

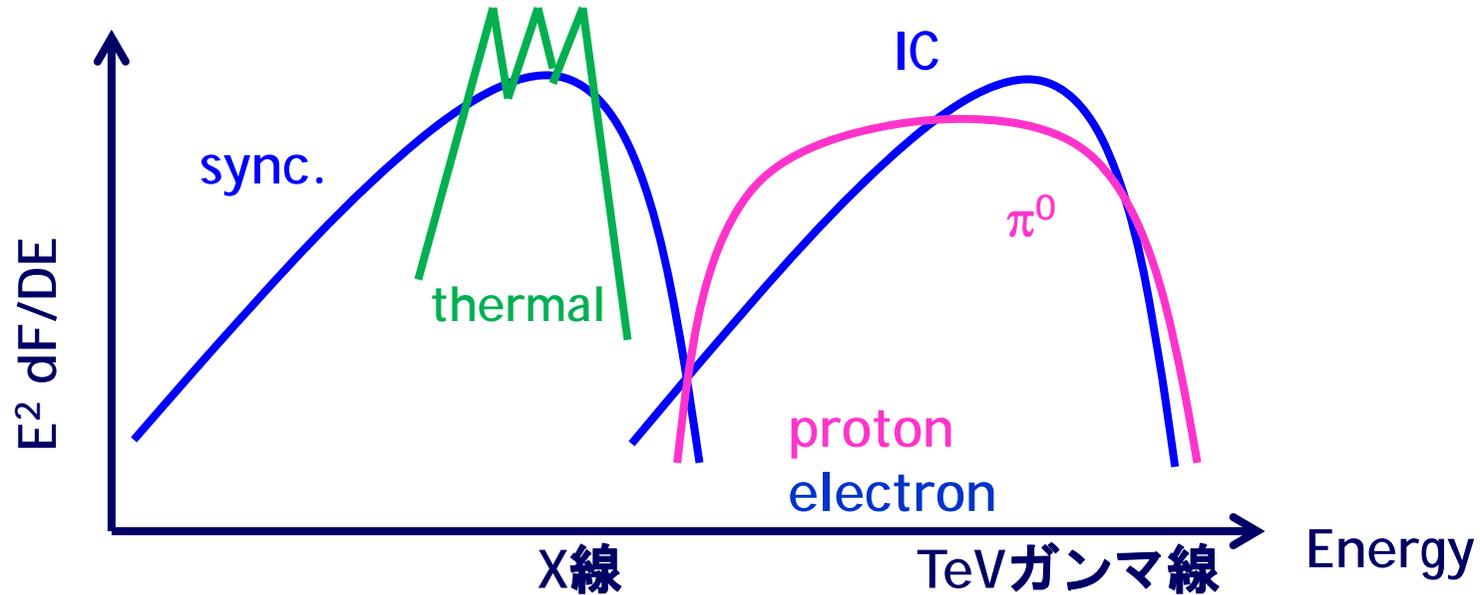
# CTAと次世代X線天文台

馬場 彩

(ダブリン高等研究所/宇宙研)

# 1. TeVガンマ線とX線

共通の大目的の一つ: 宇宙の加速器源と加速機構の解明



TeVガンマ線: IC emission from e  
emission from  $\pi$ -on  
X線: synchrotron from e  
thermal emission

info. on accelerated e/p  
info. on T and NT e  
info. on density, B, ...

TeVガンマ線とX線のcombinationで初めて  
加速源の正体、加速された粒子の種類が決定出来る。

## 2. CTA時代のX線天文台

X線は地球大気を透過出来ないため、人工衛星での観測となる。  
従って、X線天文台の寿命は~10年と短い。

### - . 既にあるX線天文台

Chandra(米: 2000 - )

XMM-Newton (欧: 2000 - )

INTEGRAL (欧: 2002 - )

Suzaku (日米: 2005 - )

MAXI (日: 2009 - )

ASTRO-Hは  
CTA時代の唯一の  
公開X線天文台  
新天体探査・時間変動天体には  
特に重要  
(X線はアーカイブも充実)

### - . これから打ち上げ予定のX線天文台

ASTROSAT (印: 2010年打ち上げ予定??)

NuStar (米: 2011年打ち上げ予定)

(Symbol-X 伊仏: キャンセル)

e-ROSITA (欧: 2012年打ち上げ予定??) 全天サーベイ型

ASTRO-H (日米欧: 2013年度打ち上げ予定)

IXO (日米欧: 2023年打ち上げ予定??)

### 3. ASTRO-H搭載機器

14m, 2.6t !

SGD (軟ガンマ線検出器)

10 - 600 keVで

世界最高感度を達成

SXI (軟X線撮像検出器)

0.3 - 12 keV

30分角の大視野CCD

HXI (硬X線撮像分光検出器)

10-80 keVで世界初の  
望遠鏡による撮像分光

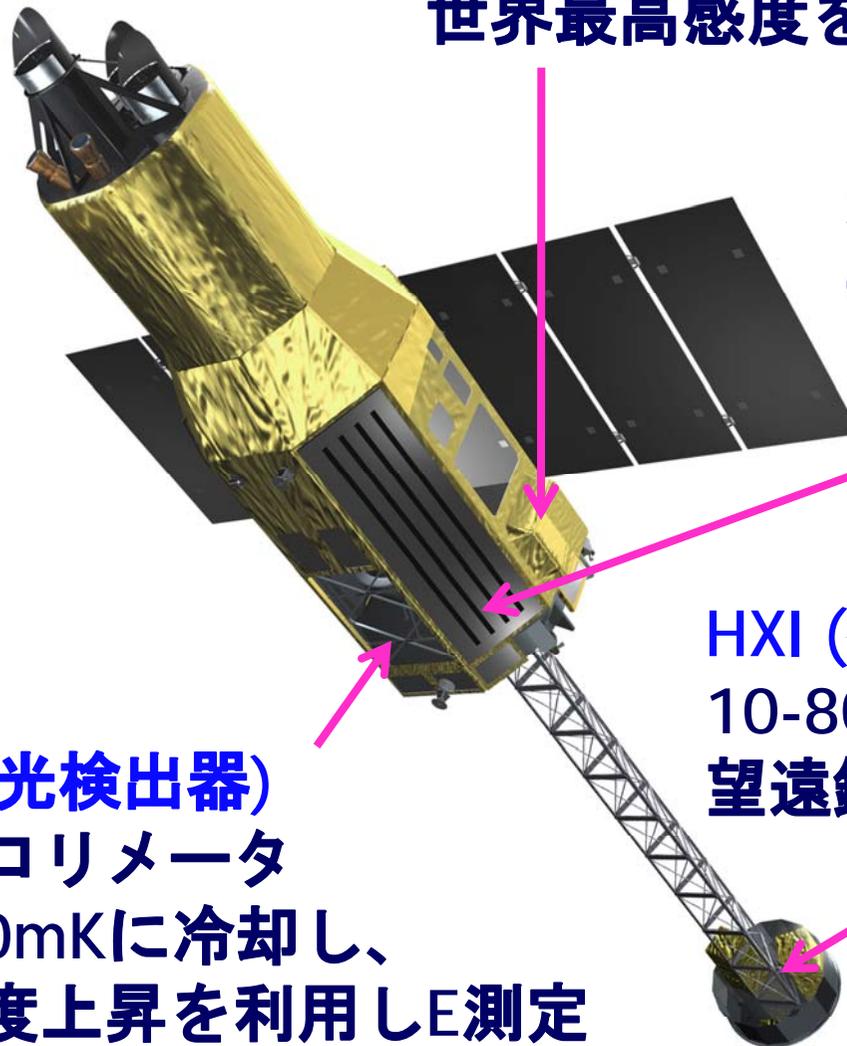
SXS (軟X線分光検出器)

