

気球搭載型エマルジョン望遠鏡による ガンマ線天体精密観測計画

GRAINE

名古屋大 六條宏紀

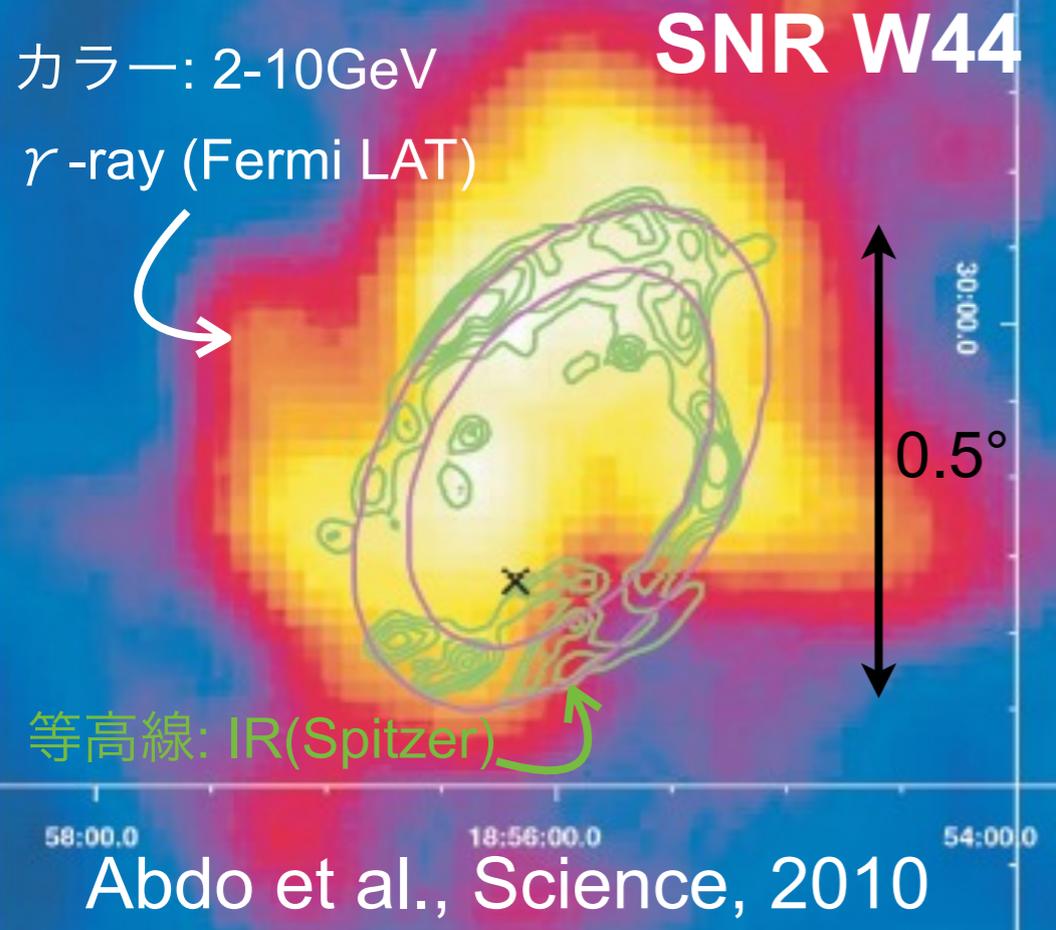
Project Leader 神戸大 青木茂樹

神戸大、名古屋大、ISAS/JAXA

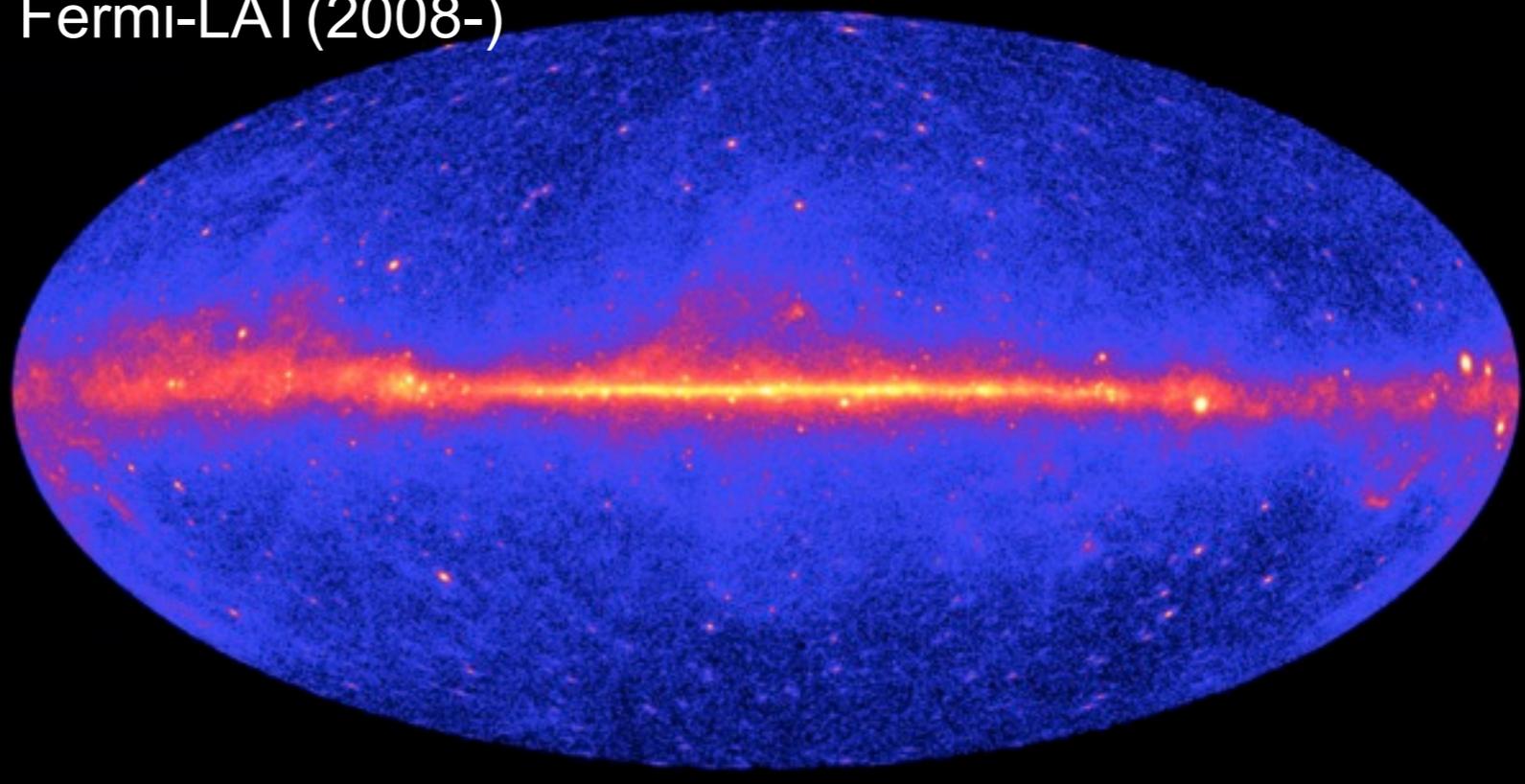
愛知教育大、岡山理科大、宇都宮大



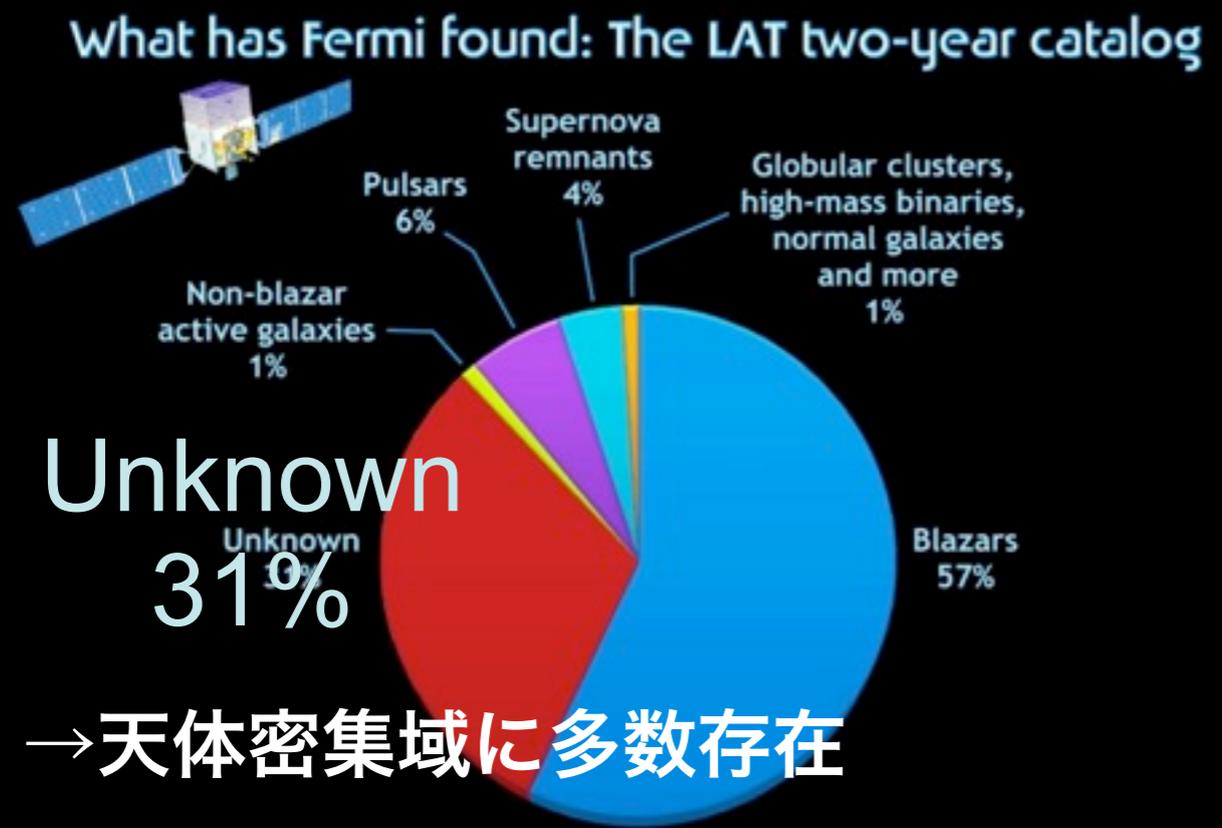
超新星残骸(宇宙線起源?)



Fermi-LAT(2008-)



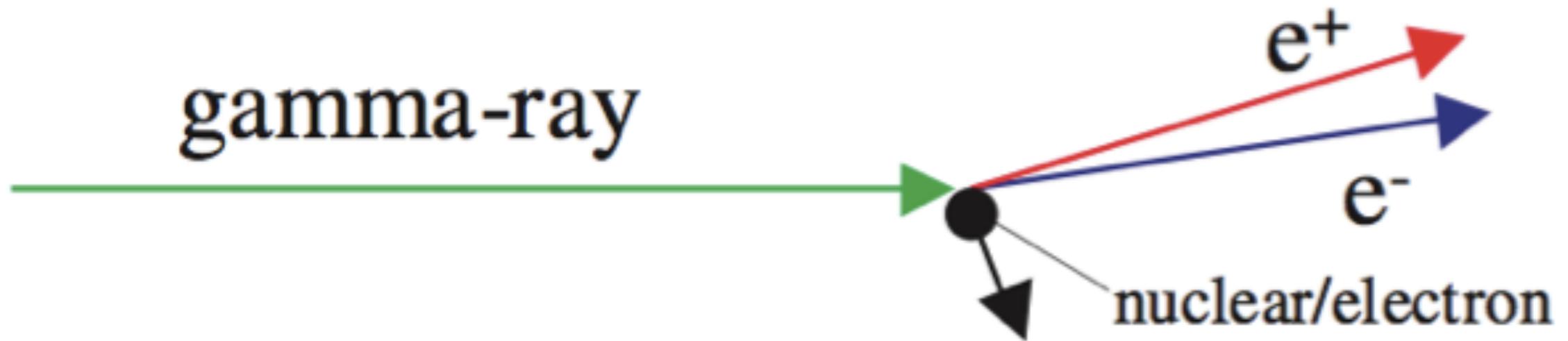
未同定天体の謎



偏光観測 (放射機構の解明)



ガンマ線の到来方向決定



$$\tan \theta_{\gamma} = \frac{P_e \sin \theta_e + P_p \sin \theta_p}{P_e \cos \theta_e + P_p \cos \theta_p}$$

原子核乾板(エマルション)

Microscopic view
10micron



Gamma-ray



$e^{+/-}$



$e^{-/+}$

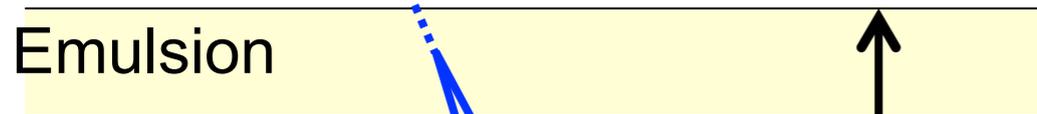


エマルションフィルムの断面図

Gamma-ray



Emulsion



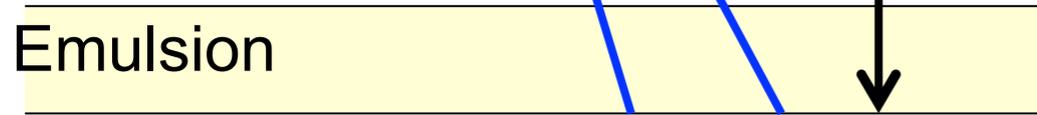
Plastic
base

e^- e^+

0.3mm
(0.002 X_0)



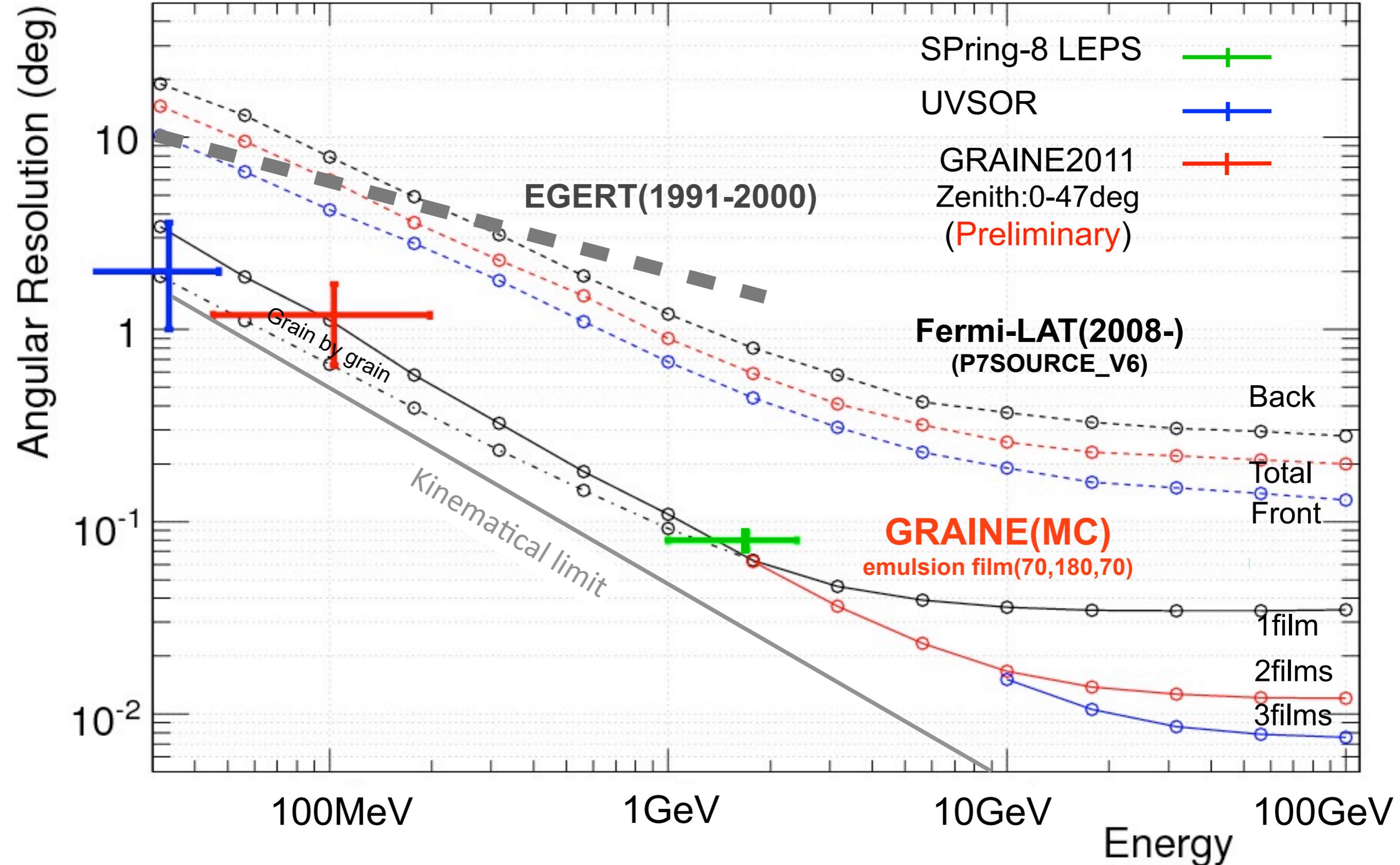
Emulsion



- ◎優れた空間分解能
- ◎少ない通過物質質量
- ◎軽量
- ◎大面積化可能
- ◎安価

ガンマ線 角度分解能

PSF at normal incidence



Abdo et al., Science, 2010
Color : 2-10GeV gamma-ray (Fermi LAT)
Contour : IR(Spitzer)

