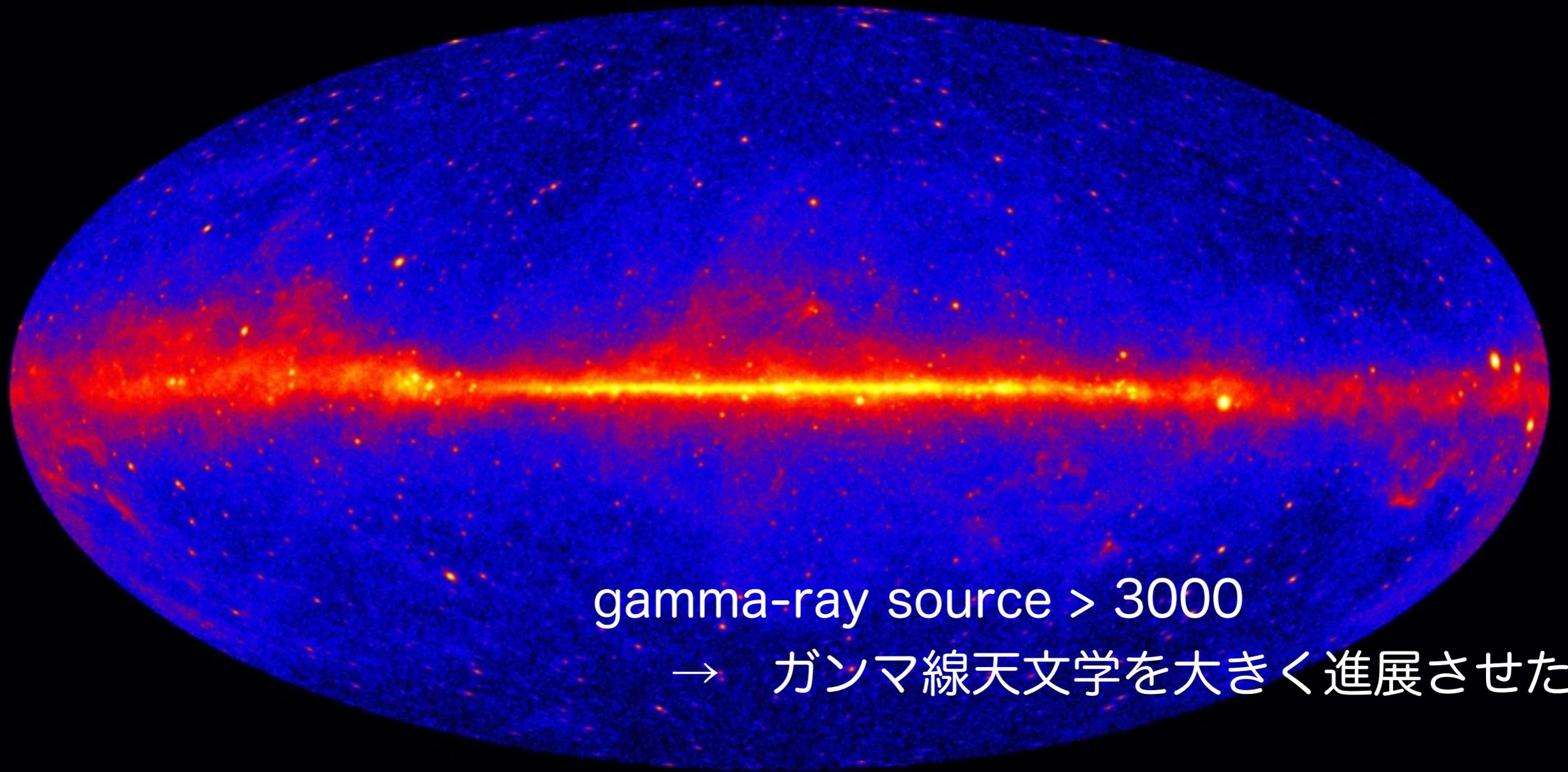


エマルション望遠鏡による
宇宙ガンマ線精密観測計画：GRAINE

神戸大 水谷深志

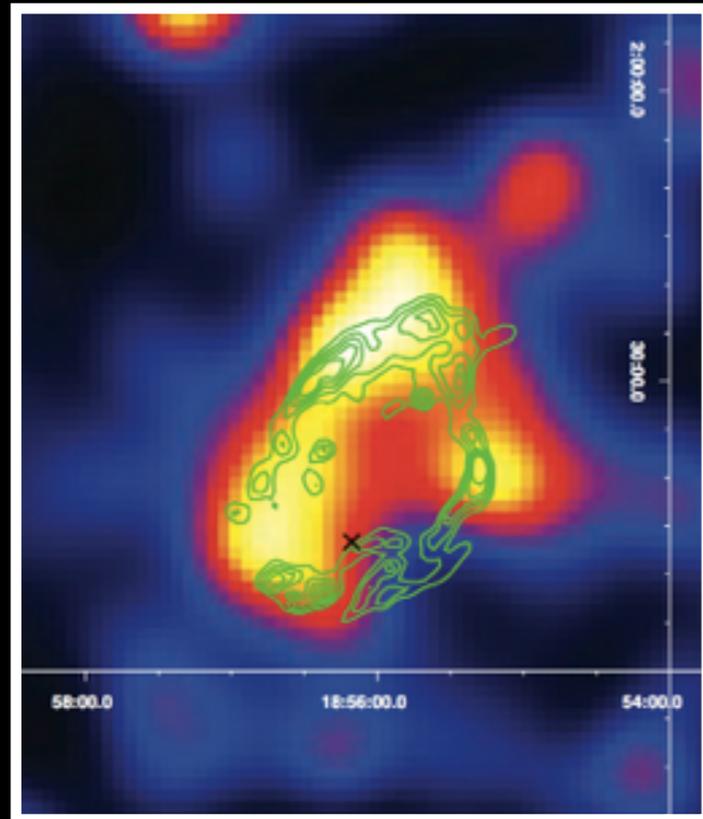
ガンマ線でみた宇宙



gamma-ray source > 3000

→ ガンマ線天文学を大きく進展させた

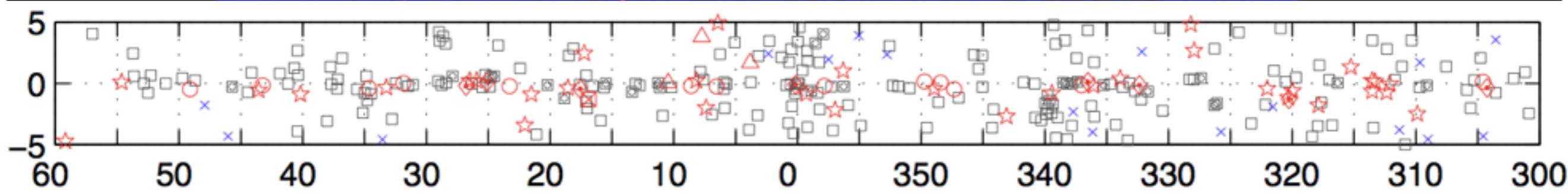
ガンマ線でみた宇宙



- 未同定天体
- 空間構造
- エネルギースペクトル
- 偏光
- ライトカーブ
- DM
- GC

etc . . .

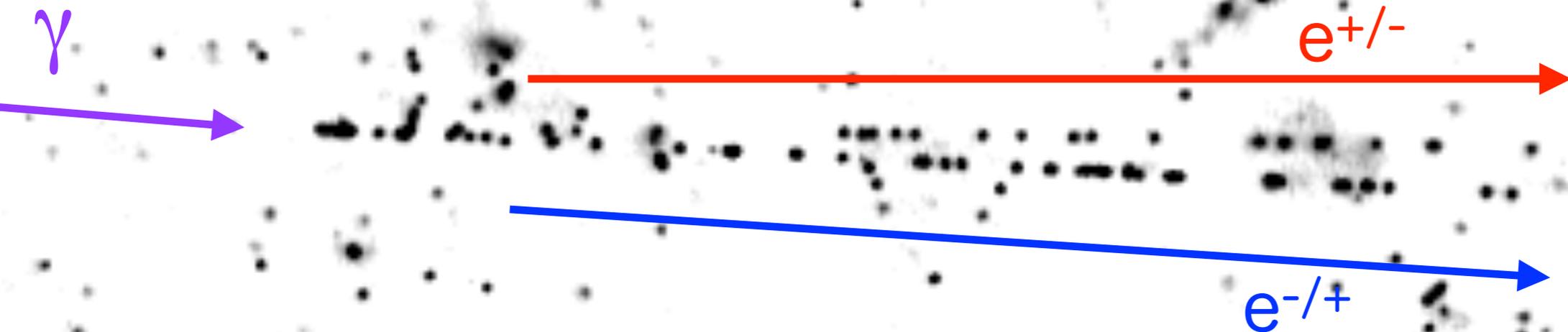
Galactic latitude [deg]



Galactic longitude [deg]

□ : No association

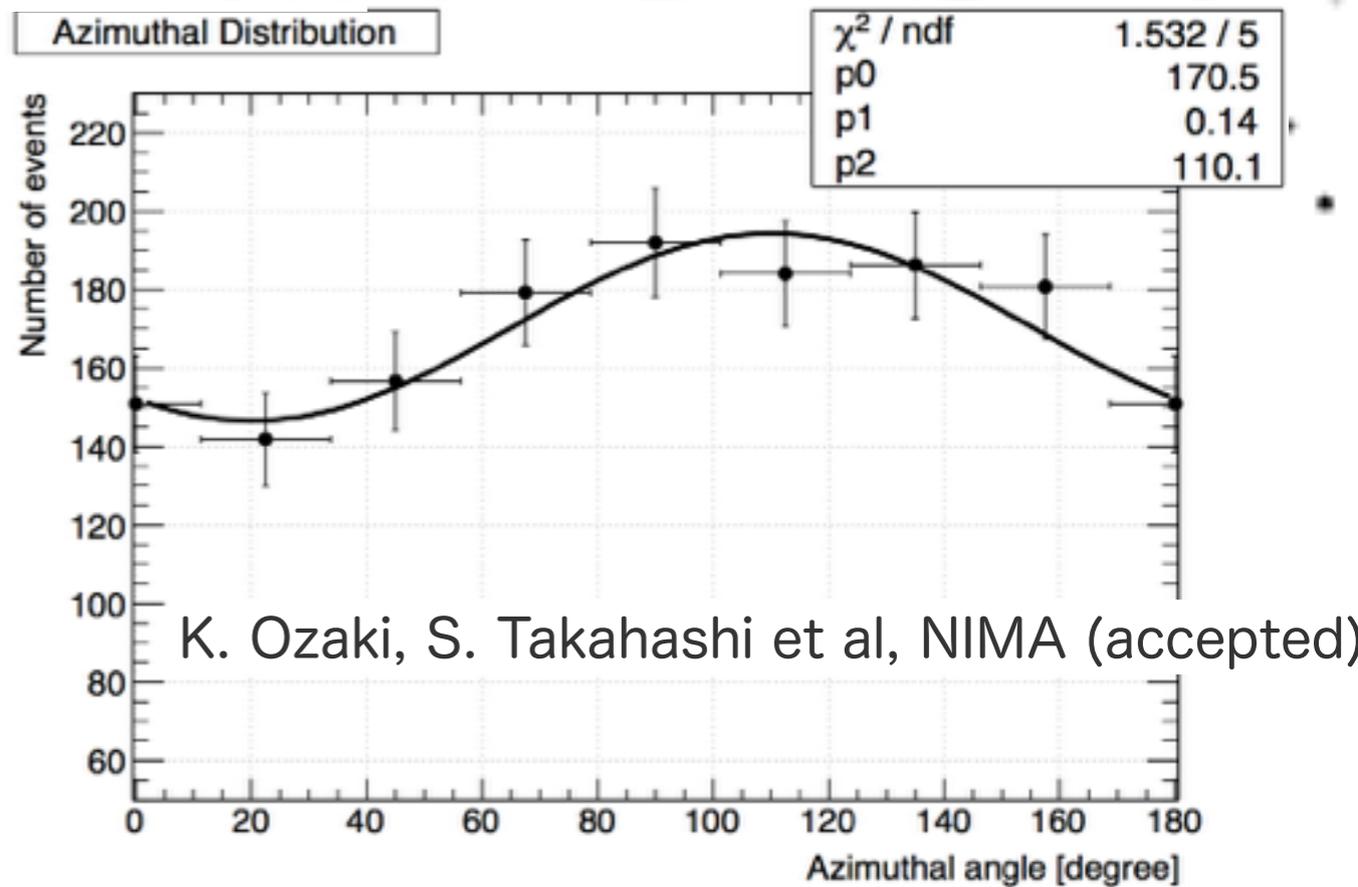
原子核乾板



◎位置・角度精度

emulsion, 60 μm	$\delta x \sim \text{sub-micron}$ $\delta \theta \sim \text{milli rad}$
PS base, 170 μm	
emulsion, 60 μm	

