

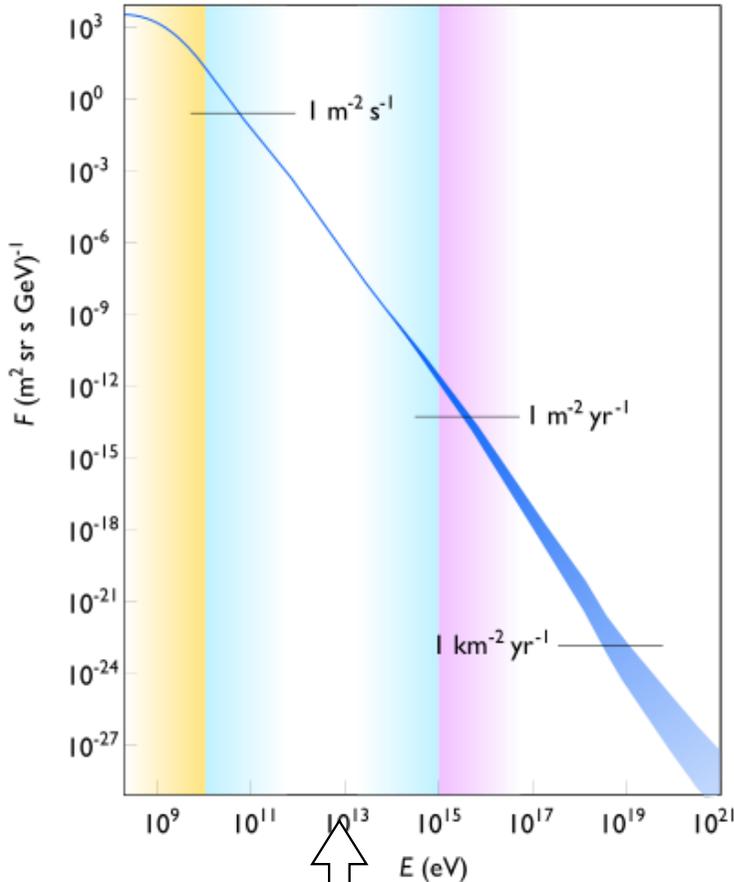
東京大学宇宙線研究所
「大学院進学のための交流会」

テレスコープアレイ(TA) グループ説明

塔さこ 隆志

「宇宙線とは？」

宇宙線のエネルギースペクトル



[狭義]宇宙から降り注ぐ高エネルギー放射線

- 陽子、ヘリウム原子核、各種原子核

[広義]

- 電子、陽電子、ガンマ線、ニュートリノ
- ダークマター、重力波

古典的・伝統的宇宙線
TAグループの対象

様々なエネルギーの宇宙線がやってくる

- 10^{20} eVの宇宙線が来ている(100km^2 に年に一個)
- 人口加速器の最高エネルギーは 7×10^{12} eV

宇宙で最も高いエネルギーの粒子はどこからくるの？

- 謎??
- 宇宙の極限天体・現象に関わるはず

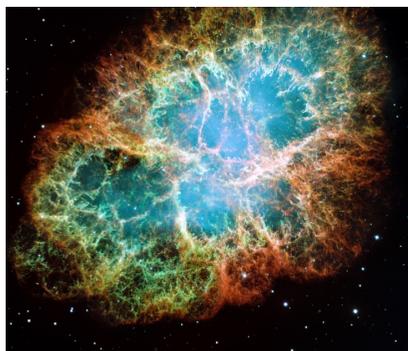
世界最大の粒子加速器 LHC
(CERN, スイス, フランス国境)



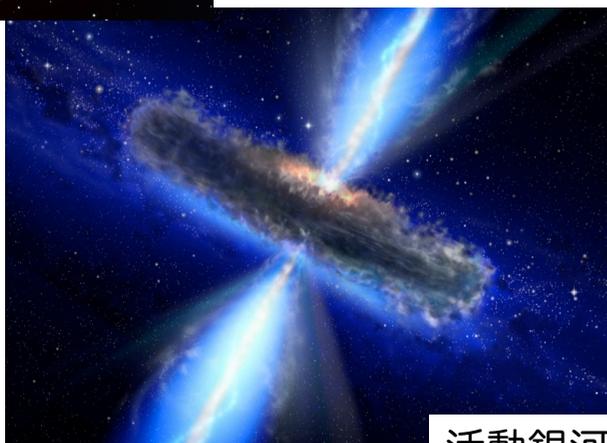
Q:超高エネルギー宇宙線は
どこでどのように作られるのか

A: 分かっていない

超新星残骸 (かに星雲)

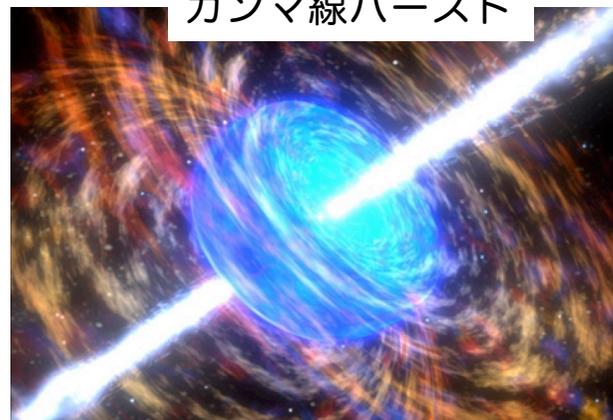


- 10^{12} eVの加速天体はたくさん知られている
(チェレンコフ宇宙ガンマ線グループ)
- 10^{15} eVの加速天体もわかりはじめてきた
(チベット実験・アルパカ実験グループ)
- 天体の理論的研究も進んでいる
(高エネルギー天体グループ)

