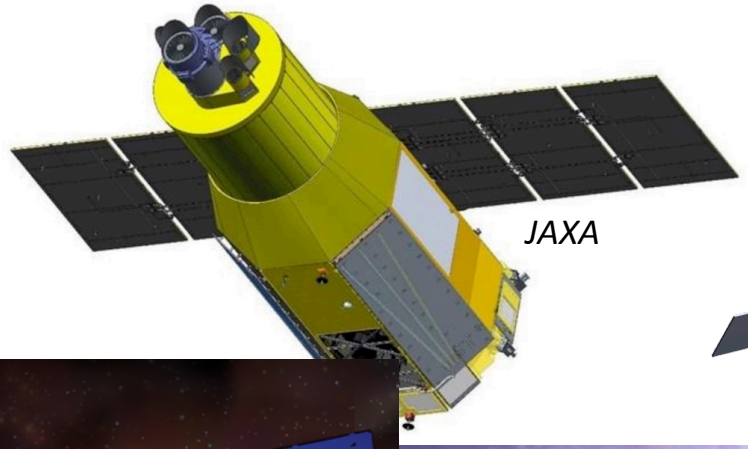
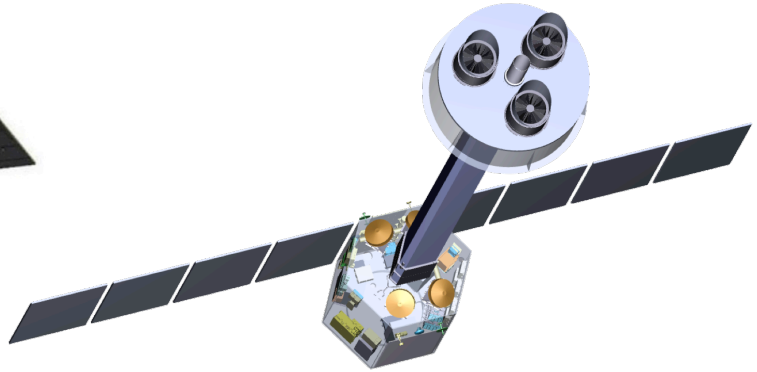
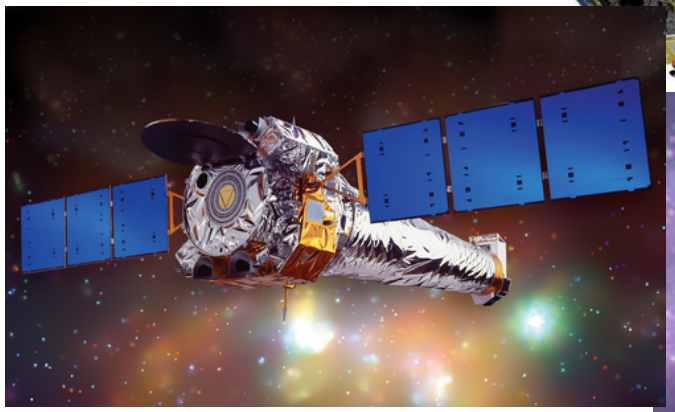
X 線・硬X線天文衛星を用いた追観測
および重力波からの「予告観測」への展望

中澤 知洋 (名古屋大学 KMI/理)



