GRAINE 2015
豪州気球実験の紹介と
エマルションデータ解析

名古屋大学理学研究科　D1
　河原宏晃

22nd ICEPP symposium @白馬 岳美荘

GRAINE実験とは

ガンマ線天文学　を目的とした気球実験.

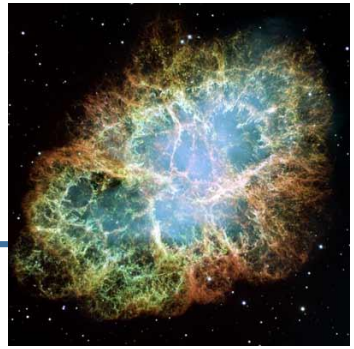
宇宙の非熱的な高エネルギー現象に着目した観測分野.

- 宇宙線物理
- 高エネルギー定常天体（超新星残骸、パルサー、活動銀河核など）
- トランジェント現象（GRB、フレアなど）

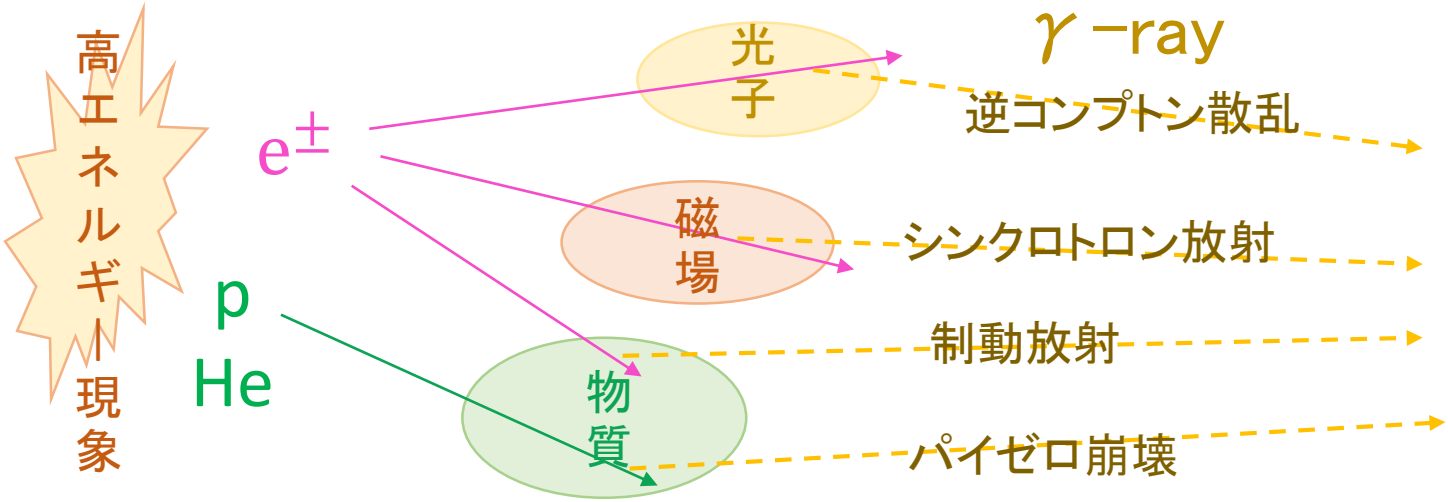
“ $10^9 - 10^{20}$ eV の粒子加速 ”

かにパルサー

かに星雲　NASA　HUBBLE



宇宙ガンマ線の生成プロセス



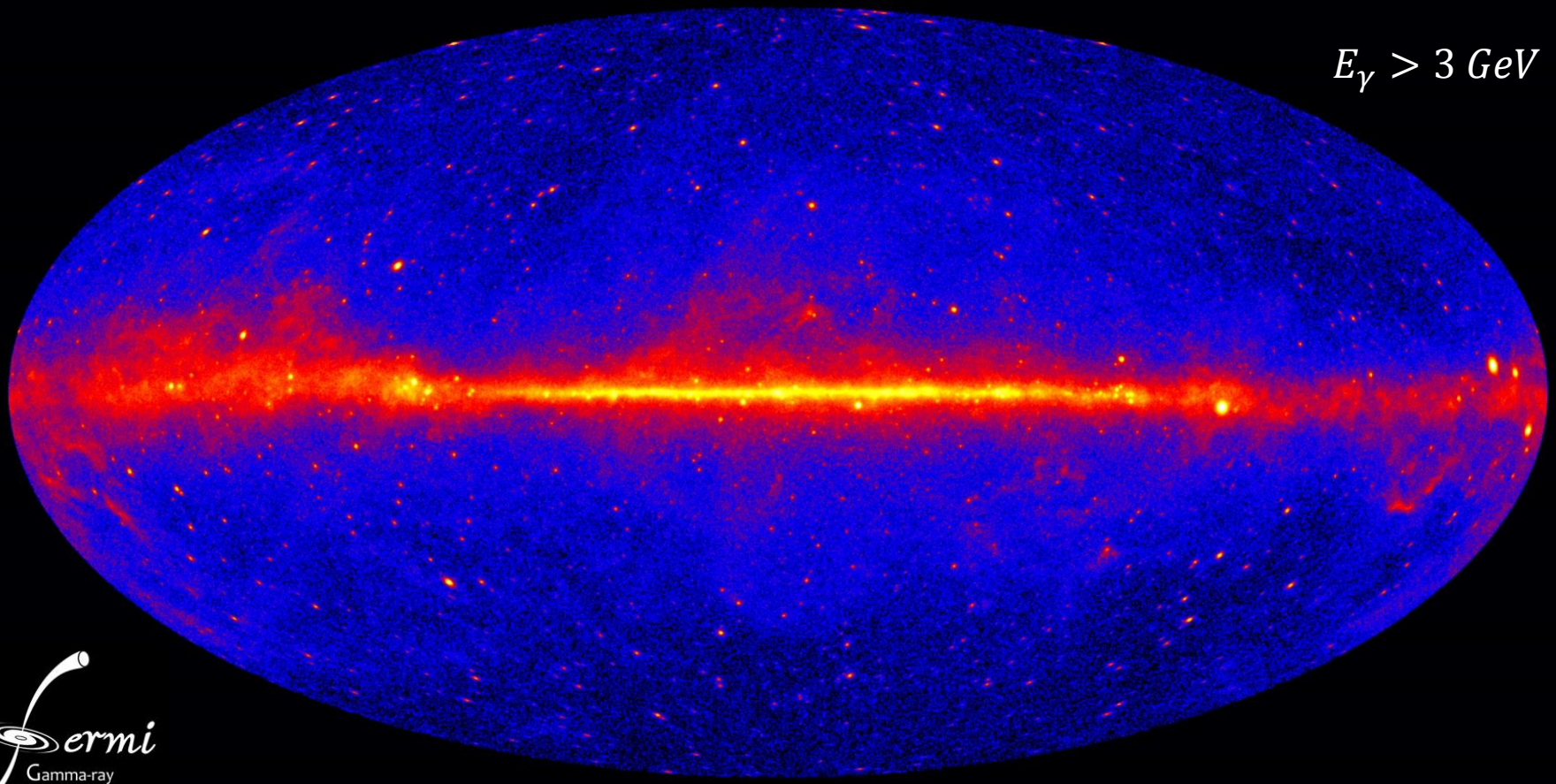
衛星観測　ESA　Integral

大気球

JAXA

フェルミ宇宙ガンマ線望遠鏡　5yr. 全天マップ

検出天体数 ＞ 3000個

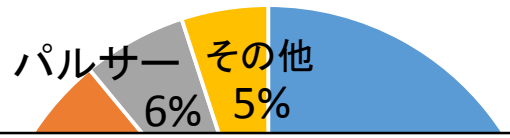


Fermi
Gamma-ray
Space Telescope

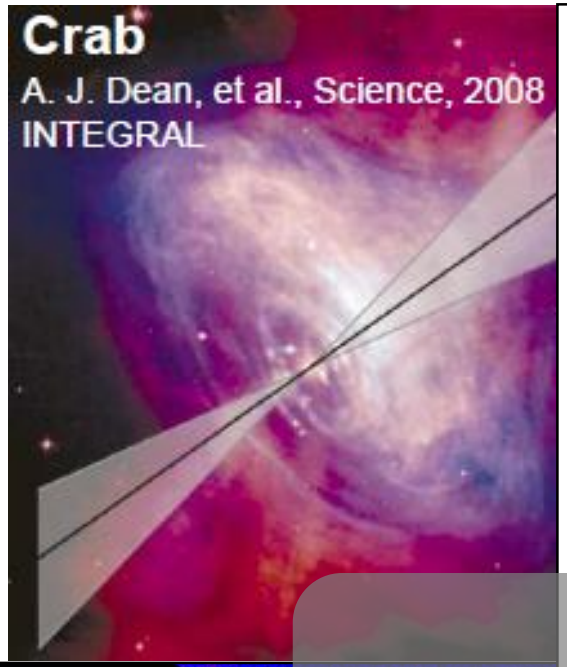
フェルミ宇宙ガンマ線望遠鏡　5yr. 全天マップ

検出天体数 ＞ 3000個

フェルミ未同定天体の問題

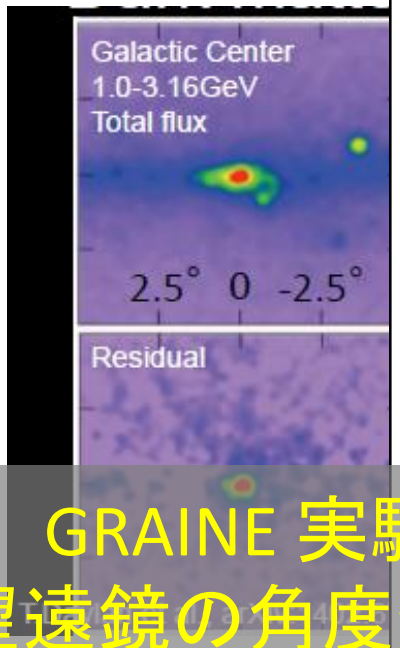


100MeV-GeV偏光観測の実現

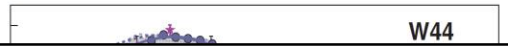


超新星残骸の空間構造の解明

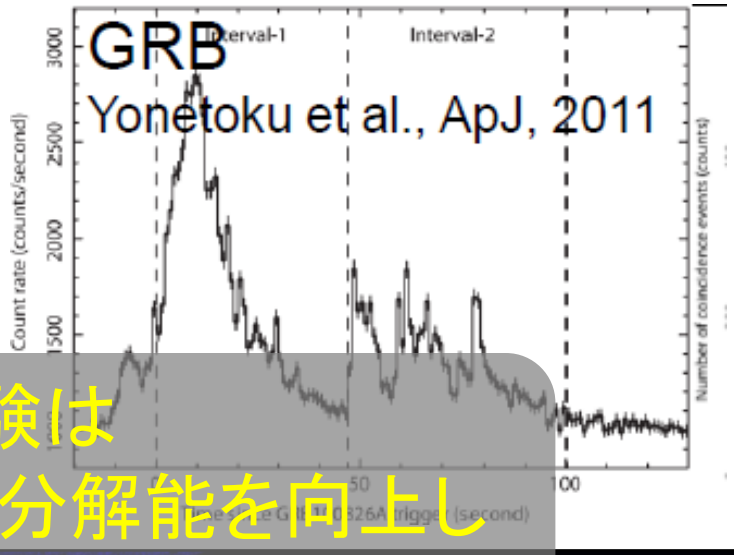
銀河中心のダークマター??



超新星残骸のガンマ線エネルギースペクトル精密測定



Transient 天体の高精度観測

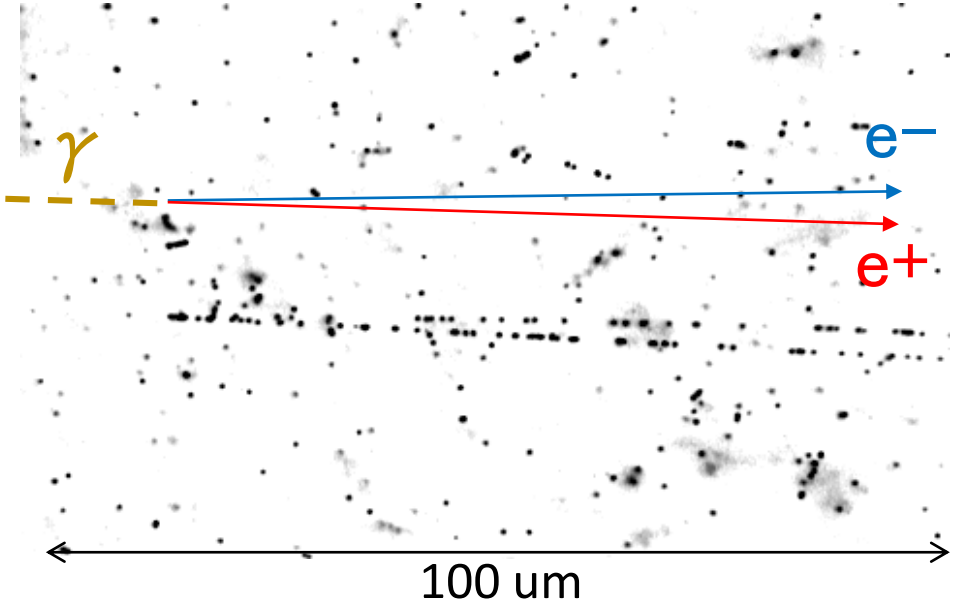


GRAINE 実験は
ガンマ線望遠鏡の角度分解能を向上し
これらの課題の解決を目指す!

