



イメージング分光による MeVガンマ線天文学の展望

高田 淳史 (京大理)

MeVガンマ線天文学

◆ 元素合成

SNR : 放射性同位体

銀河面 : ^{26}Al ・電子陽電子対消滅線

◆ 粒子加速

ジェット (AGN) :

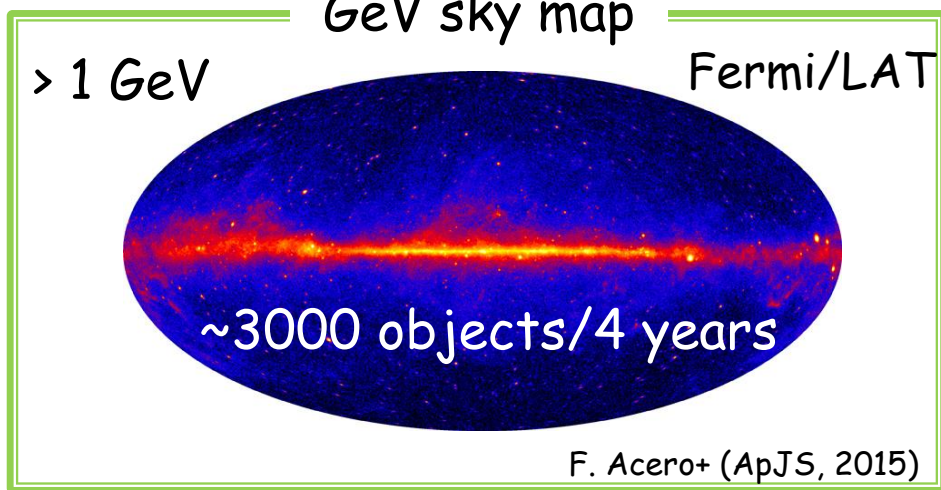
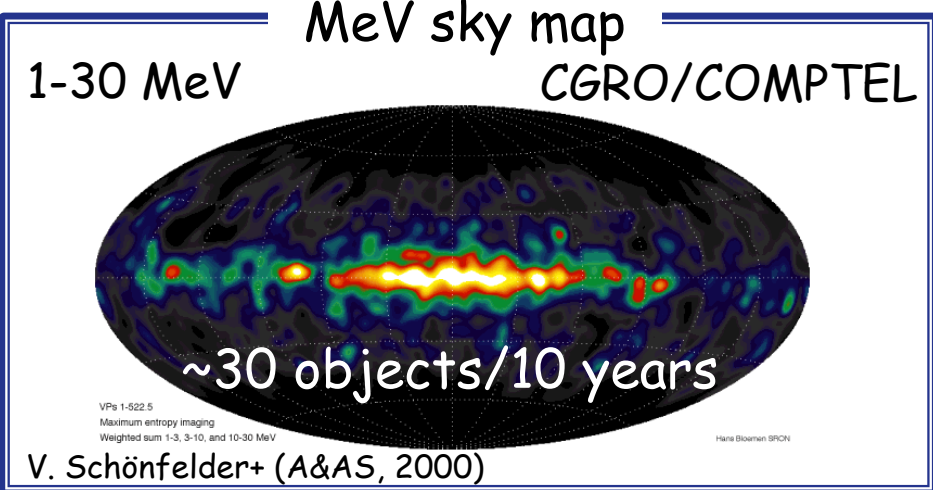
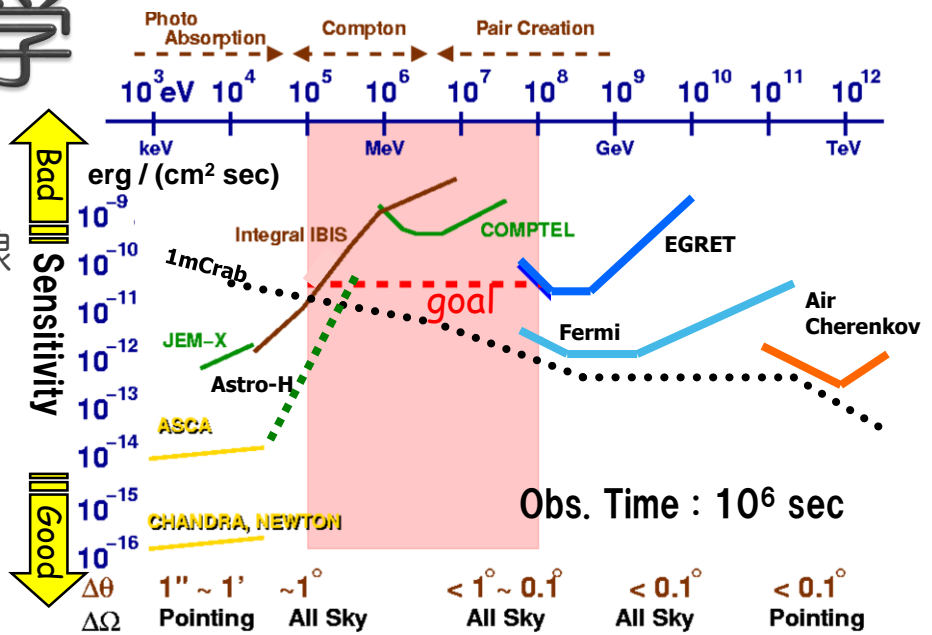
シンクロトロン + 逆コンプトン

◆ 強い重力場

Black hole : 降着円盤, π^0

◆ Etc.