◎偏光感度



Emulsion γ -ray Telescope

Converter

Emulsion stack

Timestamper

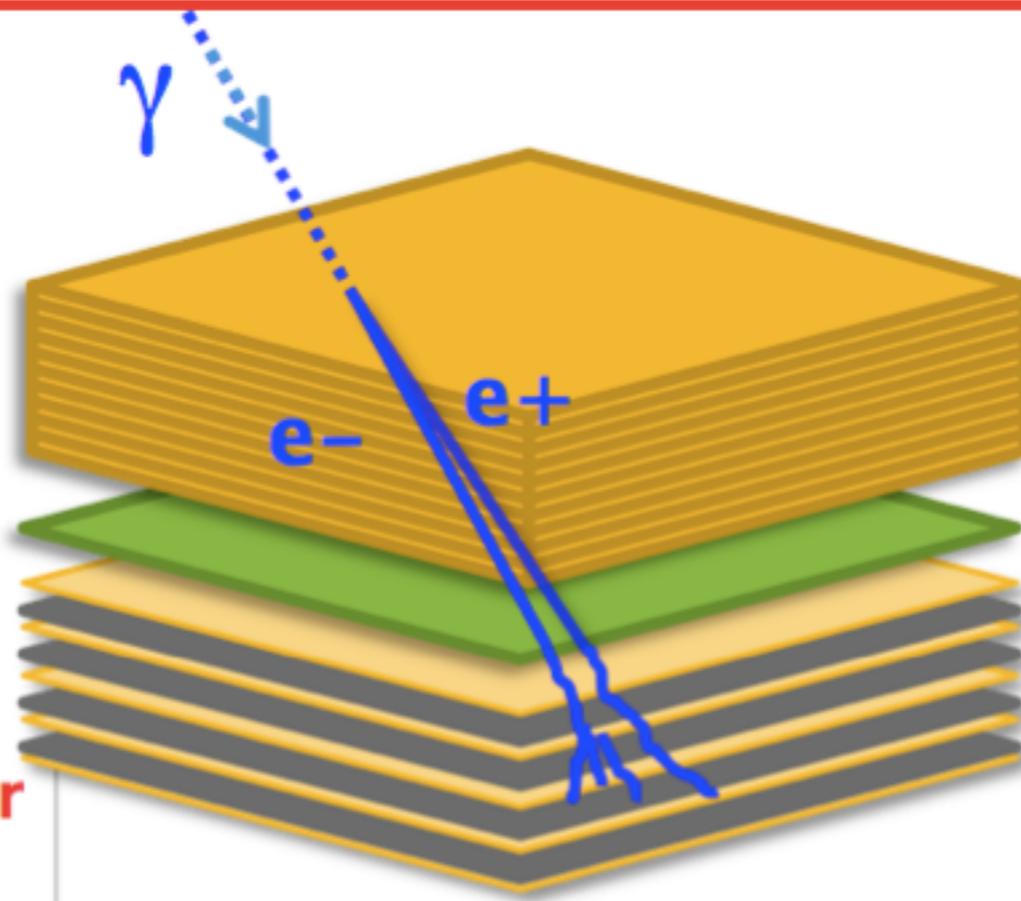
Multi-stage shifter

Calorimeter

Emulsion + metal plate

Attitude monitor

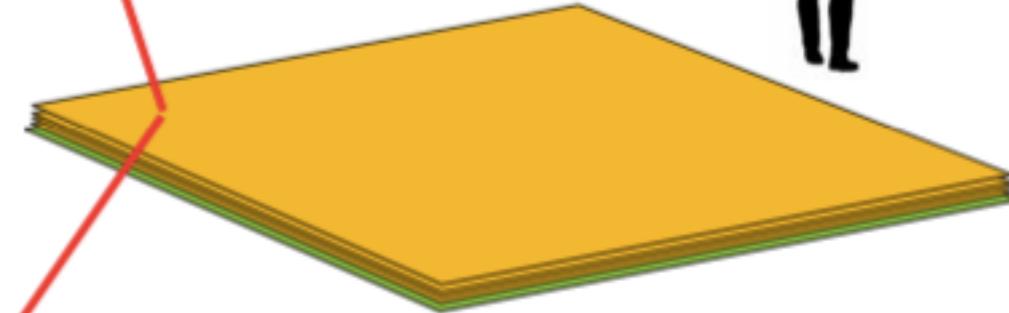
Star camera



気球搭載

大面積望遠鏡

10m², ~2t



* 10m² * ϵ_{trans} * ϵ_{conv} * ϵ_{det}

	Fermi LAT		GRAINE
Angular resolution@100MeV	6.0deg (105mrad)	x1/6	1.0deg (17mrad)
@1GeV	0.90deg (16mrad)	x1/9	0.1deg (1.7mrad)
Energy range	20MeV - 300GeV		10MeV - 100GeV
Polarization sensitivity	No	x8	Yes
Effective area @ 100MeV	0.25m ²	x3	2.1m ² *
@ 1GeV	0.88m ²		2.8m ² *
Dead time	26.5 μ sec (readout time)		Dead time free

ロードマップ

1st step : 原理実証フェイズ @ 北海道大樹町, 2011年5月

口径面積 : 125cm², フライト時間 : 1.6h @ 35km

*S. Takahashi et al, PTEP 043H01 (2015)
H. Rokujo et al, NIMA 701 (2013)

エマルジョン望遠鏡の各要素の動作実証

ガンマ線の天球ポインティングまでのコンセプト実証

2nd step : 性能実証フェイズ @ 豪州アリススプリングス, 2015年5月

口径面積 : 3880cm², フライト : 11.5h @ >36km

*S. Takahashi et al, PTEP 073F01 (2016)
K. Ozaki et al, JINST 10 P12018 (2015)

原子核乾板による初の天体観測

エマルジョン望遠鏡の結像性能評価

偏光データ取得開始、時間分解能の追求

3rd step : 科学観測フェイズ

口径面積 : 数m², フライト時間 : 数日オーダーの
フライトを繰り返して科学観測

target : pulsar, SNR, GC, DM

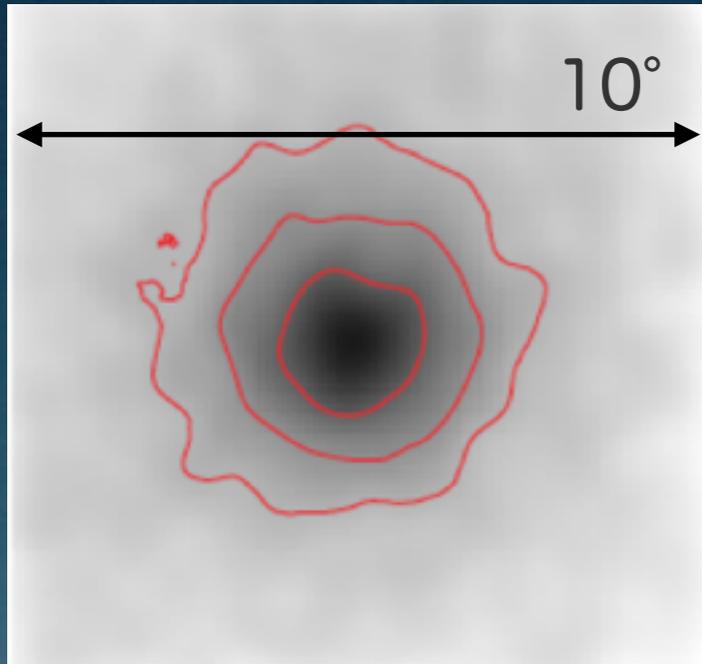
豪州気球実験

放球ムービーを流す



豪州気球実験

Vela pulsar < 300MeV



flight status

- ・ 放球場所, 時刻：
豪州アリススプリングス, 2015年5月12日6時33分
- ・ フライト時間：
14時間22分(内、11.5時間が高度36km以上)
- ・ 回収場所, 時刻：
豪州ロングリーチ近郊, 翌13日11時ごろから



