

GRAINE計画

Gamma-Ray Astro-Imager
with Nuclear Emulsion

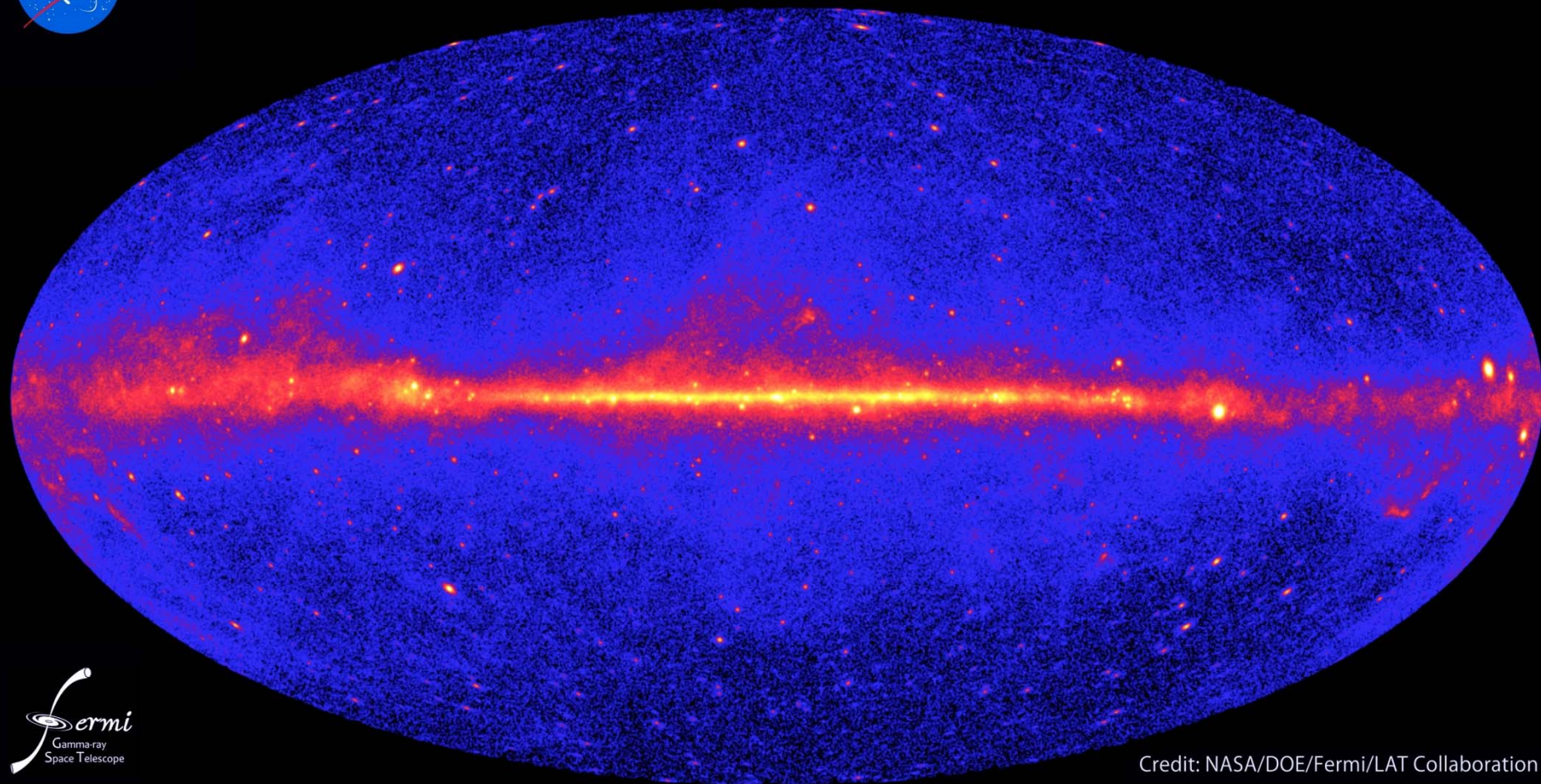
青木茂樹(神戸大) for GRAINE collaboration

神戸大学, ISAS/JAXA, 名古屋大学, 岡山理科大学, 愛知教育大学, 宇都宮大学

photo : GRAINE 1st flight (2011) @ JAXA大樹航空宇宙実験場



Fermi two-year all-sky map ($E_\gamma > 1\text{GeV}$)



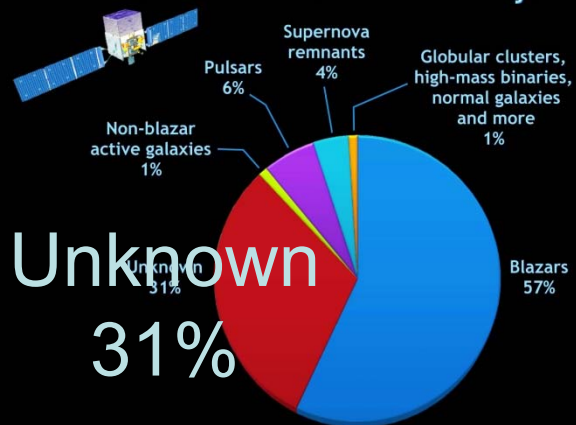
Credit: NASA/DOE/Fermi/LAT Collaboration

1873 sources



Fermi two-year all-sky map ($E_\gamma > 1\text{GeV}$)

What has Fermi found: The LAT two-year catalog



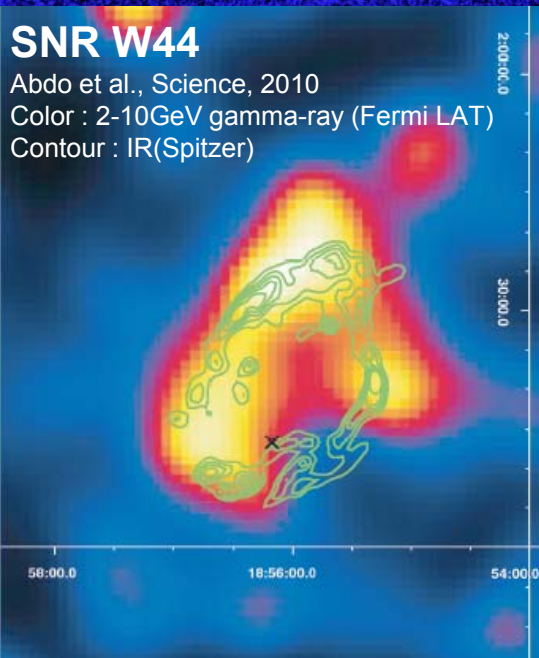
Credit: NASA/Goddard Space Flight Center

SNR W44

Abdo et al., Science, 2010

Color : 2-10GeV gamma-ray (Fermi LAT)

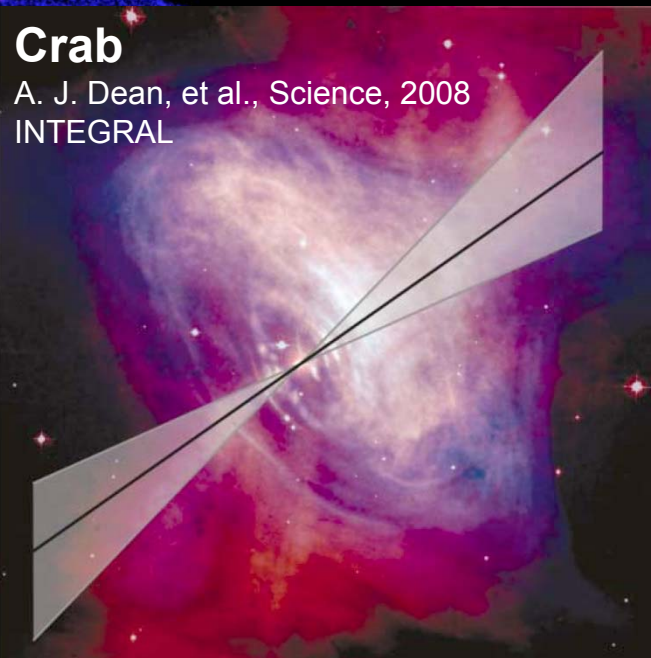
Contour : IR(Spitzer)



Crab

A. J. Dean, et al., Science, 2008

INTEGRAL



Credit: NASA/DOE/Fermi/LAT Collaboration



1873 sources

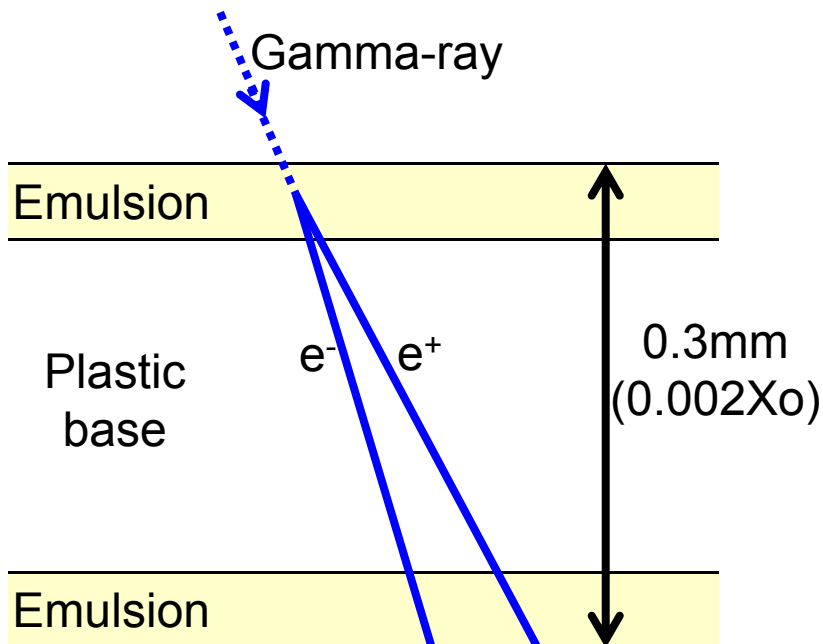
原子核乾板(エマルション)

Microscopic view
10micron

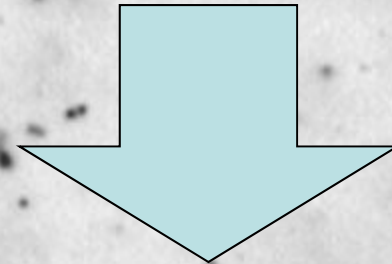
Gamma-ray
.....→

$e^{+/-}$
→
 $e^{-/+}$
→

エマルションフィルムの断面図

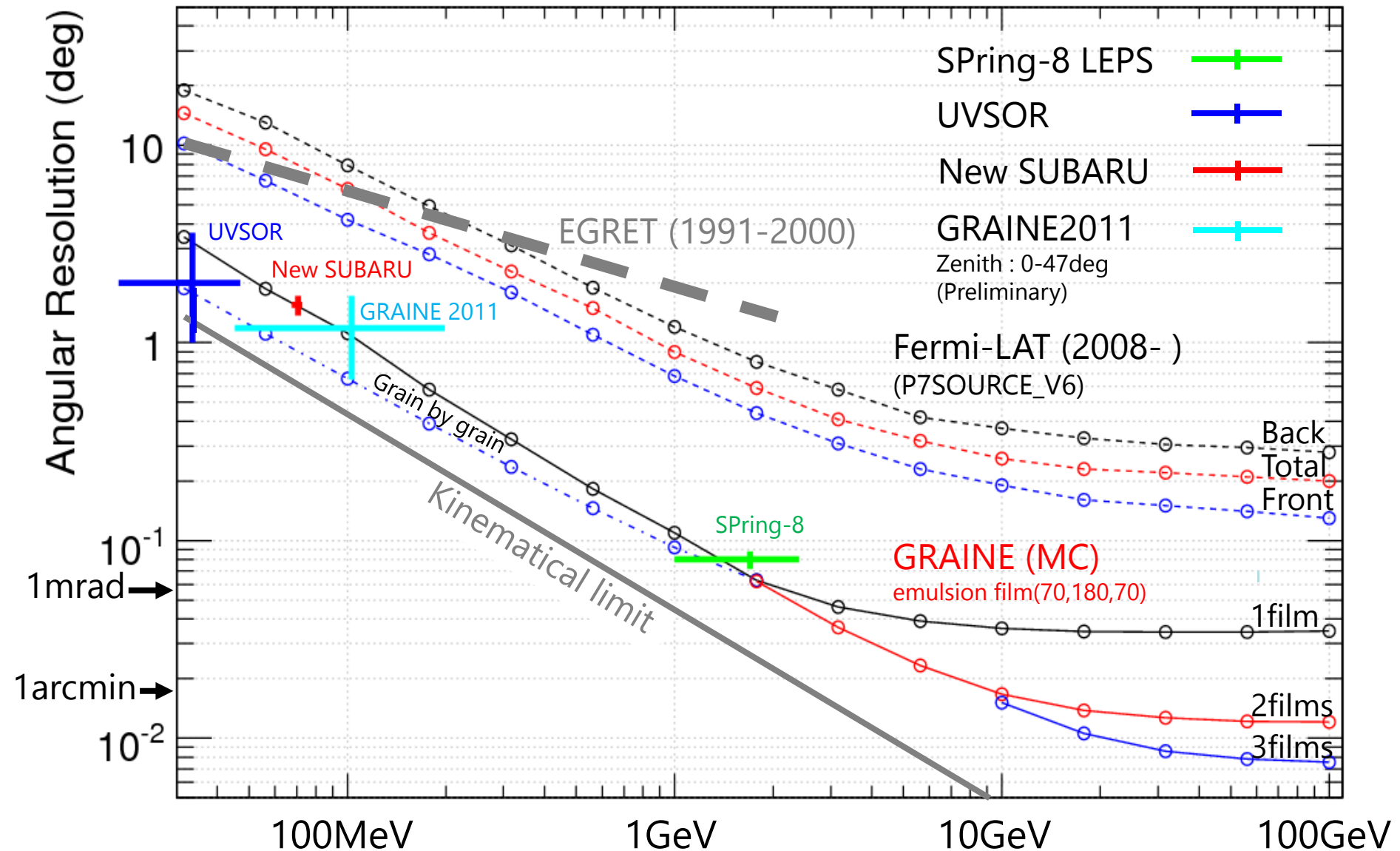


Powerful tracking device
>High spatial resolution : <1micron
>Small radiation length : 0.002 X_0



