

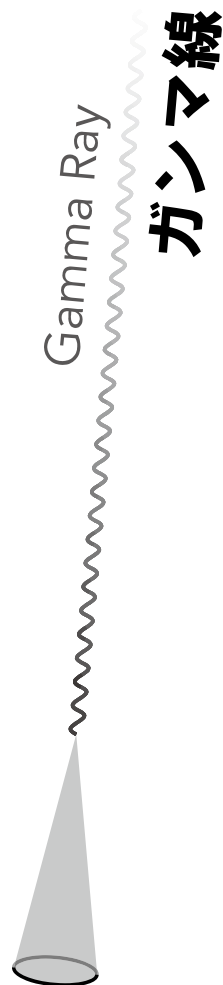
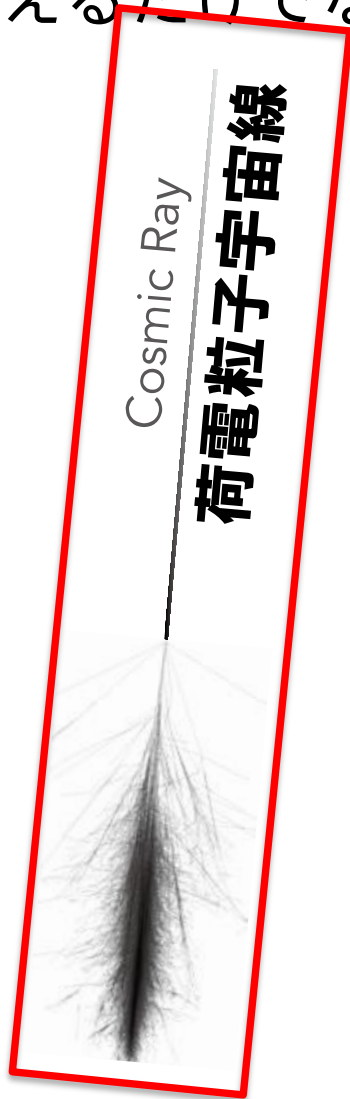
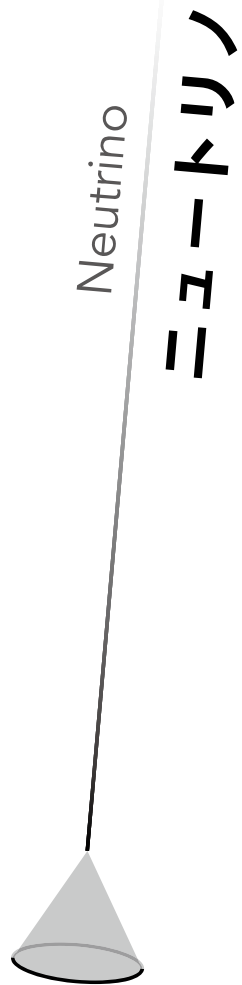
Telescope Array (TA)

助教 3名
技術職員 3名
研究員 2名
博士学生 2名
修士学生 1名

萩尾彰一 (A8教授)
さこ隆志 (A8教授)
川田和正 (A8准教授)

「マルチメッセンジャー」

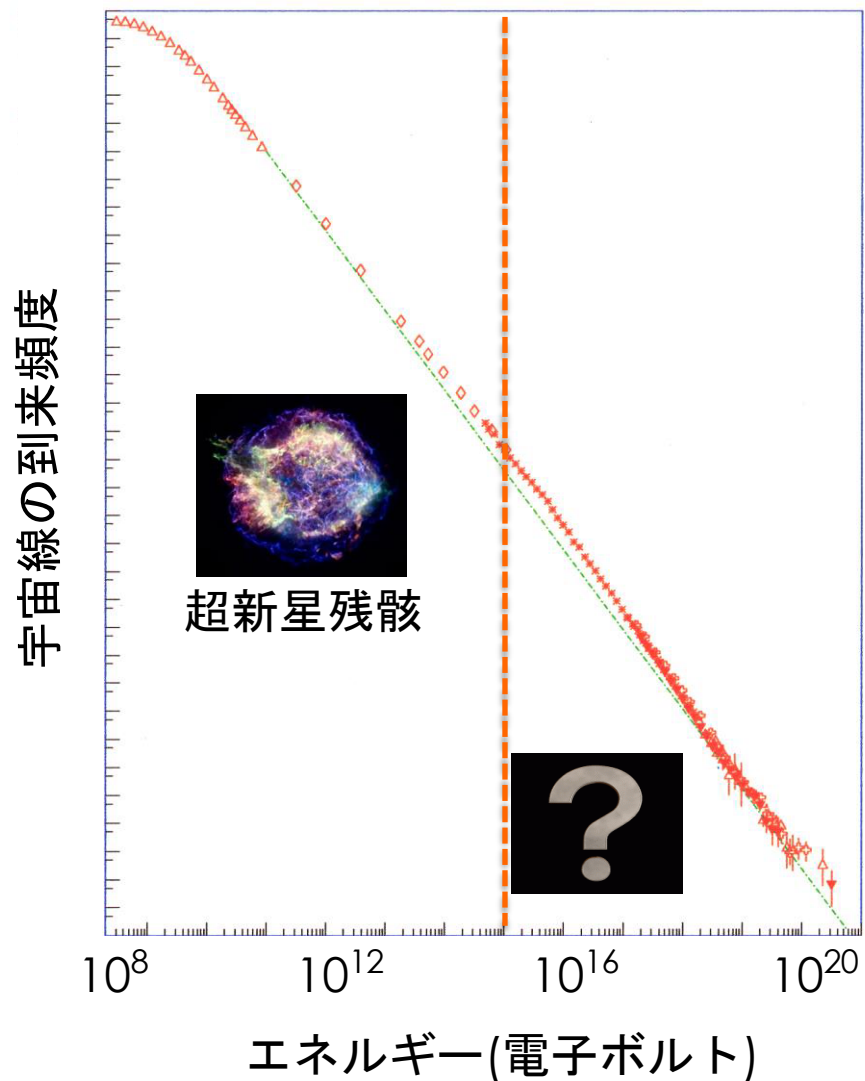
従来のように「光」をとらえるだけでなく...



さまざまな「放射＝メッセンジャー」を同時検出する



宇宙線スペクトル

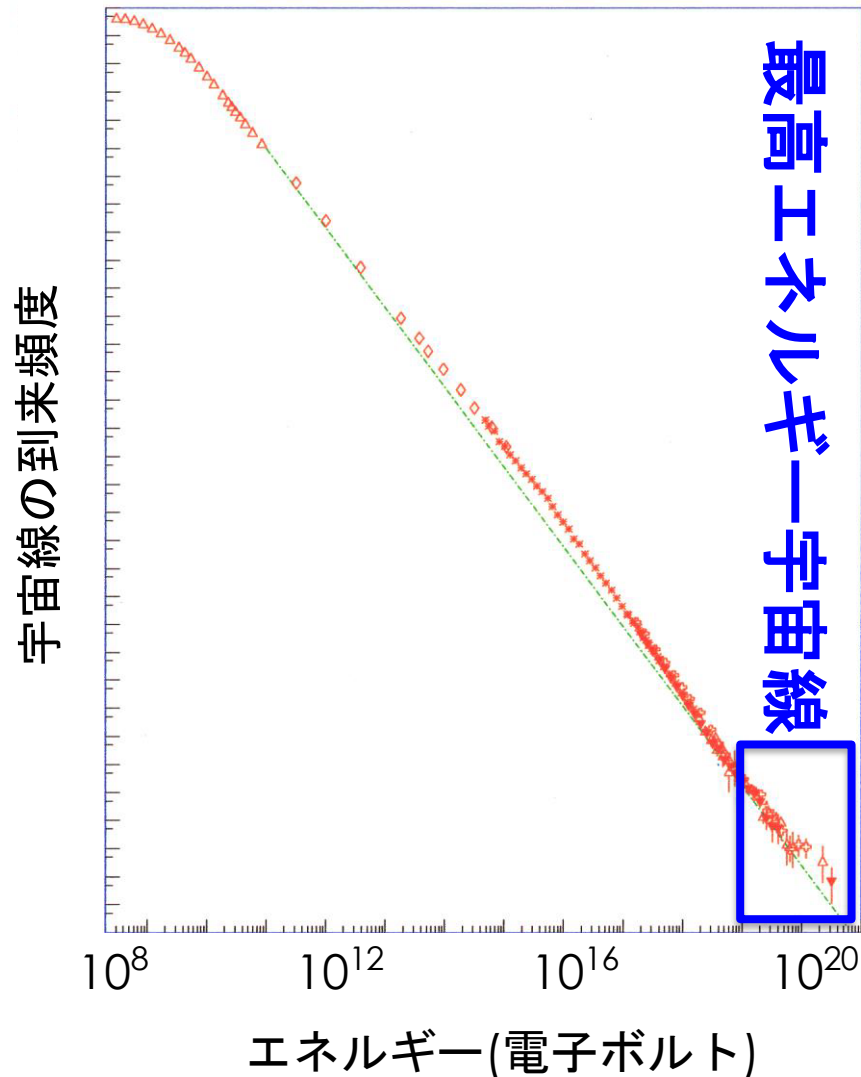


- ❖ 10桁以上の広いエネルギー
- ❖ 1桁エネルギーが上がると頻度は1/100

→ **べき乗則**



最高エネルギー宇宙線



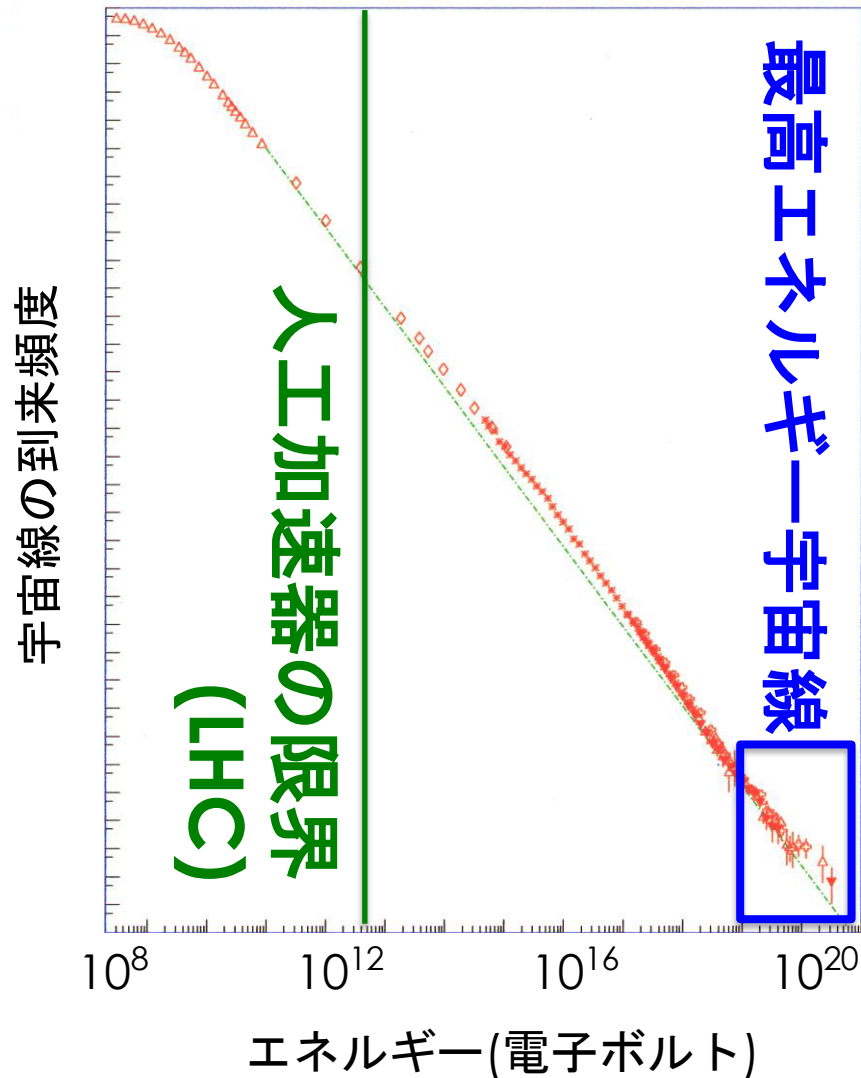
- ❖ 10桁以上の広いエネルギー
- ❖ 1桁エネルギーが上がると頻度は1/100

