



テレスコープアレイグループ

荻尾 彰一

2022年6月4日

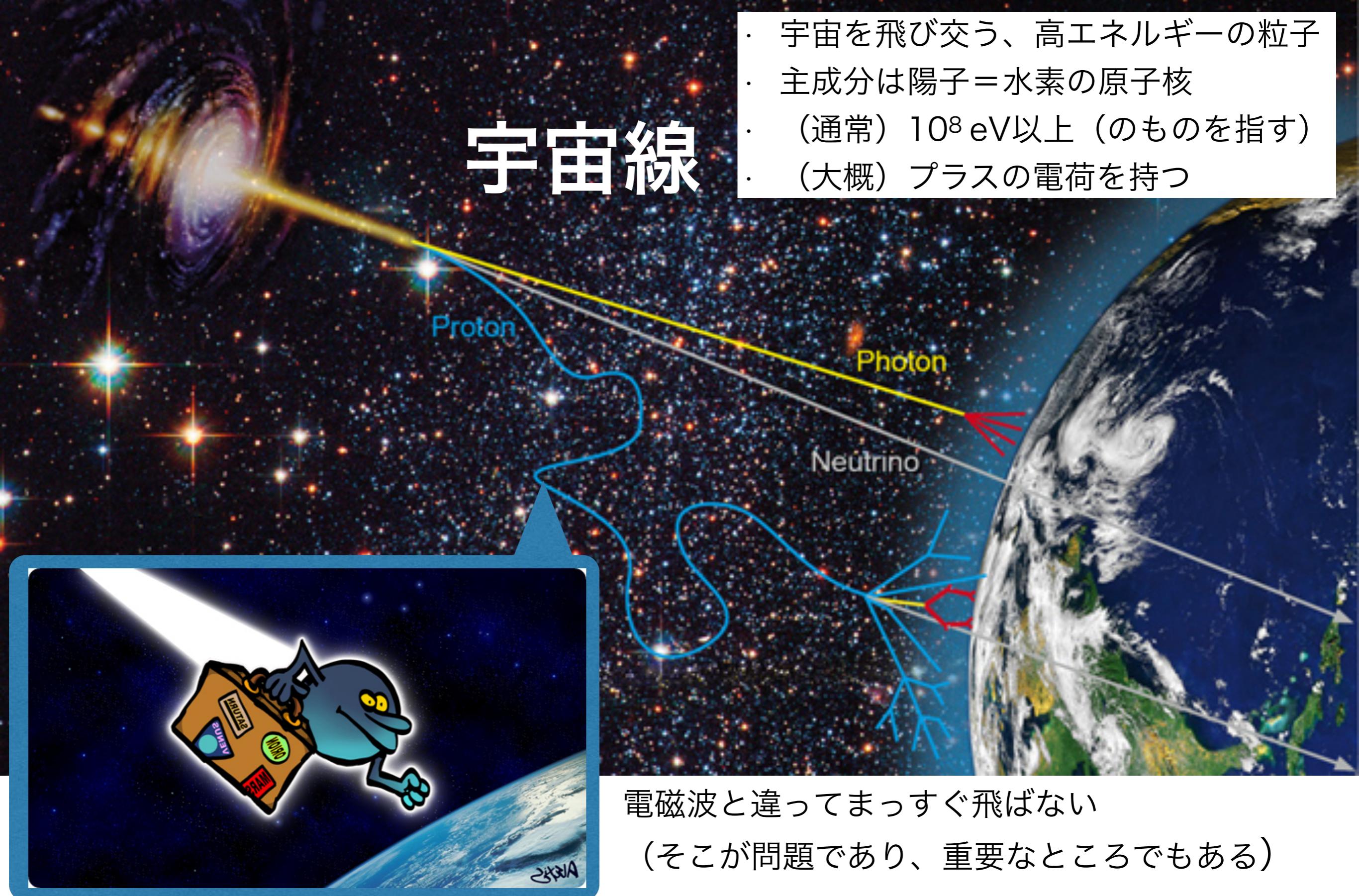
東大宇宙線研における テレスコープアレイ (TA) グループメンバー

- 教授：佐川宏行、荻尾彰一
- 准教授：さこ隆志
- 助教：竹田成宏、野中敏幸、川田和正
- 博士研究員：大島仁、藤田慧太郎
- 大学院生：申興秀、藤末紘三、高橋薰
- 技術専門員・技能補佐員：下平英明、関野幸市、小林良一
- 秘書：木次敦子、井戸村貴子



宇宙線

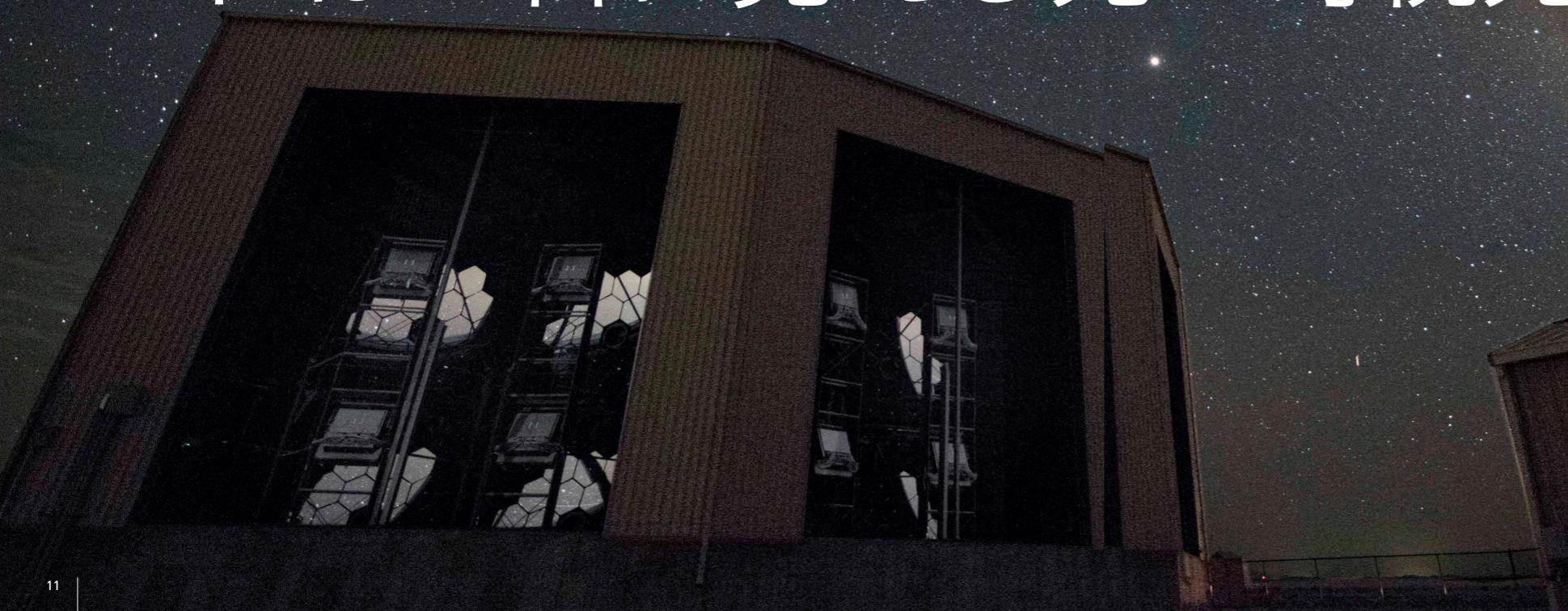
- ・ 宇宙を飛び交う、高エネルギーの粒子
- ・ 主成分は陽子=水素の原子核
- ・ (通常) 10^8 eV以上 (のものを指す)
- ・ (大概) プラスの電荷を持つ



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

米国ユタ州にあるテレスコープアレイ実験施設。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

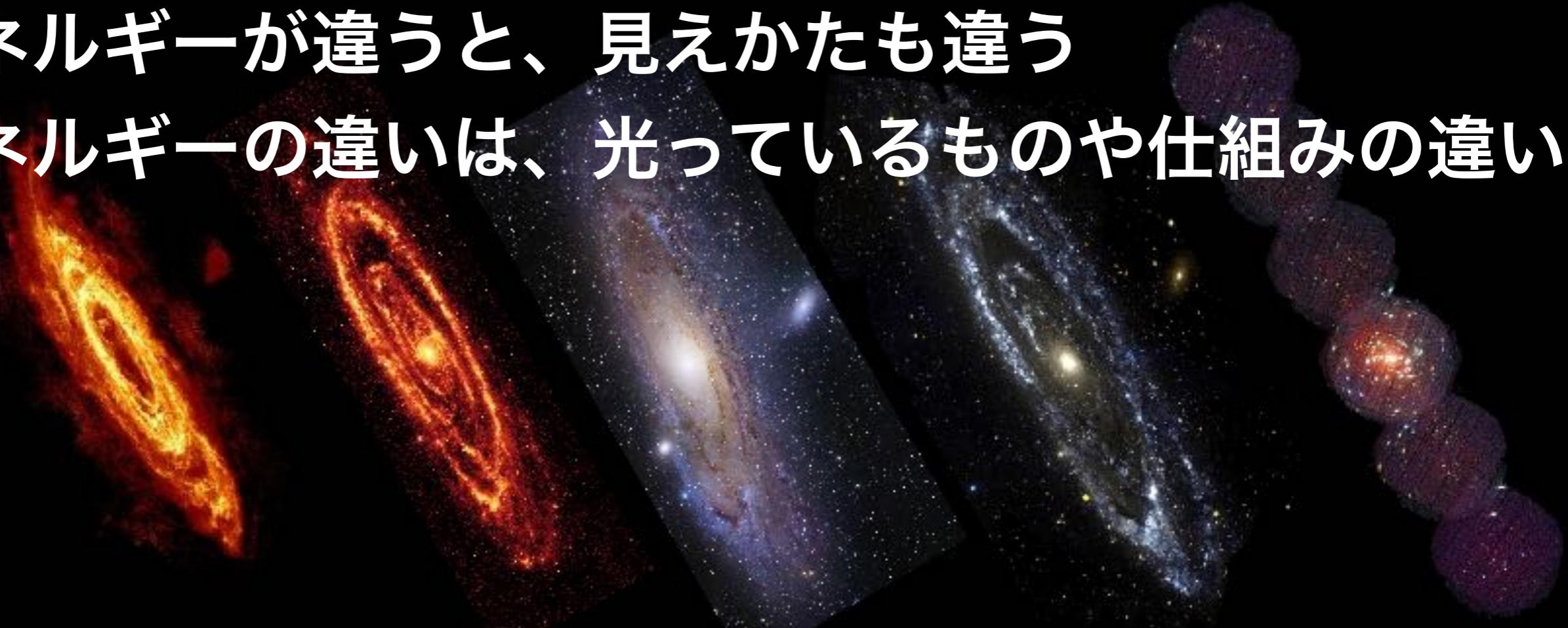
全天 (天の川基準)



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)

