

フレネルレンズ型大気蛍光 望遠鏡(CRAFFT)の開発

Cosmic Ray Air Fluorescence Fresnel-lens Telescope

CRAFFT



- | | |
|-----------|----------------------------|
| 信州大学 | : 中村雄也、富田孝幸、山本真周、岩倉広和、齊藤保典 |
| 大阪電気通信大学 | : 多米田裕一郎、貝野裕紀、小越友理菜 |
| 東京大学地震研究所 | : 池田大輔 |
| 神奈川大学 | : 山崎勝也 |

名前 中村雄也(なかむらゆうや)
所属 信州大学 工学部 4年
出身 広島県尾道市
趣味 スノボ/プラモ/同人誌 をかく



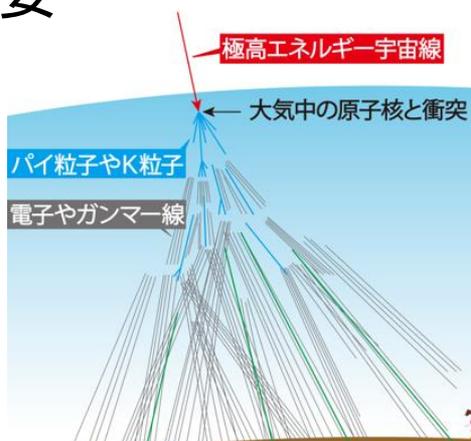
白馬のスキー場に出没したト●ロ ->

超高エネルギー宇宙線とは、
 10^{18} eV以上の高いエネルギーの
 宇宙線

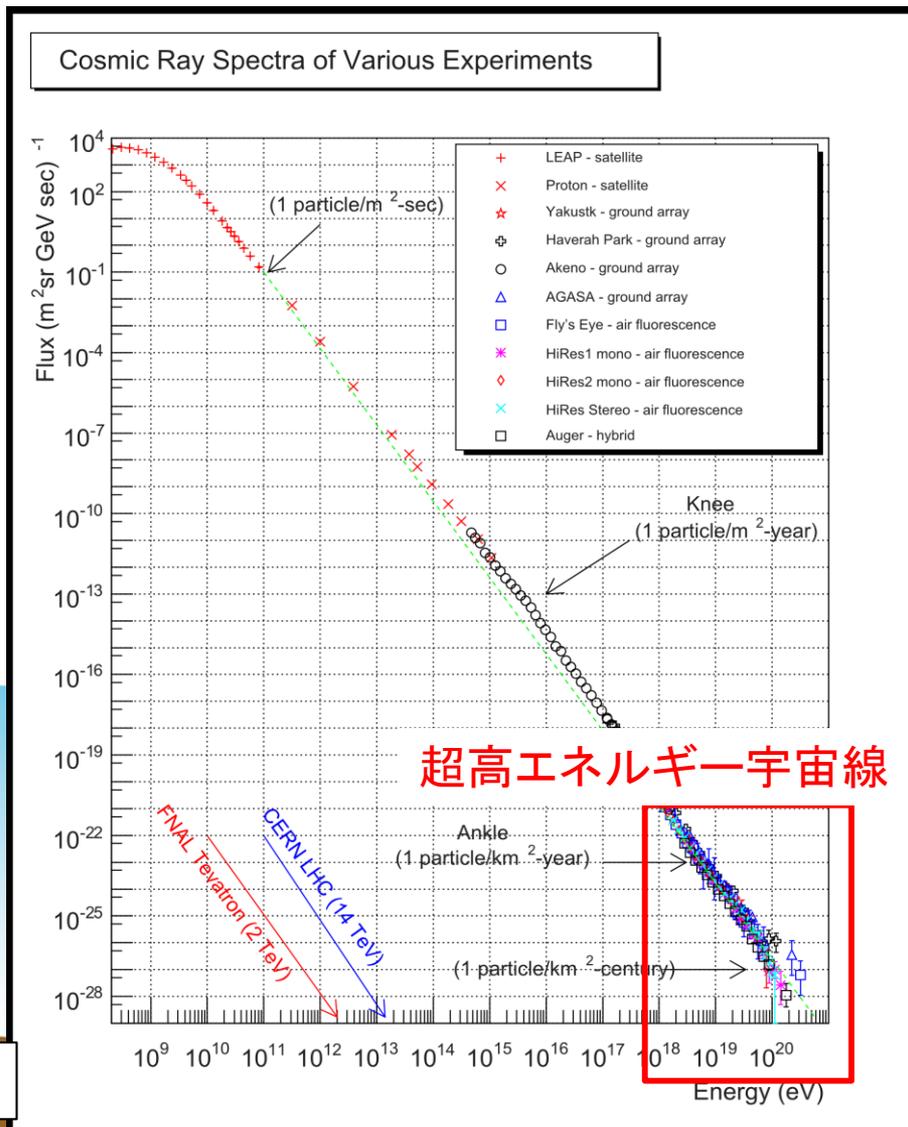
観測する目的: 起源の解明

起源の解明のために
 以下の3つが必要

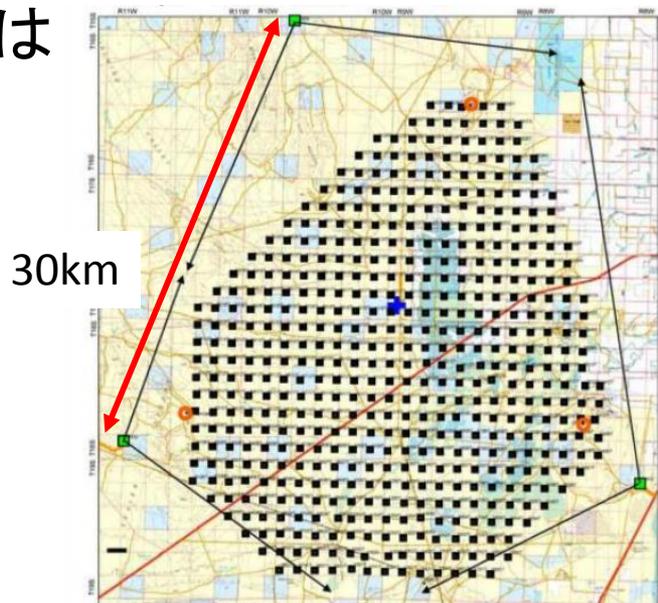
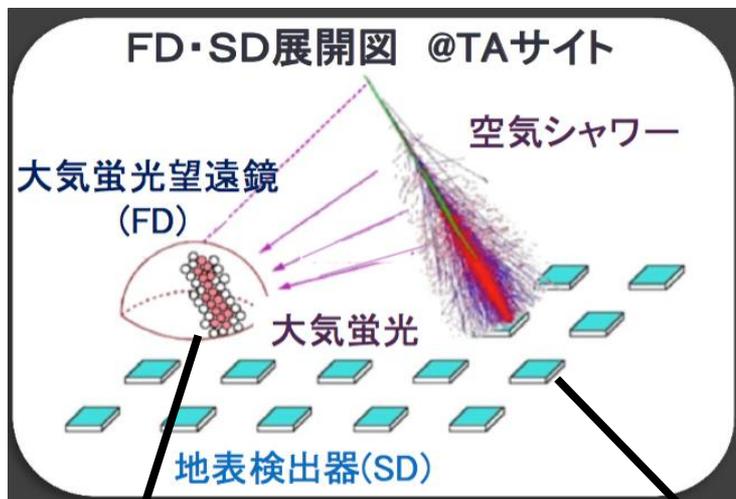
- ・エネルギー
- ・到来方向
- ・質量組成