Fermi
Gamma-ray
Space Telescope

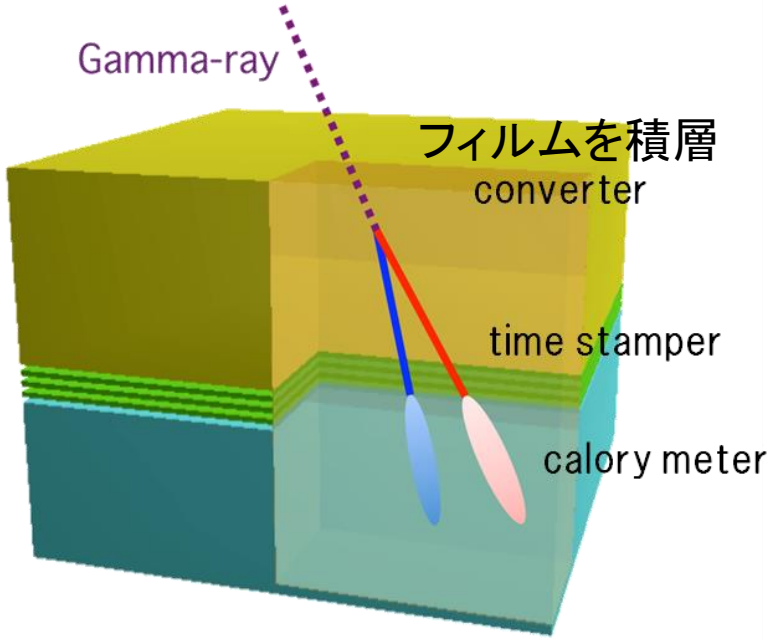
原子核乾板

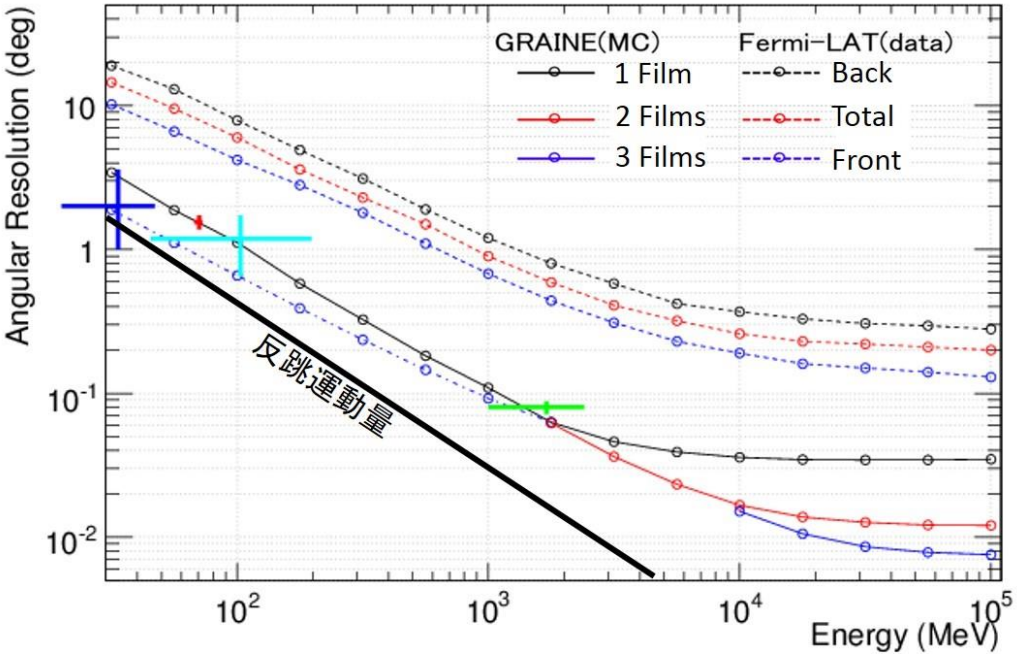
- 位置分解能に優れた
  固体飛跡検出器.
- 軽量・コンパクトで高分解能な
  ガンマ線望遠鏡を実現可能.



エマルションガンマ線望遠鏡

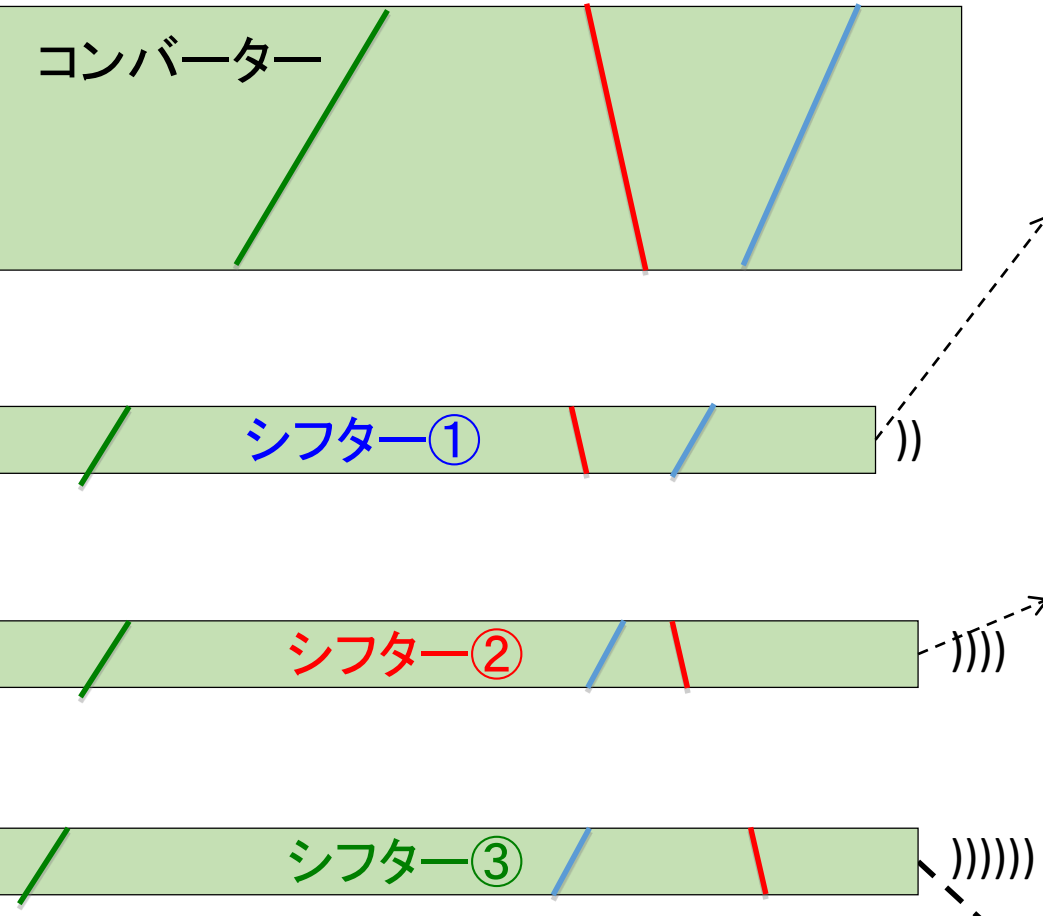
10MeV ー 100GeV ガンマ線の高角度分解能観測を行う.

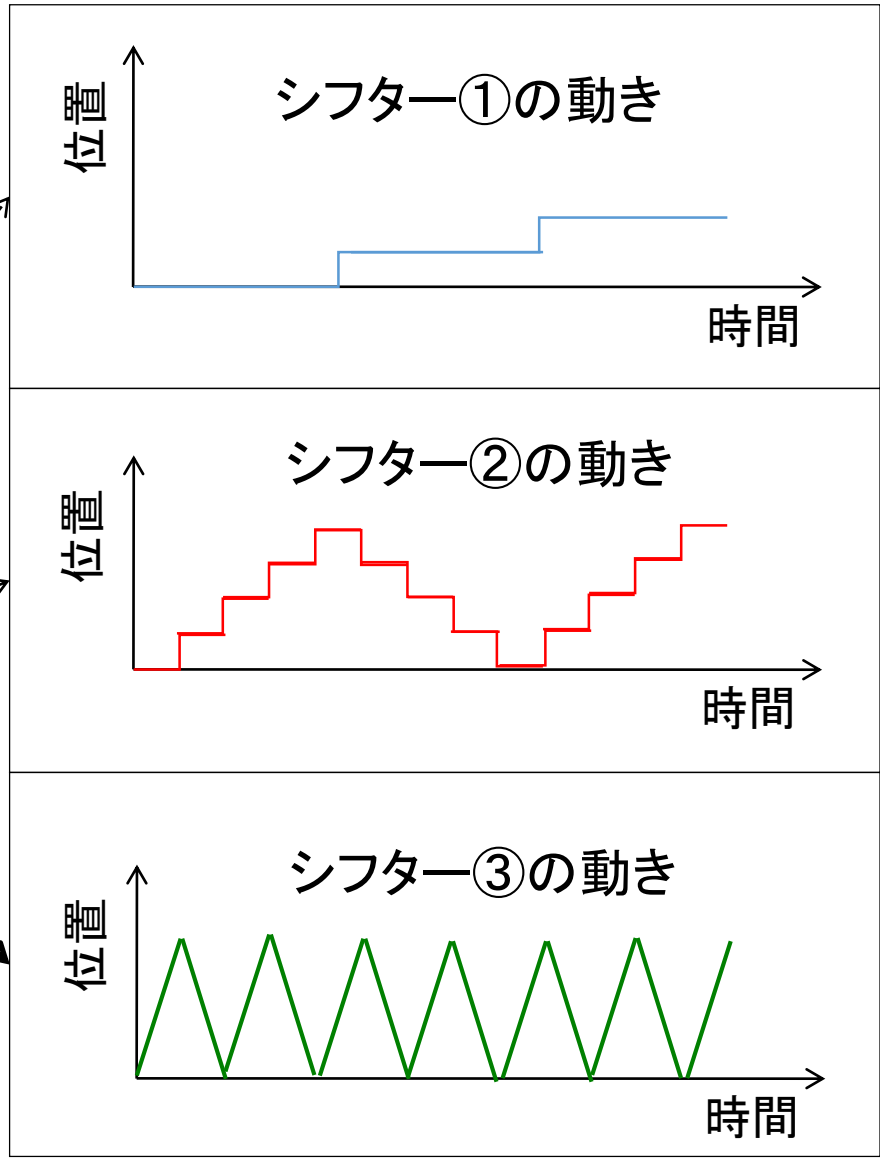




原子核乾板に時間情報を与える タイムスタンパー(多段シフター)

S. Takahashi, S. Aoki, H. Rokujo, et al.
NIMA 620(2010)





飛跡の位置ズレから入射タイミングを決定.

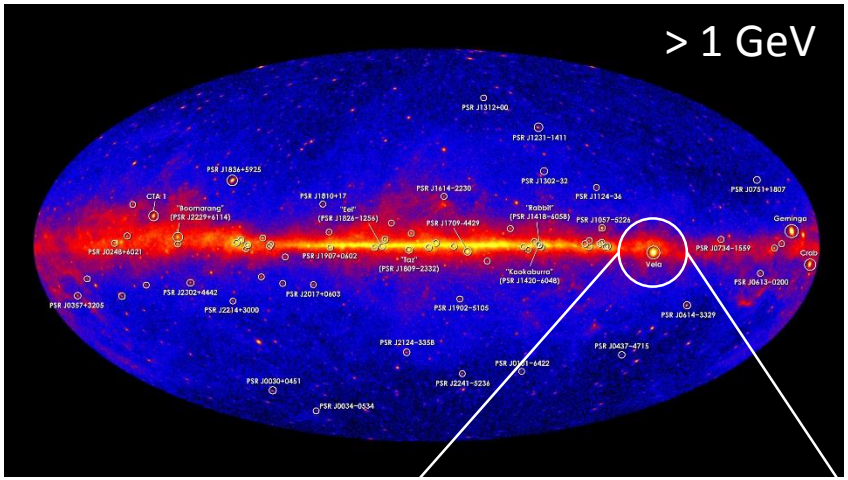
大面積、デッドスペース無し、低消費電力を実現.

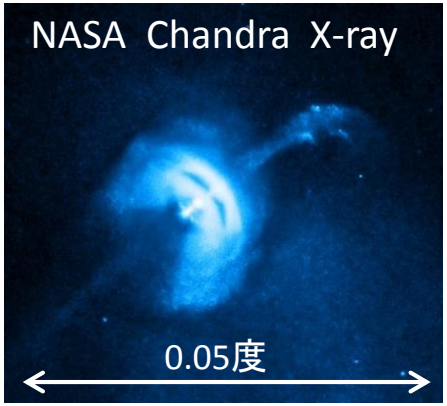
2015年オーストラリア気球実験

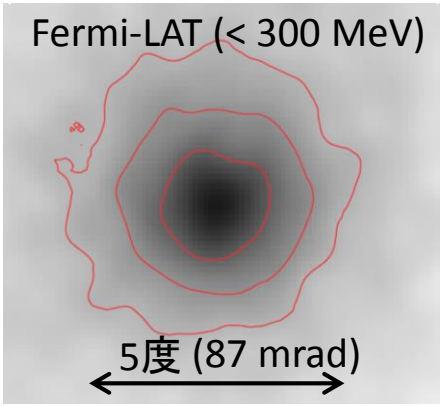
オーストラリア気球実験

目的

エマルション望遠鏡による天体初検出とイメージング性能の実証.
角度分解能 0.5° (≈10 mrad) @100−300 MeV

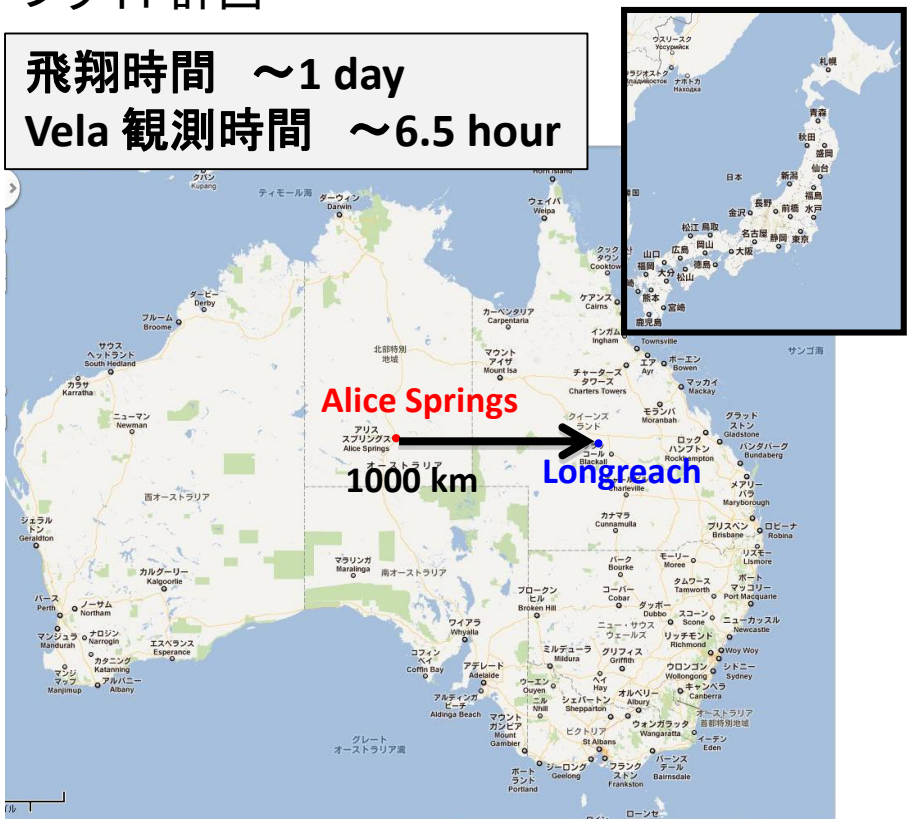






フライト計画

飛翔時間 ～1 day
Vela 観測時間 ～6.5 hour

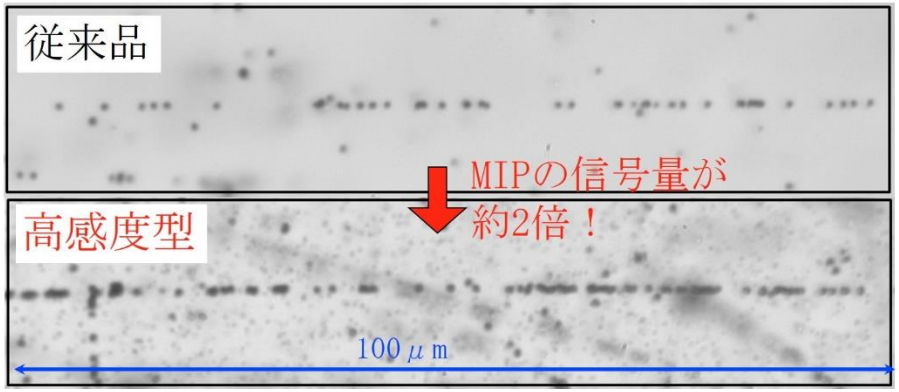


Vela Pulsar ($Flux \sim 1 \times 10^{-5}\ \mathrm{cm}^{-2}\mathrm{s}^{-1}$ @100MeV−10GeV)