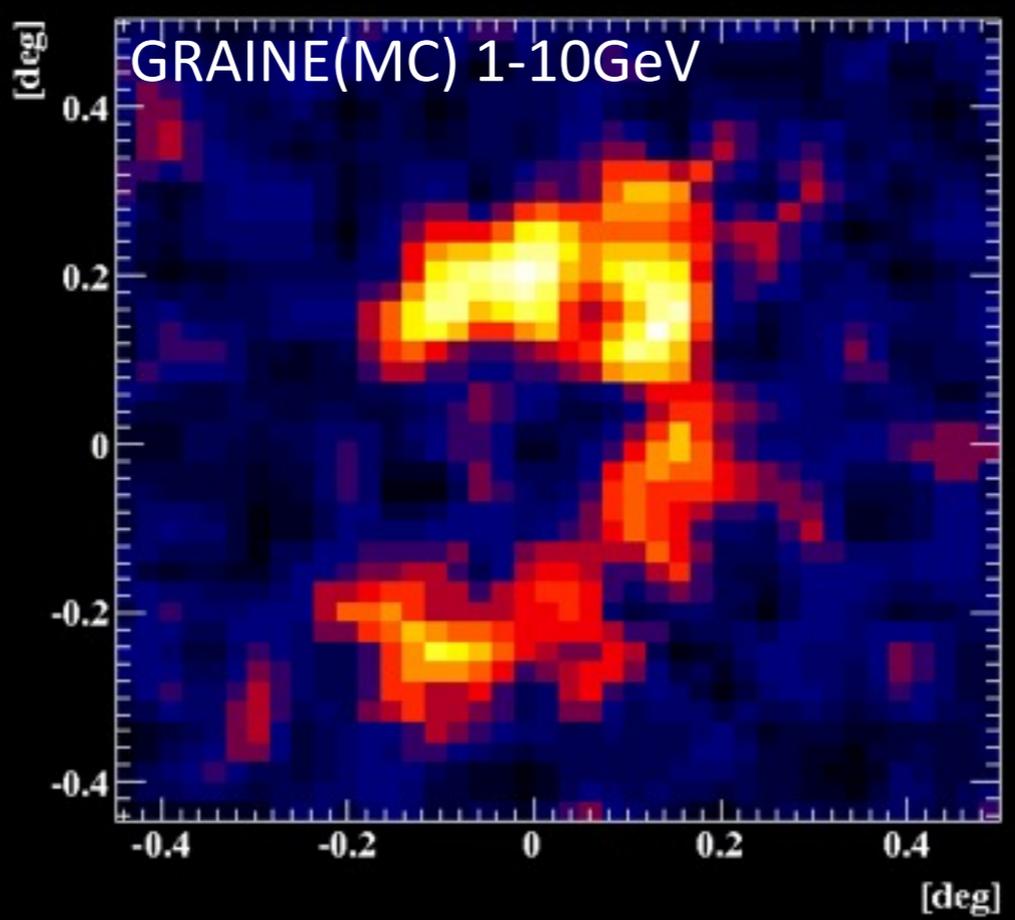
Fermi-LAT W44

数学的处理

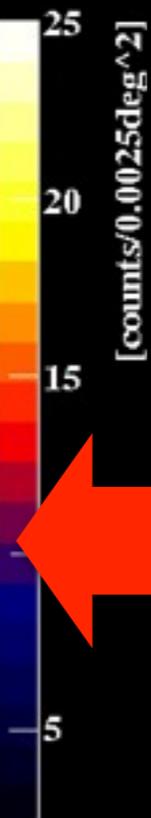
0.5deg

空間構造 の解明

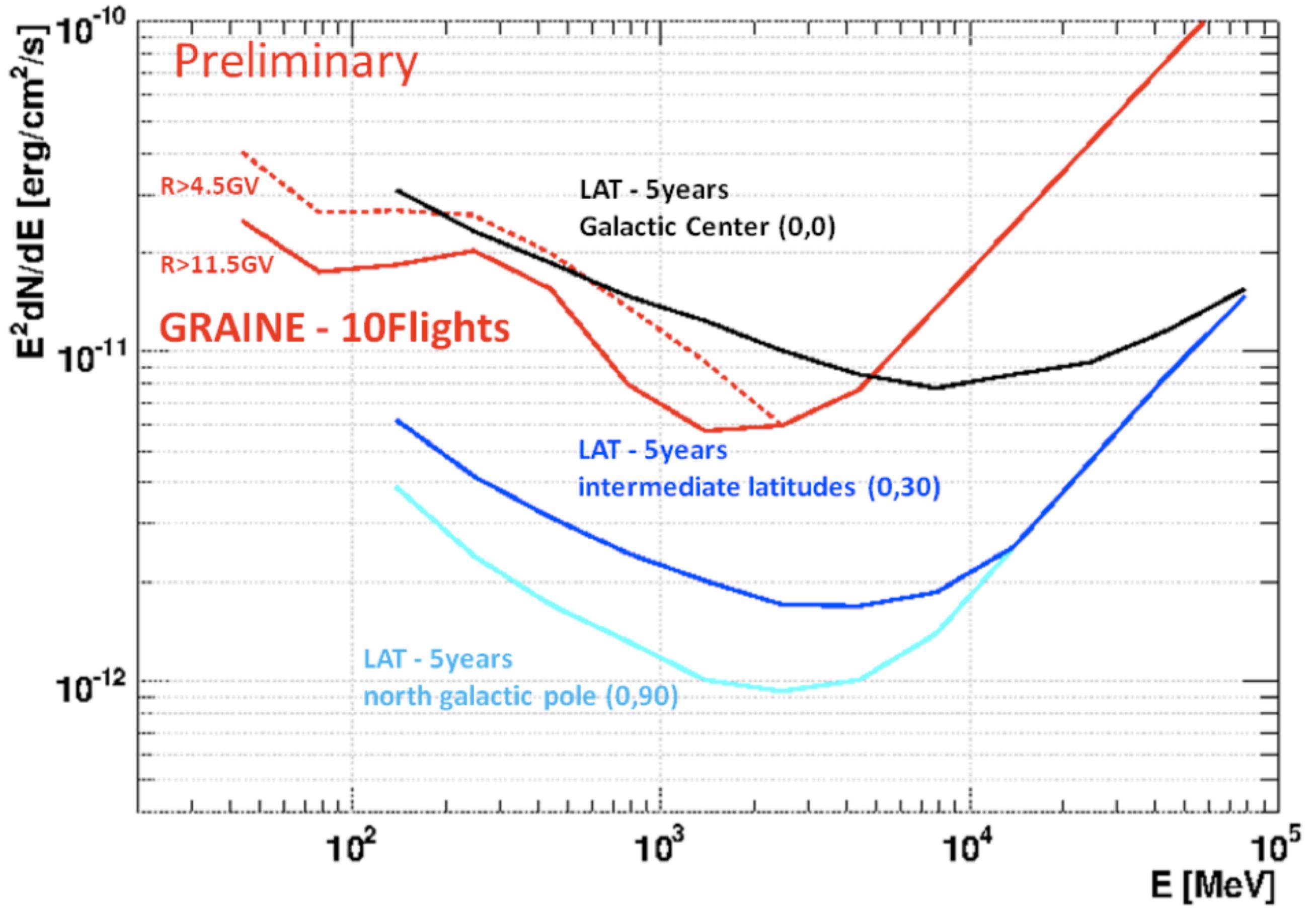
Spitzer(4.5 μ m赤外)
のデータを真として
シミュレーション



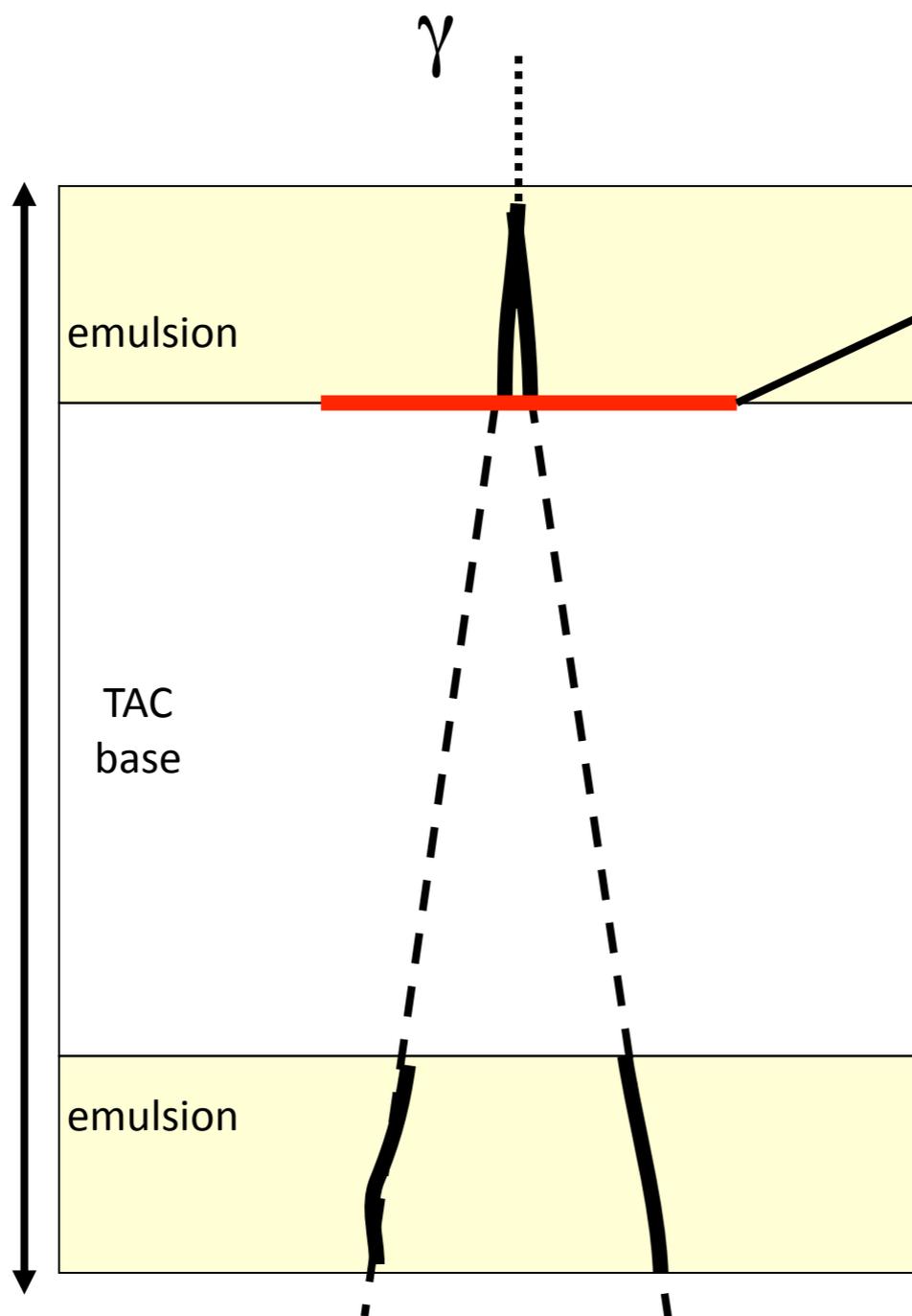
3Flight
(17day)
相当の観測



銀河中心領域の観測

