

# エマルションガンマ線望遠鏡 “GRAINE計画”

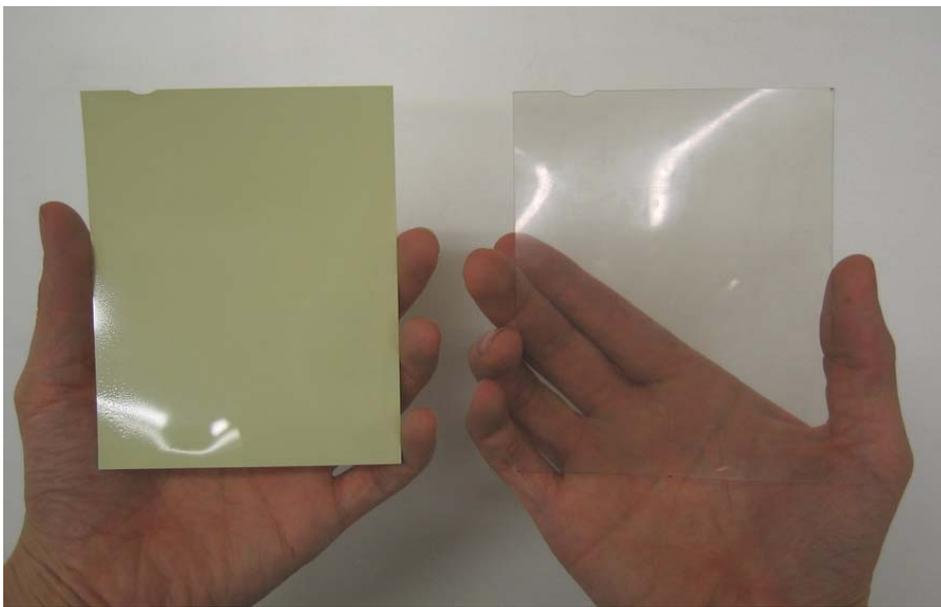
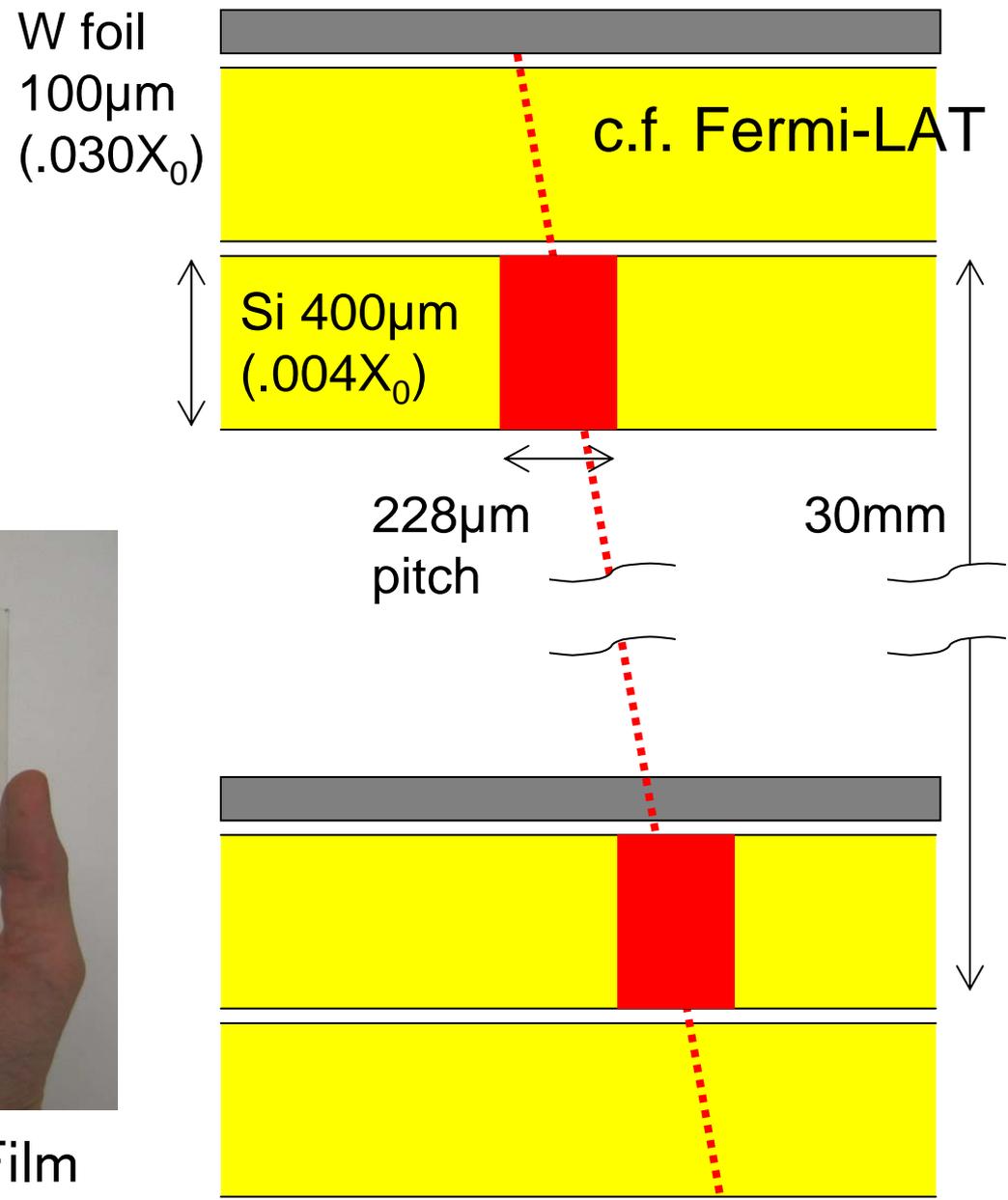
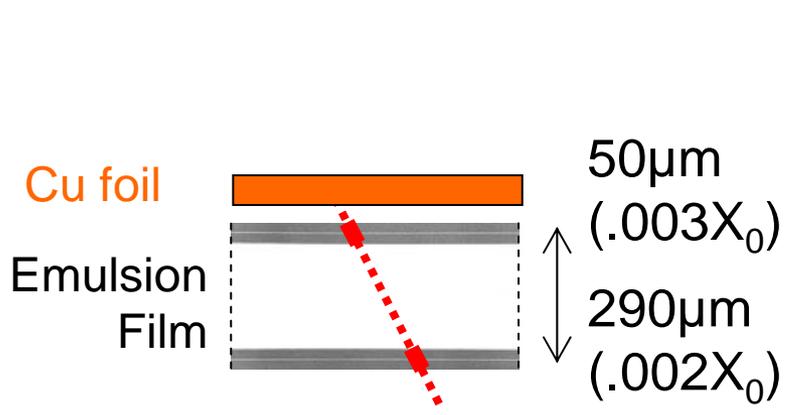
神戸大学 青木茂樹 他

宇宙ガンマ線観測グループ

(神戸大、名古屋大、愛教大、

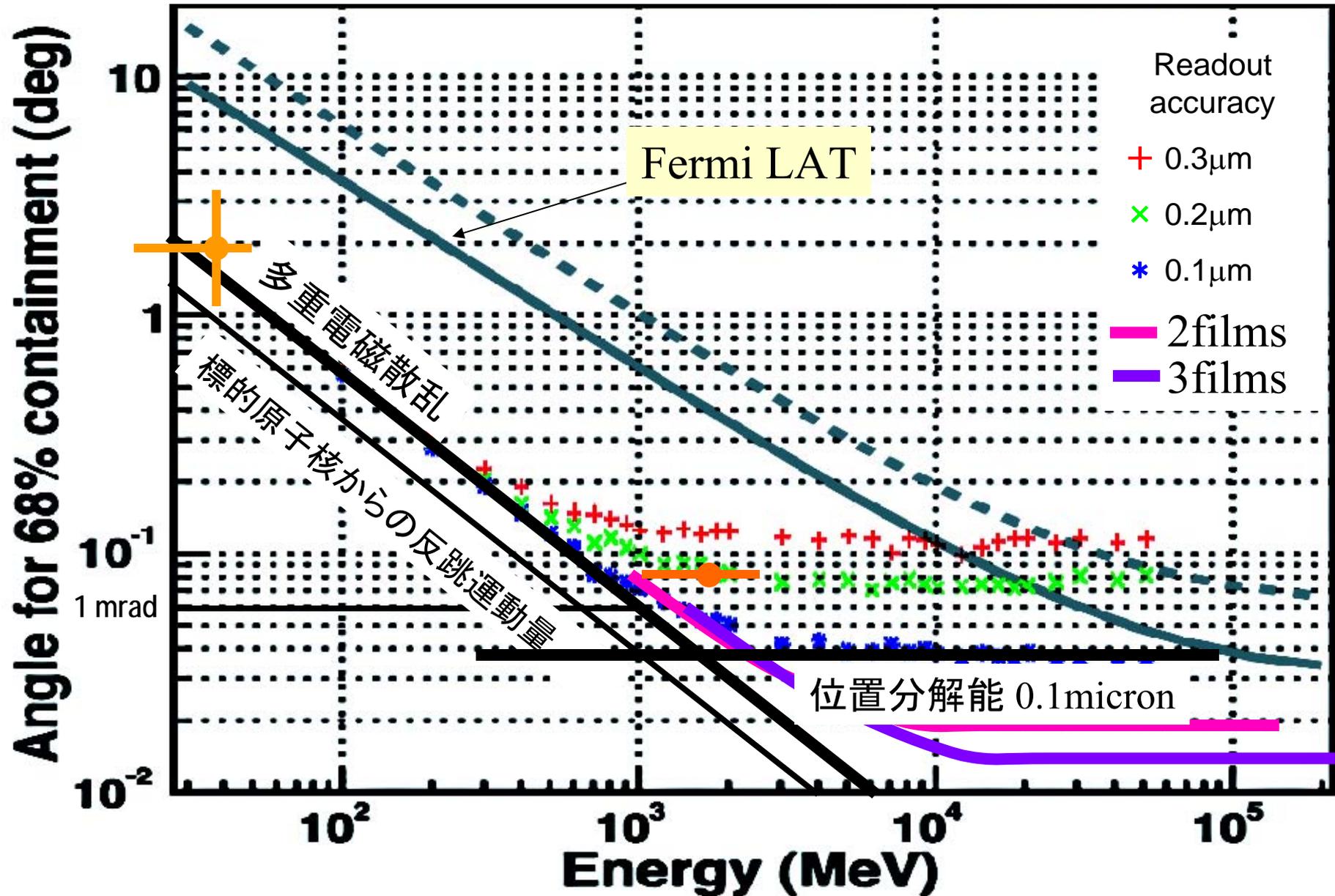
宇宙研、岡山理科大、宇都宮大 他)

