



テレスコープアレイグループ

荻尾 彰一

2023年6月10日



ICRC2023

38th International Cosmic Ray Conference

The Astroparticle Physics Conference

Nagoya, Japan

Jul 26–Aug 3, 2023 (Hybrid)

Covered Topics and International Science Program Committee Chairs

Cosmic-Ray Physics (Direct, CRD): Elena Amato
Cosmic-Ray Physics (Indirect, CRI): Bruce Dawson
Gamma-Ray Astronomy (GA): Sara Buson
Neutrino Astronomy & Physics (NU): Jenni Adams
Solar & Heliospheric Physics (SH): Veronica Bindi
Dark Matter Physics (DM): Susana Cebrián Guajardo
Multi Messenger and Gravitational Wave (MM&GW): Kohta Murase
Outreach & Education (O&E): Carla Aramo

International Advisory Committee (IAC)

Imre Bartos	Pankaj Jain
Riccardo Catena	Takaaki Kajita (Chair)
Yuan-Hann Chang	Subir Sarkar
Carola Chinelatto	Seon-Hee Seo
Christina M. S. Cohen (Secretary)	Du Toit Strauss
Florenza Donato	Sergey Troitsky
Veronique Van Elewyck	Ilya Usoskin
Ralph Engel (Vice-Chair)	Zhiguo Yao

Local Organizing Committee

Shoichi Ogio (Chair)
Yoshitaka Itow (Co-Chair)
Takashi Sako (Co-Chair)
and many



第38回宇宙線国際会議@名古屋大学
7月26日ー8月3日

講演しない学生さんのオンライン参加は無料



info@icrc2023.org
www.icrc2023.org



「光で見えない宇宙をみる」

講演者：梶田 隆章

東京大学宇宙線研究所教授
2015年ノーベル物理学賞受賞者

2023年7月30日 14:00 開演

会場：名古屋大学東山キャンパス
豊田講堂ホール

およびオンラインライブ配信

(予定変更の場合は下記のウェブサイトでお知らせします)



私たちの宇宙像は、望遠鏡などの宇宙を見る装置の発展とともに進化してきました。そして現在、重力波、ニュートリノ、ガンマ線など、今までとは全く違う方法で宇宙を調べる事が可能な時代になってきました。本講演ではこれらの新しい方法で宇宙を見て何が分かったか、これから何が分かりそうかについてお話しします。

梶田 隆章



対象：中学生以上
参加費：無料
要・事前申し込み

詳細情報はこちらから

https://www.icrc2023.org/public_lecture/



第38回宇宙線国際会議@名古屋大学
7月26日-8月3日

一般講演会

オンライン配信もあります
事前申し込み受付中

宇宙線

- ・ 宇宙を飛び交う、高エネルギーの粒子
- ・ 主成分は陽子 = 水素の原子核
- ・ (通常) 10^8 eV以上 (のものを指す)
- ・ (大概) プラスの電荷を持つ

Proton

Photon

Neutrino



電磁波と違ってまっすぐ飛ばない
(そこが問題であり、重要なところでもある)

万物の不思議を探る。
知性と感性を磨く。
社会にはばたく力を養う。
そのすべてが、ここでかなう

宇宙を見る

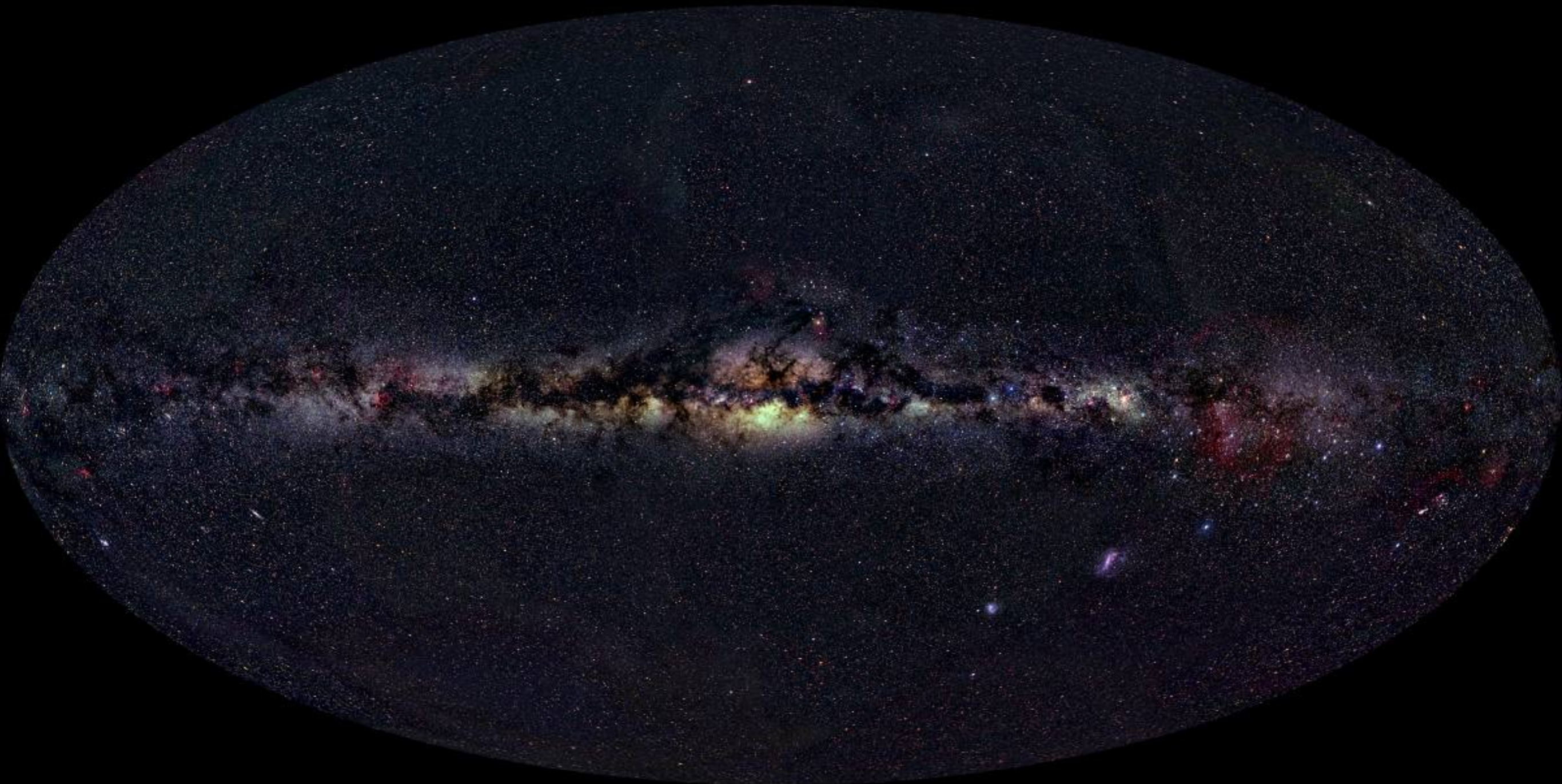
これは「目に見える光＝可視光」で見た空

Osaka City University

大阪市立大学

米国ユタ州にある望遠鏡アレイ実験施設。ここで、大阪市立大学理学研究科宇宙線物理学研究室をはじめ、日、米、露、韓、ベルギーの34の大学・研究所が宇宙線を観測している

全天 (天の川基準)



これは「目に見える光＝可視光」で見た空

アンドロメダ大星雲 (M31)

エネルギーが違くと、見えかたも違う
エネルギーの違いは、光っているものや仕組みの違い

電波
0.000001 eV

赤外線
0.01 eV

可視光
1 eV

紫外線
10 eV

エックス線
1,000 eV



我々の研究で解明したいこと

- 大きなエネルギーはどこまで？
- その仕組み = 宇宙最大の
高エネルギー現象とは？

大きなエネルギーはどこまで？
観測史上最高エネルギーは
300,000,000,000,000,000,000,000,000eV
= 3かける10の20乗 = 3×10^{20} eV

最高エネルギー宇宙線

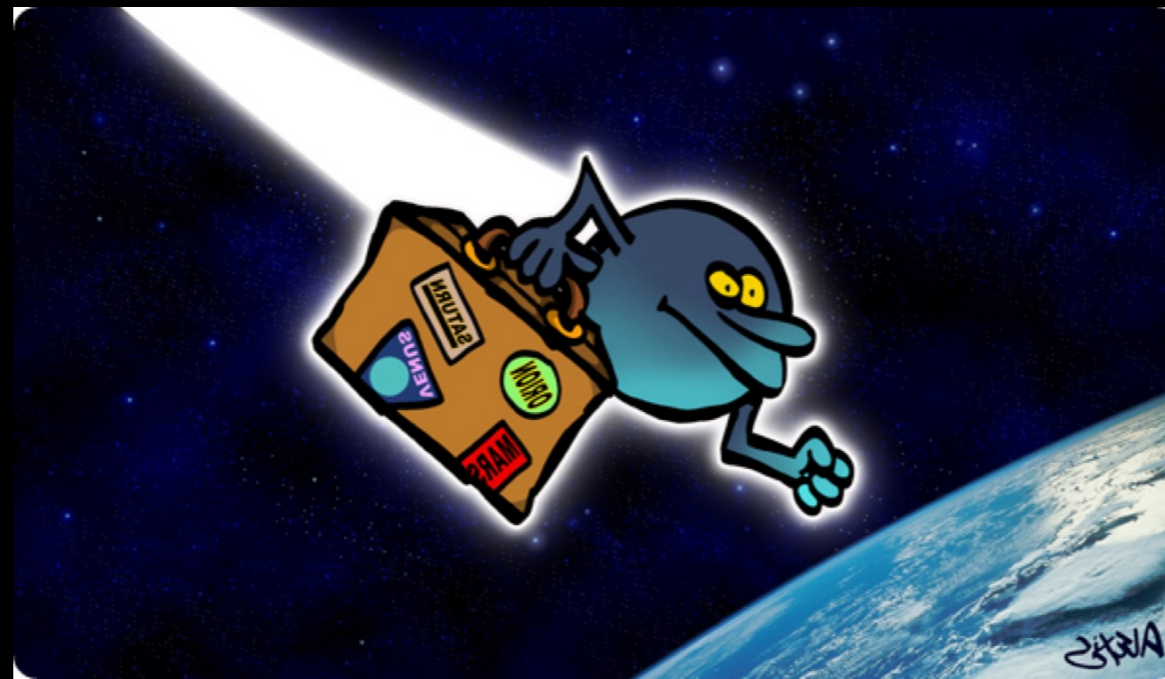


①そのエネルギーは？

$= 3 \times 10^{20} \text{eV}$
可視光より20桁以上大きい
(観測史上最高記録)

