

次世代天文学

X線ガンマ線観測装置の 将来計画

鶴 剛@京大物理

中澤知洋@JAXA

独断と偏見はできるだけ取り除いたつもりです。
二十個以上のプロジェクトがありますので、
駆け足になることをお許しく下さい。

X線オーバービュー：2つの流れ

中大型の汎用に近い天文台

- AstroE2：精密分光
- NeXT：硬X線撮像分光
- XEUS：超大有効面積

サイエンスや機能を鋭く絞ったミッション

- Swift：GRB（2004/11打ち上げ）→中澤さん
- MAXI：全天監視
- DIOS：酸素輝線
- X-mas：超高角度分解能
- X-ray Polarization：X線偏光

●

注意：日本が関わっているものに限りました。

AstroE2

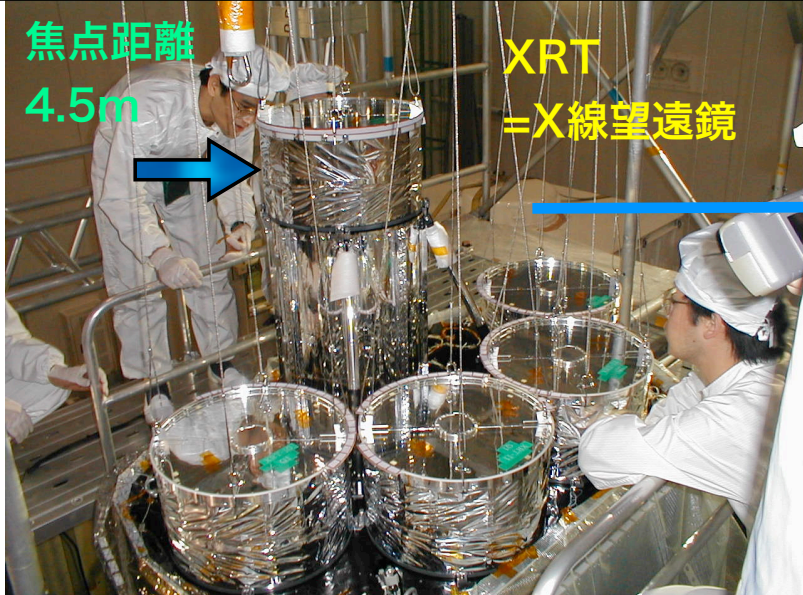
- ロケットの故障で失敗したAstroE(2000/2)の性能向上品
- 広帯域大有効面積によるX線分光(0.3-700keV)と高分解能X線分光 (半値幅6eV @0.3-10keV)
- 分散系ではないので、広がった天体にも有効
- 高空間分解能のChandra、大有効面積&中程度の空間分解能のXMMと相補的
- 日米協力
- 2005年上半期打ち上げ予定

詳しくはP34

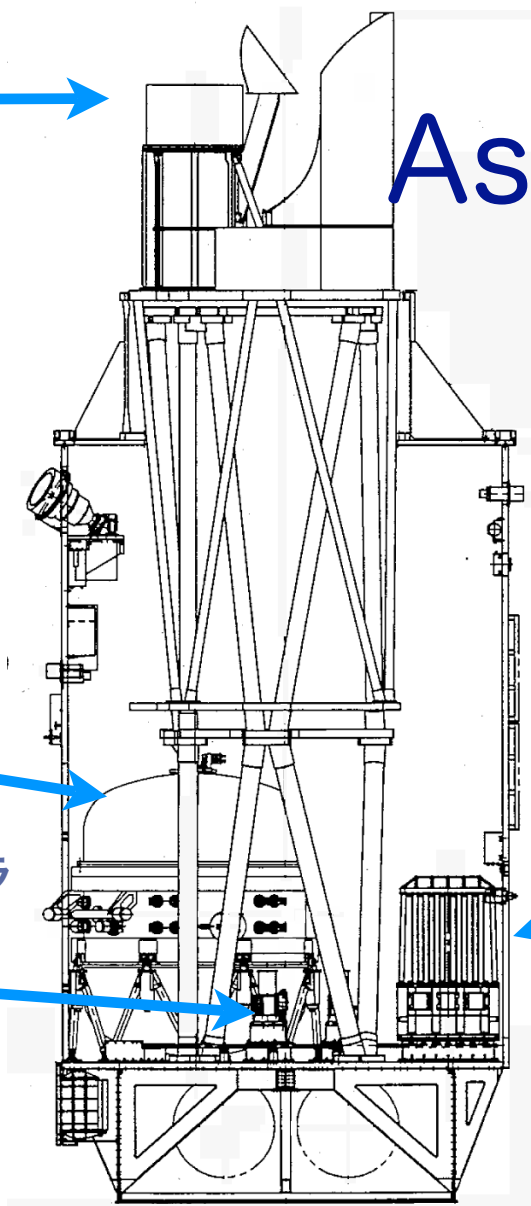


焦点距離
4.5m

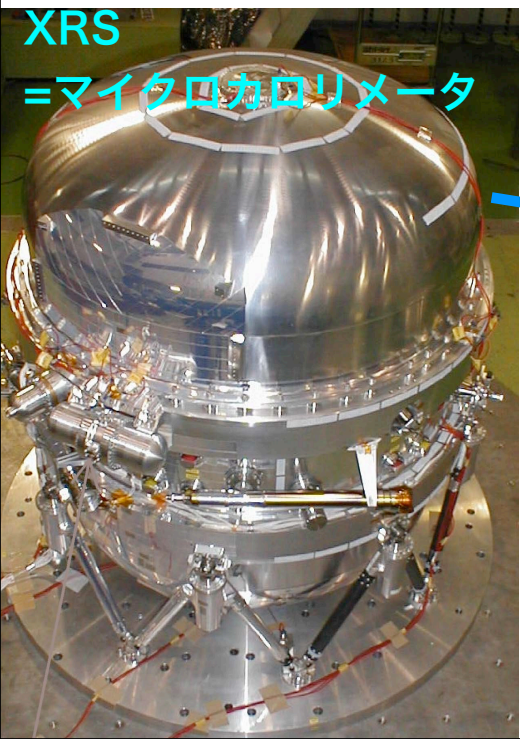
XRT
=X線望遠鏡



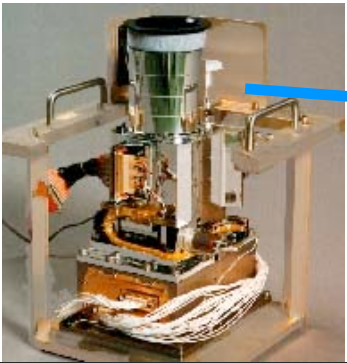
Astro-E2



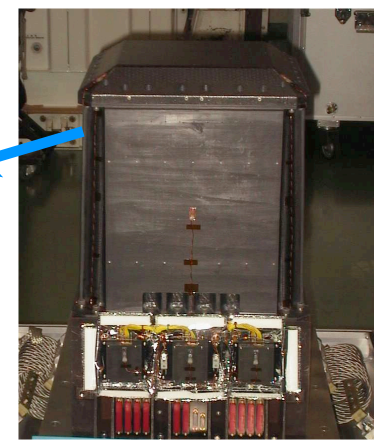
XRS
=マイクロカロリメータ



XIS
=X線CCDカメラ

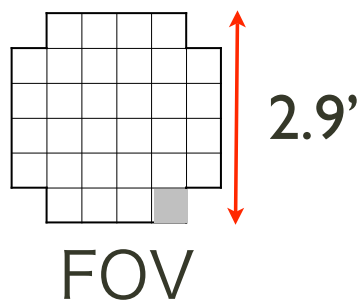
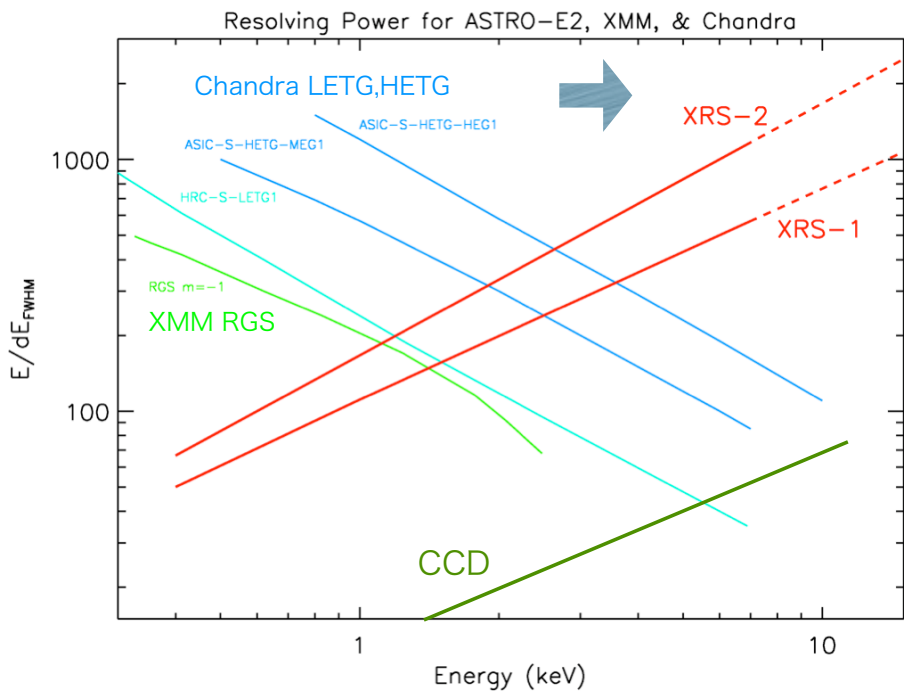
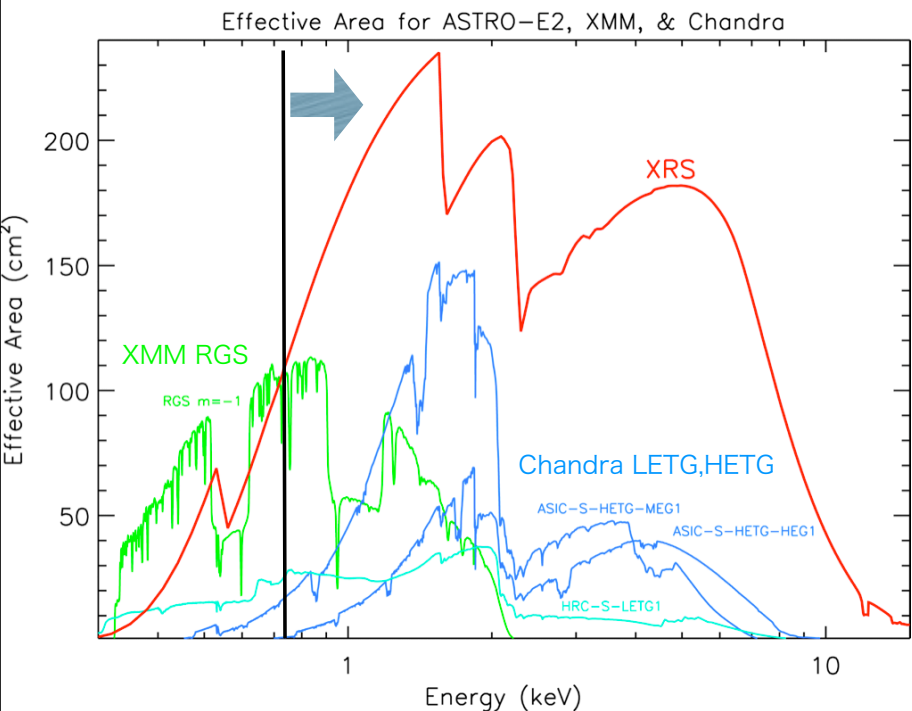


