SNRとCTA

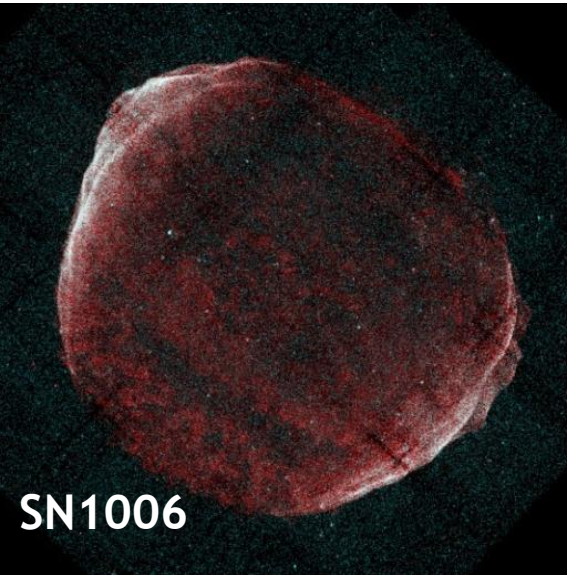
青山学院大学
馬場　彩

1. 超新星残骸(SNR)と宇宙線

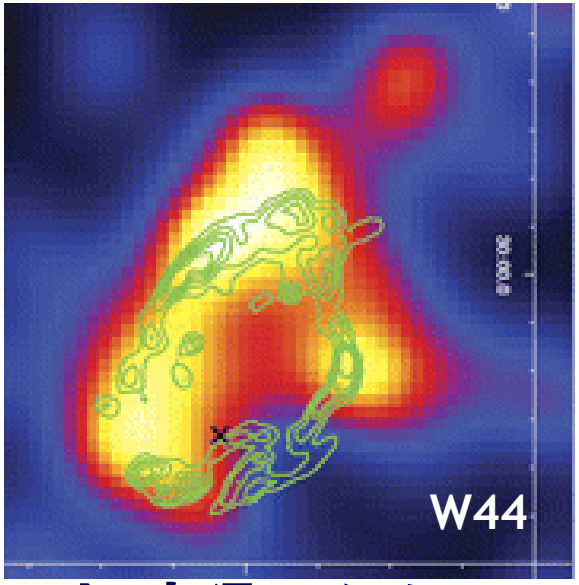
超新星残骸: 銀河系内宇宙線加速源の最有力候補!

~1 event / 30 years
10^{51} ergs / 1 explosion
10% injection (?)

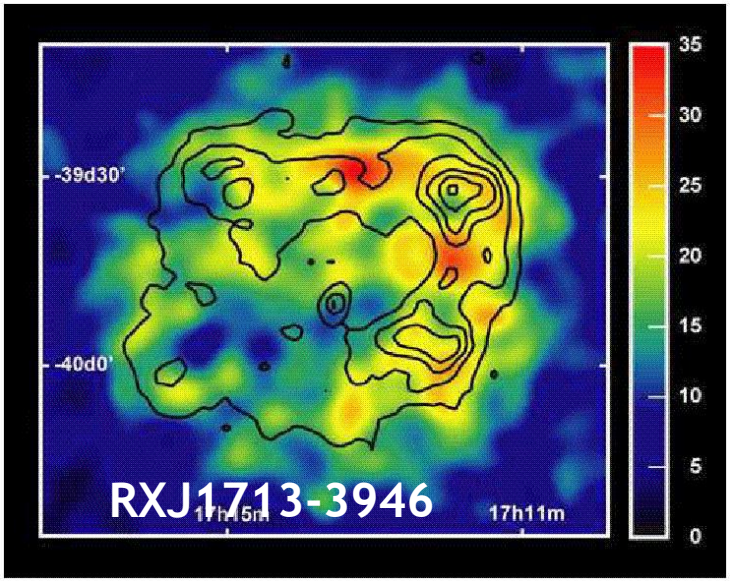
→ energetic的には最適の加速器候補



加速電子からのシンクロトロンX線
(Koyama+95)



加速陽子からのGeVガンマ線
(Abdo+10)



加速粒子からのTeVガンマ線
(Aharonian+04)

超おおざっぱにはSNRの加速と逃亡の様子が分かってきた??

2. CTAでやってみたいこと

A. 超新星残骸中での宇宙線の加速と逃亡

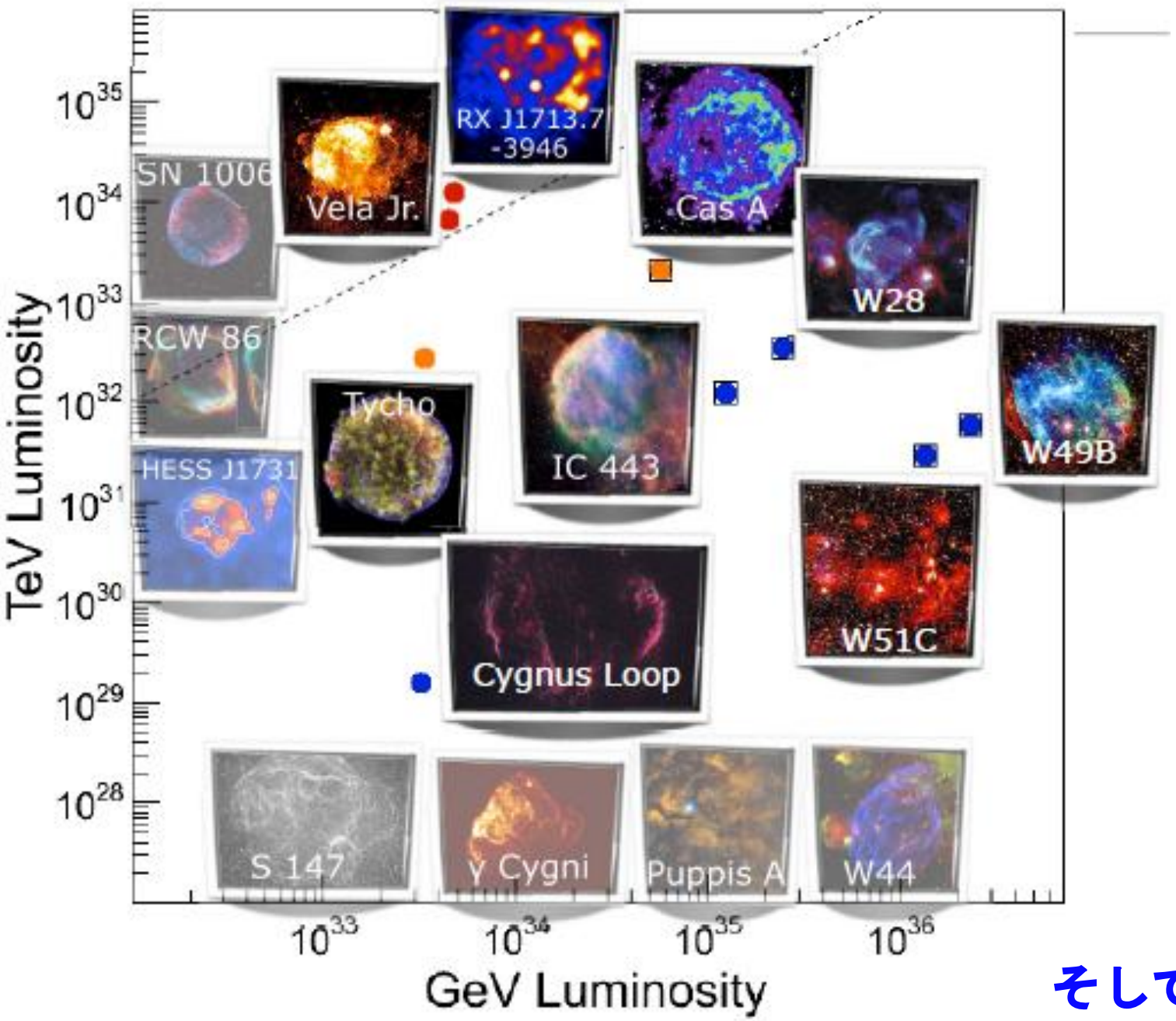
おおざっぱな議論から精密な観測+議論へ
個々の超新星残骸の詳細観測+他波長との比較
-> 加速効率の環境依存が分かる?