JAXA





NASA/CXO

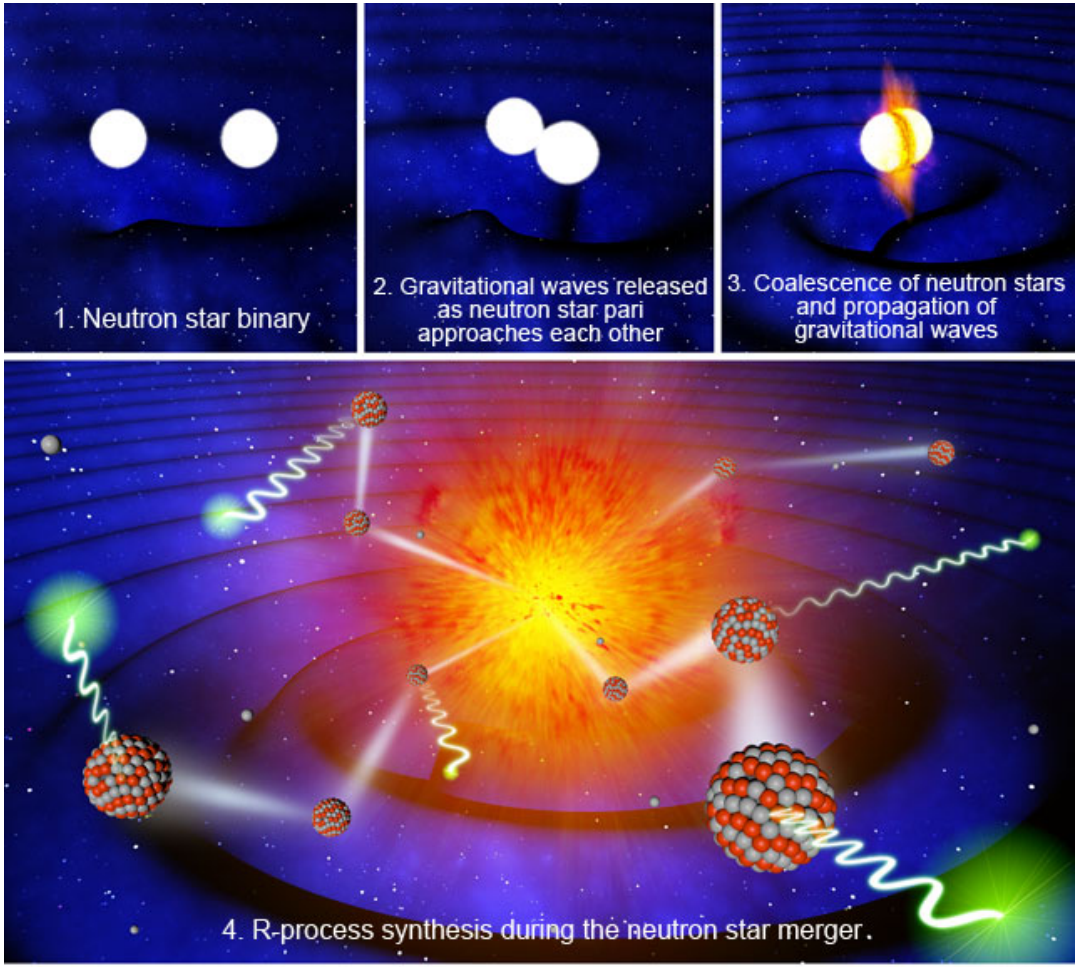
ESA

DECIGOとX線・硬X線観測のシナジー

2030年代に稼働する予定の、
X線・硬X線衛星による、
DECIGOとのシナジーは？

Pointing型のX線・硬X線衛星は視野が3'-30'程度なので、「位置が決まった後の観測」で有効。感度も高い。

○ 中性子星連星合体からのX線放射



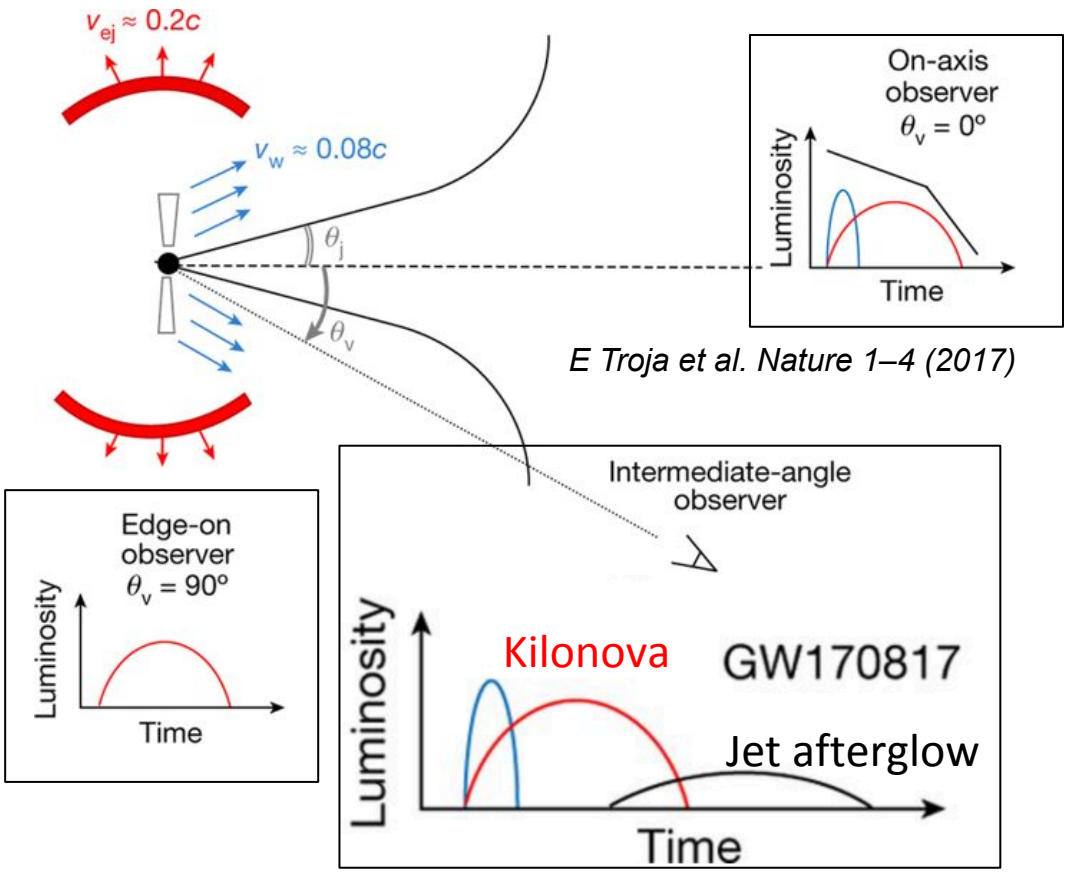
NAOJ

DECIGOとX線・硬X線観測のシナジー

2030年代に稼働する予定の、
X線・硬X線衛星による、
DECIGOとのシナジーは？

Pointing型のX線・硬X線衛星は視野が3'-30'程度なので、「位置が決まった後の観測」で有効。感度も高い。

○ 中性子星連星合体からのX線放射

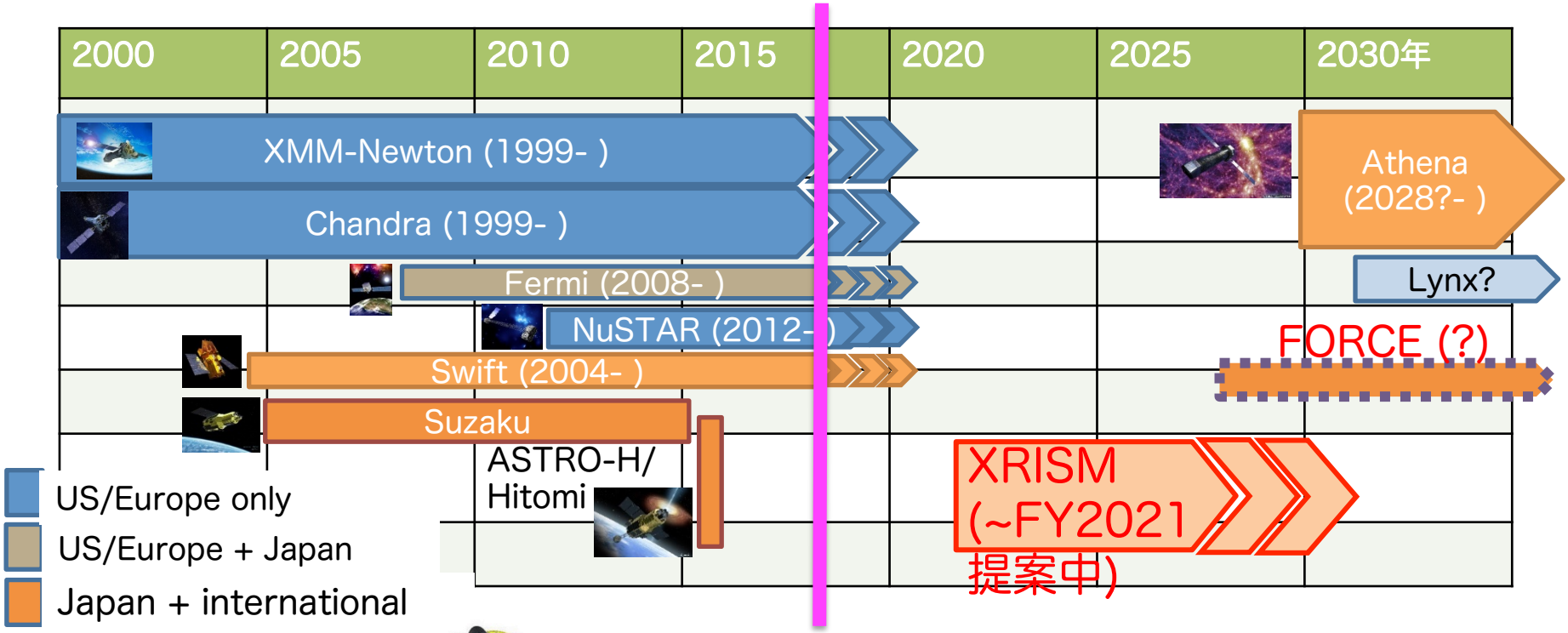


E Troja et al. Nature 1–4 (2017)

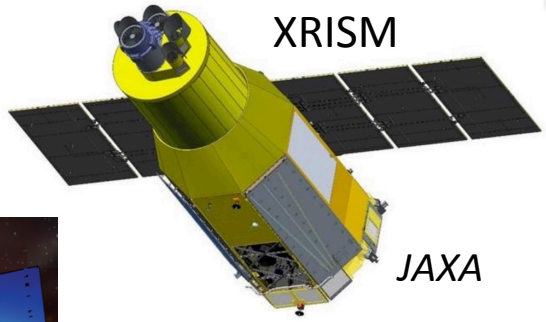
1. X線天文衛星Chandraが捉えた after glow → 将来はどこまで見えるか？
2. Kilonova/Macronova からのr-process 原子核からの核ガンマ線放射は見えないか？
3. DECIGOから「予告」を受けていると、何が変わるのか？

＋ 「現代のGRB観測」へ向けた、CubeSat衛星群による独自の試みの紹介(ref. 米徳さん talk)

1： 近未来のX線・硬X線観測衛星

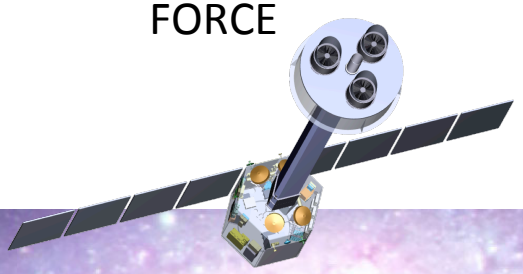


XRISM

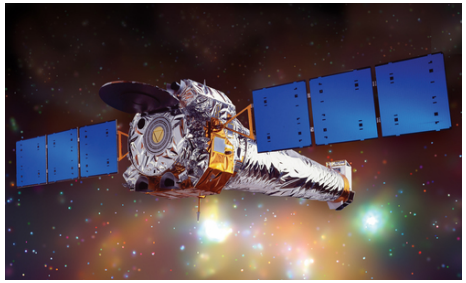


JAXA

FORCE



Chandra+XMM

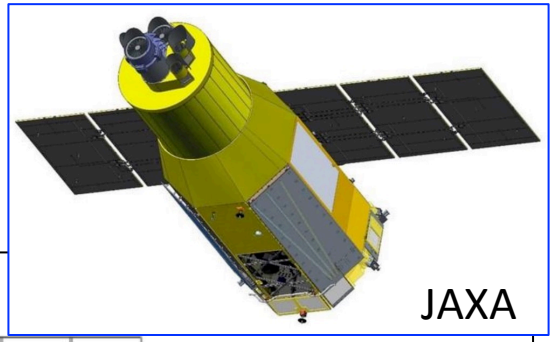


NASA/CXO

Athena

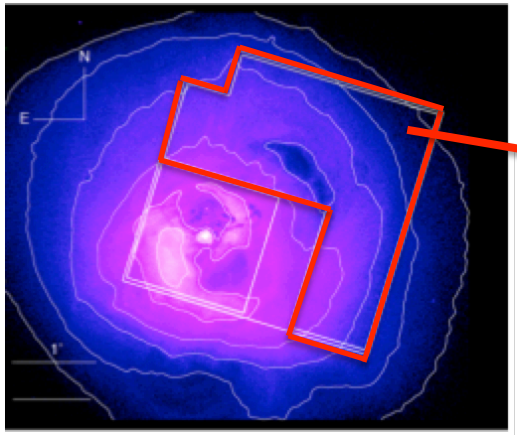
ESA

1-1 2020年代初頭 XRISM 衛星

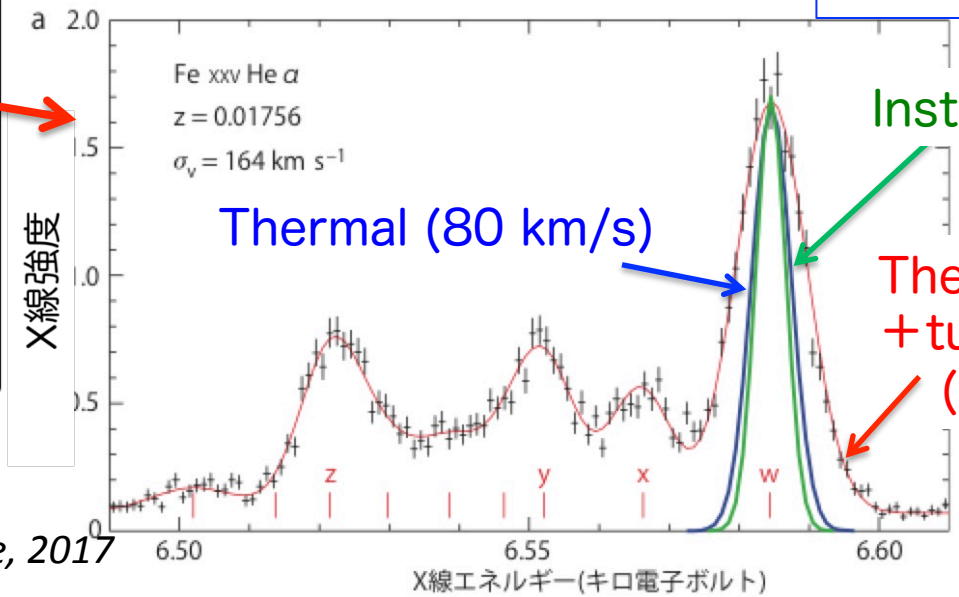


「ひとみ」X線超精密分光の実績

超精密X線分光時代の幕開け



Perseus cluster



Hitomi collaboration, Nature, 2017

ΔE = 5 eV の精密分光で、銀河団プラズマの乱流を世界で初めて定量化
(硬X線イメージャHXI、ガンマ線の検出器SGDも所期の性能を達成)