エネルギーが違うと、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
0.000001eV

赤外線
0.01eV

可視光
1eV

紫外線
10eV

エックス線
1,000eV

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

300,000,000,000,000,000,000eV

= 3かける10の20乗 = 3×10^{20} eV

最高エネルギー宇宙線



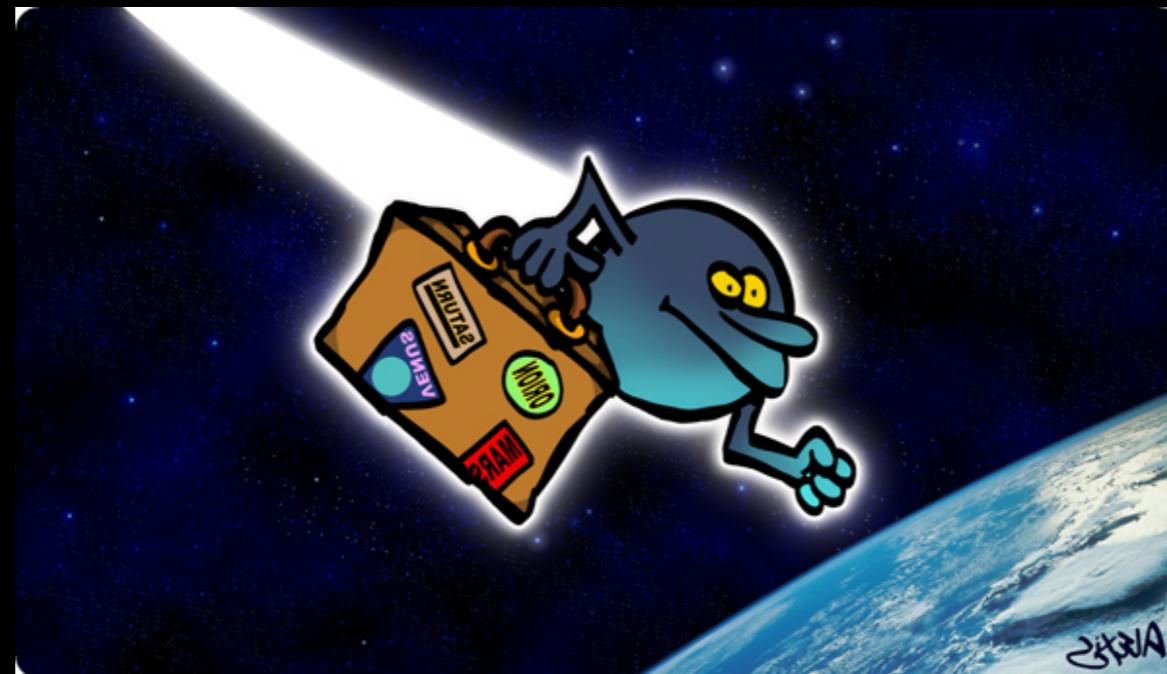
①そのエネルギーは？

$$= 3 \times 10^{20} \text{ eV}$$

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？

10^{20}eV

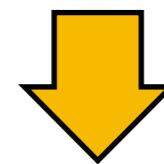
→1000億個のもの粒子群
「空気シャワー」

方法①地表粒子検出

方法②大気蛍光検出

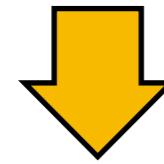
どちらか1つの方法の装置は過去にもあった。

100km²の大きさ



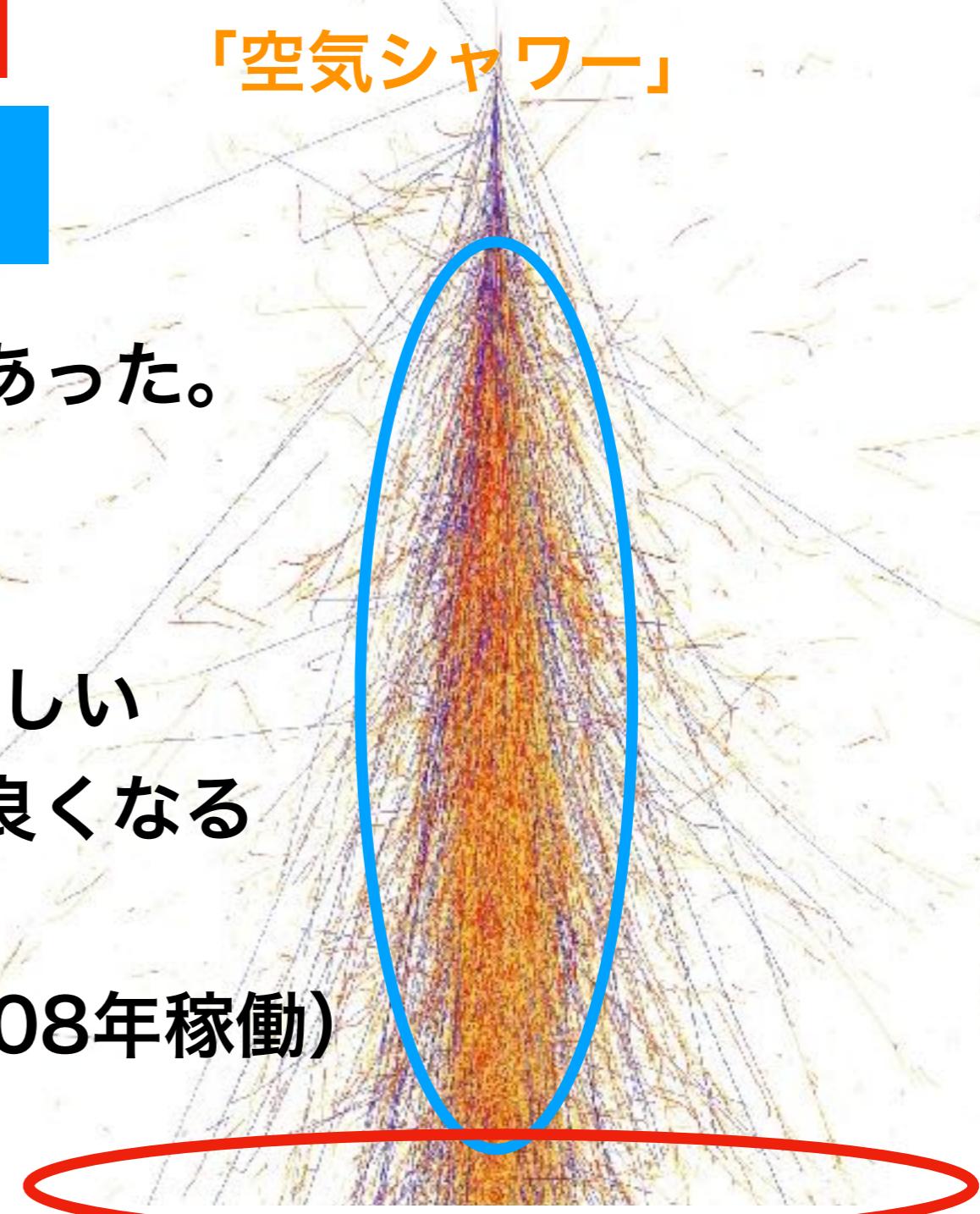
もっと大きく、10倍=1000km²はほしい

