

# GRAINE2018年気球実験の 解析状況

名古屋大学 中村悠哉

他 GRAINE Collaboration

# 自己紹介

・ 中村悠哉 名古屋大学(F研)D1

○F研の研究紹介 (明日原子核乾板案内します)

GRAINE( $\gamma$ 線)

ミュオンラジオグラフィ

NINJA(加速器ニュートリノ)

NEWSdm(ダークマター)

その他(超冷中性子,アクシオン)

・ 気球実験のために

2018年2月~5月の3ヶ月間

オーストラリアに滞在

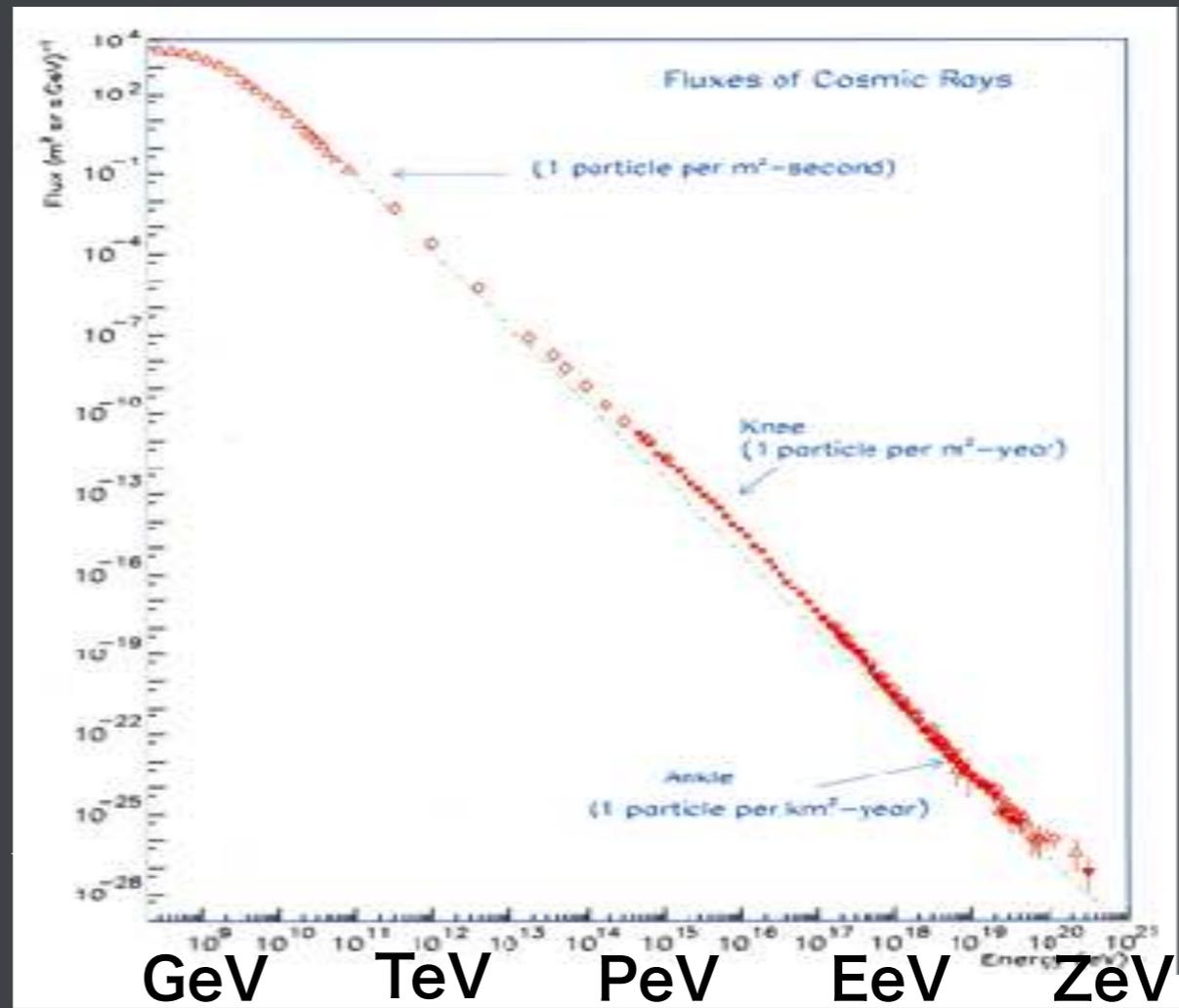
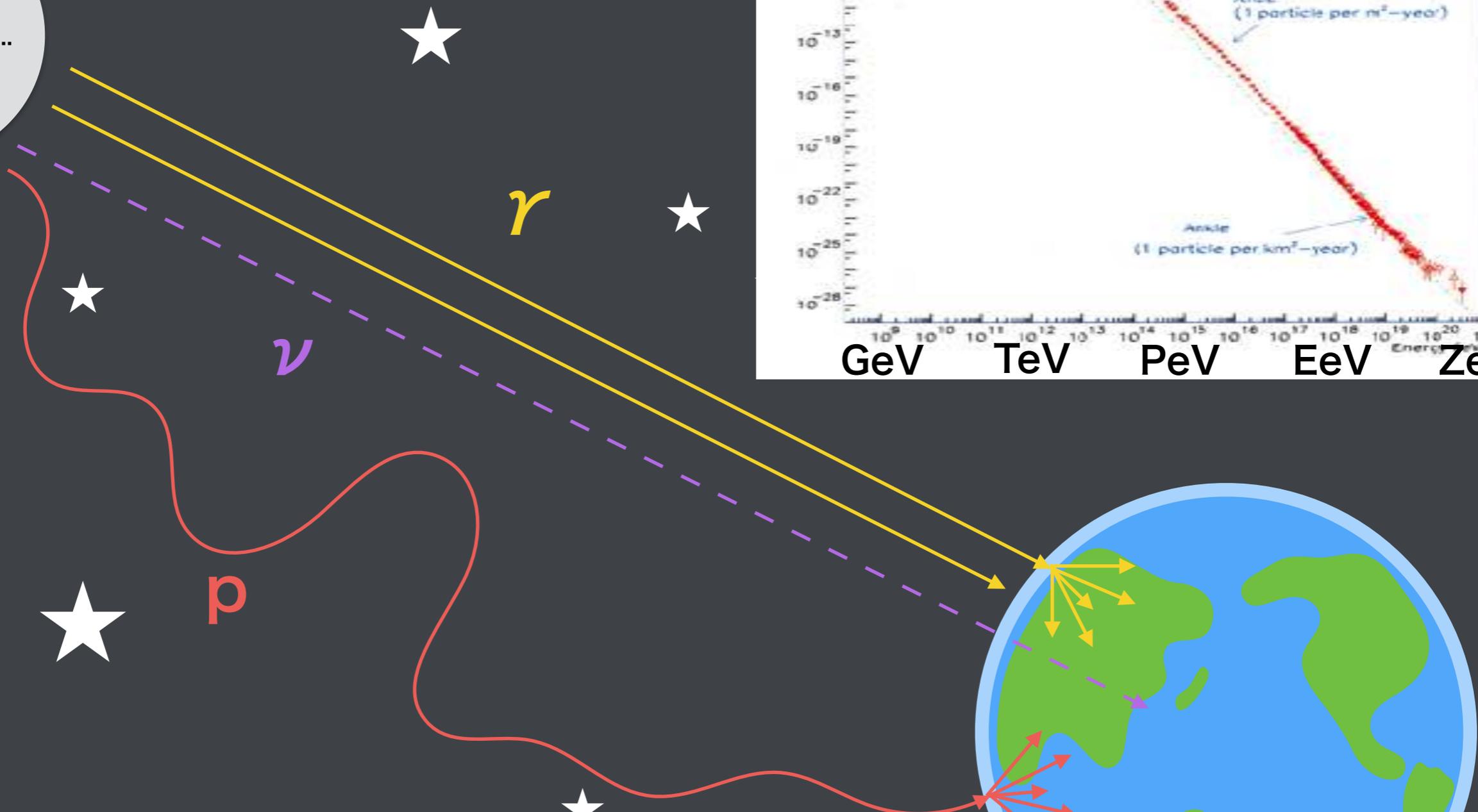
(観光VISAが切れる日に帰国)

・ 趣味：サッカー



@オーストラリア エアーズロック(ウルル)

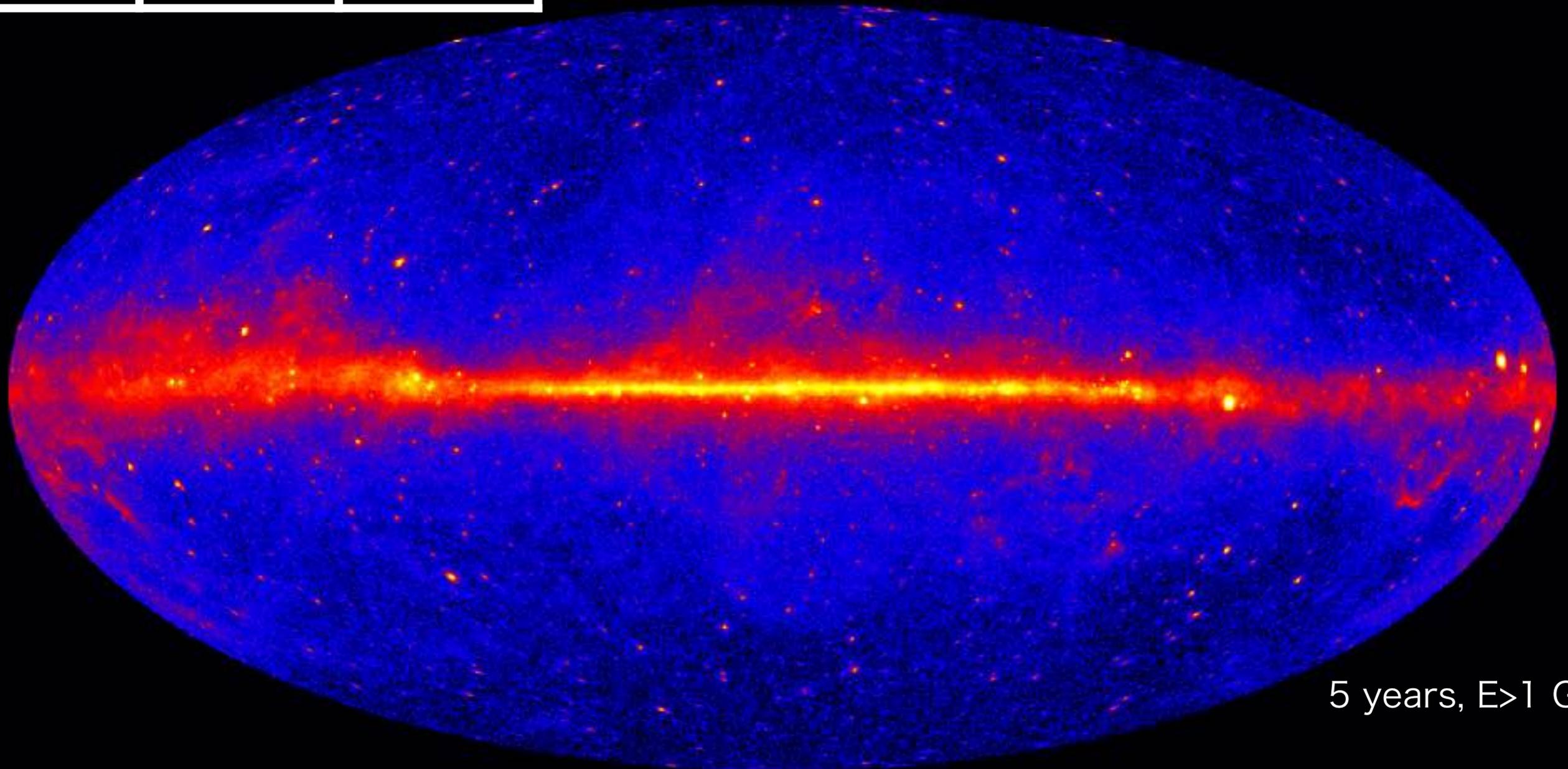
SNR,GRB,AGN...



γ線は宇宙線の起源を探る  
上で重要なプローブとなる

# $\gamma$ 線天文学 (sub-GeV, GeV)

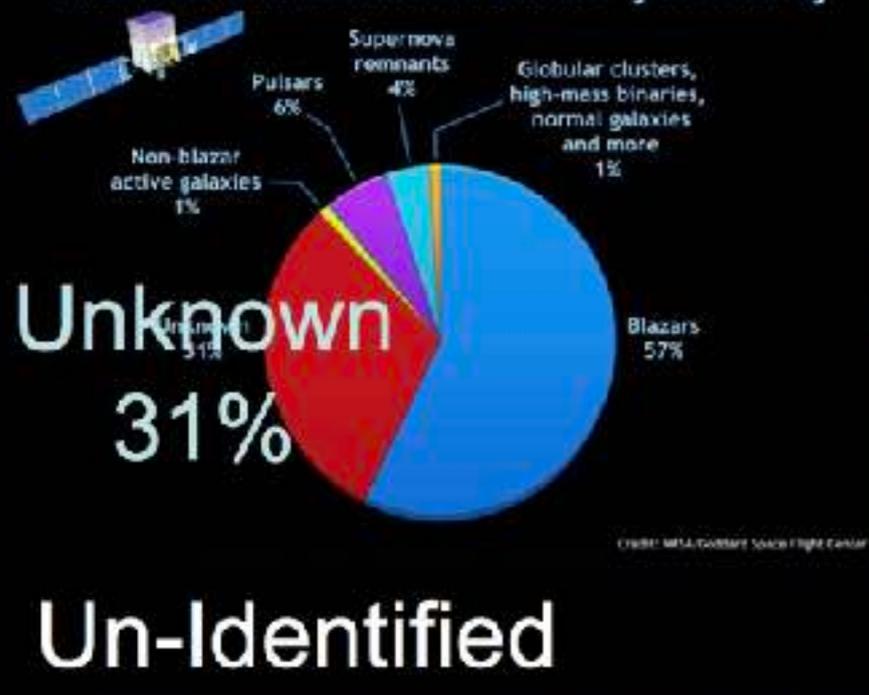
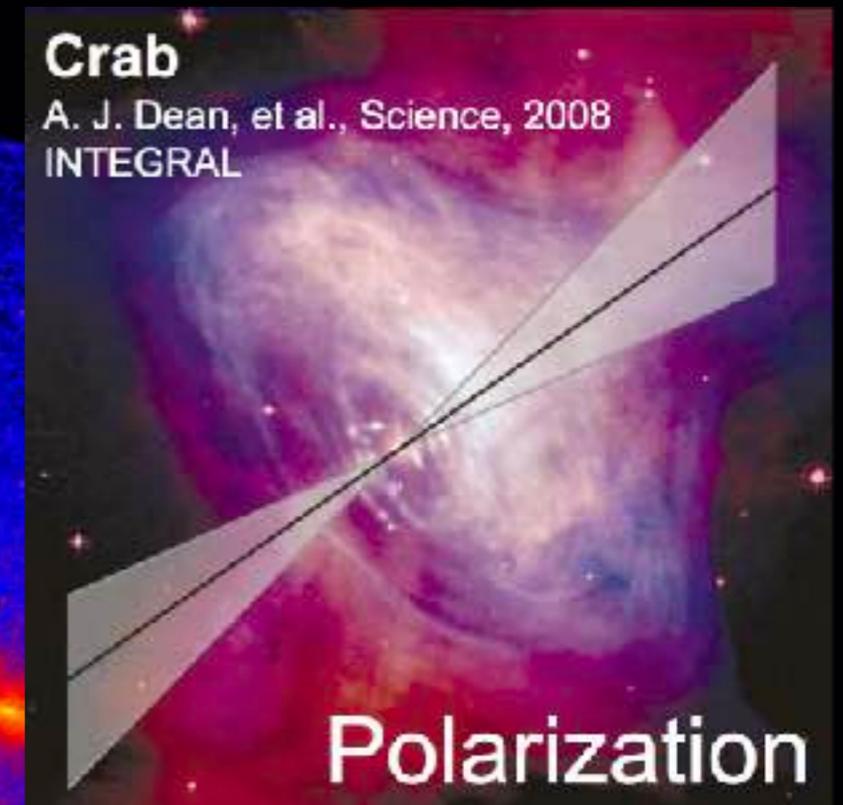
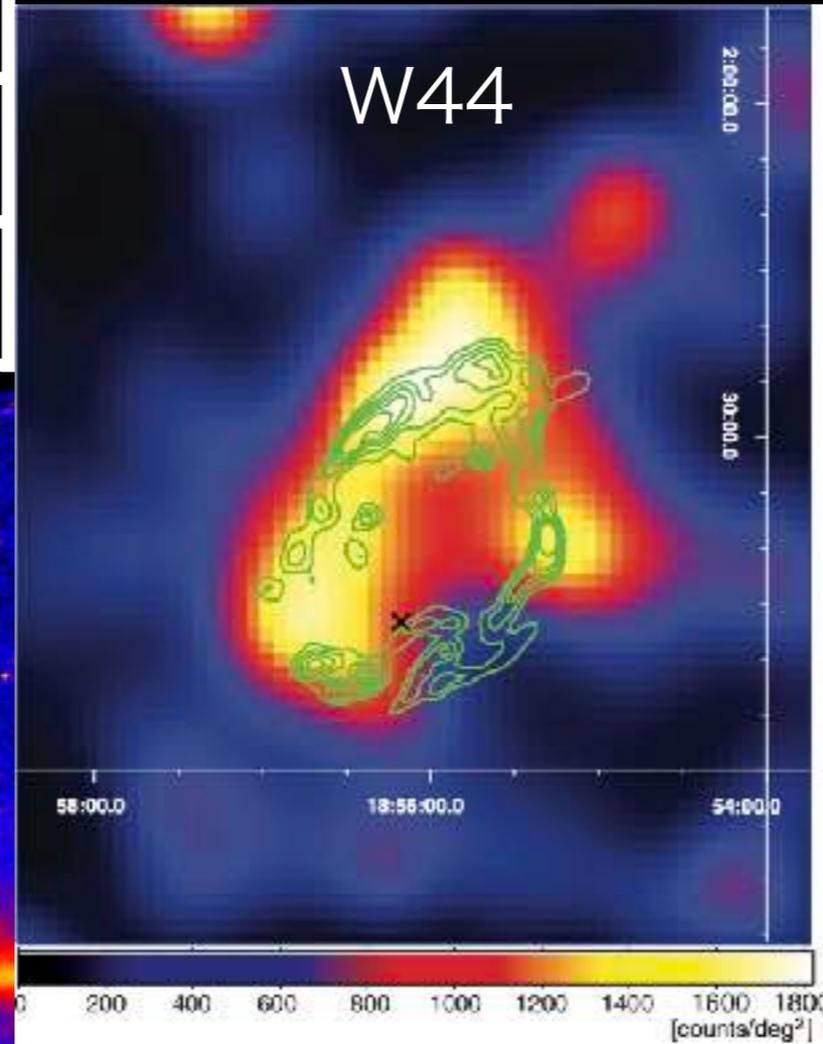
	Telescope	detected sources
1990-2001	EGRET	271
2008-	Fermi-LAT	>5000



5 years,  $E > 1$  GeV

# $\gamma$ 線天文学 (sub-GeV, GeV)

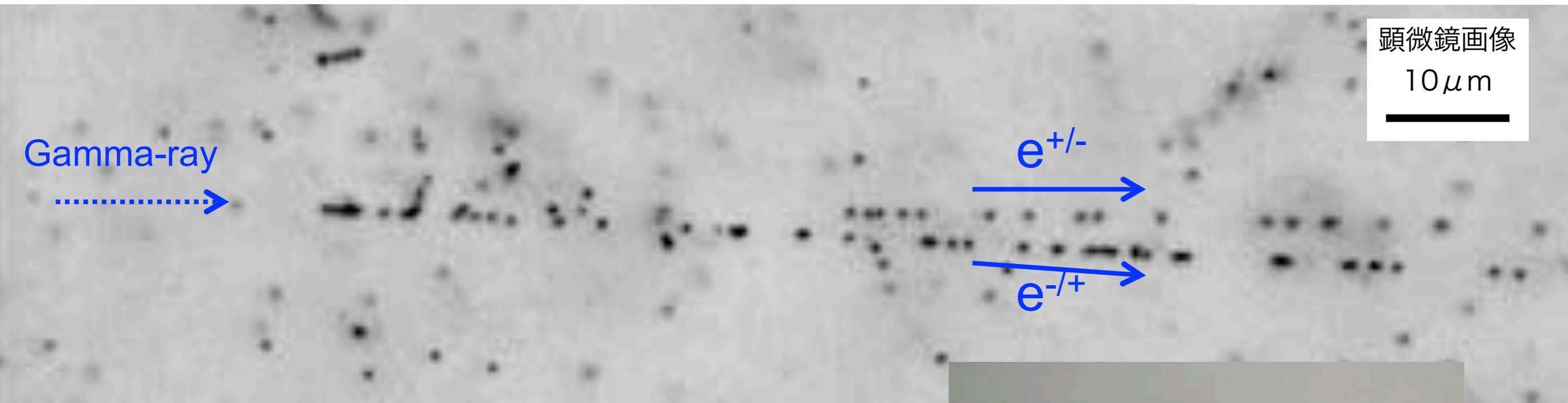
	Telescope	detected sources
1990-2001	EGRET	271
2008-	Fermi-LAT	>5000



