



# Telescope Array実験の紹介

---

東京工業大学修士1年

堤一樹



# 目次

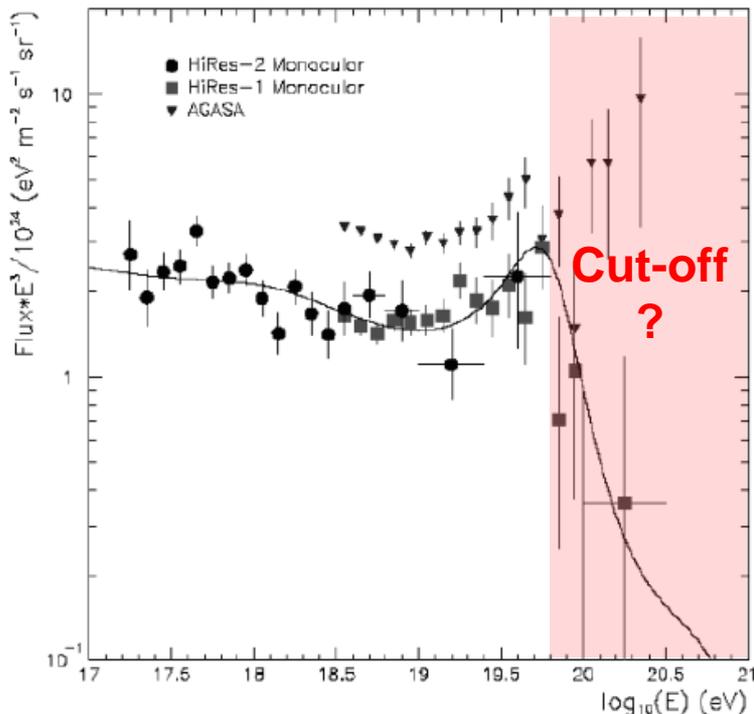
---

- Telescope Array実験とは
- 地表粒子検出器
- 大気蛍光望遠鏡
- その他較正機器
- 最新の観測結果
- まとめ



# 最高エネルギー宇宙線観測

HiResとAGASA実験による一次宇宙線のエネルギースペクトル



## 最高エネルギー宇宙線

一粒子としては宇宙一高いエネルギーを持つ  
 $10^{19}$ eVの宇宙線でFlux=1個/ $\text{km}^2 \cdot \text{year}$