→ **べき乗則**

- ❖ 最高エネルギー領域の宇宙線
 - 10km×10kmの範囲に1個/年
 - 非常に観測が困難
 - 存在自体が宇宙物理の謎の一つ

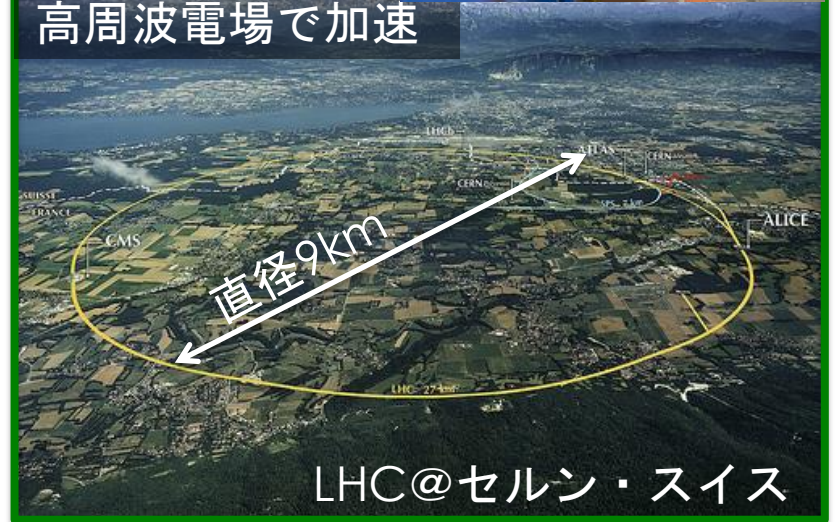


最高エネルギー宇宙線



陽子加速器

磁場で閉込め
高周波電場で加速



10^{20} 電子ボルト(eV) =
人工加速器で生成できる
ビームエネルギーの1000万倍

最高エネルギー宇宙線研究で 解明したいこと

- 大きなエネルギーはどこまで？
- どこからきているのか？
- その仕組み＝宇宙最大の
高エネルギー現象とは？

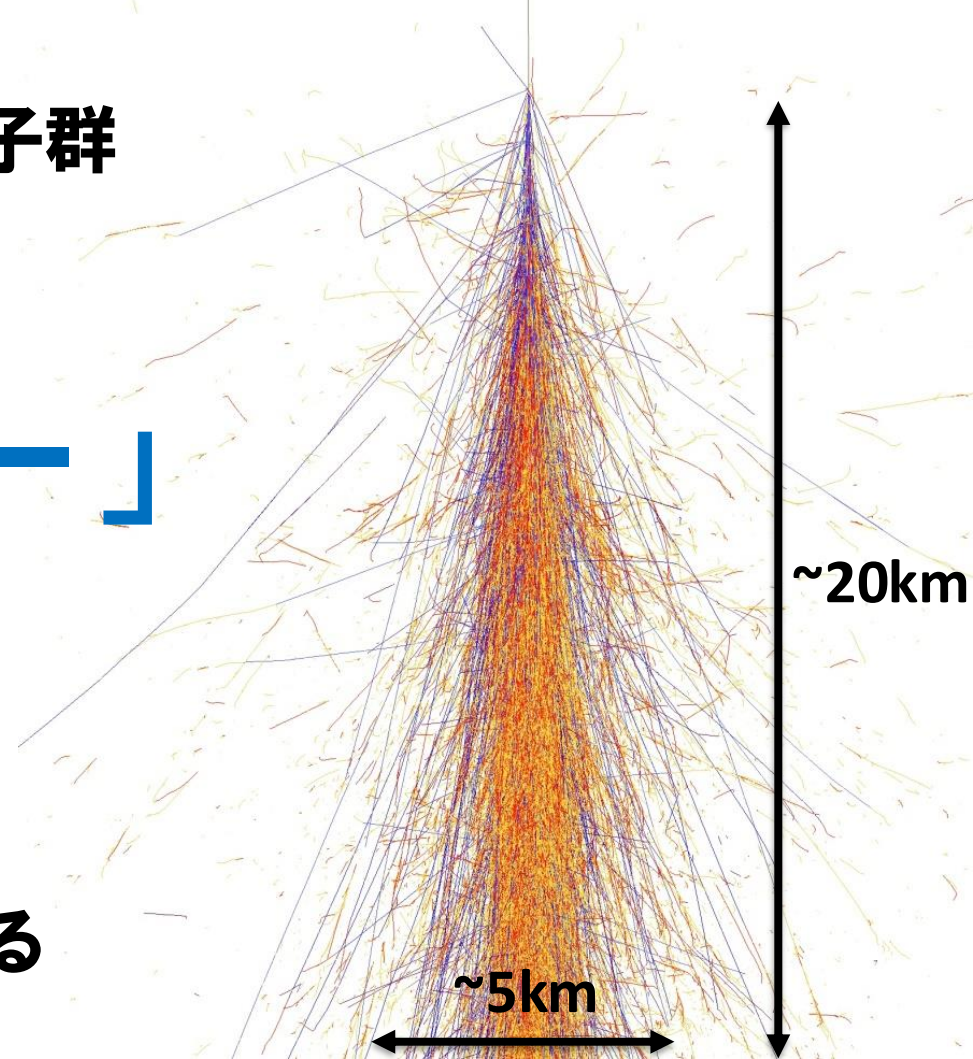
どうやってつかまえる（見る）？

1個の高エネルギー宇宙線 → 多数の放射線

10^{20} eV → 1,000億個の粒子群

「空気シャワー」

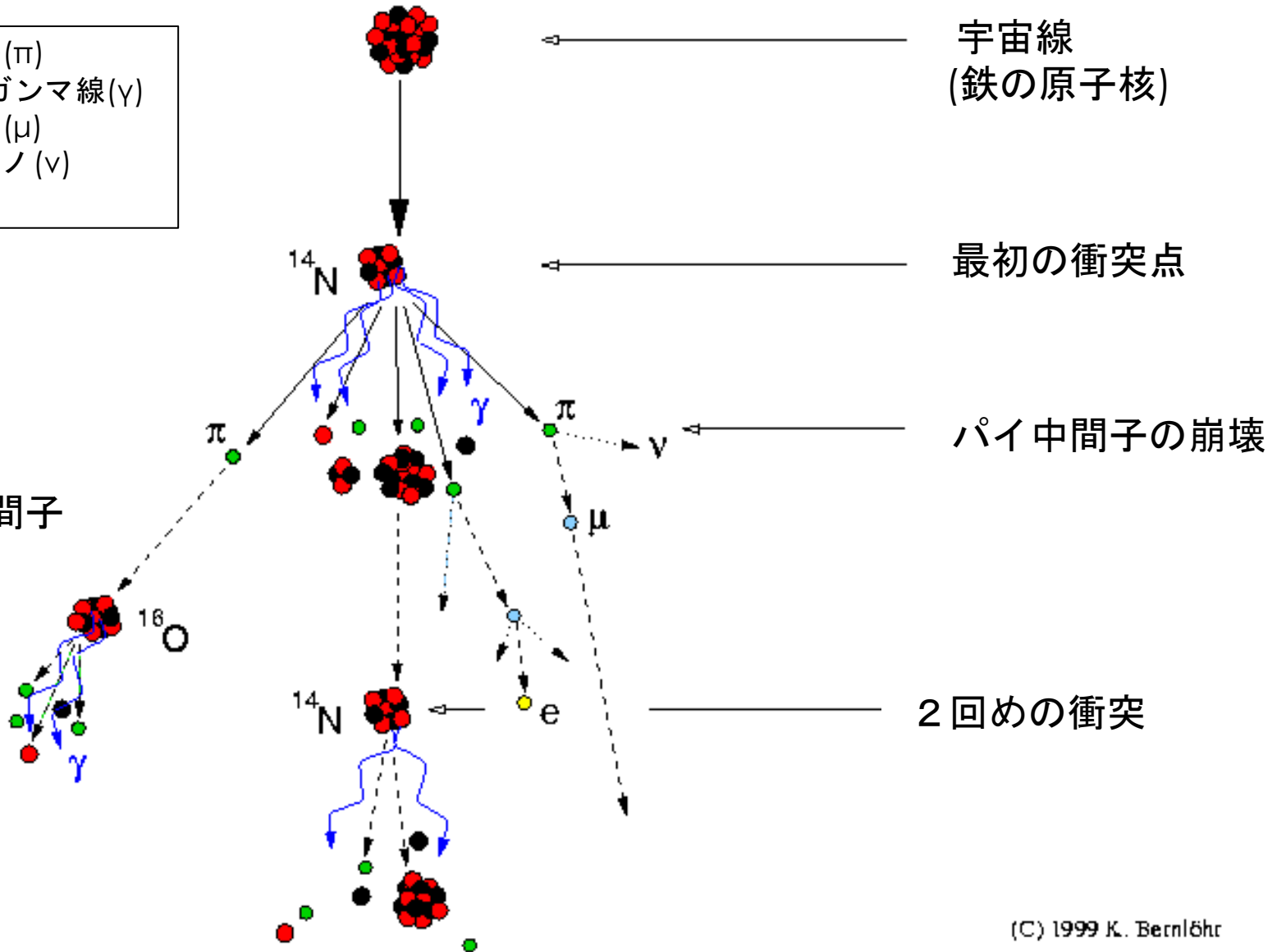
大気の底＝地上に到来する
これらの粒子たちをとらえる



宇宙線空気シャワーの発達

パイ中間子(π)
電子(e)・ガンマ線(γ)
ミューオン(μ)
ニュートリノ(ν)
を大量発生

パイ中間子の衝突



空気シャワー（イメージ動画）



動画提供：大阪公立大学/京都大学L-INSIGHT

空気シャワーのつかまえ方

極高エネルギー宇宙線から生成される
空気シャワー

地表粒子検出器アレイ

大気蛍光望遠鏡

テレスコープアレイ実験

日本、米国、ロシア、韓国、ベルギー、
チェコ、スロベニア、ポーランド、台湾
35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
アメリカ合衆国ユタ州南西部



