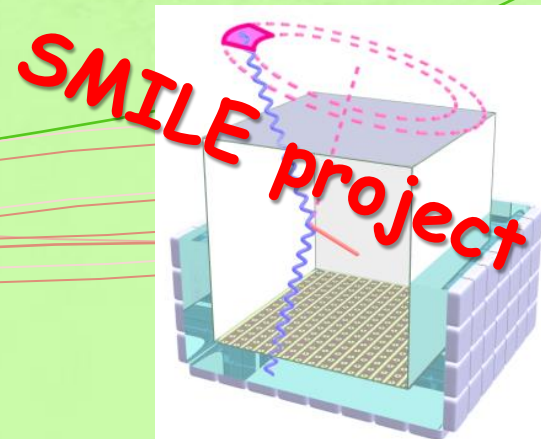


# Sub-MeV/MeVガンマ線観測による Ia型超新星の爆発過程解明手段II



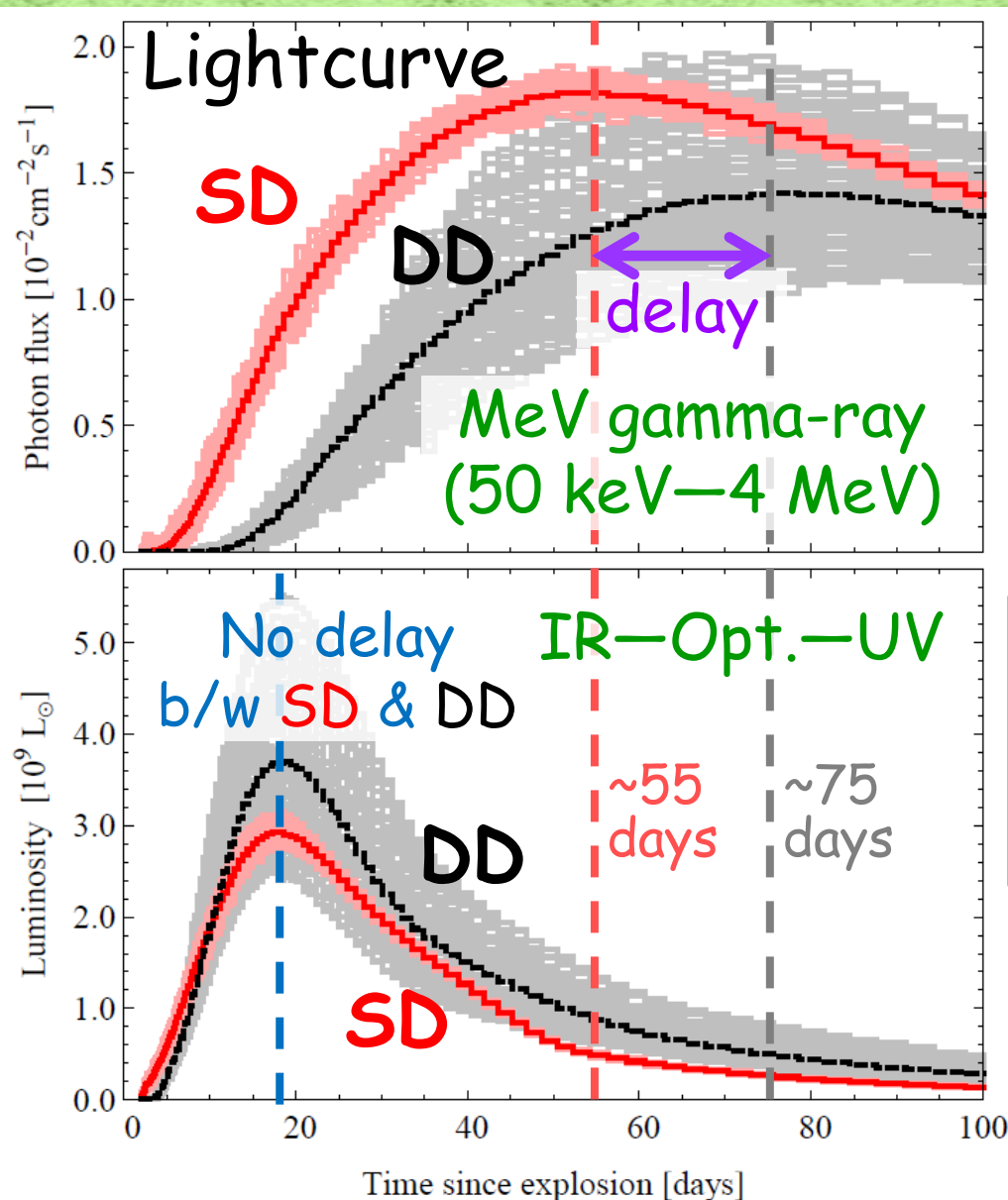
**水村 好貴**  
(京都大学)



谷森達, 高田淳史, 古村翔太郎, 岸本哲朗, 竹村泰斗, 宮本奨平,  
中増勇真, 吉川慶, 窪秀利, 水本哲矢, 園田真也, 友野大,  
Parker Joseph, 中村輝石, 松岡佳大, 小田真(京都大学),  
身内賢太郎(神戸大学), 澤野達哉(金沢大学)

# 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)



## ■ 光度曲線の差異

- 赤外～紫外線: No delay
- MeVガンマ線:
  - SDシナリオ: ~55日
  - DDシナリオ: ~75日(初期物質質量に依る差異)