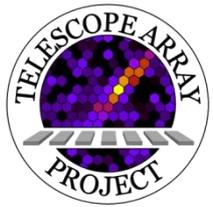
↓  
大きい検出器面積、長い観測時間が必要  
起源、伝播過程は未だ未解明

### GZK cut-off

理論的に予想される $10^{20}$ eV以上の宇宙線フラックスのcut-off

↓  
過去に行われたAGASA実験とHiRes実験の結果ではその存在の有無が分かれた

TA実験の目的...従来の宇宙線観測実験よりも観測精度、有効検出面積を格段に向上させ、 $10^{20}$ eV付近のエネルギースペクトルを確定する。



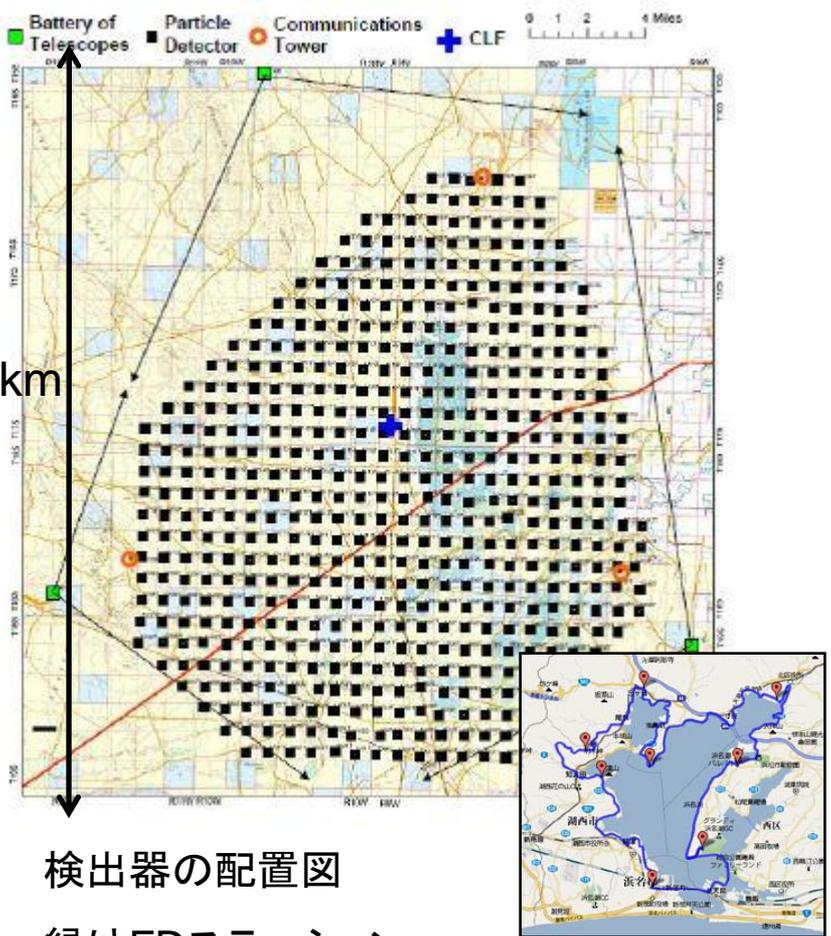
# Telescope Array(TA)実験とは

米国ユタ州 ソルトレイク南西

北緯39度、西経113度、平均標高1400m

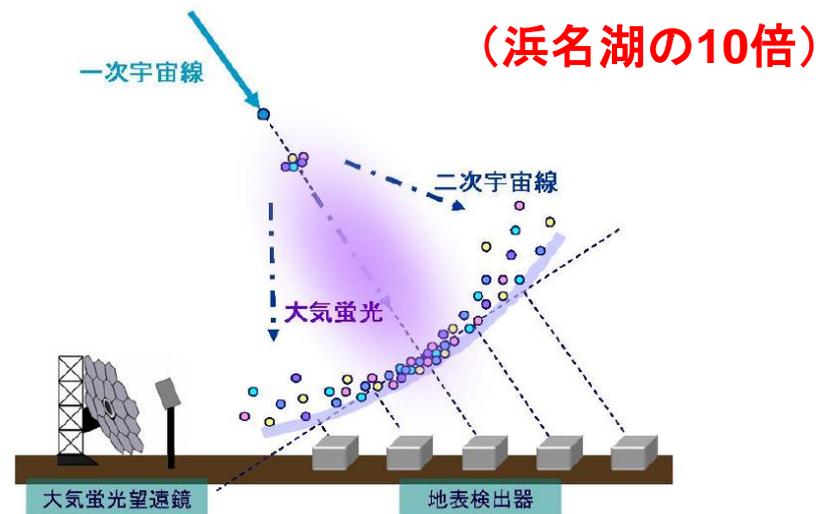
- ・地表粒子検出器(SD) × 507台
- ・大気蛍光望遠鏡(FD) × 3ステーション
- 結果の異なっていた過去の実験の二種類の検出器によるハイブリッド観測
- 検出器の設置面積は678km<sup>2</sup>