②その源は？

? わかっていません
候補は活動的銀河、
銀河中心核など



③どのくらいの到来頻度？

とても少ない！
～1km²に100年に1個
→巨大な検出器が必要！

最高エネルギー
宇宙線

巨大な「何」を作ればいい？

方法①地表粒子検出

方法②大気蛍光検出

10^{20} eV

→1000億個のものもの粒子群
「空気シャワー」

どちらか1つの方法の装置は過去にもあった。
100km²の大きさ



もっと大きく、10倍=1000km²はほしい
①、②の両方にすると、グッと性能が良くなる



作りました！（2003年建設開始、2008年稼働）
①+②の「ハイブリッド観測装置」



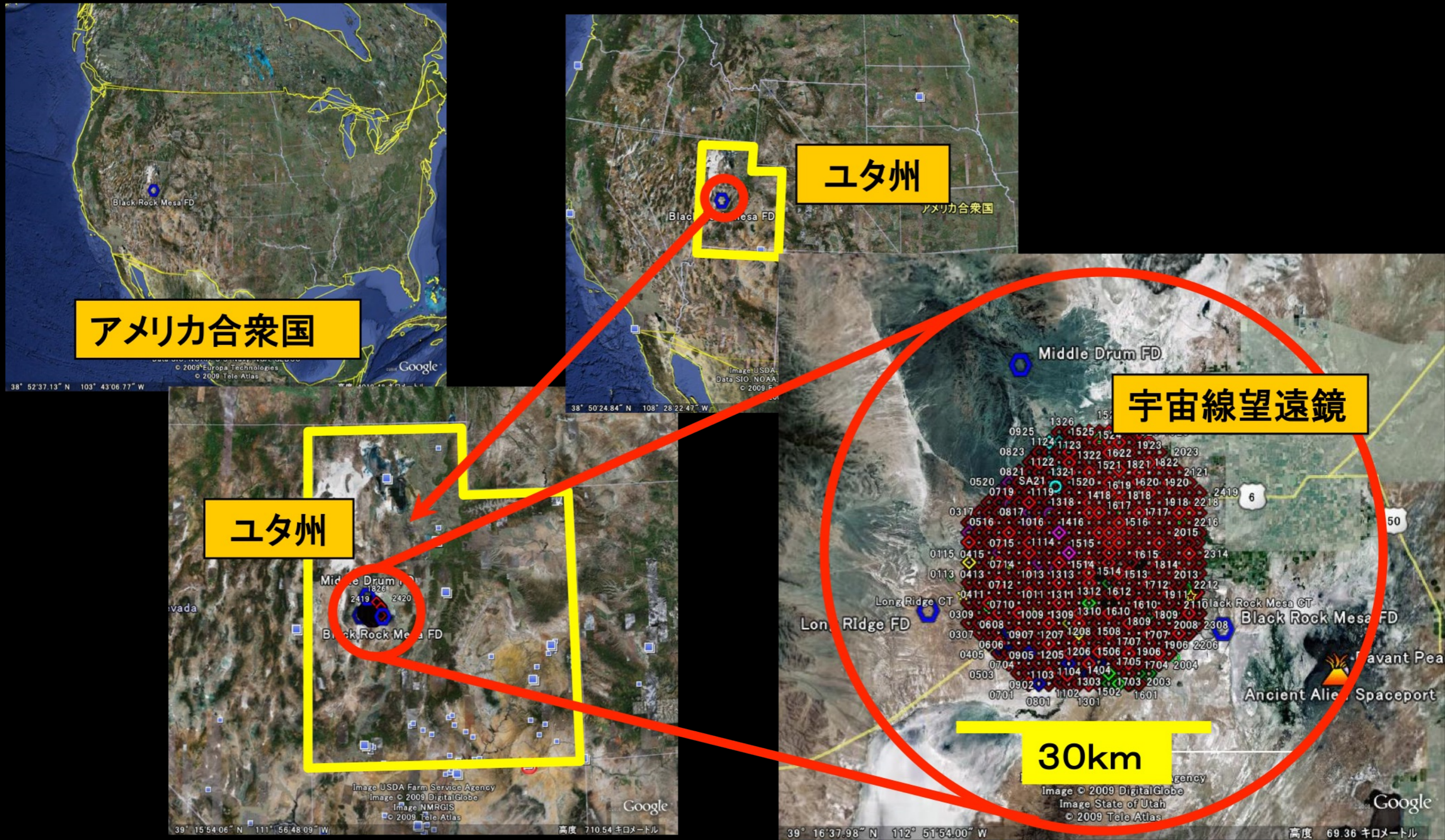
テレスコープアレイ (TA) 実験

- 日本、米国、ロシア、韓国、ベルギー、チェコ、スロベニア
- 32研究機関、約140人の共同研究者
- 2003年から建設開始、2008年完成

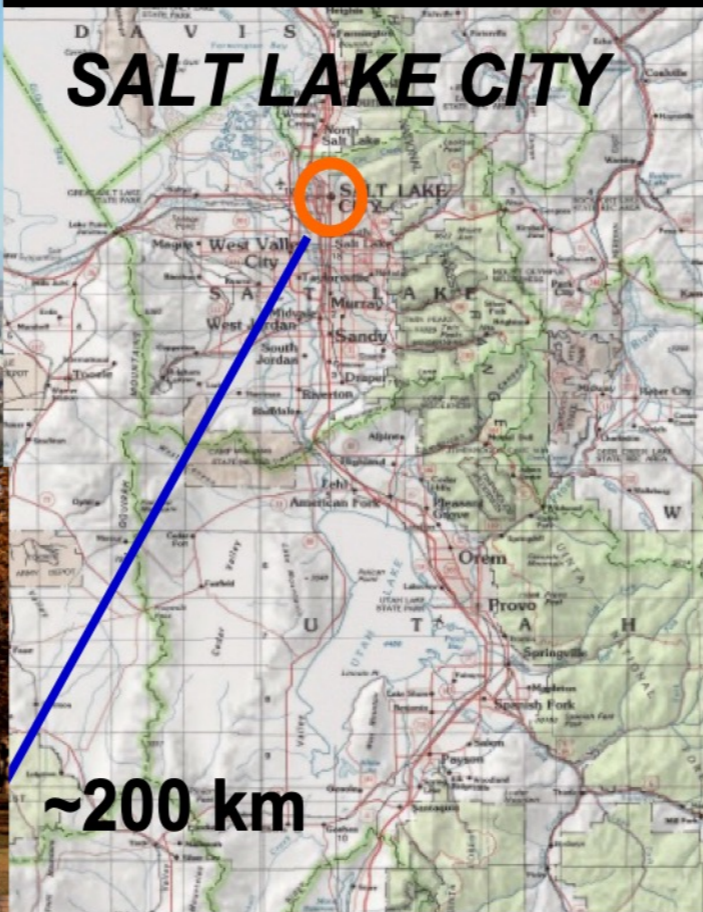


TA実験国際グループ全体会議@平昌 (韓国) Dec. 2019

テレススコープアレイ (TA) 実験



テレスコープアレイ (TA) 実験

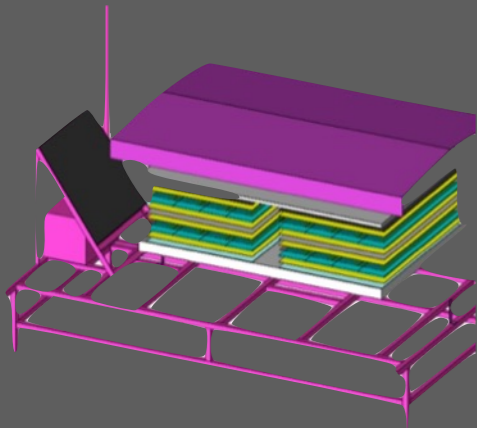


ユタ大学附属
ミラード郡宇宙線研究センター



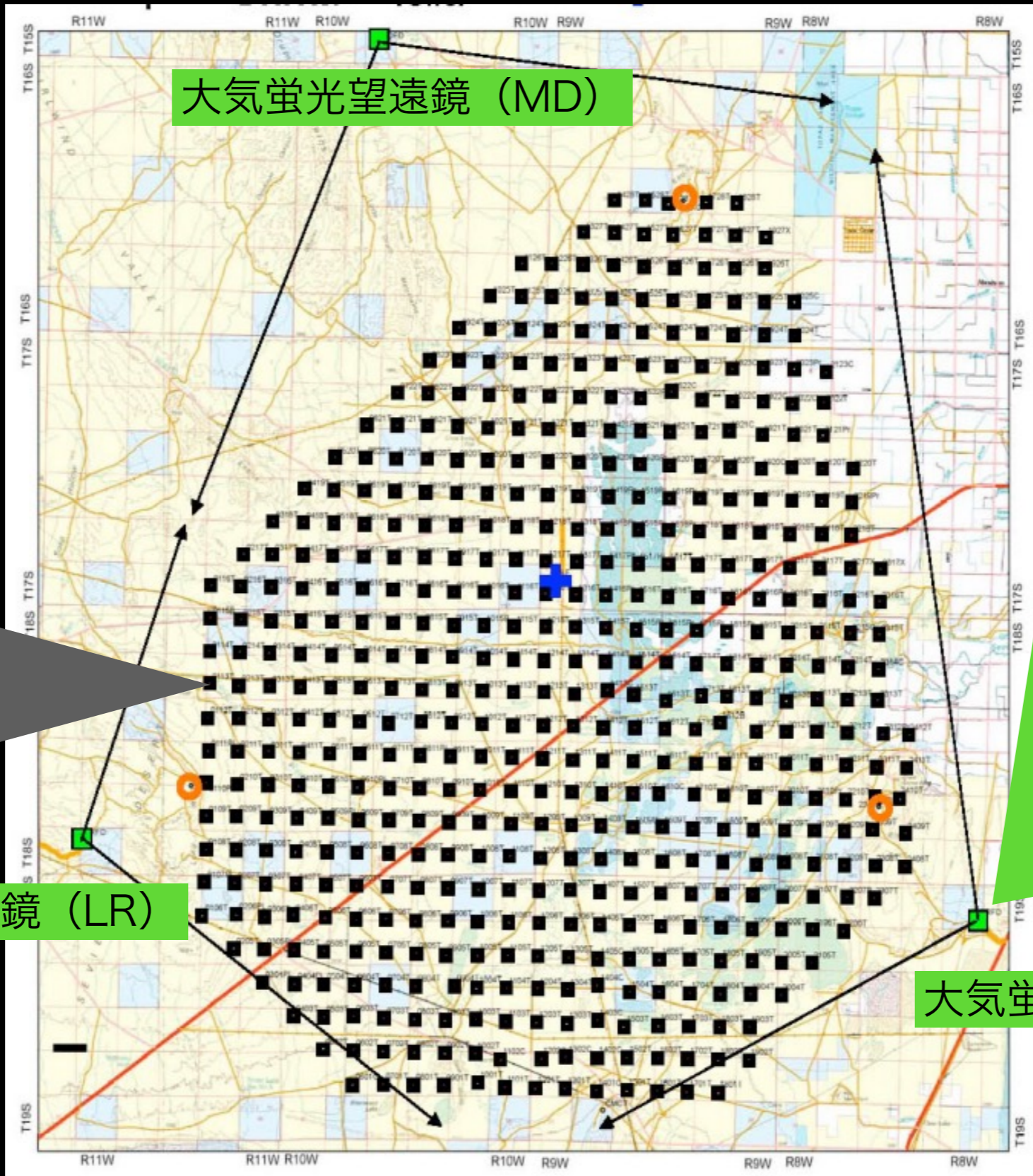
ハイブリッド観測装置

地表粒子検出器
3m²、507台
1.2km間隔



大気蛍光望遠鏡 (LR)

大気蛍光望遠鏡 (MD)



大気蛍光望遠鏡 (BRM)

大気蛍光望遠鏡
口径3m、38台
3カ所





川越

さいたま

柏

我孫子支線

京成成

西武新宿線
中央線

東京スカイツリー

総武線

京葉線

南武線

千葉

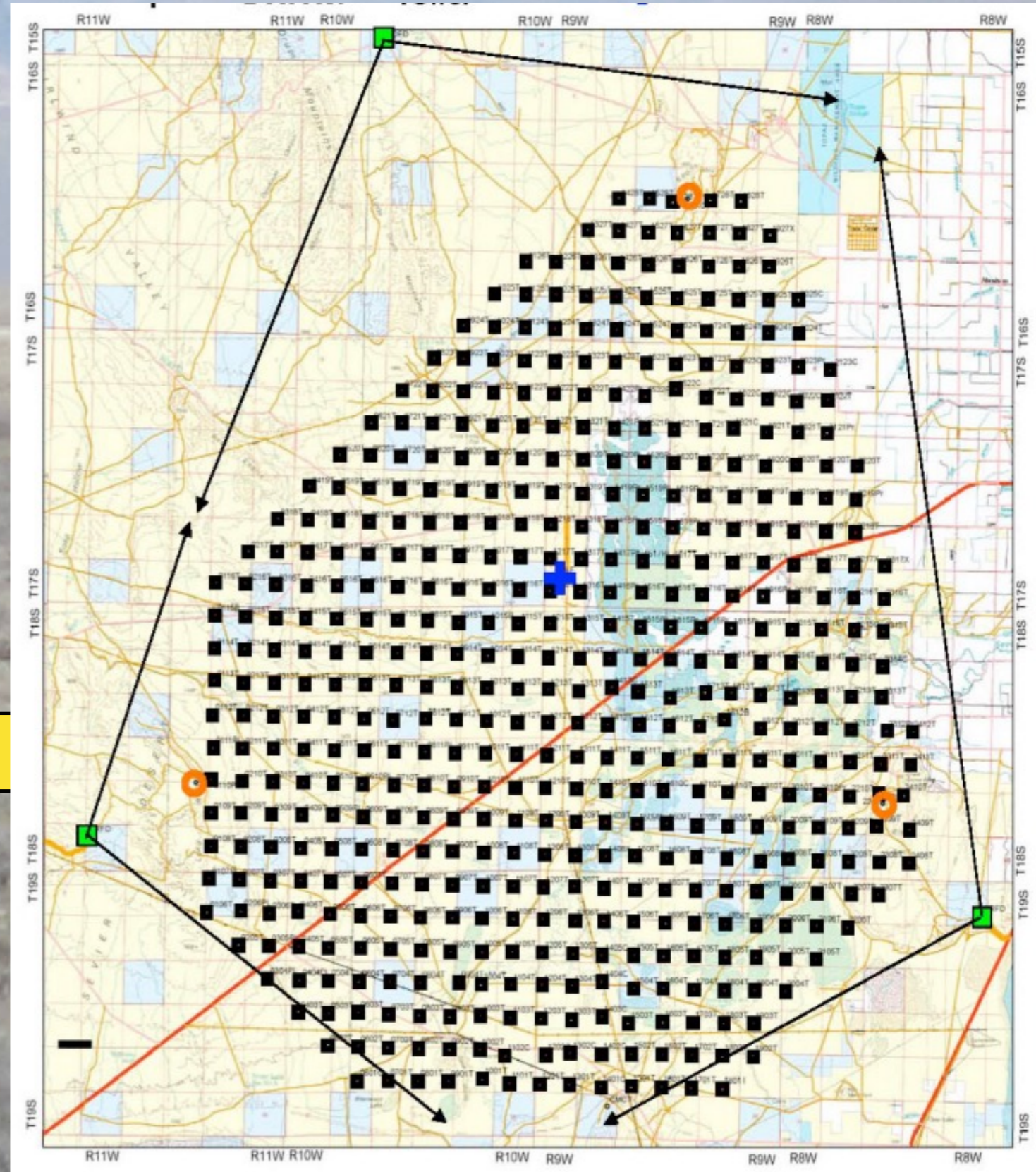
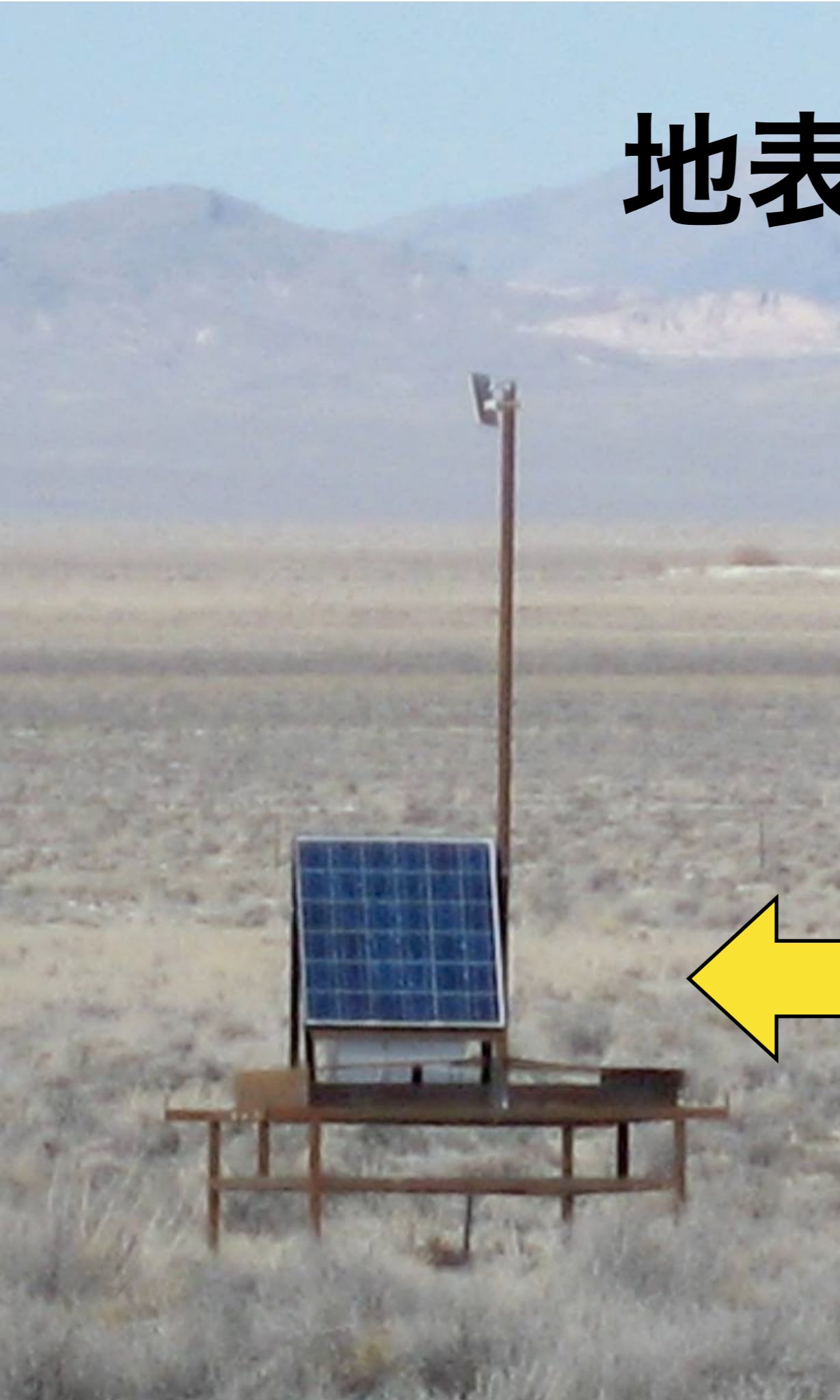
川崎