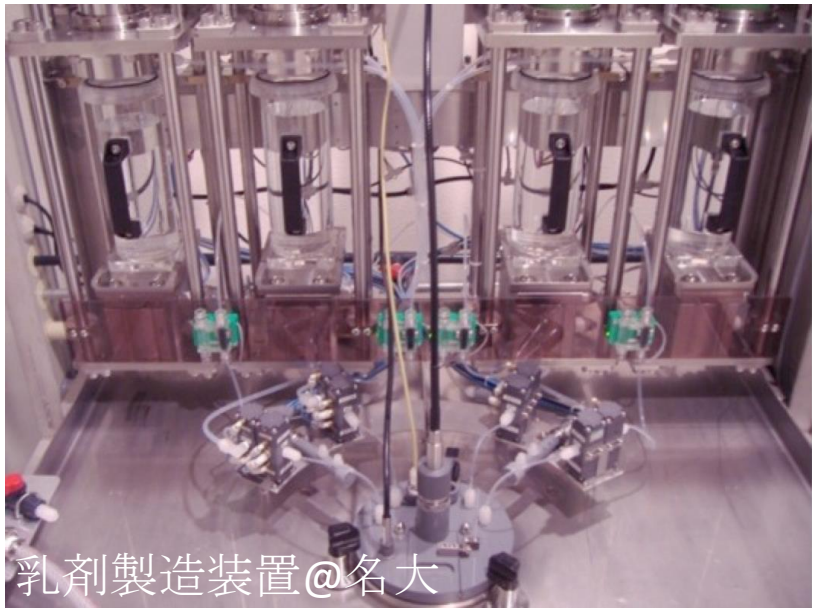
気球実験の準備

河原の修論

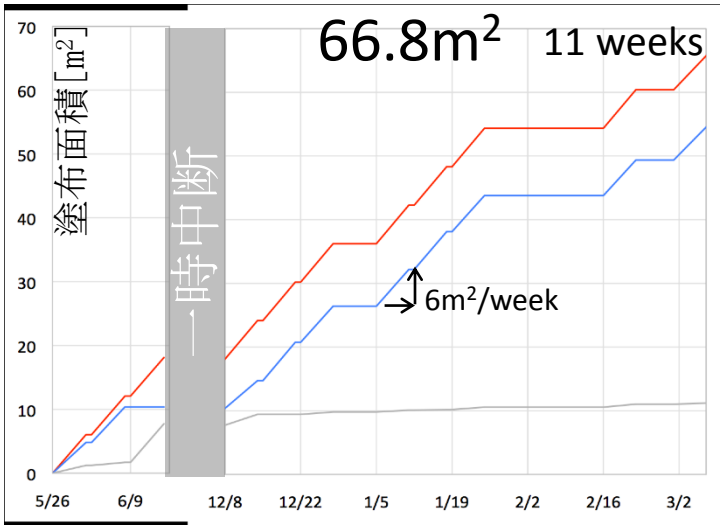
名古屋大学で開発した「高感度乾板」を初導入。

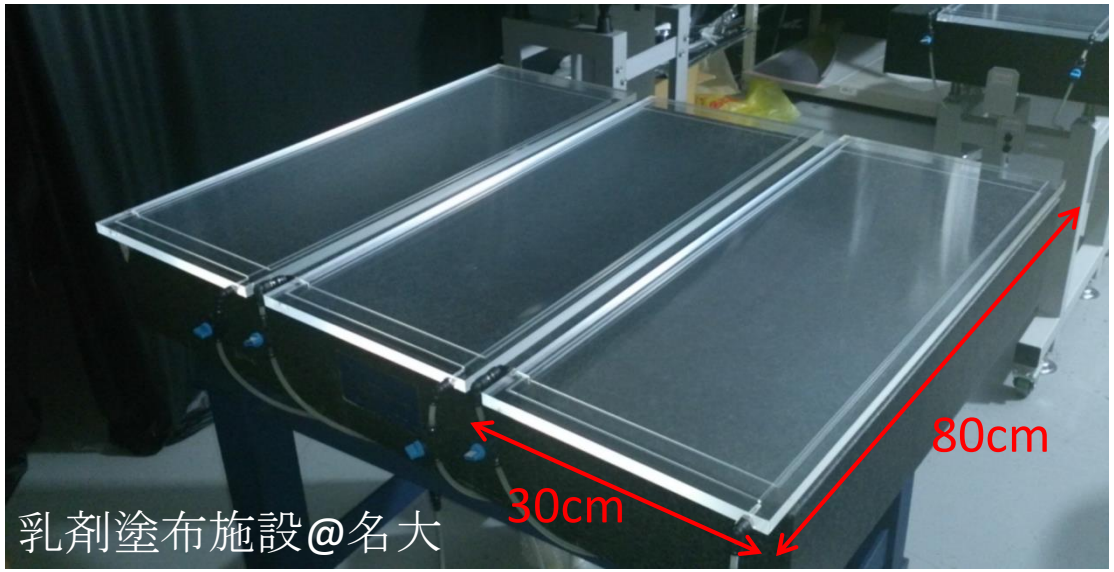


◎飛跡認識効率↑　◎ガンマ線選出効率↑
◎Signal/Noise↑　◎エネルギー閾値↓



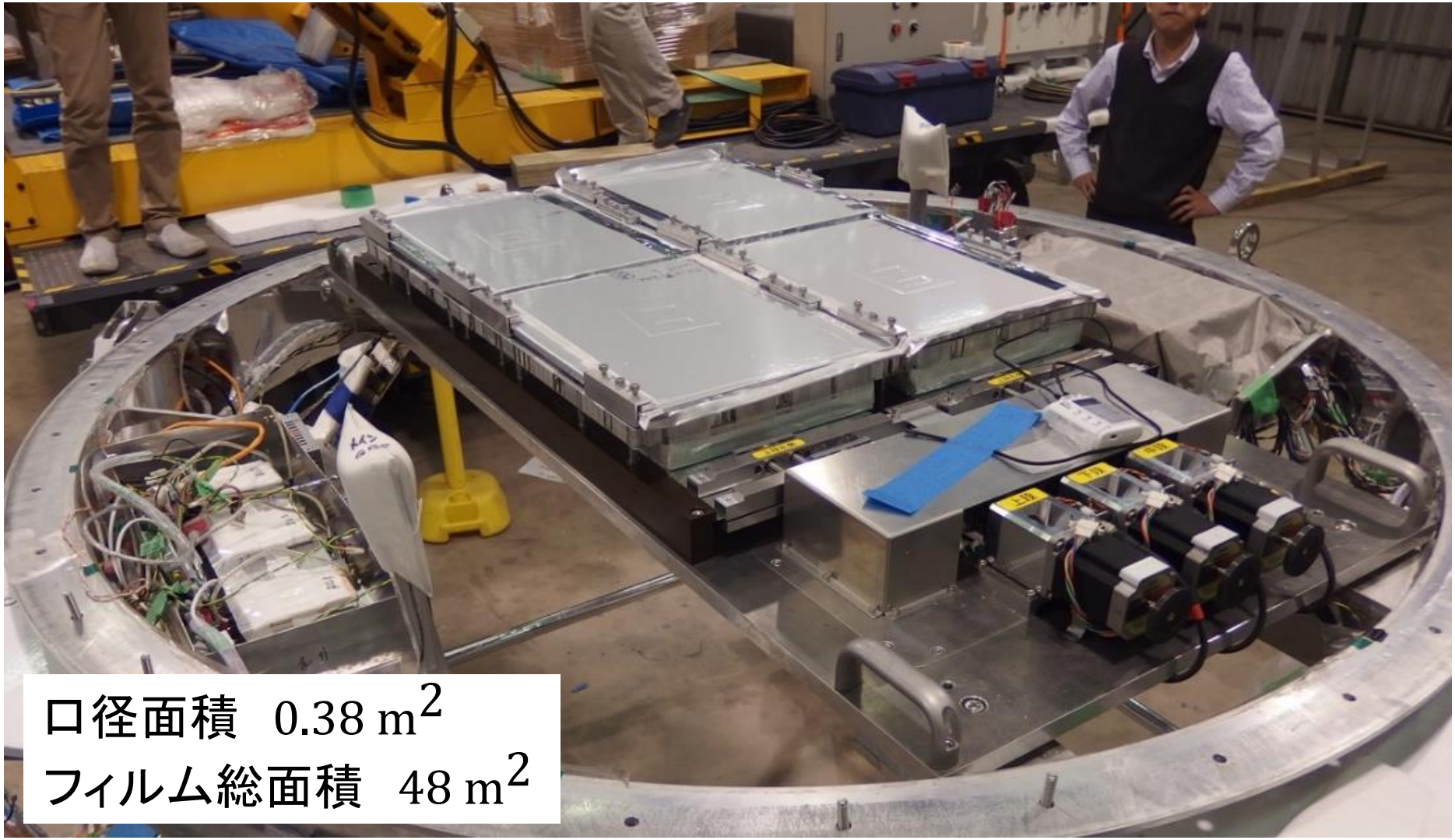
コラボレータの手で乾板を製作。





エマルションγ線望遠鏡

2015年 5月 オーストラリア・アリススプリングス

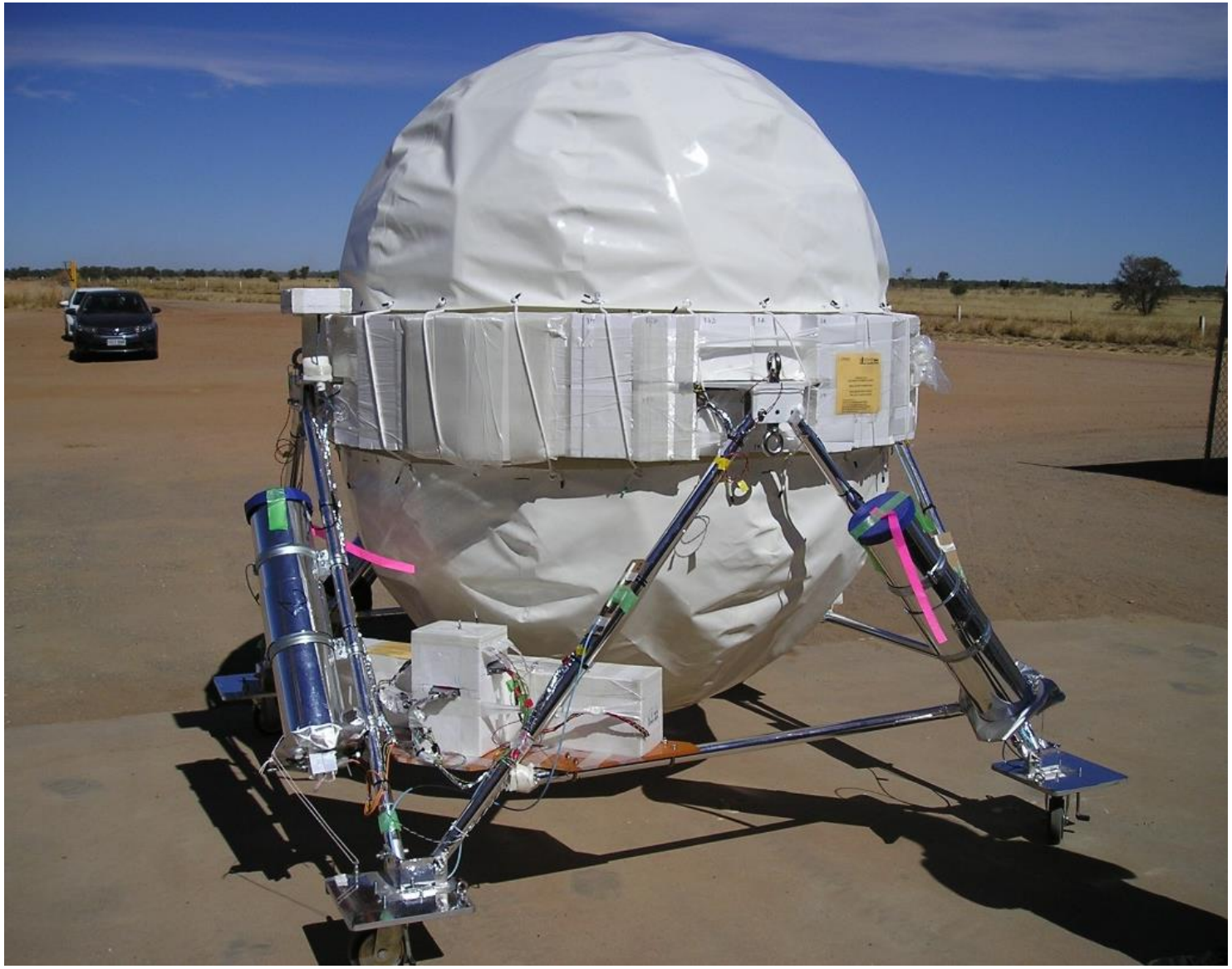


口径面積　$0.38\ \mathrm{m}^2$

フィルム総面積　$48\ \mathrm{m}^2$

ペイロード荷姿

2015年 5月 オーストラリア・アリススプリングス



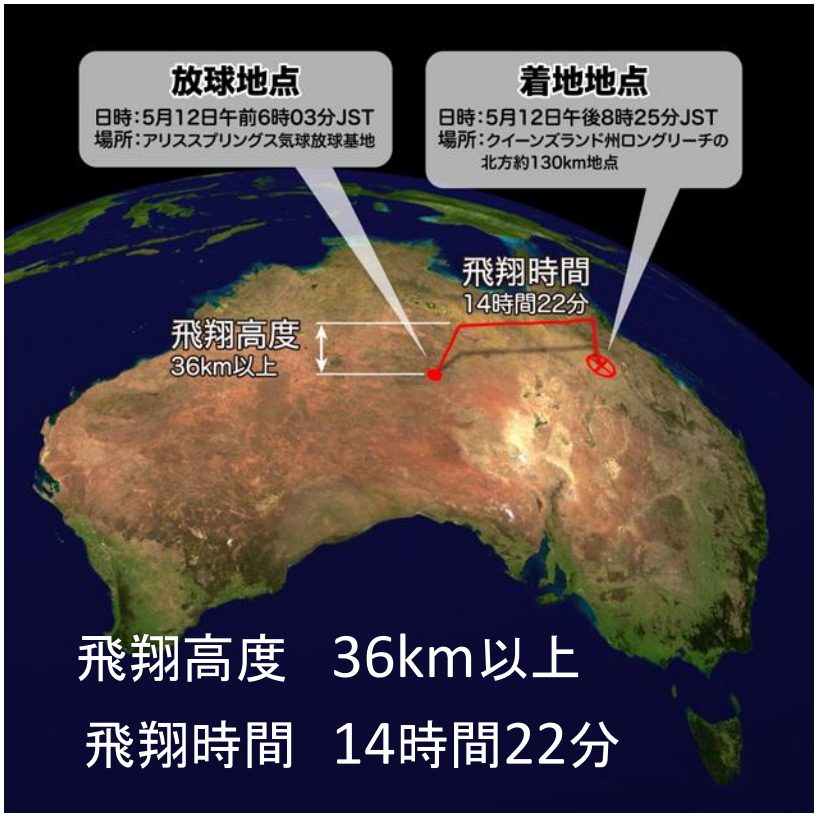