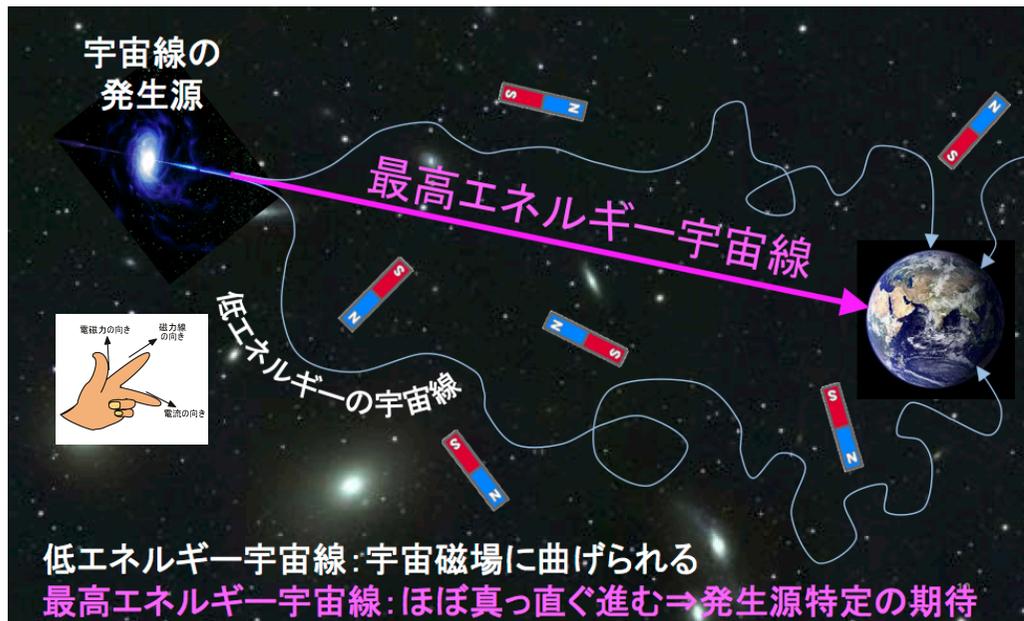


活動銀河核
(超巨大なブラックホール)