# Gamma-Ray Astro-Imager with Nuclear Emulsion

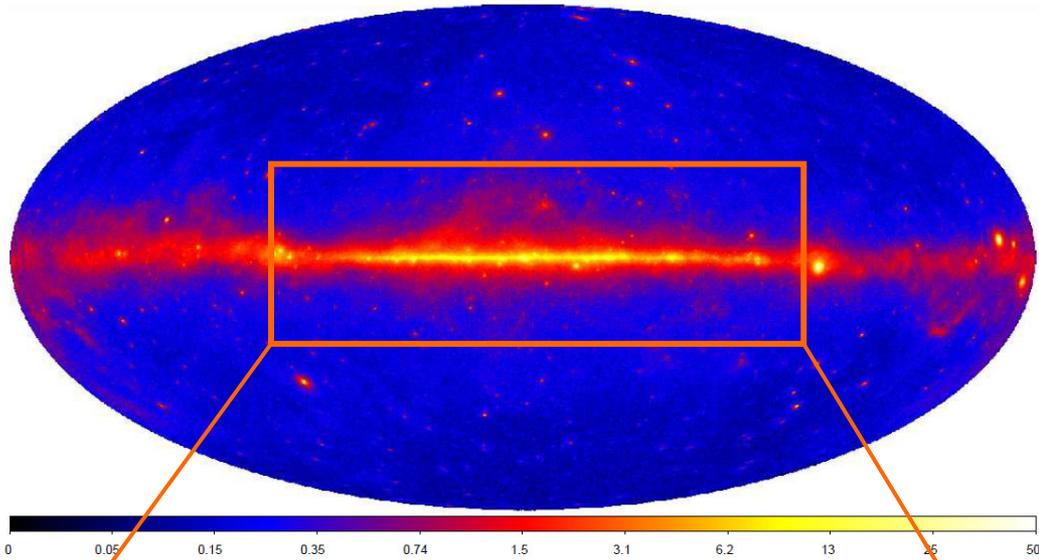


現像前、現像後のEmulsion Film

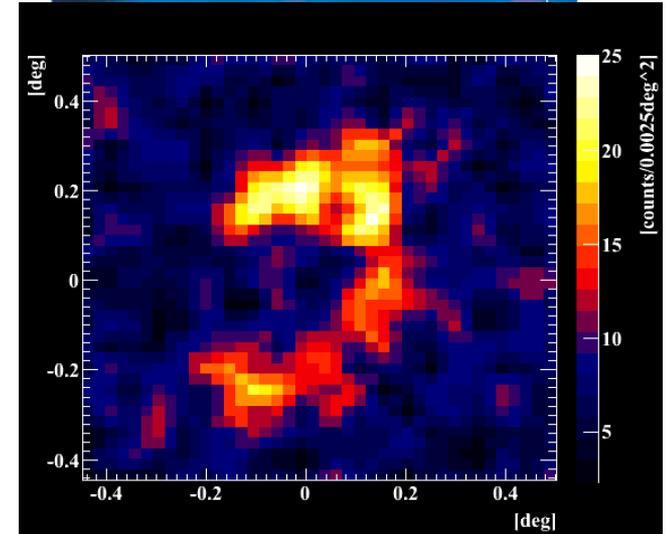
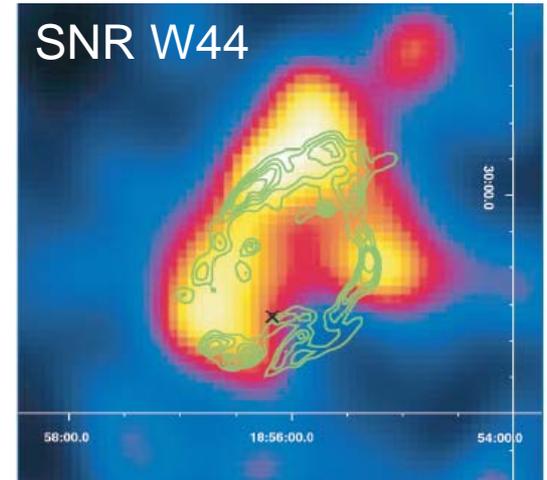
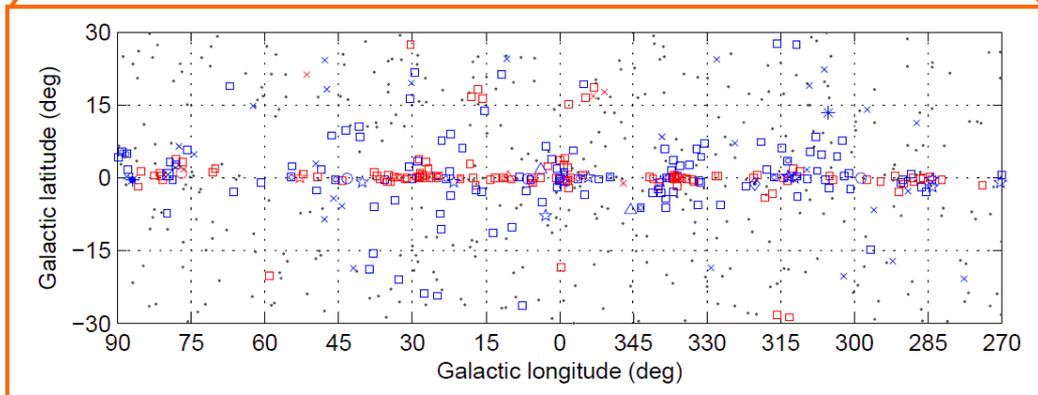
# 角度分解能



# Fermiガンマ線宇宙望遠鏡による観測



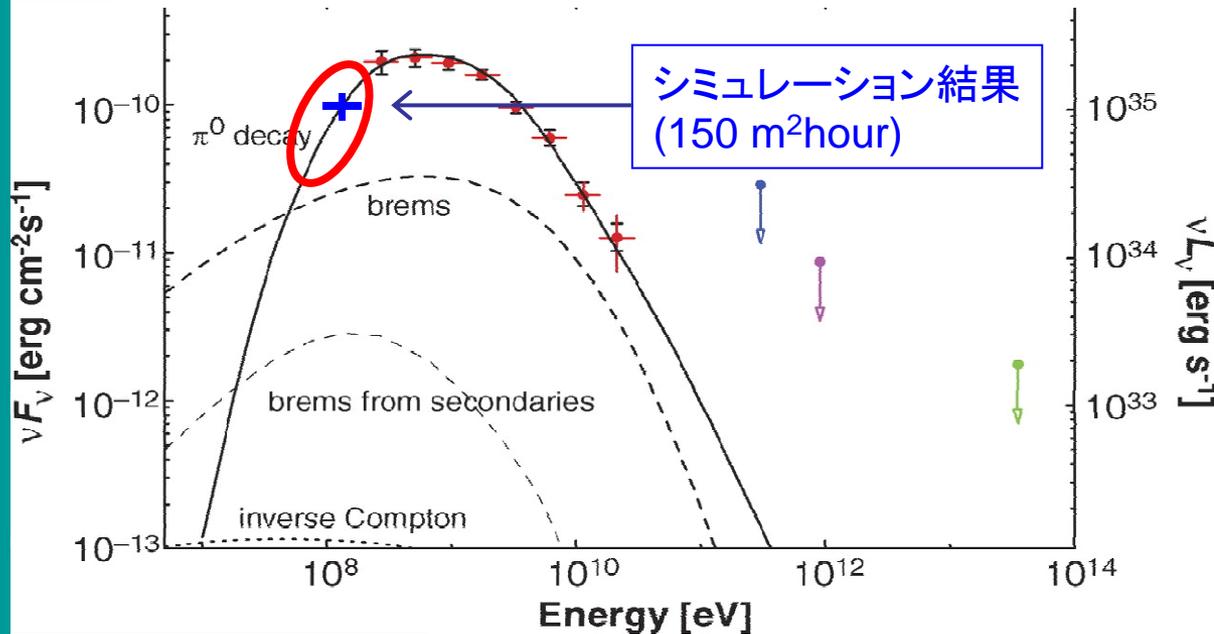
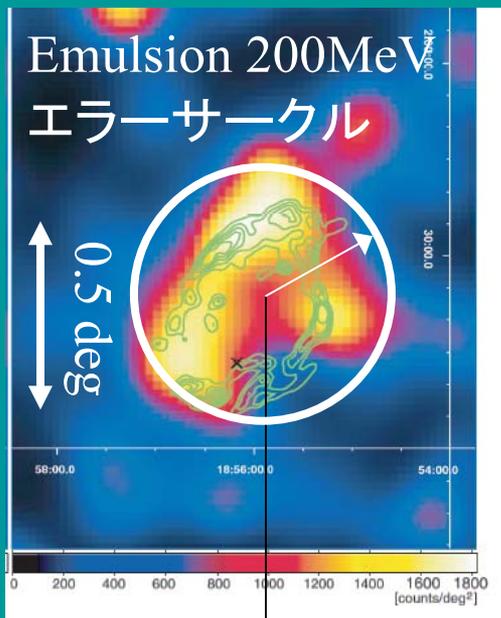
2FGL: 検出天体数 : 1873   □ 未同定天体: 576



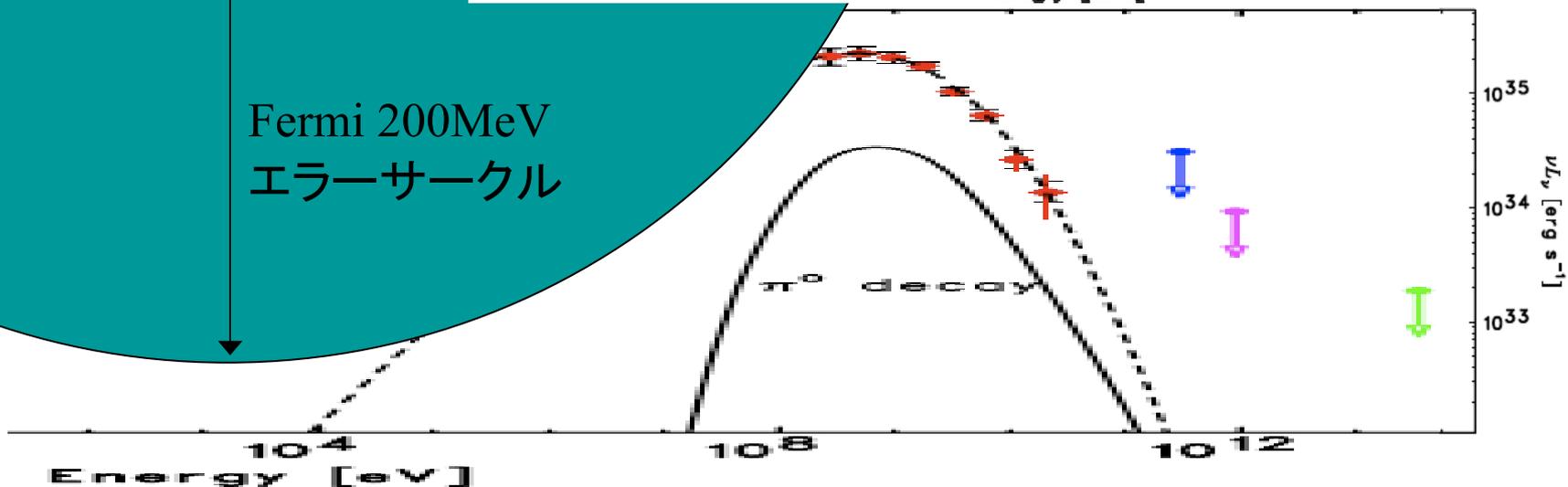
エマルション望遠鏡  
シミュレーション結果  
(1~10GeV 1000 m<sup>2</sup>hour)