横浜線

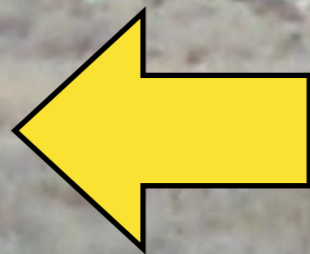
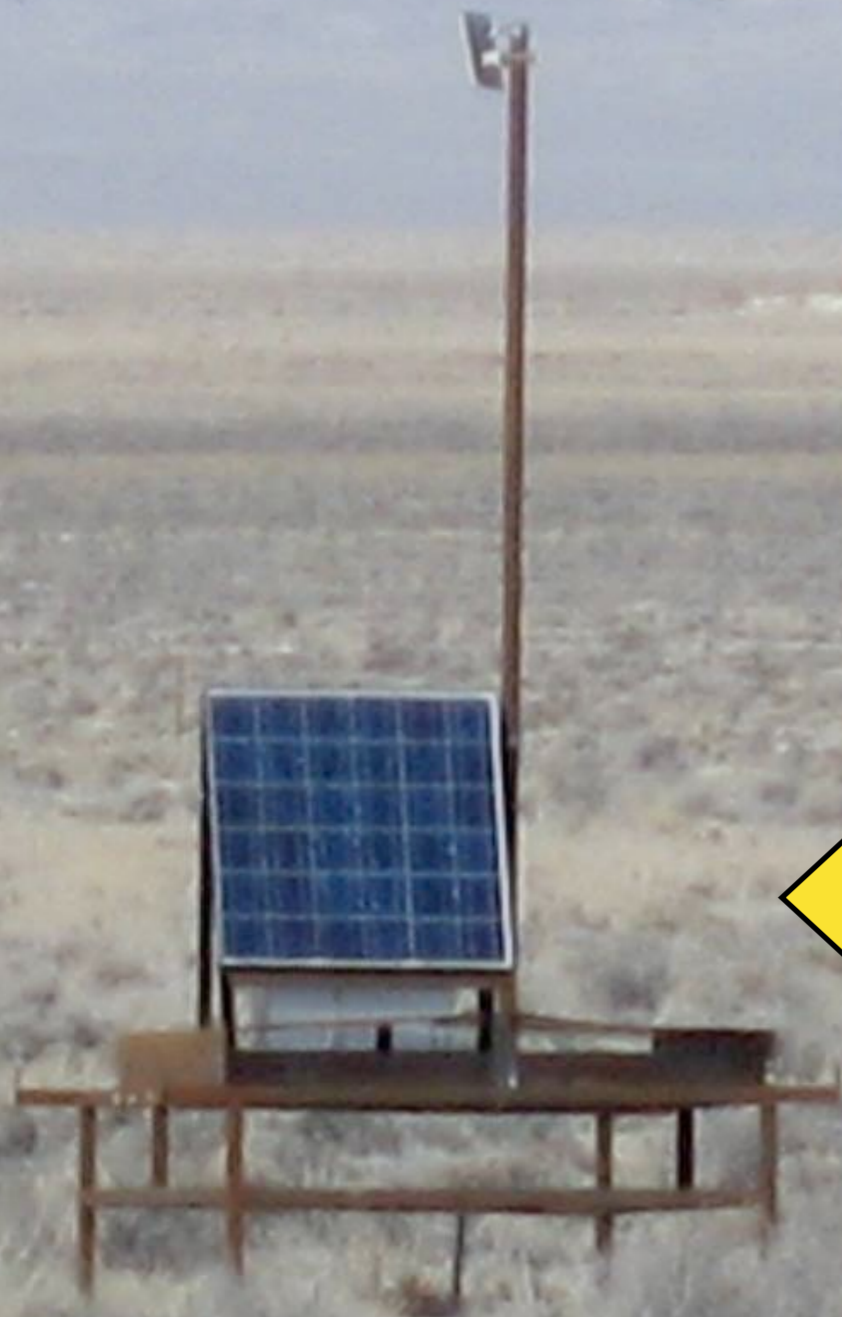
市原