B. 超新星残骸+他の系内加速天体の銀河面探査

いくつ天体があるのか?　種族ごとの分布は?
そもそもHESSの探査に比べて
どのくらい深く探査可能?

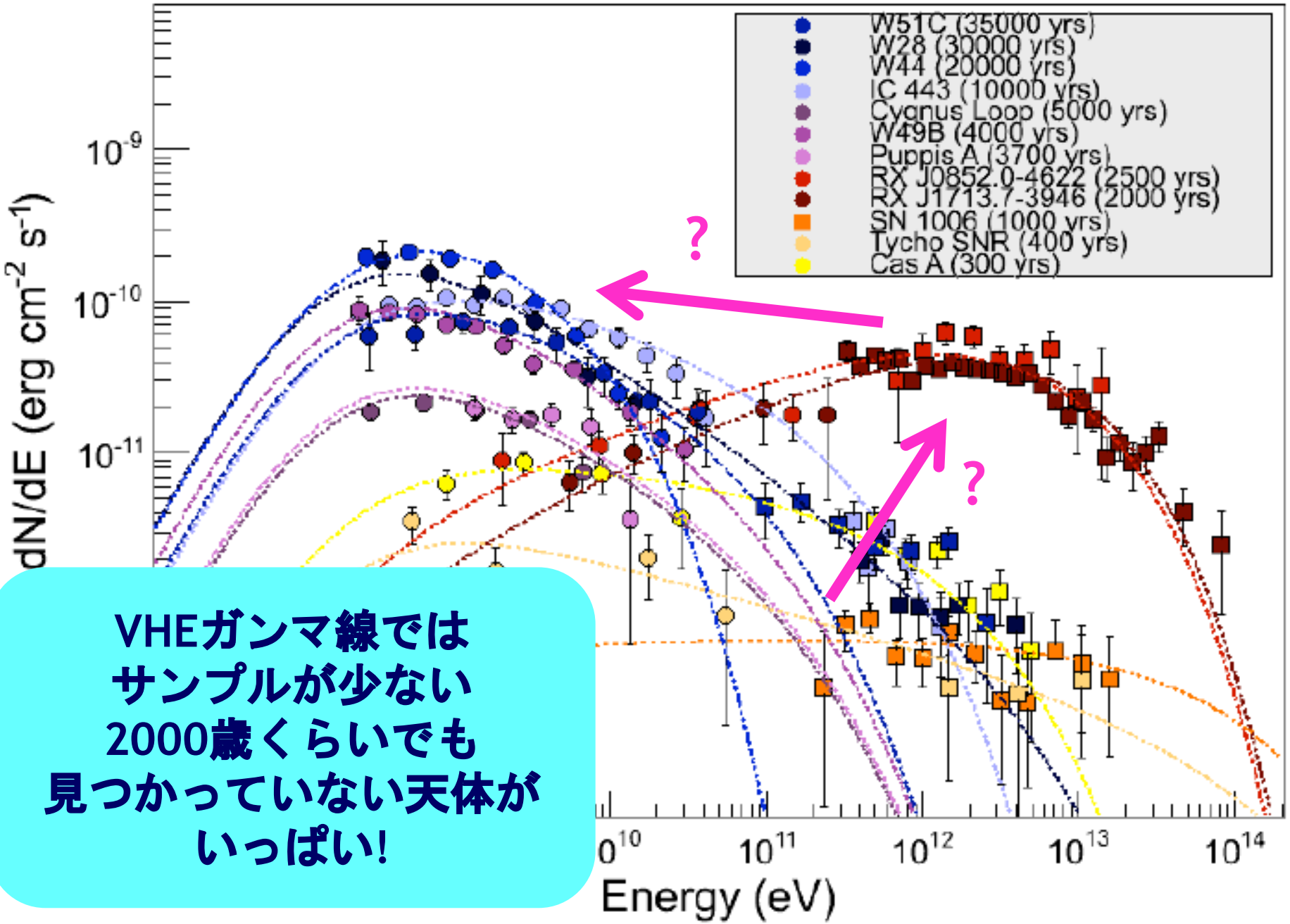
A. CTAで探る宇宙線の加速と逃亡

今やガンマ線SNRは超珍種ではない



そして動物園

広帯域スペクトルはsoft側に進化?



VHEガンマ線では
サンプルが少ない
2000歳くらいでも
見つかっていない天体が
いっぱい!

年齢ごとに並べる「進化論」は正しいのか?

超新星残骸の進化は環境による個性が大きい

分子雲の有無

星間物質密度の大きさ

星風によるバブル?

そもそも超新星残骸の部分部分でも進化が違う

-> もっと物理的な進化のパラメータが必要!

