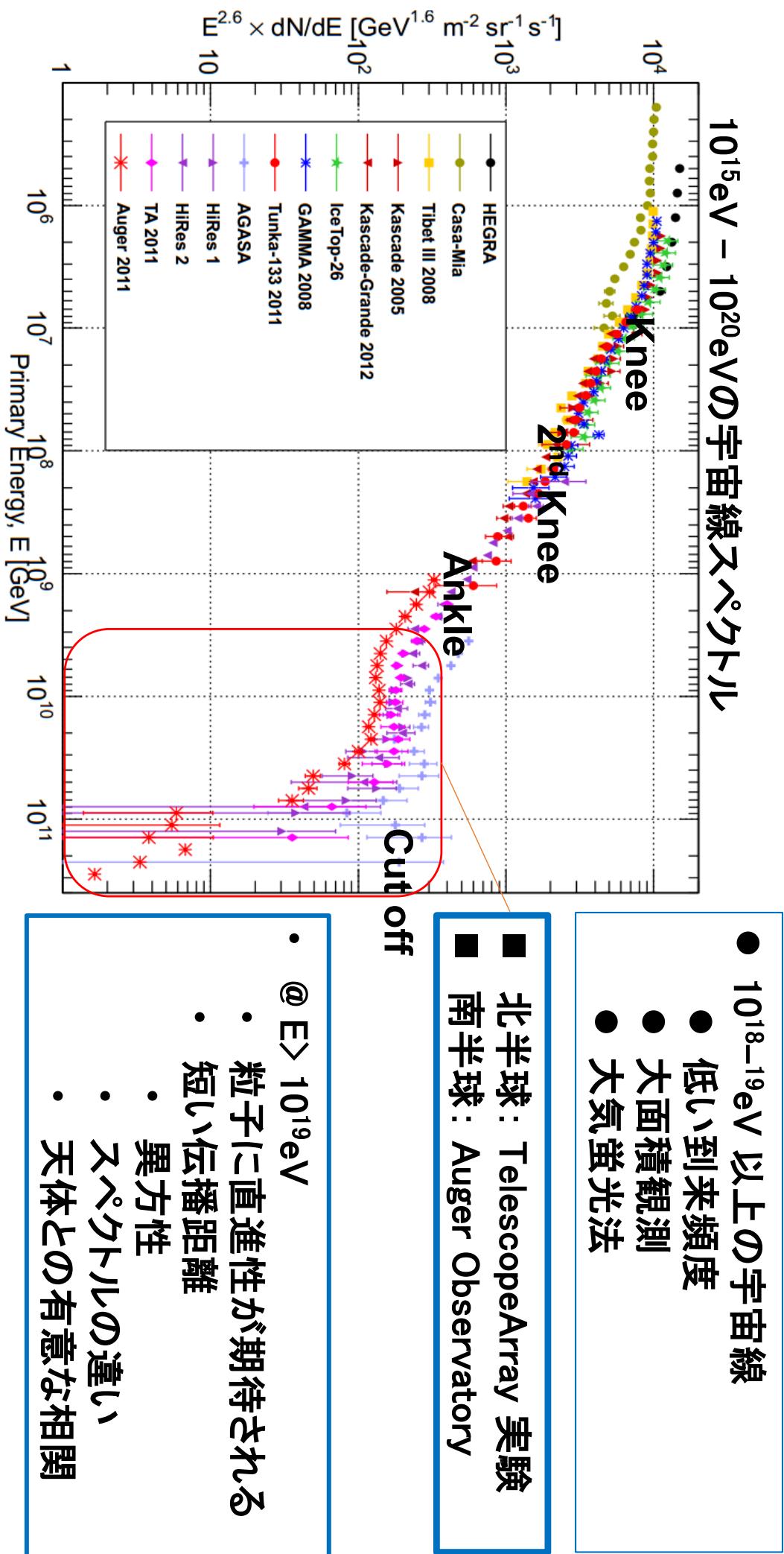


宇宙線望遠鏡による極高エネルギー 宇宙線の研究

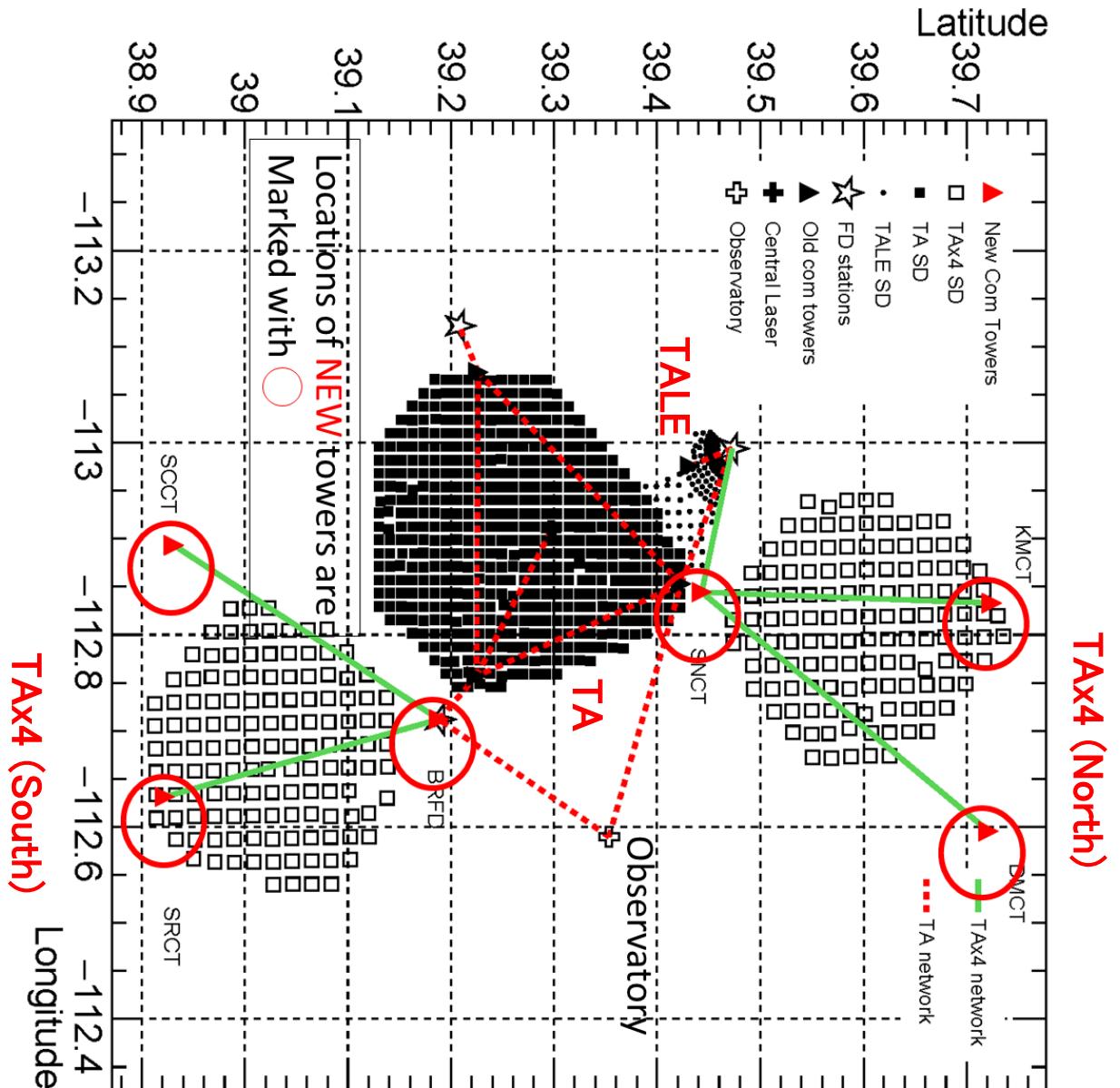
2019年度 宇宙線研究所 共同利用研究成果発表会
東京大学 宇宙線研究所
野中 敏幸

極高エネルギー宇宙線観測



到來頻度が非常に小さいため、大面積での観測が必要

現在のTA-TALE-TAX4実験観測サイン



地理緯度 経度 N39° W112°
米国ユタ州 Delta市 標高1450m
大気螢光望遠鏡施設(FD) x3 箇所
稼働中 地表検出器 合計 840基

南北 100 km x 東西 60km

- TA 実験
 - $10^{18} eV \sim 10^{20} eV$
- TALE実験
 - $10^{16} eV \sim 10^{18.5} eV$
- TAX4実験
 - $10^{19.7} eV \sim 10^{20} eV$



2019年度 TA実験関連 課題一覧

課題番号	代表者	課題名	配分額
C02	野中	TA実験サイトでの超高エネルギー宇宙線観測のための新型検出器の開発	300,000
E13	佐川	宇宙線望遠鏡による極高エネルギー宇宙線の研究	900,000
E14	藤井	TA実験サイトでの新型大気蛍光望遠鏡による極高エネルギー宇宙線観測	250,000
E15	木戸	TA×4実験地表検出器の安定稼働のための研究開発	350,000
E16	荻尾	TALEハイブリッド実験による10の17乗領域宇宙線研の研究	400,000
E17	有働	TA実験サイトにおける大気透明度測定法の研究・開発	330,000
E18	多米田	次世代の超高エネルギー宇宙線観測のためのフレネルレンズ型大気蛍光 望遠鏡の開発研究	500,000
E19	奥田	TA地表粒子検出器による雷と関連する特異事象観測	550,000
E20	富田	ドローンに搭載された標準光源による大気蛍光望遠鏡の光学系の較正	250,000
E21	富田	新型大気蛍光望遠鏡における検出器保護システムの開発	250,000
E22	山崎	大気蛍光望遠鏡の自動観測を目指した夜間雲量測定用CCDカメラの開発 と解析	350,000
E40	竹田	TA-FD観測の完全遠隔制御にかかる観測サイトでの環境整備	320,000
			4,750,000

今年度はこれらの研究をすることことができました。
採択ありがとうございます。

Telescope Array Collaboration

T. Abu-Zayyad¹, R. Aida², M. Allen¹, T. Arai⁴, R. Azuma³, E. Barcikowski¹, J.W. Belz¹, T. Benno⁴, D.R. Bergman⁵, S.A. Blake¹, O. Brusova¹, R. Cady¹, B.G. Cheon⁶, J. Chiba⁷, M. Chikawa⁴, E.J. Cho⁸, W.R. Cho⁸, F. Cohen⁹, K. Doura⁴, C. Ebeling¹, H. Fujii¹⁰, T. Fujii¹¹, T. Fukuda³, M. Fukushima⁹^{□22}, D. Gorbunov¹², W. Hanlon¹, K. Hayashi³, Y. Hayashi¹¹, N. Hayashida⁹, K. Hibino¹³, K. Hiyama⁹, K. Honda², G. Hughes⁵, T. Iguchi³, D. Ikeda⁹, K. Ikuta², S.J.J. Innemee⁵, N. Inoue¹⁴, T. Ishii², R. Ishimori³, D. Ivanov⁵, S. Iwamoto², C.C.H. Jui¹, K. Kadota¹⁵, F. Kakimoto³, O. Kalashov¹², T. Kanbe², H. Kang¹⁶, K. Kasahara¹⁷, H. Kawai¹⁸, S. Kawakami¹¹, S. Kawana¹⁴, E. Kido⁹, B.G. Kim¹⁹, H.B. Kim⁶, J.H. Kim⁶, J.H. Kim²⁰, A. Kitsugi⁹, K. Kobayashi⁷, H. Koers²¹, Y. Kondo⁹, V. Kuzmin¹², Y.J. Kwon⁸, J.H. Lim¹⁶, S.I. Lim¹⁹, S. Machida³, K. Martens²², J. Martineau¹, T. Matsuda¹⁰, T. Matsuyama¹¹, J.N. Matthews¹, M. Minamino¹¹, K. Miyata⁷, H. Miyauchi¹¹, Y. Murano³, T. Nakamura²³, S.W. Nam¹⁹, T. Nonaka⁹, S. Ogio¹¹, M. Ohnishi⁹, H. Ohoka⁹, T. Okuda¹¹, A. Oshima¹¹, S. Ozawa¹⁷, I.H. Park¹⁹, D. Rodriguez¹, S.Y. Roh²⁰, G. Rubtsov¹², D. Ryu²⁰, H. Sagawa⁹, N. Sakurai⁹, L.M. Scott⁵, P.D. Shah¹, T. Shibata⁹, H. Shimodaira⁹, B.K. Shin⁶, J.D. Smith¹, P. Sokolsky¹, T.J. Sonley¹, R.W. Springer¹, B.T. Stokes⁵, S.R. Stratton⁵, S. Suzuki¹⁰, Y. Takahashi⁹, M. Takeda⁹, A. Taketa⁹, M. Takita⁹, Y. Tamada³, H. Tanaka¹¹, K. Tanaka²⁴, M. Tanaka¹⁰, J.R. Thomas¹, S.B. Thomas¹, G.B. Thomson⁵, P. Tinyakov¹²^{□21}, I. Tkachev¹², H. Tokuno⁹, T. Tomida², R. Torii⁹, S. Troitsky¹², Y. Tsunesada³, Y. Tsuyuguchi², Y. Uchihori²⁵, S. Udo¹³, H. Ukai², B. Van Klaveren¹, Y. Wada¹⁴, M. Wood¹, T. Yamakawa⁹, H. Yamaoka¹⁰, J. Yang¹⁹, S. Yoshida¹⁸, H. Yoshii²⁶, Z. Zundel¹

¹University of Utah, High Energy Astrophysics Institute, Salt Lake City, Utah, USA

²University of Yamaguchi, Interdisciplinary Graduate School of Medicine and Engineering, Yamaguchi, Japan

³Tokyo Institute of Technology, Meguro, Tokyo, Japan

⁴Kinki University, Higashi Osaka, Osaka, Japan

⁵Rutgers University, Piscataway, USA

⁶Hanyang University, Seongdong-gu, Seoul, Korea

⁷Tokyo University of Science, Noda, Chiba, Japan

⁸Yonsei University, Seodaemun-gu, Seoul, Korea

⁹Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo, Kashiwa, Chiba, Japan

¹⁰Institute of Particle and Nuclear Studies, KEK, Tsukuba, Ibaraki, Japan

¹¹Osaka City University, Osaka, Osaka, Japan

¹²Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

¹³Kanagawa University, Yokohama, Kanagawa, Japan

¹⁴Saitama University, Saitama, Saitama, Japan

¹⁵Tokyo City University, Setagaya-ku, Tokyo, Japan

¹⁶Pusan National University, GeumJeong-gu, Busan, Korea

¹⁷Waseda University, Advanced Research Institute for Science and Engineering, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan

¹⁸Chiba University, Chiba, Chiba, Japan

¹⁹Ewha Womans University, Seodaemun-gu, Seoul, Korea

²⁰Chungnam National University, Yuseong-gu, Daejeon, Korea

²¹Université Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium

²²University of Tokyo, Institute for the Physics and Mathematics of the Universe, Kashiwa, Chiba, Japan

²³Kochi University, Kochi, Kochi, Japan

²⁴Hiroshima City University, Hiroshima, Hiroshima, Japan

²⁵National Institute of Radiological Science, Chiba, Chiba, Japan

²⁶Ehime University, Matsuyama, Ehime, Japan

~130 collaborators from 6 countries

Belgium, Czech, Japan, Korea, Russia, USA

TA実験

Telescope Array (TA) 実験概要

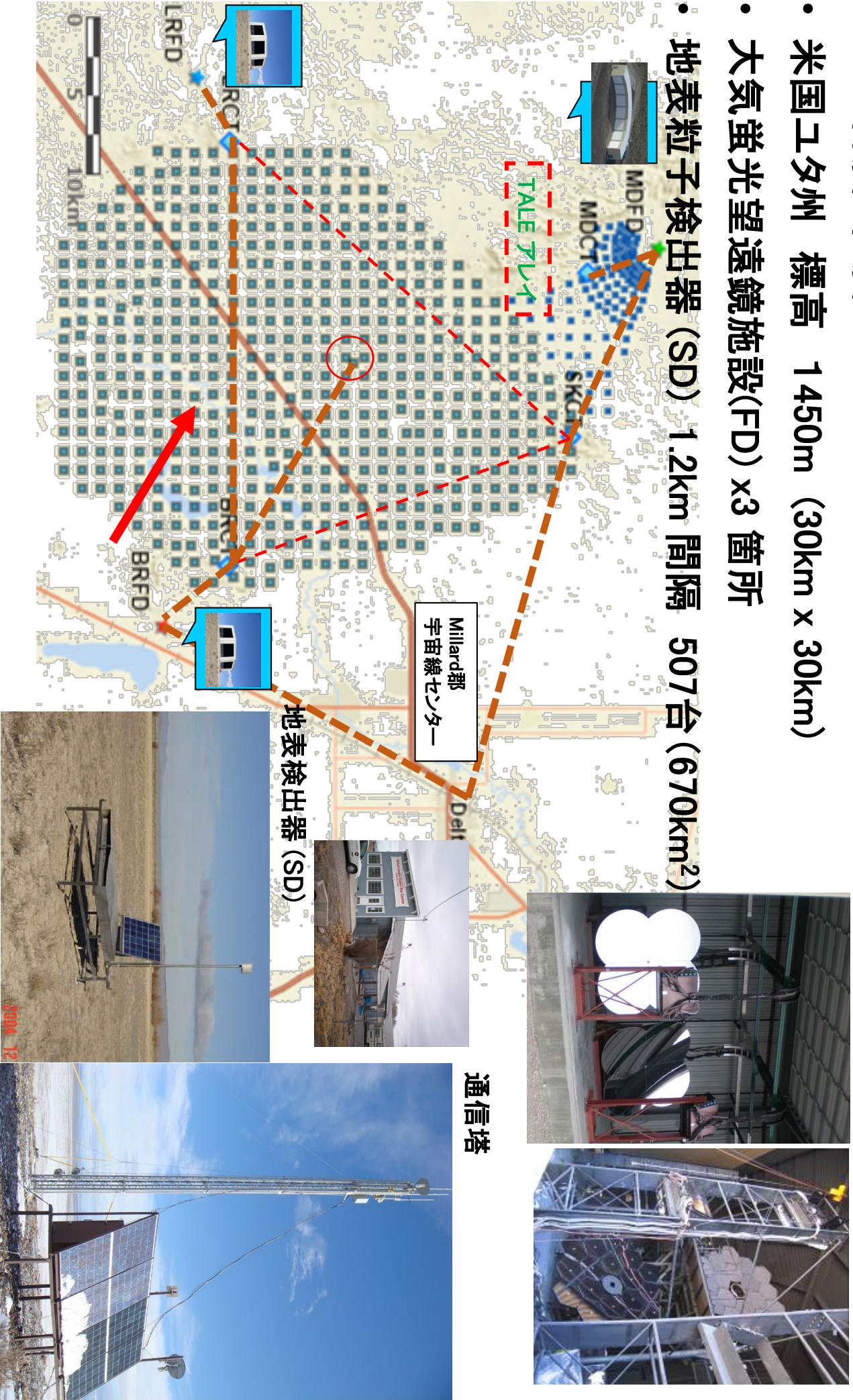
- 地理緯度 経度 $N39^\circ W112^\circ$

- 米国ユタ州 標高 1450m ($30\text{km} \times 30\text{km}$)

- 大気蛍光望遠鏡施設(FD) $\times 3$ 箇所

- 地表粒子検出器(SD) 1.2km 間隔 507台 (670km^2)

大気蛍光望遠鏡 (FD)



最近の結果

最近投稿・出版された論文

■ “Observation of the Origin of Downward Terrestrial Gamma-Ray Flashes”

J. Belz, R. Abbasi, J. Remington
(Submitted to Journal)

■ “Search for Ultra-High-Energy Neutrinos with the Telescope Array Surface Detector”

R.U. Abbashi et. al
(Submitted to Journal) arXiv:1905.03738 [astro-ph.HE]

■ “Upper limit on flux above $E > 10^{18}$ eV Using 9 year of observed data by TASD.”