放球動画

2015年5月12日　オーストラリア・アリススプリングス

フライトの実績

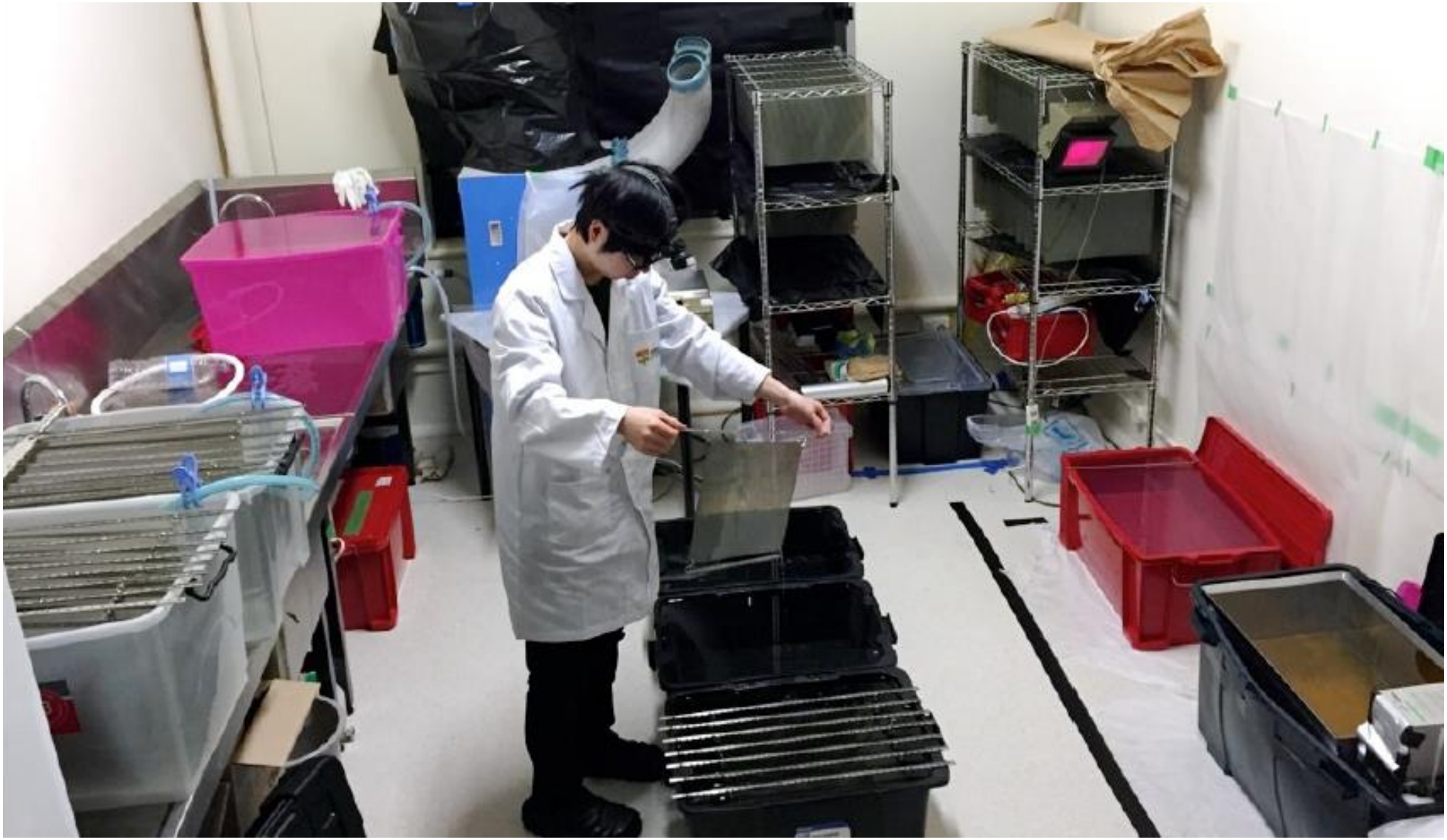
放球　2015年5月12日

航跡図（フライトデータから描画）

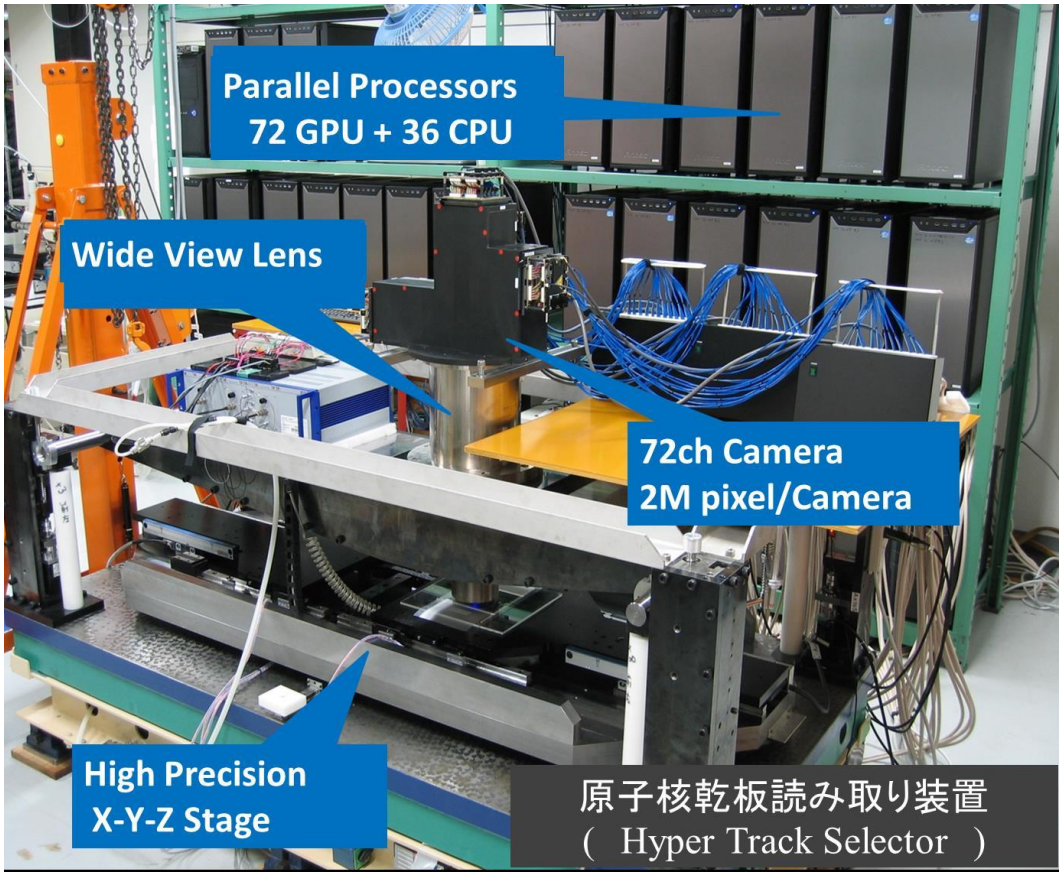


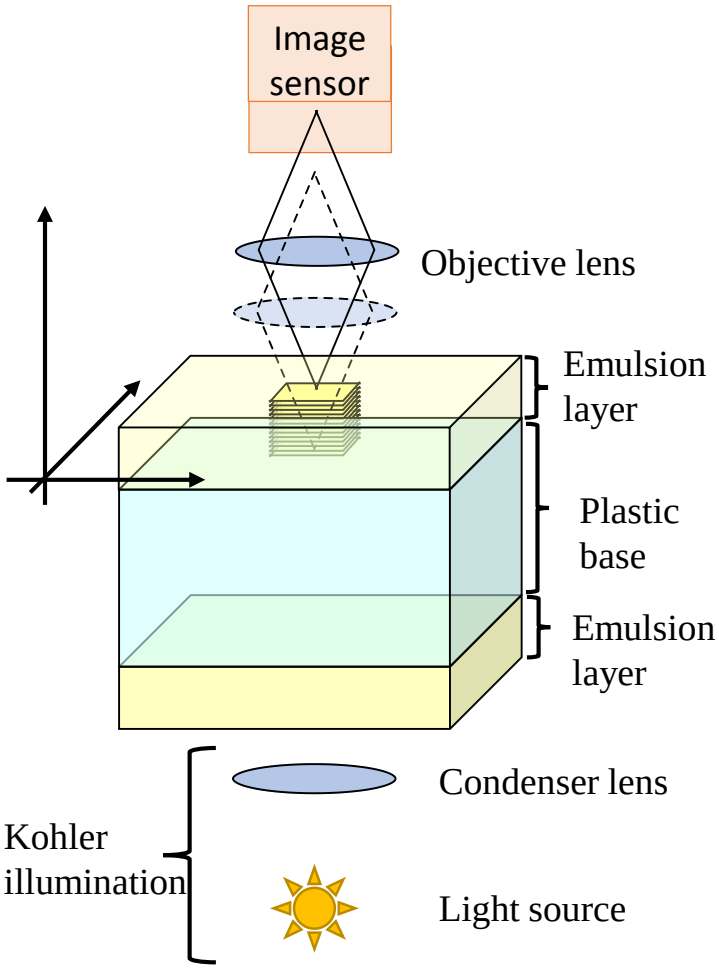
フィルムを無事に回収

シドニー大学で現像処理



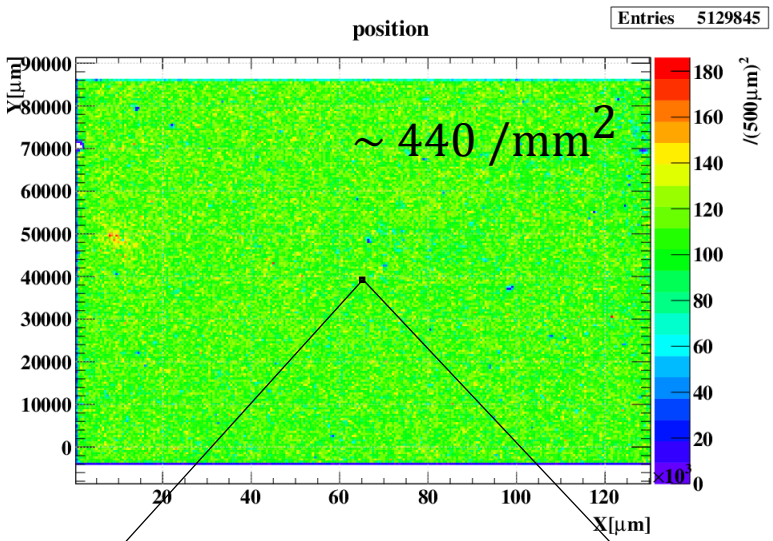
高速自動飛跡読取装置 @名古屋大学



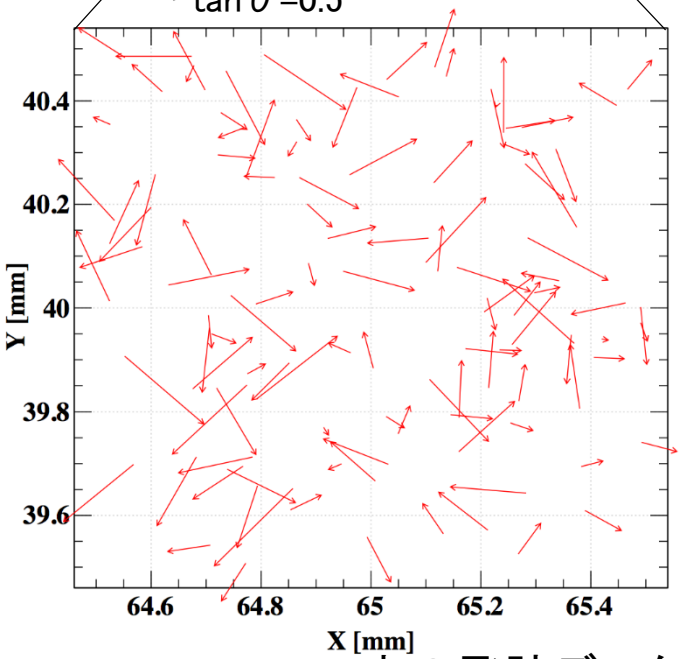


コンバータフィルム400枚の読み取りを完了.

読み出した飛跡データ



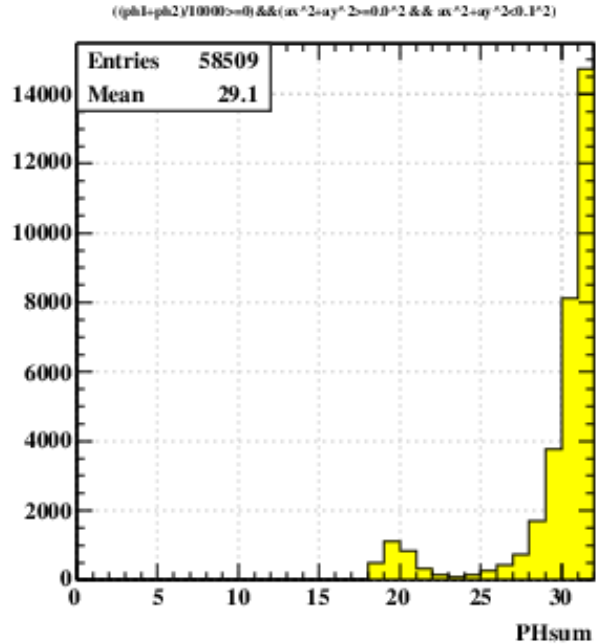
tan θ =0.5



1 mm × 1mm 中の飛跡データ

取得データの健全性を確認.