# SNR W44

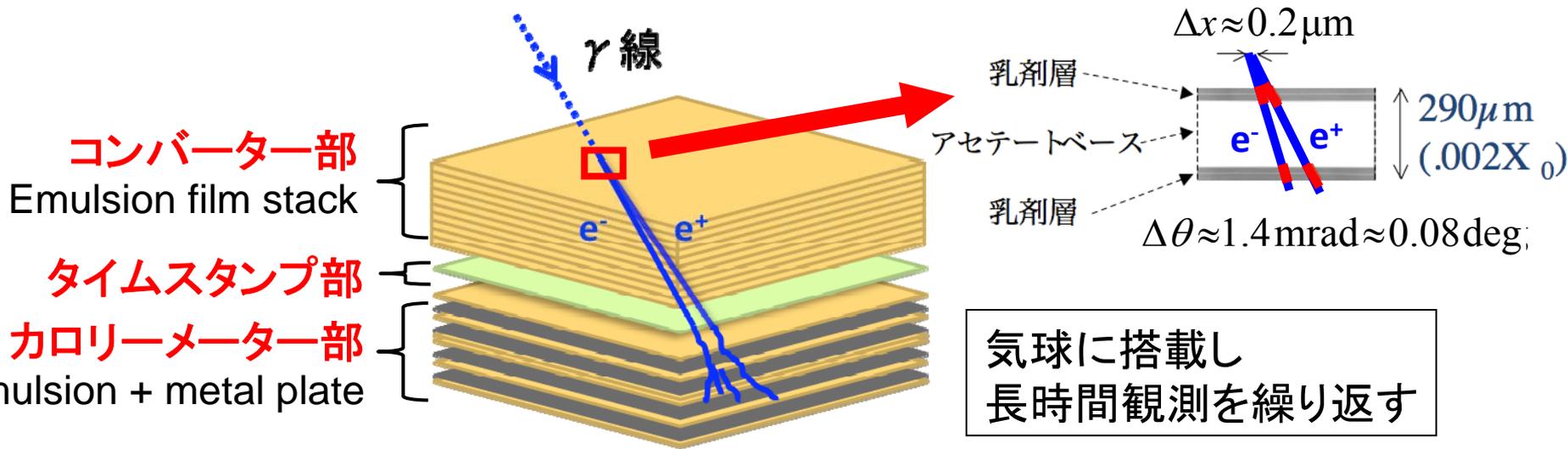
放射起源に迫る上で200MeV以下が重要



Fermi 200MeV  
エラーサークル



# GRAINE (Gamma Ray Astro Imager with Nuclear Emulsion)

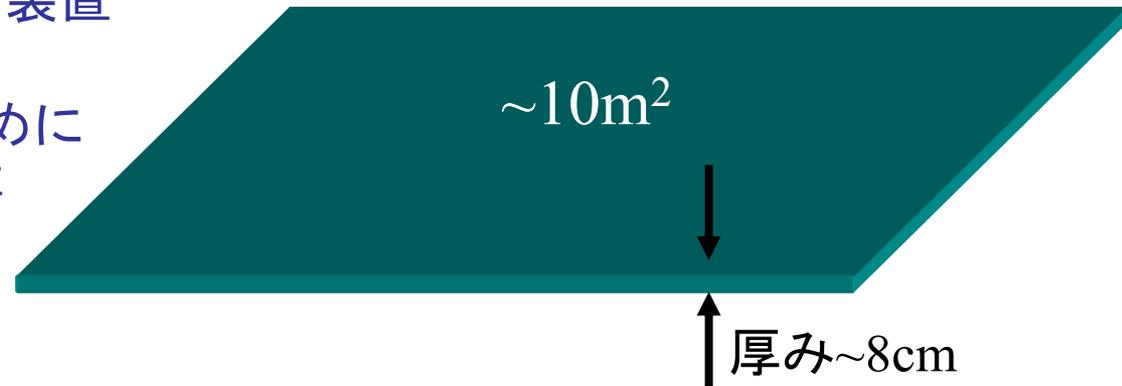


	エマルジョン望遠鏡	Fermi LAT
角度分解能 @100MeV	6.7mrad	61mrad
@1GeV	1.4mrad	10mrad
エネルギー領域	10MeV~100GeV (under study below 50MeV)	20MeV~300GeV
口径面積	1~10m <sup>2</sup>	1m <sup>2</sup>

10m<sup>2</sup> × 7日間 × 5フライトで  
Fermiの1m<sup>2</sup> × 365日の統計に匹敵する

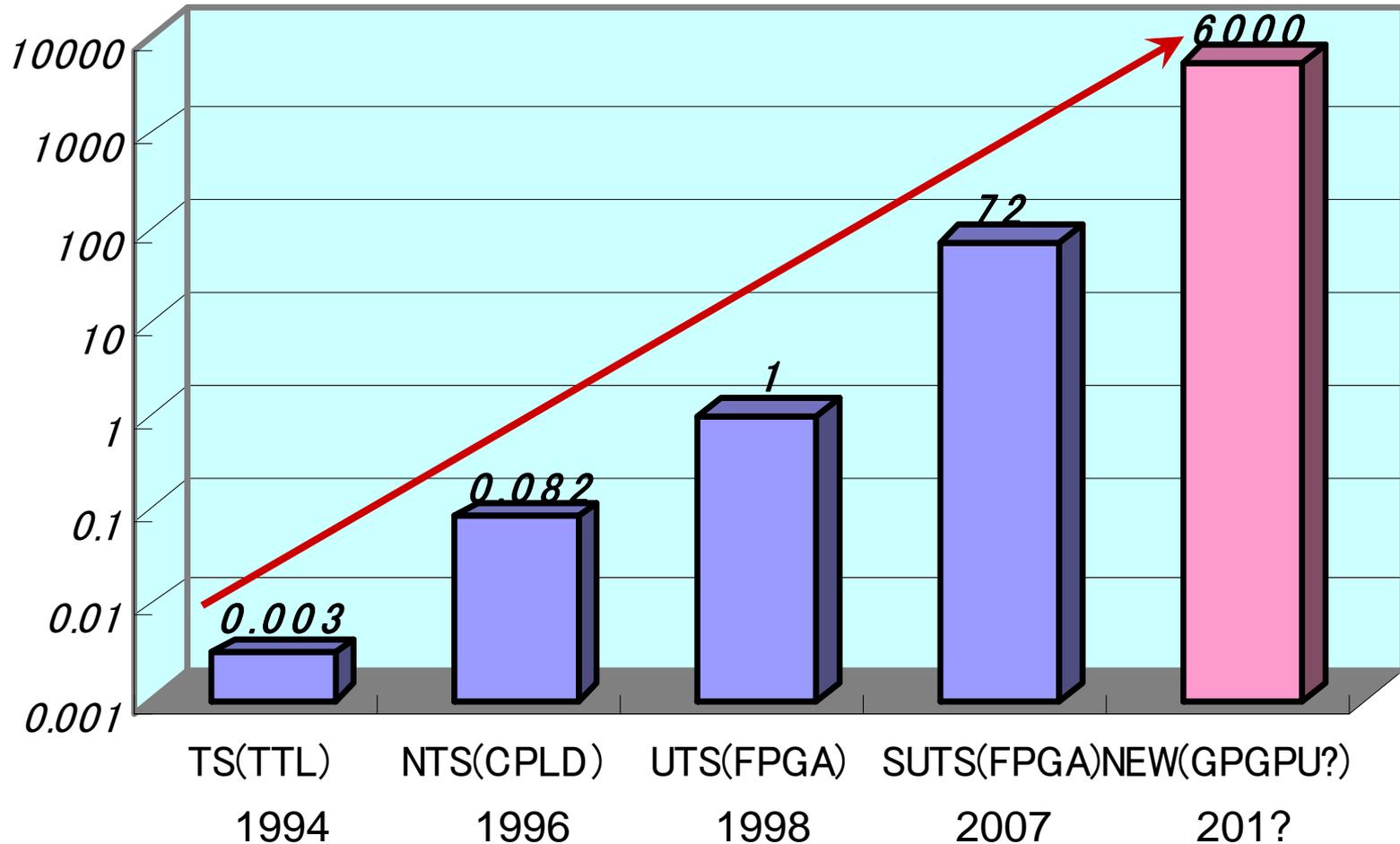
# GRAINE (Gamma Ray Astro Imager with Nuclear Emulsion)

- 気球  $10\text{m}^2 \times 35\text{days}$  (低エネルギーBGの少ない中緯度が望ましい)  
RUNJOB, JACEEで実績のある規模
- フィルム量  $10\text{m}^2 \times 100\text{枚} = 1000\text{m}^2$   
ニュートリノ実験で実績のある規模
- 解析  $1000\text{m}^2/\text{year}$  ( $= 1140\text{cm}^2/\text{h}$ )  
次世代の自動読み取り装置
- 1mradの精度を実現するために  
機械的平面精度が必要  
フィルム  
チェンバ  
サポート  
時間分解能が必要 (スターカメラと連動させる)  
日周運動  $\Delta t = 10\text{秒}$   
ゴンドラ回転  $\Delta t = 0.1 \sim 1\text{秒}$  (回転速度に依存)  
→ タイムスタンプ部「多段シフター」

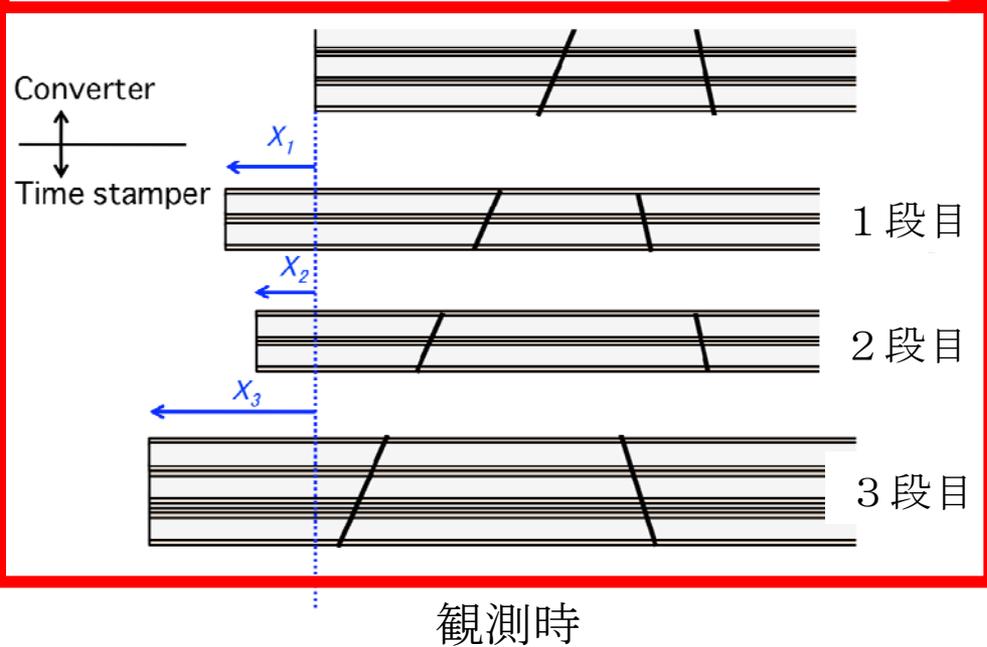
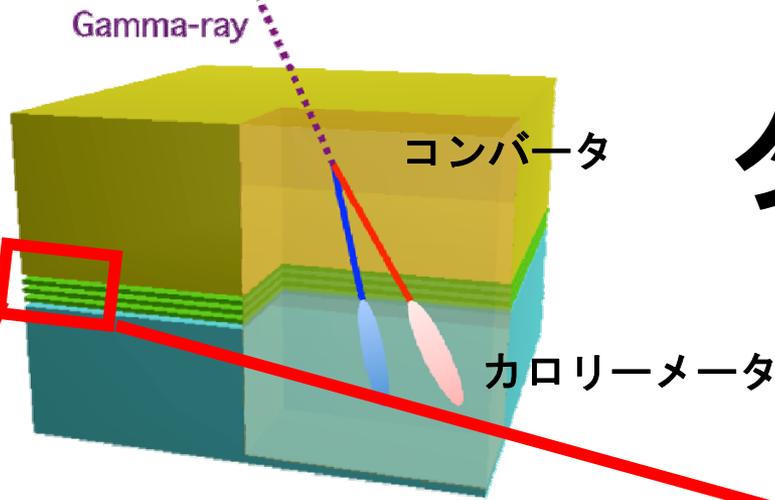