ガンマ線パルサー, 太陽フレア

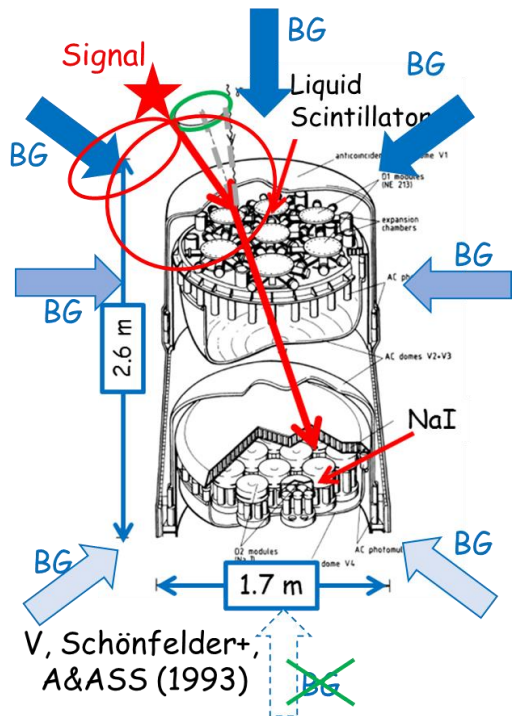


次世代MeVガンマ線望遠鏡への要請

- 数百keV ~ 100 MeVの広帯域
- 全天探査の為に広い視野
- 高S/Nの鮮明な画像

MeVガンマ線観測の現状打開へ

COMPTEL



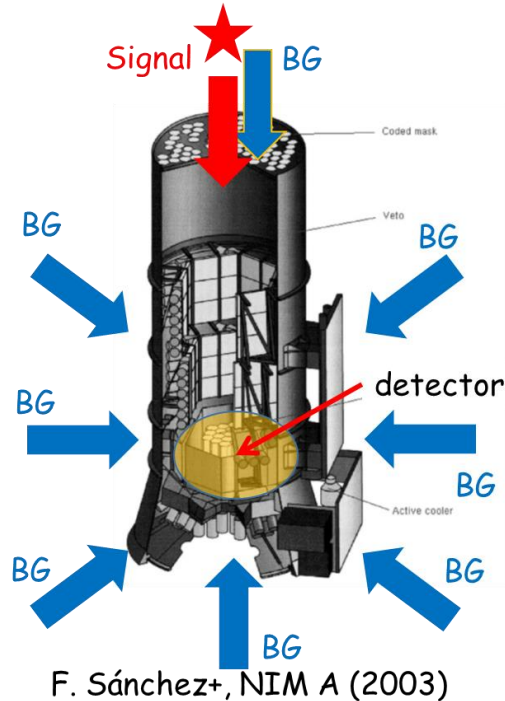
PSF ~ 平均的な散乱角

3σの有意度で検出できる最小flux

$$\text{検出感度} = 3 \times \sqrt{\frac{f_B \Delta\Omega \Delta E}{AT}}$$

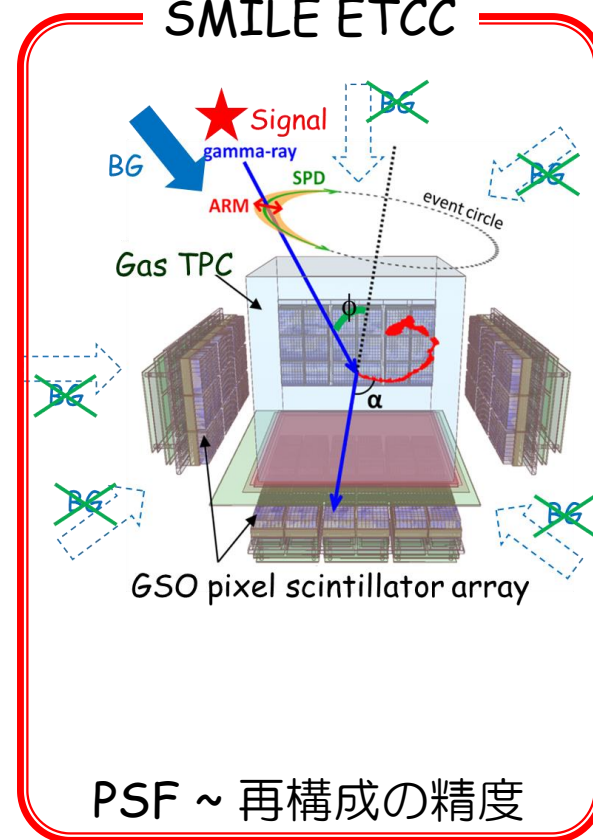
f_B : 雑音量 A : 有効面積 $\Delta\Omega$: PSF

SPI/INTEGRAL



BGを含む統計量で方向検出

SMILE ETCC



シミュレーション・計算で算出可能

PSFの広がり小さければ、視線方向のBGが主

Sub-MeV gamma-ray Imaging Loaded-on-balloon Experiment

SMILE-I @ 三陸 (Sep. 1st 2006)

10 cm角, Xe+Ar 1気圧

- 気球高度におけるETCCの動作試験
 - 宇宙拡散・大気ガンマ線の観測 (100 keV ~ 1 MeV)
 - ⇒ 気球高度において安定に動作
- 他の観測と矛盾のないスペクトル A. Takada+, ApJ, 2011

SMILE-II 放球せず

30 cm角, Ar 1気圧

- 地上試験 ⇒ 有効面積 : $\sim 1 \text{ cm}^2$ @ $< 300 \text{ keV}$
ARM : 5.3度 SPD : ~ 100 度 @ 662 keV
⇒ PSF : ~ 15 度 @ 662 keV

SMILE-II+ 2018年春 Alice Springsから放球

30 cm角, Ar 2気圧

- 明るい天体のイメージングが目標
 - 目標 有効面積 : \sim 数 cm^2 @ $< 300 \text{ keV}$
PSF : ~ 10 度 @ 662 keV
- 511 keV from G.C.
Crab nebula @ Alice Springs

SMILE-III

30 cm角, CF₄ 3気圧

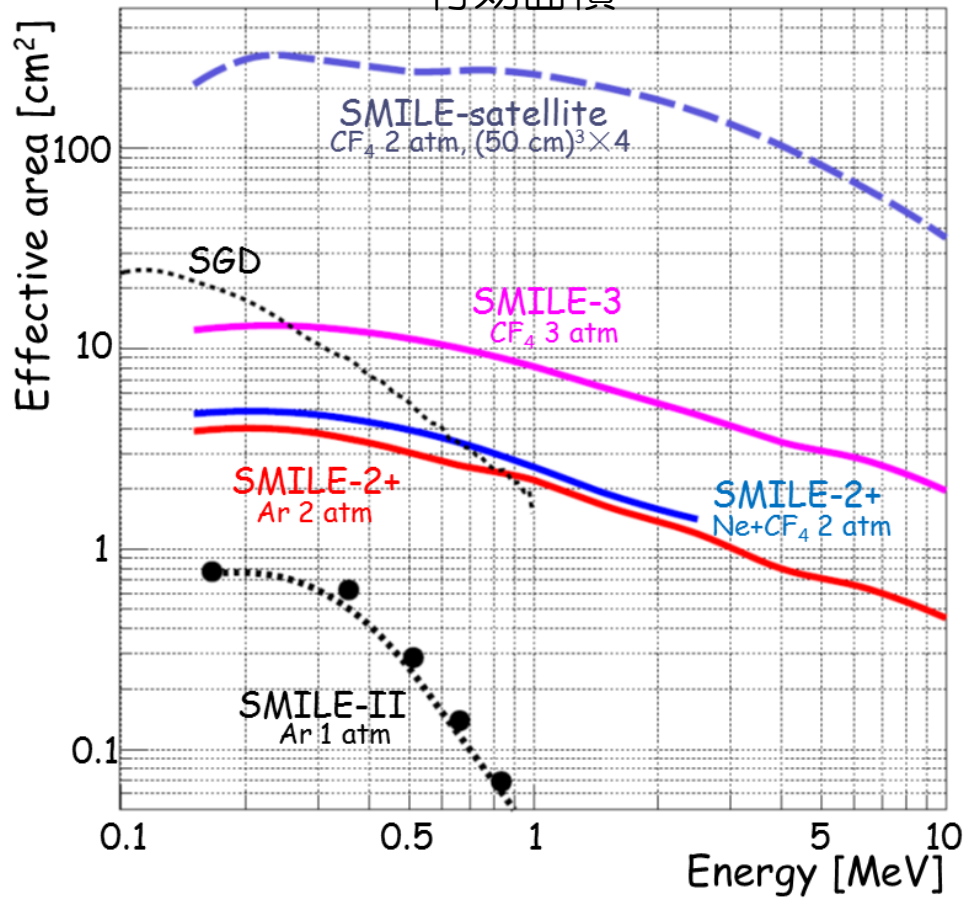
- 長時間気球を用いた科学観測
- 目標 有効面積 : $\sim 10 \text{ cm}^2$ @ $< 300 \text{ keV}$
PSF : ~ 5 度 @ 662 keV