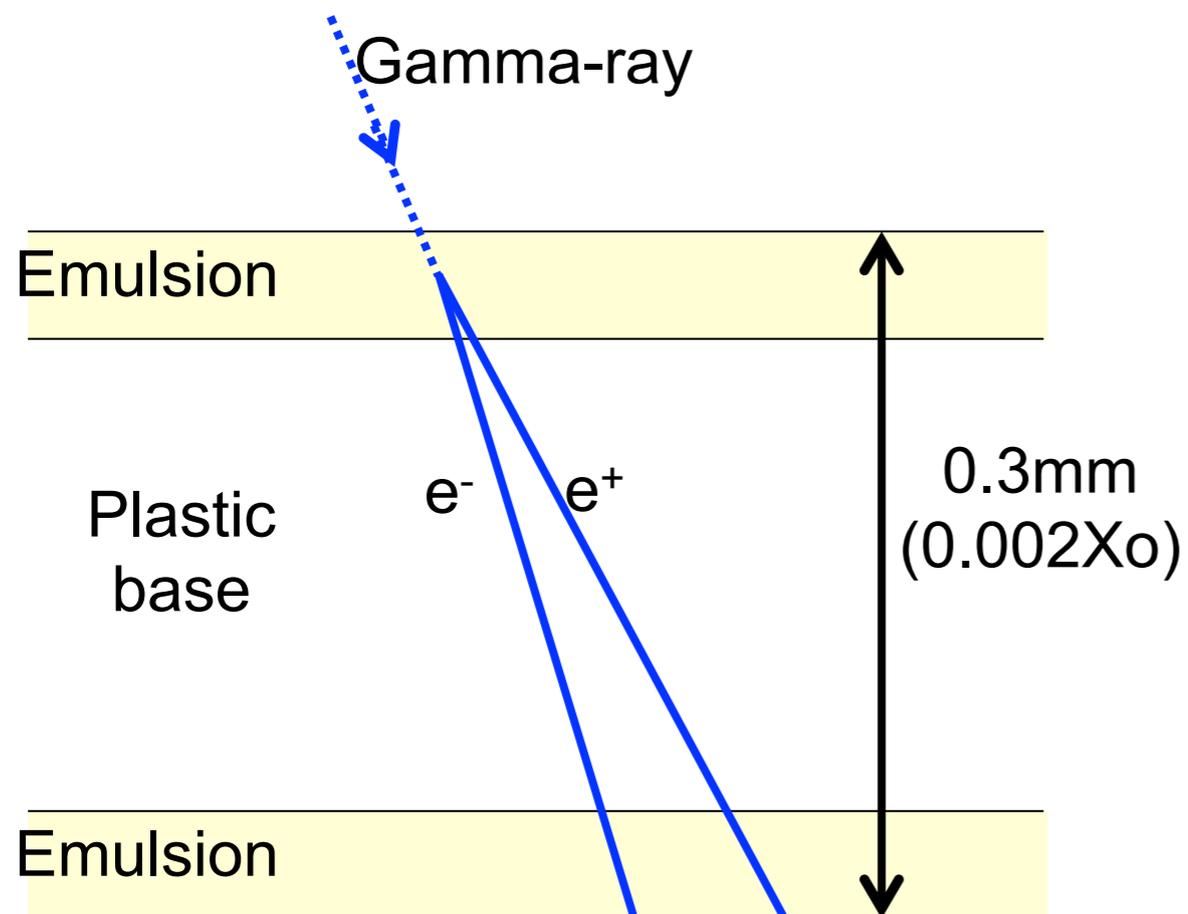
5 years  $E > 1$  GeV

大統計観測から精密観測への転換が必要！！

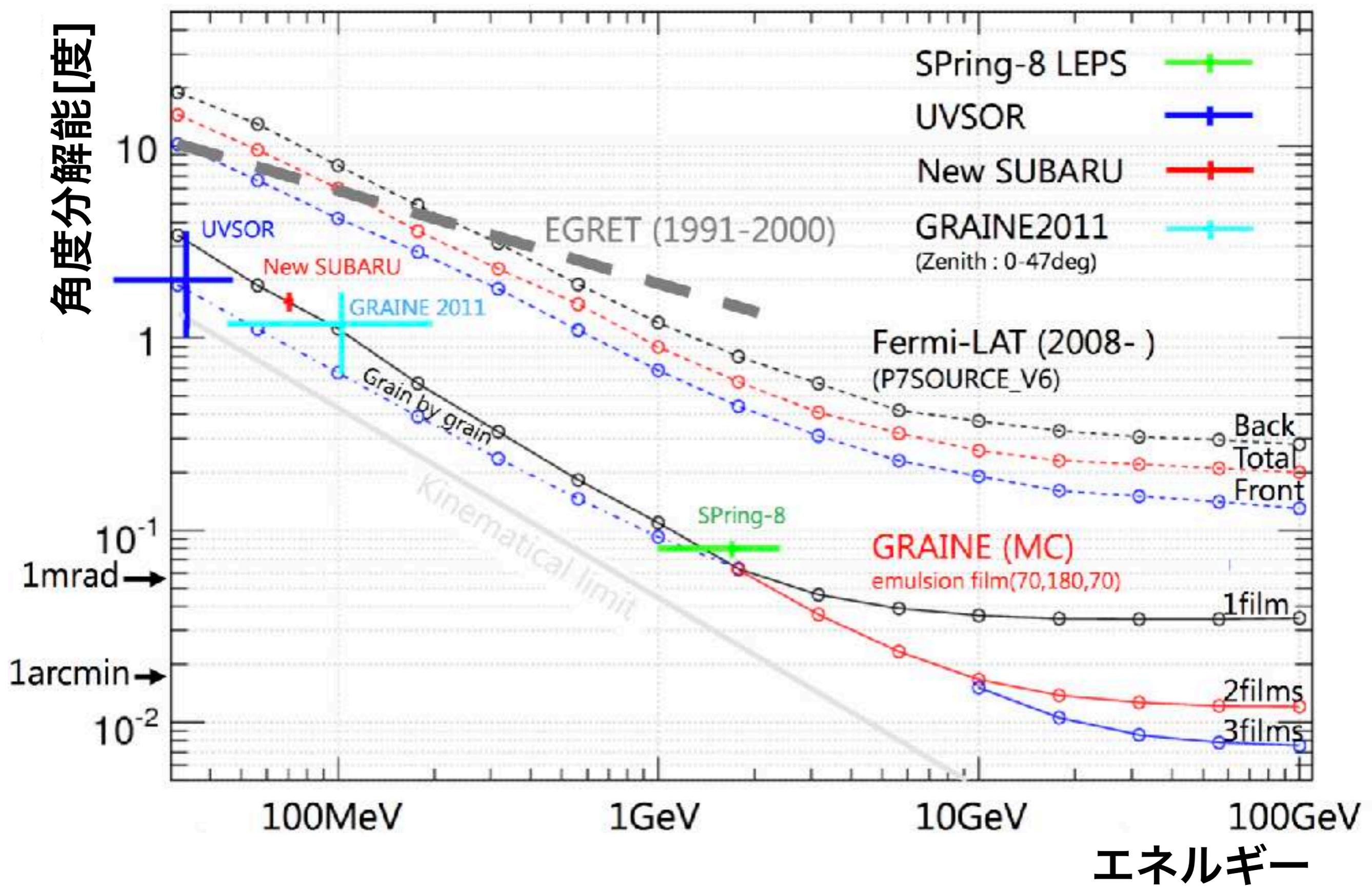
# 原子核乾板(エマルジョンフィルム)



## エマルジョンフィルムの断面図

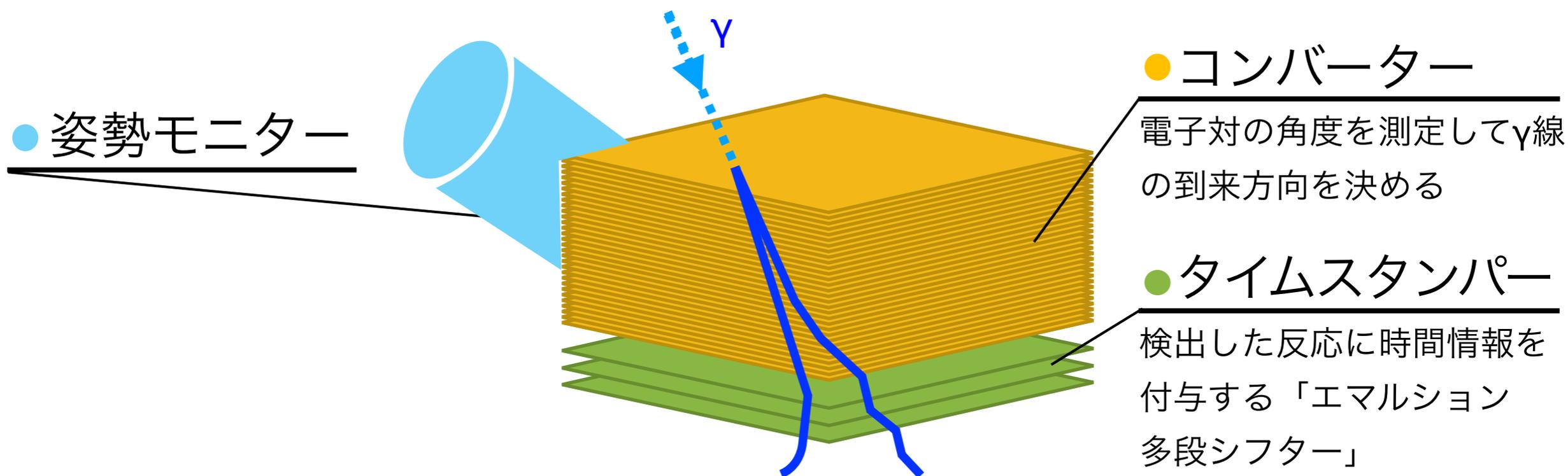


# $\gamma$ 線に対する角度分解能



# 宇宙 $\gamma$ 線精密観測実験 GRAINE

## 気球搭載型エマルジョンガンマ線望遠鏡



\*10m<sup>2</sup>の場合

	Fermi-LAT	GRAINE
角度分解能@100MeV	6.0°	1.0°
角度分解能@1GeV	0.90°	0.1°
偏光感度	-	あり
有効面積@100MeV	0.25m <sup>2</sup>	2.1m <sup>2</sup> *
有効面積@1GeV	0.88m <sup>2</sup>	2.8m <sup>2</sup> *

世界最高角度分解能

世界初偏光有感

世界最大口径

# GRAINE計画

## GRAINE 2011

- ・ 2011年6月8日
- ・ 北海道 TARF
- ・ 口径面積：0.013m<sup>2</sup>
- ・ 1.6時間@35km



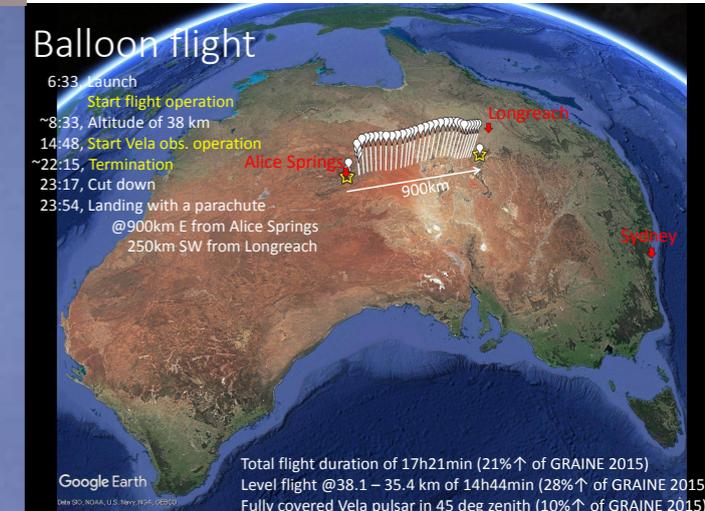
## GRAINE 2015

- ・ 2015年5月12日
- ・ オーストラリア ABLS
- ・ 口径面積：0.38m<sup>2</sup>
- ・ 11.5時間@36-37km



## GRAINE 2018

- ・ 2018年4月26日
- ・ オーストラリア ABLS
- ・ 口径面積：0.38m<sup>2</sup>
- ・ 14.7時間@36~38km



## 2004年- 地上での技術開発

原理  
実証

## 2011年6月 JAXA国内気球実験

- ・ 気球高度において観測コンセプトを実証

## 2015年5月 JAXA国際気球実験

- ・ 海外サイトでの実験スキーム確立
- ・ 望遠鏡性能実証

## 2018年4月 JAXA国際気球実験

- ・ 天体検出による総合性能実証  
Velaパルサー 1.0度 @>100MeV

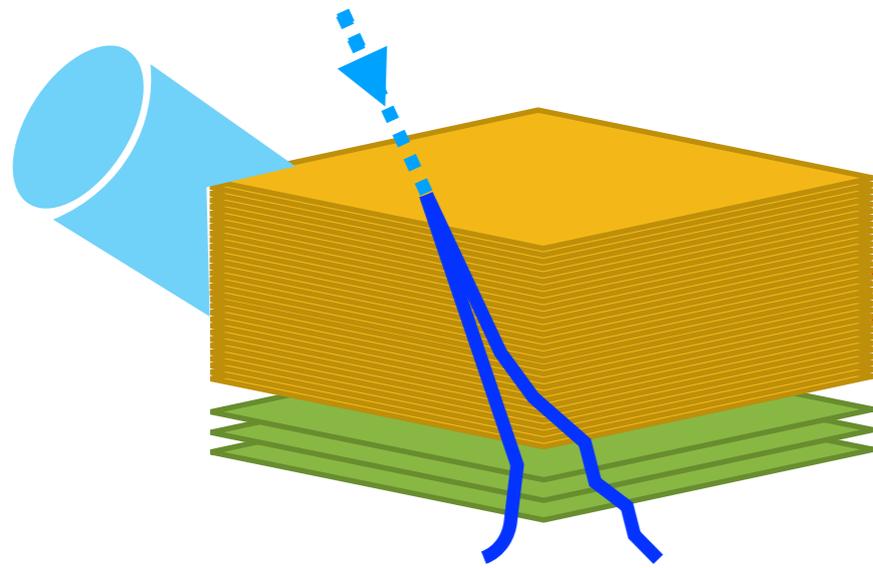
性能  
実証

## 2021年~ 大面積望遠鏡による科学観測開始

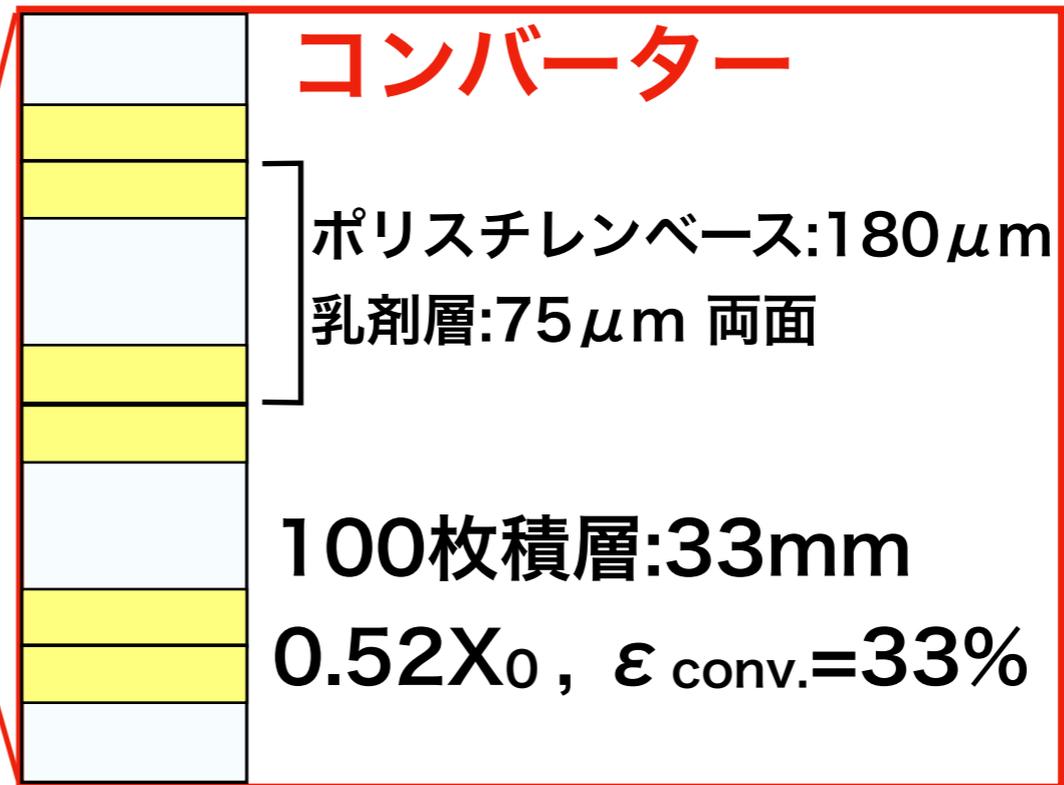
科学  
観測



# コンバーター

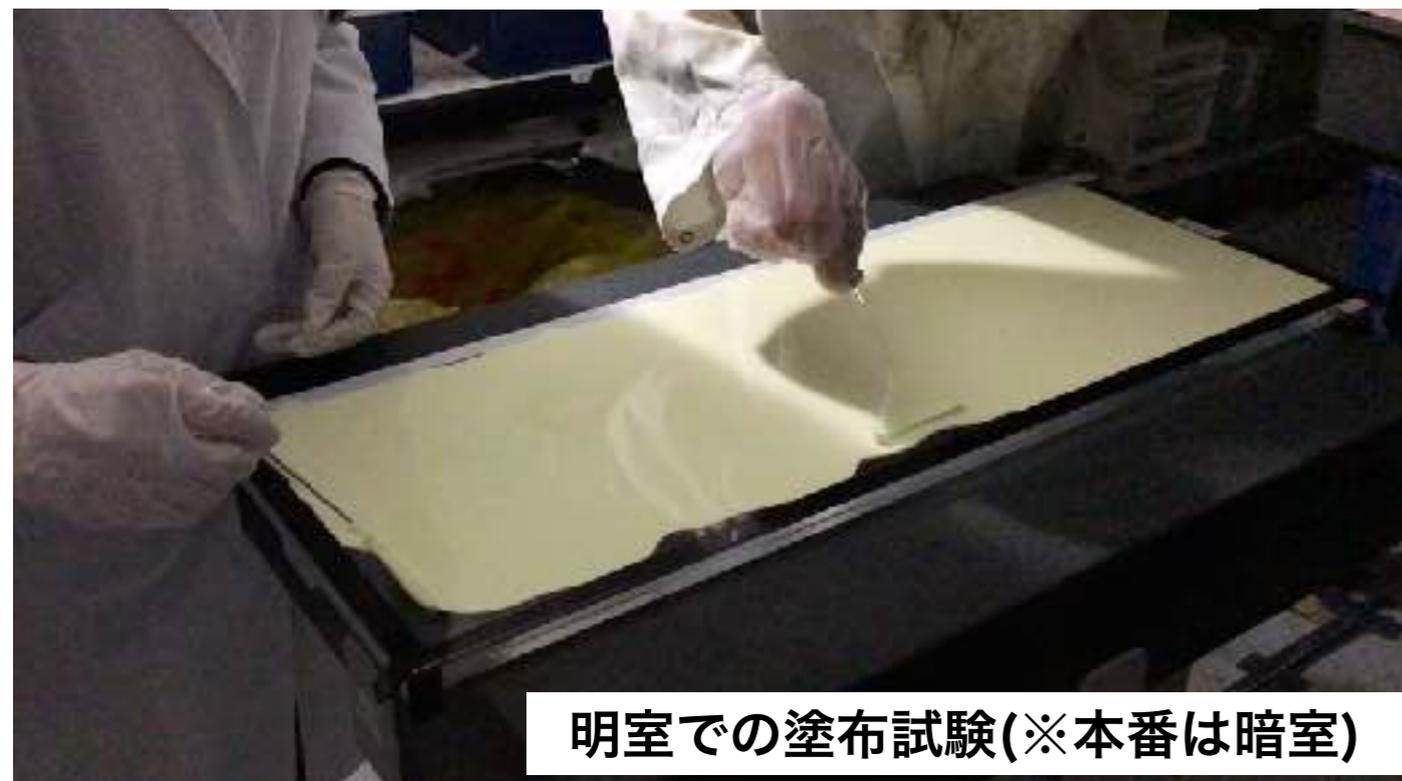


エマルションγ線望遠鏡

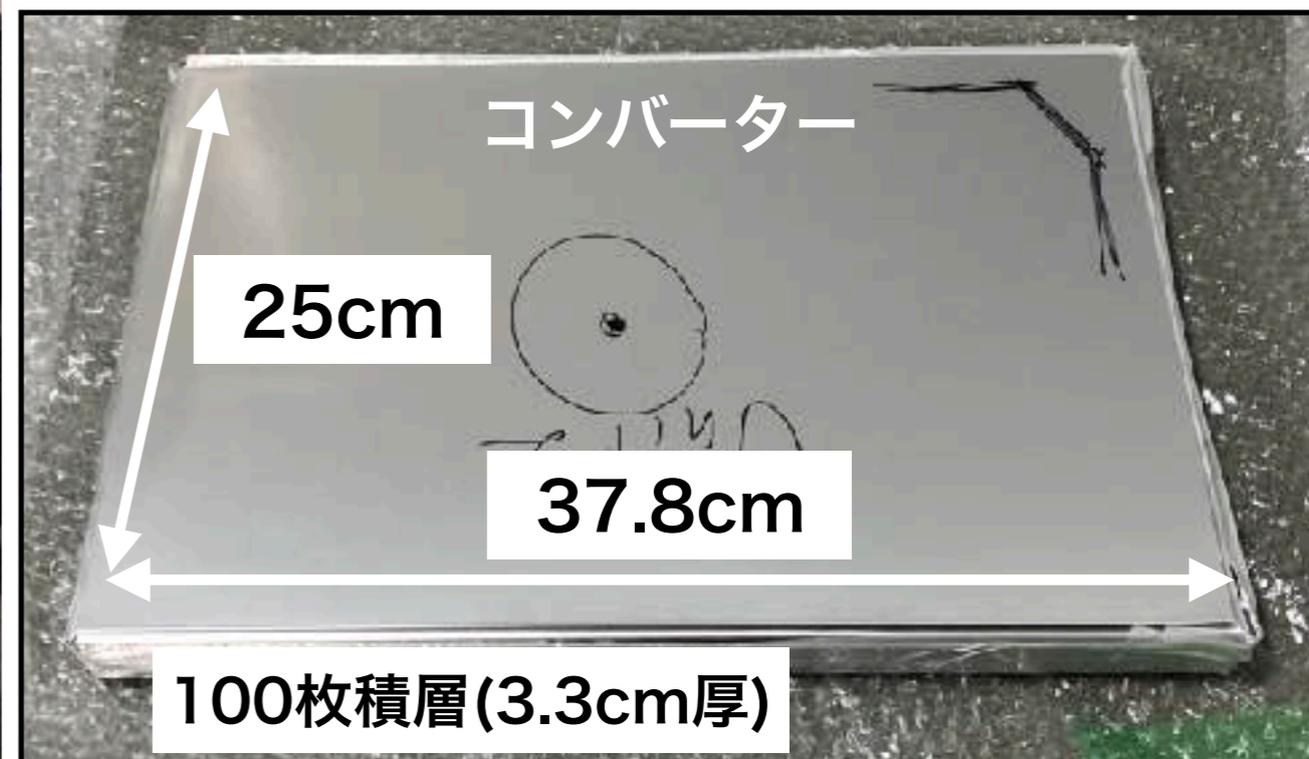


エマルションフィルムの大量製造

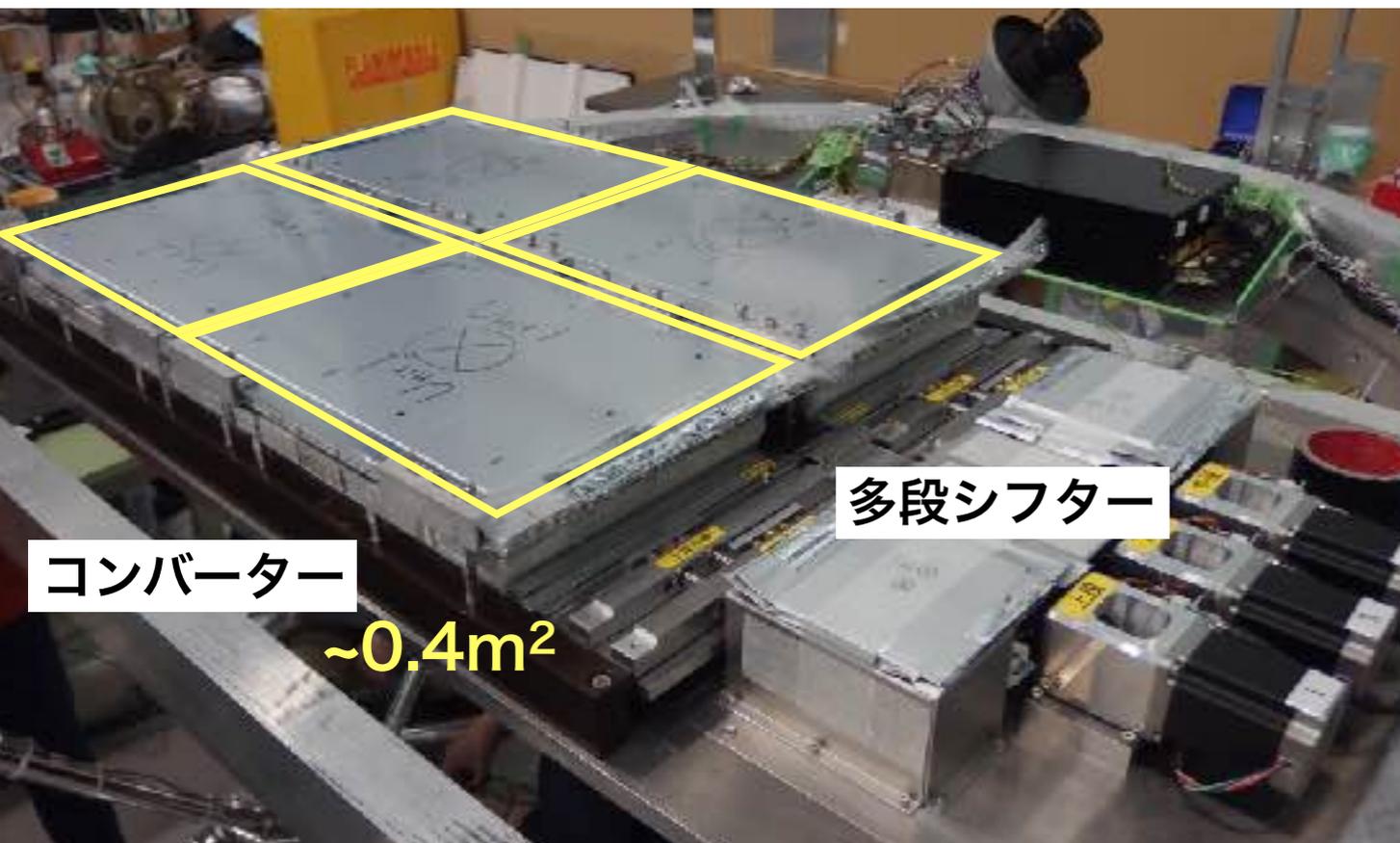
完成したコンバーター1ユニット



明室での塗布試験(※本番は暗室)