超新星残骸の部分部分でのSEDの違い、環境の違いの精密観測

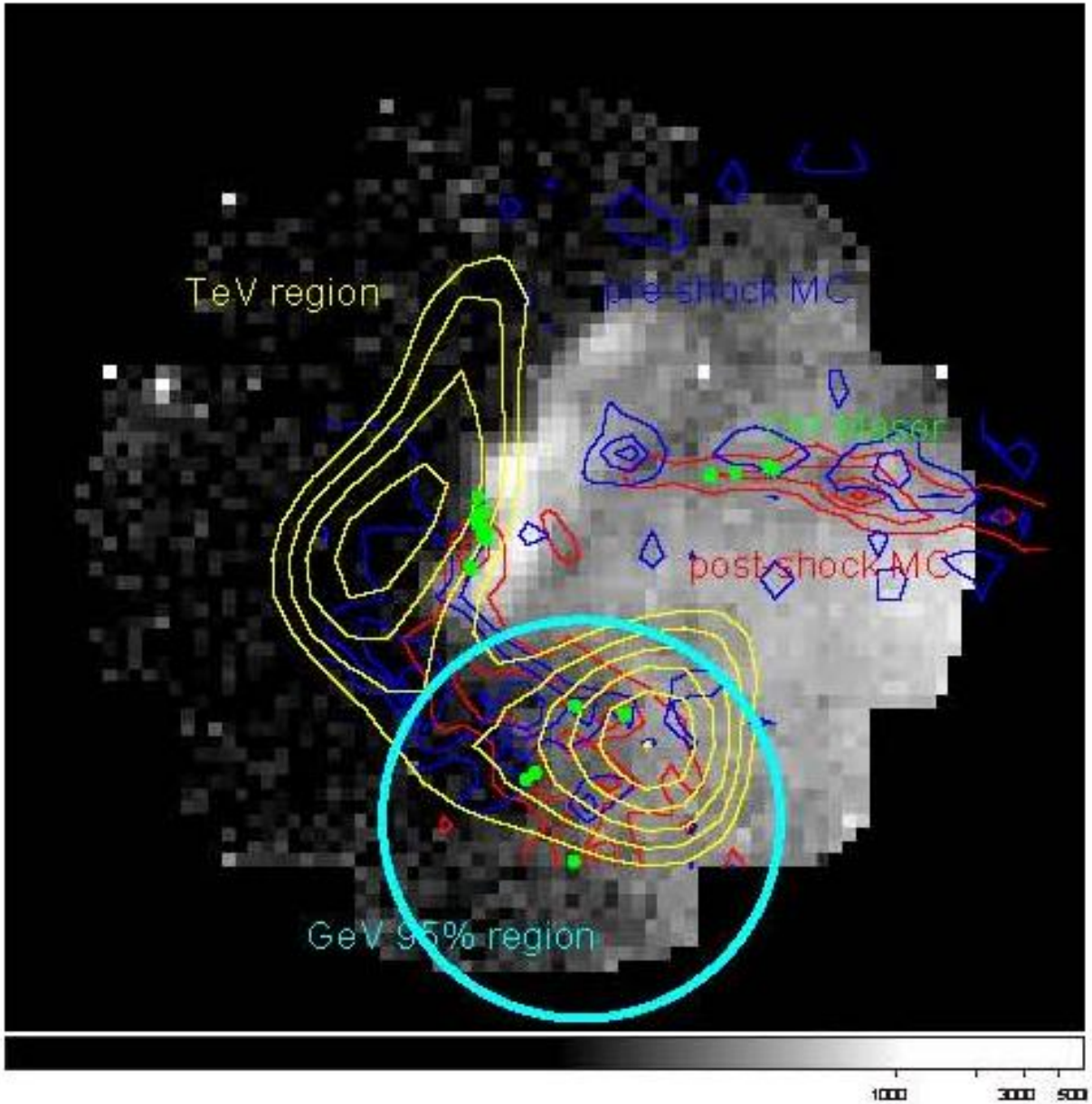
例: W28

分子雲と衝撃波の一部が衝突

t ~ a few 1000 yrs

場所により
SEDも環境も違うはず

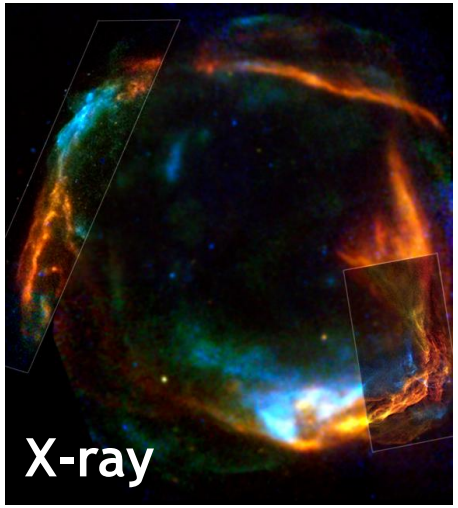
HESSでも形状は分かる
スペクトルはまだ

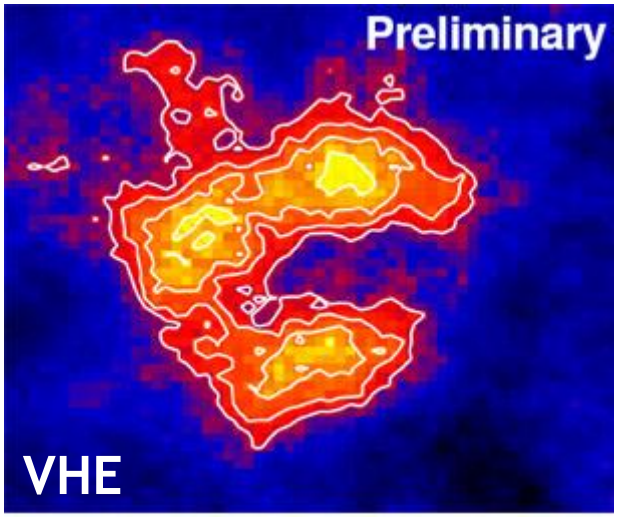


BW: XMM (thermal)
yellow: HESS
sky: GeV
blue: unshocked MC
red: shocked MC
green: OH masers