悲願のX線カロリメータ

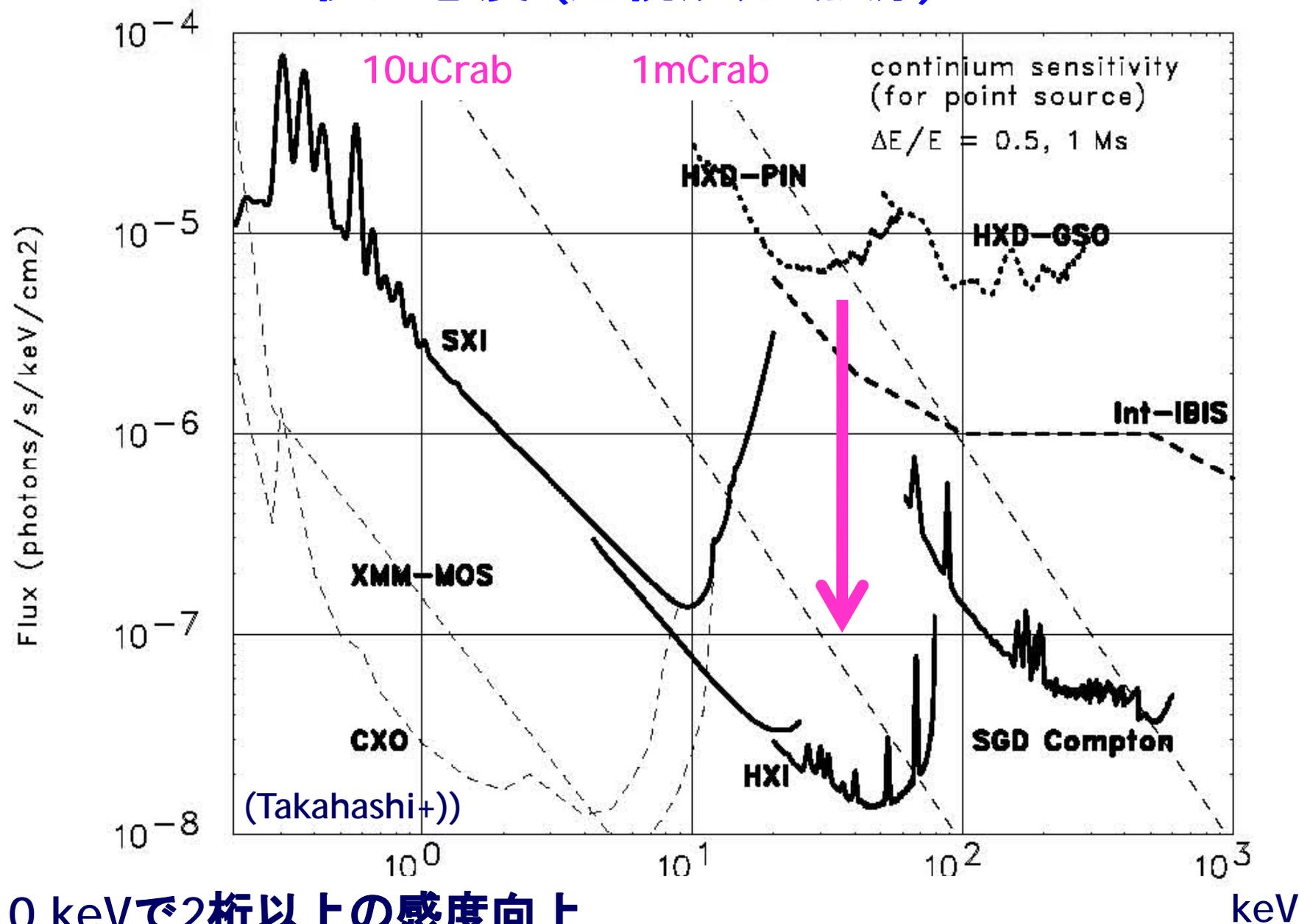
超伝導体を60mKに冷却し、

X線による温度上昇を利用しE測定

E分解能 4eV (0.2 - 12 keV)



## 4. ASTRO-Hの検出感度 (連続成分/点源)



>10 keVで2桁以上の感度向上

CTAの感度(1mCrab@1TeV)と同程度まで広帯域で到達可能

## 5. CTAとASTRO-Hの目指すサイエンス

### 5.1. 宇宙線加速天体の詳細研究

- 超新星残骸の爆発エネルギーのエネルギー分配と加速領域の相関
- パルサー星雲での宇宙線加速の詳細観測
- 活動銀河核の同時モニター観測
- X線連星系、白色矮星、...
- 銀河団での宇宙線加速
- GRB ?

### 5.2. 新しい宇宙線加速天体の探査

- TeV未同定天体の系統的探査
- そのほか、新種の加速源が見つかるか?

## 5.1. 超新星残骸での宇宙線加速の詳細研究

宇宙線へのエネルギー注入量は？ まだほとんど分かっていない

超新星残骸の熱的プラズマ：強い電離非平衡状態

熱的エネルギーの見積もりは非常に難しい -> SXS !!

