

銀河団/群の 非熱的な現象を探る

～ 近未来の観測/実験へ向けて～

JAXA/宇宙科学研究本部

中澤 知洋

視点

銀河団などDiffuse放射に興味があり、
X線観測機器の開発に携わるものとして。

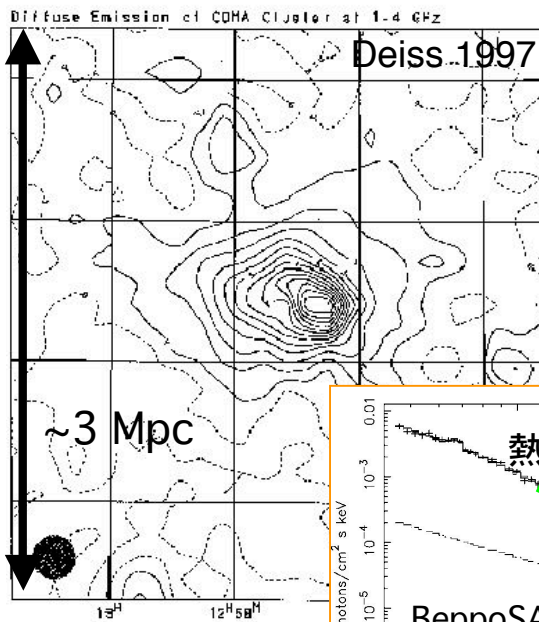
内容

- 1 : 銀河団からの非熱的な硬X線観測の課題と近い将来のメド
- 2 : 宇宙における粒子加速を理解するために
- 3 : 「点源」だけでなく、「Diffuse天体」にも
高い感度を持つ観測機器と、そのサイエンス

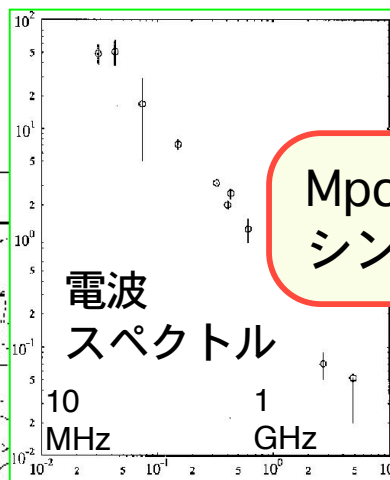
銀河団に広がる高エネルギー電子の正体と、 その生成メカニズムを探る

○ Coma銀河団

電波ハロー Coma-C

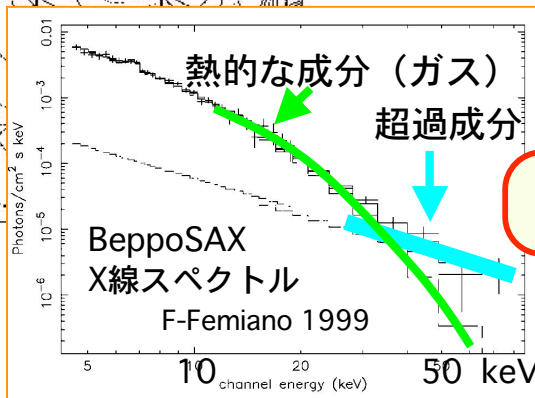
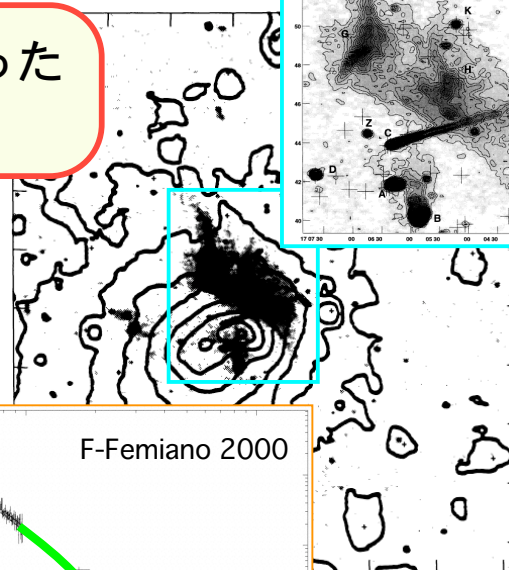
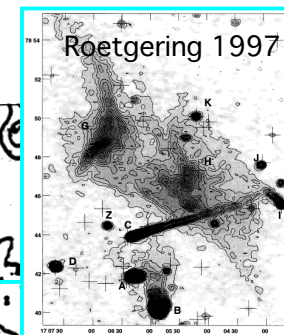


Rephaeli 1999, 2003,
Rosetti 2003,
F-Femiano 2004



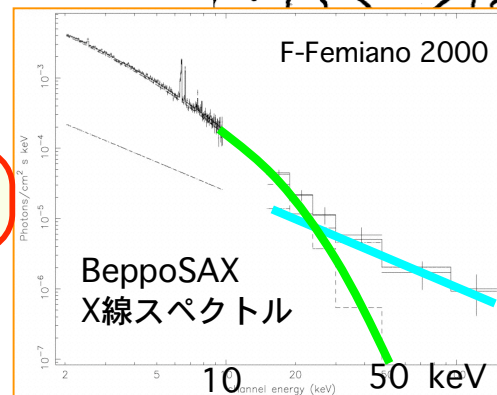
Mpcスケールの、広がった
シンクロトロン電波

○ A2256銀河団



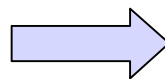
硬X線放射？

Nevalinen 2003,



BeppoSAX
X線スペクトル

銀河団の中にMpcスケールで
相対論的な電子が広がっている



何なのか？ どう作られたのか？
総エネルギーは？

近未来の課題

銀河団からの硬X線観測の意義

- 「理想」の硬X線観測とは？
 - ・ 高E電子の空間／エネルギー分布。
 - ・ If IC → 硬X線×電波観測で、磁場の空間分布。
- 将来への発展性
 - ・ 電子の加速と伝搬、効率のメカニズム。
 - Total Energy、Injection、宇宙全体への寄与
 - ・ 高E「陽子」の寿命は $\sim 100\text{Gyr}$ → 「高E陽子の溜まり場？」