同様の例は増えてきている

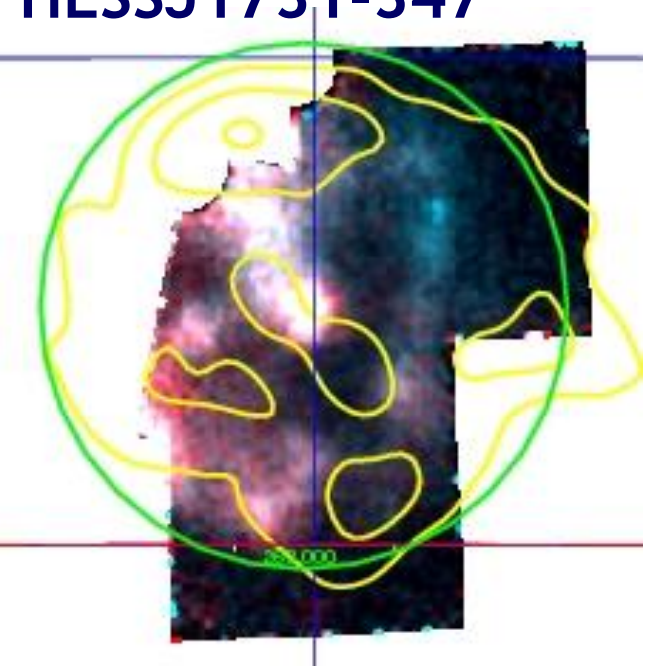
RCW86





X線では一部のみ非熱的
VHEでもshellの一部のみ?
(統計不足でshellと
結論づけられず)

HESSJ1731-347

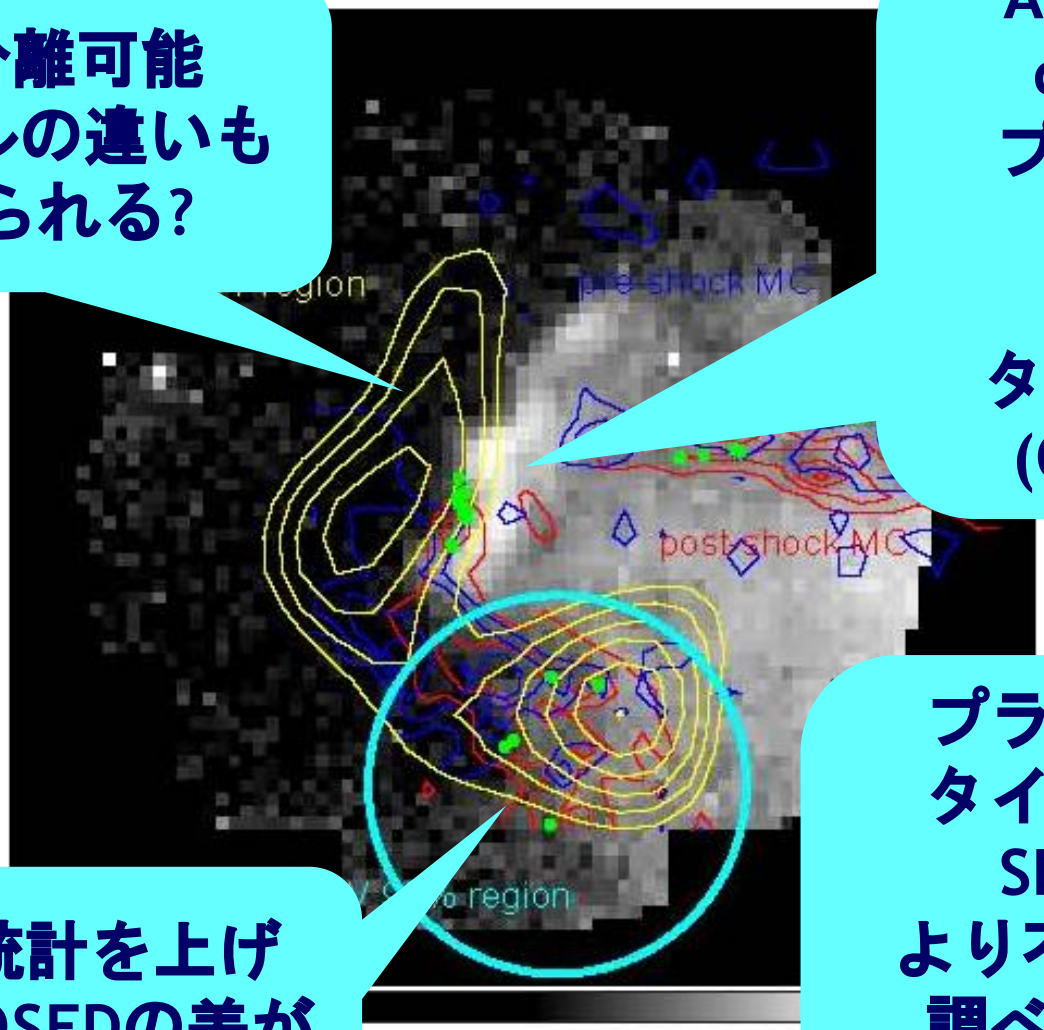


X線は全て非熱的だが、
場所によってベキが~0.5違う
VHEはshell状
Xでhardな部分はVHEとXでshellの場所が
違う??
(やはり統計不足で何も言えず)

CTA時代にこれらの天体はどのように解明出来るか?

CTAで分離可能
スペクトルの違いも
見分けられる?

A-H(2014)では
clumpごとの
プラズマ情報が
分離可能
-> 衝突の
タイムスケール!
(CTAより早い)

