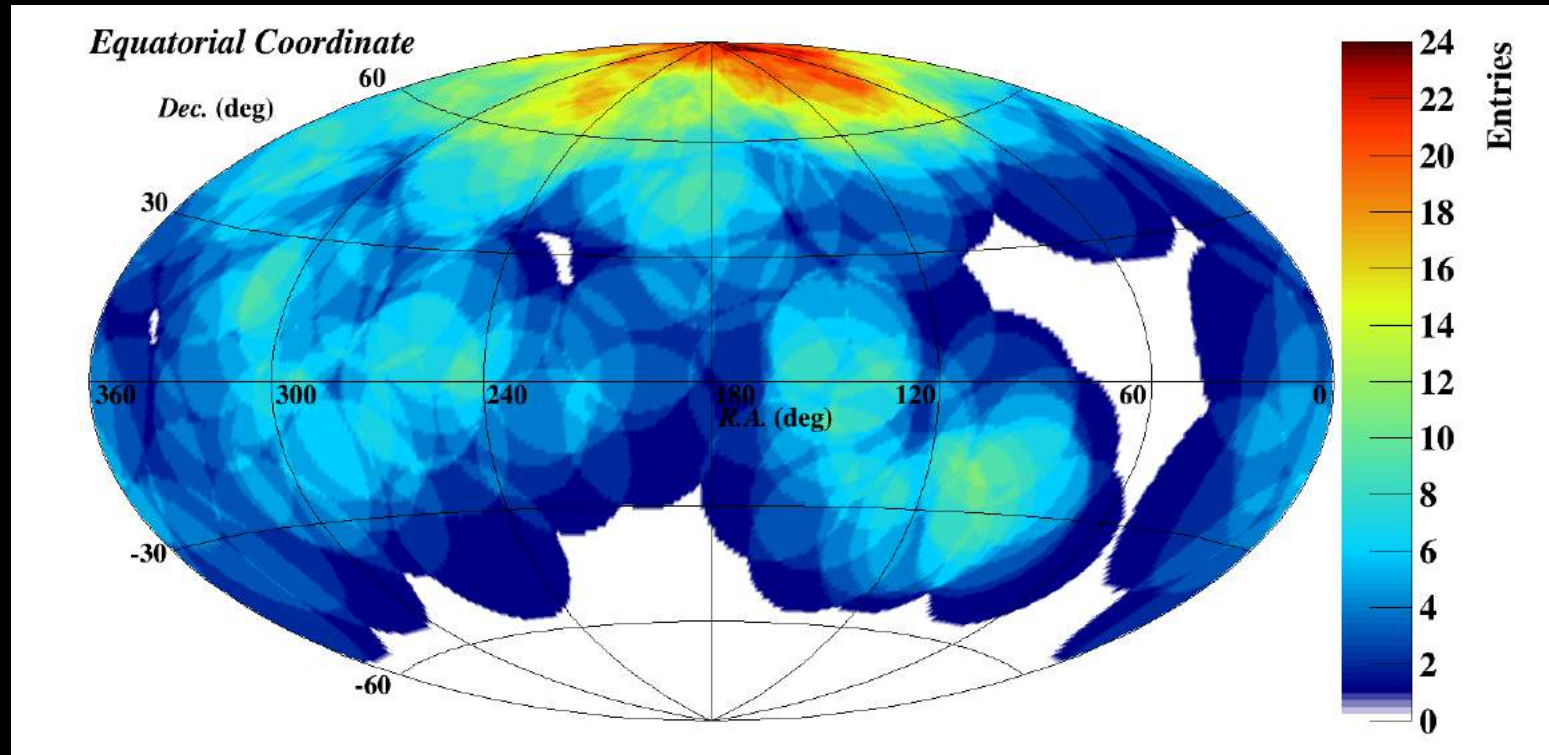
いよいよマッピング！！

到来方向の解析結果



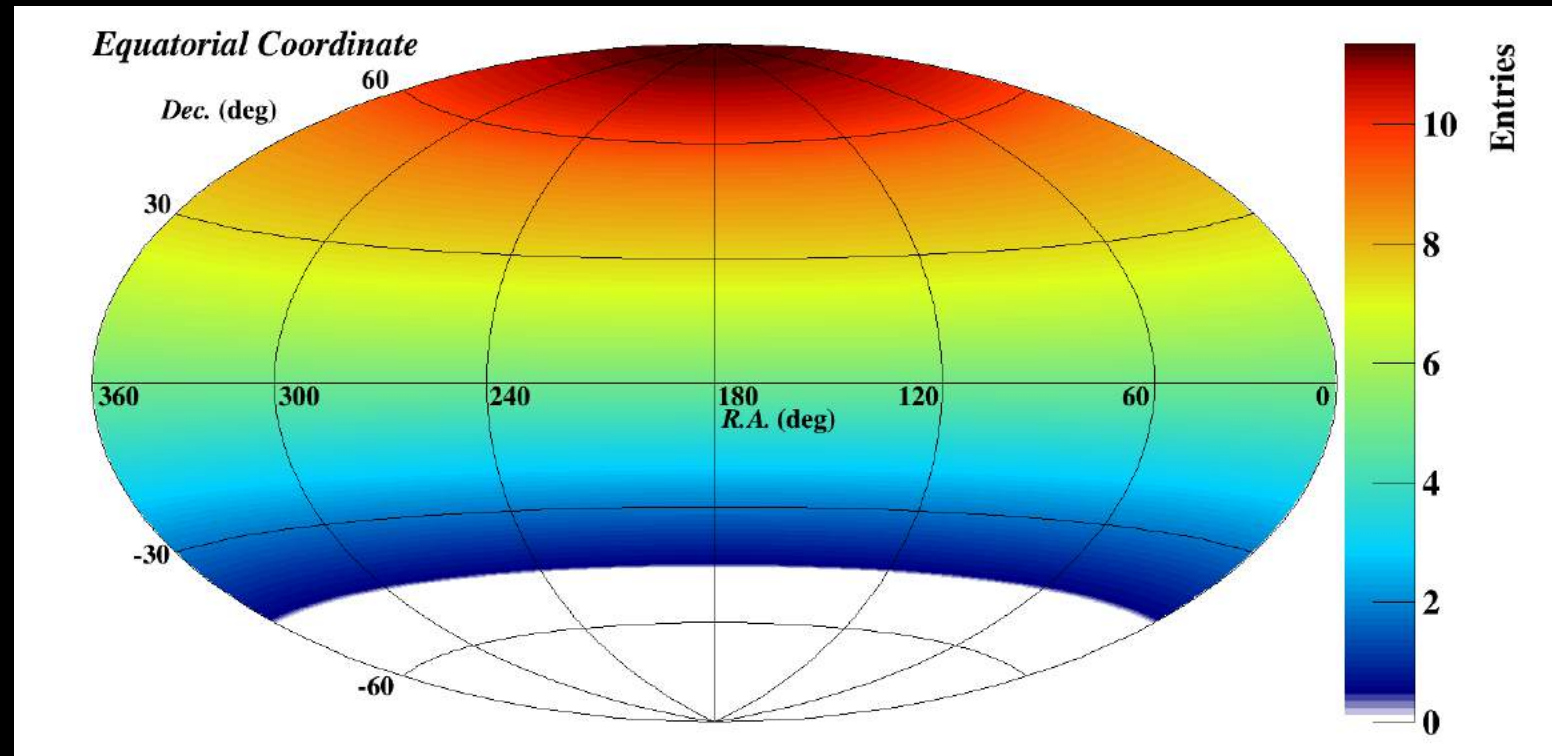