# GRAINE2018年気球実験

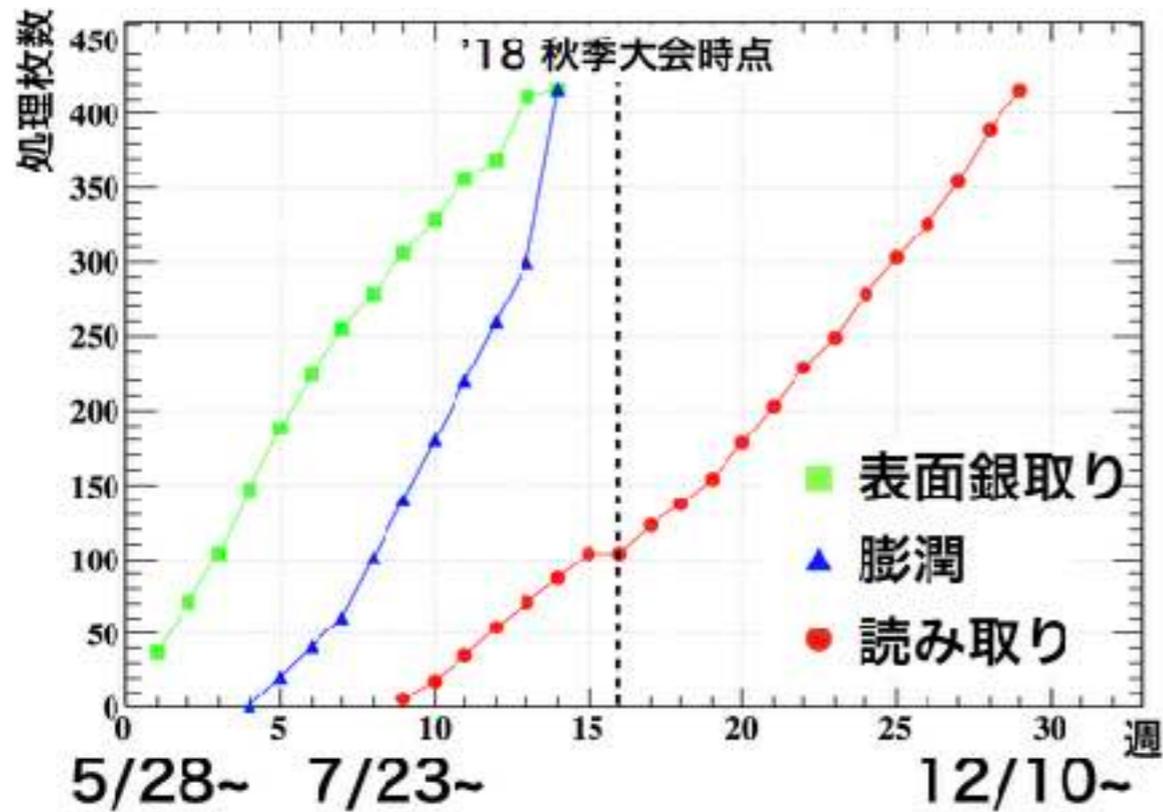


# 飛跡データの取得

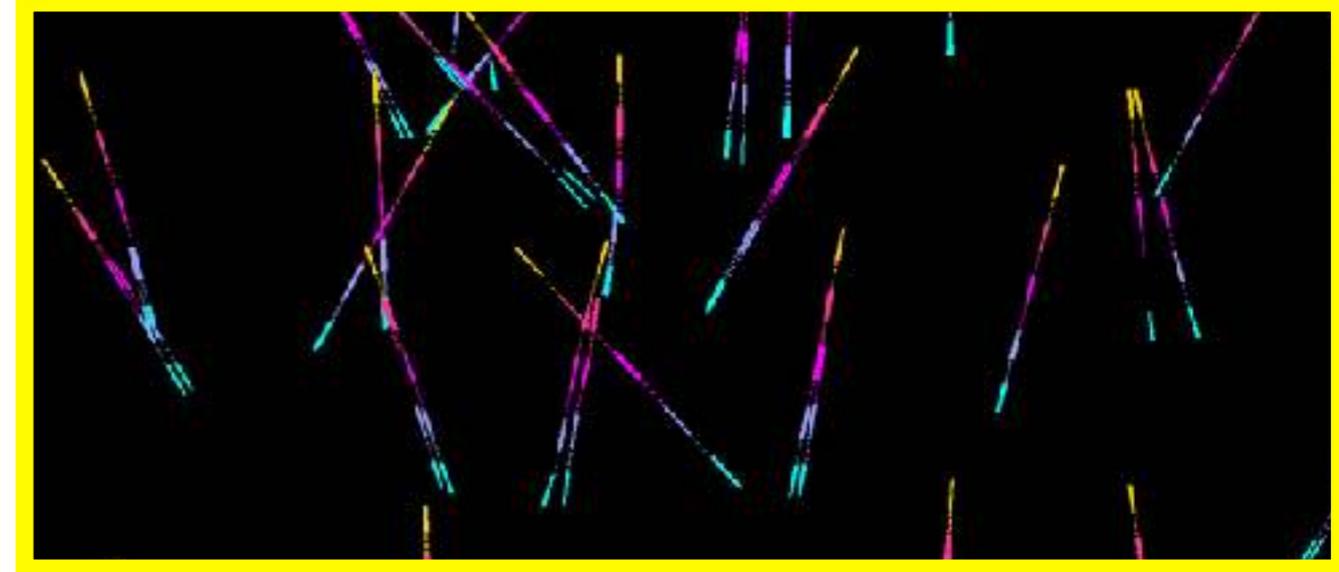
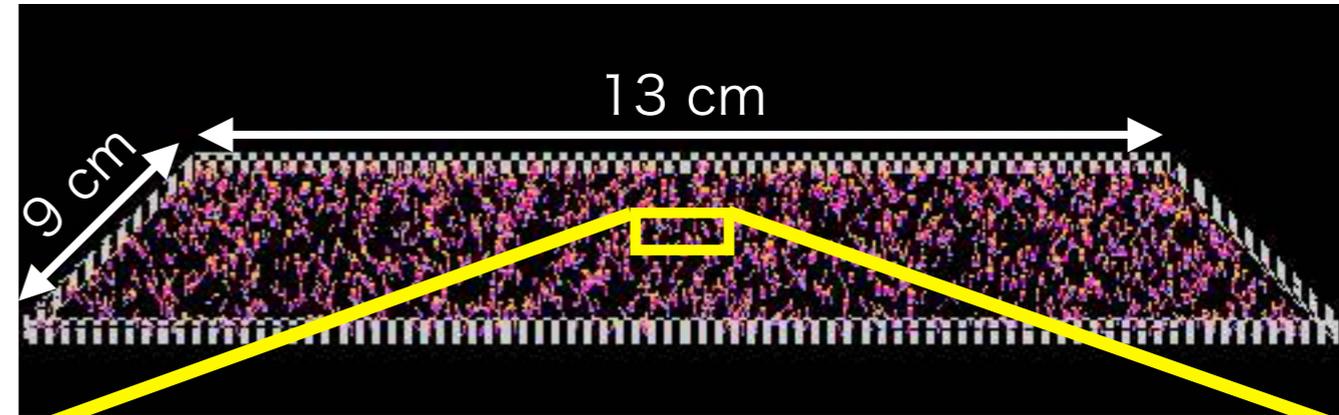


名古屋大学で開発した超高速自動飛跡読取装置(HTS)