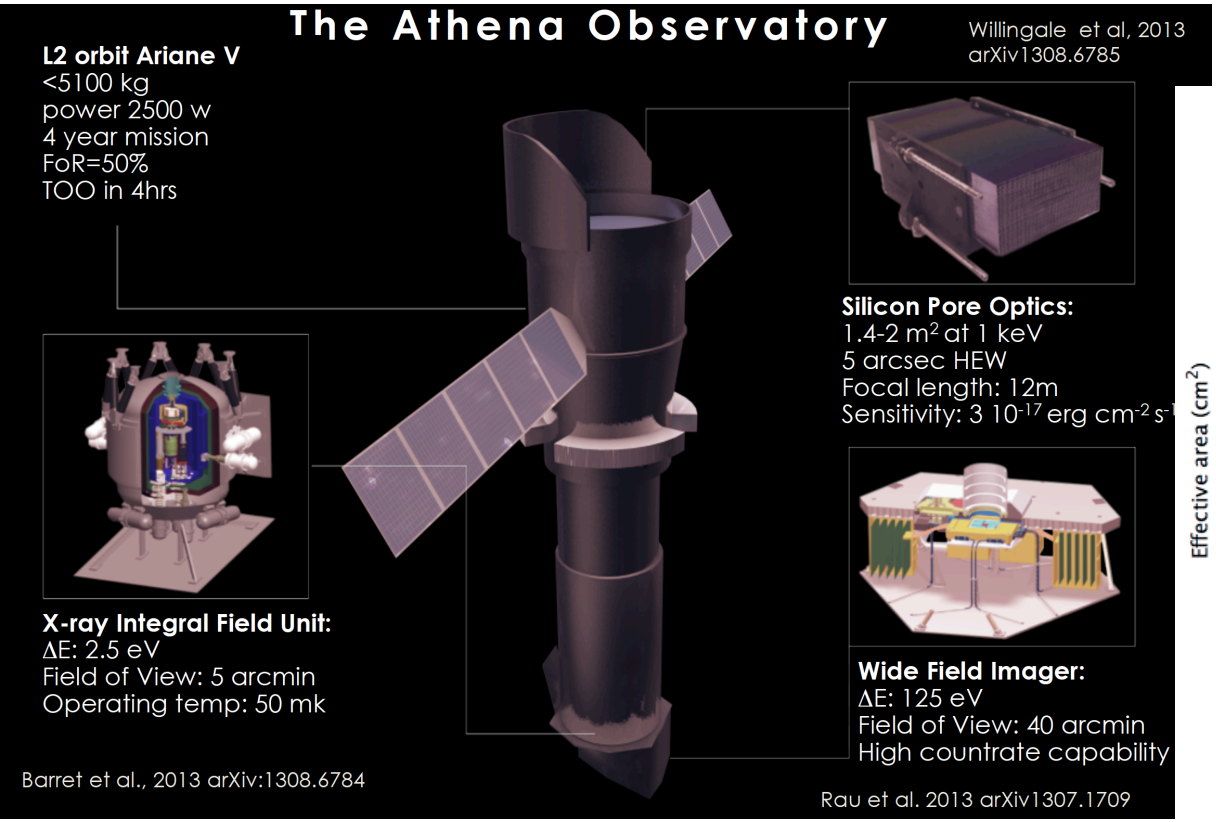
XRISM計画

名大：中澤、三石が参加

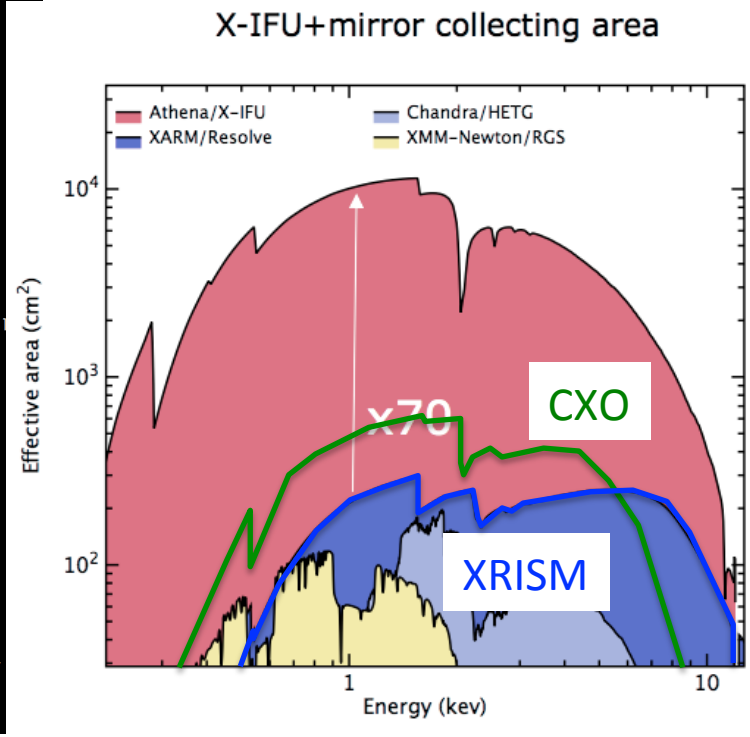
→ 軟X線の超精密分光(0.3-12 keV)と、広視野X線CCDを搭載し、FY2021打ち上げ予定(提案中)で、日米欧の連携で開発中

(残念ながら、角分解能~1'ゆえ、GW170817のafter glowは見えない)

1-2 ATHENA衛星 (2030年代)



Luigi Piro 2018 Volcano conf.

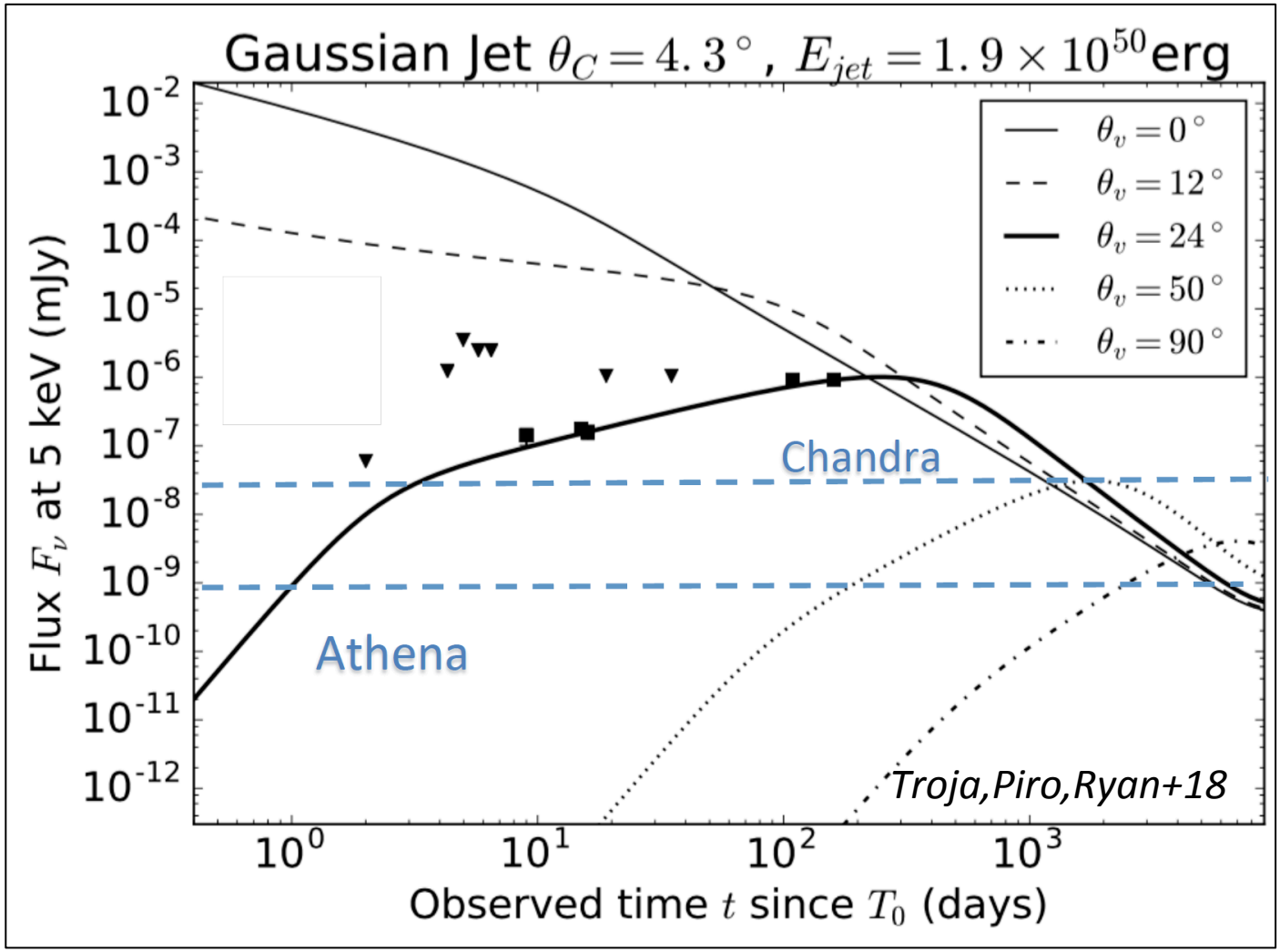


Luigi Piro 2018 Volcano conf.