# Evolution of the Scanning Power

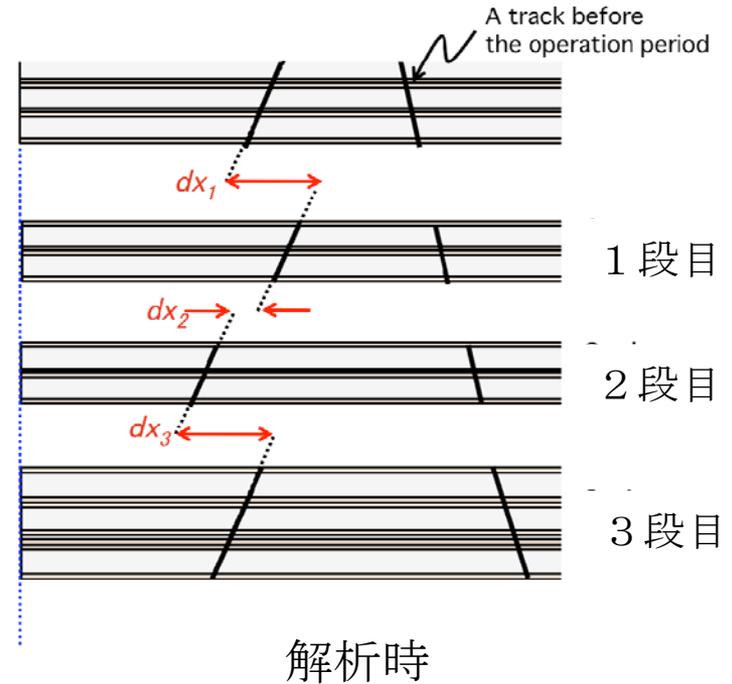
*Speed in  $\text{cm}^2/\text{h}$*



# タイムスタンプ部 多段シフター



Analysis phase  
➔

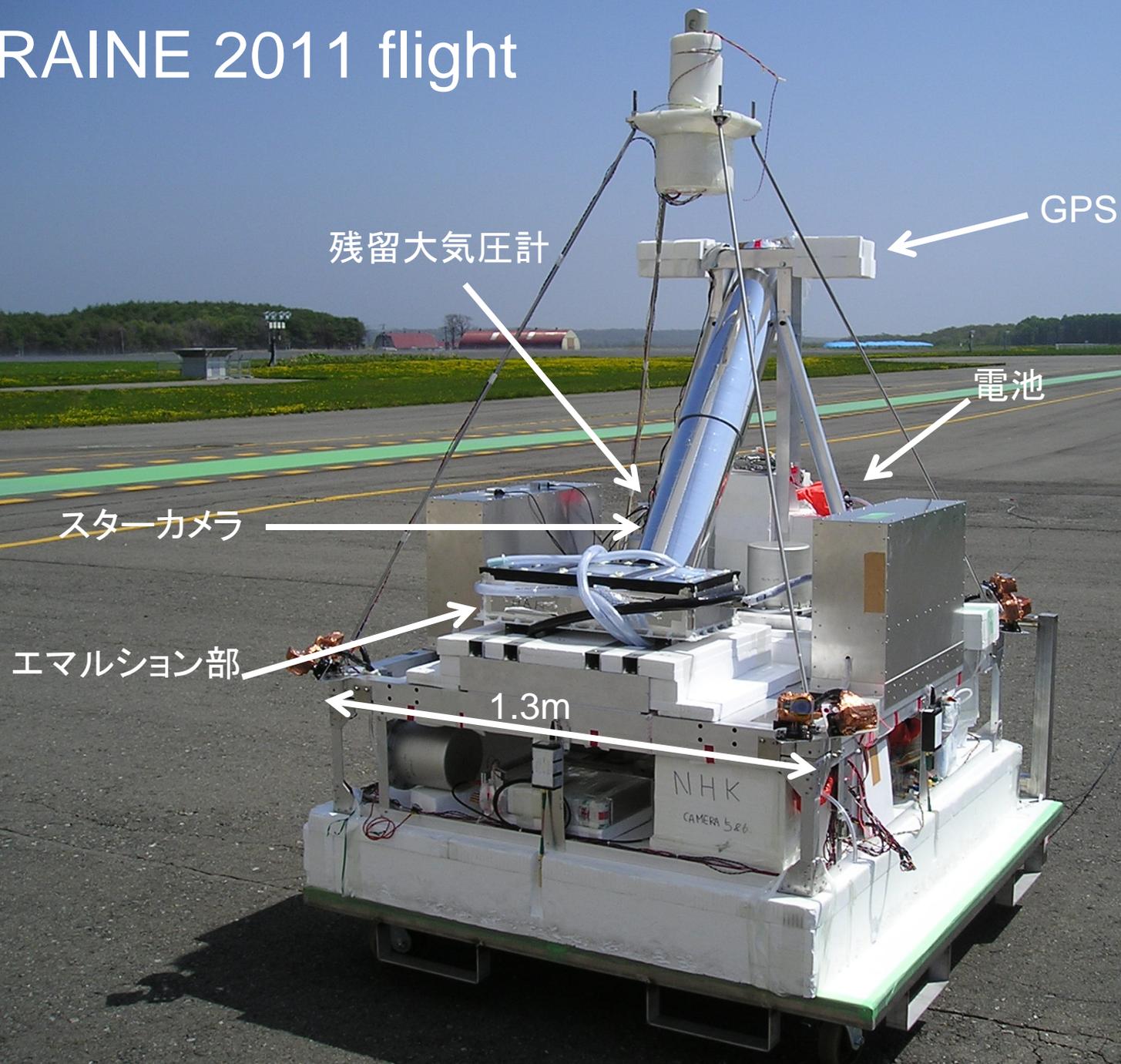


- ◆ アナログ時計の要領で複数のユニットを周期的にスライドさせる。
- ◆ 後の解析から位置ずれを認識し、入射タイミングが分かる。
- ◆ 高電圧不要、シンプル、軽量、低消費電力、デッドタイムフリー

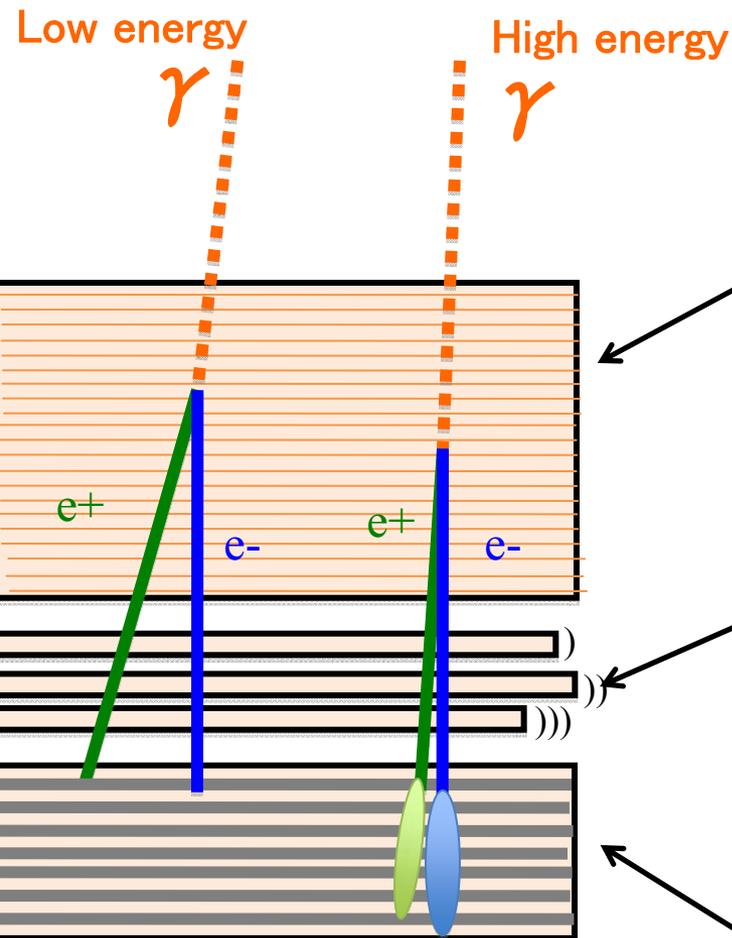
# GRAINE ロードマップ

- ・ 口径1/10m, 3時間フライト → 2011年度大気球実験(ISAS/JAXA)  
2011年6月8日  
大樹航空宇宙実験場
  - 搭載機器の動作検証
  - ガンマ線の到来方向を天球面にマップする一連の流れの確立
  - 大気ガンマ線の実測
- ・ 口径1/2m, 1日間フライト、2013年度～
  - 既知のガンマ線天体の観測試験
- ・ 口径3m, 7日間フライト、2014年度～
  - 科学観測開始

# GRAINE 2011 flight



# エマルション部



口径面積 : 12.5cm × 10cm

## ◆ Converter

エマルションフィルム102枚, 銅箔91枚

33.0mm, 1.1kg, 0.53Xo ( $\epsilon_{\text{conv}} = 34\%$ )

OPERA型エマルションフィルム × 10 (合板部)

OPERA型エマルションフィルム × 88 + 銅箔(50  $\mu\text{m}$ ) × 88

新型エマルションフィルム × 4 + 銅箔(50  $\mu\text{m}$ ) × 3

## ◆ Timestamper

多段シフター

1段目 : エマルションフィルム2枚

2段目 : エマルションフィルム2枚

3段目 : エマルションフィルム4枚

新型エマルションフィルム(3枚目)

## ◆ Calorimeter

エマルションフィルム32枚、鉛板:0.5mm厚10枚、1mm厚17枚

31.6mm, 2.9kg, 3.9Xo(Shower Max.@ 数GeV)

OPERA型エマルションフィルム × 5 (合板部)

(OPERA型エマルションフィルム+鉛板(0.5mm)) × 10

(OPERA型エマルションフィルム+鉛板(1mm)) × 17

# TimeStamper (多段シフター)

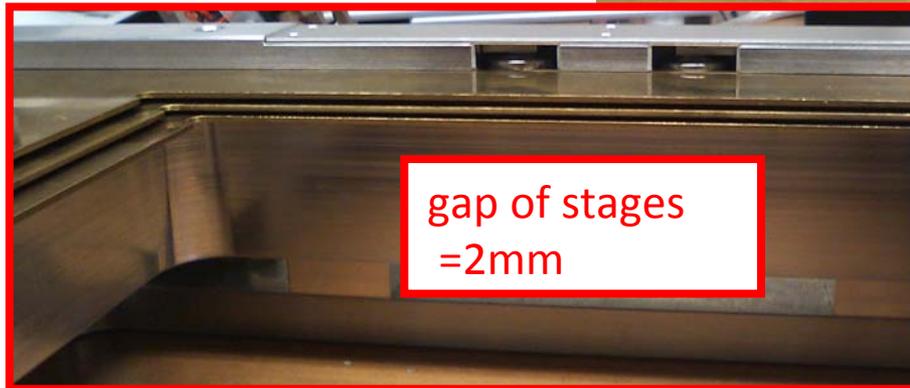
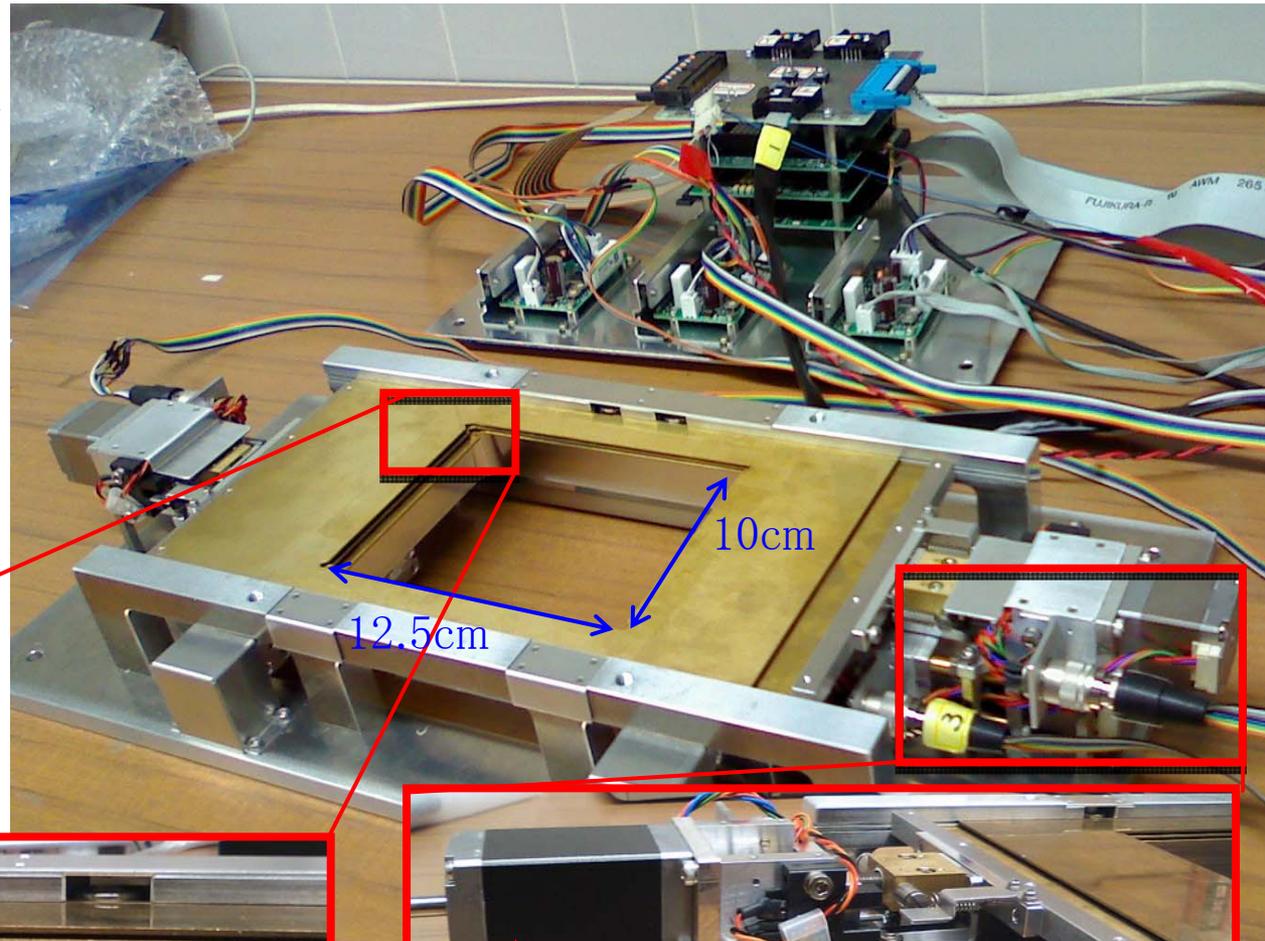
(株)三鷹光器と共同開発