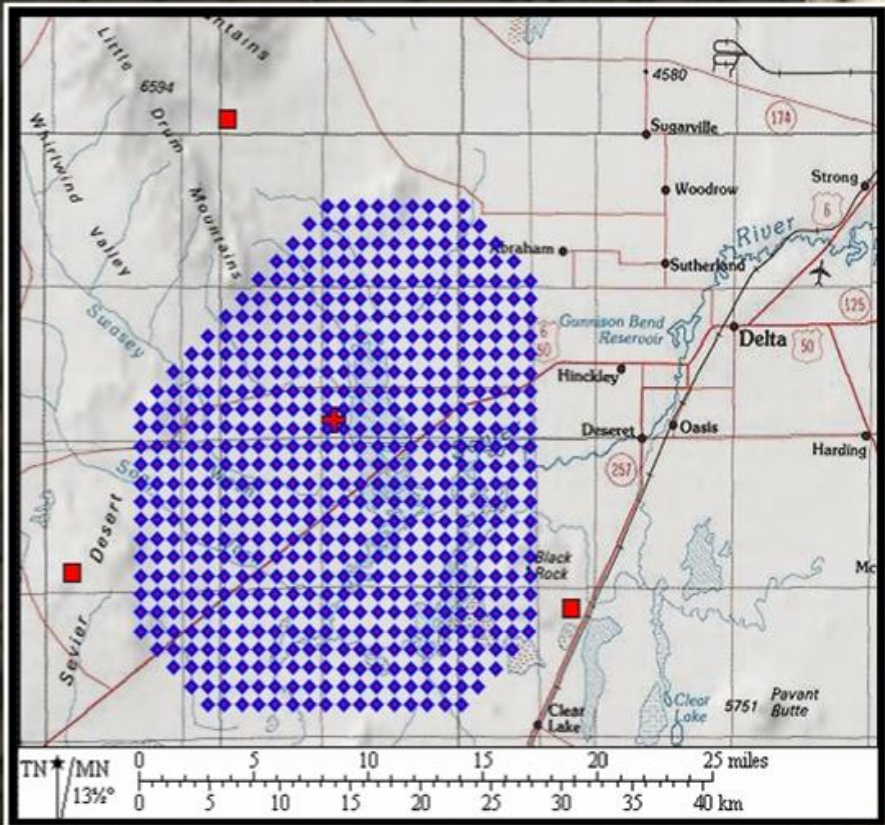


観測サイト ユタ州ミラード郡





ソルトレイクシティ



デルタ



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

千葉

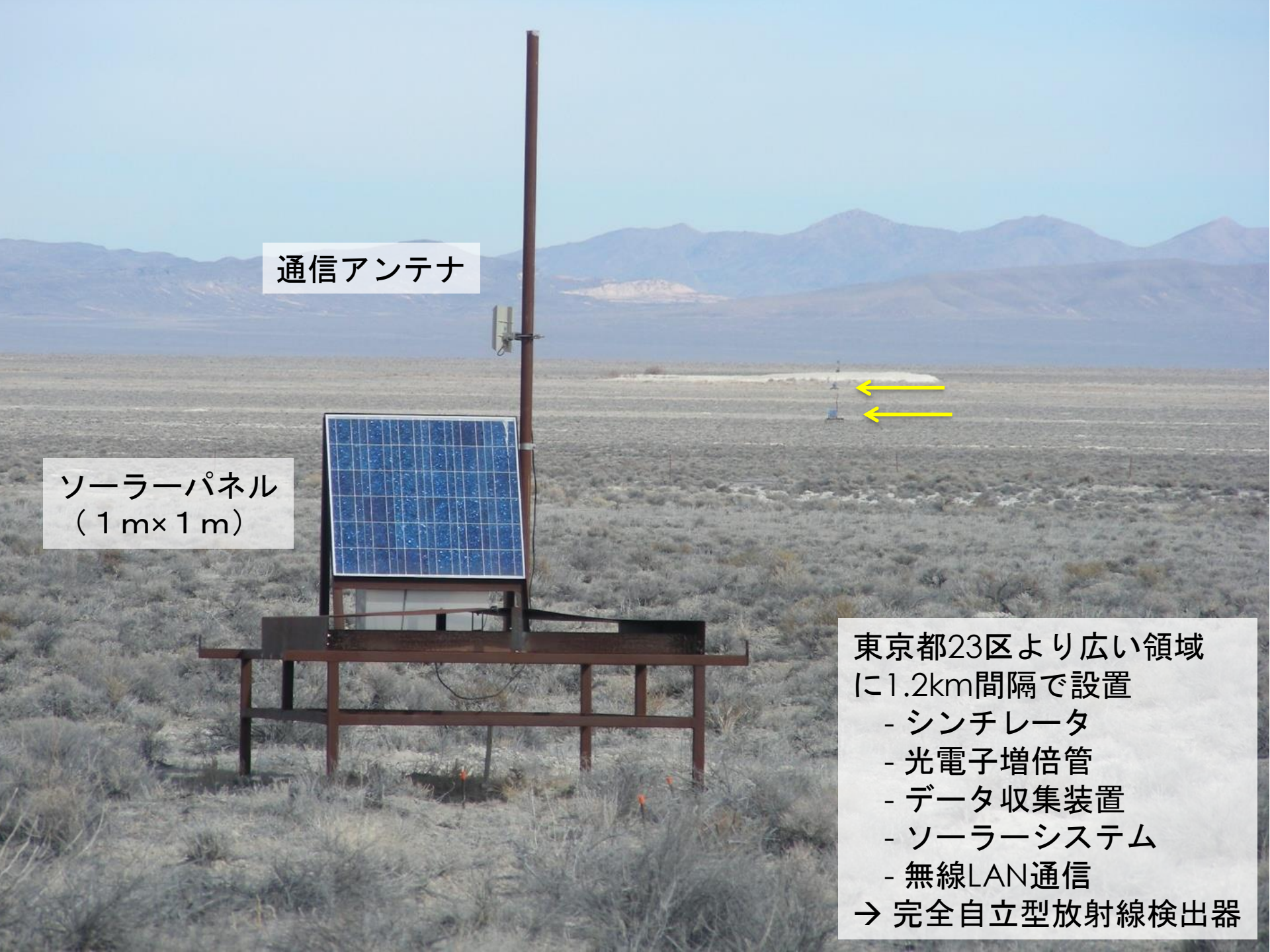
南武線

川崎

横浜線

袖

市原



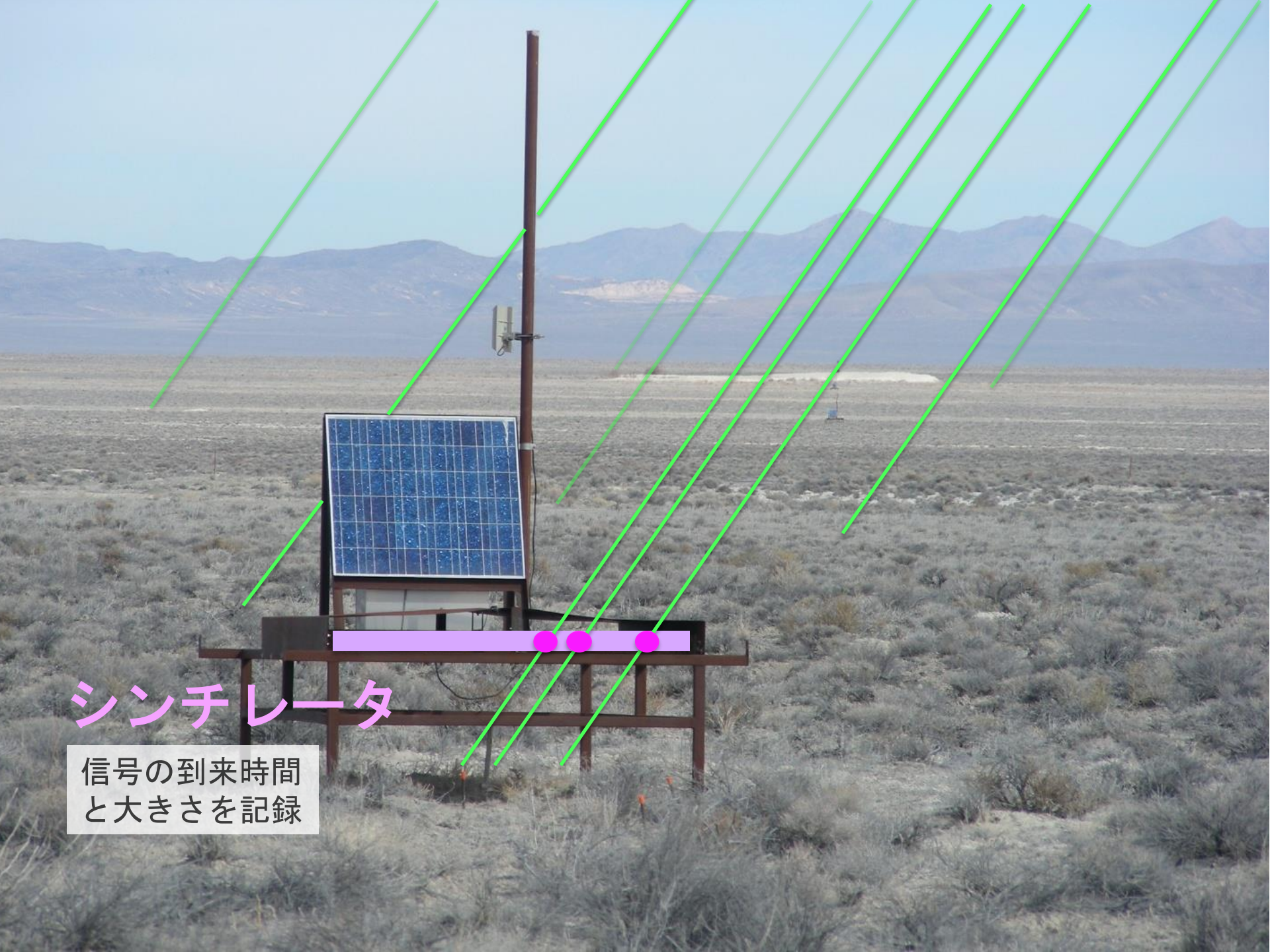
通信アンテナ

ソーラーパネル
(1 m×1 m)