WG-PI 阪大: 松本

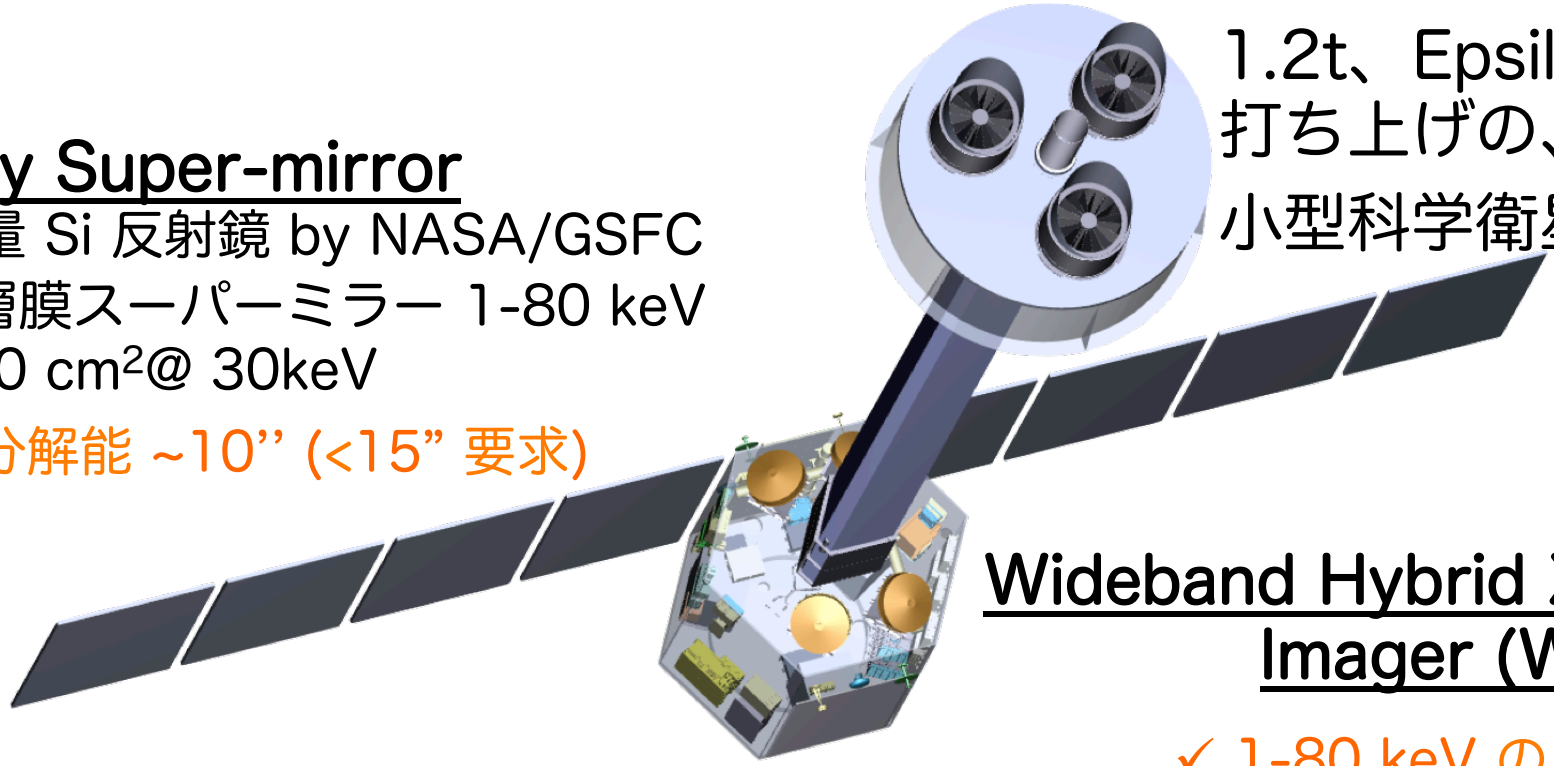
- ESAが~2030年打ち上げを目指して開発中の大型X線衛星。日本も参加。
- XRISMと比較して、精密分光 5 eV → 2.5 eV、有効面積 x70 倍

1-2 ATHENA衛星 (2030年代)



GW170817のafter glowは見える
→ 吸収線を使って周辺物質を探る？

1-3 硬X線衛星 FORCE ~2026年打上目標



1.2t、Epsilon
打ち上げの、
小型科学衛星

X-ray Super-mirror

✓ 軽量 Si 反射鏡 by NASA/GSFC
✓ 多層膜スーパーミラー 1-80 keV
370 cm^2@ 30keV
✓ 角分解能 ~10'' (<15" 要求)

Wideband Hybrid X-ray Imager (WHXI)

✓ 1-80 keV の広帯域
✓ 「ひとみ」HXIの発展
(NuSTAR~の1/4のBGD)

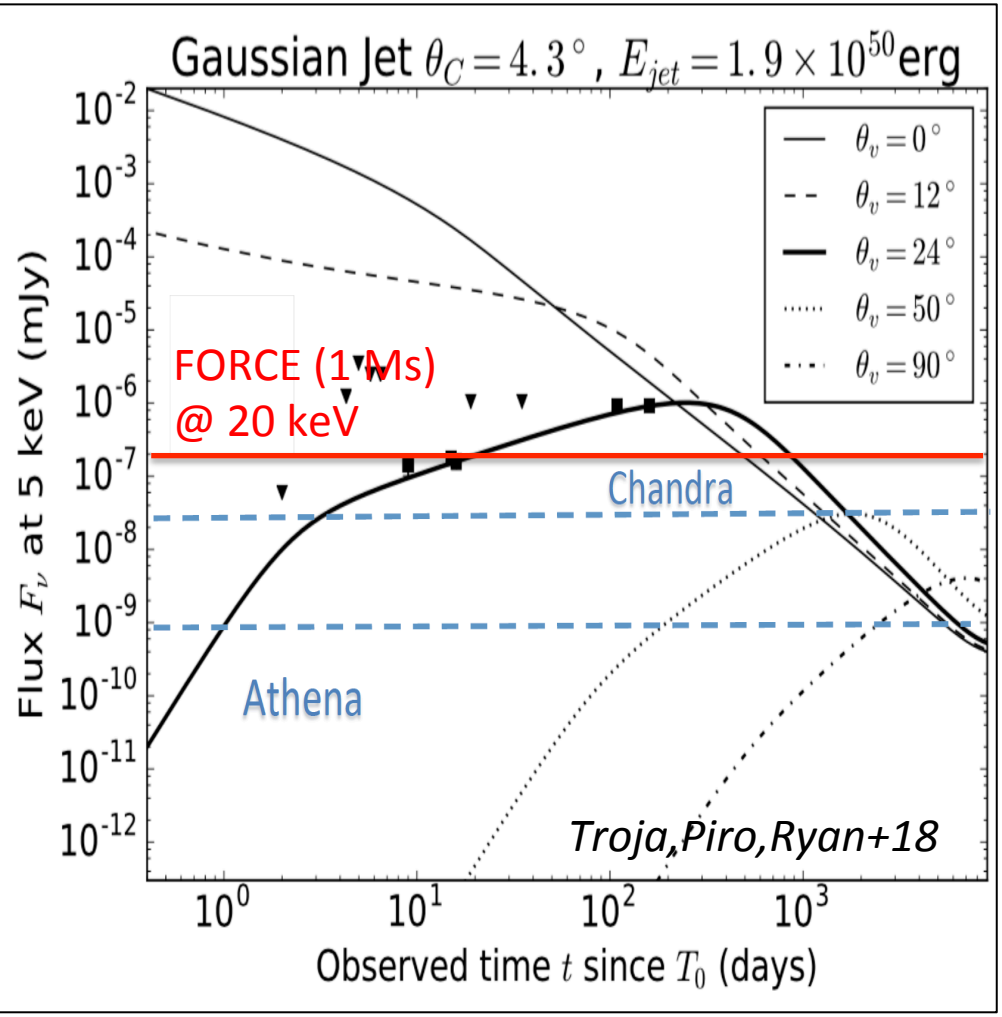
- 10''の角分解能、~10'x10' の視野
- 1-80 keV 帯域、ΔEは CCDレベル
- NuSTARの1桁上の感度
  F_X < 3×10^{-15} erg/s/cm^2 @10-40 keV with 1Ms