SN1006：粒子加速現場と非加速現場が混在/TeVガンマ線あり

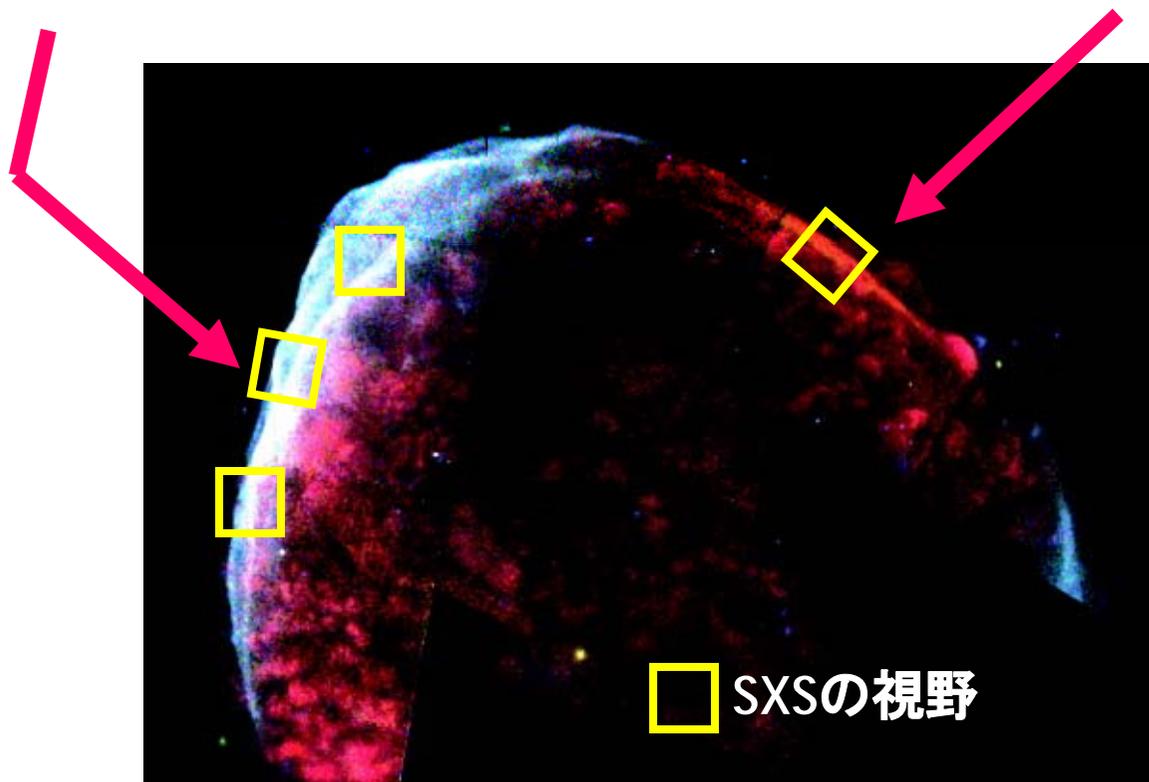
-> 宇宙線へのエネルギー注入量が測定可能

NE shell

sync. (+thermal) X-rays

NW shell

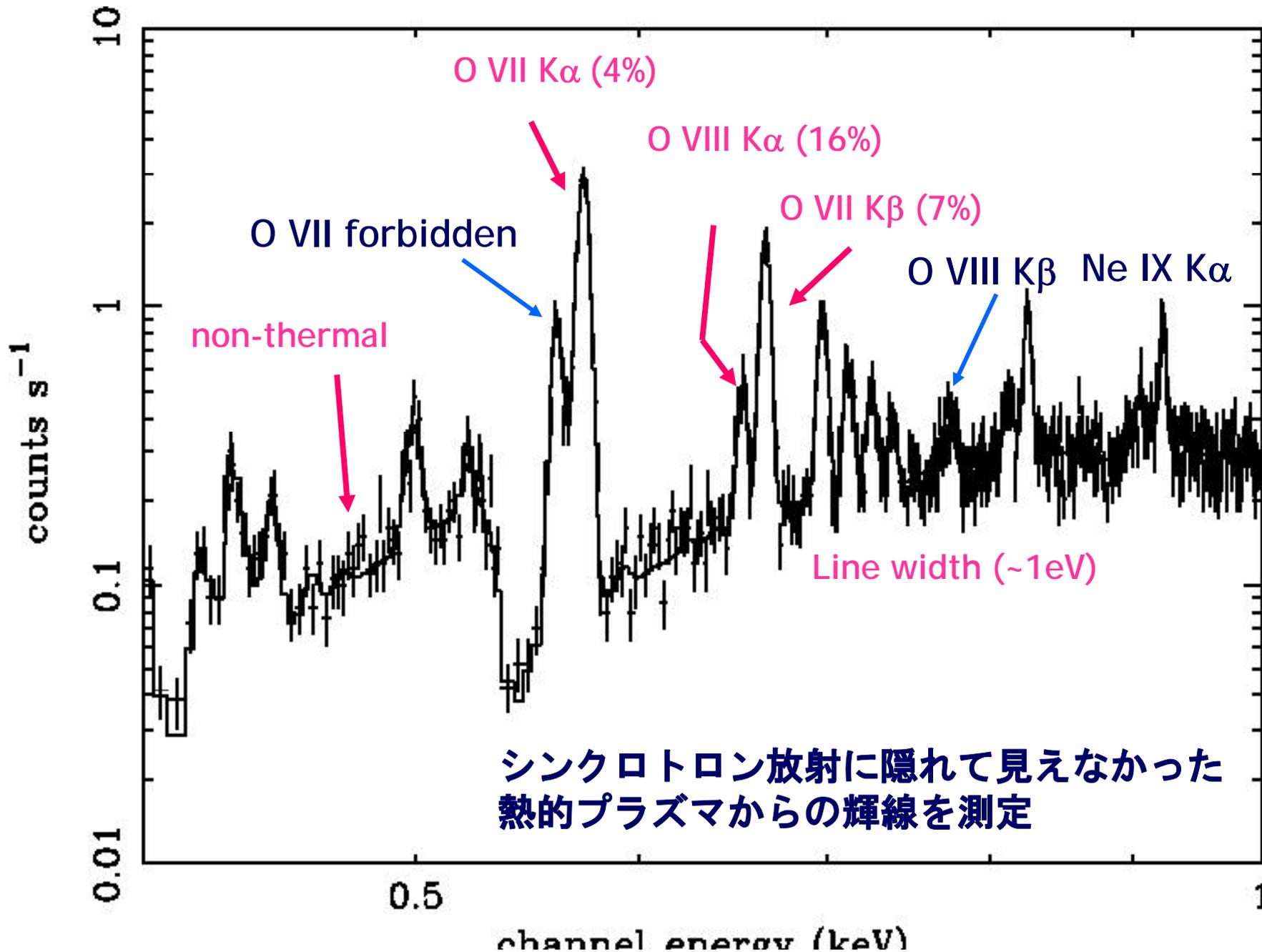
thermal X-rays



NEとSWの違い  
NEの中の違い

□ SXSの視野

# Expected spectrum (NE shell: 80ks exposure)



## 熱的成分の決定 -> 加速粒子へのE注入

### 1. 各領域で $kT_{\text{電子}}$ 、 $kT_{\text{電離}}$ 、 $kT_{\text{陽子}}$ 、 $n_e t$ の決定

He-like O  $K\alpha$

He-like O  $K\beta$

➡  $kT_{\text{電子}}$  (30% acc.)

H-like O  $K\alpha$

He-like O  $K\alpha$

➡  $kT_{\text{電離}}$  (10% acc.)

$n_e t$  (15% acc.)

### 2. line broadening ➡ $kT_{\text{陽子}}$ (20% acc.)

### 3. 年齢は1000(+ $\alpha$ )年

-> プラズマ密度・圧縮率などの決定(20% acc.)

NE、SW各部分で背景プラズマの状態が分かる

➡ プラズマの熱的E/衝撃波運動E/宇宙線Eの決定  
TeVガンマ線放射領域と相関はあるのか?

