



ATHENA³

の現状について

松本浩典(名大KMI), 満田和久, 山崎典子(ISAS),
常深博 (阪大), 鶴剛(京大), 栗木久光(愛媛大)

松本がKMI2017のため代理です。



内容

- Athena計画の概要と目的
- Athena計画の進捗と今後の進みかた
- 日本のAthenaへの参加状況
- 今後の進め方

ATHENA

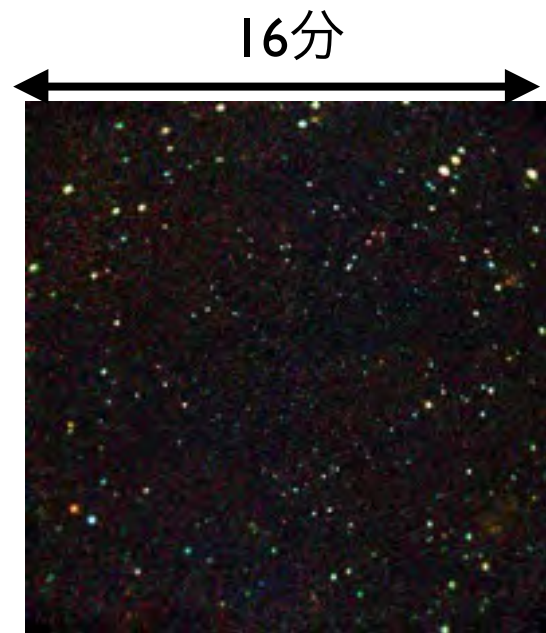
(Advanced Telescope for High-Energy Astrophysics)



- ESA Cosmic Vision L2に採択された, "Hot and Energetic Universe"をconceptとする2028年打ちあげ予定のミッション, 2030年代に稼働が確定している唯一のX線天文台衛星
- ヨーロッパを主体とするが, 技術的にもコスト的にも日米をふくめた3極体制で開発を進めている。
- ミッション提案時のスペック
 - 空間分解能5秒角, 面積 2m^2 @1keVのSilicon ミラー SPO
 - 直径40分, アクティブピクセル化で高速読出しを可能としたDEPFET検出器(WFI)
 - 3840画素 (直径5分, エネルギー分解能2.5 eVのマイクロカロリメータ(X-IFU))