R. U. Abbashi et al.
Submitted to JETP, 8 May 2019

■ “Constraints on the diffuse photon flux with energies above 10^{18} eV using the surface detector of the Telescope Array experiment”

R. Abbashi et al.
Astropart phys Volume 110, July 2019, Pages 8–14

■ “Mass composition of ultrahigh-energy cosmic rays with the Telescope Array Surface

Detector data”

R.U. Abbasi et al. (Telescope Array Collaboration)
Phys. Rev. D 99, 022002 – Published 24 January 2019

最近の作業

2019年度 TA実験関連 課題一覧

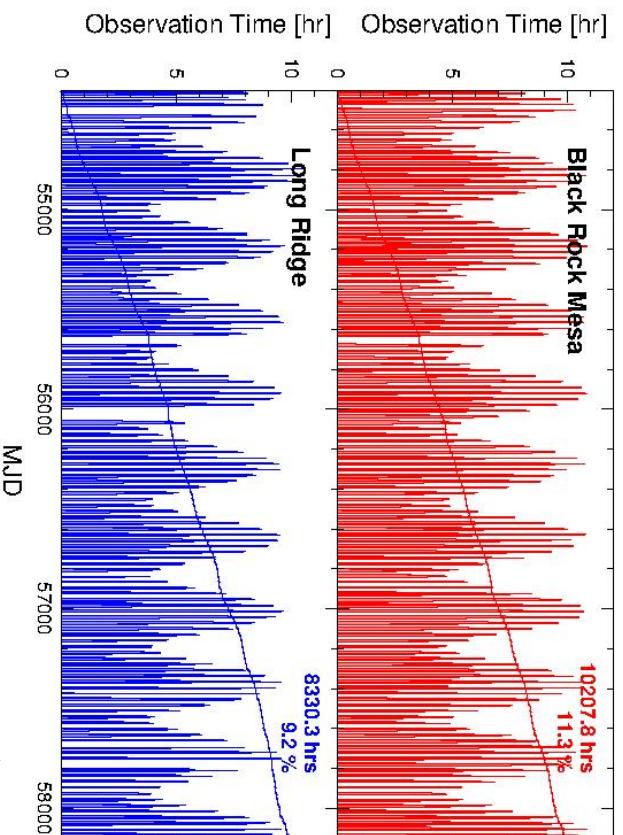
課題番号	代表者	課題名	配分額
C02	野中	TA実験サイトでの超高エネルギー宇宙線観測のための新型検出器の開発	300,000
E13	佐川	宇宙線望遠鏡による極高エネルギー宇宙線の研究	900,000
E14	藤井	TA実験サイトでの新型大気蛍光望遠鏡による極高エネルギー宇宙線観測	250,000
E15	木戸	TA × 4実験地表検出器の安定稼働のための研究開発	350,000
E16	萩尾	TALEハイブリッド実験による10の17乗領域宇宙線研の研究	400,000
E17	有働	TA実験サイトにおける大気透明度測定法の研究・開発	330,000
E18	多米田	次世代の超高エネルギー宇宙線観測のためのフレネルレンズ型大気蛍光望遠鏡の開発研究	500,000
E19	奥田	TA地表粒子検出器による雷と関連する特異事象観測	550,000
E20	畠田	ドローンに搭載された標準光源による大気蛍光望遠鏡の光学系の較正	250,000
E21	畠田	新型大気蛍光望遠鏡における検出器保護システムの開発	250,000
E22	山崎	大気蛍光望遠鏡の自動観測を目指した夜間雲量測定用CCDカメラの開発と解析	350,000
E40	竹田	TA-FD観測の完全遠隔制御にかかる観測サイトでの環境整備	320,000
			4,750,000

装置(大気透明度)の較正作業のための研究開発

装置維持・運転のための研究開発

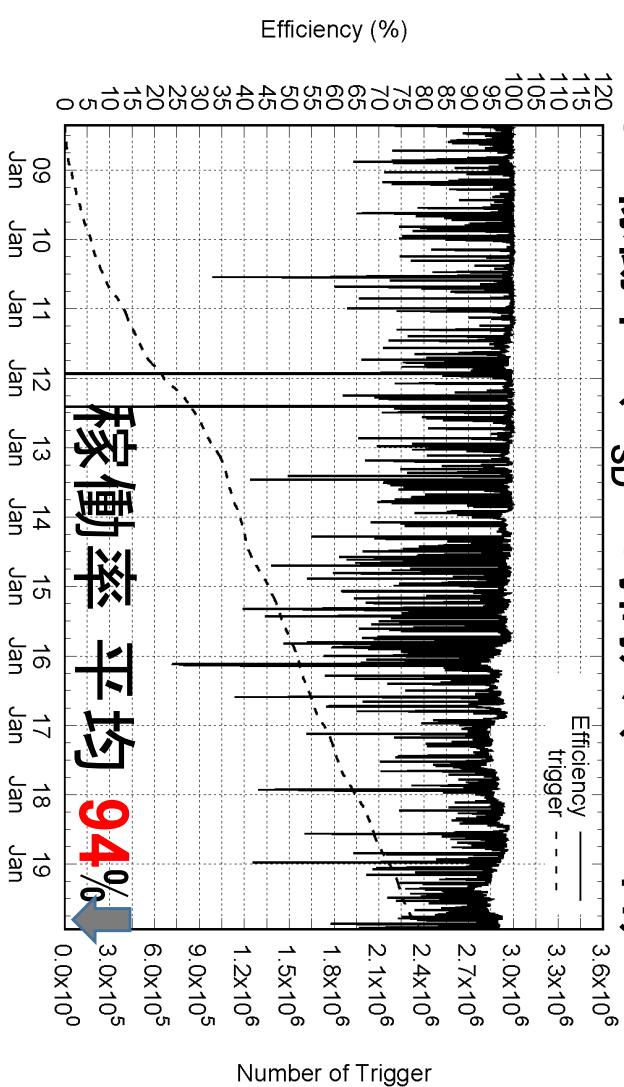
TA実験稼動状況

FD稼働率 本年度も安定して観測

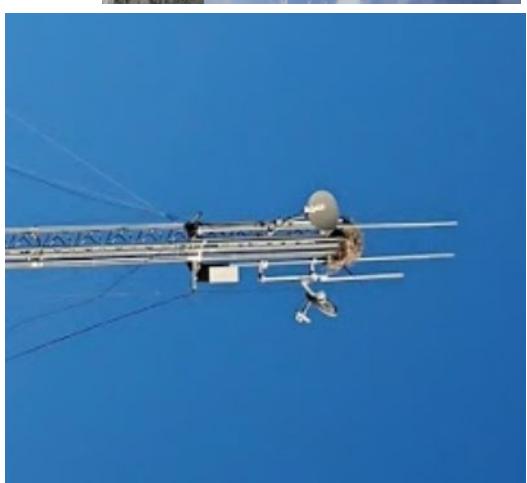


- 2008/05月～SD+FDのハイブリッド観測

SD稼働率 ($N_{SD} \times 時間$) / (507x1日)



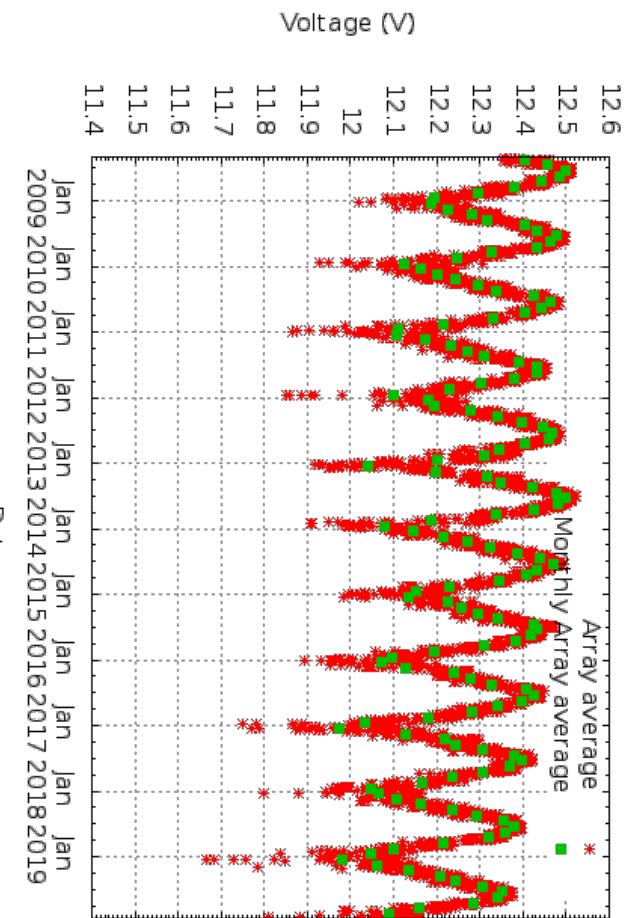
- 通信塔が傾く(2010)
- 洪水(2011)
- 頻繁にある不具合(SD)
 - データ取得PC不具合
 - 雷によるSD停止
 - 動物によるケーブルなどの損傷(GPSアンテナ, 無線LANケーブル)
- 2019/05月 **12年目**の観測に入った。



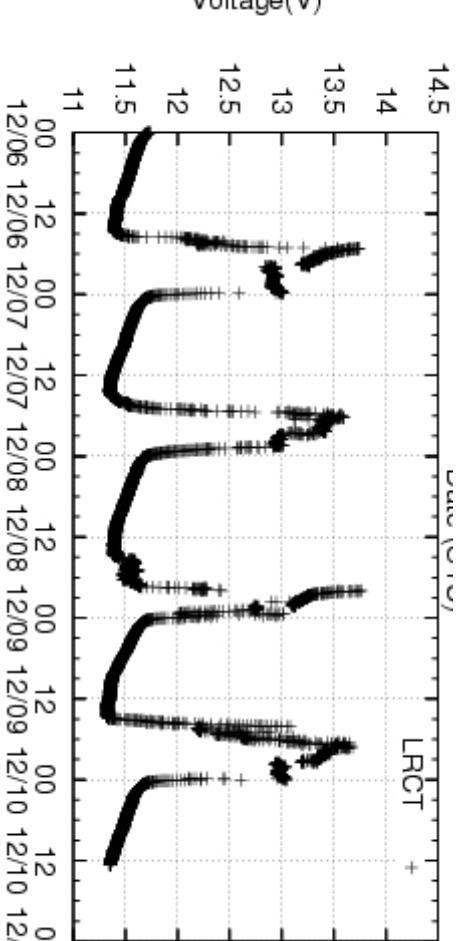
TAX実験 バッテリー電源

地表検出器

Daily minimum voltage



通信塔電源



- ・ 今年度 TAX4検出器(後述)のバッテリーあるいはChargeコントローラの初期不良によって、バッテリーを20個程度交換した。(想定していなかつた)

- ・ TASD では2011-2012 年に行つた全交換作業後7年が経過

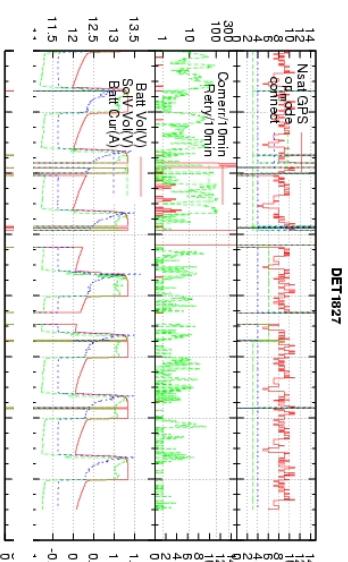
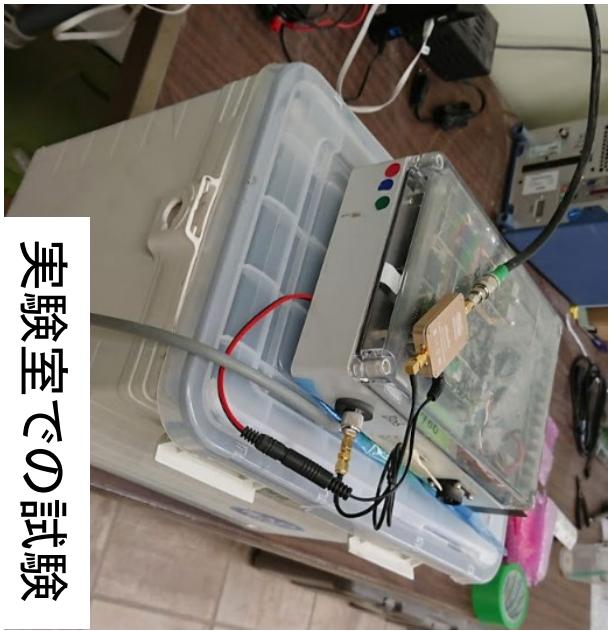
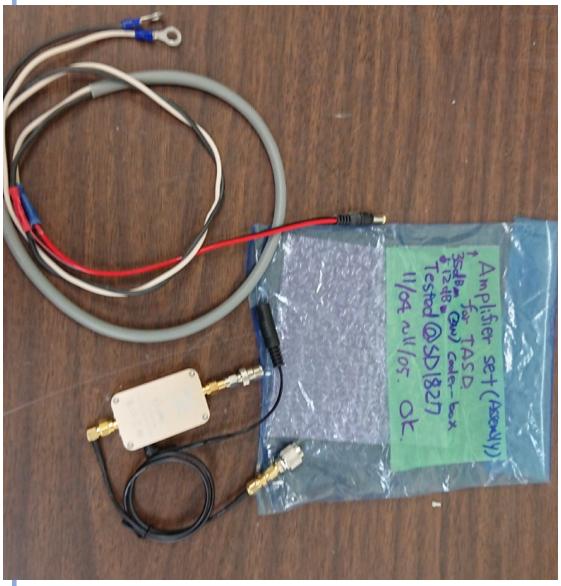
- ・ 寿命は5年とされている。
 - ・ 電圧から読み取れるこれまでの容量変化は -10%~-15% 程度。

- ・ 今年度 IOTA 通信塔のひとつでバッテリーの劣化による通信途絶が発生
- ・ バッテリー12個を全交換

「共同利用研究のひとつで購入していた
バッテリーで緊急に対応できた。

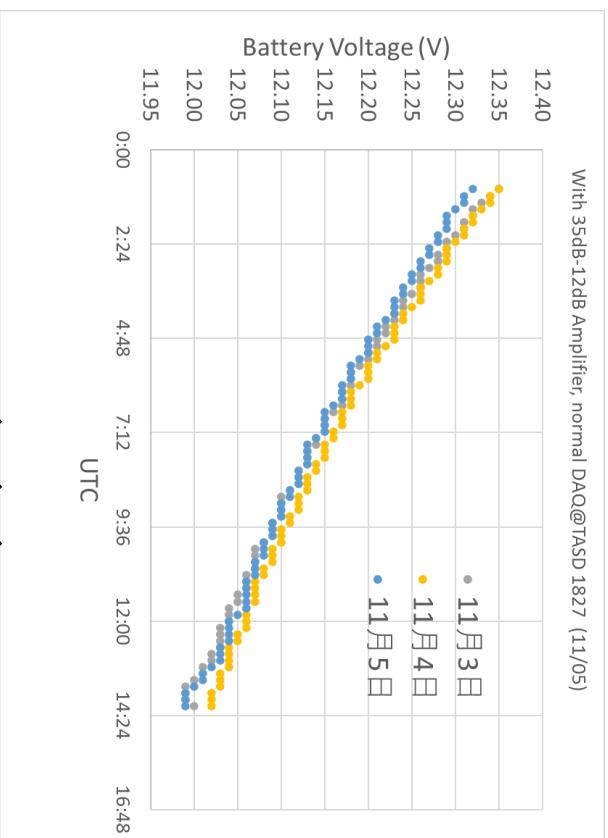
通信条件の悪い検出器に用いていた増幅器が販売停止、新しいものを探し、試験

(近日中に複数のTA SDに設置予定)



フィールドでの試験 消費電力の影響確認

With 35dB-12dB Amplifier, normal DAQ@TASD 1827 (11/05)



Channel power +12dBm (Rx) (Peak frequency +5dBm)

→ 動作良好. 検出器に使用可能

大気蛍光望遠鏡遠隔操作化

これまで:

現地での観測はDelta市内の宿舎から、遠隔で行う。

現在取り組んでいる事:

日本からBR LRの望遠鏡を遠隔で操作し、
観測を行う。



Delta 滞在者

ICRR/ 大阪市大/ ...
(日本)

「より省力化した観測で効率的な観測・維持作業」

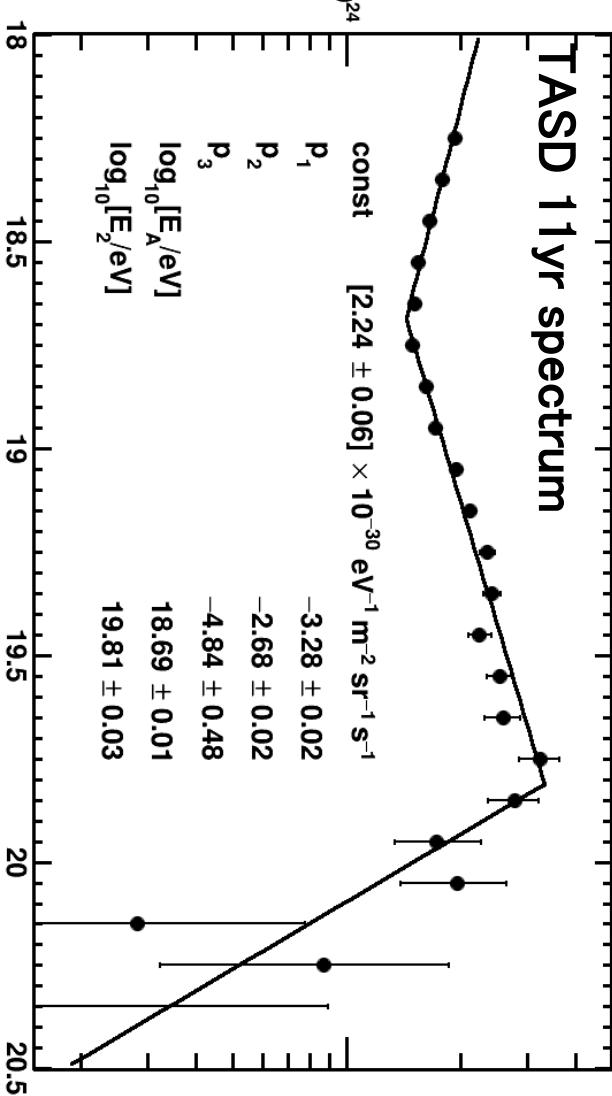
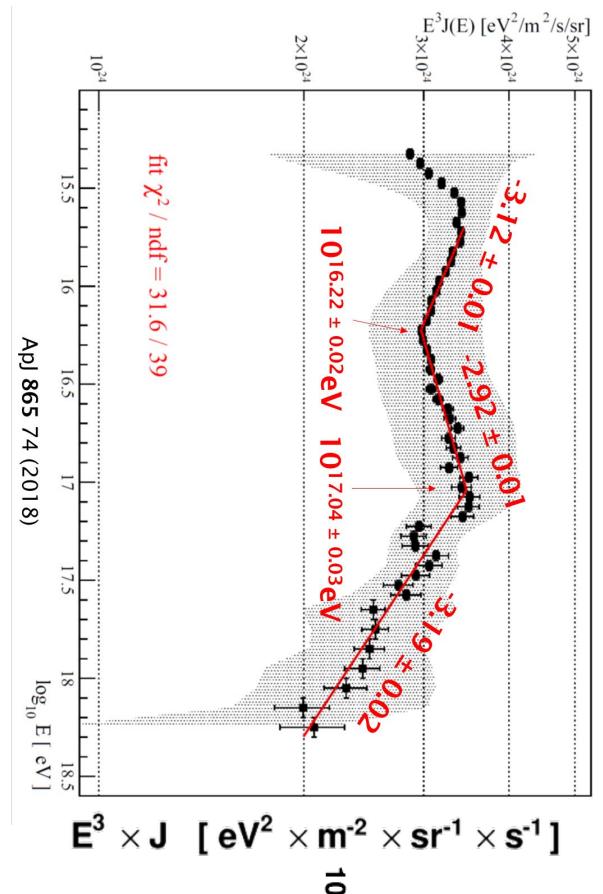
観測結果