**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**

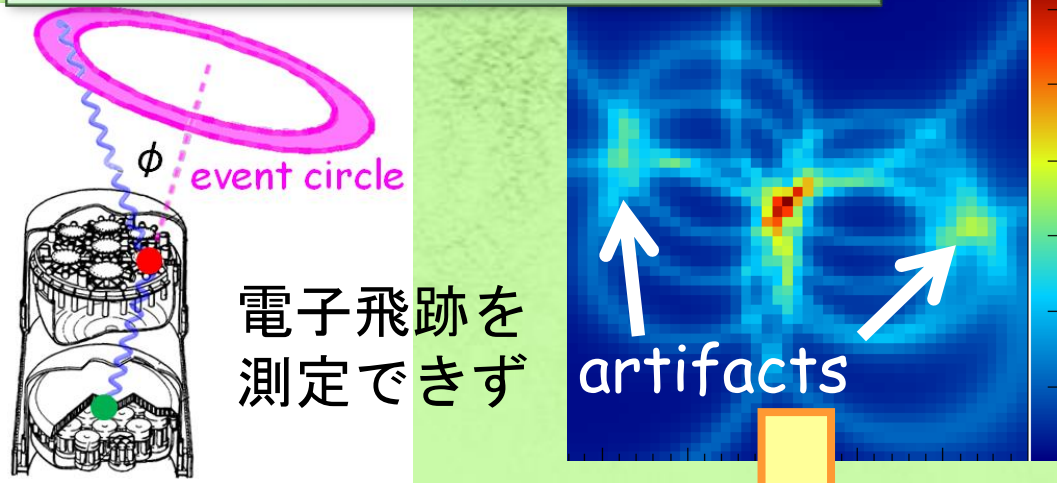
## 観測機器に要求される項目

- 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)