東京都23区より広い領域
に1.2km間隔で設置

- シンチレータ
- 光電子増倍管
- データ収集装置
- ソーラーシステム
- 無線LAN通信

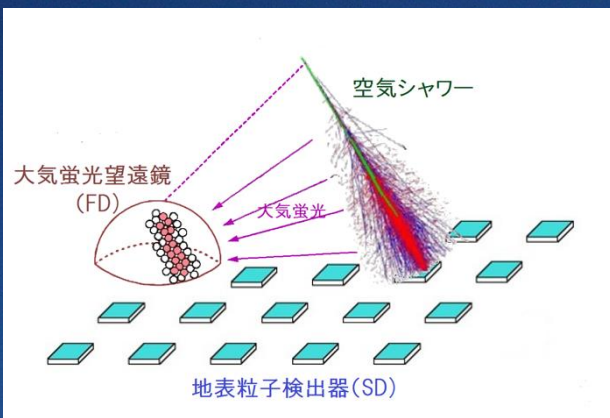
→ 完全自立型放射線検出器



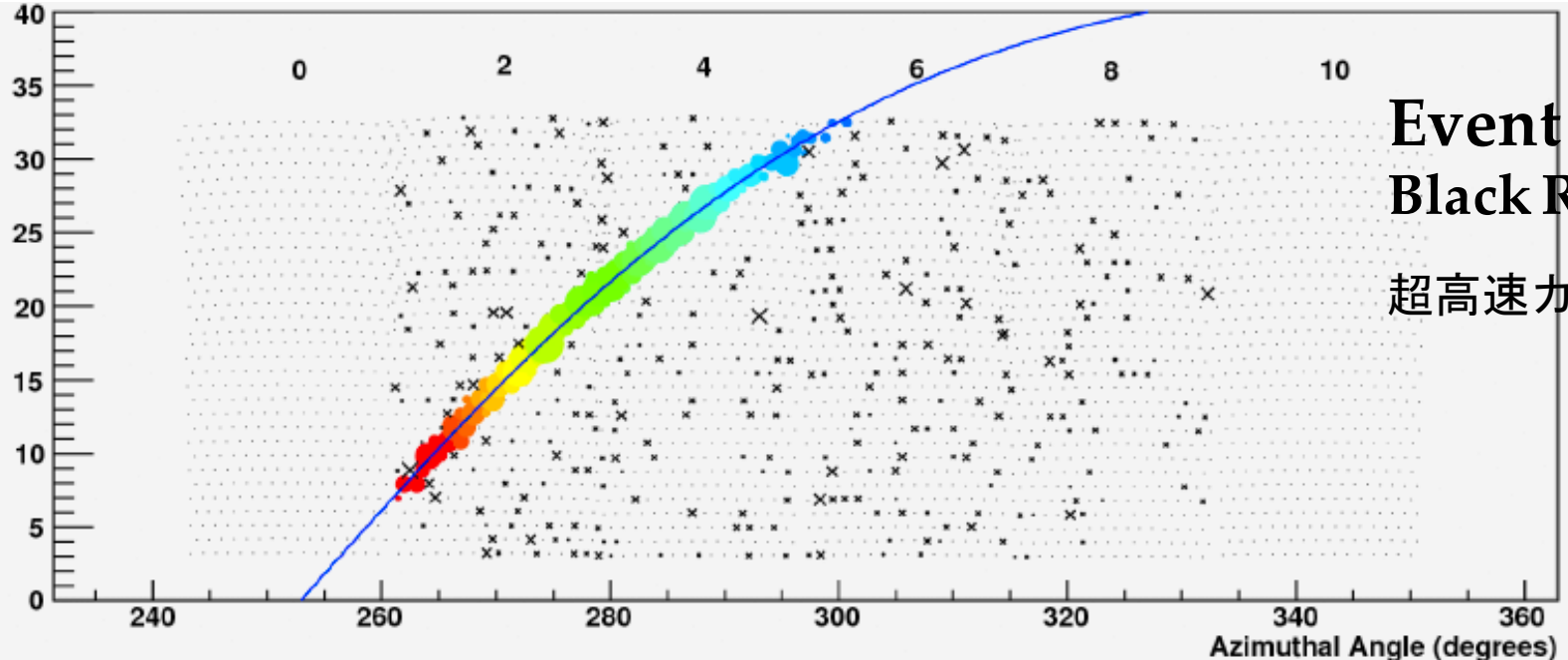
シンチレータ

信号の到来時間
と大きさを記録

空気シャワー中の粒子が大気中の窒素分子を
励起したとにき放射する**大気蛍光**を観測する

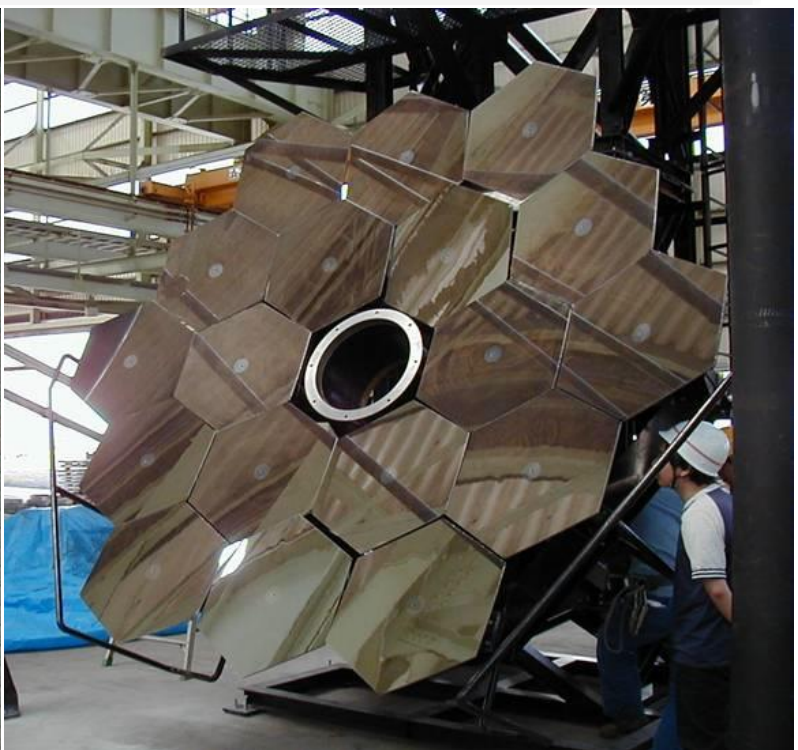
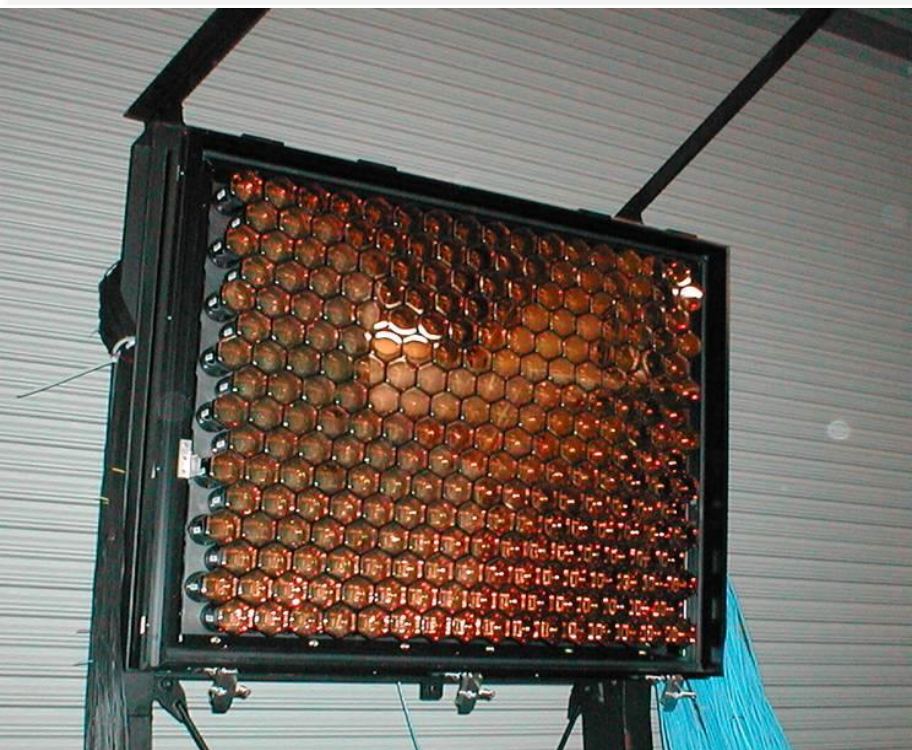


Altitude Angle (degrees)