空気シャワーの発達の様子



現行の超高エネルギー宇宙線観測では
2種類の検出器を用いて
ハイブリット観測が行われている



大気蛍光望遠鏡



地表検出器

決定精度	大気蛍光望遠鏡	地表検出器
エネルギー	○	○
到来方向	○	○
質量組成	○	△
建設コスト	2000万円	150万円
稼働率	~10%	~100%

次世代の宇宙線検出器に求められるのは以下の2つ

1. 観測統計量を増やすために観測領域を拡大
 - 検出器のコストを低下
2. 空気シャワーの縦方向発達を観測して質量組成を決定する
 - 大気蛍光望遠鏡を用いた空気シャワー観測

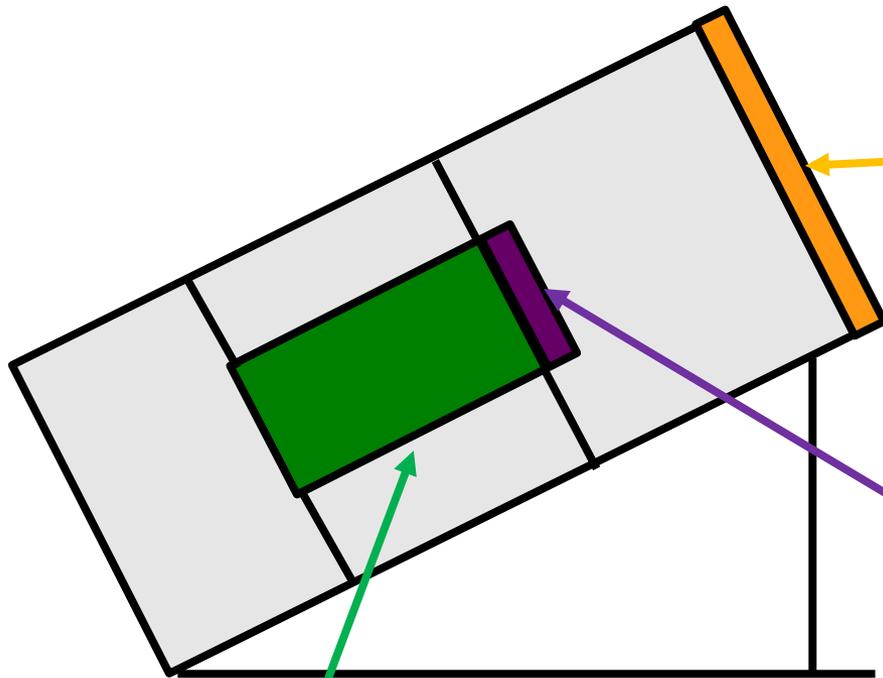
⇒ **低コストの大気蛍光望遠鏡**

Cosmic Ray Air Fluorescence Fresnel-lens Telescope

= CRAFFT

次世代の超高エネルギー宇宙線観測に向けた大気蛍光望遠鏡

SHINSHU UNIVERSITY CRAFFT望遠鏡の構成



フレネルレンズ



紫外光透過フィルタ



アルミフレーム



光電子増倍管

高圧電源
電圧アンプ
ローパスフィルタ
FADCボード

1台約100万円

全作業期間: 2017年9月16日 ~ 11月30日

(望遠鏡製作: 2日 / 台, 設置: 1日 / 台)

宇宙線観測: 2017年11月9日 ~ 11月23日

場所: TA実験サイト

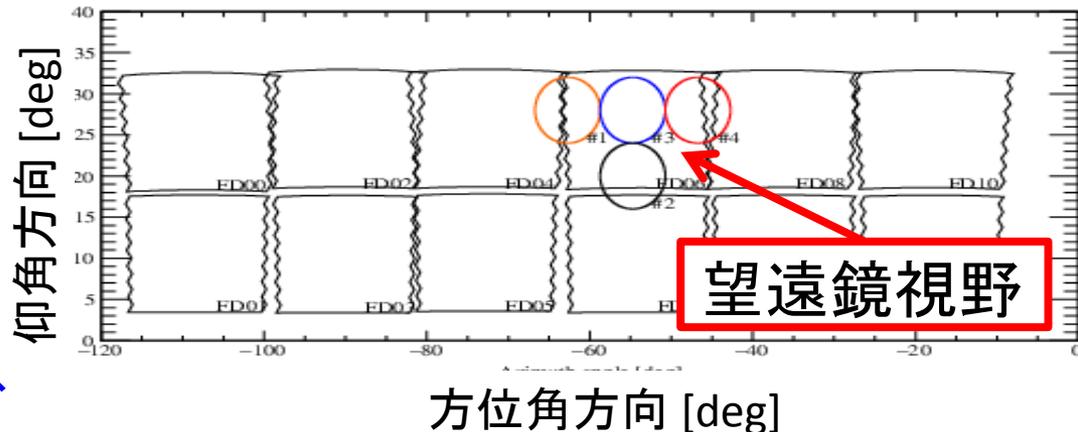


観測方法

- 4台のCRAFFT望遠鏡を設置
- 建屋無しで屋外に放置
- TA実験望遠鏡からの外部トリガーにより信号記録



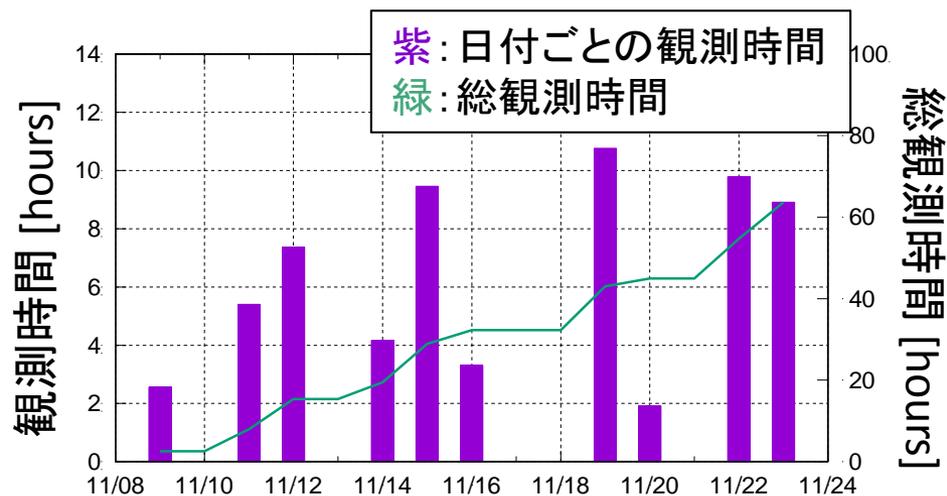
ケーブル(Power, Network, Trigger)



観測時間: 63.5時間 (10日間)

観測データ: 556255個
(TAFD全視野分のトリガー、ノイズを含む)

