



# ETCCによる高感度銀河面核ガンマ線観測気球実験計画

高田淳史, 谷森達, 窪秀利, 水村好貴, 水本哲矢, 古村翔太郎, 岸本哲朗, 竹村泰斗, 宮本奨平, 中増勇真, 吉川慶,  
J. D. Parker, 澤野達哉<sup>1</sup>, 中村輝石, 松岡佳大, 小田真, 身内賢太郎<sup>2</sup>, 黒澤俊介<sup>3</sup>  
(京都大学, <sup>1</sup>金沢大学, <sup>2</sup>神戸大学, <sup>3</sup>東北大学)

## 1. 銀河面核ガンマ線観測の現状

**<sup>26</sup>Al (1.809 MeV)**

- AGB星
- Wolf-Rayet星
- 重力崩壊型超新星爆発
- 新星のアウトフロー

等で生成

N. Prantzos & R. Diehl, Physics Reports (1996)

$^{26}\text{Al} \rightarrow ^{26}\text{Mg} + \gamma (1.809 \text{ MeV})$

半減期  $7 \times 10^5$  年

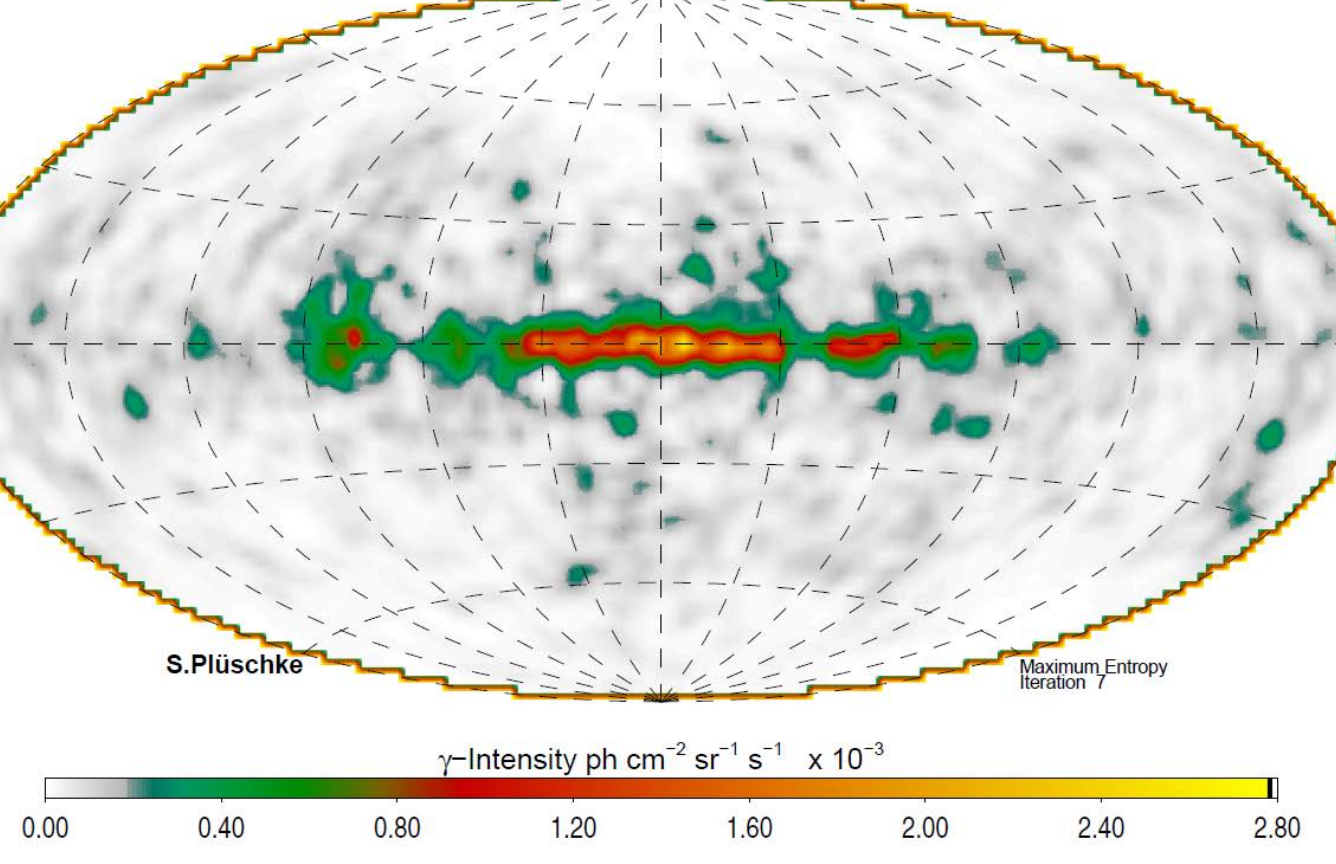
HEAO-Cで発見後, SMMでも確認

W. A. Mahoney+, ApJ (1982),  
G. H. Share+, ApJ (1985)

SPI: L. Bouchet+, ApJ (2015)

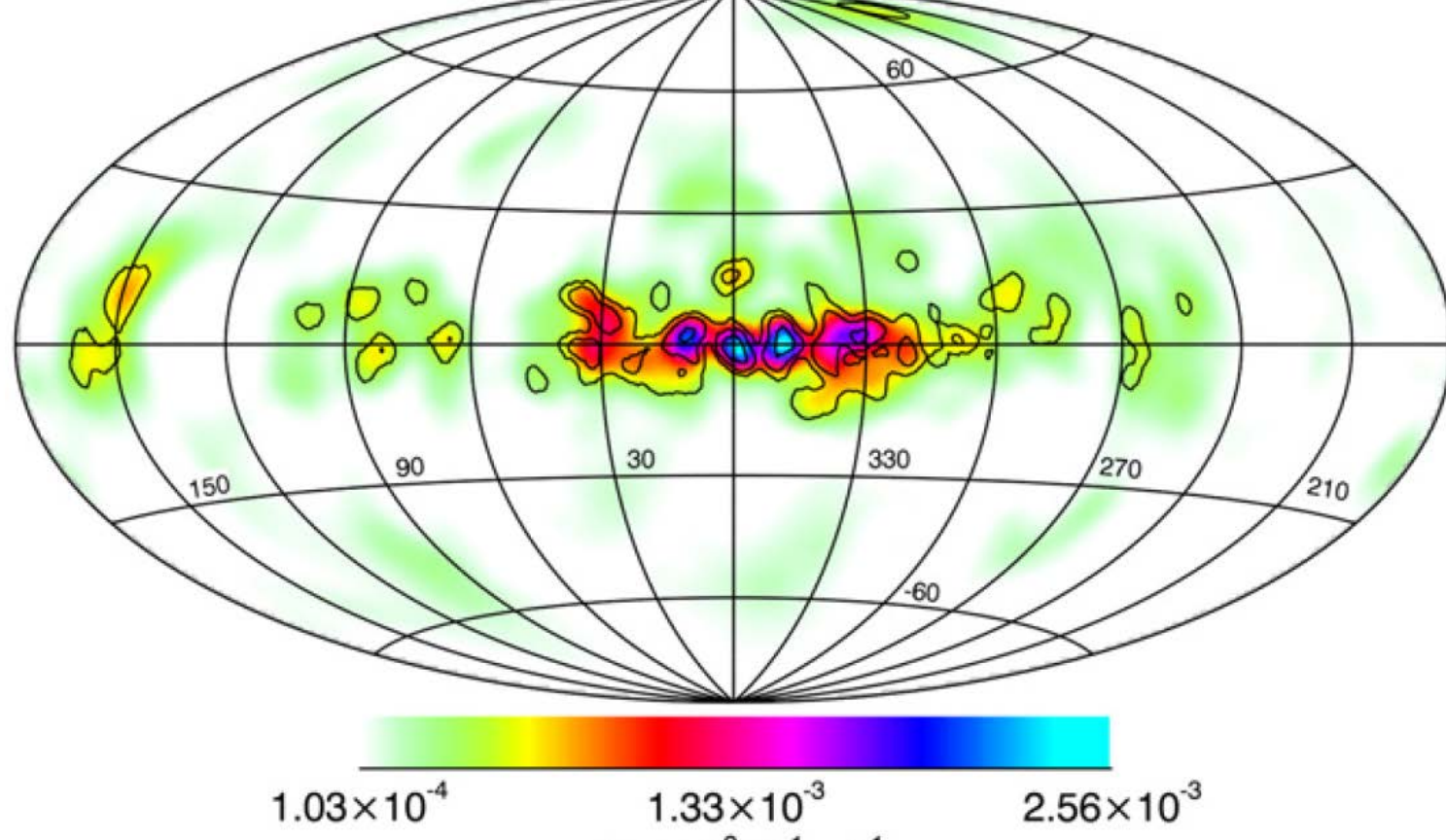
### > <sup>26</sup>Alの銀河面分布

**COMPTEL** S. Plüschke+, ESASP (2001)  
J. Knödlseder+, A&A (1999)



- 銀河面に広く分布
- X線 (HEAO-1)やNIR (DIRBE  $< 4.7 \mu\text{m}$ )の全天マップとは良い一致は見られない
- マイクロ波 (53GHz free-free)やFIR (DIRBE  $240 \mu\text{m}$ )とは粗い一致が見られる