フライト後の流れ

気球フライト実施, 回収

Alice Springs -> Longreach

冷蔵トラックで輸送

Longreach -> Sydney

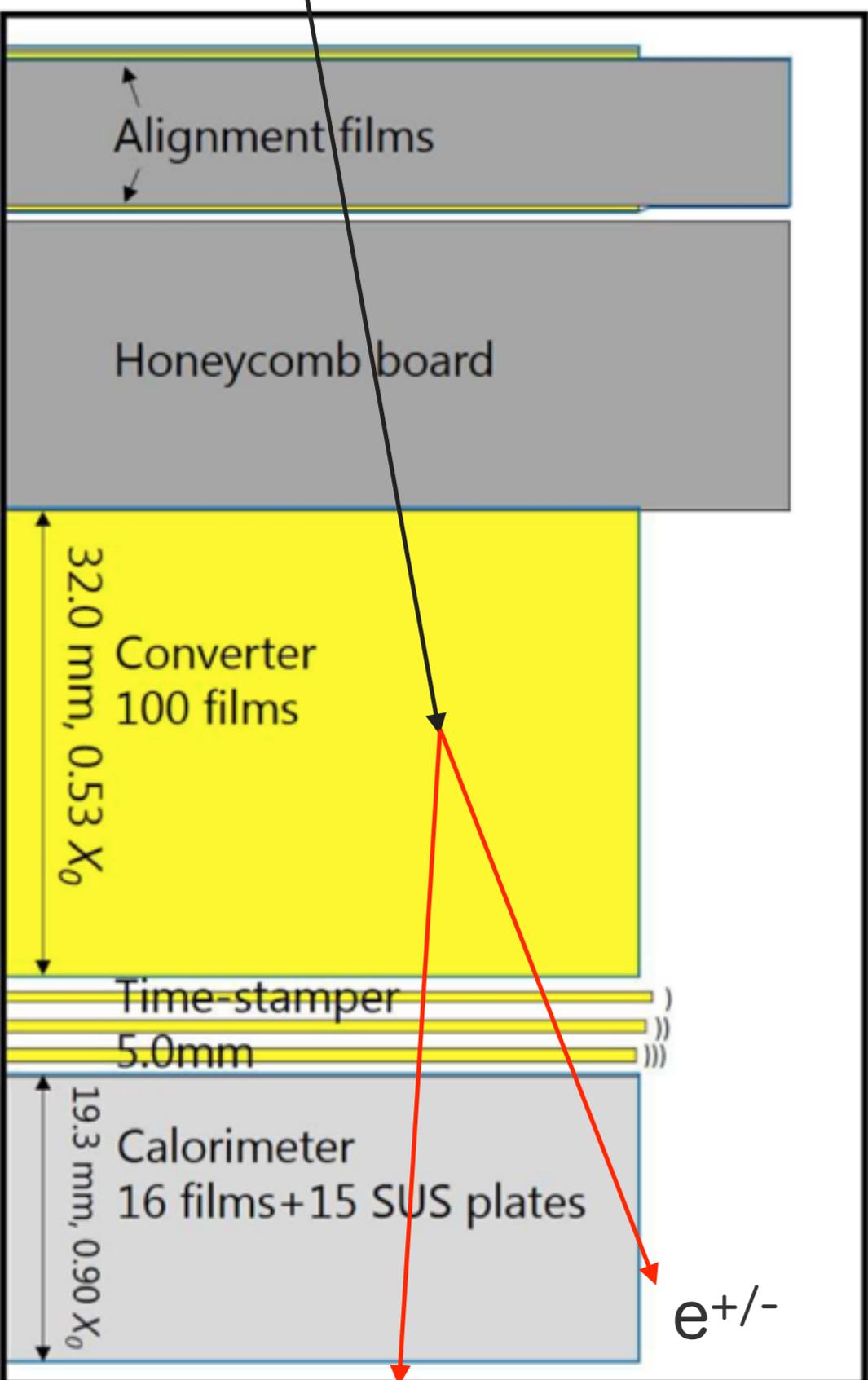
現像 @ Sydney大学

手荷物で輸入

Sydney -> 神戸



解析のながれ



飛跡の読み取り

コンバーター解析

- ・ 飛跡再構成
- ・ ガンマ線イベント検出
 - ・ エネルギー測定
 - ・ 入射角の決定

シフター解析

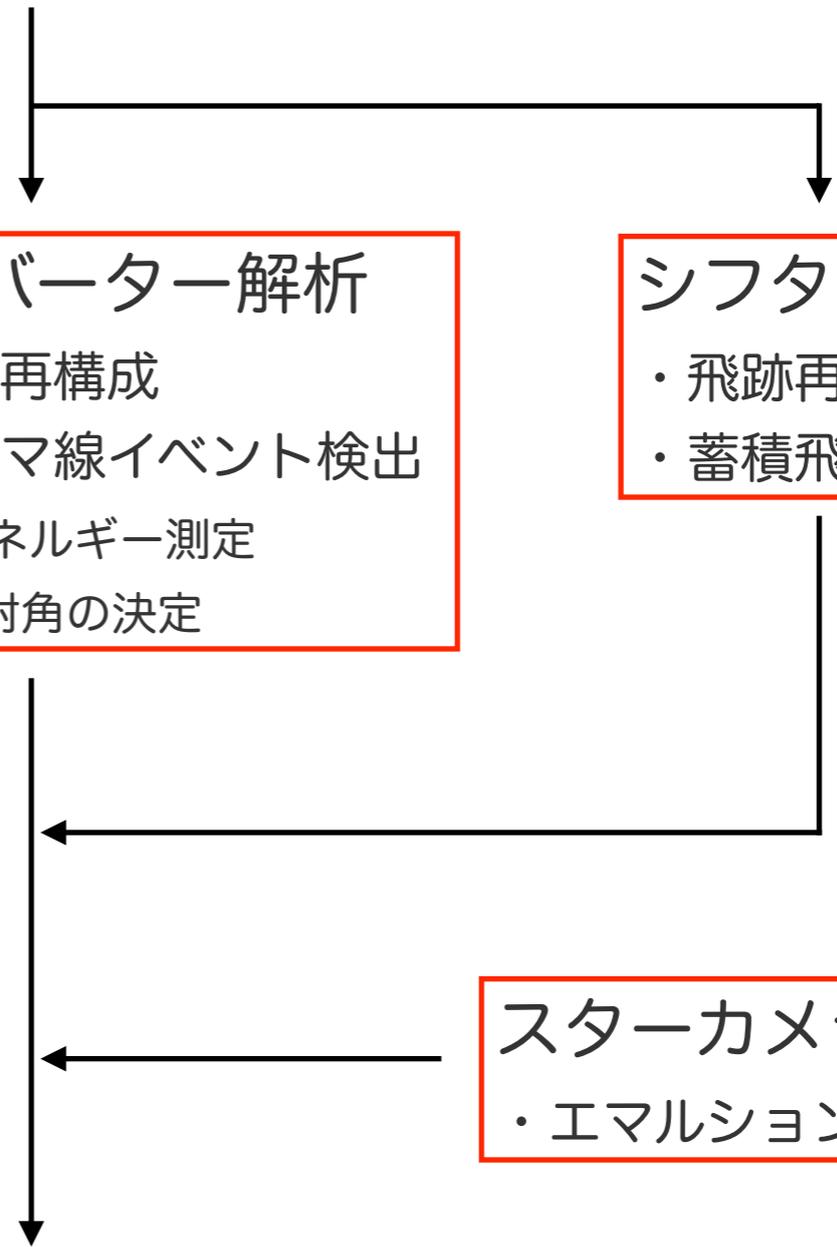
- ・ 飛跡再構成
- ・ 蓄積飛跡への時刻付与

スターカメラ解析

- ・ エマルジョン望遠鏡の姿勢決定

ガンマ線ポイントイング

- ・ off-sourceでのBG評価
- ・ Vela pulsarの結像



飛跡の自動読み取り

対物レンズ

HTS

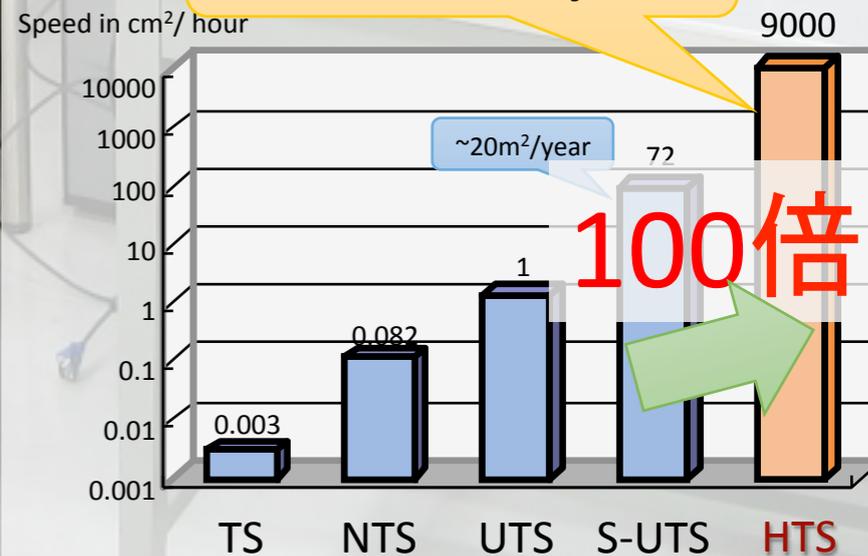
従来機

光学系

ステージ

飛跡認識用コンピュータ
×36

~2000m²/year



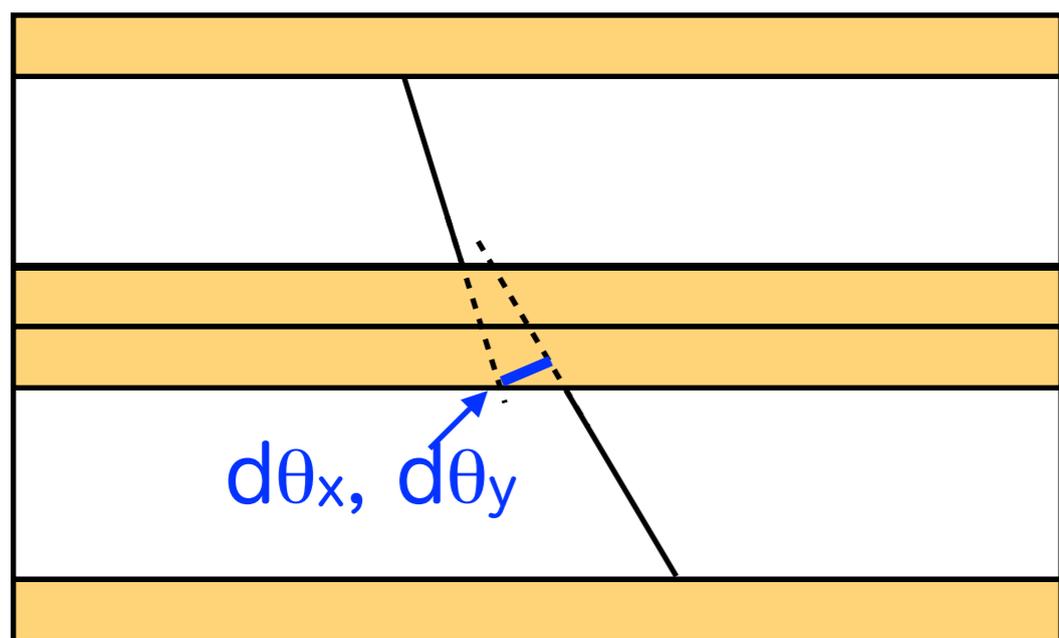
current speed : 4000cm²/h

(designed speed : 9000cm²/h)