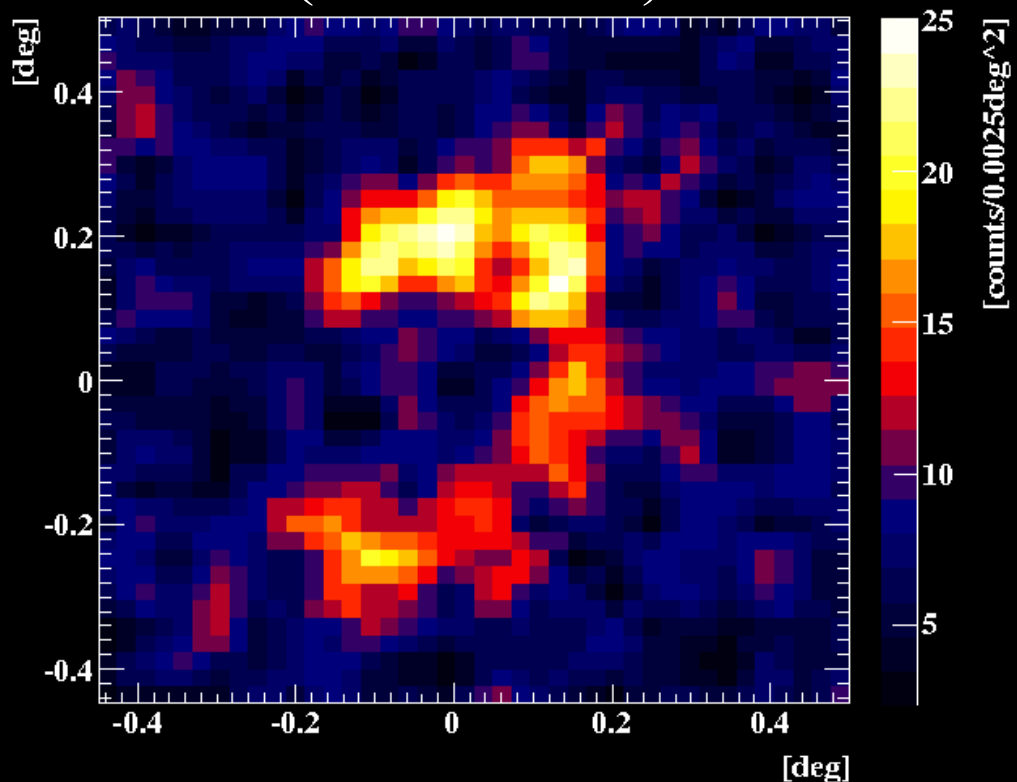
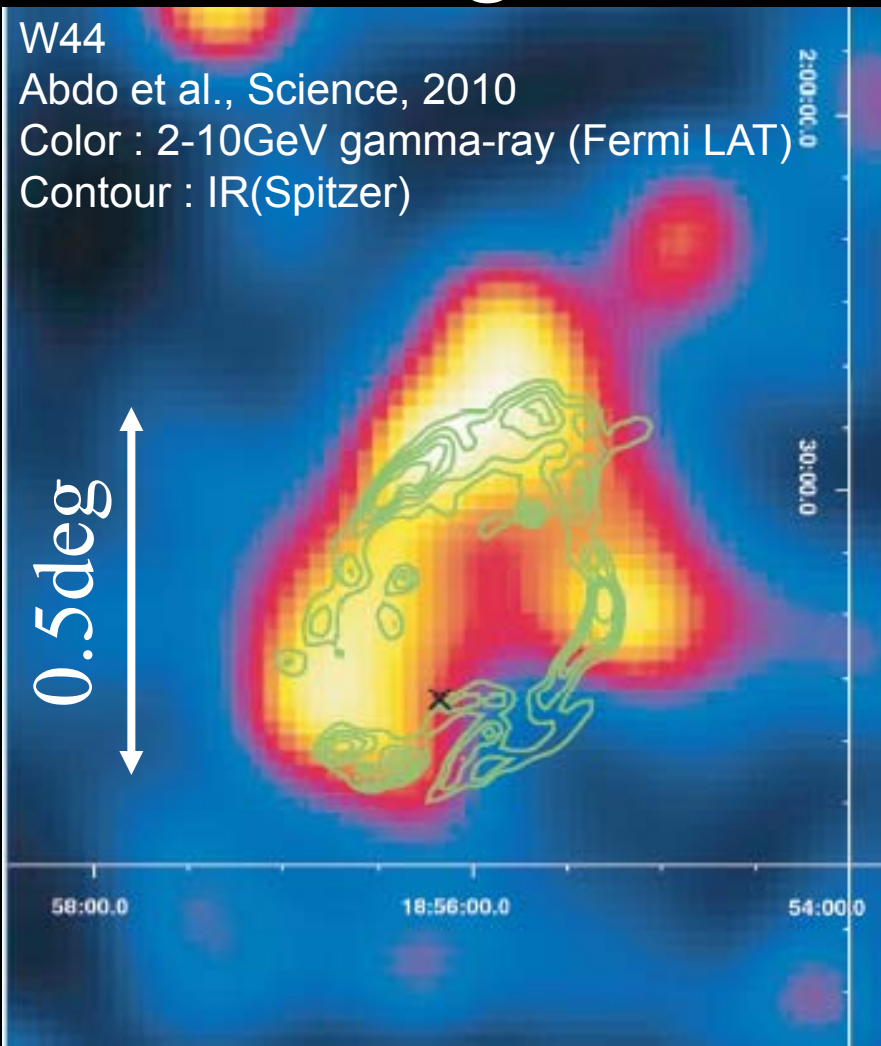
High angular resolution for gamma-ray
Sensitive to gamma-ray polarization

ガンマ線 角度分解能



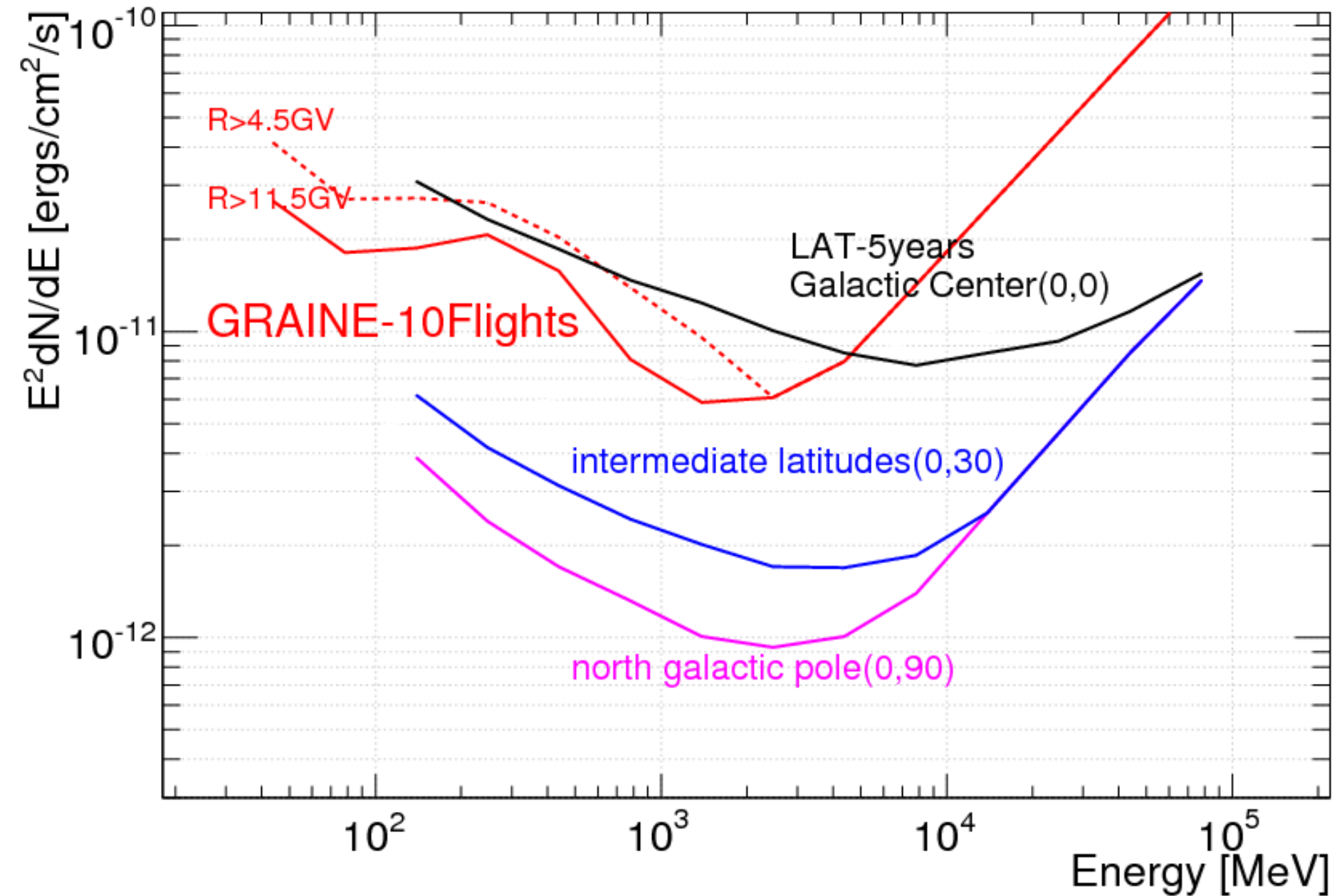
High resolution imaging

GRAINE (Simulation)