X線によるAGN:これまでのdeepest study



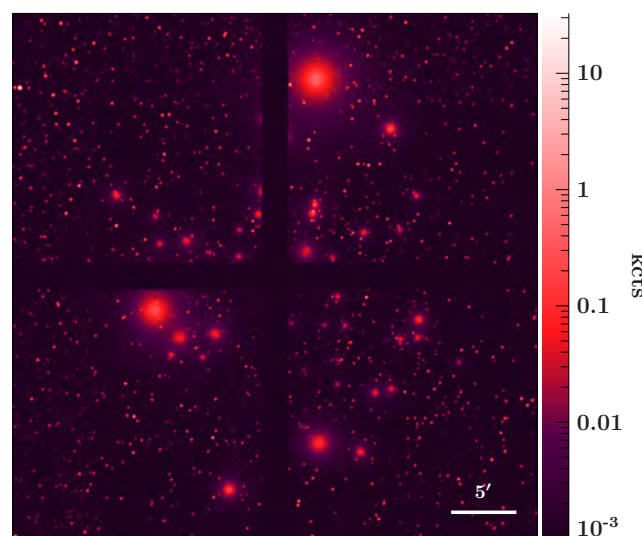
Chandra Deep Field-South

1999-2000年に1Msecをかけて取得された16分角の
イメージから~500個のX線源を検出⇒

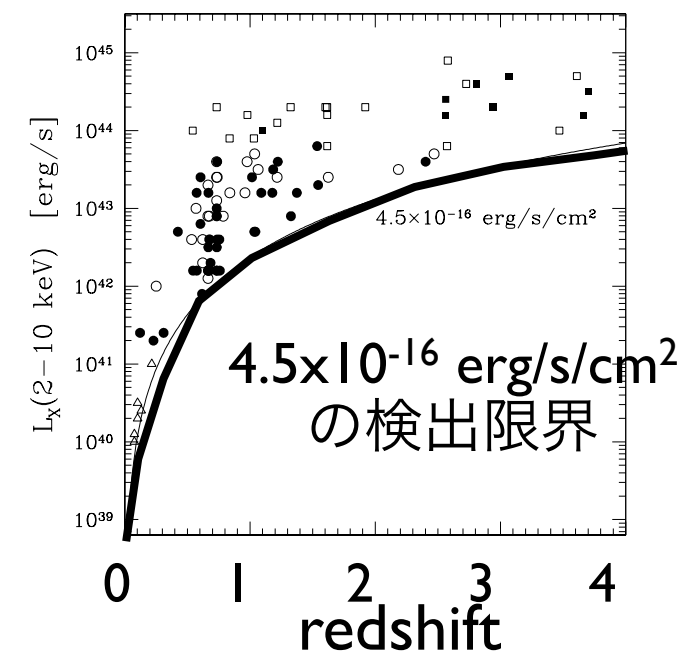
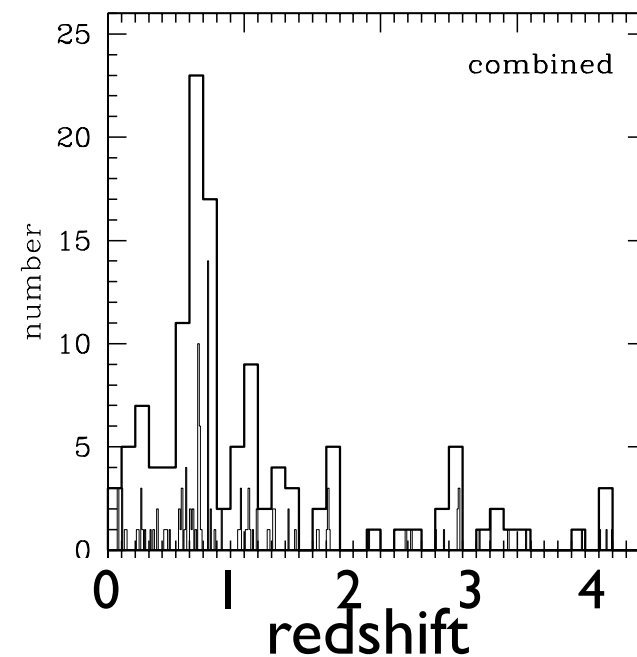
ESO/MLTなど多くのフォローアップで $z < 4$ のAGNと同定

(Chandra/XMMも観測追加で現在は7Msまで深めている)

CDF-S
Chandra 1Msec



Athena Sim.
WFI 100ksec

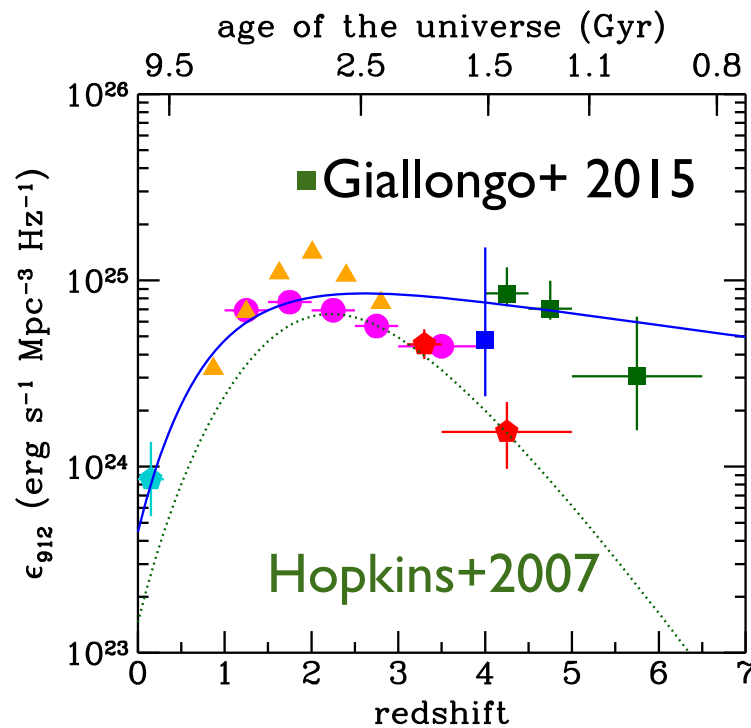


Szokoly et al. 2004

遠方宇宙へ: AGN at $z > 4$ の意味



Madau & Haardt 2015



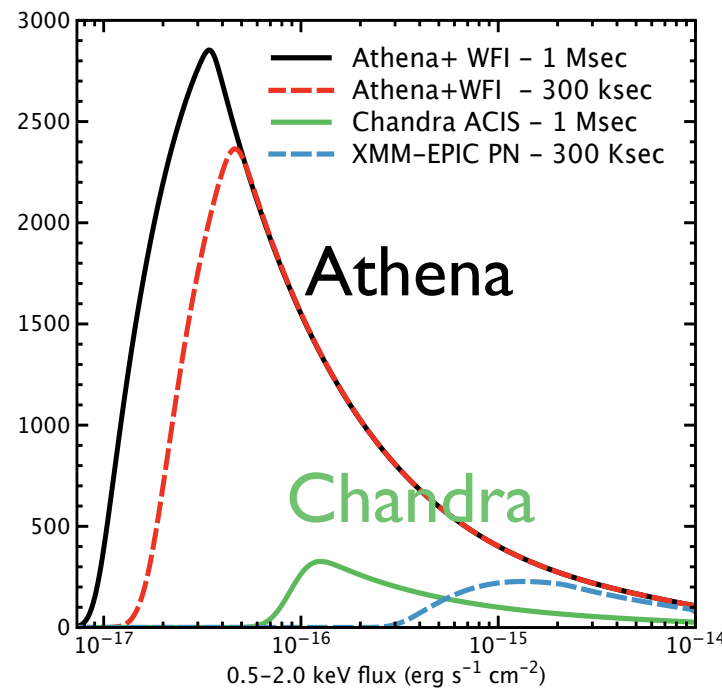
Planckによる τ の測定(0.066 \pm 0.016)から宇宙の電離は $z=8.8(+1.7-1.4)$ で始まった。
 \Rightarrow 星形成で説明がつくか？