市原

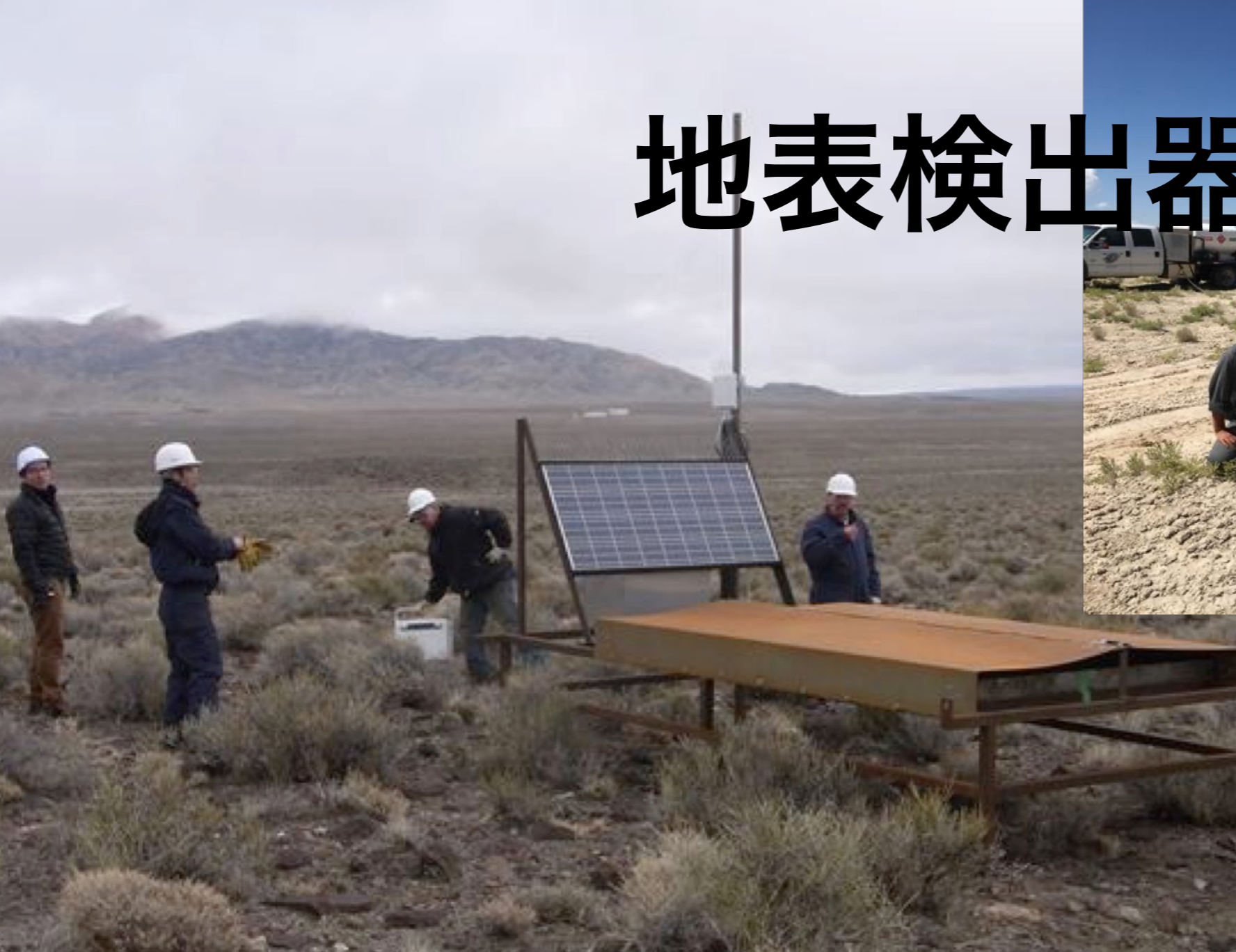
地表検出器



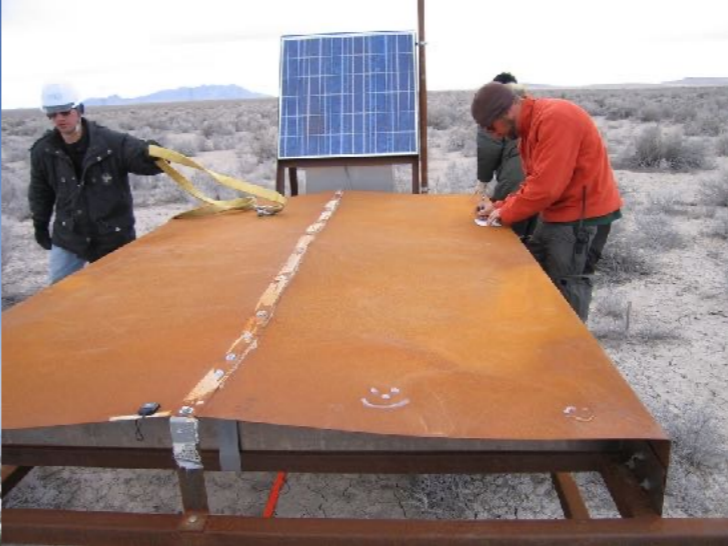
地表検出器



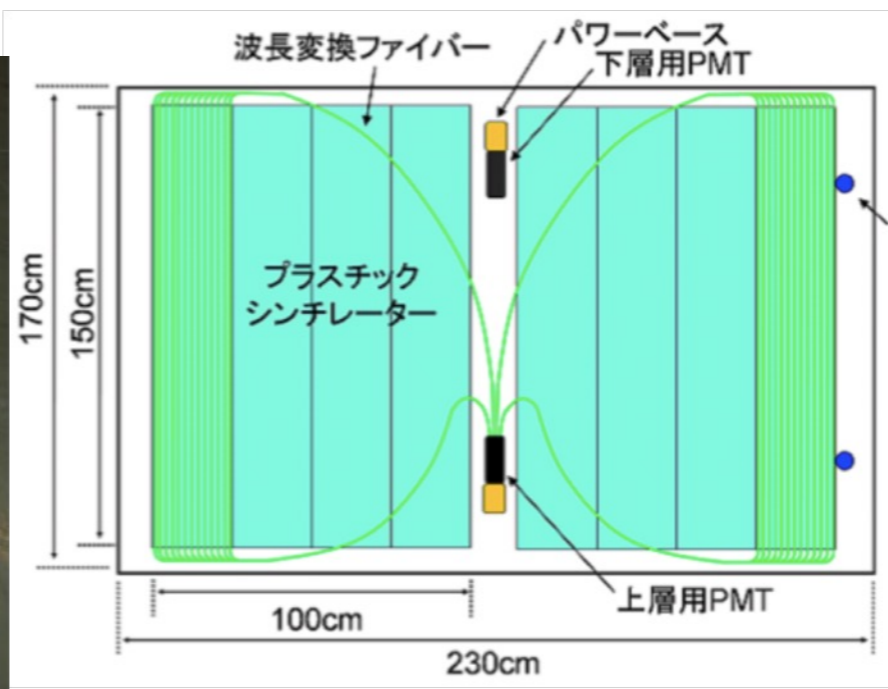
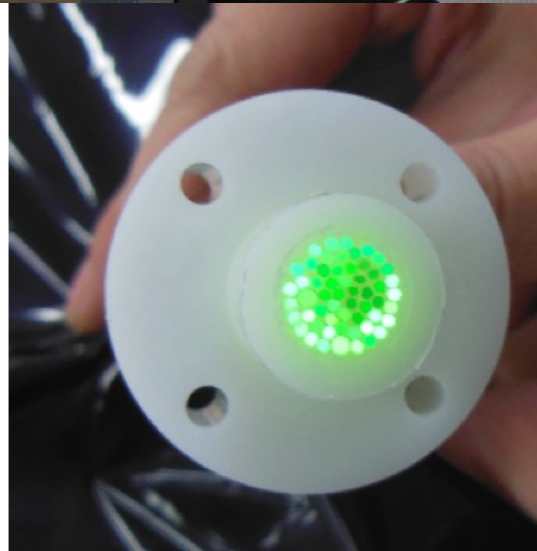
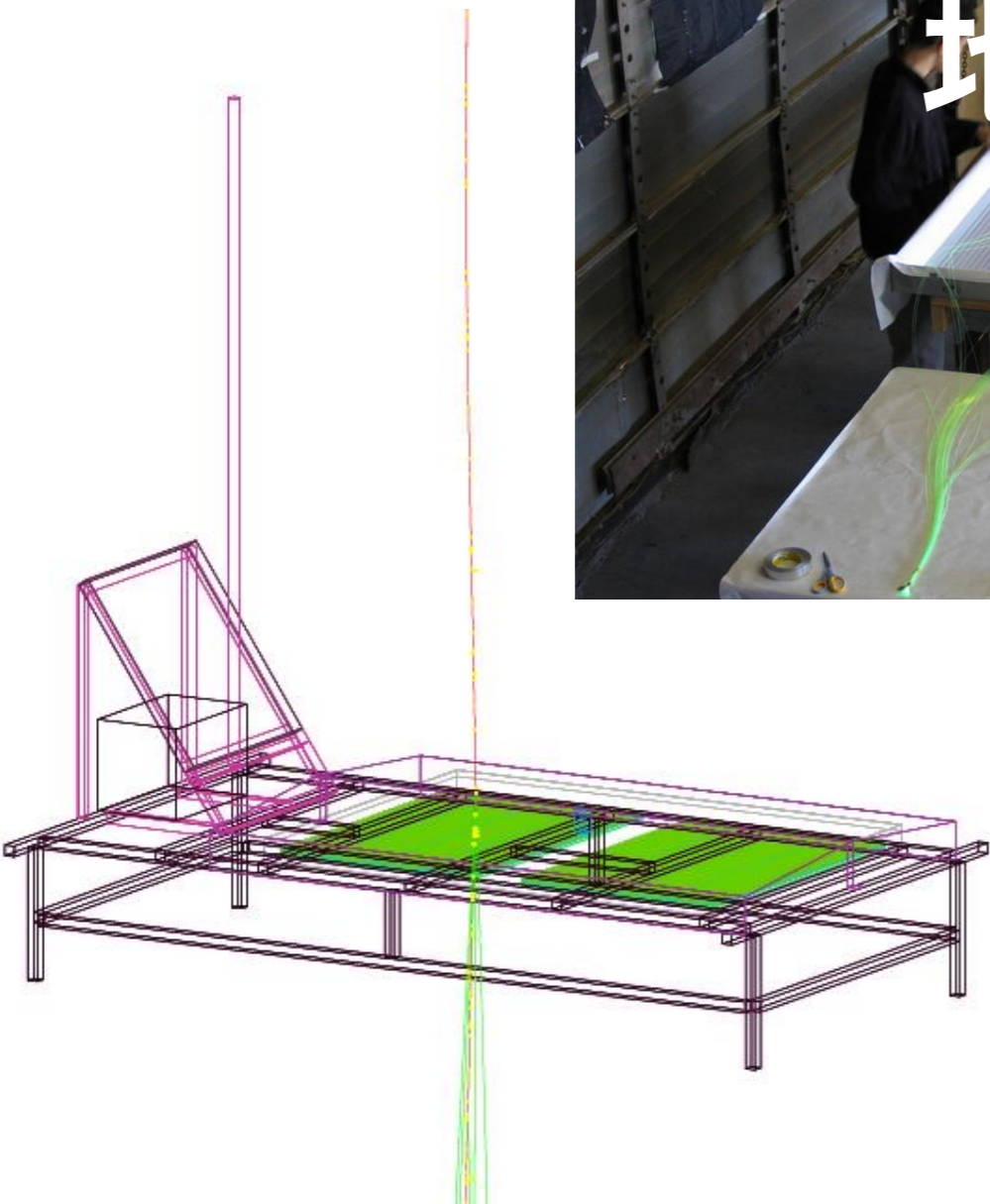
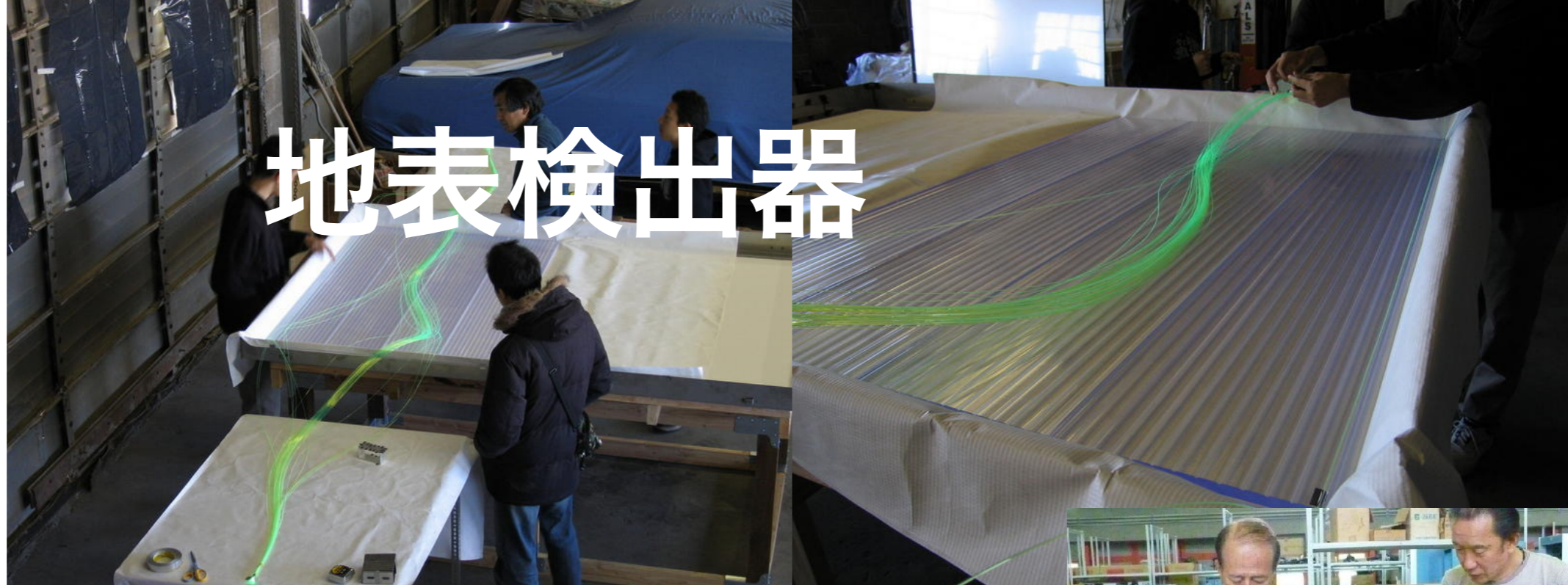
地表検出器



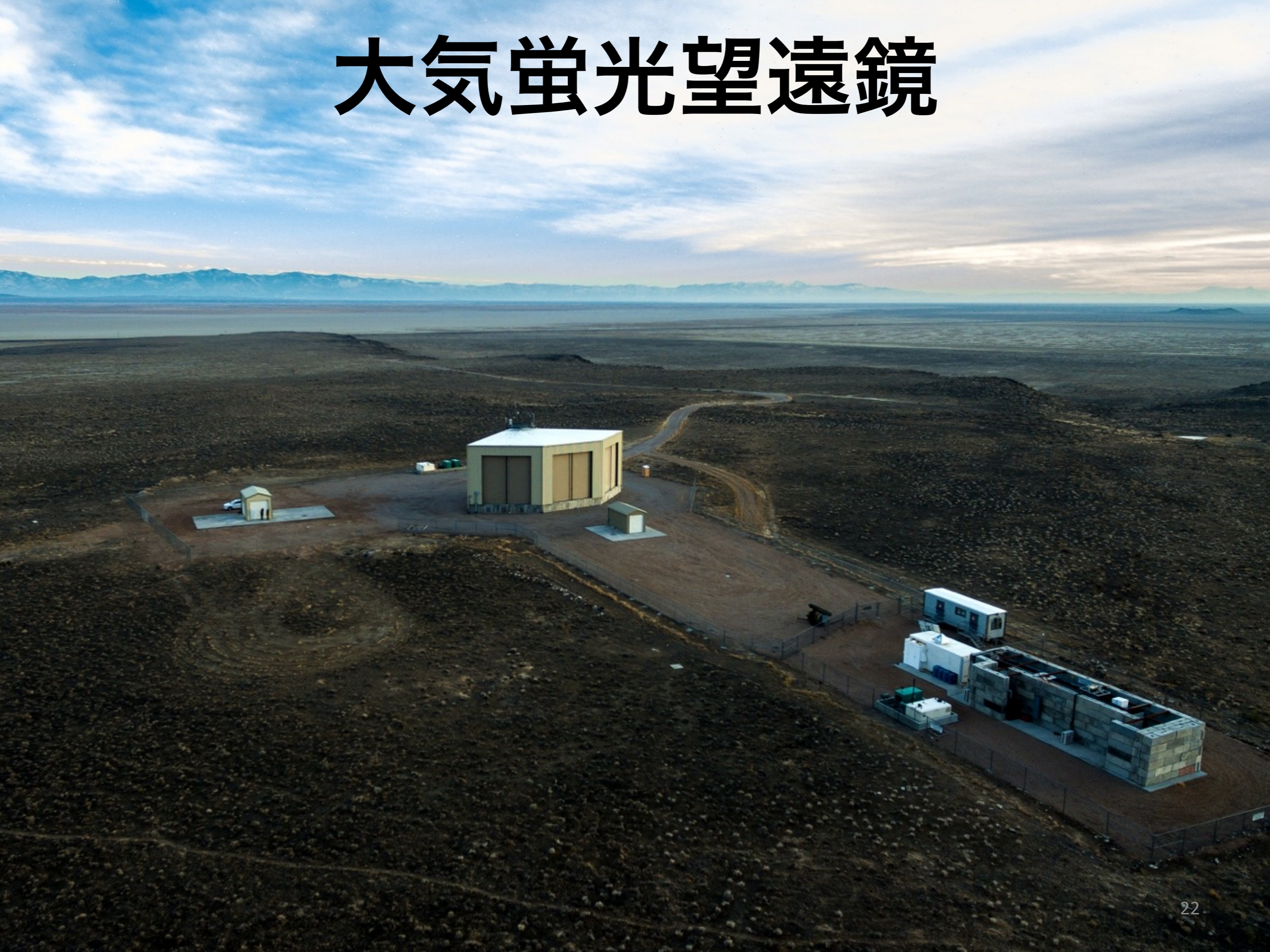
地表検出器



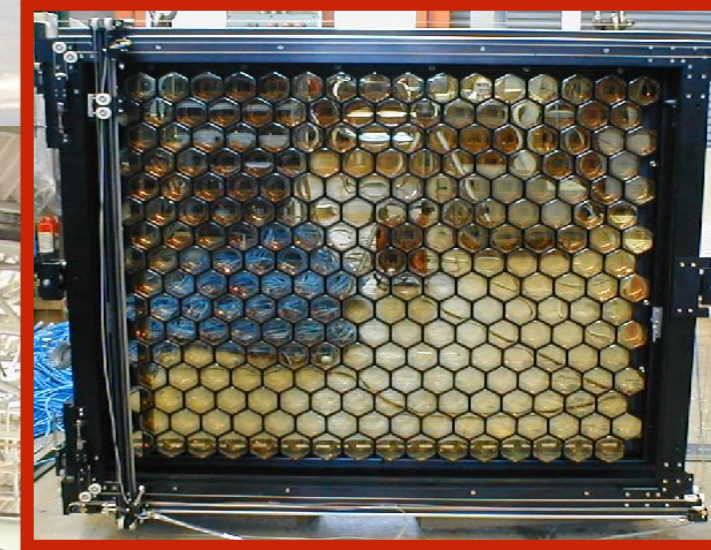
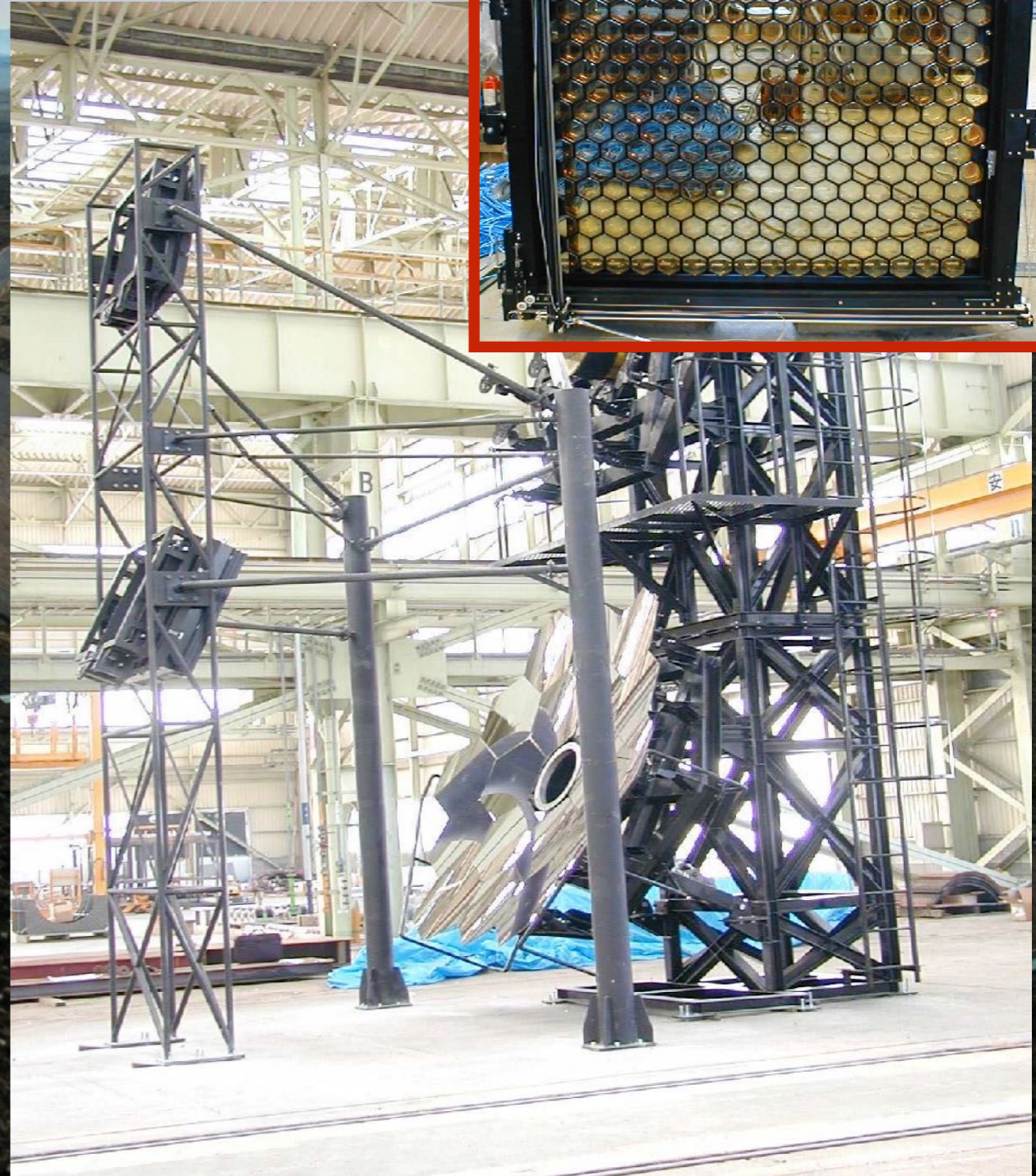
地表検出器