空気シャワーを10事象観測した



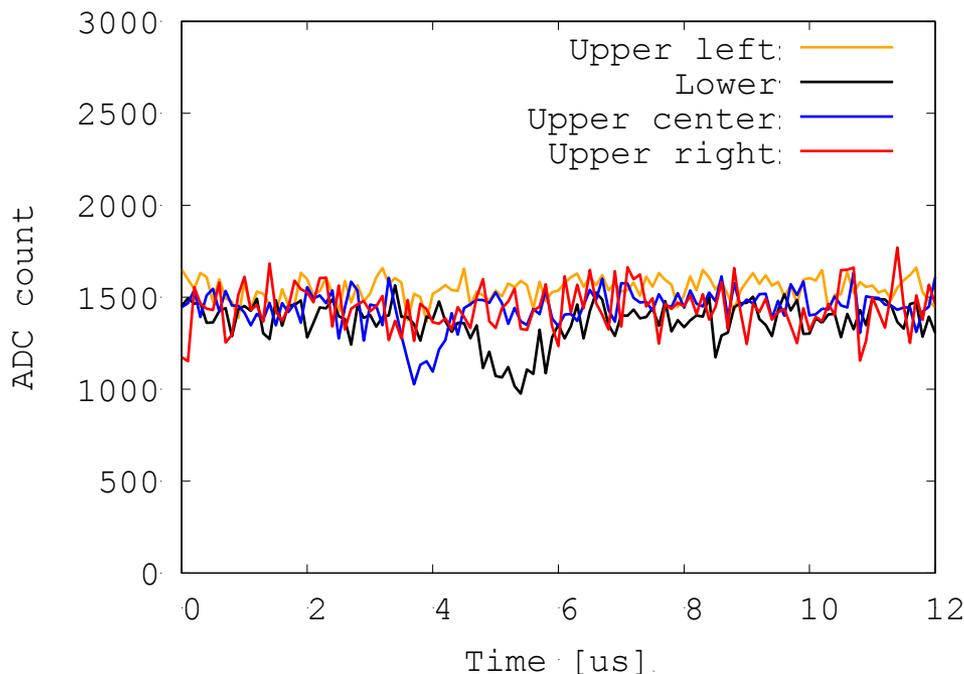
観測時間の変遷 (Variation of observation time)

- 2017-11-11 06:53:31

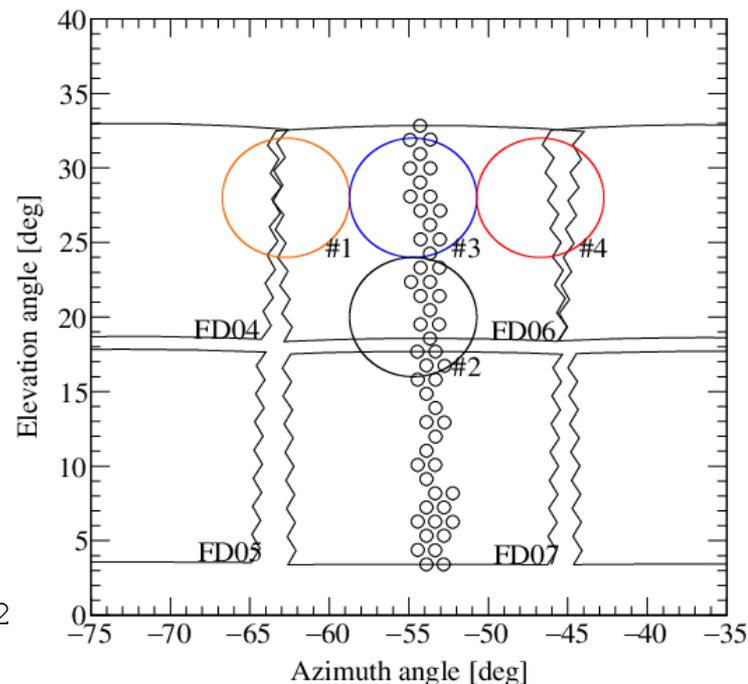
TAFD単眼解析

エネルギー : $10^{17.7}$ eV,

距離 : 3.6 km



CRAFT望遠鏡による観測波形



TA実験大気蛍光望遠鏡による観測信号

空気シャワーの観測に成功した

フレネルレンズ望遠鏡にて空気シャワーの観測に成功



観測領域の大規模化へ向けての『開発・最適化』

1. 空気シャワー解析能の評価

- 検出器シミュレーションによる性能評価
- 観測シミュレーション

2. 低コスト化(建設単価・運用費)

- 完全自動運用 (運用費)
- 望遠鏡あたりの観測領域の拡大 (建設単価)

3. 耐久性能の評価 * 保護用の建屋を使用しない。

- 紫外線
- 熱
- 砂塵

フレネルレンズ望遠鏡にて空気シャワーの観測に成功



観測領域の大規模化へ向けての『開発・最適化』

1. 空気シャワー解析能の評価

検出器シミュレーションによる性能評価

観測シミュレーション

2. 低コスト化(建設単価・運用費)

完全自動運用 (運用費)

望遠鏡あたりの観測領域の拡大 (建設単価)

3. 耐久性能の評価 * 保護用の建屋を使用しない。

紫外線

熱

砂塵

望遠鏡の最適化には以下の項目が必要になる

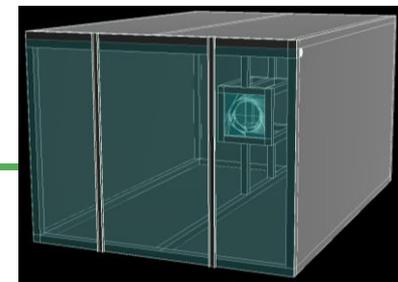
空気シャワー解析能に関する最適化

検出器シミュレーションを用いて望遠鏡を評価し、
観測シミュレーションによって解析能に関して最適化

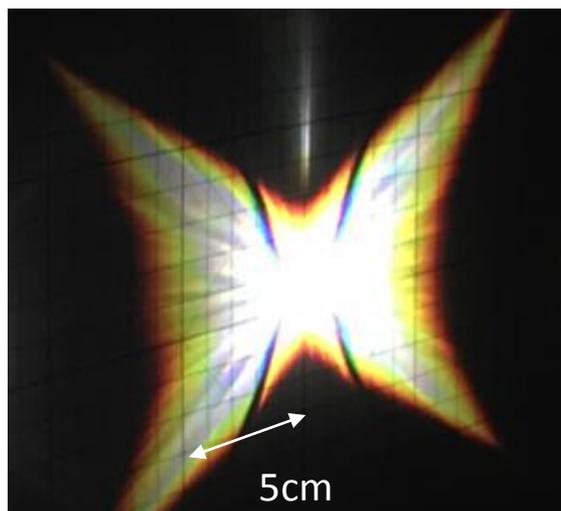
望遠鏡当たりの観測領域の拡大

望遠鏡の光学系を理解しシミュレーションと比較することで
観測領域を最適化

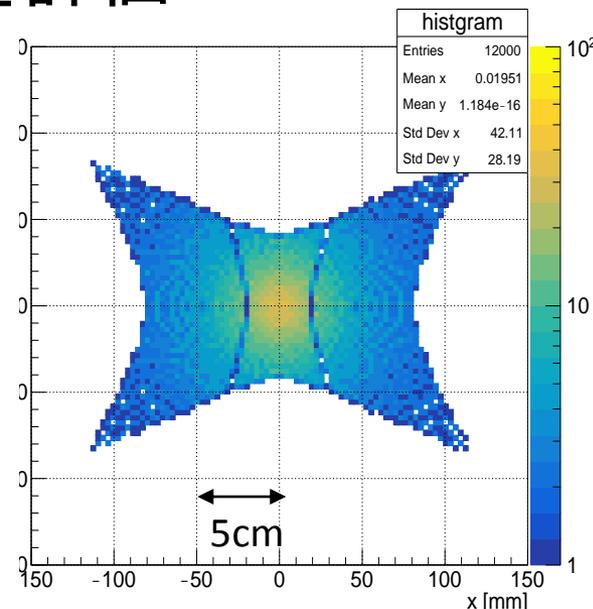
⇒ 両方に必要なレイトレースシミュレーションを作成



レイトレースシミュレーション(ROBAST⁽¹⁾) を用いて望遠鏡の集光を評価



実際のフレネルレンズ
による白色光の集光



シミュレーション結果(650nm)