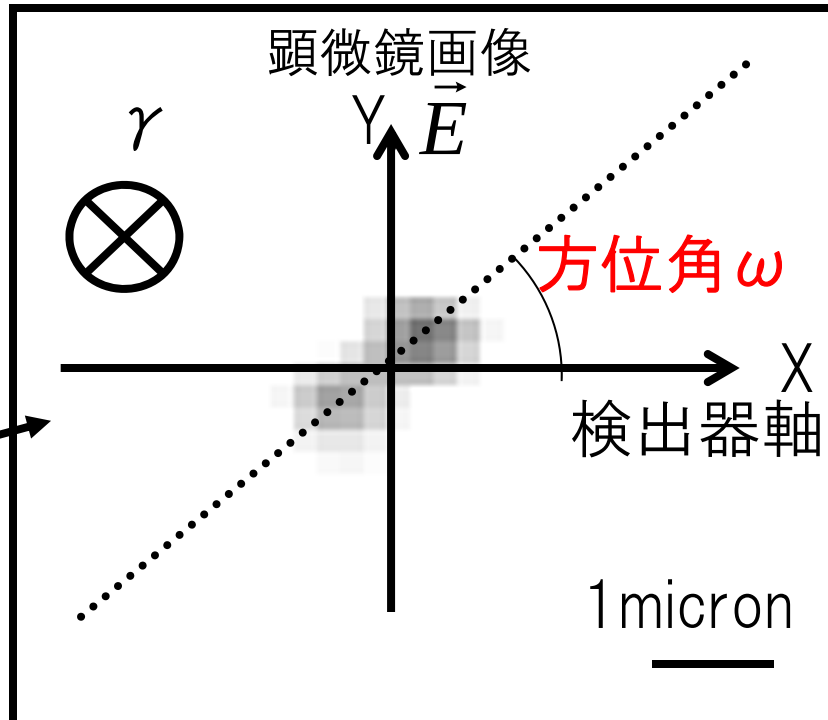
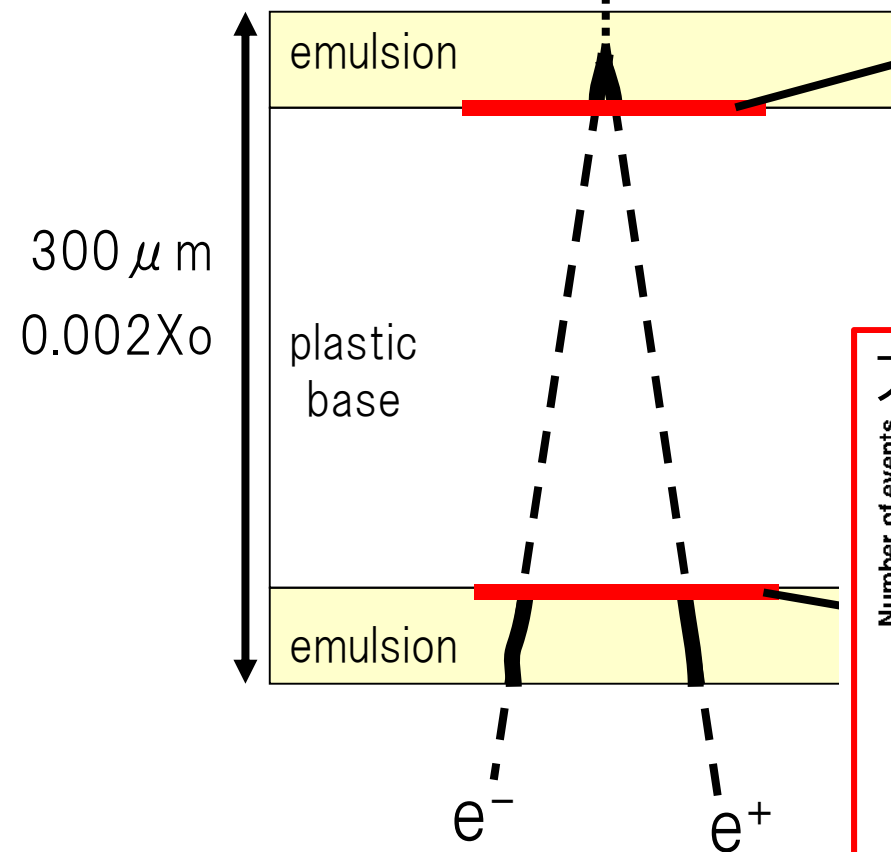
- **3flights** (41.7m²days)
- >1GeV
- Smearing IR(Spitzer) distribution
with 0.08deg(1.4mrad)
- Considering atmospheric gamma-ray(>1GeV) as BG

Source sensitivity

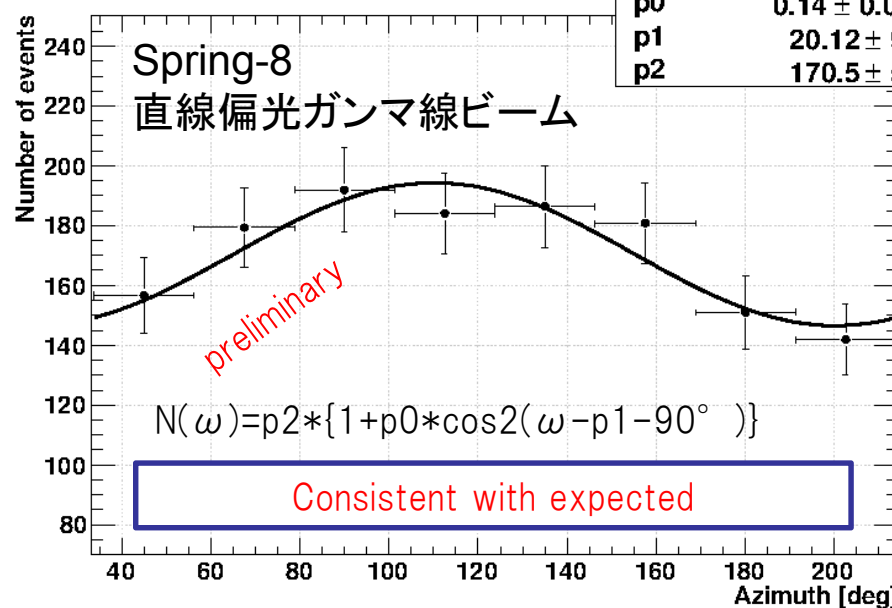


偏光測定

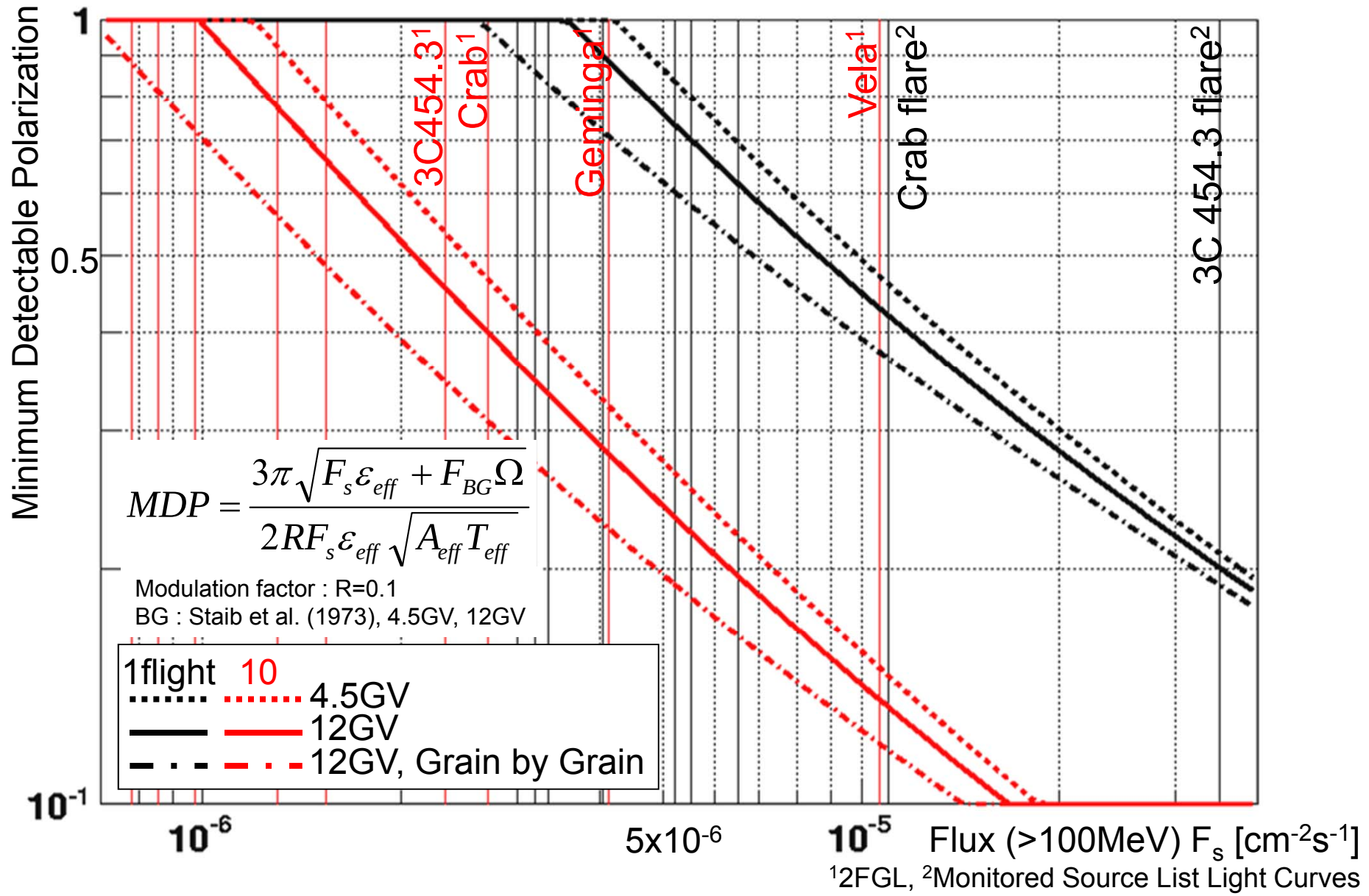
Cross-sectional view of Emulsion Film



方位角分布



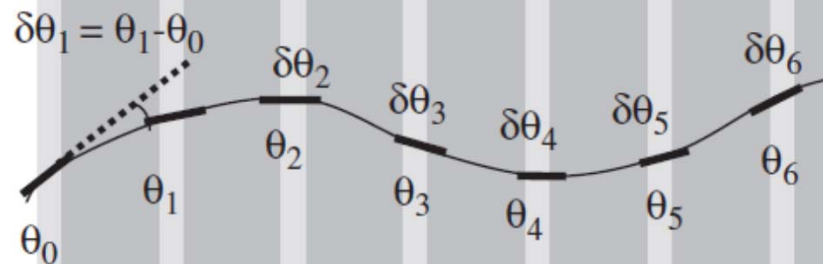
Polarization sensitivity



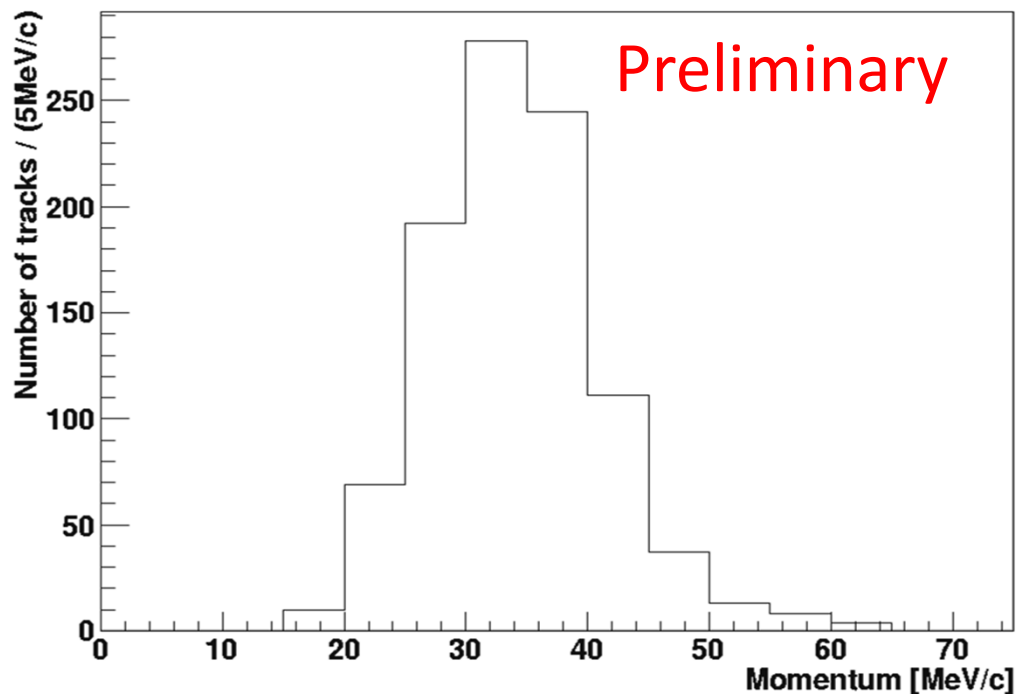
Momentum Measurement by MCS

$$(\delta\theta)_{RMS} = \frac{13.6\text{MeV}}{\beta cp} \sqrt{x/X_0} [1 + 0.038 \ln(x/X_0)]$$

Angular Method



Test with Electron LINAC Beam @ Tokai vil.