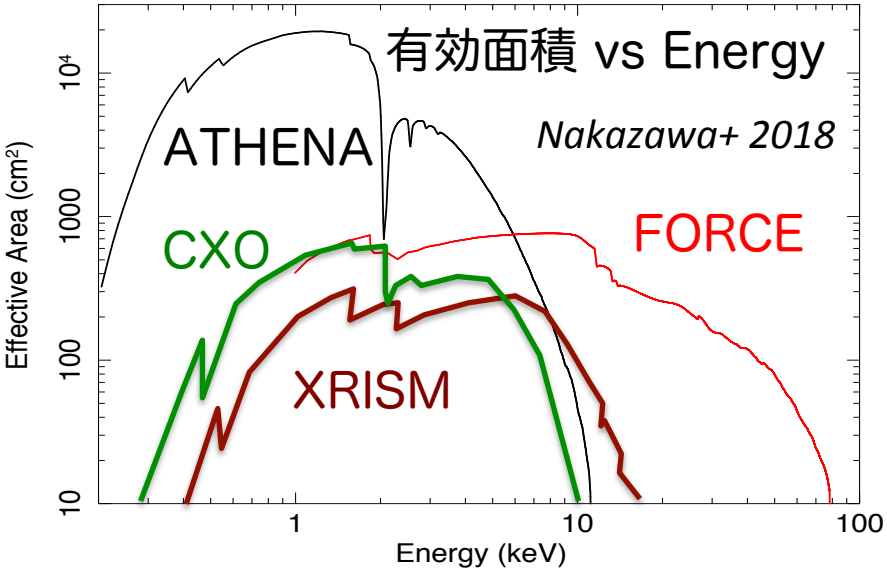
Mori+ 2016 SPIE, Nakazawa+ 2018 SPIE

2-1 近未来のafterglow観測

NuSTARはGW170817の
after glowは見えないが、
FORCE なら見える。

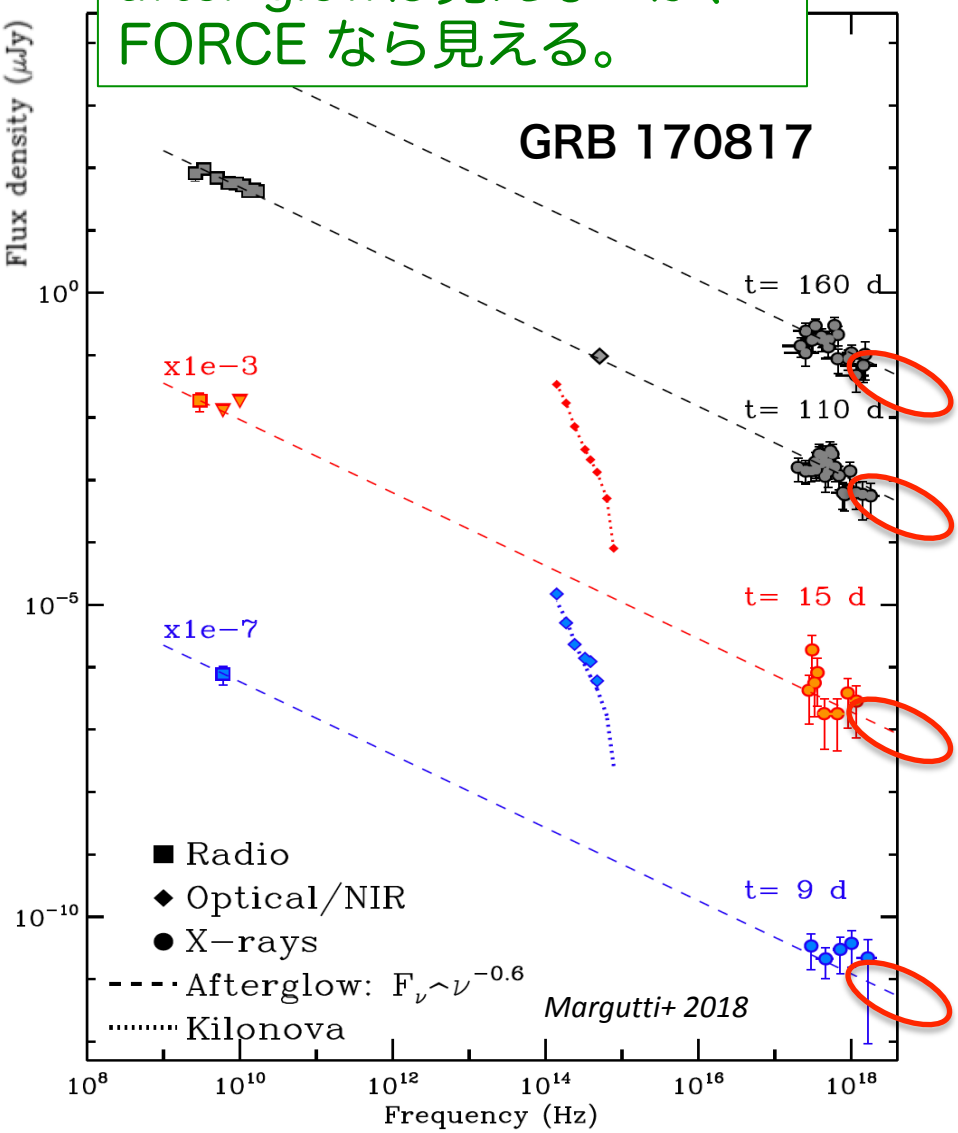
- ATHENAは大面積とΔEで軟X線分光
- FORCEは帯域を１桁広げる



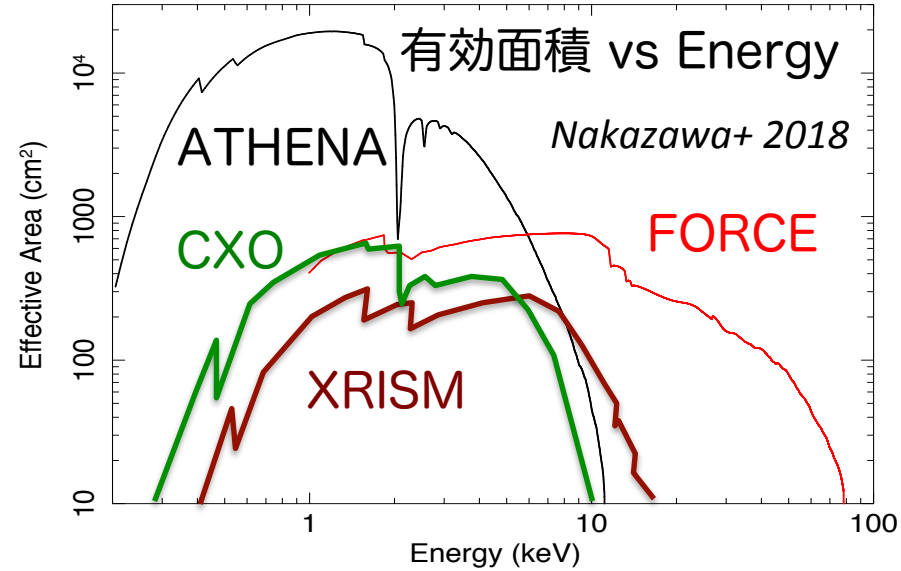


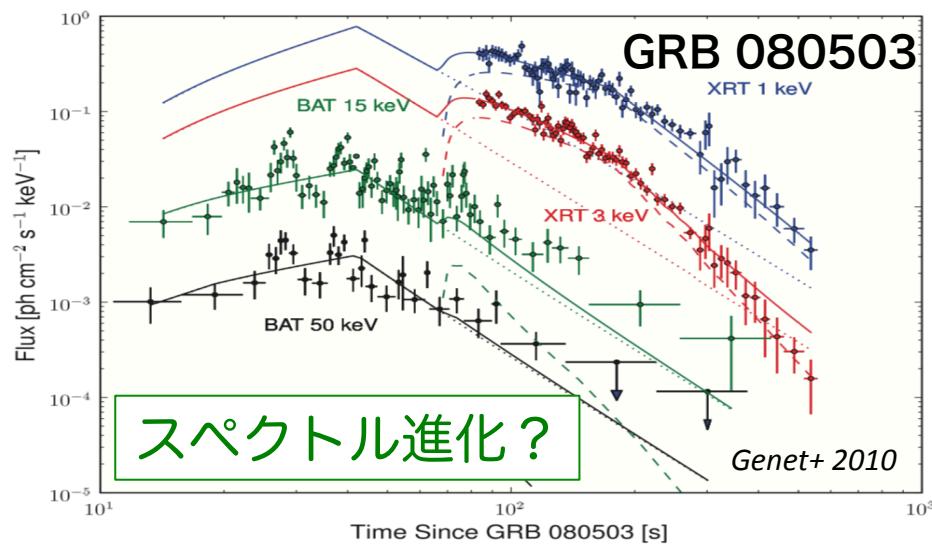