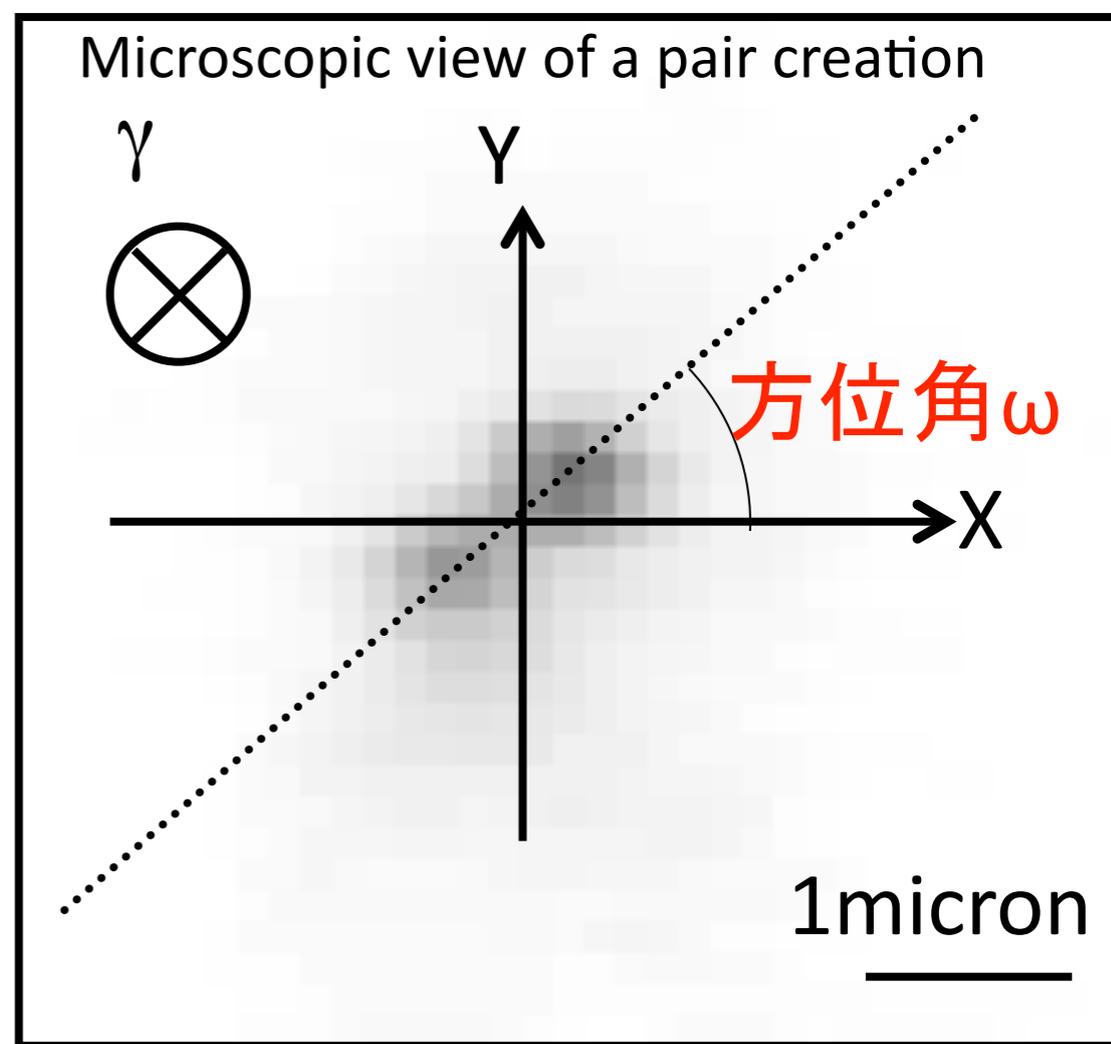


偏光観測



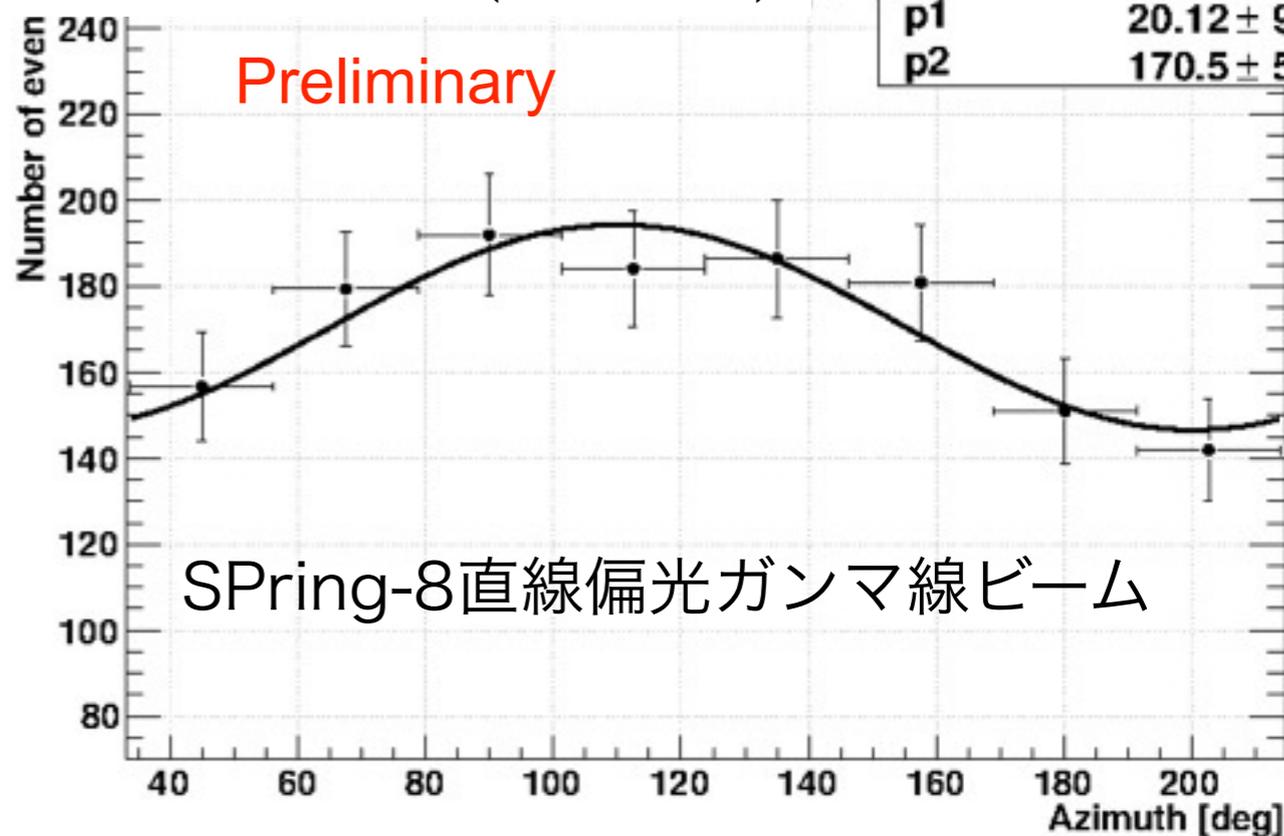
293 μm

0.002 X_0



方位角分布(DATA)

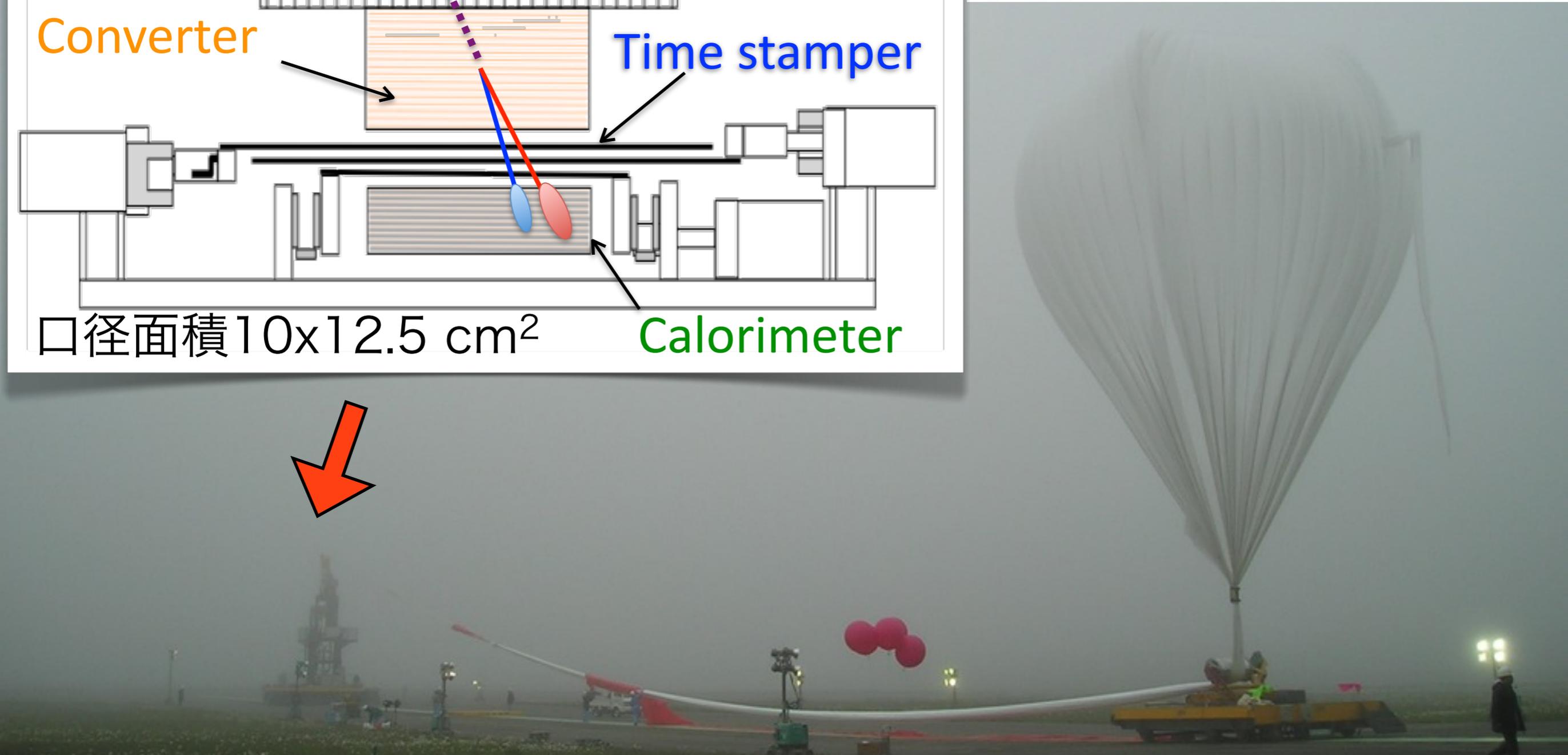
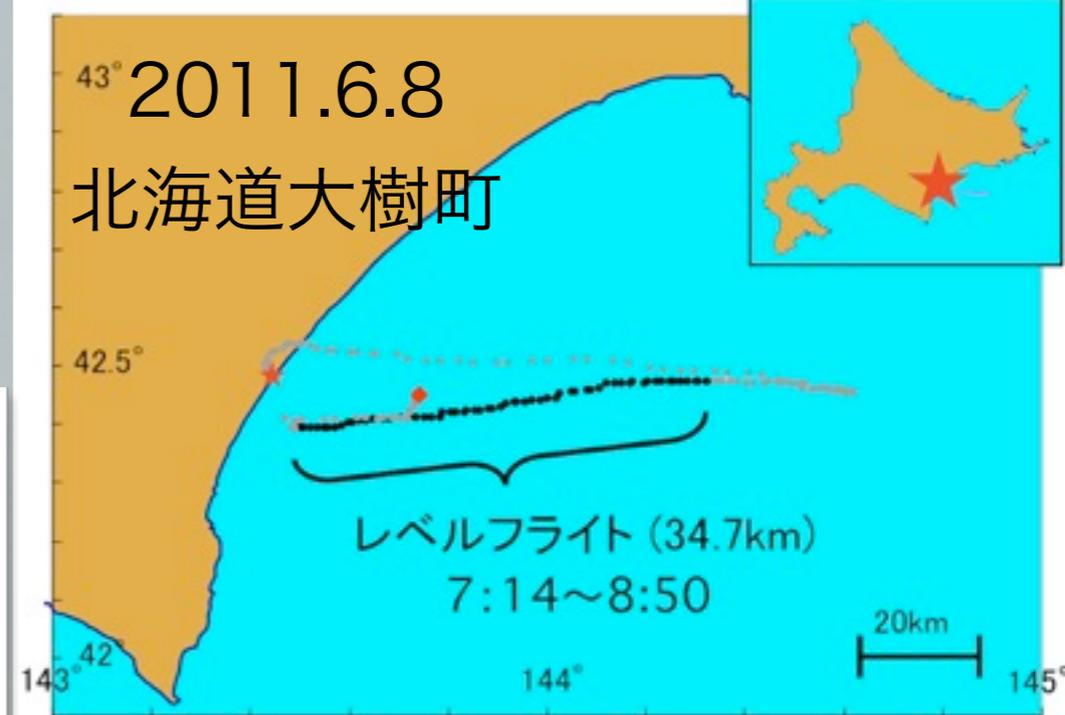
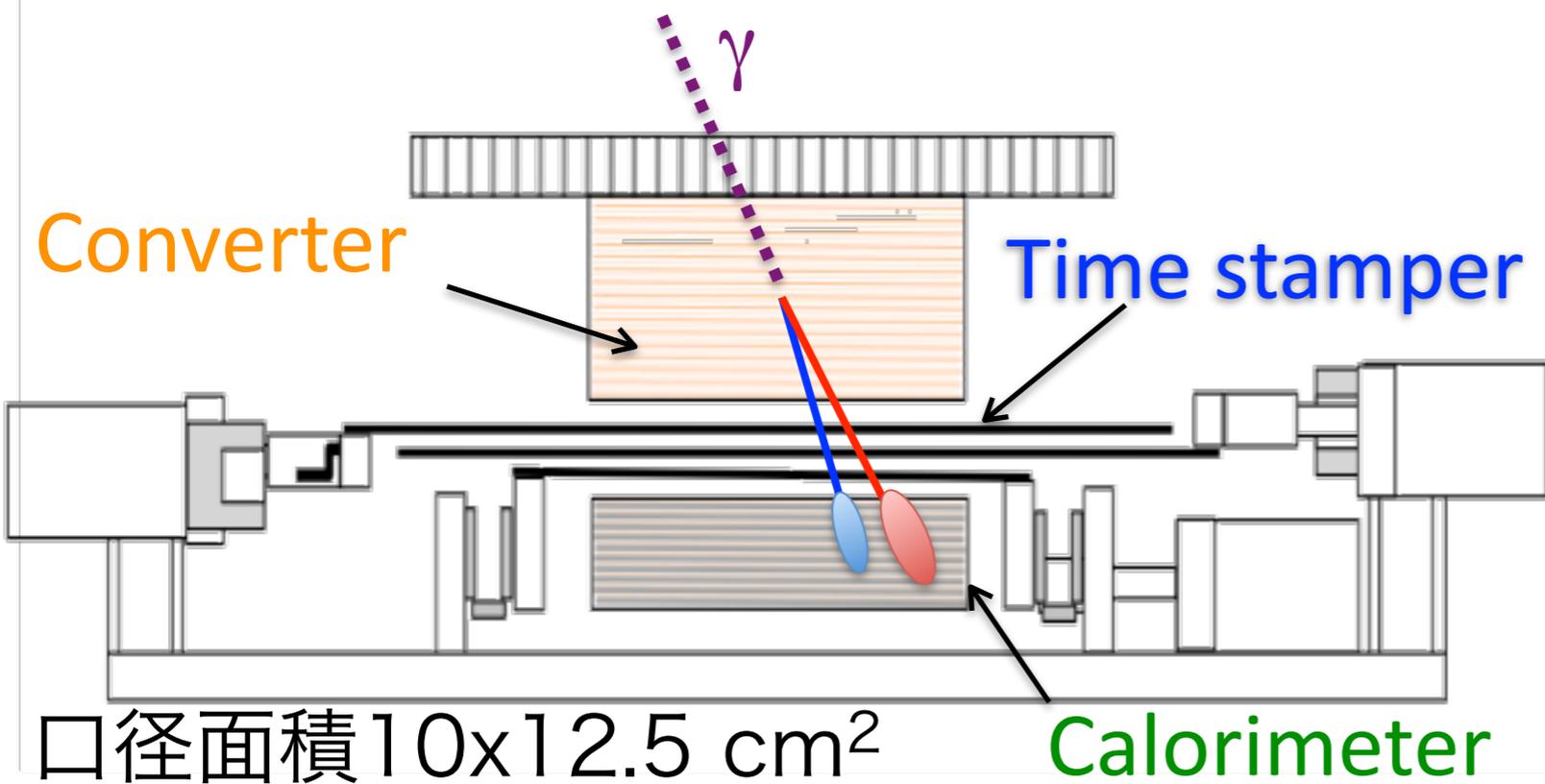
χ^2 / ndf	1.532 / 5
p0	0.14 ± 0.03962
p1	20.12 ± 9.506
p2	170.5 ± 5.089