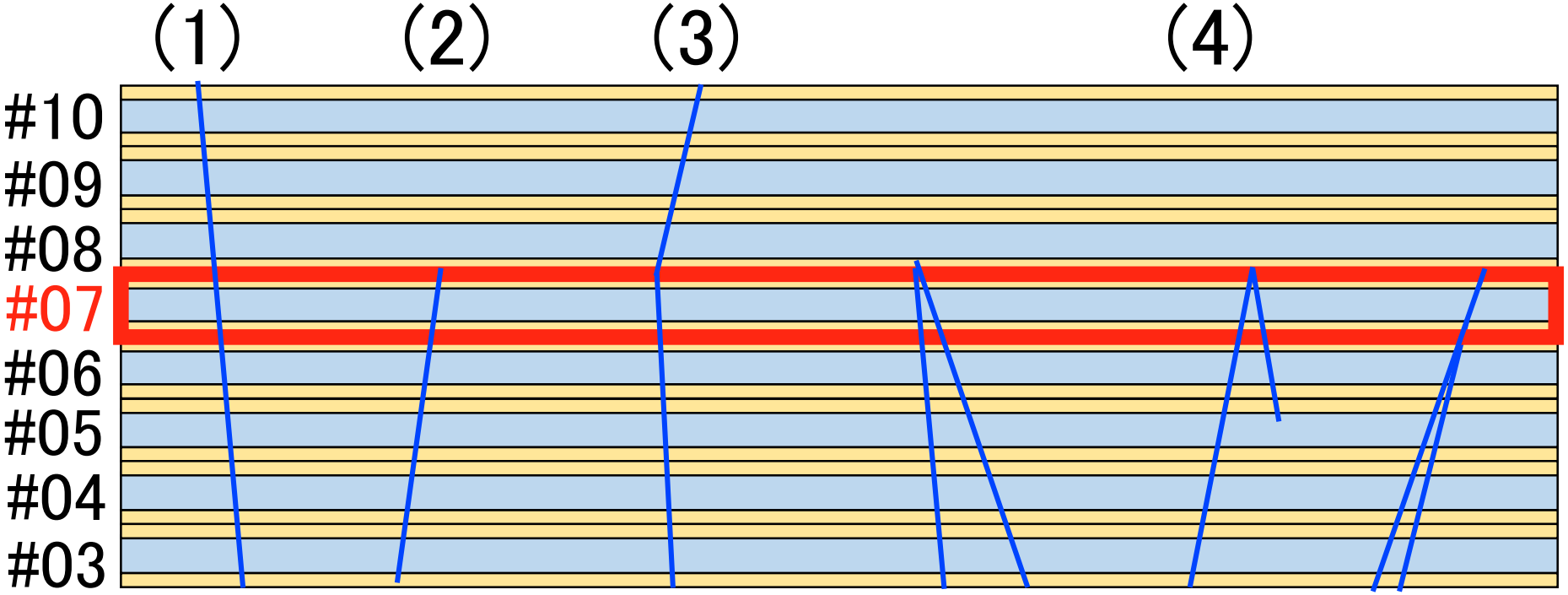
- 飛跡検出効率　～97%　○
- シグナル/ノイズ比　○
- 飛跡再構成性能　○



パルスハイト分布　(tanθ<0.1)