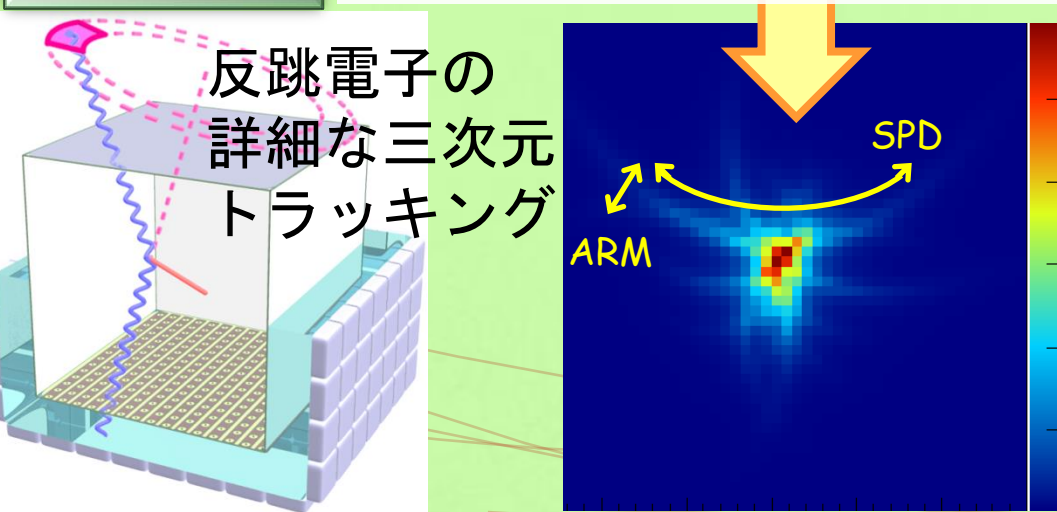


# Ia型SN 観測に最適な MeVガンマ線望遠鏡 ETCC (Electron-Tracking Compton Camera)

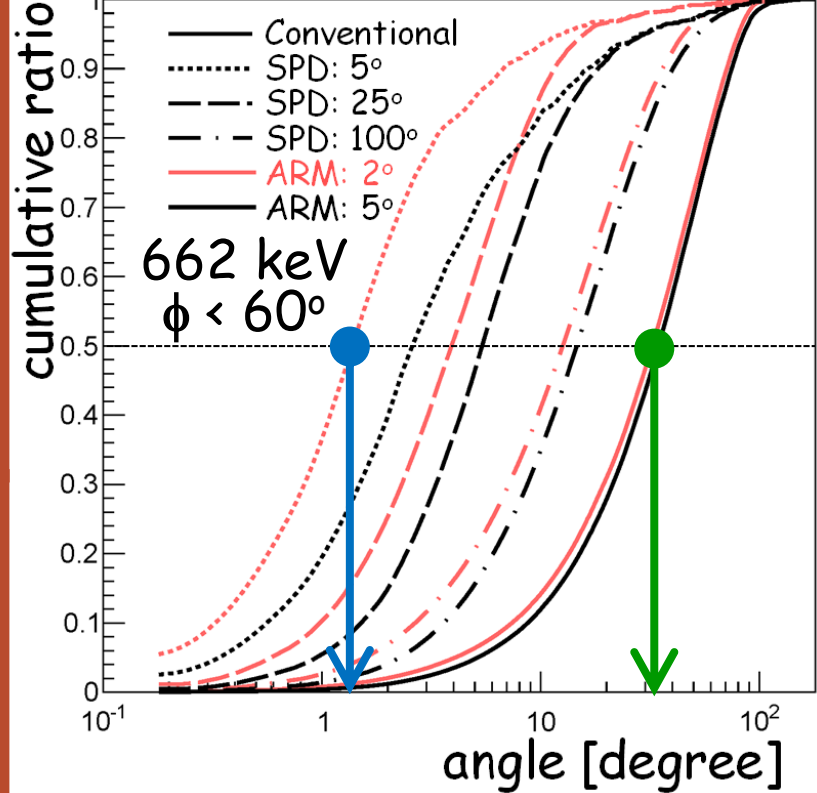
## 従来型の Compton Camera



## ETCC 強烈な撮像能力の改善



## Point Spread Function (PSF)

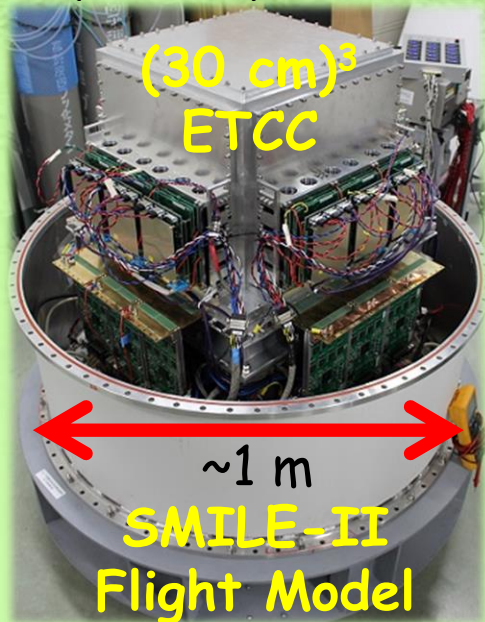


点源からの半数の光子が  
**>30°**: 従来型の望遠鏡  
**1-2°**: ARM  $2^\circ$  + SPD  $5^\circ$   
 に再構成される

# SMILE実験計画 と将来感度

## ■ SMILE-II (米国1日気球)

$(30\text{ cm})^3$  ETCC  $\rightarrow \sim 1\text{-}4\text{ cm}^2$



■ 視野 > 4 str

■ ターゲット

Crab, Cyg X-1  
(+偏光観測)

■ 状態

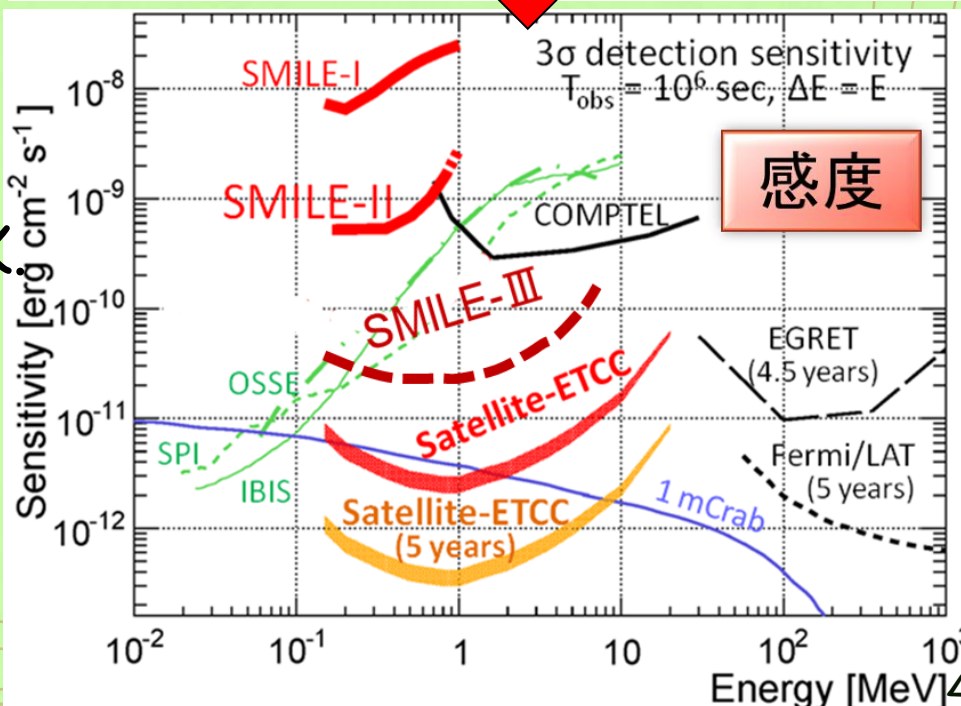
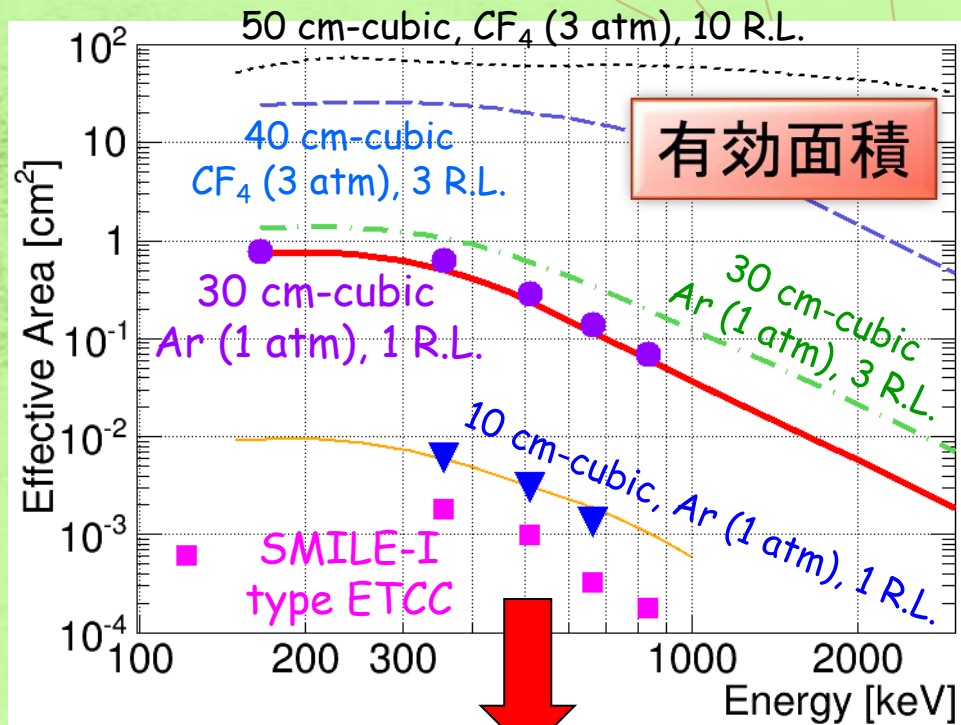
検出器完成  
高BG撮像O.K.  
低S/N撮像O.K.