ICRC2019 でアップデートされた観測結果

宇宙線エネルギー—スペクトル

TALE FD Monocular Spectrum

D. Ivanov (ICRC2019)



ankle @ $\log E = 18.69 \pm 0.01$ $\gamma = -2.68 \pm 0.02$
cutoff @ $\log E = 19.81 \pm 0.03$ $\gamma = -4.84 \pm 0.48$

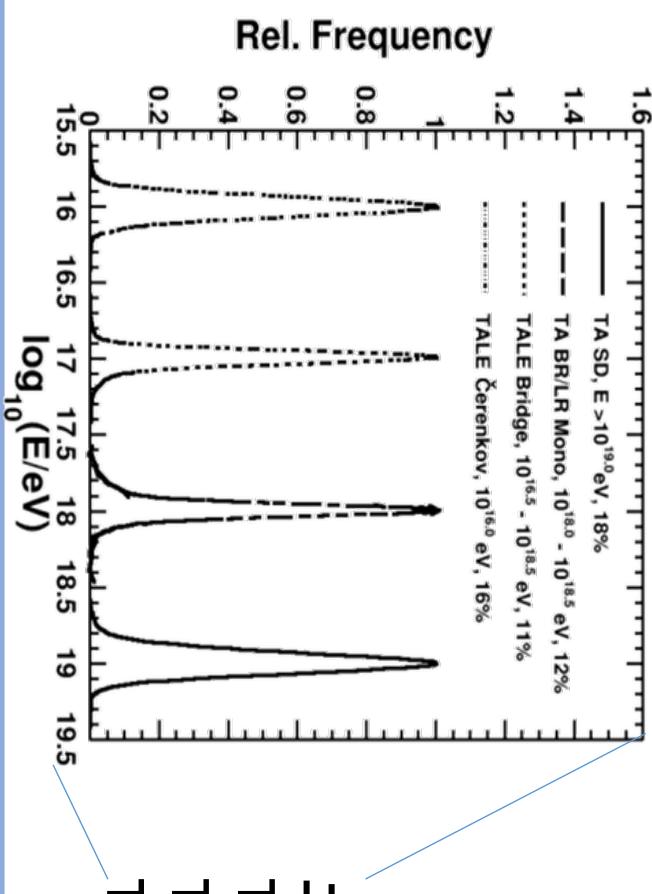
8.4 σ suppression

エネルギー分解能:

TASD 18% @ $E > 10^{19} \text{ eV}$

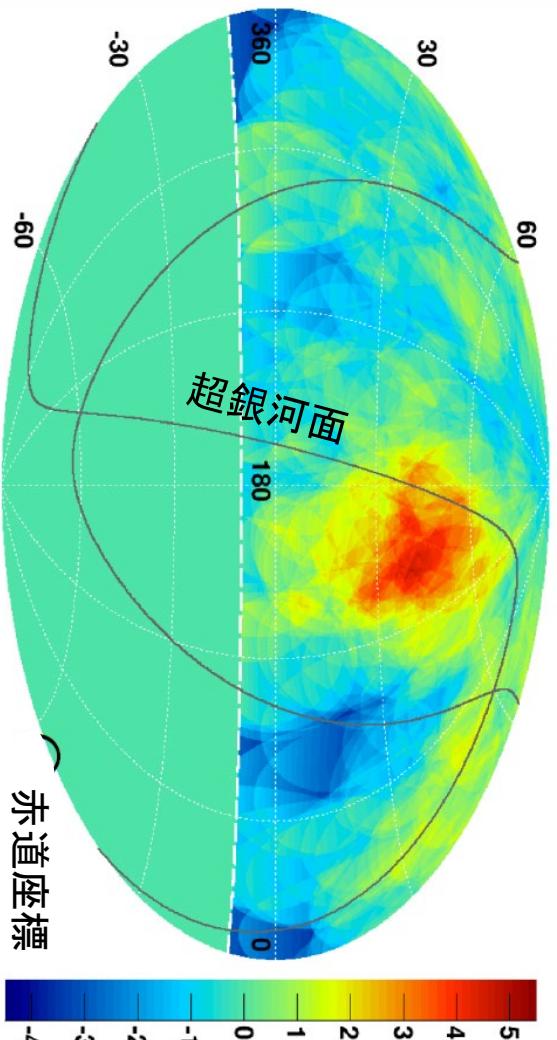
TALE 11% @ $E > 10^{16.5} \sim 10^{18.5} \text{ eV}$

TALE (Čerenkov) 16% @ $E > 10^{16.0} \text{ eV}$



宇宙線到来方向異方性

11yr hot spot significance map



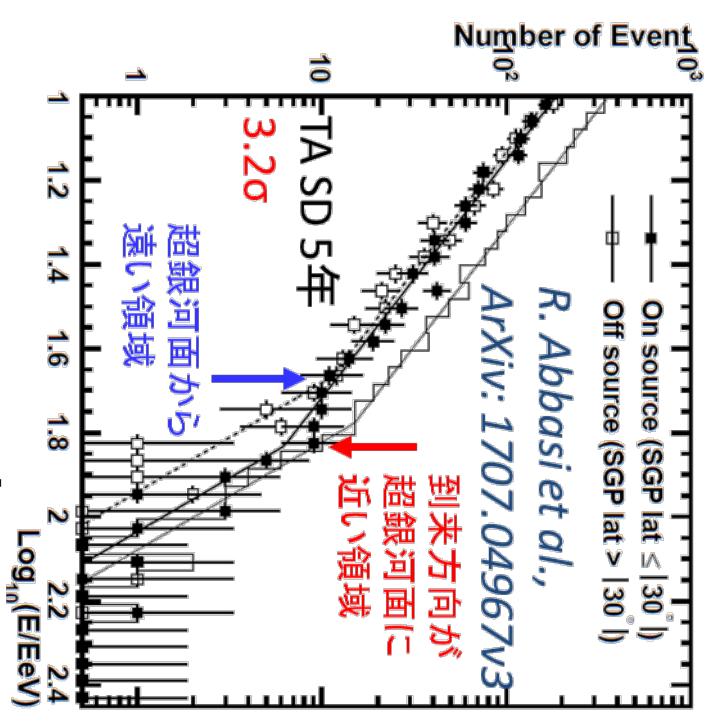
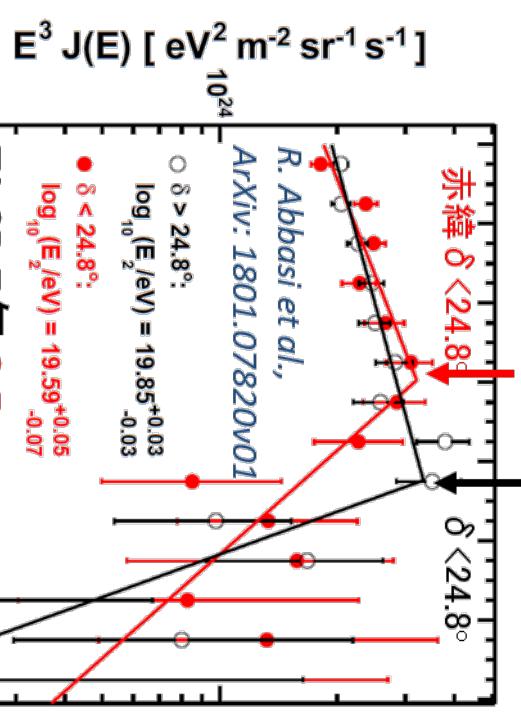
$E > 57 \text{ EeV}$, in total 168 events

38 events fall in Hotspot ($\alpha=144.3^\circ$, $\delta=40.3^\circ$, 250 radius, 22° from SGP), expected=14.2 events

local significance = 5.1σ ,

Chance probability $\rightarrow 2.9\sigma$

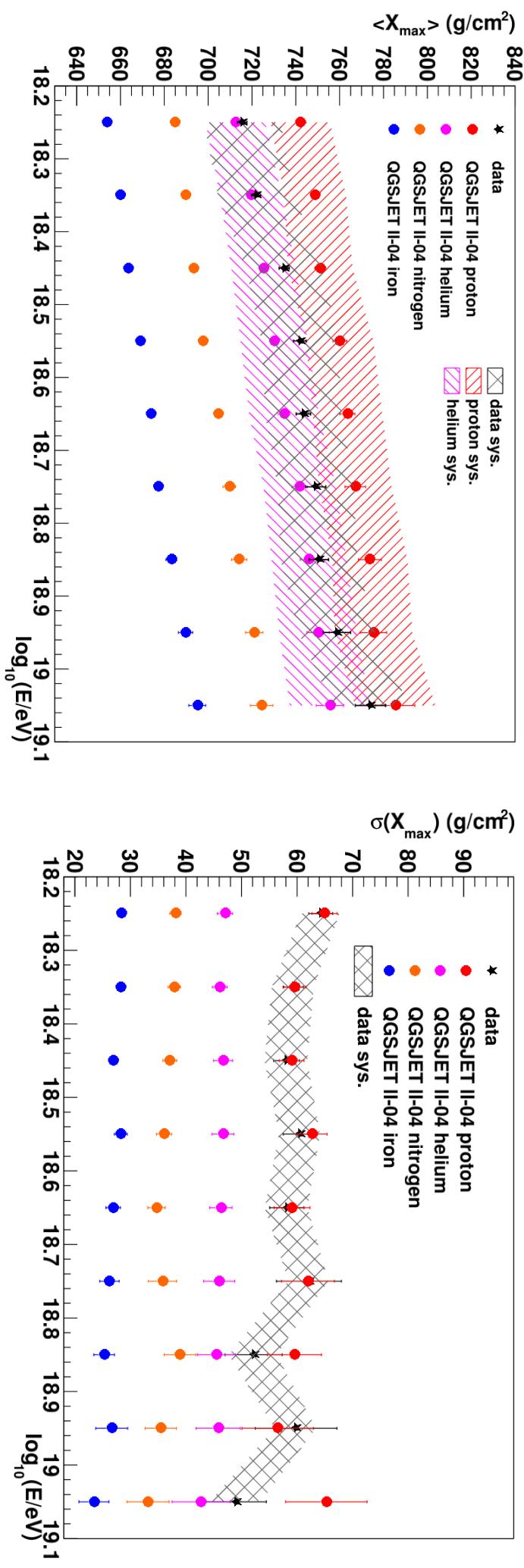
25° over-sampling radius shows the highest local significance (scanned 15° to 35° with 5° step)



宇宙線化成組成

空気シャワーの最大発達深さ、一次宇宙線の組成が重いほど浅い。

QGSJET-II-04 モデルによる組成毎の発達深さの平均 $\langle X_{max} \rangle$ 、ばらつき $\sigma(X_{max})$ を、
大気蛍光遠鏡で観測で得られた10年分のデータを使って比較。

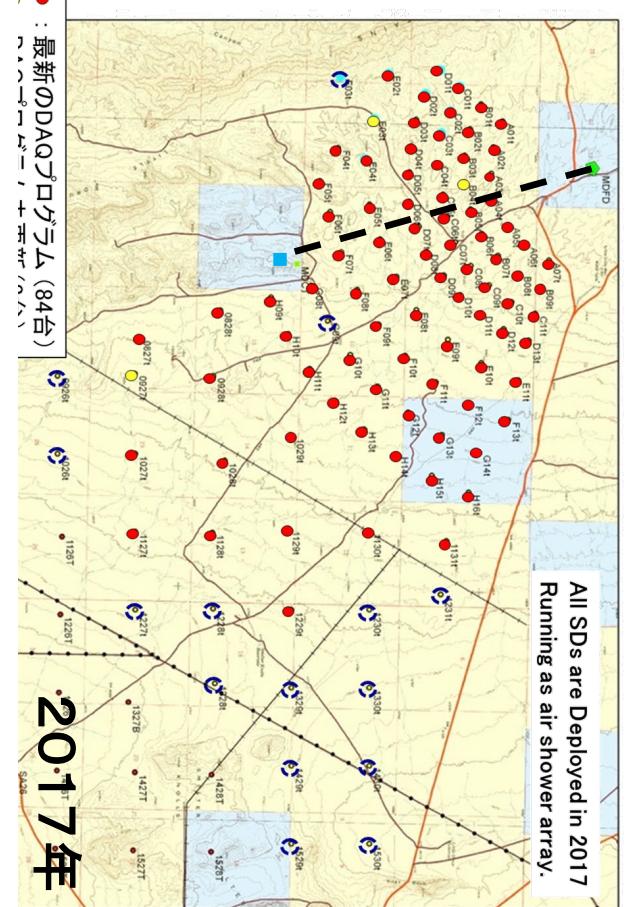


TALE 実験

TALE 実験

$10^{16} \sim 10^{18.5}$ eVを観測

- 2013年-高仰角望遠鏡10台による観測
- スペクトル論文投稿arXiv:1803.01288
- 2017年 SD80台 データ取得開始
- 無線通信方式をTAのものから更新
 - 1年間データ取得を継続
- ハイブリッドトリガーによる低エネルギー側の事象の精度向上



TALEハイブリッド実験の基本性能

エネルギーしきい値 $\log E = 16.0$
イベントレート ~5,000 事象／年
$\Delta\theta = 1.0^\circ \leftarrow 5.3^\circ$ (FD単眼)
$\Delta x_{max} = 20 \text{ g/cm}^2 \leftarrow 60 \text{ g/cm}^2$ (FD単眼)

- ハイブリッドトリガーの時間情報を長距離無線LANでSD通信塔へ送信 $32 \mu\text{s}$ 以内の波形($>0.3\text{mip}$)をすべて収集
- 09/03～現地でHybrid Trigger の導入作業

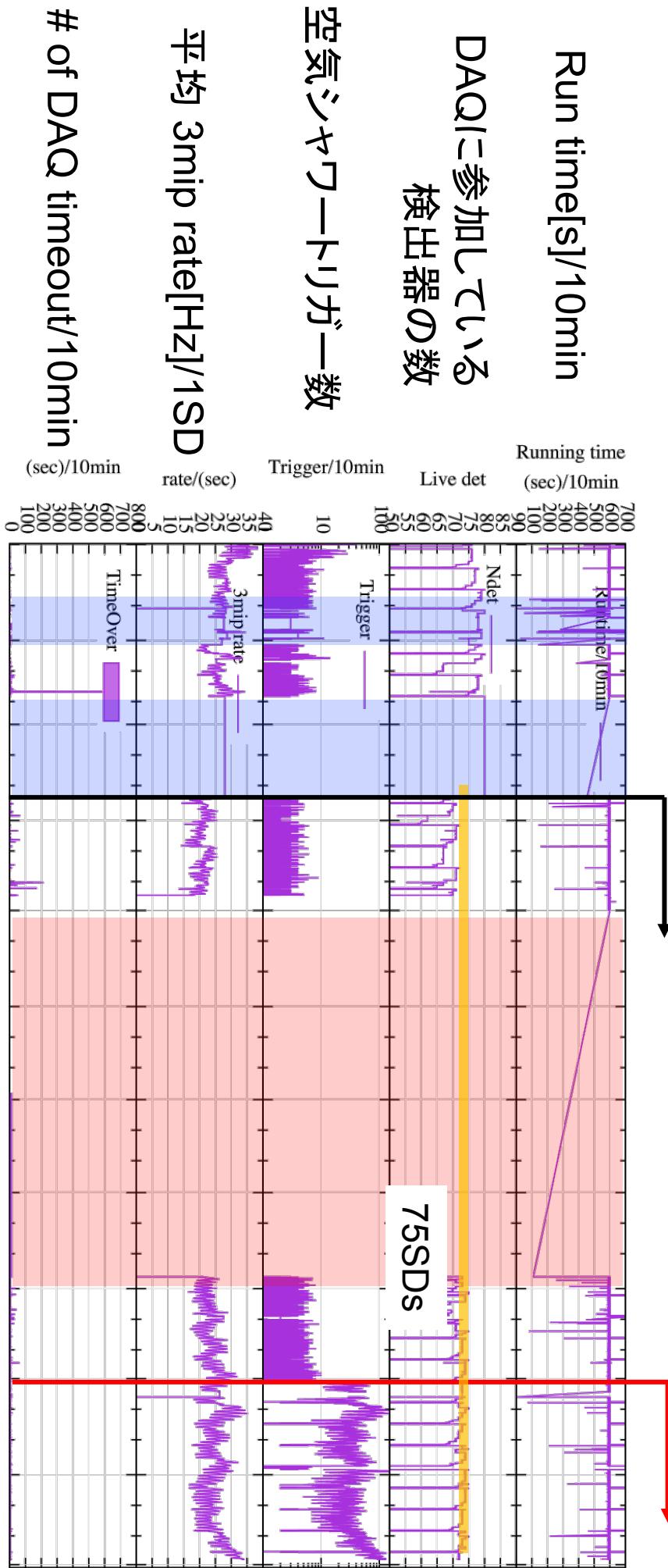
TALE実験稼働状況

75台の地表検出器アレイとしてデータ収集

5月にデータ収集装置(Network Access point)が破損、
10月にトリガーコードを変更 → $10^{17} eV$ のシャワーに対する検出効率 ~60% (@400m)