2-1 近未来のafterglow観測

NuSTARはGW170817の
after glowは見えないが、
FORCE なら見える。

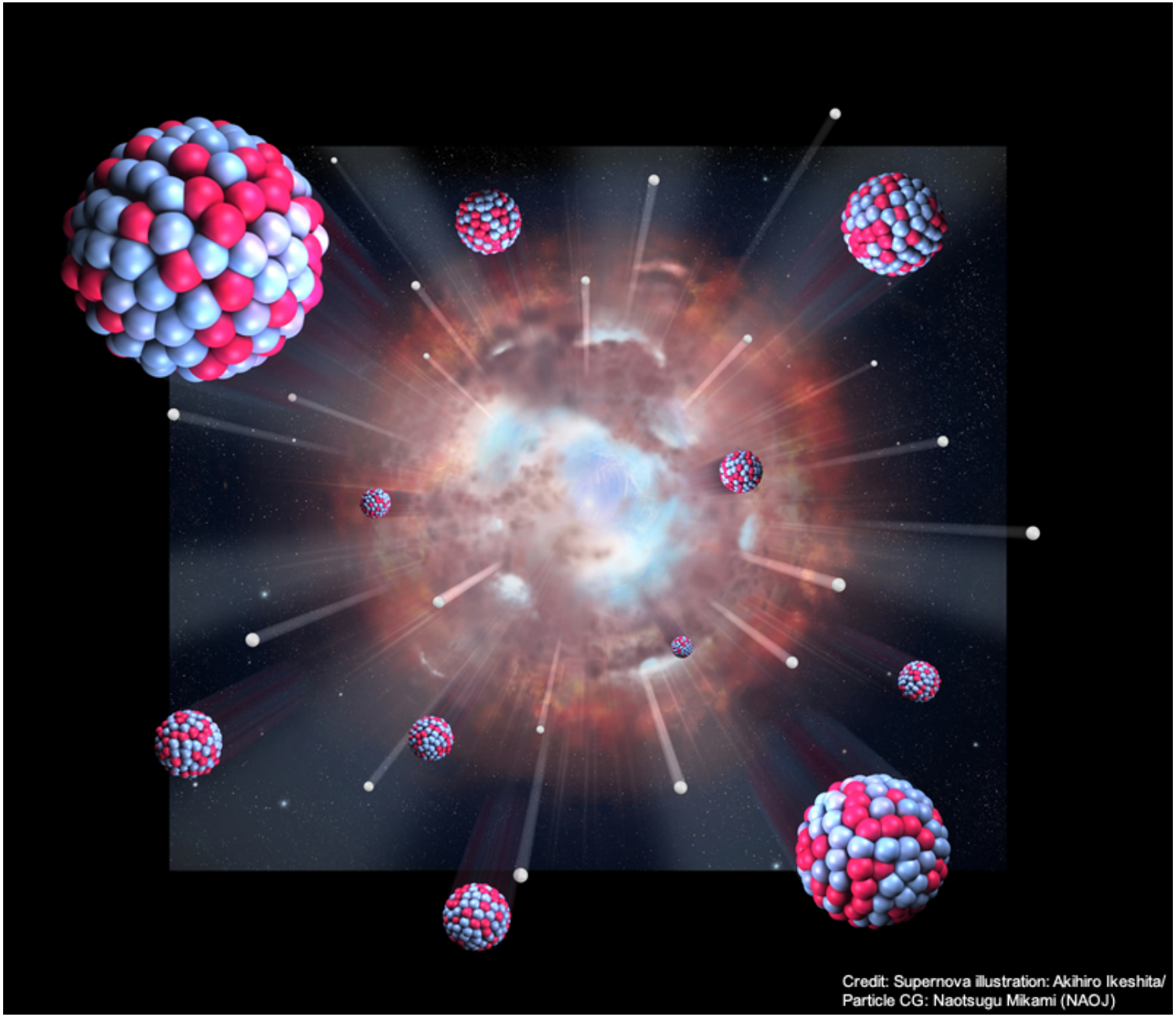


- ATHENAは大面積とΔEで軟X線分光
- FORCEは帯域を１桁広げる





2-2 Kilonova の核ガンマ線は見えるか？



NAOJ

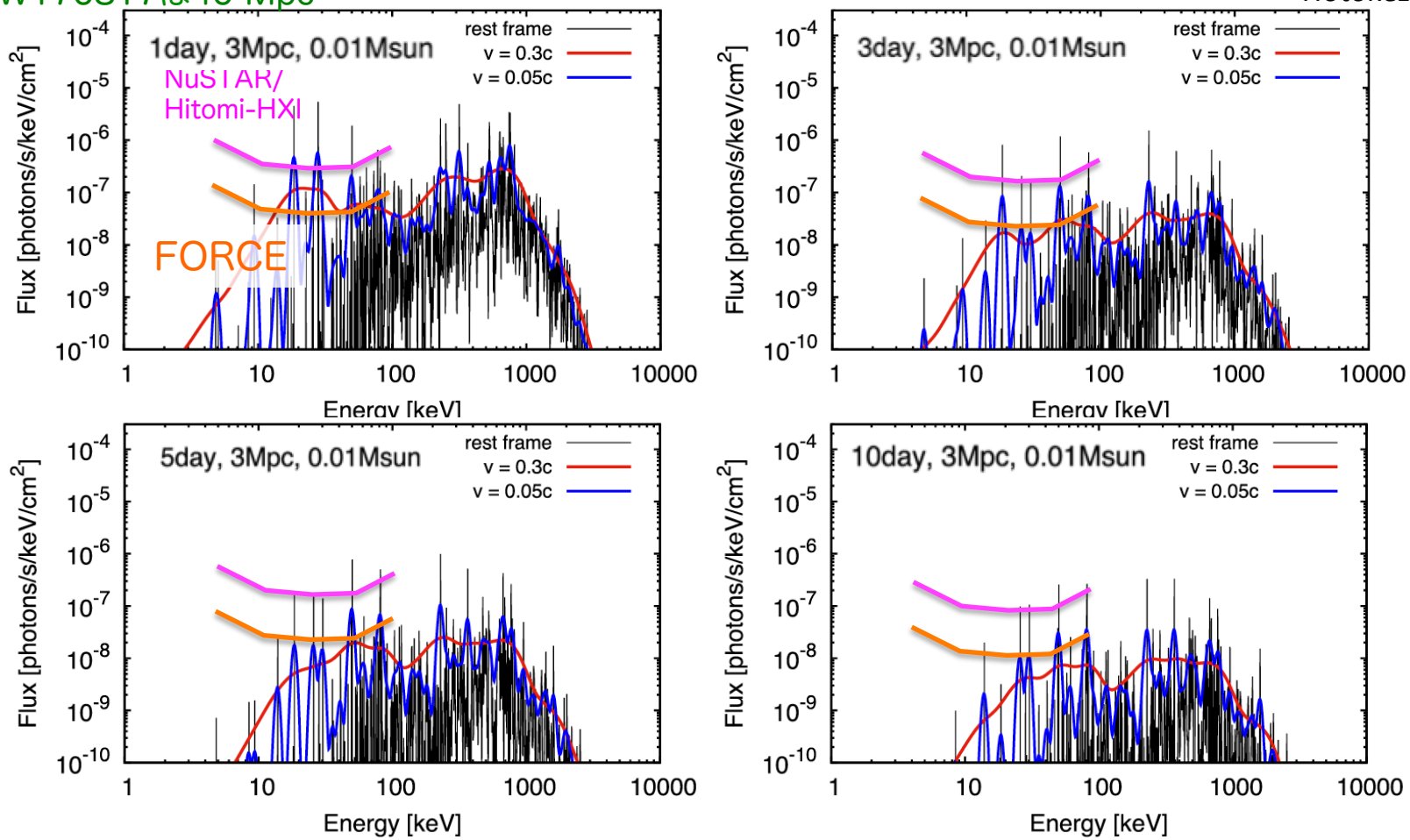
2-2 Kilonova の核ガンマ線は見えるか？

3 Mpcの非常に近傍な例であれば ➡

- FORCEでは、運が良ければ＝「チャレンジング」
- もう1桁の次世代？ (例えば1秒角ミラー)