# プラズマ状態と加速粒子の最高エネルギー

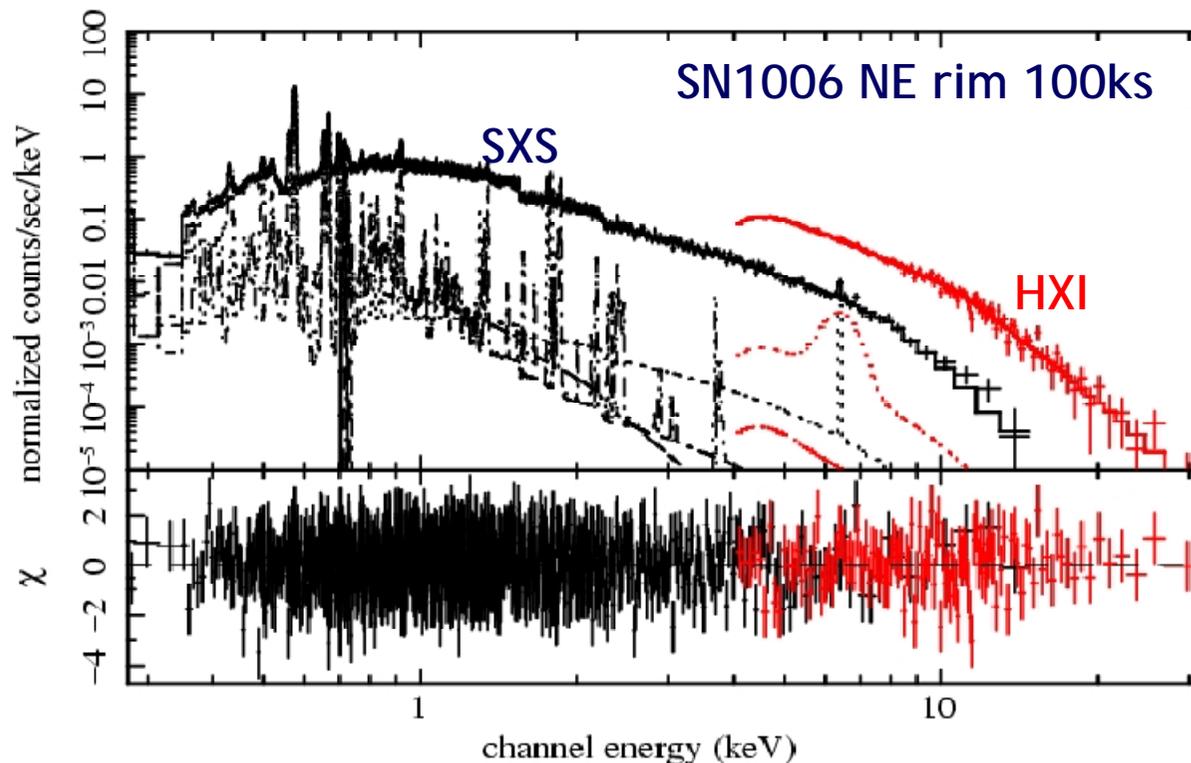
どんな背景プラズマ状態でどんな加速効率・最高Eになるか?

synchrotron X-rayのcut-off: 10%程度の精度で決定可能

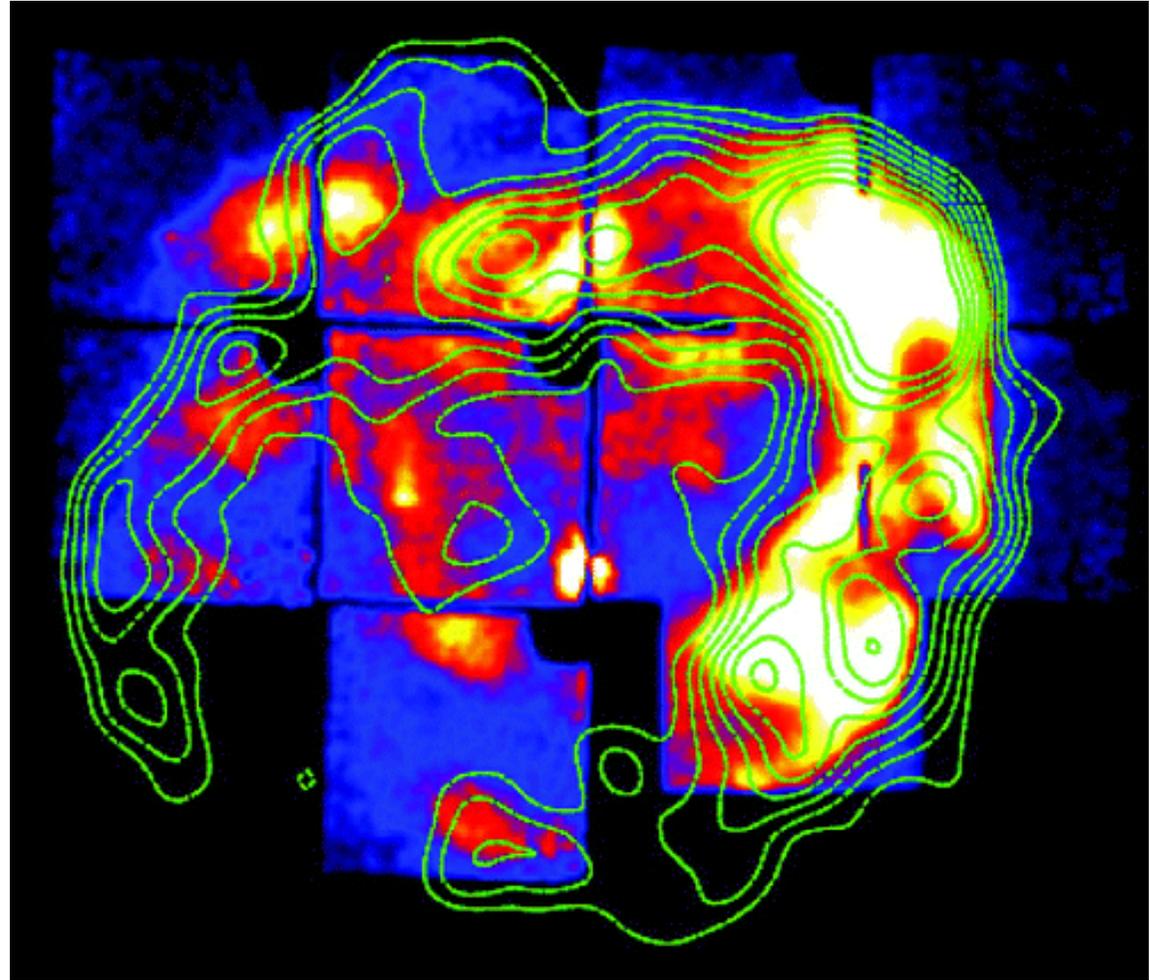
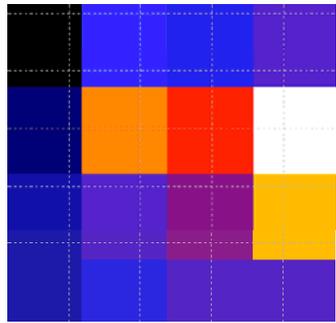
TeVガンマ線mappingを用い、