⇒実際の集光の様子をシミュレーションが再現している
このシミュレーターで望遠鏡光学系を設計できる

1) A. Okumura, K. Noda, C. Rulten (2016) "ROBAST: Development of a ROOT-Based Ray-Tracing Library for Cosmic-Ray Telescopes and its Applications in the Cherenkov Telescope Array" *Astroparticle Physics* 76 38–47 arXiv:1512.04369

フレネルレンズ望遠鏡にて空気シャワーの観測に成功



観測領域の大規模化へ向けての『開発・最適化』

1. 空気シャワー解析能の評価

- 検出器シミュレーションによる性能評価
- 観測シミュレーション

2. 低コスト化(建設単価・運用費)

- 完全自動運用 (運用費)
- 望遠鏡あたりの観測領域の拡大 (建設単価)

3. 耐久性能の評価 * 保護用の建屋を使用しない。

- 紫外線
- 熱
- 砂塵

完全自動運用には以下のシステムが必要

電力自給システム

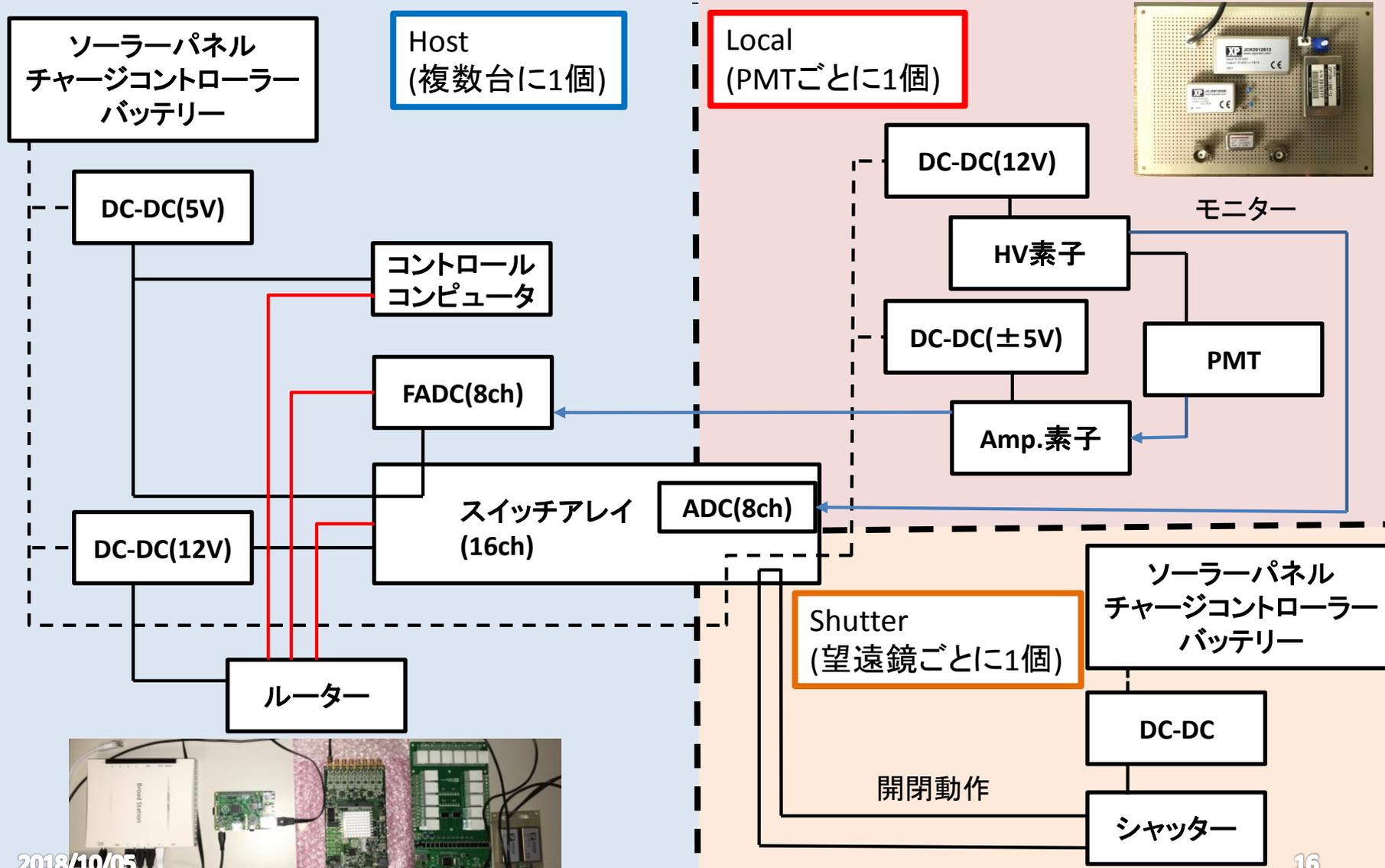
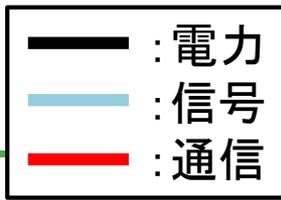
太陽光発電で必要な電力を供給する