重量 5kg

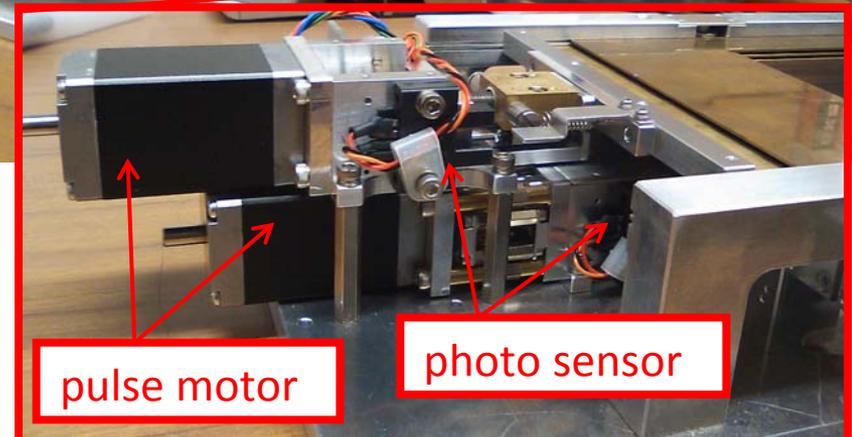
消費電力 20W

ステージの

位置再現性  $\sim 1 \mu\text{m}$



gap of stages  
=2mm



pulse motor

photo sensor

# 姿勢モニター (DayTime StarCamera)



- 光学フィルター

Schneider Optics製B+W091

- カメラレンズ

Nikon製 AF Nikkor 85mm F1.4D

- レンズ口径: 60.7mm
- 焦点距離: 85mm

- CCDカメラ

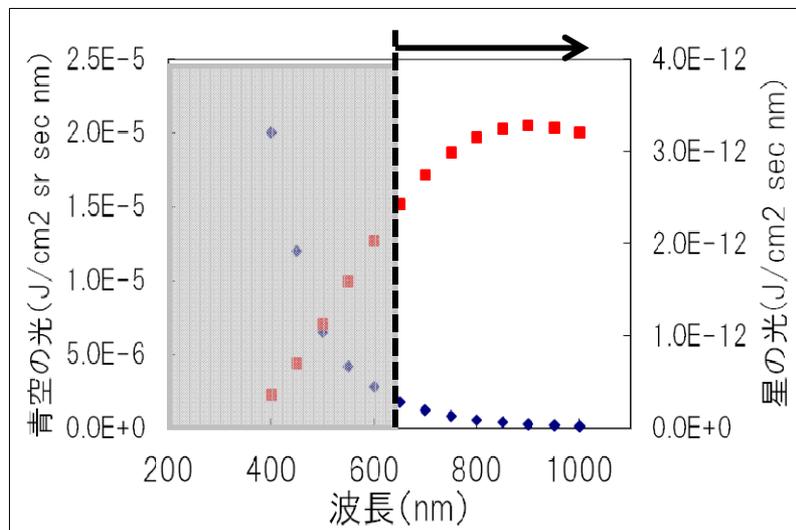
浜松ホトニクス製C3077-79

(近赤外CCDカメラ)

- ピクセル数: 640 × 480

採用した機器における  
視野: 5.9度(H) × 4.5度(V)  
予想感度: ~6.1等級  
姿勢決定精度: ~0.16mrad

600nm以上を透過



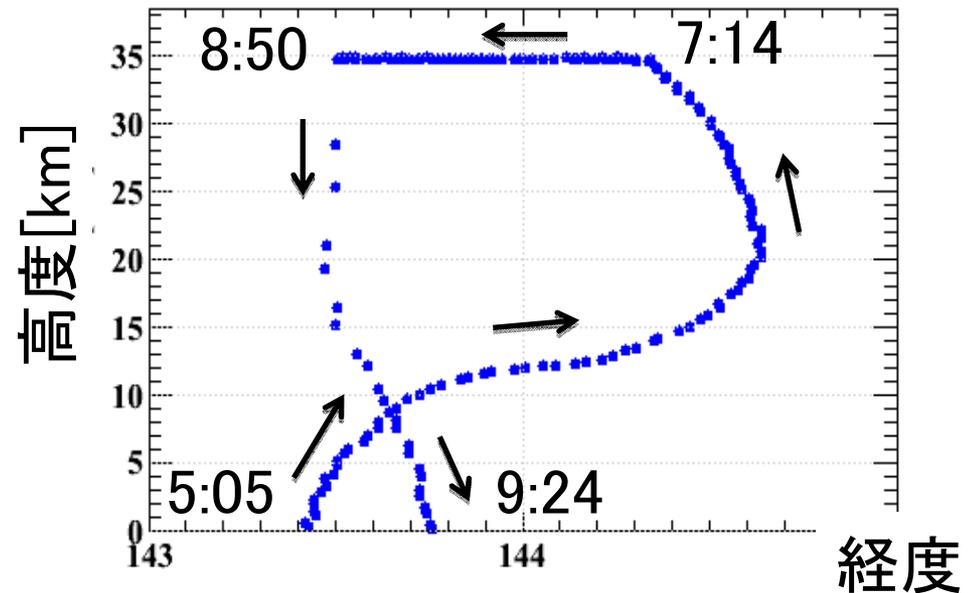
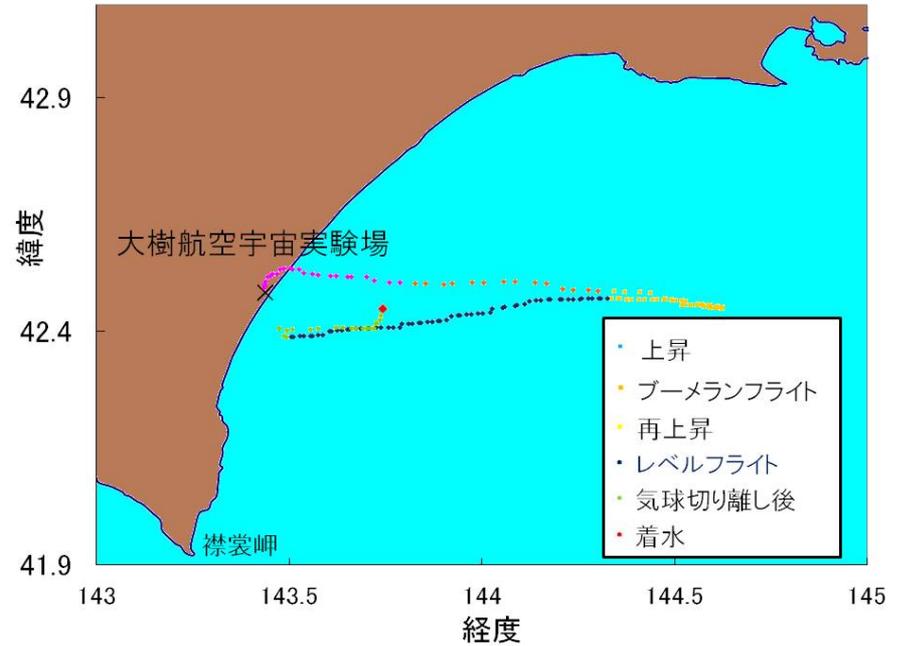
◆: 青空の光 (Dietz et al., 2002)

■: 星の光 (M型:3200K)

# GRAINE2011気球実験



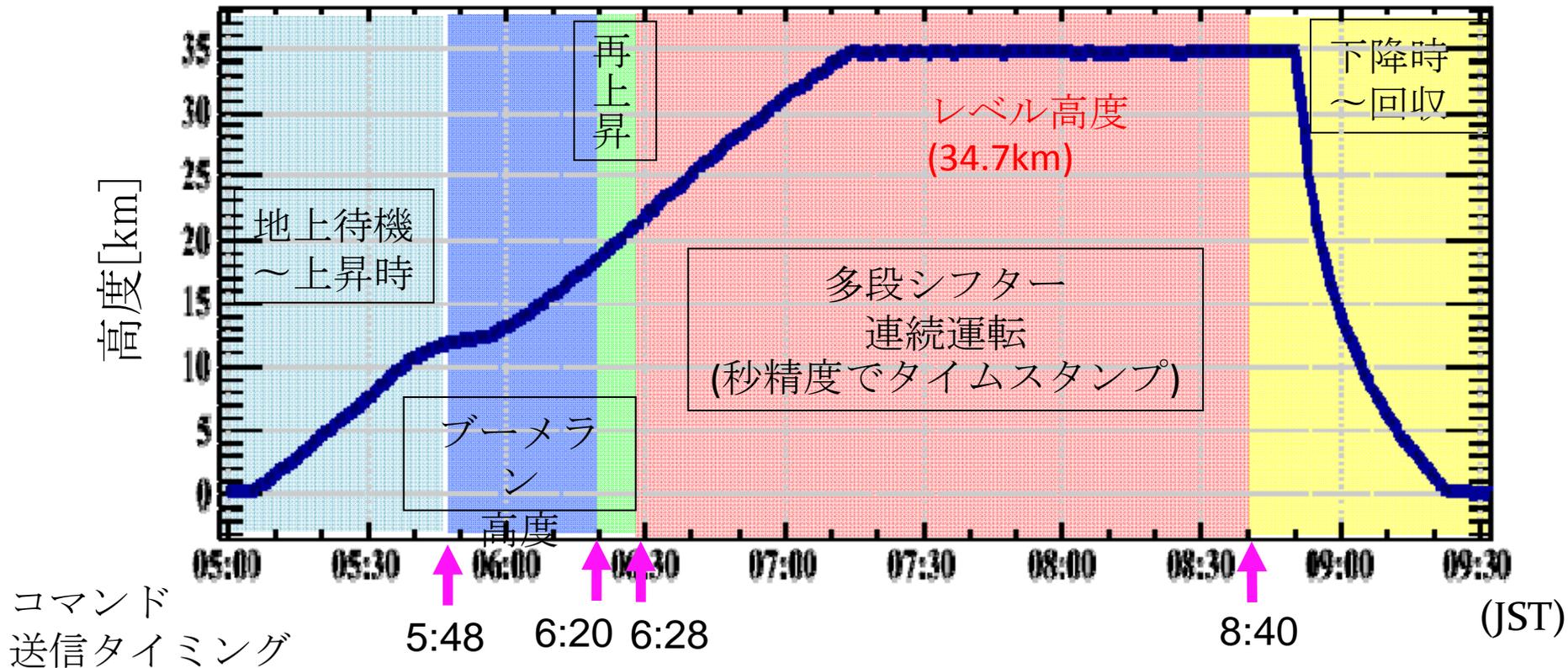
2011年6月8日5時5分放球  
フライト時間:4時間19分  
レベルフライト(高度35km)  
:1時間36分