硬X線+
GeV/TeV

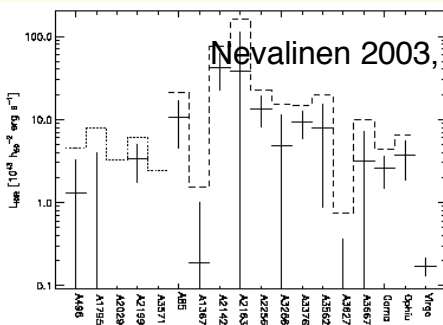
硬X線と電波
同じものをみる
大切さ

Sync/IC model

- ・ $f(\text{sync}) = 4.2(B[\mu\text{G}]) \gamma^2$ [Hz]
→ $\gamma = 18000$ @ 1GHz, 1 μG
- ・ $f(\text{IC}) = 4/3 f(\text{seed}) \gamma^2$ [Hz]
→ $\gamma = 10500$ @ 100 keV, CMB(7e-4 eV)

<問題点>

硬X線/ガンマ線のデータが
貧弱すぎ！



BeppoSAX
X線データの
系統的な解析

- 今後のあり方
 - ・ 確実な「検出」→物理情報を
 - ・ 広い帯域のデータ
 - ・ 「粒子スペクトルの時間発展」
の時代(+陽子?)

電波観測

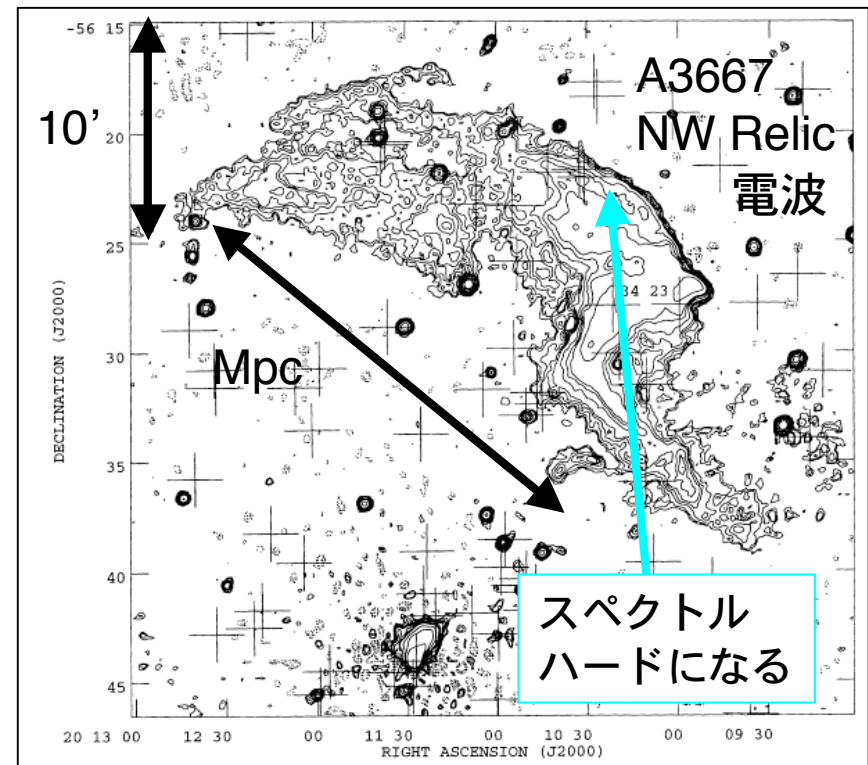
VLA+VLBIなど、Diffuse Synchrotron Haloの観測が進んでいる



SKAへ(?)

(低周波を望む for 銀河団電波ハロー)