## ■ SMILE-III (極周回気球)

$(40\text{ cm})^3$  ETCC  $\times 2 \rightarrow \sim 80\text{ cm}^2$   
GRB, 銀河面探査, CGB非等方性

## ■ SMILE衛星

$(50\text{ cm})^3$  ETCC  $\times 4 \rightarrow \sim 240\text{ cm}^2$   
1 mCrab 感度でのMeV天文確立

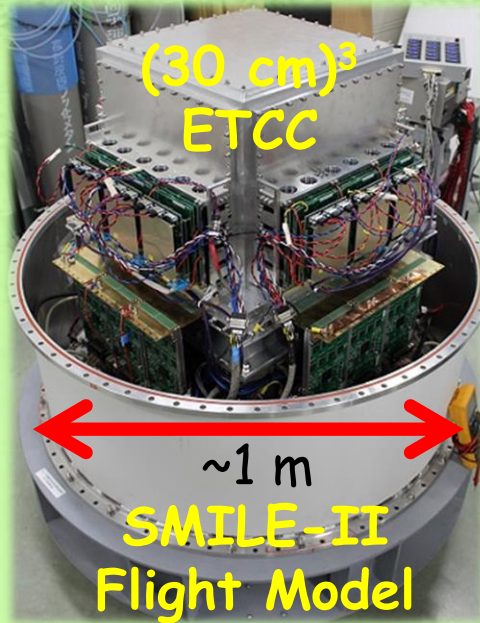




# SMILE実験計画 と将来感度

■ SMILE-II (米国1日気球)  
(30 cm)<sup>3</sup> ETCC --> ~1-4 cm<sup>2</sup>

■ 視野 > 4 str

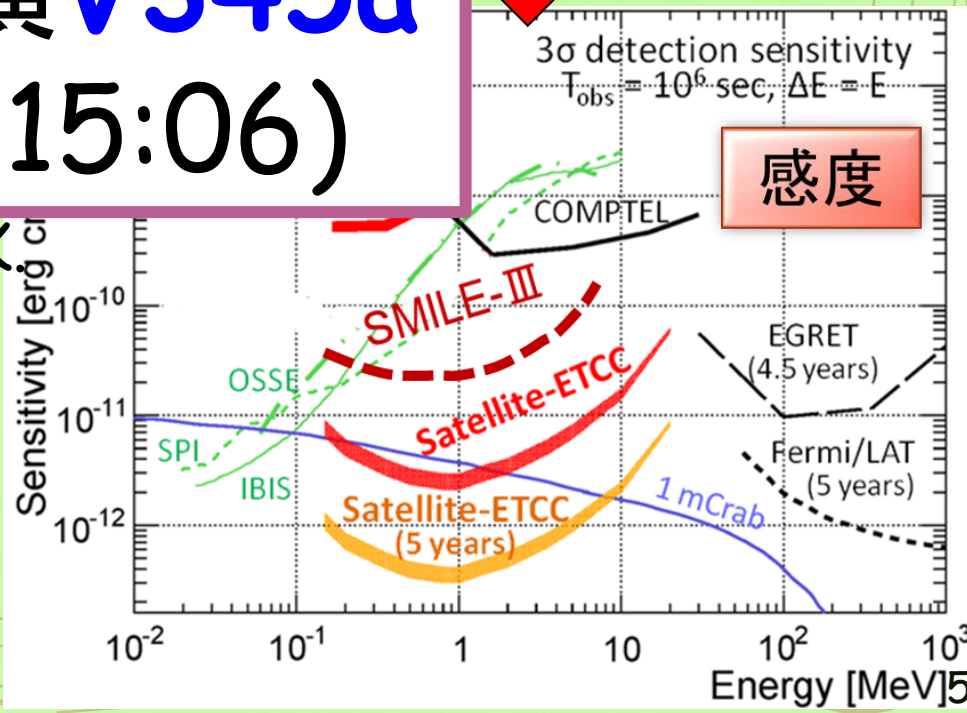
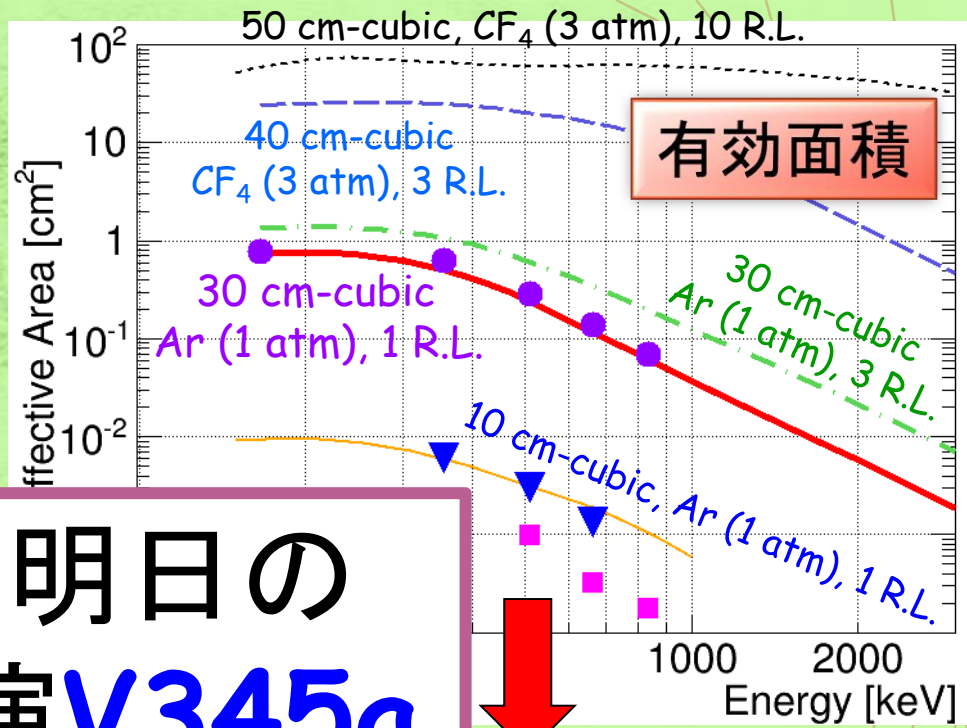