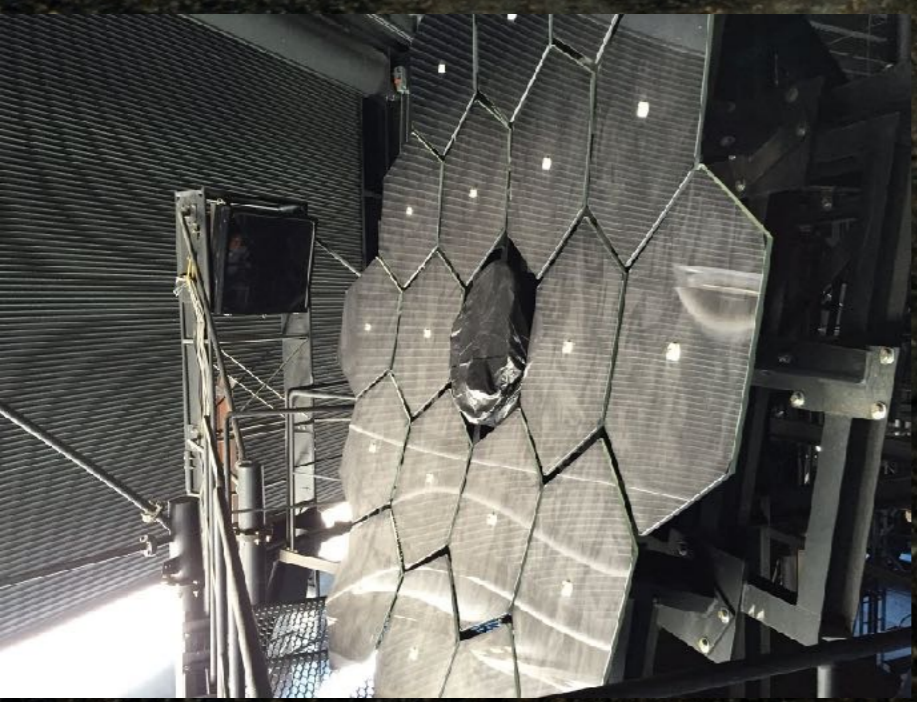
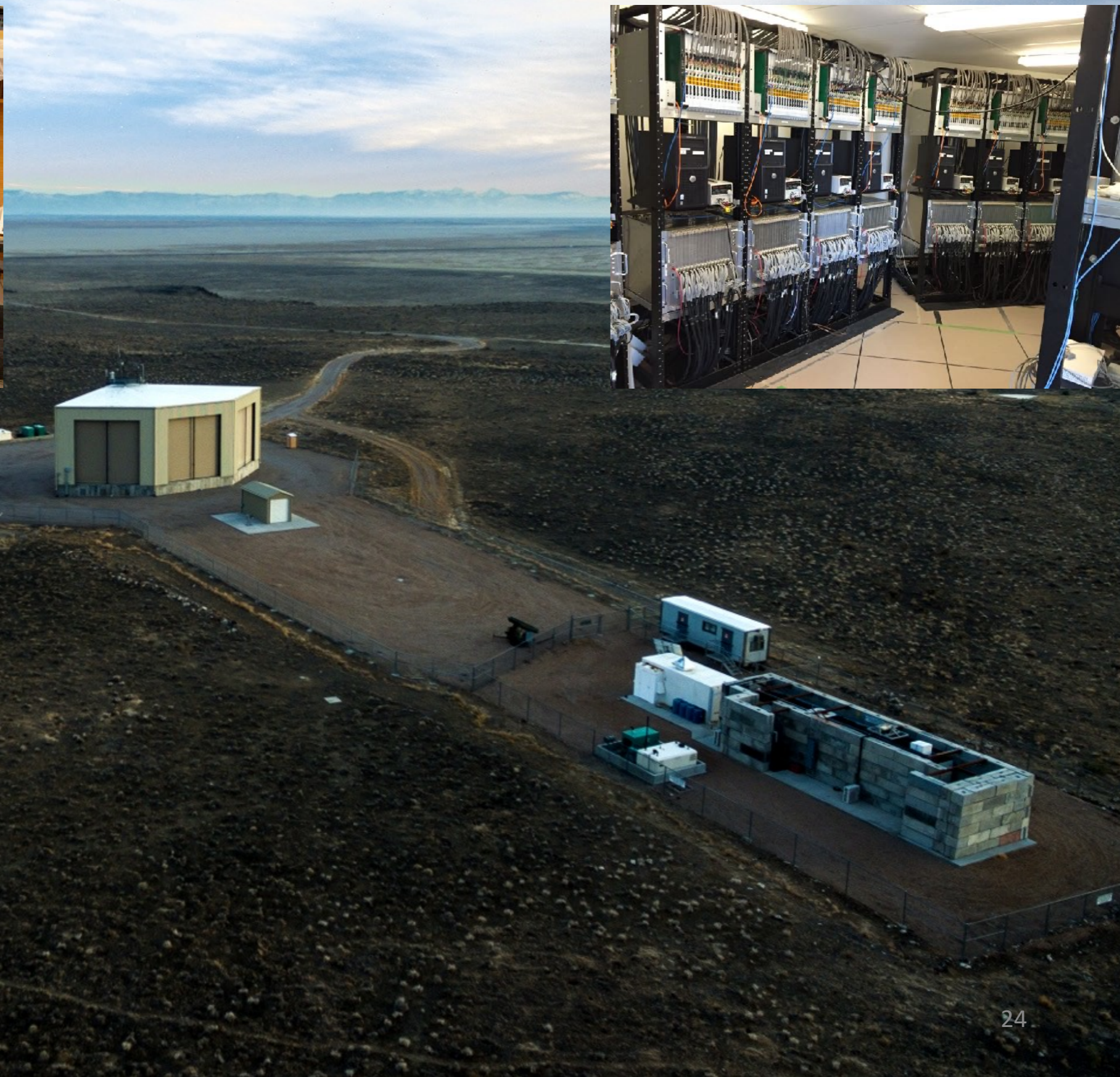
大氣螢光望遠鏡



大氣螢光望遠鏡

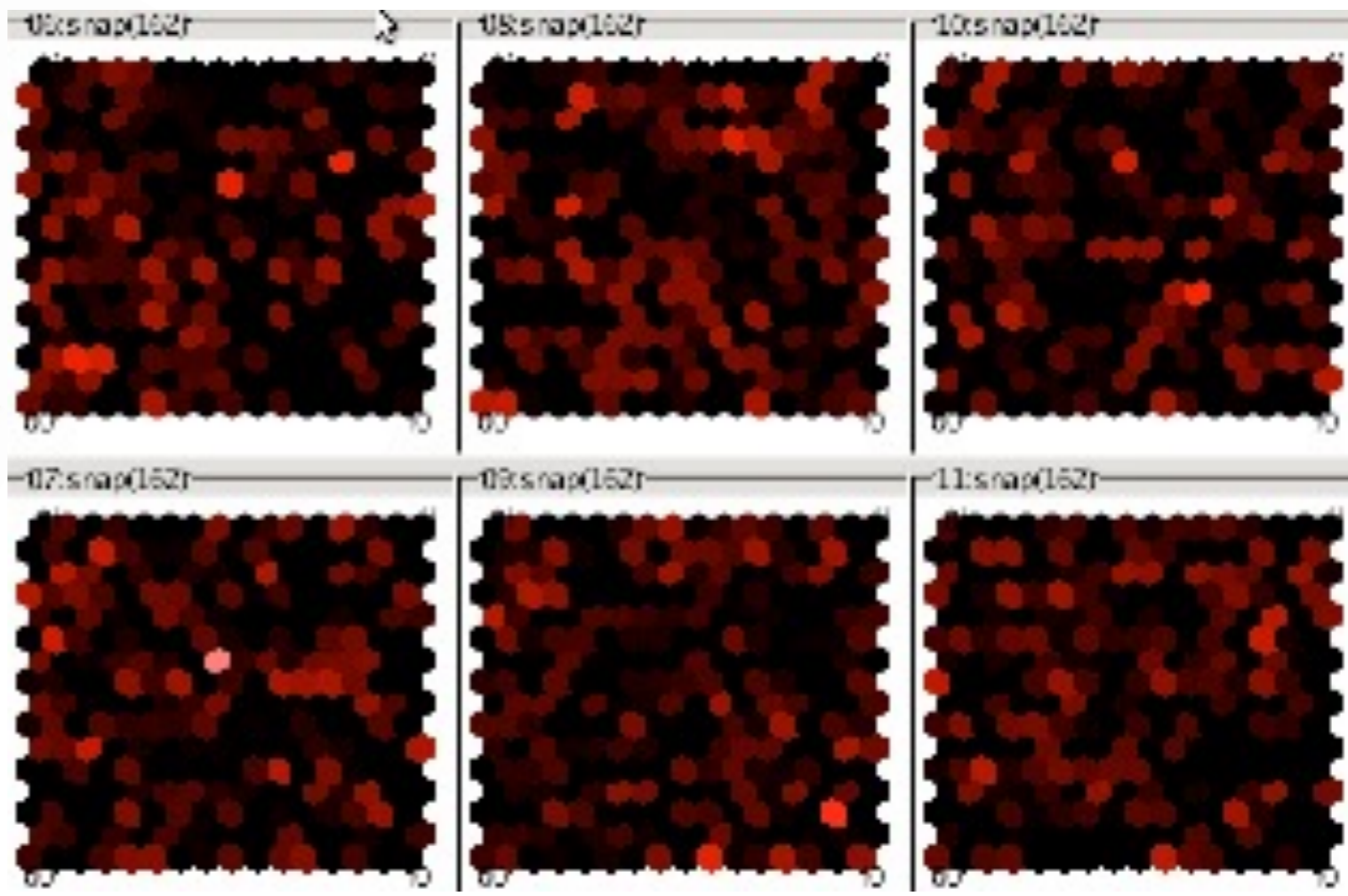
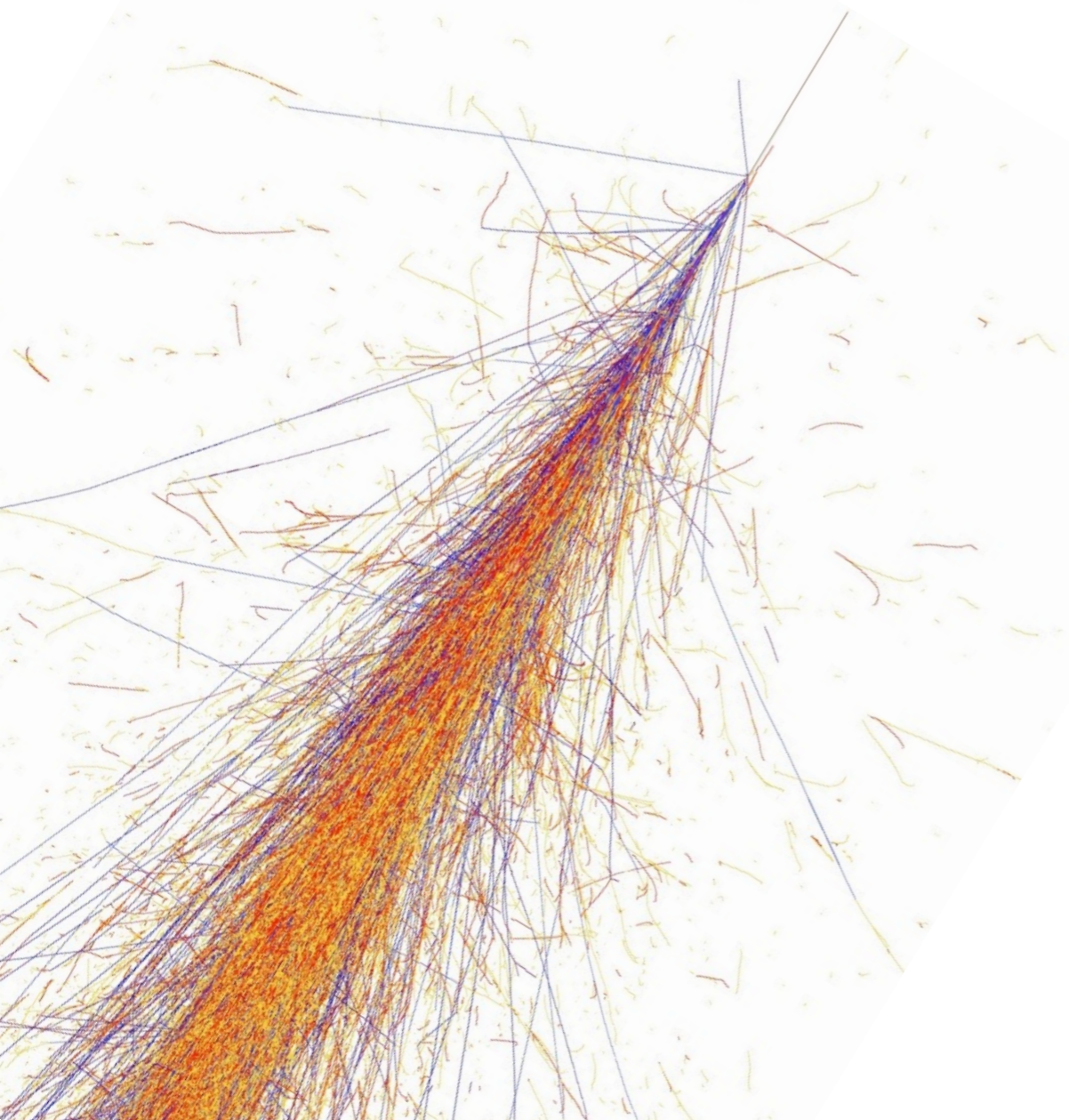
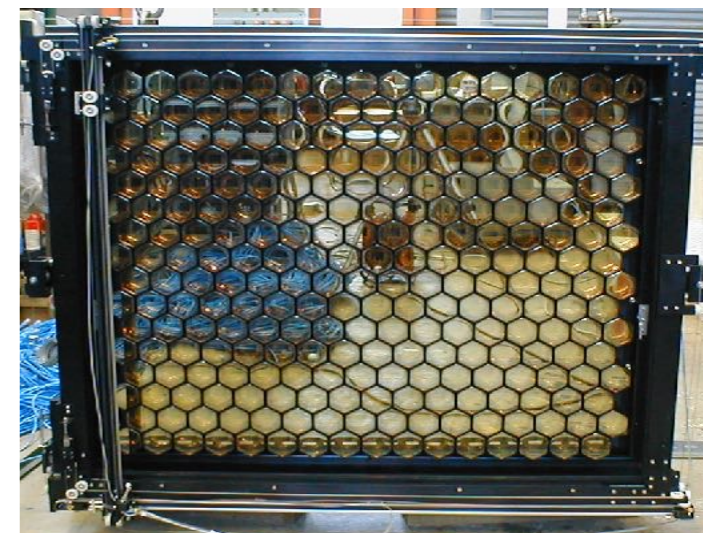