①、②の両方になると、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」



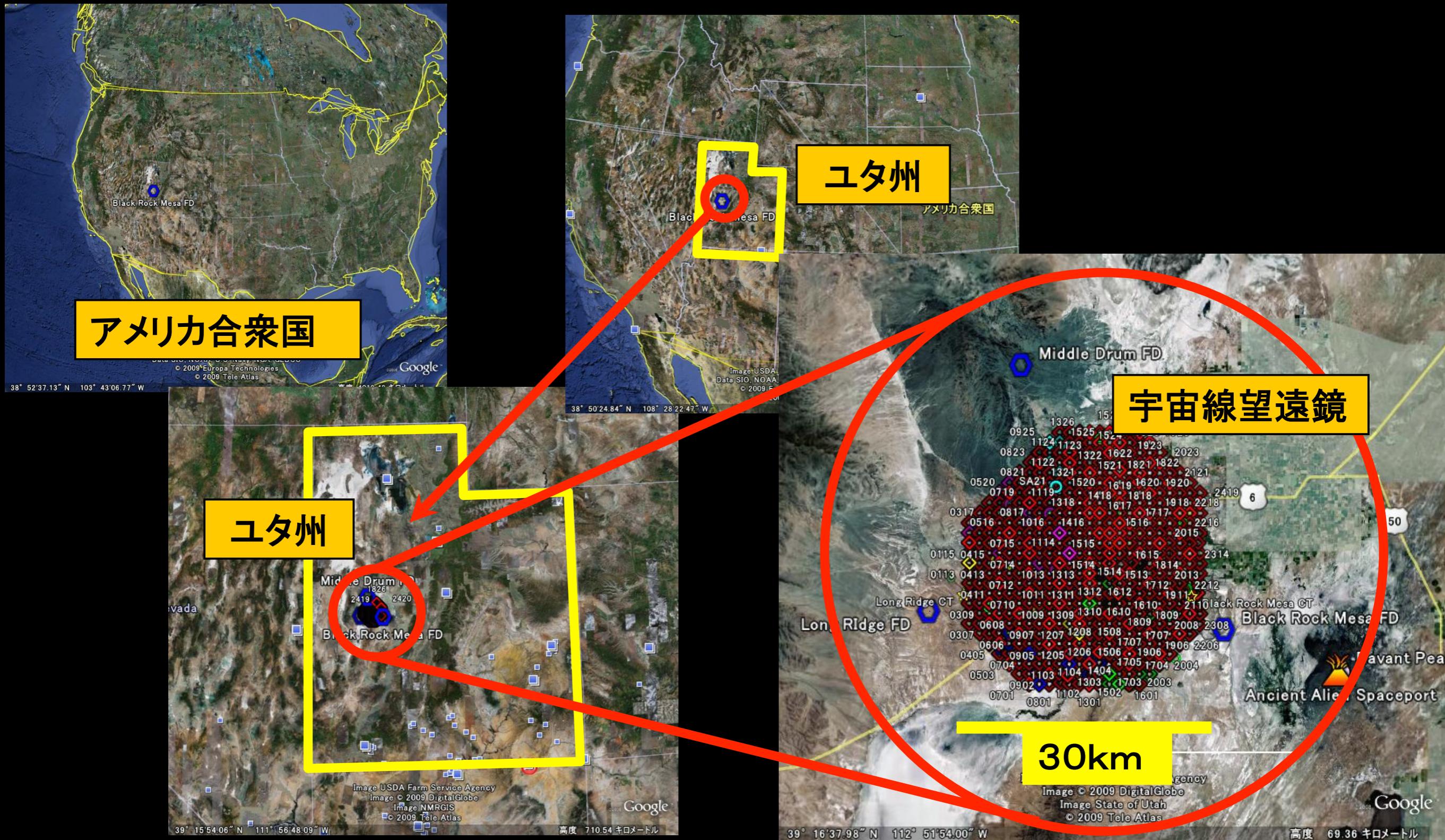
テレススコープアレイ (TA) 実験

- ・ 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

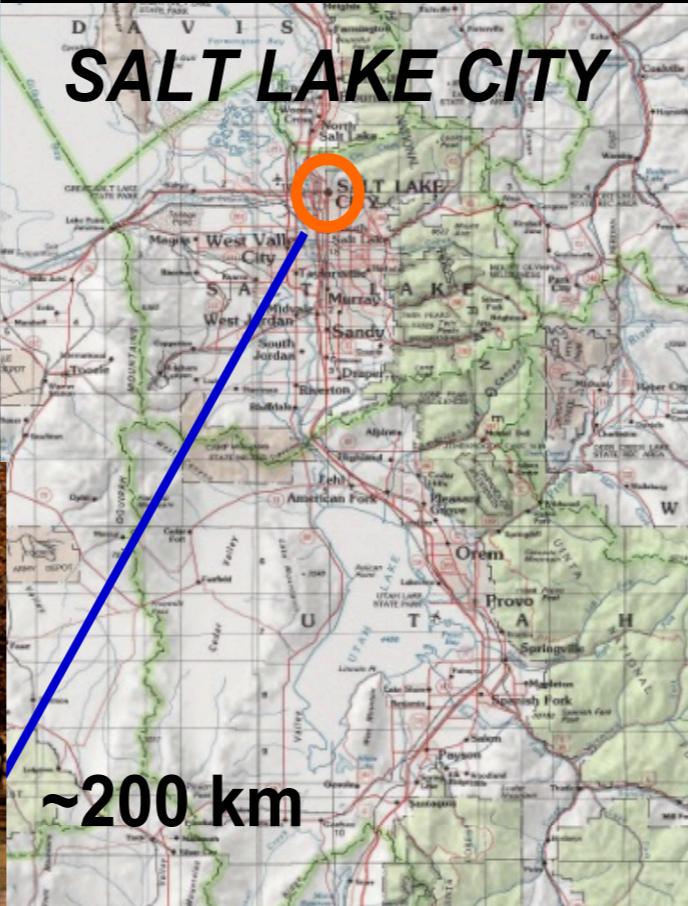


TA実験国際グループ全体会議@平昌（韓国） Dec. 2019

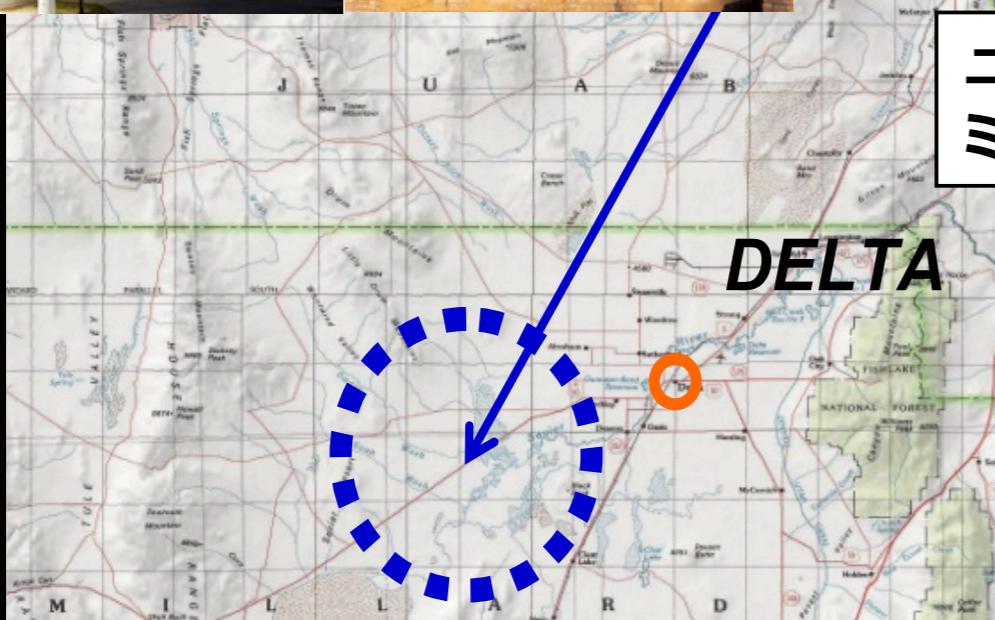
テレススコープアレイ (TA) 実験



テレススコープアレイ (TA) 実験

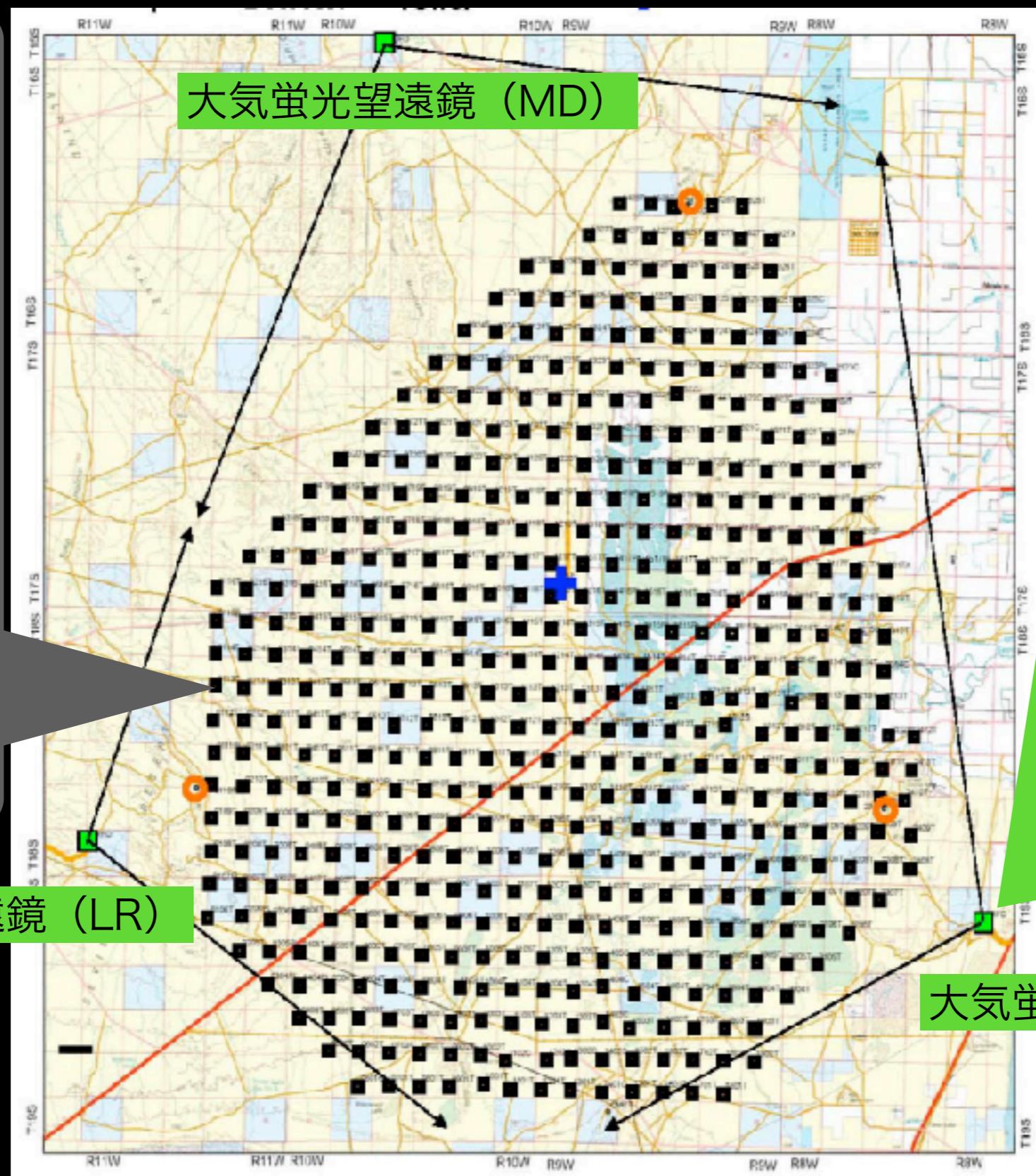
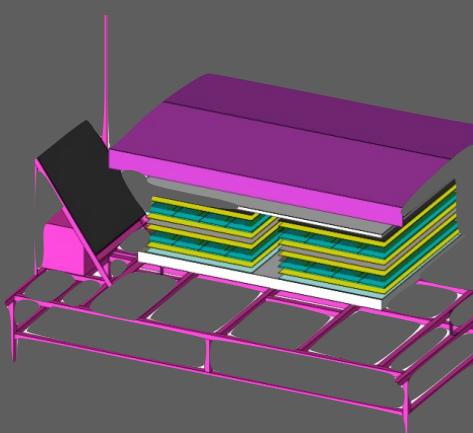


ユタ大学付属
ミラード郡宇宙線研究センター

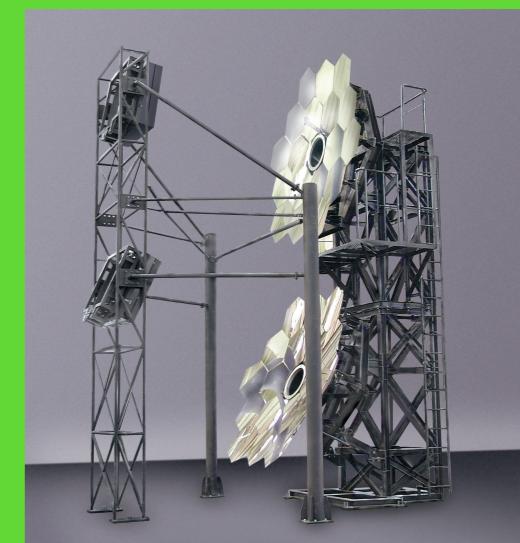


ハイブリッド観測装置

地表粒子検出器
3m²、507台
1.2km間隔

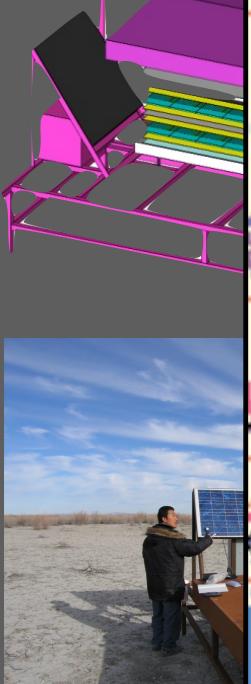


大気蛍光望遠鏡
口径3m、38台
3カ所

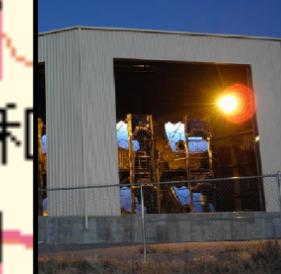
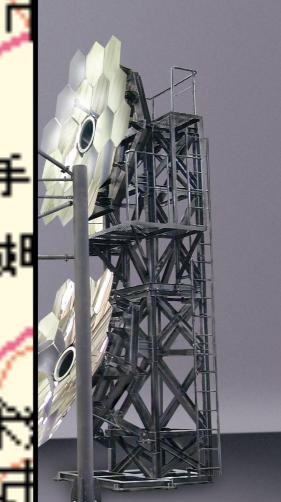