自動観測システム

エレクトロニクス,望遠鏡保護システムを自動制御する

望遠鏡保護システム

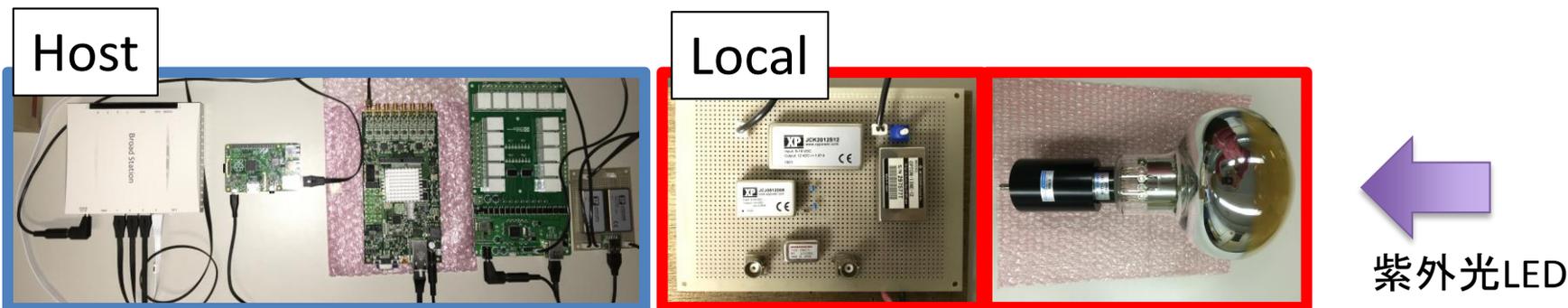
日中の太陽光から望遠鏡を保護する



モニター

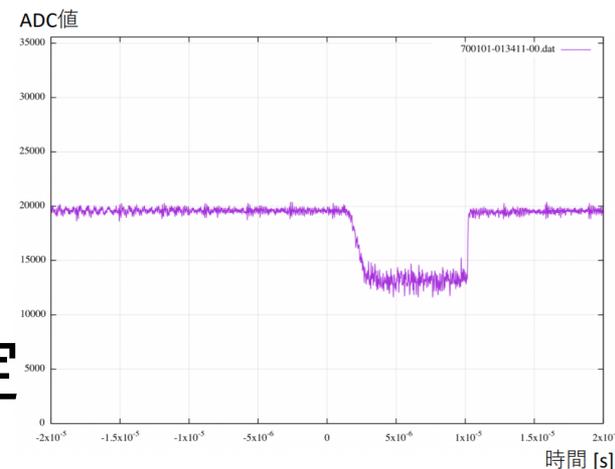


電力自給・自動観測システムについて以下の構成で5分ごとに起動・停止をスケジュールして試験を行った
(実際は月のない夜間をスケジュール)



- ・事前にスケジュールした時間通りにエレクトロニクスを制御できた
- ・紫外光LEDを記録できた

今後TA実験サイトにて試験を行う予定

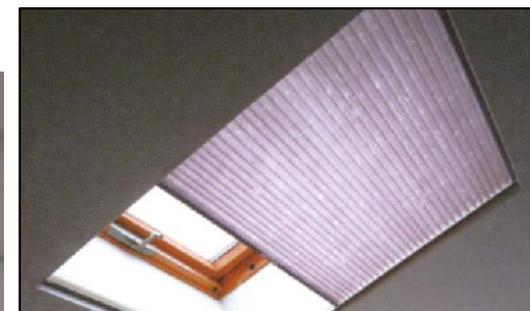
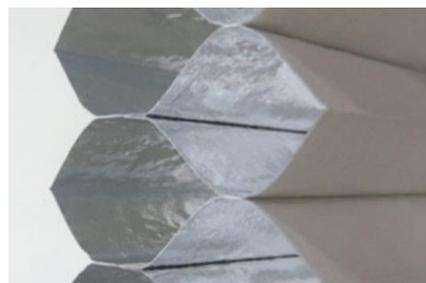




フレネルレンズによる太陽光の集光を防ぐシステムが必要

⇒ 望遠鏡保護用シャッターを検討中

- レンズ前面に金属製シャッターを設置
 - 太陽光・砂塵からフレネルレンズを保護できる
- レンズ背面にハニカムサーモスクリーンを設置
 - 遮光性・断熱性が高い
 - 布製で軽い

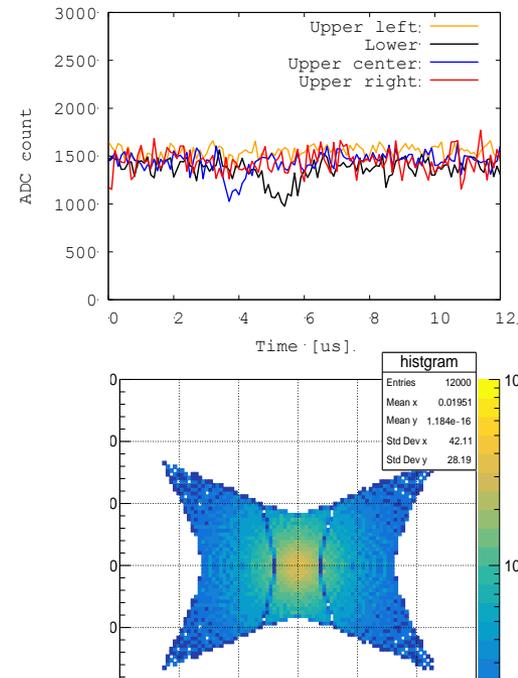


ハニカムサーモ・スクリーン

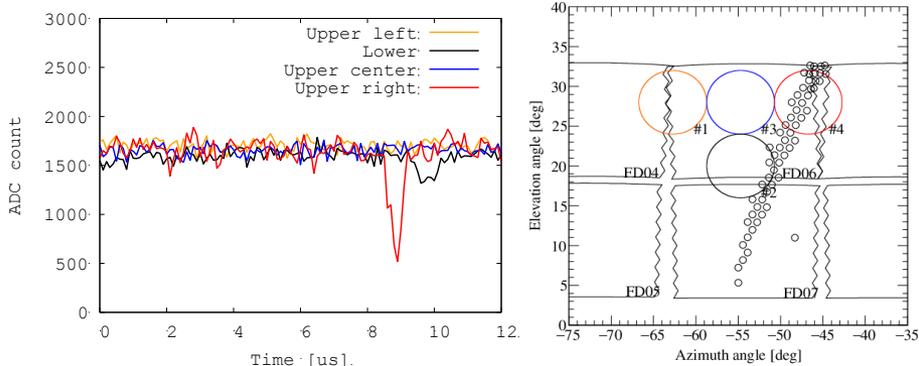
- 次世代の超高エネルギー宇宙線観測に向けて低コストな大気蛍光望遠鏡 CRAFFTを開発している
- 100万円程度のコストの望遠鏡で宇宙線を観測できることを確認した
- 望遠鏡の最適化に向けて検出器シミュレーションを作成している
- 大規模な観測領域の実現のために完全自動運用システムを開発している