82 → 75 active SDs on Mar. 2019

trigger condition change
any 5 in 32us → any 4 in 8 us

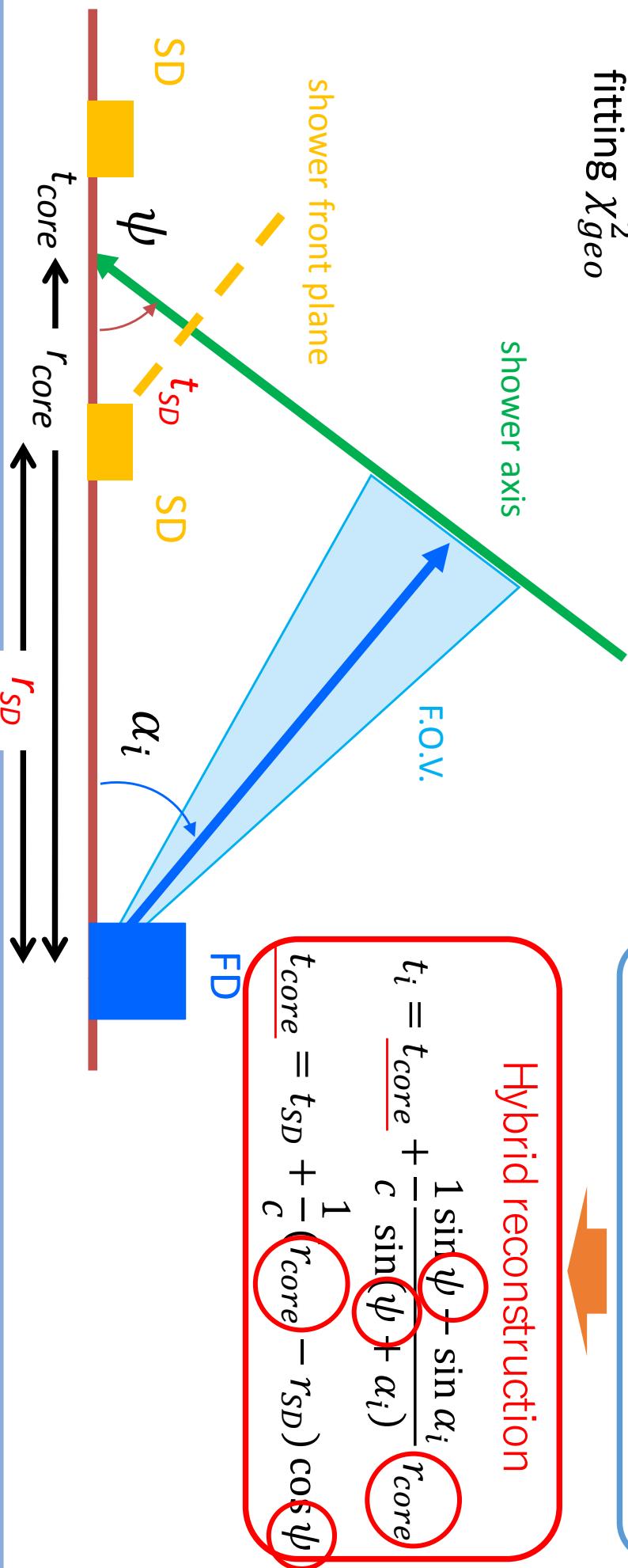


TALE ハイブリッド観測

TALE アレイでのハイブリッド測定事象の再構成(藤原 大阪市大)
再構成時にシャワーコア付近のSDで記録された時刻情報を用いてFDの再構成
ができる。このことによつて“Mono”(单眼)再構成よりも精度がよくなれる。

$$\chi_{geo}^2 = \sum_i \left\{ t_i - \left(t_{core} + \frac{1}{c} \frac{\sin \psi - \sin \alpha_i}{\sin(\psi + \alpha_i)} r_{core} \right) \right\}$$

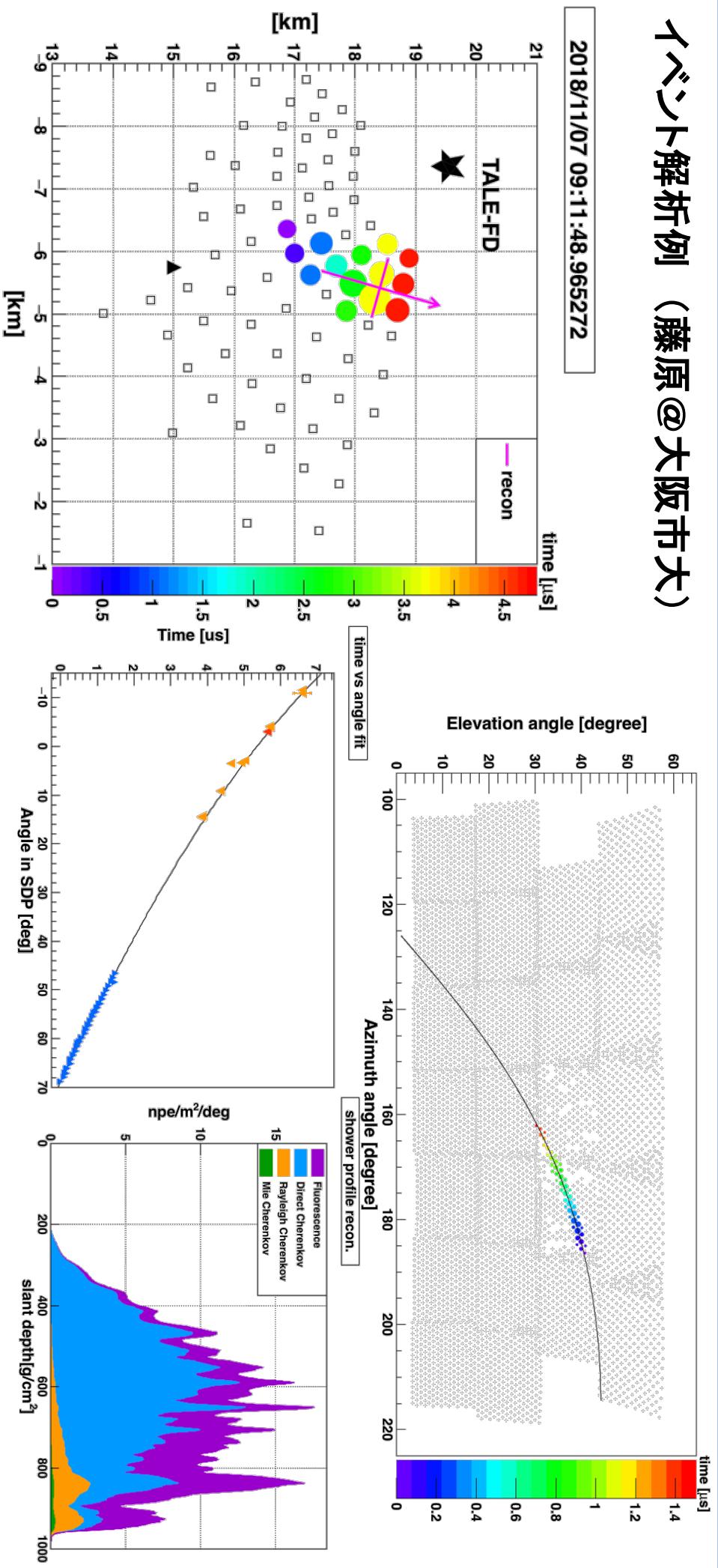
- Use SD time information that minimizes fitting χ_{geo}^2



TALE ハイブリッド観測

イベント解析例 (藤原@大阪市大)

2018/11/07 09:11:48.965272

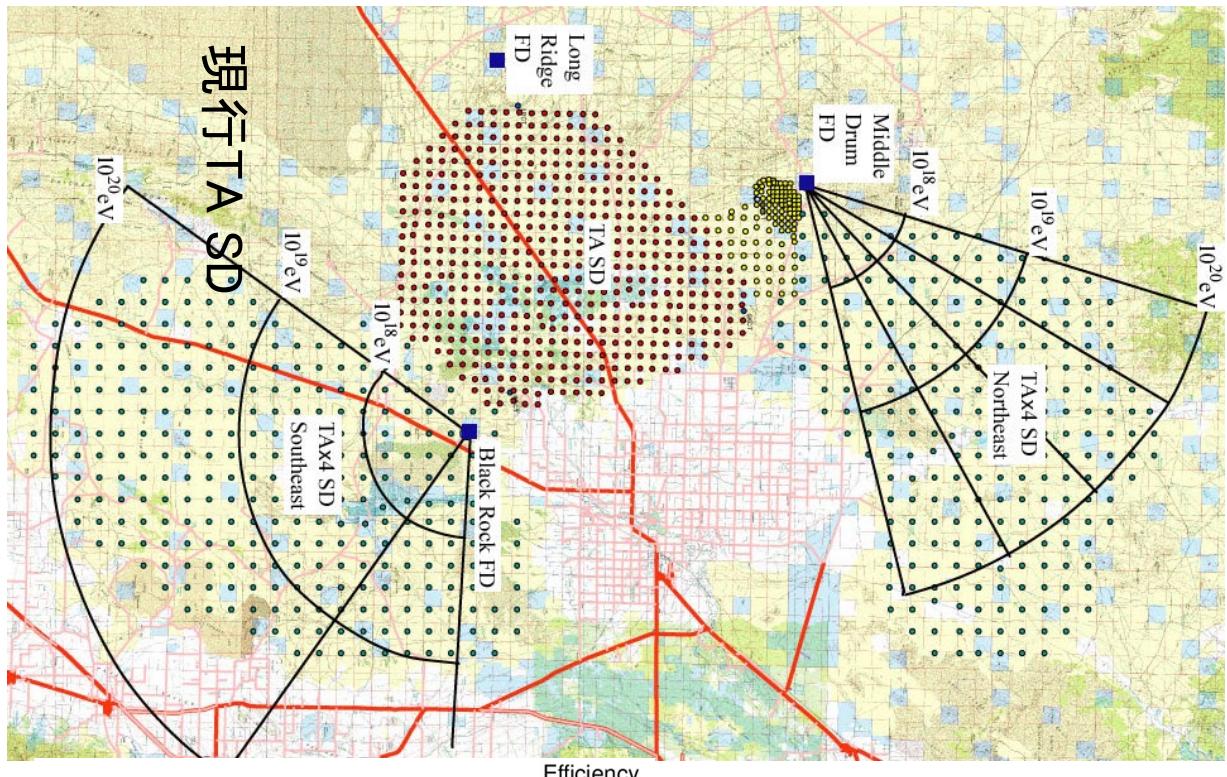


TAX4 実験

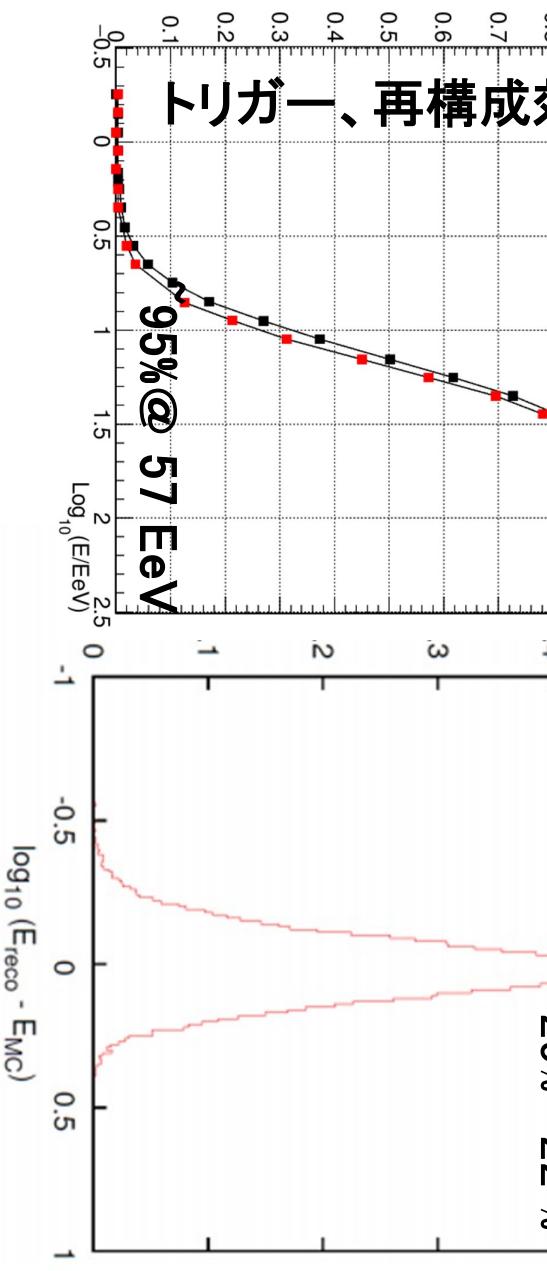
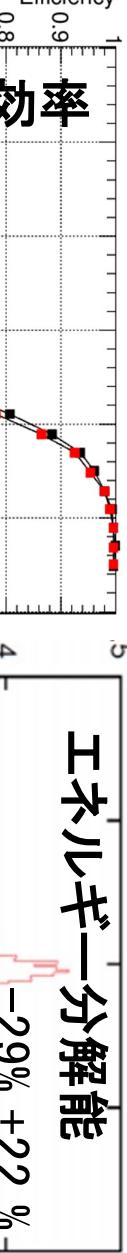
TAX4 実験

概要:

- ✓ SD arrayのカバー面積を4倍に
 - Total $\sim 3,000 \text{ km}^2$ $E > 57 \text{ EeV}$
- ✓ SD (日本主導)
 - SD 500台(2.08 km間隔)追加
 - 2018年度に260台設置準備中
- ✓ TAX4 FD (米国主導)

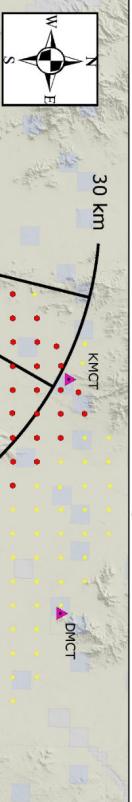


予想される装置のエネルギー閾値、分解能(SD)



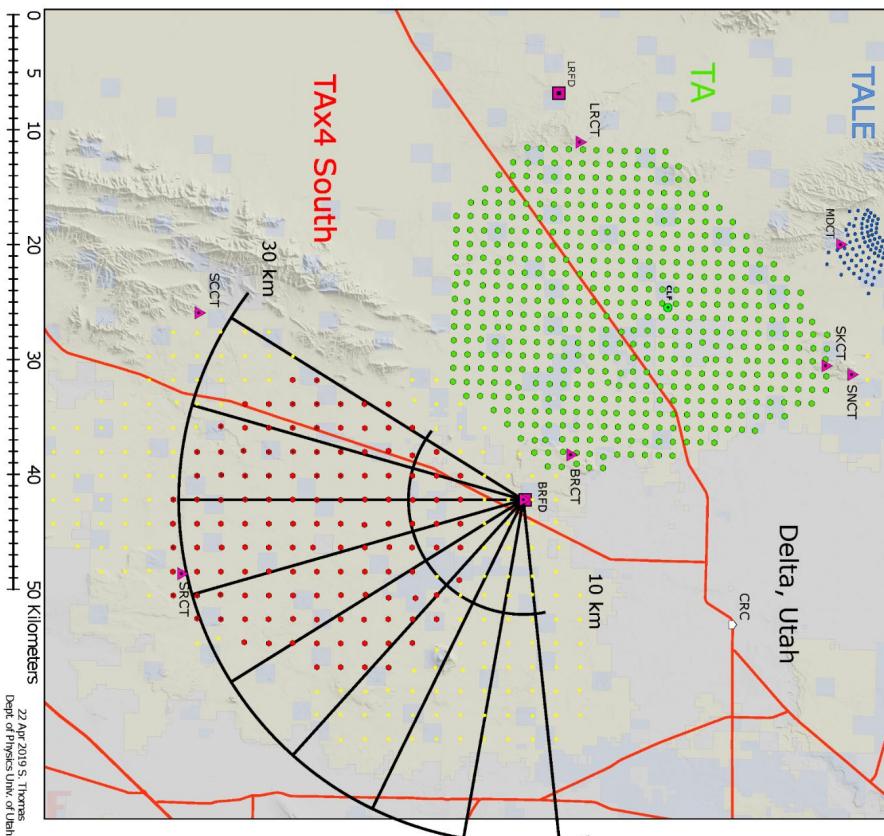
TAX4 実験 検出器設置状況

T/TALE/TAX4 Array



2019/03/23日時点での設置状況

- 設置可能地点は黄色のマーカー
- 設置済み地点は赤のマーカー
- 扇の幅は大気蛍光望遠鏡の観測視野を表す。
- 扇の長さはエネルギー毎の検出可能距離を表す。



- 合計 257 台の地表検出器を設置完了
- 現在 220 台+ の検出器を対象にデータ収集
- 北側アレイ 検出器間隔 2.08 km
SD台数 130 台
3つの通信塔からデータ収集
- 南側アレイ 検出器間隔 2.08 km
SD台数 127 台
3つの通信塔からデータ収集

検出器設置作業

<https://www.flickr.com/photos/142880279@N06/albums/689940402503>

宇宙線研広報 中村氏

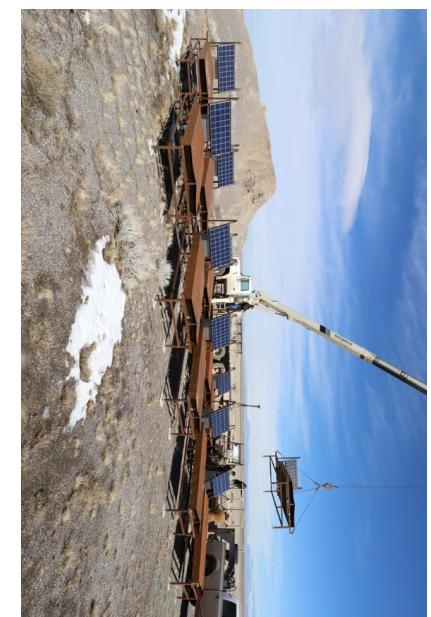
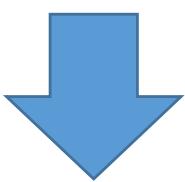
SD運搬用ヘリ