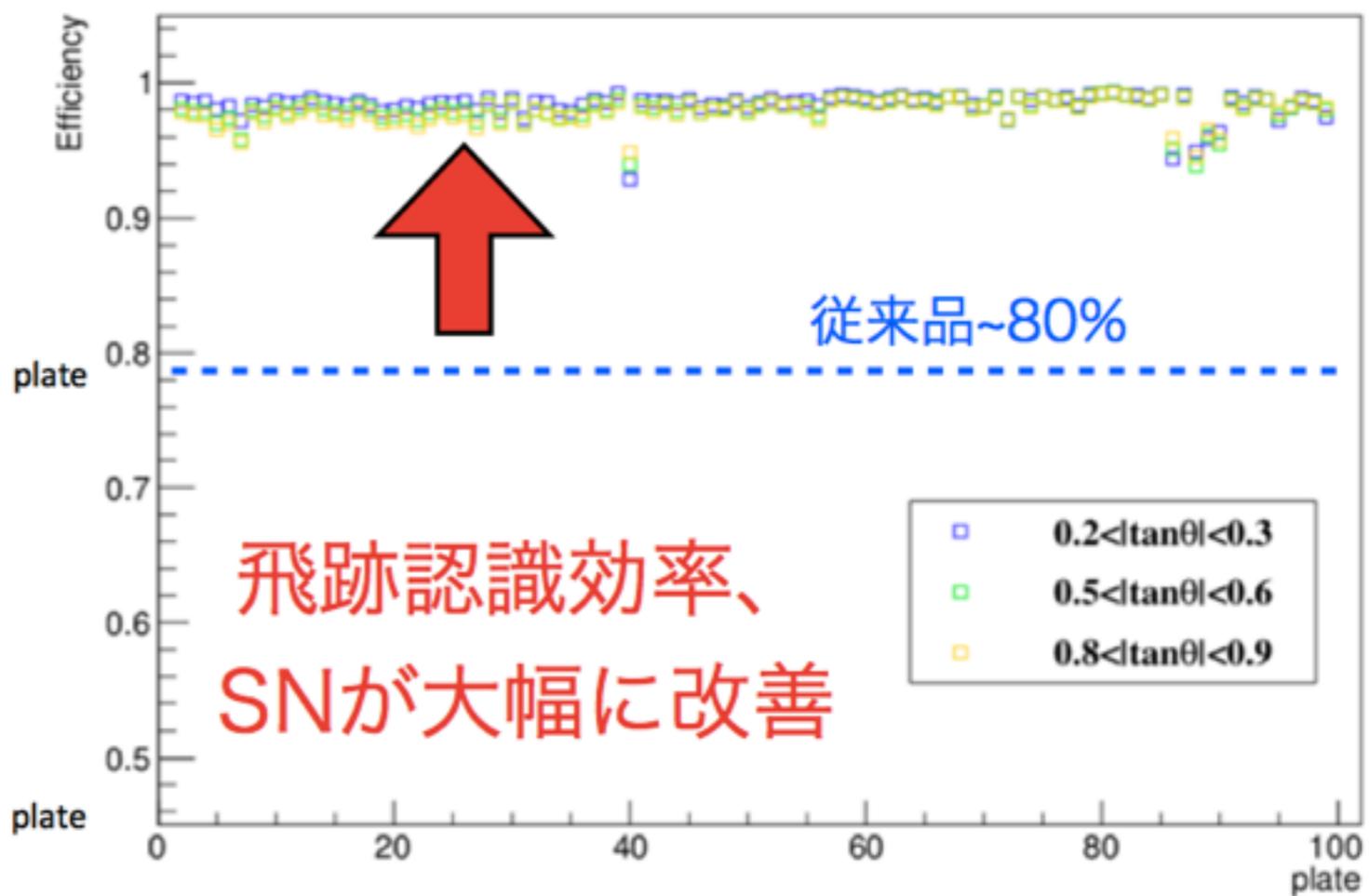
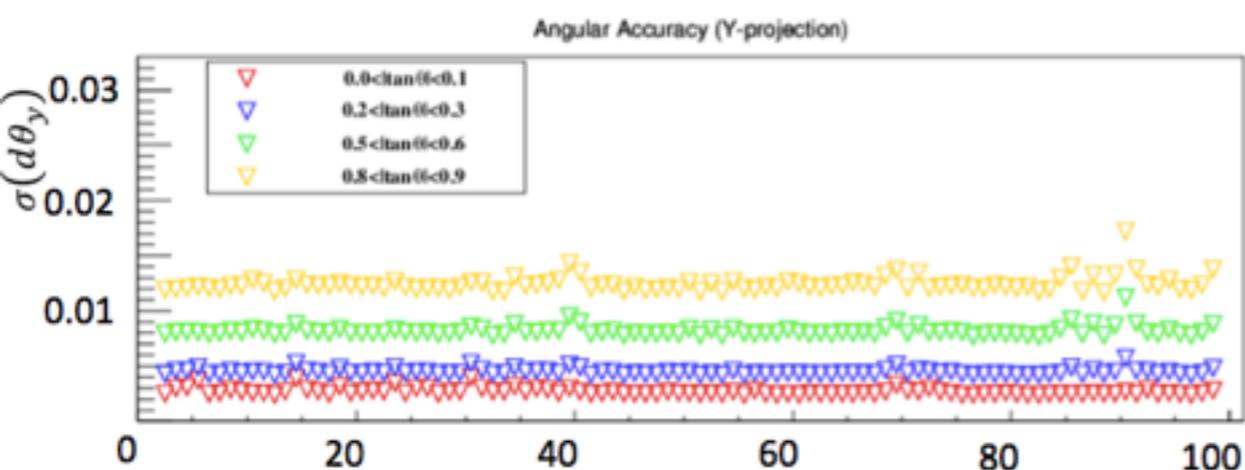
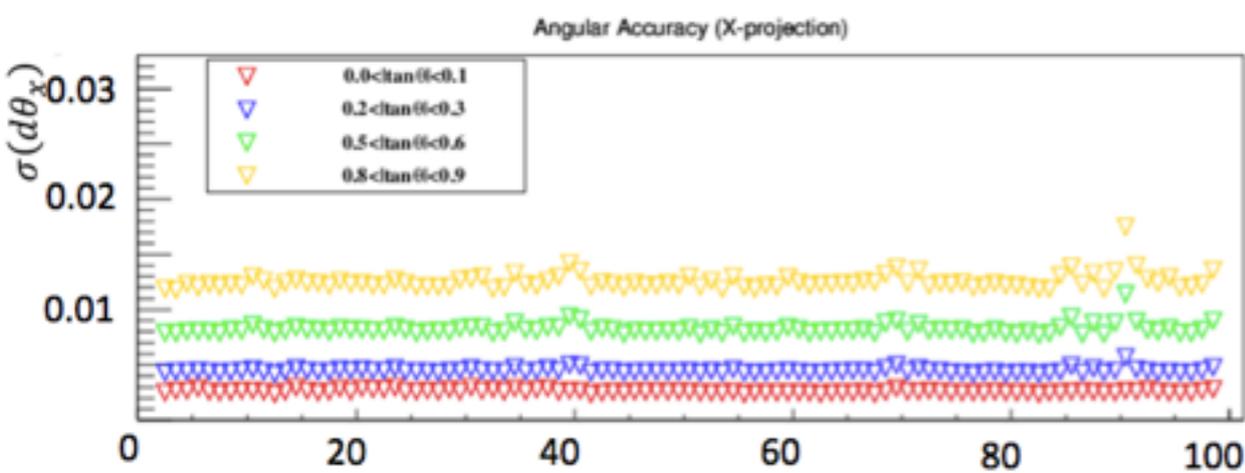
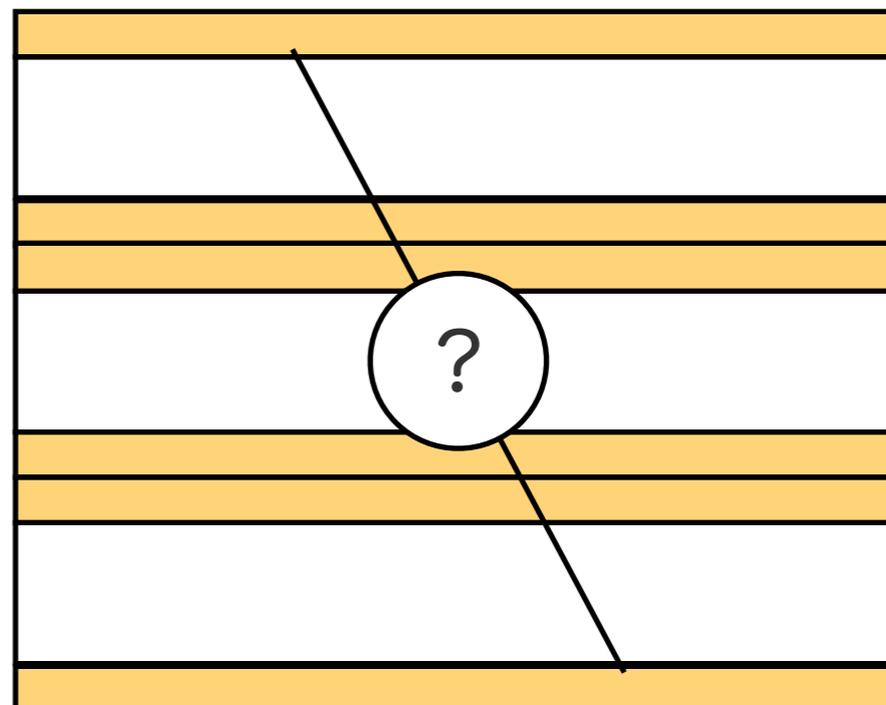
1枚のフィルムを9エリアに分割スキャン