~1arcminの分解能で広帯域スペクトルが作成可能

NE shellの中でも、**宇宙線へのエネルギー注入と  
最高エネルギーの相関**が調べられる



## RX J1713の場合



**SNRの各部分でSEDを書くことが可能に!**  
**(注: ASTRO-Hの視野は数分)**

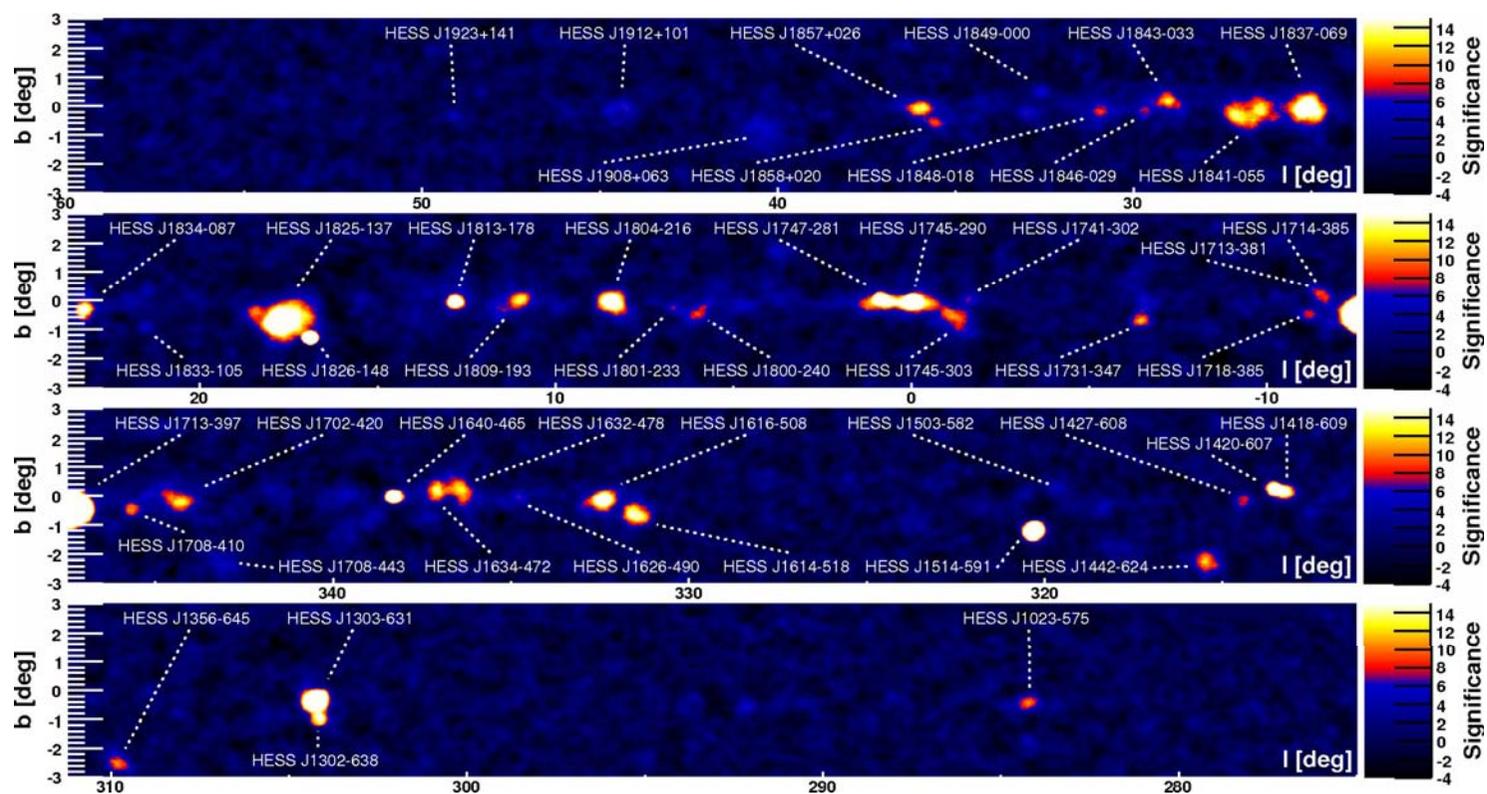
## 5.2. 新たな宇宙線加速源探査

TeVガンマ線未同定天体:

~ 0.01 - 0.1 Crab

銀河面に存在、0.1deg.に広がっている

現在約50天体

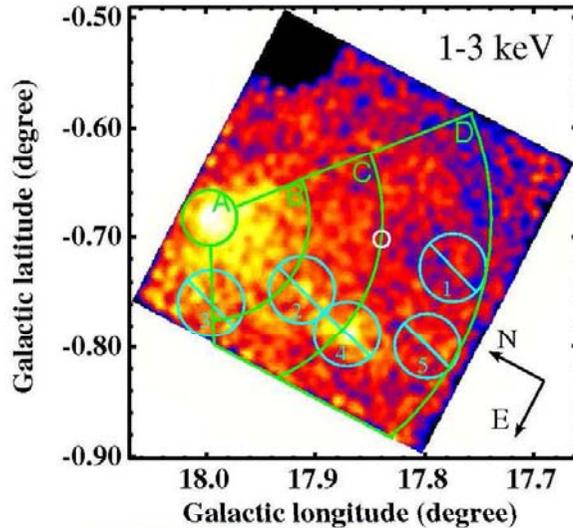


HESS team, 2009

正体は? 銀河系内天体? 超新星残骸 or パルサー星雲?  
-> X線での追観測が必須

# X線でのfollow-up

## パルサー星雲



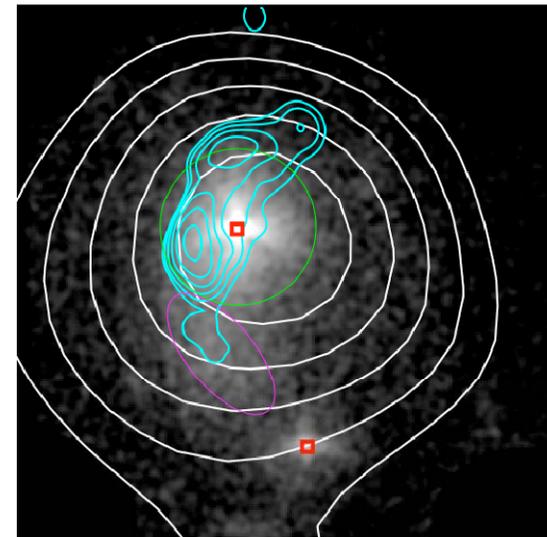
HESS J1825-137

(H. Uchiyama+09)

TeVで見られたsofteningはない

様々な対応天体を発見  
系統的な研究が可能に

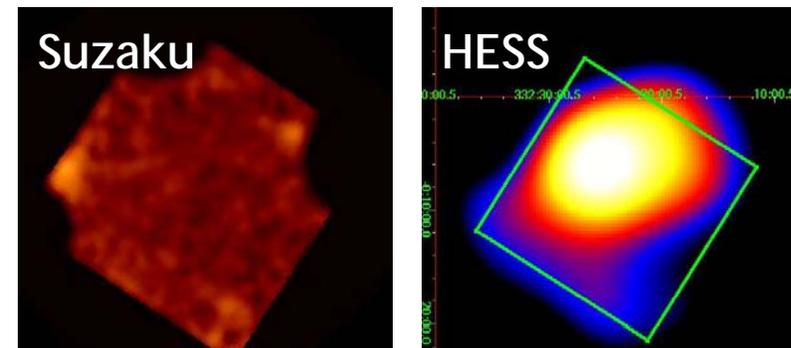
## 超新星残骸



CTB37B (Nakamura+09)

本当に「暗黒加速器」だったもの

HESSJ 1616-508 (Matsumoto+07)



upper-limit !