今後の予定

- 完全自動運用システムの動作を確認するためTA実験サイトで観測試験を行う

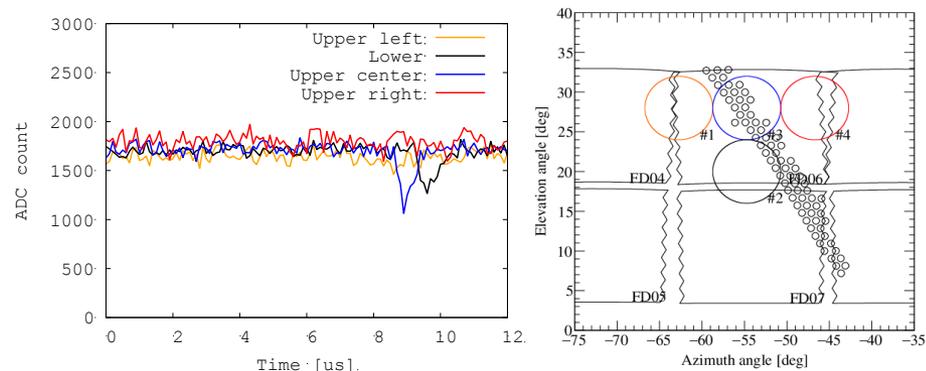


2017-11-15 05:47:08



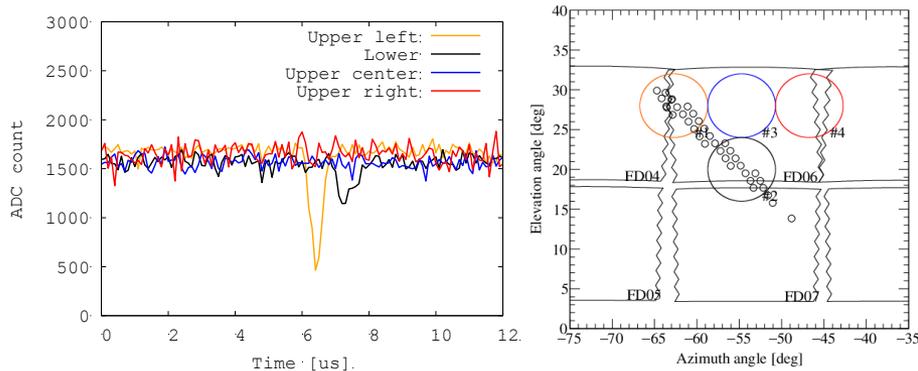
エネルギー : $10^{17.85}$ eV, 距離 : 3.92 km

2017-11-19 03:33:46



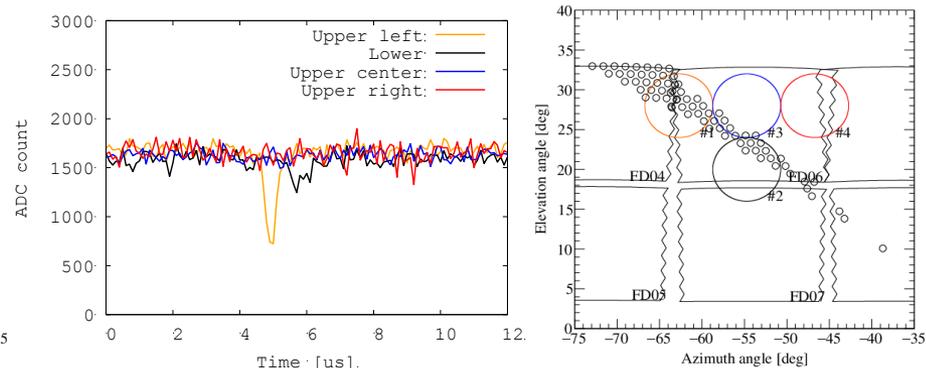
エネルギー : $10^{17.96}$ eV, 距離 : 2.25 km

2017-11-15 06:16:57



エネルギー : $10^{17.97}$ eV, 距離 : 3.52 km

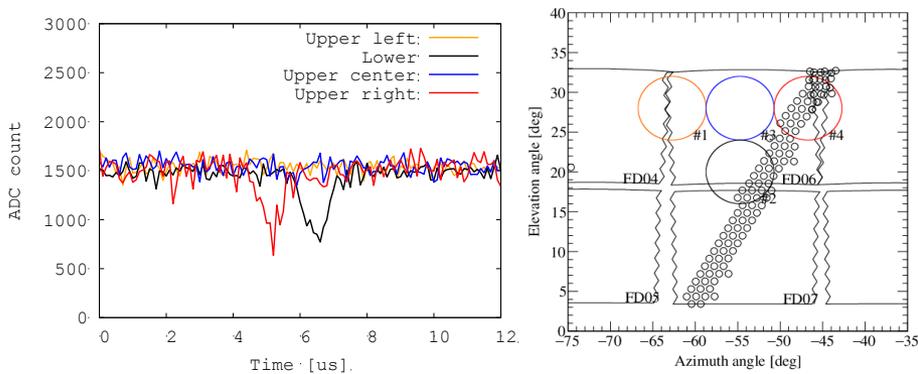
2017-11-23 09:31:19



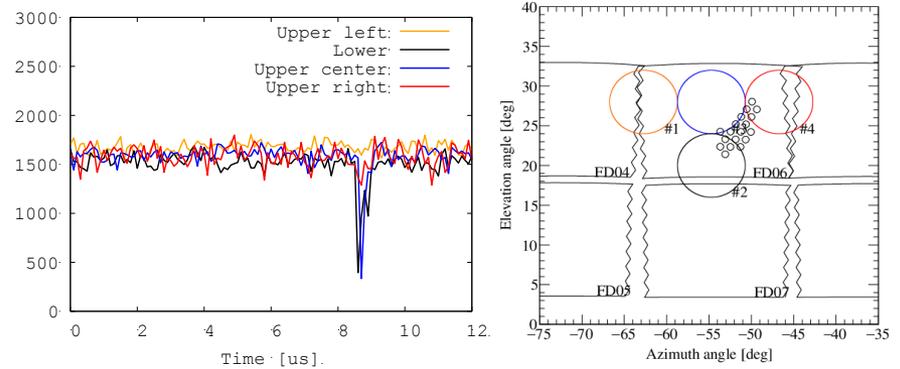
エネルギー : $10^{17.89}$ eV, 距離 : 2.39 km

SHINSHU UNIVERSITY 観測した空気シャワー信号例(3)

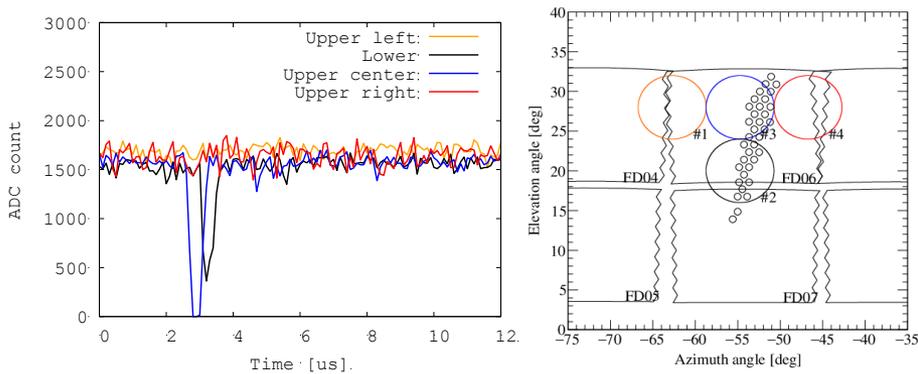
2017-11-11 05:59:54



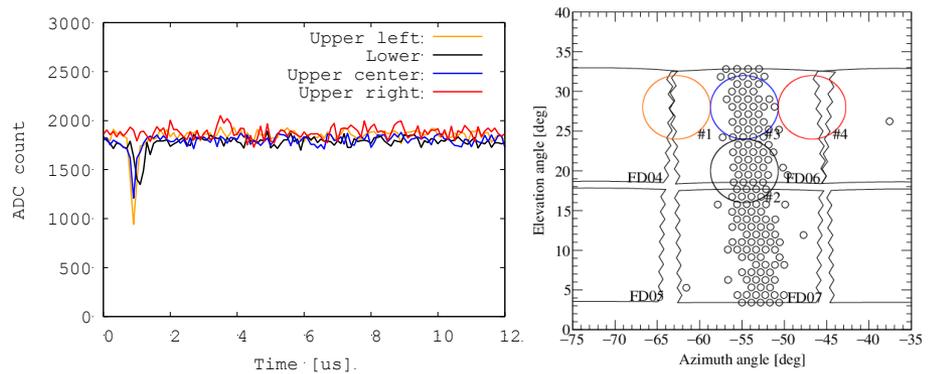
2017-11-15 07:24:00



2017-11-15 06:16:09



2017-11-20 06:36:05



1台あたりのコスト

- フレーム・レンズ・外装 22万円
- Solar Panel・Charge Controller・Battery (エレキ) 13万円 / 4台
- Solar Panel・Charge Controller・Battery (shutter) 13万円
- ハニカムサーモ 32万円
- PMT・UVフィルタ 27万円
- エレキ(HOST) 30万円 / 4台
ラズパイ・CosmoZ・Switch Array・
Router・Hub・DC-DC × 2
- エレキ(LOCAL) 6万円
HV・Amp・DC-DC × 2