Reconstructed momentum
 $35.2^{+6.5}_{-7.4}$ [MeV/c]
 (preliminary)

Absolute: 1.8% (34.6 MeV/c @ incident)

Relative: 20% (15 films)

→ 14% @ $E_\gamma = 70$ MeV (even case)

→ 20% @ $E_\gamma = 35$ MeV (uneven case)

GRAINE

Gamma-Ray Astro-Imager with Nuclear Emulsion

Converter

Emulsion + Copper foil

Timestamper

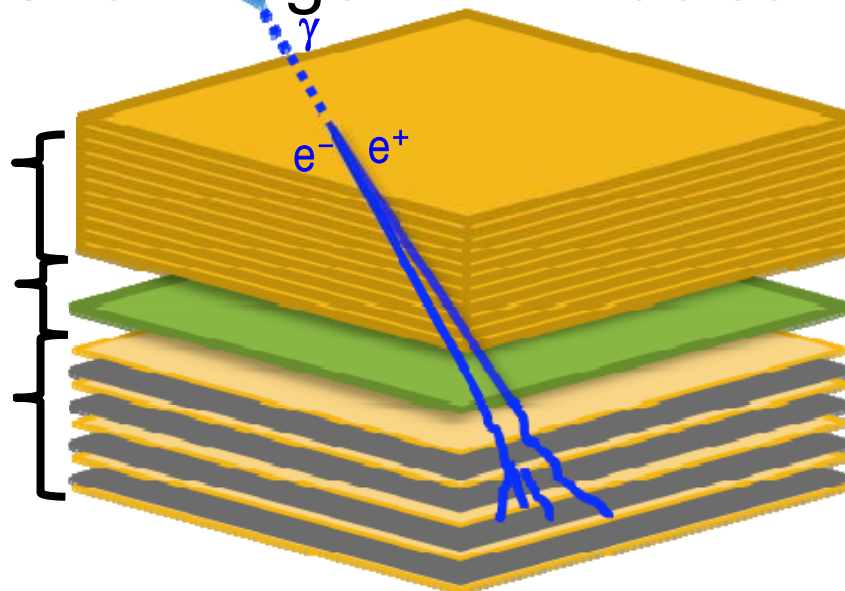
Multi-stage shifter

Calorimeter

Emulsion + metal plate

Attitude monitor

Star camera



$\times 10\text{m}^2 \cdot \epsilon_{\text{trans}} \cdot \epsilon_{\text{conv}} \cdot \epsilon_{\text{det}}$

	Fermi LAT		GRAINE
Angular resolution @100MeV	6.0deg (105mrad)	$\xrightarrow{\times 1/6}$	1.0deg (17mrad)
@1GeV	0.90deg (16mrad)	$\xrightarrow{\times 1/9}$	0.1deg (1.7mrad)
Energy range	20MeV – 300GeV		10MeV – 100GeV
Polarization sensitivity	No		Yes
Effective area @ 100MeV	0.25m ²	$\xrightarrow{\times 8}$	2.1m ² *
@ 1GeV	0.88m ²	$\xrightarrow{\times 3}$	2.8m ² *
Dead time	26.5 μ sec (readout time)		Dead time free

GRAINE ロードマップ

- 2011年6月8日, 大樹航空宇宙実験場(北海道), JAXA大気球実験
口径面積: 12.5cm x 10cm, フライト時間: 4.3時間 (1.6時間@35km)
 - 各構成要素の動作・性能実証、及び連動実証
 - 大気ガンマ線の実測

- 2014年度(予定), アリススプリングス(豪), JAXA国際大気球実験
口径面積: 3600cm², フライト時間: 1日
 - 既知のガンマ線天体の観測試験
 - 最高解像度での撮像

- 2015年度-
口径面積: 10m², フライト時間: 7日間
 - 科学観測開始

フィルム総面積~1500m²/フライト
(=10m²*150films)

JAXA大樹航空宇宙実験場

8th June 2011

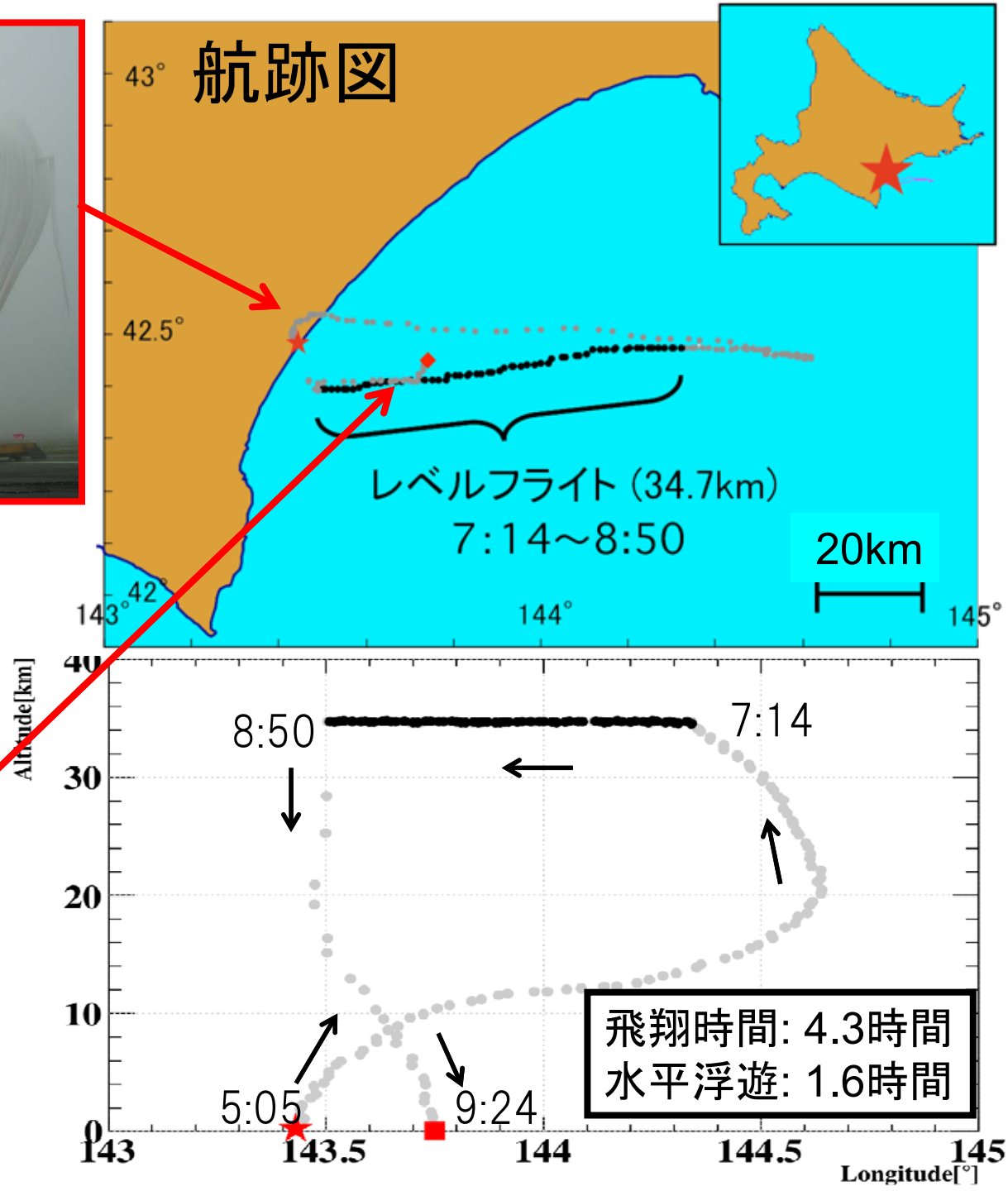
5:05



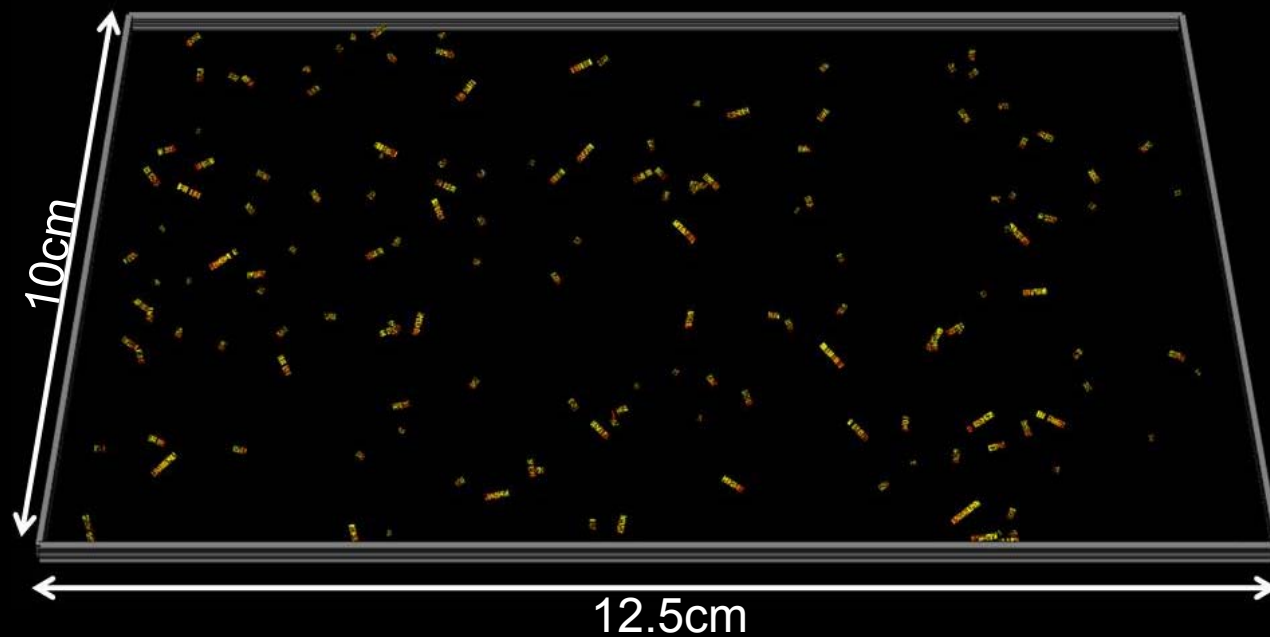
9:36



航跡図

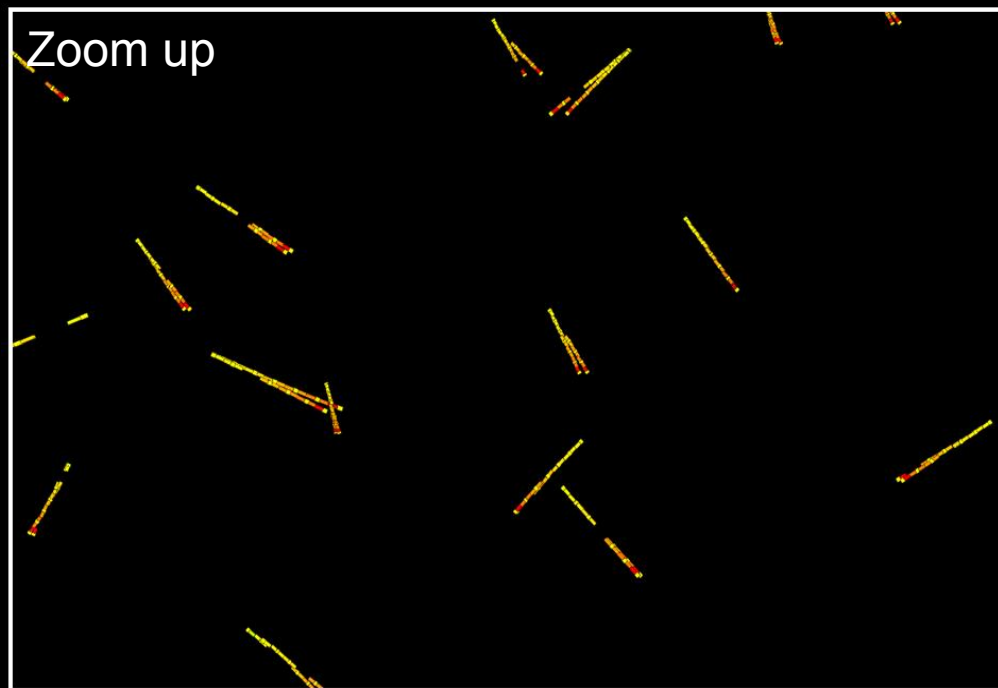


2011年度気球実験 コンバーター



ガンマ線事象検出

- ・低エネルギー閾値 (50MeV)
- ・大角度(± 45 度)
- ・高信頼性(97%)



Event : 71 6923485

Start : #7

θ_{incident} : 9.75 [deg]

$(p\beta)_{\text{left}}$: 60 +20 -12 [MeV/c]

$(p\beta)_{\text{right}}$: 32 + 9 - 6 [MeV/c]

E_{γ} : 92 +22 -13 [MeV]
(+24% -14%)