**SPI/INTEGRAL** L. Bouchet+, ApJ (2015)



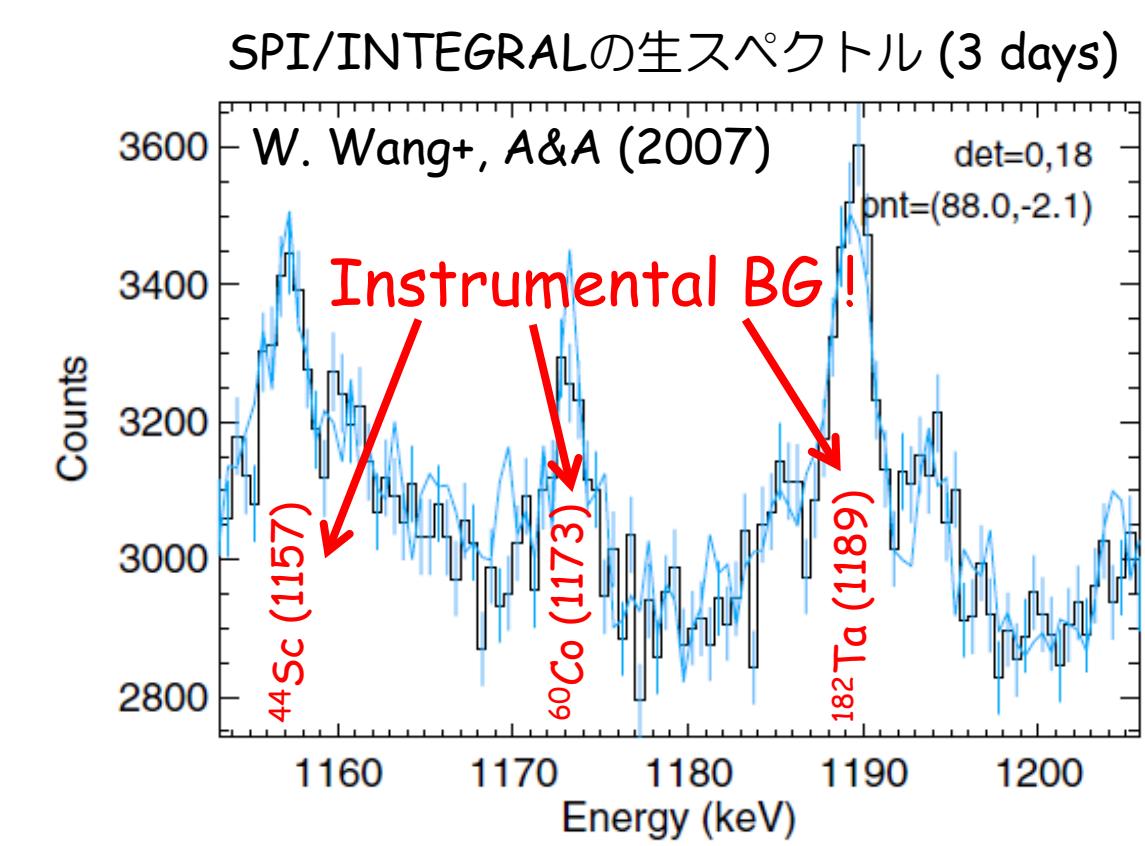
- COMPTEL同様、マイクロ波 (53GHz free-free)やFIR (DIRBE  $240 \mu\text{m}$ )とは粗い一致が見られる
- 他にもMIR (DIRBE  $12/25 \mu\text{m}$ )とも矛盾しない