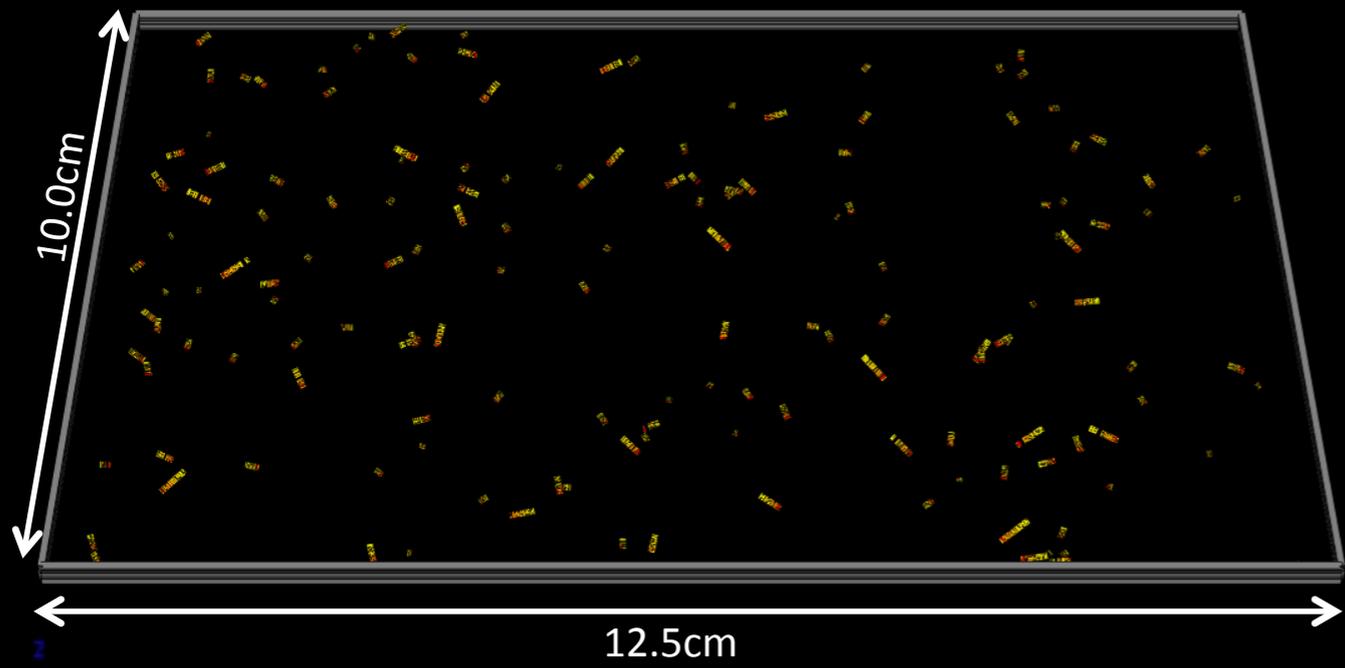
3.5 σ で実証

GRAINE 2011

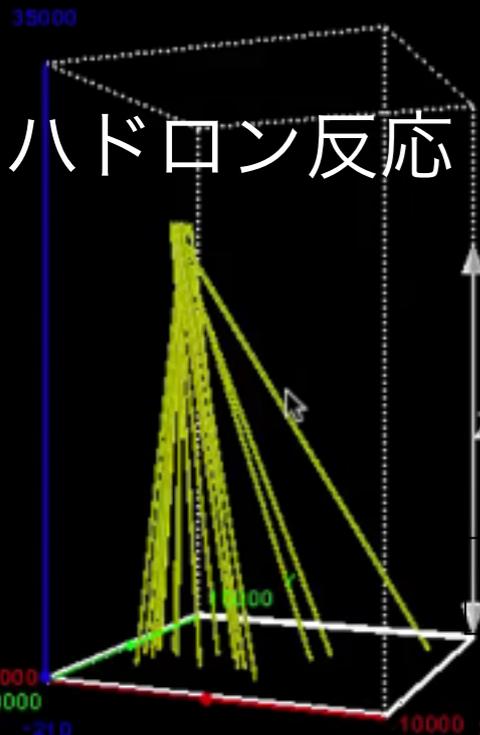
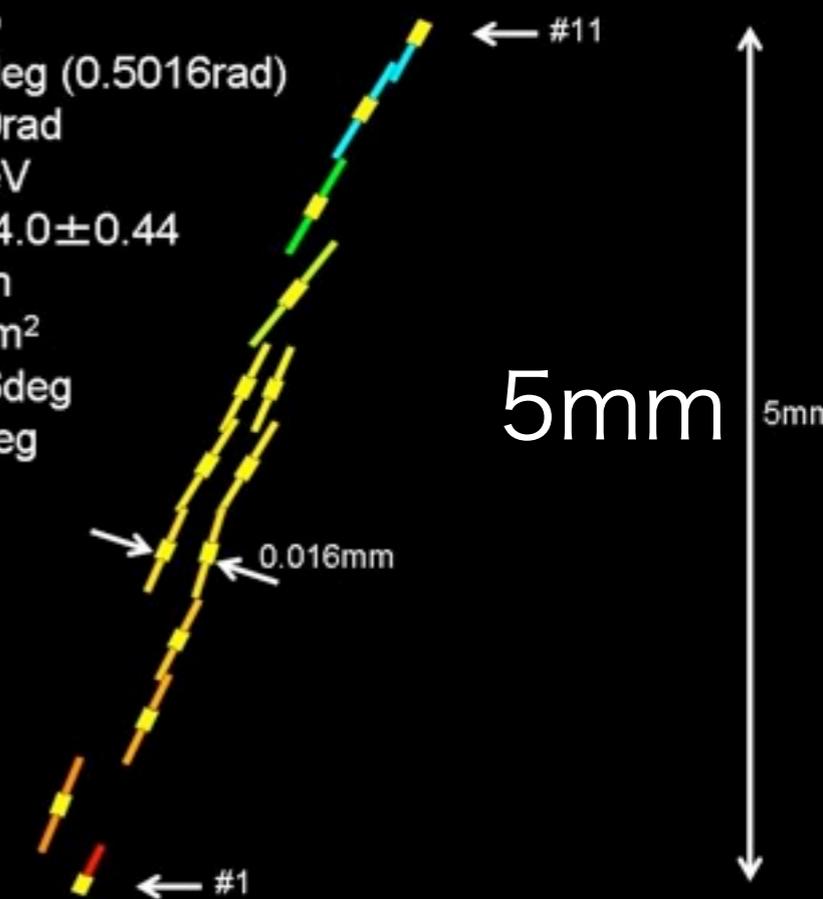
エマルジョン望遠鏡1号機



①ガンマ線検出



Event : 111 2986322
 Start : #11 up
 θ_{incident} : 26.64deg (0.5016rad)
 θ_{open} : 0.0059rad
 $E_{\gamma}(\theta_{\text{open}})$: 340MeV
 JST : 8:24:44.0 \pm 0.44
 Altitude : 34.6km
 Atm. depth : 6.6g/cm²
 Gal. lon. : 112.06deg
 Gal. lat. : -6.86deg

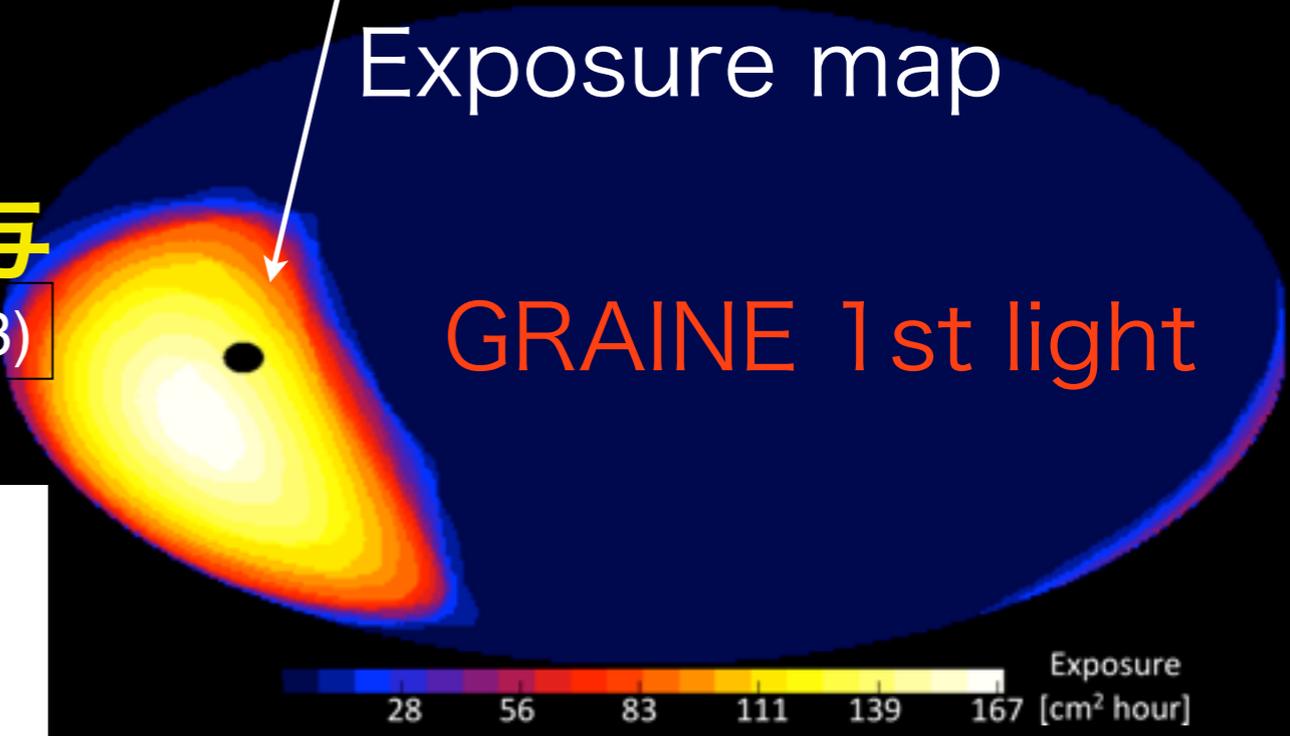
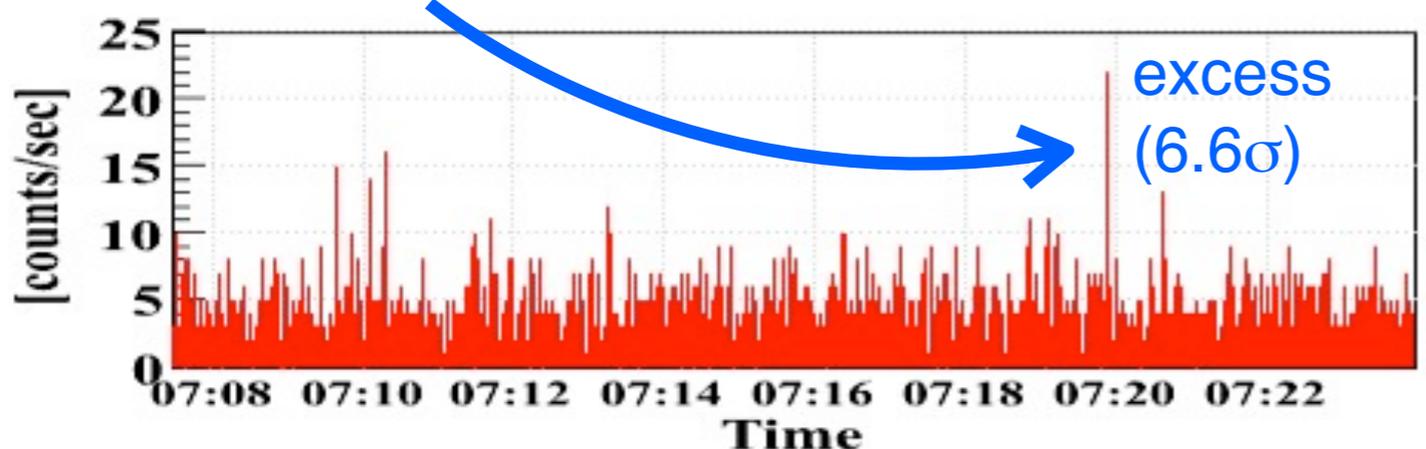


②多段シフターによる タイムスタンプ

+姿勢情報の付与

H.Rokujo, et al., NIM A, 701 (2013)

宇宙線カウントレート



③天球座標へマッピング

GRAINE計画：ロードマップ

[1st Step] 口径面積125cm² 1.6時間@35km

@TARF(ISAS/JAXA大気球実験) 2011/6/8 PI:青木茂樹(神戸大)