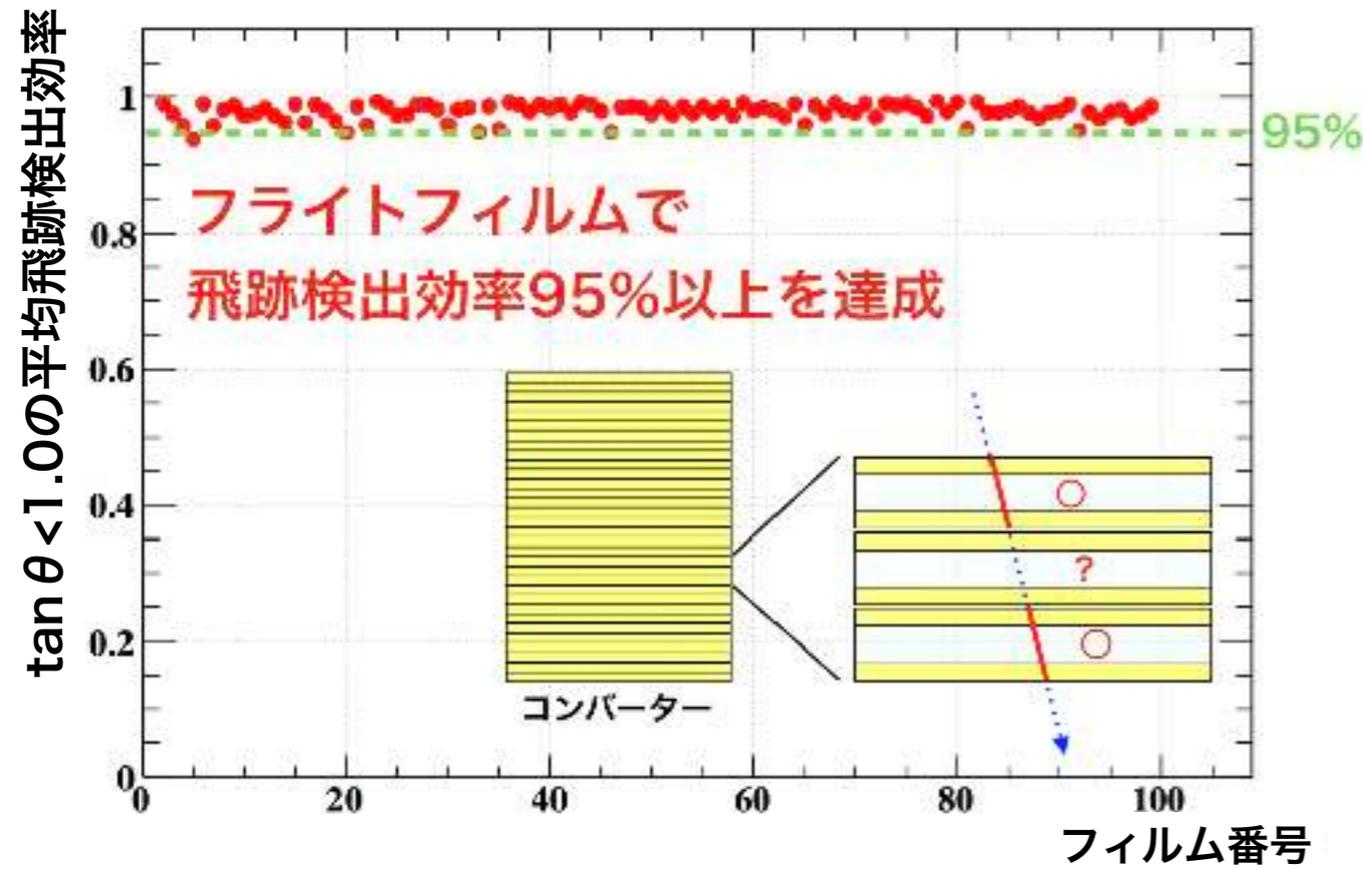
# 飛跡読み取り、 $\gamma$ 線の検出



2018年内に全ての飛跡読み取りを完了

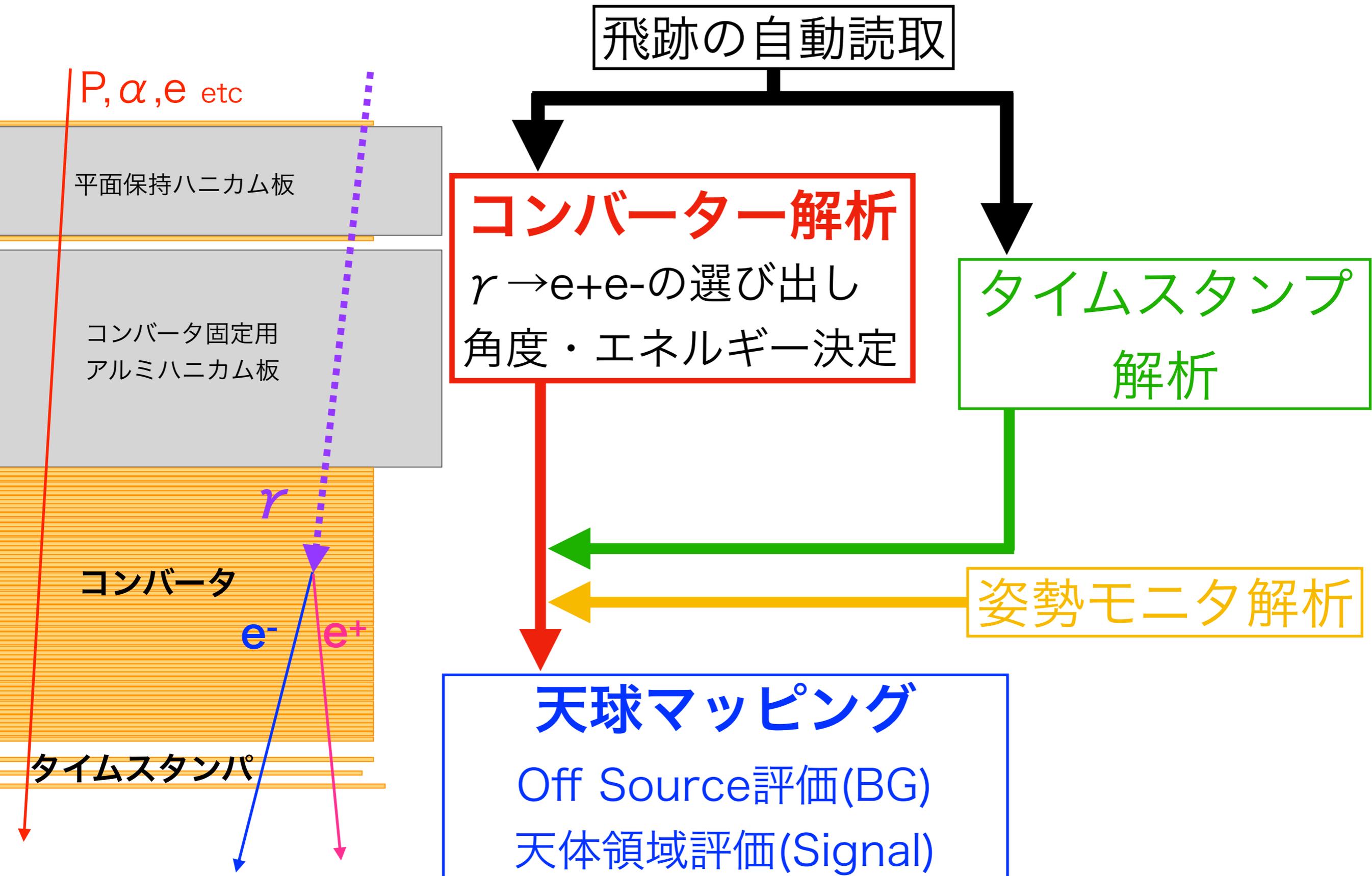


1枚のフィルムのある領域から見つかった電子対生成反応事象



フライトフィルムで飛跡検出効率95%以上を達成

# GRAINE実験 解析の流れ



# ハドロン反応を用いた $\gamma$ 線の角度分解能評価

## 使用したデータセット

1次宇宙線  
陽子など

コンバーター

### ハドロン反応

### 電子対生成反応

$\pi^0 \rightarrow 2\gamma$

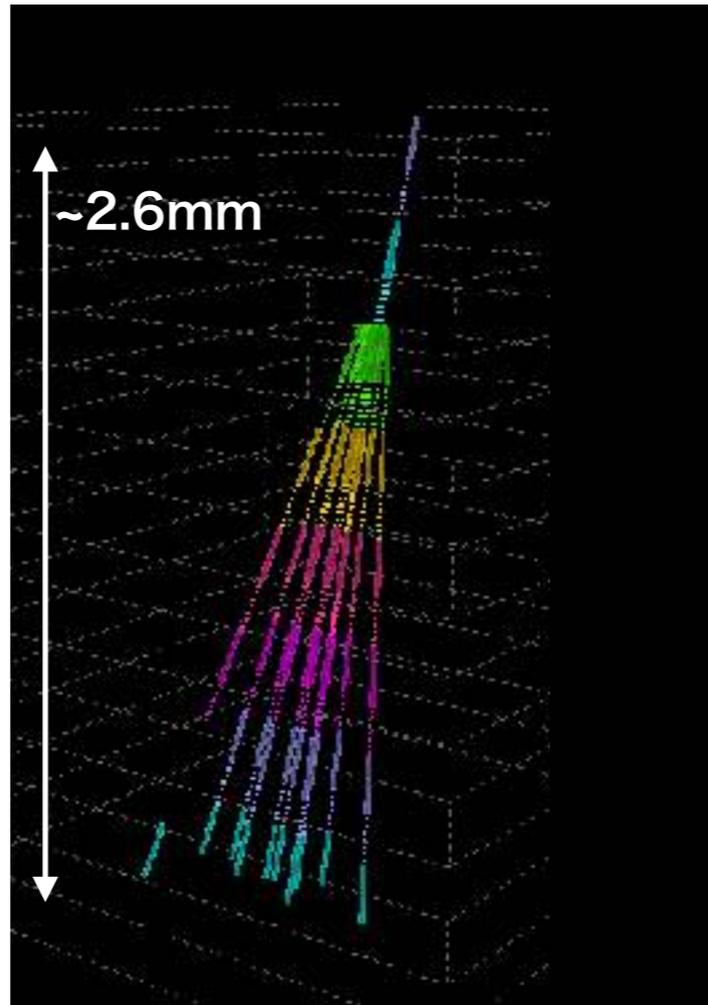
ハドロン反応

$\Delta \tan \theta$

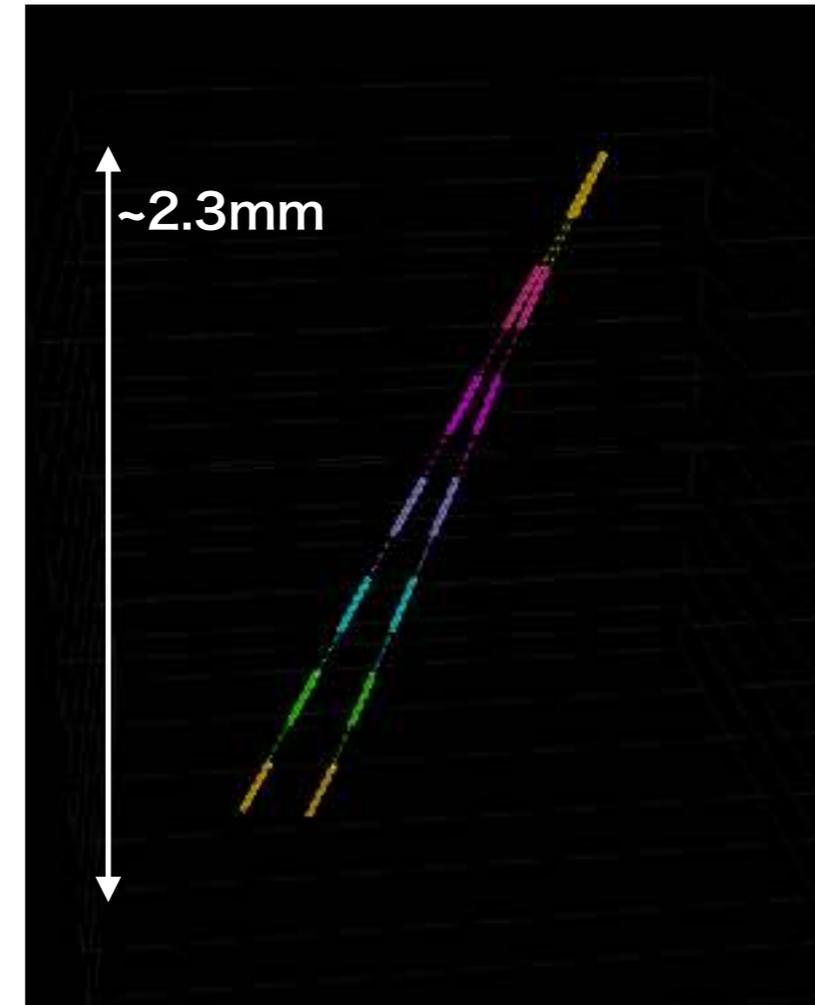
反応点同士を  
結んだ角度

電子対から求めた  
 $\gamma$  線の角度

電子対生成反応

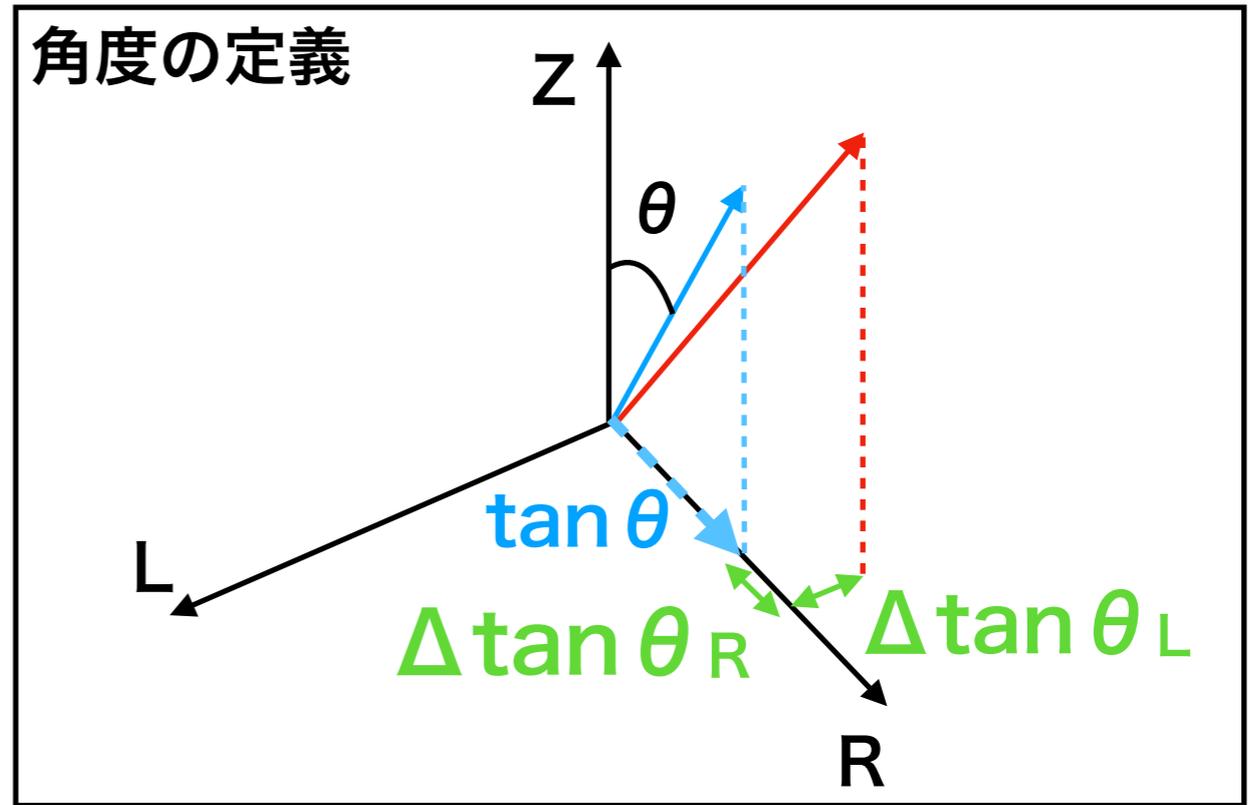
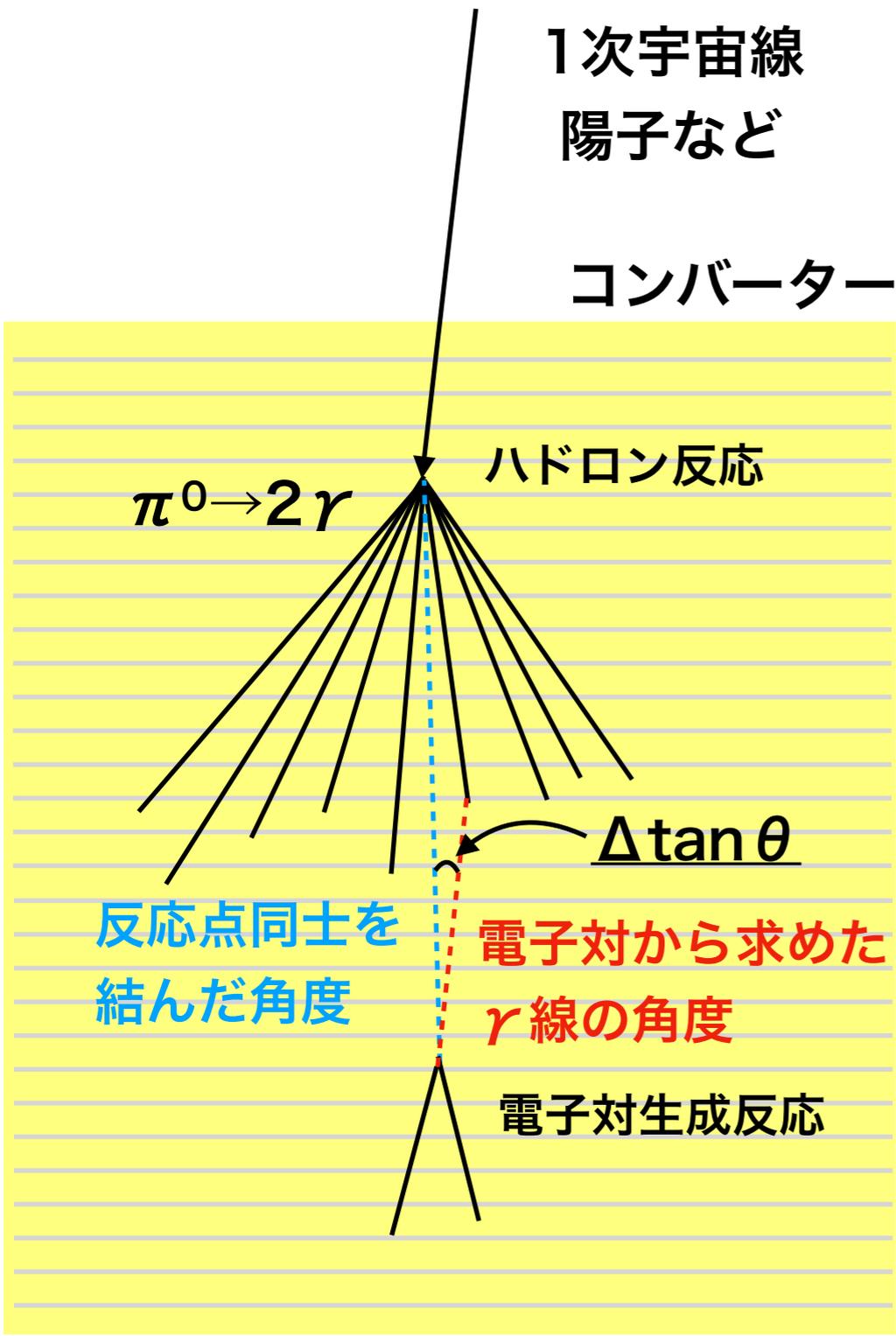


上流50枚×2ユニット  
 $\tan \theta < 1.0$ に10本以上  
10634イベント

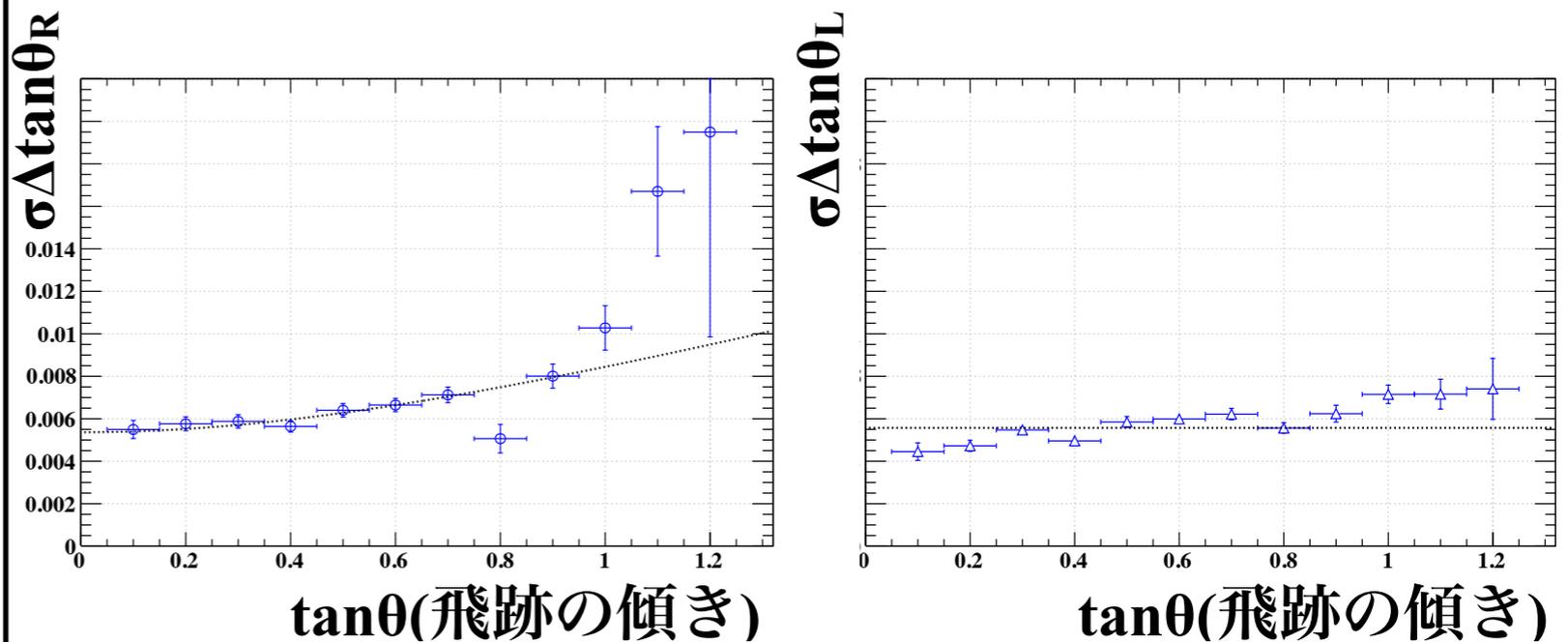


下流80枚×2ユニット  
 100-300MeV  
1131594イベント

# ハドロン反応を用いた $\gamma$ 線の角度分解能評価 解析に用いる角度、角度ずれの定義

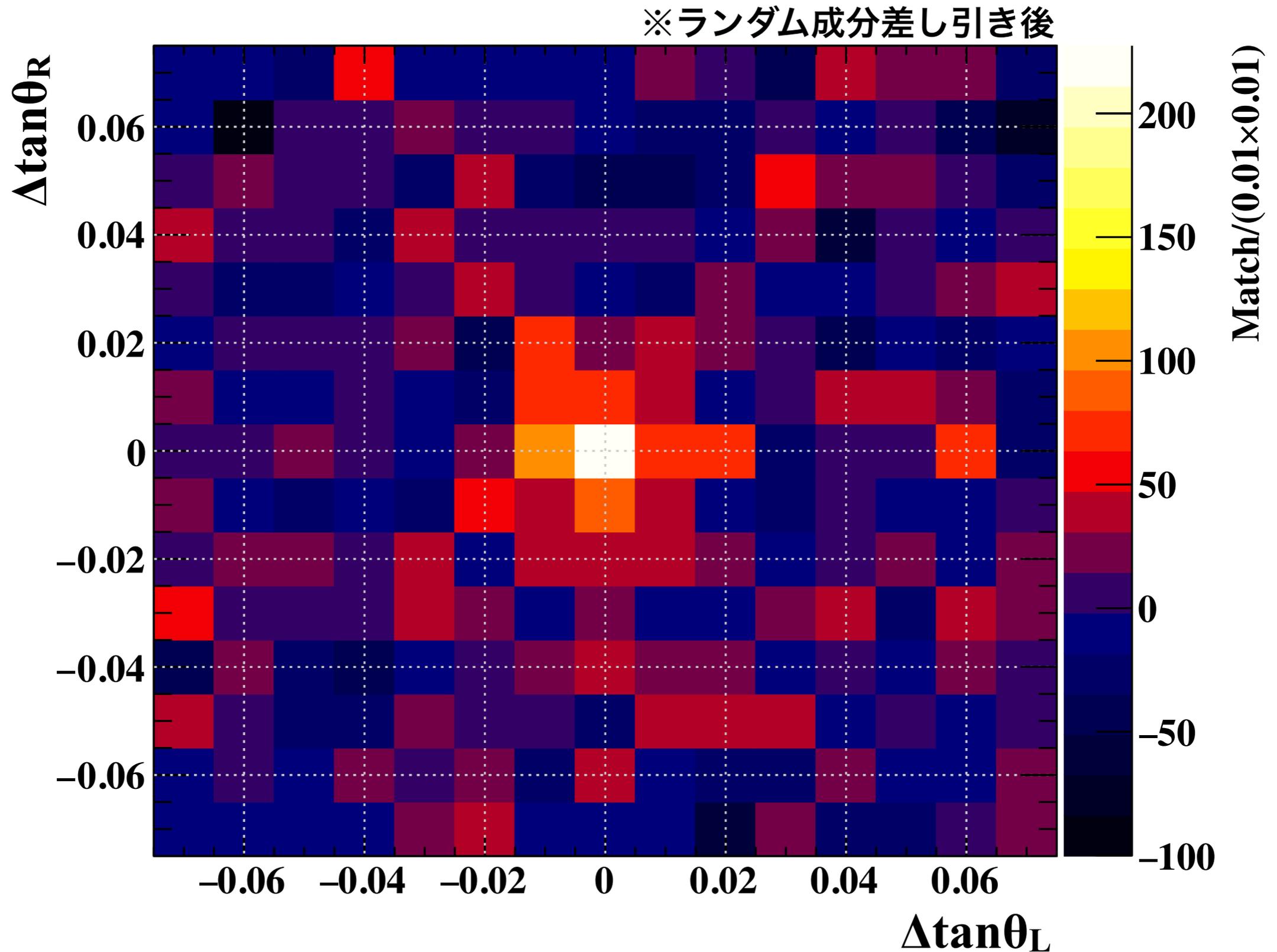


### 反応点同士を結んだ角度の不定性



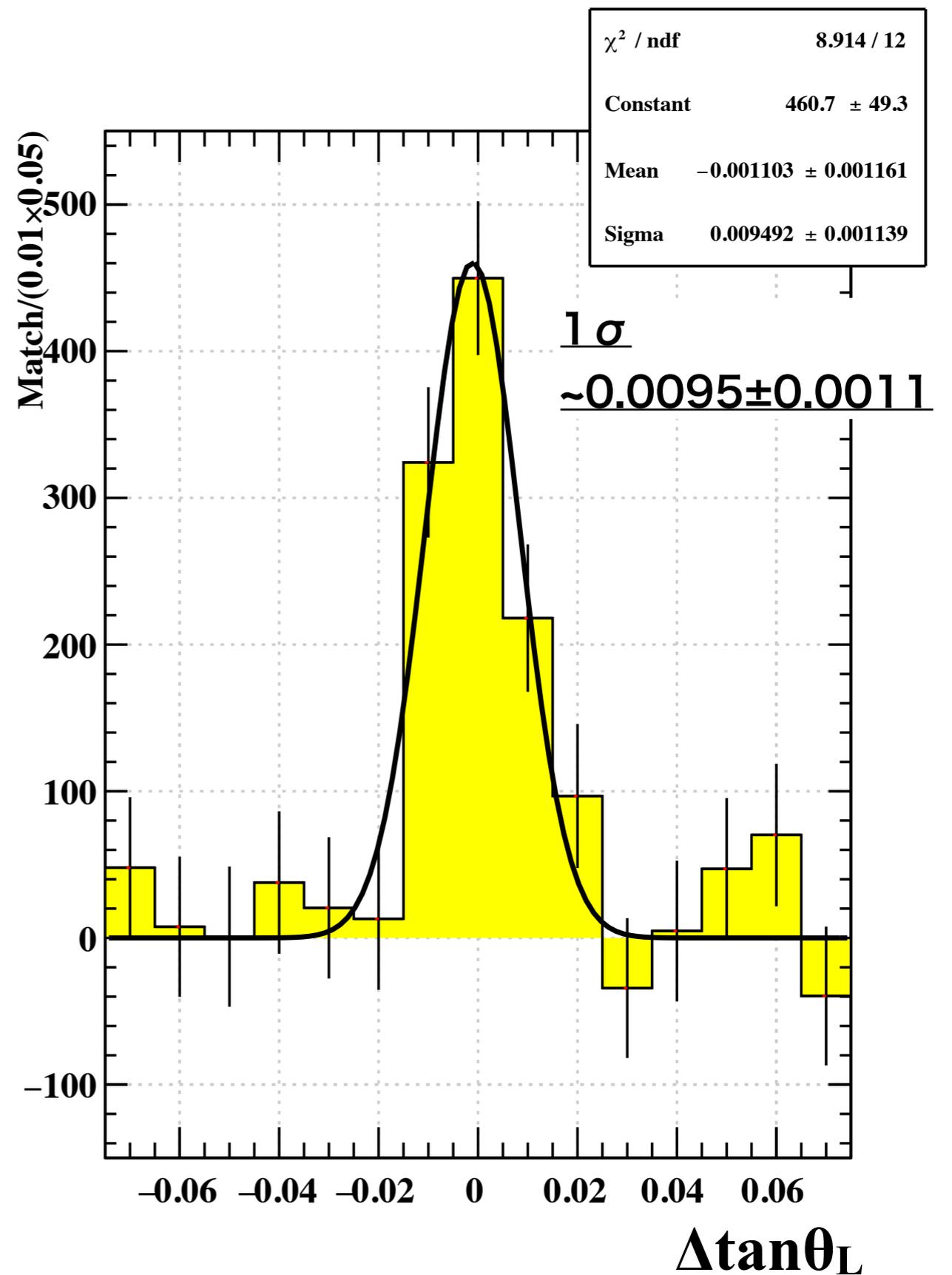
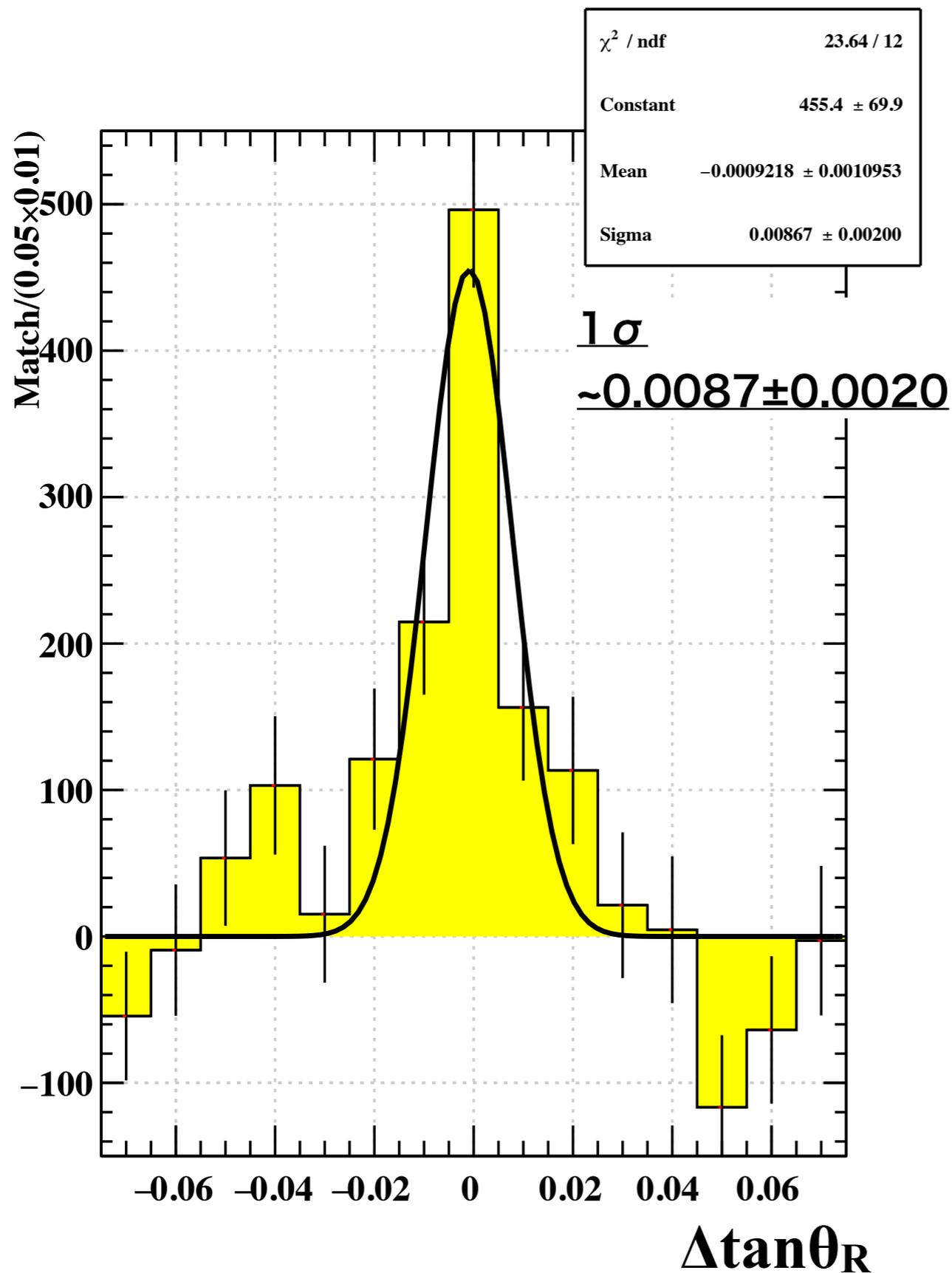
※天体観測には効かない不定性