HXD
=硬X線検出器



AstroE2

高分解能分光 (XRT+XRS)



2keV以上で最高の分光能力

最大の有効面積

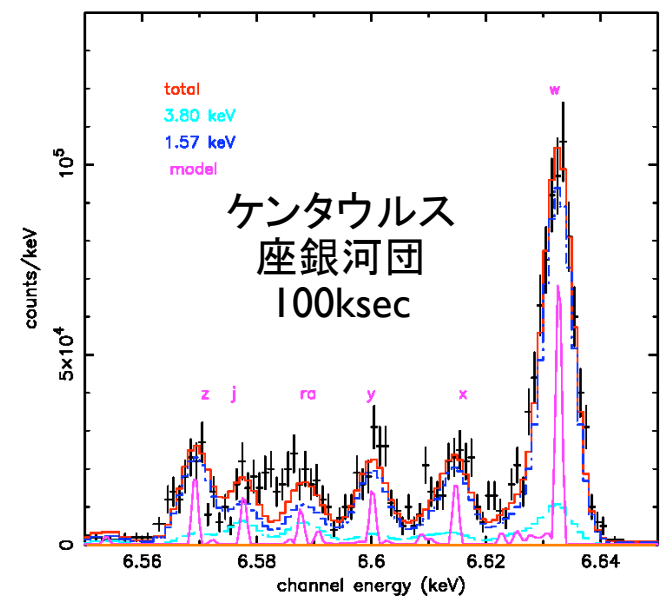
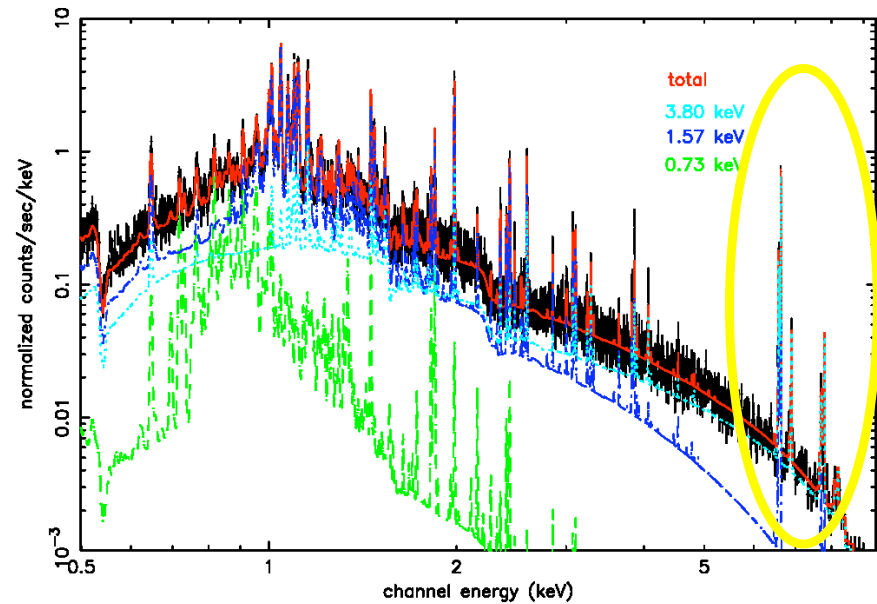
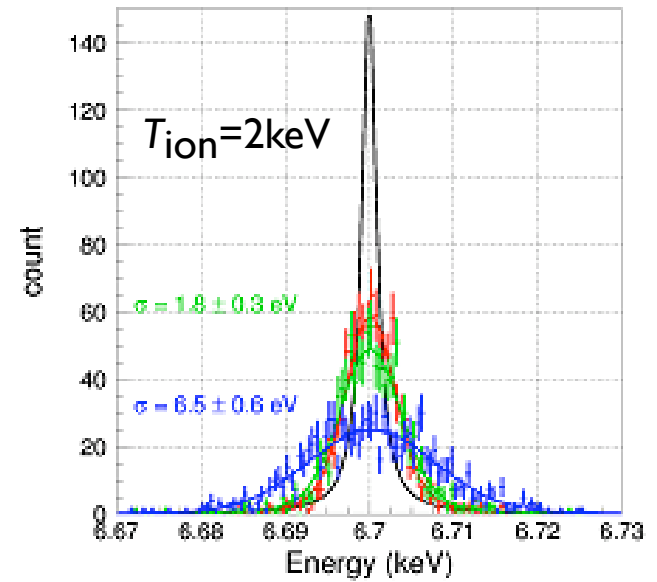
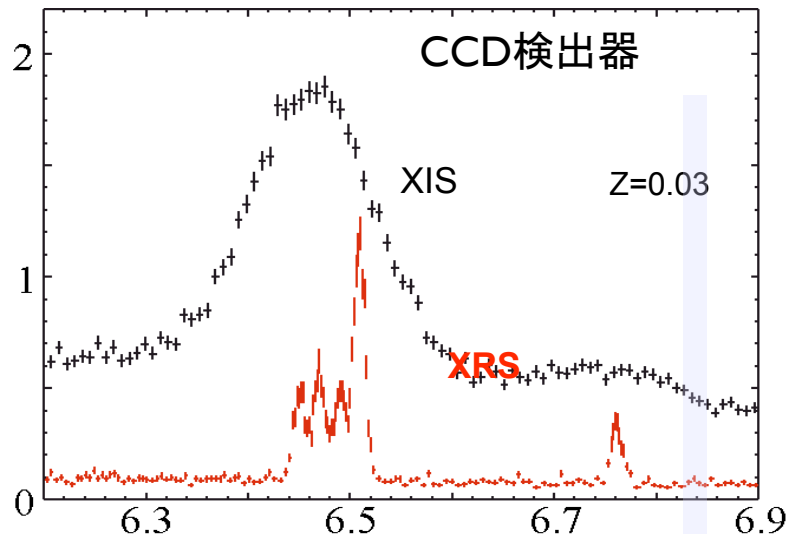
分散系ではないので、広がった天体も可能

■ 鉄Kラインの各成分への分解が初めて可能に

■ 温度1-3 keVのガスは輝線の嵐

■ ほぼすべての元素量が決定可能に

CCDの20倍の分解能



AstroE2

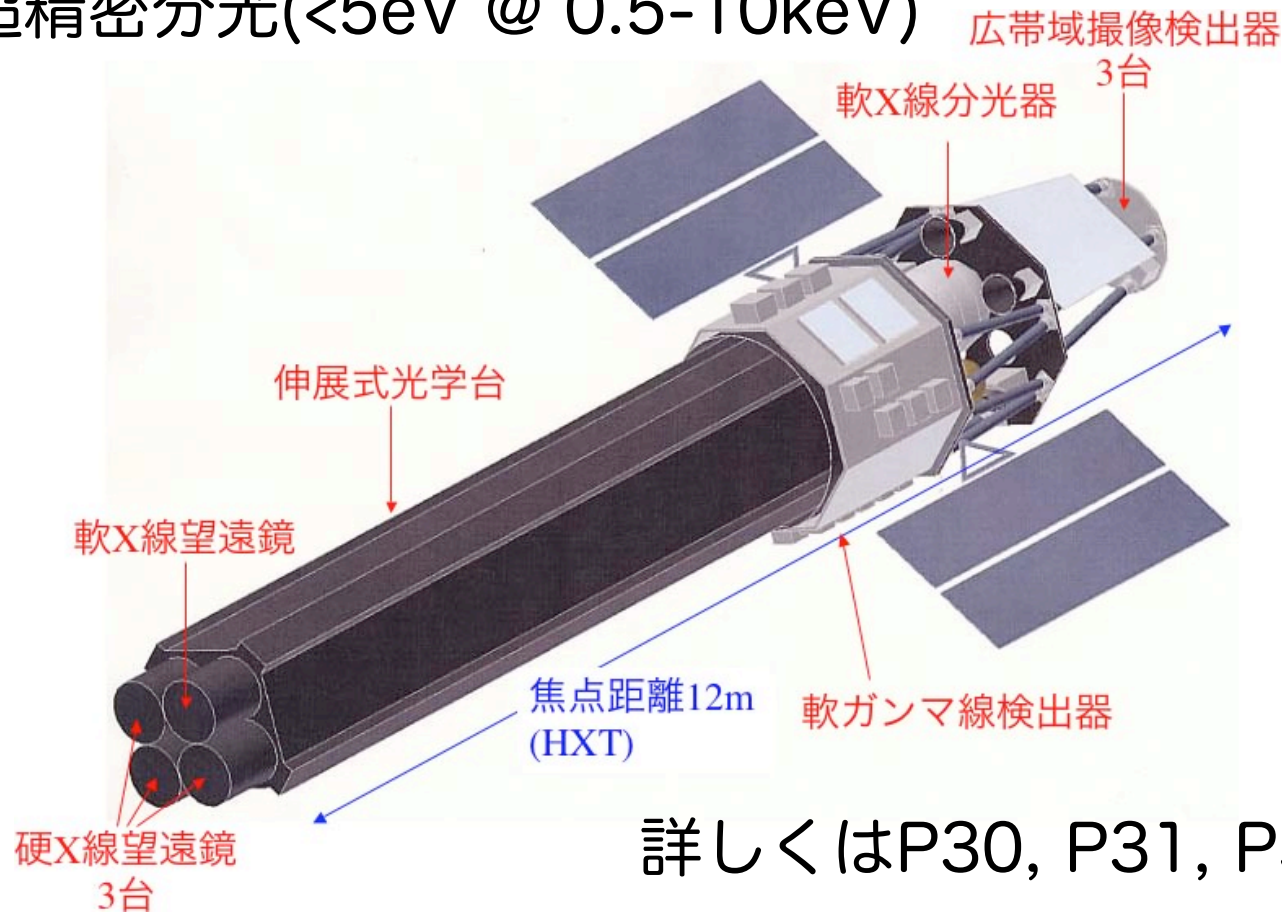
サイエンス

- 特徴
 - 空間的に広がった放射の高分解能分光
 - $\sim 2\text{keV}$ 以上での高分解能分光
 - $0.3\text{-}700\text{keV}$ の高分解能広帯域分光
- 輝線検出による宇宙化学進化（銀河、銀河団）
- ガスダイナミクス、マクロな運動、乱流
（銀河団、SNR、銀河）
- 非熱的プラズマの検出と宇宙線加速（SNR、銀河団）
- プラズマ診断、光電離プラズマ、コンプトン散乱
（激変星、コンパクト星降着円盤、AGN）
- 輝線形状による重力場診断（ブラックホール）