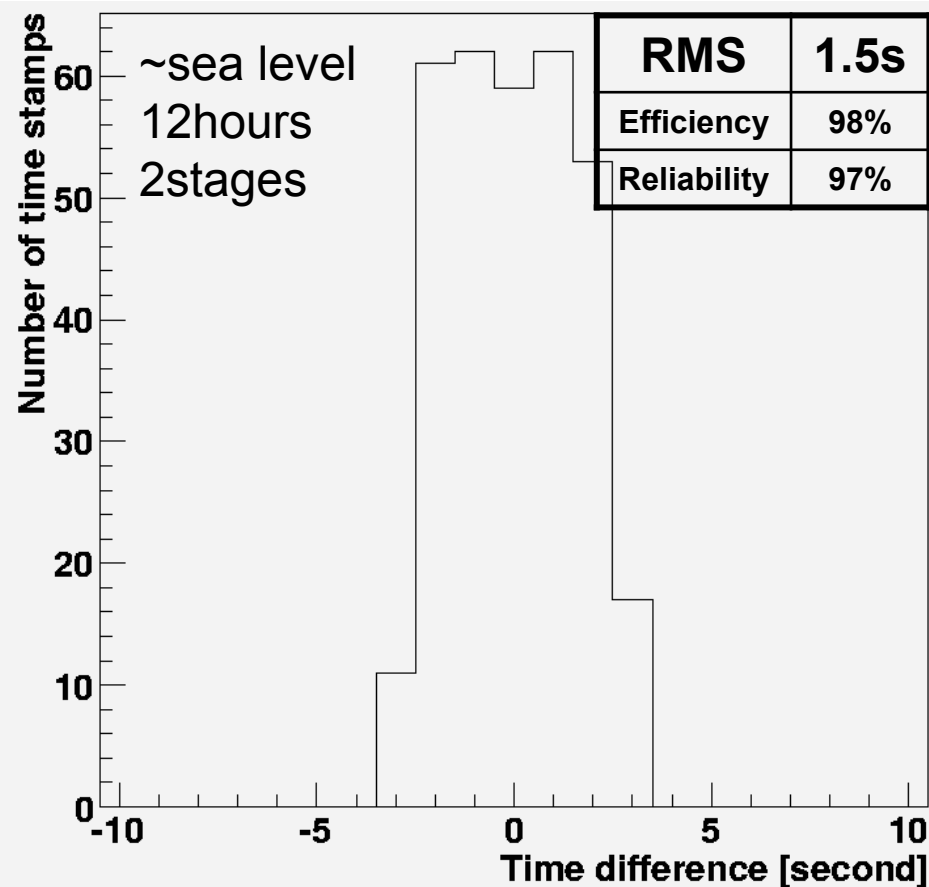
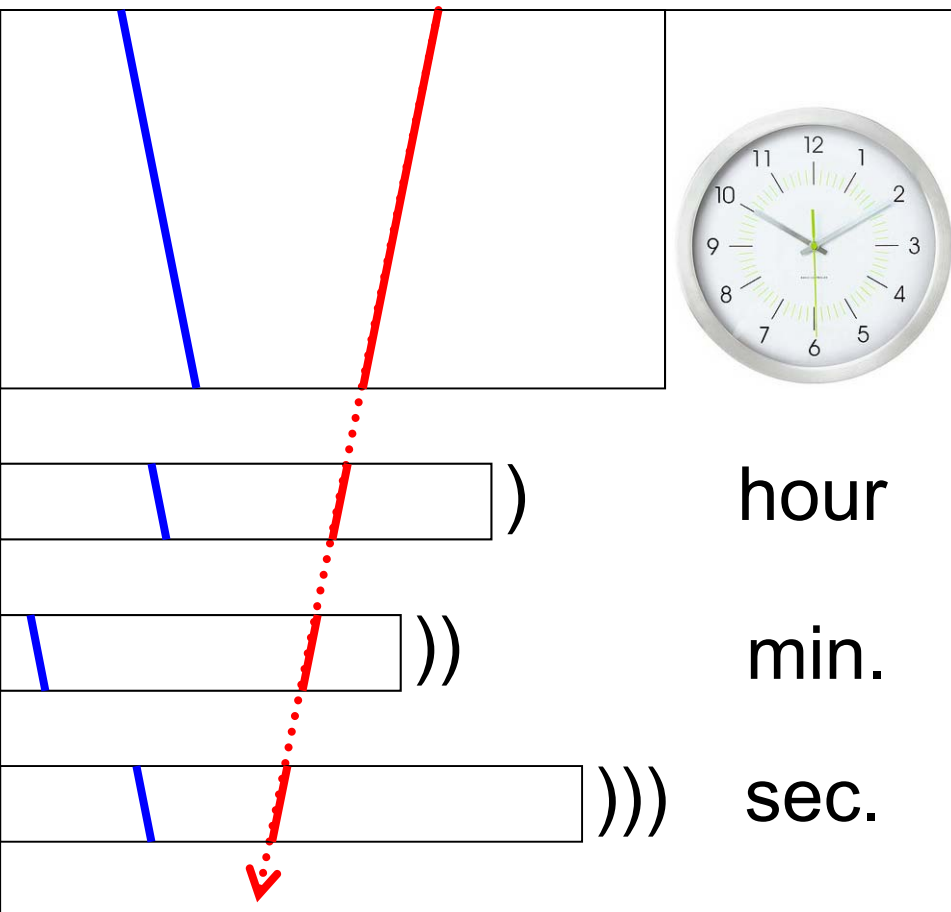
77 μ m

3150 μ m

#7

#1

多段シフター



S.Takahashi et al., Nucl. Instr. And Meth. A, 620 (2010) 192-195

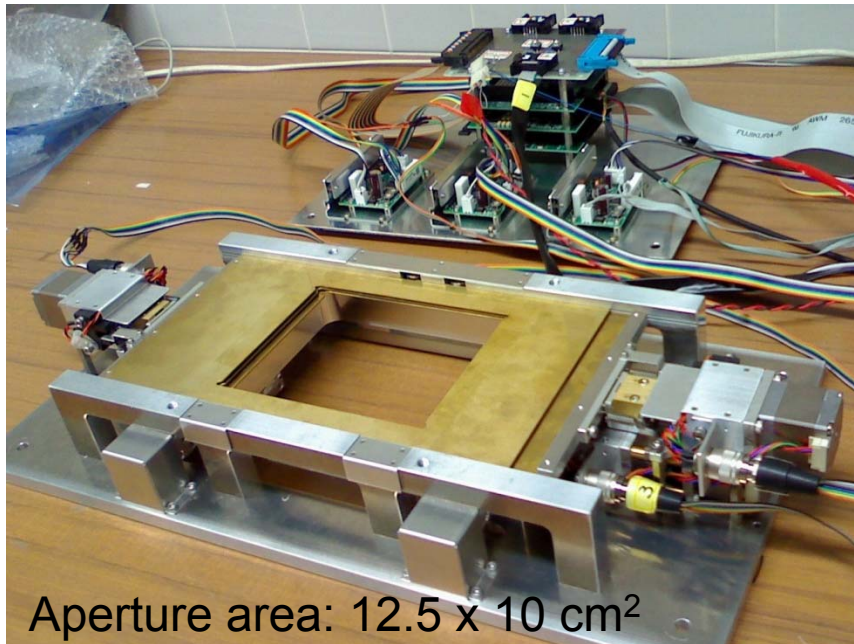
少ない物質質量、高い位置・角度分解能をもつエマルシオンフィルムから構成
 →低運動量閾値、高信頼性、高効率、大面積化可能
 シンプルな構成、コンパクト、軽量、高電圧不要、低消費電力、デッドタイムフリー