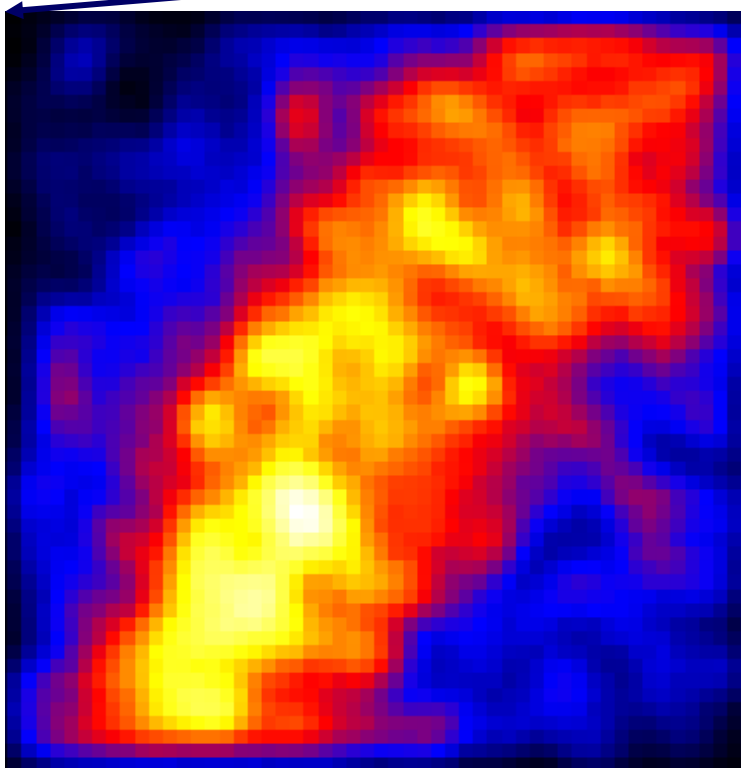


Fermiも統計を上げ
場所ごとのSEDの差が
明らかに

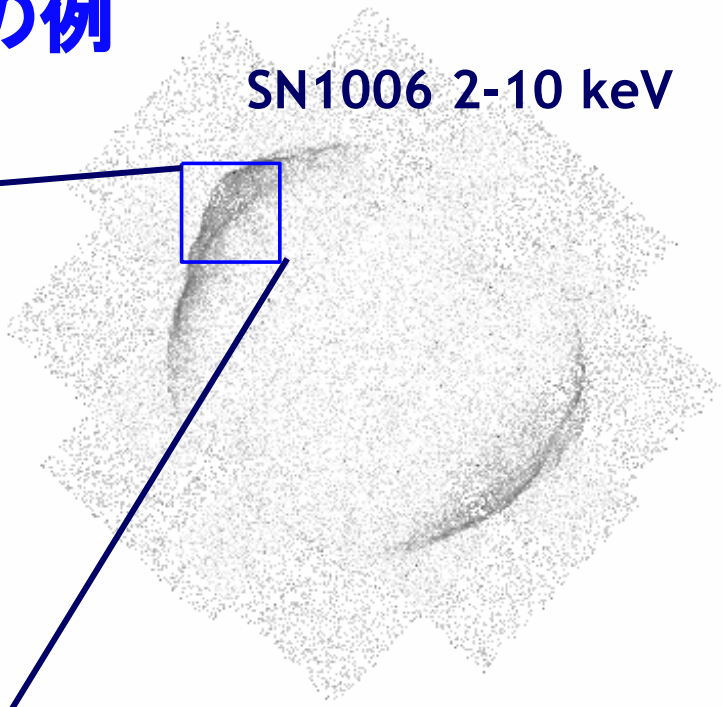
プラズマの衝突の
タイムスケールと
SEDの進化を
より不定性を少なく
調べることが可能
-> 加速の進化と逃亡を
初めて明らかに

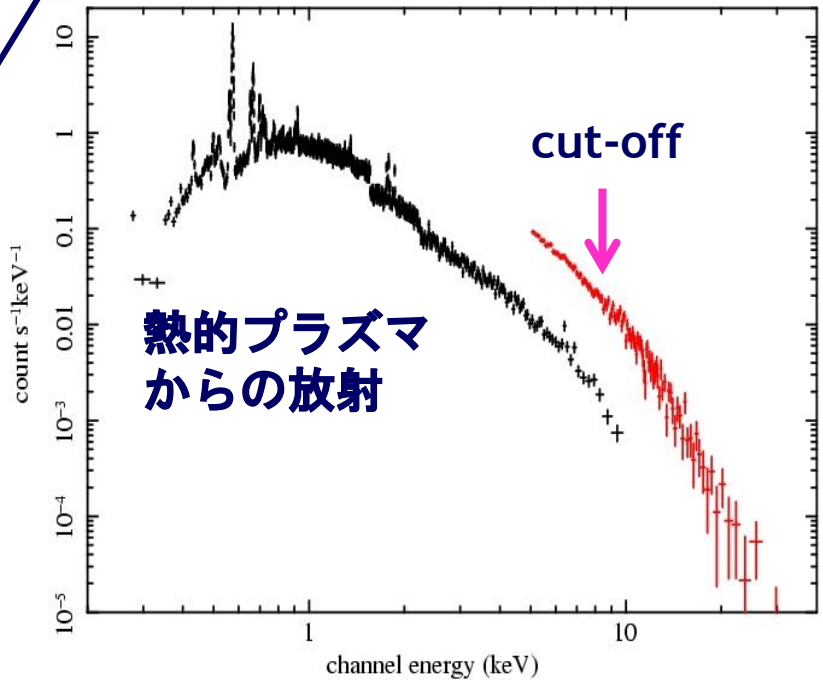
ASTRO-H観測シミュレーションの例

HXI 10-40 keV (100ks)