ガンマ線バースト



超高エネルギー宇宙線の起源と到来方向

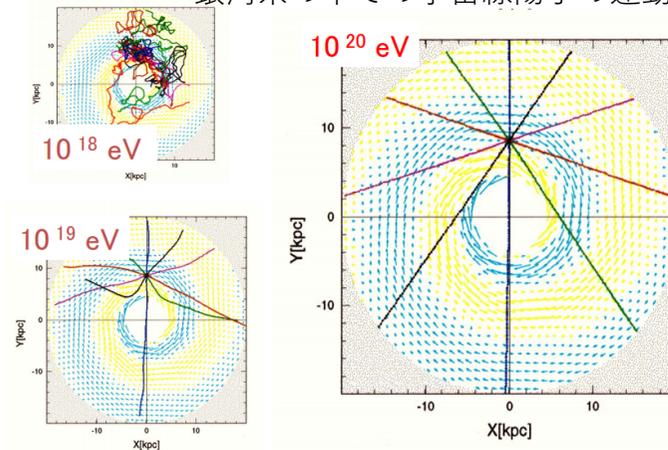


- 宇宙には磁場がある
- 荷電粒子が磁場中を運動すると、ローレンツ力を受けて軌道が曲がる

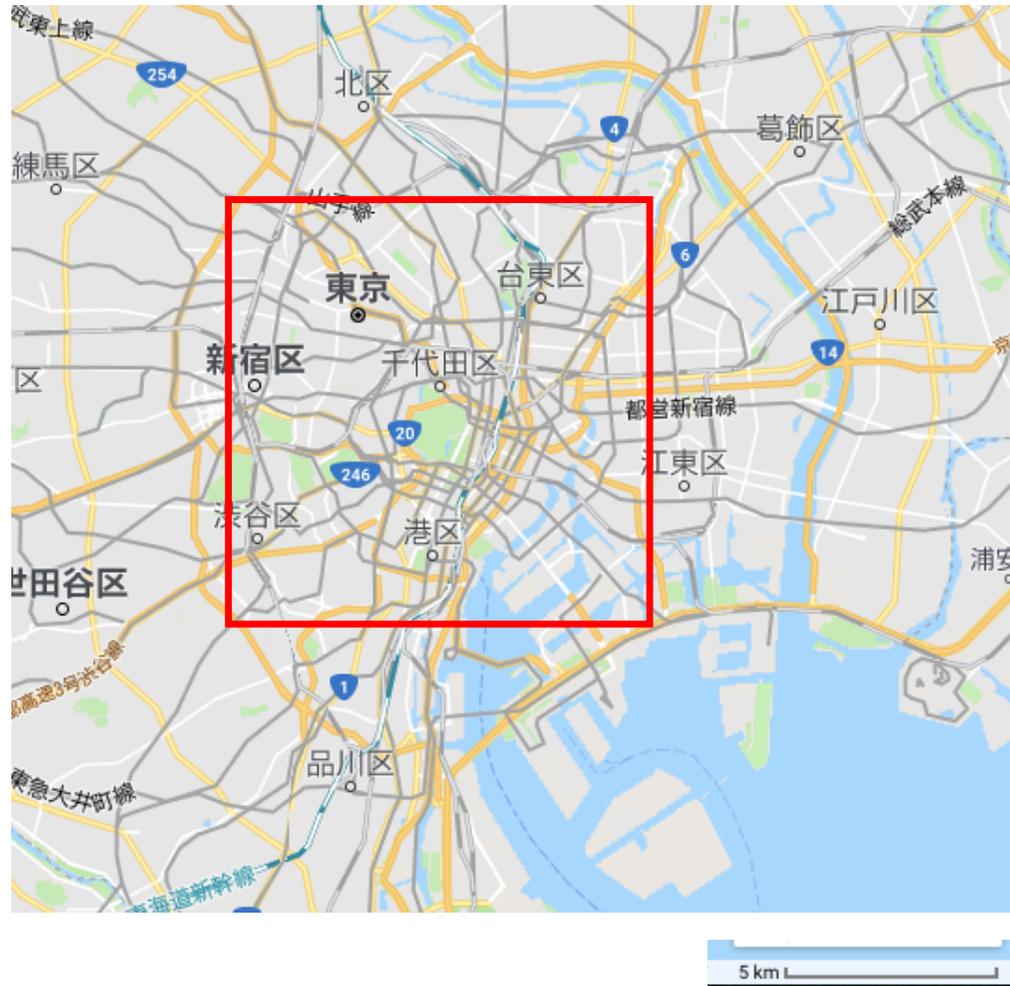
⇒ 「観測方向 ≠ 発生方向」

- エネルギーが十分に高ければ曲がり小さい
- 「十分」ってどれくらい？

銀河系の中での宇宙線陽子の運動



100km²に一年に一個…



最高エネルギー宇宙線の観測方法



空気シャワー（高エネルギー反応による大気中での粒子の増殖現象）を使う

大気蛍光望遠鏡

- 空気シャワー粒子が大気分子を励起して紫外線で発光（大気蛍光）
- それを望遠鏡で観測
- 利点：空気シャワーの高さ方向の発達を観測
- 欠点：月の無い晴れた夜にしか観測できない
 - 場所にもよるが、年の10%程度