衛星による全天観測

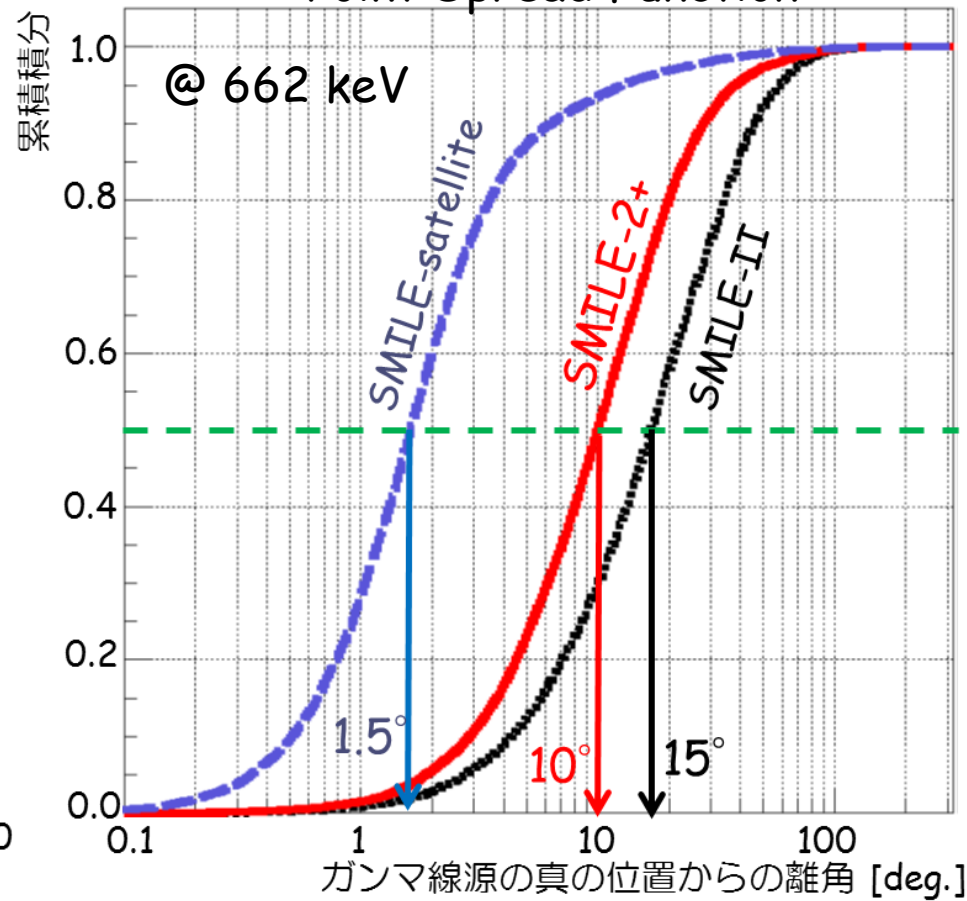
50 cm角, CF₄ 3気圧

有効面積とPSF

有効面積

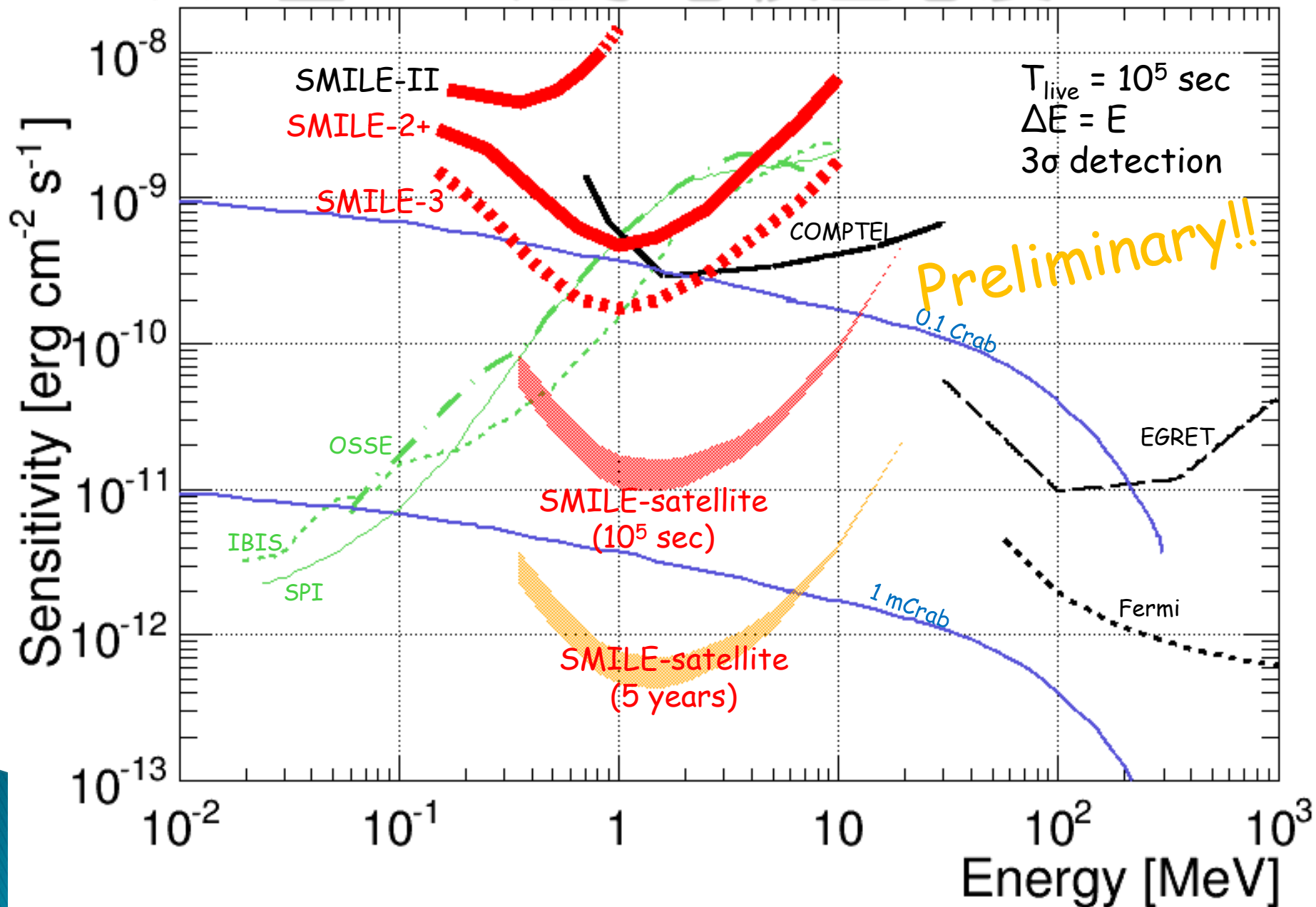


Point Spread Function



Satellite: ARM 2° SPD 5°
 SMILE-2+: ARM 6° SPD 50°
 SMILE-II: ARM 6° SPD 100°

PSFに基づいた予想検出感度



電子・陽電子対消滅線

SMILE-2+

有効面積:

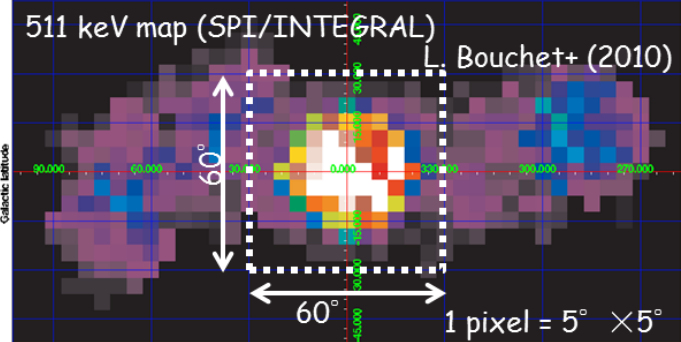
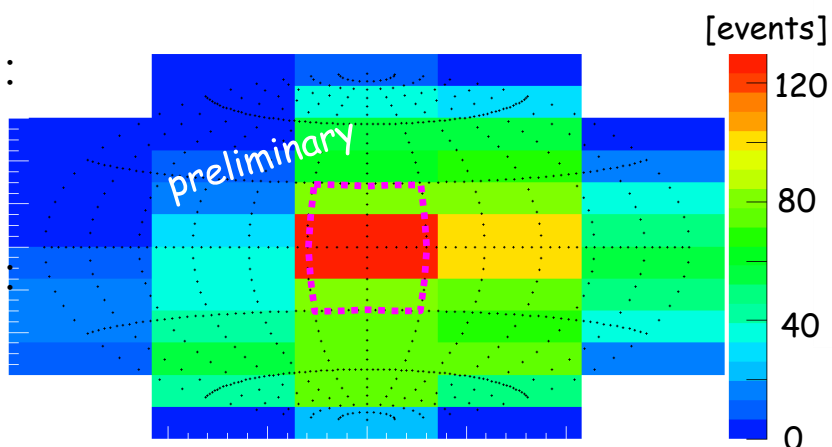
~3 cm²

PSF:

~10°

観測時間:

1 day



SMILE-3

有効面積:

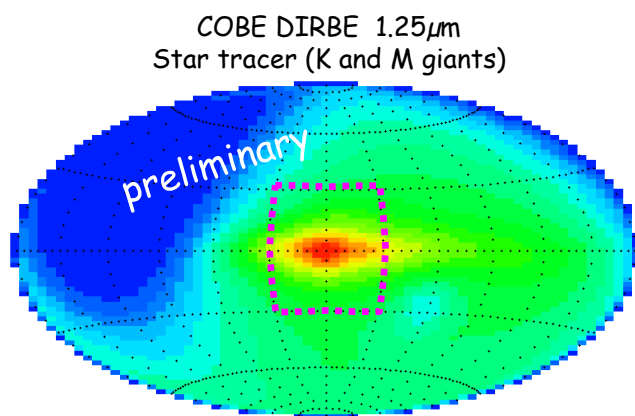
~10 cm²

PSF:

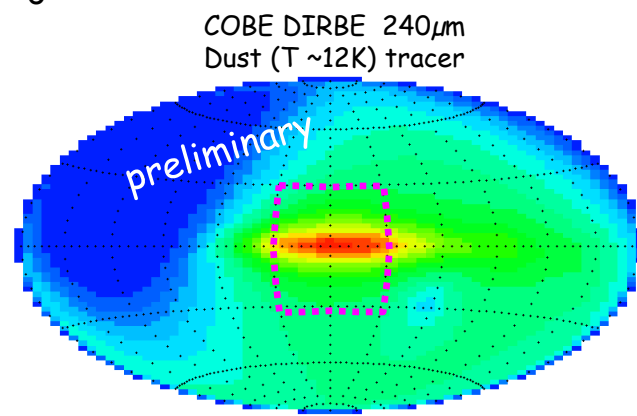
~7°

観測時間:

30 days



COBE DIRBE 1.25 μm
Star tracer (K and M giants)



COBE DIRBE 240 μm
Dust (T ~12K) tracer

1 pixel ~ l 4.8° × b 2.4°

Satellite

有効面積:

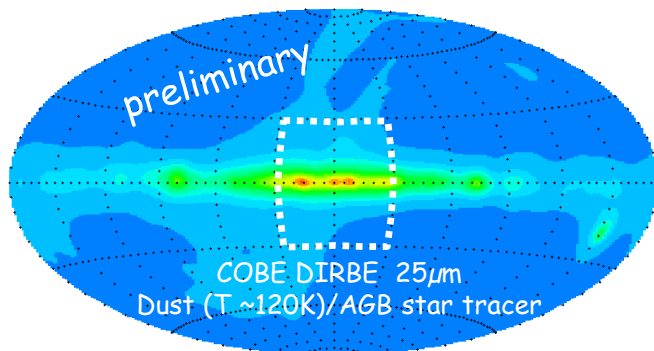
~200 cm²

PSF:

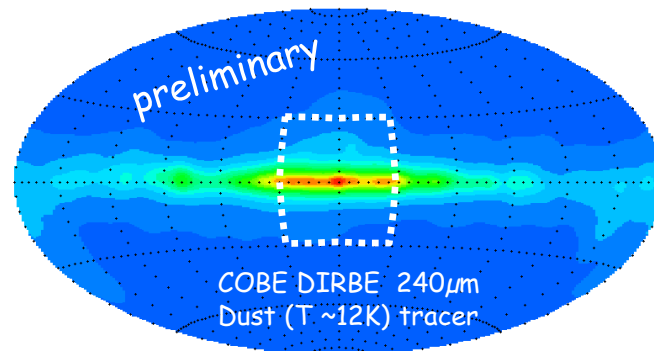
4.5°

観測時間:

1 year



COBE DIRBE 25 μm
Dust (T ~120K)/AGB star tracer



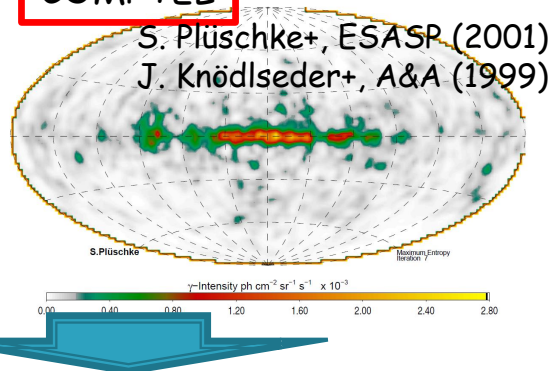
COBE DIRBE 240 μm
Dust (T ~12K) tracer

SMILE衛星での ^{26}Al (1.8 MeV)観測予測

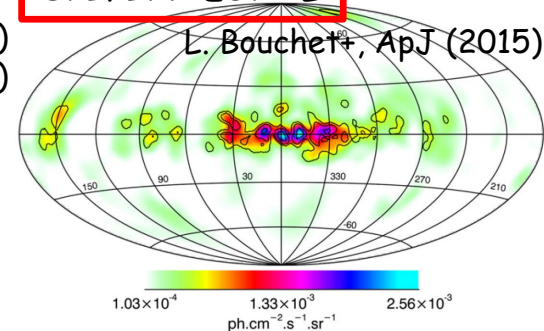
- AGB星
- Wolf-Rayet星
- II型超新星爆発
- 新星のアウトフロー