NeXT



- 2011年度打ち上げを目指すX線・ガンマ線衛星
- ワイドバンドイメージング(0.1-80keV)
- 高感度ソフトガンマ線観測(10keV-1MeV)
- 超精密分光(<math><5\text{eV}</math> @ 0.5-10keV)



詳しくはP30, P31, P32, P33

硬X線・軟X線望遠鏡

大きな有効面積を実現する多重薄板高効率望遠鏡



硬X線望遠鏡 (HXT)

台数 3台
口径 50 cm
焦点距離 12 m

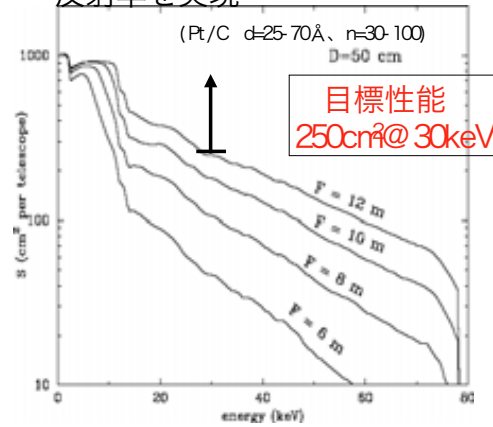
軟X線望遠鏡 (SXT)

台数 1台
口径 50 cm
焦点距離 9 m

(軟X線に最適化)

硬X線望遠鏡:

多層膜スーパーミラーにより
前人未到の 80 keV まで伸びた
反射率を実現



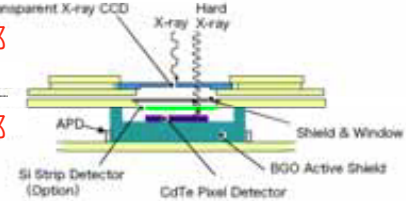
広帯域撮像検出器

検出器のハイブリッド化により
初めて実現する
0.5-80keVまでの広帯域撮像分光

(透過型) CCD カメラ

軟X線撮像部
(SX)

硬X線撮像部
(HX)

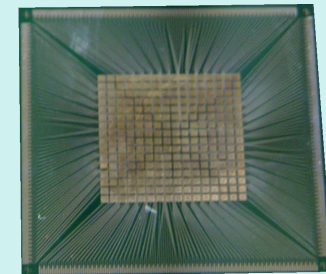
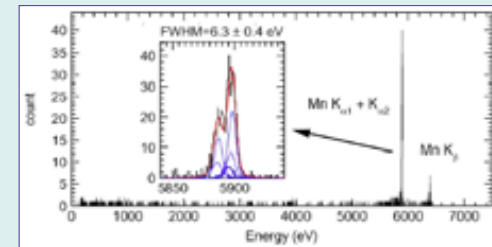


CdTe ピクセル型検出器

軟X線分光器

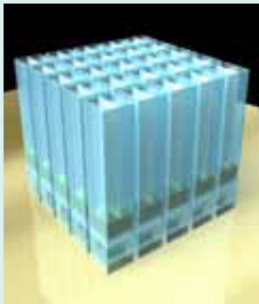
$\Delta E < 5$ eVによる本格的な
X線分光撮像観測を実現する
TESカロリメータアレイ