設置作業の流れ

Delta 市内 観測所

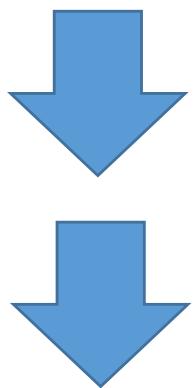
アレイ内 一次集積場



ヘリコプターによる吊り上げ

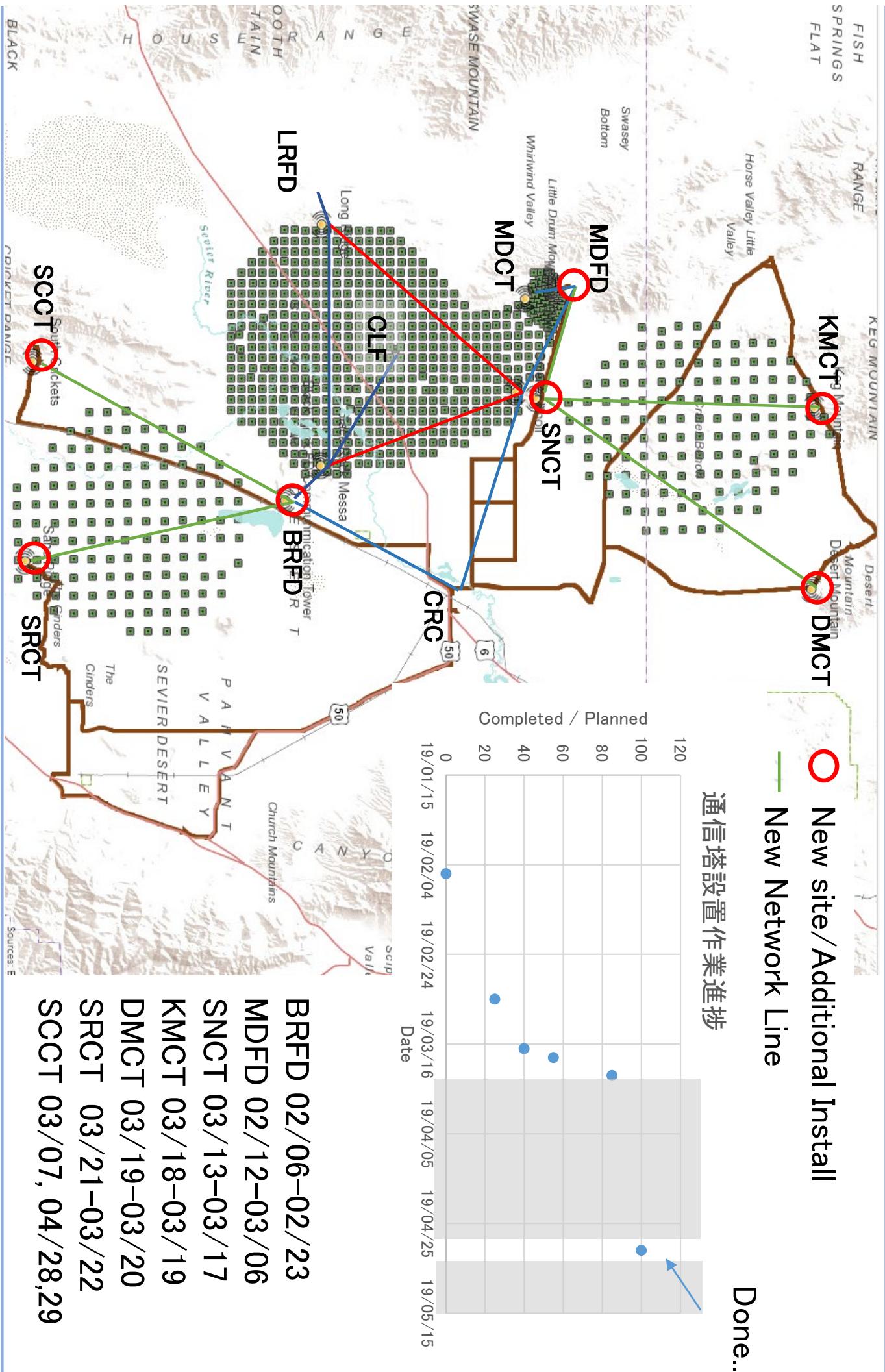
検出器設置場所

屋外での動作確認作業
追加アセンブリ等。寒い



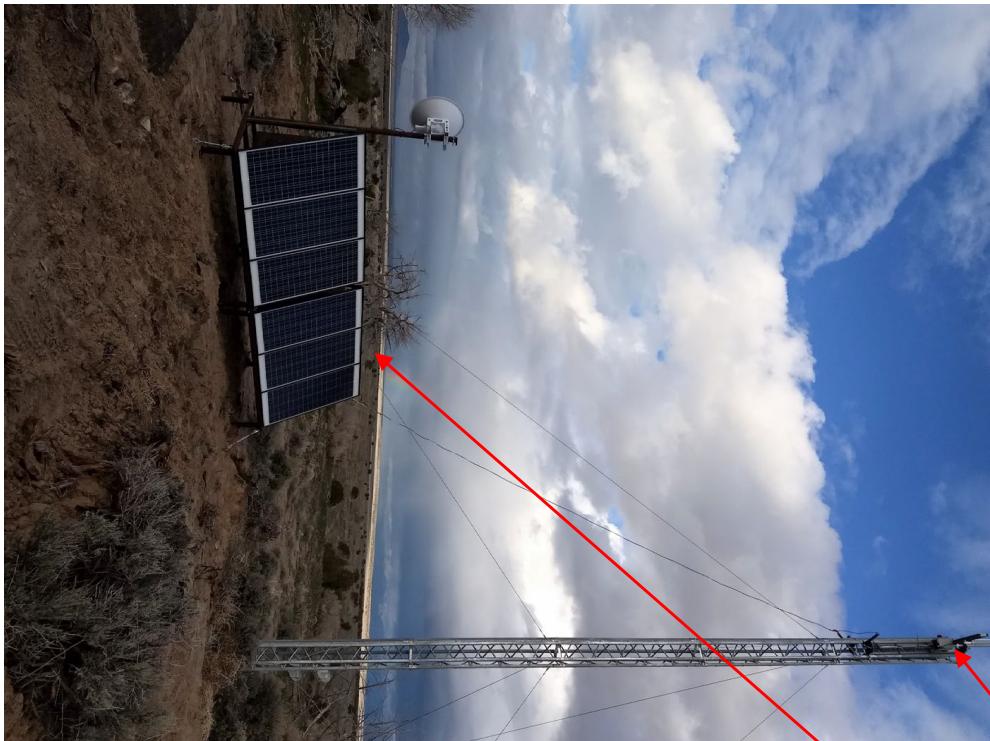
2月19日 - 3月12日 257 SD設置作業完了

TAX4 通信塔設置-稼動状況



TAX4 通信塔 構成

SRCT



マスト+エレベーター

ソーラー、パネルx6
バッテリーx14



ネットワークケーブルを支える
ガイドワイヤ
長距離無線アンテナ

DMCT

タワー資材の輸送

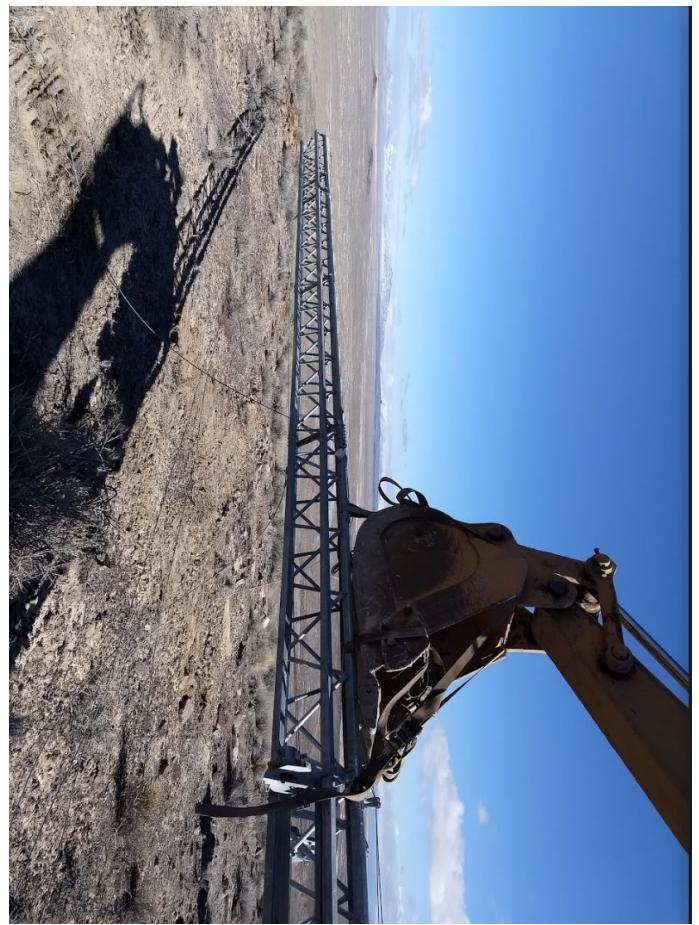
Delta 市内

重機でマストを持ち上げる / ヘリコプターで運ぶ

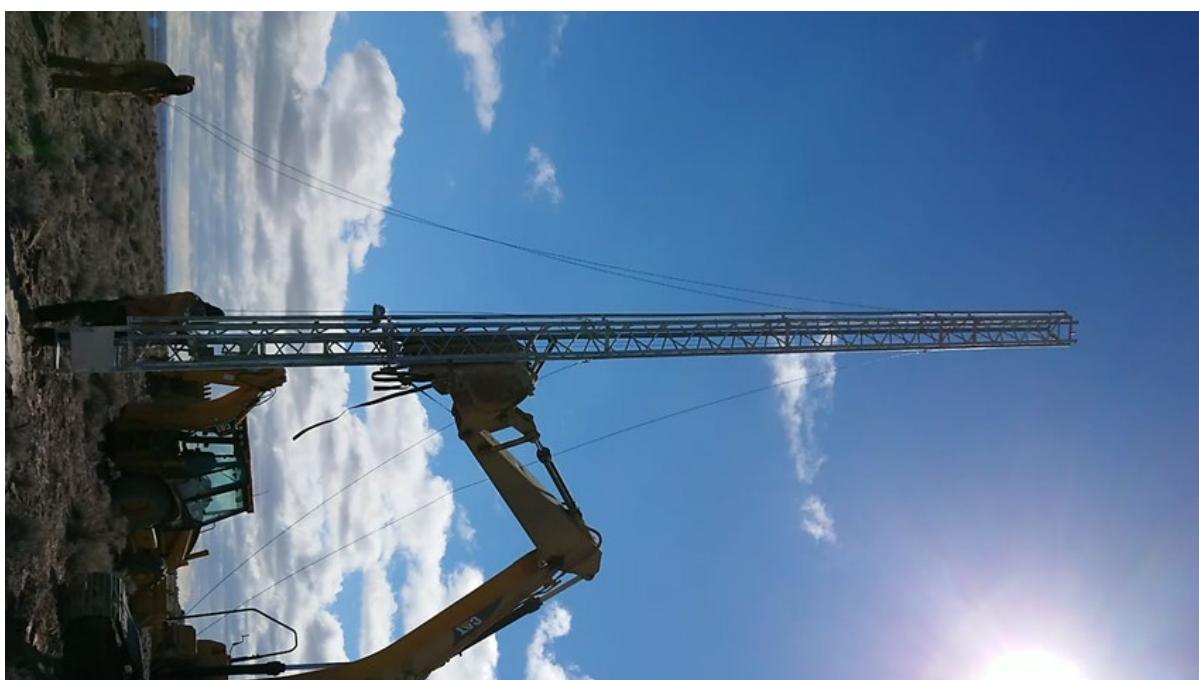


タワーの建設作業

設置時の垂直からのズレは 0.5度程度



タワーに支線をあらかじめ取り付けマ
ストをショベルの甲に縛る。
ショベルの角度、位置を調節して垂直
に狙った位置(<1 in)に降ろす。



重機が入れない場所の通信塔

南西にあるSCCTは高い丘の上が設置位置となっている。このためタワーの構造も新しく考案した。



ポールはワインチを巻き上げることで起き上がる。
機器を取り付けたりメンテナンスする際には、ワインチを緩め倒す。

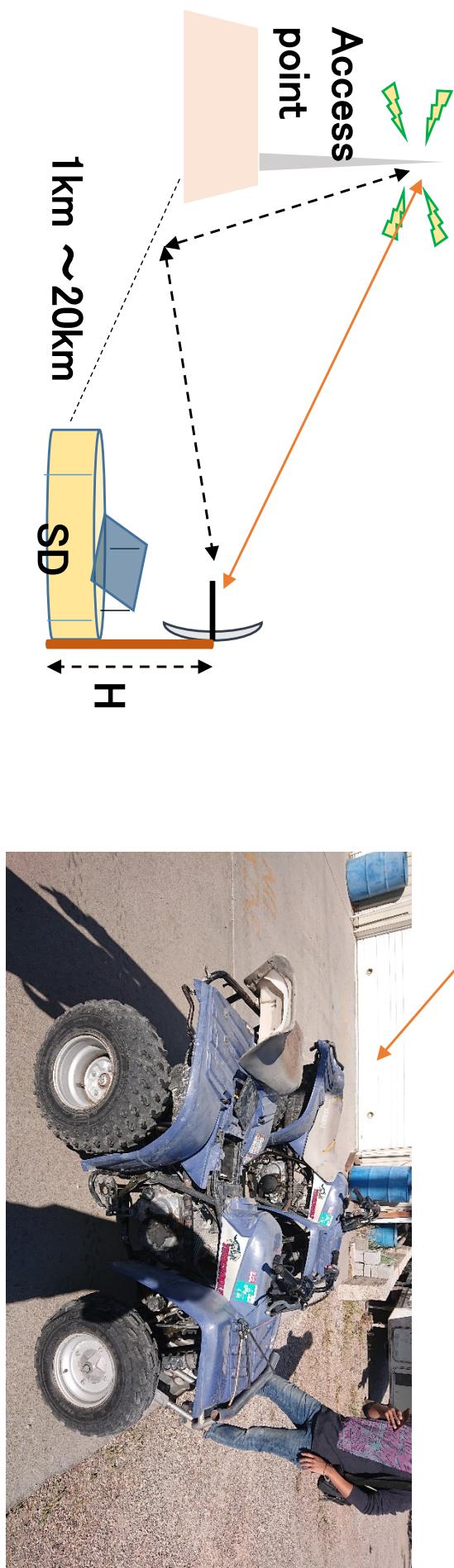


For tilt down, extra length of
PoE cable will be needed,
Release this spool to give
enough length.

通信塔と各SDとの通信の調整

- ・通信塔:コリニアアンテナ
- ・SD:指向性アンテナの方位角と高さの調整
 - ・高さ:直接波に対する地面からの反射波の干渉を最小限に調整
 - ・Crew helicopterで移動する3チームで調整

- ・03/25までに220台程度のSDについて調整完了
- ・06月残りの35台程度のSDについてATVを用いて 調整作業完了



TAX4 実験 地表検出器稼働状況

11/29まで



- USB ディスクが アクセスの繰り返しに耐えられず次々に壊れる

→ RAM に一次書き込み。
少ない頻度で、RAM から USBdisk にコピーする方式に変更。解決。

- 電源ヒューズが飛ぶ事案とネットワーク機器の故障が複数回発生

→ 設置前に作成されたコネクターの
工作中に問題があることが判り修正。
解決。

- 12/07 時点 90%の検出器を用いてデータ収集
DAQ対象外 の検出器は 約10 %

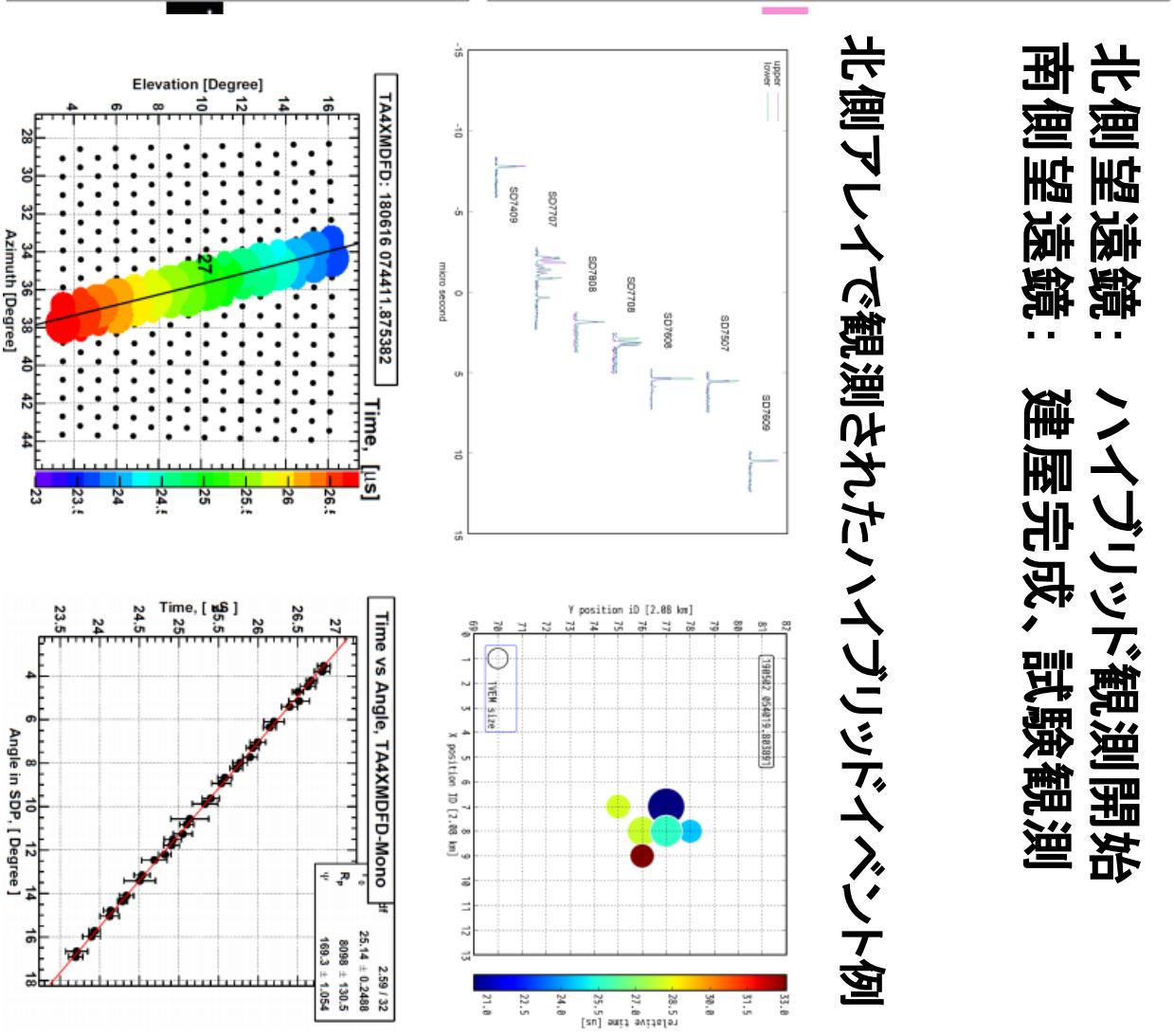
TAx4 大気蛍光望遠鏡

TAx4 northern FD station



First light @ Feb. 16, 2018

TAx4 southern FD station



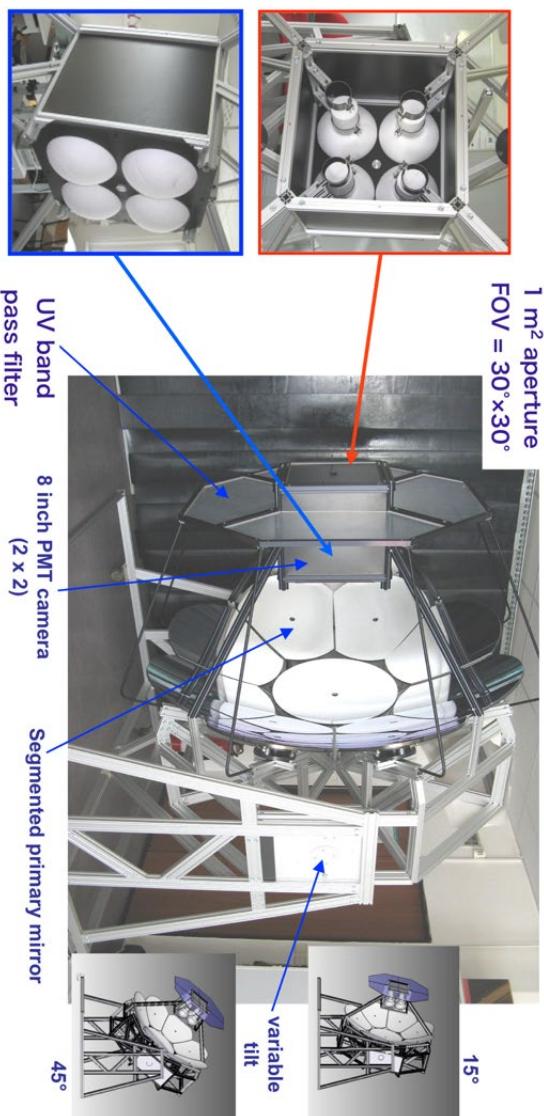
北側アレイで観測されたハイブリッドイベント例
南側望遠鏡：建屋完成、試験観測

その他の R&D 等

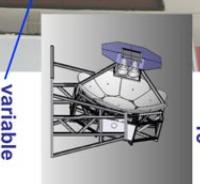
TA実験サイトでの新型大気蛍光望遠鏡による極高エネルギー宇宙線観測

E14

Fluorescence detector Array of Single-pixel Telescopes

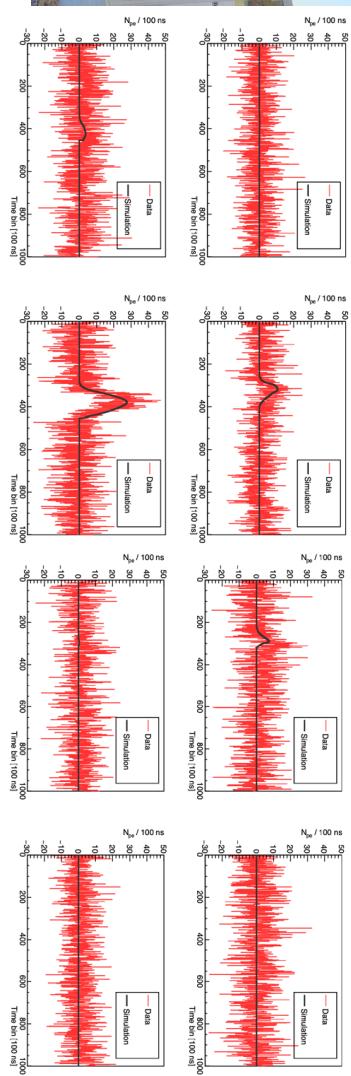


1 m² aperture
FOV = 30° × 30°



- ◆ 4本の直径20 cmの光電子増倍管によるカメラ
- ◆ 軸部
- ◆ TAサイトに3基設置
- ◆ 560時間の夜間観測を達成
- ◆ 同一の望遠鏡をAugerにも1基を設置し、観測を開始した