50km



検出器の配置図

緑はFDステーション  
オレンジは通信塔

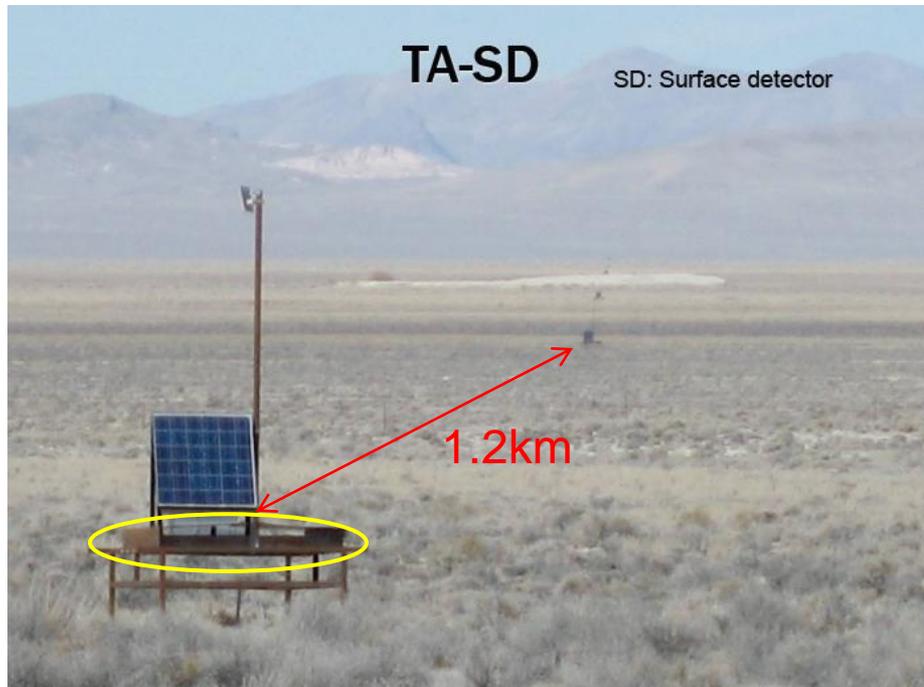


(浜名湖の10倍)