GW170817は40 Mpc

Hotokezaka+ 2016



（硬X線の上のMeV帯域の次世代衛星は、まずはSNIa, SN-II 狙い）

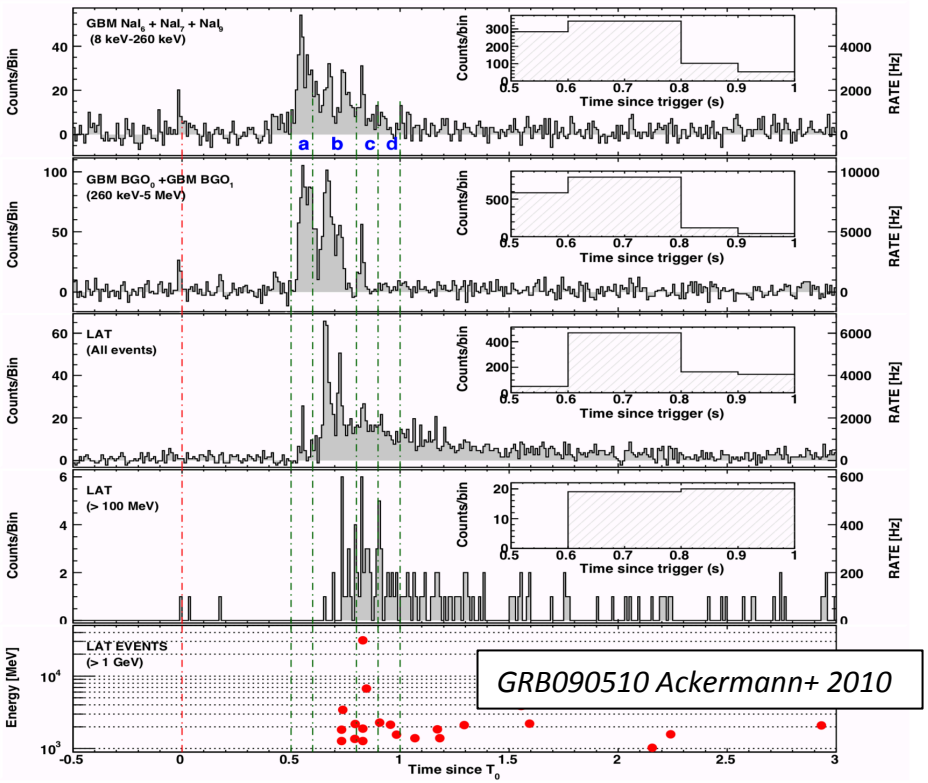
3: DECIGOからの「予告」があれば？

1週間前に1arcmin精度(*Takahashi+Nakamura 2005*) → X線衛星運用上は十分

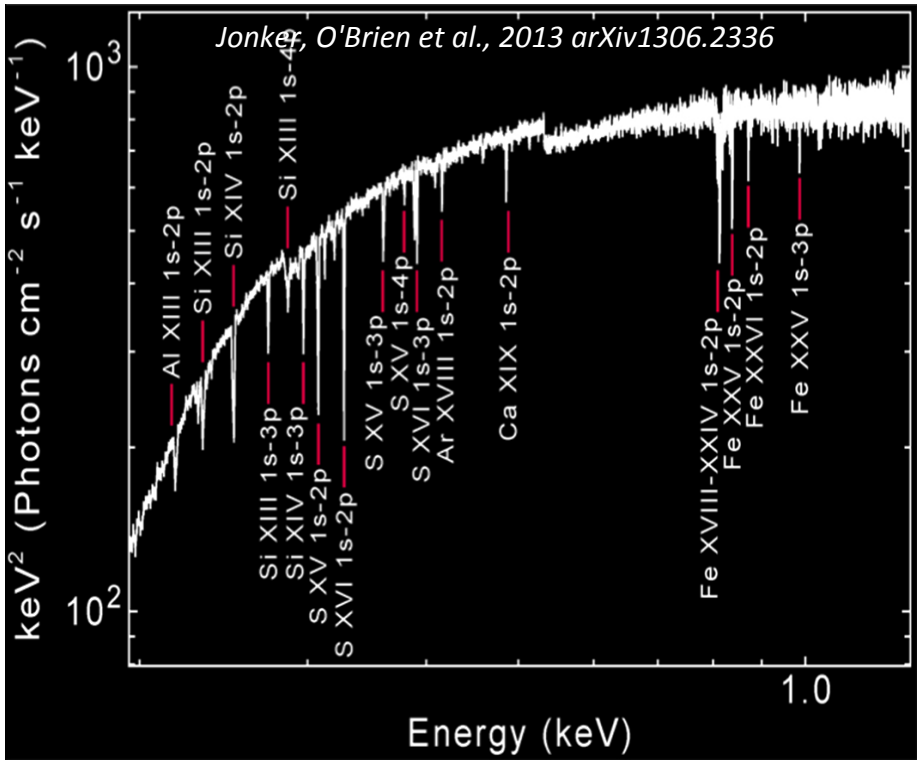
- Short GRB の内部構造の解析
- Short GRB 放射を用いた「周辺物質探査」
- jetが横向きの場合、合体初期の放射は？