Establishment of timestamp technique

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

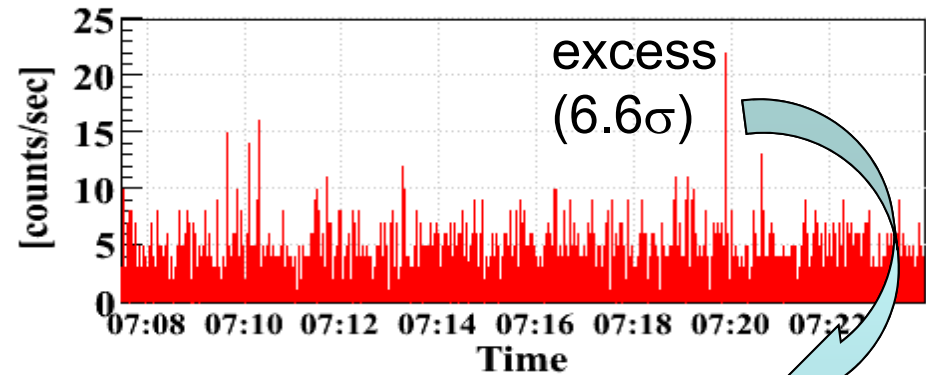
@GRAINE2011

“Multi-stage shifter” 1st model

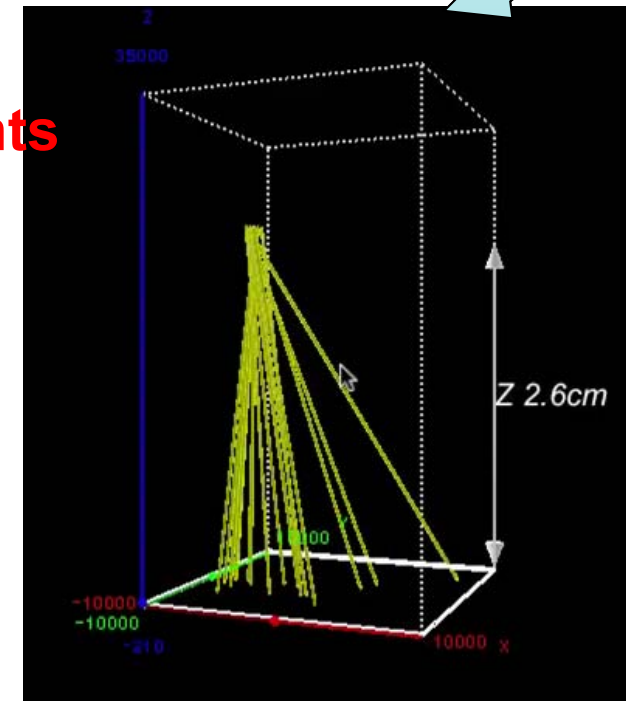


Aperture area: 12.5 x 10 cm²

Track rate measurement@35km



Detection of hadron events

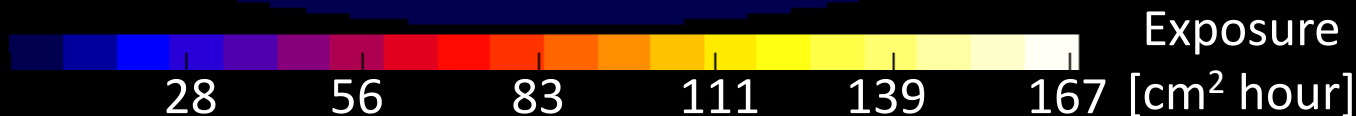
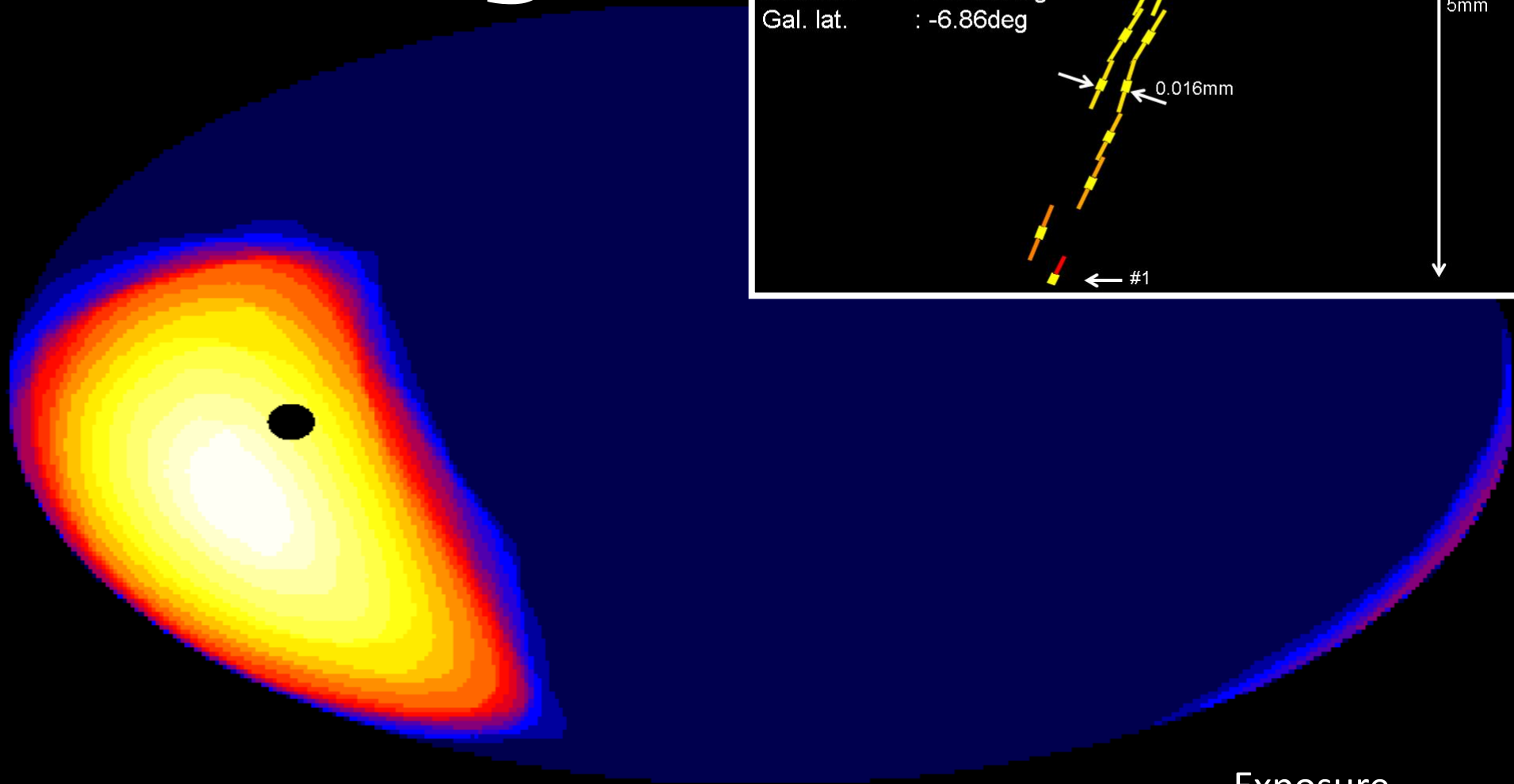
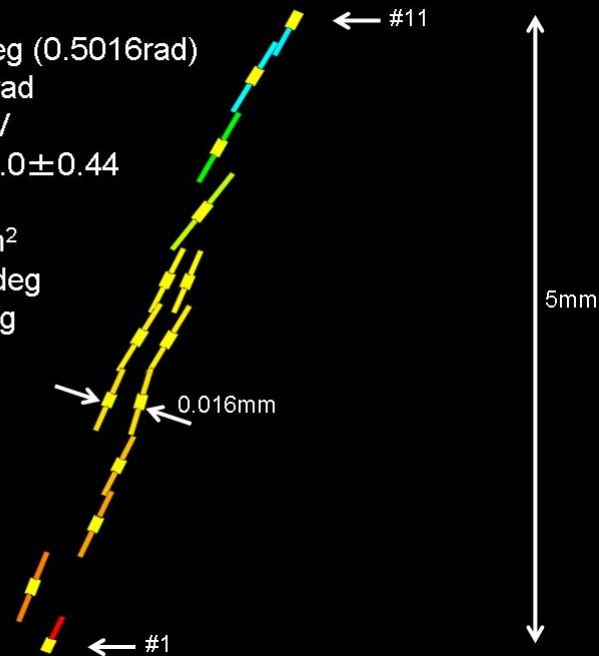


- Correct operation during whole observation time
- Giving time info. to all penetrating tracks
- Detection of hadron shower tracks by timing and 3-D spatial analysis
- Time resolution: 0.15 sec

GRAINE

First Light

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



Hadron induced event

E_v : 2438038

E_γ : 45+33-10[MeV]

θ_γ : 46.61[deg]

7:18:34.5 (JST)

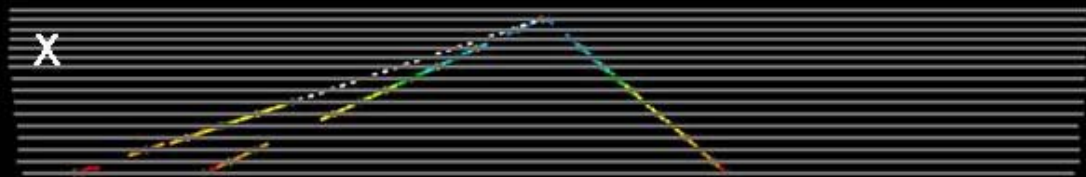
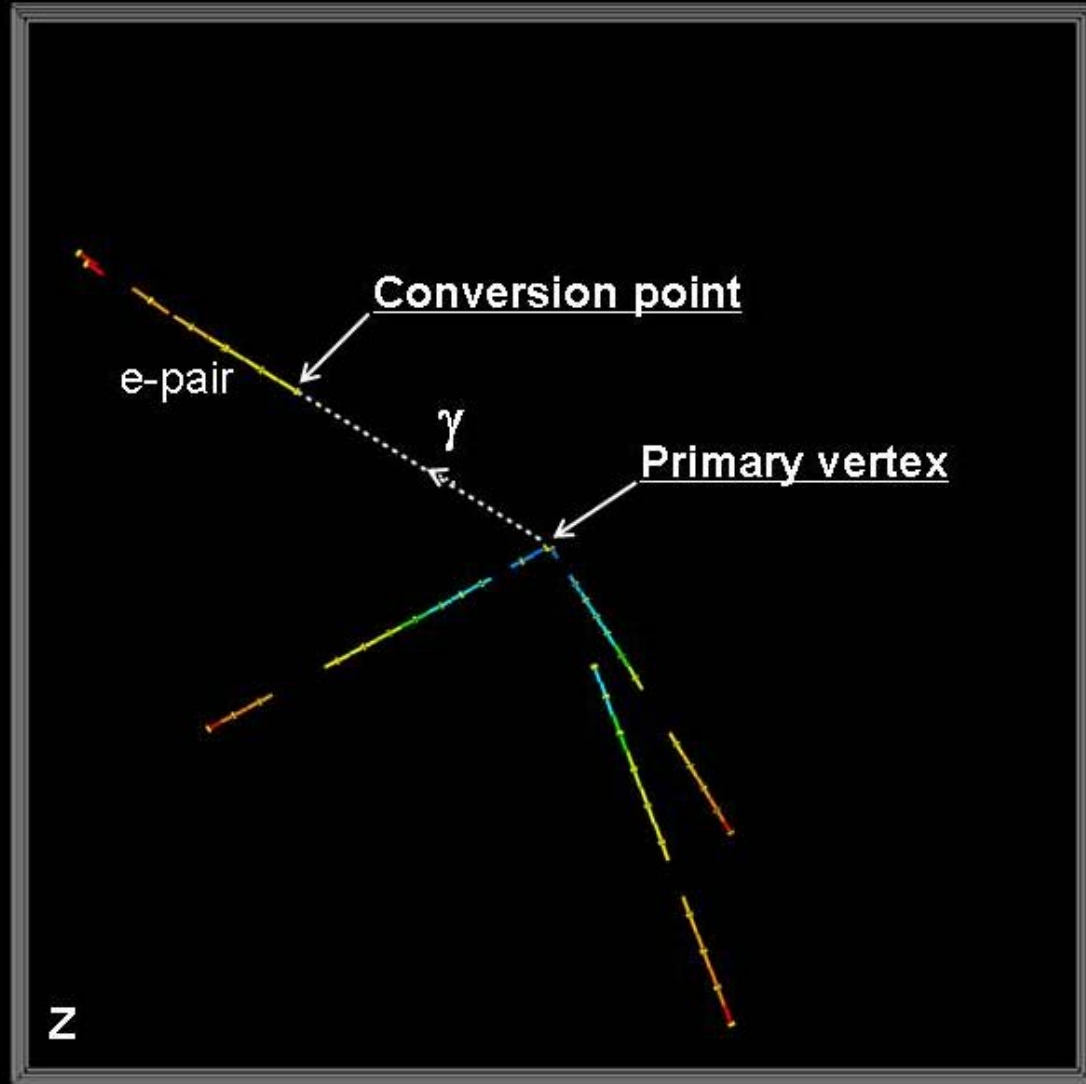
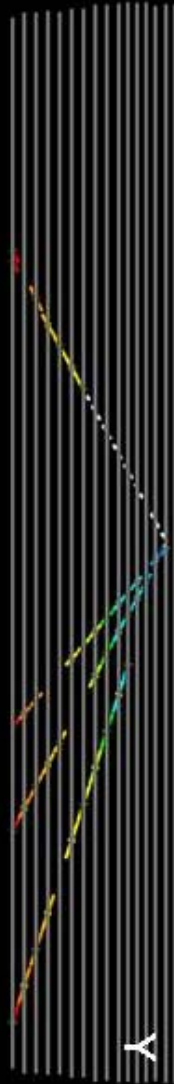
$\Delta t = \pm 0.5s$

Convergence

1.2cm x 1.2cm
x 16films

Pointing accuracy

$\Delta\theta_{\text{space}}$: 0.65deg
(0.0114rad)



GRAINE ロードマップ

- 2011年6月8日, 大樹航空宇宙実験場(北海道), JAXA大気球実験
口径面積: 12.5cm x 10cm, フライト時間: 4.3時間 (1.6時間@35km)

- 各構成要素の動作・性能実証、及び連動実証
- 大気ガンマ線の実測

OPERAフィルム(一部に 新型原子核乳剤フィルム)

- 2014年度(予定), アリススプリングス(豪), JAXA国際大気球実験

口径面積: 3600cm², フライト時間: 1 日

- 既知のガンマ線天体の観測試験
- 最高解像度での撮像

新型原子核乳剤フィルム を全面的に投入

2014年											
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
	乳剤製造					フィルム塗布	輸送	組立	観測		現像

Emulsion production @Nagoya Univ.

Fuji Janet Co., Ltd., Nagoya Univ.

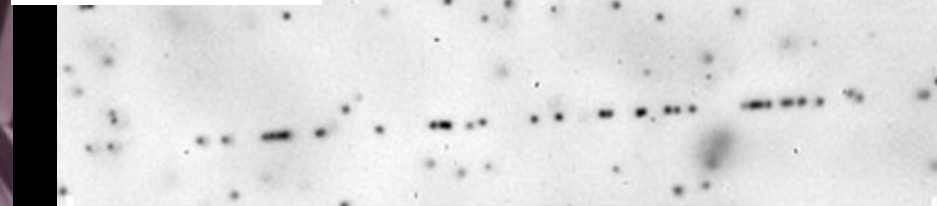
Gelatin1/4, Na type, Fe x 2, MIP (XAA, 20deg, 40min)



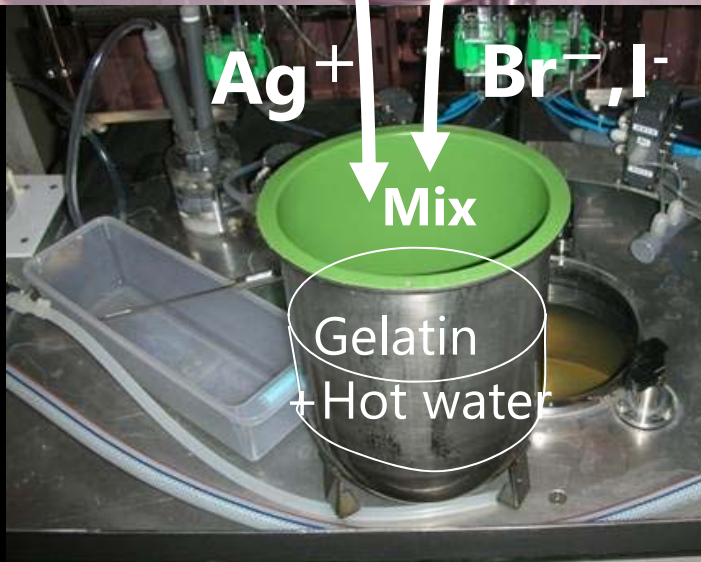
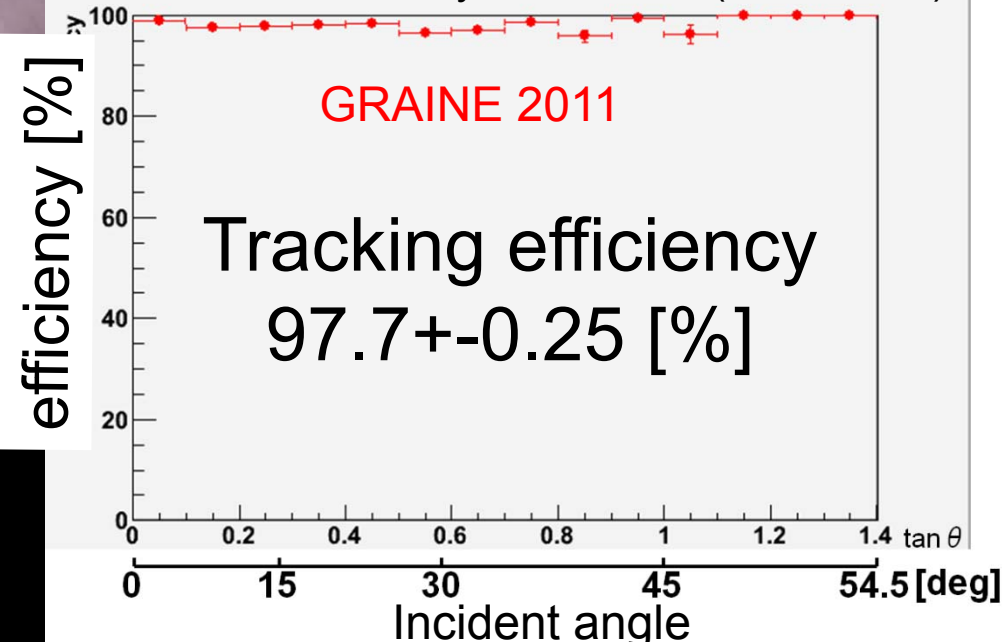
New type