大阪城を中心に行開したとす
ると…

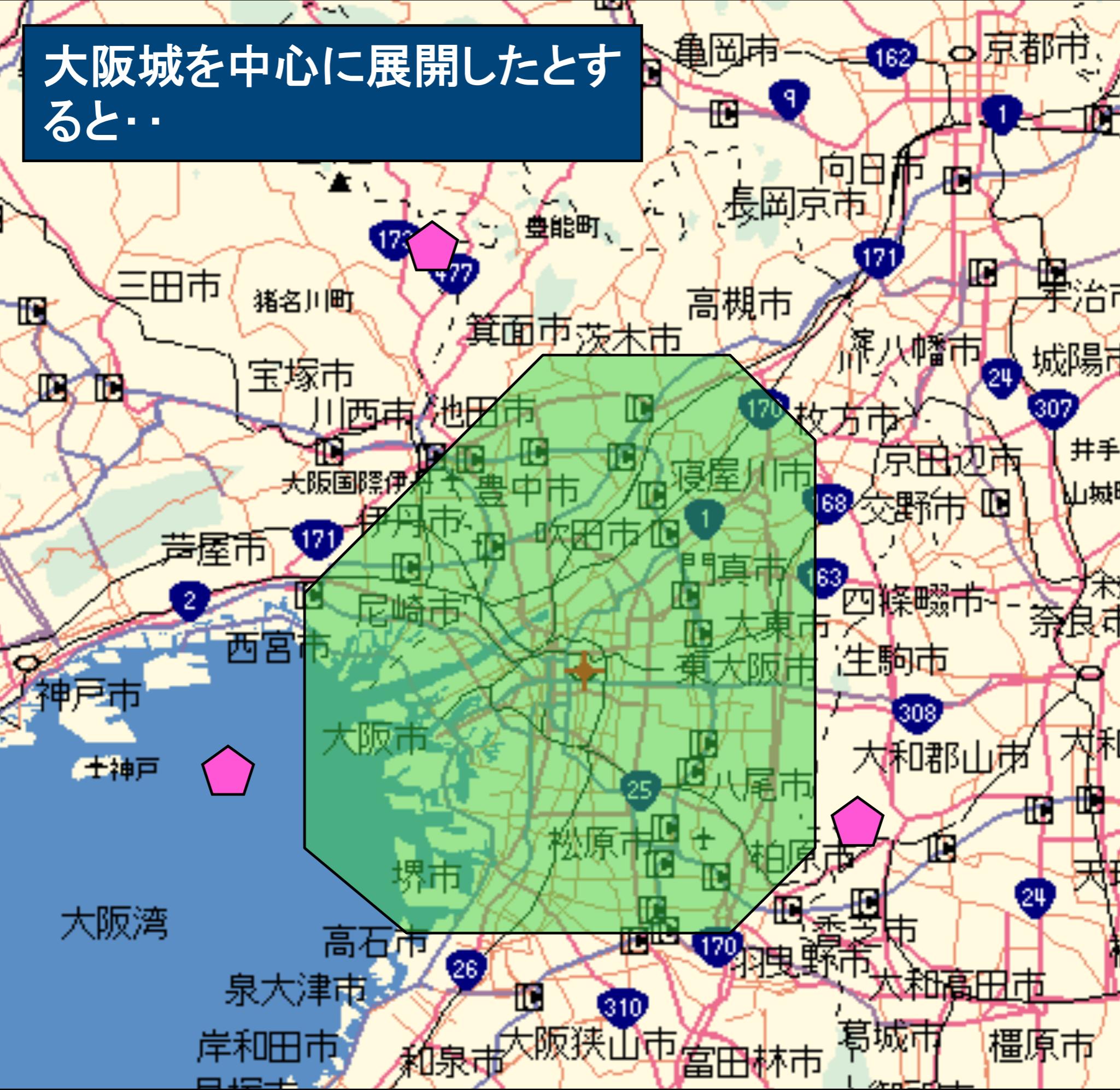
地表粒子
3m²、
1.2kr



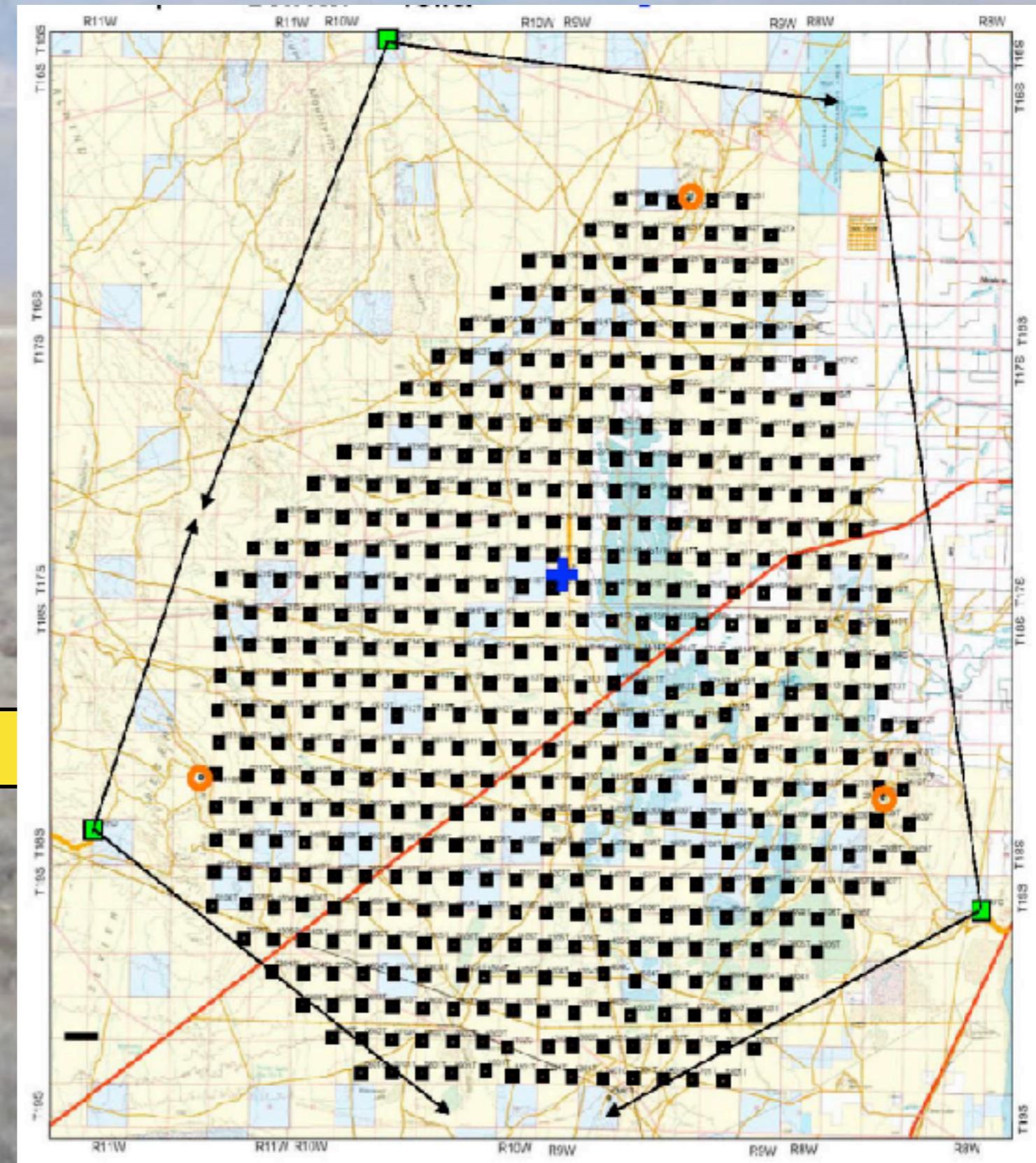
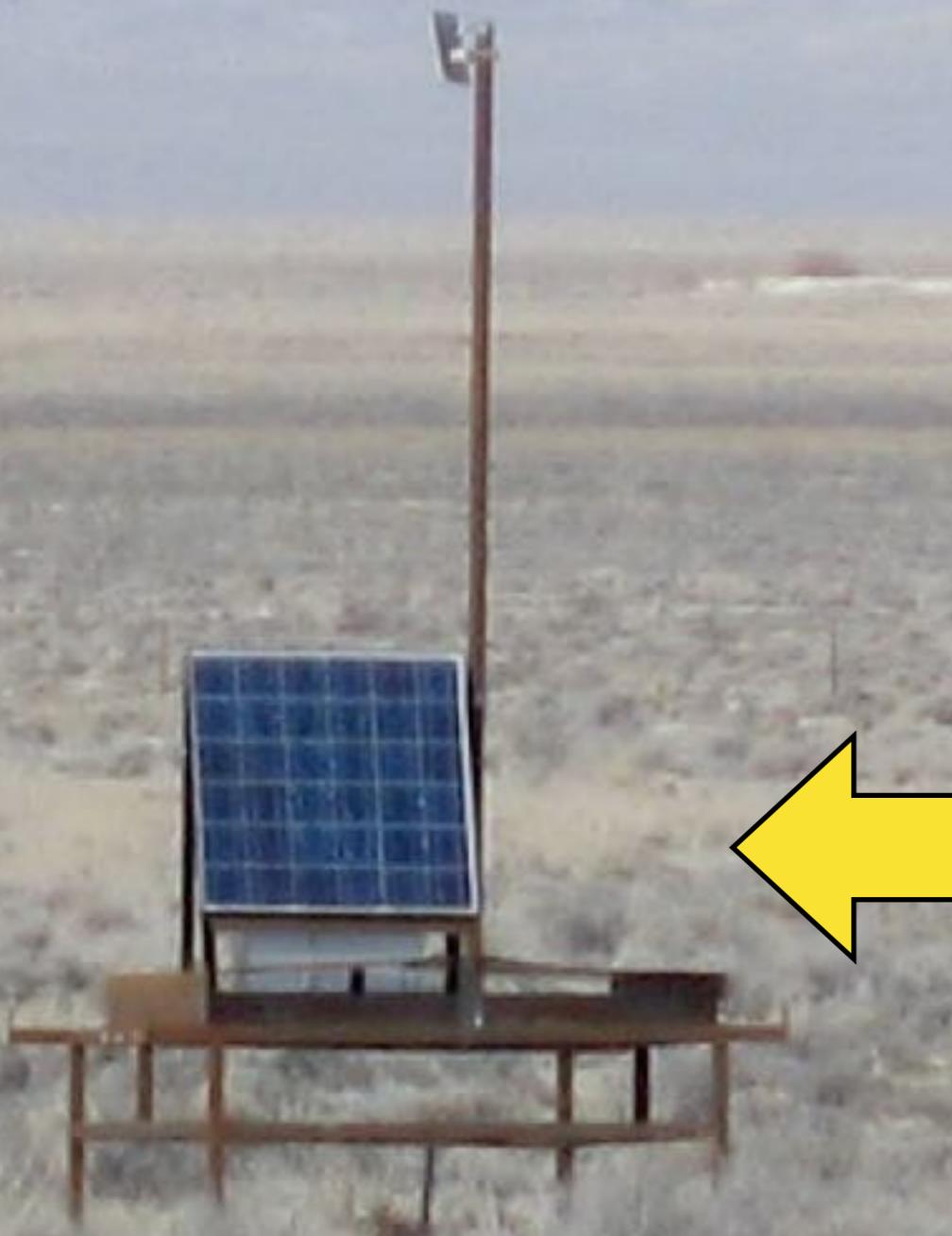
光望遠鏡
等、38台
の力所



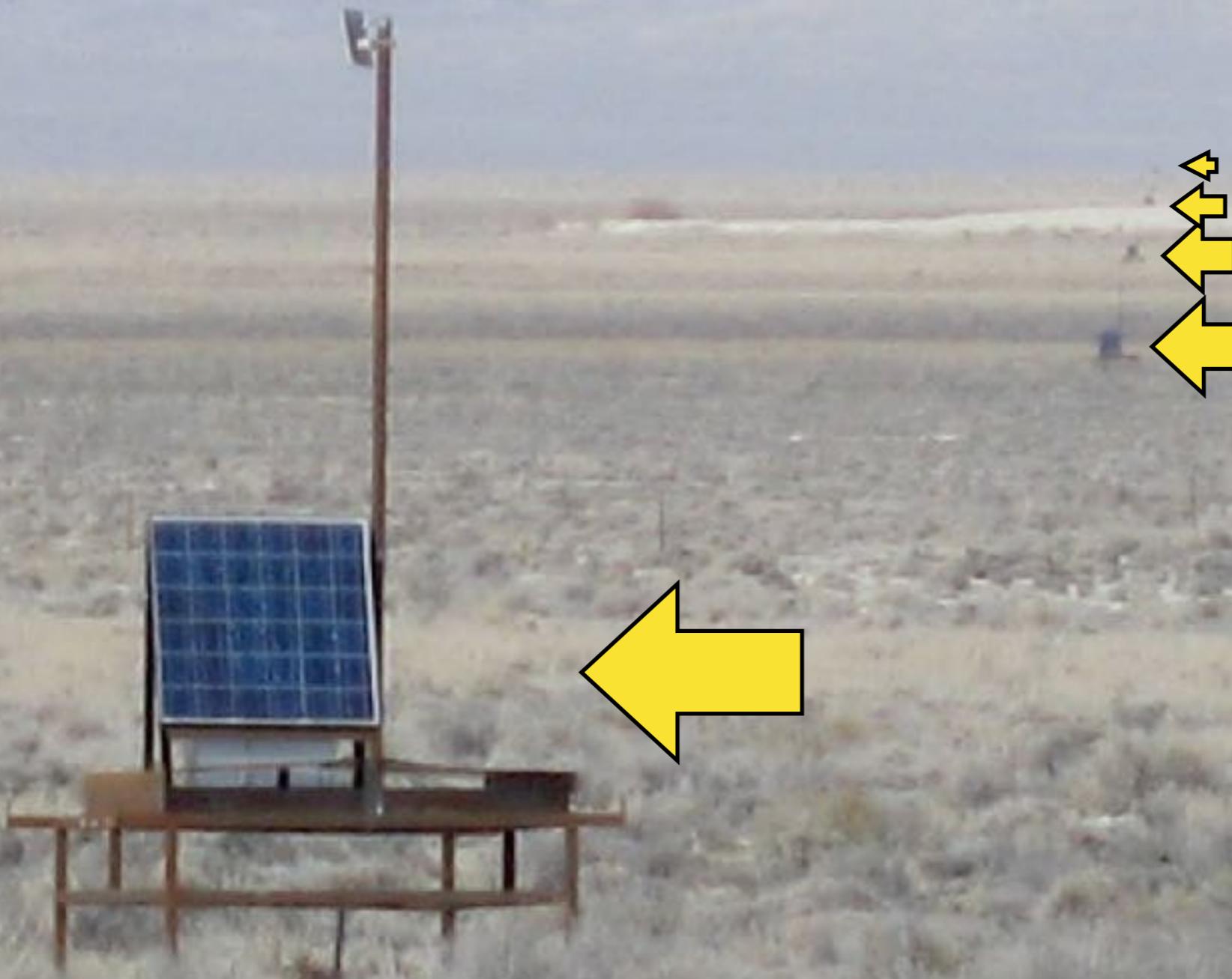
(BRM)