地表検出器アレイ

- 地上に降ってきた空気シャワーの粒子を観測
- シンチレータや水タンク
- 利点：24時間天候関係なく観測できる
- 欠点：地上の情報しかない

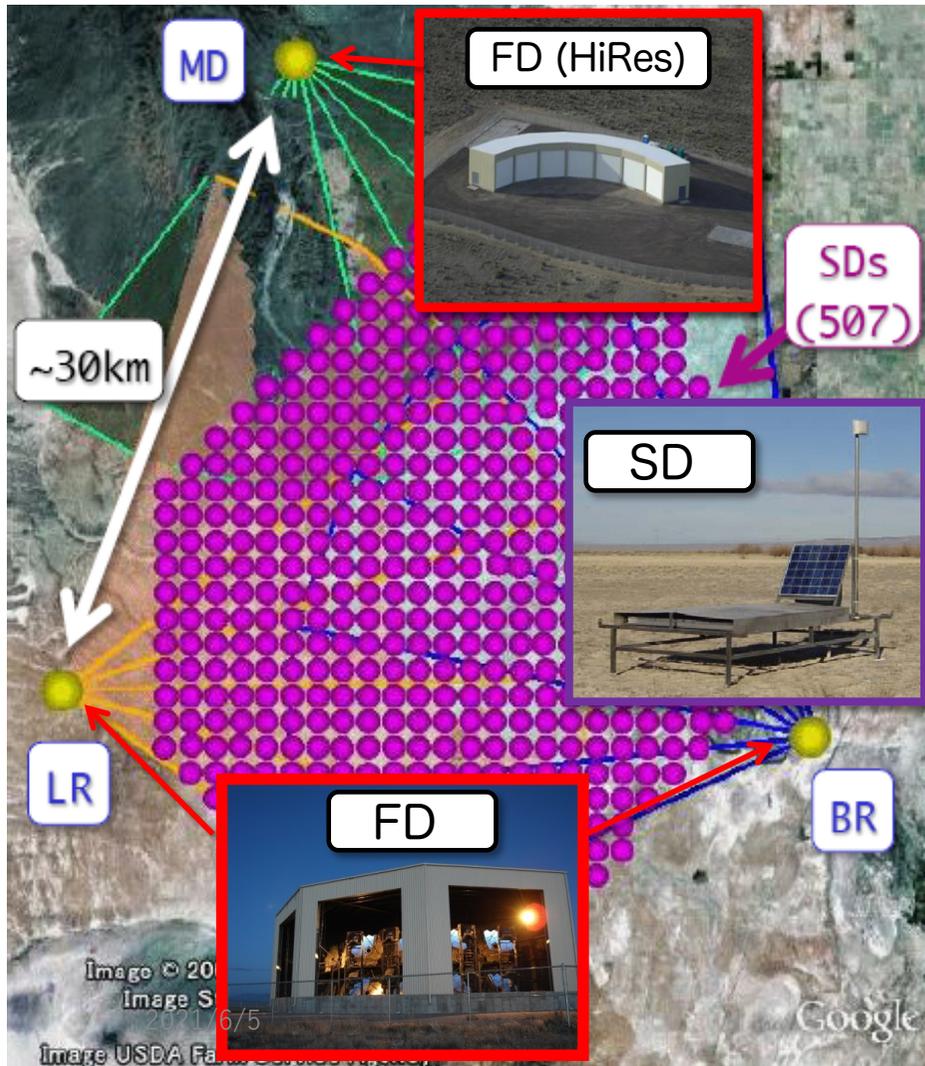
他に電波を使う方法もある

- 空気シャワーから出てくる電波を見る
- 空気シャワーで反射した電波を見る

2021/6/5

テレスコープアレイ(TA)実験

北半球最大の空気シャワー観測実験 日米露韓ベルギー・チェコの国際共同実験



- 米国ユタ州の砂漠
 - 標高1400m
- 地表検出器(SD) 507台
 - 1.2km間隔
 - 3m²のシンチレータ2層
- 大気蛍光望遠鏡(FD) 3台
 - 30km間隔