### <sup>60</sup>Fe (1.173 MeV, 1.333 MeV)

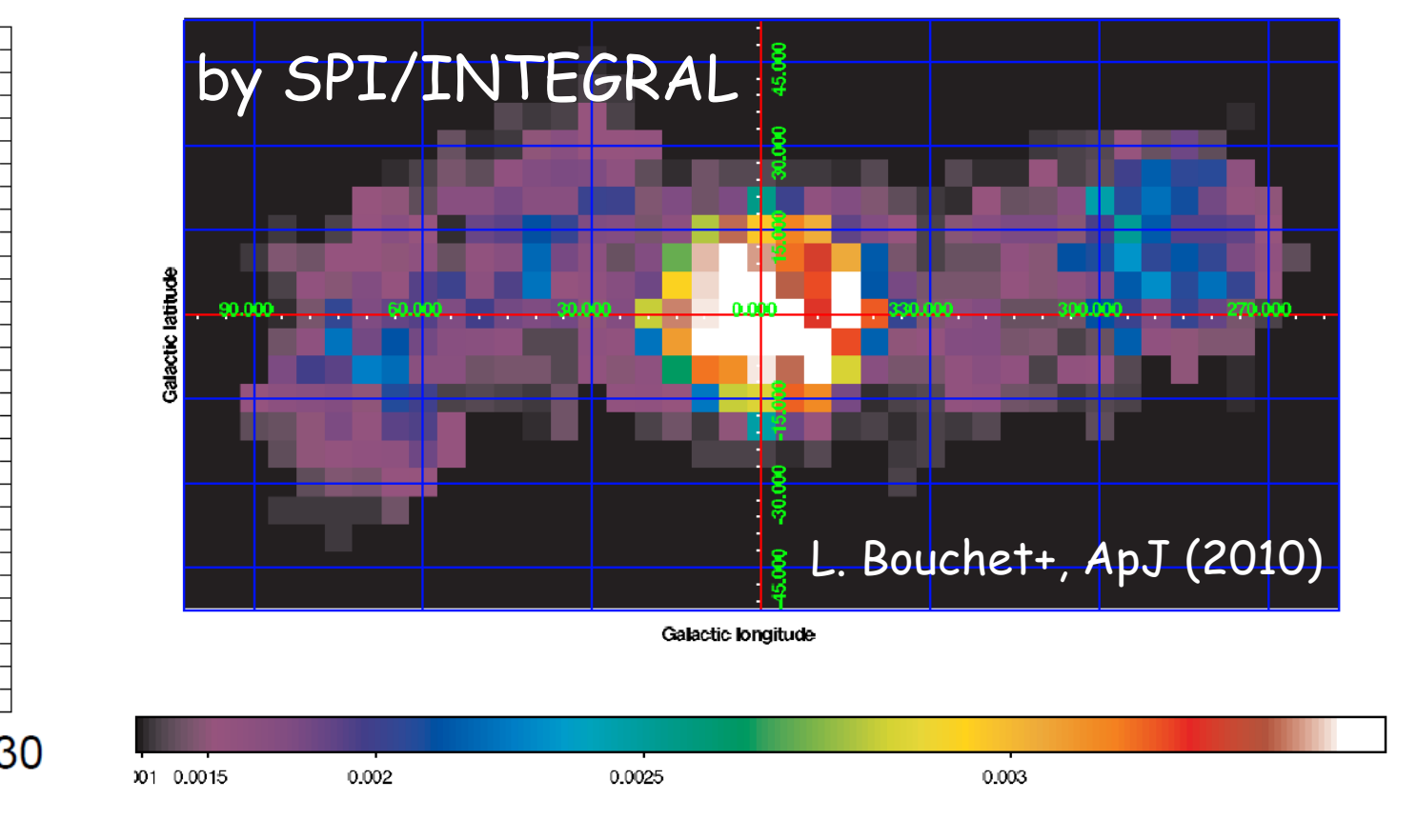
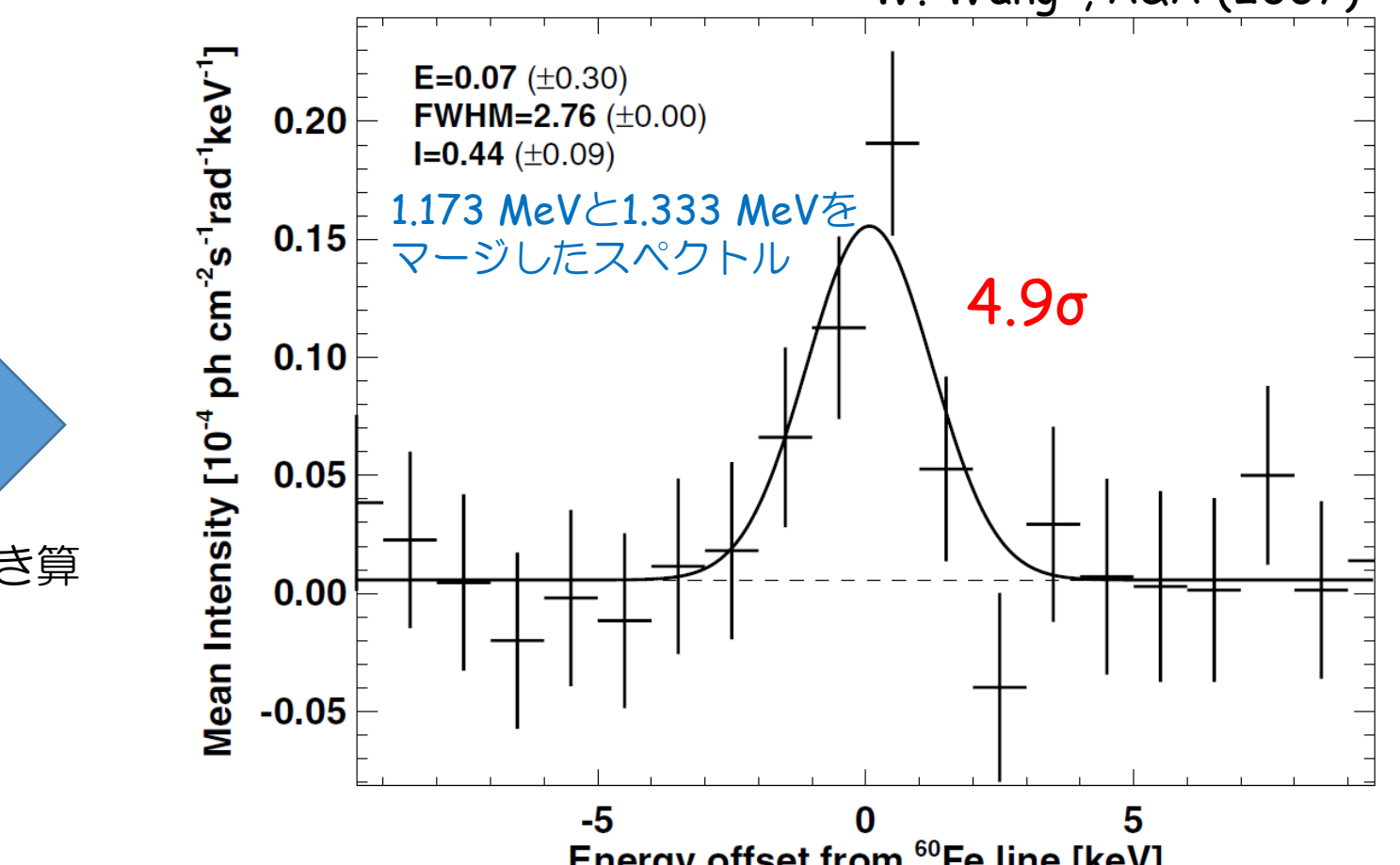
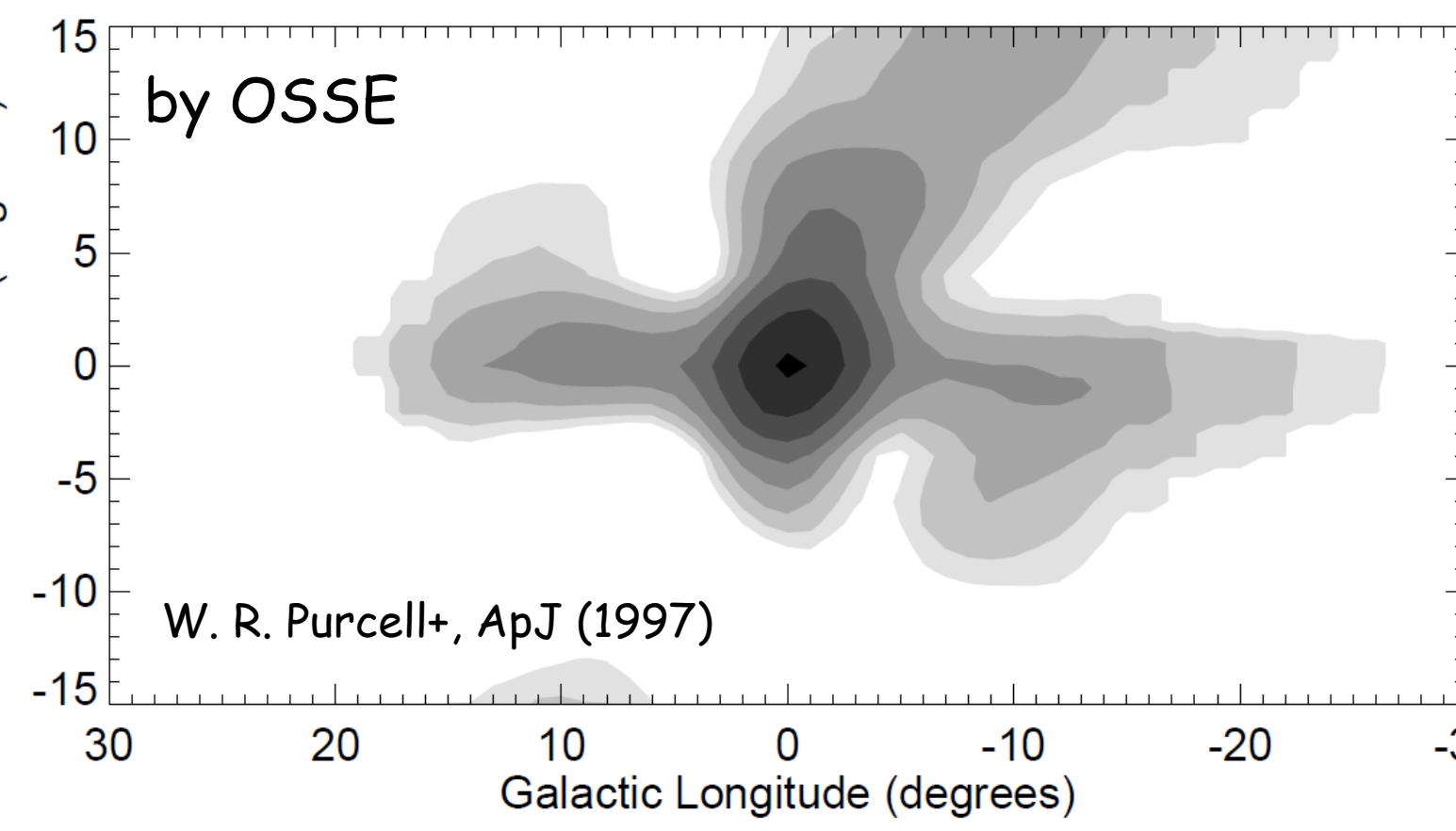
- SPI/INTEGRALとRHESSIで観測
- $^{60}\text{Fe}/^{26}\text{Al} \sim 0.15$

$^{60}\text{Fe} \rightarrow ^{60}\text{Co} \rightarrow ^{60}\text{Ni} + \gamma (1.173, 1.333 \text{ MeV})$