OPERA type



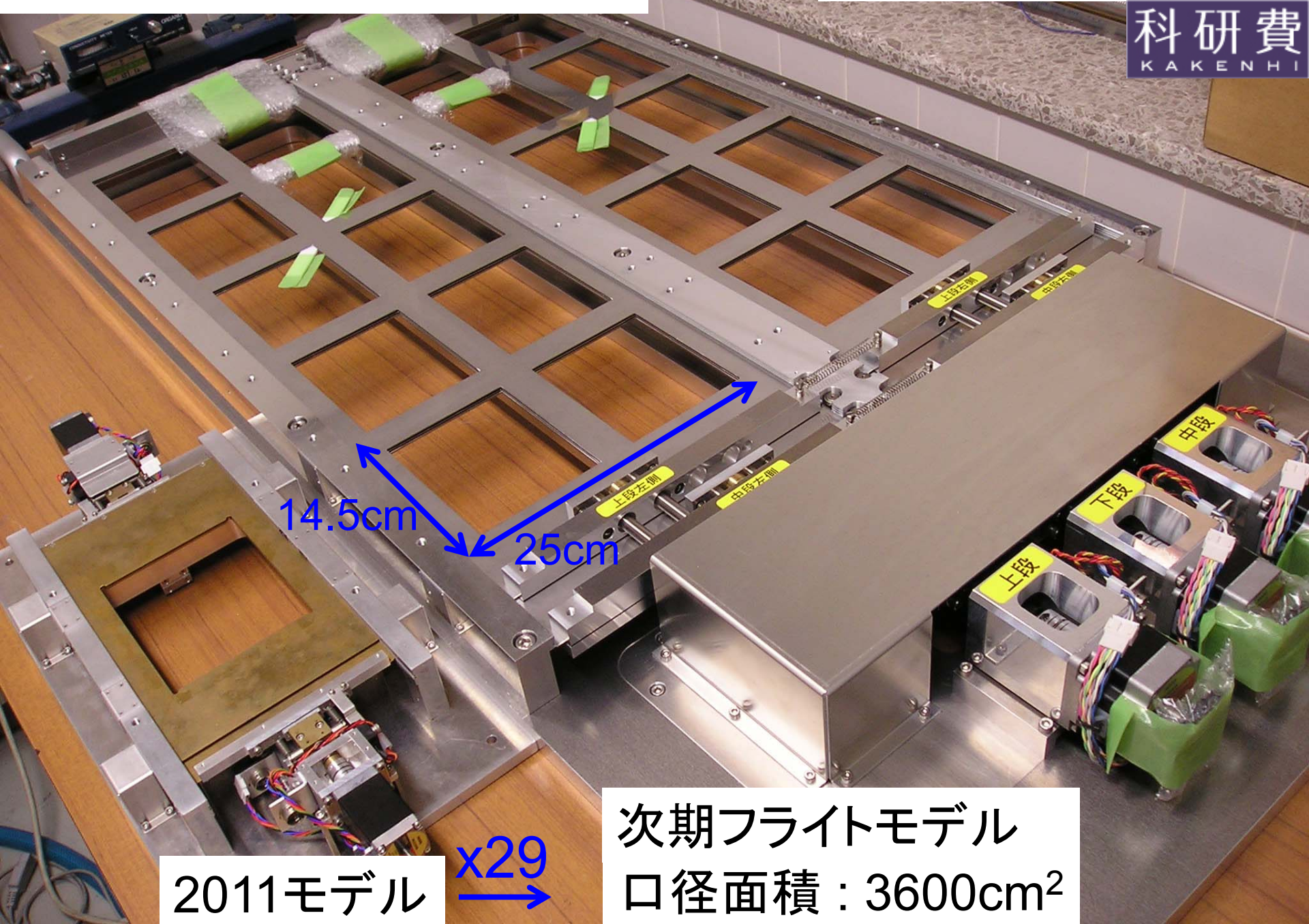
efficiency Evaluated by K. Kamada (Kobe Univ.)



多段シフター フライトモデル

三鷹光器社との共同開発

科研費
KAKENHI



2011モデル

x29
→

次期フライトモデル
口径面積：3600cm²

天球図

Alice Springs

緯度: $-23^{\circ} 40'$

経度: $133^{\circ} 50'E$

11月15日

5:05(NT)

(-0:30(JST))

望遠鏡視野相当
天頂角45度

東

西

北西

Crab
GemingaPulsar

VelaPulsar

Vela

視野内6.5時間
(1:50-8:20)

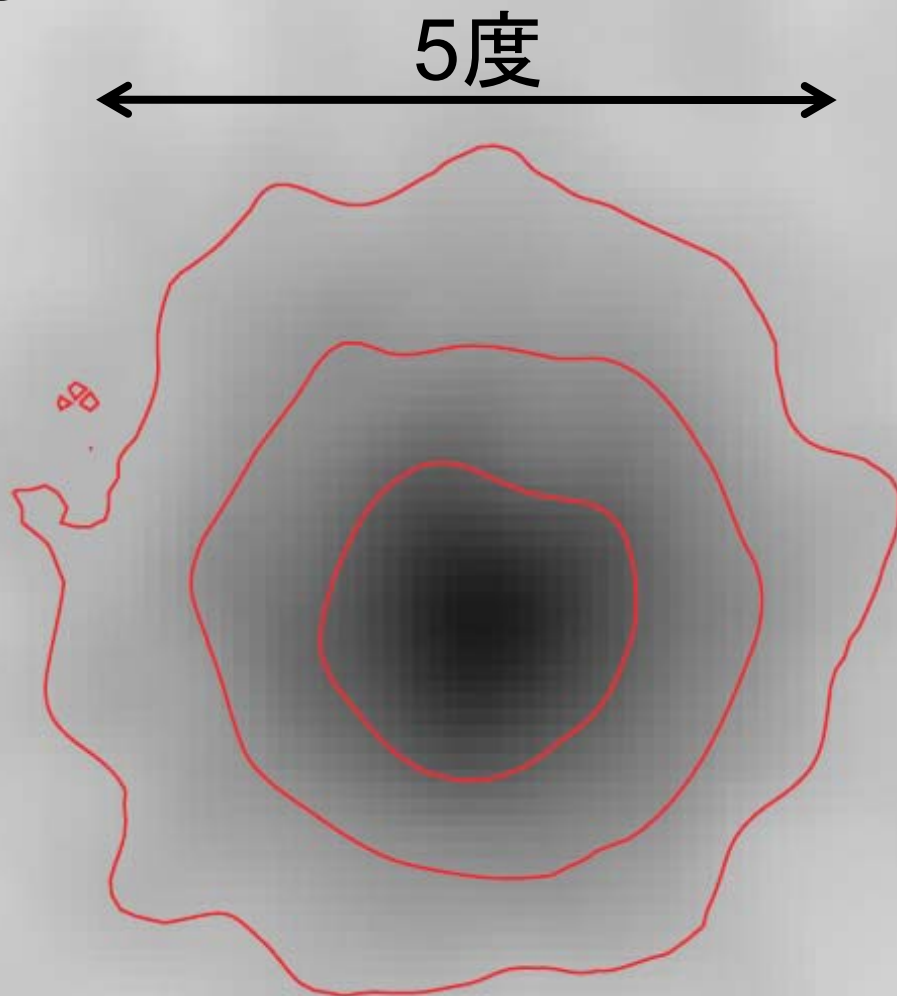
6.5時間の観測により5 σ 以上で検出可能

17h 18h

00h

Vela pulsar

Abdo et al, ApJ, 696, 2009
<300MeV

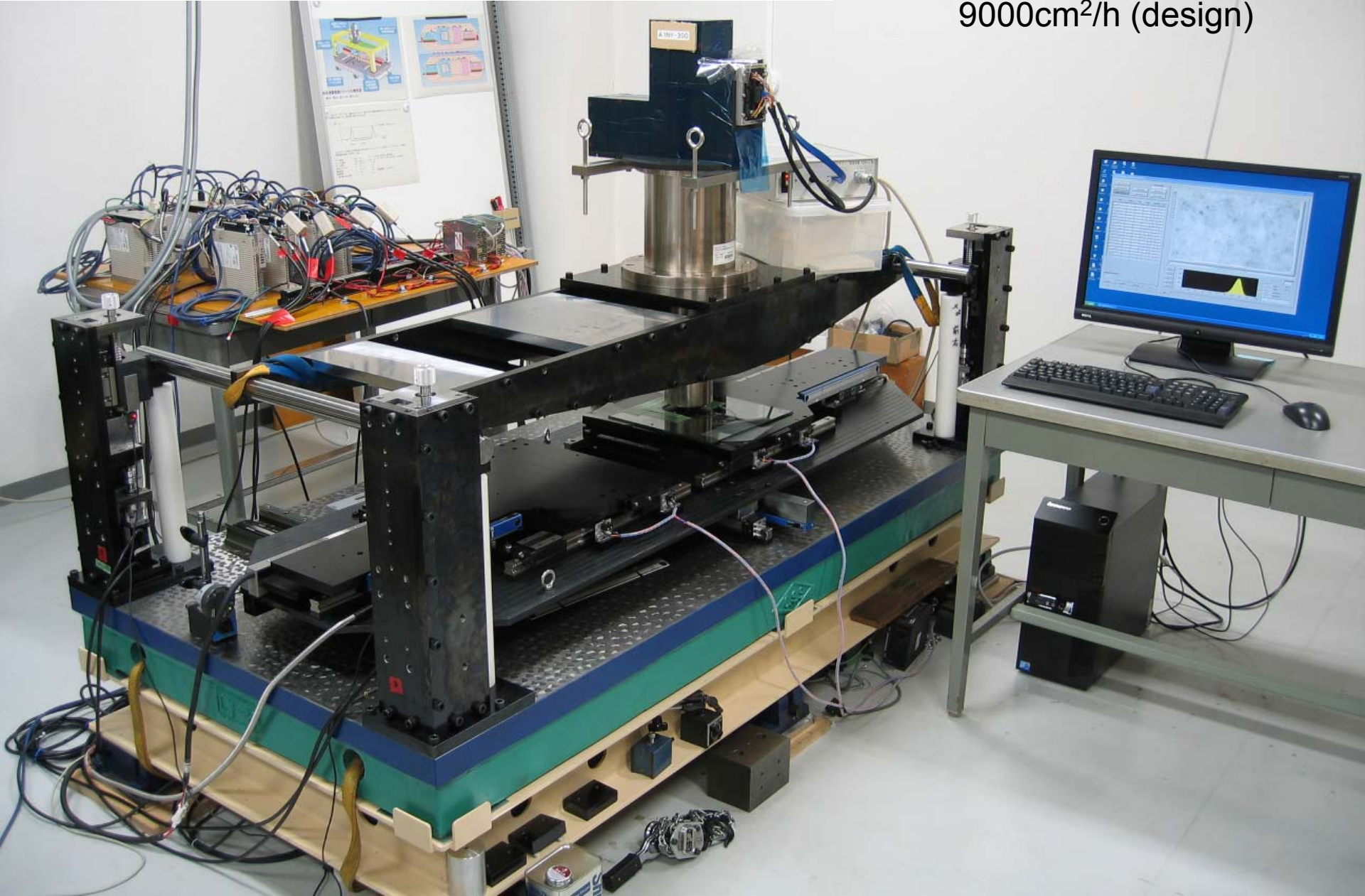


立体角で100倍の高解像度撮像
世界で初めてとなる偏光計測のためのデータ取得
89ミリ秒周期のパルス放射の時間分解

Automated emulsion read-out system (Nagoya Univ.)