実験に導入したフィルムのクォリティチェック

飛跡のつなぎ精度

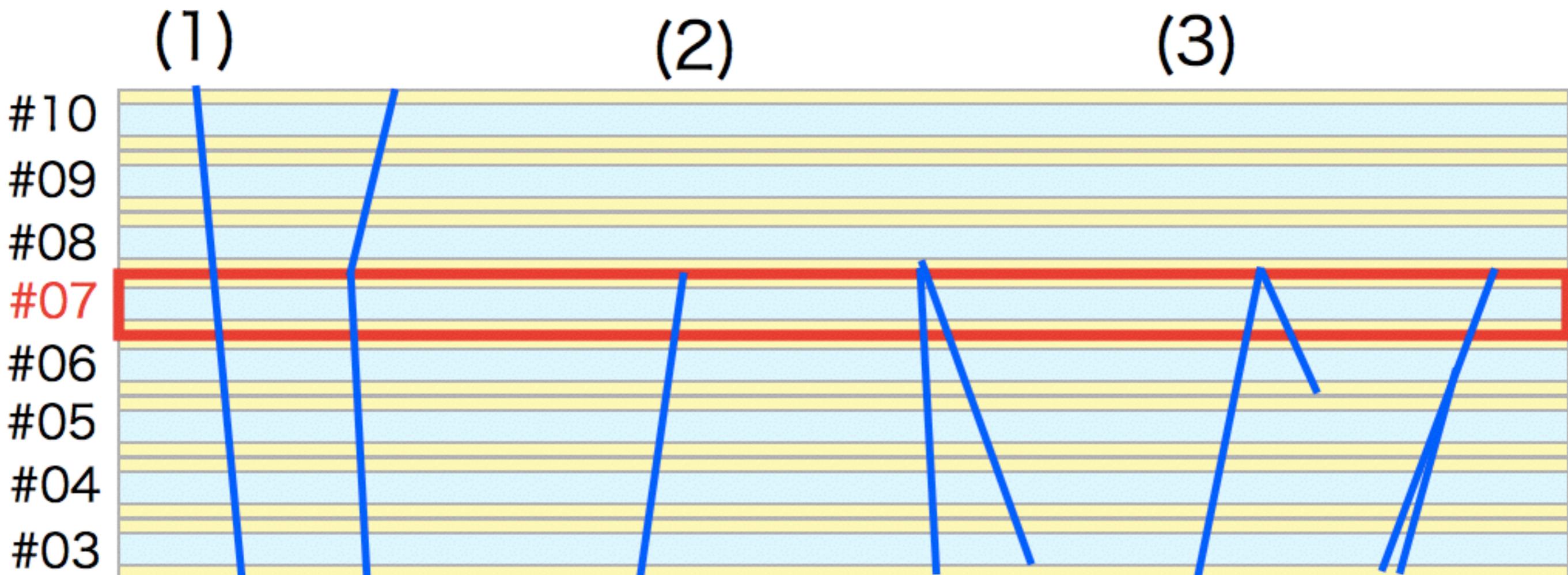


飛跡の検出効率



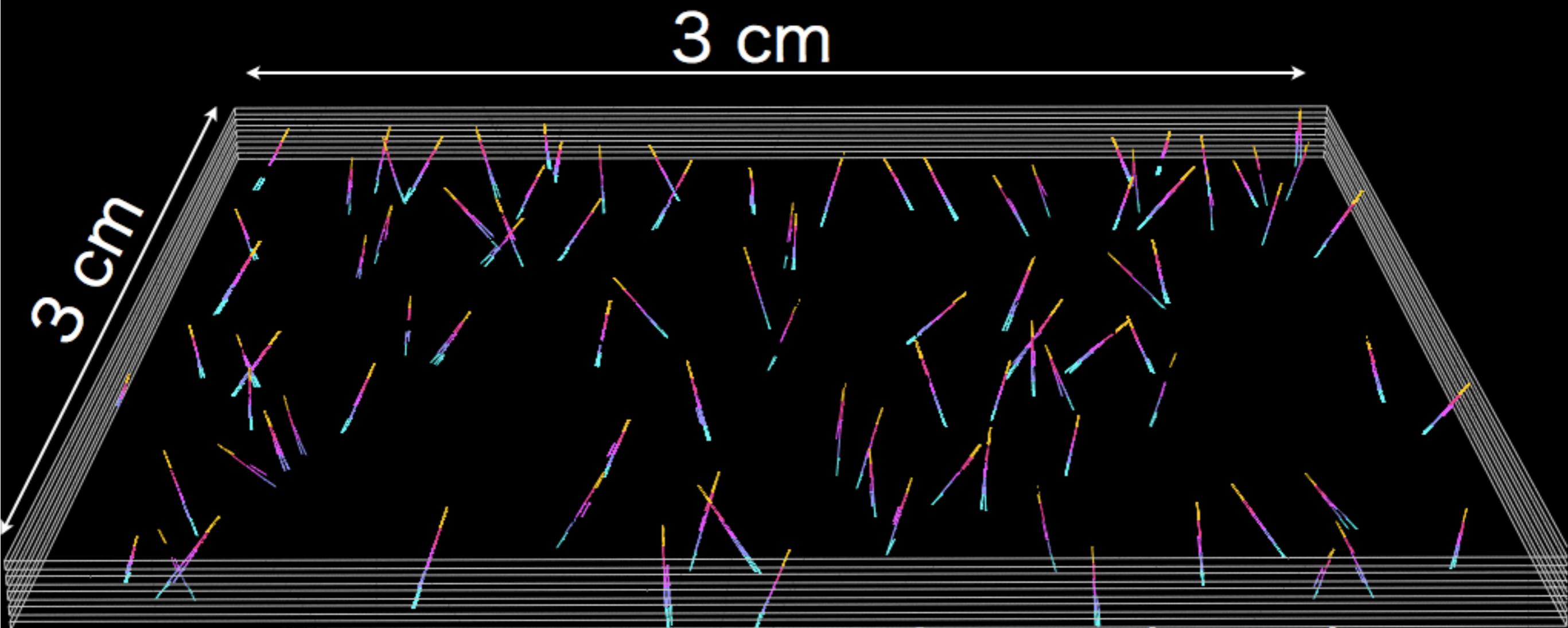
$\gamma \rightarrow e^+e^-$ セレクション

- (1) 貫通飛跡の消去
- (2) plate#07から始まり下流へつながる飛跡 (>50MeV/c)
- (3) パートナー飛跡の要求



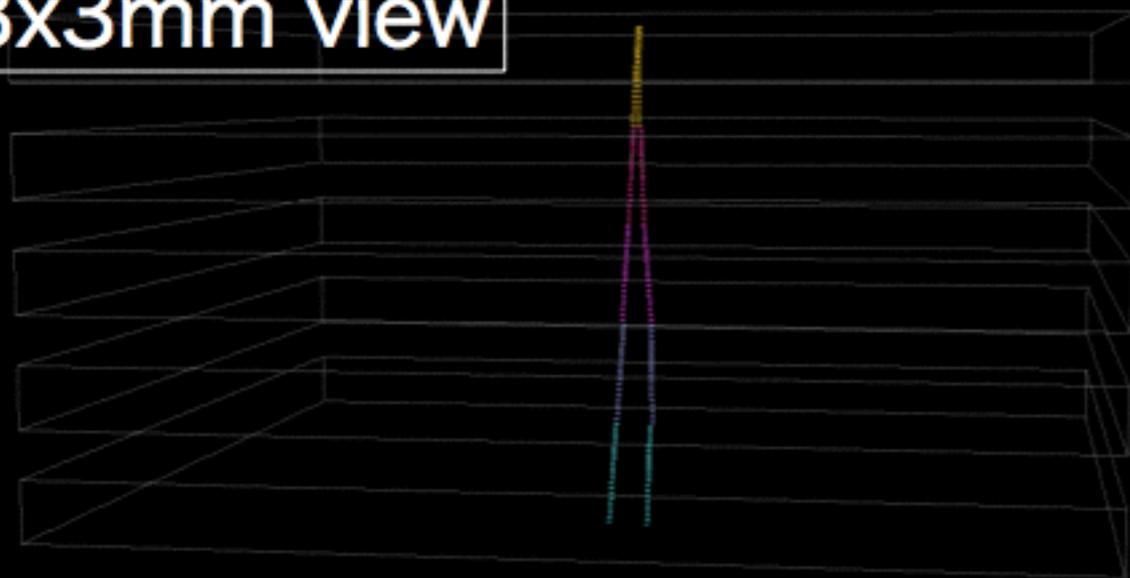
Selected Event Views

JPS2015秋 六條



Auto-selected

3x3mm view



109 events /3x3cm²

$|\tan \theta| < 1.0$ (天頂角 $\pm 45^\circ$)