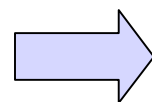
→ (技術的には)電波観測は
まあ進んでいる



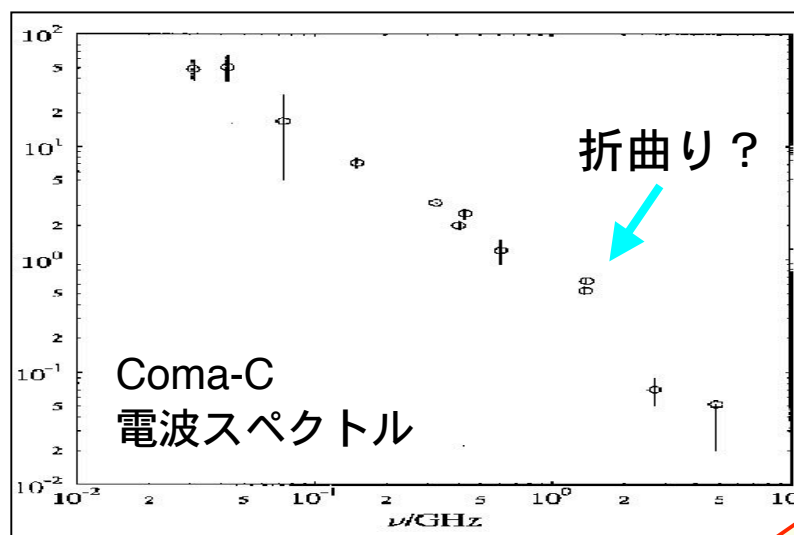
求められる観測

～硬X線検出の理想～

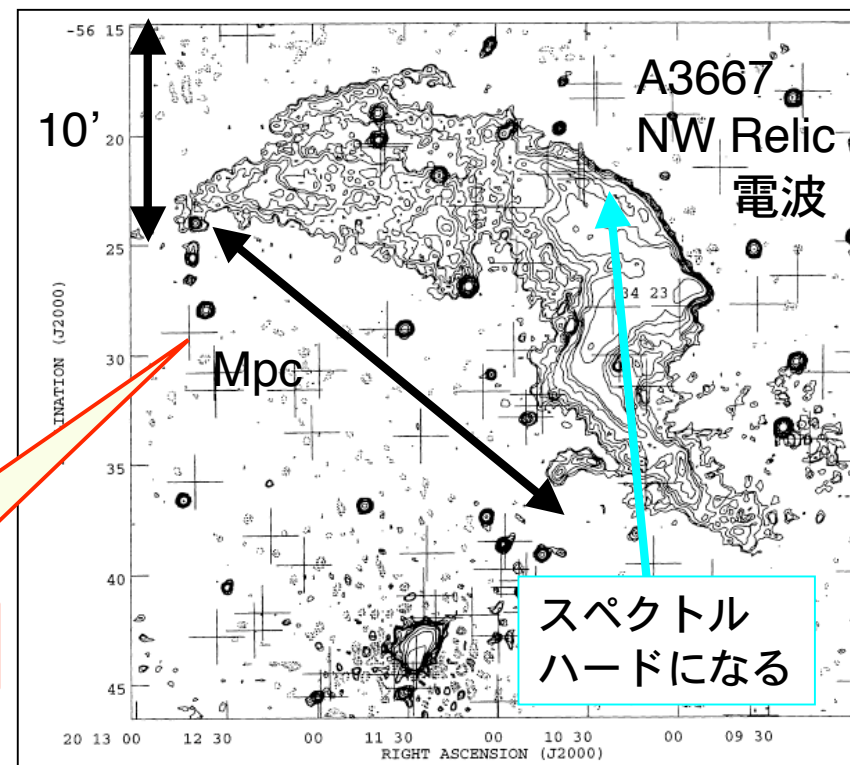
- 数100keVまで
- 電波ハローを確実に捉える感度で
- 秒角レベルの角分解能で



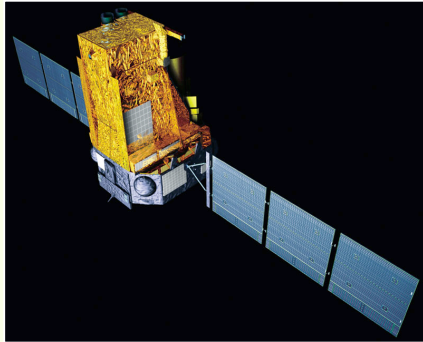
硬X線のスペクトルと分布を、
電波放射と直接に比較したい



こんな図の
硬X線版を!



硬X線観測の「当面」

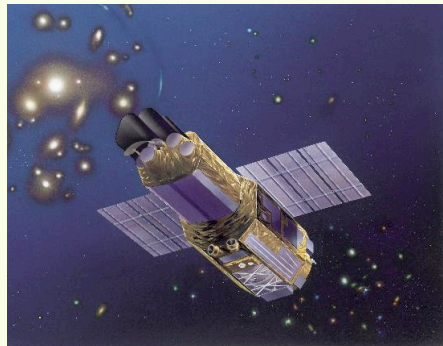


INTEGRAL : 2002-

感度はそこそこ。ただし、Coded Maskなので
角度PSF(15')以上に広がった放射に弱い。

→ まだ特に報告なし。

組み合わせ



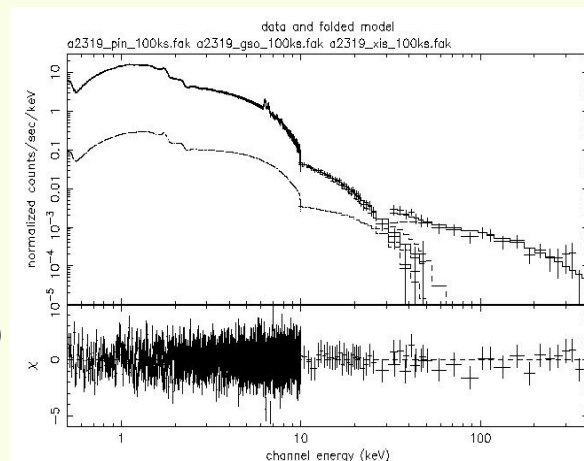
Astro-E2 : 2005-

感度はINTEGRALより「~2倍」良い。

HXDは30'以下の角度分解不能。

→どこまでできるか？やってみるしかない。

Astro-E2 : A2319の
シミュレーション

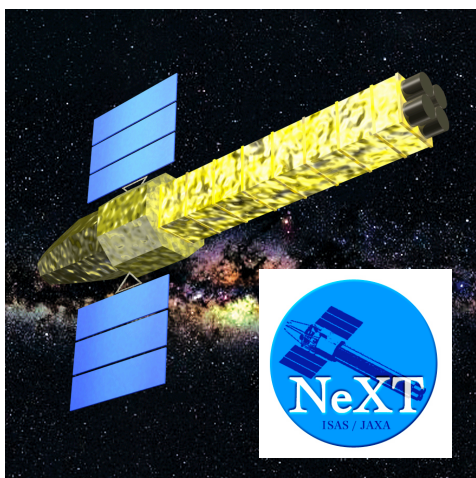


但し、

HXD BGDの
スタディーが
進んでから...