- ✓各構成要素の動作検証、及び連動試験
- ✓大気ガンマ線の実測

↓×29倍

↓×15倍

[2nd Step] 口径面積3600cm² 24時間

@オーストラリア・アリススプリングス

最も明るいガンマ線天体(Vela pulsar)の検出

- ◎100MeV領域で最高解像度でのイメージング性能の実証
- ◎海外サイトでの気球実験の立ち上げ

2014年11月
JAXA国際
気球実験採択

[Final Step] 口径面積100000cm² 7日間

大陸横断フライト 2015年度～

- ・科学観測開始

GRAINE 2014へ向けた準備研究

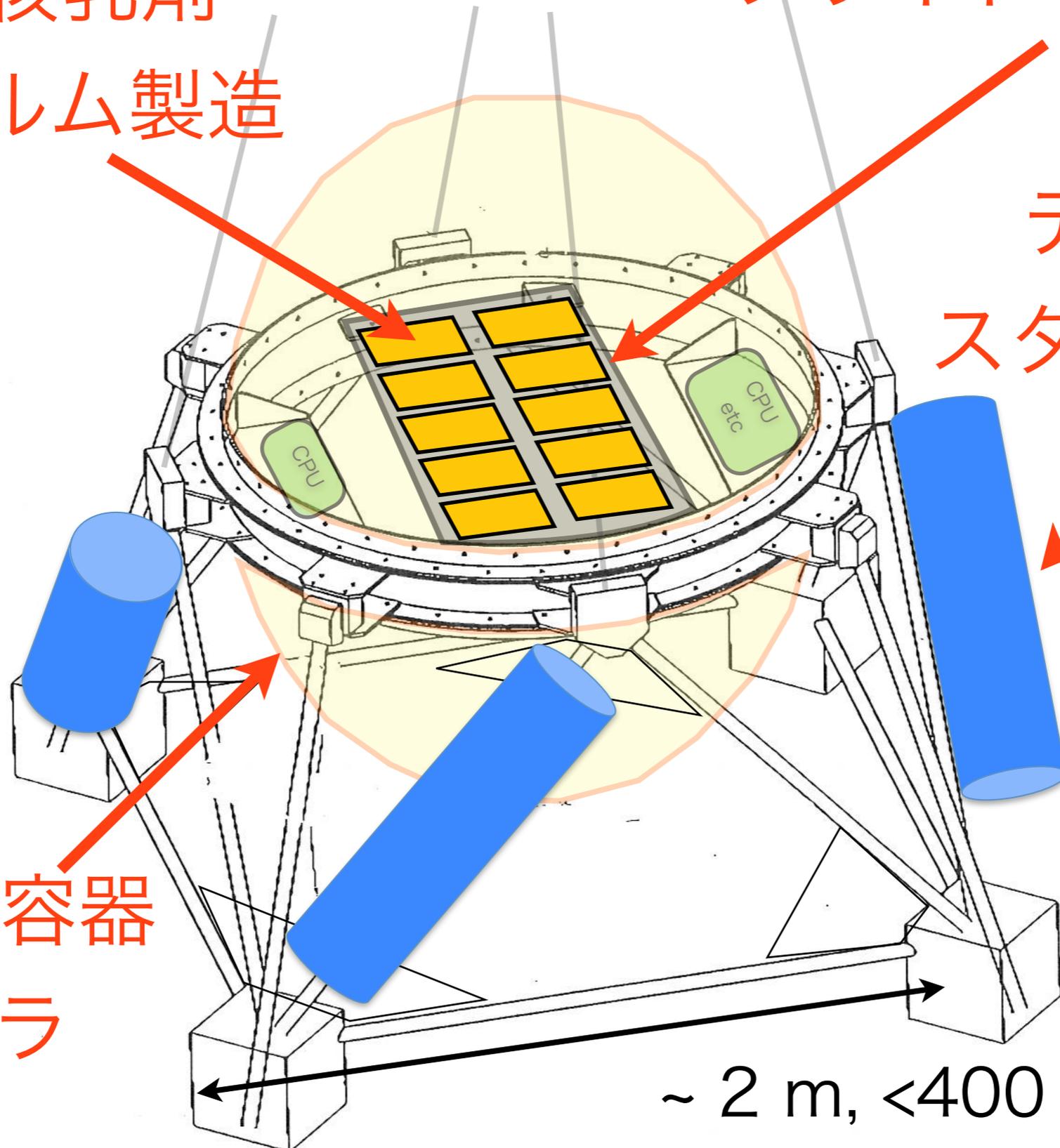
原子核乳剤
& フィルム製造

フライトモデル2号機

デイトイム
スターカメラx3

風船式圧力容器
& ゴンドラ

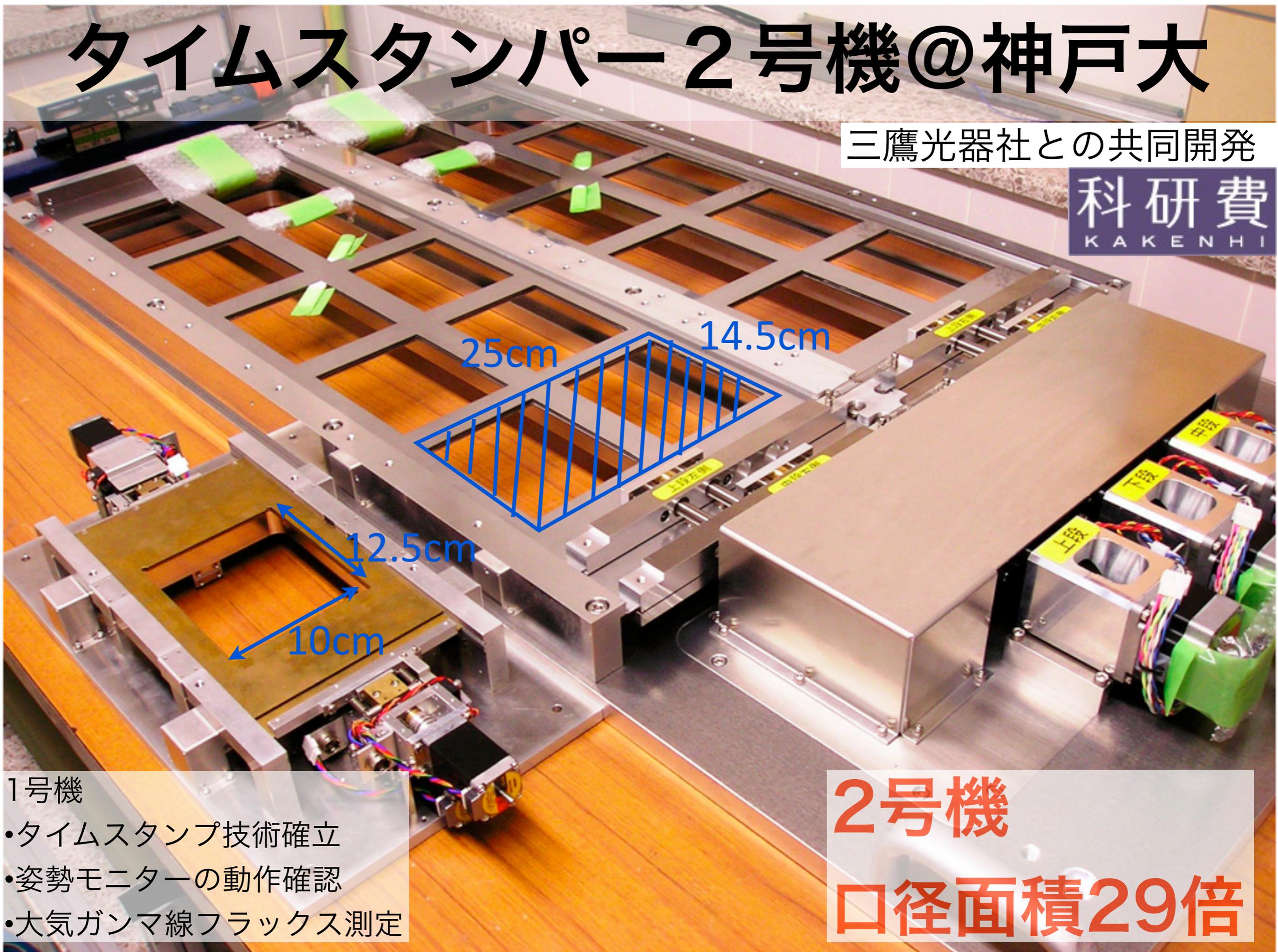
~ 2 m, <400 kg



タイムスタンパー 2号機@神戸大

三鷹光器社との共同開発

科研費
KAKENHI



1号機

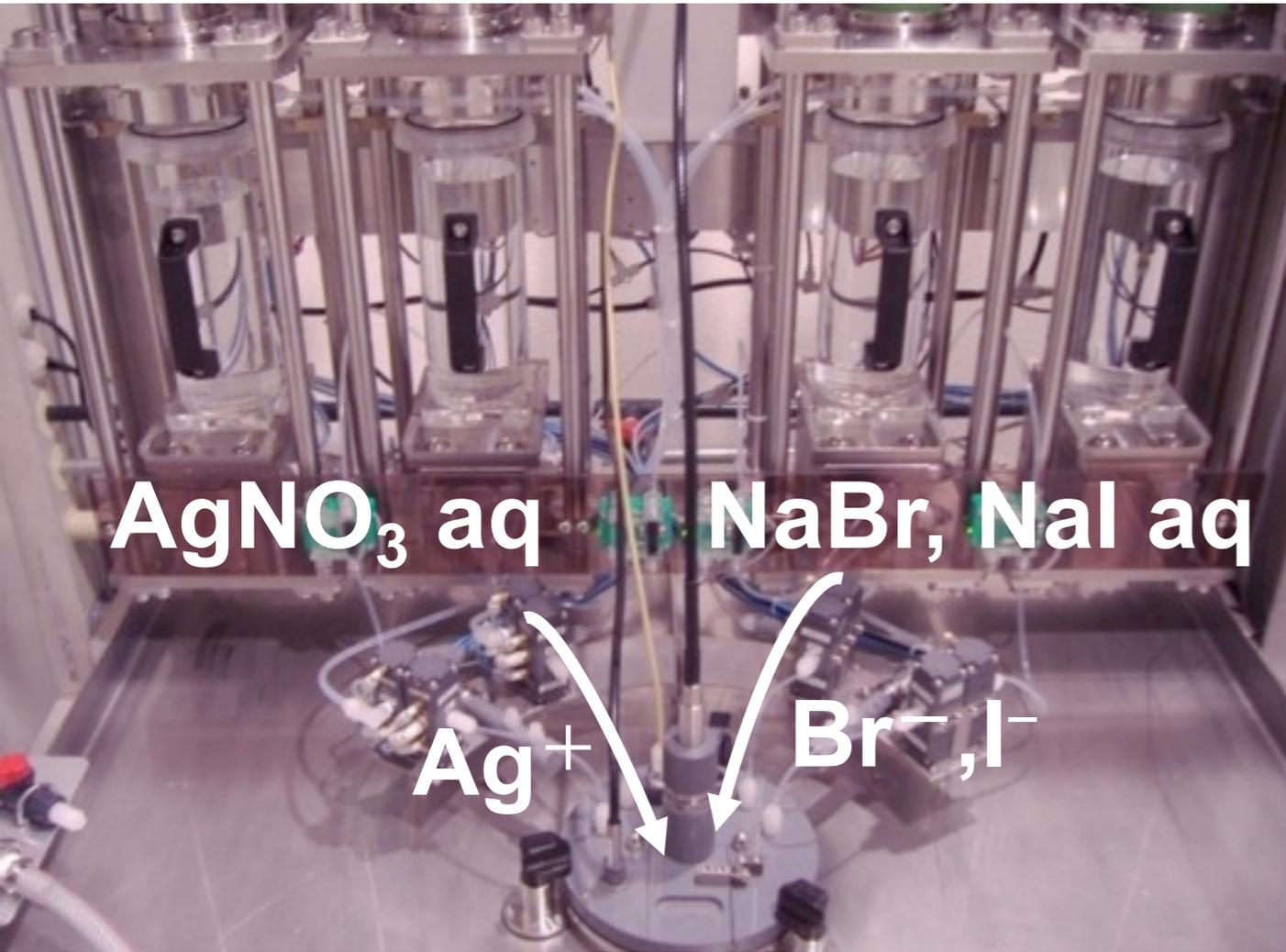
- タイムスタンプ技術確立
- 姿勢モニターの動作確認
- 大気ガンマ線フラックス測定

2号機

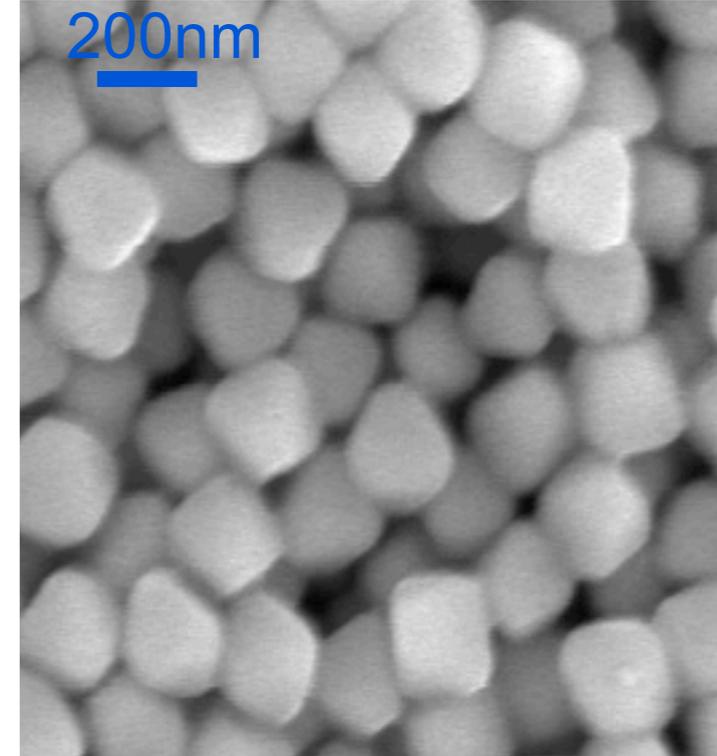
口径面積29倍

原子核乳剤の製造@名古屋大

2010年～富士フィルムOBの協力
学内でR&D、製造を開始



新乳剤(ゲル)



AgBr結晶(電顕)

従来品

高感度型

MIPの信号量が
約2倍！

100 μm

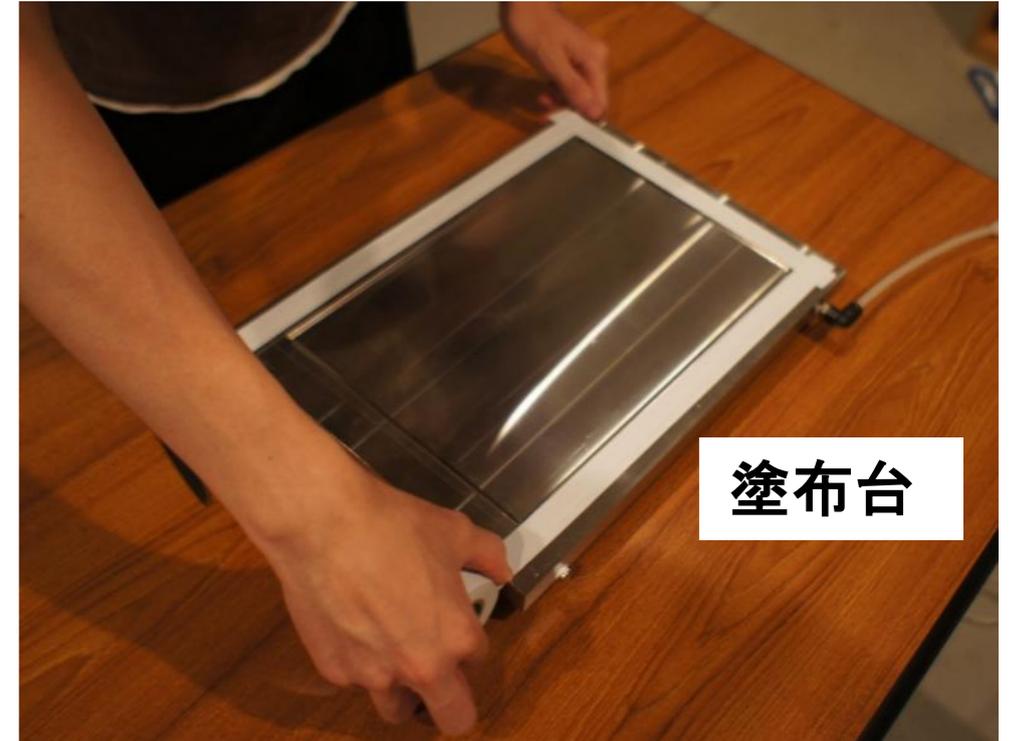
- ◎飛跡認識効率 ↑
- ◎ガンマ線検出効率 ↑
- ◎エネルギー閾値 ↓
- ◎Signal/Noise ↑
- ◎作業効率 ↑