詳細は明日の  
谷森講演 V345a  
(I会場 15:06)

低S/N撮像O.K.

■ SMILE-III (極周回気球)  
(40 cm)<sup>3</sup> ETCC × 2 --> ~80 cm<sup>2</sup>  
GRB, 銀河面探査, CGB非等方性

■ SMILE衛星  
(50 cm)<sup>3</sup> ETCC × 4 --> ~240 cm<sup>2</sup>  
1 mCrab 感度でのMeV天文確立



# 観測シミュレート条件

## SN Ia Explosions

- Spectra & Time evolutions:  
A. Summa+ (2013) models  
(Y.M が一部を内挿補間)
- SN Ia発生レート (<60 Mpc):  
 $\sim 2 \times 10^{-5} [\text{yr}^{-1} \text{Mpc}^{-3}]$

Distance [Mpc]	SN rate [ $\text{yr}^{-1}$ ]	in 5 yrs [SNe]
15	0.28	1.4
20	0.67	3.4
40	5.4	27
60	18	90

- SN Ia のフラックス不定性:
  - $^{56}\text{Ni}$ 生成量 20% (SD & DD)
  - Viewing angle 30% (only DD)

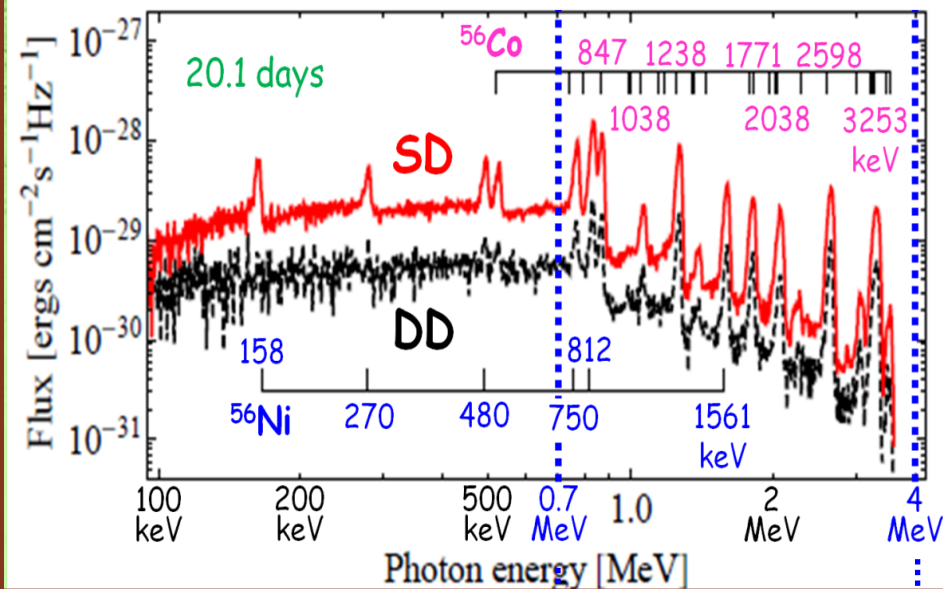
## Instruments & Operation

- 検出器: Satellite-ETCC  
(4 x 50 cm-cubic ETCCs)
- 有効面積:  
240  $\text{cm}^2$  @ 1 MeV
- 角度分解能(PSF):  
2° @ 1 MeV
- エネルギー分解能:  
 $5 \times (E/(662 \text{ keV}))^{-0.5} [\%]$
- 視野(FoV):  $2\pi \text{ sr}$
- Livetime (FoV込み): 33%
- BGスペクトルの仮定:  
 $2 \times (\text{Observed CXB})$
- Operation:  
5年間の低高度衛星観測