SN1006 2-10 keV

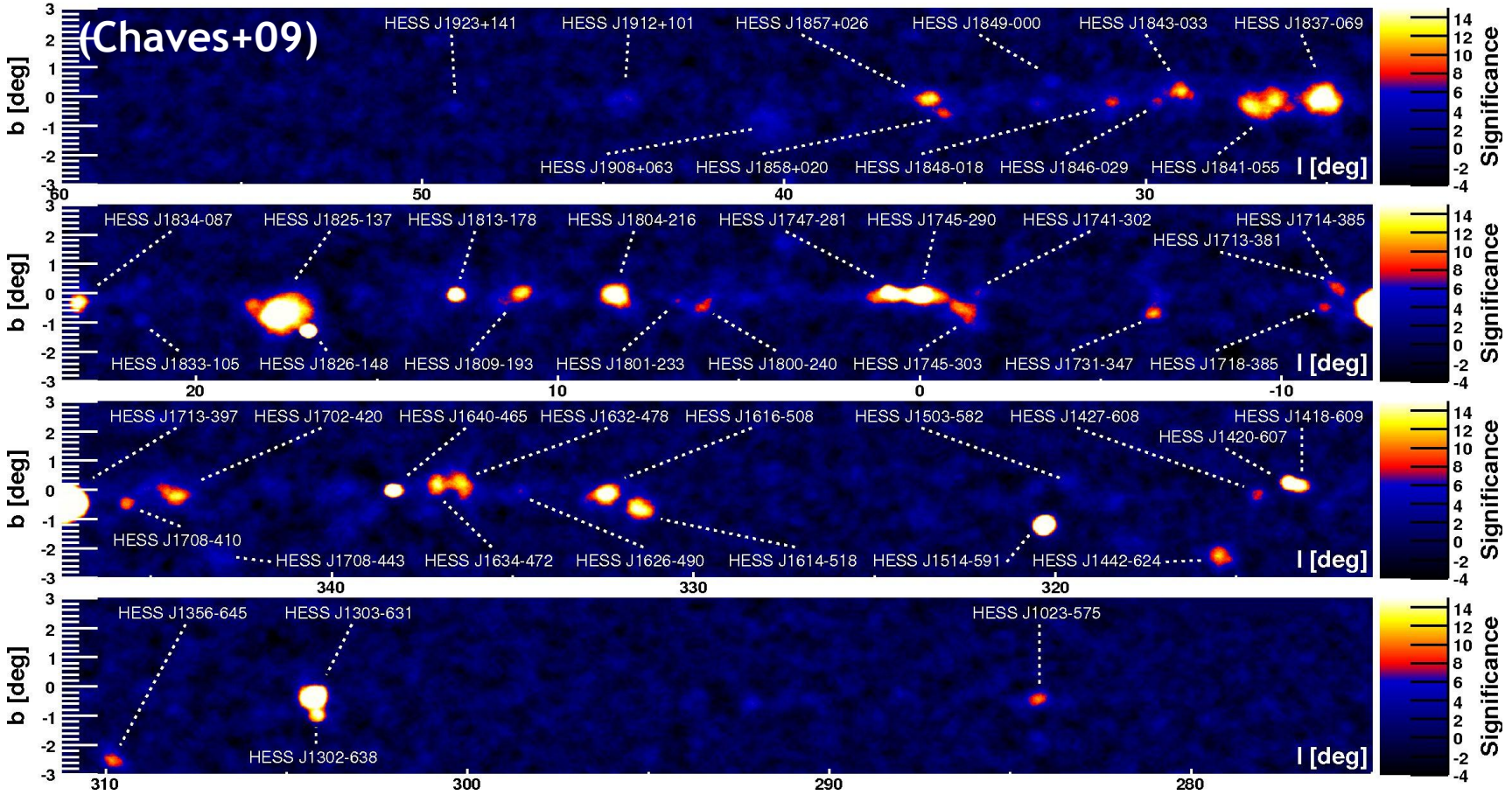




打ち上げは2014年
CTA観測開始前に
観測提案を行なうことが必要

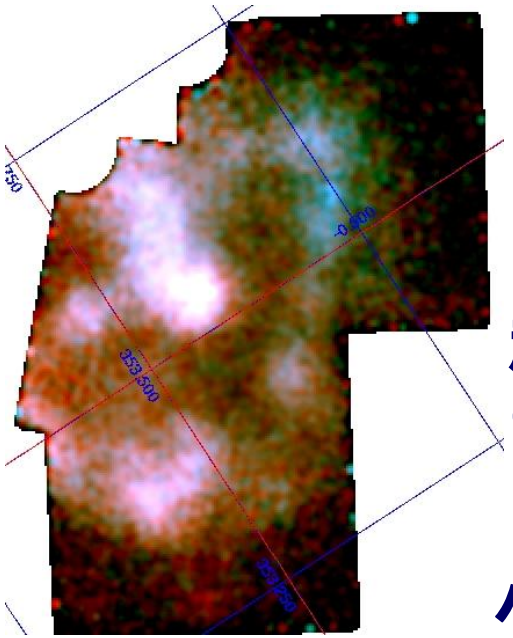
B.CTAによる銀河面探査

過去のVHEガンマ線銀河面探査



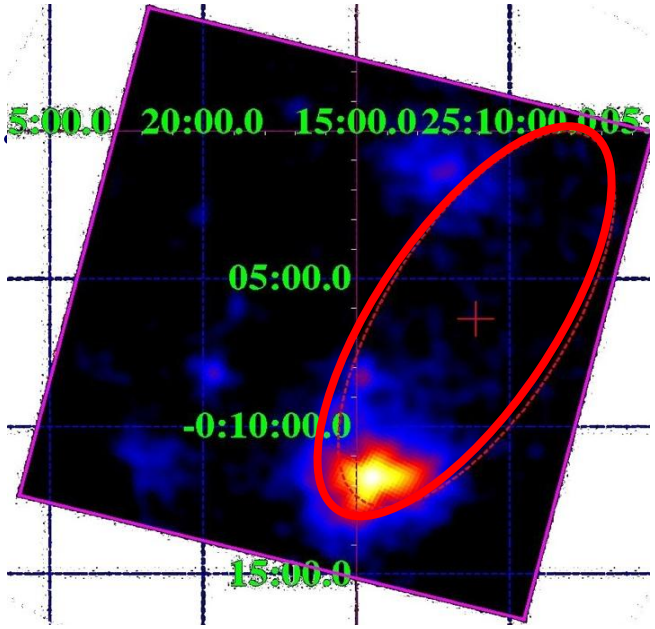
HESSの銀河面探査: 約50天体を発見
ほとんどは他波長で未発見だった
新しい加速源候補 ??

現在までのX線追観測例

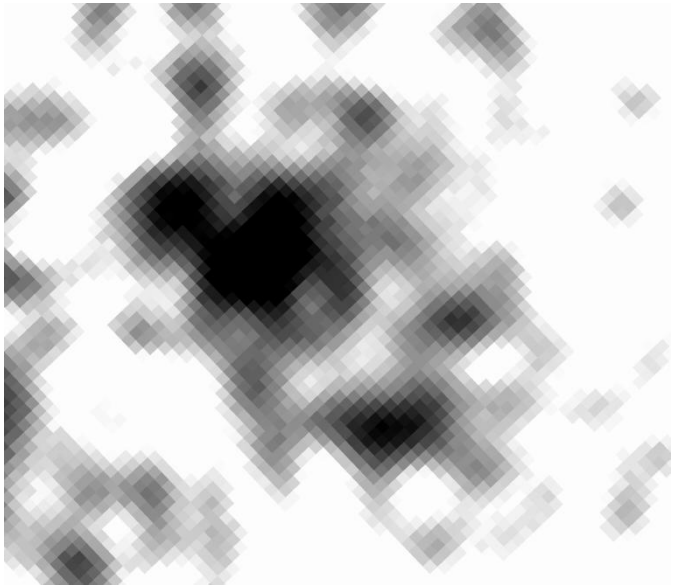


X線望遠鏡は視野が狭い(<1deg.)
-> 追観測は時間がかかる

超新星残骸
(Bamba+ in prep.)