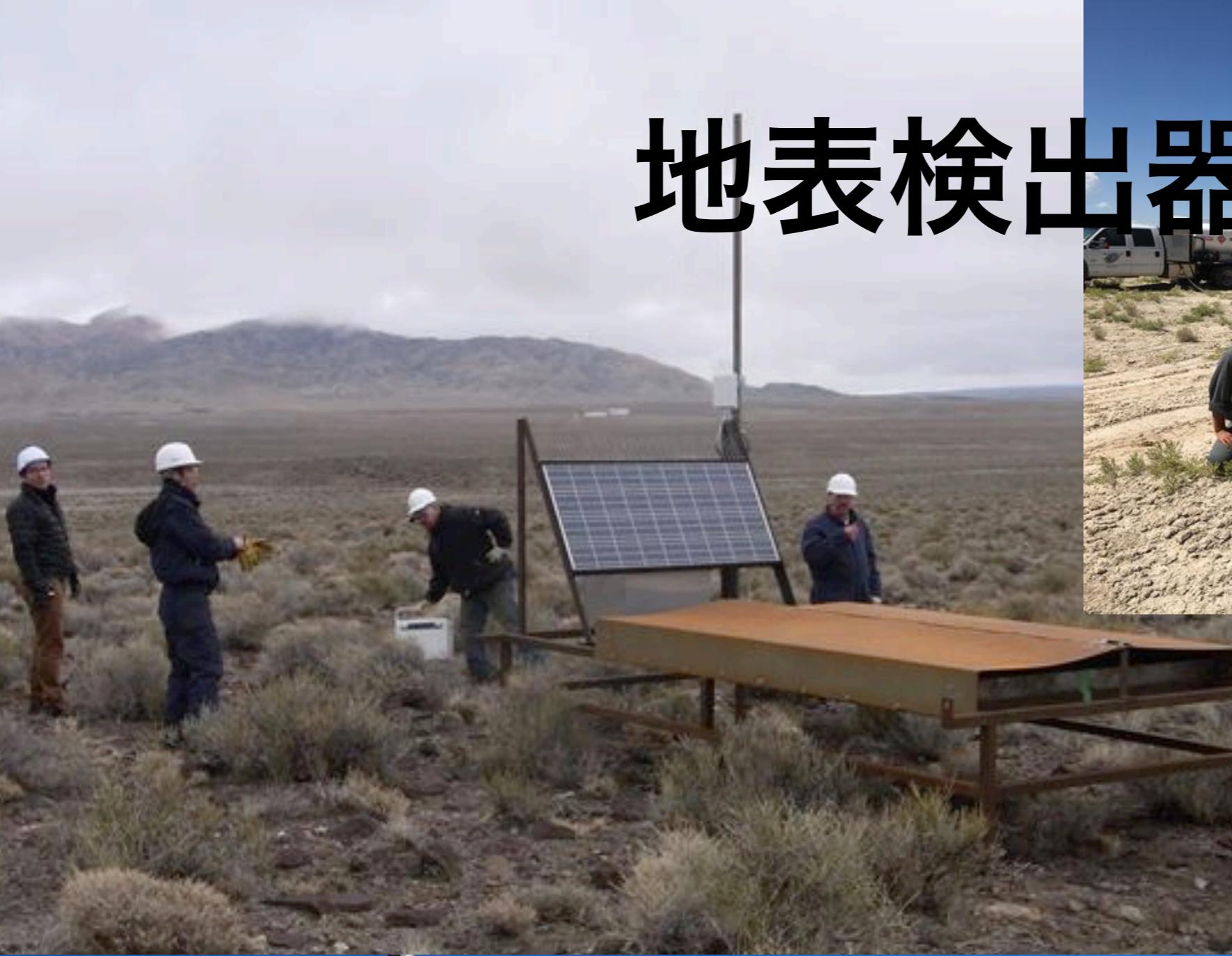
地表検出器



地表検出器



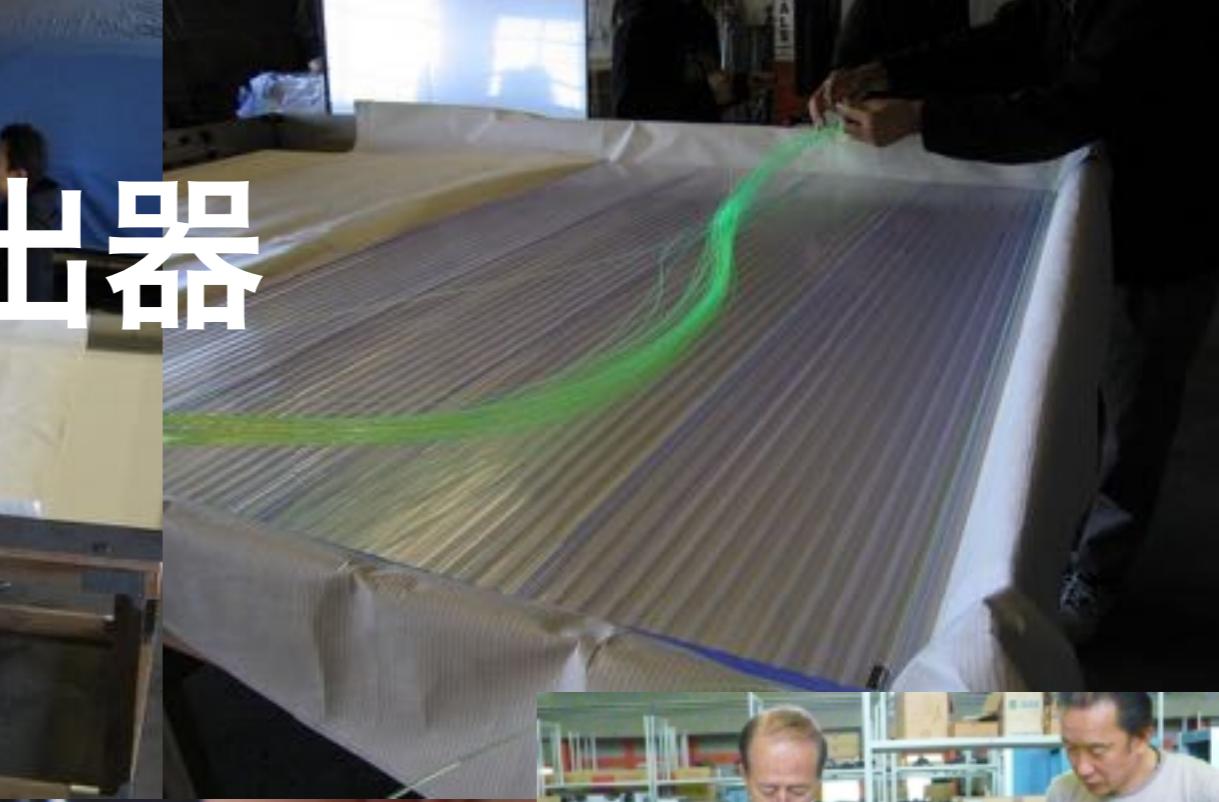
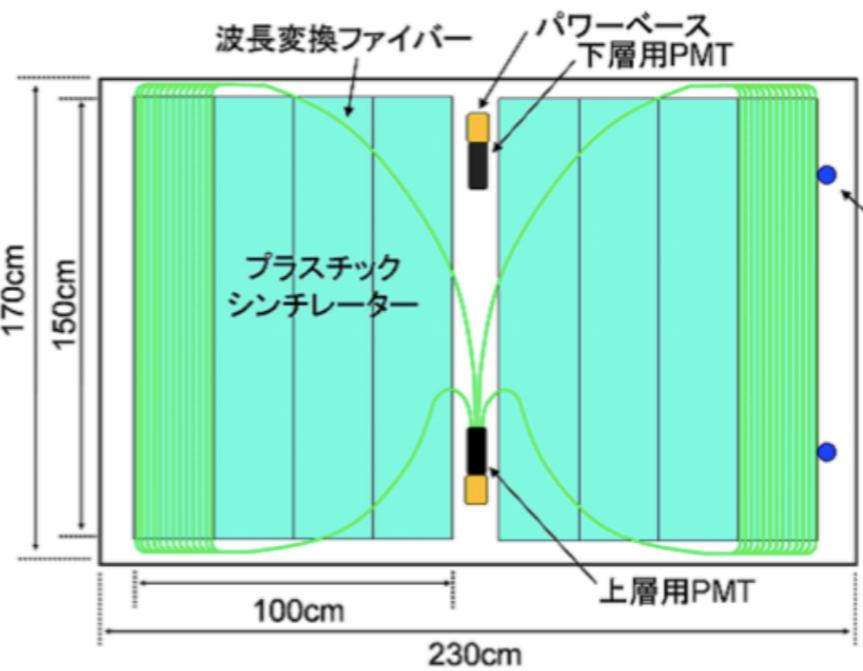
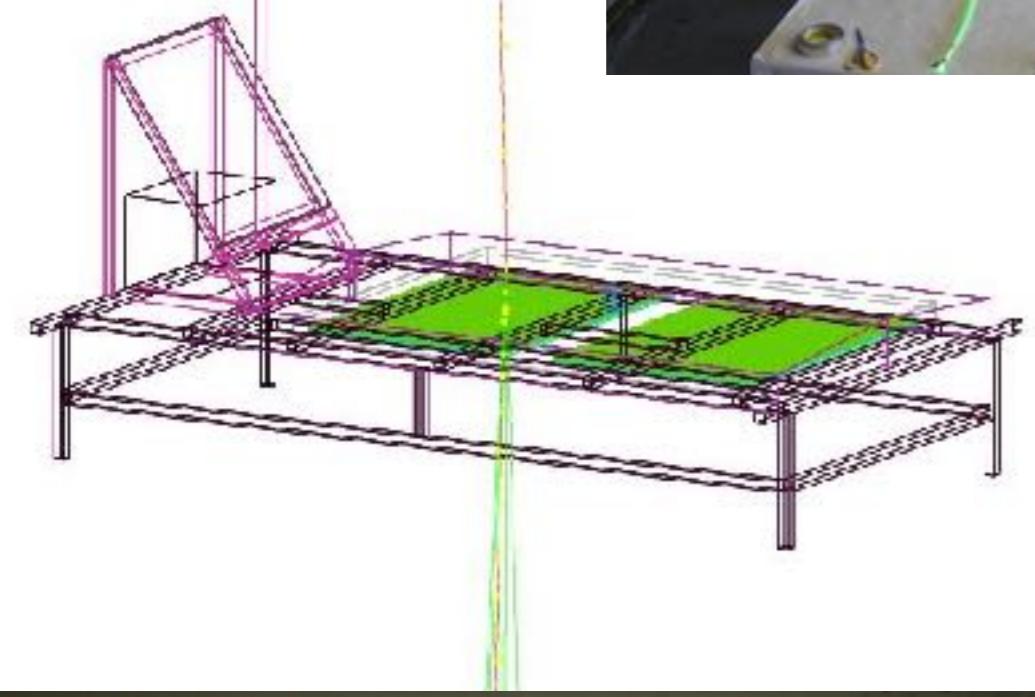
地表検出器