Total

108万円 / 1台

- 物理背景 超高エネルギー宇宙線
- 従来の望遠鏡FD SD
- これからどうするのか(将来性)
- CRAFFT望遠鏡のコンセプト
- - 観測できた(構造が簡単) 安価
- - 完全自動運用(運用費が) 安価
- 検出器シミュレーション 最適化
- まとめ
- ToDo
-

CRAFFTで宇宙線を観測できることが示された



観測領域の拡大に向けての開発と最適化

○検出器シミュレーション

2. 低コスト化

○完全自動運用

○望遠鏡当たりの観測領域の拡大

3. 耐久性能の評価

○紫外線

○熱

○砂塵

観測領域の拡大に向けての開発と最適化

1. 空気シャワー解析能の評価

○検出器シミュレーション

2. 低コスト化

○完全自動運用

○望遠鏡当たりの観測領域の拡大

3. 耐久性能の評価

○紫外線

○熱

○砂塵

⇒両方に必要なレイトレースシミュレーション

- 期間 : 2018年10月
~ 11月

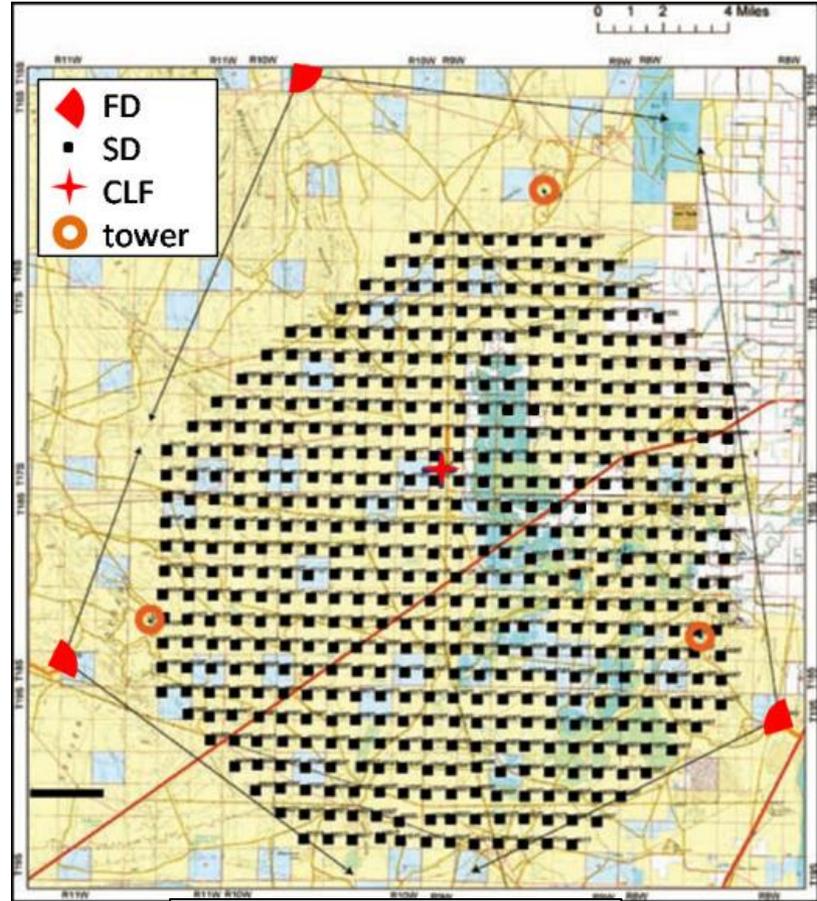
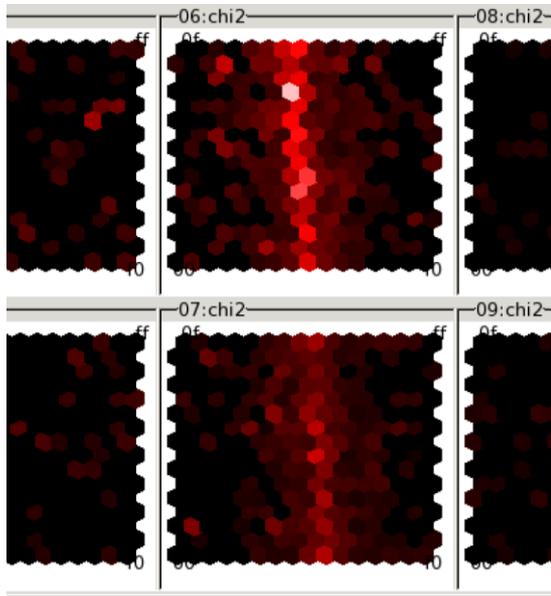
- 場所 : TA実験サイト

・試験内容

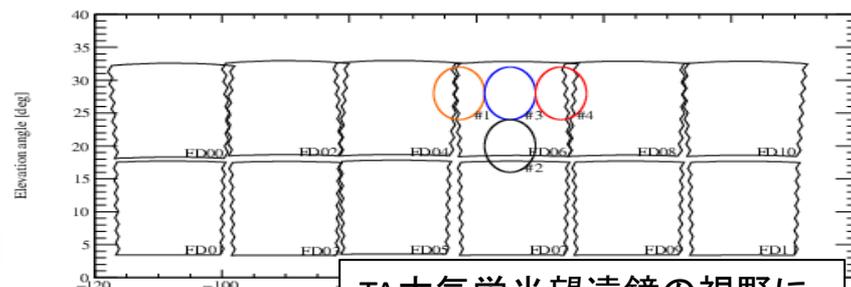
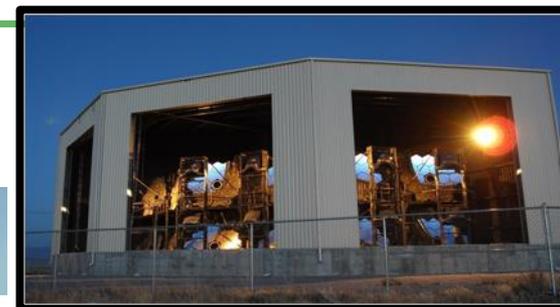
- ・望遠鏡保護装置以外を全自動で稼働
- ・TA実験望遠鏡に同期して宇宙線を観測