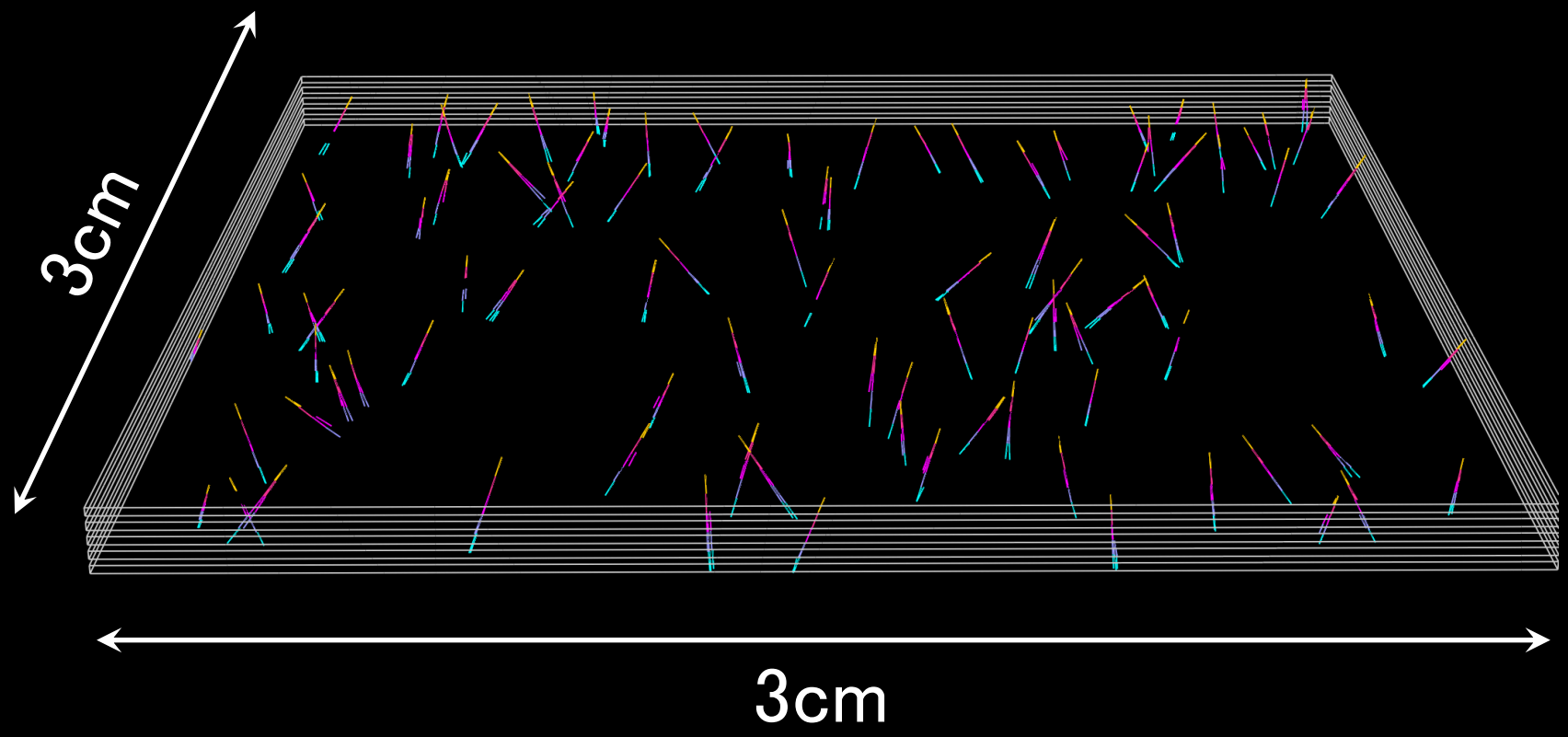
e-pair 事象探索

(1)貫通飛跡の消去
(2)対象プレートから始まり下流へつながる飛跡 (>50MeV/c)
(3)大角度散乱反応のカット
(4)パートナー飛跡の要求

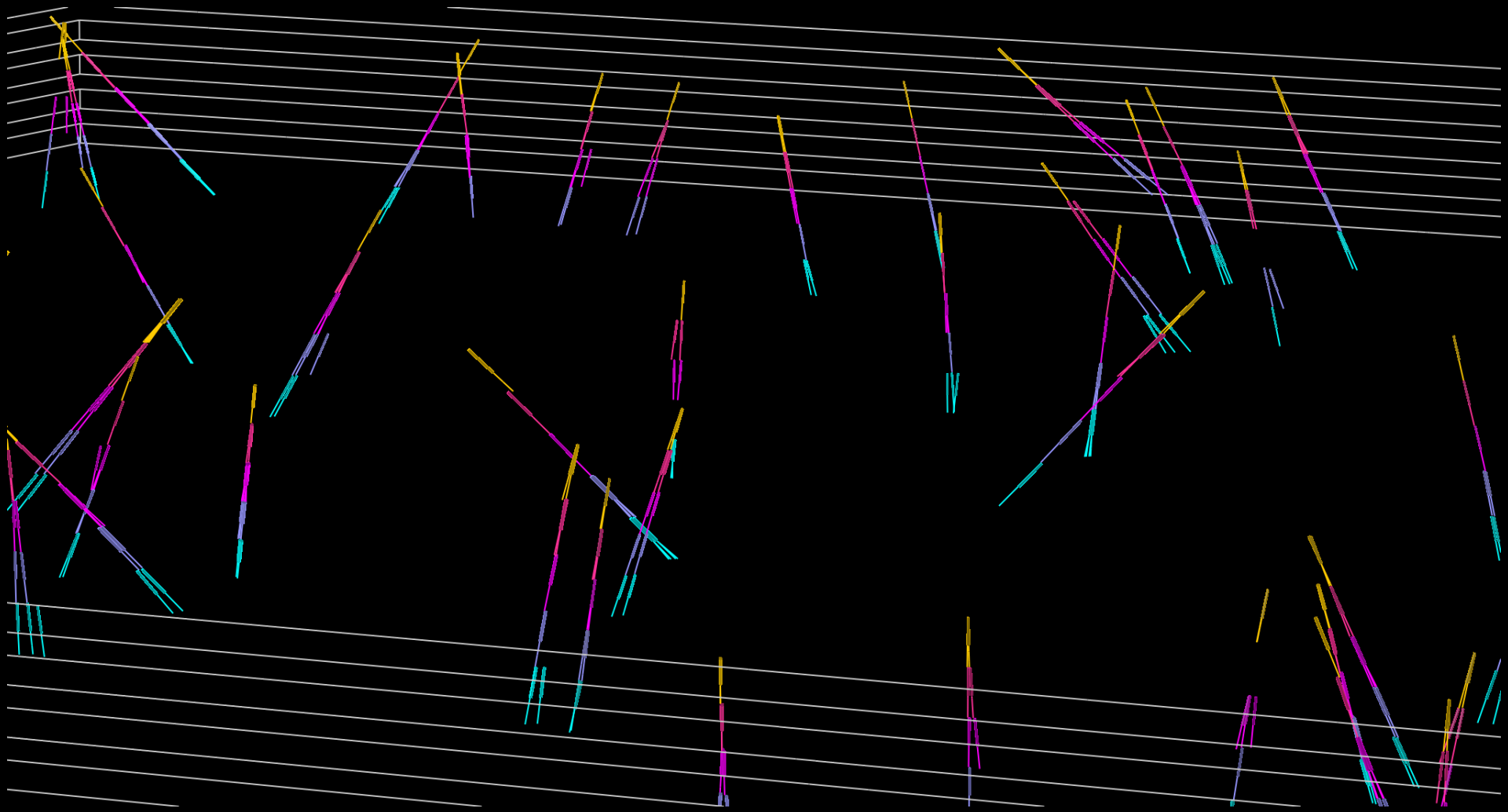


ガンマ線イベントの可視化

109 events

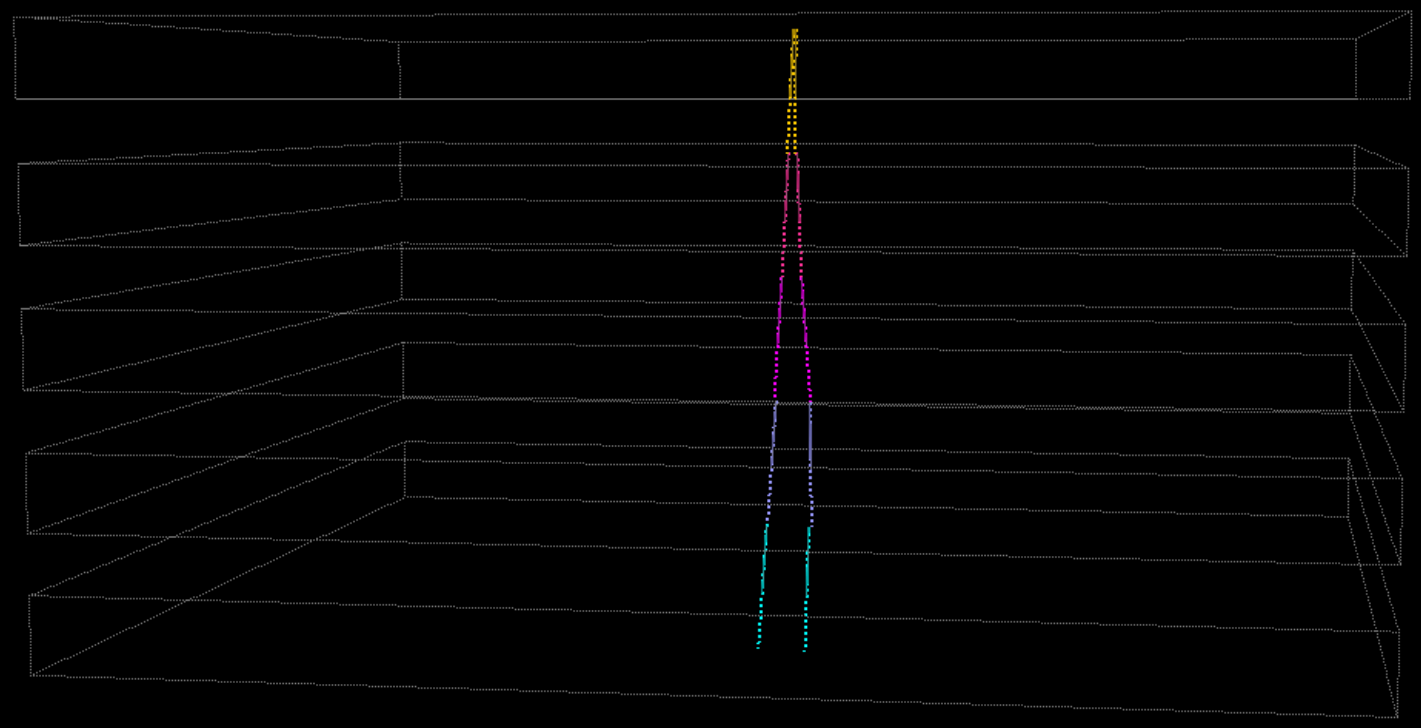


ガンマ線イベントの可視化



e⁻pairイベント例①

3mm x 3mm

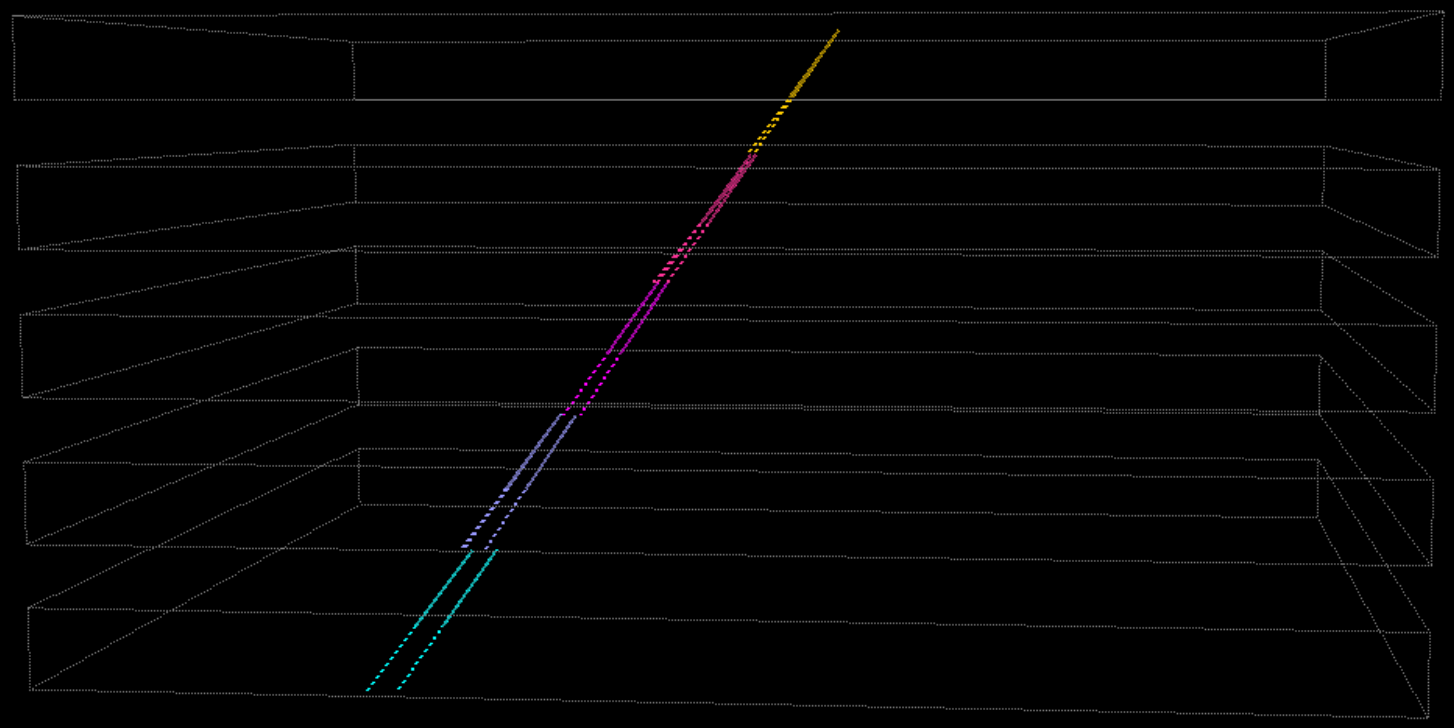


天頂角　tan θ =0.13（7.21°）

770639

e⁻pairイベント例②

3mm x 3mm



天頂角　tan θ =0.82（39.4°）

773927

まとめと展望

- GRAINE2015年オーストラリア気球実験.
  - エマルション望遠鏡による Velaパルサーの検出.
  - イメージング性能の実証

  口径面積0.375平米、飛翔時間14.4 時間のフライトに成功.
- 高感度乾板を初導入.
  S/Nが劇的に改善し、飛跡検出効率を大幅に向上 (旧 80% →新 95%以上).
- 飛跡の角度分解能を評価し、期待される性能が得られていることを確認した.
- ガンマ線事象の探索を行い、信頼性～90%の選出ができていることを確認.
- ガンマ線選出までの処理をほぼ自動化し、系統的に全面処理が進行中.
  - 全面積探索では4×10^6 ガンマ線事象が見込まれる.

◆ ガンマ線検出効率の評価.

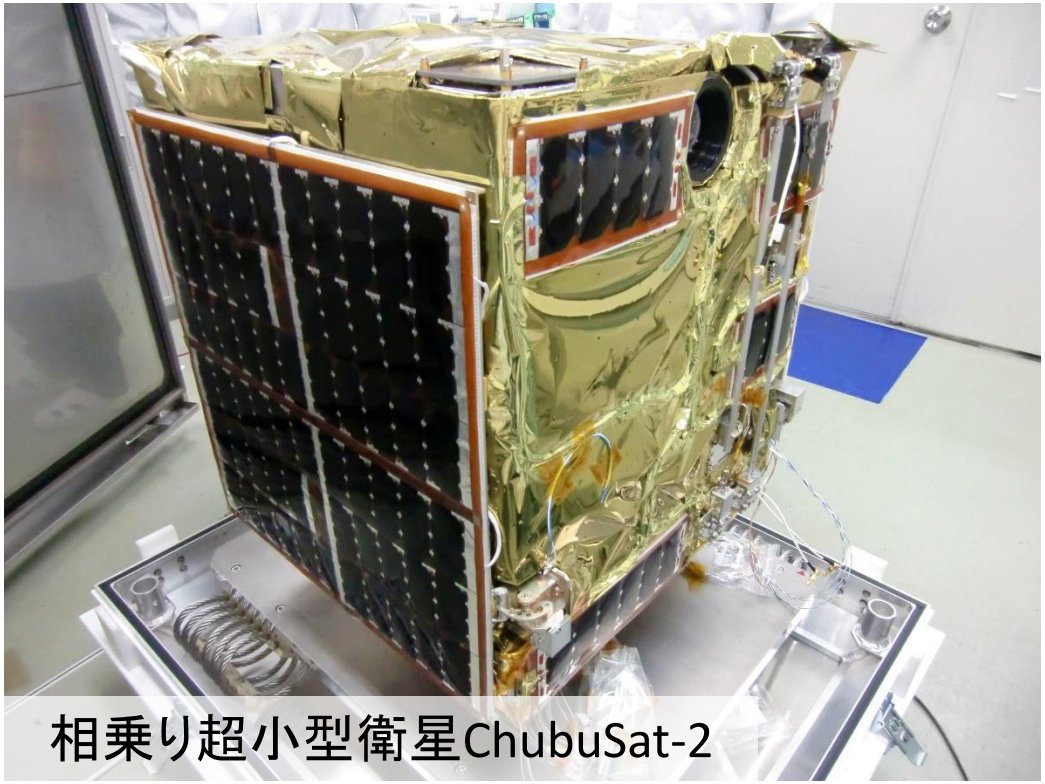
◆ エネルギー測定の自動化.

◆ ガンマ線事象のタイムスタンプ、天球上へのポインティング.

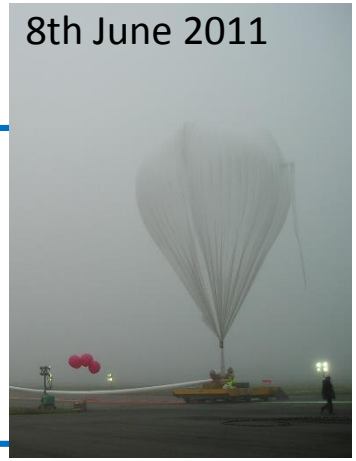
◆ ハドロン事象起因のガンマ線の除去.

おまけ

太陽中性子観測ミッションを提案し、採用.