冷媒なし 軽量、
長寿命
冷凍機 電力



軟γ線検出器

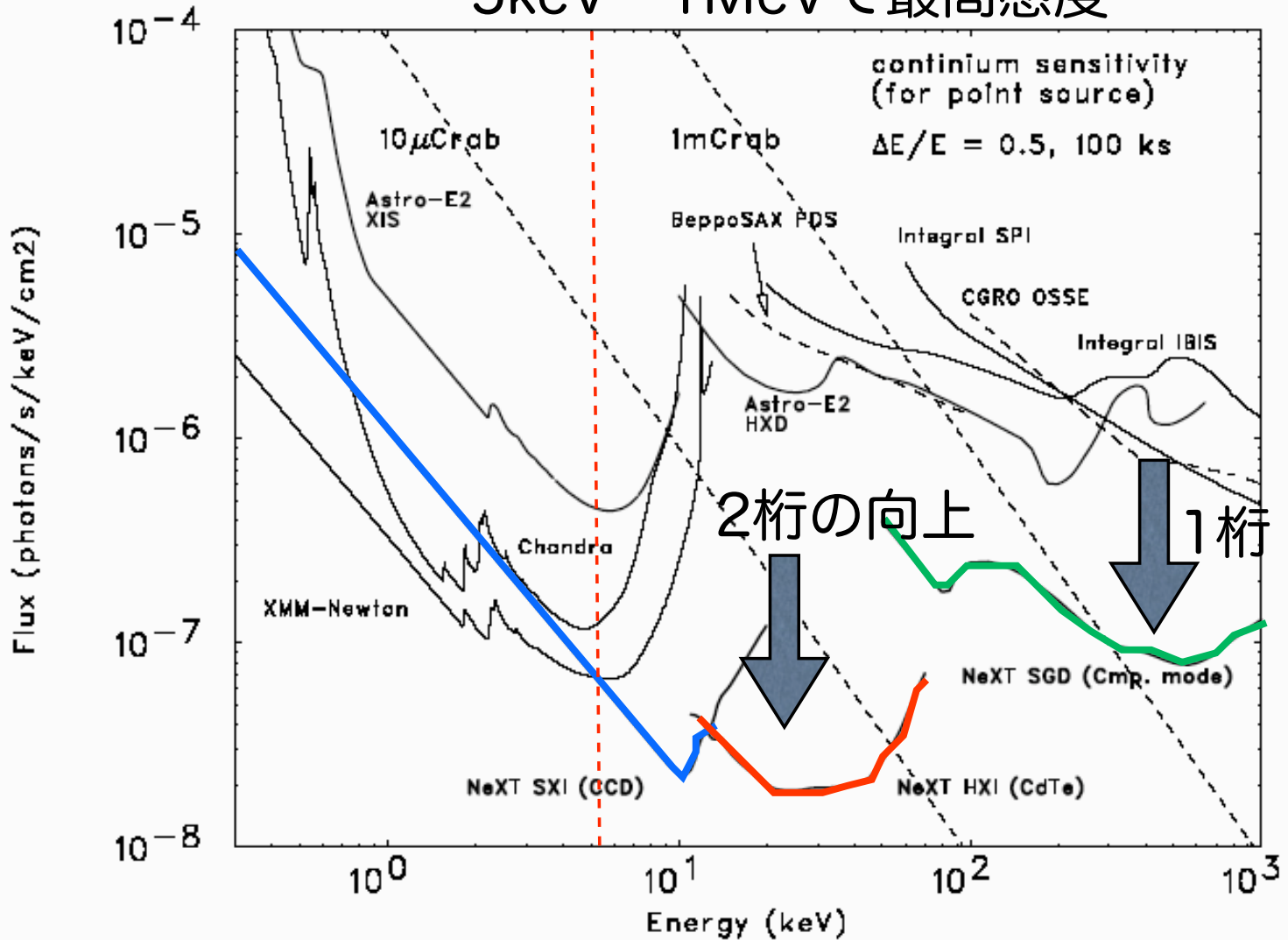
桁違いの高感度で1MeVまでの軟γ線分光を実現する
狭視野コンプトン望遠鏡



Comptonカメラによるγ線到来方向の計測
+
井戸型アクティブシールドによる狭視野
↓
極限の低バックグラウンド・高感度

NeXT

5keV~1MeVで最高感度



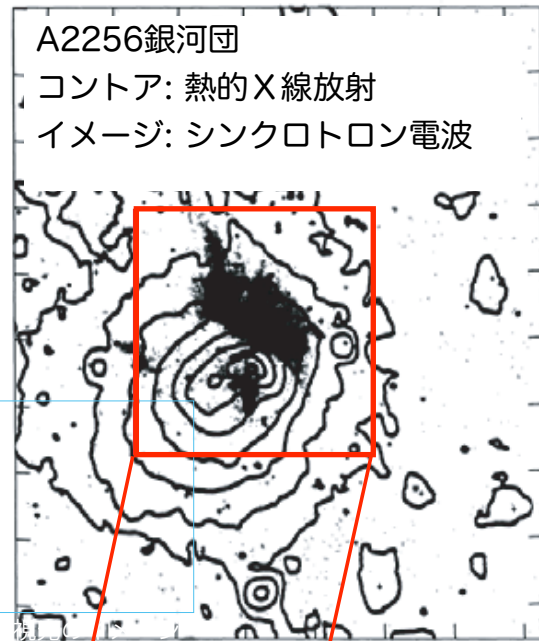
NeXTサイエンス

非熱的宇宙探査

隠されたブラックホール探査

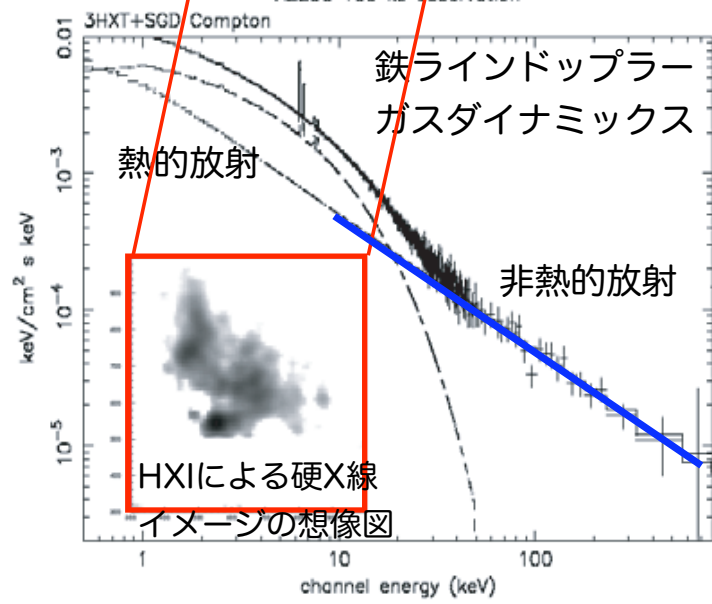


1000万光年

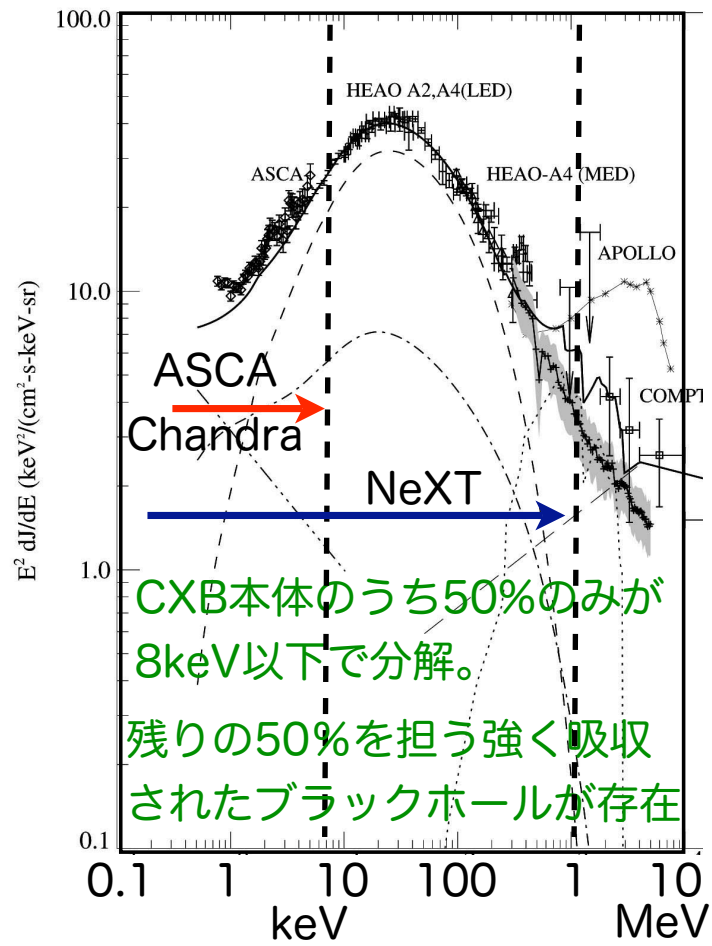


Roettgering et al ApJ 1994

A2256 100 ks observation



宇宙X線背景放射のスペクトル

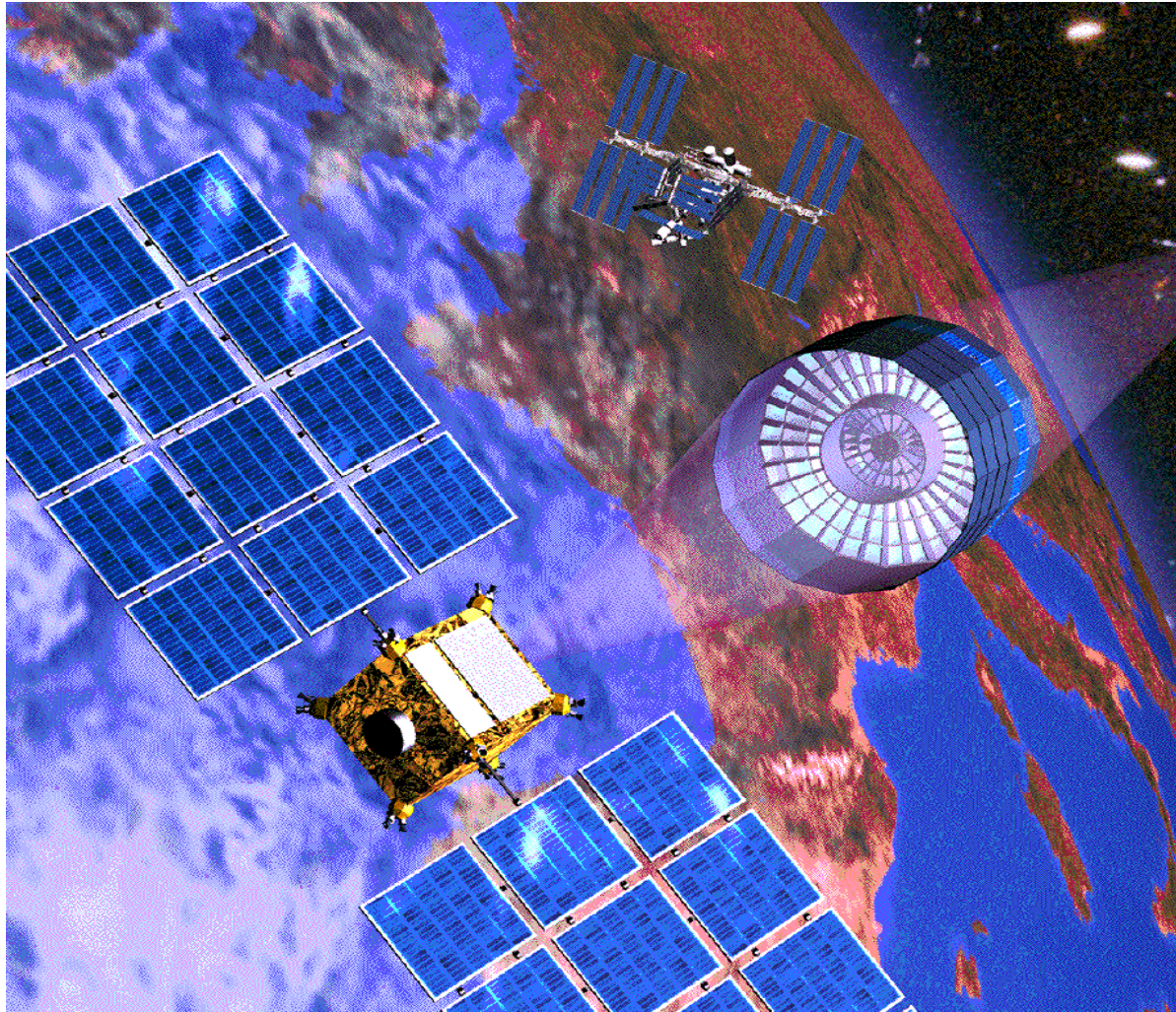


XEUS

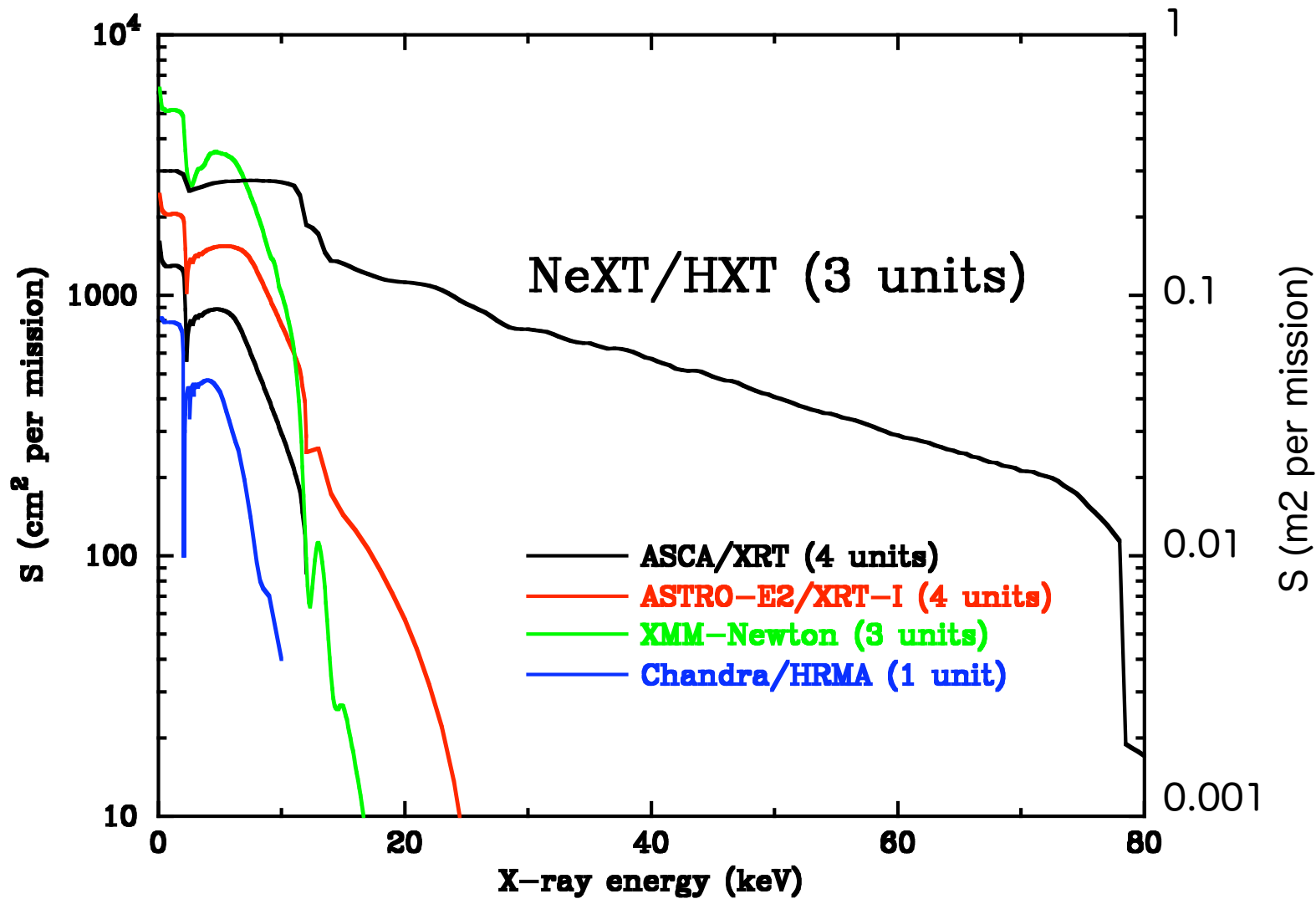
- 巨大な有効面積(Zero: 6m^2 、Full: 30m^2)
- Chandra並みの高角分解能($2''$)
- ワイドバンド($0.05\text{-}30\text{keV}$)
- 超精密分光 ($\sim 2\text{eV}$)
-
- 宇宙で最初のブラックホール探査
- 銀河団の誕生と成長
 - 構造進化、化学進化
 -
- 2015年頃の打ち上げを目指す