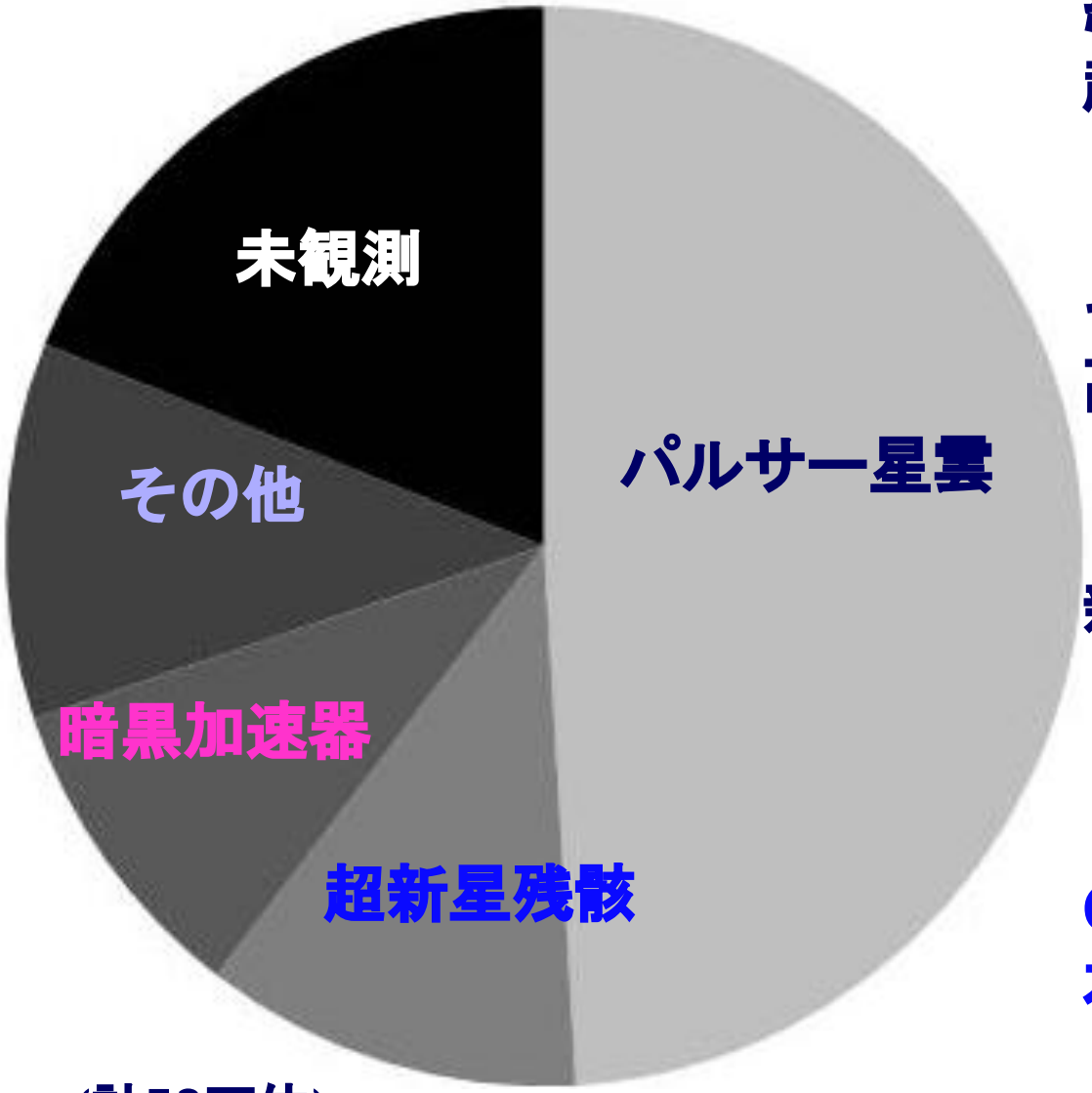
パルサー星雲
(Anada+09)



なんか良く分からんけどいる。。。
(Matsumoto+08)

百花繚乱

追観測結果の内訳



(計53天体)

約半数がパルサー星雲
超新星残骸、暗黒加速器は
少数派

それぞれの天体の種族は
高々数天体
-> サンプルはまだ必要

新種族はまだいる?
binary, 白色矮星, ...

CTAで新天体は
本当にうんと増えるのか?

HESS銀河面探査はconfusion limitだったか?

H.E.S.S. survey (Ryan+09):

area: l=270-60 deg, |b|<3deg
sensitivity: ~1% Crab
# of src.: Plane: |l|<30deg, |b|<1deg : 26 sources
GC region: |l|<15deg, |b|<0.5deg: 13 sources
Most dense region: b=-0.66 - 0.14 deg, l=345 - 360 deg
15 sources
size of src.: r~0.1 deg.

天体に占められている天空の面積の比:

$$\text{Plane}: \frac{26\times 0.1^2\pi}{60\times 2} = 0.68\%$$

$$\text{Center}: \frac{13\times 0.1^2\pi}{30\times 1} = 1.4\%$$

$$\text{dense region}: \frac{15\times 0.1^2\pi}{15\times 0.8} = 3.9\%$$

HESS銀河面探査は
まだconfusion free
ただし天体の混んでいる領域は
confusionの影響を考える必要

CTAの検出感度だと何天体検出可能か?

拡がった天体の場合、HESSの検出限界の1/7程度の天体まで
CTAで検出可能

仮定:
VHEガンマ線天体は渦巻き銀河のX線天体と同様の
logN-logL 関係を持つ。

-> CTAで検出可能な天体数はHESSの

$$\frac{dN}{d\log L} \sim L^{-0.6},\ (1/7)^{-0.6} \sim 3.2$$ 倍

Plane: 26 x 3.2 = 83 sources
GC: 13 x 3.2 = 42 sources
dense region: 15 x 3.2 = 48 sources

新たに120天体程度
発見

天体は十分拡がっているため、
空間分解能を考える必要はない。

検出された天体が天空に占める面積の割合:

$$\text{Plane}: \frac{83 \times 0.1^2 \pi}{60 \times 2} = 2.2\%$$

$$\text{Center}: \frac{42 \times 0.1^2 \pi}{30 \times 1} = 4.4\%$$

$$\text{dense region}: \frac{48 \times 0.1^2 \pi}{15 \times 0.8} = 12.6\%$$ <= confusion !!