# ハドロン反応と電子対生成反応のマッチング結果

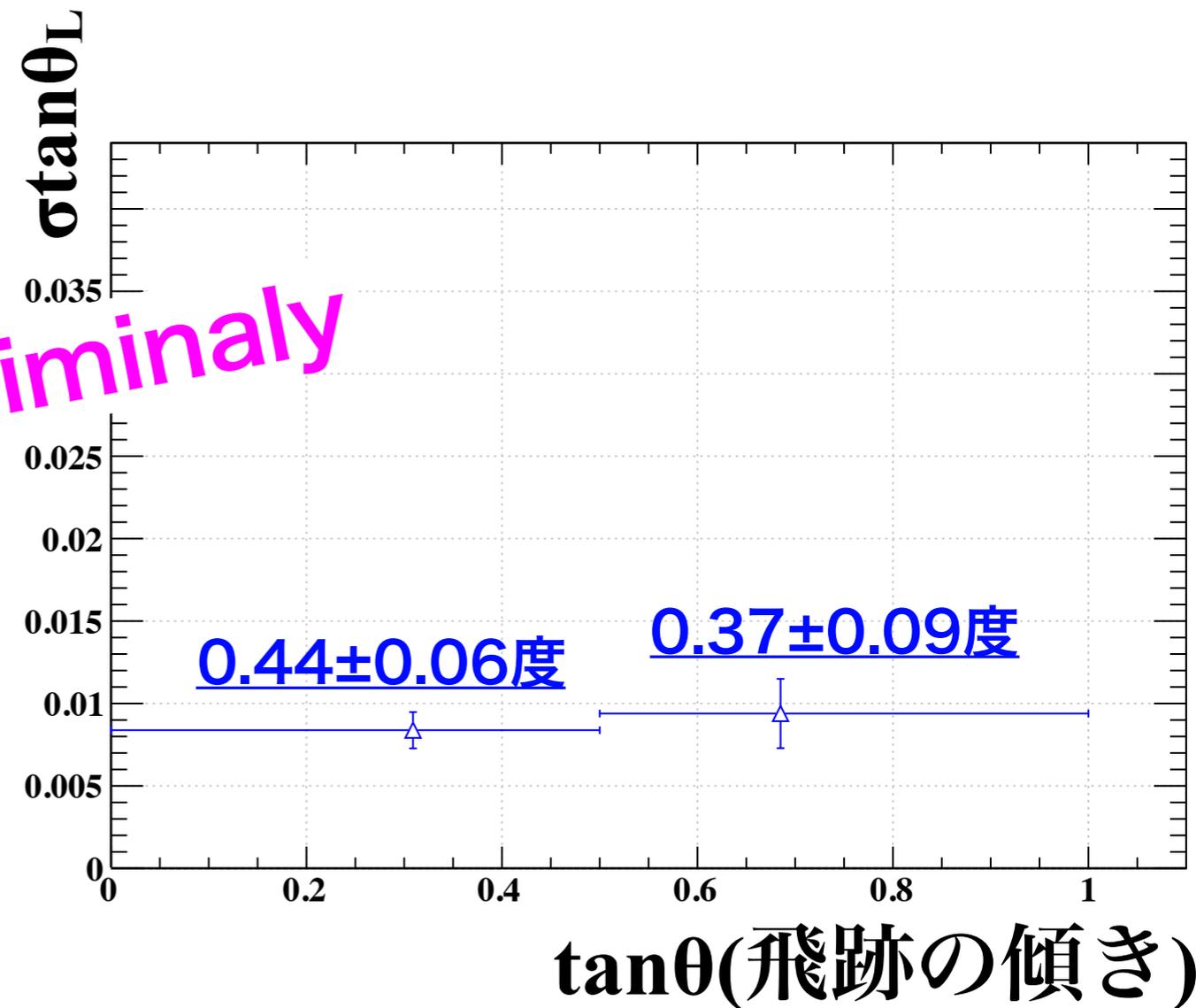
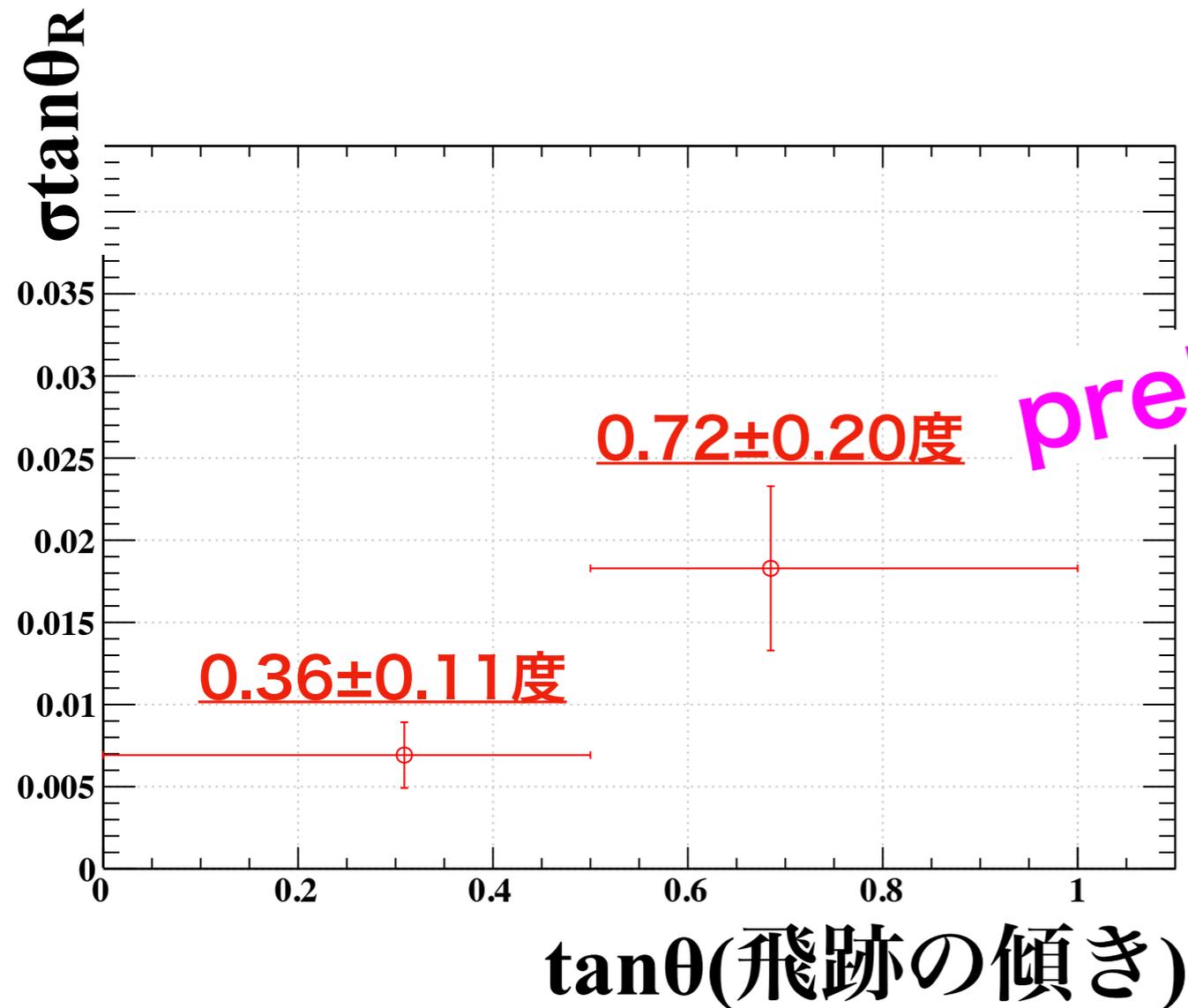


**$\gamma$ 線によってハドロン反応点をイメージングすることができた**

# 角度ずれ $\Delta \tan \theta$ の幅の評価結果 ( $\tan \theta < 0.5$ )



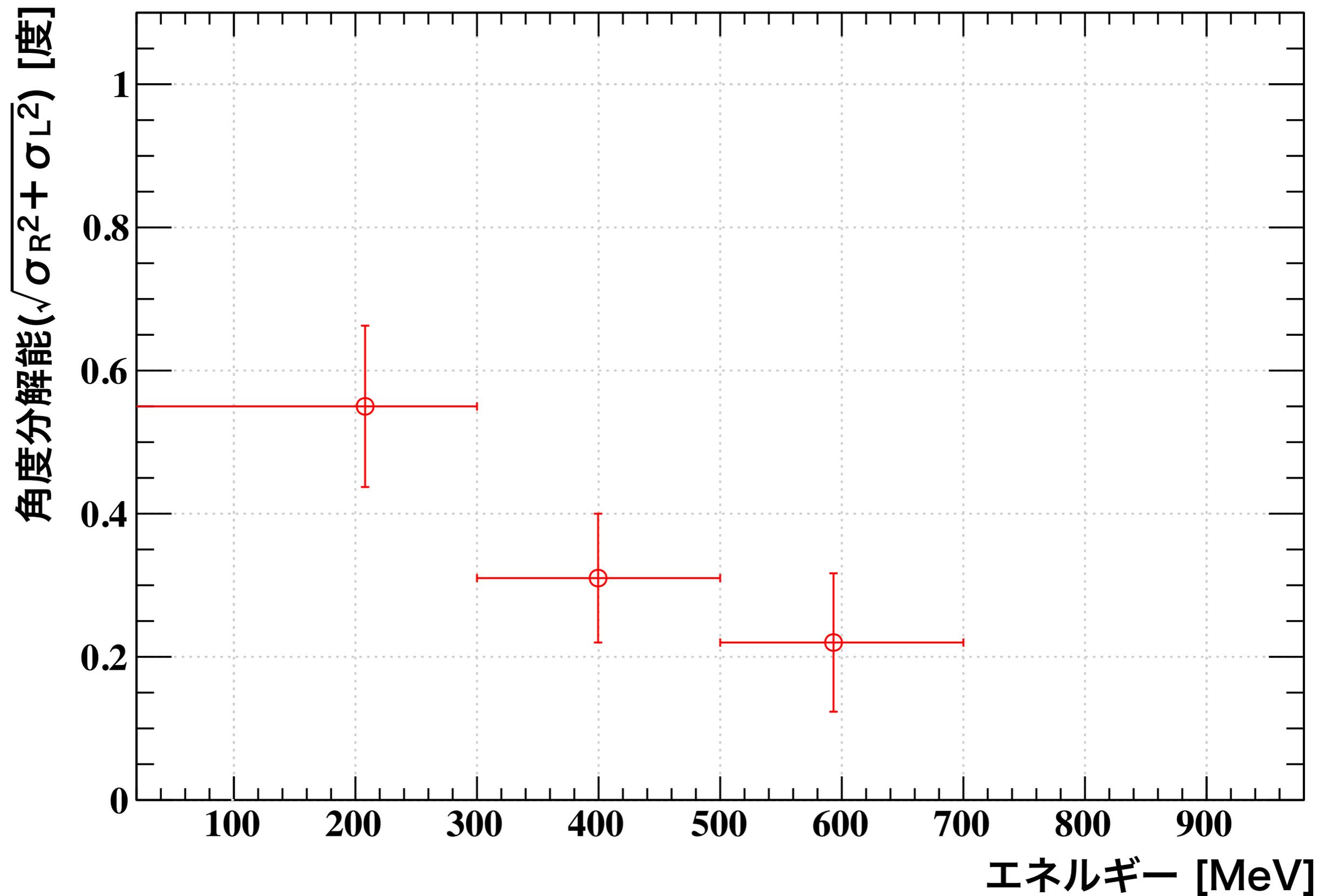
# $\gamma$ 線角度分解能の評価結果



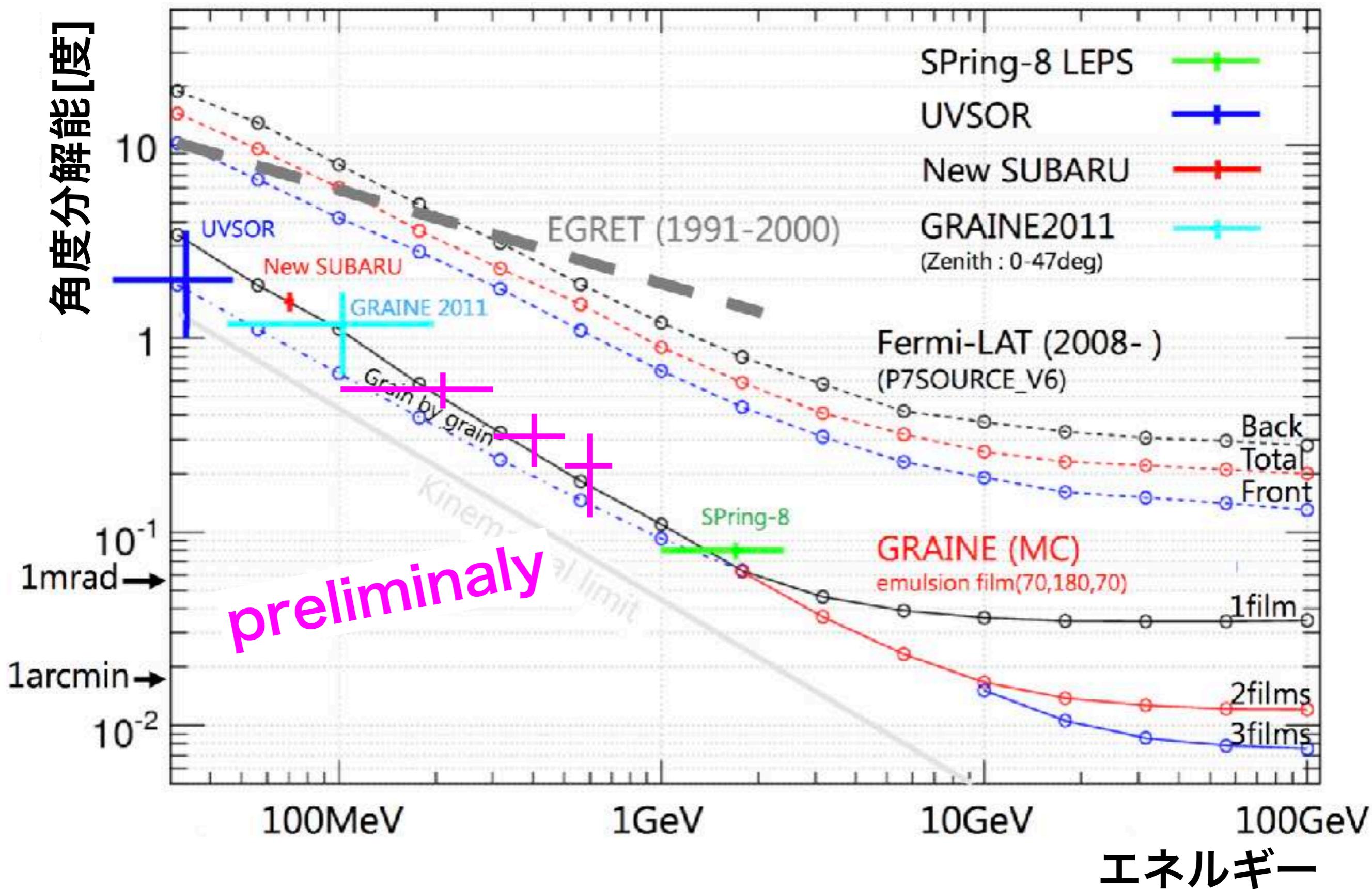
100-300 MeV	$\tan\theta$	$\sigma\theta_R$	$\sigma\theta_L$	$\frac{\sigma\theta}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_L^2}}$
	0-0.5	0.36度	0.44度	<b>0.57度</b>
	0.5-1.0	0.72度	0.37度	<b>0.81度</b>

※目標 <1.0度

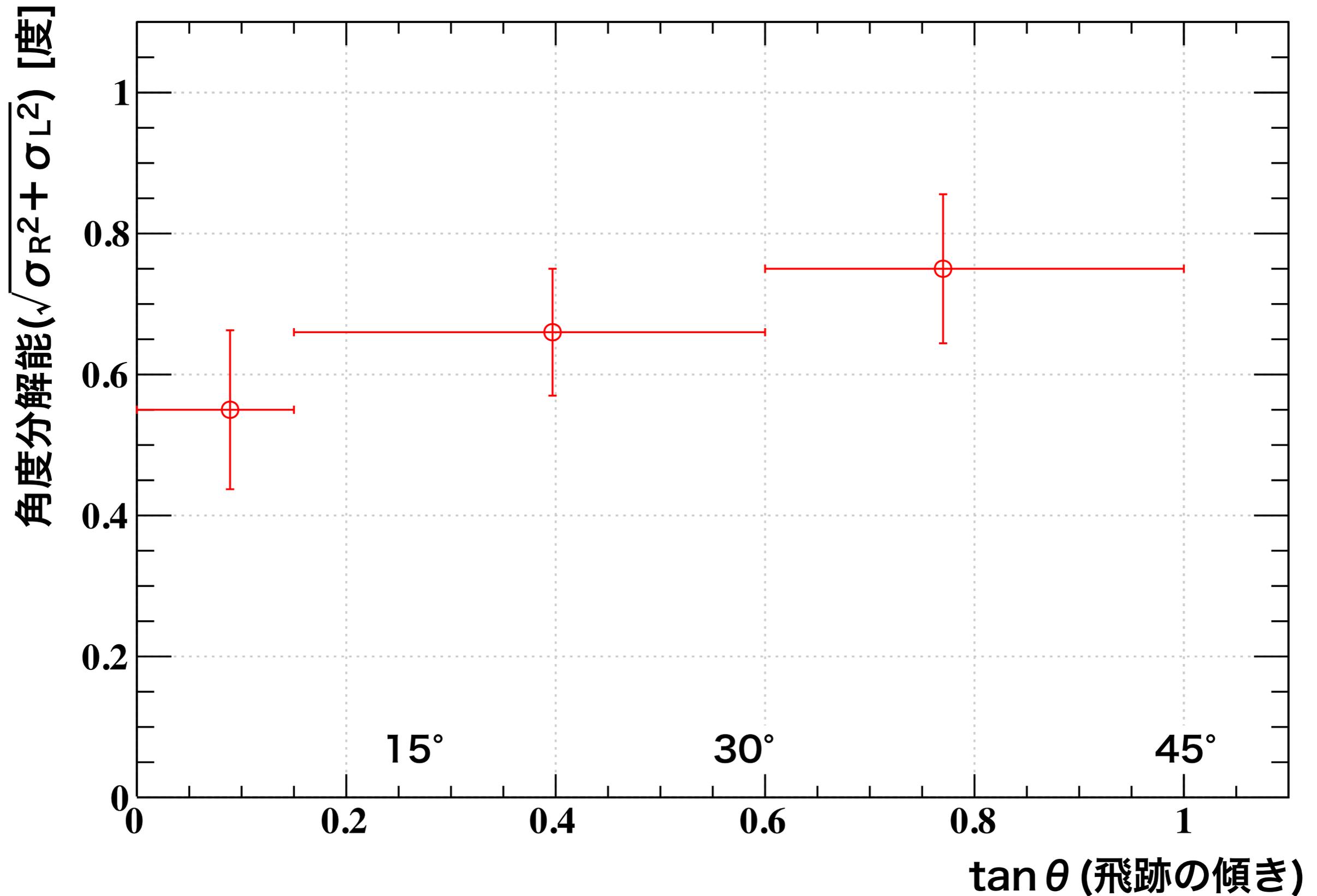
**Vela観測に主要なエネルギー帯での角度分解能を実証した**

角度分解能のエネルギー依存性 ( $0 < \tan \theta < 0.15$ )

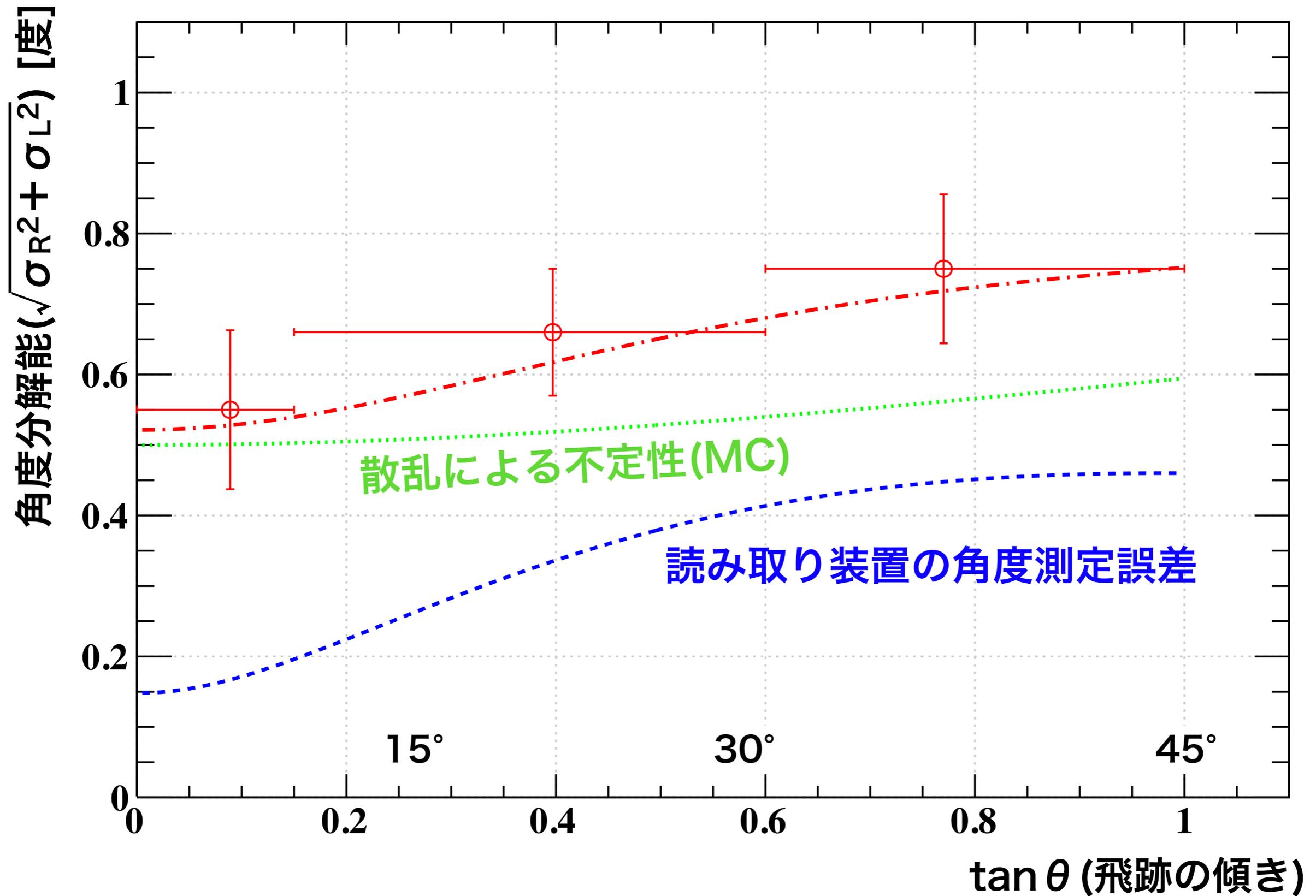
# $\gamma$ 線に対する角度分解能



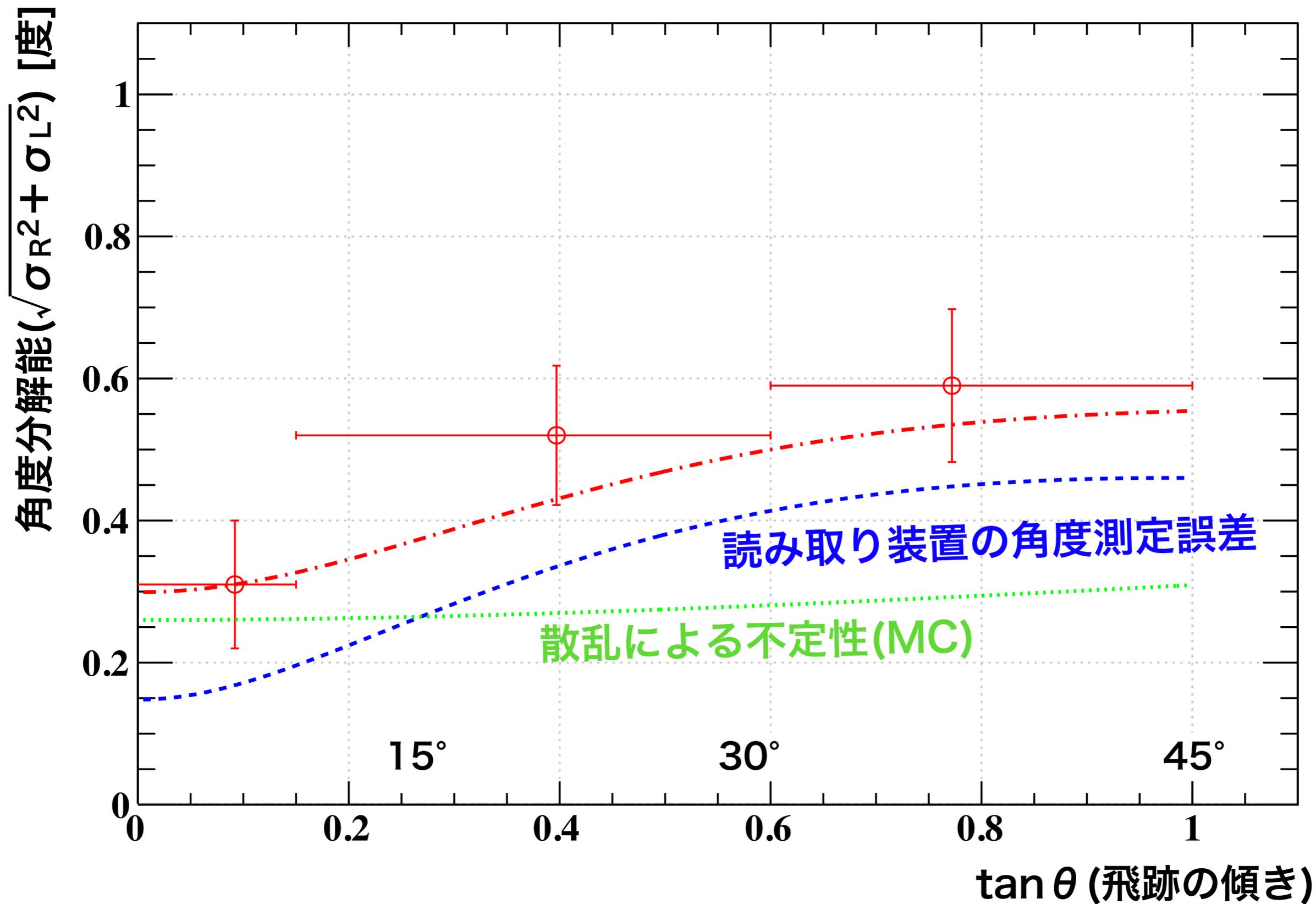
# 角度分解能の角度依存性(100-300MeV)