XEUS

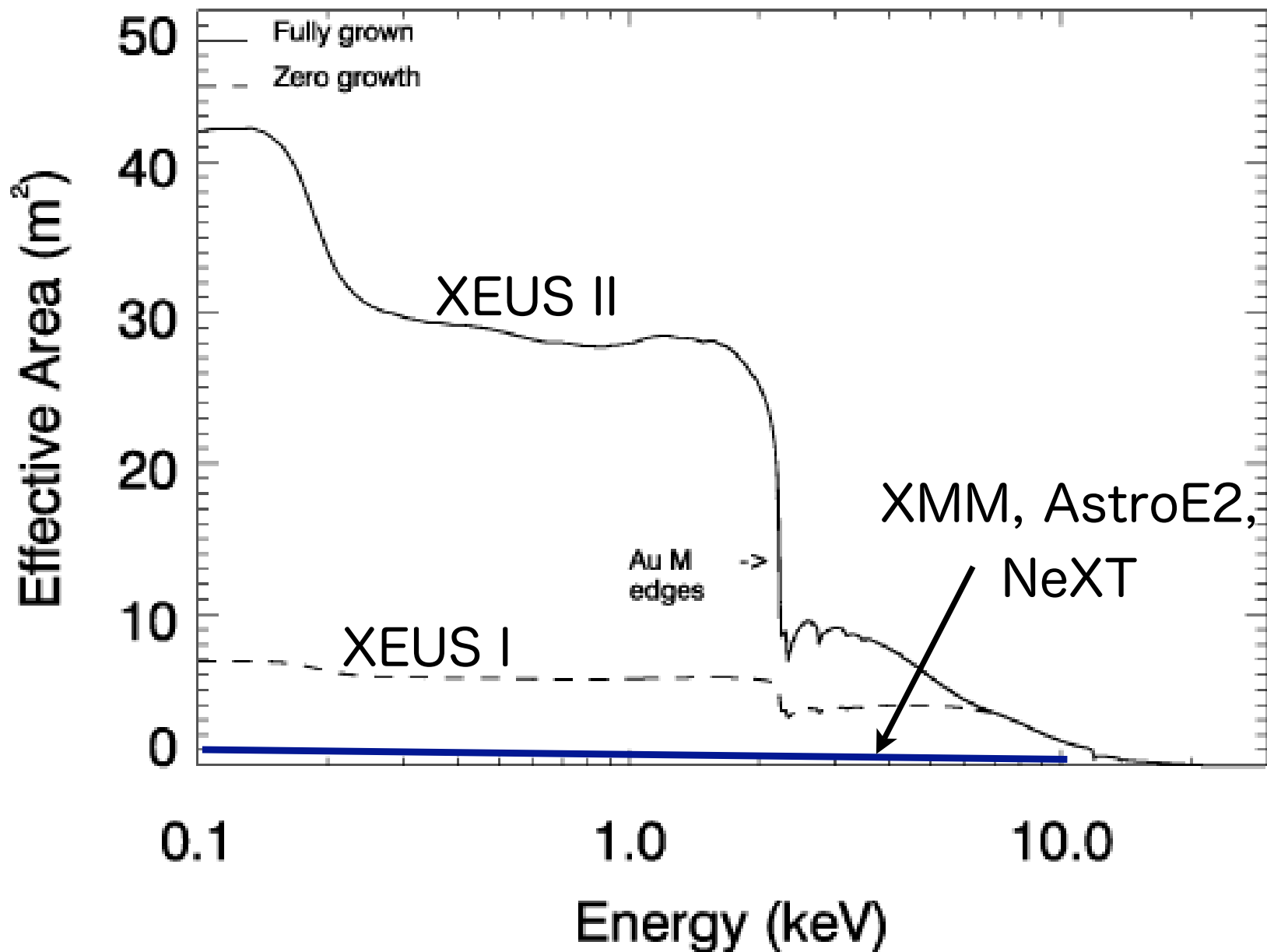
編隊飛行



XEUS



XEUS



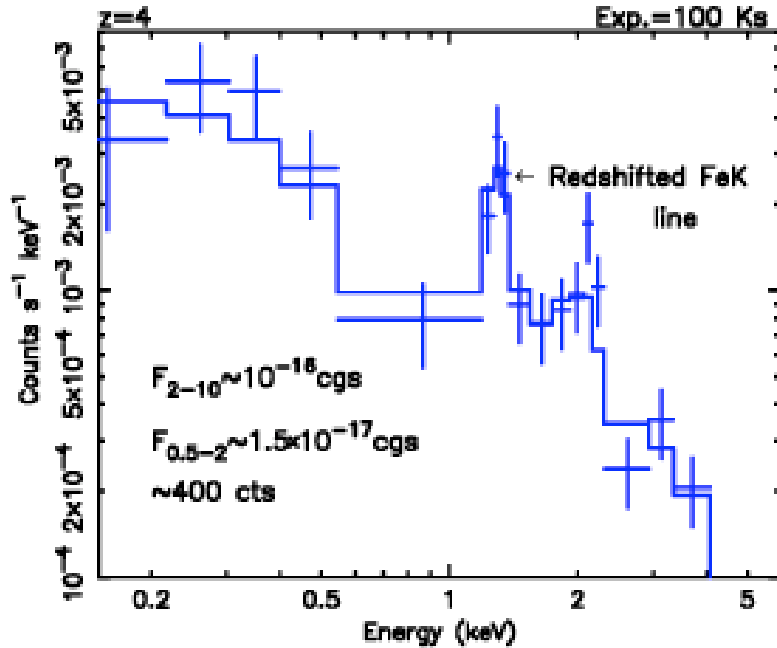
XEUS II

NGC6240 = Starburst + AGN at High Redshift

$z=4$

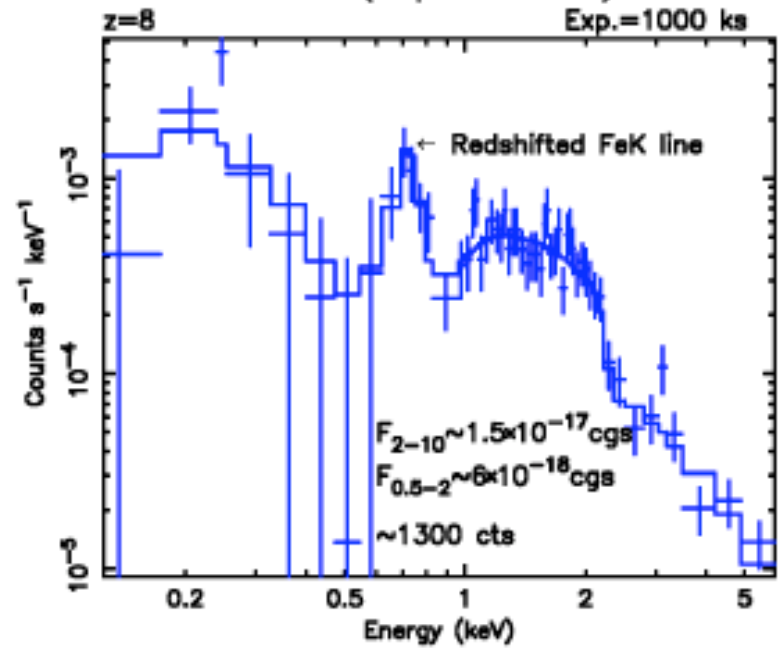
$z=8$

XEUS II



XEUS II (Deep Field with WFI)

Exp.=1000 ks



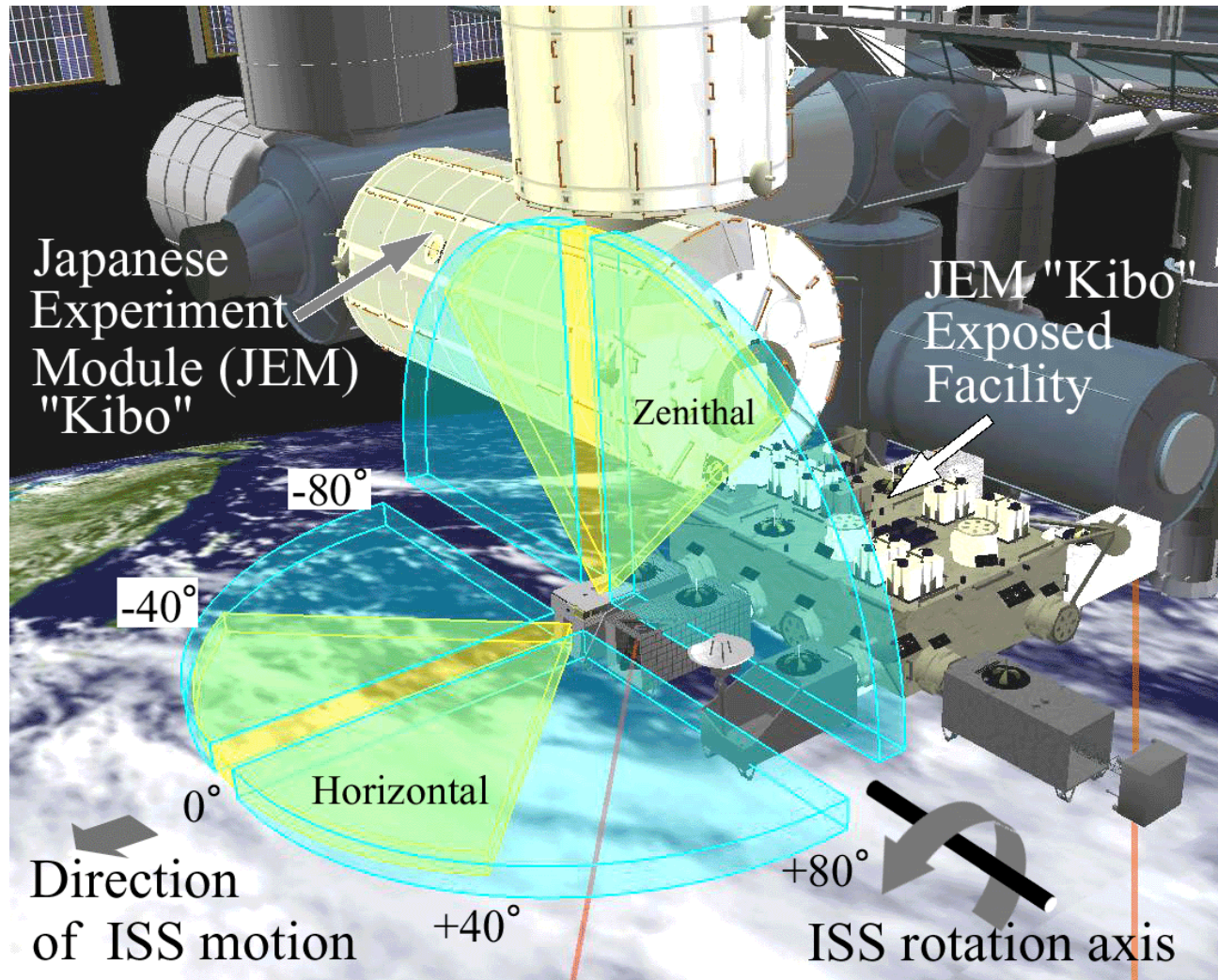
- Simulated XEUS spectra of the composite starburst-AGN for the final XEUS configuration. These show that with a deep field exposure, the spectra of sources at $z=8$ could be obtained and their Fe-K lines detected.