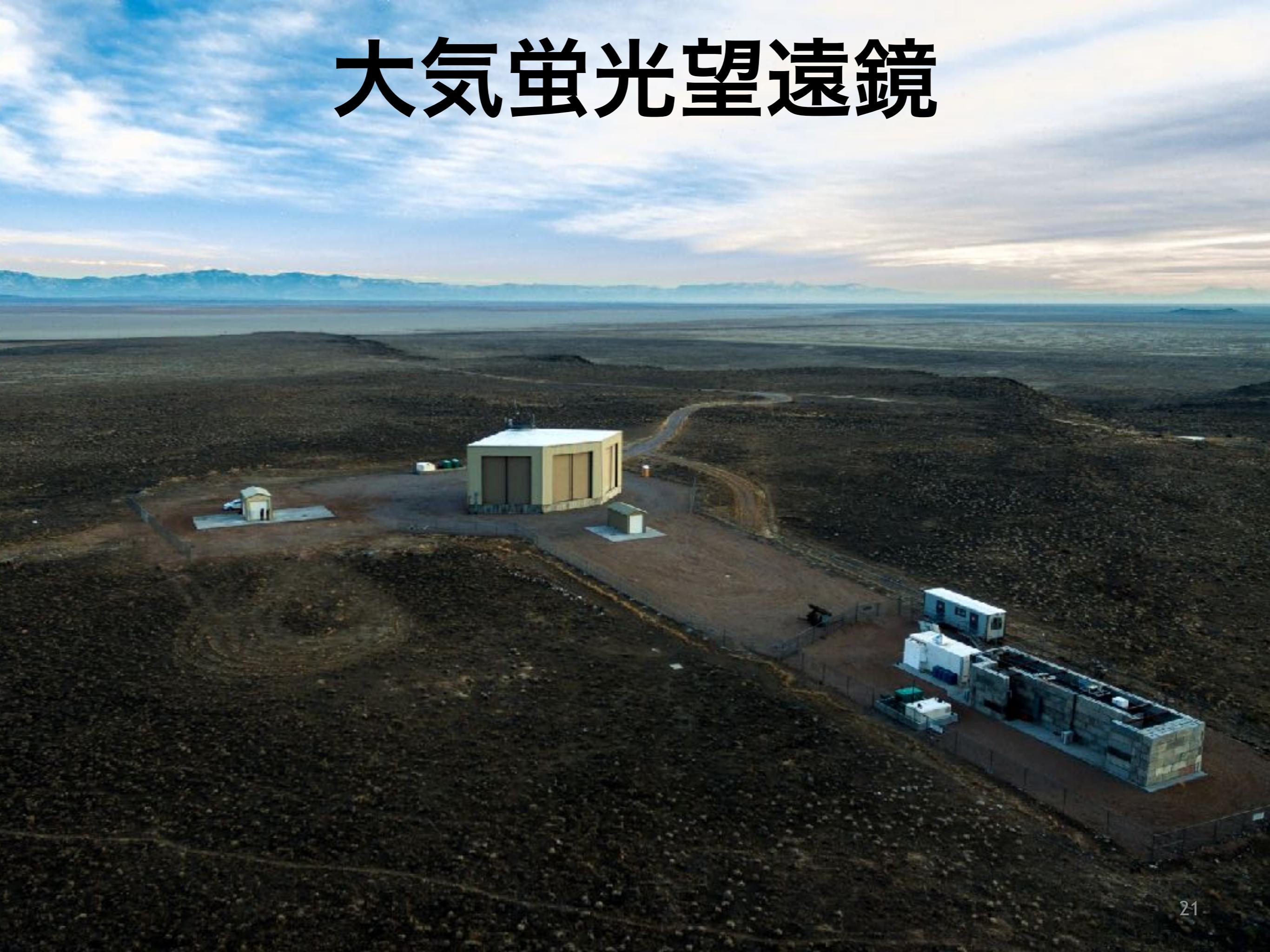
地表検出器



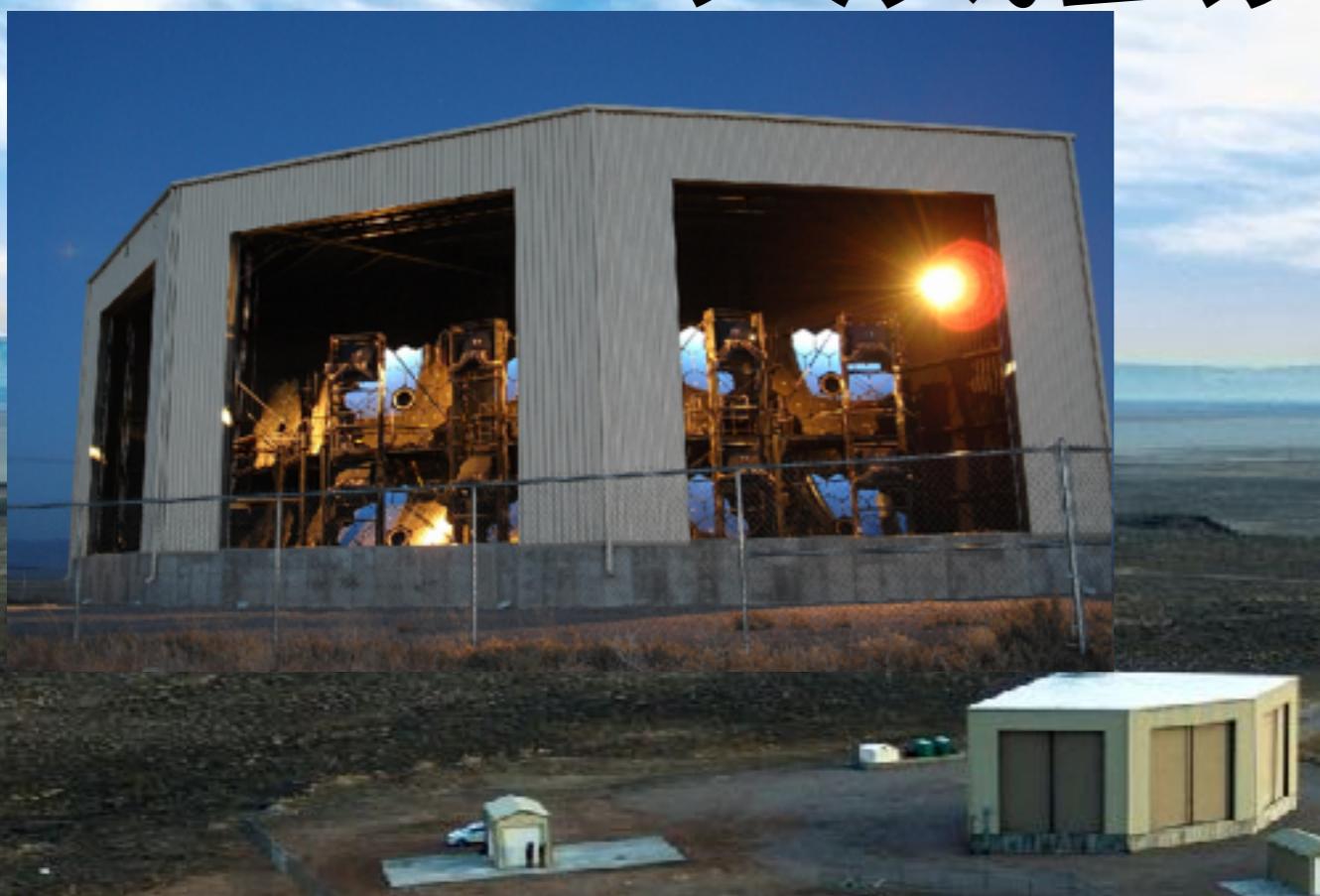
地表検出器



大氣蛍光望遠鏡



大気蛍光望遠鏡

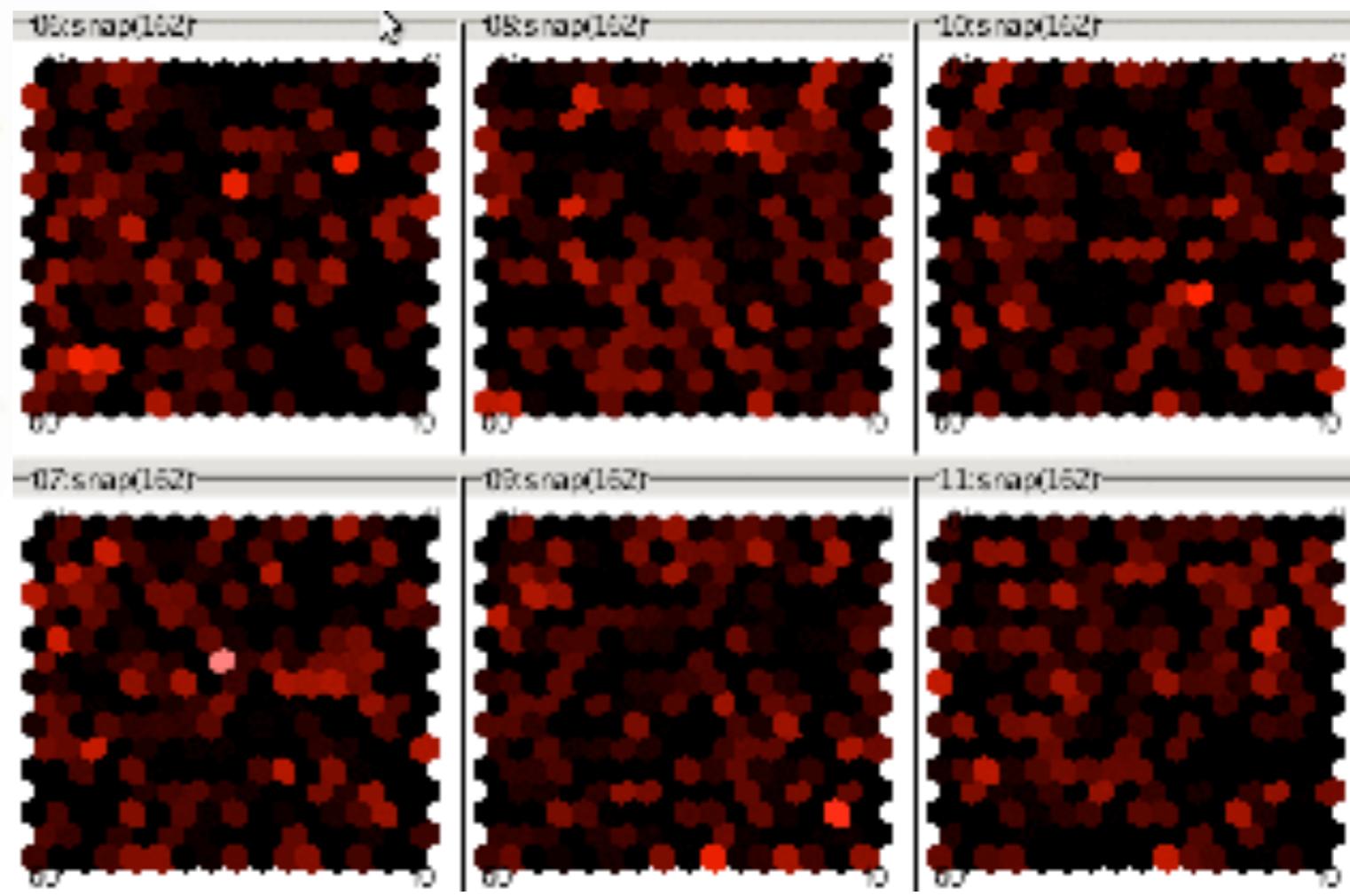
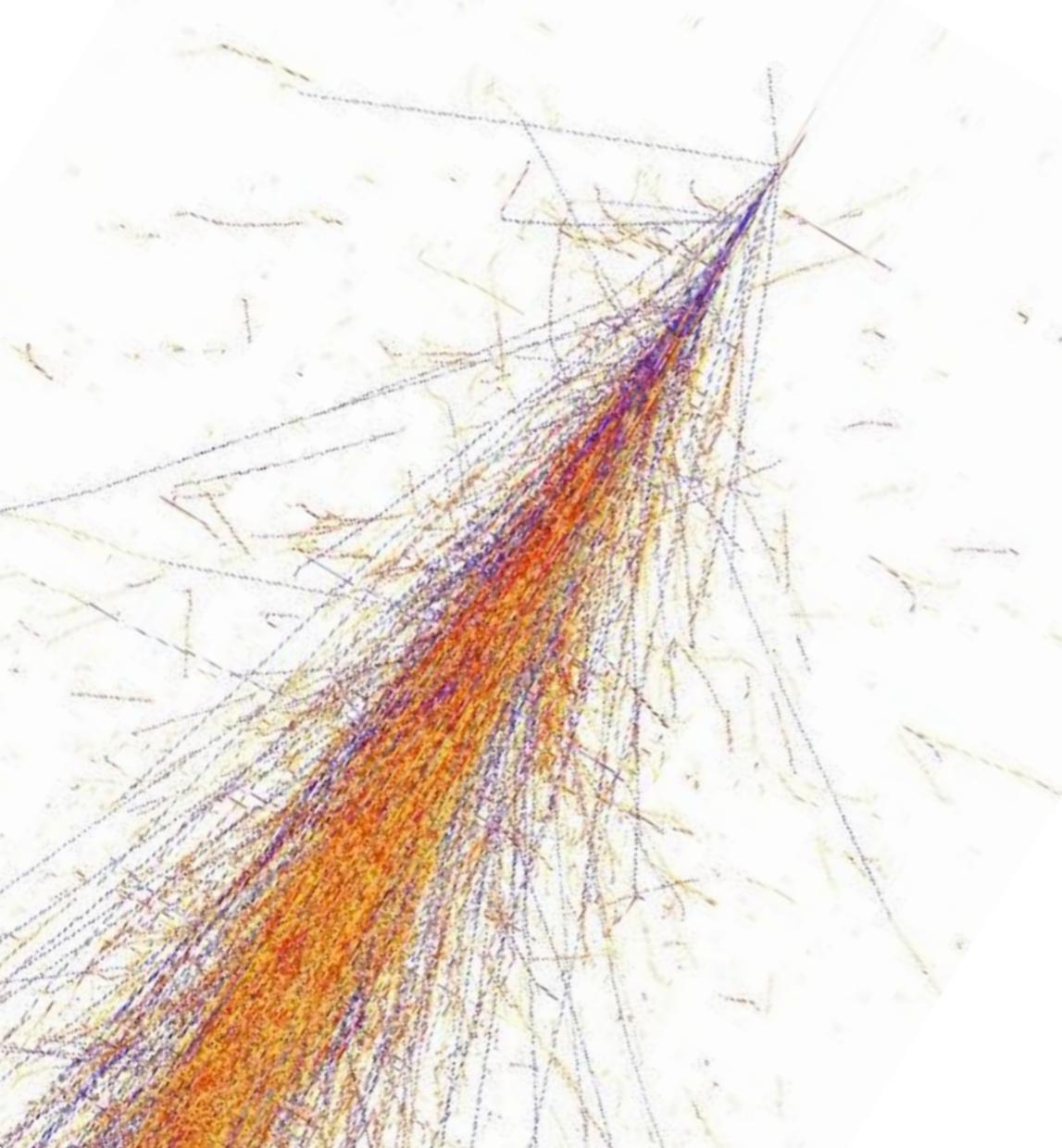


大氣蛍光望遠鏡