一つの例 ～「NeXT」計画～

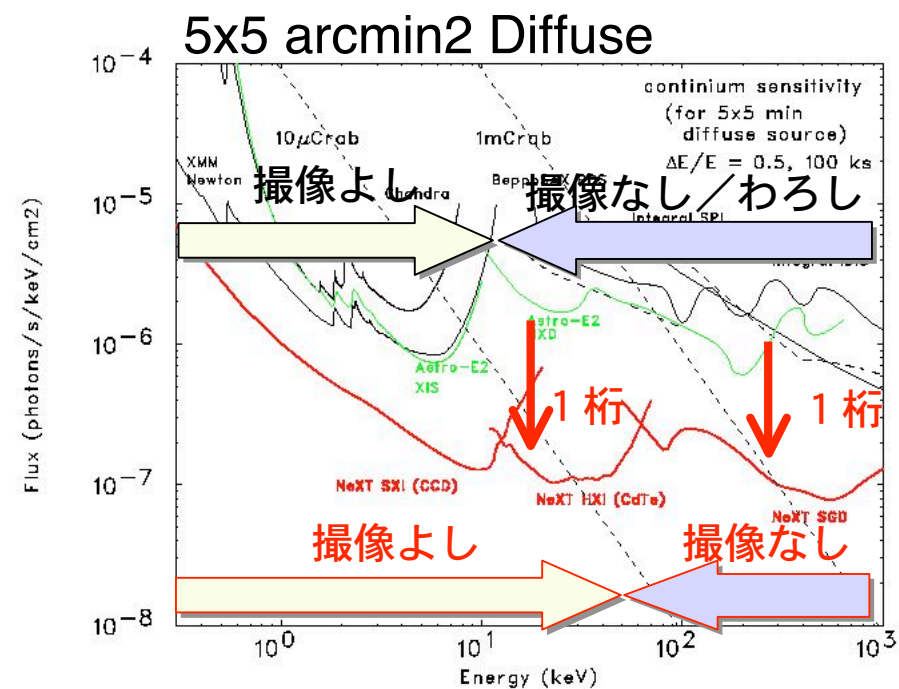
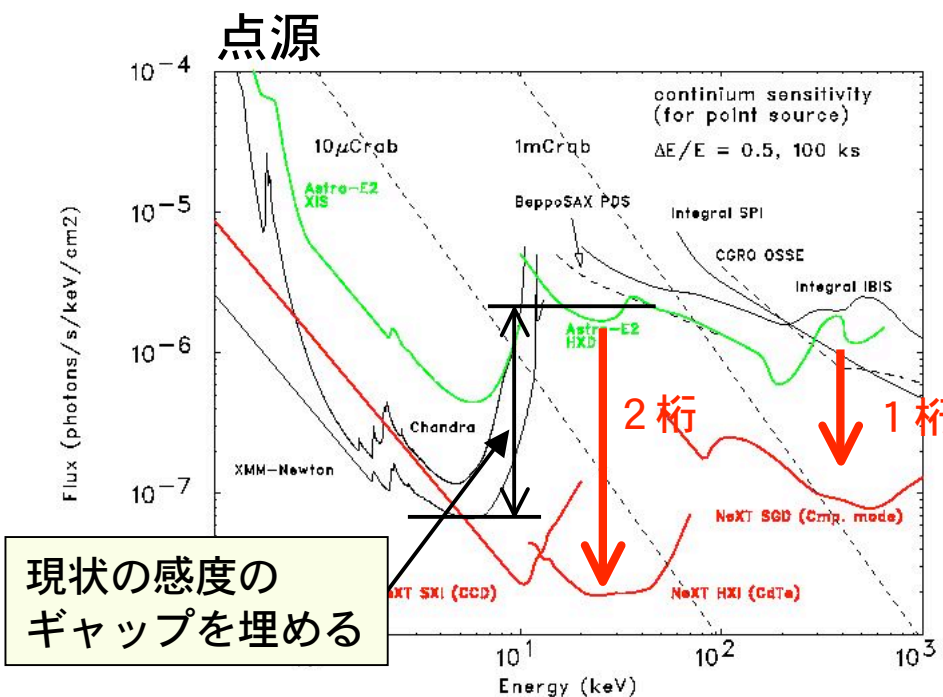
(2012頃～を計画)



- 1 : 80keVまでの硬X線「撮像 & 分光」
 - 2 : 100keV-1MeVまでの「分光」
- を桁違いの感度で実現する事が目標

- + 3 : X線の「撮像 & 精密分光」

到達感度の予測 (100ks観測、連続成分)