MAXI

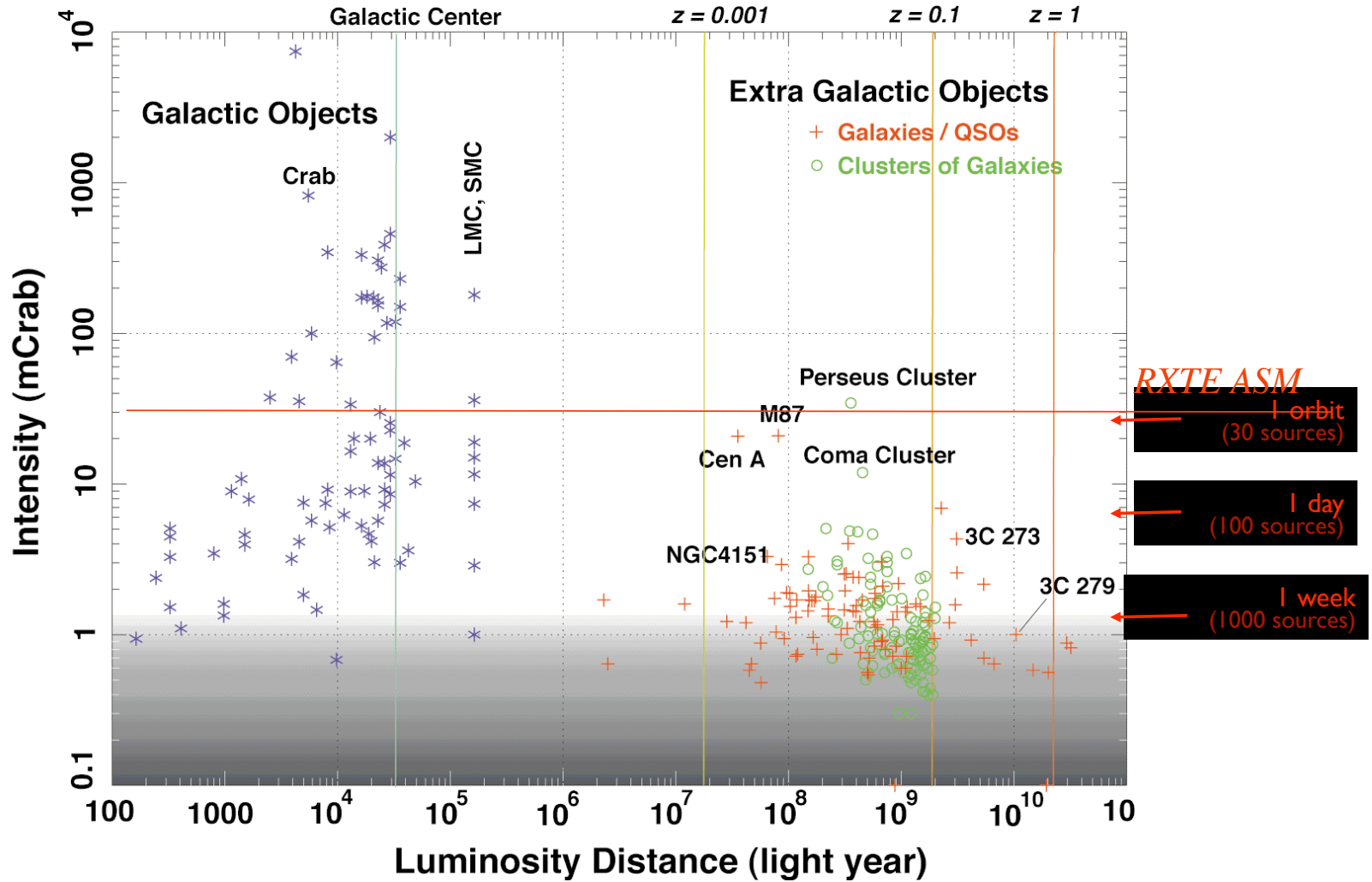
- (国際宇宙ステーション搭載)全天X線監視装置
- AGNの時間変動
- X線新星の発見
- GRBのAftergrow
- X線トランジエントのアラート
-
- 国際宇宙ステーション
日本実験モジュール「きぼう」の暴露部
- 90分毎の全天X線マッピング
- 0.5-30keV
- スリットコリメータ+PC & CCD
- 2008年度打ち上げ予定

詳しくはP27

MAXI



MAXI



はじめて系外天体の時間変動

DIOS

-- Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor --

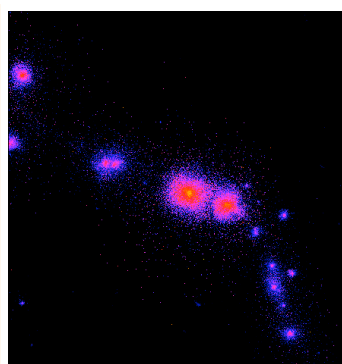
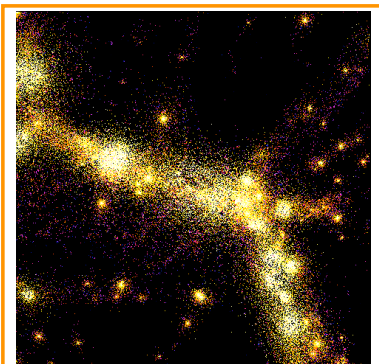
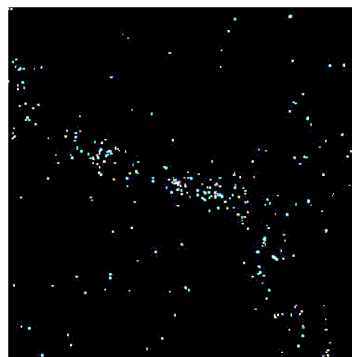
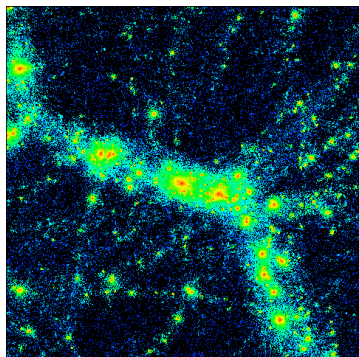
- ミッシングバリオンの検出と大構造の直接観測
 - 酸素の輝線による中高温銀河間物質(WHIM)の広域サーベイ
- ISM, ICMのガスダイナミクスと化学進化
- ガンマ線バースト残光による遠方宇宙のIGM探査
-
- 300-400kgの小型衛星
- TESマイクロカロリメータ ($\sim 2\text{eV}$)
- 4回反射X線望遠鏡 (0.1-1.5keV)
- 2010頃までの打ち上げを目指す

詳しくはP26

DIOS

ダークマター

銀河 (~1万度)



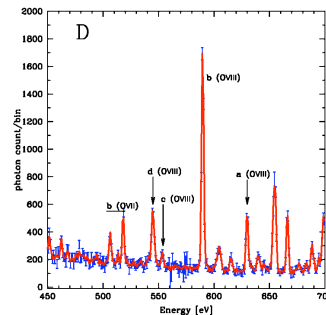
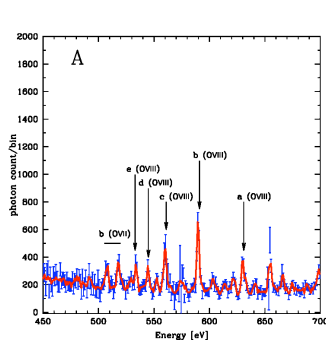
銀河間ガス

銀河団ガス

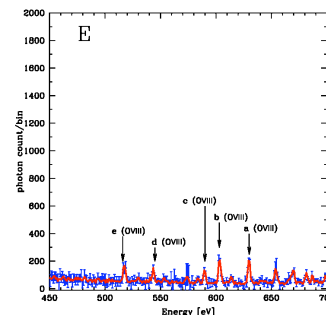
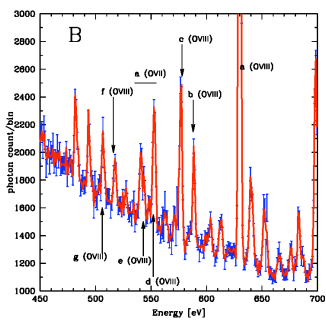
全バリオンの半分

$10^5 \sim 10^7 \text{K}$

酸素K輝線を高分解能X線分光
銀河起源および赤方偏移方向に分離

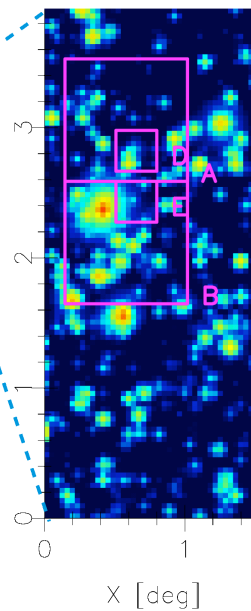
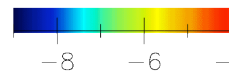