$$F_{\text{TeV}}/F_{\text{X}} > 55$$

# TeV unID list

HESS J1303-631  
HESS J1427-608  
HESS J1614-518  
HESS J1616-508  
HESS J1626-490  
HESS J1632-478  
HESS J1634-472  
HESS J1702-420  
HESS J1708-410  
HESS J1731-347  
HESS J1741-302  
HESS J1745-303  
HESS J1747-281  
HESS J1804-216  
HESS J1813-178  
HESS J1825-137  
HESS J1834-087  
HESS J1837-069  
HESS J1841-055  
HESS J1843-033  
HESS J1857-026  
HESS J1858+020  
TeV J2032+4130

category

dark

PWN?

dark

dark

SNR?

unknown

dark (+MC SNR)

dark

PWN

PWN

PWN

PWN

PWN

(<http://tevcat.uchicago.edu/>)

category

HESS J1640-465

PWN

HESS J1718-385

PWN

HESS J1809-193

PWN

HESS J1833-105

PWN

HESS J1846-029

PWN

HESS J1912+101

PWN

HESS J1923+141

PWN

adding known sources

shell SNR: 6

PWN: 23+4

dark: 4

SNR+MC: 3

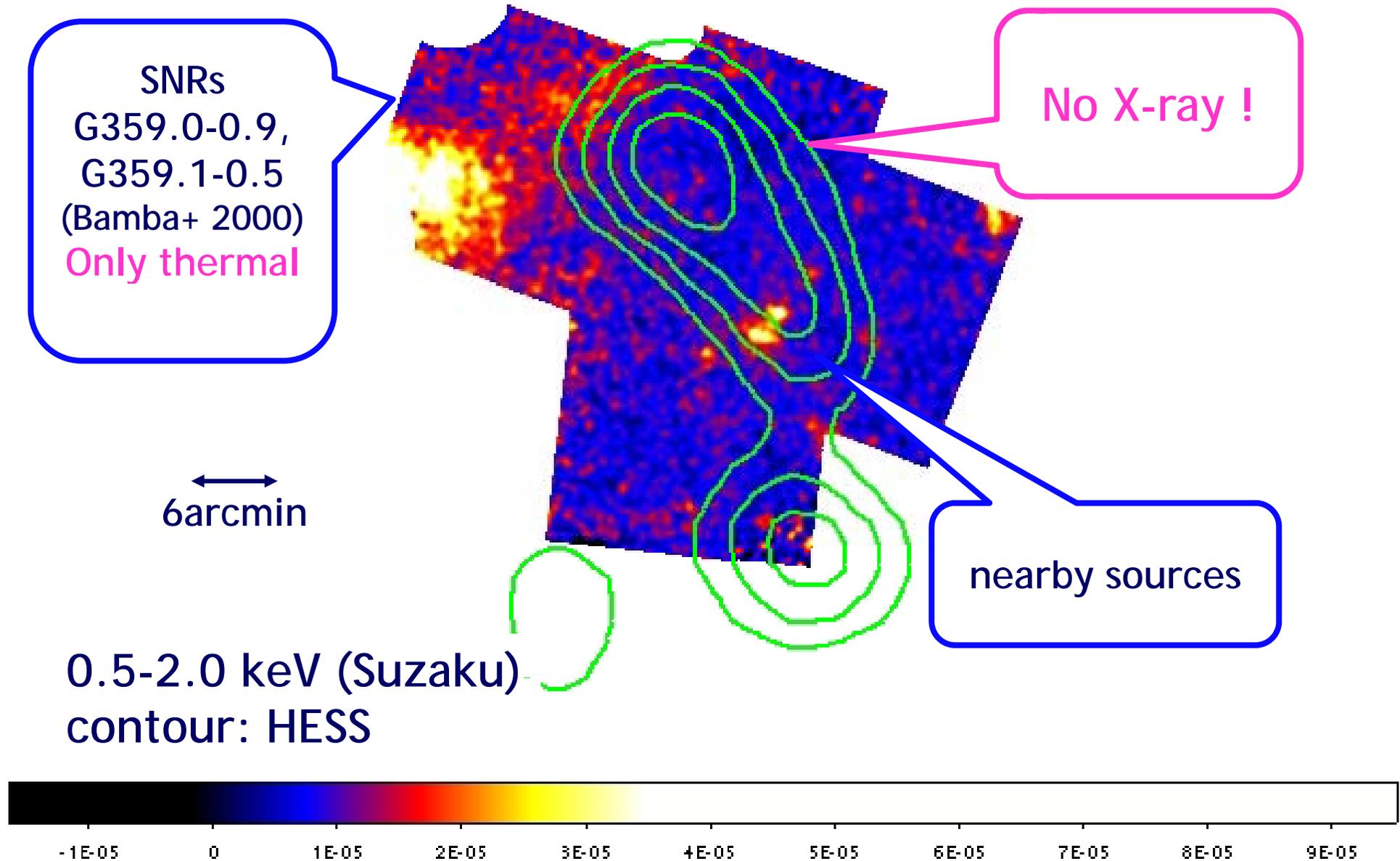
unknown: >1

binaries 4

star forming region 2

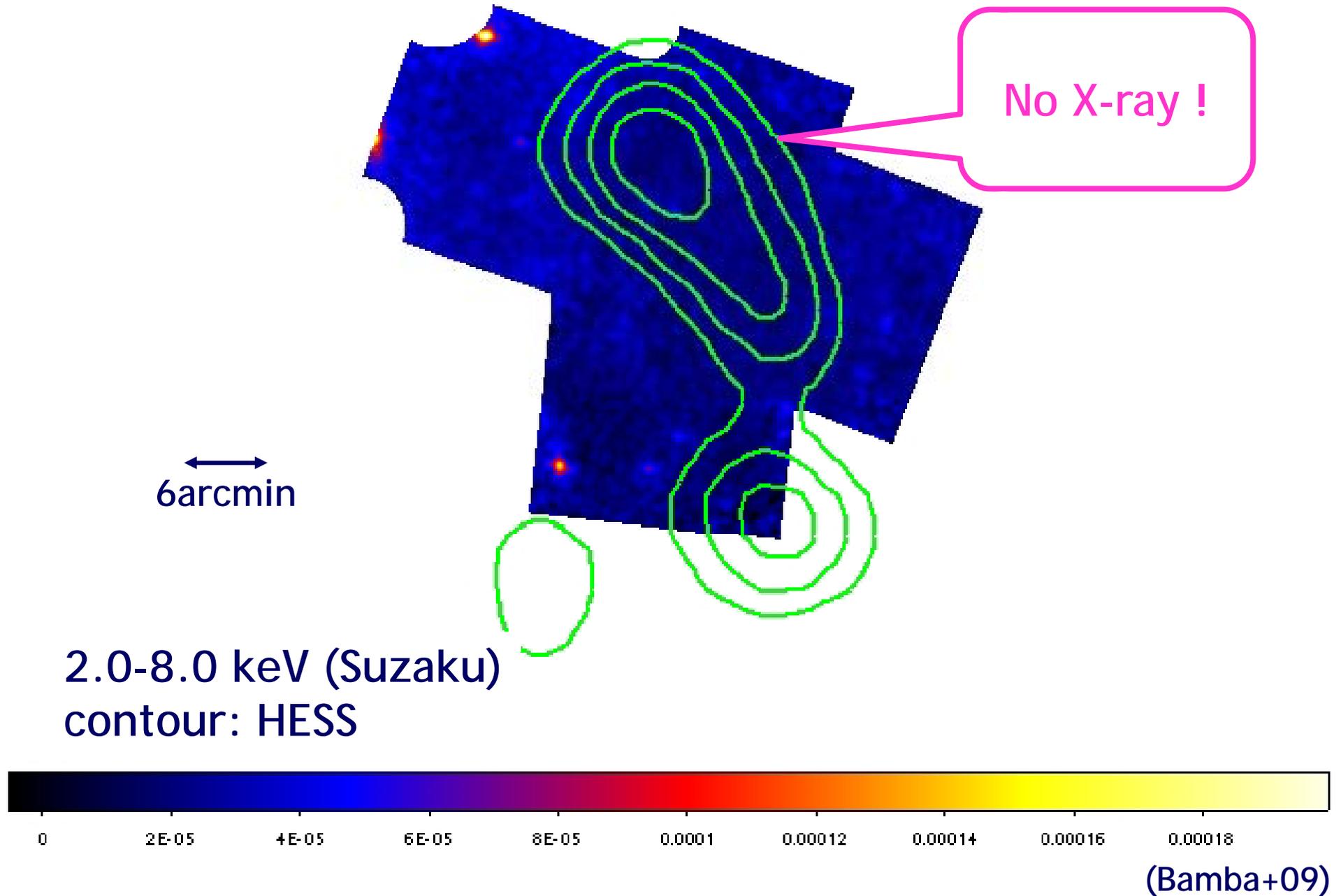
PWNがmain  
古いSNRもかなりいる

# Clue of dark particle accelerator? HESS J1745-303 (1)

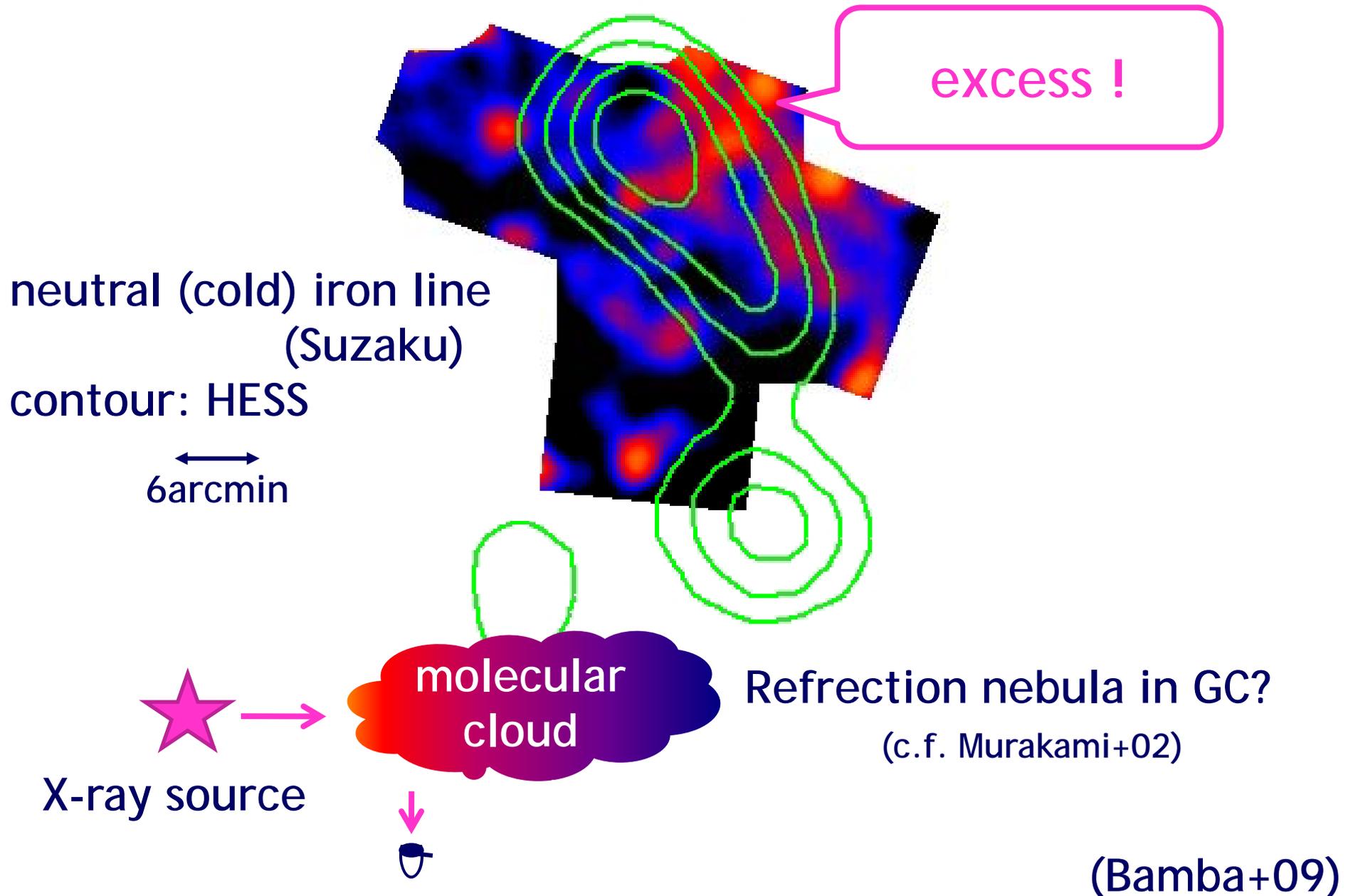


(Bamba+09)