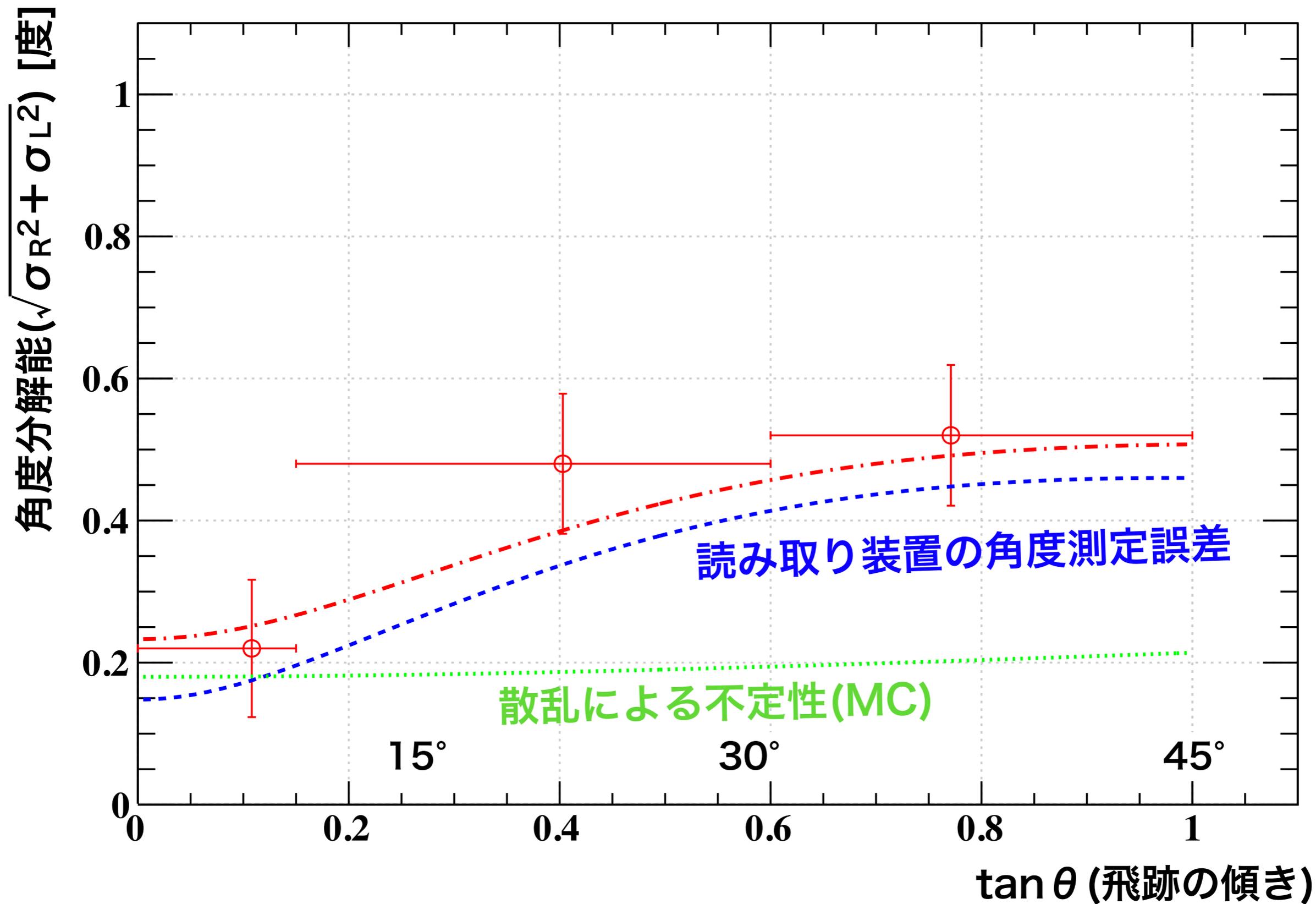
# 角度分解能の角度依存性(100-300MeV)



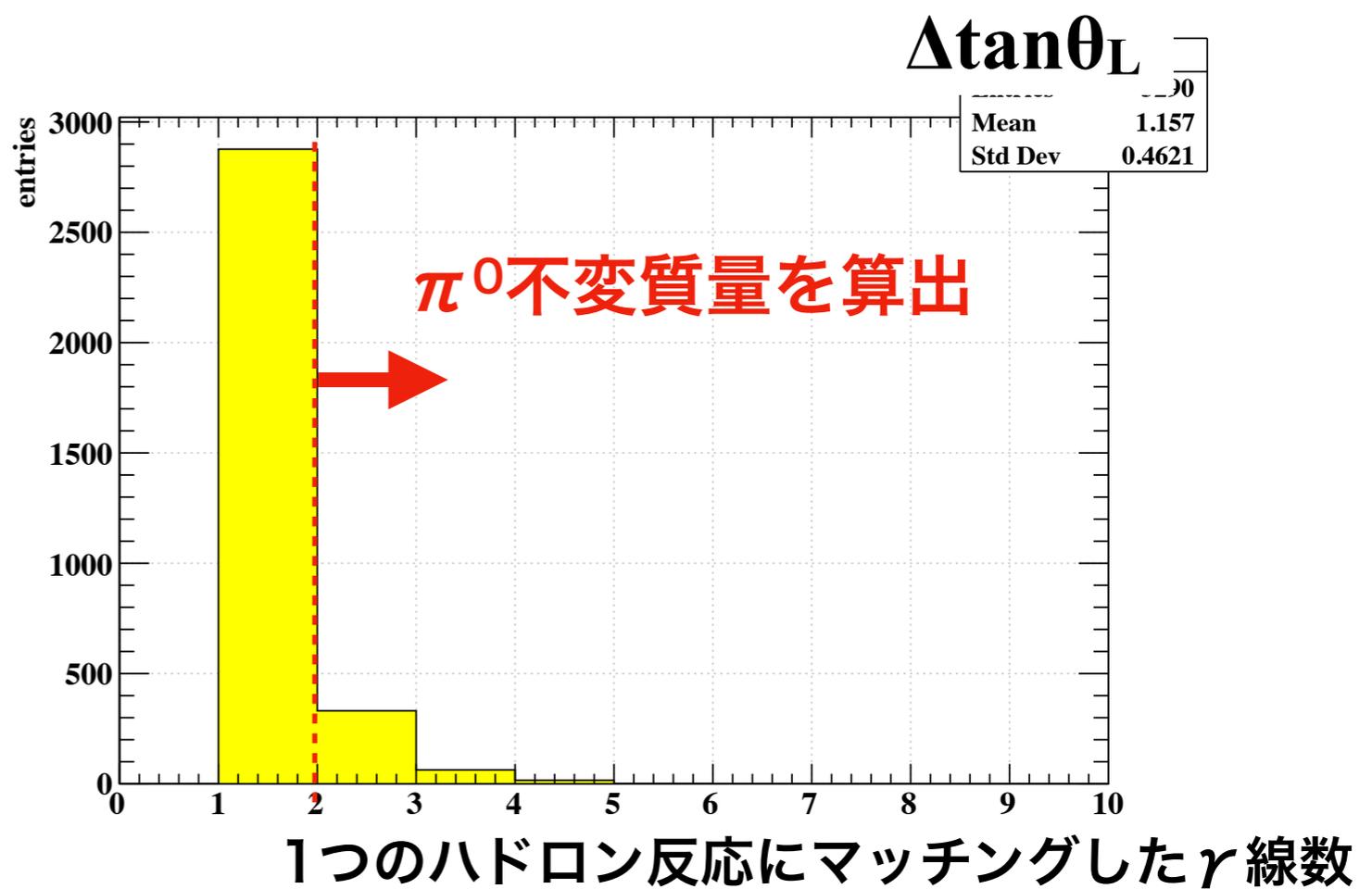
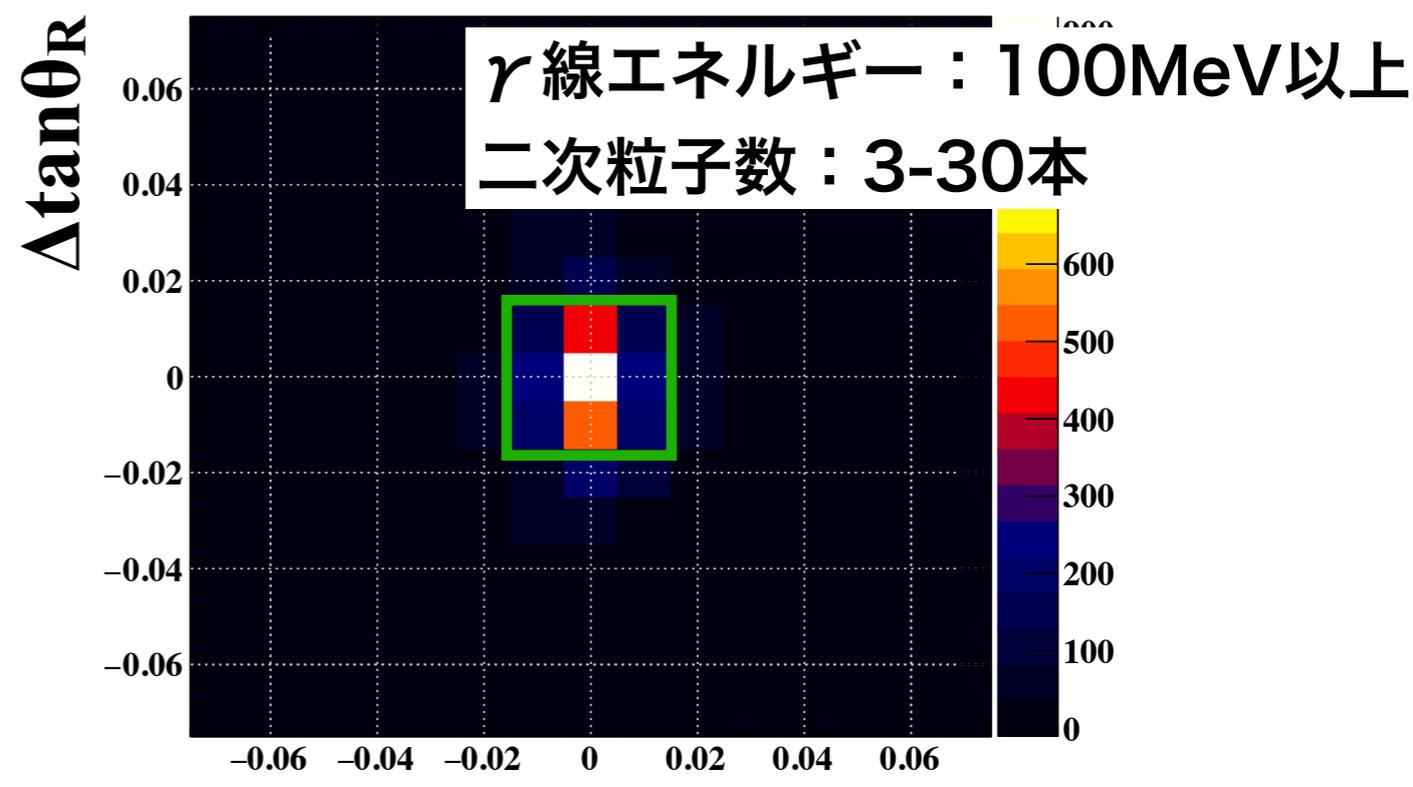
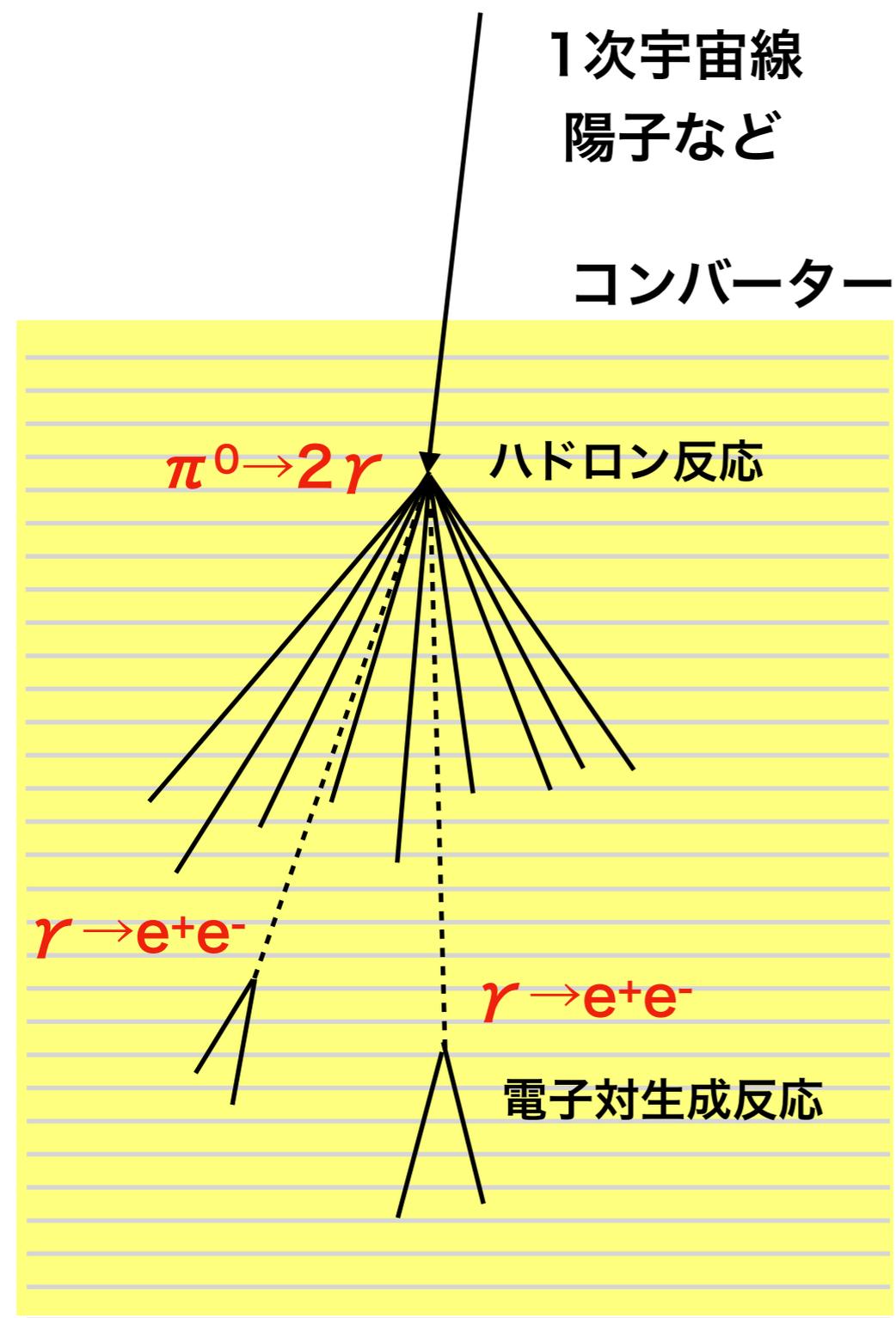
# 角度分解能の角度依存性(300-500MeV)



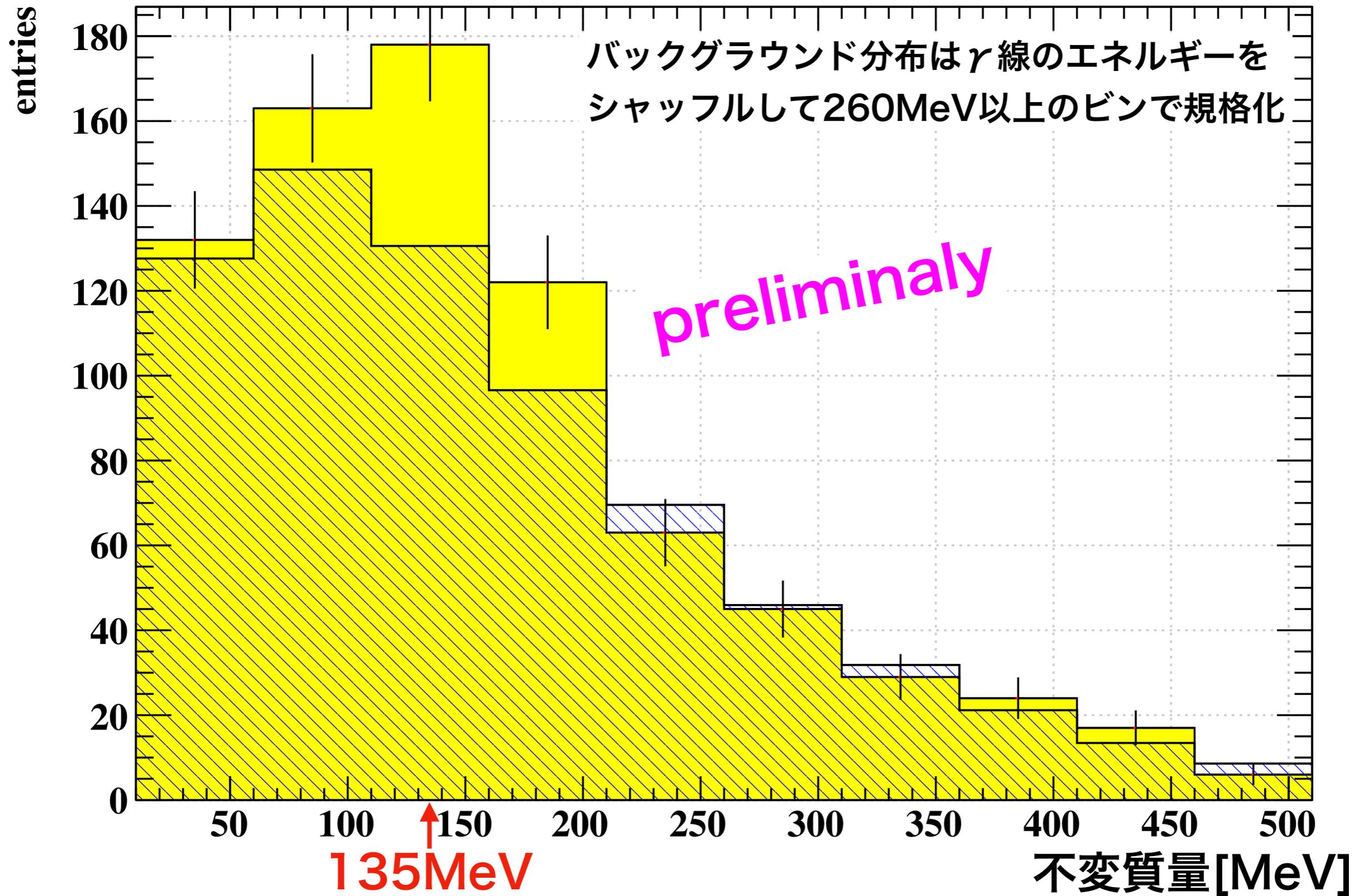
# 角度分解能の角度依存性(500-700MeV)