高感度フィルムの作製方法

①乳剤を計量し、溶解する。



②ベースを塗布台に貼り付け。

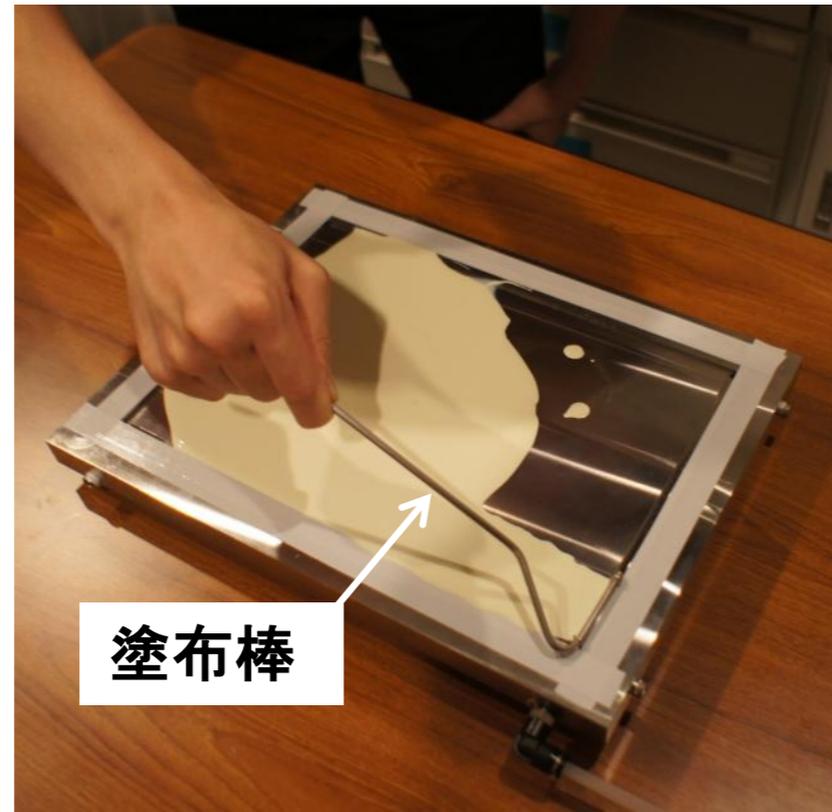


塗布台

③乳剤を垂らす。



④全体に伸ばす。

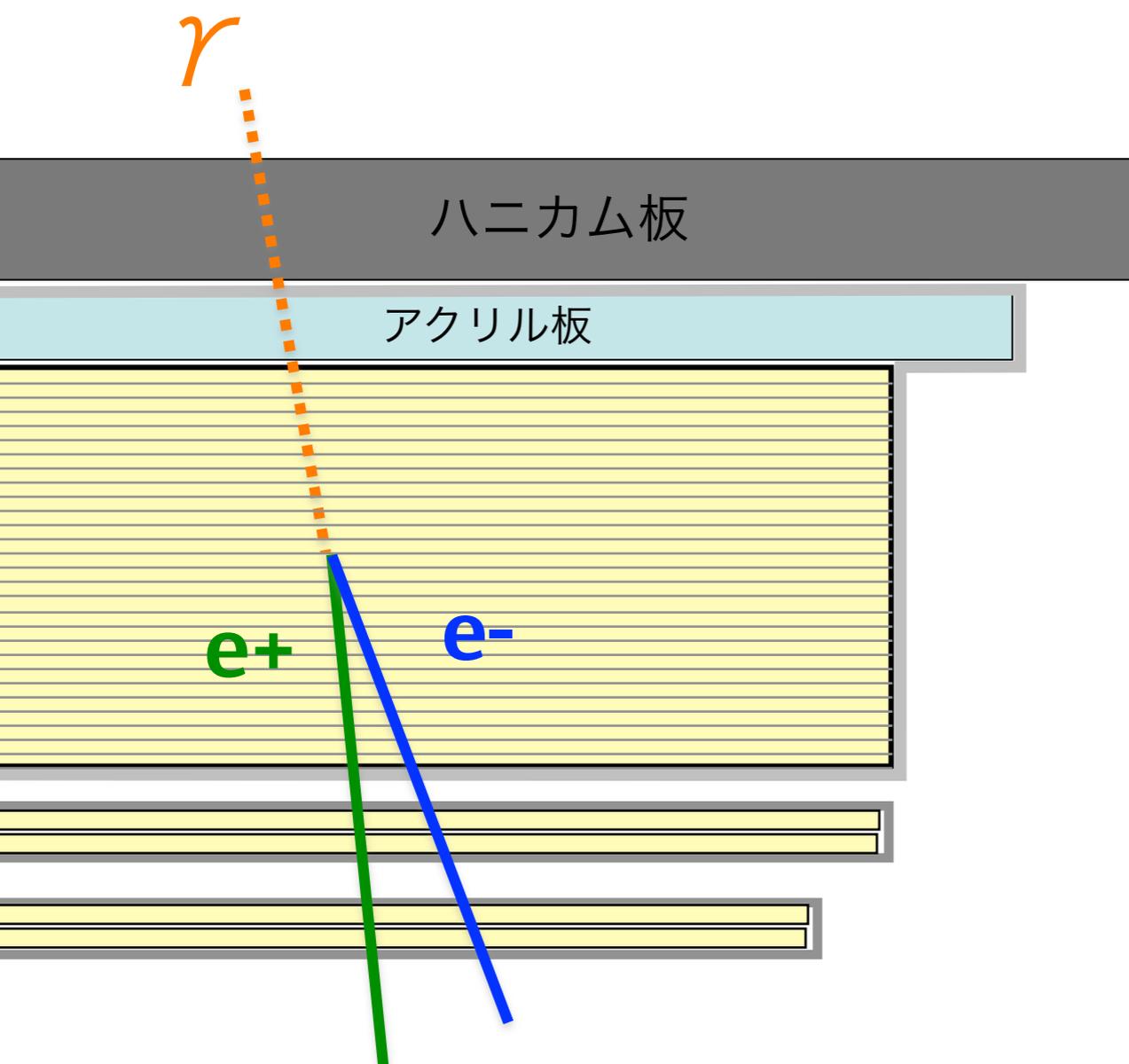


塗布棒

⑤乳剤がセットしたら移動し、棚で自然乾燥。



高感度フィルム 観測テスト @乗鞍, 7月



標高 2770 m
気圧 720 hPa



36時間照射

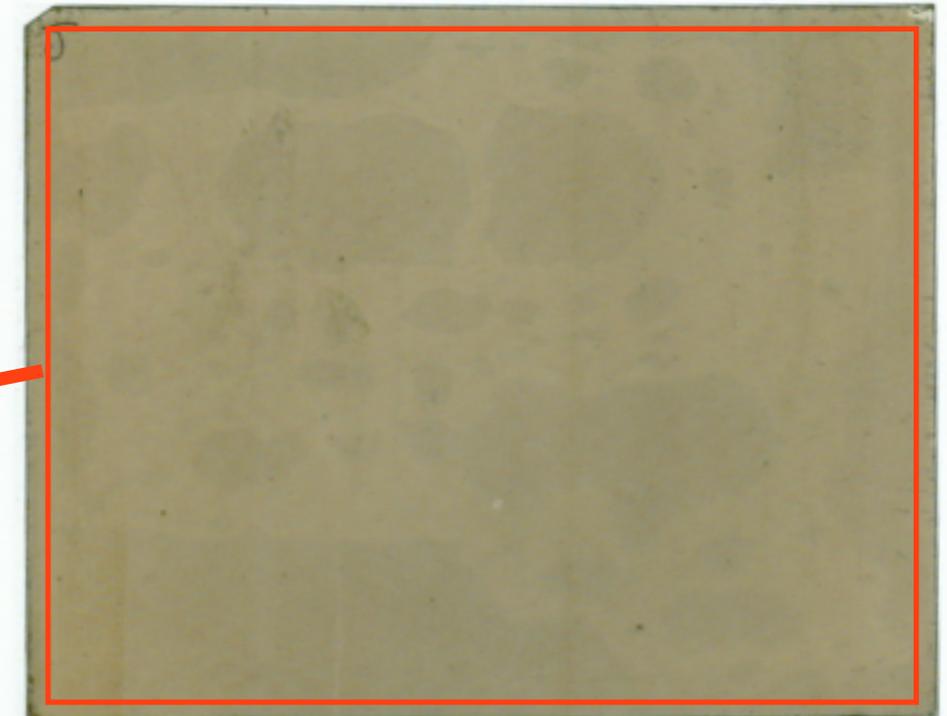
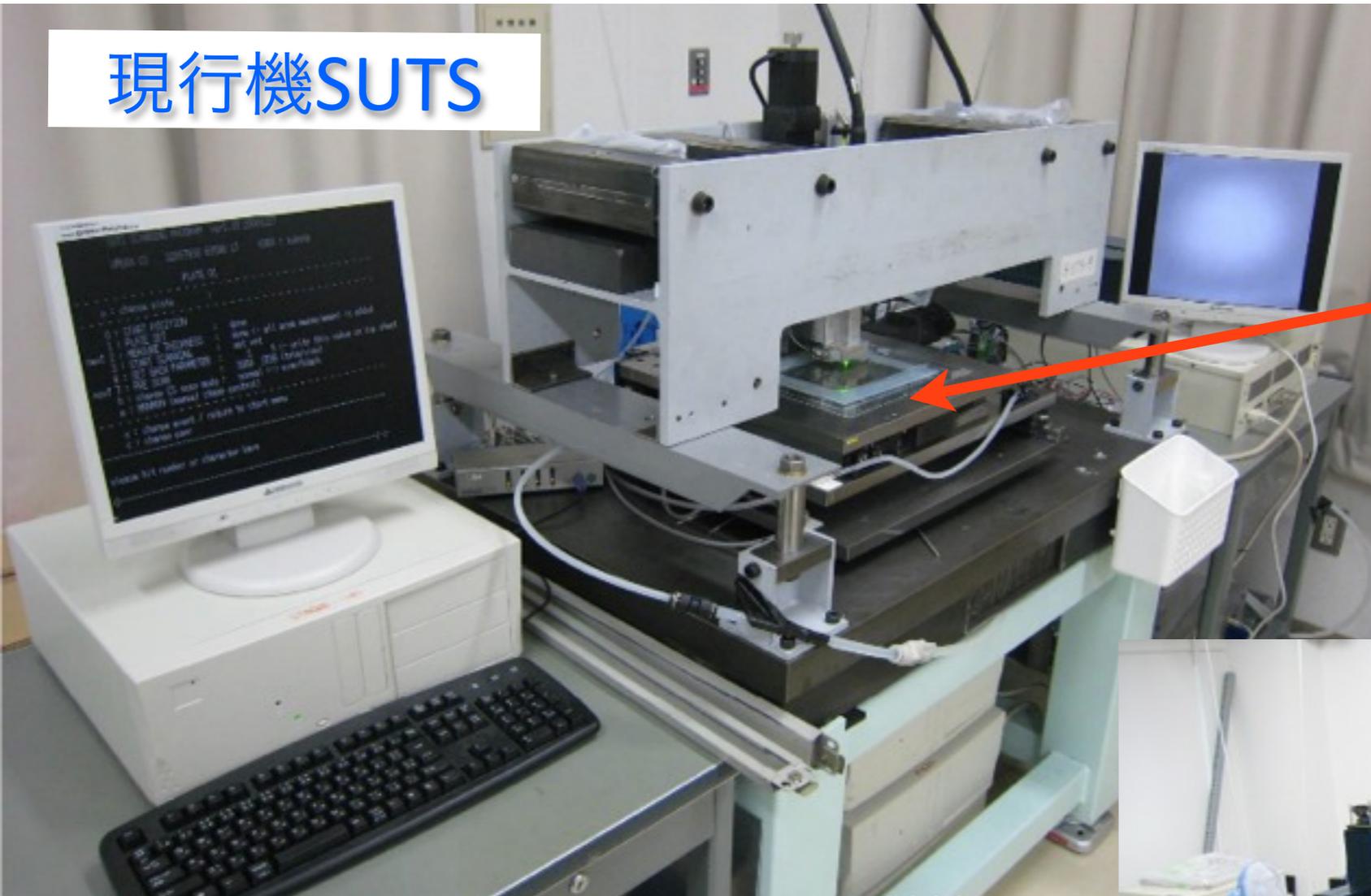


多段シフター1号機に
フィルムをマウント

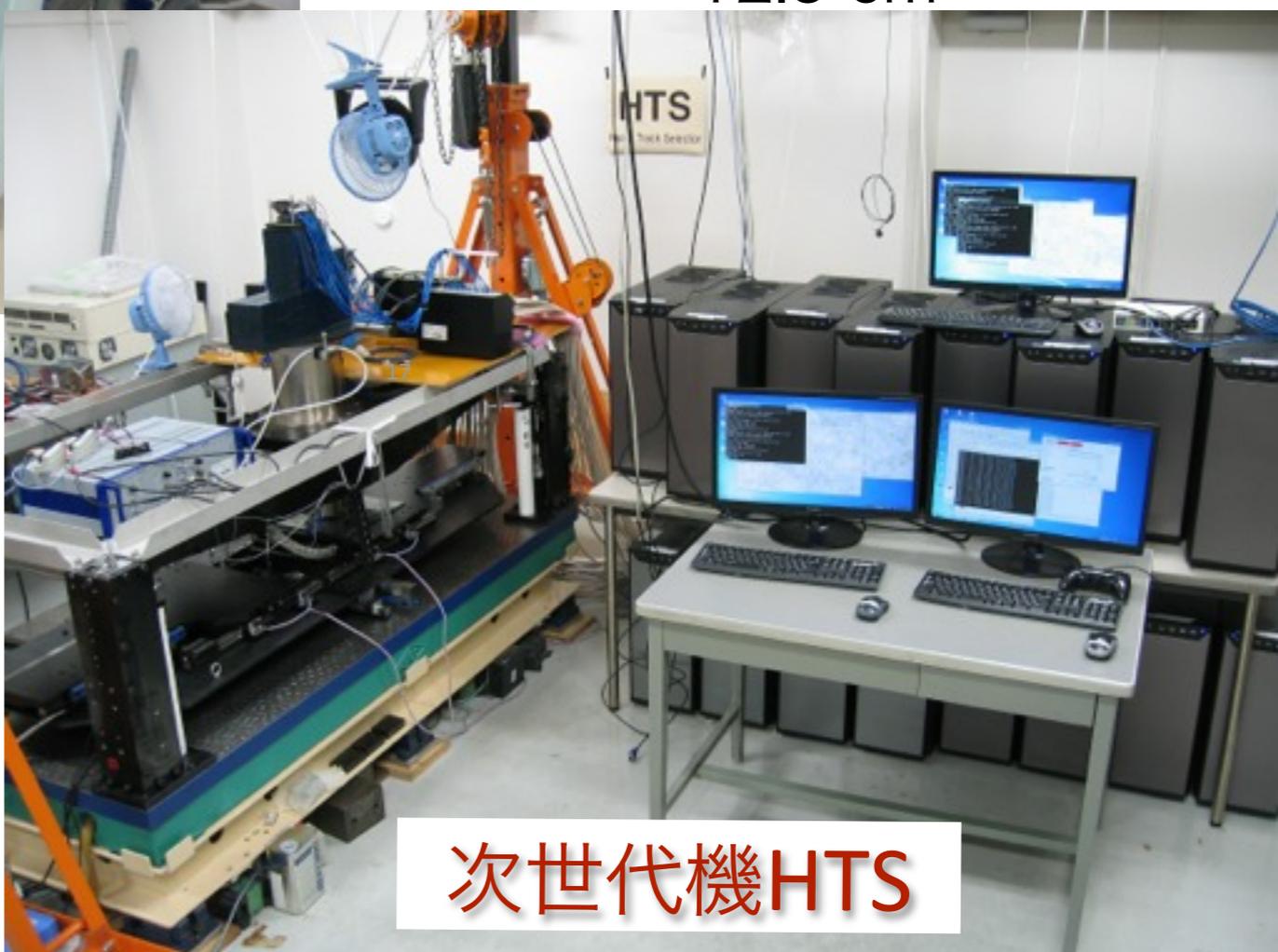
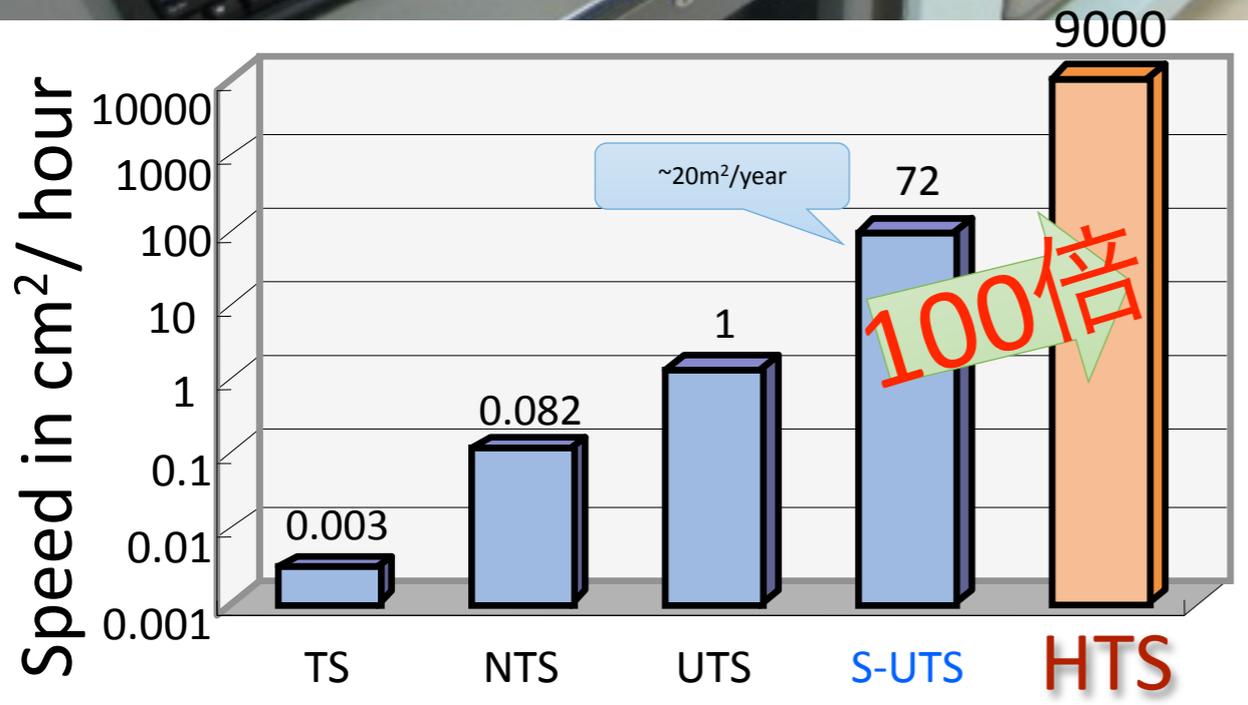
自動飛跡読み取り

現像後のフィルム

現行機SUTS

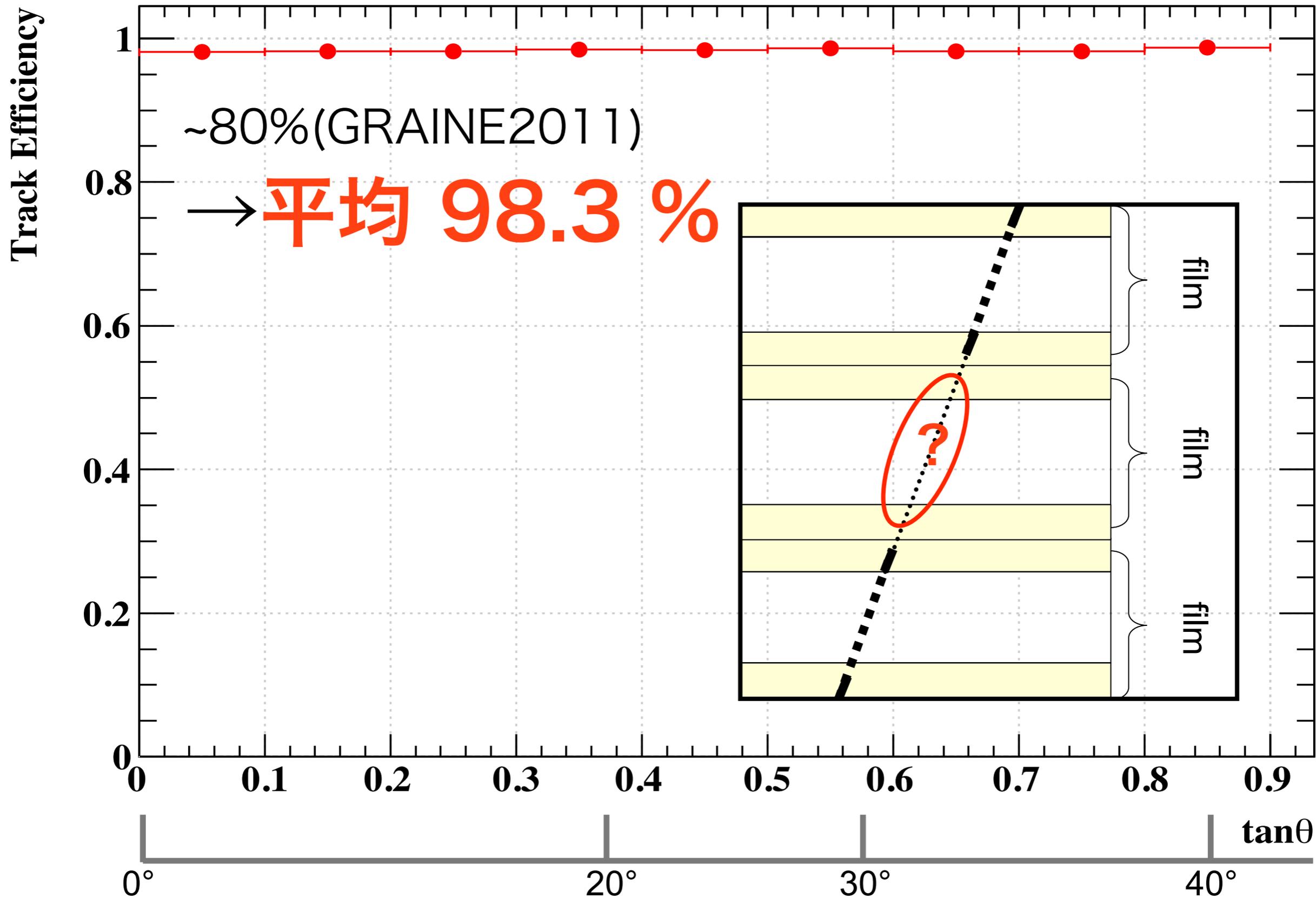


12.5 cm



次世代機HTS

検出効率(角度依存)