主要な
生成源は？

COMPTTEL



SPI/INTEGRAL

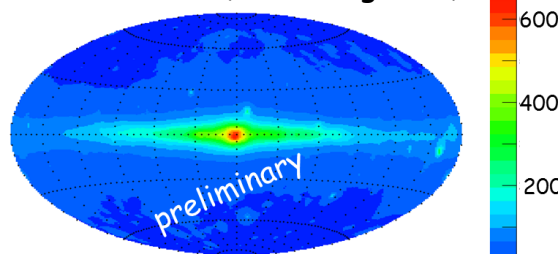


$^{26}\text{Al} \rightarrow ^{26}\text{Mg} + \gamma$ (1.809 MeV)
lifetime 7×10^5 years

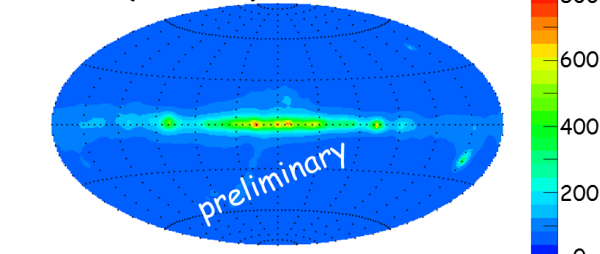
SMILE-satelliteによる観測事象数期待値マップ

有効面積 : $\sim 200 \text{ cm}^2$ @ 1.8 MeV
PSF : $\sim 2.3^\circ$ E res. : 2.4%

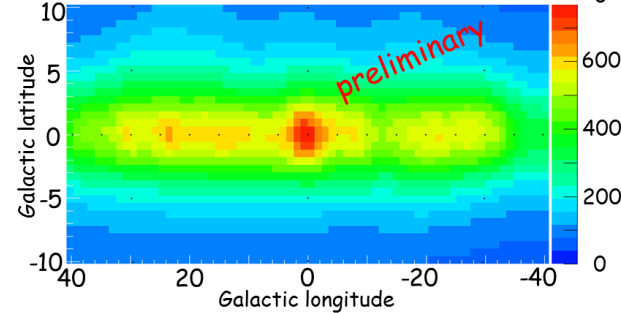
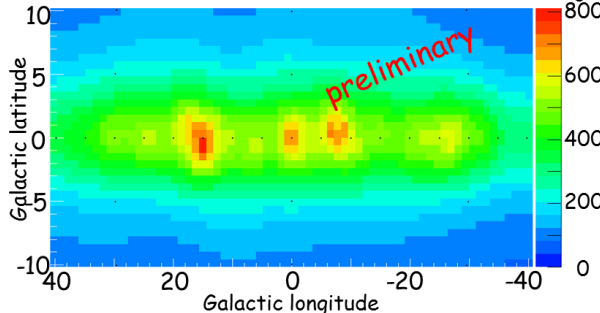
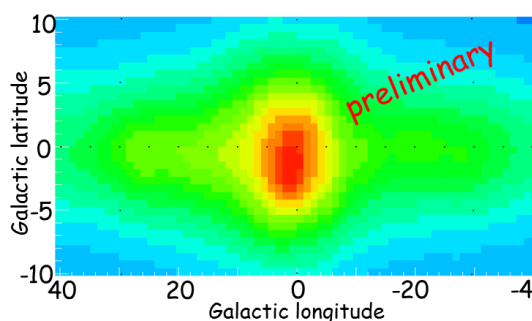
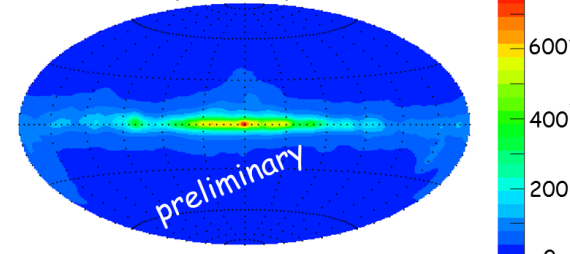
COBE DIRBE $1.25 \mu\text{m}$
Star tracer (K and M giants)



COBE DIRBE $25 \mu\text{m}$
Dust ($T \sim 120\text{K}$)/AGB Star tracer



COBE DIRBE $240 \mu\text{m}$
Dust ($T \sim 12\text{K}$) tracer

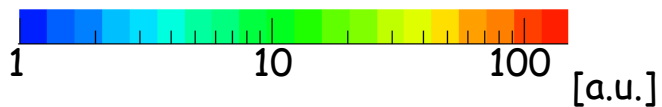
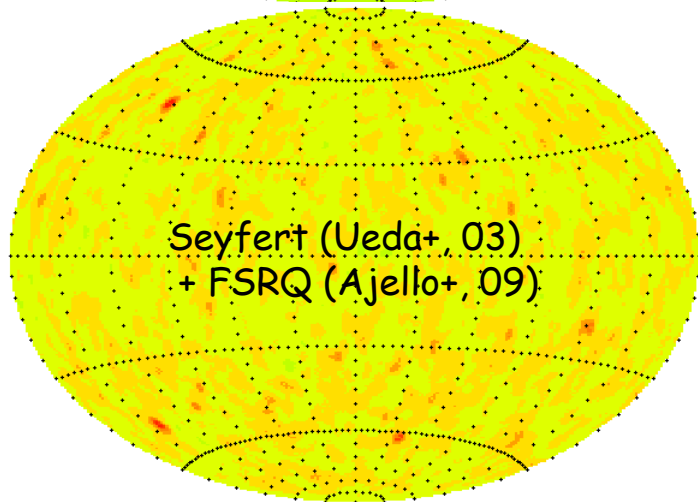
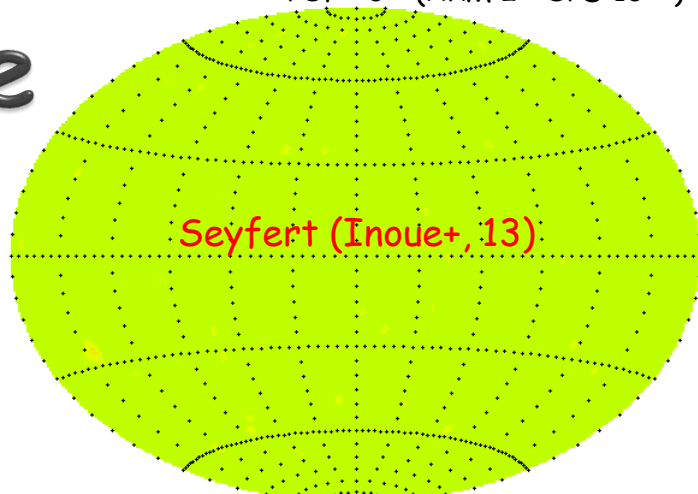
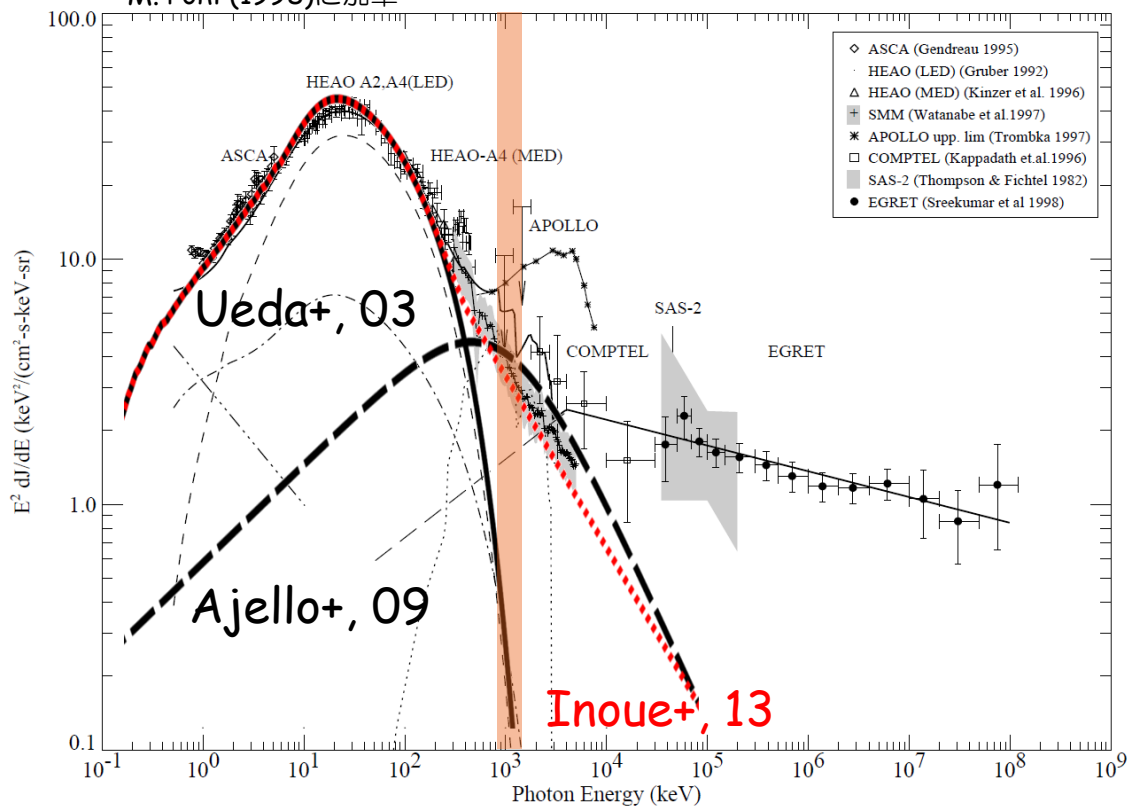