FAST reconstruction (Preliminary)					
Zenith	Azimuth	Core(X)	Core(Y)	Xmax	Energy
33.9 deg	19.3 deg	4.6 km	-4.7 km	808 g/cm ²	18.8 EeV



超高エネルギー宇宙線観測のための検出器開発 CO2

T. Nonaka +TA collaboration
+ F. Saraddin , Carload School of Mine

- カウント精度のシミュレーションでの見積もり
- 検出器製作 → 初期観測
- TAアレイとの接続、トリガーパルス分配 (2015年)
- Auger実験へのトリガーパルス分配 (2016年)
 - 基盤A研究 (中止) → TAx4実験
- Auger-TA間での相互比較
- データ取得のためのファームウェア更新、DAQプログラム作成を進めている。



鉛サンドイッチ型
検出器



Auger 水タンク



空気シャワー・モデル直接比較のための多チャンネル粒子弁別測定システムの開発
→ 将来のハイブリッドイベントを用いた空気シャワー・モデルの直接比較

TA地表粒子検出器による雷と関連する特異事象観測(E19)

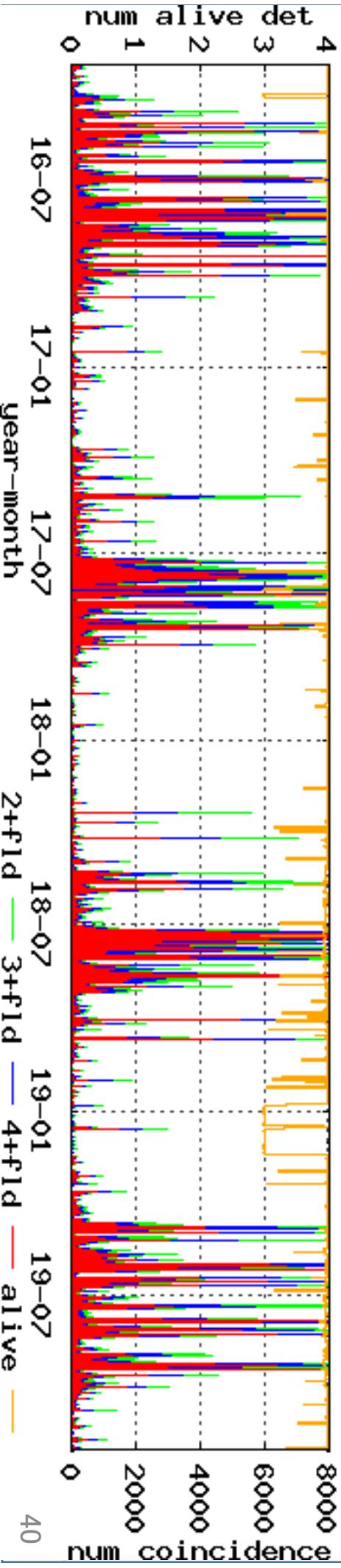
2016春
Solar LDD
2015秋
Solar LDC
Solar LDE
2015秋
Solar LDB
2014秋
Central LDA

△ Communication Tower
+ Central Laser Facility
★ FD station

雷放電検出時刻のみで放電位置を常に一意に決定するために必要な4台目の検出器を設置した2016年春以降、現在までリモートで安定した観測を行っている。放電検出の閾値を低く設定しているため、データ取得が溢れる場合があるが、自動的にデータ取得を再開する機能を2018年に追加した。

雷事象の解析作業中。

RUN 160310 – 191129
39.1
39.2
39.3
39.4
39.5



LD? は検出器名

Solar

LDB

Central

LDA

2014秋

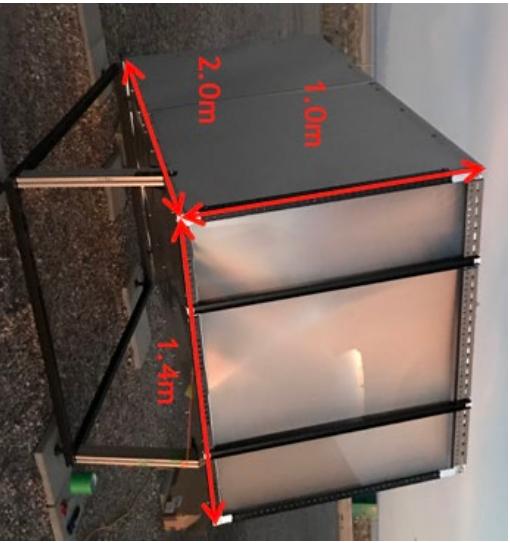
2015秋

2016春

CRAFT : Cosmic Ray Air Fluorescence

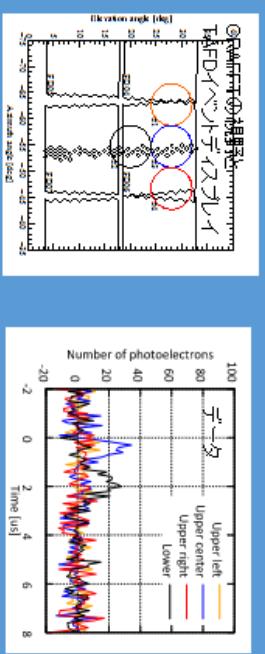
Fresnel lens Telescope

E18

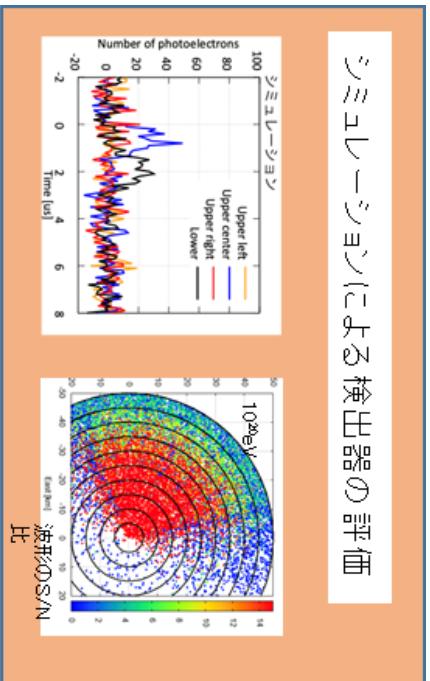


- ・ 超高エネルギー宇宙線観測のための簡易構造FD。
- ・ フレネルレンズと8インチPMTを用いた簡単な構造で低コスト化を実現。
- ・ 現行の望遠鏡の1/10程度
- ・ 2017年のテスト観測で空気シャワー検出可能であることを実証。
- ・ 超高エネルギー宇宙線の起源解明には以下が必須。
- ・ 質量組成の測定
- ・ 大統計による異方性の測定
- ・ 低コストな簡易構造FDで将来の超大空気シャワー陣列の実現を目指す。

試験観測で空気シャワー事象



シミュレーションによる検出器の評価



自動観測システム構築



- ・ 検出器シミュレーションによる検出効率の評価: 30km圏内の 10^{20} eVの空気シャワーを 9σ で検出可能。
- ・ 望遠鏡保護機構やセルフトリガーなど、完全自動化システムの構築。

まとめ

- TA実験： 2008年から無事に観測を継続。
- TALE実験：75台の地表検出器アレイ
10月にトリガーアクションを変更
 $10^{17} eV$ のシャワーに対する検出効率 ~60% (@400m)
- TAx4実験： 2019年2月-3月（設置許可）
 - TAx4検出器 通信施設 設置完了
 - 12/07日時点 地表検出器 ~ 90%稼動
 - 北側望遠鏡 とのハイブリッド観測開始
 - 南側望遠鏡 試験観測を行っている
- 関連観測 R&D
 - 雷との相関観測（奥田）
 - 空気シャワーの詳細測定のための開発（野中）
 - 新型大気蛍光望遠鏡 将来の測定方法のR&D（多米田）
 - 装置維持・運転・較正のための研究開発（木戸、畠田、山崎、竹田）
 - TAサイト 国際的な共同実験施設としての役割

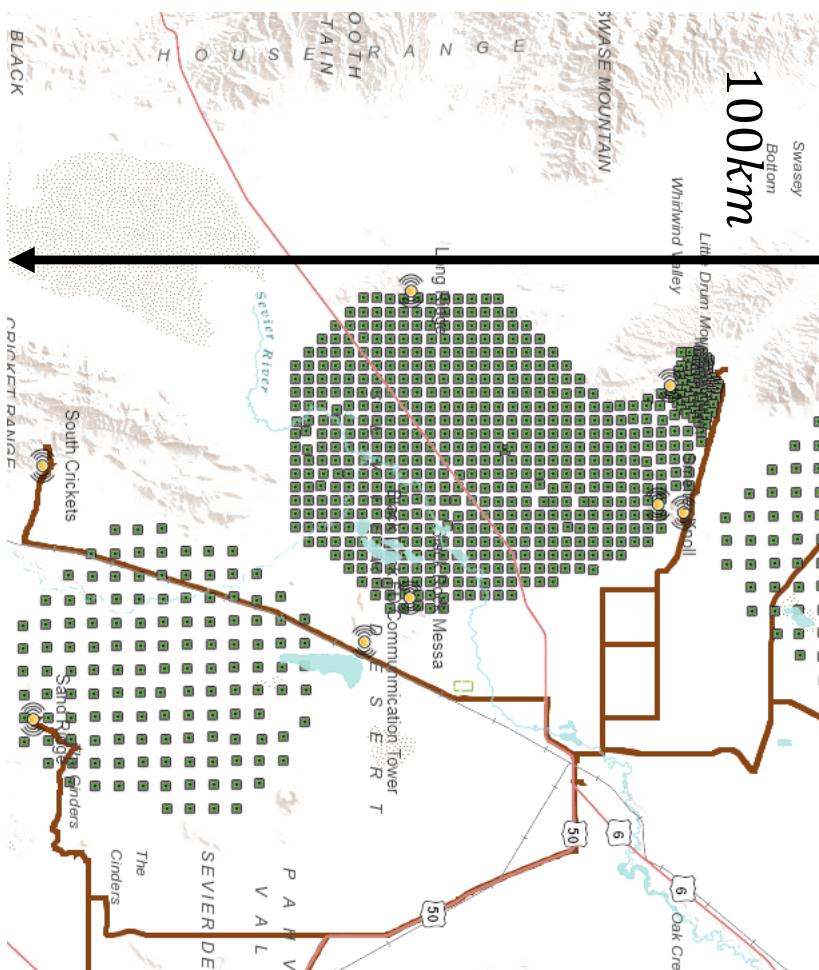
来年度もよろしくおねがいします。

Backup

各通信塔がババーナーするエリア

FISH SPRINGS RANGE
SWASEY FLAT
KEG MOUNTAIN
HORSE VALLEY
LITTLE VALLEY
KEG MOUNTAIN
DESERT MOUNTAIN
DESERT
BLACK RIVER RANGE

100km



アレイの設置と通信塔についての詳細は

PoS(ICRC2019)372

東京大学 空間情報科学研究中心

<https://arcg.is/0m0iLO>

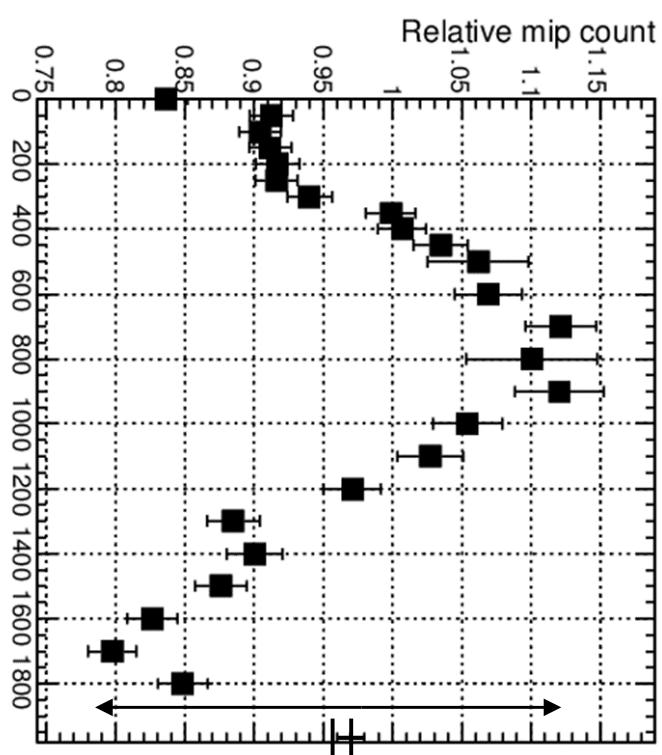
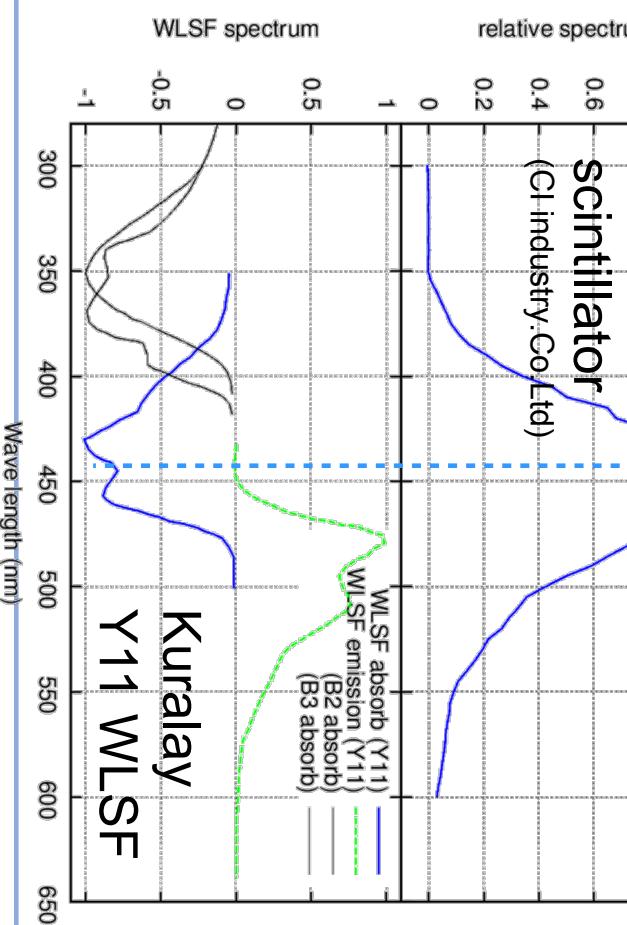
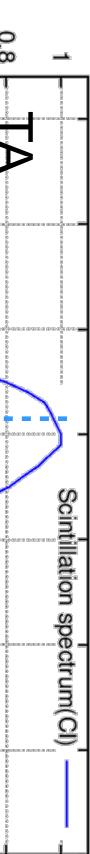
建設作業履歴 (通信塔のみ)

Date	Site	Work	Manpoer
19/02/06	BR	Deploy Solar panel stand	Shimodaira,Sekino,SOS,Nonaka
19/02/13	BR	Adjust level (horizontal), Install power system	Nonaka
19/02/16	MD	Deploy Solar panel stand	Sekino,Nonaka
19/02/17	MD	Bring back trailer from MD	Nonaka
19/02/19	MD	Install Solar panel stand @West of MDFF <-- Car accident SA team	Okuda,Nonaka
19/02/21	MD	Install power system	Nonaka
19/02/23	BR	Install Access point.	Nonaka
19/03/02	MD	Re position of Solar Panel stand	Gary
19/03/06	MD	Install long distance antenna , Install network instruments	Nonaka
19/03/07	SC	Lift up materials (Battery+solar panel stand + antenna pole (8m)) with helicopter	Nonaka
19/03/13	SN	Add Back-hoe loader complete installation of hardware @SNCT site	Nonaka
19/03/14	SN	Lift up materials (by heavy equipment) rain+wind left equipment @SNCT site	Nonaka
19/03/15	KM+DM	Add Back-hoe loader complete installation of hardware @SNCT start full function @ 17thAM。 Equipment are left at Millard county gravel pit	Nonaka
19/03/16	SN	Installation of power system+networks instruments almost complete, accident to break PoE power supply by reverse connection of power cable. 24V Power supply and Hub were gone. (Recovered on 03/17)	Nonaka Okuda Tim+4 Bob
19/03/17	SN	SNCT start work	Nonaka Okuda
19/03/18	KM	Start construction, Hardware install complete	Nonaka Okuda Tim+4
19/03/19	KM+DM	(AM)Install networks and misc hardware @KMCT稼動 (Okuda san left to SLC) Start construction DMCT	Nonaka Okuda Tim+4
19/03/20	DM+SC	(Nonaka)AM Preparation for SRCT deployment PM finish remaining works @DMCT start operation. (Tim) Anchoring @SCCT install Antenna pole (8m)	Nonaka
19/03/21	SR	Deploy materials for SRCT with helicopter Finish construction tower. Installation of power system was postponed due to heavy rain.	Nonaka Tim+4
19/03/22	SR	Installation of power system there was no serious rain at tower site. Complete.	Nonaka
19/03/23	BR	Antenna for BRFD-SRCT was installed @BRFD established the link (no fine adjustment of frequency)	Nonaka
19/03/24	--	(AM)Fly back to Japan	Nonaka
19/03/28	--	(SNCT 03/28 MD-SC stop communicate) ← photo	
19/04/26	--	PM arrive SLC着 (04/26 UTC 00h26 TALE AP problem)	
19/04/27	SN+DM	SNCT-MDCT adjustment of antenna, SNCT-DMCT Adjustment of frequency 5800MHz	Nonaka
19/04/28	SC	Install power system, Install of AP complete, but not powered on.	Nonaka
19/04/29	SC+SR	Power on SCCT, Install network system start long distance radio to BRFD SRCT change frequency of long distance radio. Start communication with 5800MHz	Nonaka
19/04/30	BR+SC	Adjust frequency @SCCT (5240MHz) SCCT was able to login to DAQ LAN from close load.	Nonaka
19/05/01	DM	Reinforce turnbuckle (Communication tower for TAx4 complete) Go to SLC> Japan	Nonaka