到来方向の分布

到来方向の解析結果



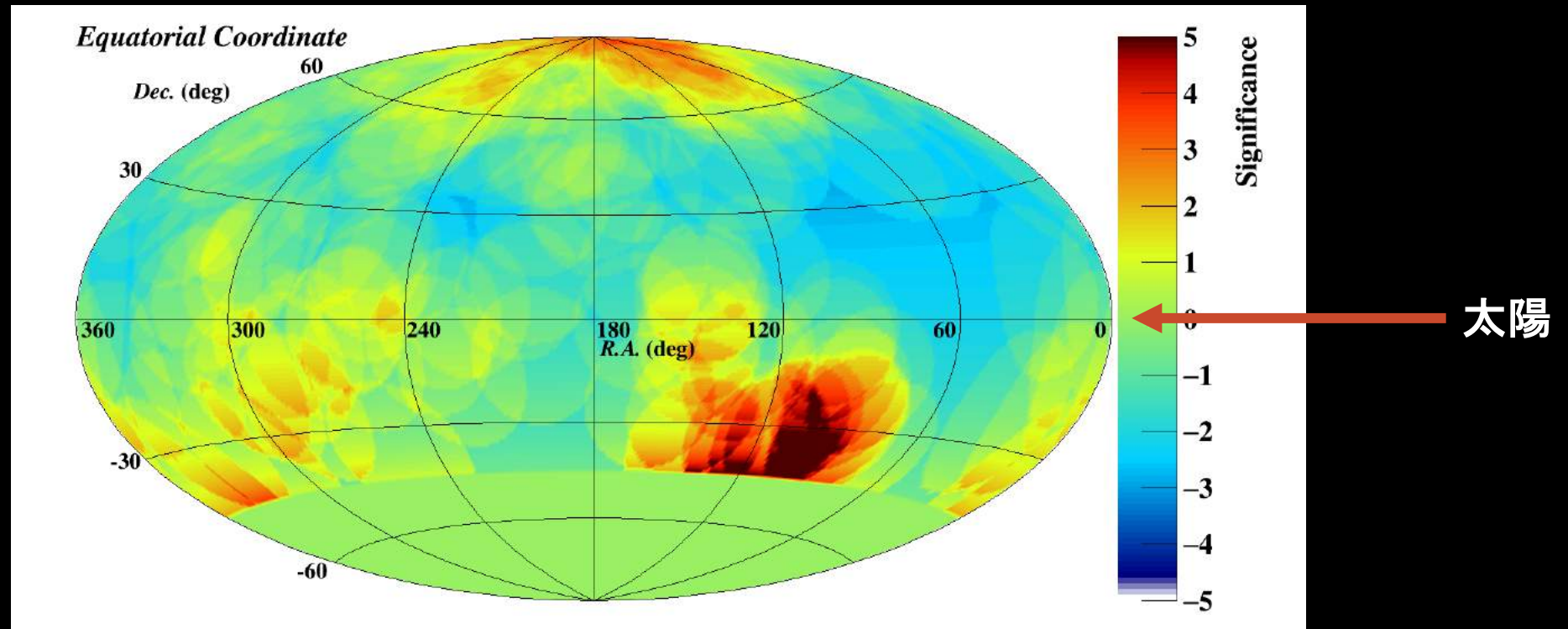