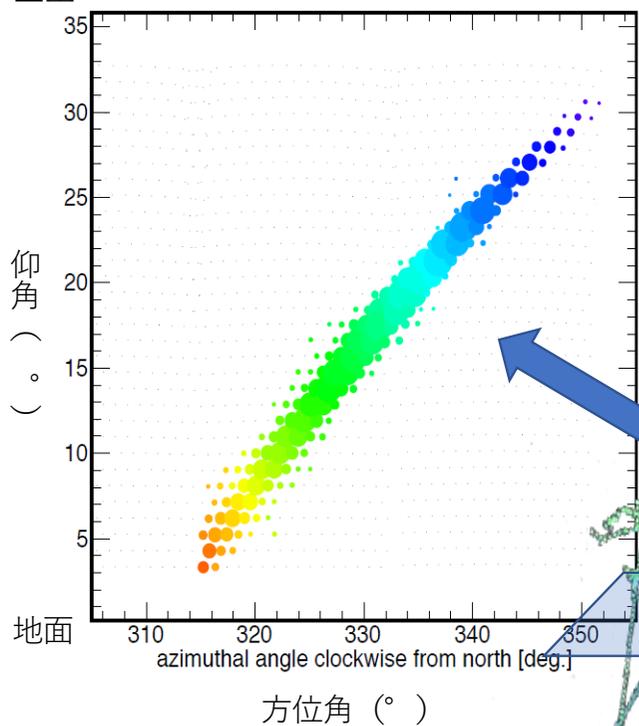
- FD: 2007年11月から観測
- SD: 2008年3月から観測

地表検出器 Surface Detector

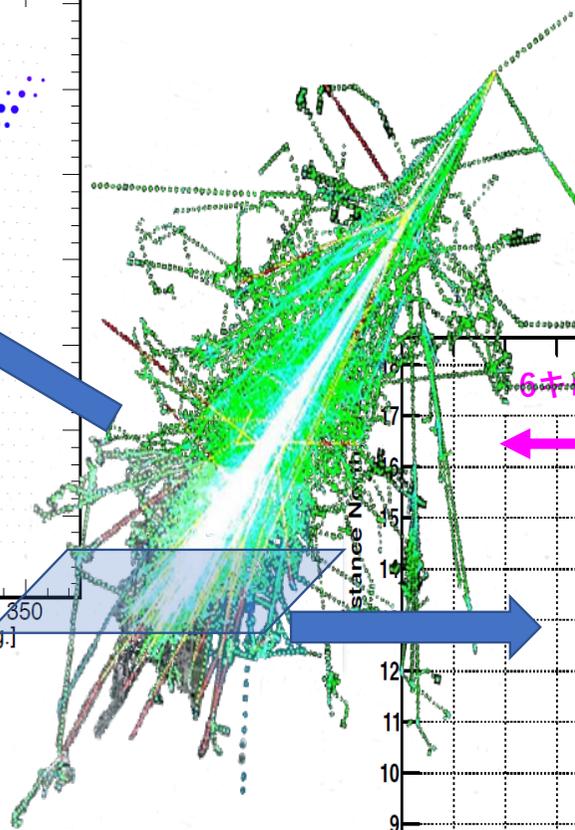


テレスコープアレイが観測した宇宙線空気シャワー

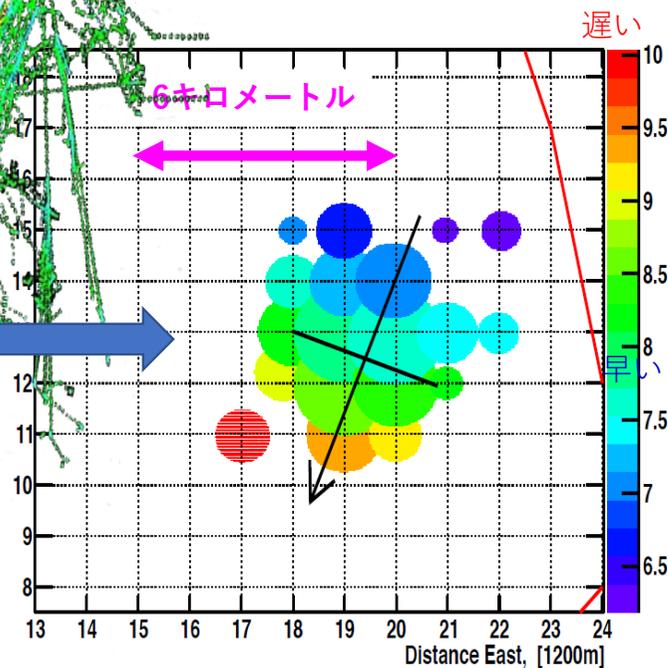
上空 大気蛍光望遠鏡による観測



暗くて速い流れ
星のような像

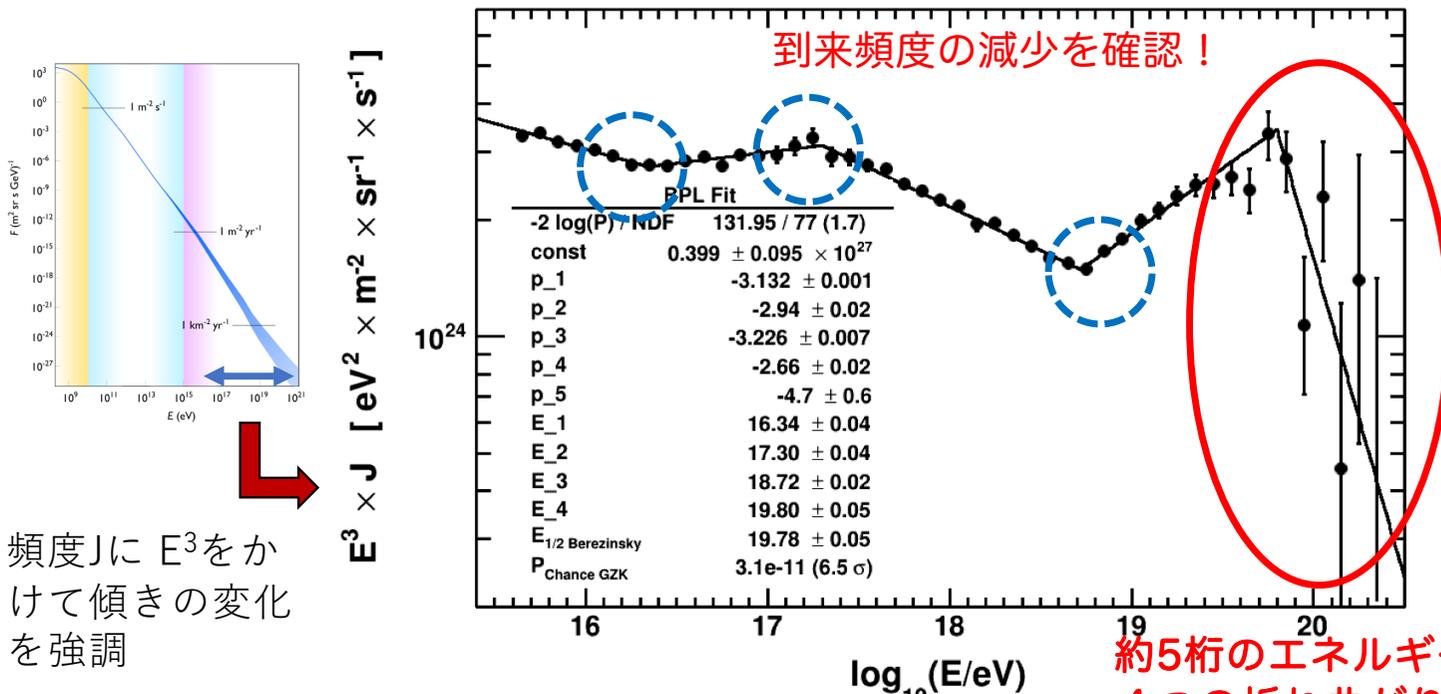


地表での
シャワーの断面



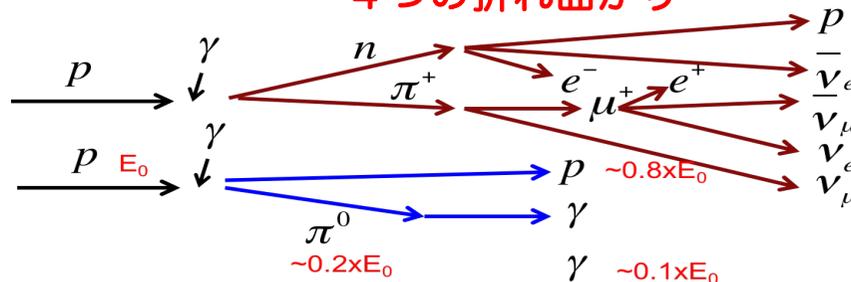
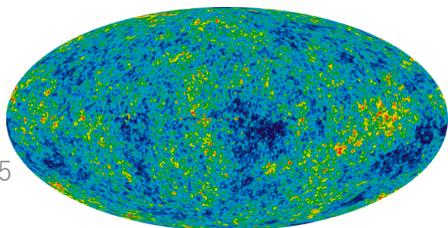
地表検出器による観測