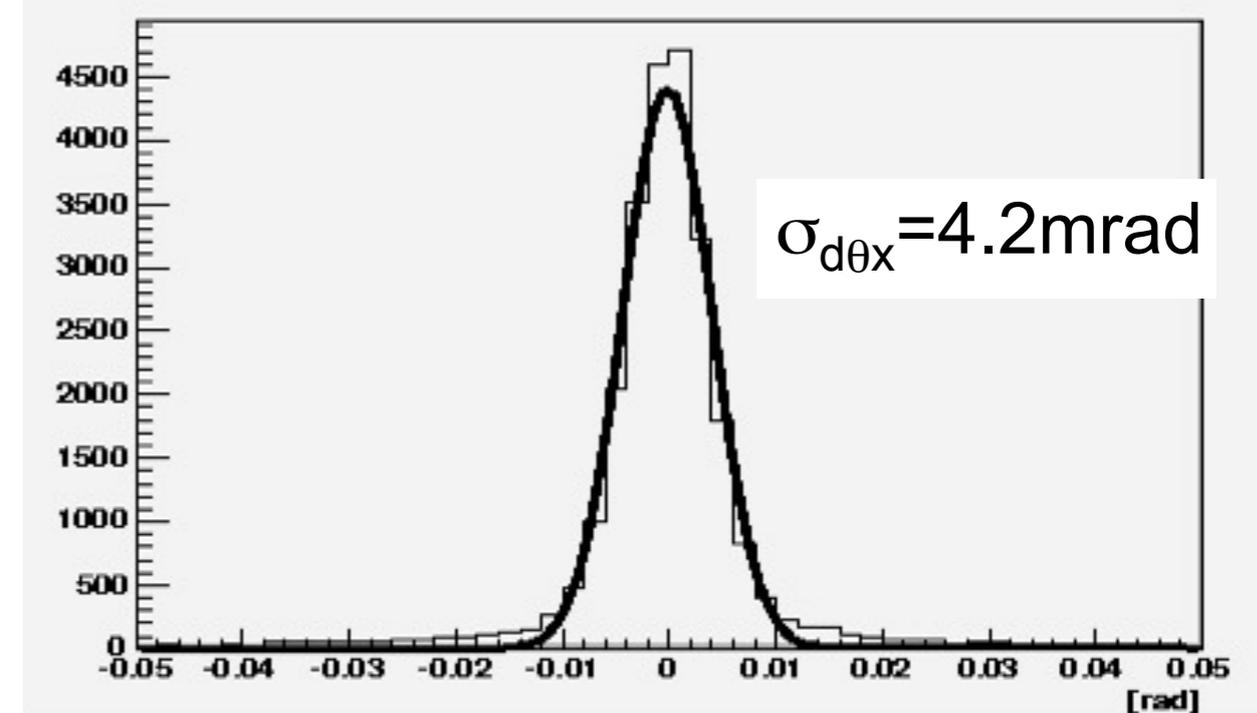
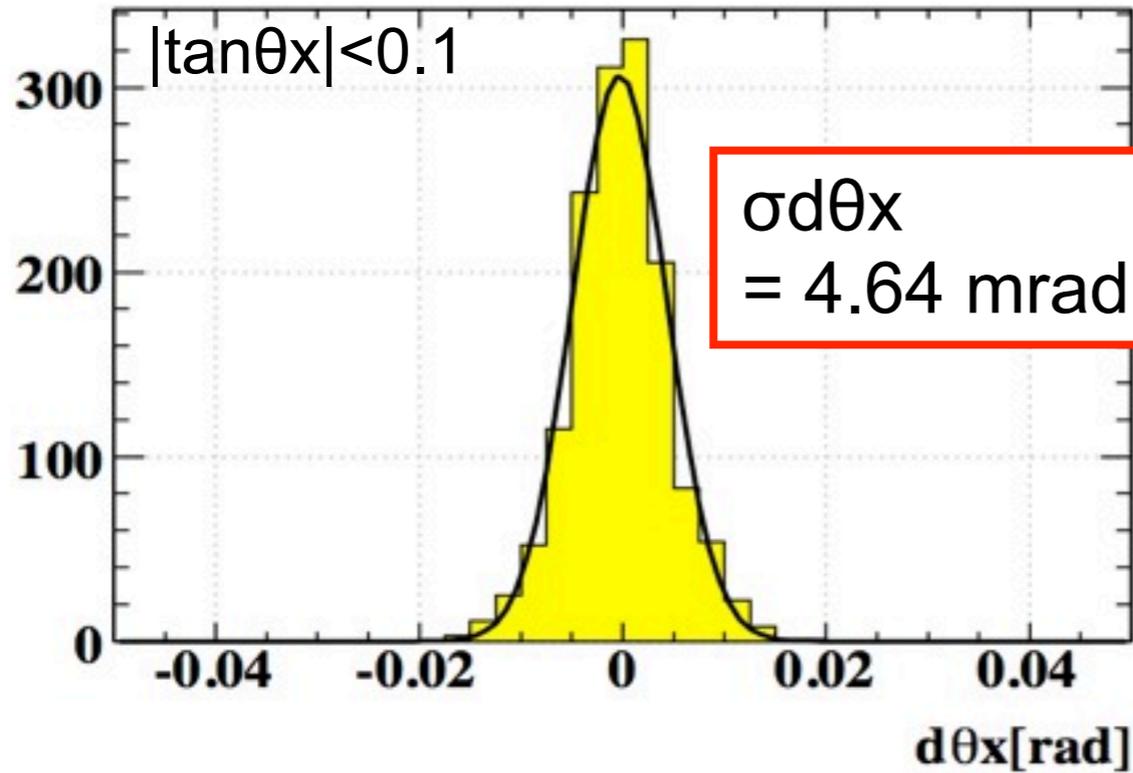


飛跡再構成性能

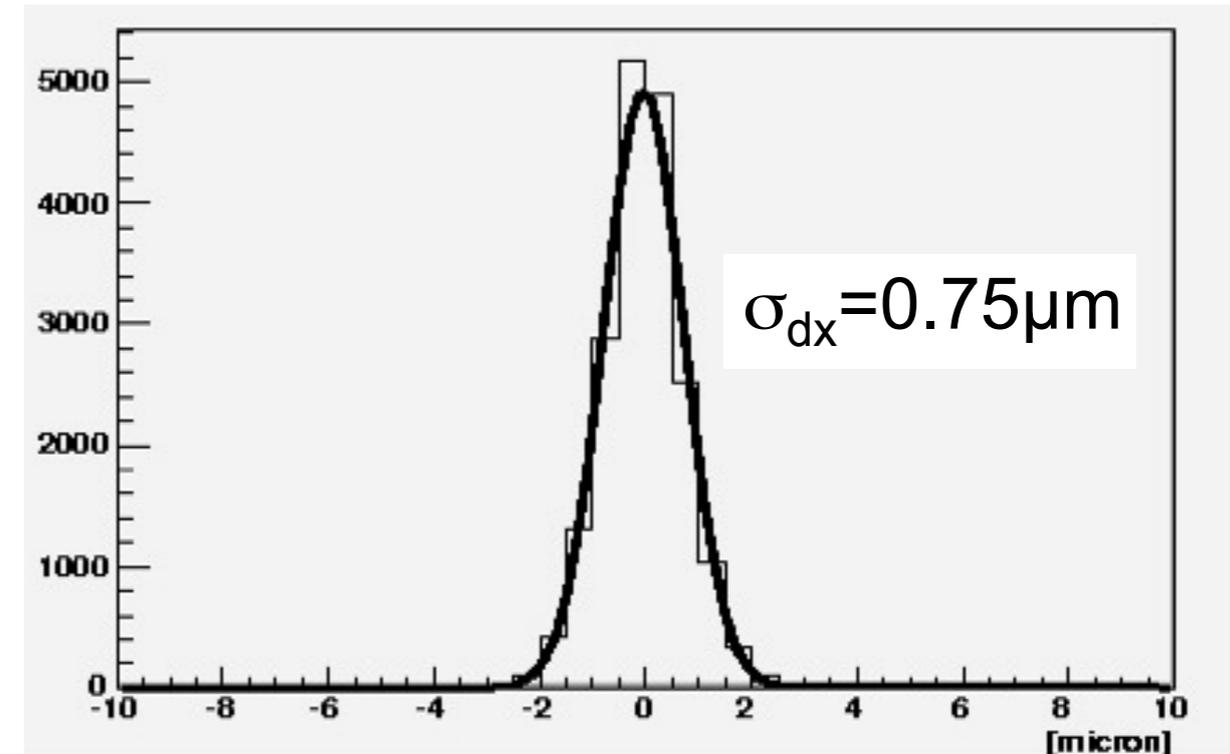
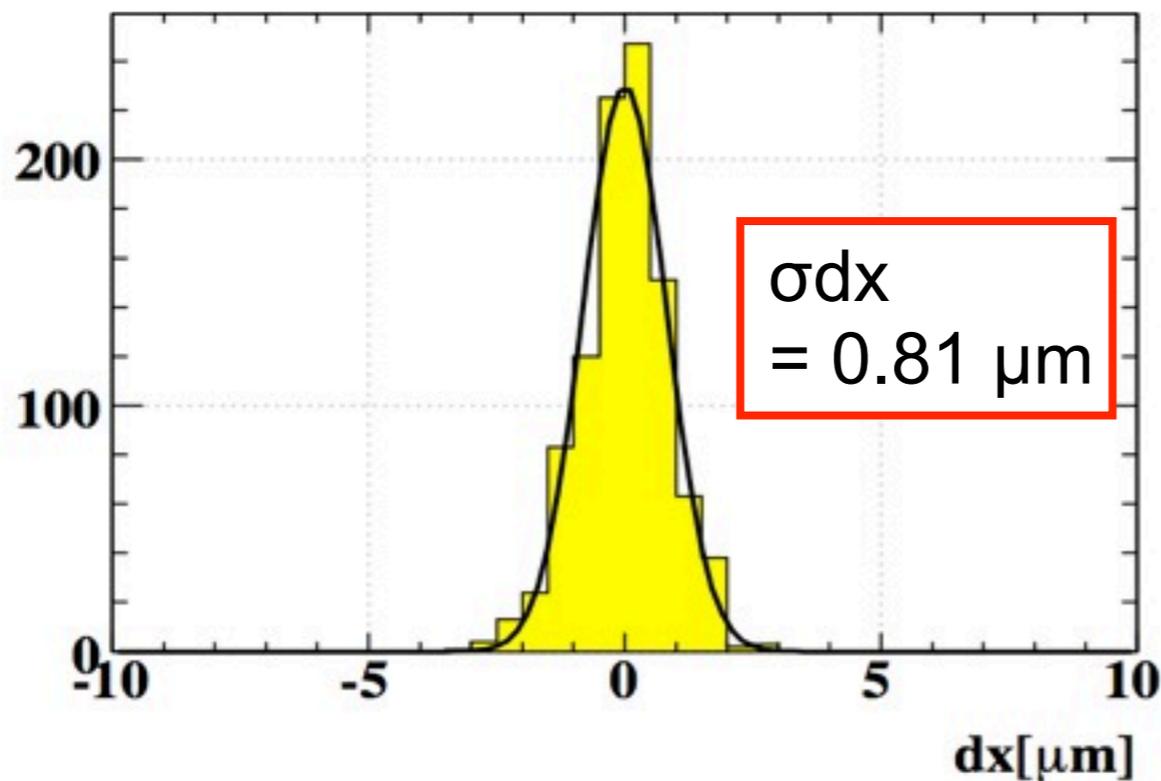
高感度乳剤フィルム

OPERAフィルム(GRAINE2011)