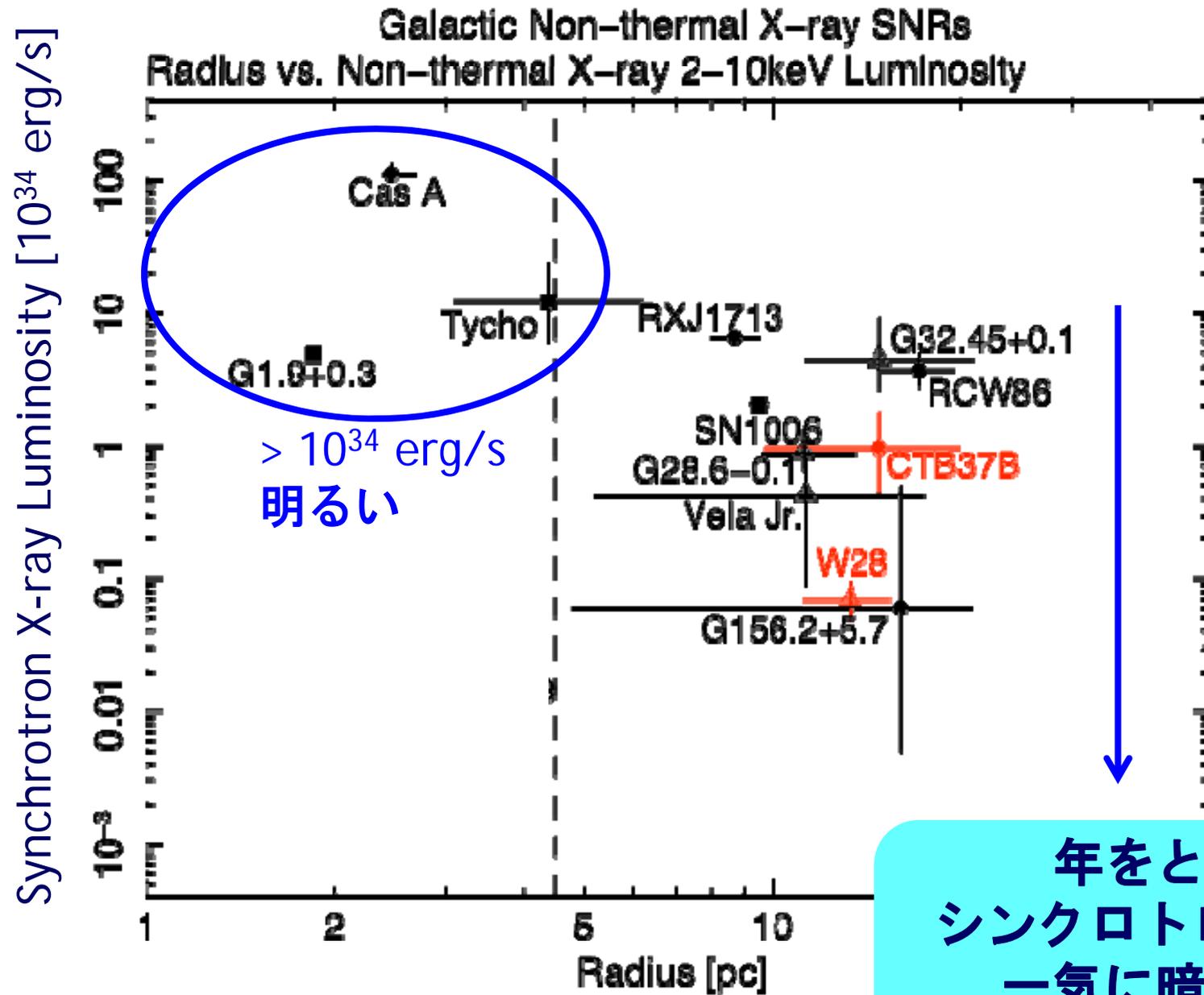
# Clue of dark particle accelerator? HESS J1745-303 (2)



# Clue of dark particle accelerator? HESS J1745-303 (3)



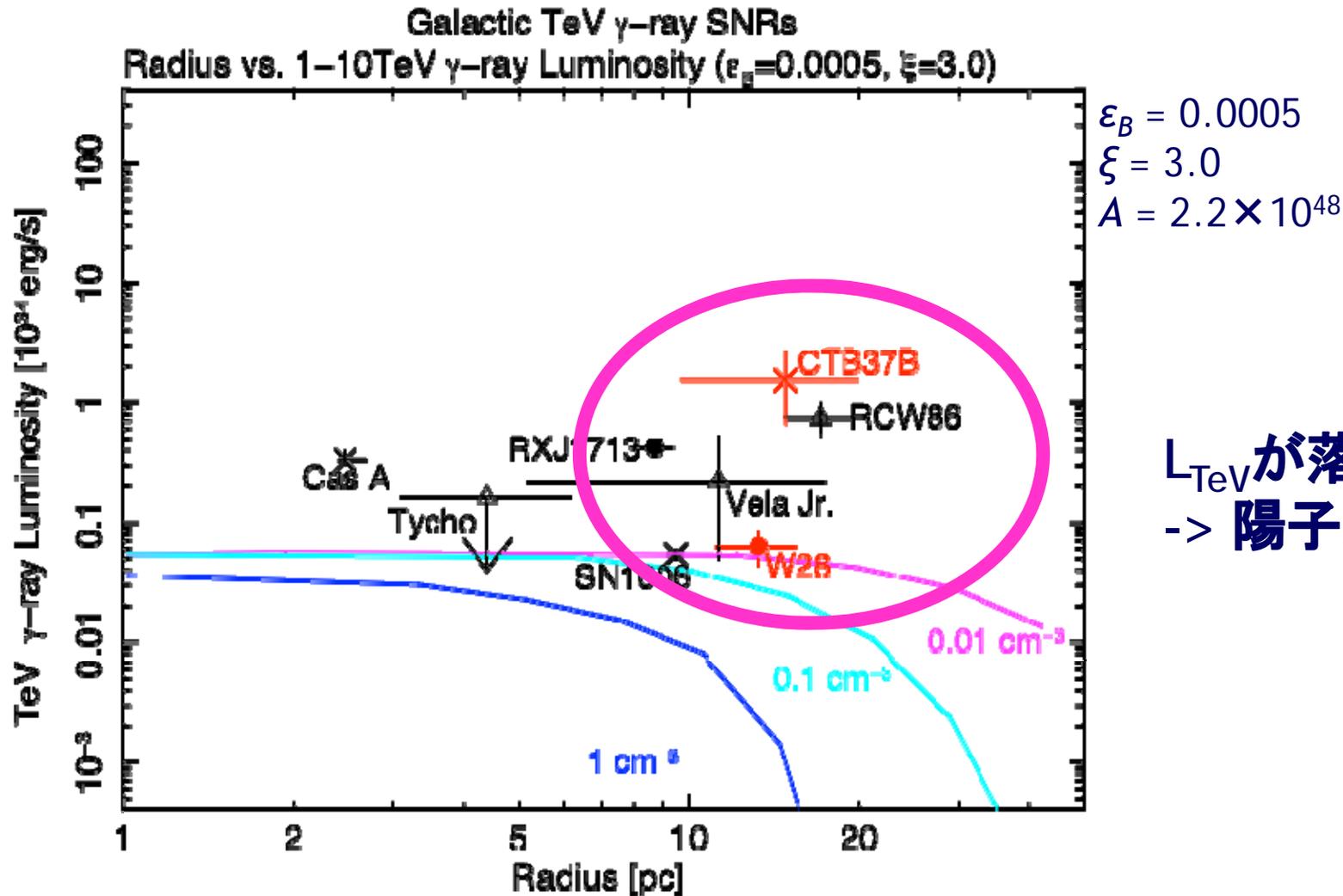
# SNRの進化とシンクロトロンX線光度



(Nakamura, in prep.)

年をとると  
シンクロトロンX線は  
一気に暗くなる  
-> B小、 $E_e^{\max}$ 小

# SNRの進化とTeVガンマ線線光度



$L_{\text{TeV}}$ が落ちない  
 -> 陽子加速か?

折れ曲がりがあるか調べるには  
 感度/サンプル数が圧倒的に足りない

(Nakamura, in prep.) -> CTAで超新星残骸での宇宙線加速に決着を!

## 6. まとめ

**TeVガンマ線とX線は高エネルギー宇宙物理学で相補的な役割を果たす。**

**CTA時代にはASTRO-Hがほぼ唯一の国際X線天文台。**

**ASTRO-Hの高E分解能・広帯域観測は、  
加速領域の環境や電子の加速状況を突き止める。  
CTAの観測と併せ、陽子加速についての定量的研究も可能に。**

**CTAの銀河面探査は、新たな宇宙線加速天体を発見し、  
陽子加速源をつきとめられるか？**