TA実験の成果1:エネルギースペクトル



頻度Jに E^3 をかけて傾きの変化を強調

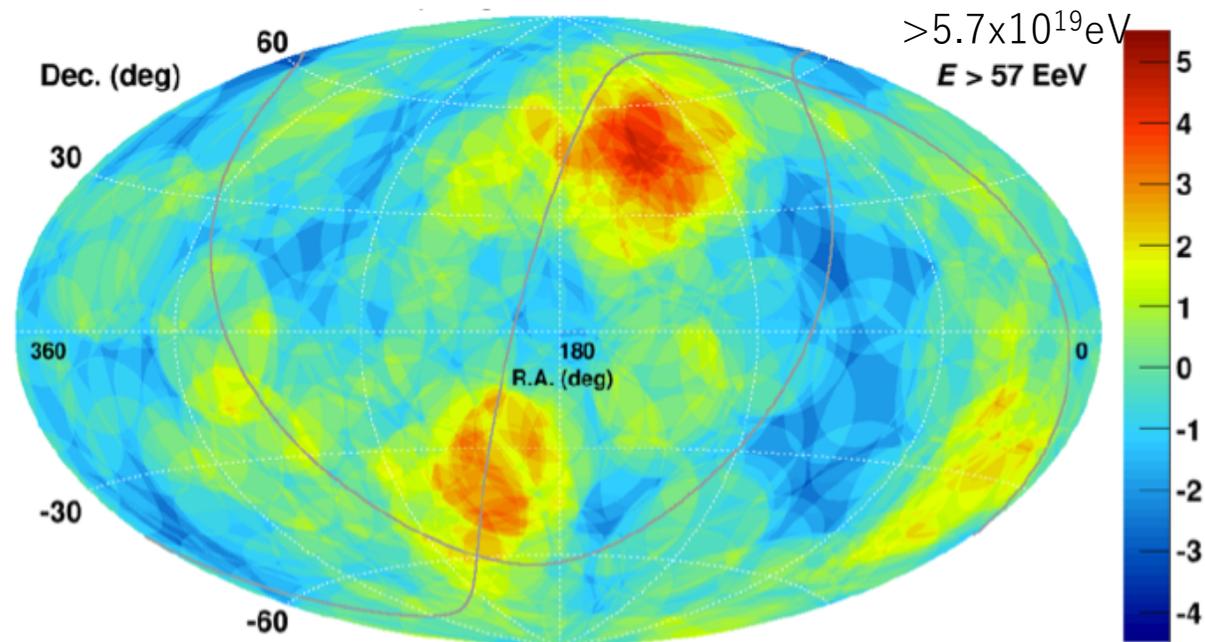
超高エネルギー宇宙線は宇宙背景放射と衝突してエネルギーを失う：**GZK機構**



折れ曲りの原因は？ 宇宙の限界？ GZK機構？

到来方向：Hotspot

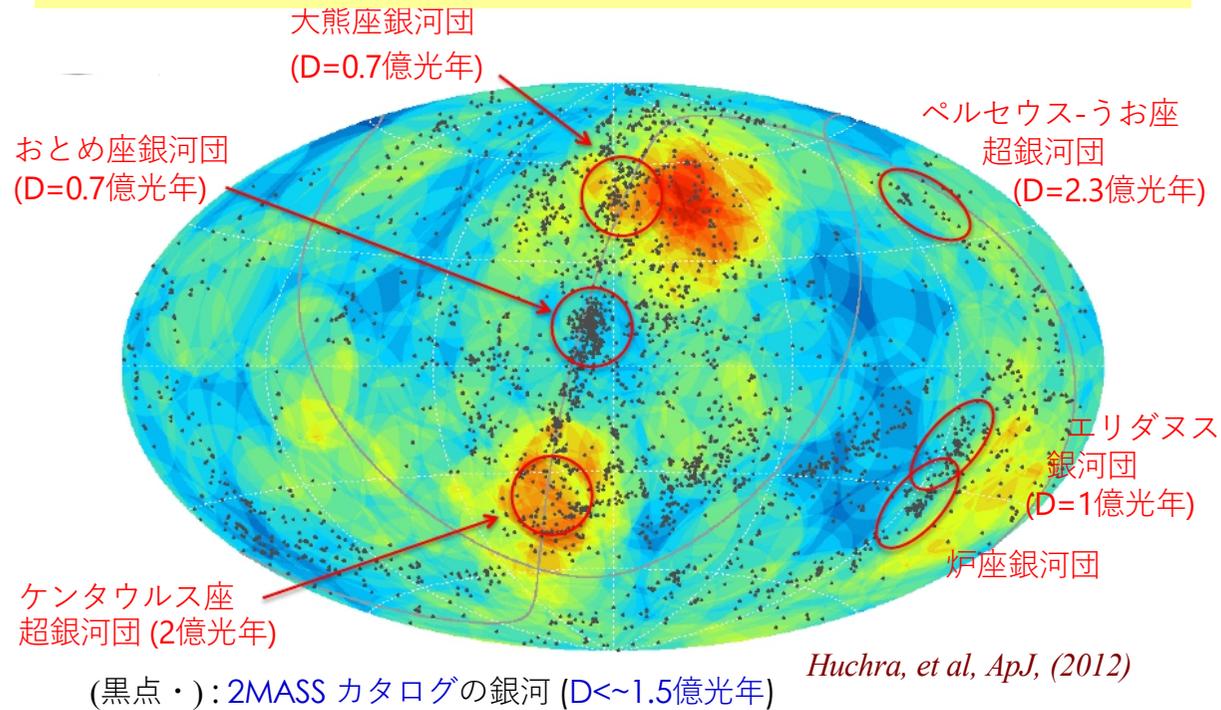
超高エネルギー宇宙線が多く来ている方向がある！（Hotspot）
ただし既知の銀河団から少しずれている
2014年7月に記者会見も行なった