大氣螢光望遠鏡



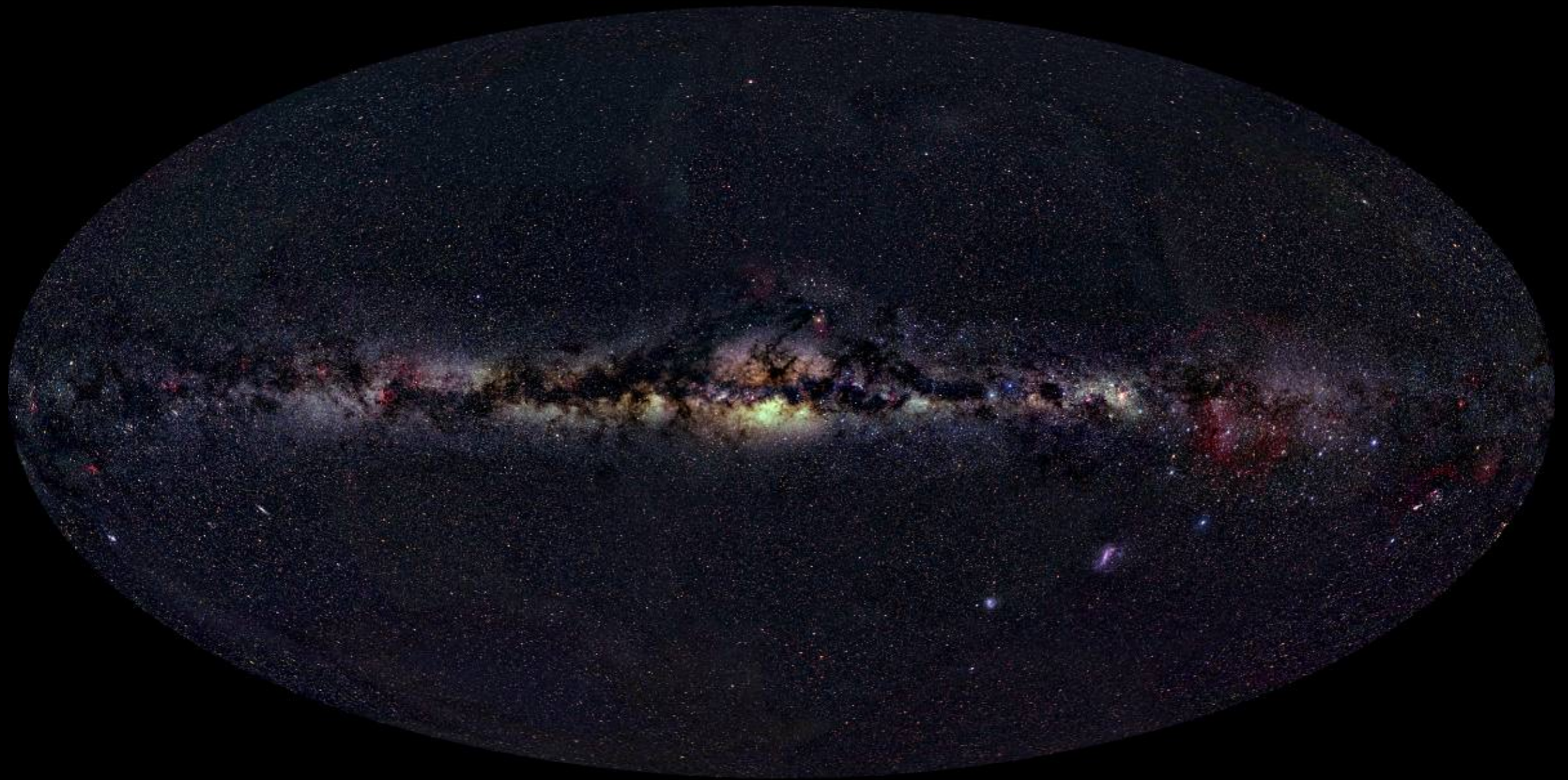
観測された空気シャワー (動画)

- 38台の「望遠鏡付きカメラ」で全天の夜空を撮影
- 光「ひと粒」を数えることができる「超高感度センサー」
- 1秒間に4,000万回シャッターを切り、撮りまくる



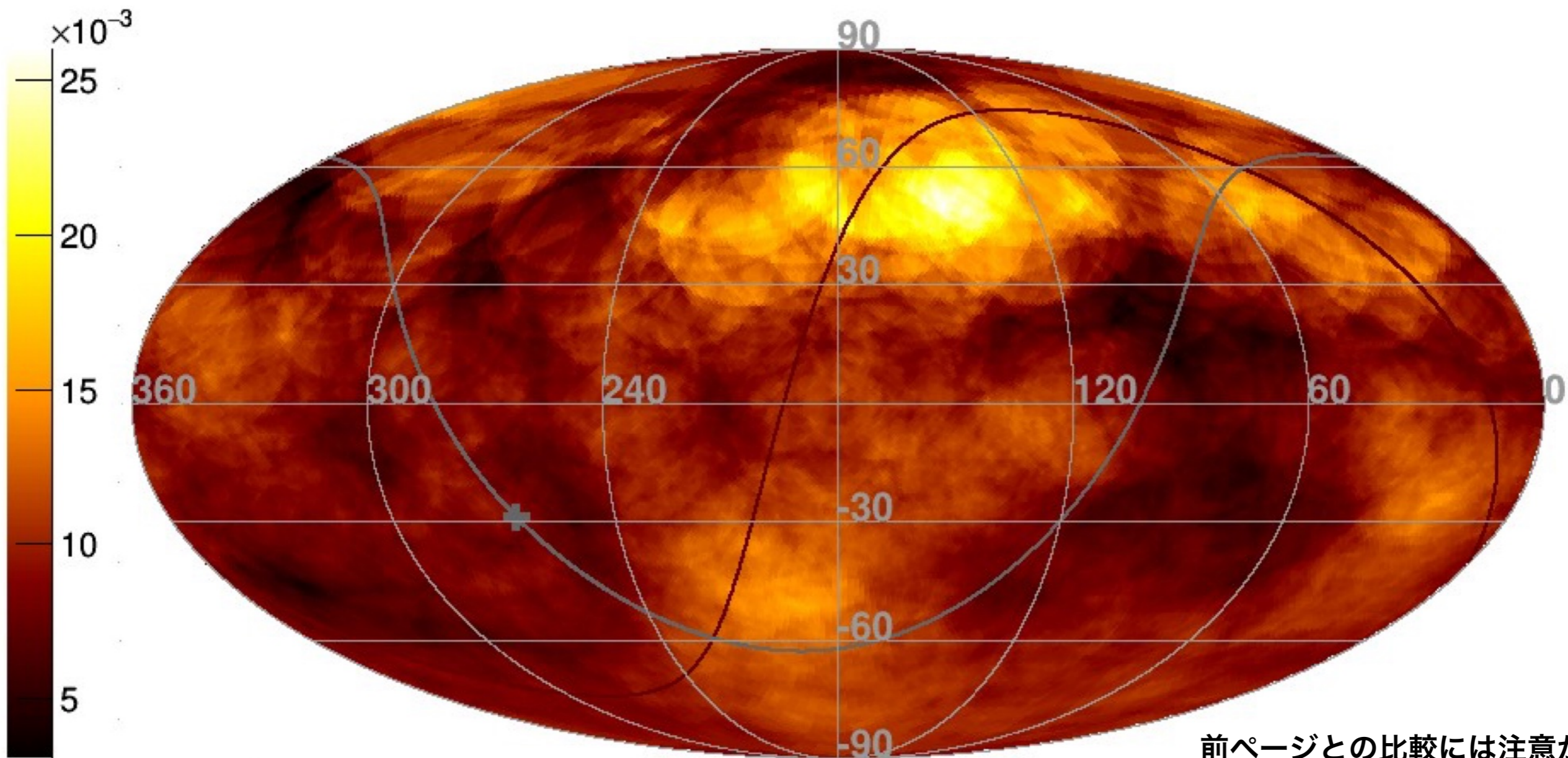
テレスコープアレイ実験の観測結果

これは可視光で見た全天



最高エネルギー宇宙線で見た宇宙 (全天、 0.5×10^{20} eV以上)

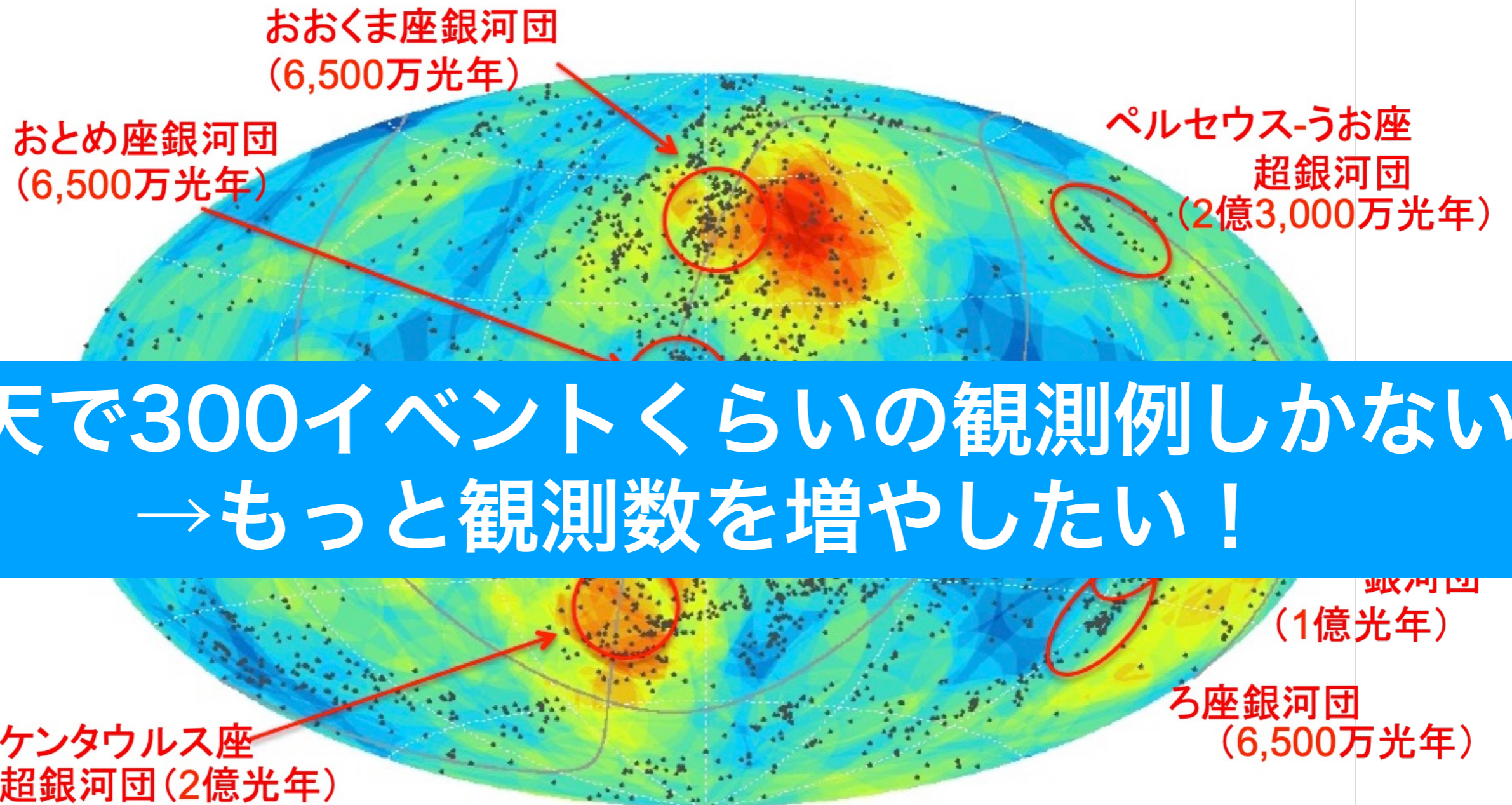
$\Phi(E_{\text{Auger/TA}} > 40/53.2 \text{ EeV}) [\text{km}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{yr}^{-1}]$ - Equatorial coordinates - $R = 20^\circ$



前ページとの比較には注意が必要！

TA実験9年 (143イベント) + Auger実験13年 (~200イベント)の結果

最高エネルギー宇宙線で見た宇宙 (全天、 0.5×10^{20} eV以上)