$z=0$

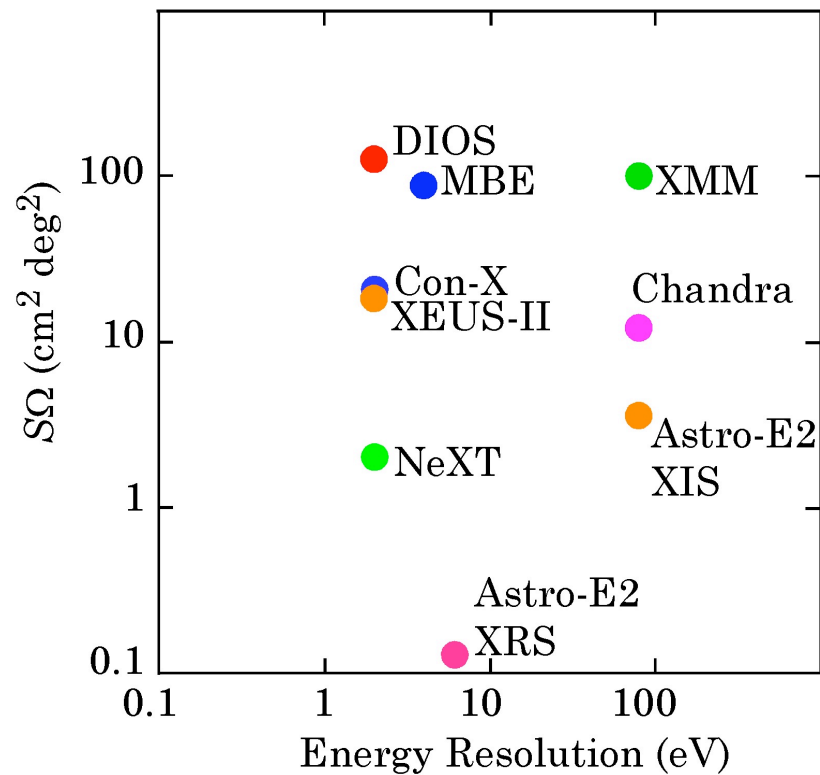
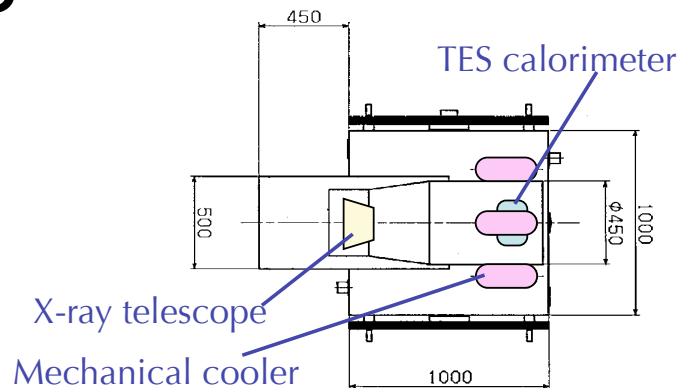
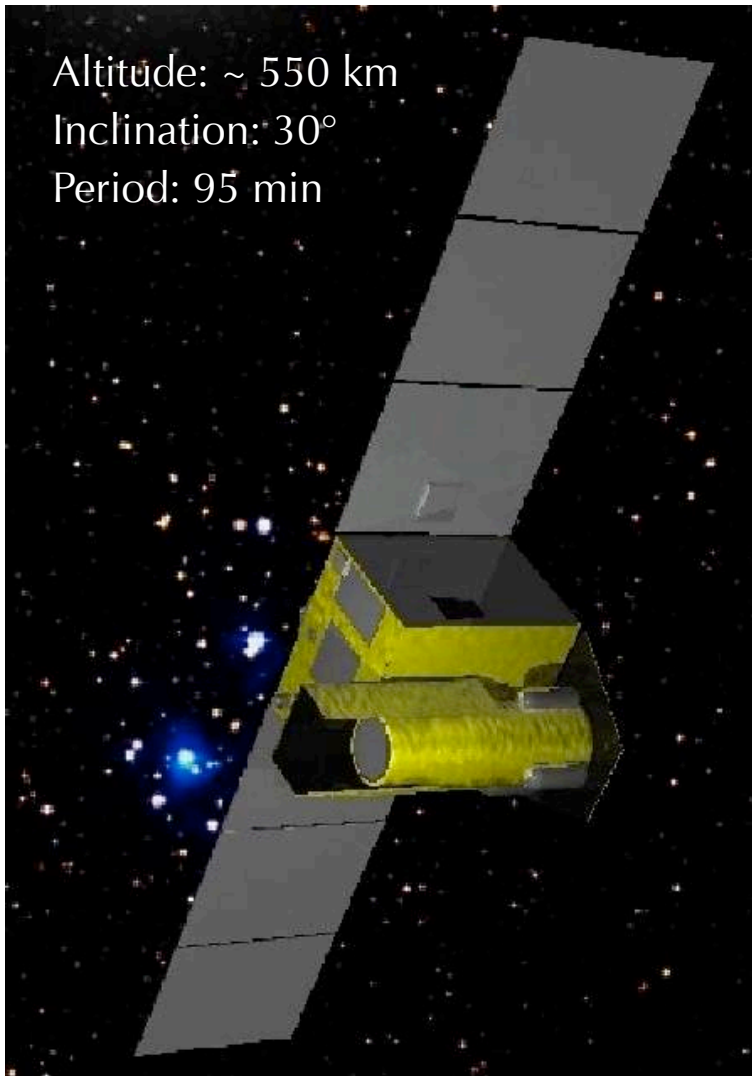


$z=0.3$

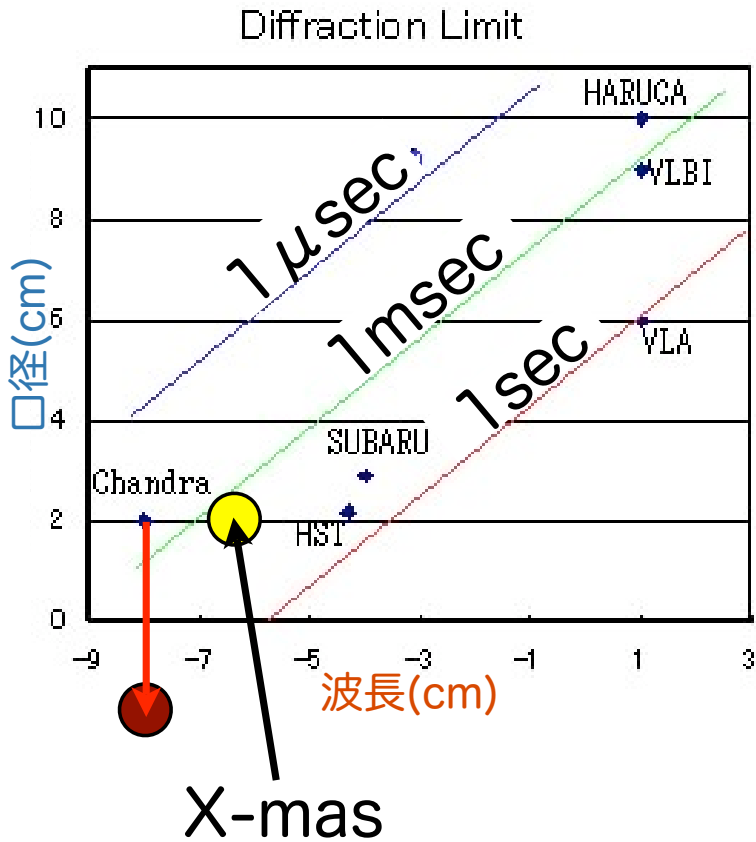
$\text{Log } S_x \text{ [erg/s/cm}^2\text{]}$



DIOS

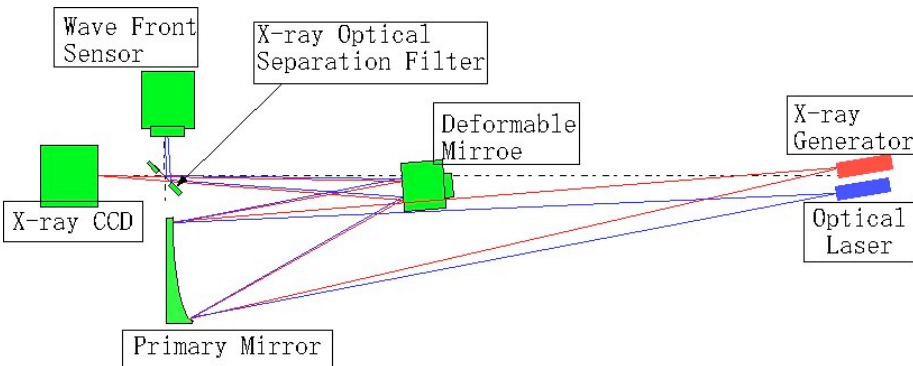


X-mas

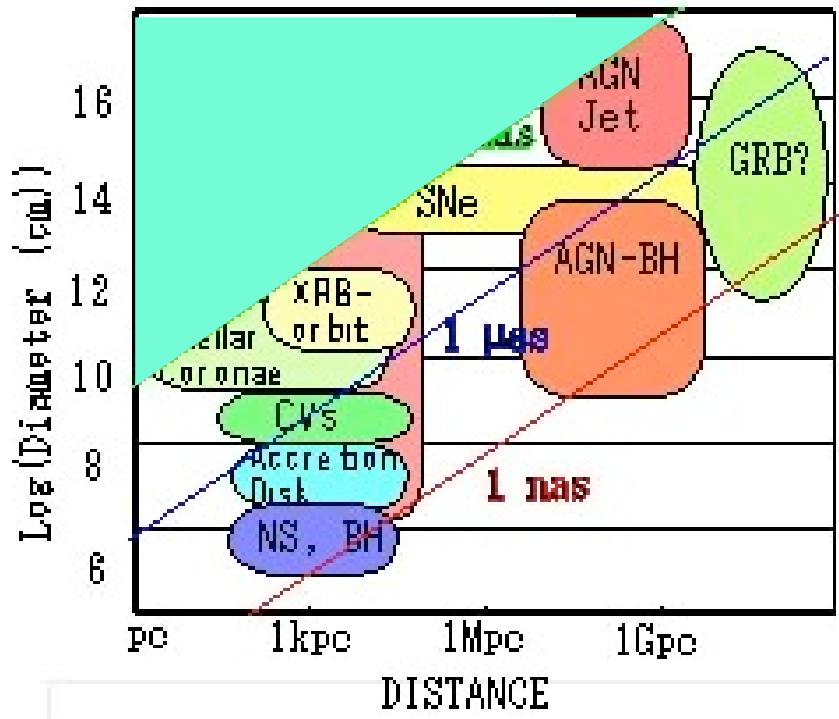


- 従来のX線望遠鏡
 - 斜入射型：1sec程度
 - 回折限界には達していない
- 波面モニターと可変形状鏡による補償光学系
 - 直入射型望遠鏡
 - 回折限界に到達：1mas
 - VLBI並の分解能
 - 反射率70% 多層膜
 - 0.09keV (軟X線-EUV)
 - 高いエネルギーも検討中

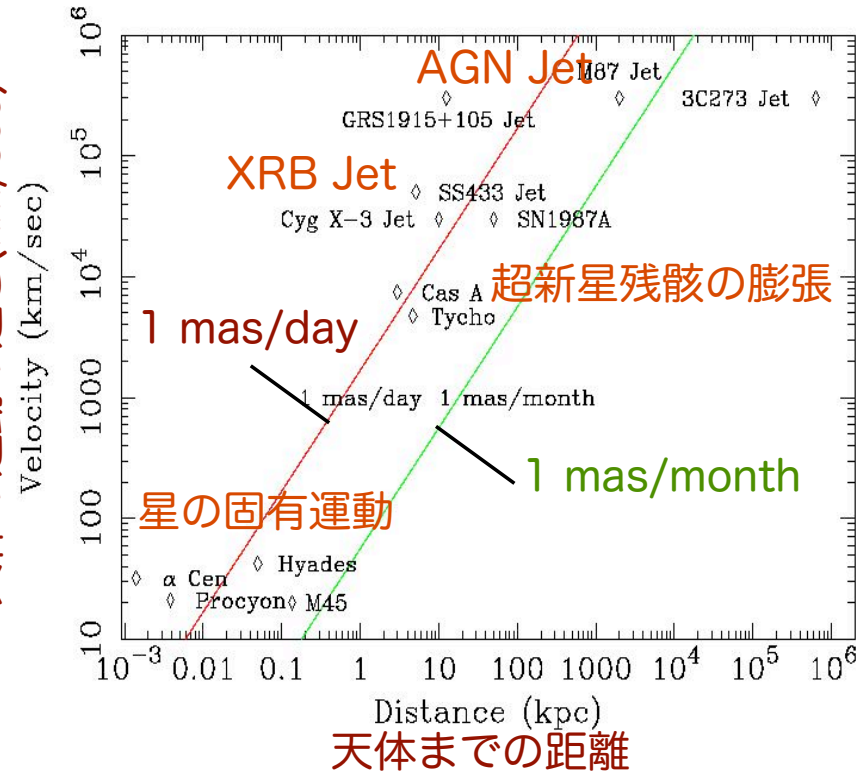
詳しくはP28



X-mas



天体の運動の速さ(km/sec)