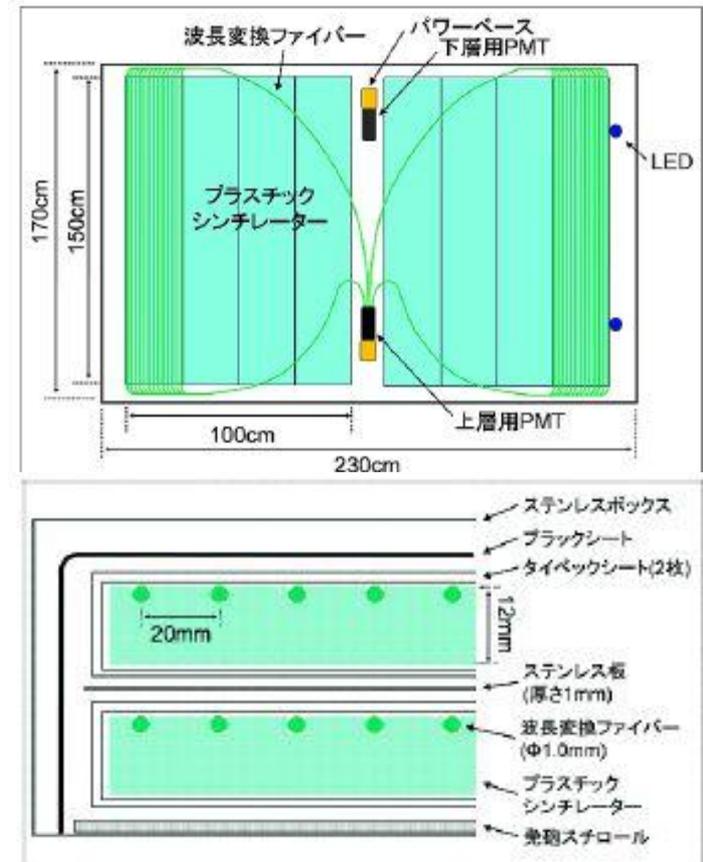


# 地表粒子検出器(SD)

広い面積に観測機を設置し、宇宙線により発生した空気シャワー粒子を直接観測



- ・ソーラーパネル最大出力120W
- ・バッテリー:電力供給なしで3日間稼働  
⇒ **自立稼働可能**



シンチレーター→波長変換ファイバー  
→PMT→FADC→ triggerによる選別

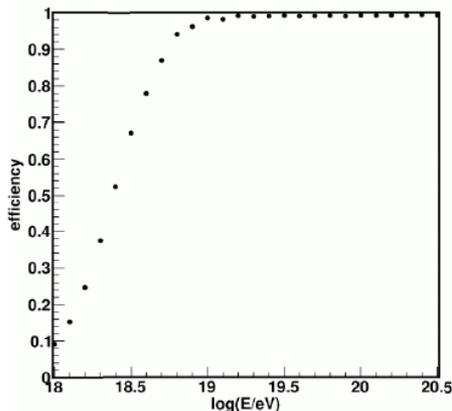


# SDでの情報収集

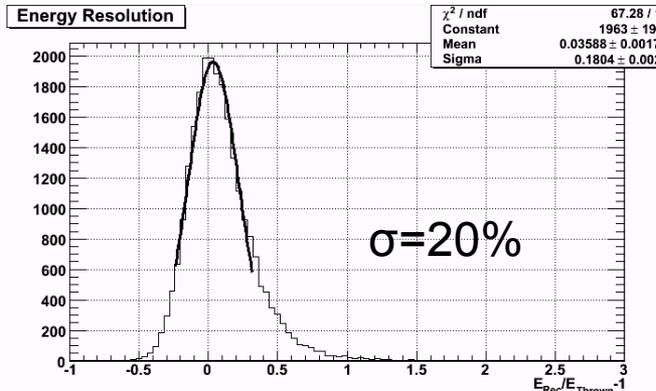
宇宙線は常に到来してくるものなので、データの選別を行わないとデータ量が多くなり過ぎてしまう。TA実験のSDでは以下のような三つのtriggerをかけることでデータを選別している。

	Trigger条件
Level 0 trigger	0.3MIPs以上がエネルギー損失した場合のPMT出力電荷量→通信塔
Level 1 trigger	3MIPs以上がエネルギー損失した場合のPMT出力電荷量→通信塔
Level 2 trigger	隣接する3台以上のSDでlevel 1 triggerがかかった場合(通信塔)

SDによるtrigger効率



エネルギー決定精度



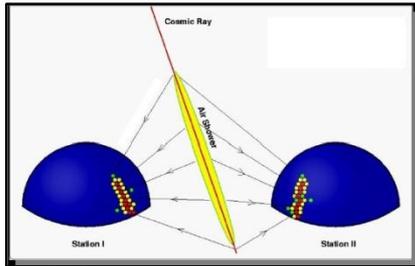
観測した粒子数と到来時間の測定結果をシャワーのシミュレーション計算と比較することで一次宇宙線のエネルギーと到来方向を決定。

SDは2008年5月観測開始



# 大気蛍光望遠鏡(FD)

空気シャワーから発生する大気蛍光を反射望遠鏡で観測。



FDステーション(BRM)

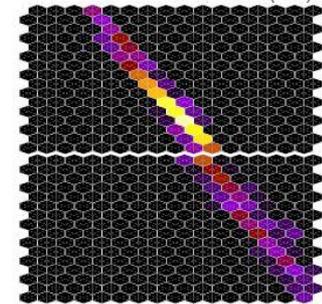


FD(上下段)



カメラの写真

2007/06/20 08:18:21(UTC)



イベント例

- ・FDステーション×3(BRM,LR,MD)
- ・FDステーションあたり FD×12

- ・1FDに18枚の球面鏡 1カメラ
- ・1カメラに16×16個のPMT
- ・望遠鏡の中心は鏡でなくPMT較正用のXenon flasherが付いている



# FDでのデータ収集

FDでは、3つのmoduleでtriggerをかけ、データを選別している。

	Trigger条件
1 <sup>st</sup> level trigger	S/N比が閾値以上(各PMTごと)
2 <sup>nd</sup> level trigger	1 <sup>st</sup> level triggerによるhitが①5個連続、もしくは②カメラ端で3個連続
3 <sup>rd</sup> level trigger	Stationごとに、①が存在、もしくは②がカメラ間に跨って存在

## FDによる再構成決定精度

$$E=10^{19-19.5}\text{eV}$$

到来方向: 1.6 度  
シャワーコア位置: 180 m  
エネルギー:  $-5.4 \pm 5.8 \%$   
Xmax:  $-9.7 \pm 16 \text{ g/cm}^2$