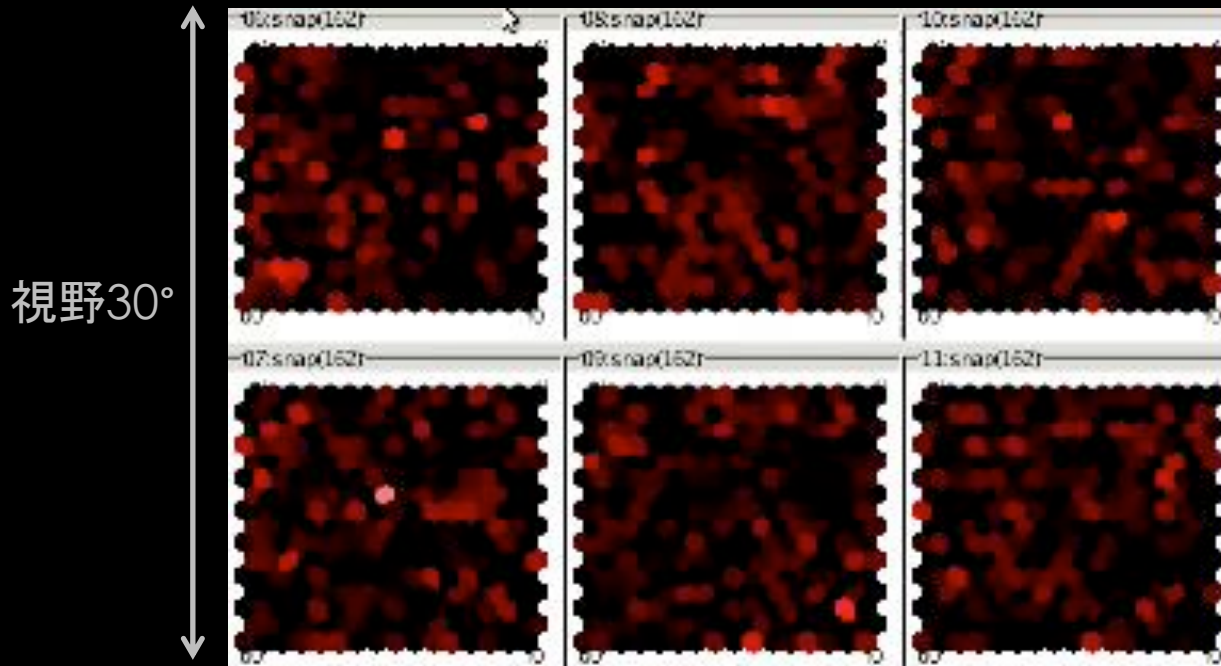


Event Display Black Rock Mesa

超高速カメラと鏡

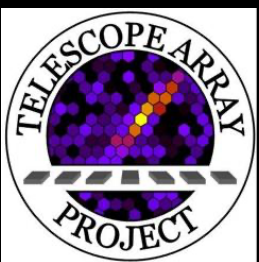


超高感度・超高速カメラ



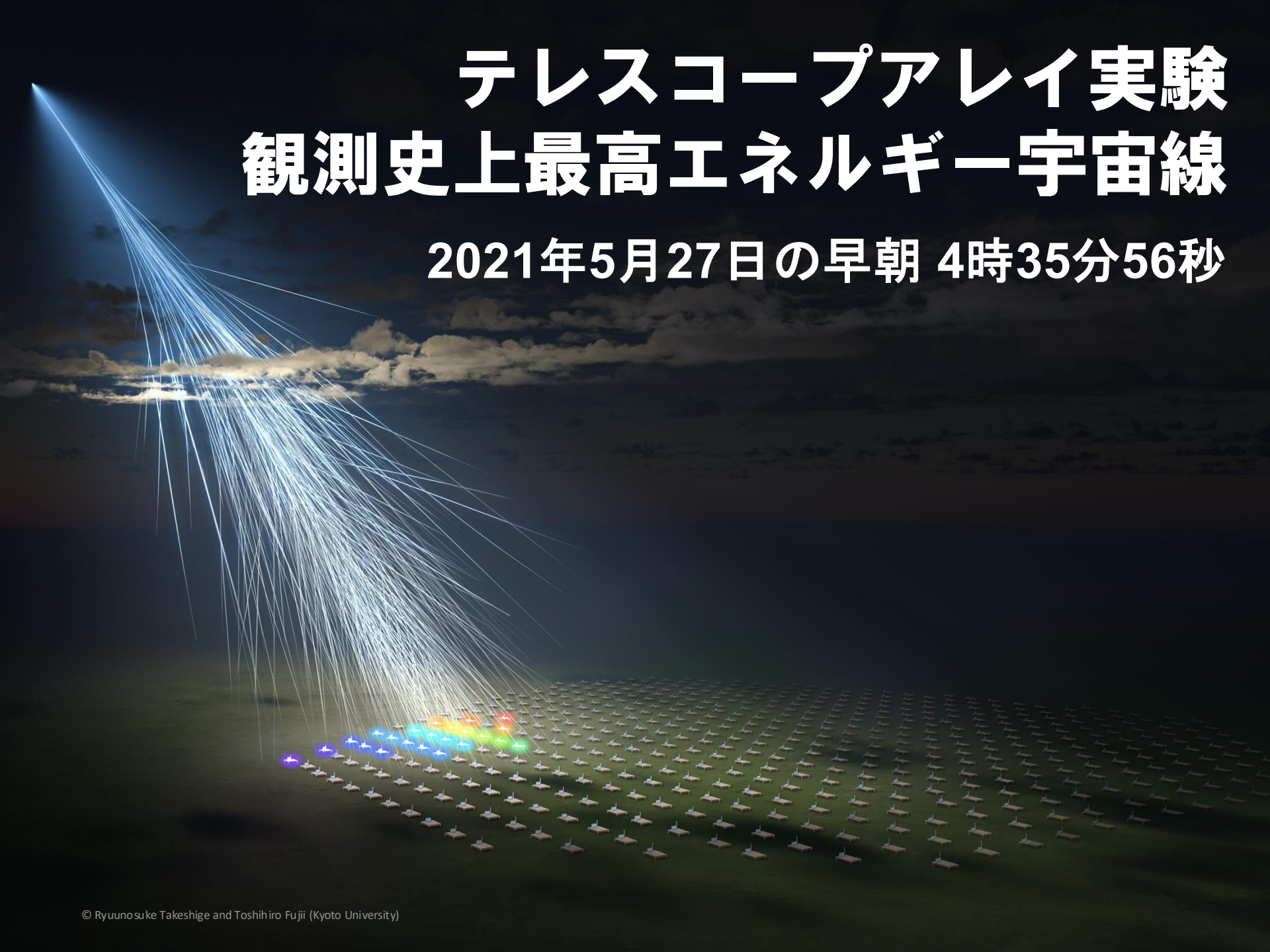
ほぼ光速で走る宇宙線の映像

- ✓ 数個の光子から観測可能
- ✓ 25ナノ秒の時間精度
(=0.000000025秒)



テレスコープアレイ実験 観測史上最高エネルギー宇宙線

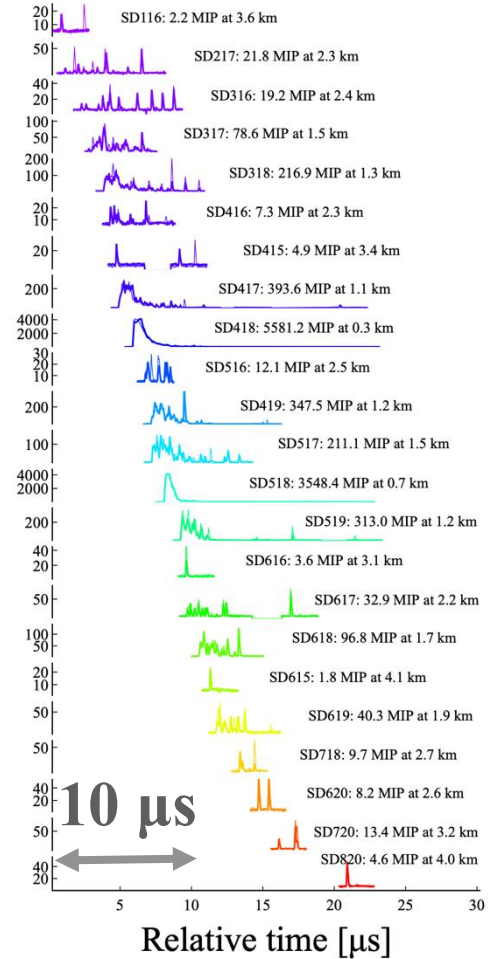
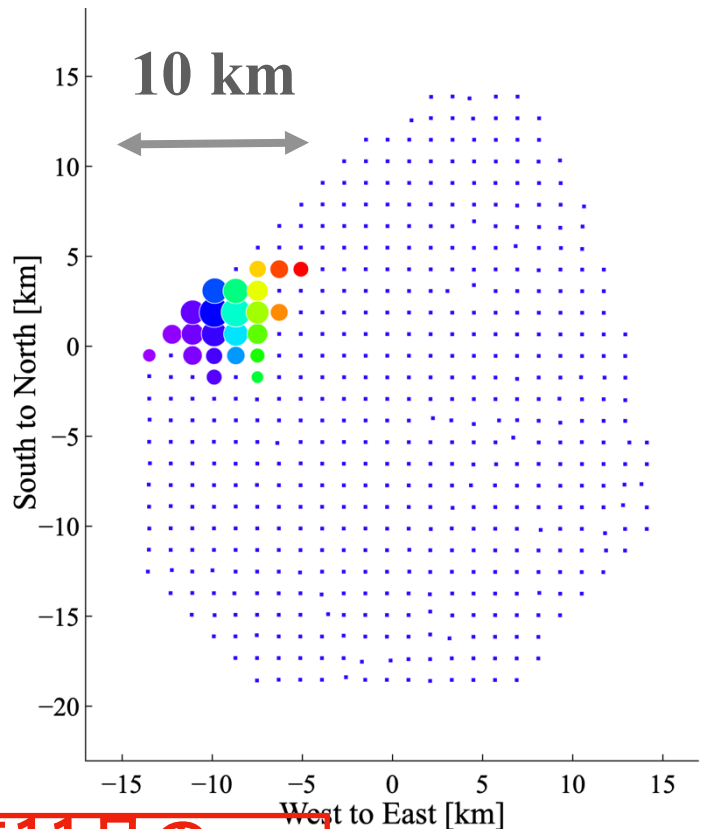
2021年5月27日の早朝 4時35分56秒



2021年5月27日に観測された宇宙線

2.44 × 10²⁰ eV

早朝だったため
大気蛍光望遠鏡に
よる観測はなし



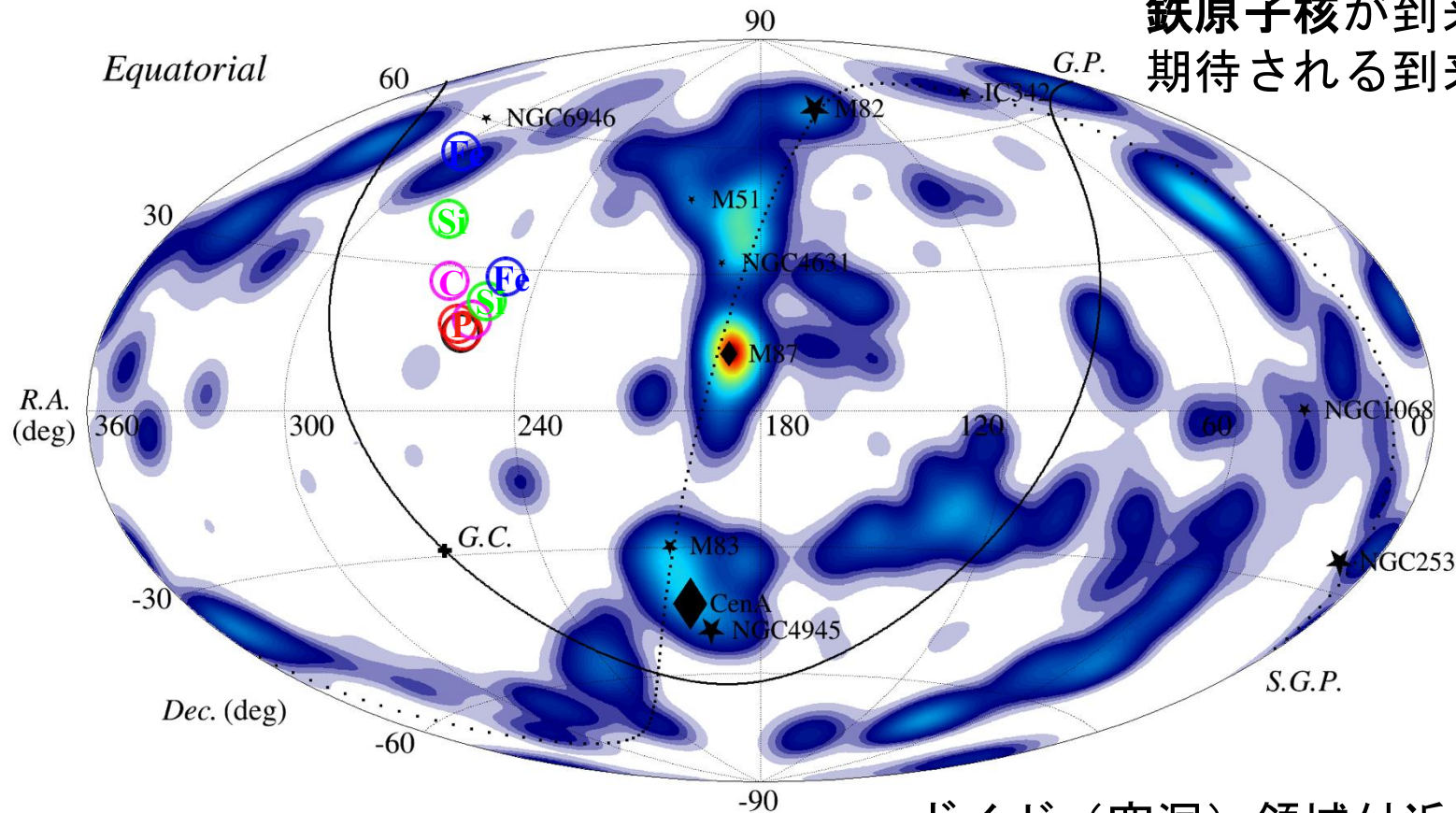
2008年5月から2021年11月の
13.5年のTAの観測運用の中で
最もエネルギーの高い宇宙線