- $\sim 2^\circ$ のPSFが実現できれば ^{26}Al の分布について詳細な議論が可能に
- ^{60}Fe や電子陽電子対消滅線など他のラインガンマ線の分布も大幅な改善が期待できる

Extragalactic diffuse

0.8~1.2 MeV
PSF ~3° (ARM 2° SPD 10°)

M. Pohl (1998)に加筆



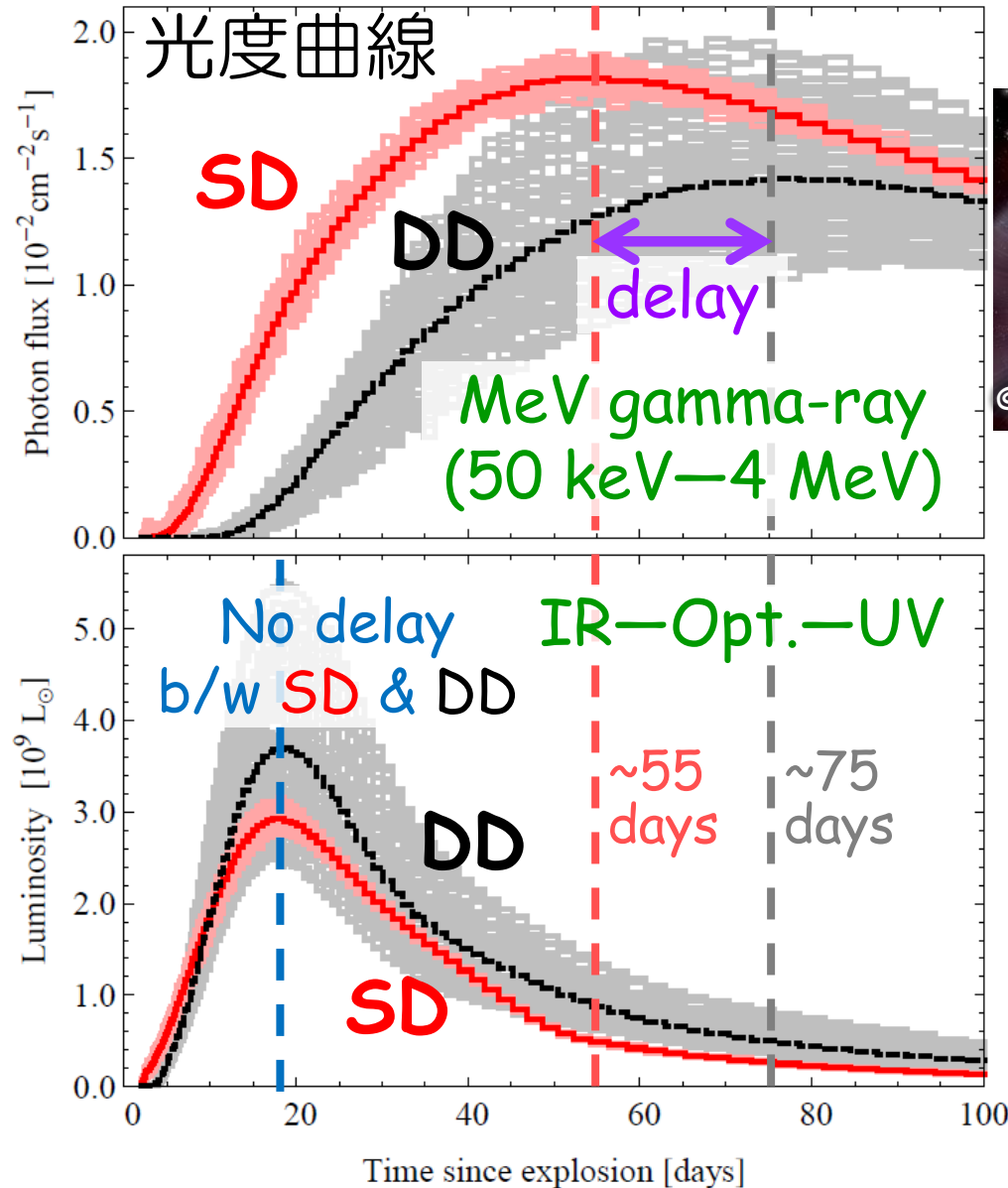
背景放射の詳細なスペクトル + 非一様性

⇒ MeV領域の背景放射の起源を特定可能

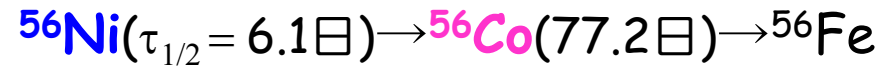
5°以下のPSFがあれば非一様性が見える

Ia型超新星の爆発過程診断方法

A. Summa, ..., K. Maeda, et al., A&A 554, A67 (2013)