半減期  $3 \times 10^6$  年



### e<sup>+</sup>e<sup>-</sup> annihilation line

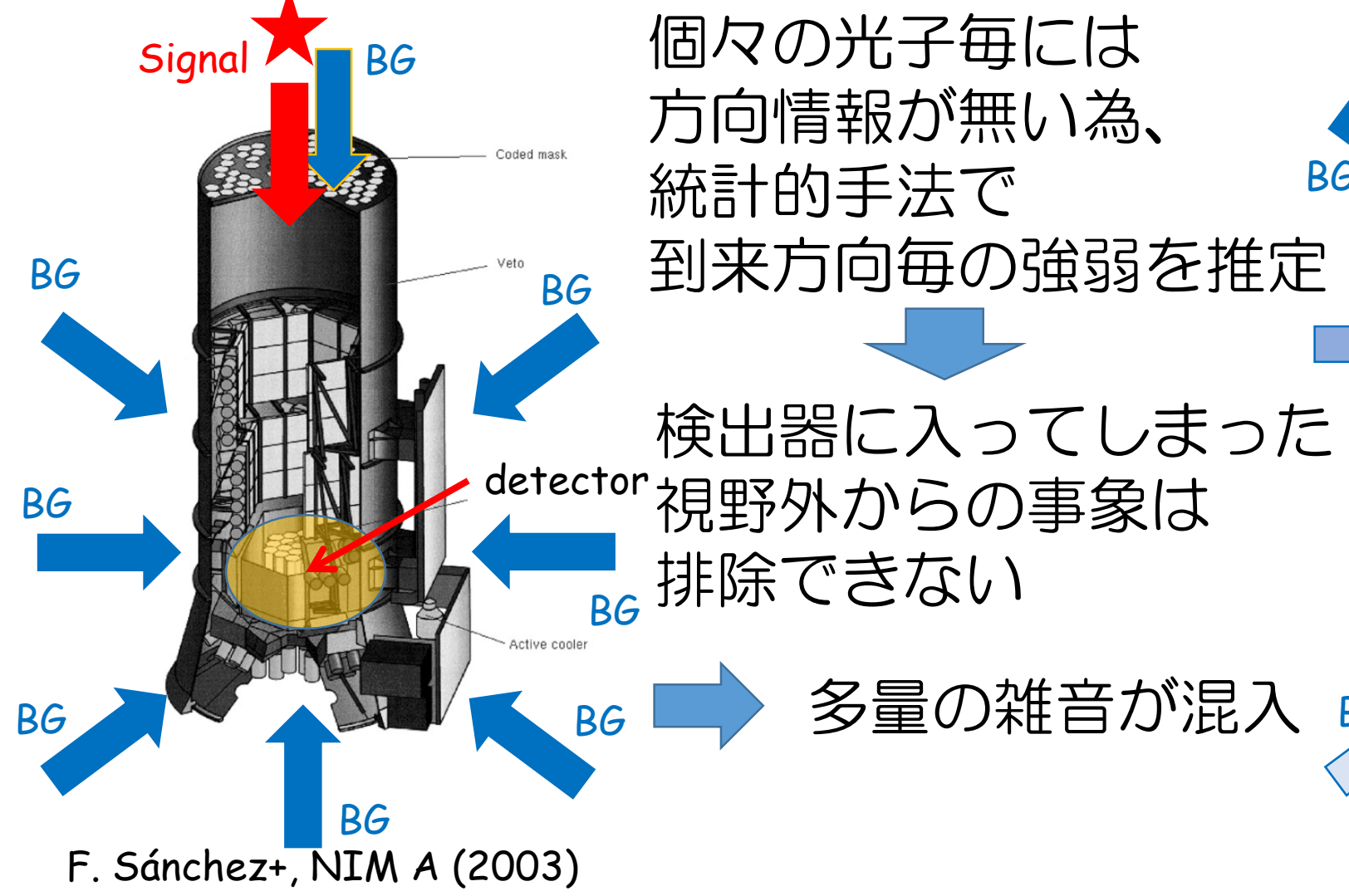


いずれも細かい分布を議論するには解像度が足りない!!

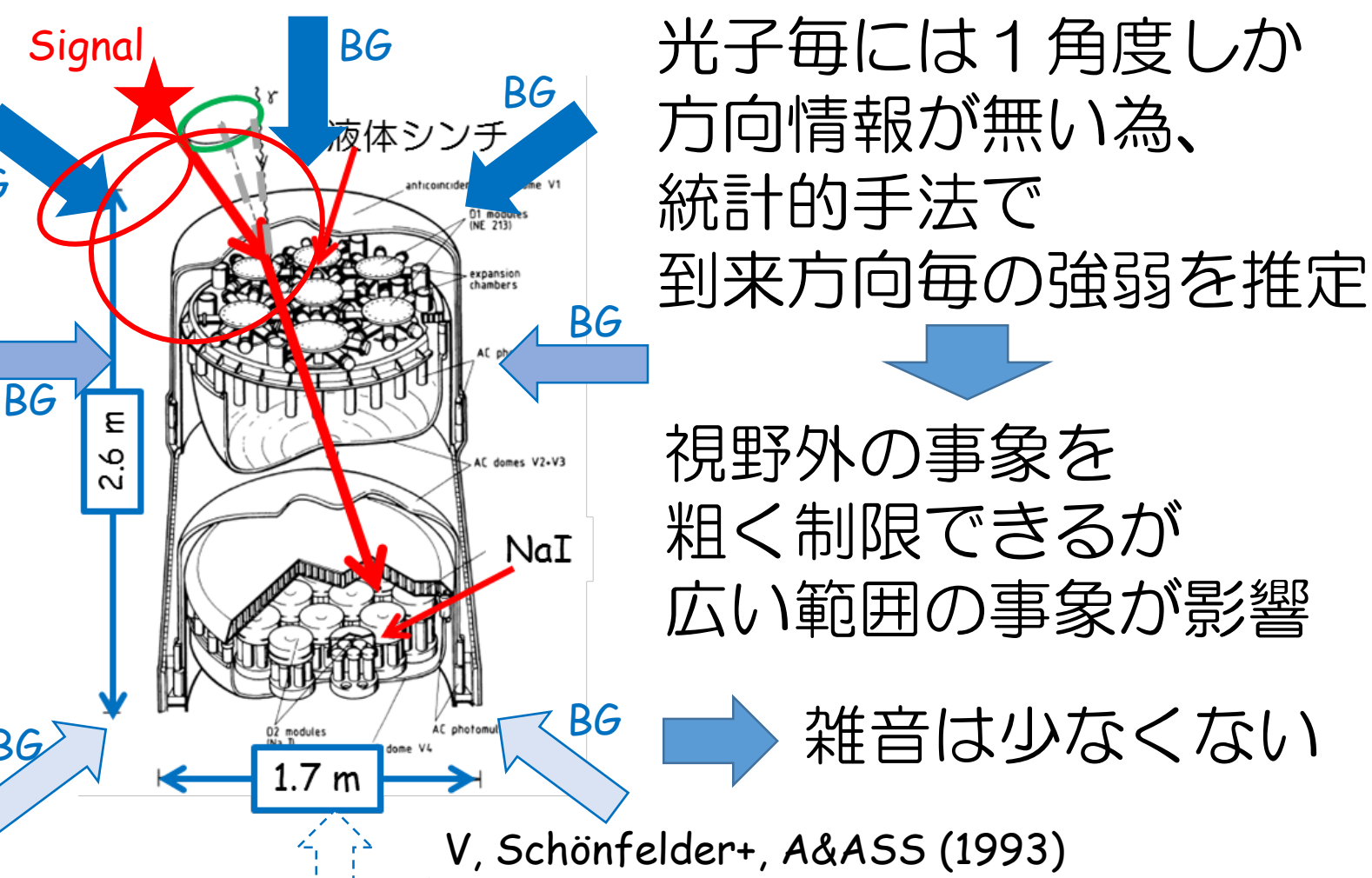
## 2. 解像度向上へ

### 従来の観測手法の問題点

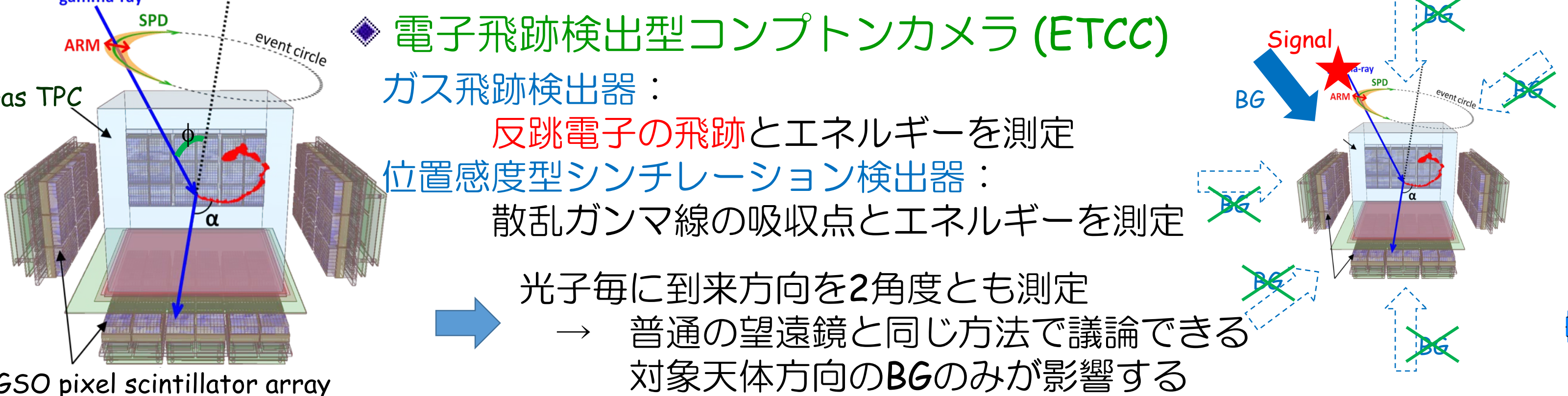
#### 符号化マスク法 (INTEGRAL)