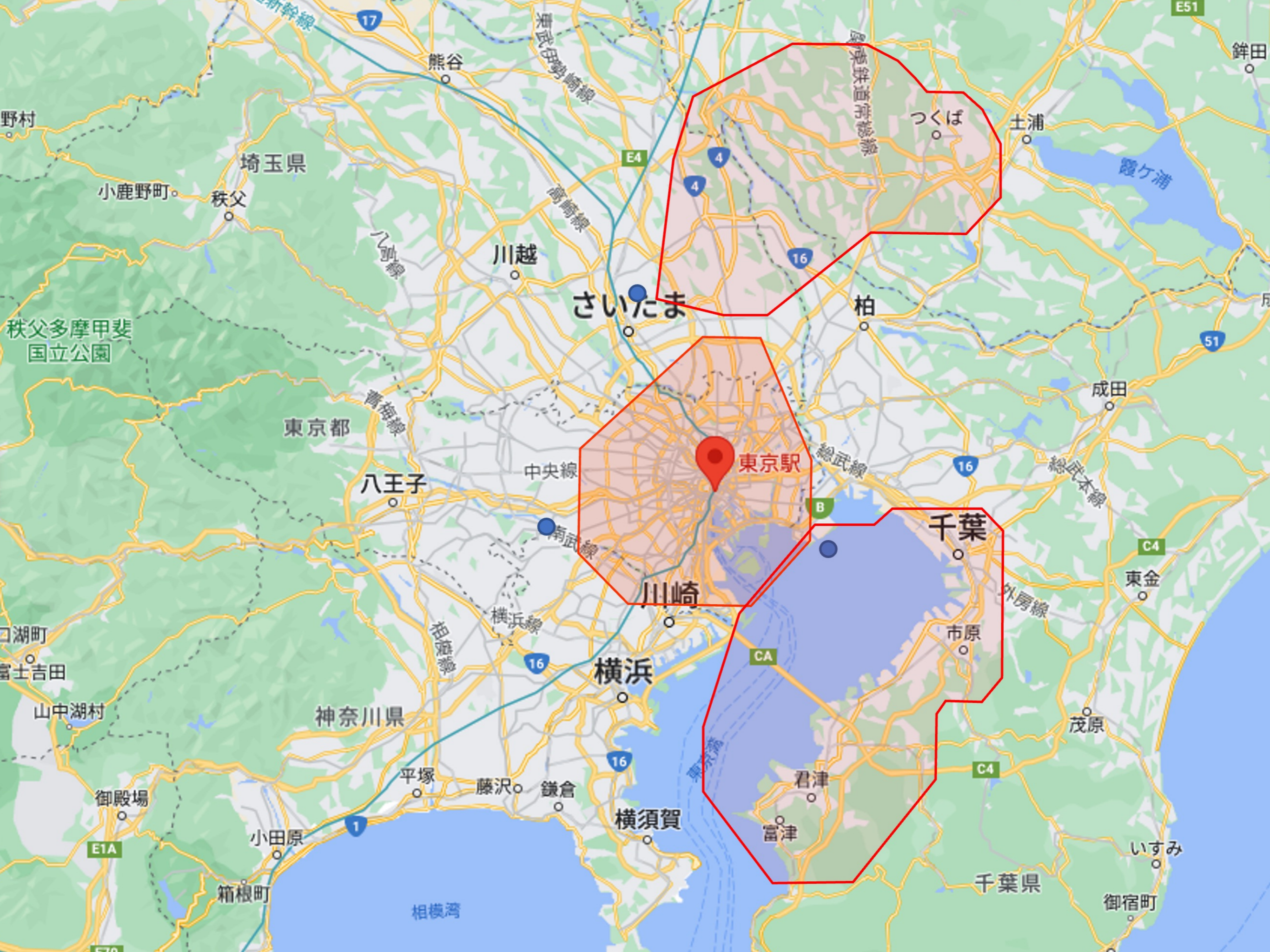


全天で300イベントくらいの観測例しかない
→もっと観測数を増やしたい!

黒点: 1億5,000万光年以内の銀河 (2MASSカタログ)

Huchra, et al, ApJ, (2012)

TA実験7年 (109イベント) + Auger実験10年 (~150イベント)の結果



TA実験を4倍に面積拡張 = TA x4 実験

拡張テレスコープアレイ実験

- 最高エネルギー宇宙線で解明する近傍の極限宇宙 -

佐川 宏行

東京大学 宇宙線研究所

2015年3月26日 特別推進研究ヒアリング



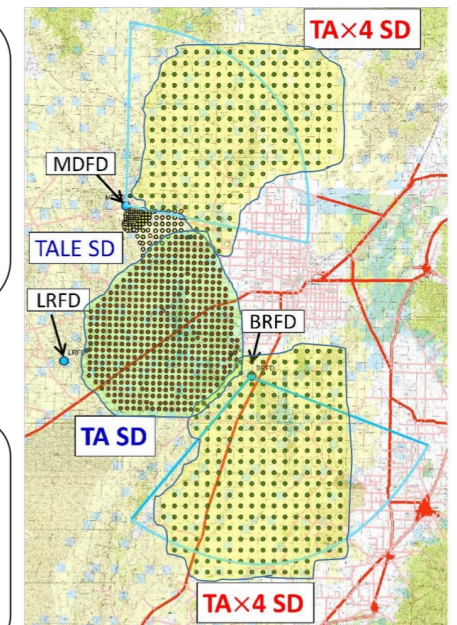
2015年に科研費 特別推進を獲得
→現在 1,700km² (TA x 2.5)
で定常観測

TAx4計画

- 地表検出器を4倍に拡張
500台のシンチレータ検出器(3m²)
2.1 km間隔で設置(日本担当)
- 大気蛍光望遠鏡を2か所追加
(米国担当)

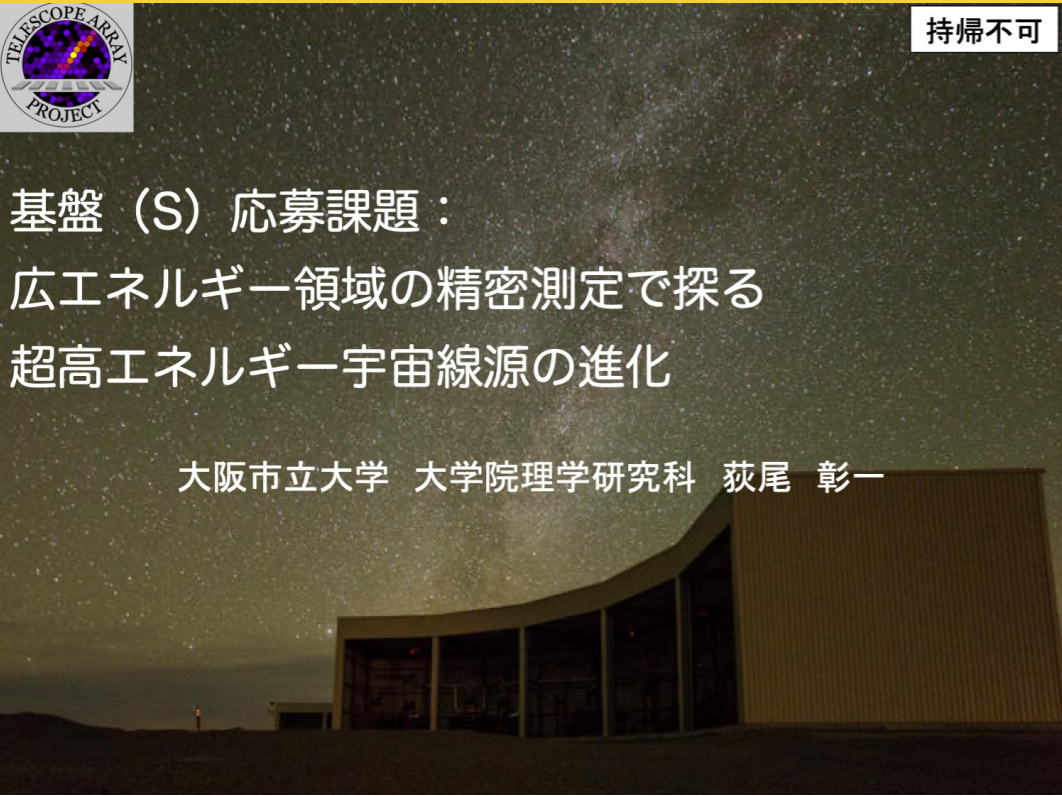


- 2015年度から建設開始
2年間で建設
- 2020年: TA21年分
最高エネルギー宇宙線~300事象



観測可能エネルギー一範囲を拡張 =TA Low energy Extension (TALE)実験

低エネルギーへ感度を拡張=TALEハイブリッド

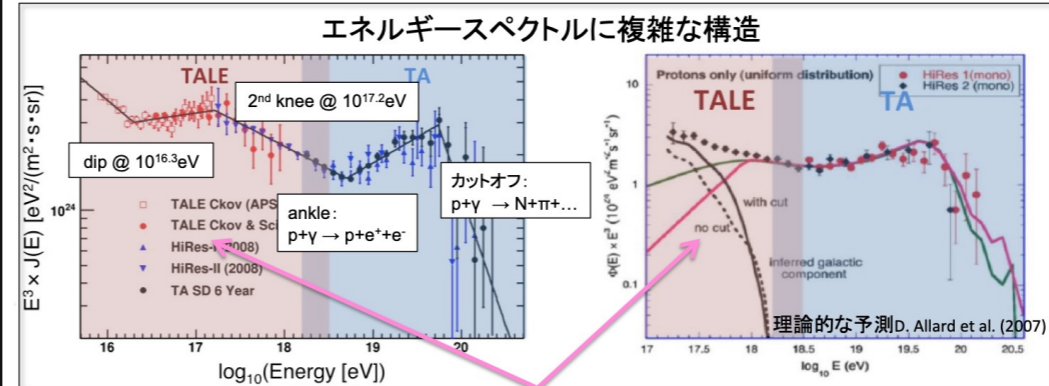


基盤 (S) 応募課題：
広エネルギー領域の精密測定で探る
超高エネルギー宇宙線源の進化

大阪市立大学 大学院理学研究科 荻尾 彰一

持帰不可

10¹⁶~10^{18.5}eV領域の精密測定=TALEハイブリッド実験



このエネルギー領域で混ざり合う銀河系外・系内の分離=粒子組成測定が喫緊の課題

系外(陽子)成分

銀河系外宇宙線源の空間分布(宇宙線源の進化)
エネルギー損失の積算記録
銀河磁場による遮蔽

系内(重核)成分

銀河系内宇宙線加速の限界
銀河磁場への閉じ込め

TALEハイブリッド実験

粒子組成の高信頼度測定 → 決定的な観測データを提供

TALE実験の運用、さらなる低エネルギー化拡張計画 (TALE infill) の予算獲得 (基盤 (S))



基盤(S)応募課題：
広エネルギー領域の精密測定による
超高エネルギー宇宙線の源と伝播の統一的解釈

大阪市立大学 大学院理学研究科
南部陽一郎物理学研究所 荻尾 彰一

持帰不可

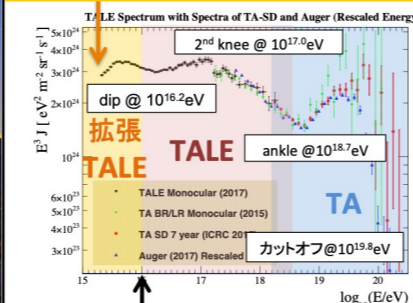
まとめ:TALEハイブリッド実験の低エネルギー化(< 10¹⁵eV)

TALE実験:テレスコープアレイ実験(TA実験)の低エネルギー拡張(Low energy Extension)

本応募のねらい:10¹⁵ ~ 10¹⁸ eV 領域で混ざり合う銀河系外・系内起源宇宙線の分離
→成分ごとのエネルギースペクトル → 決定的なデータを提供

- 銀河系外宇宙線源はどのような天体か?
- 銀河系内起源宇宙線の加速機構は?
- 銀河系内・系外宇宙線の伝播・閉じ込め・排除?

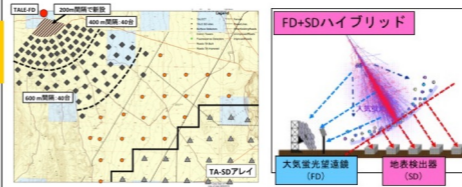
TALE FD単眼観測(2018年発表)
エネルギーしきい値を2x10¹⁵eVに下げることに成功



当初予定のエネルギーしきい値10¹⁶eV

TA+TALE実験による最新結果, Ap. J. 865, 74(2018)

TALEハイブリッド(2018年9月-)
望遠鏡(FD) 10台+地表検出器(SD) 80台



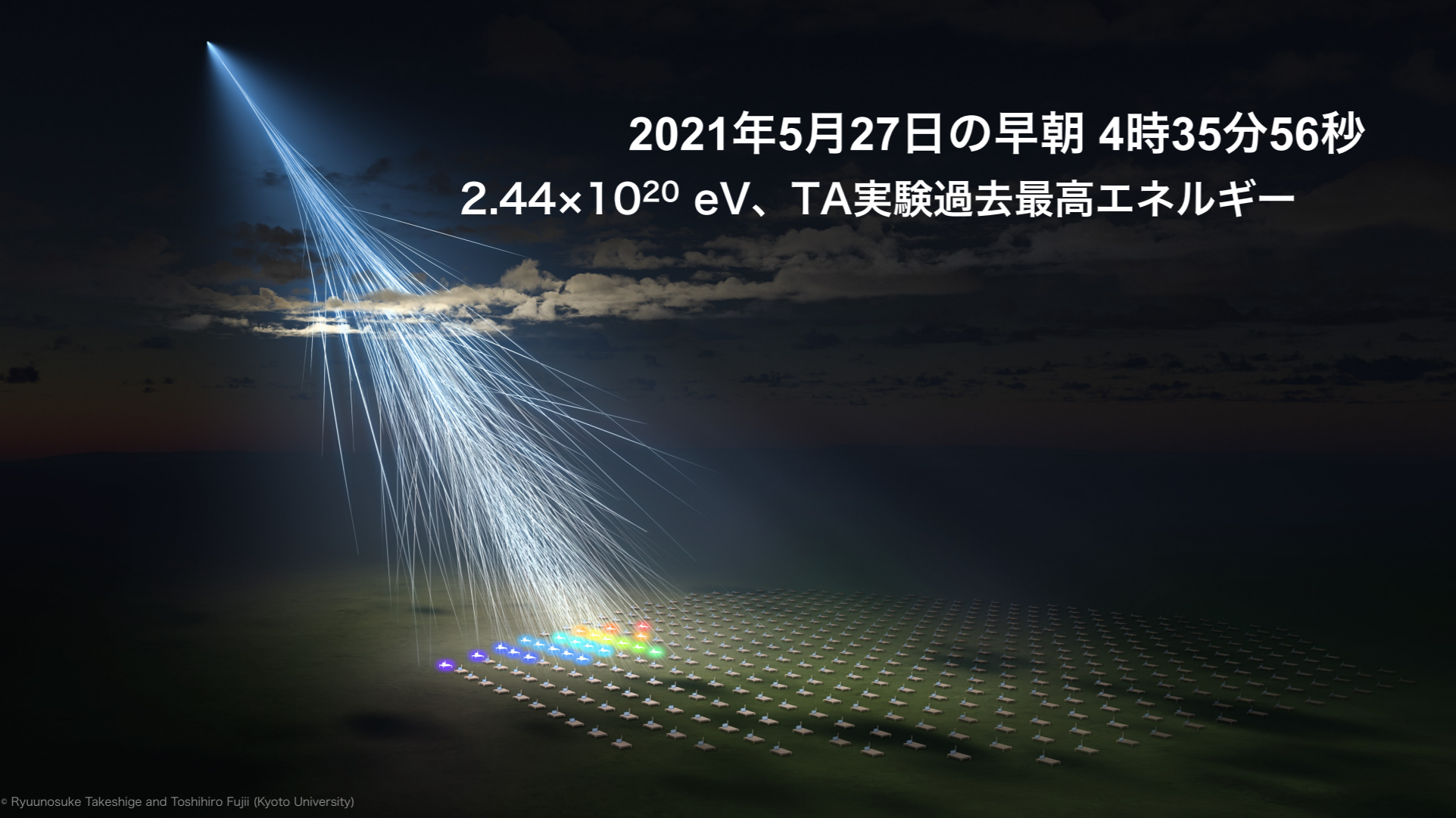
本応募の研究計画:
①②TALEハイブリッドの観測・データ解析の継続
③④TALEハイブリッドの低エネルギー化
←地表アレイの高密度(200m間隔)追加設置(57台)