到来方向の分布

到来方向の解析結果



到来方向一様と仮定したときの粒子数の分布

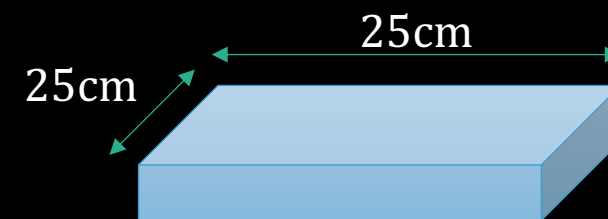
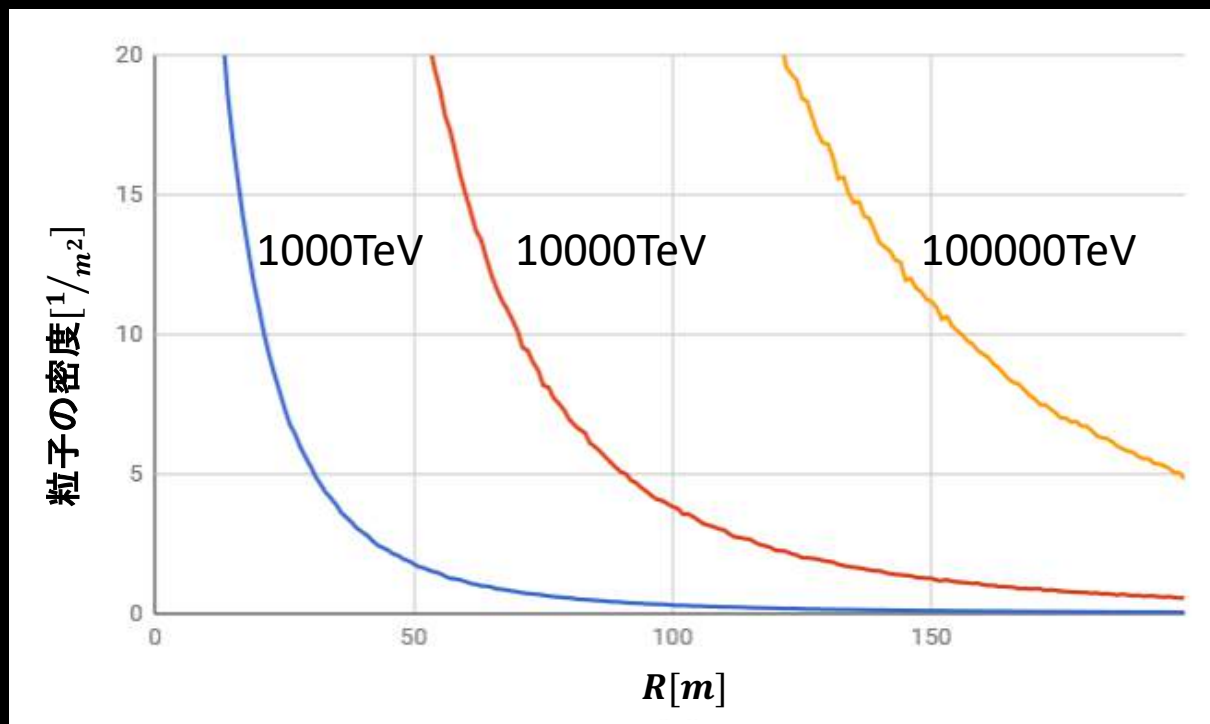
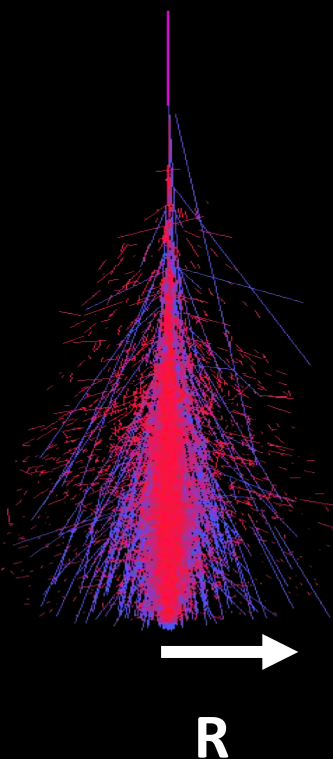
到来方向の解析結果