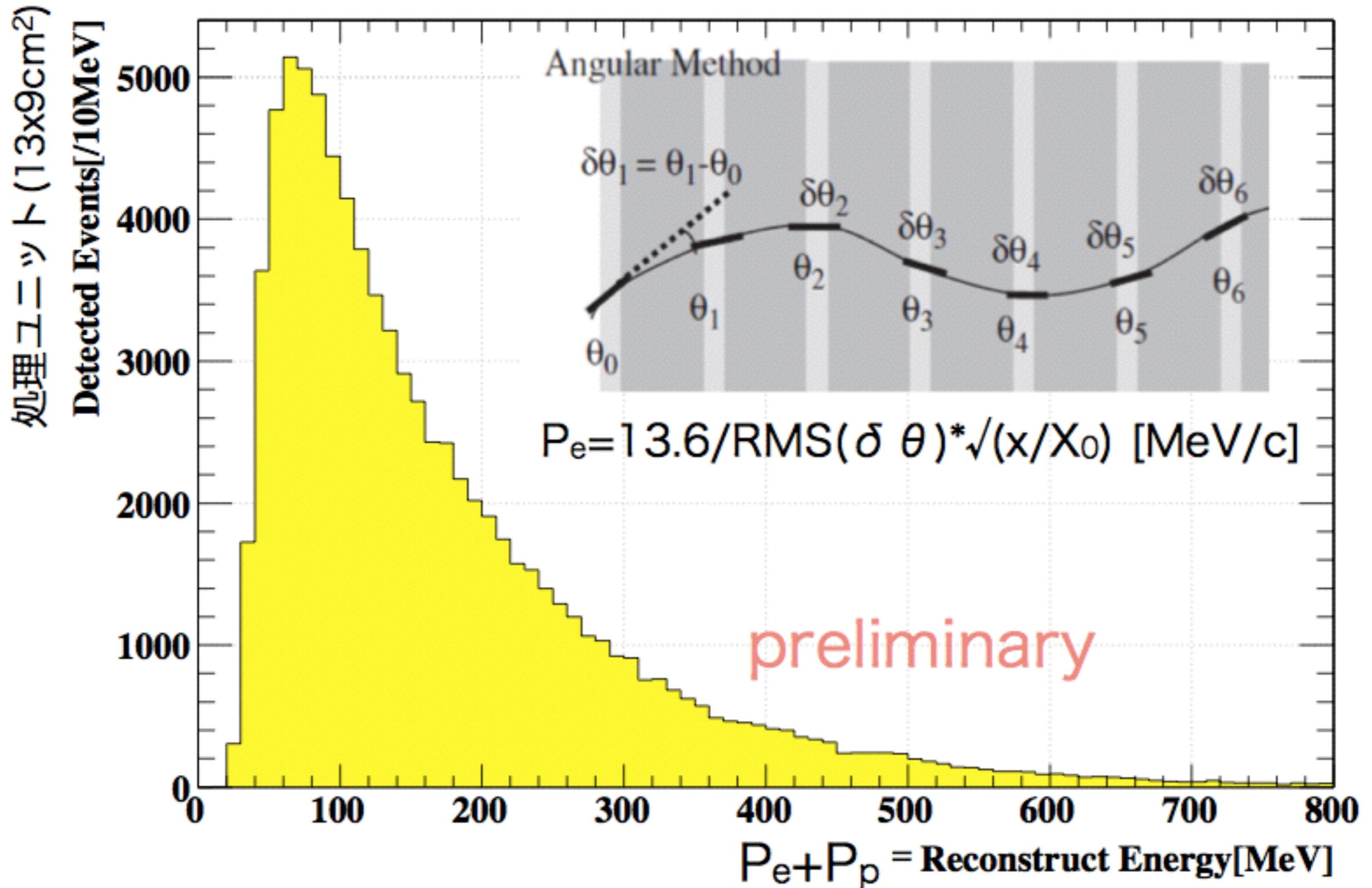
reliability 88%

efficiency 80%@200MeV

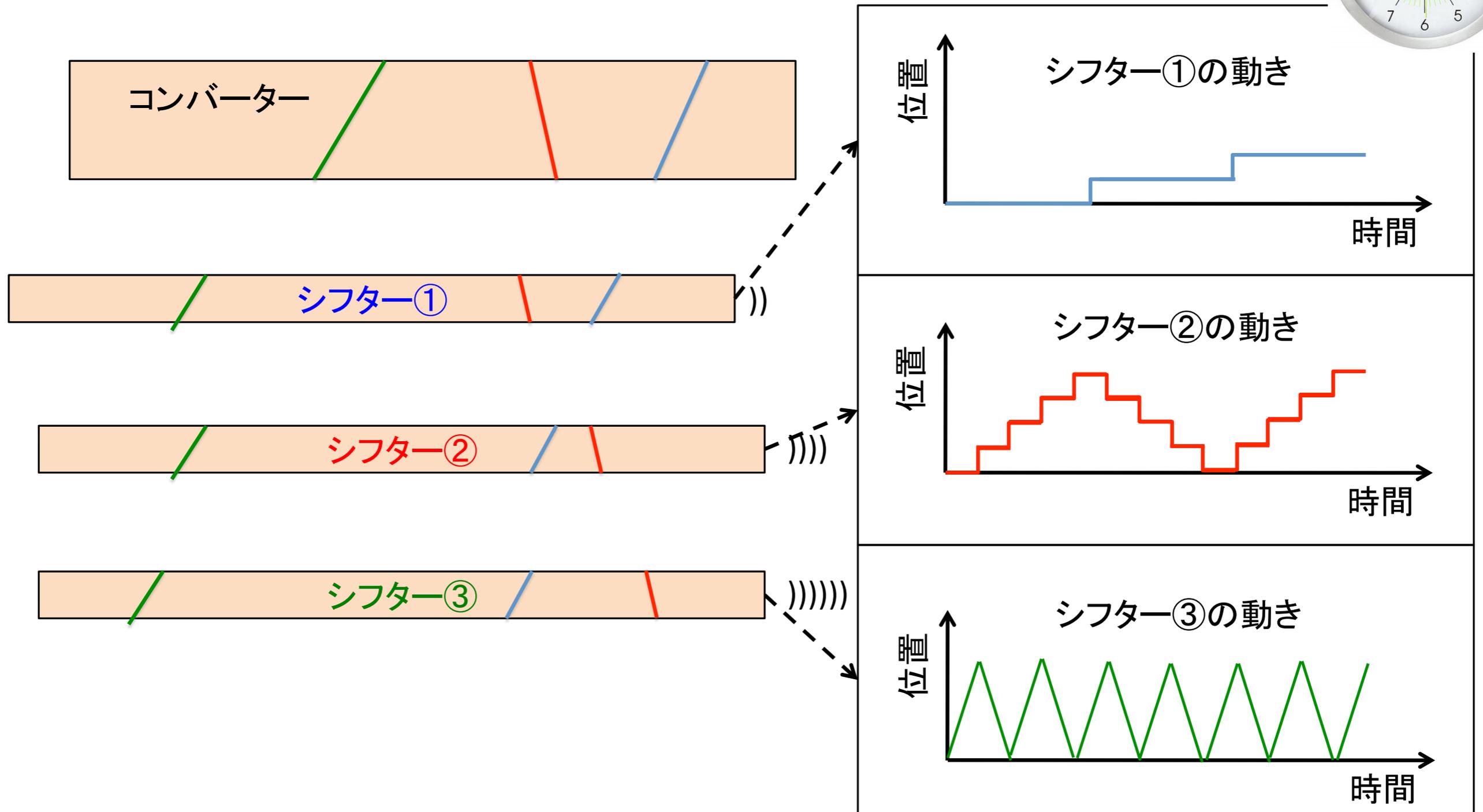
50%@100MeV

preliminary

ガンマ線エネルギースペクトル

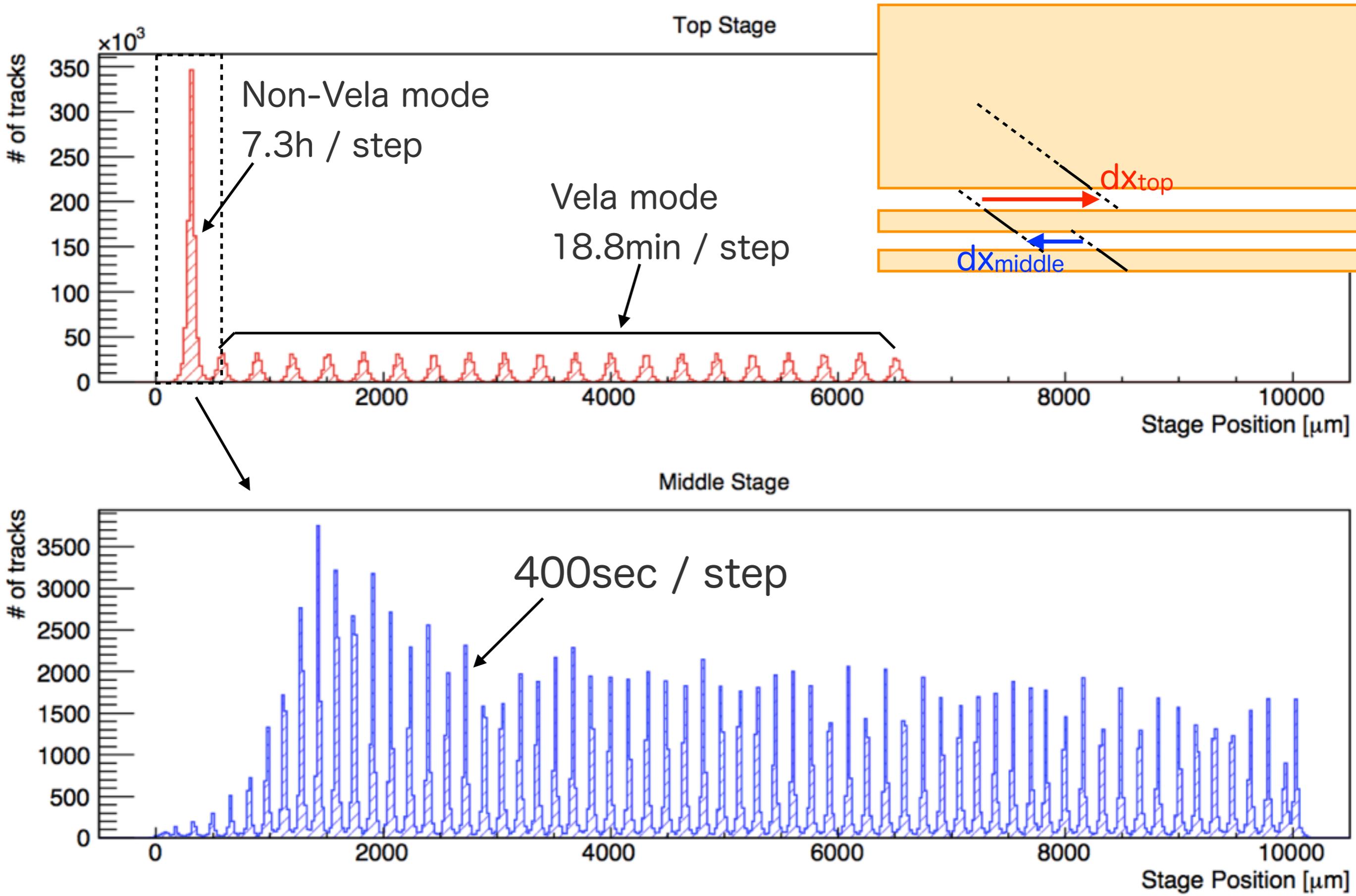


多段シフターコンセプト

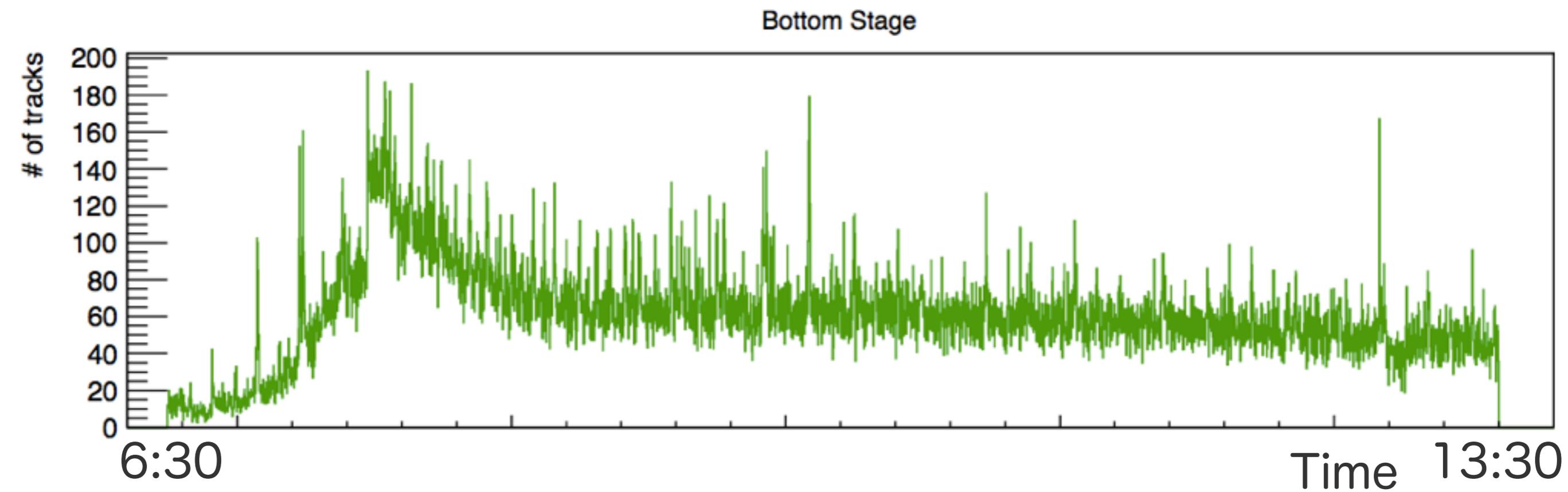
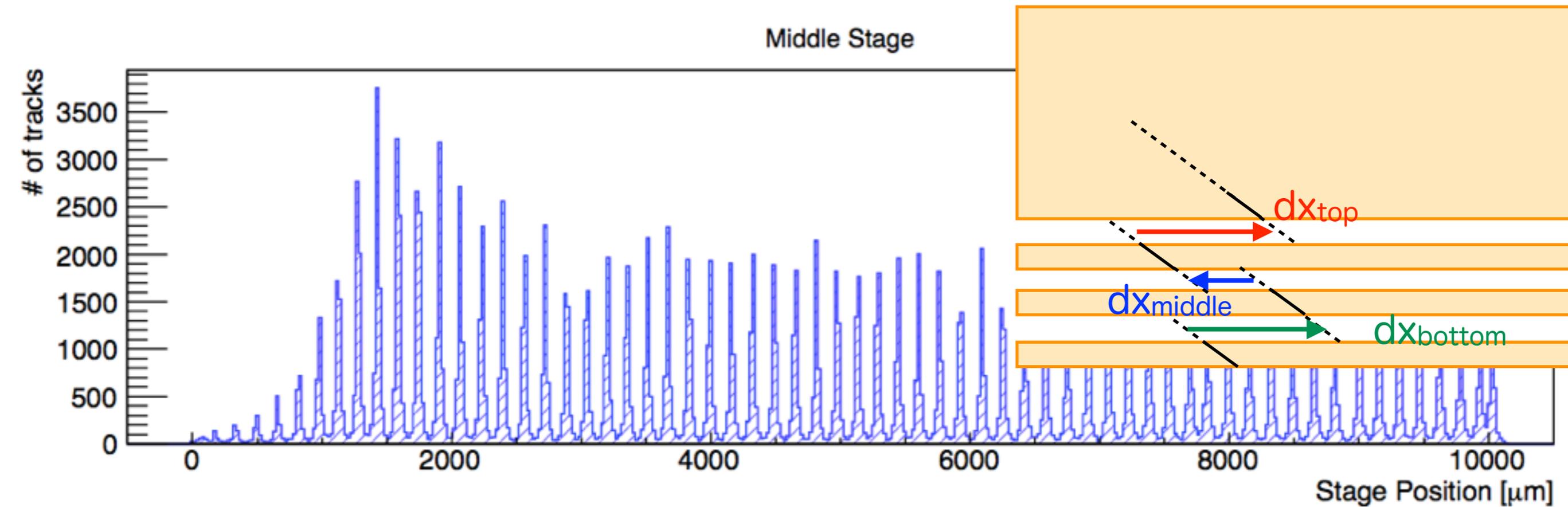


高い効率と信頼性, 軽量・シンプルな構造,
大面積化可能, 低消費電力, 低運動量閾値, Dead time free

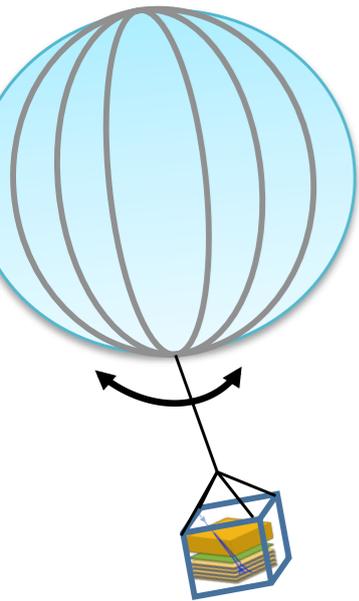
シフター部の解析



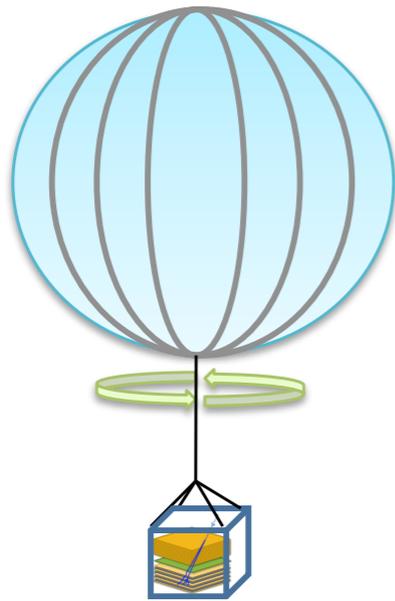
シフター一部の解析



スターカメラコンセプト

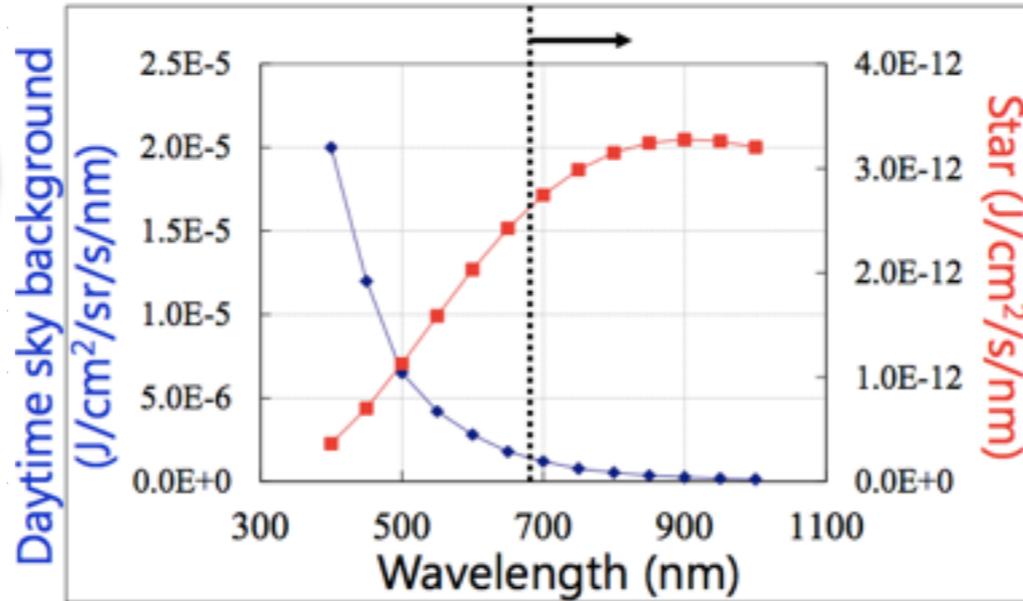


ふりこ



回転

▼ 気球高度での空の背景光スペクトル(simulation) ▼ 選定したスターカメラシステム

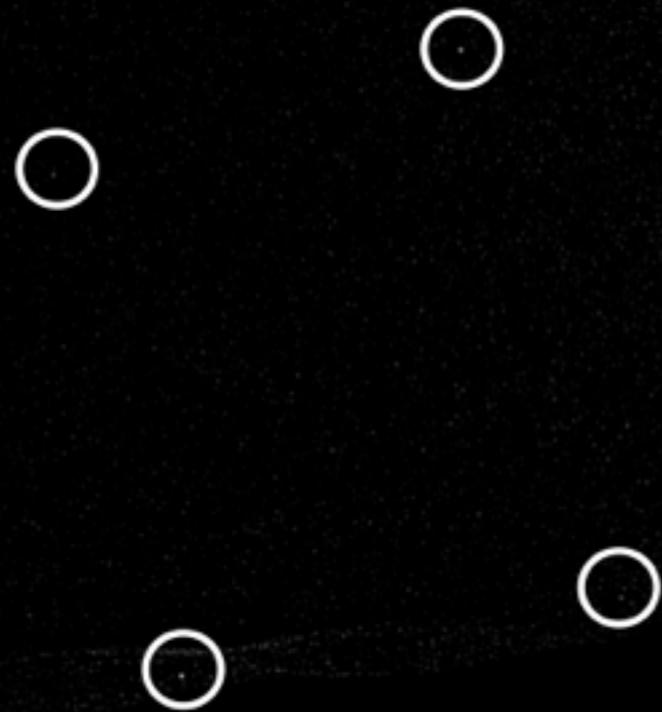


Star: M-type (3200K)
 Sky background: Kurt L. Dietz, et al., MODTRAN simulation
 VZ: 33deg, DA: 140deg, SZ: 67deg, alt: 40km