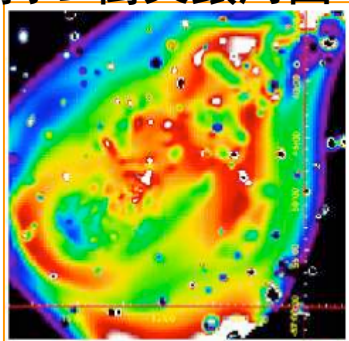
銀河団からの非熱的硬X線の観測

「硬X線を検出できて当然」という感度が欲しい

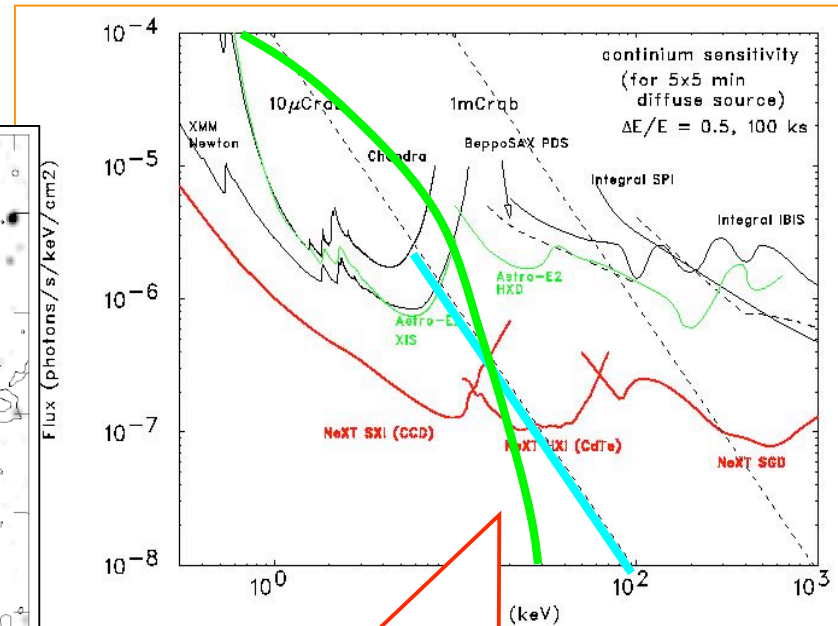
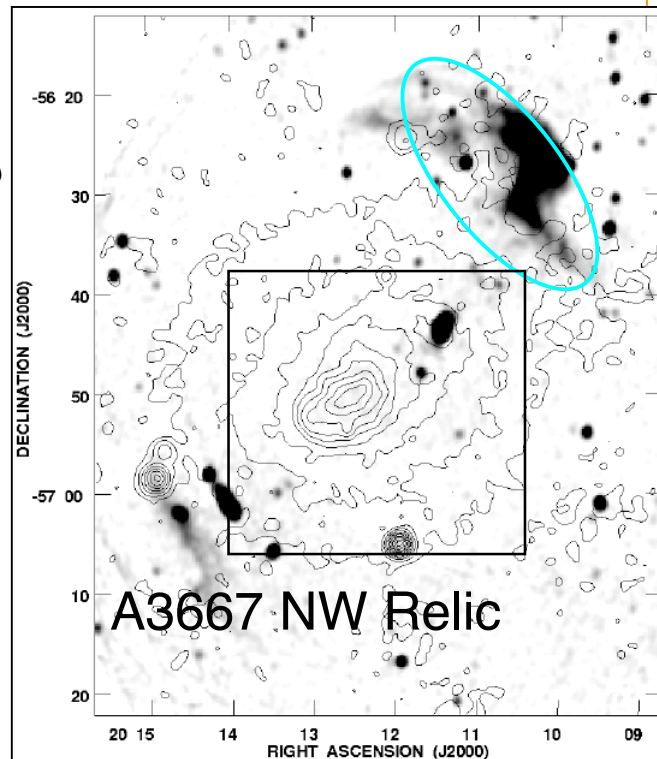
例1：A3667周辺のMpc電波レリック

電波観測を元に、エネルギー等分配で
CMBのe-ICを計算。

激しい温度ムラも
持つ衝突銀河団



Briel et al. 2004



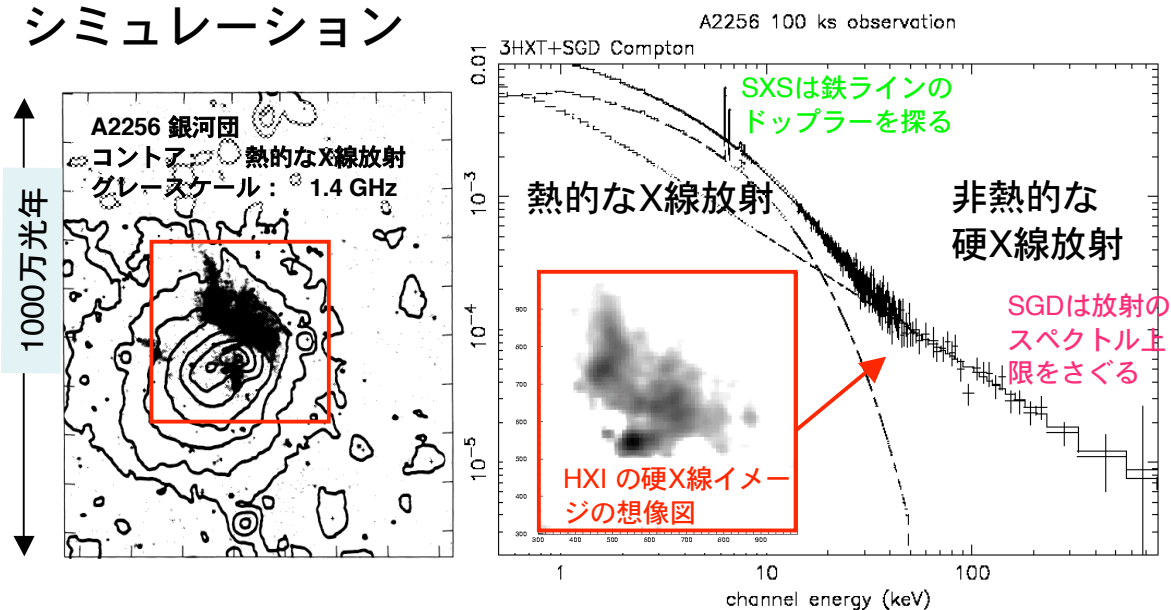
最も悲観的な見積もり
でも受かる！(NeXT)

銀河団からの非熱的硬X線の観測

「硬X線を検出できて当然」という感度が欲しい

例2 : A2256銀河団

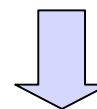
SAXの結果 (最も有意) で
シミュレーション



プラス α (その1)

電波観測並みの
イメージを得る

電波ハロー観測と
連携(SKA etc)



磁場の分布を「実測」

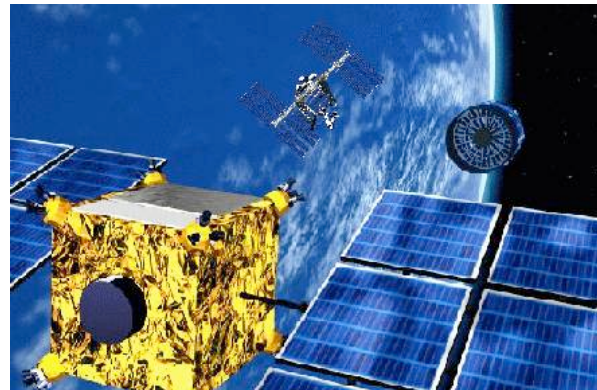
プラス α
(その2)