- 観測方法





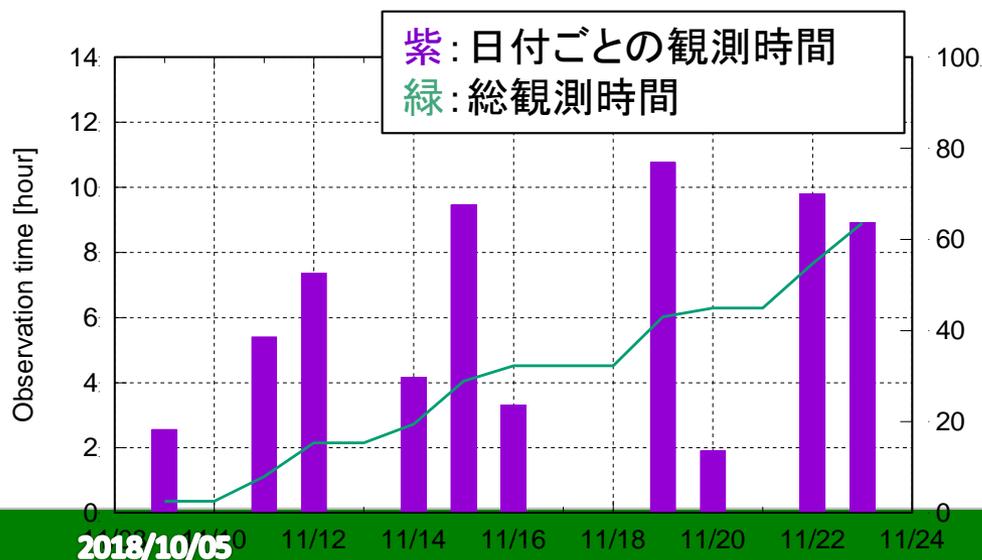
TA実験サイトの様子



CRAFFT

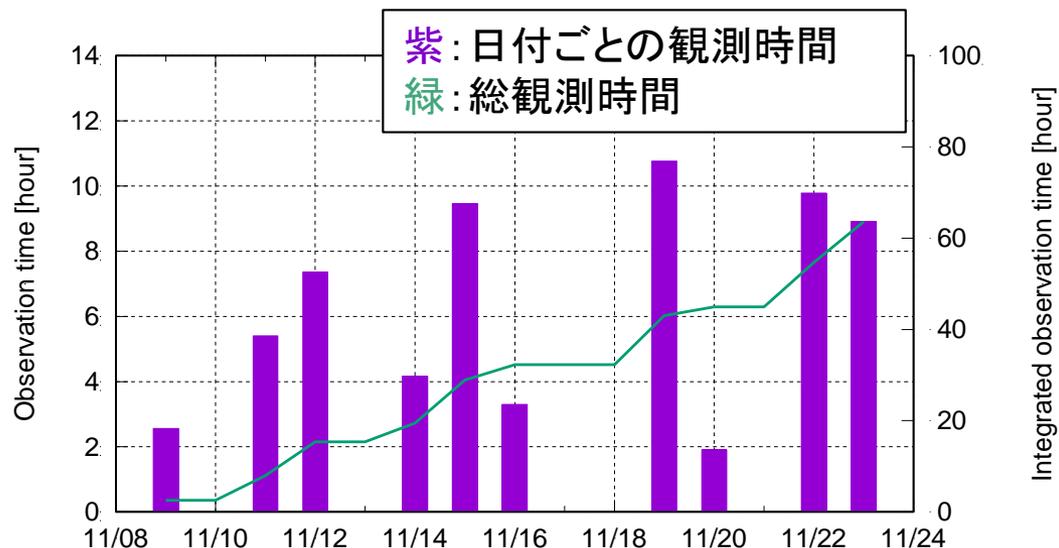
TA大気蛍光望遠鏡

TA大気蛍光望遠鏡の視野に対するCRAFFTの観測視野



Integrated observation time [hour]

観測時間: 63.5時間(10日間)
 期待事象数: ~8事象(10^{17} eV以上)
 観測データ: 556255個
 (FD全視野分のトリガー, ノイズ含む)

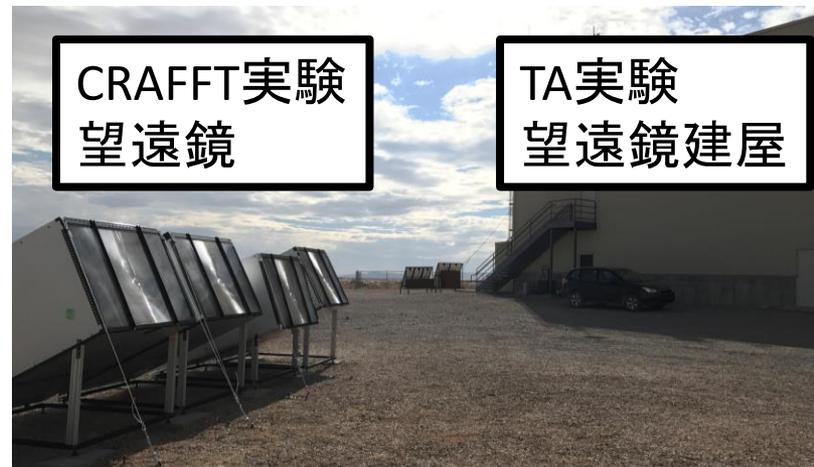


観測時間: 63.5時間(10日間)
 期待事象数: ~8事象(10^{17} eV以上)
 観測データ: 556255個
 (FD全視野分のトリガー, ノイズ含む)

⇒ 全体で10事象観測できた

日時: 2018年10月 - 11月

場所: TA実験サイト



CRAFTT実験
望遠鏡

TA実験
望遠鏡建屋

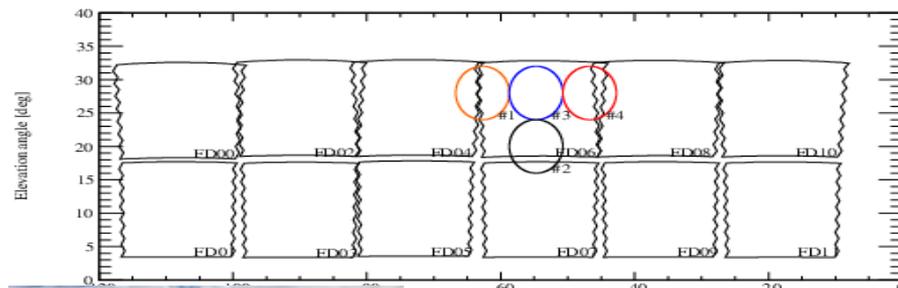
試験内容

- 昨年度建設した4台のCRAFTT実験望遠鏡に電力自給・自動観測システムを導入
- 望遠鏡保護装置以外は全自動で、TA実験望遠鏡に同期して宇宙線を観測

- 期間 : 2017年11月9日 ~ 11月
- 場所 : TA実験サイト
- 観測方法
 - 4台のCRAFFT望遠鏡を設置
 - 建屋は設置せず日中も屋外に放置
 - TA実験の望遠鏡から外部トリガーにより信号記録



- 観測時間: 63.5時間(10日間)
- 期待事象数: ~8事象 (10^{17} eV以上)
- 観測データ: 556255個
- (FD全視野分のトリガー, ノイ



TA大気蛍光望遠鏡の視野に対するCRAFFTの観測視野

全作業期間: 2017年9月16日 ~ 11月30日

(望遠鏡製作: 2日 / 台, 設置: 1日 / 台)

宇宙線観測: 2017年11月9日 ~ 11月23日

場所: TA実験サイト



観測方法

- 4台のCRAFFT望遠鏡を設置
- 建屋無しで屋外に放置
- TA実験望遠鏡からの外部トリガーにより信号記録

観測期間：2018年10月 ~ 11月

場所：TA実験サイト

観測方法

- 昨年度建設した4台のCRAFFT実験望遠鏡に電力自給・自動観測システムを導入
- 望遠鏡保護装置以外は全自動で、TA実験望遠鏡に同期して宇宙線を観測



- 期間 : 2018年10月 ~ 11月
- 場所 : TA実験サイト
- 試験内容