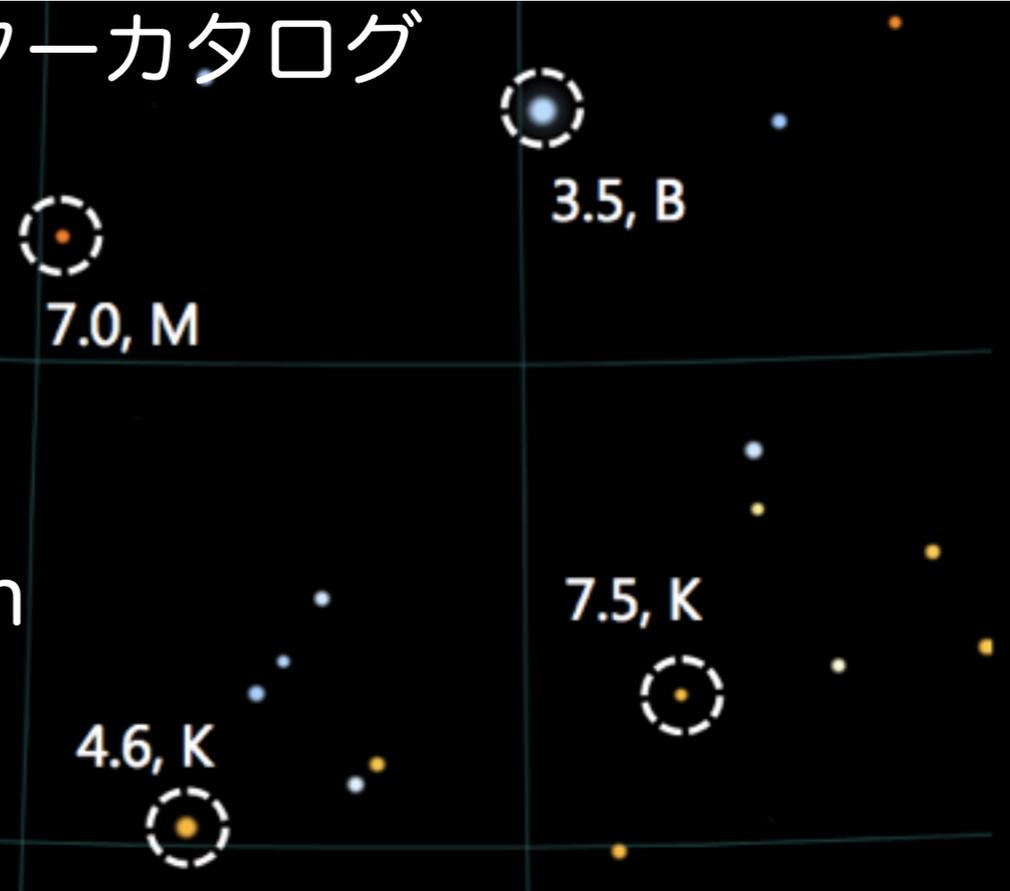


- Red filter: B+W 092 (>690nm)
- CCD : SONY XCG-H280E
- Lens: Nikon 85mmF1.4
- BGとなる青い光を殺すセット