ハドロニックな話には、MeV+GeV+TeVの
広帯域での高感度観測が必須

NeXT/GLAST/CAN-III
collaboration

さらに未来へ

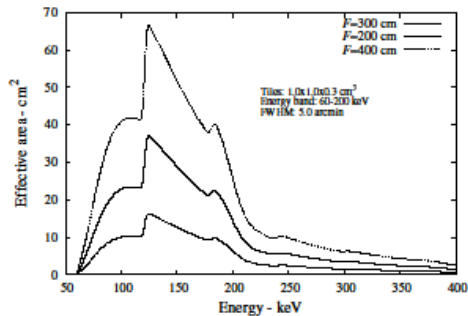
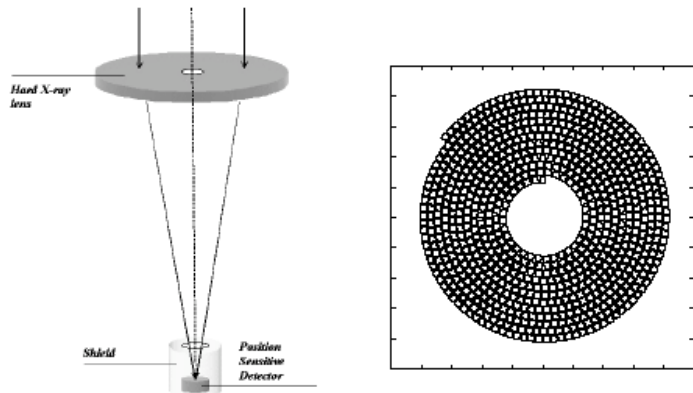
XEUS with Super Mirror
巨大化。



XEUS(案)

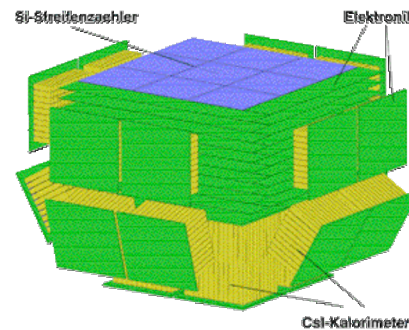
別の技術による新しい世界

- ・ラウエミラー？
- 集光・結像を500keVまで



- ・大規模な次世代コンプトンカメラ
MeV帯域までつなぐ。Emax等。

MEGA Prototyp



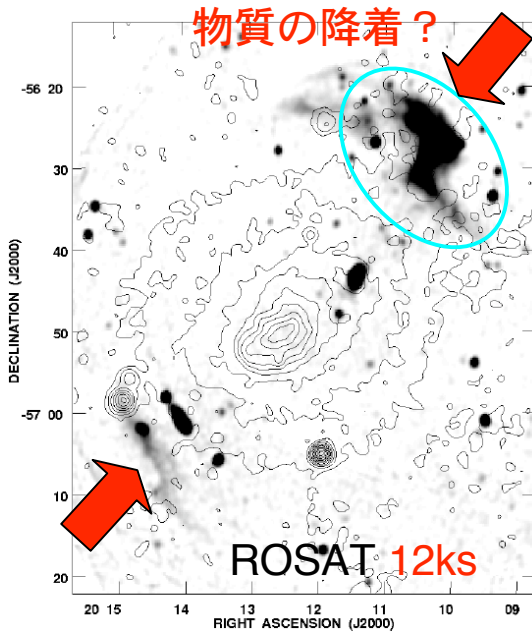
MEGA, ACT,
 μ PIC-MeV,
CdTe SMCT
ほか

- ・非熱的な放射 (e-IC, 2nd-e, π ...)
→ GeV、TeVによる銀河団観測

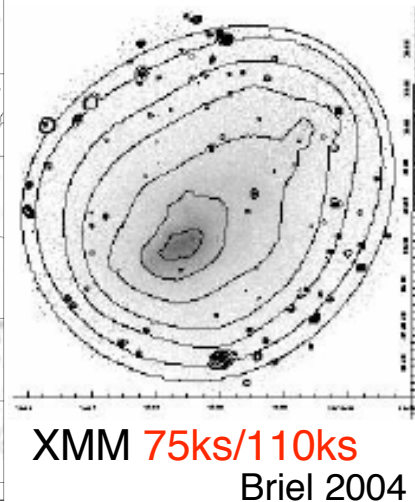
GLAST, CALET,
CAN-III, HESS, VERITAS, MAGIC...

補足 1

「Diffuse放射に強い」 検出器の必要性



A3667周辺部



動機

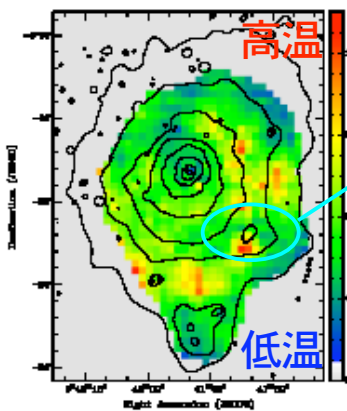
最近のX線衛星より、90年代の方が、「薄く広がった放射」に感度が高い

「 $\Delta\theta$ の向上、 E_{band} 拡大」
の中で、取りこぼされた...

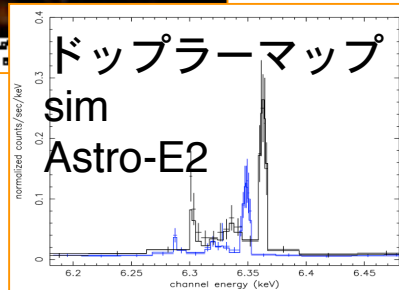
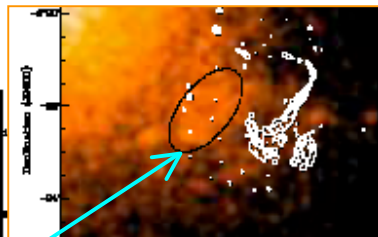
<薄広放射の例>

Fornax-A 電波ローブ、銀河面放射、
銀河群(硬X線も)、銀河団辺境 etc ...