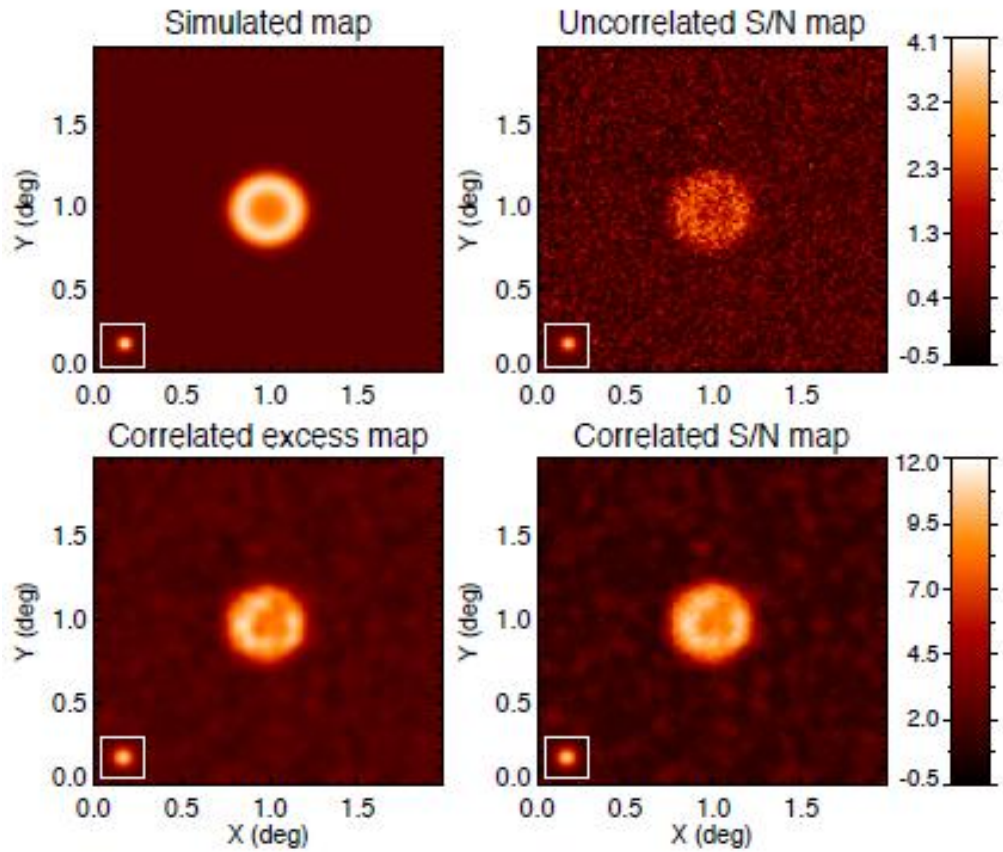
天体が混んでいる領域(銀河中心、armなど)以外では
HESS探査の約3倍の天体を検出することが可能。

全体で170天体程度
新しいVHEガンマ線超新星残骸は10天体程度?
現在までに発見されているガンマ線SNRは
ほとんど近傍天体であり、
新発見は十分可能

ところで、新しい天体はCTAでSNRと同定できるか?

RXJ1713が3kpcにあった場合
(20h観測)

shellの形も分離でき、
CTAだけでSNRと同定出来る



もしRXJ1713が8kpcにあれば
or
もっと暗ければ
検出は高々5-9 sigma
(50h observation)

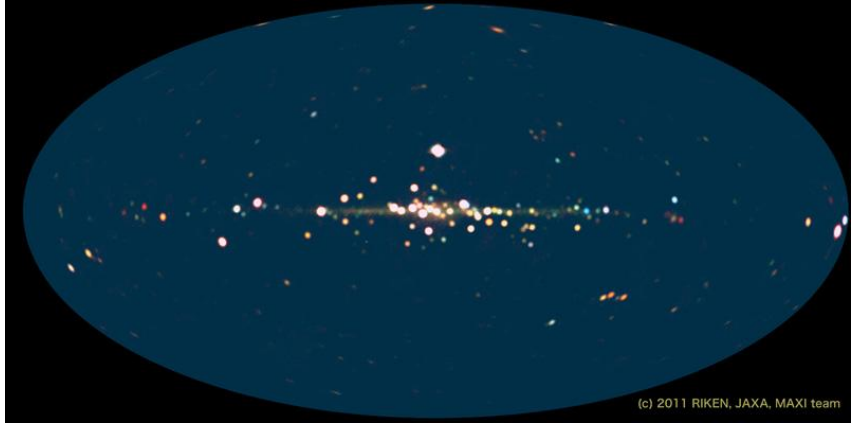
-> 新天体の同定には他波長での追観測が必須

CTA時代の追観測の道具は?

ASTRO-Hなどポインティング型X線衛星は視野が小さい
(~< 0.5 deg.)
CTA探査で発見された天体を追観測するためには
1年後の観測に向けプロポーザルを書いて
受理されることが必要

ALMAも極端に視野が狭い
(~< 1 arcmin,
拡がった構造は数arcsec以下しか見られない)
プロポーザルの事情もよく似ている
AO-0は倍率10倍!

CTA時代のサーベイ型ミッション



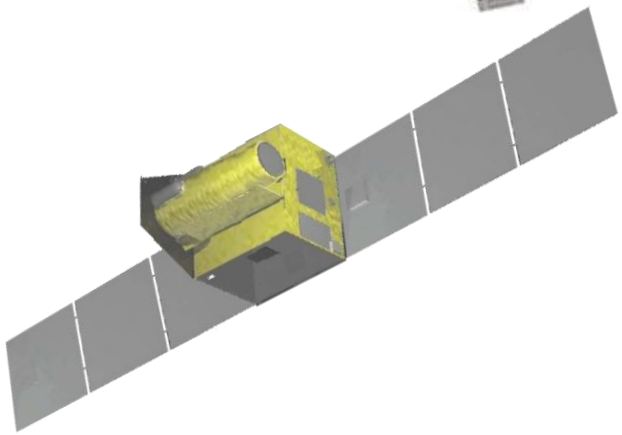
MAXI

すでに稼働中!
感度・分解能的にやや厳しいか?

e-ROSITA

2013年打ち上げ予定のX線サーベイミッション
XMM-NewtonのCCD+望遠鏡を用いて全天サーベイ
(ROSATの>2keV以上バージョン)
main aim: 5-10万個の銀河団のガスを検出、
大規模構造を調べる
近傍銀河のstellar BHの系統的探査
系内天体の系統的探査

DIOS



提案中の小型X線サーベイミッション
カロリメータでのサーベイ
銀河間高温ガスの精密観測が目的だが
銀河系内の天体も当然観測可能

まとめ

- CTAでは、SNR全体のぼんやりした加速像だけでなく、具体的な物理情報と共に加速の進化と逃亡が分かる
- 物理情報を手に入れるためには他波長詳細観測が必須
- ASTRO-Hなど大きな詳細観測ミッションはCTAより早い
  今から観測提案の検討が必要

- CTA銀河面探査はHESS探査の3倍程度の天体を発見可能
- 種族ごとの研究が出来る天体数を扱うことが可能に
- 同定のためには他波長サーベイ計画との連携が大事