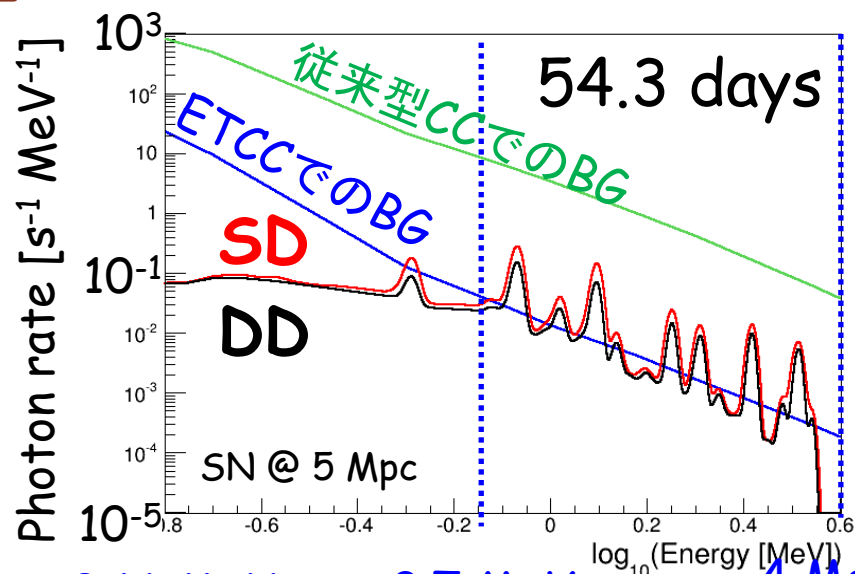
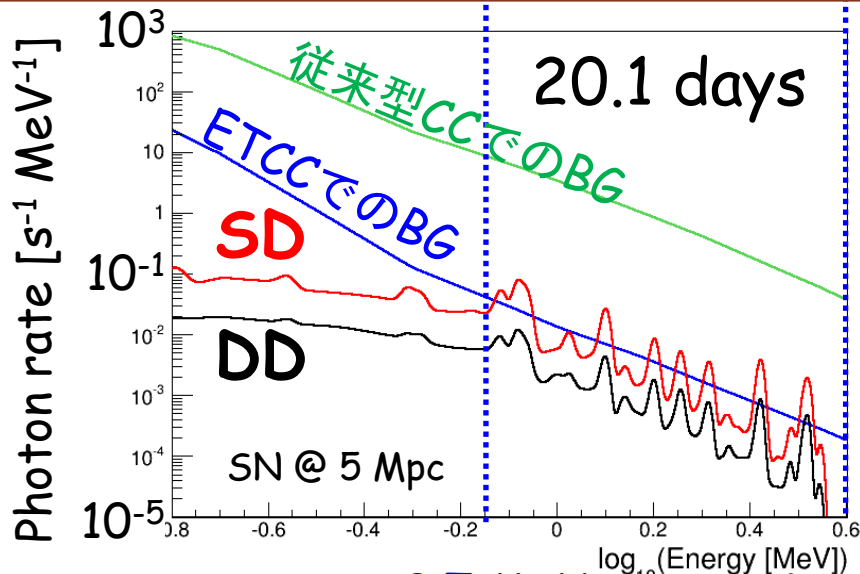


# BG混入量とガンマ線スペクトル

$^{56}\text{Ni}$  (6.1 days)  $\rightarrow$   $^{56}\text{Co}$  (77.2 days)  $\rightarrow$   $^{56}\text{Fe}$

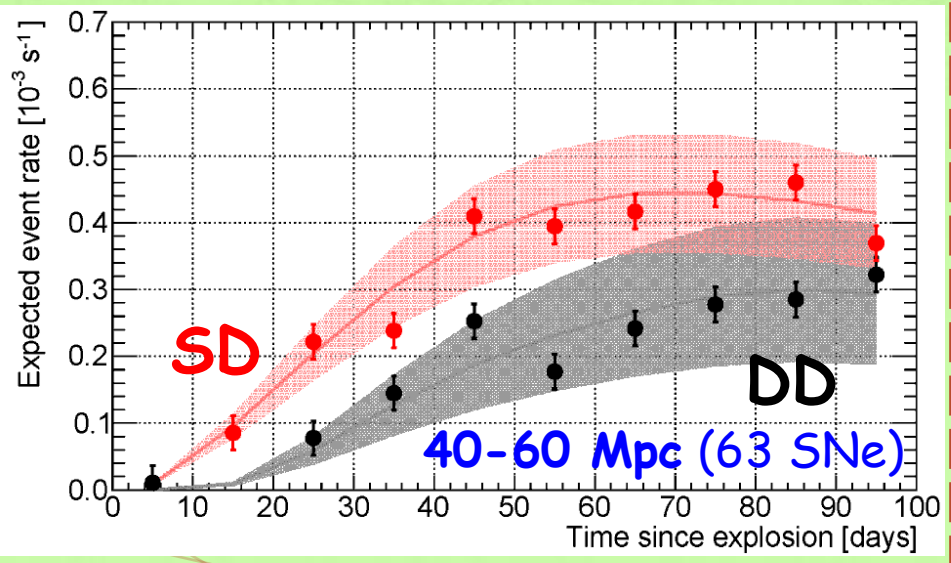
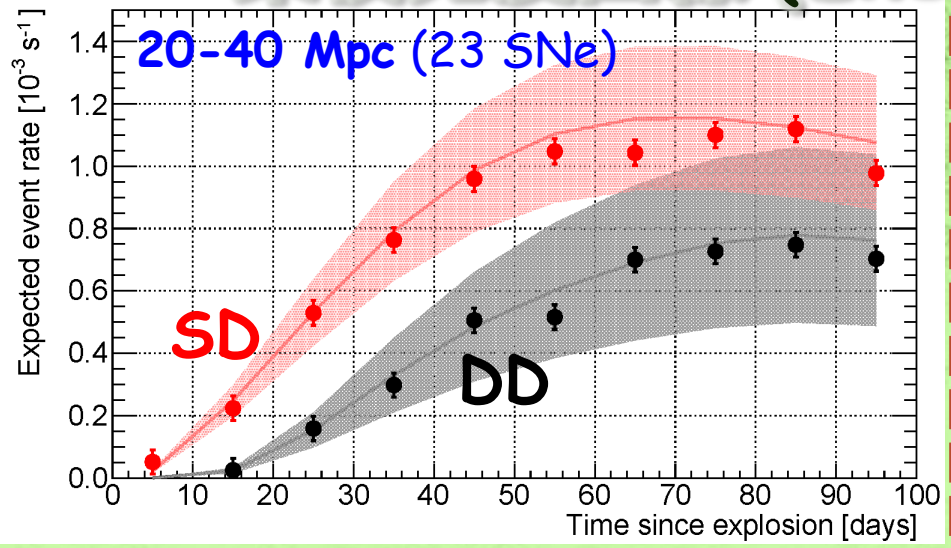