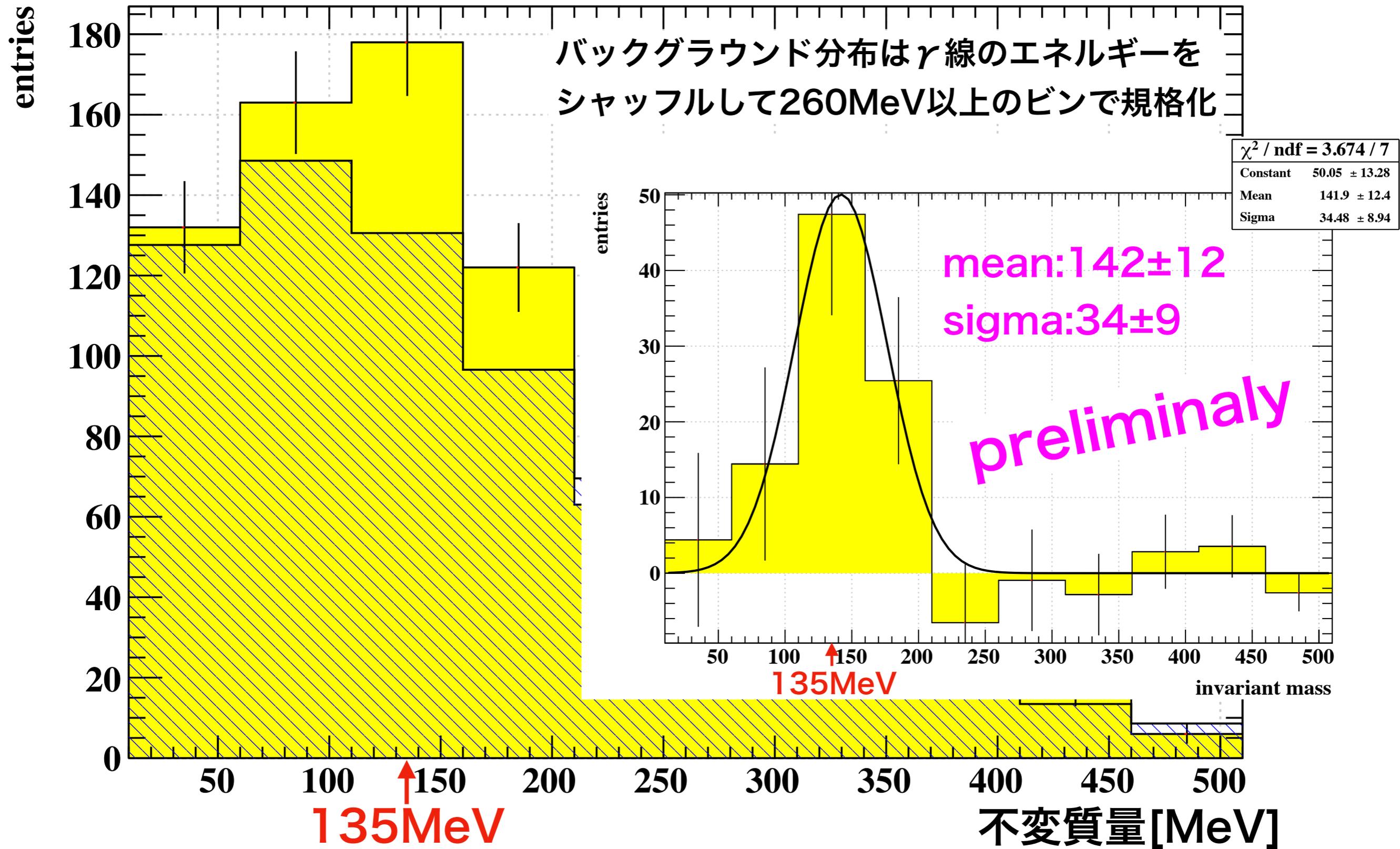
# $\pi^0$ 不変質量算出によるエネルギー決定の妥当性評価



# エネルギー決定の妥当性評価結果

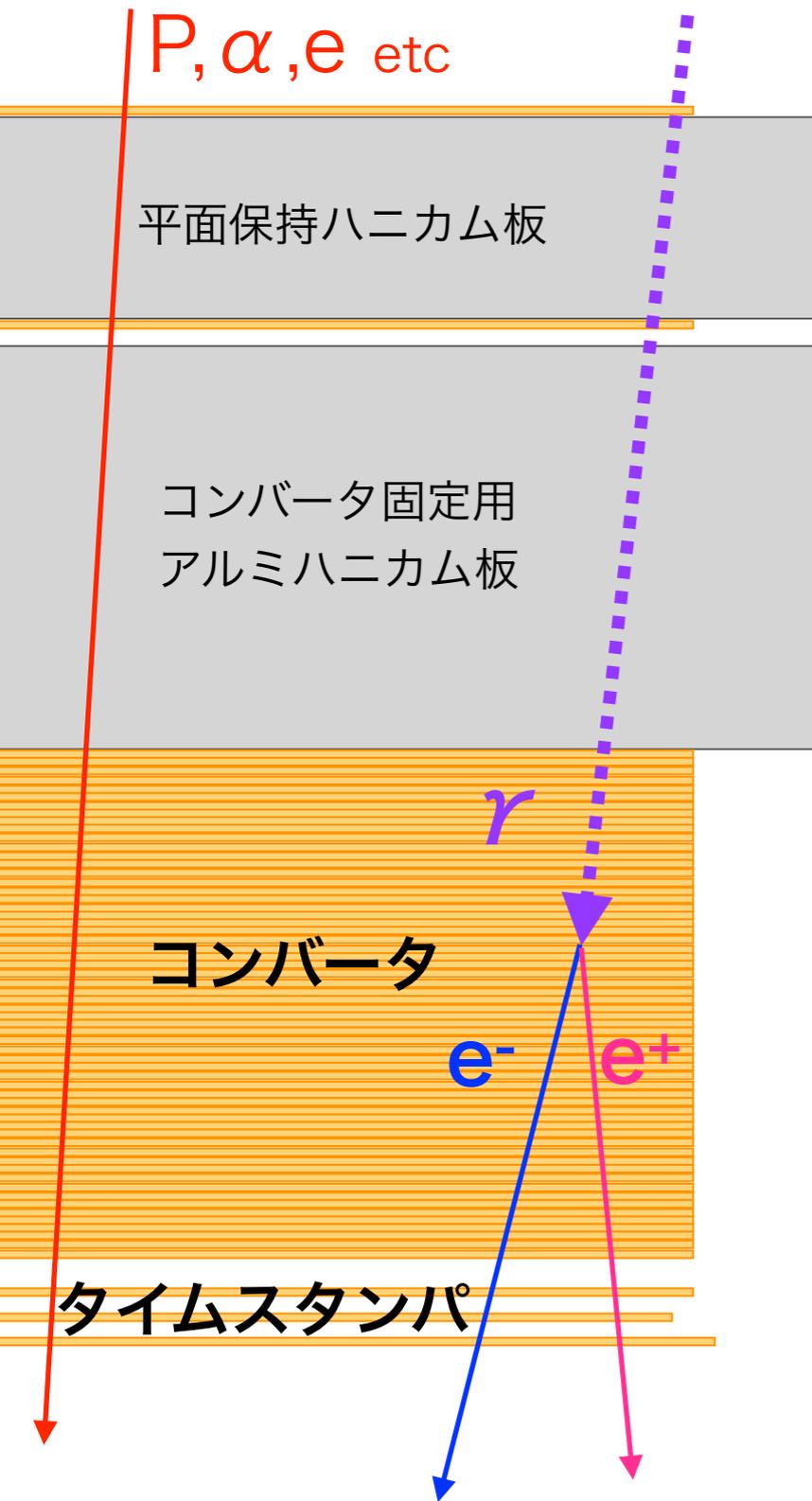


# エネルギー決定の妥当性評価結果



# GRAINE関連講演

飛跡の自動読取



**コンバーター解析**

$\gamma \rightarrow e+e^-$ の選び出し  
角度・エネルギー決定

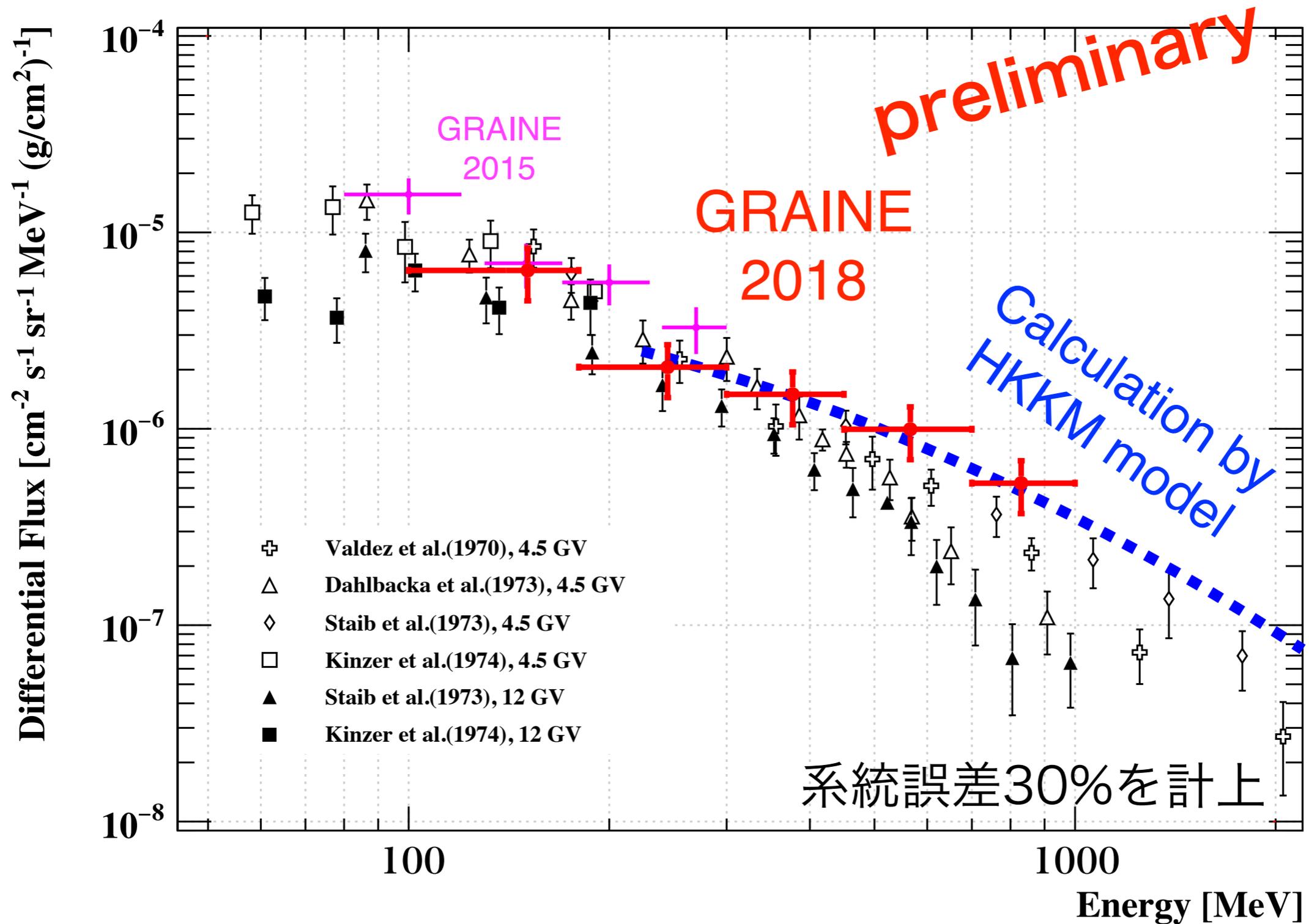
**タイムスタンプ  
解析**

**姿勢モニタ解析**

**天球マッピング**

Off Source評価(BG)  
天体領域評価(Signal)

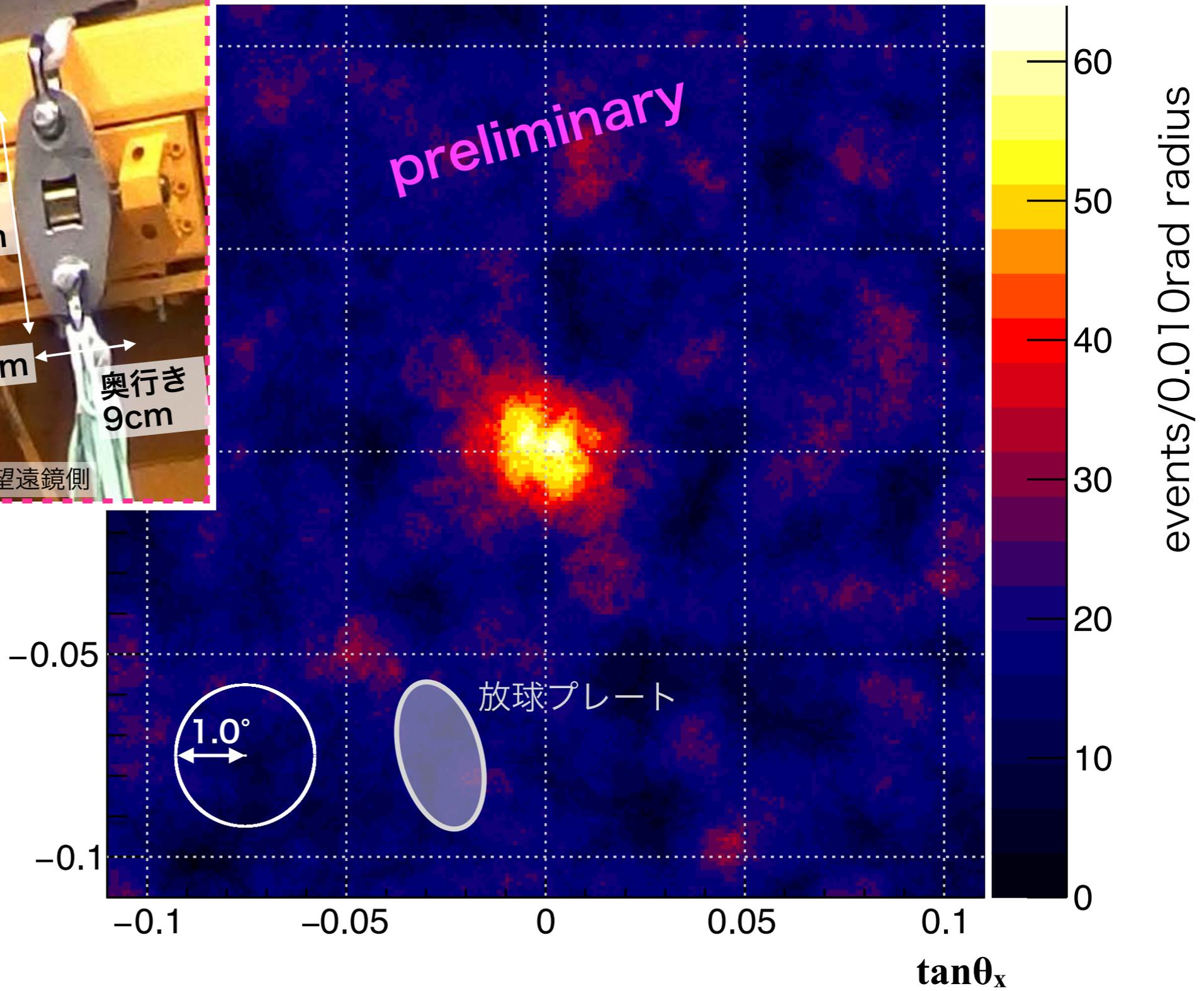
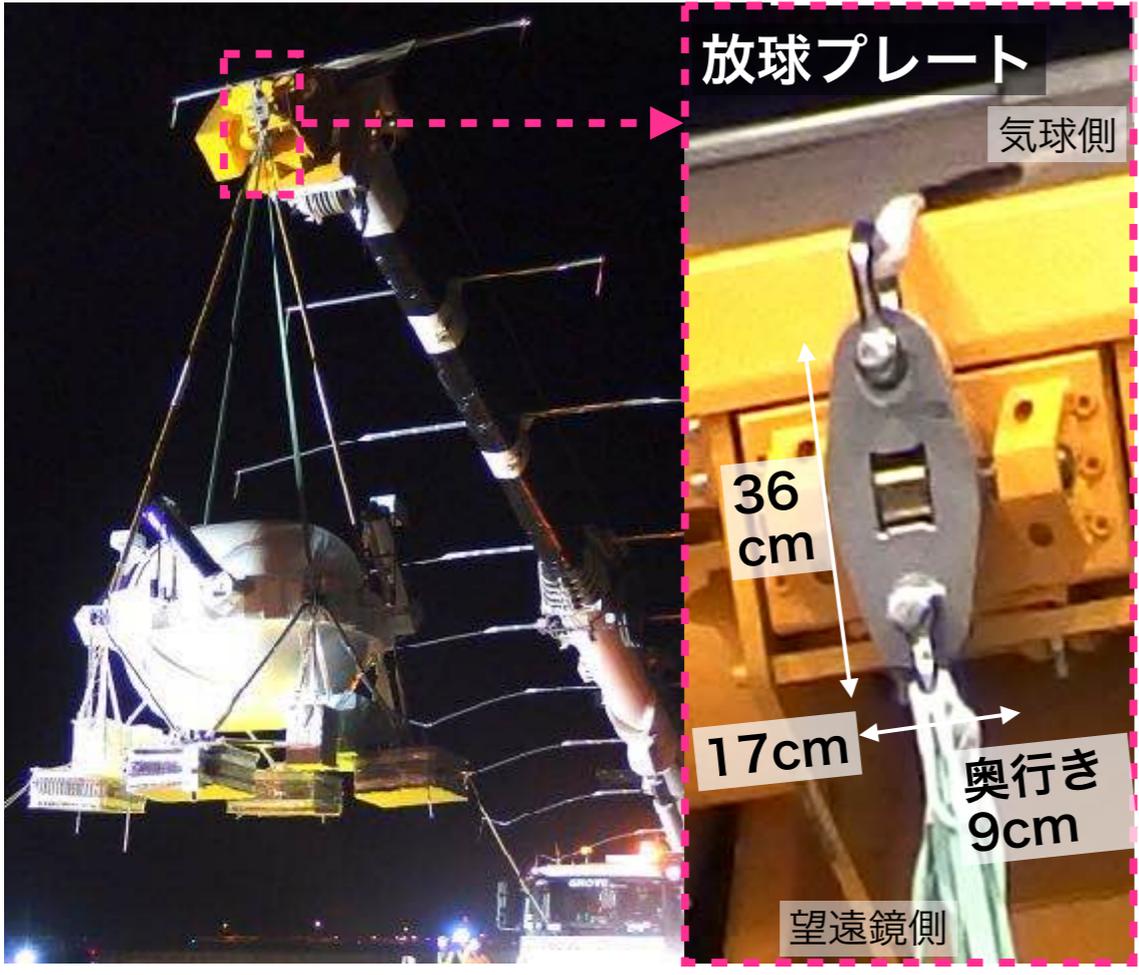
# Vela観測時間帯における 大気ガンマ線 測定結果



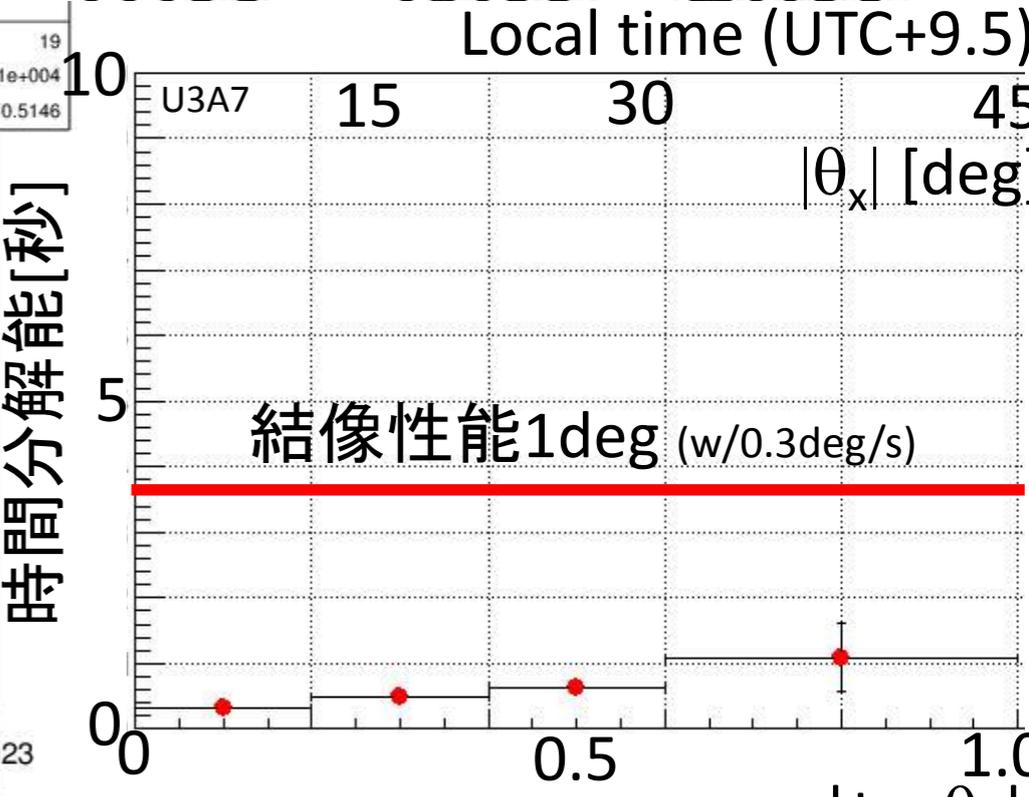
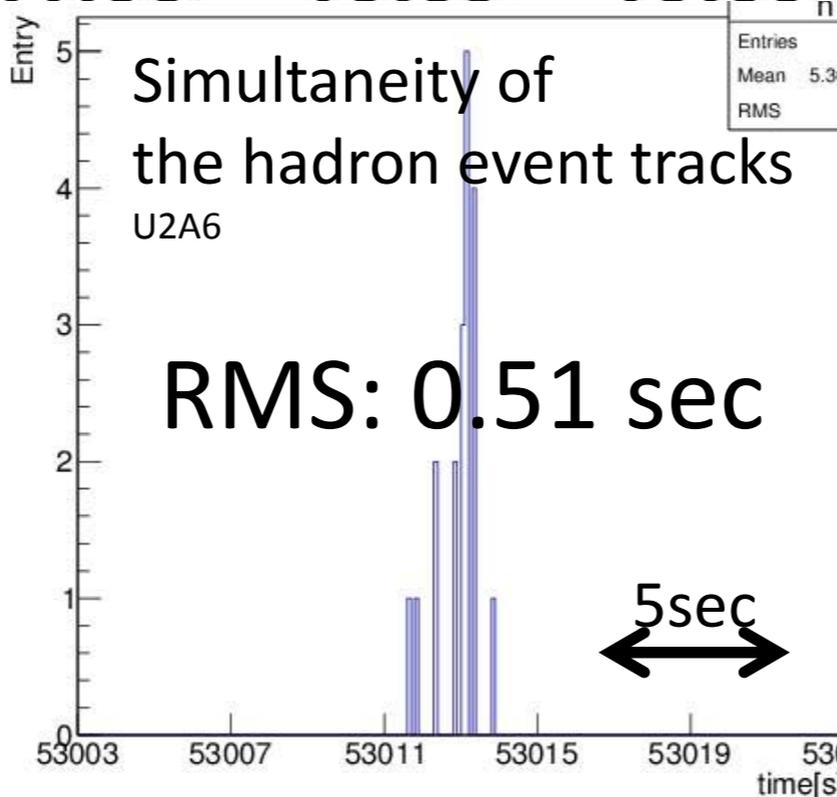
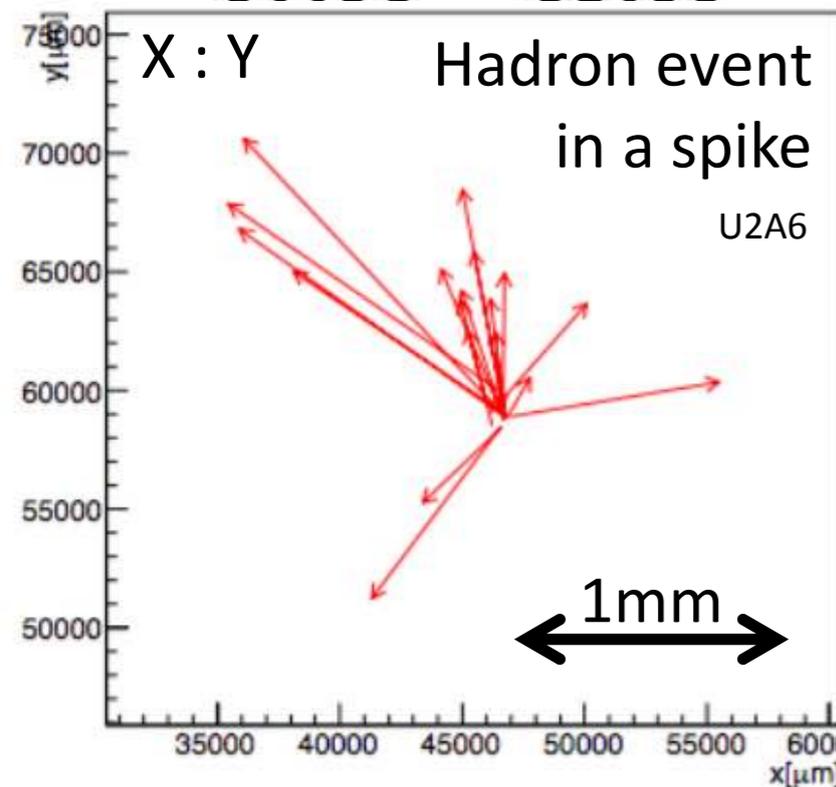
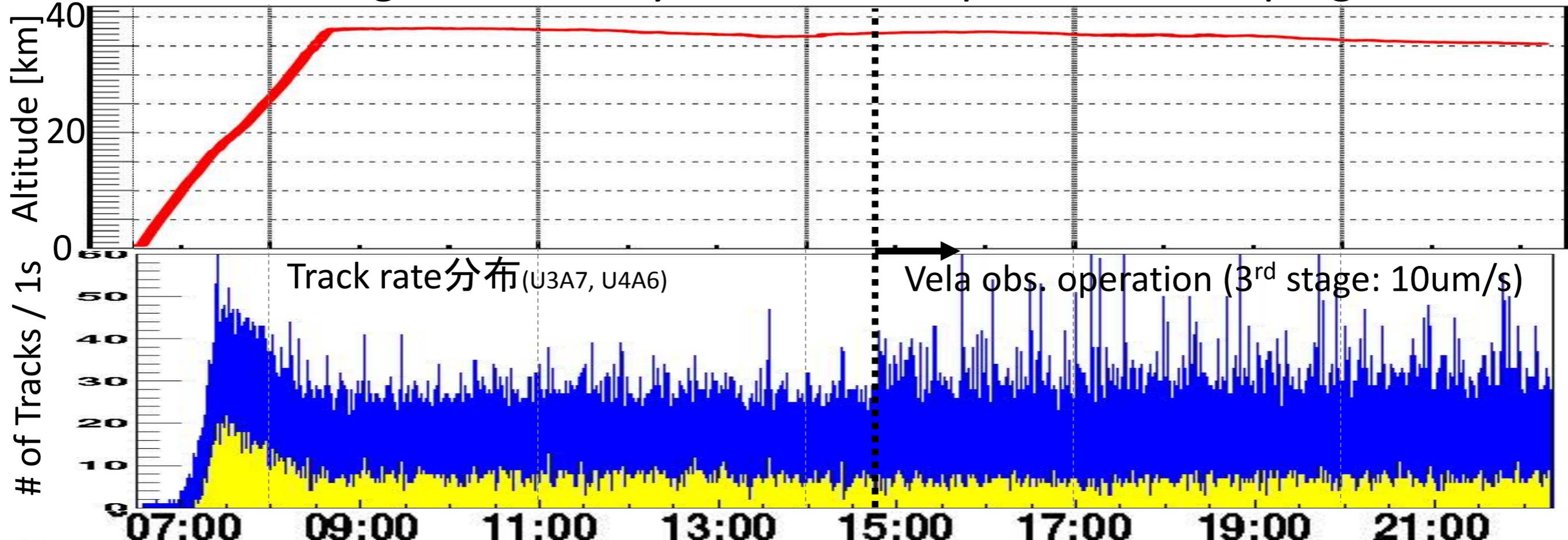
大気ガンマ線…宇宙線が我々の望遠鏡の上空の希薄な大気と反応して生じるガンマ線