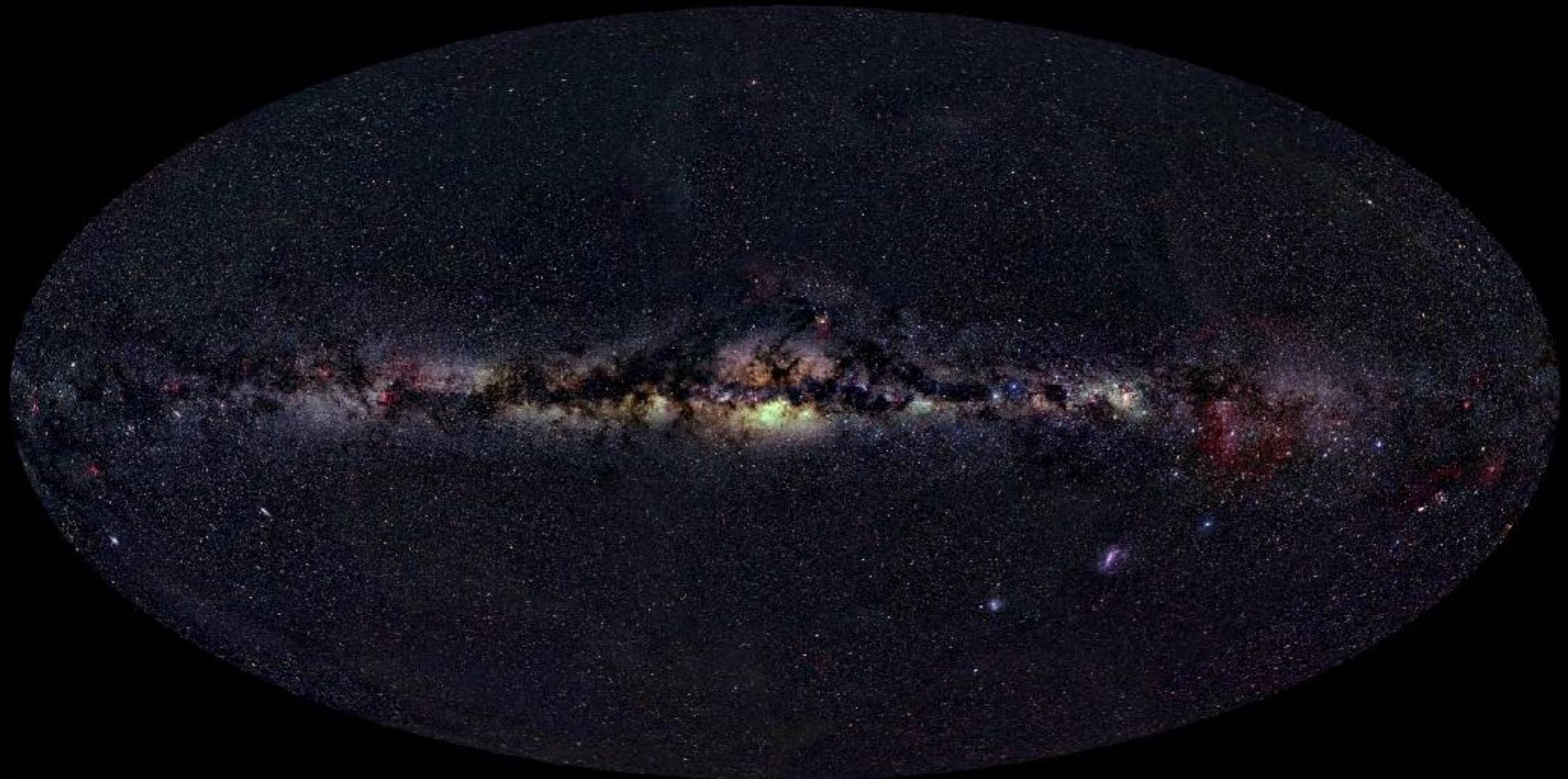
観測された空気シャワー（動画）

- 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



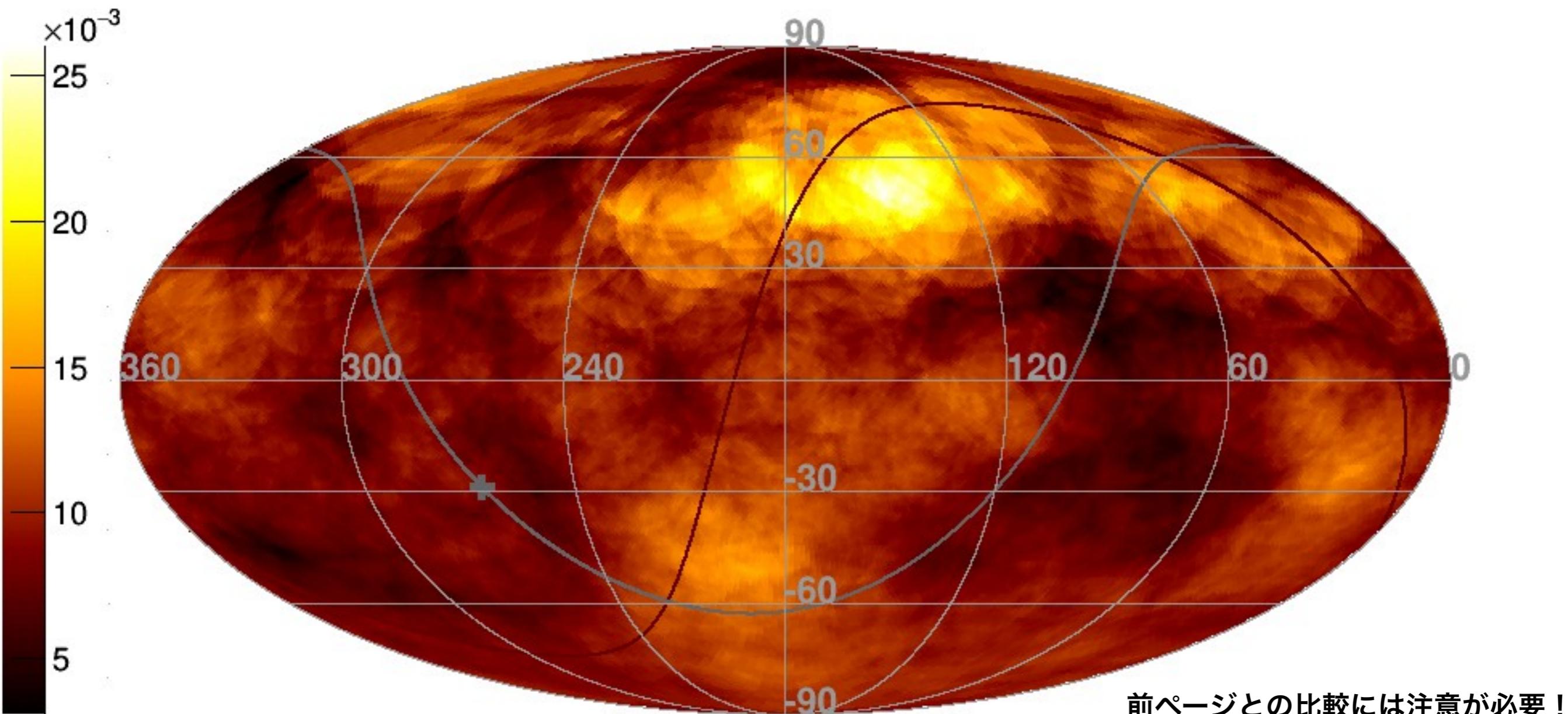
テレスコープアレイ実験の観測結果

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)