Auger実験（南半球）の結果と合わせて表示

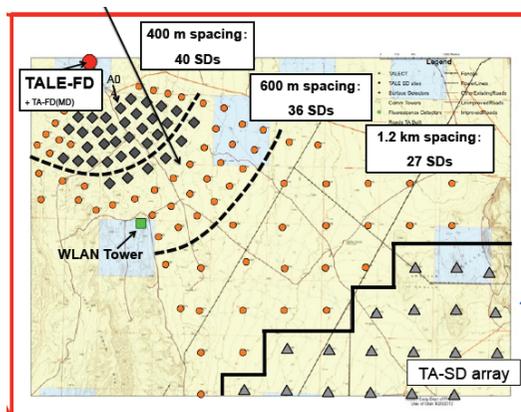
到来方向：Hotspot

TAとAugerの有意度マップと近傍の銀河（団）



近傍銀河との相関はある？ない？ => TA拡張計画進行中

TA 拡張計画 TAx4 TALE

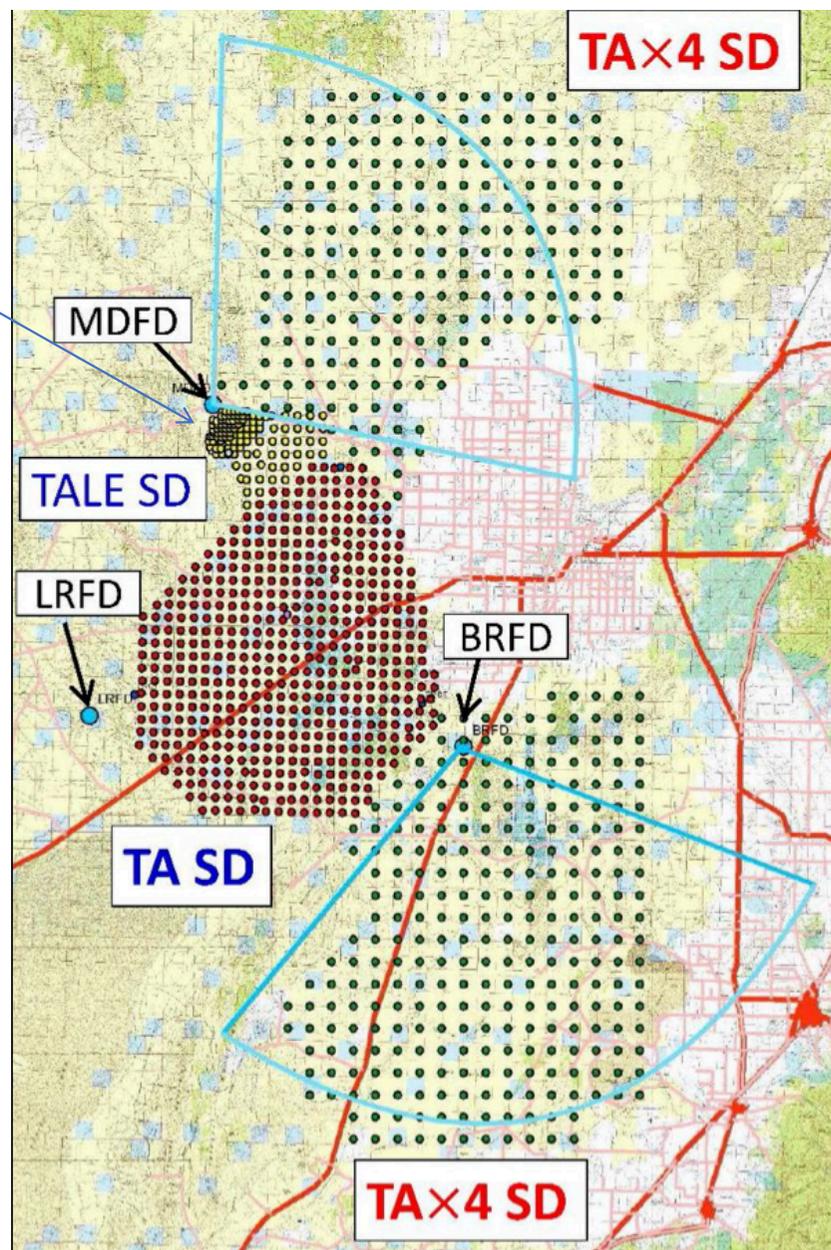


TAx4: 高エネルギー拡張計画

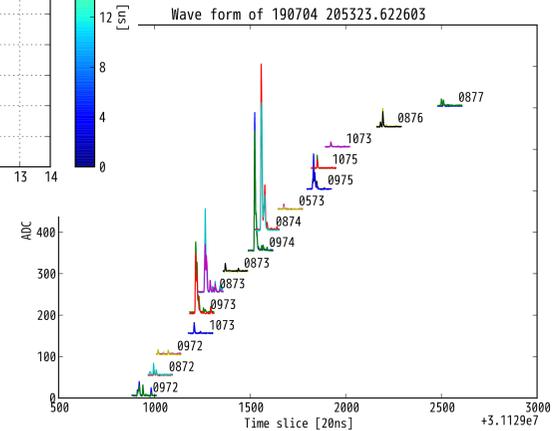
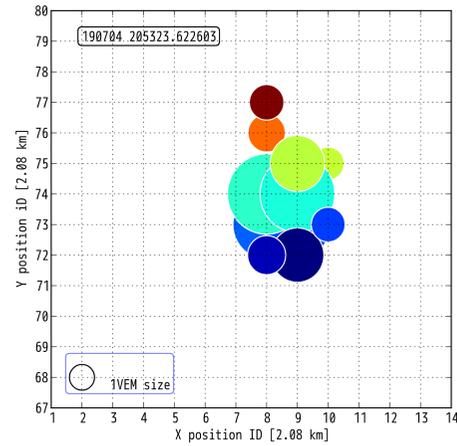
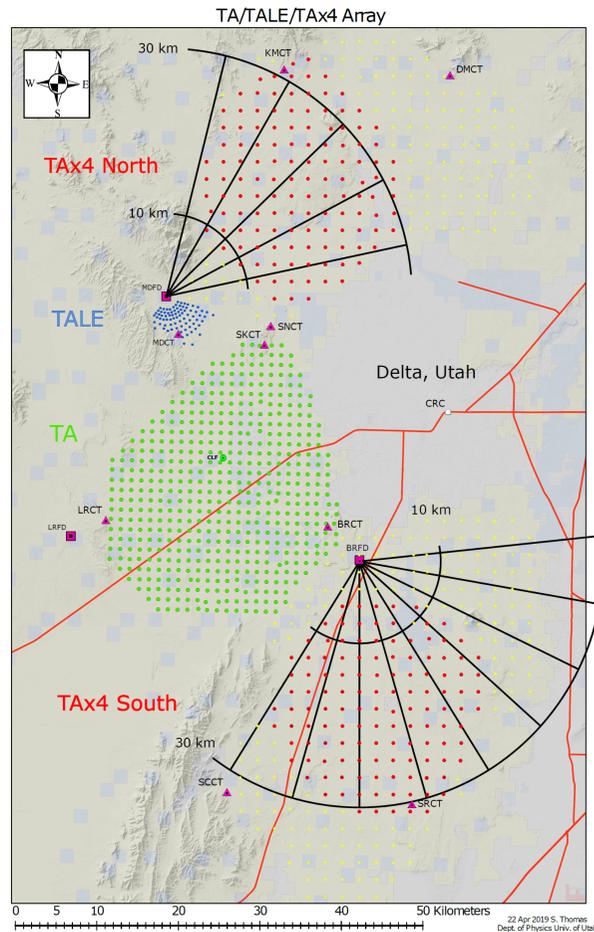
- 面積を広げる (今のTAの4倍)
- 2.08km 間隔の地表検出器
- 2019年3月に第一次拡張完了
- 追加2台の望遠鏡も米国担当で運転中

TALE: 低エネルギー拡張計画

- より密な地表検出器
- 400m間隔で40台
- 600m間隔で36台
- 設置完了。望遠鏡との同期観測準備中。
- 追加の望遠鏡はすでに稼働中



TAx4の現状



- 予定の半分の設置完了 (257 SDs)
- 安定したデータ収集継続
 - 宇宙線事象の蓄積
 - 解析進行中

現大学院生の研究テーマ

- TA SDとFDで同時観測された事象から高精度で一次粒子の原子核種組成を決定する研究 (D3) [高精度解析の導入]