# 検出器外の $\gamma$ 線源のイメージング

半径 10mradの円でスムージング



# GRAINE 2018, Flight data analysis, Timestamper, Timestamping

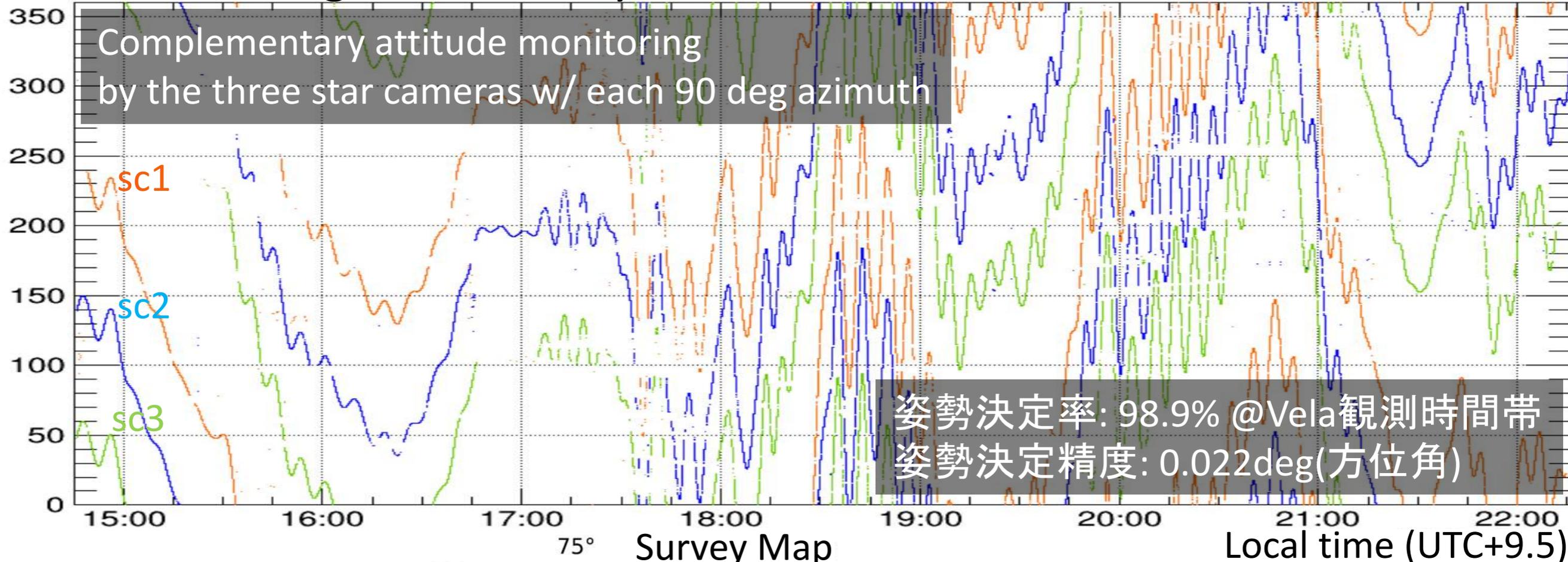


Timestampable  
for high resolution  $\gamma$ -ray imaging

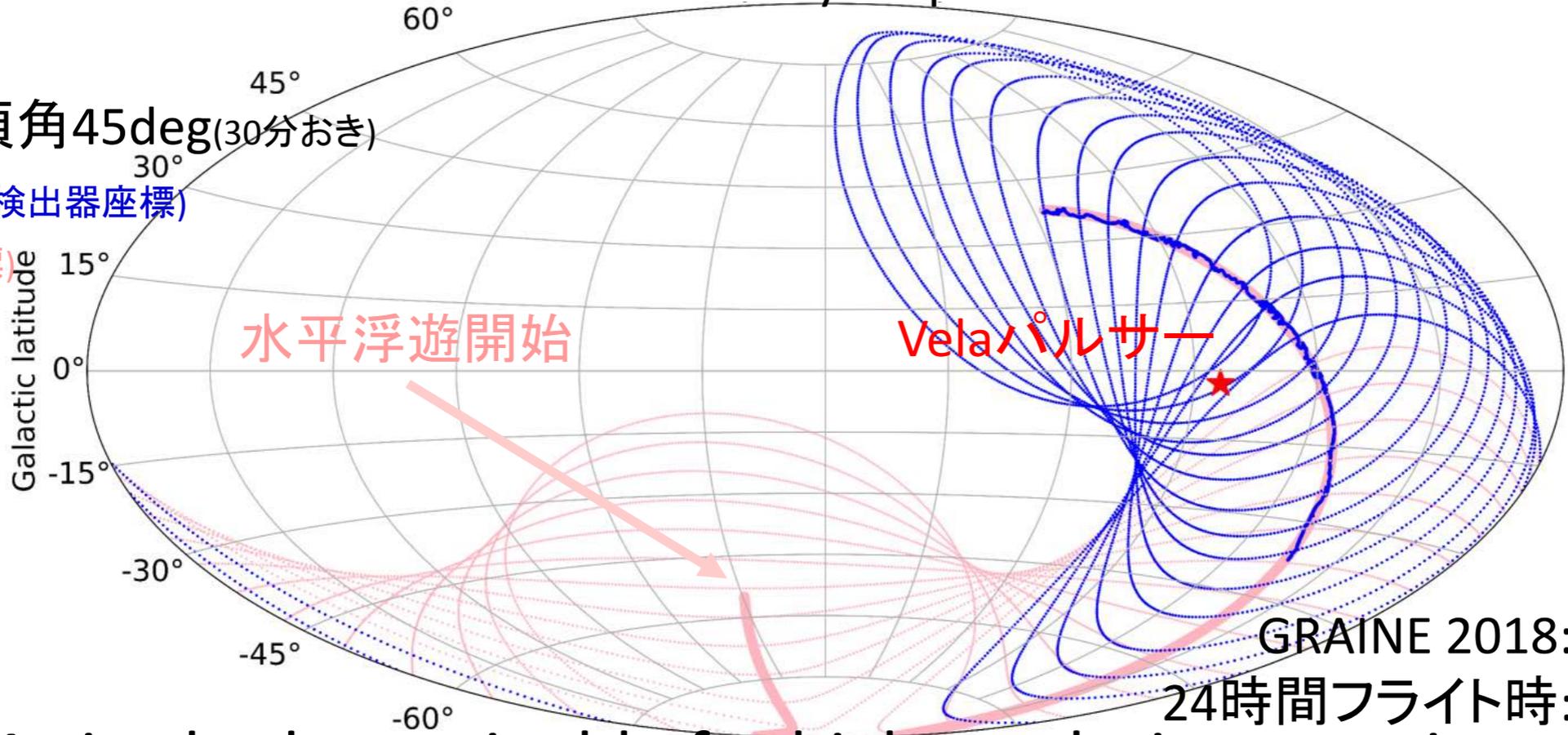
目標結像性能1degに対して  
良い時間分解能を達成

# GRAINE 2018, Flight data analysis, Attitude monitor

地平座標方位角 [deg]



銀河座標  
 天頂、天頂角45deg(30分おき)  
 決定姿勢(検出器座標)  
 GPS(地平座標)

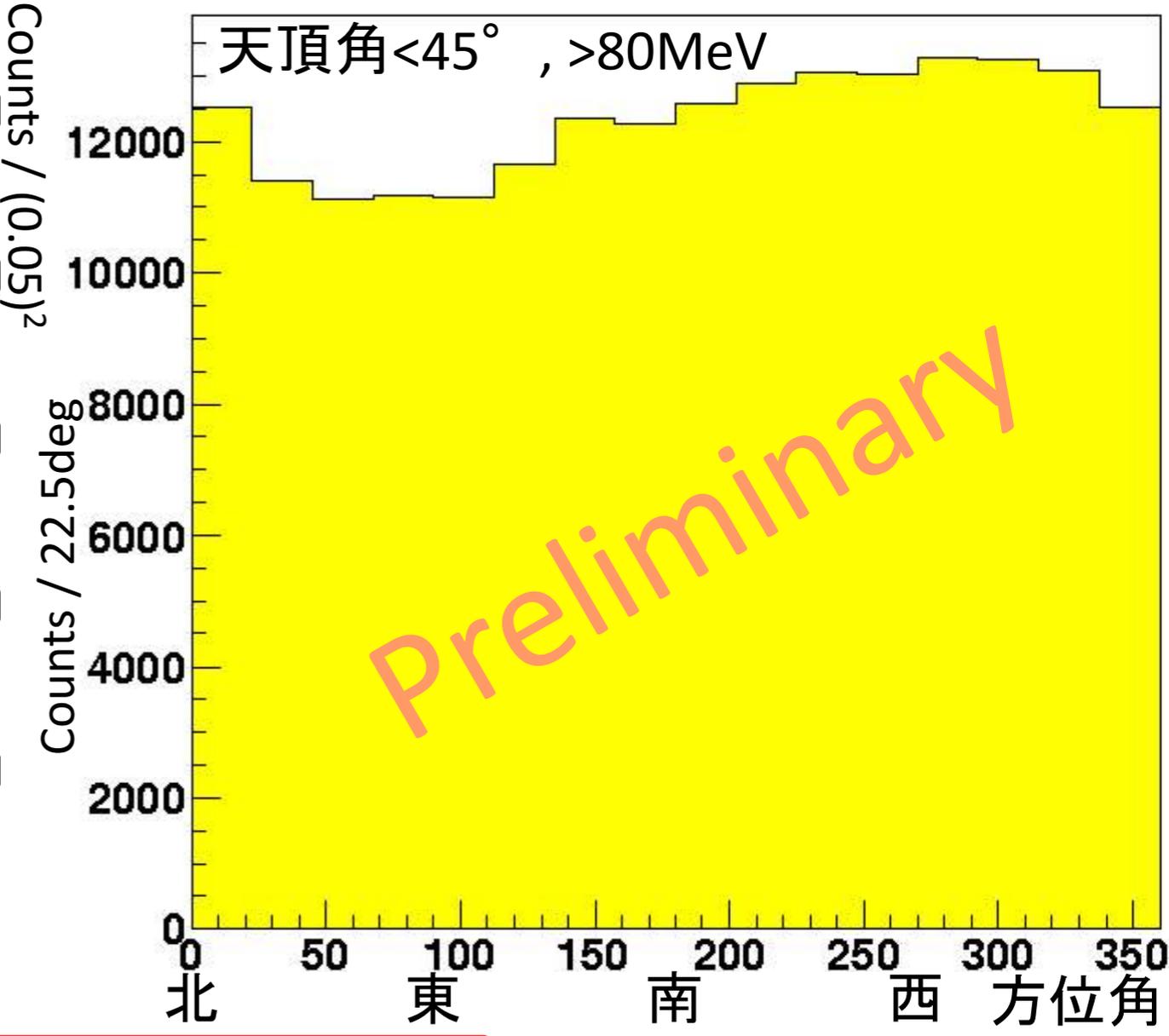
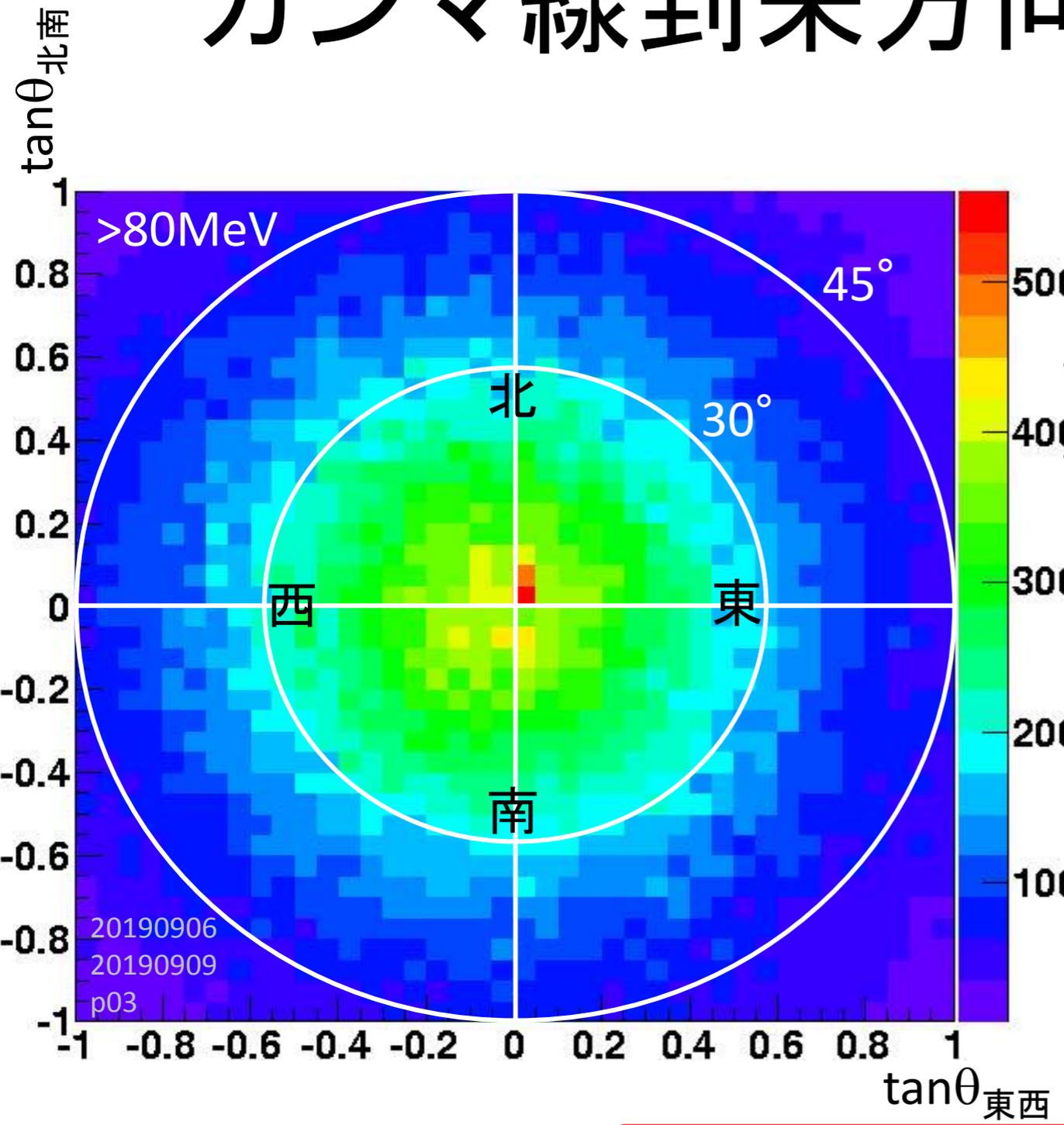


全天カバー率 .  
 GRAINE 2018: >51% (>2.0π[sr])  
 24時間フライト時: >65% (>2.6π[sr])

Attitude-determinable for high resolution  $\gamma$ -ray imaging

# ガンマ線到来方向分布 in地平座標

(仰角→天頂角)



ガンマ線事象は二次成分が主要  
 一次宇宙線と同様の東西効果を検出  
 GRAINE初

Velaパルサー周辺  
ガンマ線到来方向分布  
銀河座標

Preliminary

銀緯 [deg]  
8  
6  
4  
2  
0  
-2  
-4  
-6  
-8  
-10  
-12

# Velaパルサー周辺 ガンマ線到来方向分布 銀河座標

>80MeV  
Smoothed count map  
w/o exposure correction  
BG subtraction

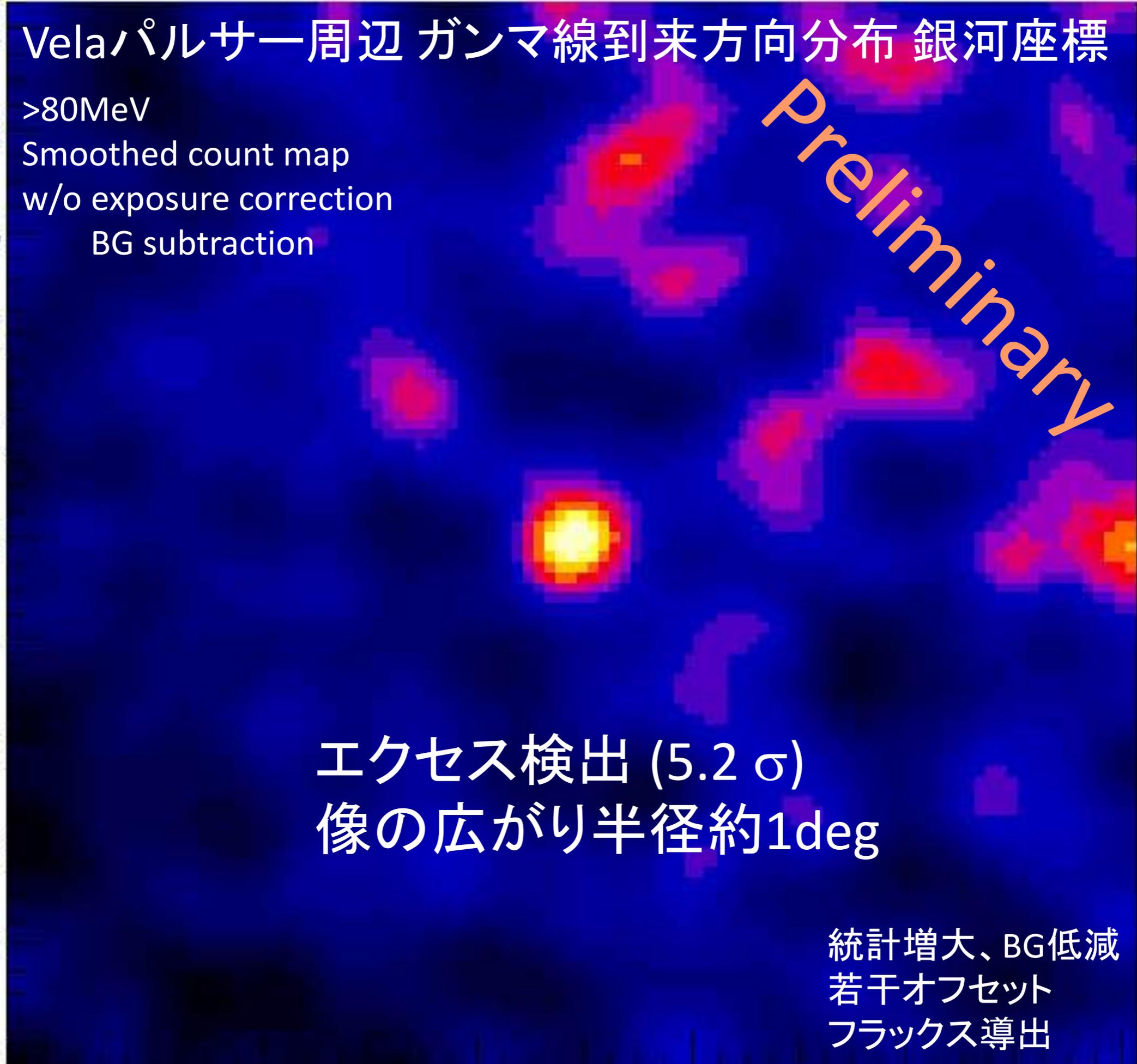
Preliminary

Counts/(0.2deg)<sup>2</sup>  
1.8  
1.6  
1.4  
1.2  
1

エクセス検出 (5.2  $\sigma$ )  
像の広がり半径約1deg

統計増大、BG低減  
若干オフセット  
フラックス導出

270 260 銀経 [deg]



# 科学観測実験 ロードマップ

Takahashi, Aoki  
et al., ASR 62  
(2018) 2945

2018年4月, 総合性能実証

Alice Springs  
0.38 m<sup>2</sup> aperture  
17.3 hours flight duration  
3 – 5 g/cm<sup>2</sup> altitude

Done  
by JAXA balloon

2021-, 科学観測

Alice Springs  
10 m<sup>2</sup> aperture  
>~36 hours flight duration  
<~10 g/cm<sup>2</sup> altitude

Velaパルサーの検出  
精密撮像、  
位相分解解析study、  
銀河面放射、Gemingaを  
検出もしくは兆候を捉える  
目標結像性能1deg(>100MeV)

Vela pulsar  
Polarization observation (<50%)

Pioneering polarization  
observation for high  
energy  $\gamma$ -rays

SNR W44 (<200MeV, >200MeV)  
Precise spectrum measurement  
High resolution imaging

Studying cosmic ray  
sources

Galactic Center  
Obs. with ~arcmin resolution

Resolving GeV  $\gamma$ -ray  
excess at galactic center

Test of fundamental symmetries beyond the Planck scale

Transient sources  
Obs. w/ high sensitivity  
& high photon stats

Studying transient  
sources & w/ ones

GRPとの相関探索、GeV  $\gamma$ -ray Pair Halo探索→IGMFを制限

## フライトデータ解析状況

エクセス検出(5.2 $\sigma$ )

像広がり半径約1deg(>80MeV)

今後

- 統計増大、BG低減
- オフセット理解
- フラックス導出

# まとめ

- GRAINE計画：気球搭載型エマルジョン $\gamma$ 線望遠鏡による宇宙 $\gamma$ 線精密観測
- 2018年4月気球実験実施(目的：望遠鏡の総合性能実証) フライトフィルムのデータ取得を2018年内に完了
- コンバーター、シフター、スターカメラの各コンポーネントにおいて上空でも要求性能を満たすような性能が発揮されていることを確認
- Velaパルサーの観測に関して、優位な信号を検出、像の広がりも $1^\circ$ 程度と、2018年実験で目標としていた結果が得られつつある
- 2021年-に大面積望遠鏡( $10\text{m}^2$ )での科学観測開始を目指して進行中