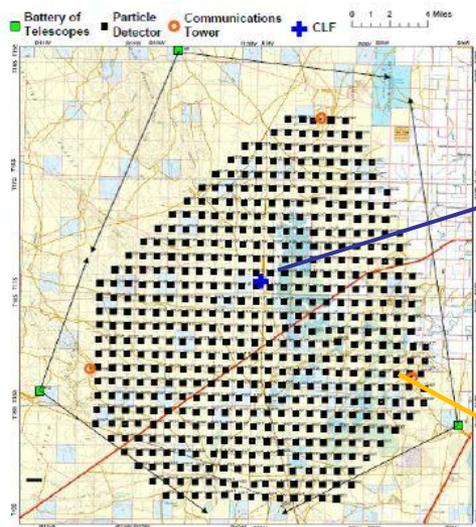
空気シャワーの中心軸付近に出来る大気蛍光の軌跡の輝度(光量)から大気中における空気シャワーの全エネルギー損失と到来方向を決定。

FDは2007年11月観測開始



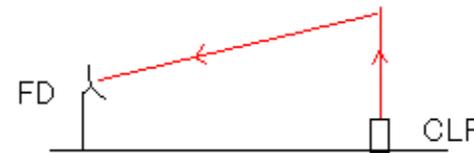
# その他較正用機器

- ・IRカメラ 赤外線カメラを使用し雲の位置、状態を測定する。
- ・CLF 各FDステーションから等距離にあり、垂直に打ち上げたレーザーによる各側方散乱光を各FDステーションで観測することで大気の透明度を測定。
- ・LIDAR FDステーションから100m離れた所に設置してあり、レーザーを空に打ち、後方散乱を専用の反射型望遠鏡を使い観測し大気の状態を測定。



CLF

LIDAR





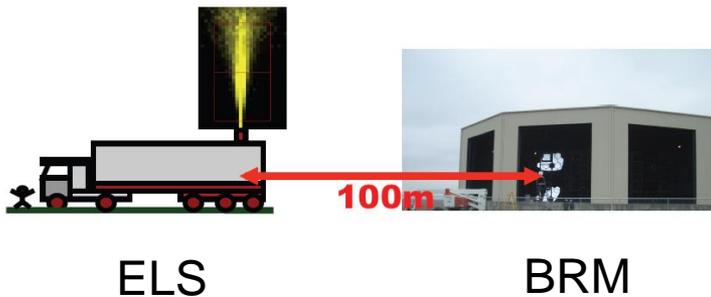
# その他較正用機器

・ELS

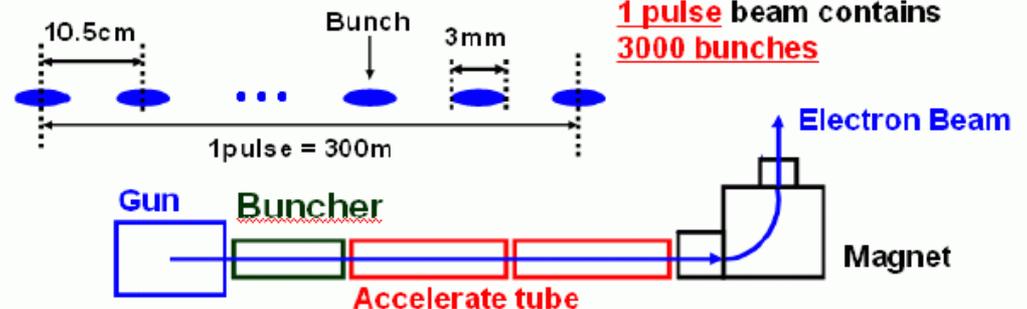
Electron Light Source。BRMに小型電子線形加速器 (LINAC)を設置し、そこから10~40MeVの既知エネルギーの電子ビームを打ち上げ、空気シャワーを擬似的に再現してFDで観測することでエネルギーを較正。



大気、FDのPMTをまとめて較正することが出来る。



Electron Beam & Accelerator Construction



ELSの概念図

ELSは現在は稼働試験中



# まとめ

測定機器を中心に紹介してきたが、この中でもELSが稼動すればエネルギーの決定精度が更に良くなる。

最新の観測結果からは、

- SDによるエネルギースペクトルにおいて、何らかの折れ曲がりが見られる。
- FDによる一次宇宙線の質量組成は、陽子によるモデルに一致。

ということが分かっている。