伴星からの質量降着 白色矮星同士の合



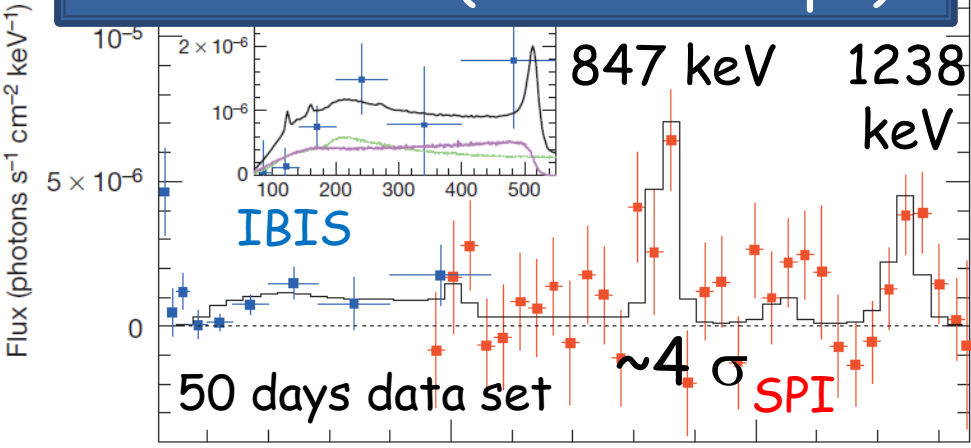
**MeVガンマ線観測は
Ia型超新星爆発の
重大なヒントをもたらす**

観測機器に要求される項目

- 良い点源角度分解能 (PSF)
- 効率的な雑音事象の抑制
- 広い視野 (FoV)

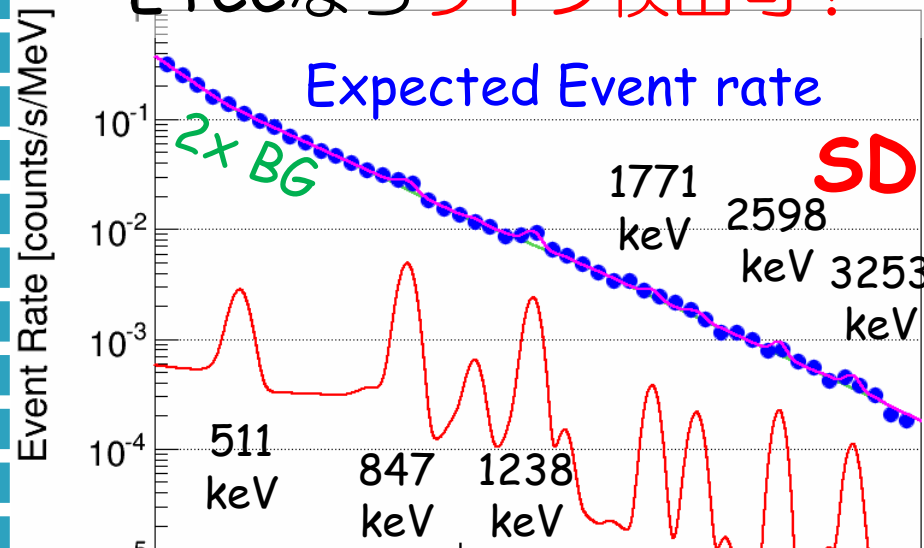
イメージング核分光の世界が変わる！！

INTEGRAL(SN@3.5 Mpc)

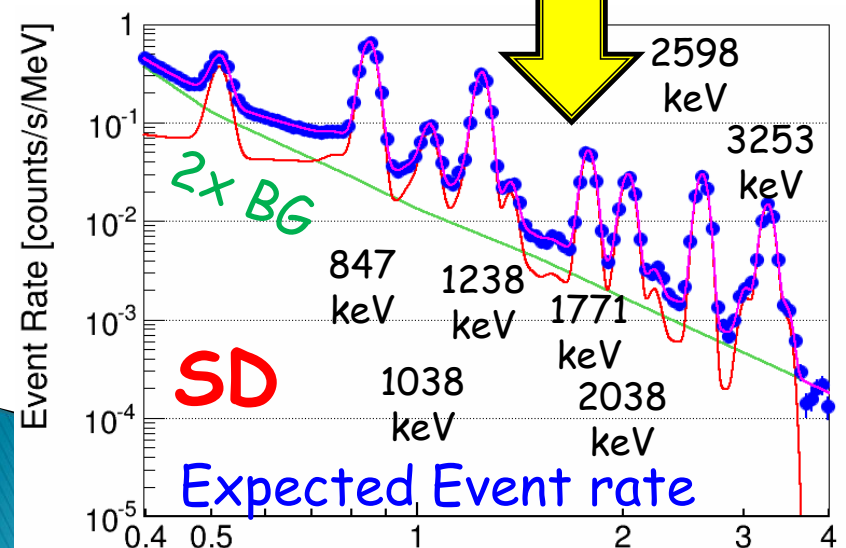


E. Churazov+ (2014)

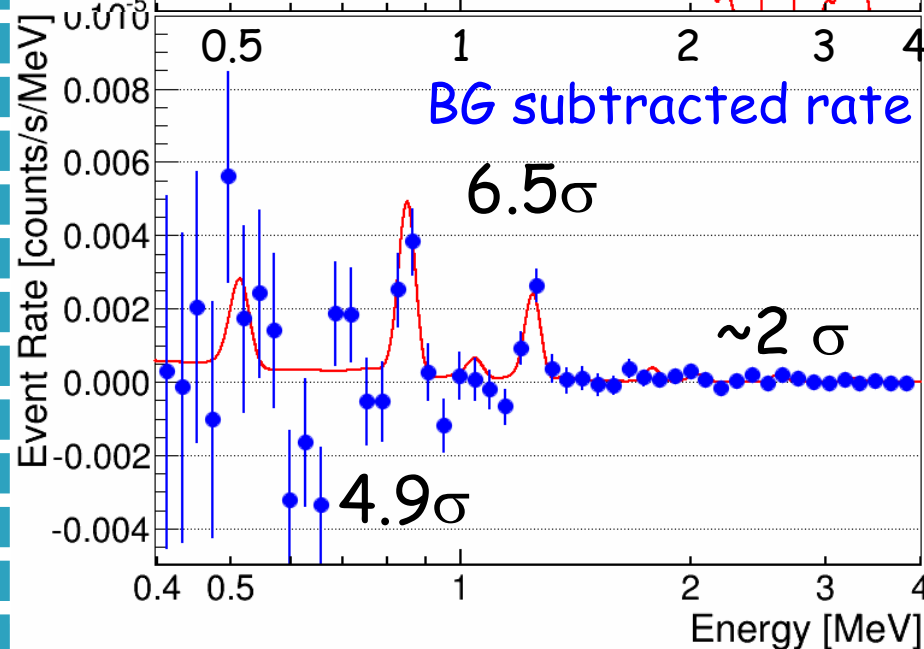
40 Mpc (~5.4 SNe/yrs) できさえ
ETCCならライン検出可！