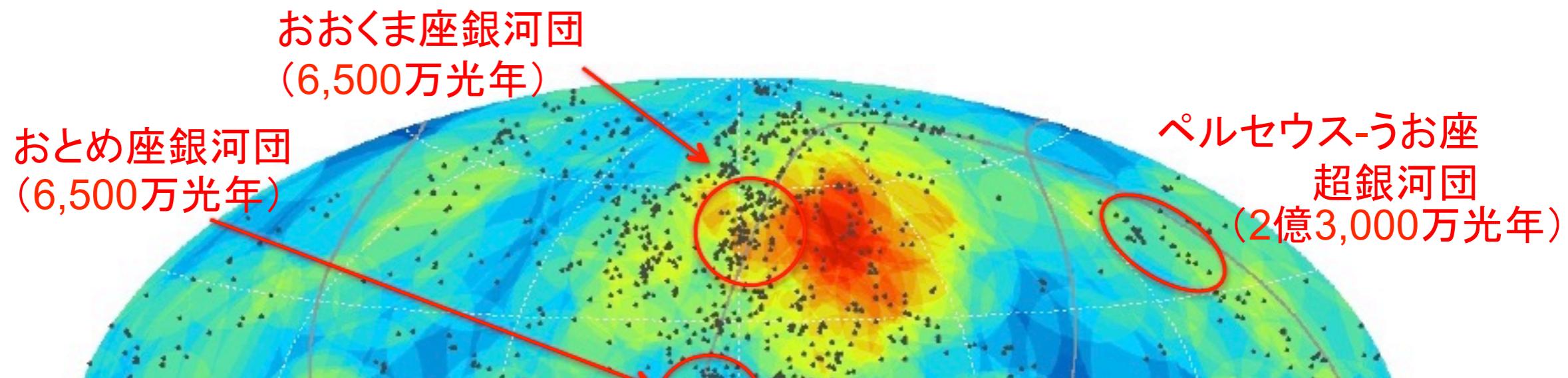
$\Phi(E_{\text{Auger/TA}} > 40/53.2 \text{ EeV}) [\text{km}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ yr}^{-1}]$ - Equatorial coordinates - $R = 20^\circ$



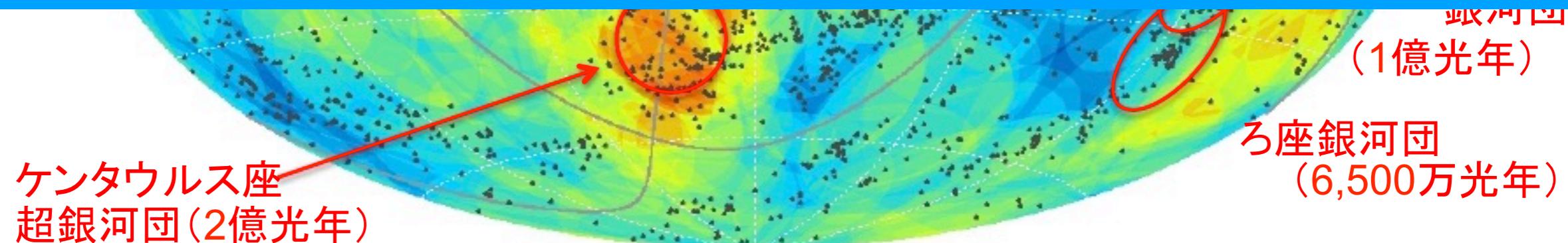
前ページとの比較には注意が必要！

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実験大拡張！

→TA×4実験

=世界最大へ！

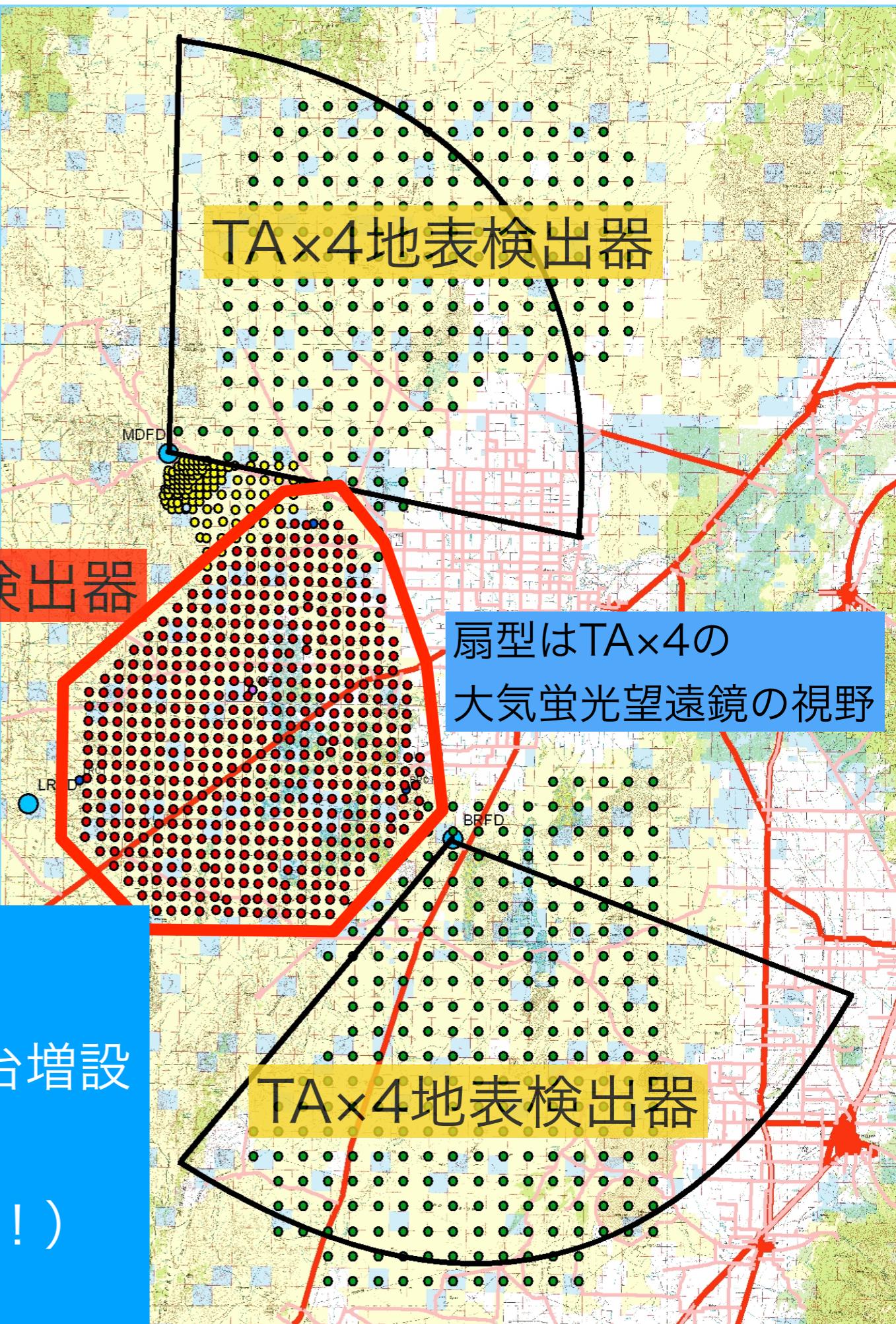
TAx4計画

現行TA実験の南北に地表検出器500台増設

→1,000台、面積3,000km²

2015年から建設開始（予算がついた！）

2019年運用開始（約760台）



TA実験を4倍に面積拡張

= TA ×4 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



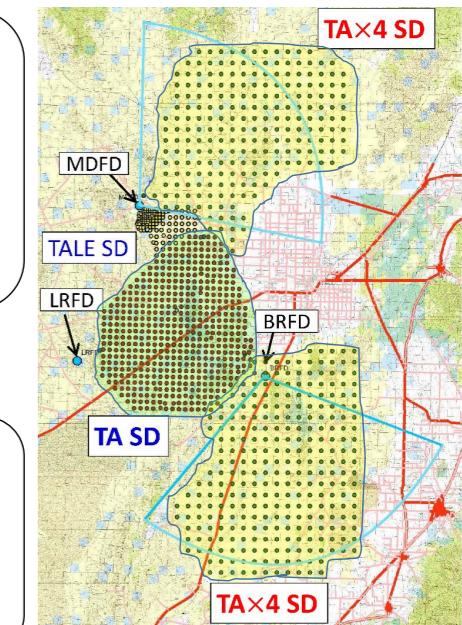
2015年に科研費 特別推進を獲得
→現在 1,700km² (TA × 2.5)
で定常観測

TA×4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



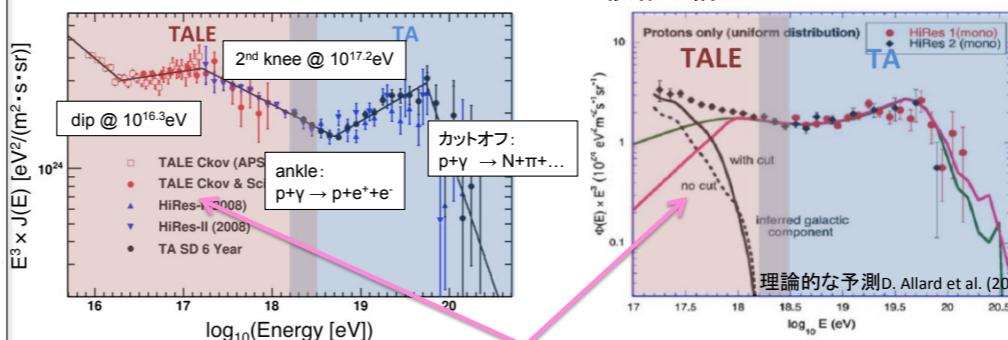
基盤 (S) 応募課題：
広エネルギー領域の精密測定で探る
超高エネルギー宇宙線源の進化

大阪市立大学 大学院理学研究科 萩尾 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

エネルギースペクトルに複雑な構造



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 萩尾 彰一

持帰不可

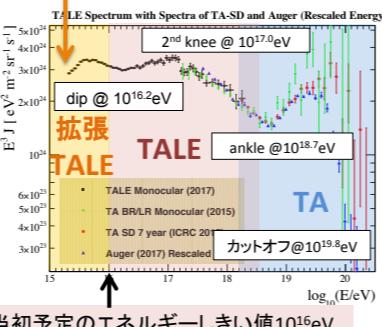
まとめ: TALEハイブリッド実験の低エネルギー化(< 10¹⁵eV)

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?

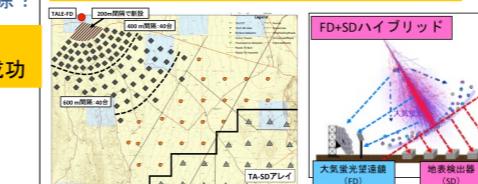
TALE FD単眼観測(2018年発表)
エネルギーしきい値を2x10¹⁵eVに下げるに成功



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

普段何をしている？

装置（ハード）とプログラム（ソフト）どちらも

- ▶ 装置：検出器製作、較正、エレクトロニクス
- ▶ プログラム：データ収集系、データ解析

海外派遣（修士以上、観測・運用、研究発表）

何が身につく？

（就職活動を経験したOBに、何をアピールできたかきいてみた）

- ▶ 実践的プログラミング能力
- ▶ 大量のデータの取り扱い、データ解析
- ▶ コンピューターネットワークとその応用
- ▶ 自分の考えを言語化する能力（文書、発表）
- ▶ 英語に対する苦手意識が消え去る！

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