- PSF が約1桁異なる！  
→ 雑音量は 約2桁効く！
- ETCC の撮像能力ならば、十分にライン検出可能
- 特に 0.7 MeV 以上で signal 検出が有利 (photon indexがcomparable)



0.16 MeV      0.7 MeV      4 MeV      0.16 MeV      0.7 MeV      4 MeV

# 集積光度曲線 (Energy: 0.7–4.0 MeV)



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!

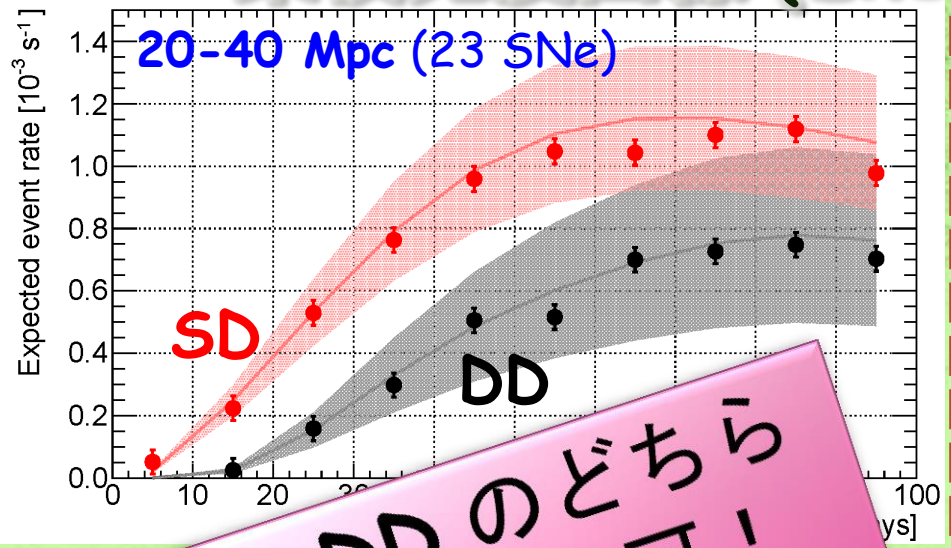
--> All-Sky Survey



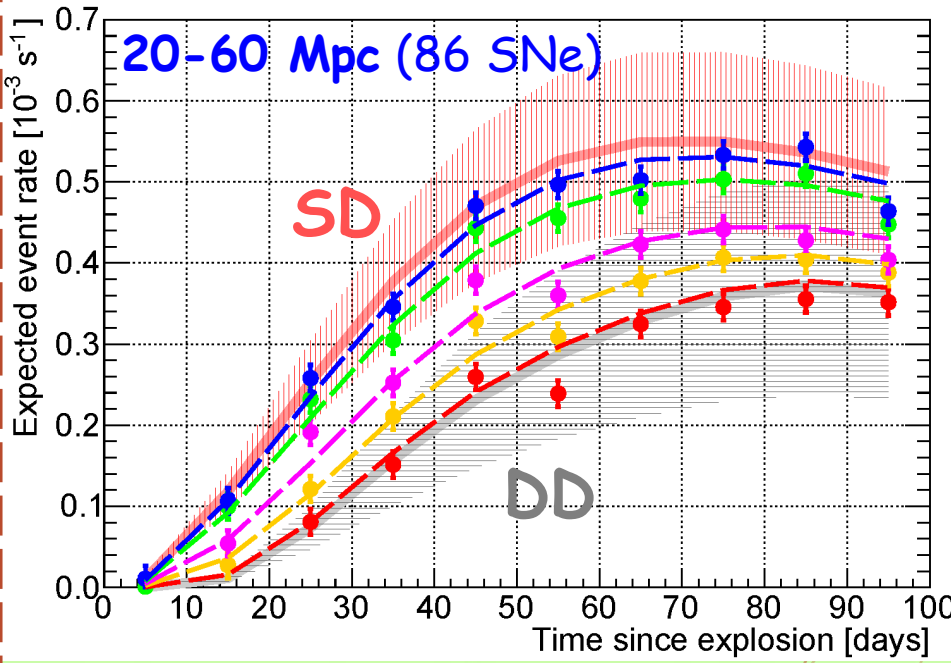
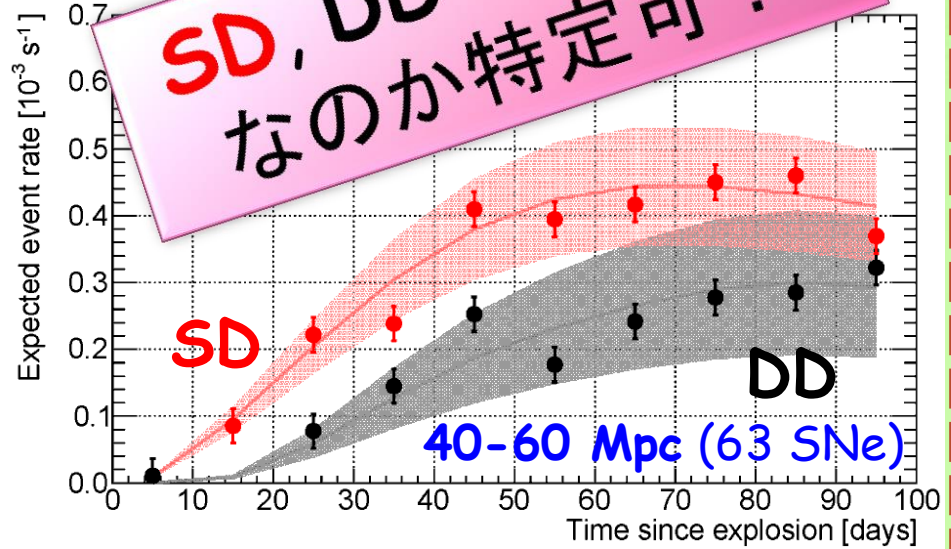