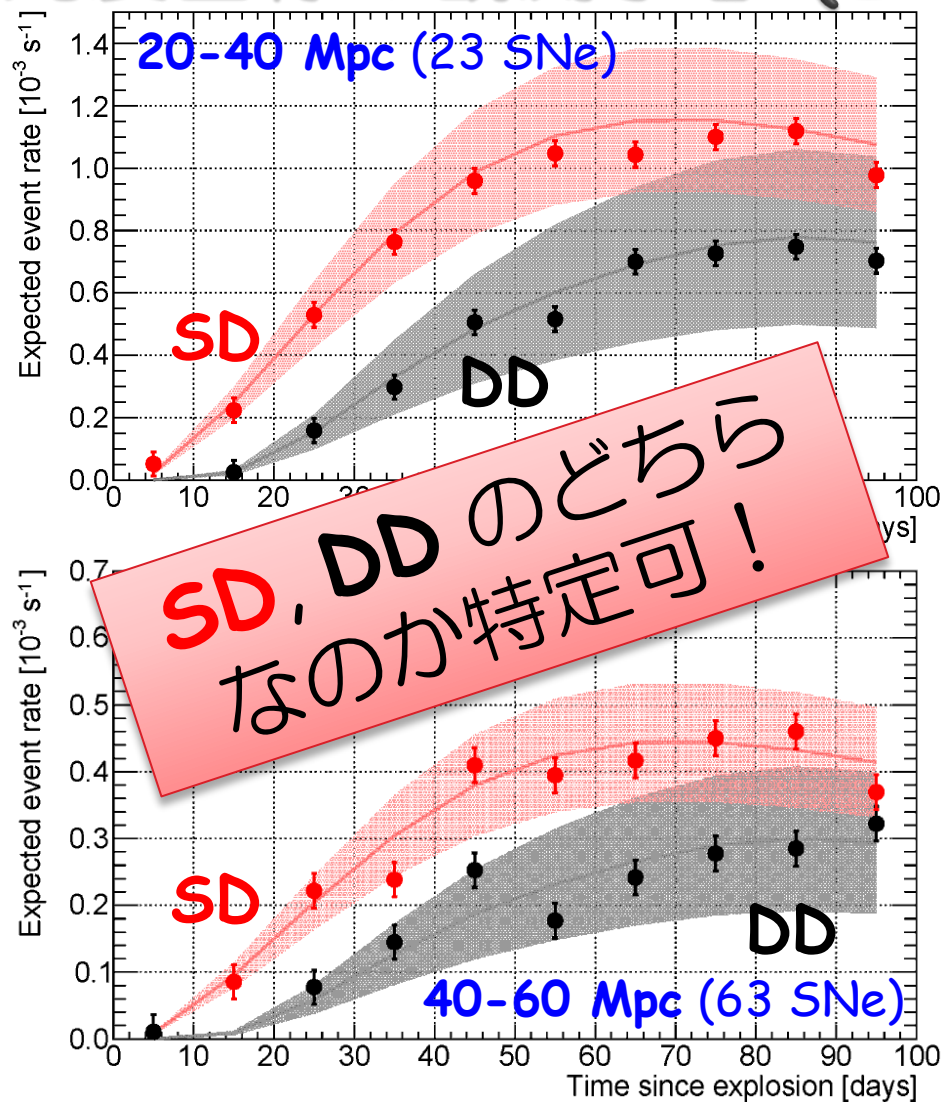
ETCC衛星(SN@3.5 Mpc)



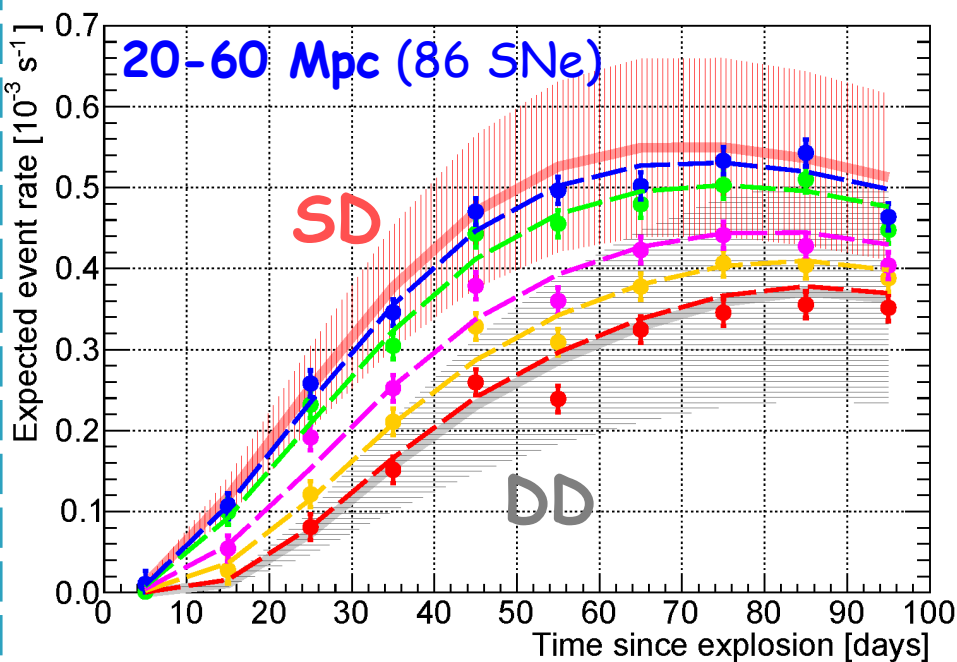
(50-100 days since SN)



光度曲線の観測予想 (Energy: 0.7–4.0 MeV)



SD & DDシナリオの
共存比を特定できるか!?



- SD (20-60 Mpc)
- DD (20-60 Mpc)
- SD ratio 0%
- SD ratio 25%
- SD ratio 50%
- SD ratio 75%
- SD ratio 100%

5年間の衛星観測で、
20%程度の不定性で
共存比がわかる!

SNの個性(Flux, 軸不定性など)を
多数のSN観測で抑える事が有効!

--> All-Sky Survey

まとめ

- ▶ MeVガンマ線天文学を進めるには
PSFの正確な見積もりに基づくイメージング分光が必須
⇒ コンプトン反跳電子の方向測定は必須

- ▶ SMILE-2+/3へのupgradeを進行中
 - シンチレータをガス容器内部に設置
 - シンチレータの厚みを増大

⇒ PSF・有効面積の向上、広帯域化

- ▶ SMILE-2+

有効面積：~5 cm² (<400 keV) PSF：~10度 (662 keV)

観測対象：銀河中心領域からの電子陽電子対消滅線, かに星雲

2018年春 Alice Springs から放球

- ▶ SMILE-3

有効面積：~10 cm² (<500 keV) PSF：5~10度 (662 keV)

観測対象：銀河面に広がる²⁶Al

電子陽電子対消滅線の銀河面分布 など

- ▶ Satellite

気球実験の結果を踏まえて衛星へ

有効面積：~200 cm² PSF：数度



第1回MeVガンマ線天文学研究会



2017年2月27日~28日
京都大学 益川ホール

24講演, 参加者 ~50人

<http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp/conference/mev-astro/index.html>



Thank you for your attention!

<http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp/research/MeV-gamma/wiki>