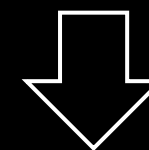
到来方向の有意度分布

考察

観測した宇宙線の最低エネルギー



16個/ m^2 を超えた粒子数密度の
エネルギーを持つ
宇宙線の空気シャワーが観測できる

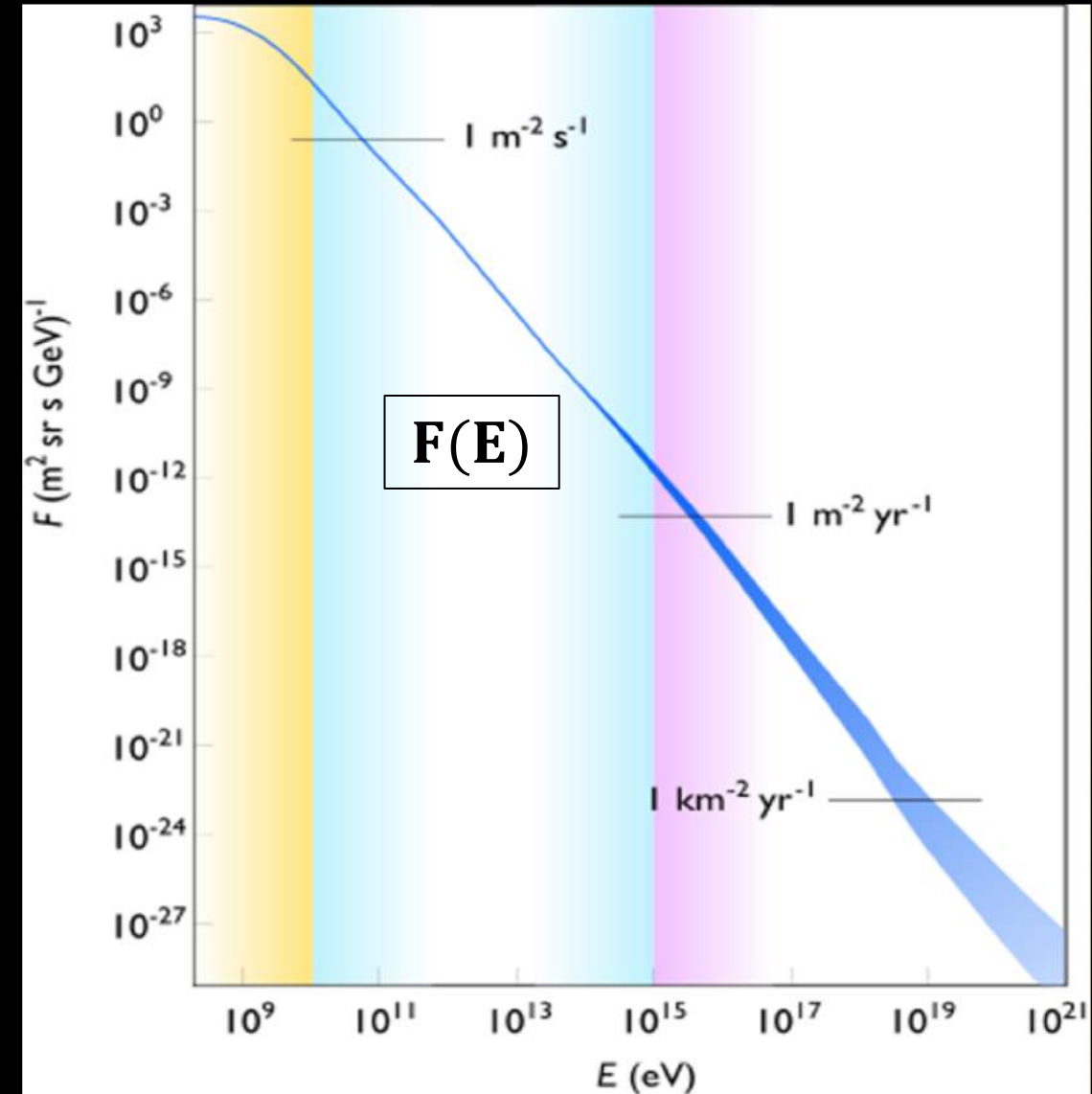
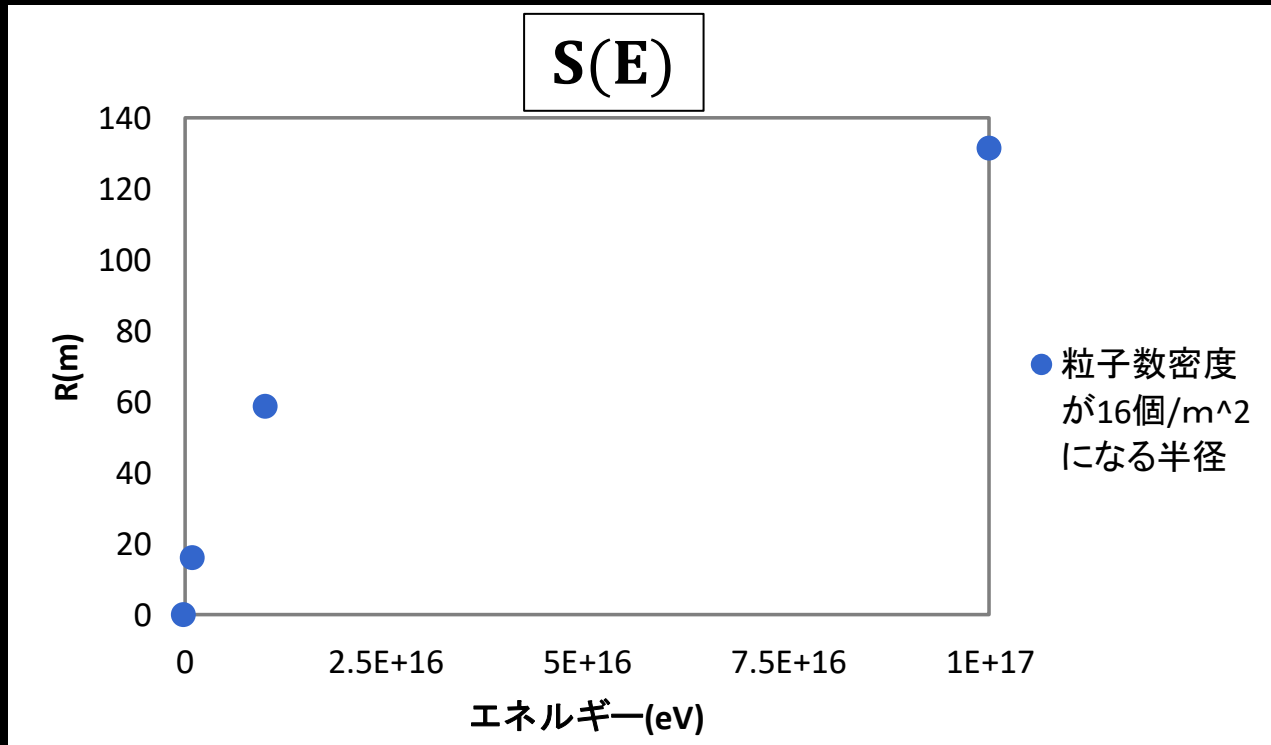