TALEハイブリッドの特徴:

FD+SD @E<10¹⁷eV = 世界で唯一のFD+SDハイブリッド
→ 粒子組成の高信頼度測定

ISS-CREAM (ISSでの直接観測、低エネルギー)と連携協力

2021年5月27日の早朝 4時35分56秒
 2.44×10^{20} eV、TA実験過去最高エネルギー



© Ryuunosuke Takeshige and Toshihiro Fujii (Kyoto University)



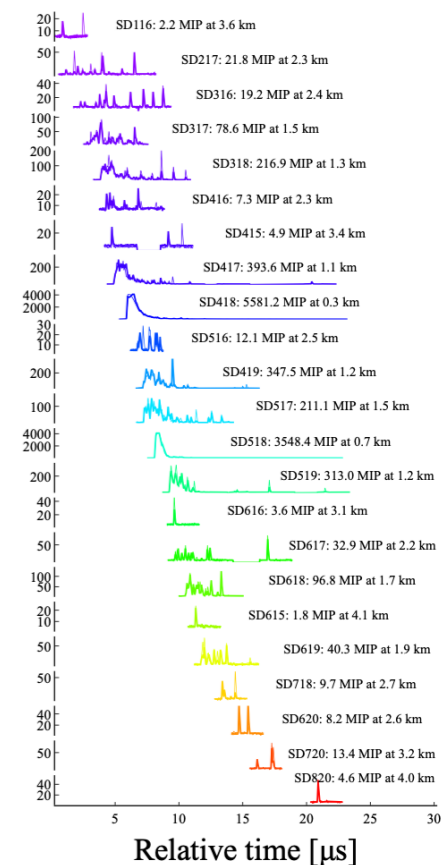
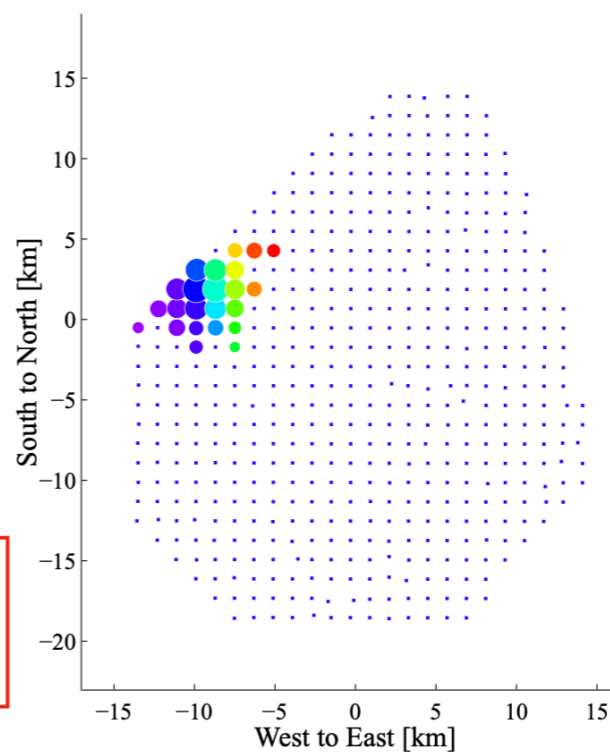
2021年5月27日に観測された宇宙線

- $E = 244 \pm 29$ (stat.) ± 51 (syst.) EeV
- コア位置から800 mでの粒子数密度
- $S_{800} = 530 \pm 57$ (m⁻²)
- 天頂角 $\theta = 38.6^\circ$
- 大気蛍光望遠鏡による観測なし

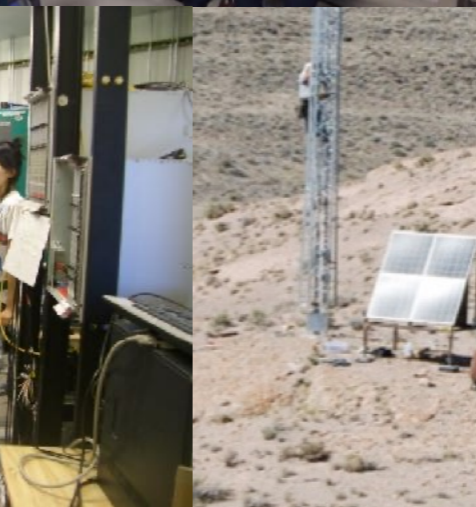
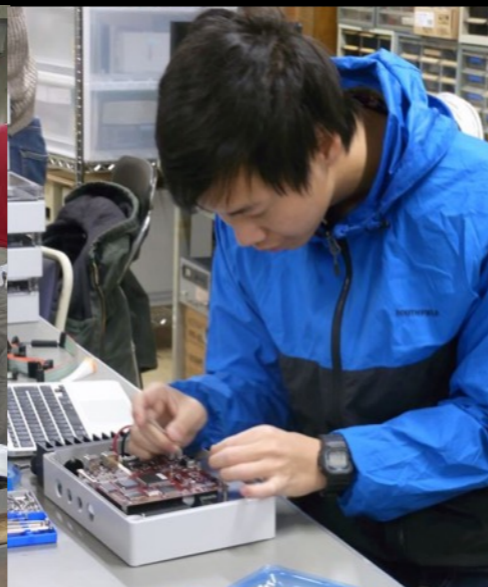
2008年5月から2021年11月の
 13.5年のTAの観測運用の中で
 最もエネルギーの高い宇宙線

Figures made by R. Mayta

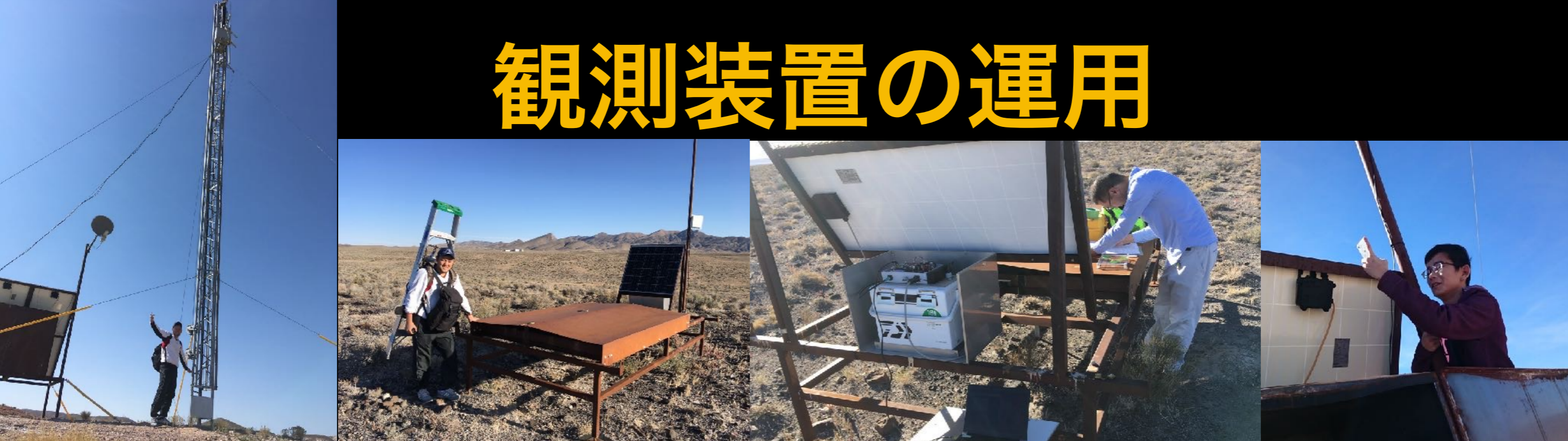
Surface detector array of TA



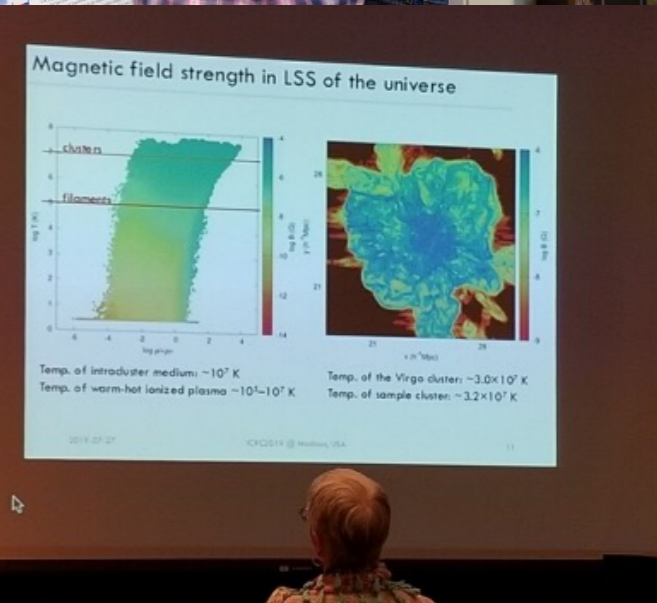
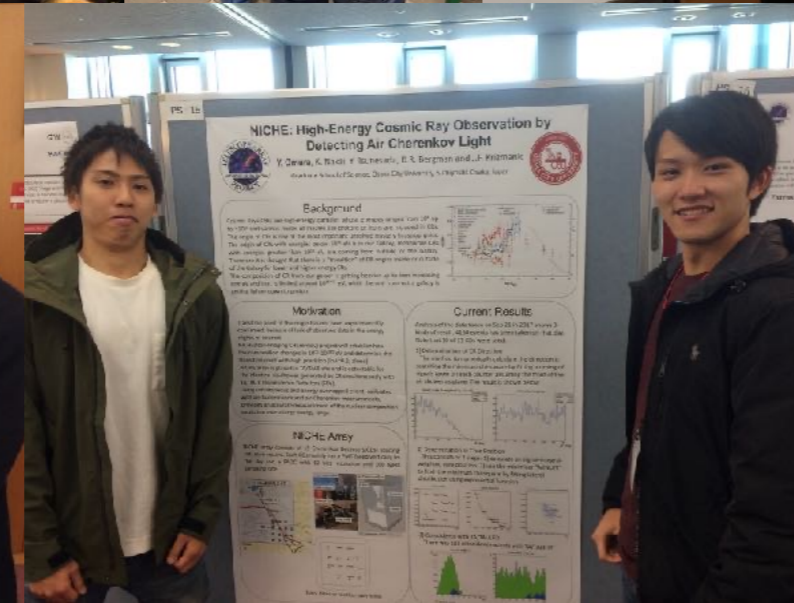
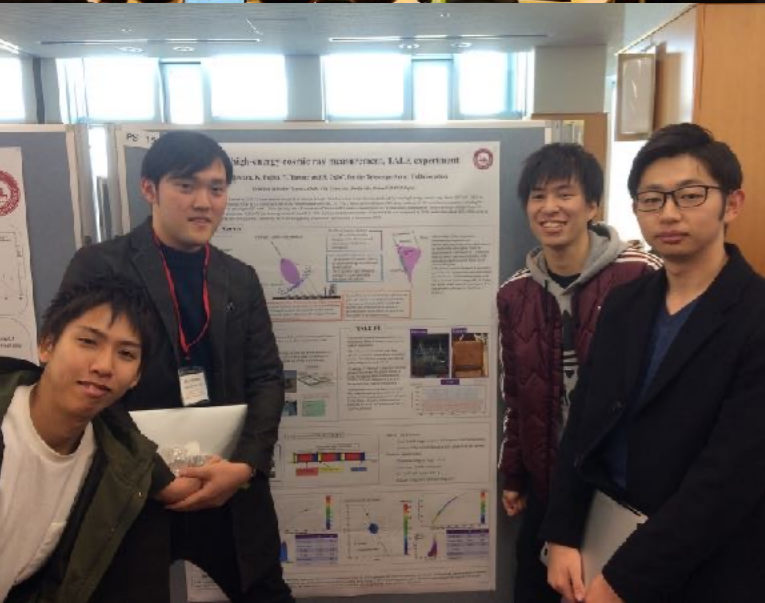
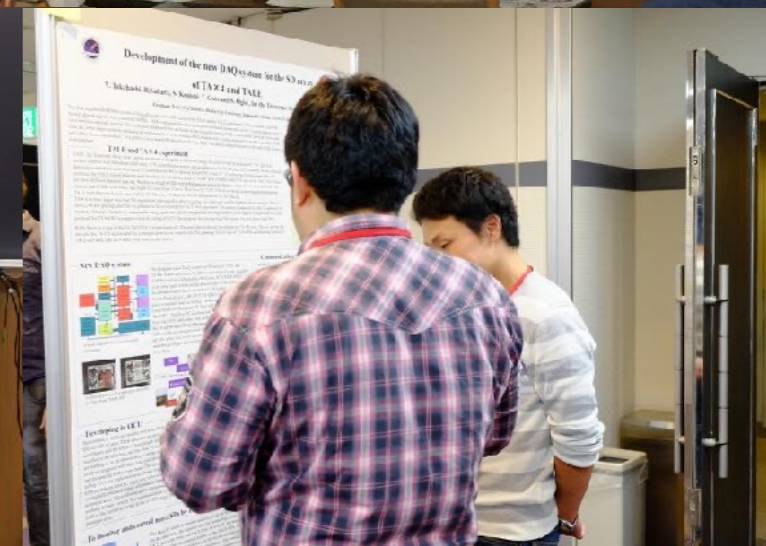
検出器を作る



観測装置の運用



学会講演



楽しみ!



質問・相談は以下へどうぞ



荻尾彰一（ICRR 教授、TA実験共同代表）
sogio@icrr.u-tokyo.ac.jp