A85周辺部



Durret 2004



理想

焦点距離の短いX線望遠鏡

+

宇宙線由来BGDの低い検出器

点源と
両立

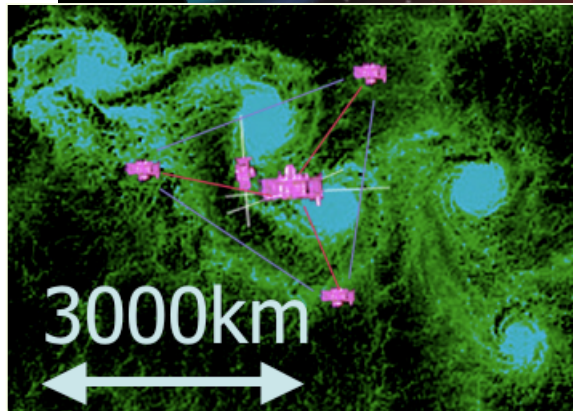
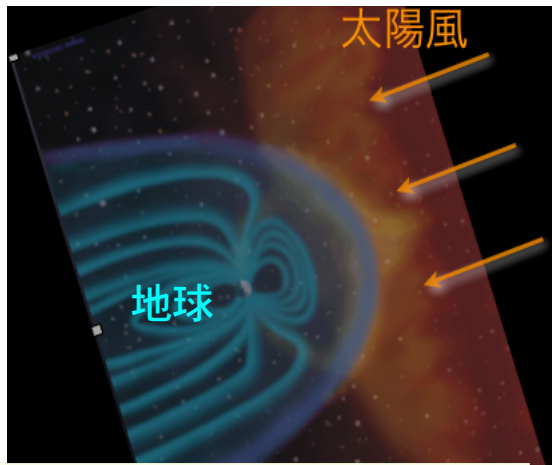
点源感度だけでなく、Diffuse感度も
極めて大切 by Diffuse屋さん

補足 2

銀河団における粒子加速研究の位置づけ → 「宇宙最大の Diffusive Acceleration」

磁気圏の研究：
実際に「その場」で粒子を計測

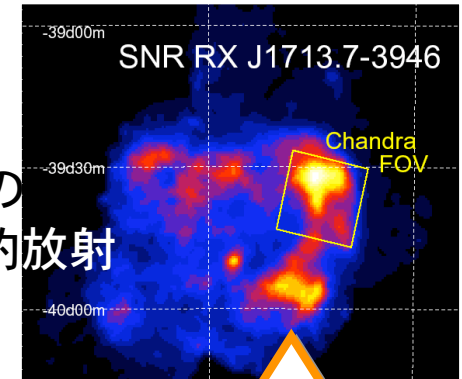
銀河団もやりたい
けれど不可能



MHD乱流の中で
編隊飛行する
「SCOPE」計画 (提案)

同じ「物理」

SNRの
非熱的放射

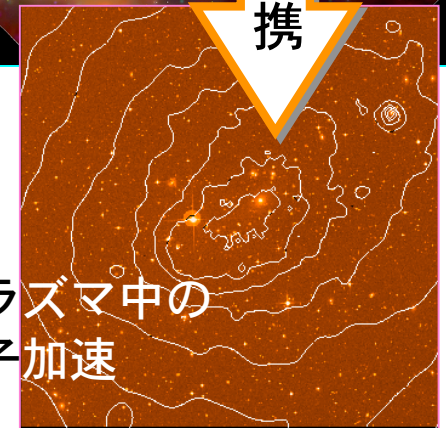


一層の連携

こころがけて
ゆきたいなあ～
(自戒)



銀河団プラズマ中の
大規模粒子加速



まとめ

- 1 : 銀河団の非熱的な現象。宇宙最大の加速源。
物理を抽出する観測を。電波&硬X線 **Diffuse**。

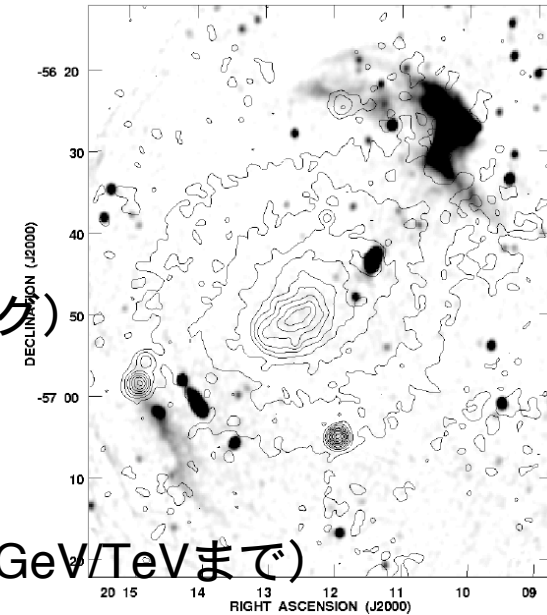
エネルギー分布（広帯域）、空間分布（イメージング）

硬X線観測では、感度がカギ = **検出器BGDを下げる**

撮像（秒？分！）→電子&磁場の空間分布 etc...