1000TeV以上

シャワーの中心からの距離(m)

考察

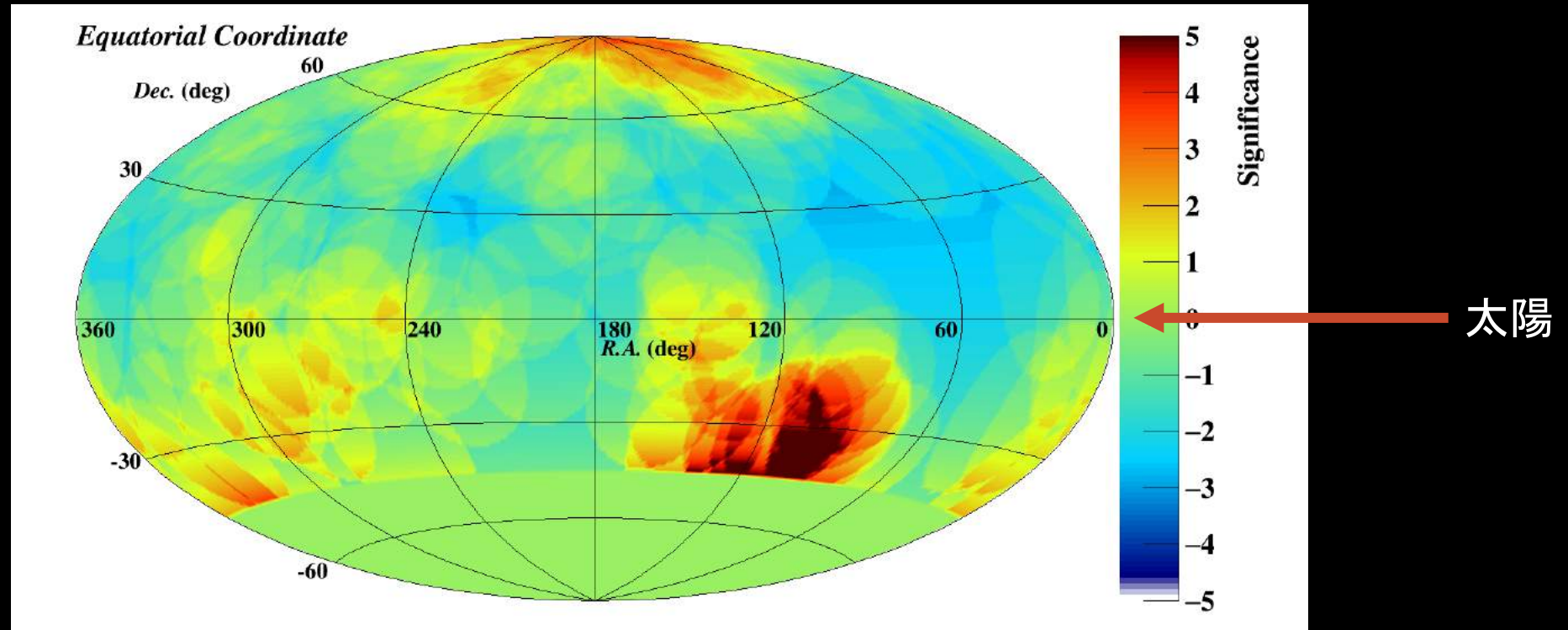
観測される粒子数の目安 N



$$N = \int_{E_0}^{\infty} S(E) \cdot F(E) \cdot T \cdot \Omega dE \sim 10^3$$

T: 観測時間(s) Ω: 観測エリア(sr)

到来方向の解析結果



0.1pc以内の距離からの空気シャワーの方向は正しく測定できる

太陽系内



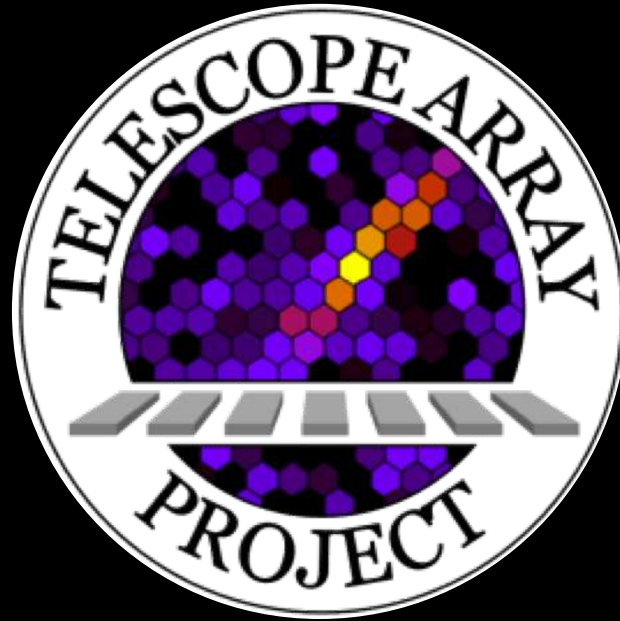
太陽から宇宙線は来ていない

ニュートリノ?

まとめ

- 3人の地表検出器アレイで44時間に133事象を観測
- 宇宙線の到来方向を求めた
- Hot Spot を観測
 - 0.1pc以内での宇宙線到来方向を測定
 - 太陽系内には高エネルギー宇宙線源は見つからなかった
 - 検出器付近のコンクリートの影響
 - 地平線付近にHot Spot → ニュートリノ？

Special Thanks to



Hiroyuki Sagawa

Takashi Sako

Toshihiro Fujii

Yuta Ozaki