TAX4 (/TALE**) Detector**

Scintillator (TA, TAX4)

Light output of sampled slab



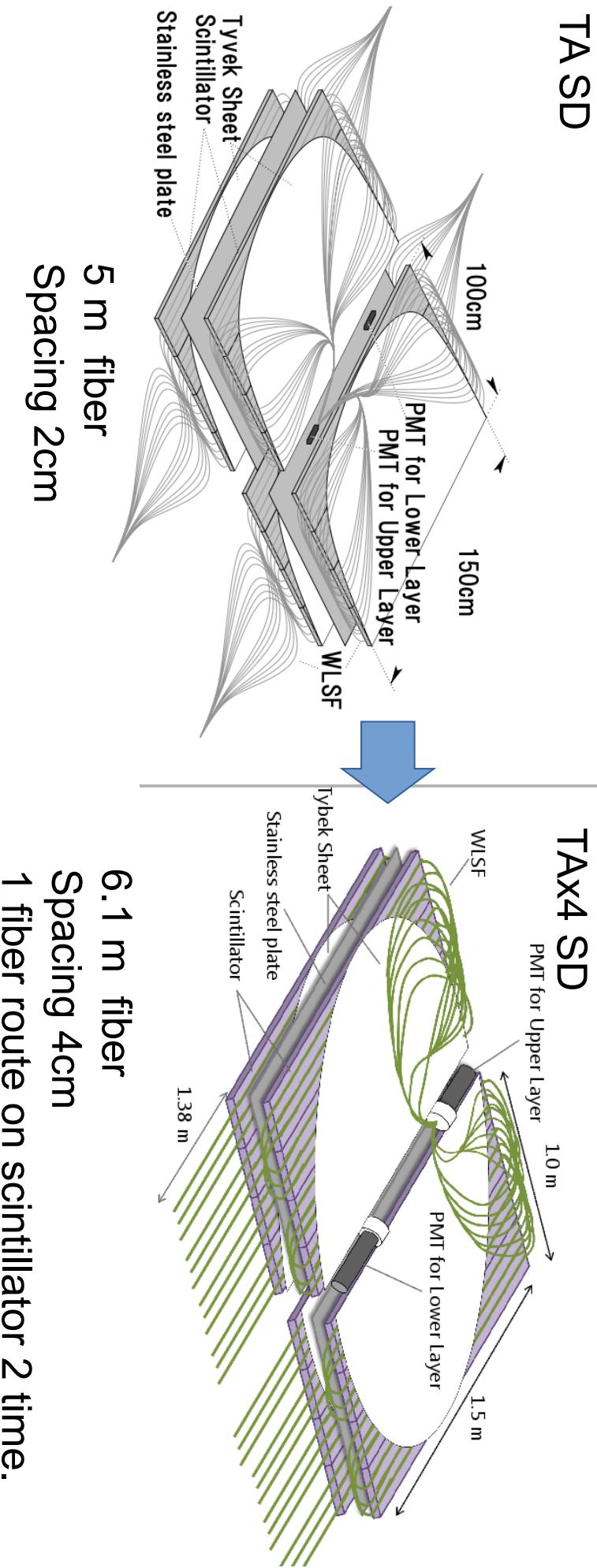
- We use plastic scintillators 12mm thickness
- Made with extrusion method.
- Wavelength match with Y11 fiber.
- Stability of light output quality is $\sim \pm 15\%$
- Slow variation along with serial No exist



Scintillators produced at closer period are used for a SD.

Wave length shifting fiber

- TAX4 uses WLSFiber , Kuraray Y-11(200). ($D=1.2\text{mm}$ $L=6.1\text{m}$ $\lambda_{\text{att}} \sim 3.7\text{m}$) same as TA except length of a fiber
- Fiber layout and number are changed to reduce assembly time and cost.

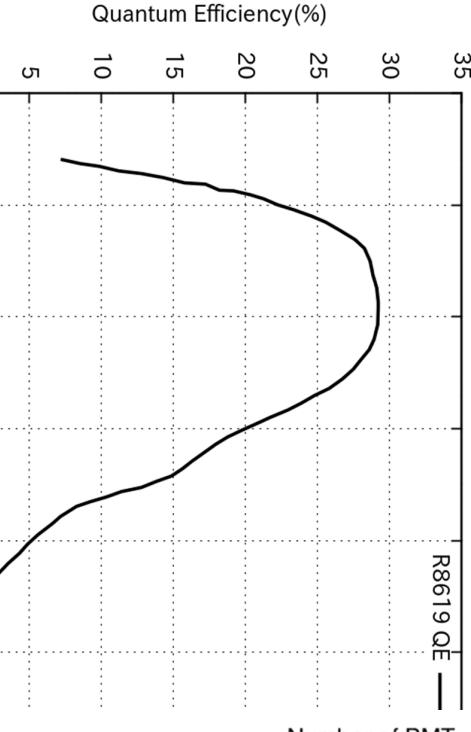


- Non uniformity is smaller than < 15% at measurement with test assembly.
- Less number of fiber to assemble gives shorter assemble time.
- Total length of fiber is < ~1/3. It gives cost reduction.

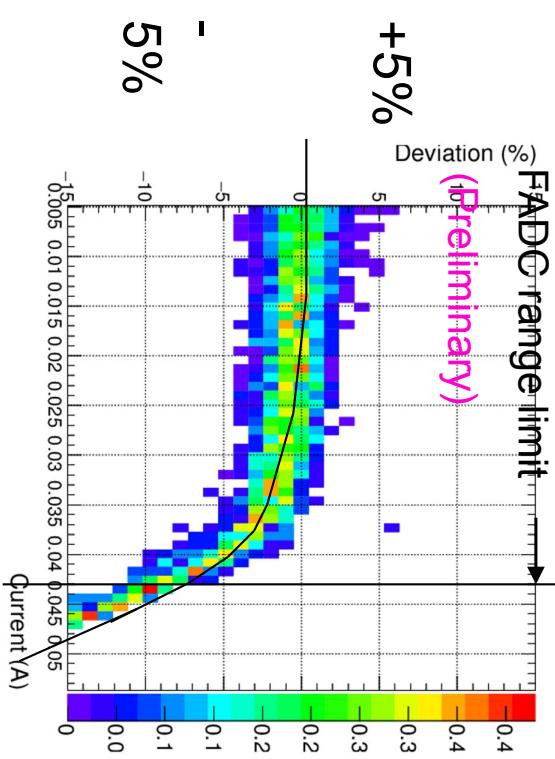
R&D by K.Saito
(ICRR)

Photomultiplier (TAx4)

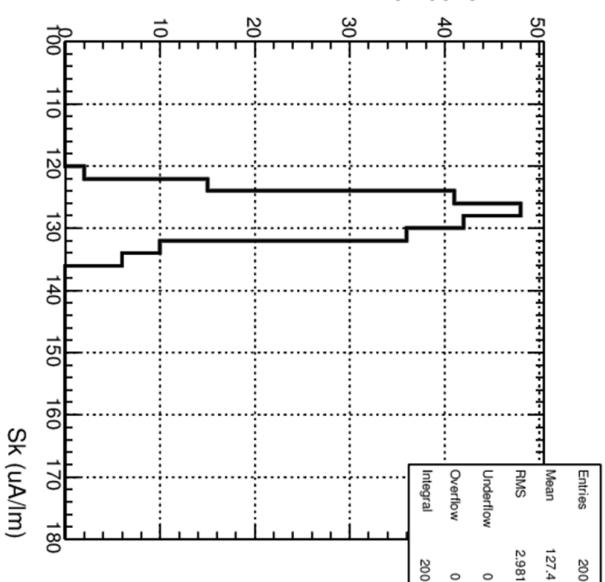
(R8619 Hamamatsu)



Linearity test for 200 tubes



- Hamamatsu PMT : R8619
(TA used ETL PMT)
- QE (~19%@500nm) ($\Delta k = 2.3$, $\Delta QE +2\%$)
- Linearity keeps within <7% level up to FADC limit
(Operated with 5×10^6 gain)
- uniform characteristics



PMT assembly

(R8619 Hamamatsu)

- Fibers are bundled with epoxy glue with this holder.
- Holder is made of (polyoxymethylene) POM.
- After epoxy become solid (~8hr), end of fiber are polished, to make the end to be flat and smooth.



4x $\Phi 3$ thread (depth 3mm) + Optical grease



TA fiber
bundle



TAX4 fiber
bundle



Seems
Increase
Photo
electron

acrylic → polyoxymethylene (POM)

Probably due to transparency of holder
Observed increase of observed photon

- Attach with PMT as shown in left bottom picture.

- Vibration test to check effect of long term transportation.
No problem in mechanically and also in response found.

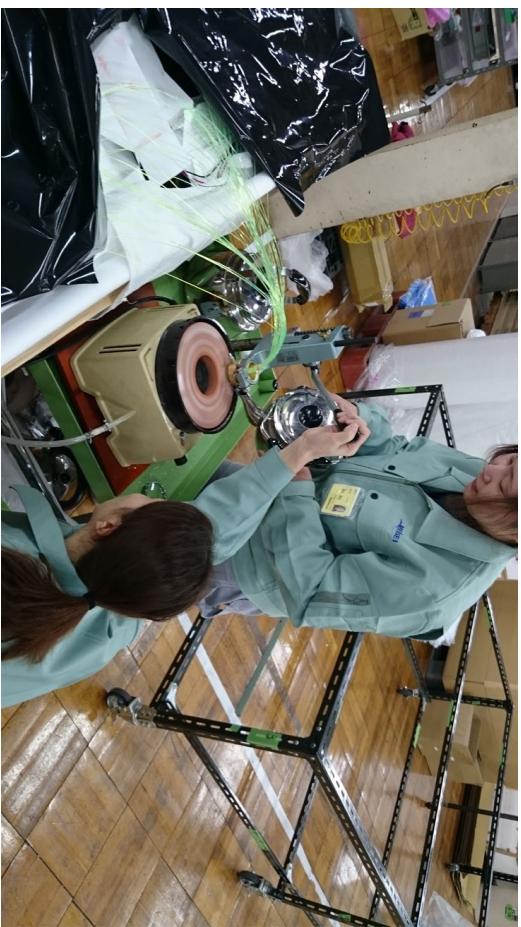
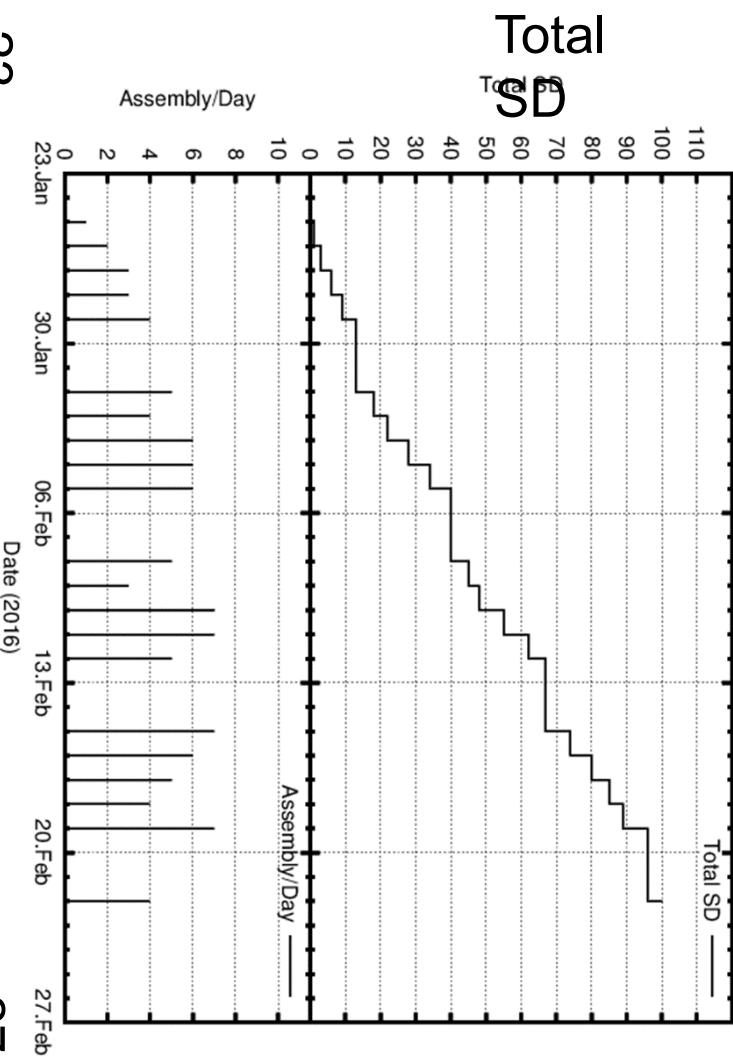
Assembly of detector (2)

We transmitted our recipe about fabrication of detector (including work flow) to a company for assembling a SD

(Make 2 team for assembly)

- Work start ~08:30 end <17:30
- Average 5SDs are produced in a day.
- 100 SDs in one month.

Assembly 25.Jan - 22.Feb Iseazaki Japan



Jan

23.

27. Feb

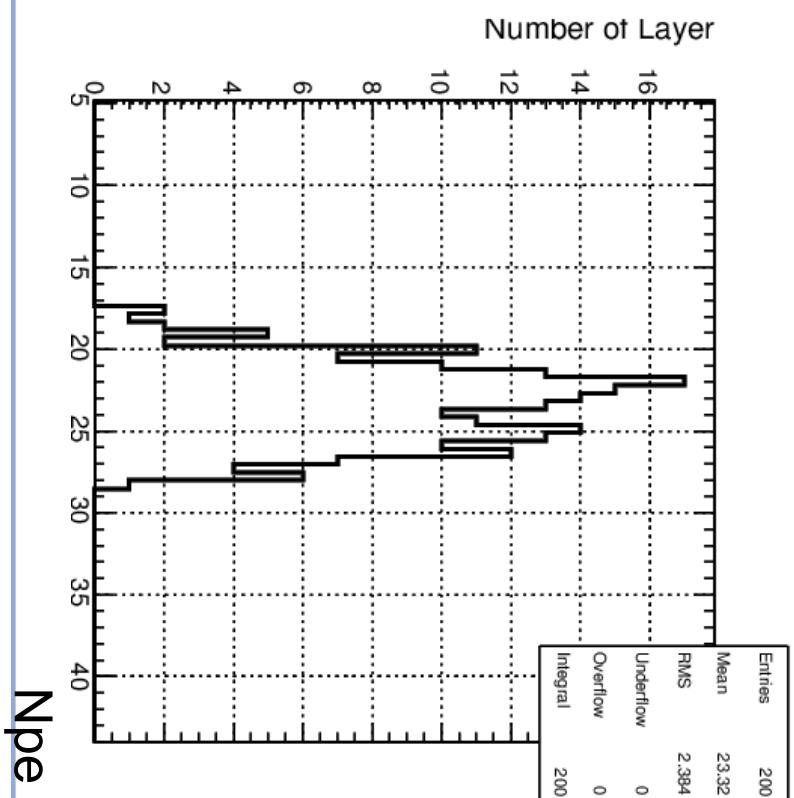
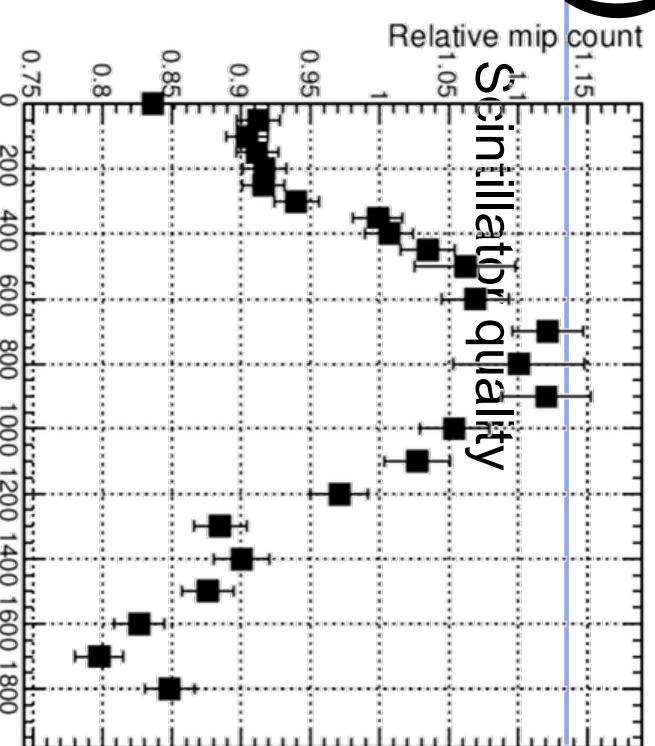
Assembly of detector (3)

- Result from assembled actual TAX4 SD.
 $N_{pe} / 1mip = 23.3 \pm 2.3$ (photo-electron)

- right side plots shows correlation scintillator serial # and SD.

Good quality of work

(K.Sekino,E.kido,K.Saito, and Meisei Electronics Co.ltd)



Npe

SD assembly in Japan, Korea, US

This summer – Autumn

30 SDs SKKU (Korea) 2 PhD. Students+ 1 engineer
for 1.5 months Aug - Oct

Assembly SDs in Oct.