ATHENA +FORCEなどで十分可能

2日前ならOK

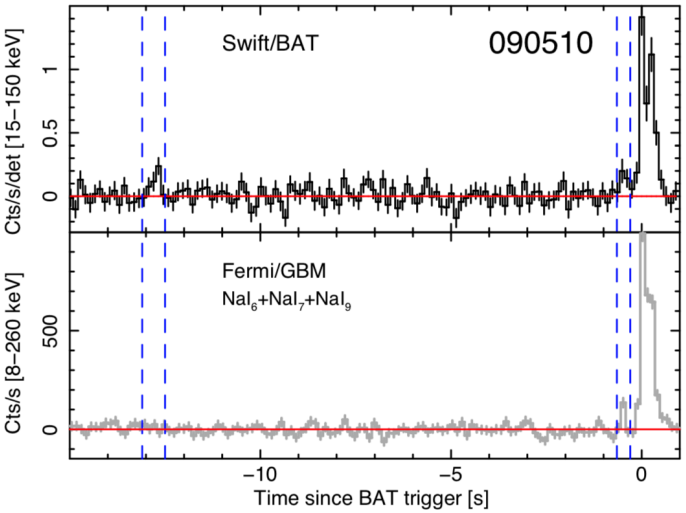


GRB090510 Ackermann+ 2010

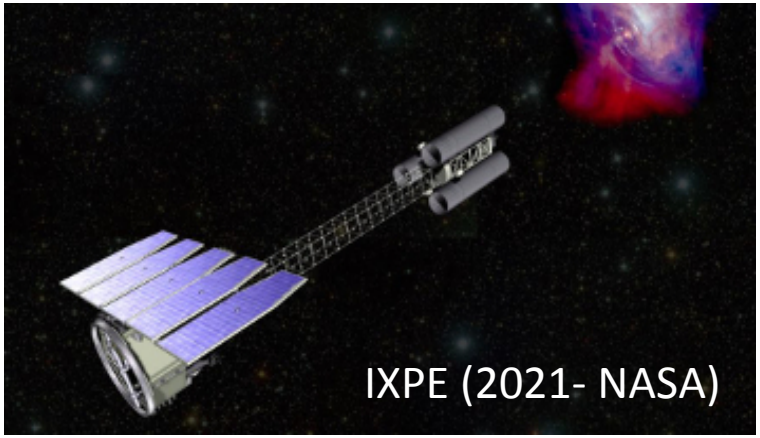


3: ゆめは膨らむ → 発想を変えて備える

- 例えば、shortGRBのプリカーサー問題 → 必要な帯域は？



- 例えば、X線偏光衛星(IXPE 2021-の後継)による偏光面移動の観測

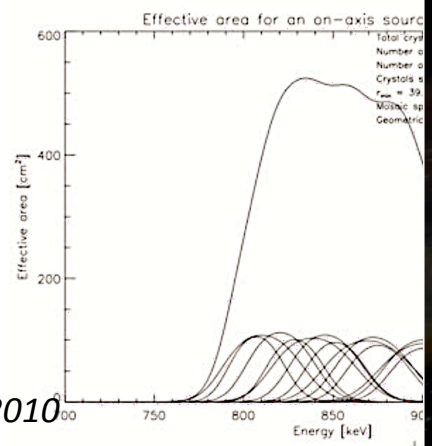


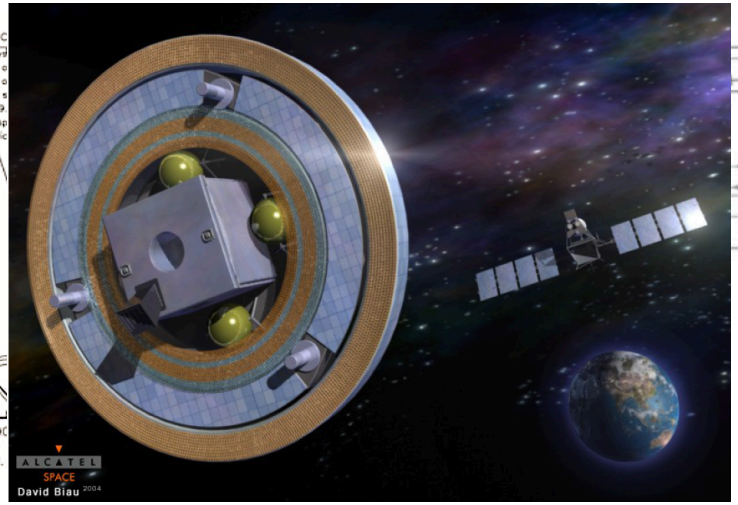
参加
名大：三石

Weisskopf, Martin C., et al., Results in Physics, Volume 6, 2016

- 例えば、「ガンマ線レンズ」衛星も検討してよいかも？

✓ 視野が狭い
✓ 帯域も狭い
✓ でも、ピンポイントの感度は高い



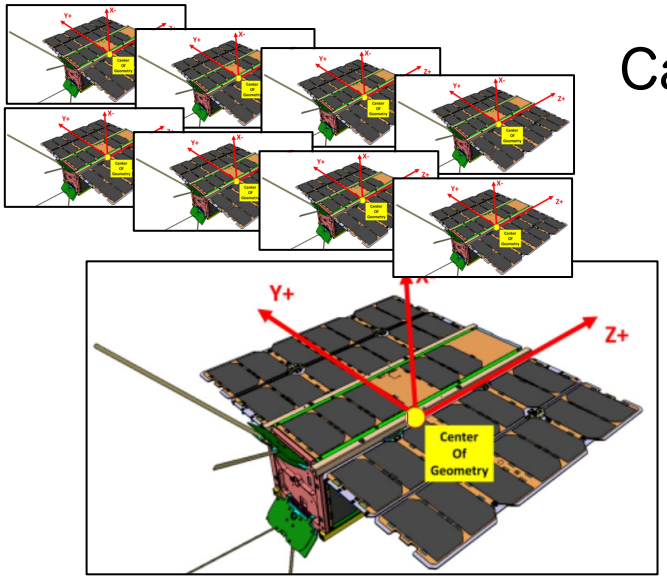


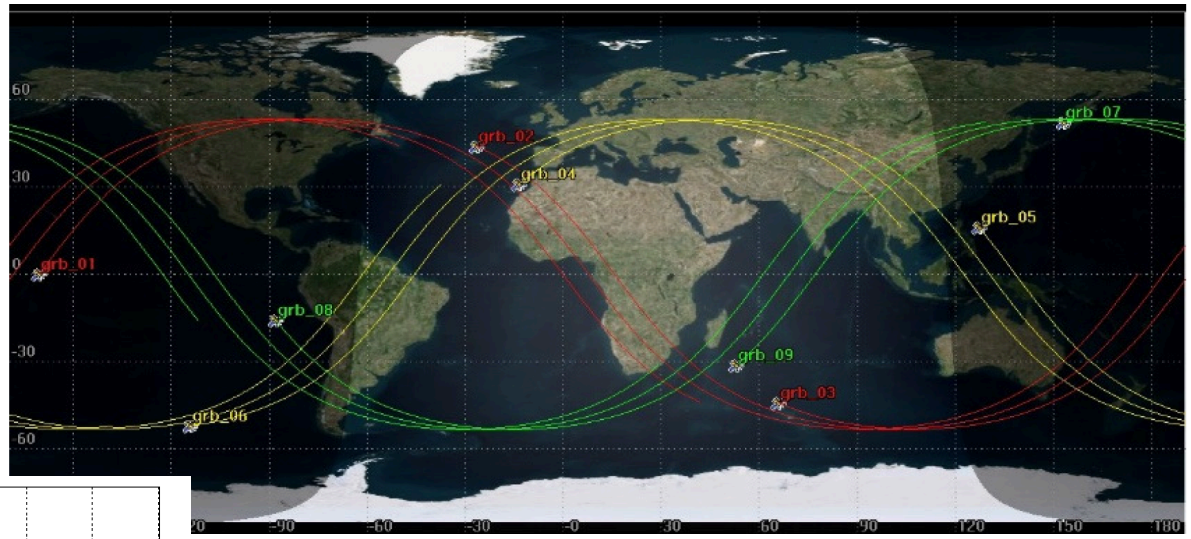
P. v. Ballmos (incl. Nakazawa) et al. 2010

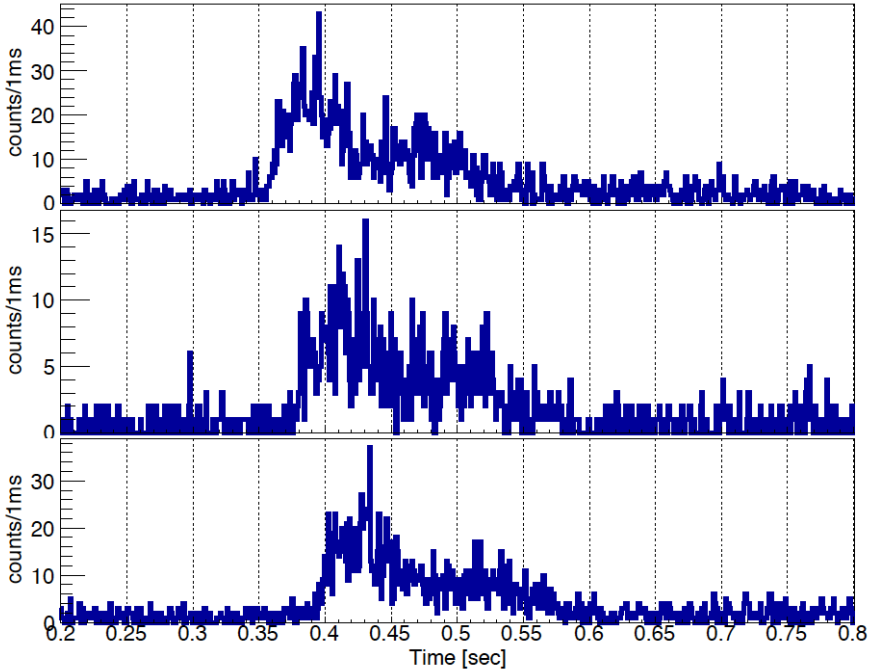
余談：CubeSate編隊で探るshort GRB

ブタペスト大、広島大学、名大など

Camelot 計画 *Werner+2018, M. Ohno+2018*







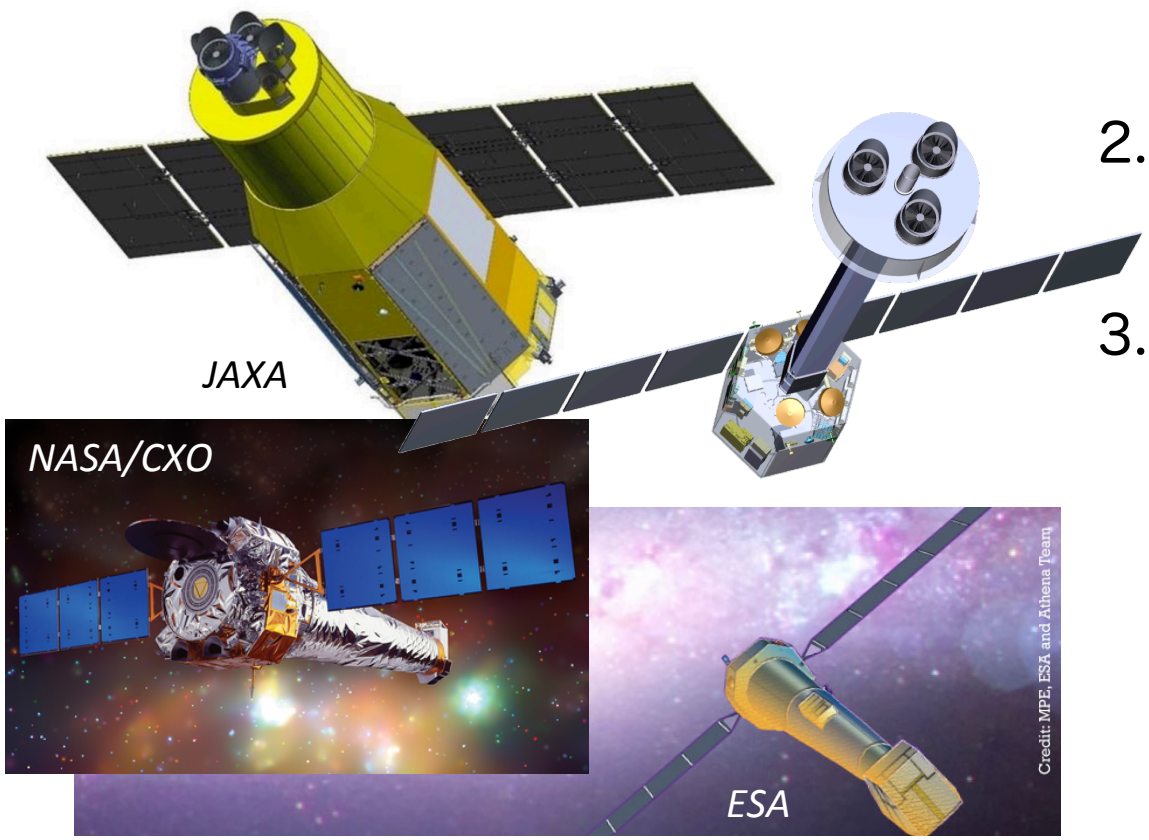
- GPSで時刻づけしたCubeSat群による、Time of Arrival 解析
- short GRB特化であるが、9機を打ち上げれば明るいsGRBにたいし、「全天で」10’-30’ で位置決め可能。

他にもHermes 計画(伊) など同様の検討が世界中で進んでいる。

まとめ

2030年代に稼働する予定の、
X線・硬X線衛星による、
DECIGOとのシナジーは？

Pointing型のX線・硬X線衛星は視野が3'-30'程度なので、「位置が決まった後の観測」で有効。感度も高い。



1. X線天文衛星Chandraが捉えた after glow → 将来はどこまで見えるか？
2. Kilonova/Macronova からのr-process 原子核からの核ガンマ線放射は見えないか？
3. DECIGOから「予告」を受けていると、世界が変わる。専用衛星を検討しても良いはず。