# GRAINE2011気球実験

- ◆多段シフター/スターカメラの上空での動作実証
- ◆大気ガンマ線の入射高度依存性の実測
- ◆大気ガンマ線の入射角度依存性の実測

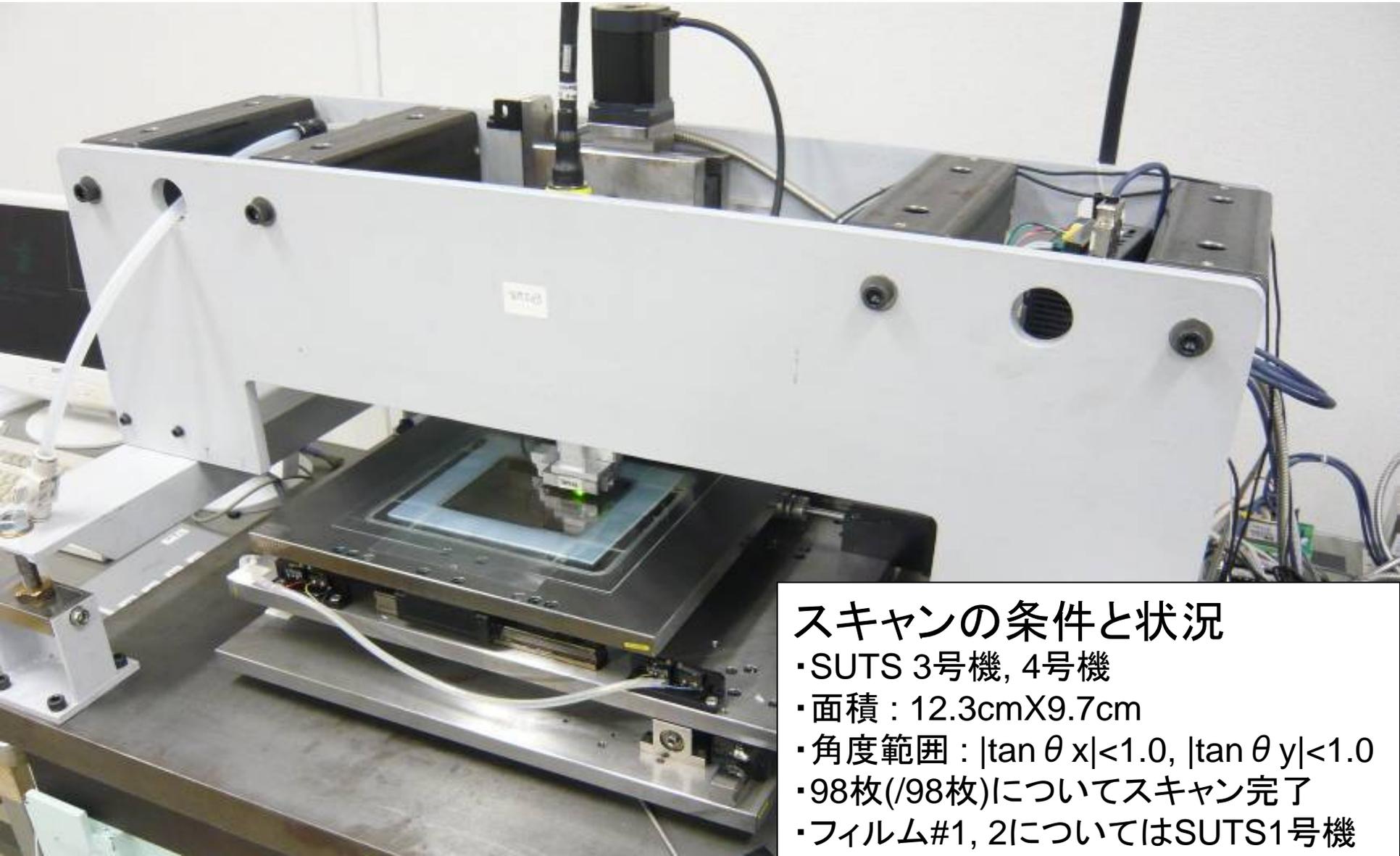
## フライト高度のタイムプロファイル



# Automatic Emulsion Scanning System

“ S-UTS ”

名古屋大



## スキヤンの条件と状況

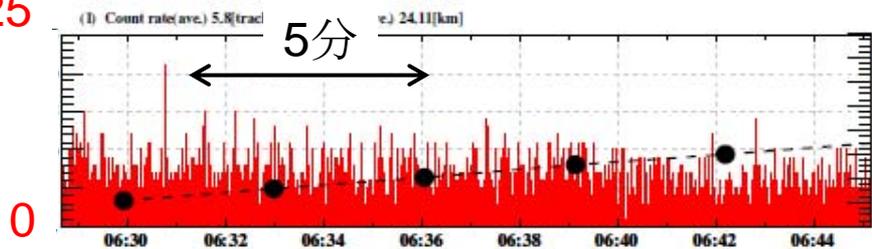
- ・SUTS 3号機, 4号機
- ・面積 : 12.3cmX9.7cm
- ・角度範囲 :  $|\tan \theta x| < 1.0$ ,  $|\tan \theta y| < 1.0$
- ・98枚(/98枚)についてスキヤン完了
- ・フィルム#1, 2についてはSUTS1号機

# フライトデータ初期解析

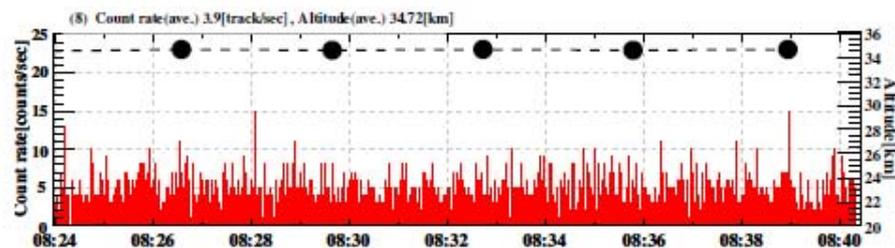
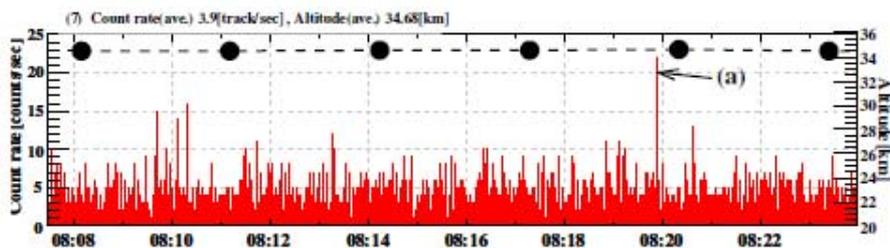
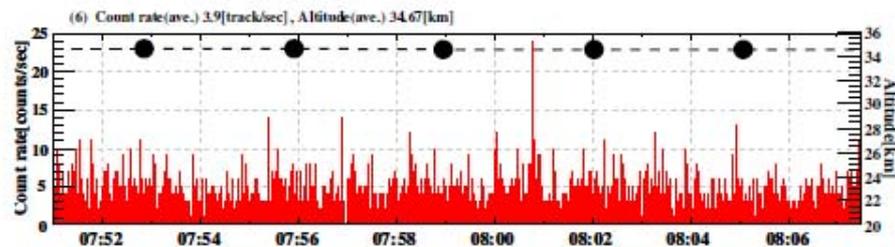
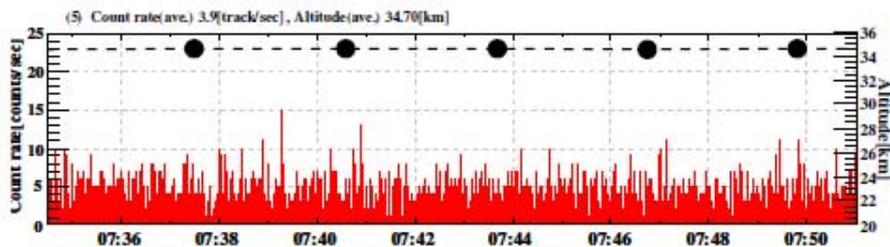
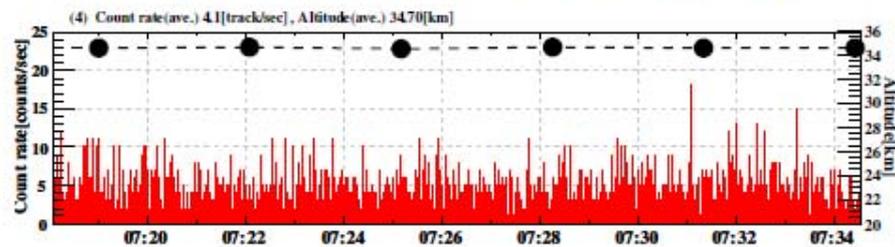
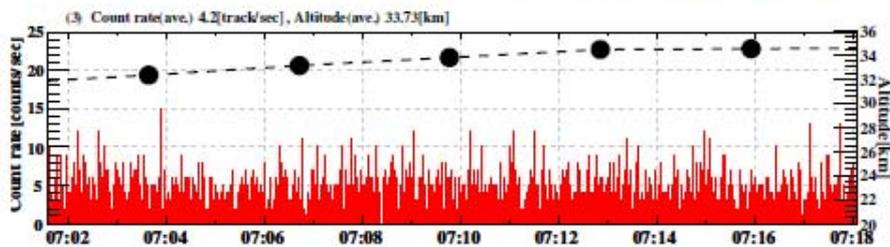
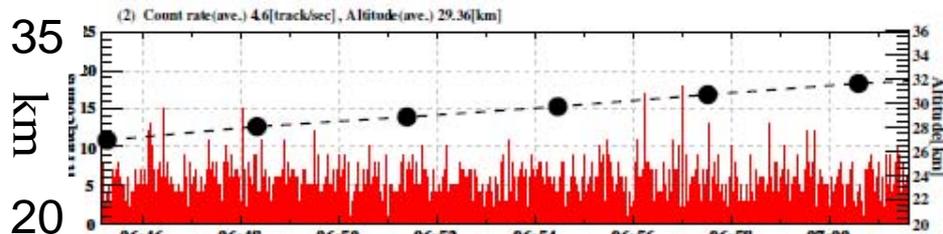
## フライト中のカウントレート(count/sec)