25 SDs Akeno (Japan) Aug ~ 10 people for ~ 1 week

Transport
scinti. boxes



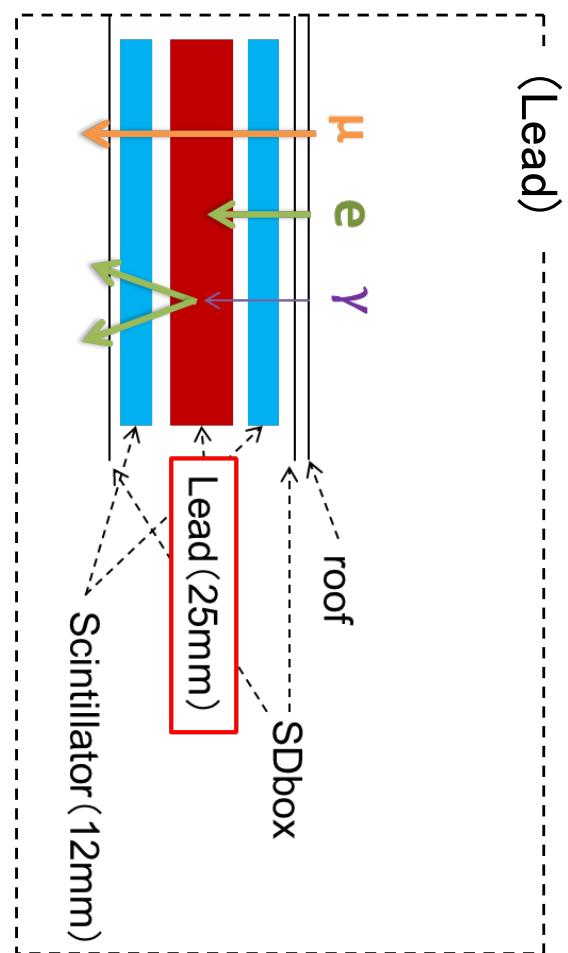
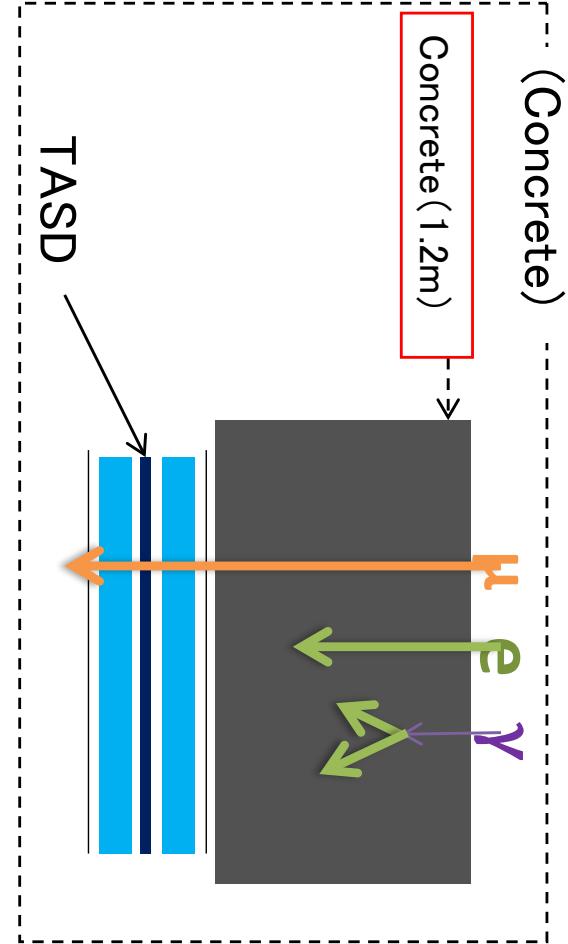
Kido, Sekino, Shimodaira
Korean 2 students
(hopefully)
+ 4 part-time workers

~1 month

検出器R & D

Auger+TA-- 相互比較

検出器R&D



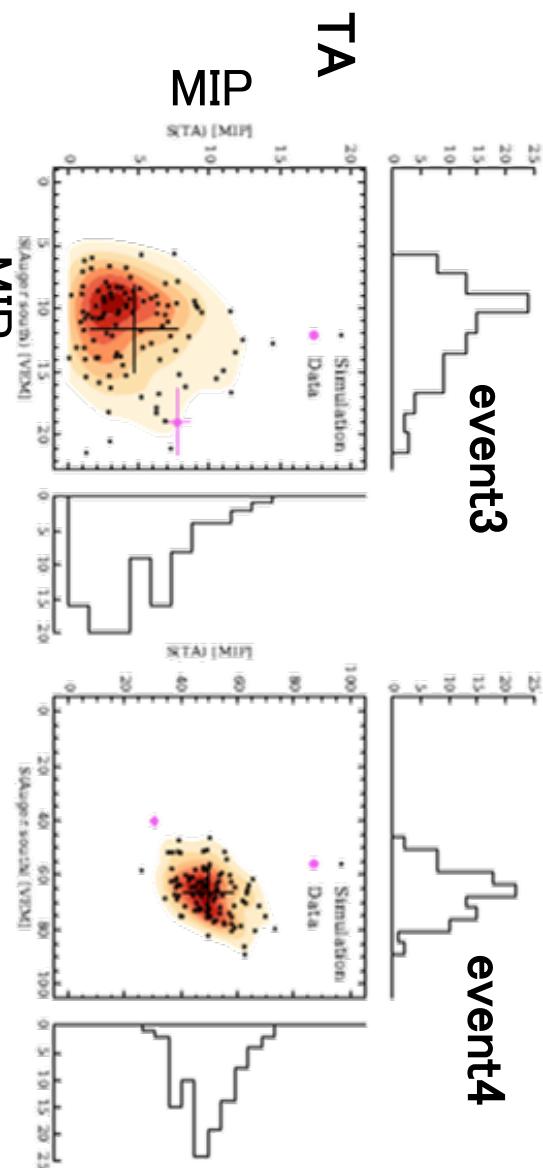
- ◇ Concrete shield detector
- ◇ Measure high energy muon
- ◇ Lead inserted detector
- Measure low energy muon and Em component
- + Auger North,(south) detector (new)
- Compare response to same shower with TASD, N_{μ}**



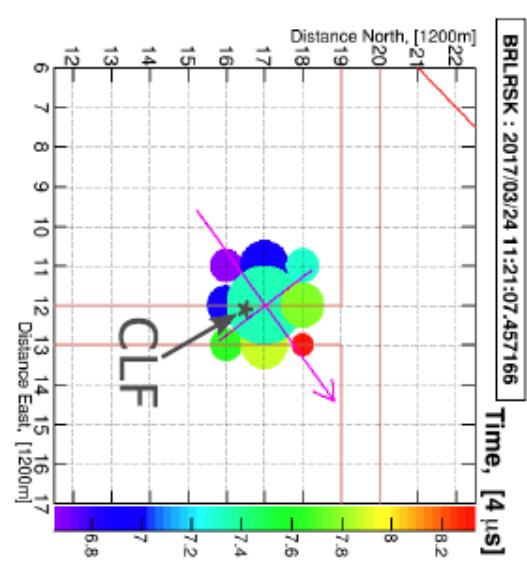
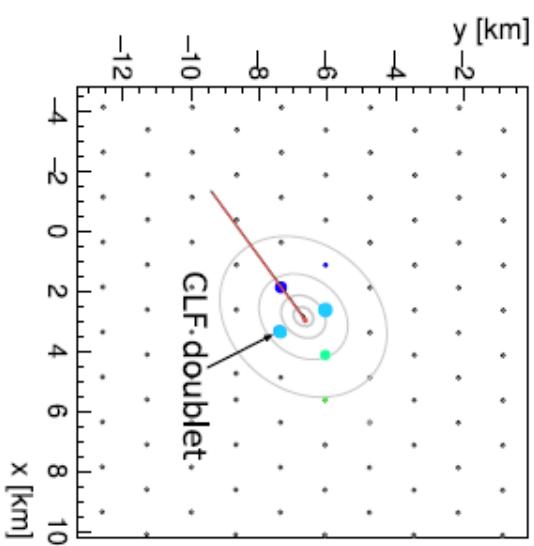
	E_{th}	**
Concrete(1.2m)	600MeV	~100% mu
Lead (25mm)	(70MeV)	Sensitive to EM, μ
WT(120cm)(new)	(~300MeV)	Sensitive to μ (Em)

TA-Auger 相互比較

Geometry , Energy (TA)
 MC Auger 検出器シミュレーション 100event を生成
 TA, Augerの信号の応答を比較



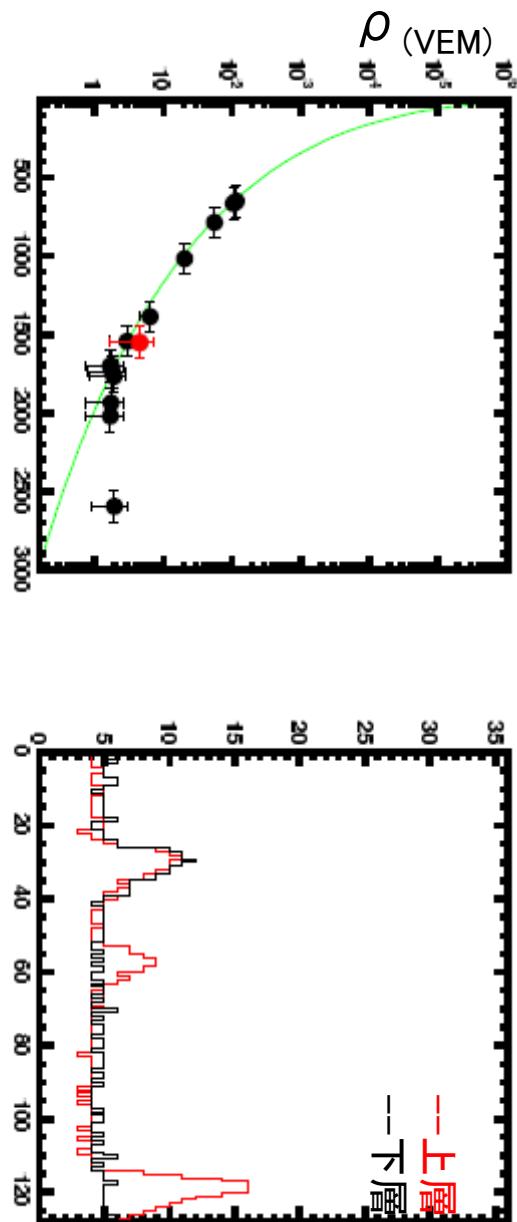
Simulation tool Auger



鉛サンドイッチ型 粒子検出器の波形

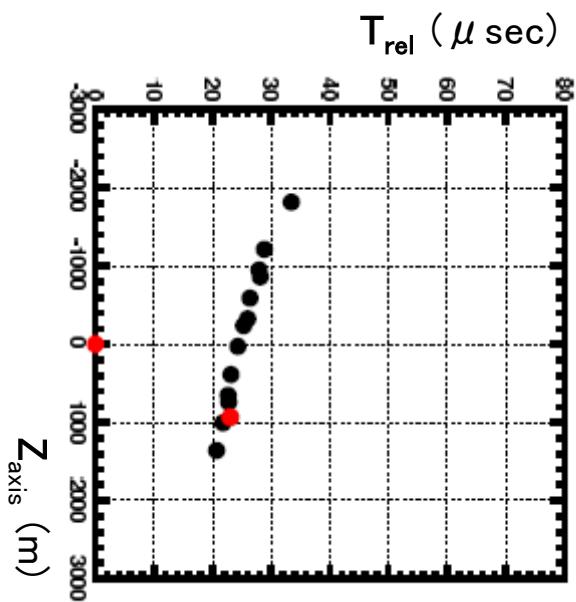
2014/01/24 04:26:03

μ 検出器の波形



天頂角 37°
エネルギー 17EeV
シャワー軸からの検出器距離 1550m
(左上) 横方向分布
(左下) タイミング
(上) 観測波形

N_μ : 波形 1 電荷 2.0



4 com-towers have 12m tower mast

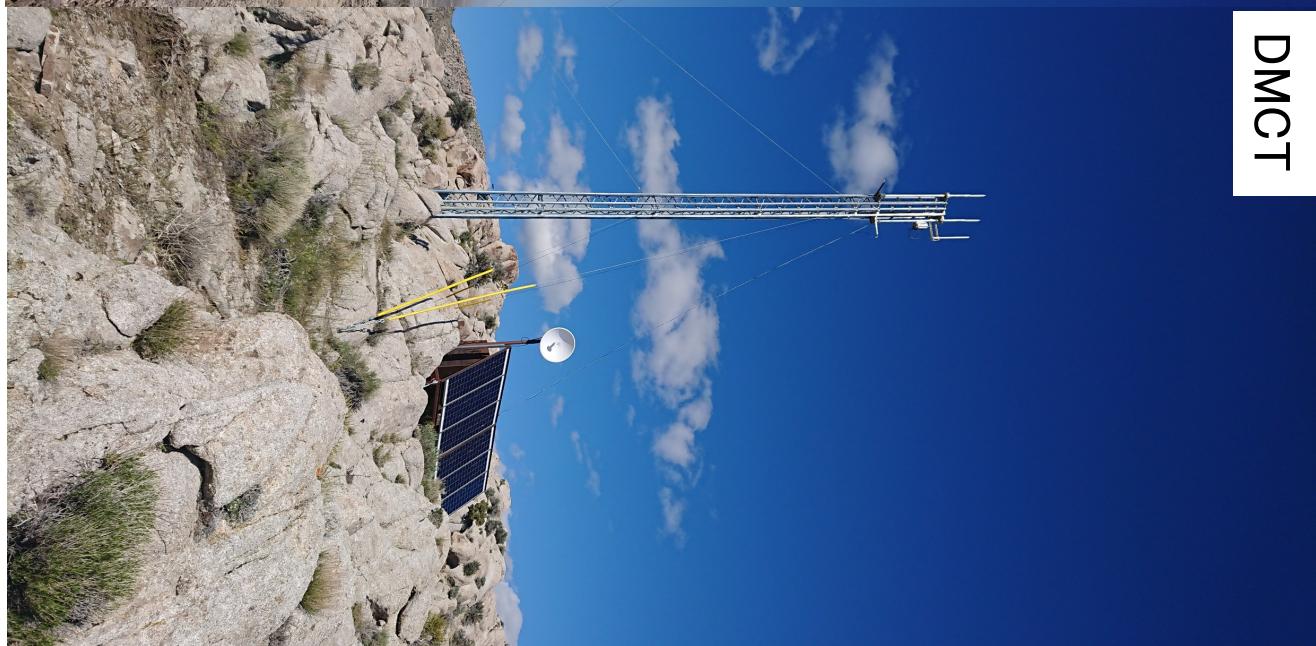
SRCT



SNCT

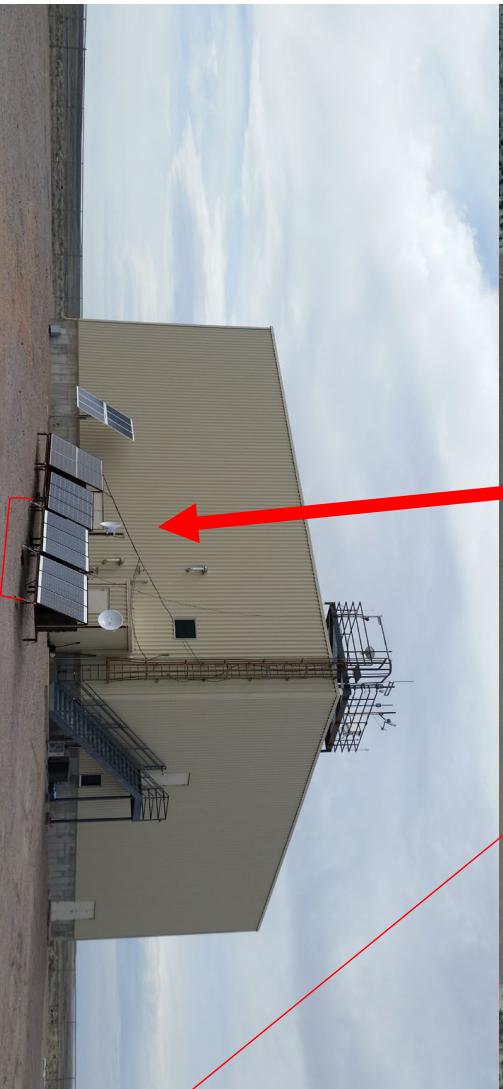


DMCT

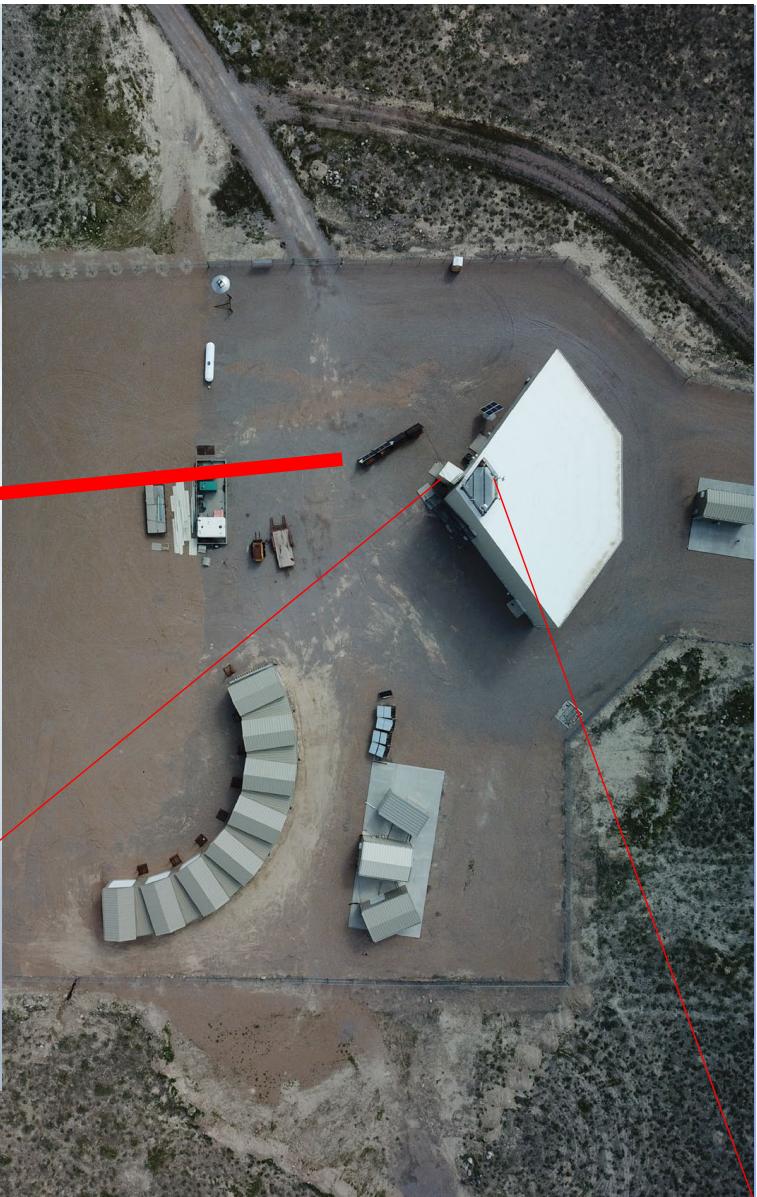




BRFD



New solar stand
+2 Long Distance Antenna

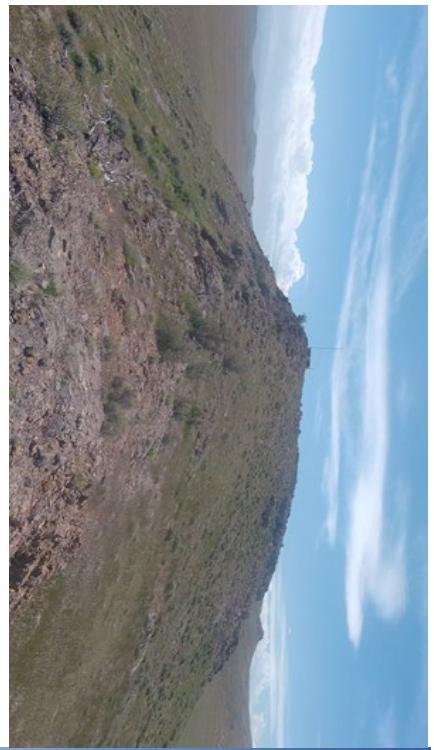


All tower have AP and antenna

15dBi Colinear antenna

SCCT

Since SCCT is located on top of hill, We do not construct tower. (enough high)



For tilt down, extra length of
PoE cable will be needed,
Release this spool to give
enough length.