# 集積光度曲線 (Energy: 0.7–4.0 MeV)

SD & DDシナリオの  
共存比を特定できるか!?



SD, DD のどちら  
なのか特定可!



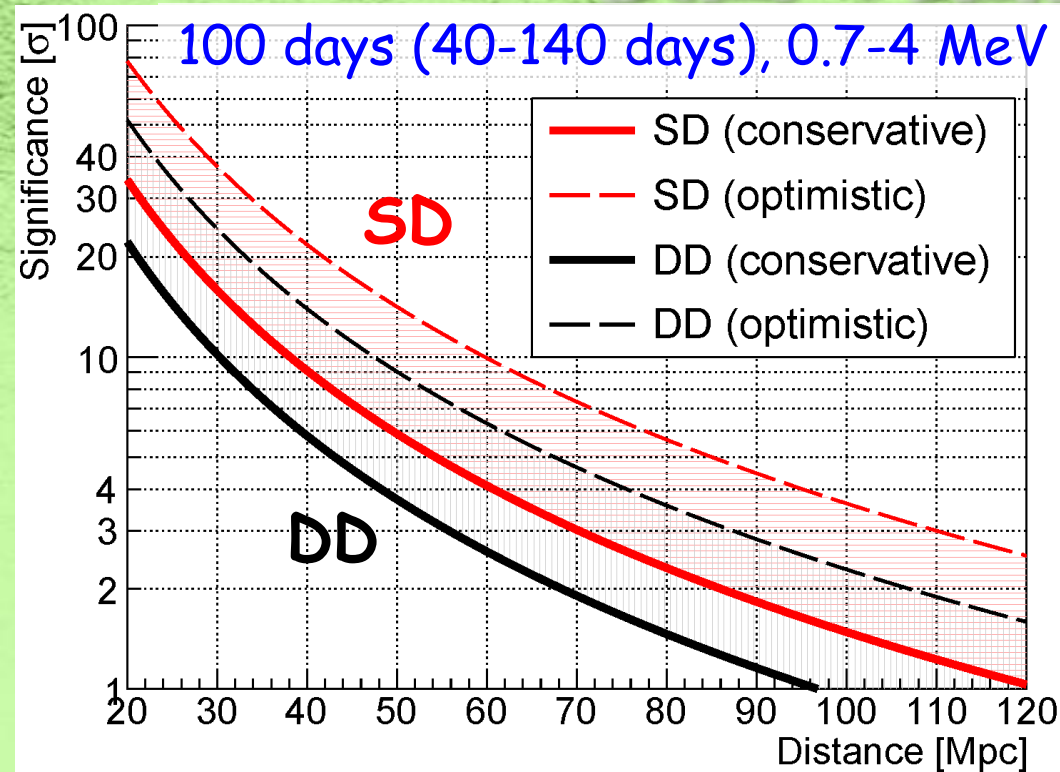
- SD (20-60 Mpc)
- DD (20-60 Mpc)
- SD ratio 0%
- SD ratio 25%
- SD ratio 50%
- SD ratio 75%
- SD ratio 100%

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

# 検出の距離限界



## ◆ Conservative model

➤ BG: **2x**(Observed CXB)

➤ 観測モード: **survey**

Livetime(FoV込み): 33%

## ◆ Optimistic model

➤ BG: **1x**(Observed CXB)

➤ 観測モード: **pointing**

Livetime(FoV込み): 100%

検出有意度 [ $\sigma$ ]

3

4

5

Conservative (SD, DD) [Mpc]

70, 55

60, 48

55, 45

Optimistic (SD, DD) [Mpc]

110, 85

95, 75

85, 65

Ia型超新星を 100 Mpc  
まで観測可能なら...



5年間の衛星実験で、  
可視光と同時観測可能な  
**400個以上のSN**が期待できる



# Summary

- **ETCC衛星:**
  - 1 mCrab**感度**に到達見込み( $2^\circ$  PSF @ 1 MeV)
    - SN Ia (< 60 Mpc) の集積光度曲線が観測可
    - Line studyも十分に可能(特に0.7 MeV以上で有利)
- SN Ia の爆発モデル診断(**SD** or **DD**)が可能
  - 全天MeVガンマ線探査による  
SN Iaの個性抑制(観測個数での打ち消し)が重要
- 爆発過程の共存比(**SD** & **DD**)を  
20%程度の不定性で観測可能
- SN Ia の検出限界距離( $3\sigma$ , 100日間):  
**70-110 Mpc (SD), 55-85 Mpc (DD)**
  - 衛星5年で、**400個以上のSN**を可視光と同時検出

# Assumed BG gamma-ray spectrum