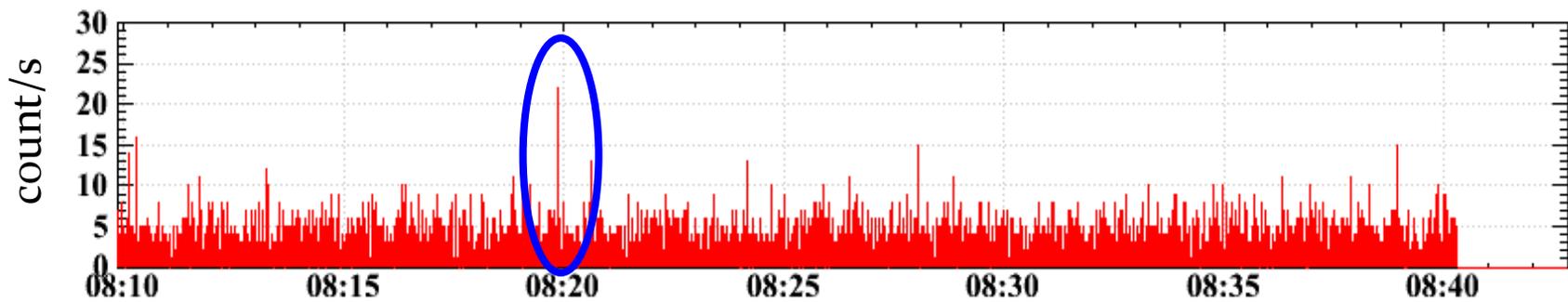
count/s

25

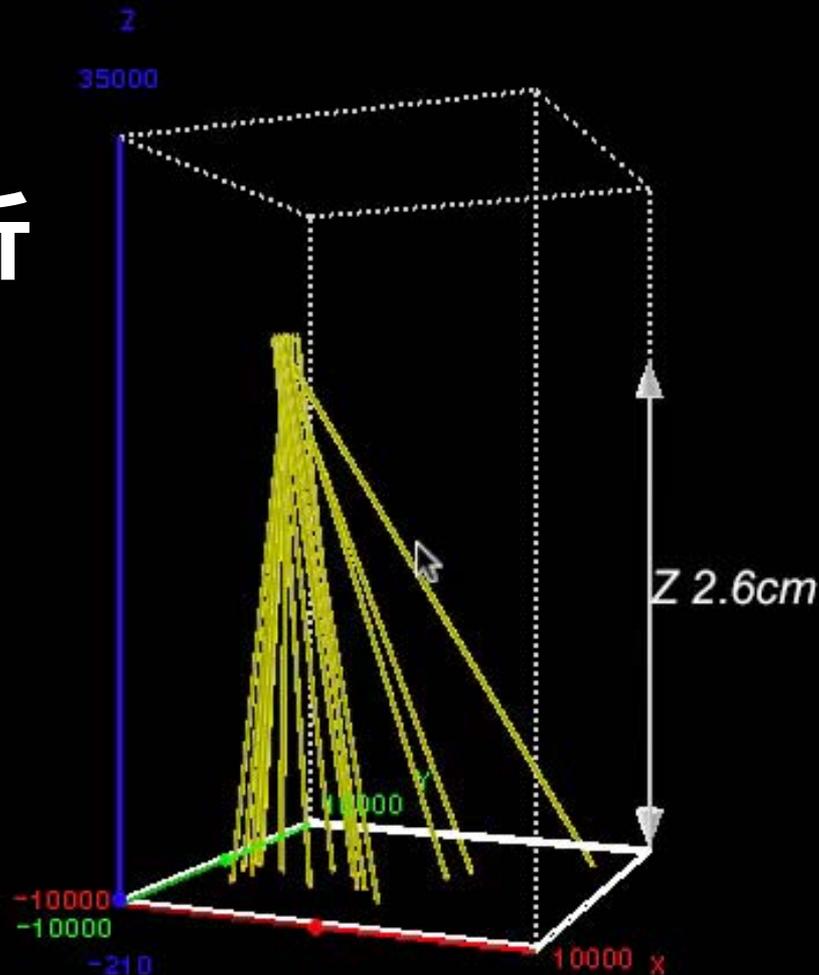


35  
km  
20





# 多段シフター初期解析 ハドロンイベント のトリガー



# 時間分解能

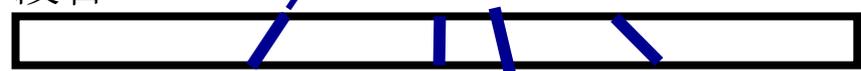
2 段目



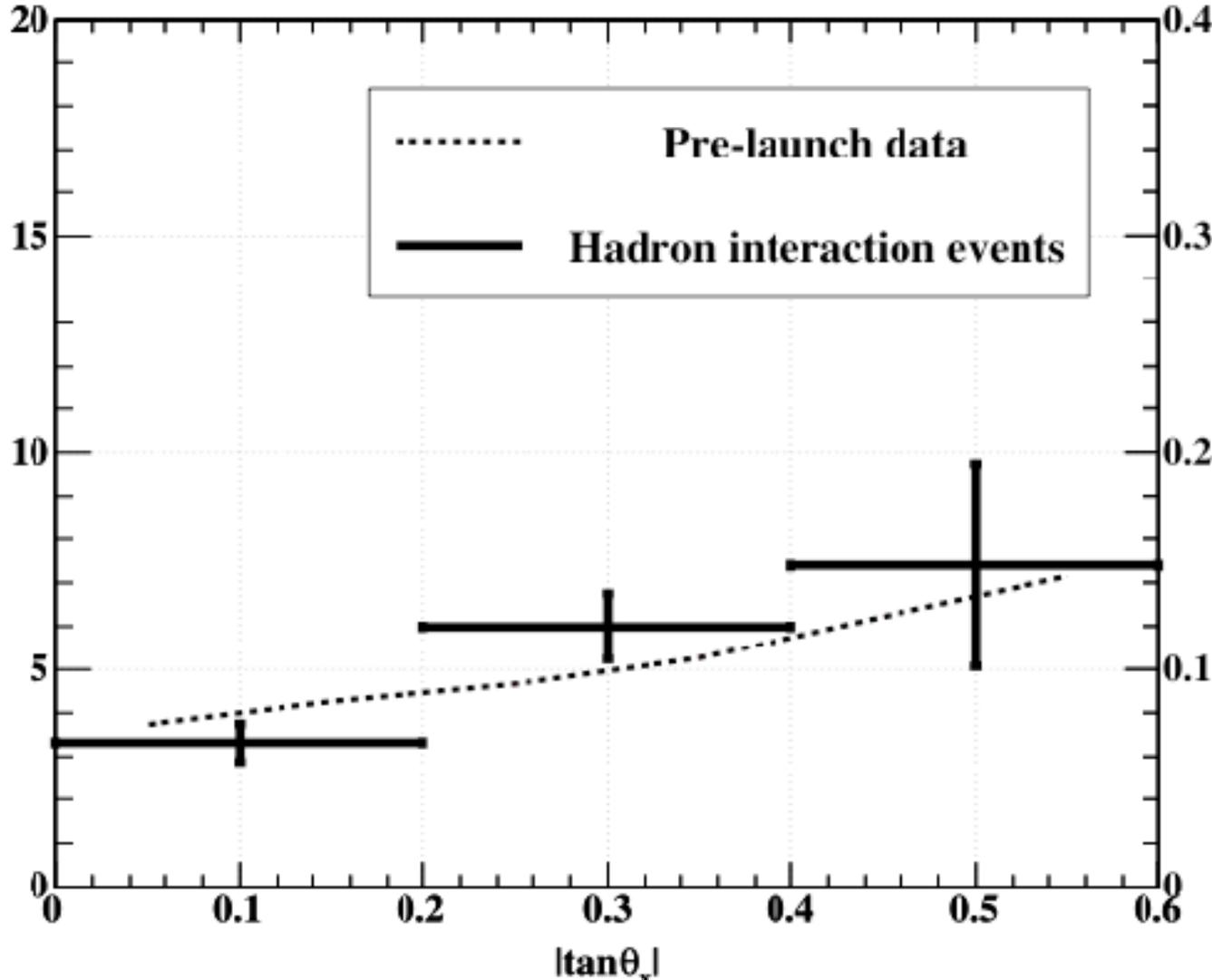
3 段目

$dx$

ステージの速度  $50 \mu\text{m}/$



ハドロンイベントを構成する  
複数トラックの位置ずれ  $dx$  のばらつき ( $\mu\text{m}$ )



時間分解能(秒)

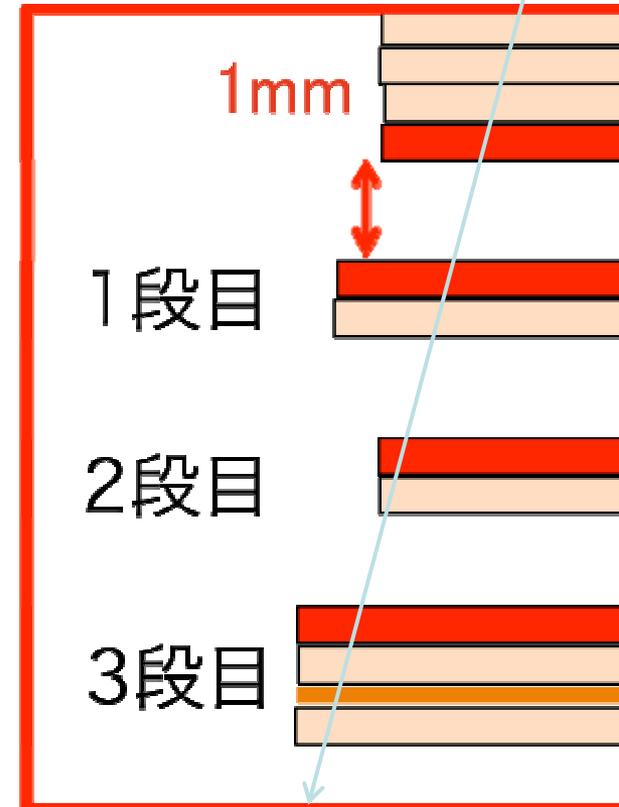
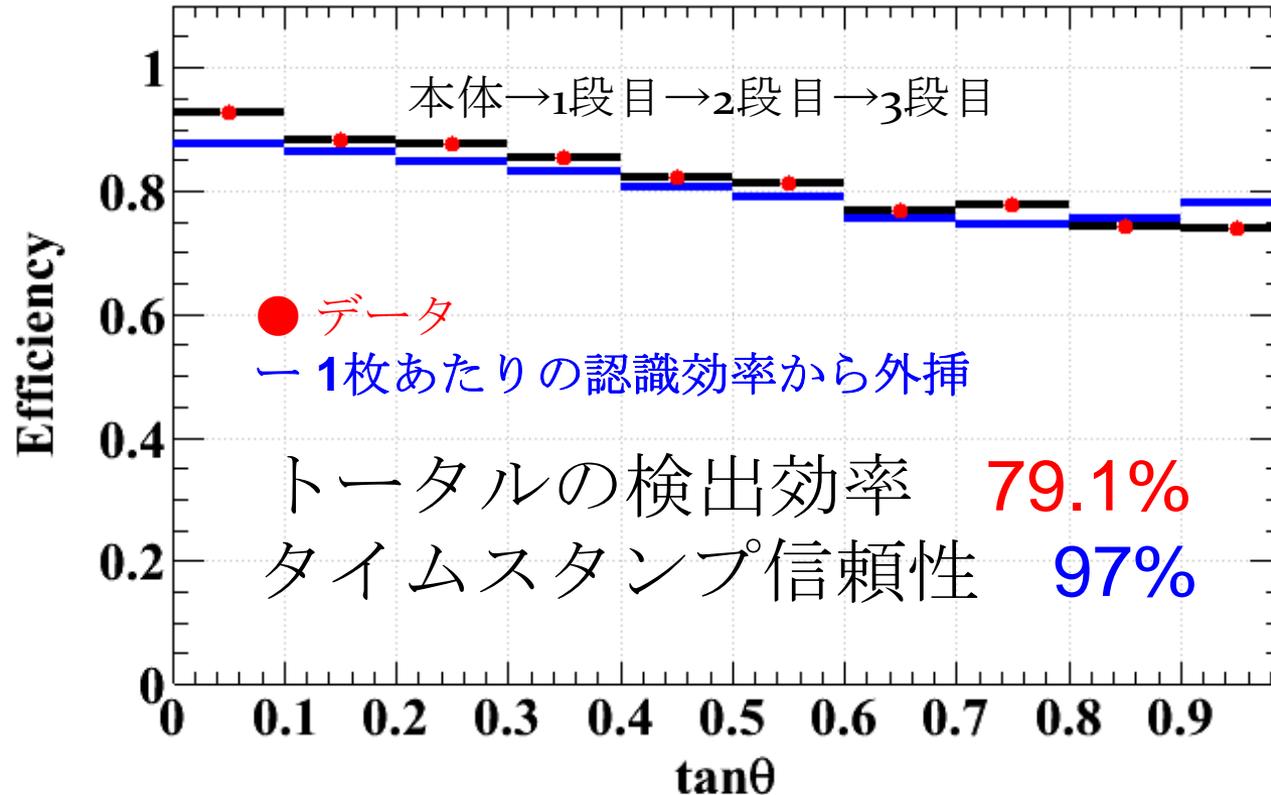
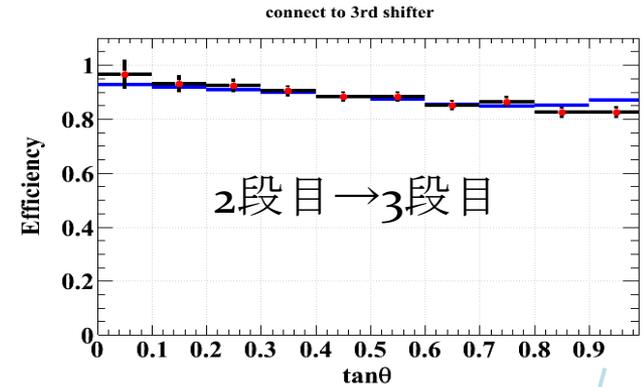
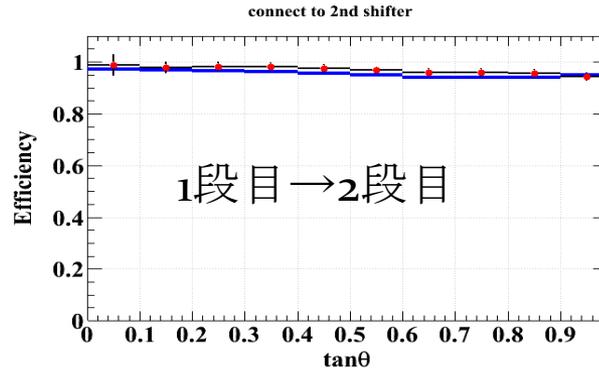
0.64