相乗り超小型衛星ChubuSat-2

GRAINE計画 ロードマップ



1st Flight

2011年6月8日　北海道大樹町宇宙実験場

口径面積 0.0012 m^2　　観測時間 1.6 hour

☆各要素の動作試験、連動試験　☆大気ガンマ線の観測

2nd Flight

現在解析中

2015年5月12日　オーストラリア・アリススプリングス

口径面積 0.375 m^2　　観測時間 14.4 hour

☆エマルション望遠鏡による天体初検出　☆ポインティング性能の実証

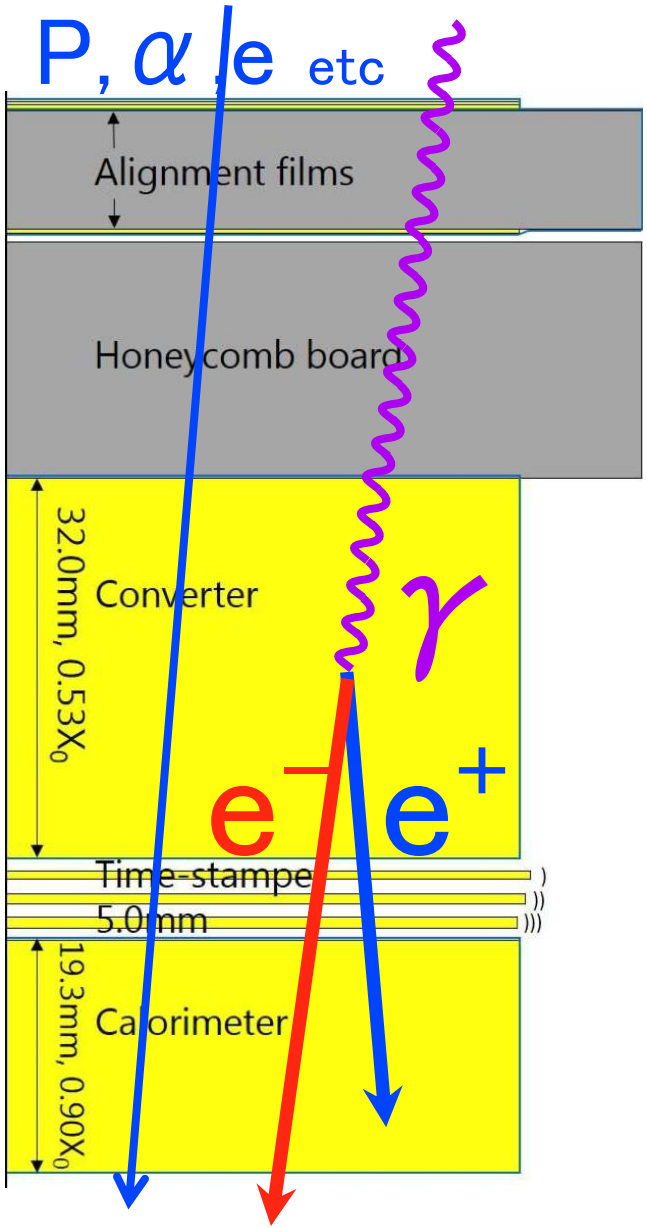
3rd Flight and more

2016年～　長時間フライトを検討中

口径面積 ~10 m^2　　観測時間 ~100 hour

☆科学観測　超新星残骸の空間構造　銀河中心領域の高精度観測

解析の流れ



フィルムの自動読取

コンバータ解析

- データクオリティの理解
- フィルム間の飛跡接続
- $\gamma \rightarrow e^{+} + e^{-}$ 事象の選出

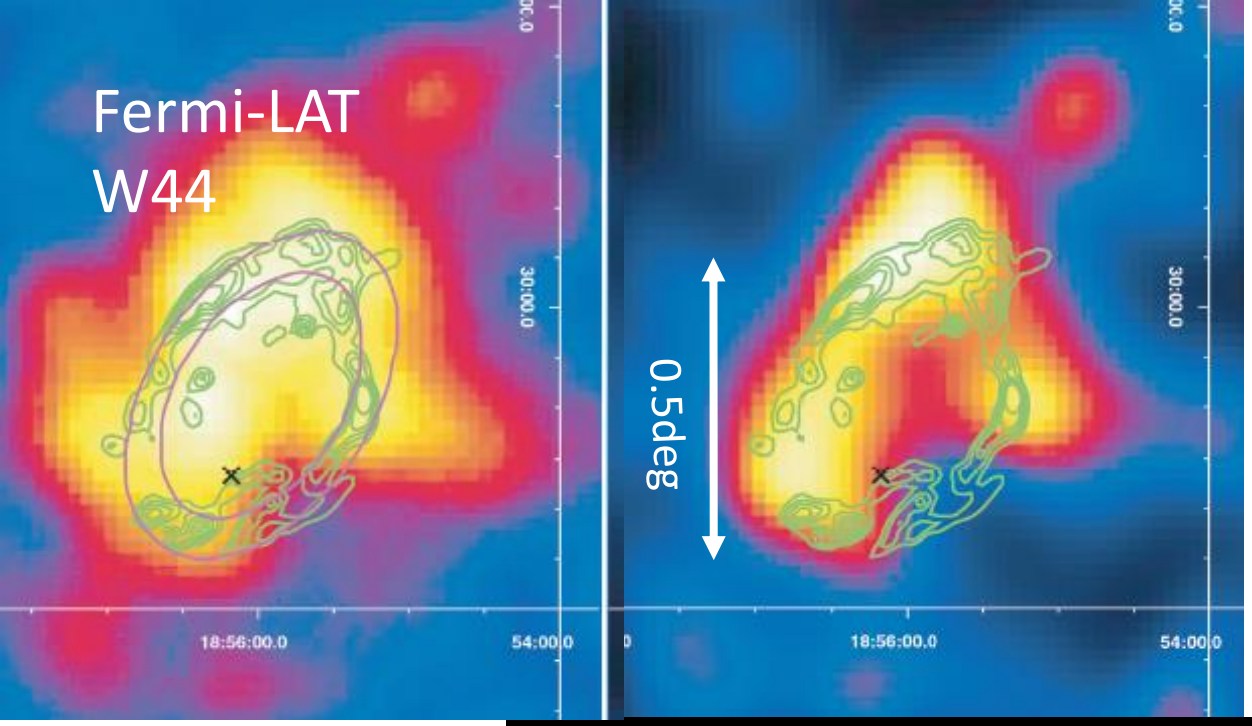
  エネルギー測定
  入射角度測定

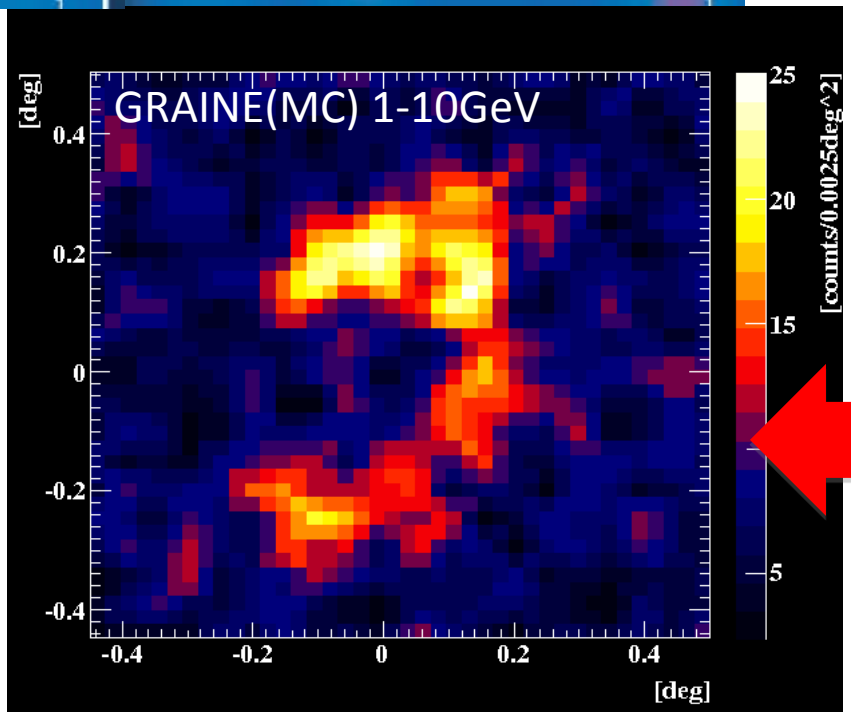
タイムスタンプ解析

スターカメラ解析

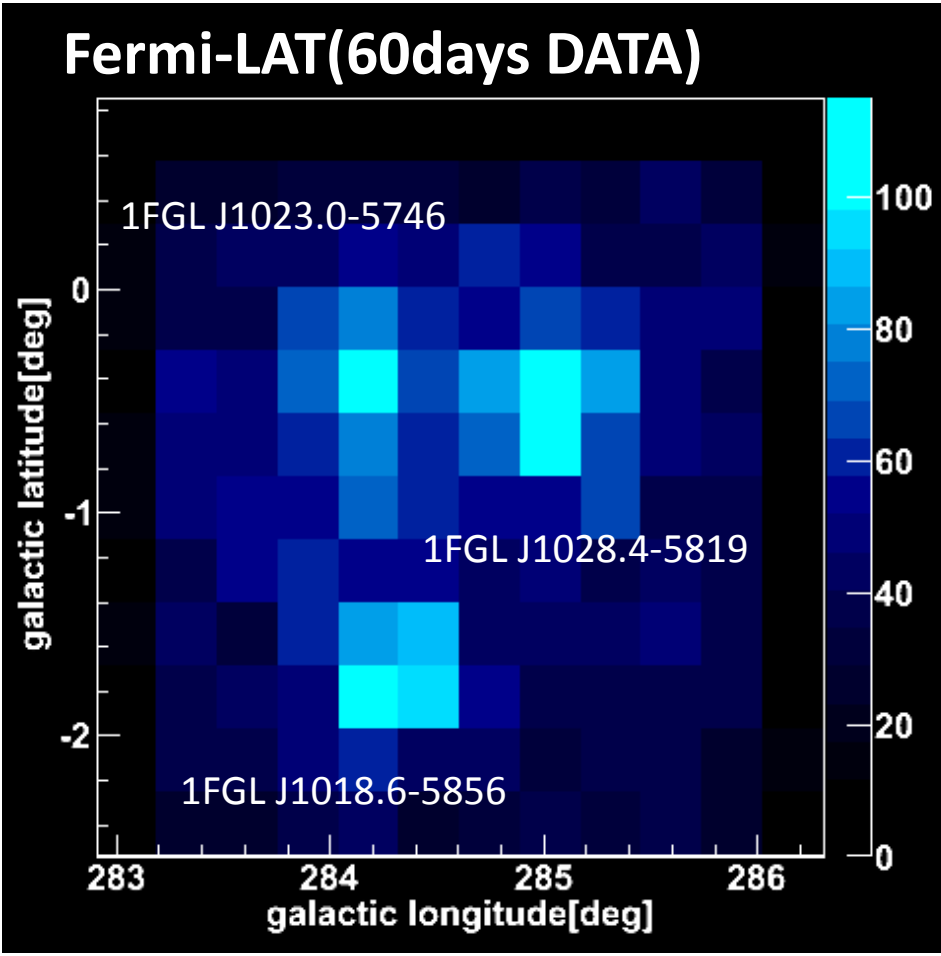
天球マッピング

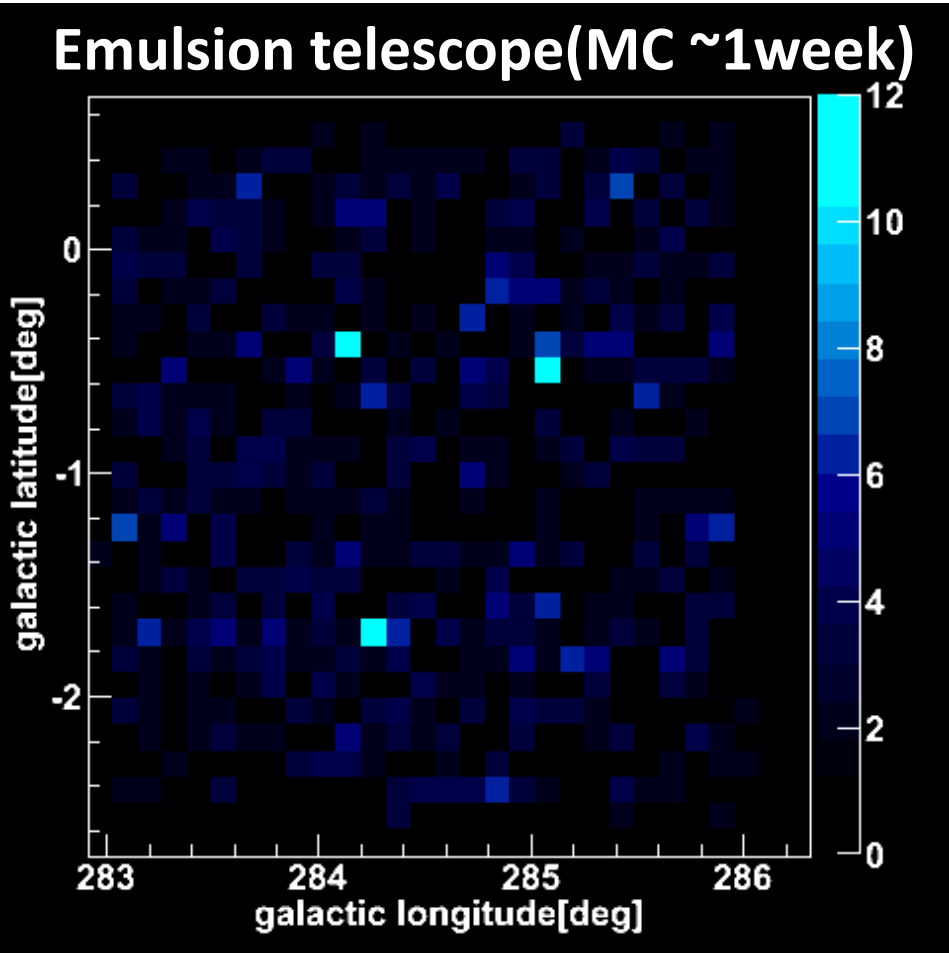
- Off Source 評価
- Vela 領域評価





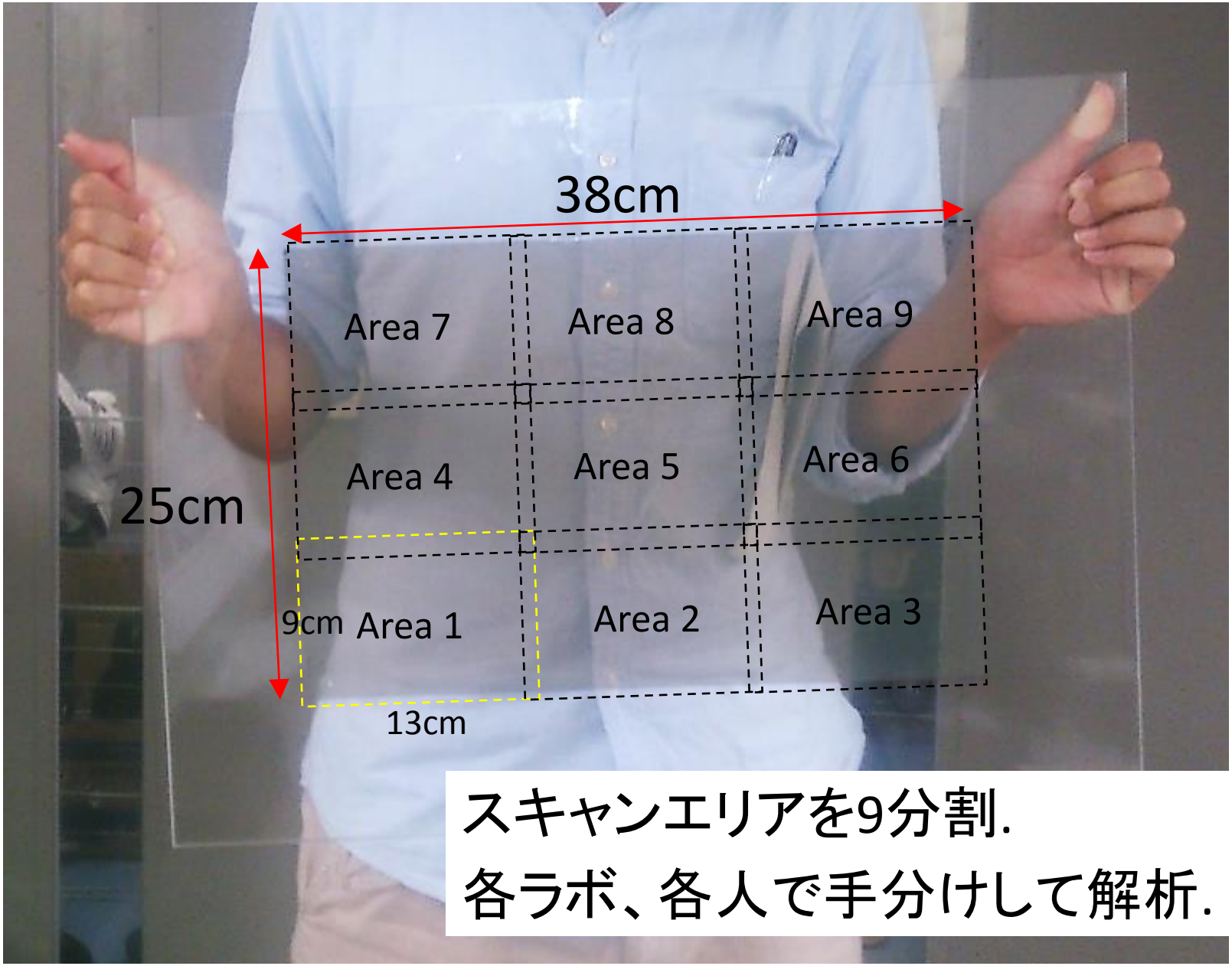
Spitzer(4.5μm赤外)
のデータを真として
シミュレーション


Fermi-LAT(60days DATA)
1FGL J1023.0-5746
1FGL J1028.4-5819
1FGL J1018.6-5856
galactic latitude[deg]
galactic longitude[deg]
0
-1
-2
283
284
285
286
100
80
60
40
20
0


Emulsion telescope(MC ~1week)
galactic latitude[deg]
galactic longitude[deg]
0
-1
-2
283
284
285
286
12
10
8
6
4
2
0

HTSによるフィルムの読取

HTSによるフィルムの読取

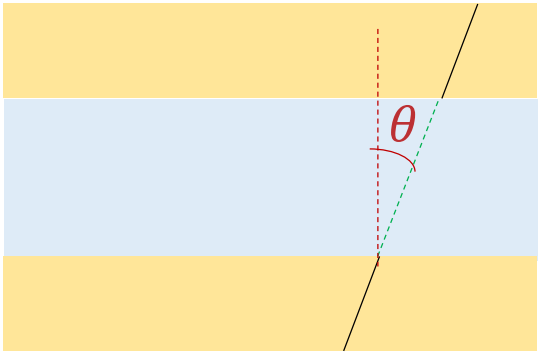


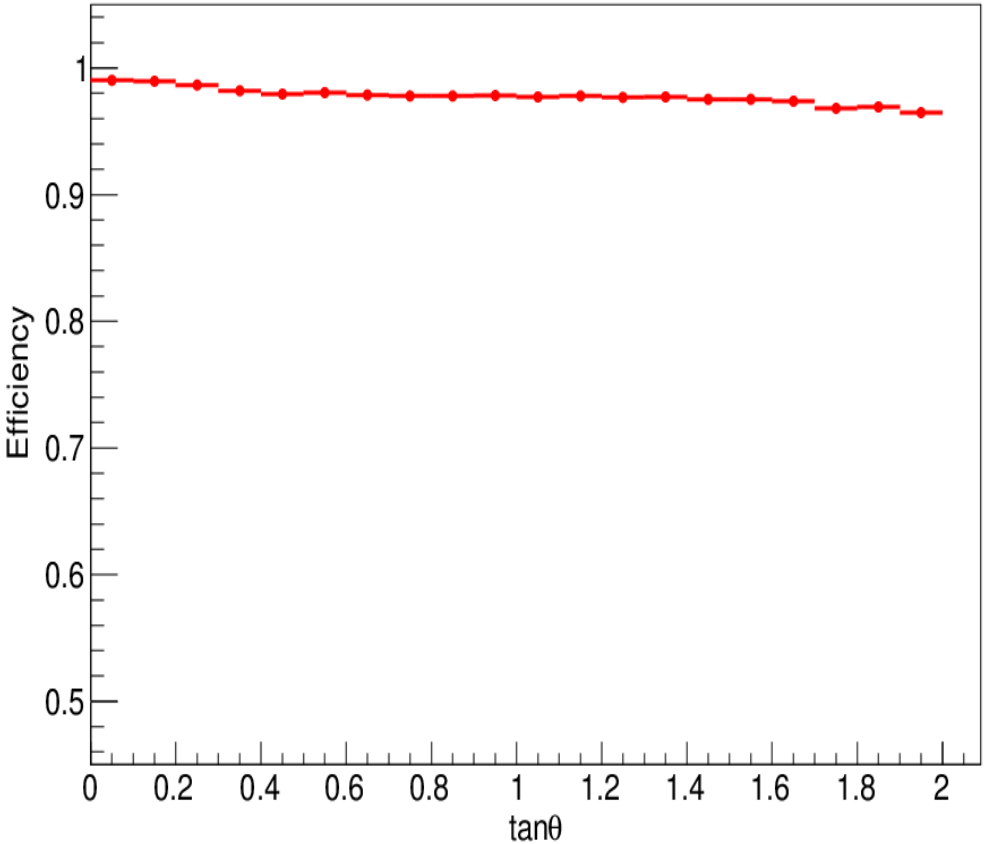
スキャンエリアを9分割.
各ラボ、各人で手分けして解析.