Hyper-TS: Next Generation Read-out system

Scanning speed
9000cm²/h (design)



まとめと展望

- 2011年6月8日, 大樹航空宇宙実験場(北海道), JAXA大気球実験
口径面積: $12.5\text{cm} \times 10\text{cm}$, フライト時間: 4.3時間 (1.6時間@35km)
 - 各構成要素の動作・性能実証、及び連動実証
 - 大気ガンマ線の実測

- 2014年度(予定), アリススプリングス(豪), JAXA国際大気球実験
口径面積: 3600cm^2 , フライト時間: 1日
 - 既知のガンマ線天体の観測試験
 - 最高解像度での撮像

- 2015年度-
口径面積: 10m^2 , フライト時間: 7日間
 - 科学観測開始

フィルム総面積~ 1500m^2 /フライト
(= $10\text{m}^2 \times 150\text{films}$)

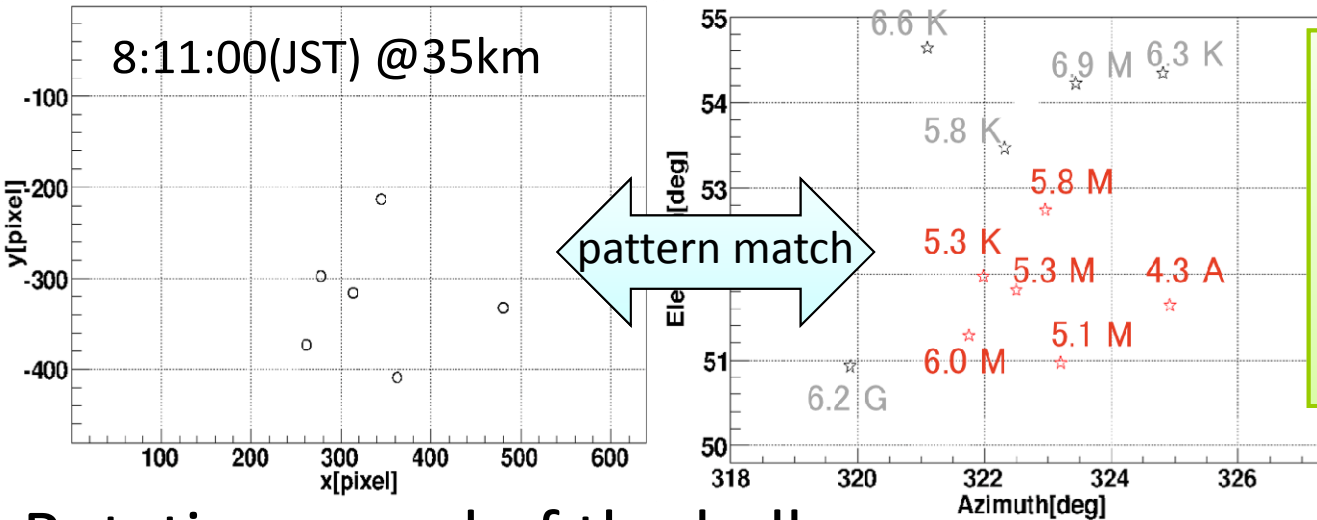
backup

Attitude analysis

K. Ozaki et al.,
Proc. of Balloon Sympto.,
isas12-sbs-022

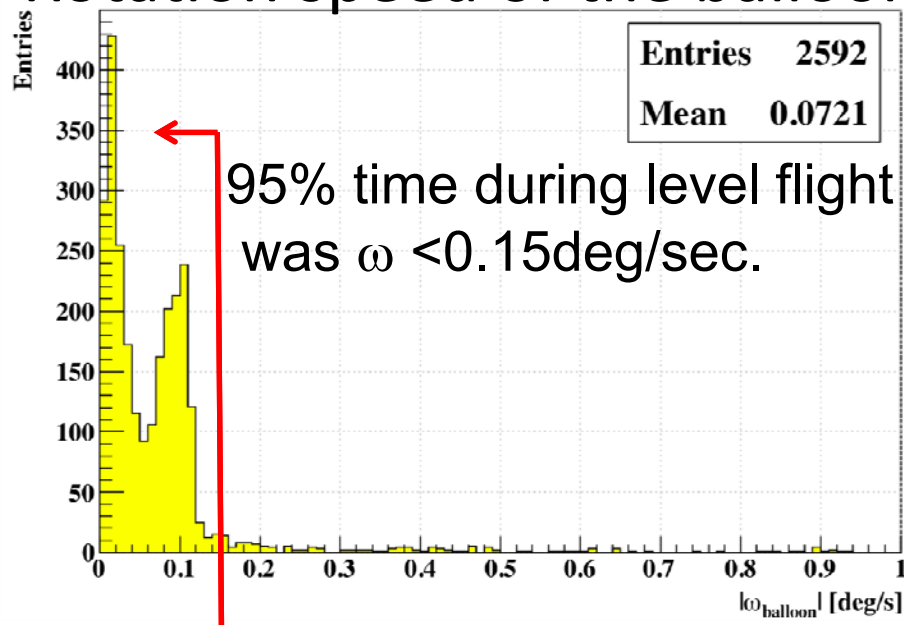
Daytime star camera view

Star catalog data



Working rate: 74 %
Monitoring
accuracy: < mrad
Elevation : 0.09mrad
Azimuth : 0.10mrad

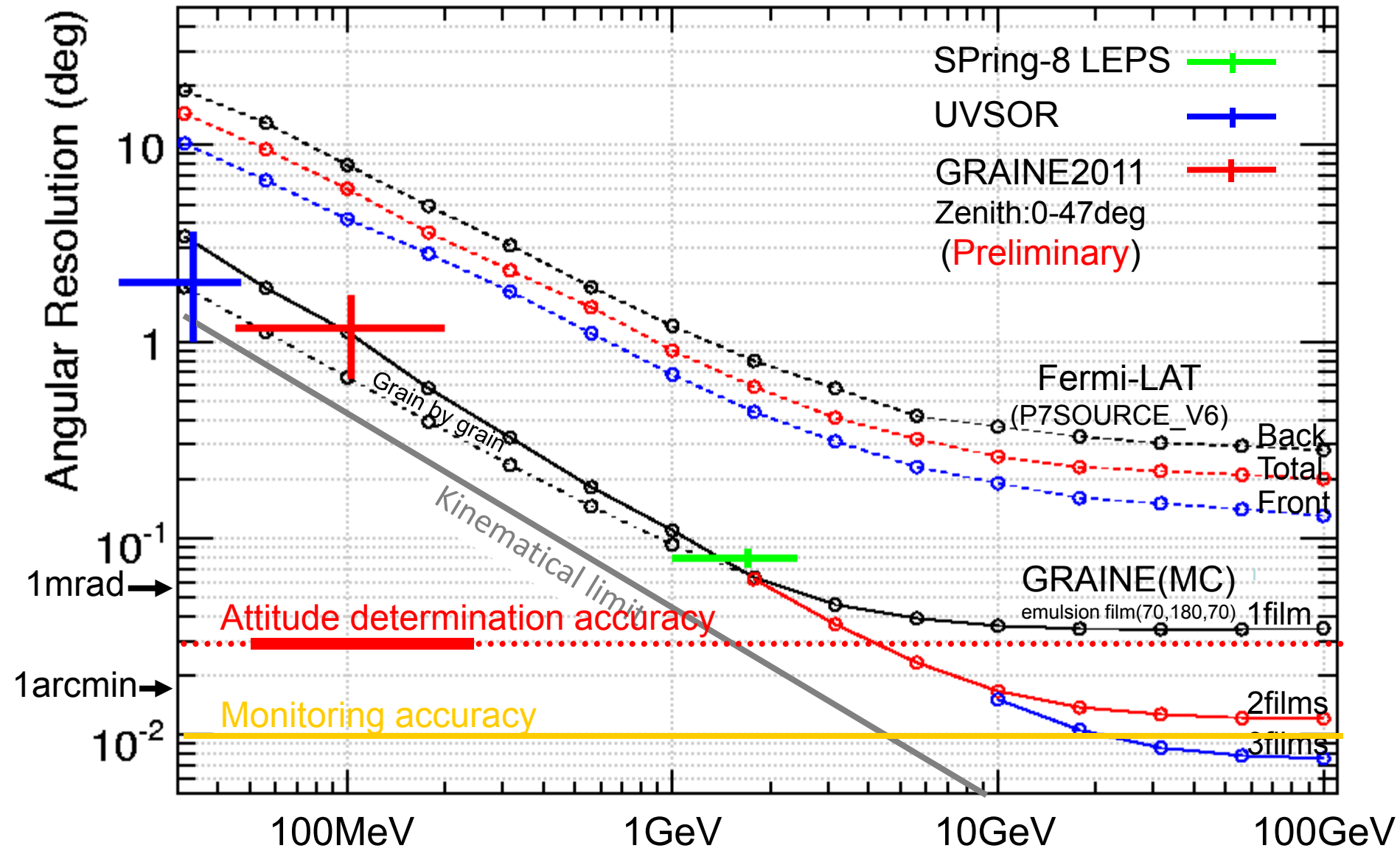
Rotation speed of the balloon



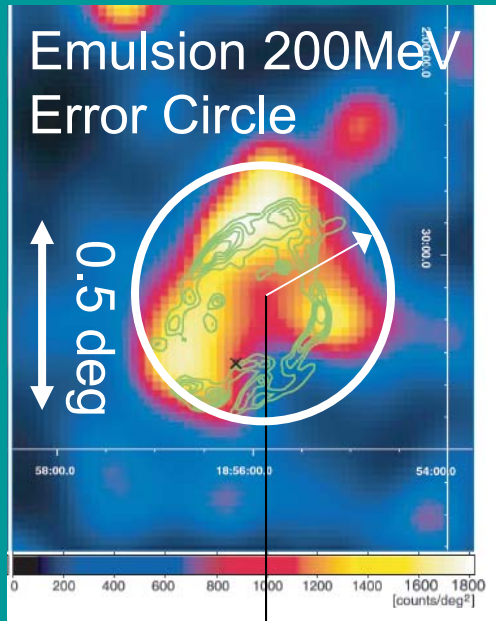
It is important to decide telescope attitude to celestial coordinate better than emulsion angular resolution(0.08deg).

**We confirmed attitude decision accuracy was $< \omega \sigma_t$
 < 0.03 deg.**

Attitude determination accuracy

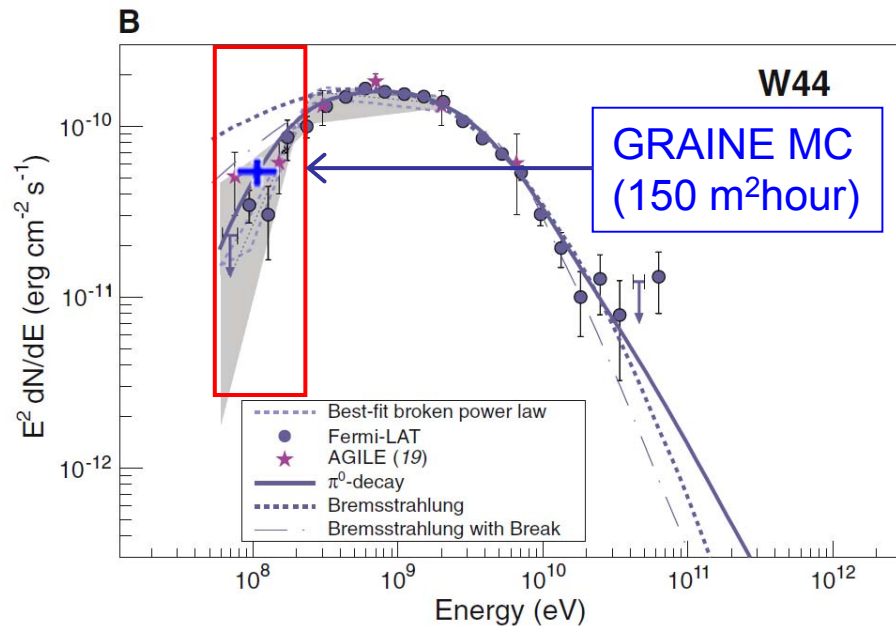


SNR W44



Fermi 200MeV
Error Circle

Spectrum <200MeV important for model selection



M. Ackermann *et al.*
Science **339**, 807 (2013);
DOI: 10.1126/science.1231160