ジェットの根元とその運動

SNRの膨張

X線連星

恒星コロナの直接撮像

AGN

YSO

日々の運動が見える

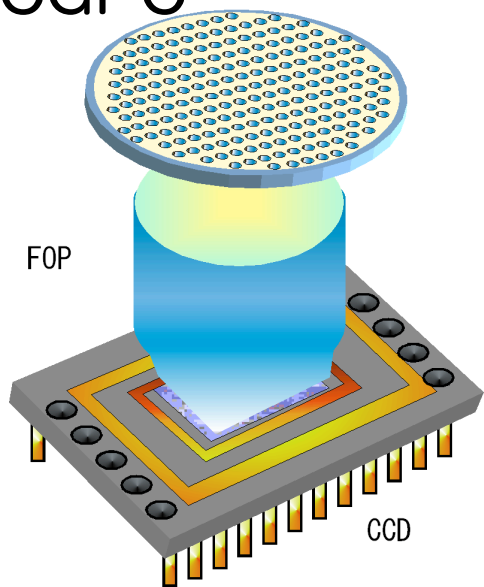
偏光X線衛星

- 未開拓の軸（画像・分光・時間変動）
- 1970年代の「かに星雲」以来
- 宇宙における超高エネルギー粒子加速
 - 超新星残骸、銀河団の非熱的放射
 - AGN、GRBなどのジェット天体
 - 最高エネルギー宇宙線(10^{21} eV)の加速源と加速メカニズム
- Strong-field QED (Vacuum Polarization)
 - 強磁場中性子星：パルサー(10^{13} G)の熱的大気での偏光
- 一般相対論的時空構造
 - ブラックホール近傍の強い重力の一般相対論的效果による偏光面の回転
 - シュバルツおよびカーブラックホールの存在証明
- その他
 - X線反射星雲
 - 磁場の強い熱的プラズマでの共鳴散乱輝線

詳しくはP29,P35

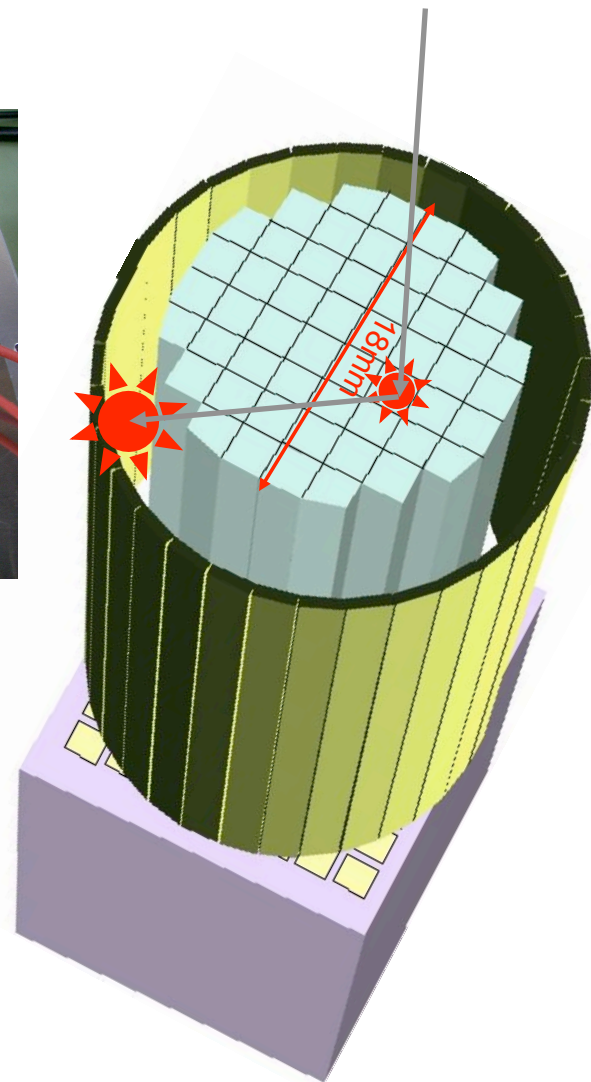
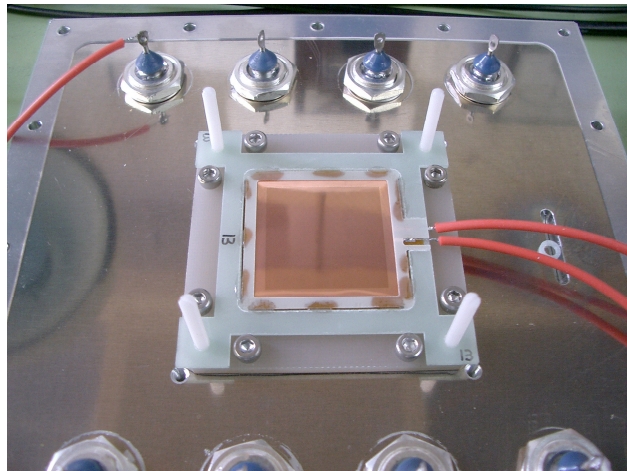
偏光X線衛星

CGPC Capillary Plate

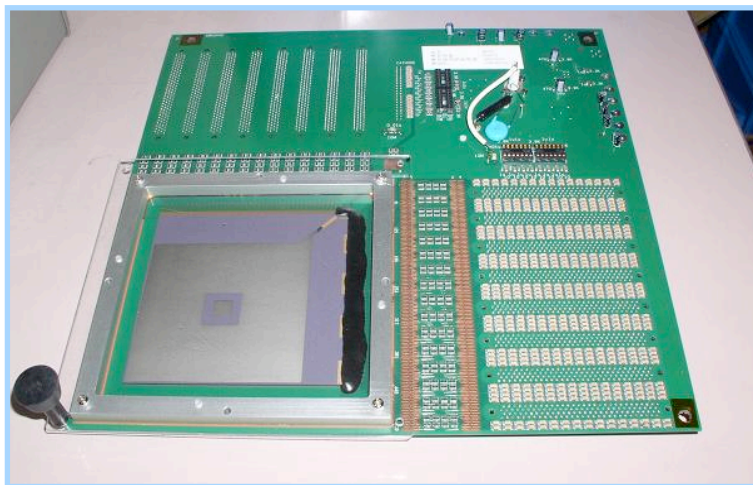


FOP-CCD
Capillary Gas Proportional Counter

GEM



μ -PIC



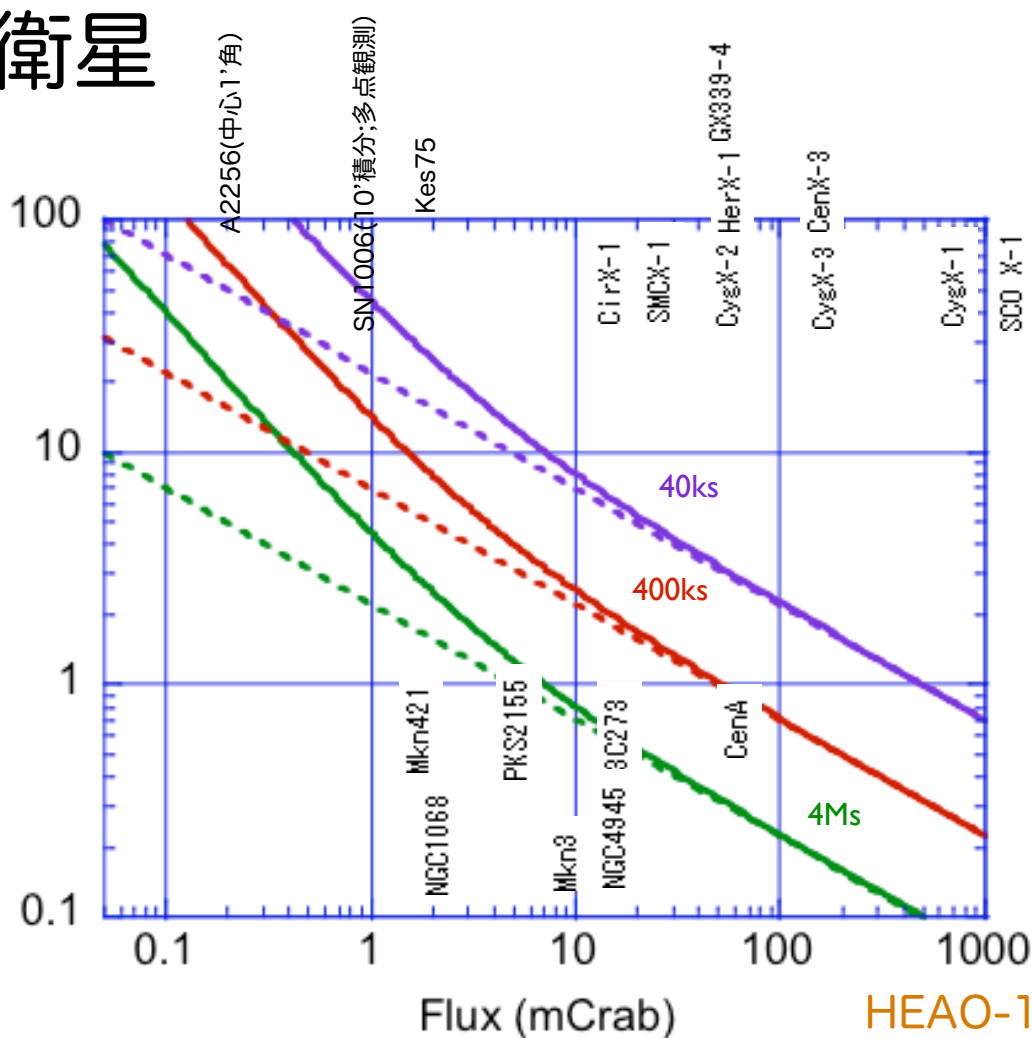
光電子の飛跡のトラッキング

トムソン散乱偏光計

偏光X線衛星

MDP (Minimum Detectable
Polarization degree)

3σ Detection Limit (%)



$M=0.61$

$h=0.46$

20-80keV

1HXT

BGD=1.0e-4 c/
s/keV/cm²

HEAO-1 A4(13-80keV)

よりフラックス推定

BH, NS連星系の明るいものは40ks,

暗いものでも400ksの観測で2%の偏光度を検出できる

AGNの明るいものは400ksの観測で数%の偏光が検出できる