→ アマテラス粒子

米サイエンス誌に掲載

近く天体の分布から期待される 確率と比べても…

近傍天体から244 EeVの
鉄原子核が到来した場合に
期待される到来方向分布



Calculated by M. Kuznetsov

ボイド（空洞）領域付近から到来
→ 天体起源では可能性が低い方向



もうちょっと低いエネルギーの宇宙線

おおぐま座銀河団
(0.7億光年)

黒点 : 2MASS銀河カタログ (距離 $< \sim 1.5$ 億光年)

ペルセウス・うお座
超銀河団
(2.3億光年)

おとめ座銀河団
(0.7億光年)

エリダヌス
銀河団
($D=1$ 億光年)

ケンタウルス
超銀河団 ($D=2$ 億光年)

ろ座銀河団
(0.7億光年)

Kawata et al, ICRC2015

テレスコープアレイ実験(北天)+オージェ実験(南天)
発生源は近傍の銀河団か? 特定の銀河か?



衝突する銀河団

STScI, U. Arizona, CfA, CXC, NASA



活動銀河のジェット
(ケンタウルス座A)

ESO/WFI.(visible); MPIfR/ESO/APEX/A.Weiss, et al.
(microwave); NASA/CXC/CfA/R.Kraft et al. (X-ray))



ガンマ線バースト
イメージ図 (ESO)

宇宙のどこかにある 最強加速器 の探査

TA実験大拡張！
→TA×4実験
=世界最大へ！

TA地表検出器

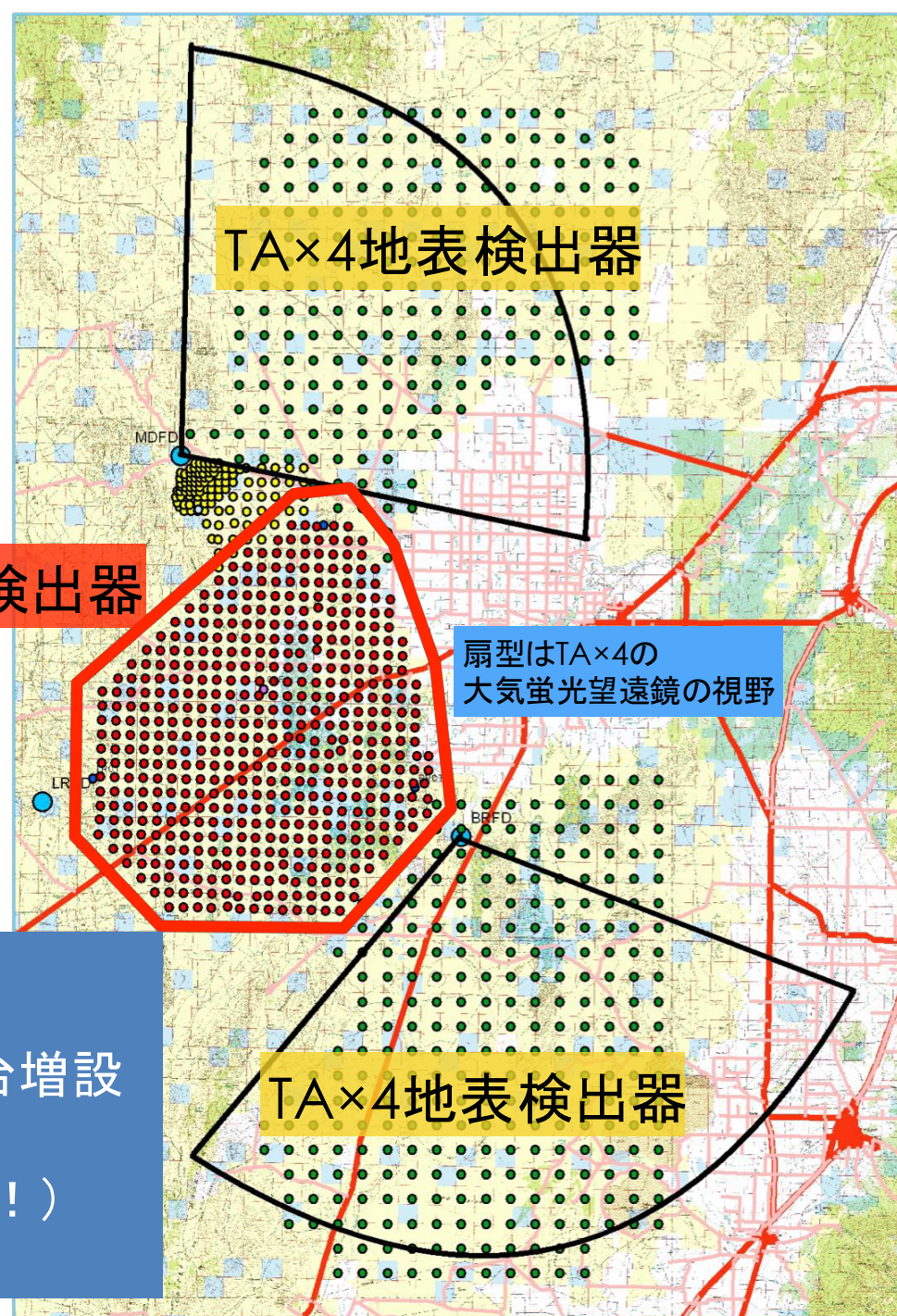
TA×4地表検出器

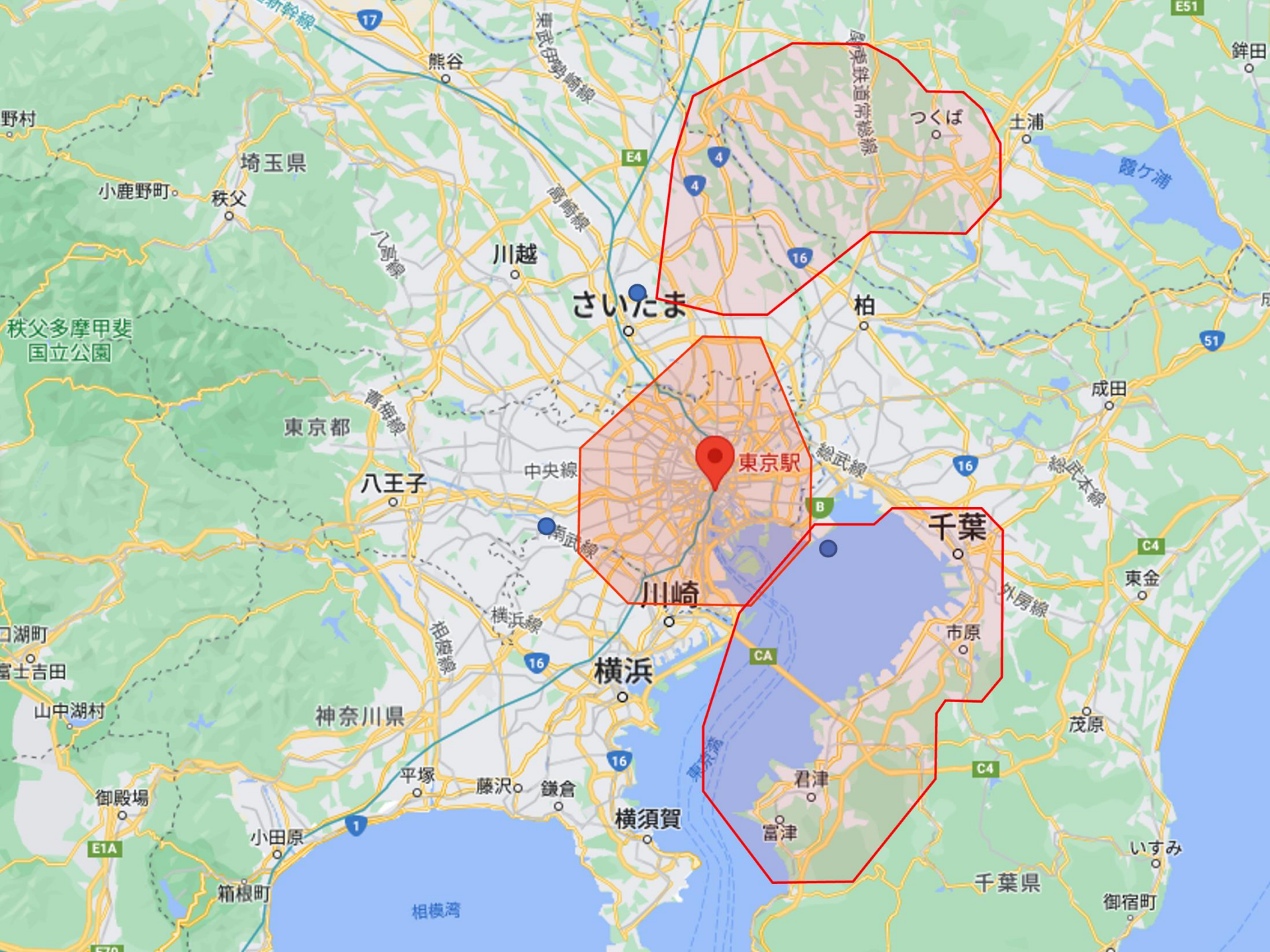
扇型はTA×4の
大気蛍光望遠鏡の視野

TA×4地表検出器

TA×4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）





熊谷

埼玉県

小鹿野町

秩父

川越

さいたま

つくば

土浦

霞ヶ浦

秩父多摩甲斐
国立公園

東京都

八王子

中央線

東京駅

総武線

成田

総武本線

千葉

東金

口湖町
富士吉田

山中湖村

神奈川県

横浜線

川崎

横浜

市原

外房線

御殿場

E1A

小田原

箱根町

平塚

藤沢

鎌倉

横須賀

君津

富津

C4

千葉県

茂原

いすみ

御宿町

相模湾



Workshop for the Global Cosmic Ray Observatory

Challenging Next-Generation Multi-Messenger Astronomy with Interdisciplinary Research
September 9 - 11 2025, Koshiba Hall, University of Tokyo, Japan