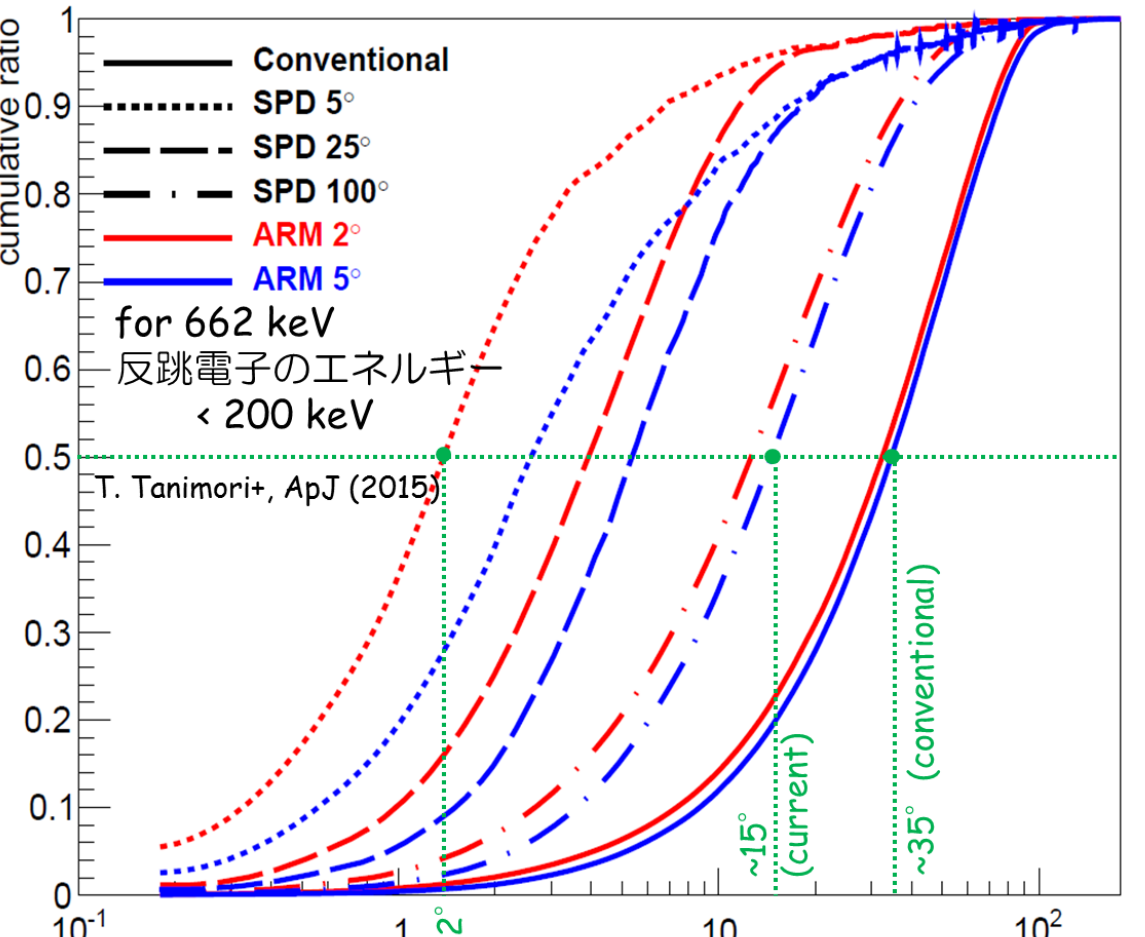
#### コンプトン法 (COMPTEL)



### 電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC)



### ガンマ線像の天空上の角度広がり



- ARM (Angular Resolution Measure): コンプトン散乱角の決定精度
- SPD (Scatter Plane Deviation): 散乱平面の決定精度

- 従来のコンプトン法で測定可能なのはコンプトン散乱角のみ
- ガンマ線像の天空上の広がり (= PSF) はARMともSPDとも異なる
- ARMのみの改善は無意味
- 1°程度のPSFにはARM ~2° SPD ~5°が必要

## 3. SMILE ETCCの性能

**SMILE-II (現状のETCC):**

30 cm角 TPC (Ar 1 atm)

GSO (1放射長)

$\Delta E \sim 6\% @ 1.8 \text{ MeV}$  (FWHM)

**SMILE-III:**

40 cm角 TPC (CF<sub>4</sub> 3 atm)

GSO (3放射長)

$\Delta E \sim 6\% @ 1.8 \text{ MeV}$  (FWHM)

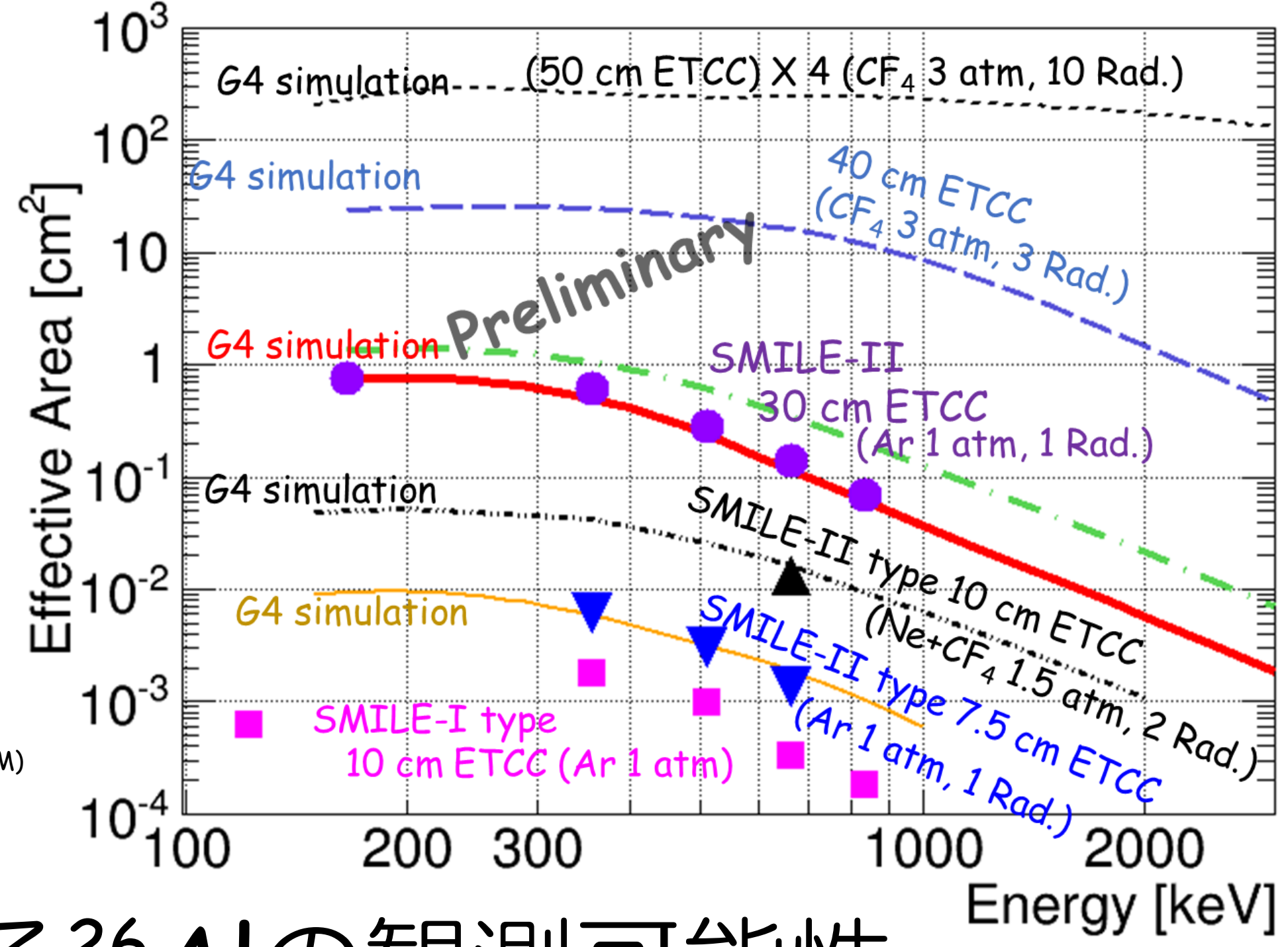
**SMILE-Satellite:**

50 cm角 TPC (CF<sub>4</sub> 3 atm)