角度ずれ



位置ずれ



10

9

8

7

6

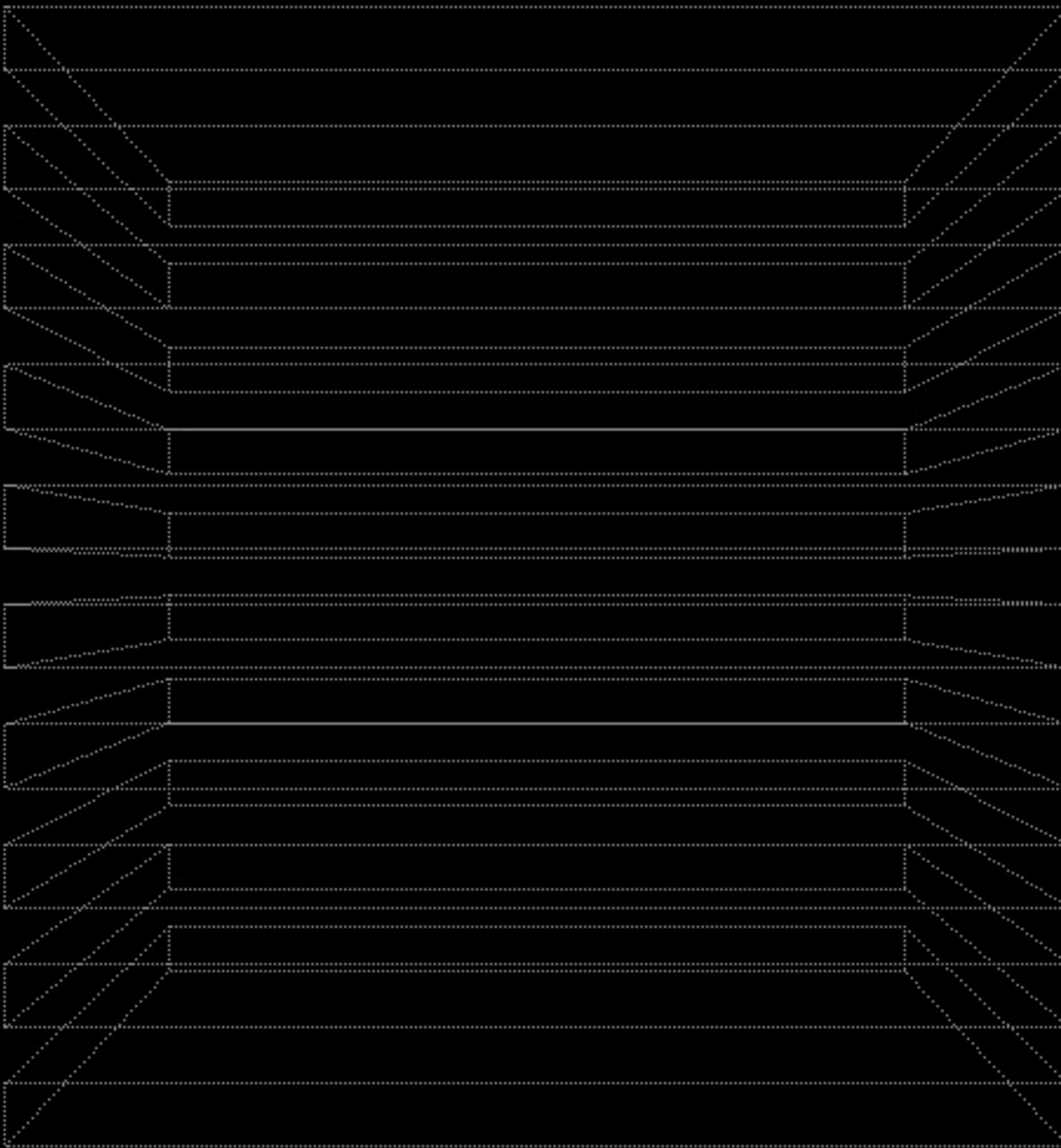
5

4

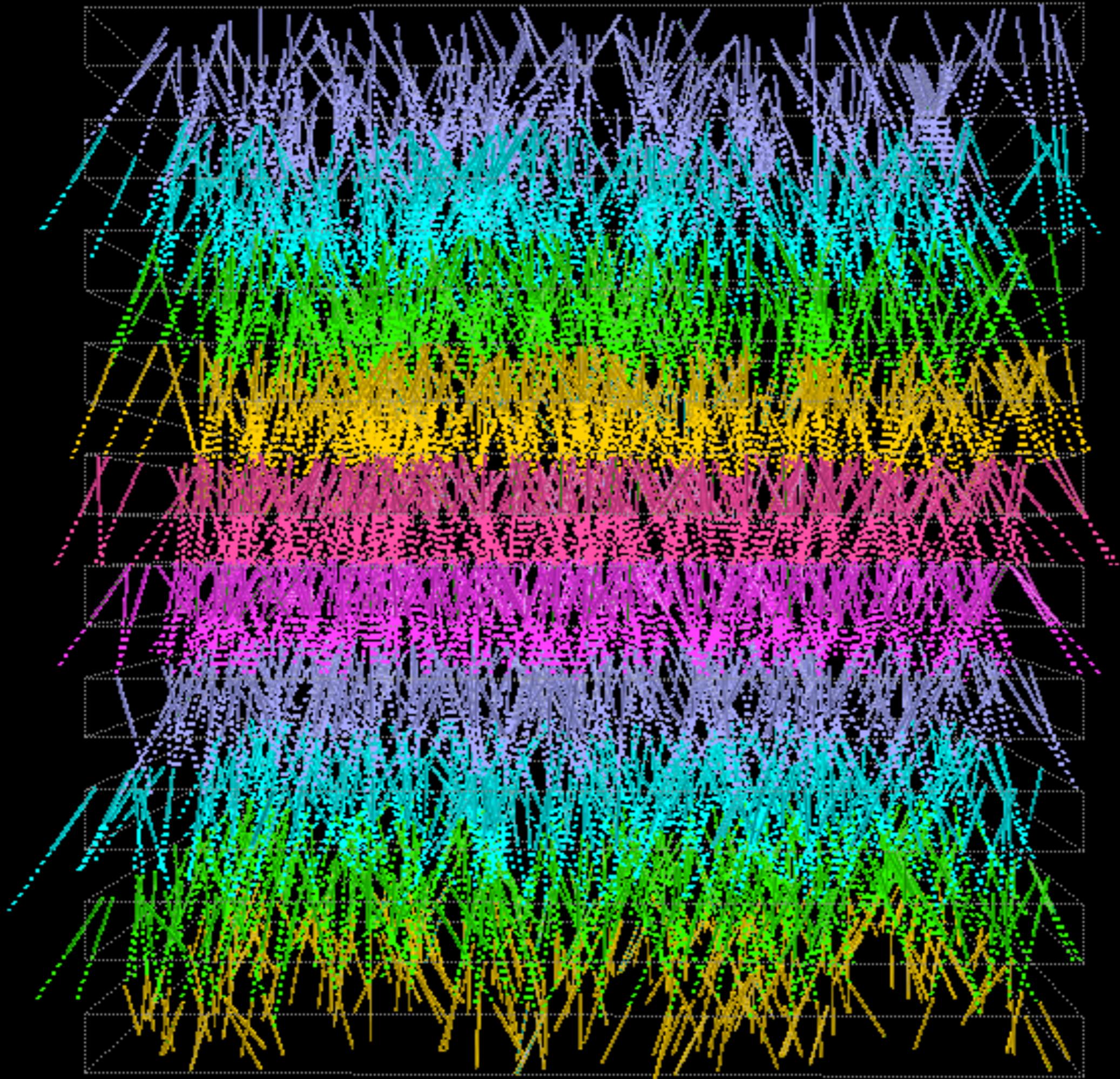
3

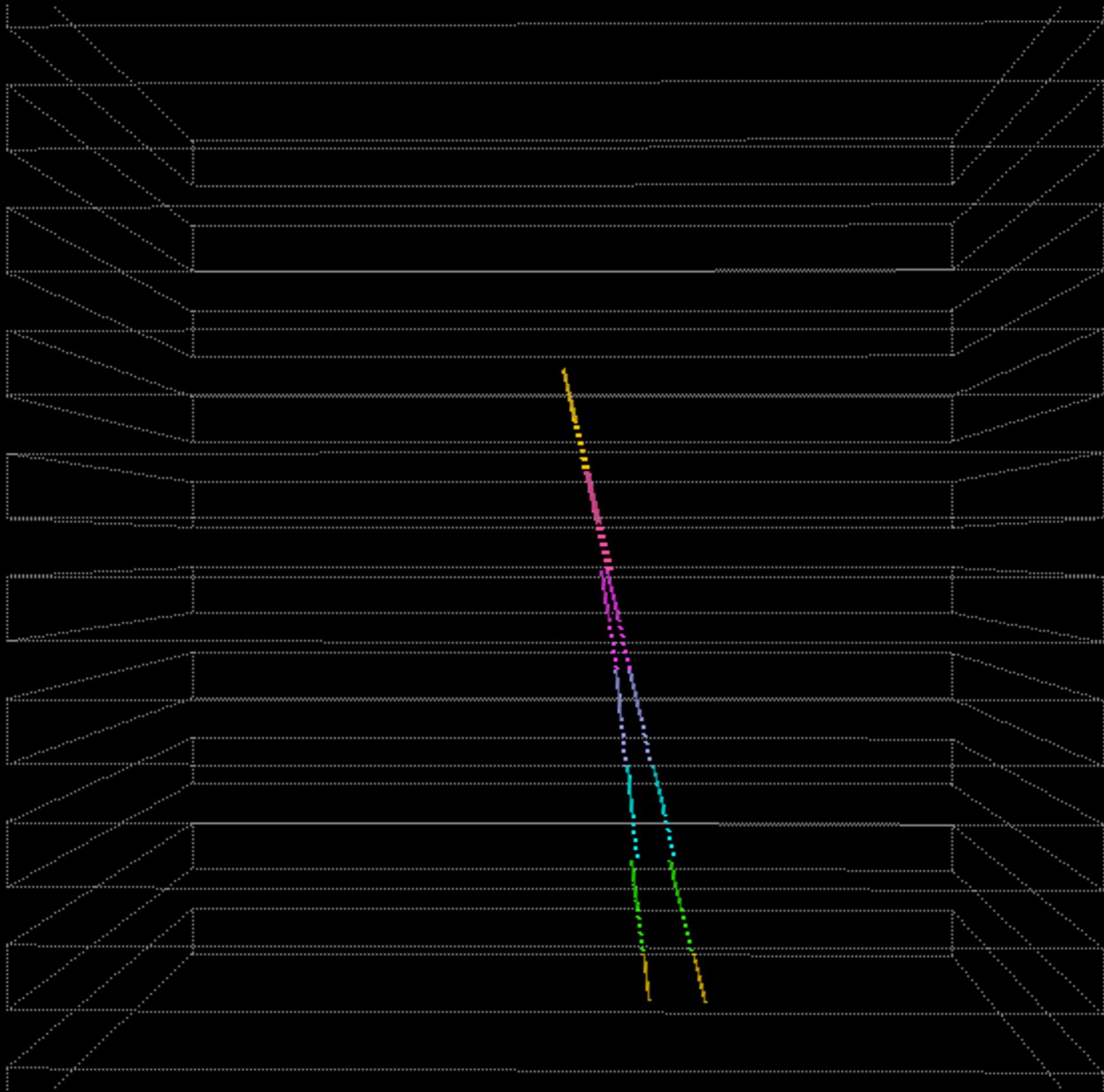
2

1

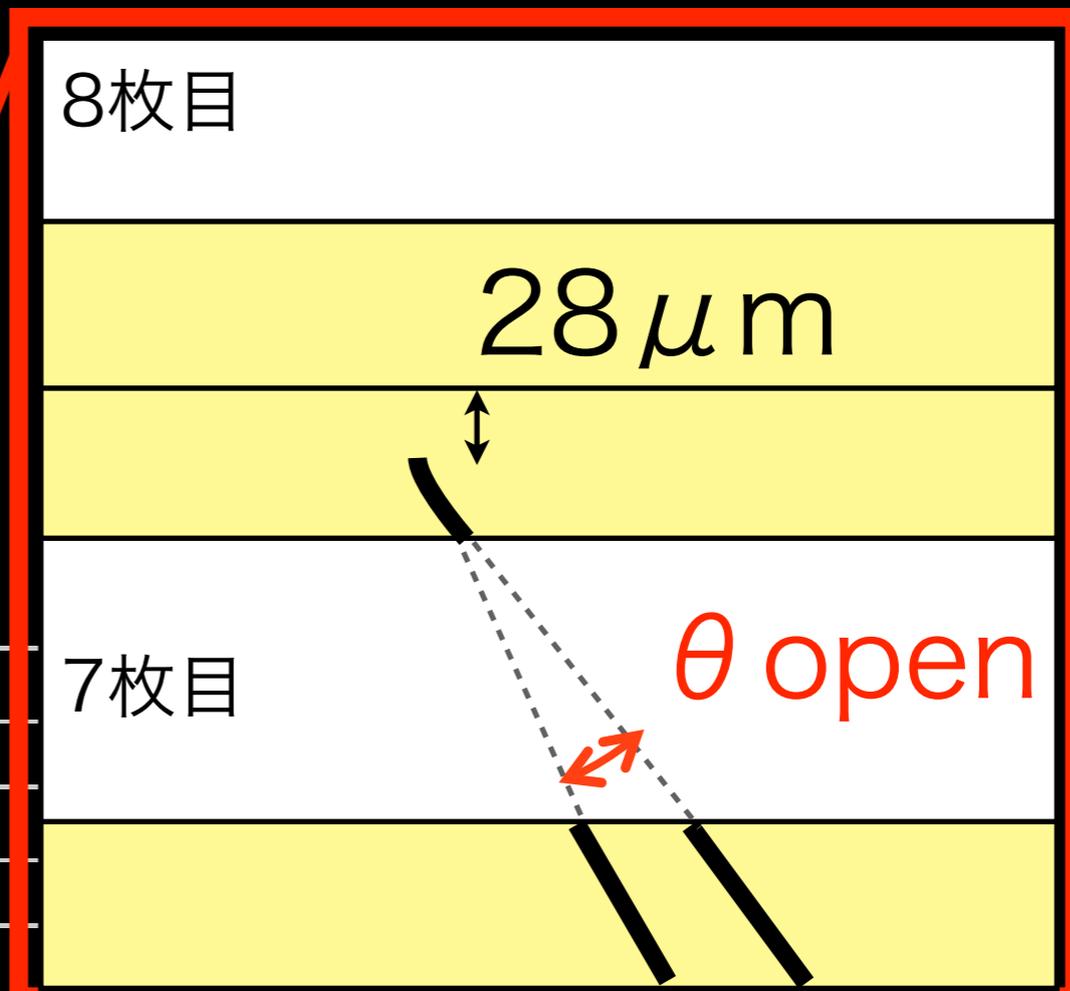
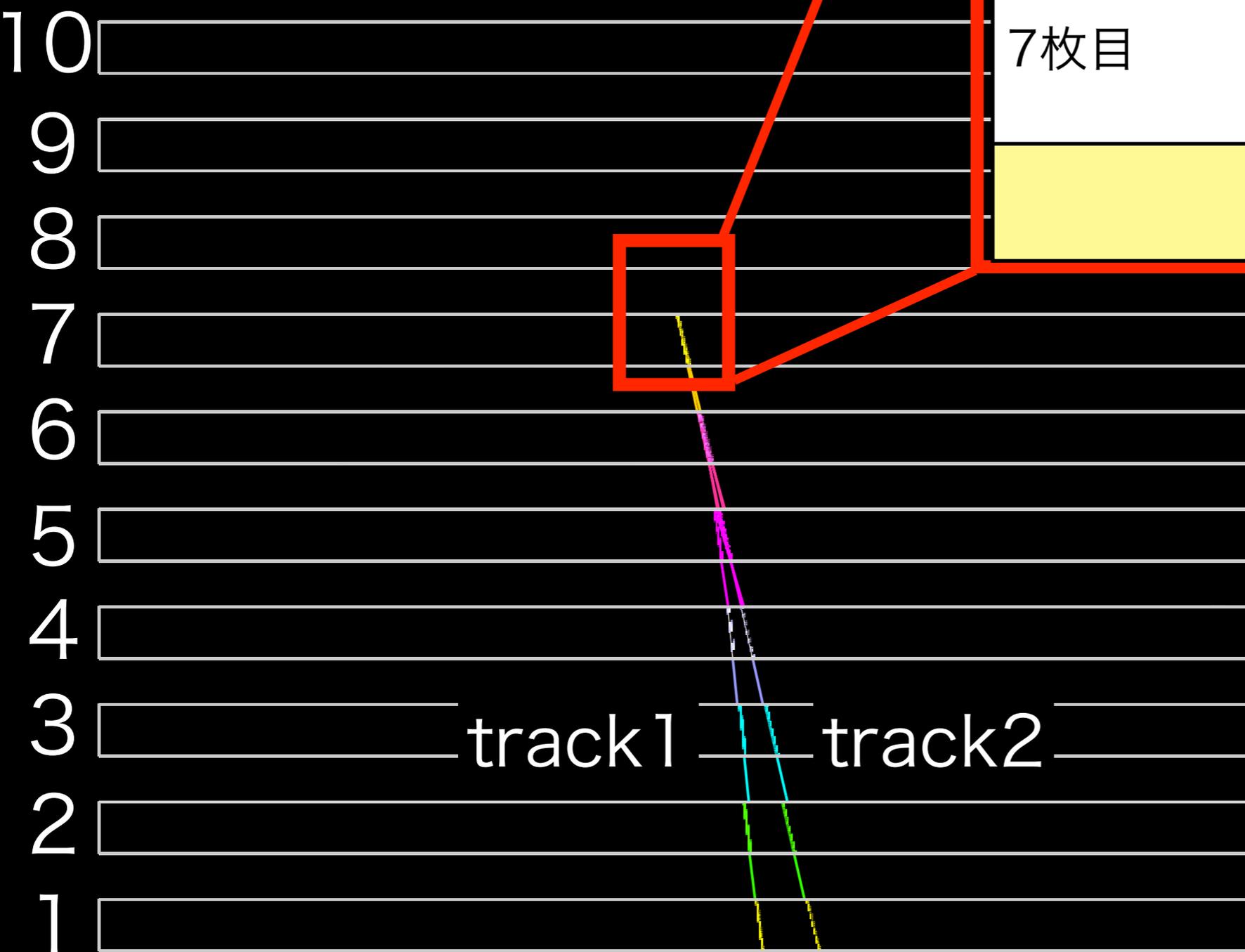


3 mm
x 3 mm





顕微鏡観察 による確認



$$\theta_{\text{open}} = 31.1 \text{ mrad} \\ = 1.78 \text{ deg}$$

$$E_{\gamma} = 160 \pm 44 \text{ MeV}$$

$$P_1 = 22.3 \pm 4.6 \text{ MeV}/c$$

$$P_2 = 138 \pm 44 \text{ MeV}/c$$

**新乳剤での
初検出に成功！**

まとめ

- **気球搭載エマルジョンガンマ線望遠鏡(GRAINE計画)**

- 超新星残骸からのガンマ線イメージング
- 天体密集領域の高感度観測
- ガンマ線偏光測定

- **2011年、初気球実験を実施**

- 上空でのガンマ線検出→時間情報付与($\delta t \sim 0.1$ 秒)
→姿勢決定→イベントポイントニングを確立。

- **2014年11月豪州でのフライトに向けて準備進行中。**

- Velaの検出
- 最高精度での結像
- 高感度フィルムを全面的に導入

乗鞍観測所でテスト観測をさせて頂きました。
梶田先生、現地スタッフの方に感謝申し上げます。