最近の修士・博士論文のテーマ

- 高橋薫・博士論文（東京大学） "Exploring the Origin of Ultra-High-Energy Cosmic Rays through **EeV Neutrino Search** with the Telescope Array Surface Detectors"
- 小山千里・修士論文（東京大学） "**テレスコープアレイ実験拡張地表検出器アレイ**を用いた大天頂角空気シャワーによる最高エネルギー宇宙線エネルギースペクトルの測定"
- 申興秀・博士論文（東京大学） "The Measurement of the Energy Spectrum and Depth of **Maximum Shower Development of Ultra-High-Energy Cosmic Rays** Collected by the Telescope Array with the Hybrid Trigger Mode"
- 藤末紘三・博士論文（東京大学） "The measurement of the highest-energy **cosmic ray energy spectrum with the extended surface detector array** of the Telescope Array experiment"
- 樋口諒・博士論文（東京大学） "Search for UHECR sources considering the **deflection by the galactic magnetic field**"
- . . .

TA実験 Website https://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/ta/ta_public/

LAB TOUR → 4階 414号室

Telescope Array (TA)

An aerial photograph of the Telescope Array site in a vast, dark desert landscape. In the center, there is a large, light-colored, rectangular building with a flat roof. To its left is a smaller, white, gabled structure. To the right, there is a long, low, rectangular building with a flat roof, possibly a control room or equipment building. The background shows a wide expanse of desert leading to a range of blue mountains under a sky with scattered clouds.

助教 3名
技術職員 3名
研究員 2名
博士学生 2名
修士学生 1名

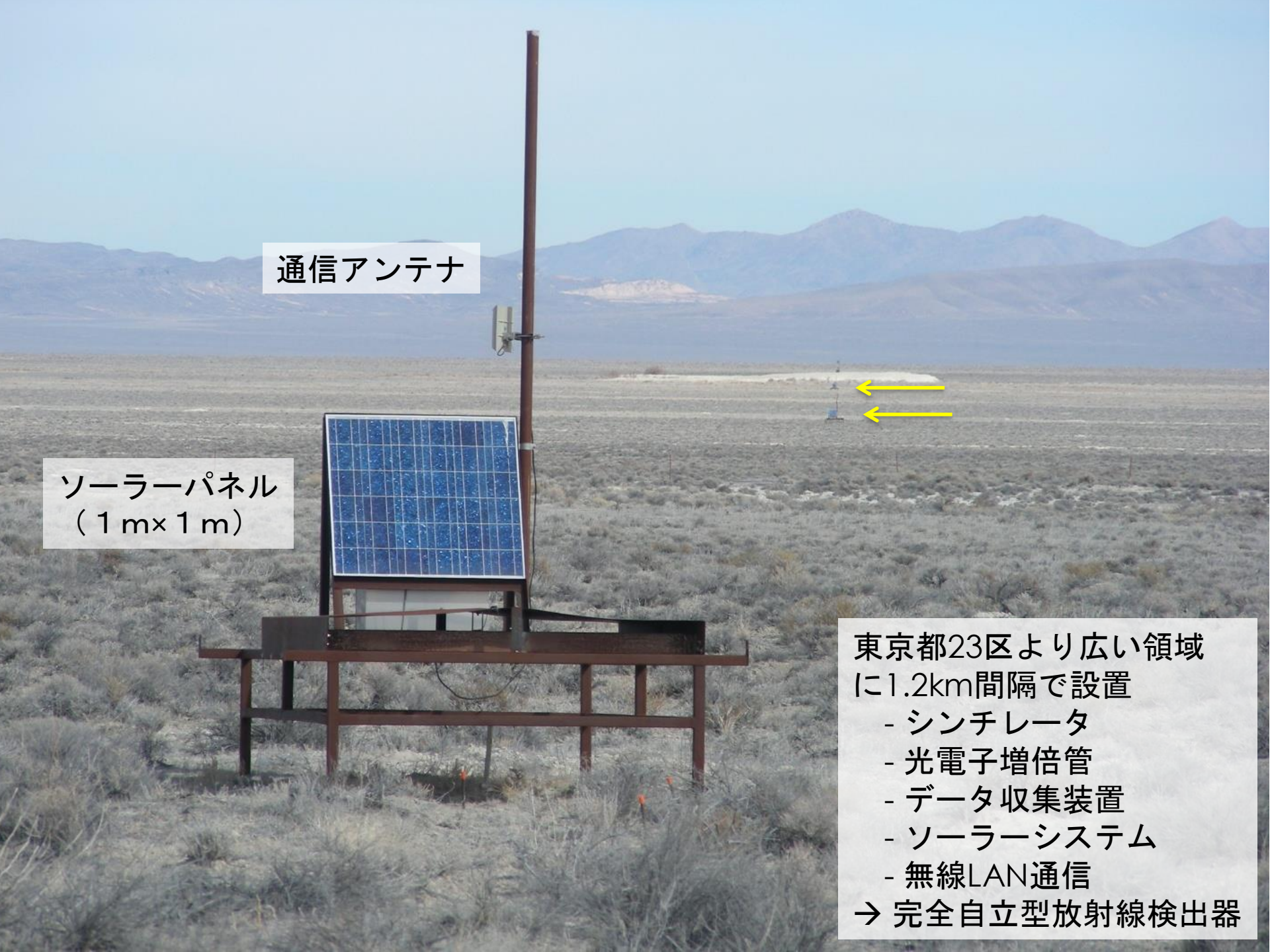
萩尾彰一 (A8教授)
さこ隆志 (A8教授)
川田和正 (A8准教授)

LAB TOUR → 4階 414号室









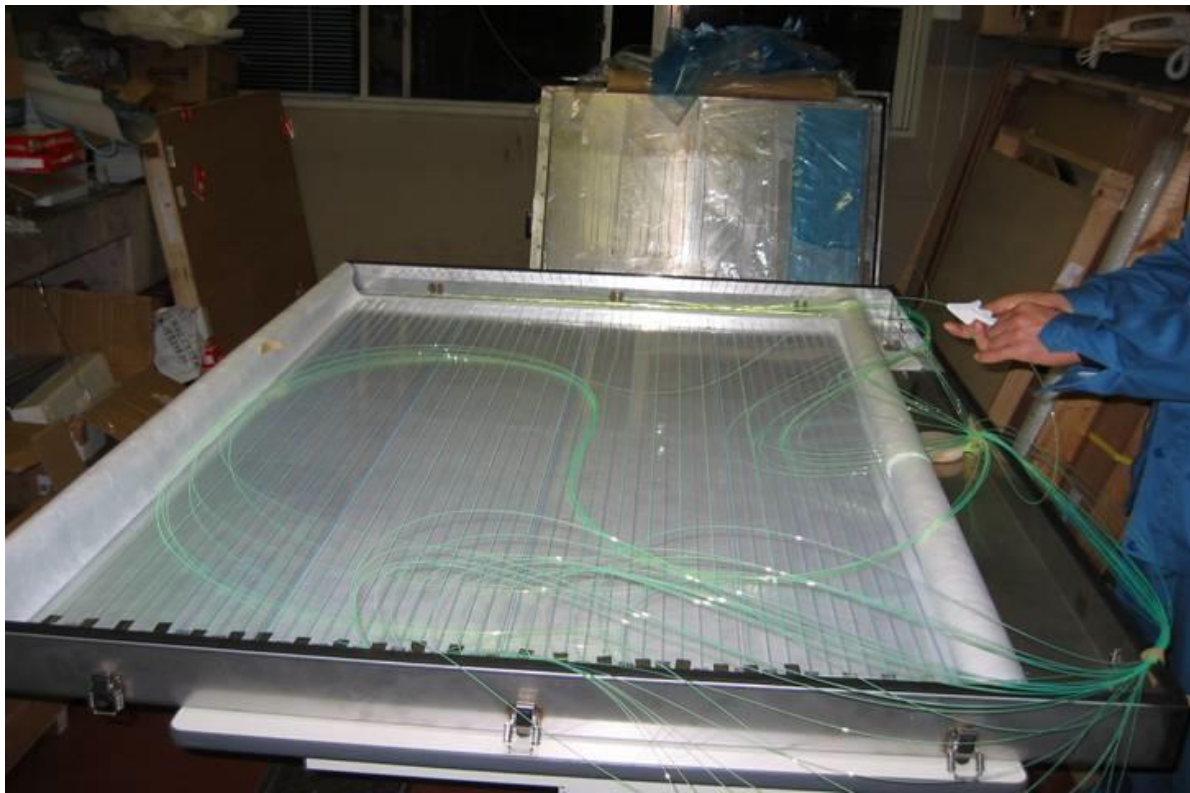
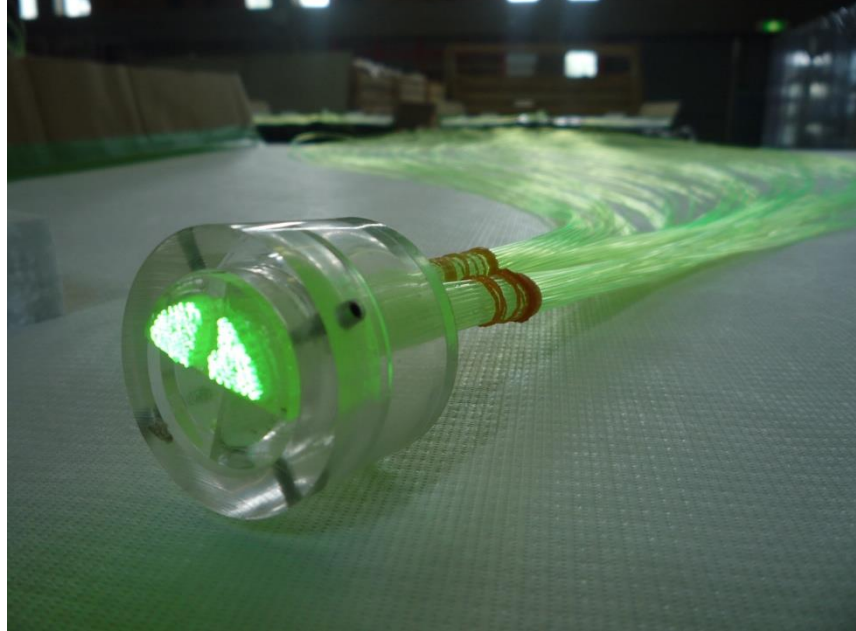
通信アンテナ