帯域（熱的放射との分離、電波とのスペクトル比較、GeV/TeVまで）

+X線ドップラーマップ（プラズマ運動） 滝沢さんtalk



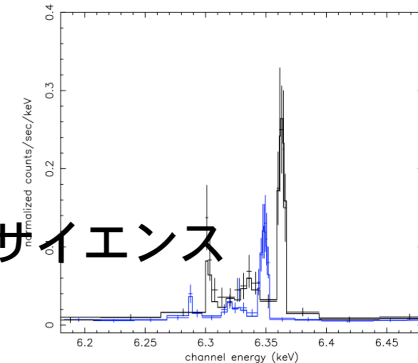
- 2 : **Diffuseに感度の高い装置を望む**

電波：（藤田さんtalk）

X線/硬X線：銀河団「辺境」は、熱的/非熱的なX線で様々なサイエンス

高いSΩ、（+大きな視野、点源分離）を

検出器BGDを下げる

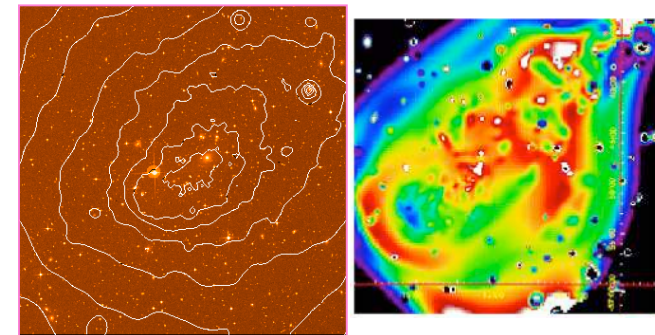


- 3 : 粒子加速の「物理」は、**広い帯域/分野**で。

電波,X,+ガンマ線（MeV,GeV,TeV）

リッジ、SNR、太陽系プラズマ等との連携

Simulationと比較（比較できるデータ）

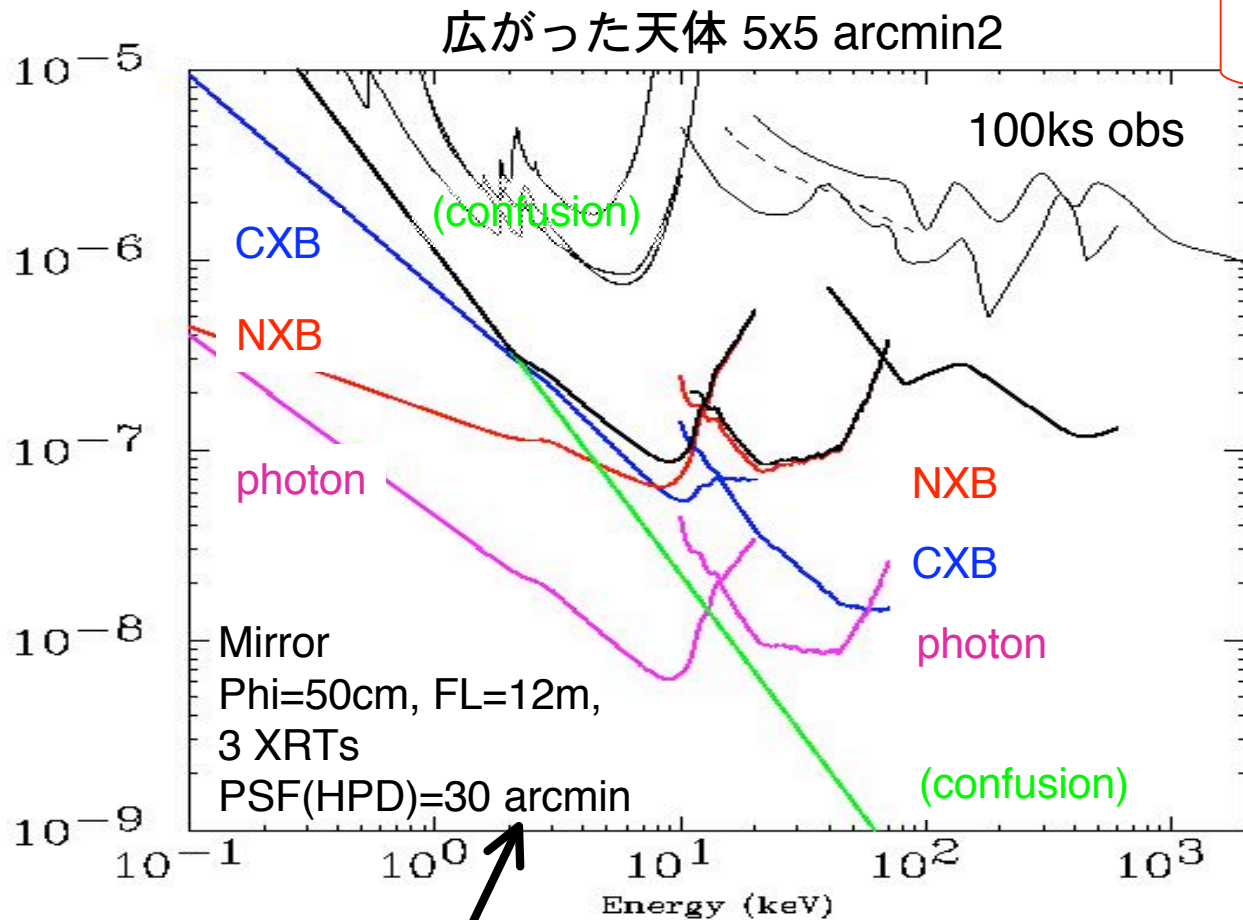


予備トラペ



硬X線/軟ガンマ線の感度向上策

- ・ 検出器BGDの低減。(CCDより1~2桁下げたい)
- ・ 望遠鏡をシャープに。(点源の除去。位置情報。)



点源だとPSF<15"で面積勝負
PSF>15"ではBGD勝負

Below 10 keV
→ **CXB limited**
Above 10 keV
→ **NXB limited**

- ・ BGD限界 (> 3 σ of CXB+NXB)
CCD NXB = 4e-4 cts/s/cm²/keV flat
CdTe NXB = 1e-4 cts/s/cm²/keV flat
- ・ 光子数限界 (> 5 photons)
- ・ 混入限界 (<10% probability)

実はDiffuseの感度計算には関係ない