カメラ画像



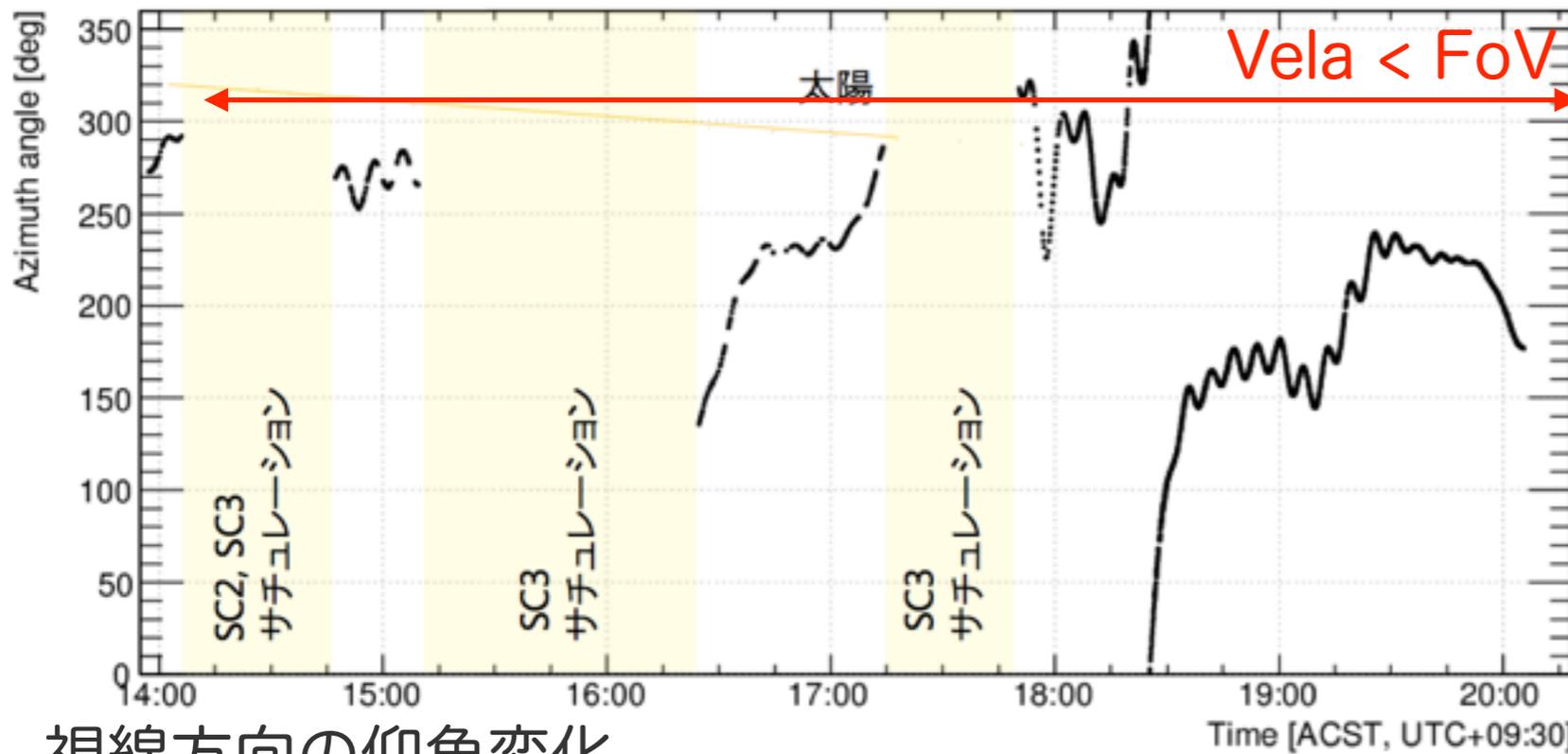
スターカタログ



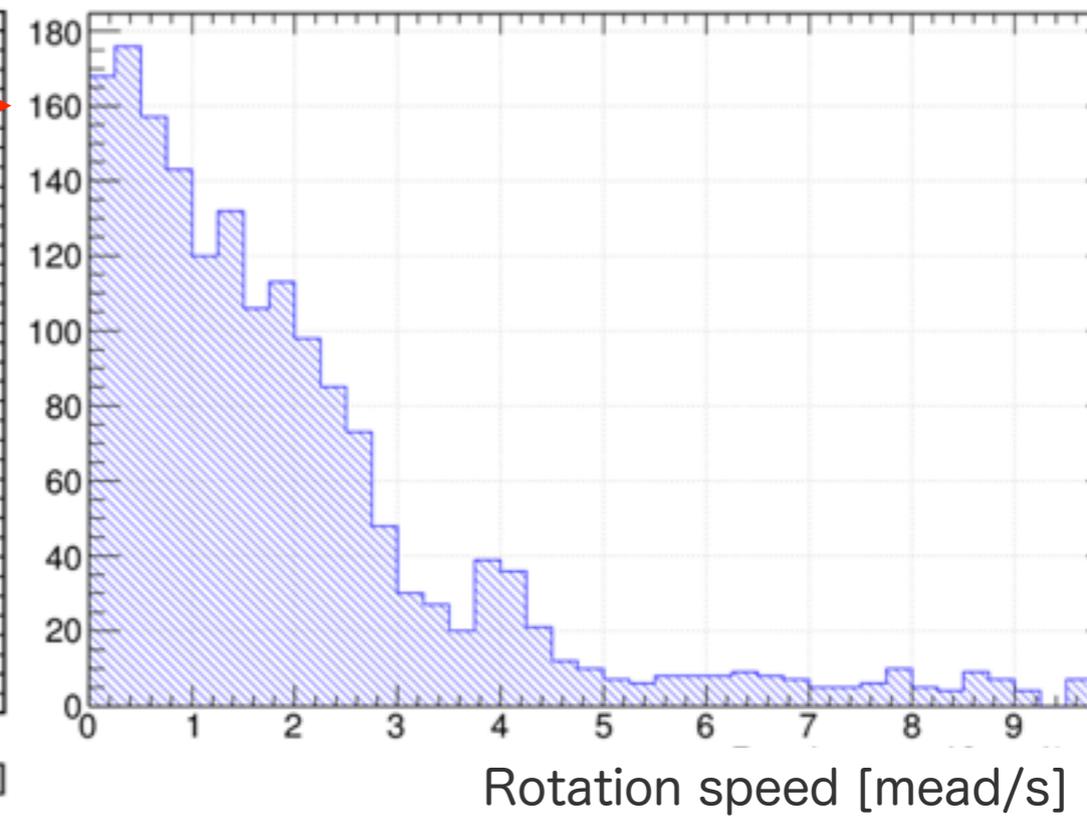
pattern match

スターカメラの解析による エマルジョン望遠鏡の姿勢決定

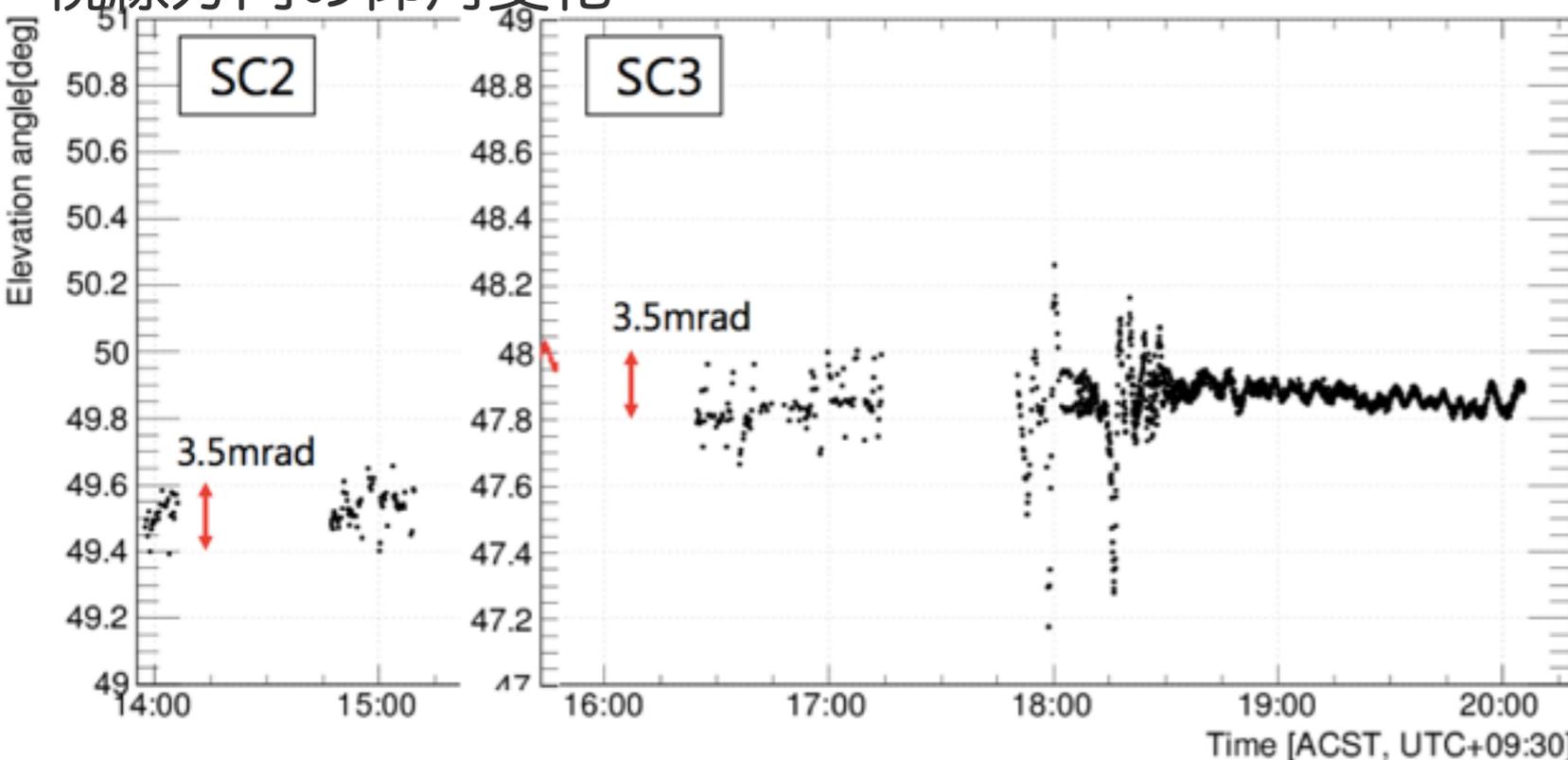
視線方向の方位角変化



ゴンドラの回転速度



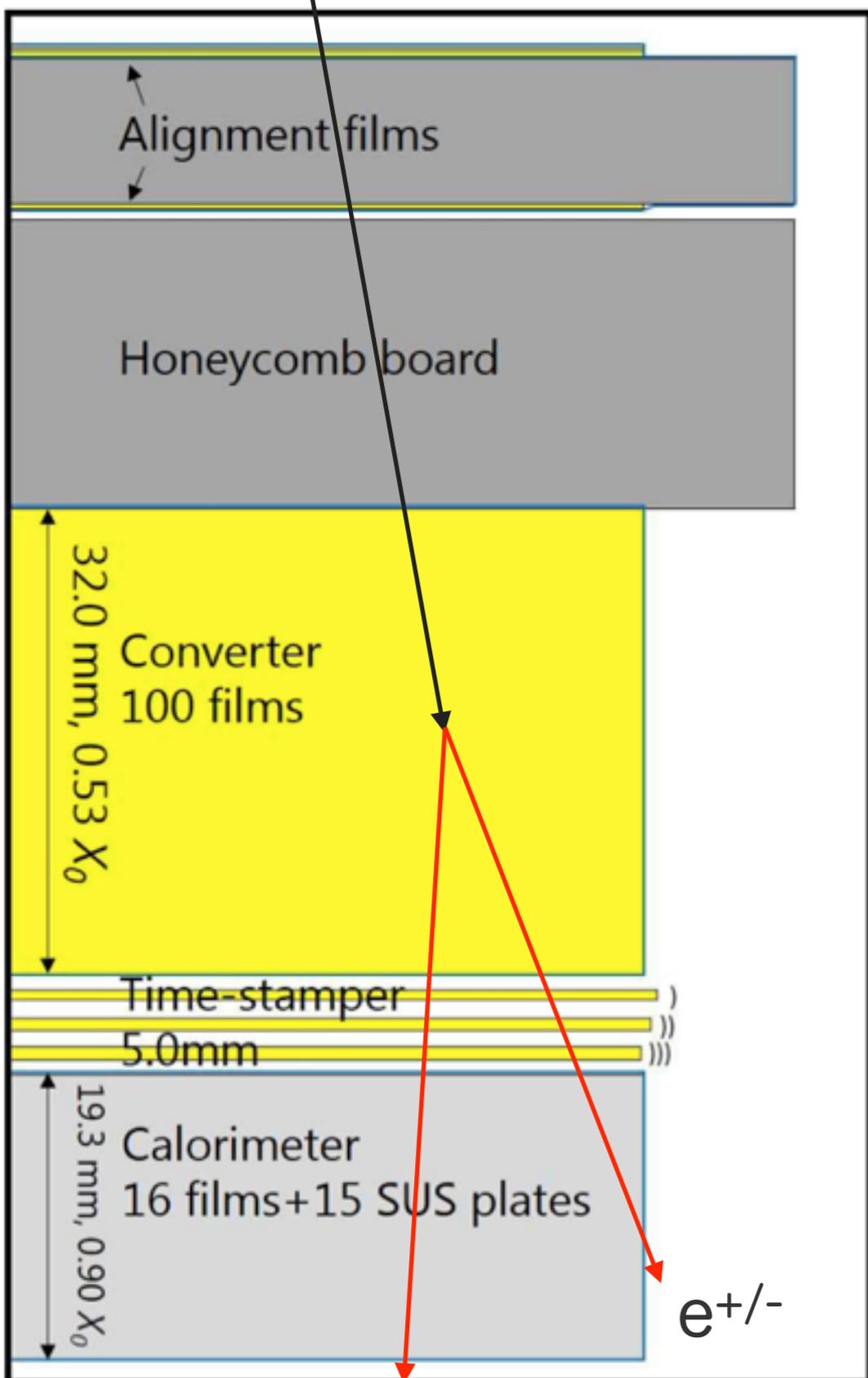
視線方向の仰角変化



スターカメラの解析で
 $\delta\theta_{azi.}, \delta\theta_{ele.} \sim \text{sub-mrad}$
 $\delta\theta_{att.} < \delta\theta_{emul.}$

を達成を確認

解析のながれ



飛跡の読み取り

コンバーター解析

- ・ 飛跡再構成
- ・ ガンマ線イベント検出
 - ・ エネルギー測定
 - ・ 入射角の決定

シフター解析

- ・ 飛跡再構成
- ・ 蓄積飛跡への時刻付与

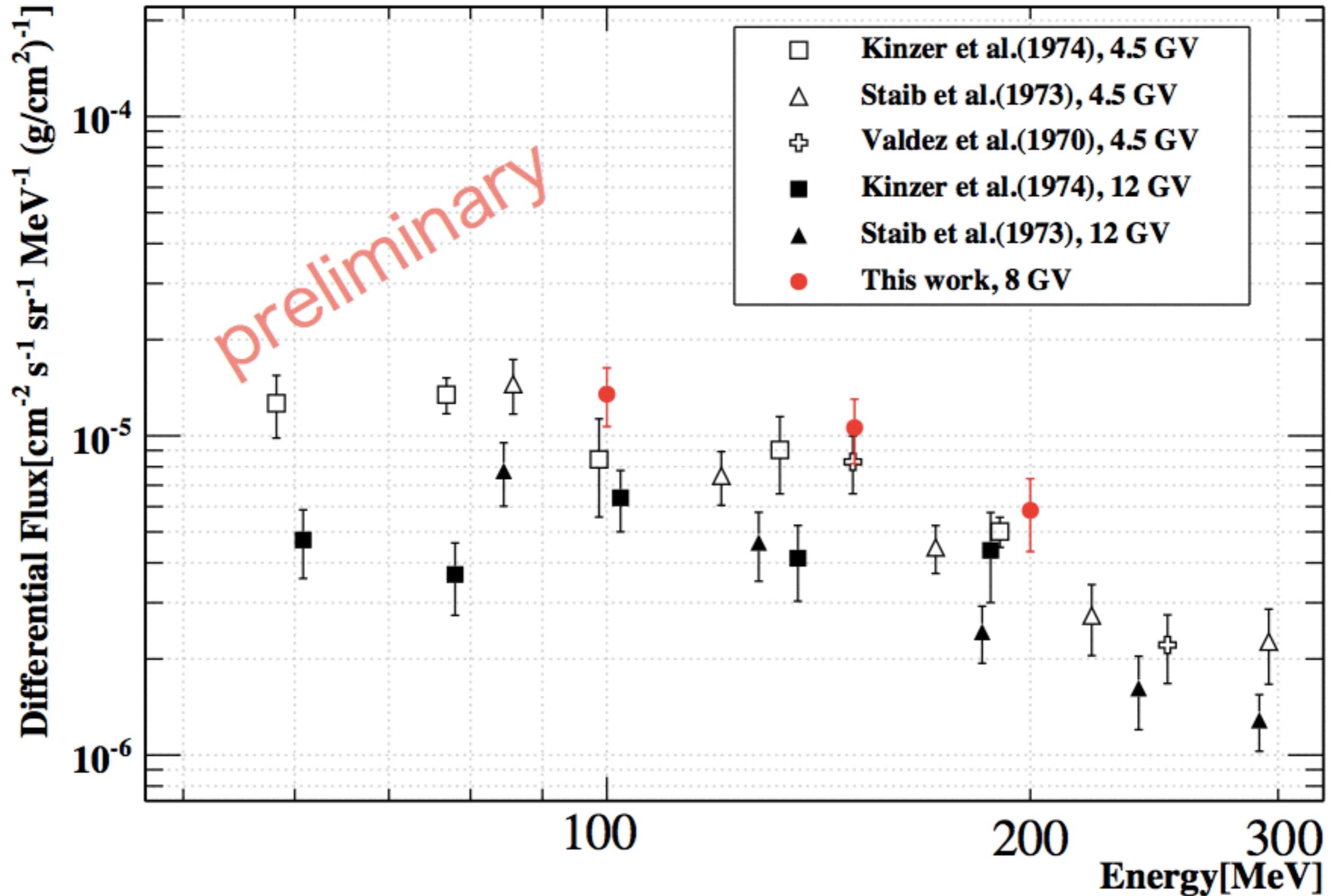
スターカメラ解析

- ・ エマルジョン望遠鏡の姿勢決定

ガンマ線ポイントイング

- ・ off-sourceでのBG評価
- ・ Vela pulsarの結像

Off sourceでの大気ガンマ線フラックス



まとめ

- ・ エマルション望遠鏡による宇宙ガンマ線精密観測計画GRAINEを推進中。
- ・ 2015年5月, 豪州にてVela pulsarをターゲットとしたフライトを実施。
- ・ フライトデータの解析を進めている。
- ・ BGである大気ガンマ線のフラックスを実測し、過去の実験と矛盾のない結果を得た。
- ・ 解析を進めて、Velaの検出を行う。