ソーラーパネル
(1 m×1 m)

東京都23区より広い領域
に1.2km間隔で設置

- シンチレータ
- 光電子増倍管
- データ収集装置
- ソーラーシステム
- 無線LAN通信

→ 完全自立型放射線検出器



検出器の設置作業





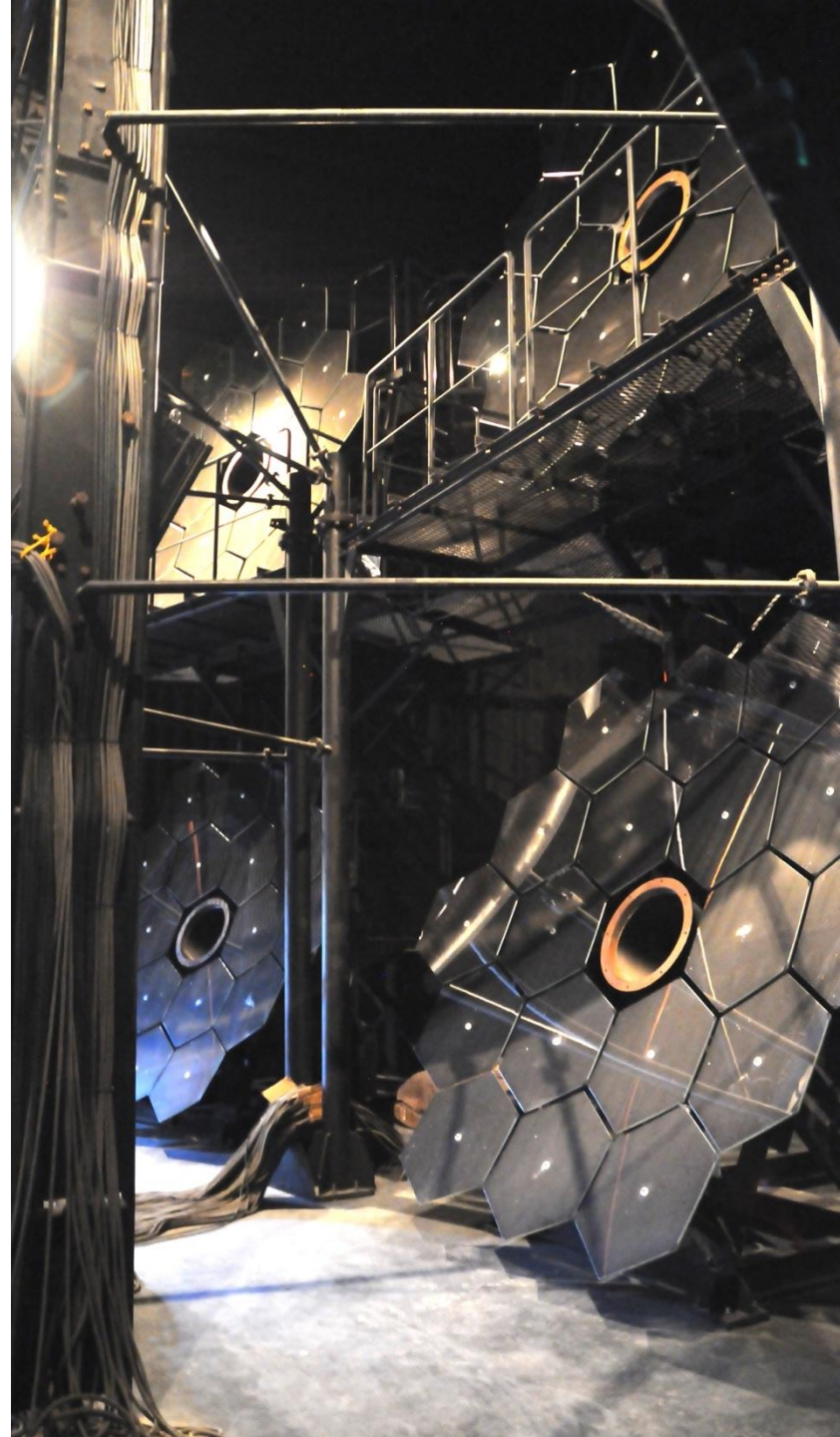


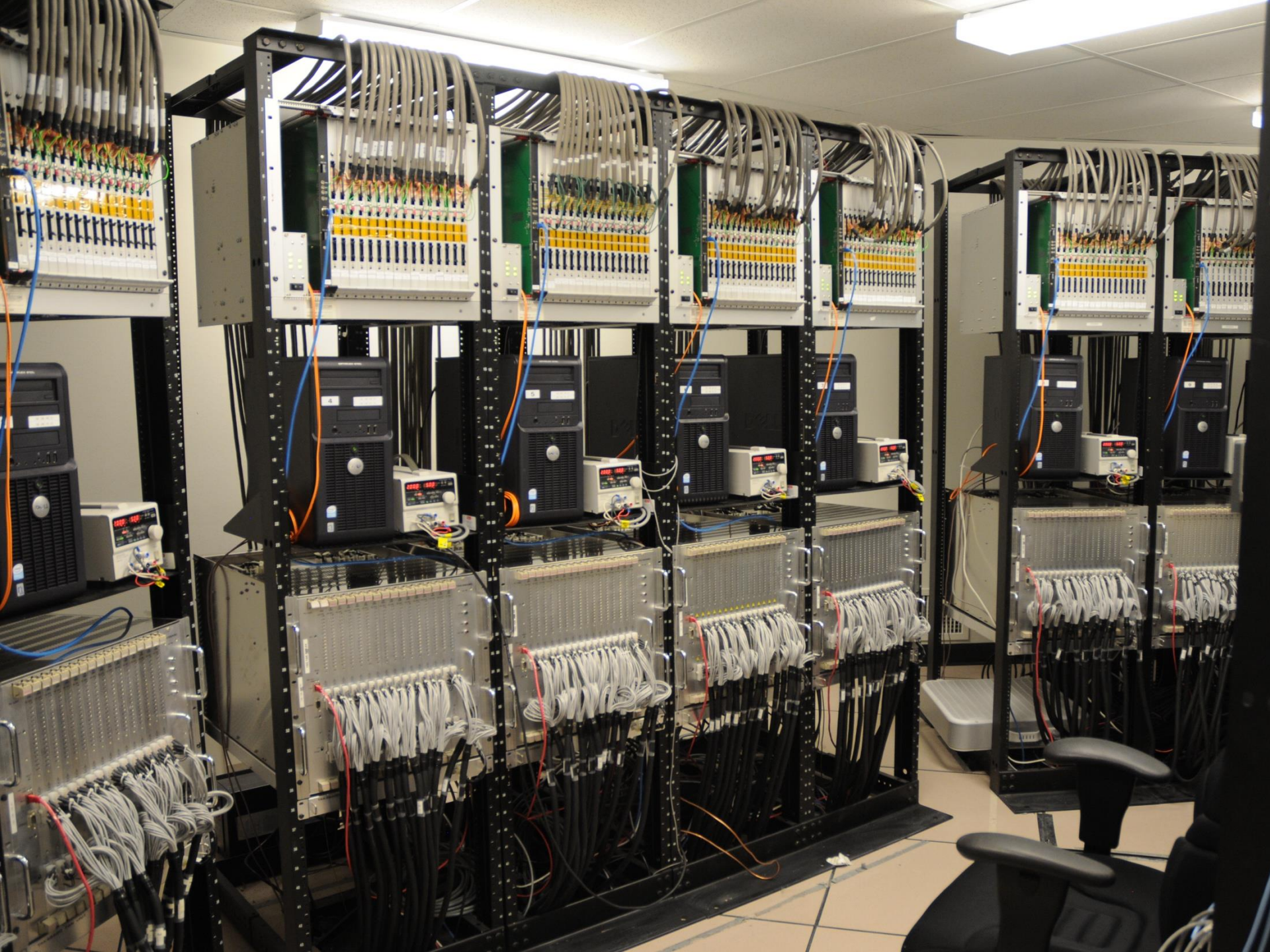
- ✓ インディアンの遺跡
- ✓ 多数の動植物が生息

環境に配慮した検出器
の設置やメンテナンス
が必要









web browser

```
every 10.0s: cat /home/fddag/Log_tnk_dir/check.log
```

Chk-DATE: 2013/09/06 03:09:15
Obs-time: Start: 0325 End: 1004 Obs.tln: 6.7 hrs
SunRise: Azn: 81 (deg) Camera: 6 7
LIGHTING: OUTSIDE: DARK INSIDE: DARK
WKT: Temp: 27.3 (deg_C) Hum: 23.7 (N) Dewp: 4.8 (deg_C)
WKT: Press: 984.1 (Pa)
WKT: HumSp: 3.7 (N/S) WIndr: 146.0 (deg)
WKT: Rain: NO (mm) Hail: NO (mm)
WKT: CHD: NO CHI: NO
SHUTTER: NORTH: CLOSE CLOSE
SHUTTER: MIDDLE: CLOSE CLOSE
SHUTTER: SOUTH: CLOSE CLOSE
SHUTTER: Chk-tn: 03:08 03:09
RELAY: M: ON SMC: ON
SSR-LIGHT: OFF

CID:	C00	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	C08	C09	C10	C11	CTD	RALE
PC(ping):	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
SSR:	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
LV:	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
RELAY-LV:	ON	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
RELAY-HV:	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
HV(ping):	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
HV:	UP	UP	UP	UP	UP	UP	UP	UP	UP	UP	UP	UP	UP	UP
CAM-TEMP:	29	30	29	31	29	30	29	30	31	31	31	31	30	(deg_C)
ELEC-TEMP:	22	22	22	23	22	21	22	20	22	22	22	22	23	(deg_C)
HV:	UP	OK	GO	AHEAD										
SHUTTER:	OPEN:	OK	GO	AHEAD										

[screen @ bash] fddag@slwcont_in~/EasyDAQ

```
Fri Sep 6 02:36:41 UTC 2013  
|| I skip Section 6 (HV Init)  
|| ./lnt.csh is completed ? [y/n] : y  
|| Power ON ... HV PS  
HV power on  
sending your command ...  
command was sent  
|| Do HV initialization ? [y/n] : y  
sending your command ...  
command was sent  
Fri Sep 6 02:39:37 UTC 2013  
HV Init  
|| Doing HVInit ...  
|| HVInit is completed ? [y/n] : y  
|| Do HV Lampup ? [y/n] : y  
sending your command ...  
command was sent  
Fri Sep 6 02:45:56 UTC 2013  
HV up  
|| Waiting 30min for HV warning-up  
|| After this step, everything goes automatically.
```