GAGG (10放射長) × 4台

$\Delta E \sim 2.4\% @ 1.8 \text{ MeV}$  (FWHM)

→ 1 mCrabの検出感度 (COMPTELの100倍)



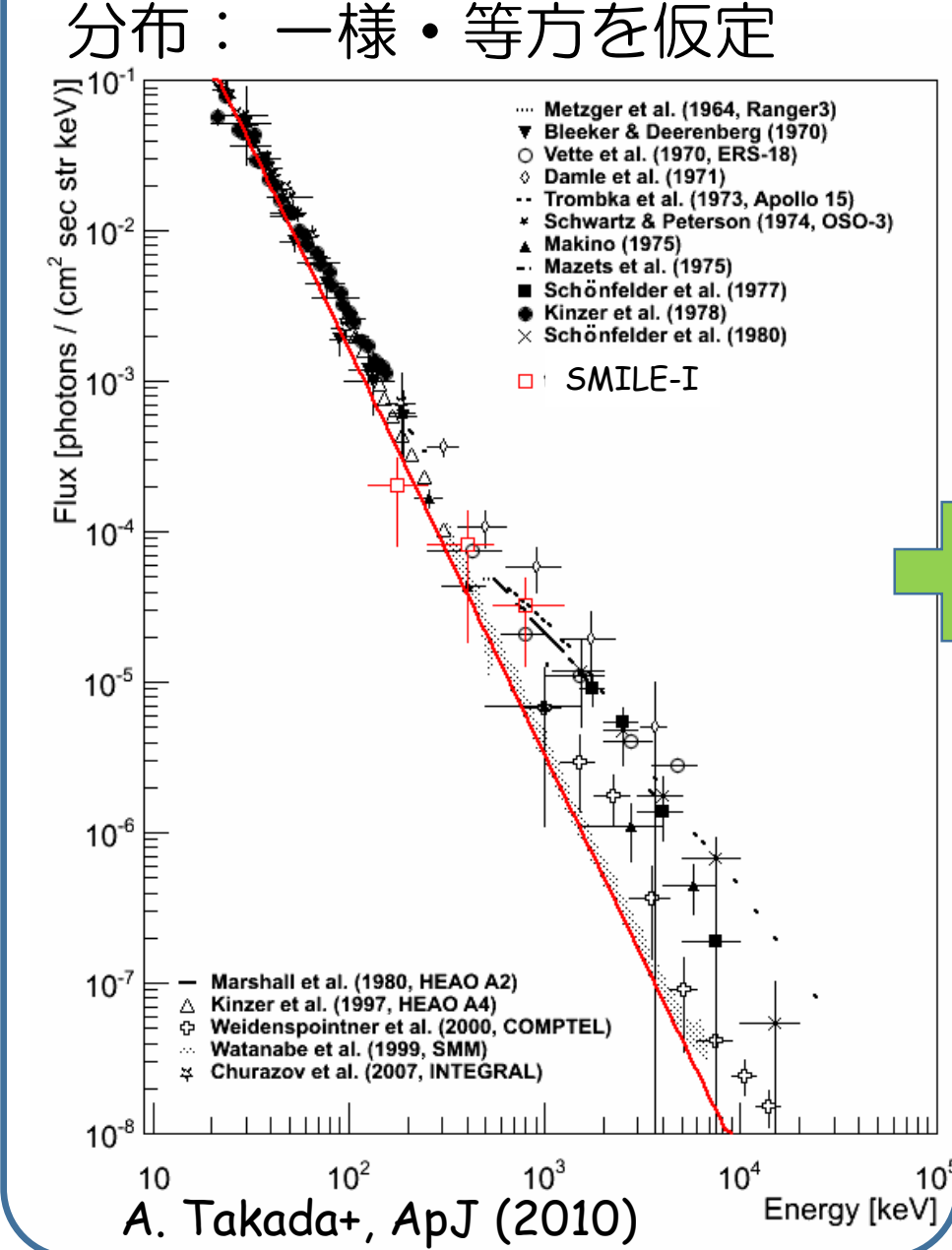
## 4. SMILEによる<sup>26</sup>Alの観測可能性

### 1.8 MeVでの全天ガンマ線強度の見積もり

#### 系外拡散ガンマ線

強度: SMMの観測結果をべき関数で近似

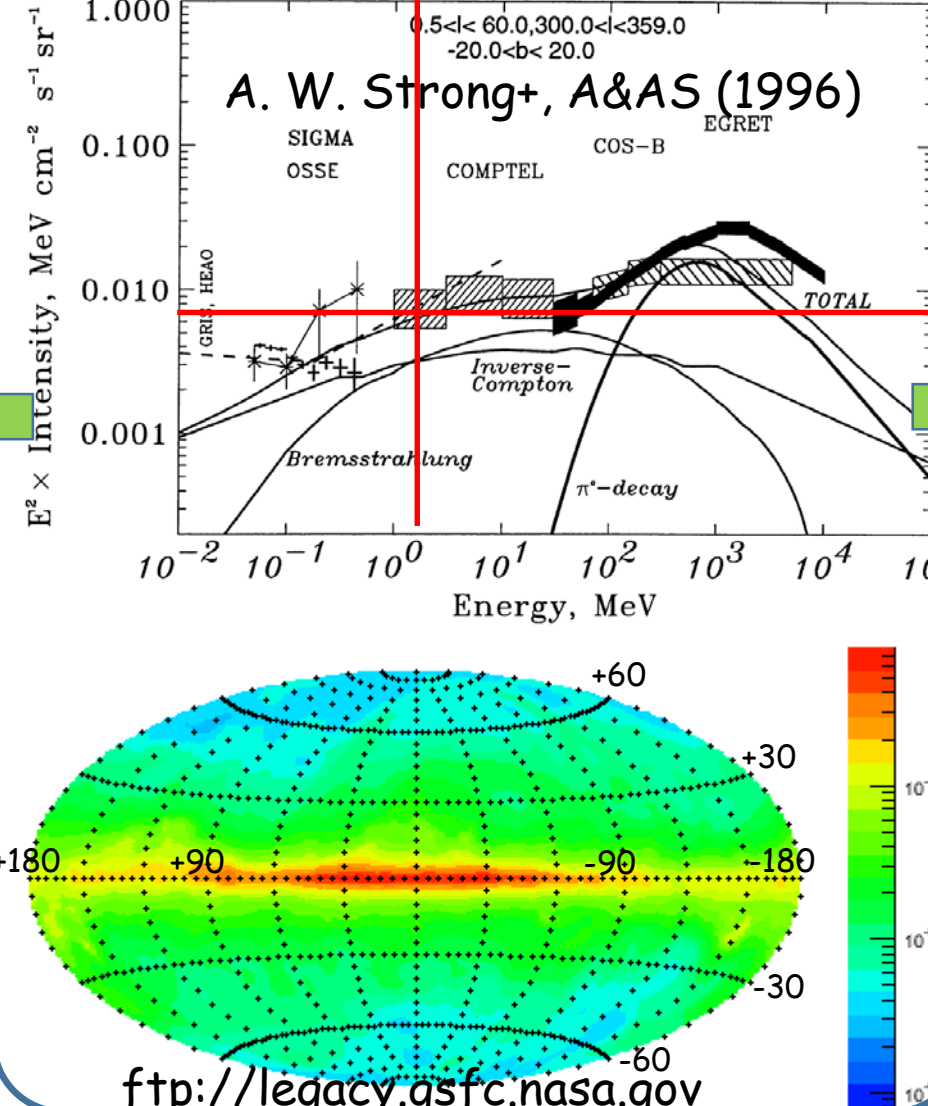
分布: 一様・等方を仮定



#### 系内拡散ガンマ線

強度: COMPTELの1-3MeVの観測結果で仮定

分布: EGRET (>100 MeV)のgalactic diffuse model



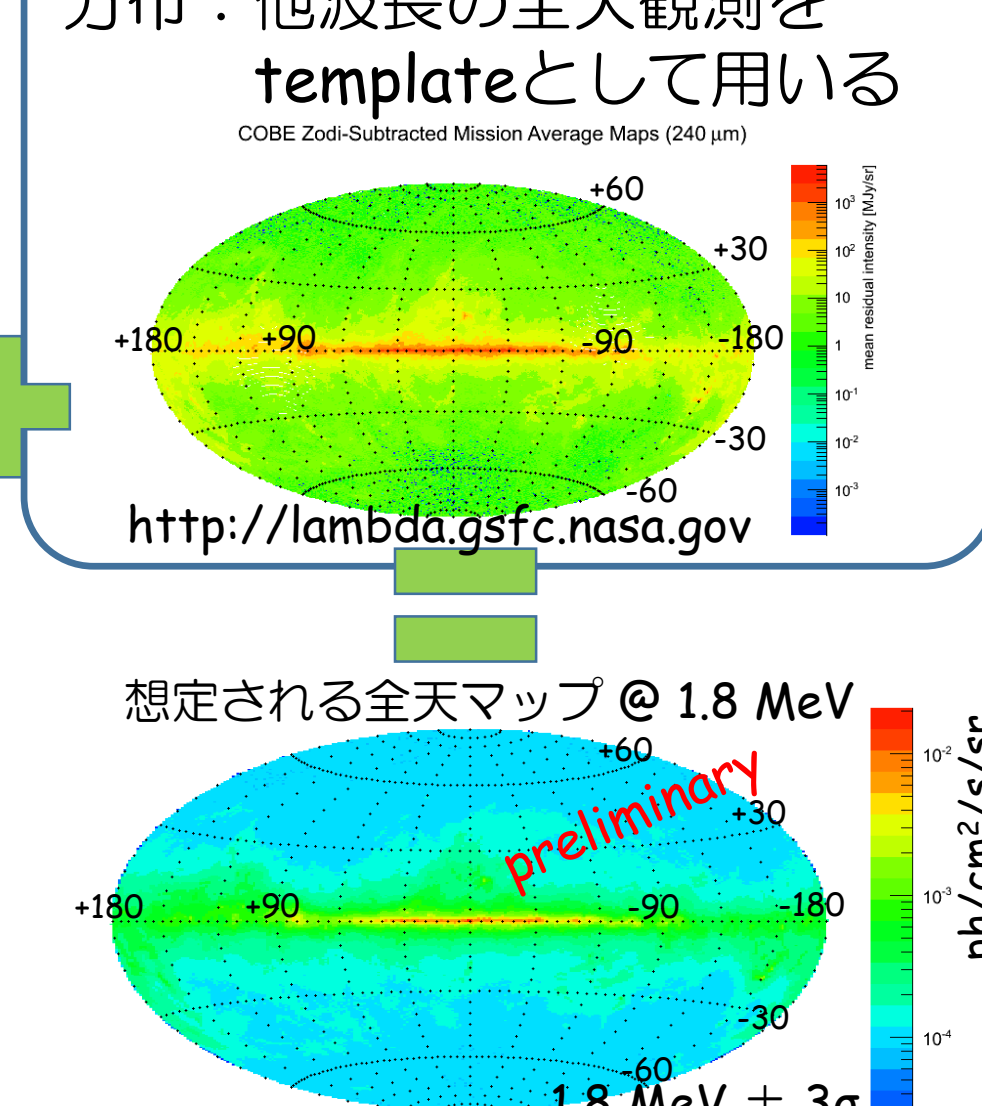
#### <sup>26</sup>Al 1.8 MeV

強度: SPI/INTEGRAL  $3.5 \times 10^{-4} \text{ ph/cm}^2/\text{s}$

$|l| \leq 30^\circ, |b| \leq 10^\circ$