- 銀河磁場による偏向を考慮して、宇宙線の到来方向分布と起源候補天体との相関を調べる研究 (D3) [より正確な現象の扱い]
- 実データをもとにTAx4実験の性能を明らかにし、MC計算と比較しながら最高性能を引き出す研究 (D1) => 最終的にTAx4の観測結果で博士論文作成 [新しい実験装置]
- TA実験観測装置に改良を加えて、性能の改善、原子核種組成決定能力を向上するためのシミュレーション研究 (M2) [将来の可能性]
- TA実験の過去の観測データから、ガンマ線・ニュートリノ・重力波等の突発現象との関連事象を探る研究 (M1) [未知の現象探索]

- 既存のデータを新しいアイデアで解析
- 新しい拡張実験データの解析
- 将来の実験の検討



自分の研究に加えて、観測・メンテ・共同作業随時



まとめ

- テレスコープアレイ実験は**宇宙最高エネルギー粒子**の起源を探索
- 北半球最大の実験で国際共同研究として世界をリード
- エネルギースペクトル、到来方向分布、粒子種弁別の解析を進めながら研究を推進
- 13年分の観測データと拡張実験の新しいデータを用いて研究を推進
- 宇宙線研では、教授1名、准教授1名、助教3名、博士課程学生3名、修士課程学生2名
- 国内、国外の共同研究者と協力
- 観測のこと、生活のこと等、詳しいことは16:30-のlabツアーでご質問ください