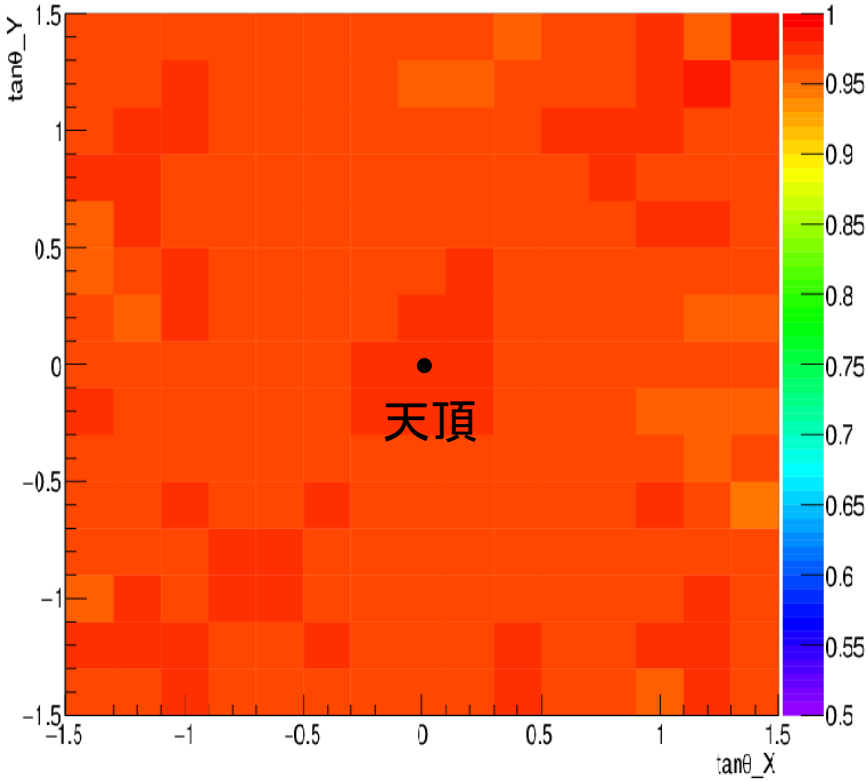
検出効率の入射角度依存性

Unit3-PL02　Area5

GRAINE2015

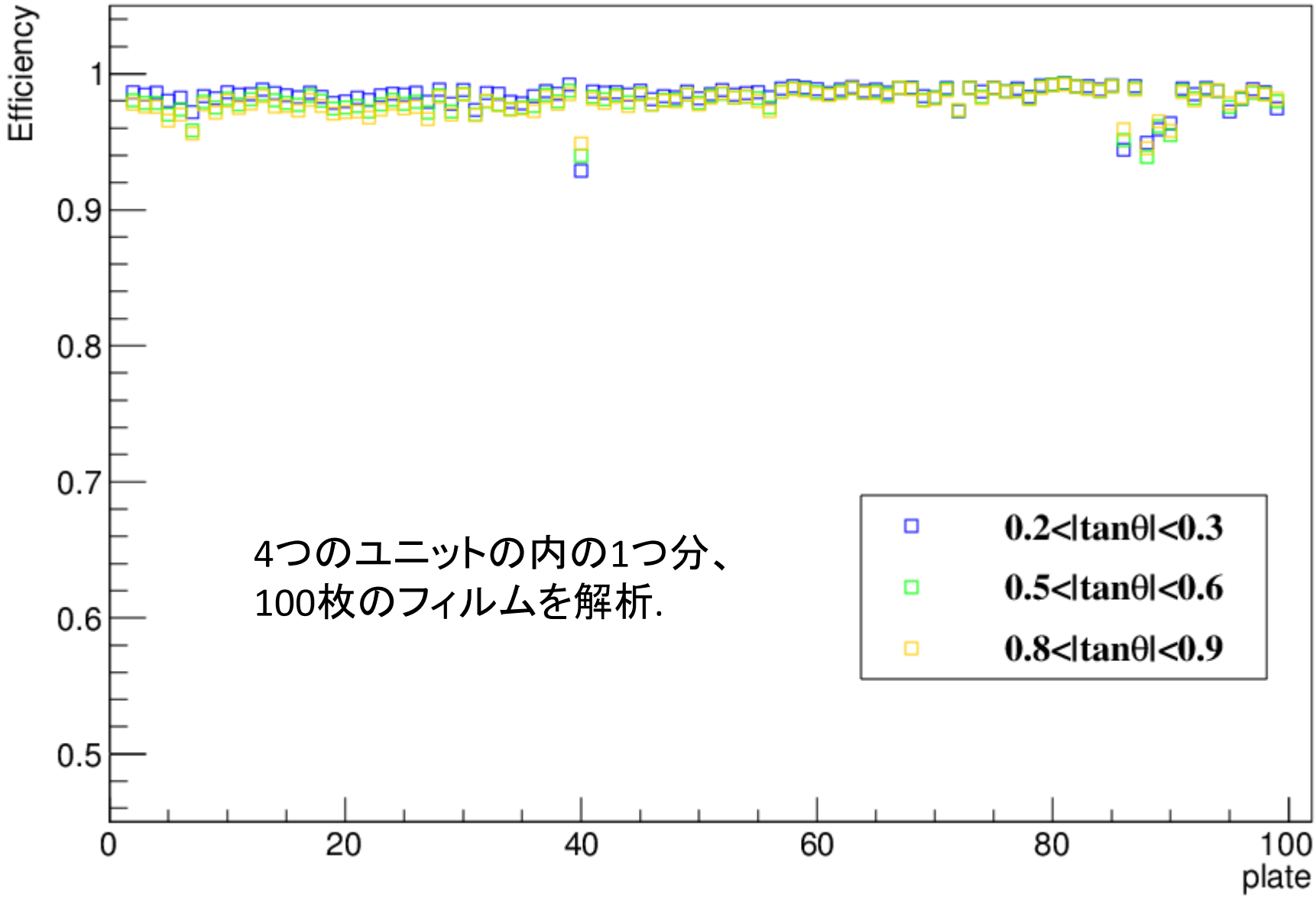






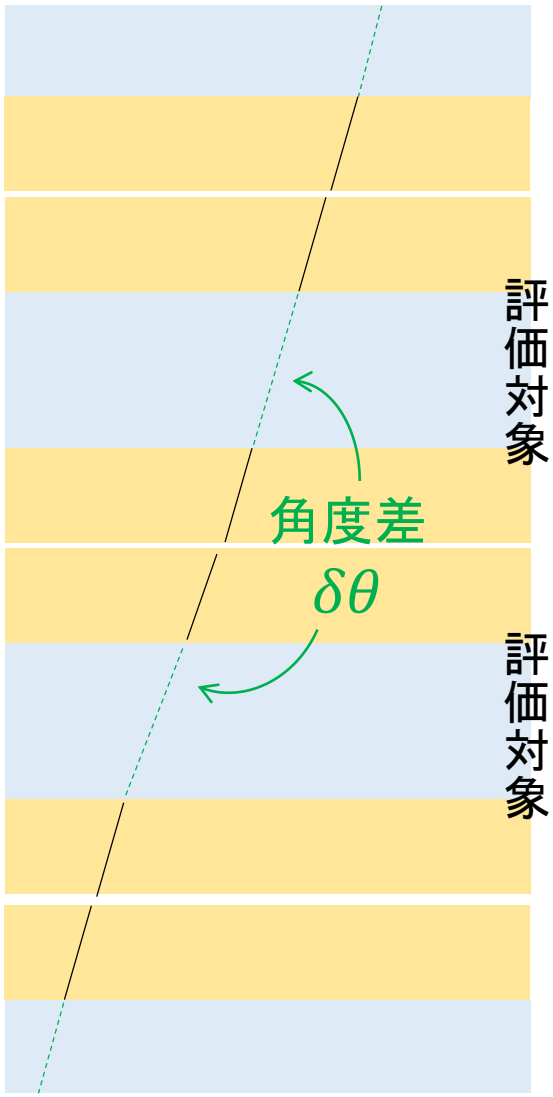
フィルム毎の検出効率

GRAINE2015
Unit3 Area5



4つのユニットの内の1つ分、
100枚のフィルムを解析.

飛跡角度精度の評価

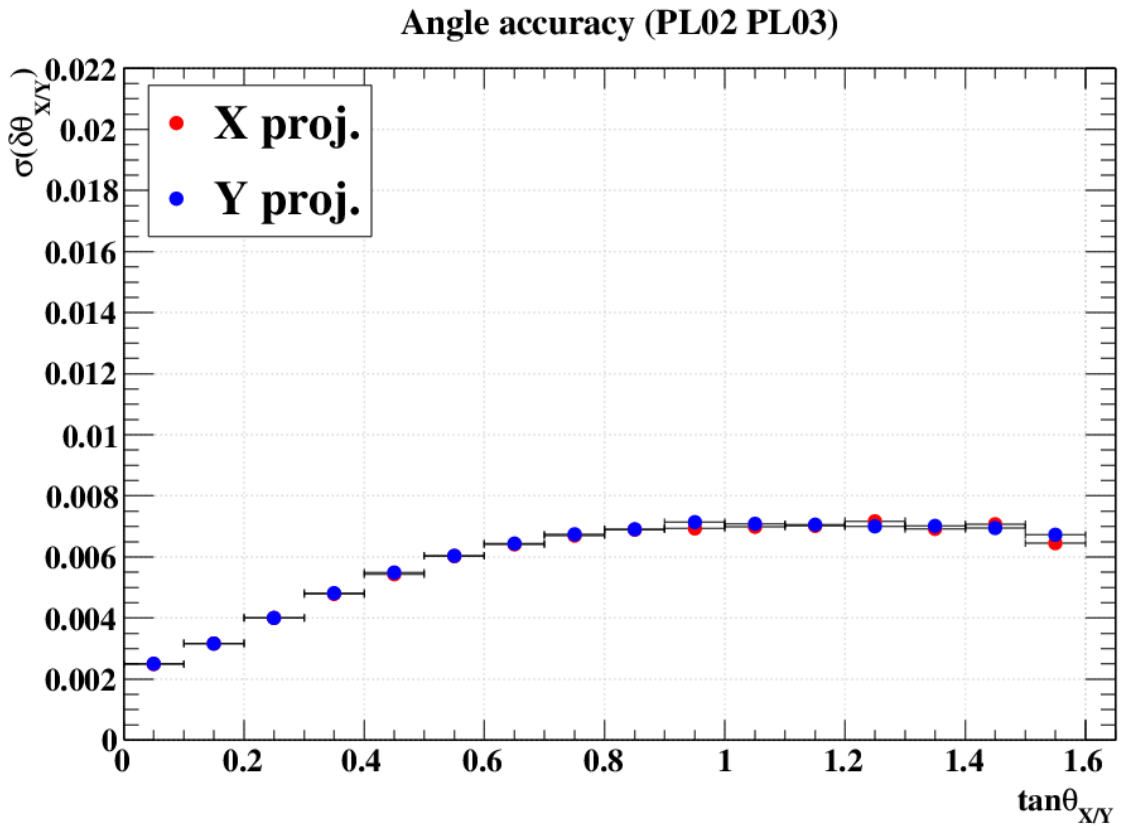


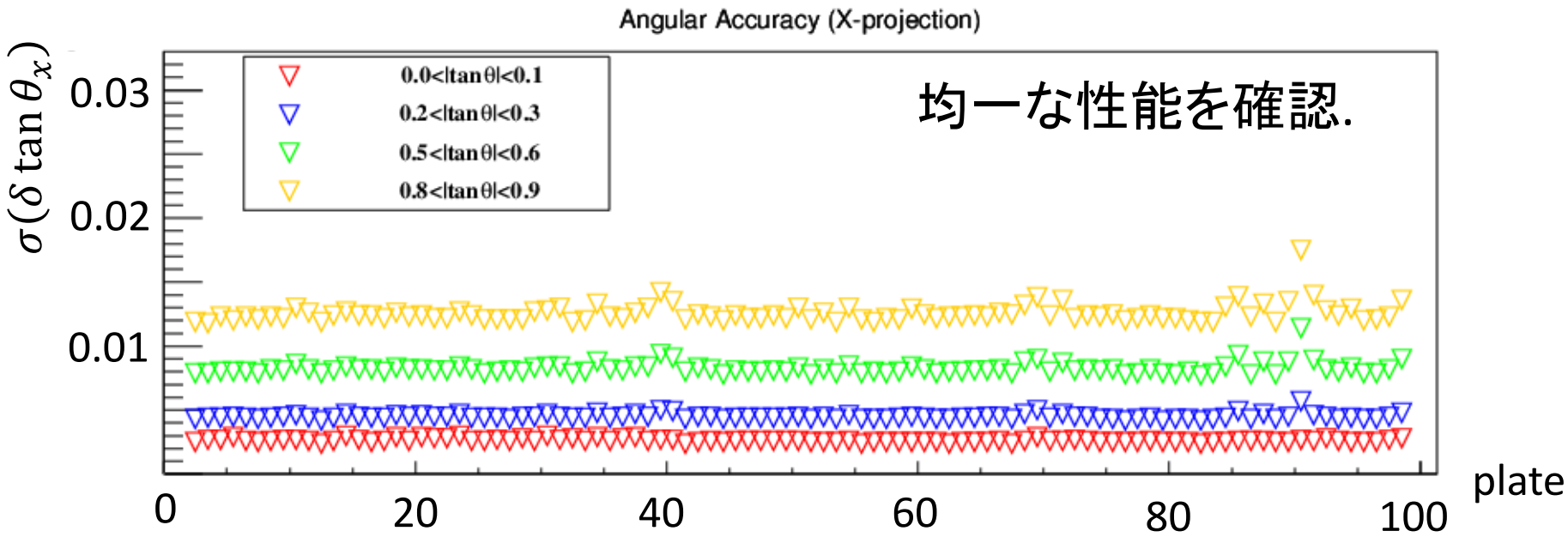
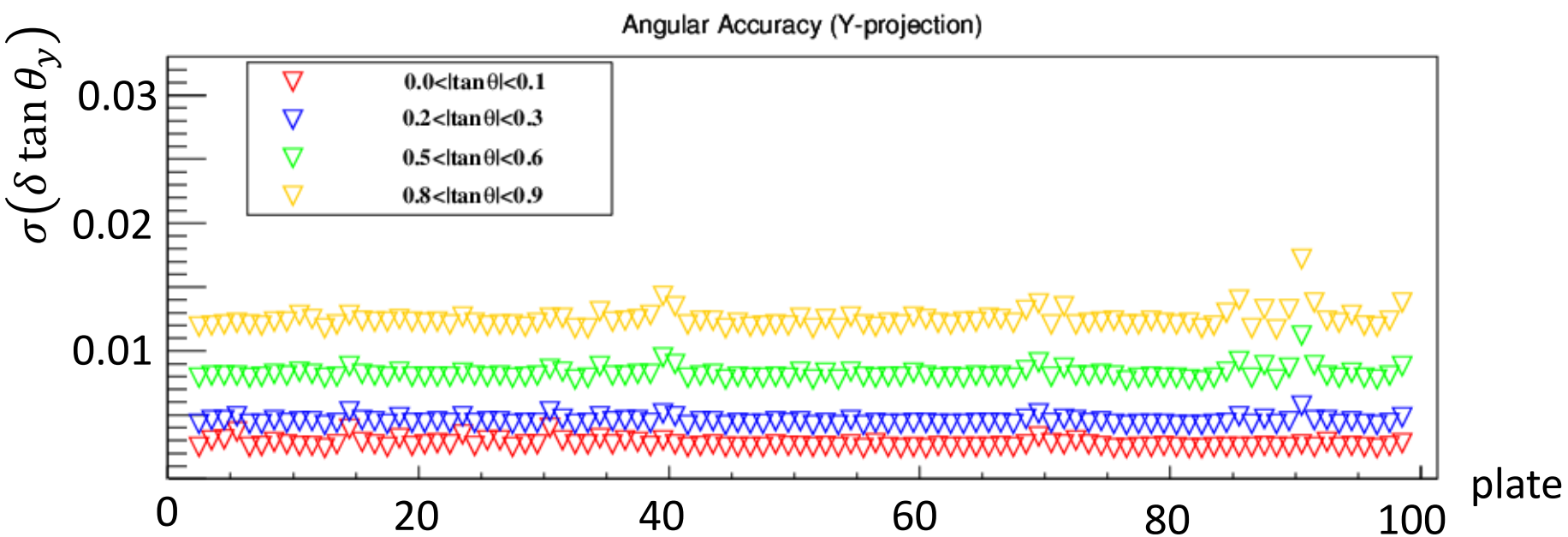
①高運動量トラックを選出

=

上下のフィルムで角度ズレの小さい飛跡.

②2枚のフィルムでの角度ズレを評価



フィルム毎の角度精度

GRAINE2015