L. Bouchet+, ApJ (2015)

分布: 他波長の全天観測をtemplateとして用いる



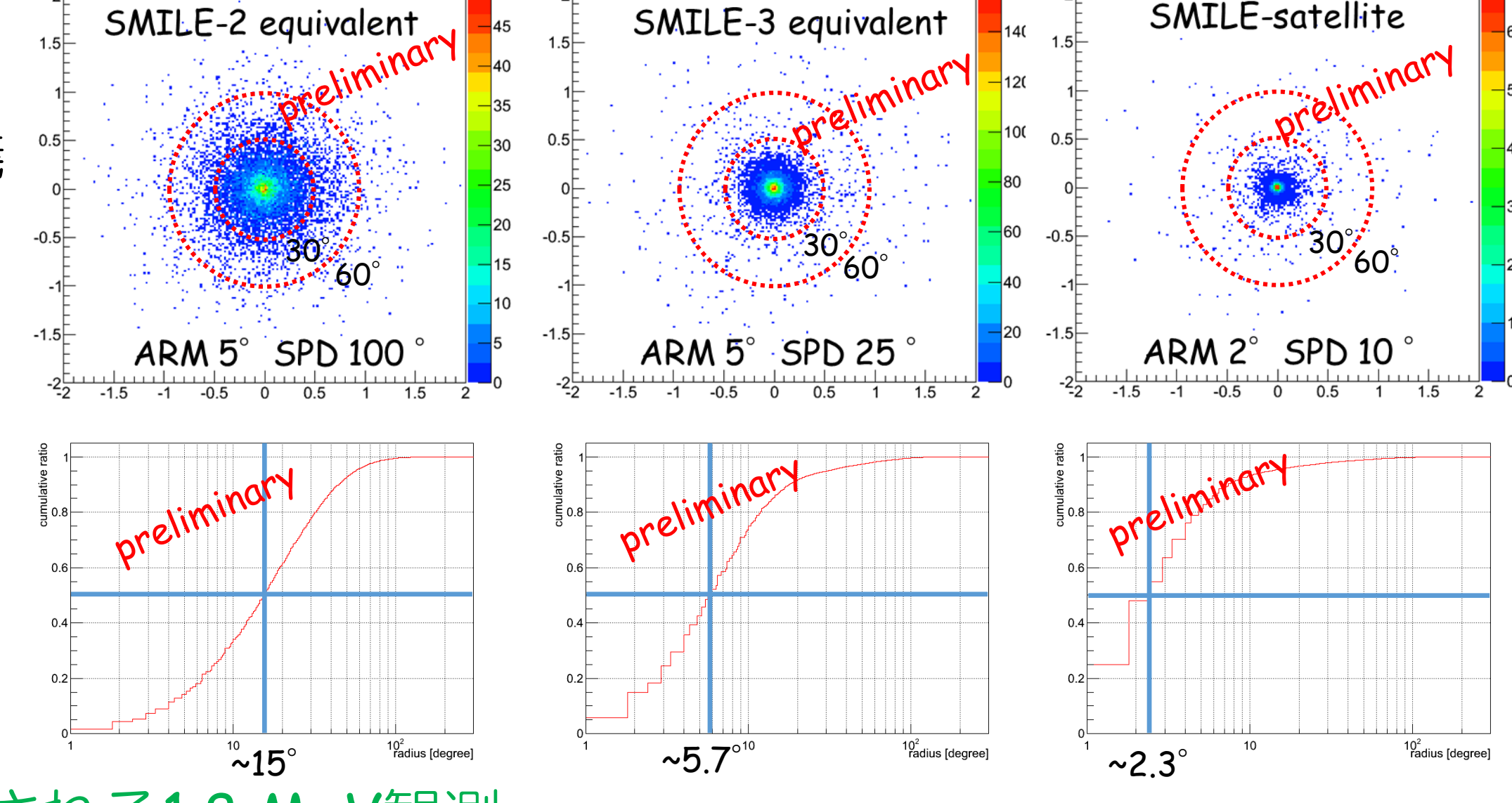
### Point Spread Functionの見積もり

ARM・SPDを仮定

→ ガンマ線画像の広がり度でPSFを定義

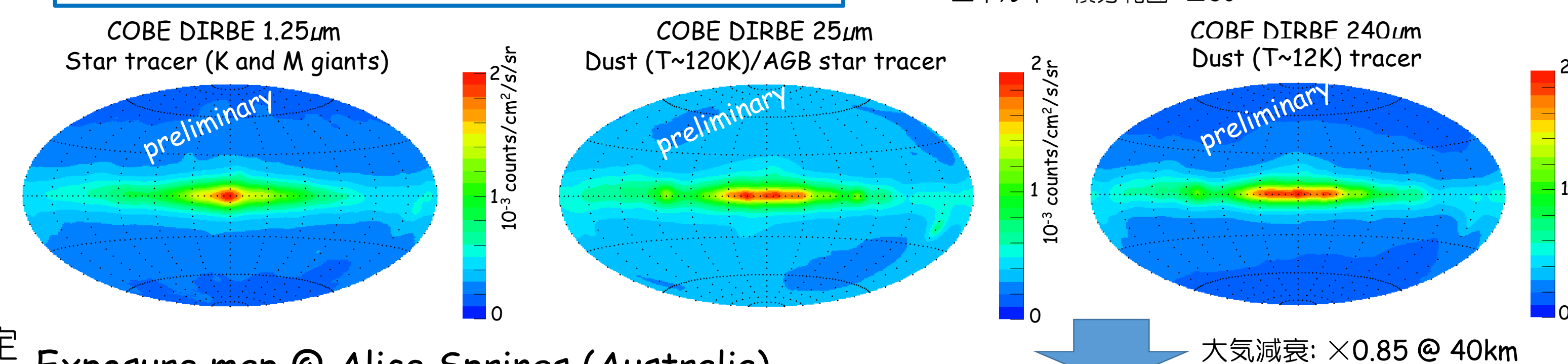
50%の事象が含まれる半径をPSFとおく

- SMILE-2 → PSF ~15°
- SMILE-3 → PSF ~5.7°
- SMILE satellite → PSF ~2.3°



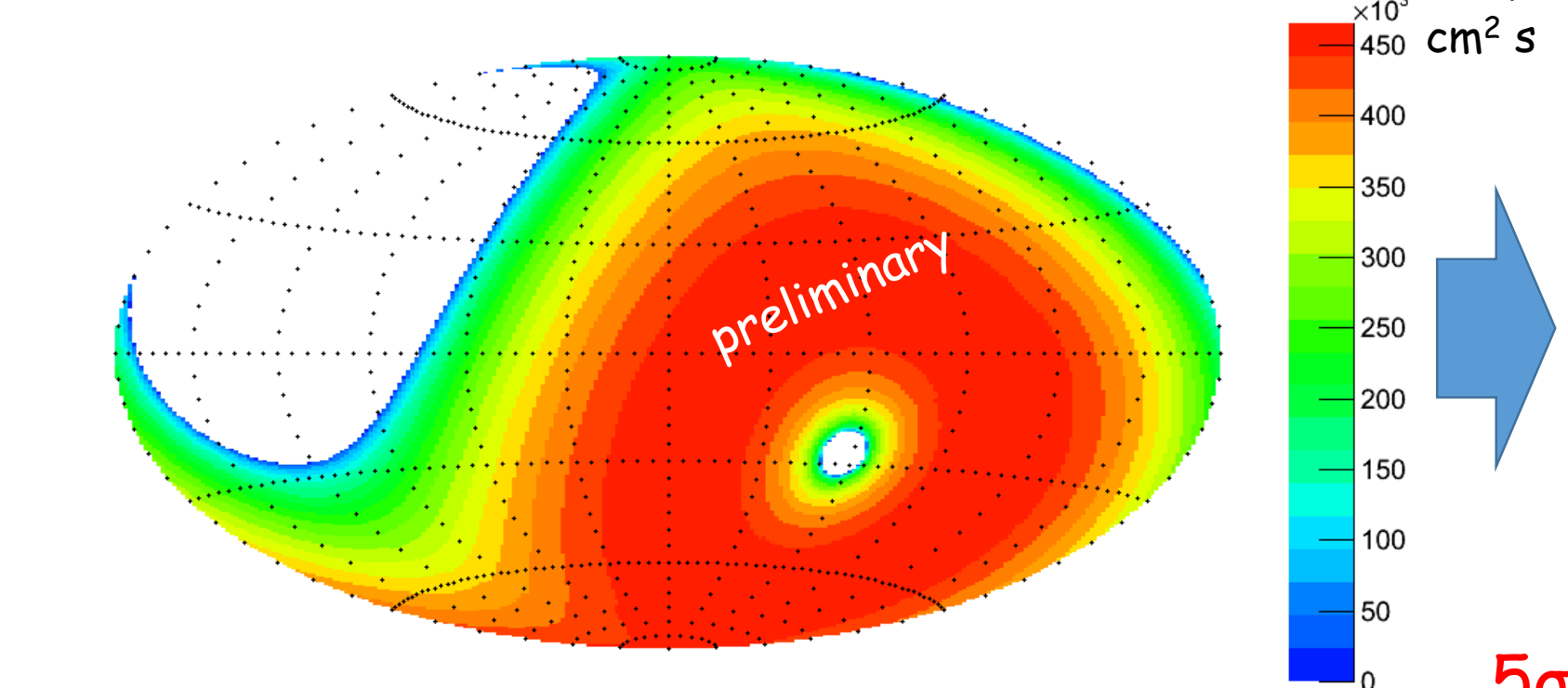
### SMILE ETCCで期待される1.8 MeV観測

#### SMILE-3のPSFでぼかした1.8 MeVイメージ



Exposure map @ Alice Springs (Australia)

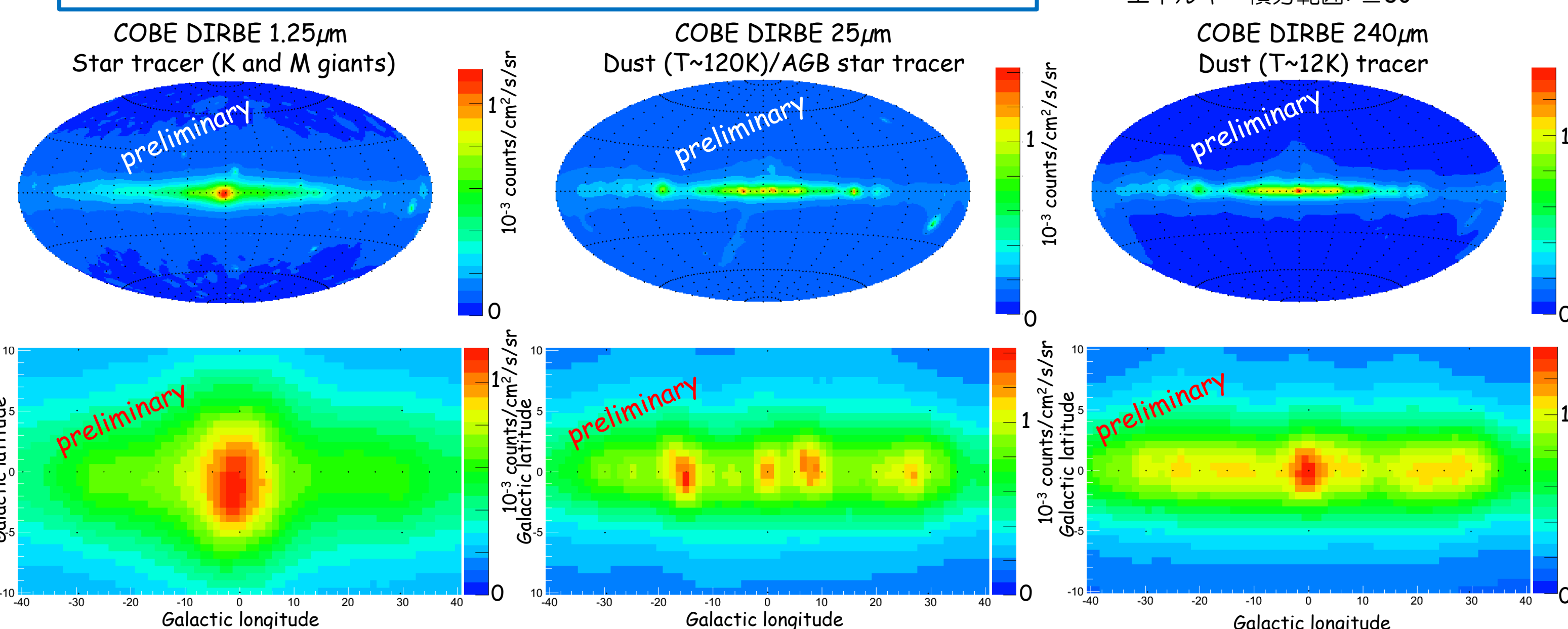
有効面積  $1.5 \text{ cm}^2$ , FoV  $\sim \pi \text{ sr}$ , 観測時間 10 days



領域ごとの予想検出事象数

	1.25 $\mu\text{m}$	25 $\mu\text{m}$	240 $\mu\text{m}$
$-30^\circ \leq l \leq 30^\circ$ $-6^\circ \leq b \leq 6^\circ$	120 counts	120 counts	120 counts
$-30^\circ \leq l \leq 30^\circ$ $-32^\circ \leq b \leq 20^\circ$	24 counts	29 counts	20 counts
$-120^\circ \leq l \leq -60^\circ$ $-6^\circ \leq b \leq 6^\circ$	50 counts	56 counts	49 counts

#### SMILE-satelliteのPSFでぼかした1.8 MeV全天イメージ



- 2°のPSFが実現できれば<sup>26</sup>Alの分布について詳細な議論が可能に
- <sup>60</sup>Feや電子陽電子対消滅線など他のラインガンマ線の分布も大幅な改善が期待できる

核ガンマ線天文学を大きく進展できる