0.32

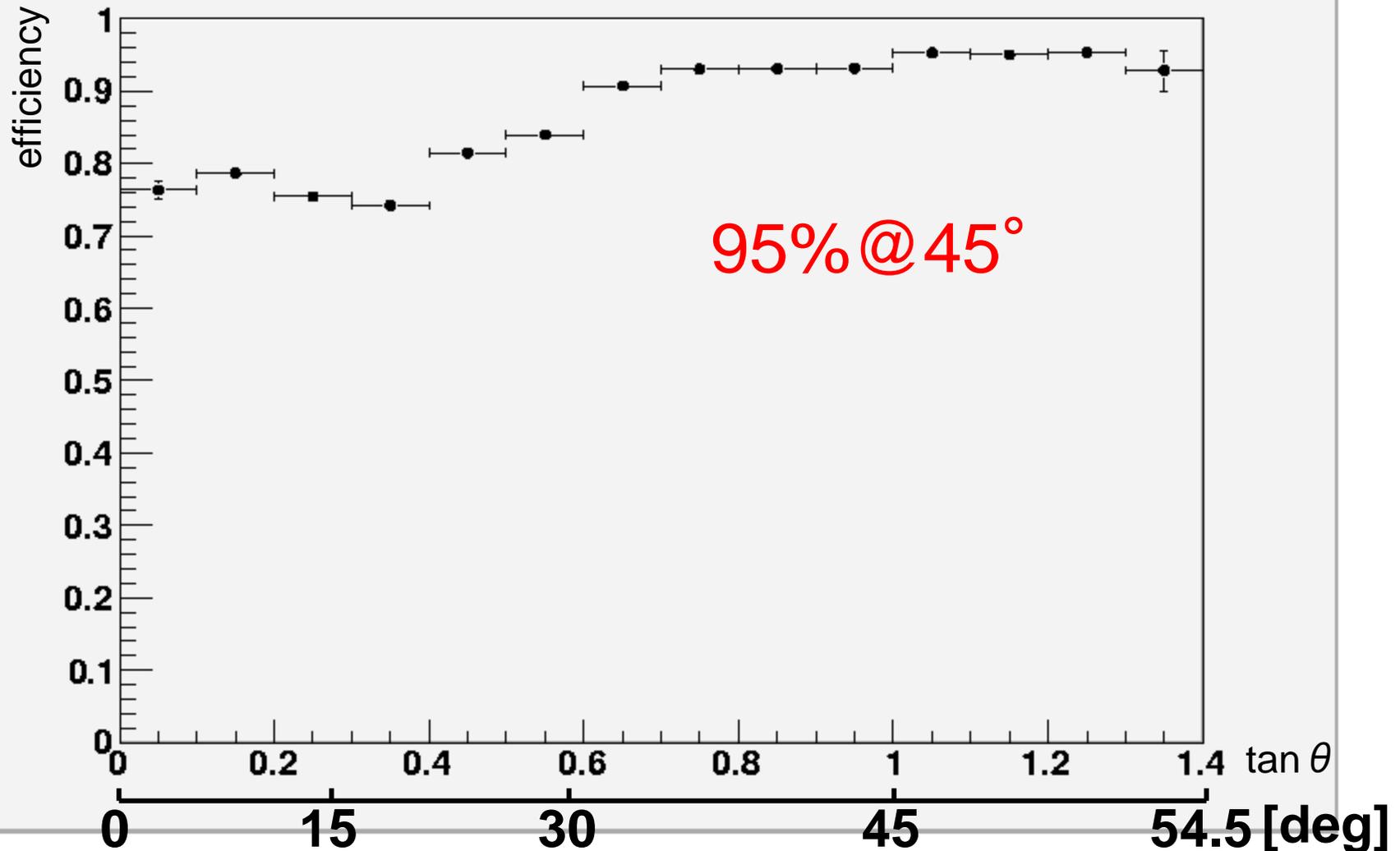
姿勢決定精度 (mrad)  
※回転速度  $1.6 \text{ mrad/sec}$  (実測値) の場合

# 多段シフターの検出効率

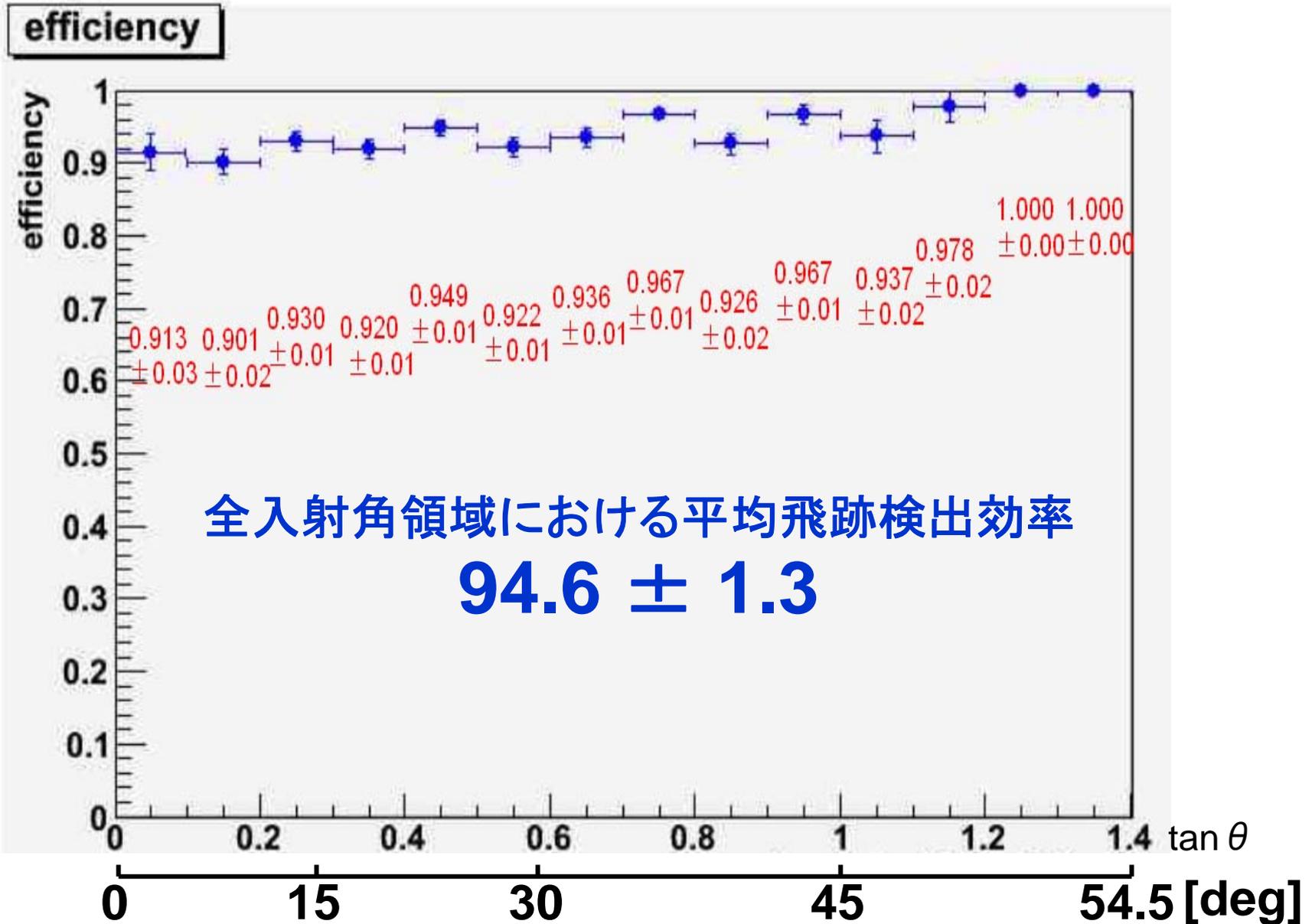
1段目で連続運転時と  
タイムスタンプされた  
トラックで評価



# コンバーター部での フィルム1枚あたりの飛跡の検出効率

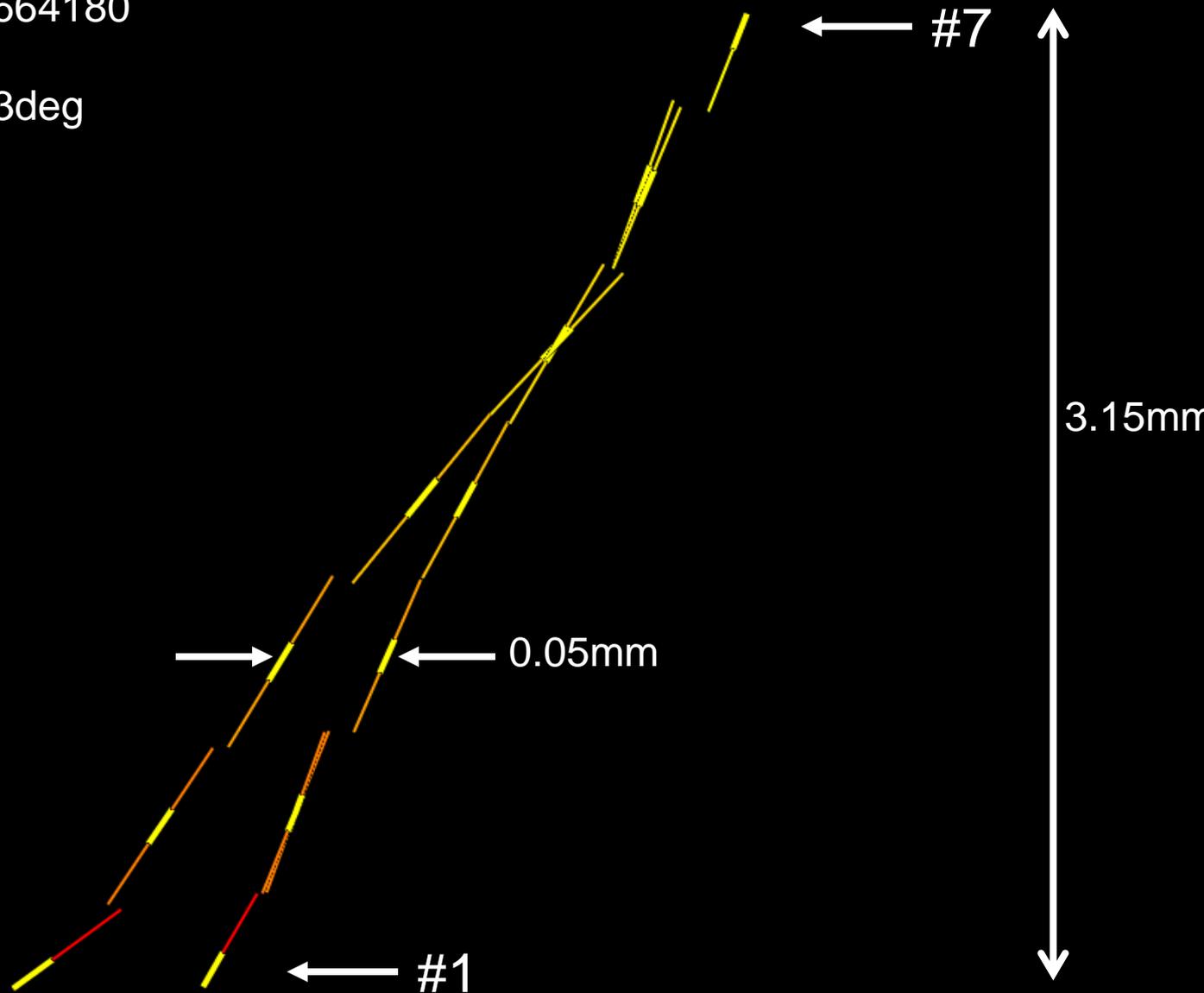


# 新型原子核乳剤フィルム



# ガンマ線事象例

Event : 71 6664180  
Start : #7  
 $\theta$  incident : 50.33deg



# これまでの測定との比較

	観測値	観測値 天頂角:0~30度	期待値 >50MeV	期待値 >100MeV
# of events	94	61	76	47

Thompson, 1974, 大気ガンマ線フラックス測定

- ・垂直方向 (天頂角 : 0~30度)
- ・積分フラックス : >50MeV, >100MeV
- ・気圧[g/cm<sup>2</sup>] : 1000~500, 250~125, 50~20, 10~5

Try: 92 → タイムスタンプ: 89 → ◎, ○: 79 (信頼性94%)

	観測値	観測値 天頂角:0~30度	期待値 >50MeV	期待値 >100MeV
# of events @22km~35km	26	14	18	12

# 2号機

## 2号機

24時間オーダーの観測。  
明るいガンマ線天体の検出。



## 1号機

国内で数時間オーダーの観測。  
大気ガンマ線BGの実測。

(株)三鷹光器と共同開発  
口径面積 2000cm<sup>2</sup>

# GRAINE ロードマップ

- ・ 口径1/10m, 3時間フライト → 2011年度大気球実験(ISAS/JAXA)  
2011年6月8日  
大樹航空宇宙実験場
  - 搭載機器の動作検証
  - ガンマ線の到来方向を天球面にマップする一連の流れの確立
  - 大気ガンマ線の実測
- ・ 口径1/2m, 1日間フライト、2013年度～
  - 既知のガンマ線天体の観測試験
- ・ 口径3m, 7日間フライト、2014年度～
  - 科学観測開始