Giallongo+ 2015 $4 < z < 6$ のIR観測でAGN検出

- AGNが再電離に大きく寄与した可能性がある。
- ただしCDFでも検出期待値は0.2個程度であり系統的研究はできていない。

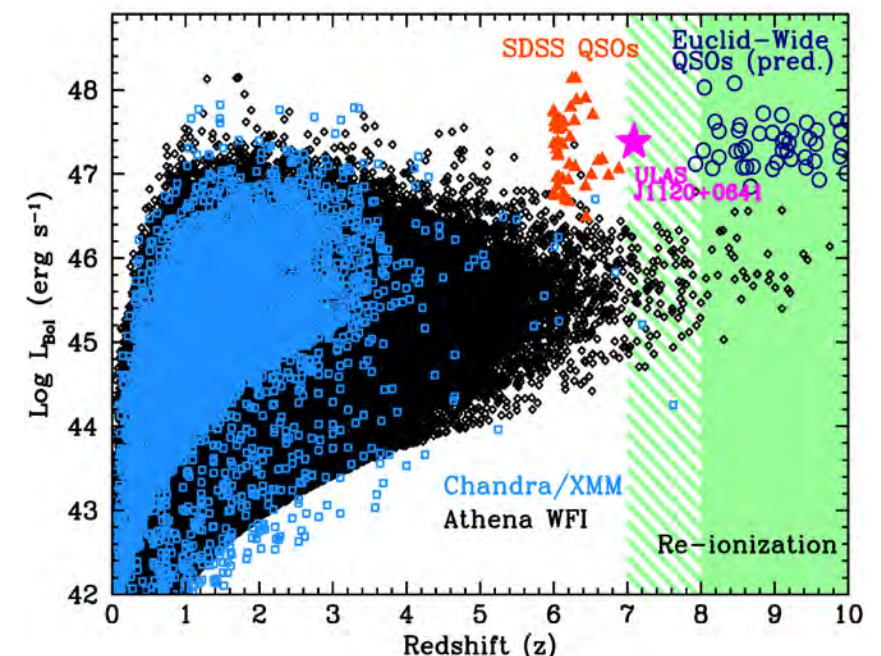
AGNのX線が再電離に寄与しても、2keV以上のX線バックグラウンドには影響しないので、矛盾は生じない。(Madau&Haardt 2015)

観測で期待される天体数



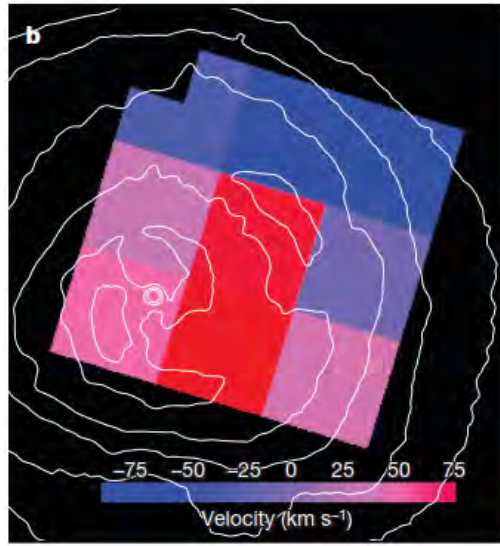
点源強度

Athena: 5秒角の分解能で Confusion limitに達し、 $z > 5$ を越えたAGNの光度関数にせまることができる。



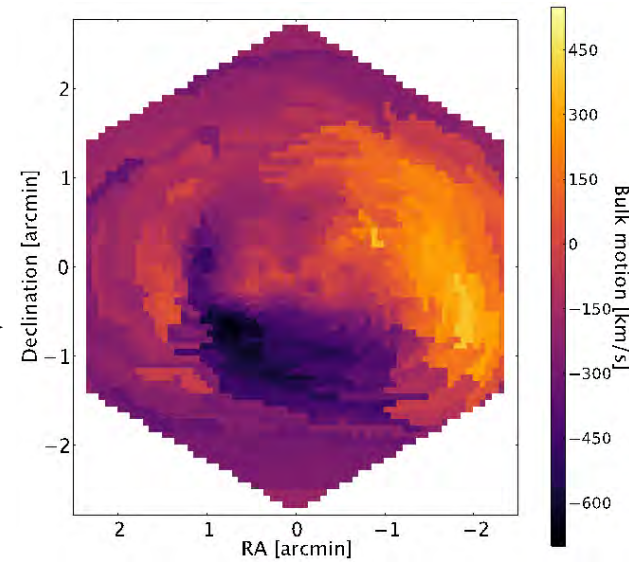
X線でしか見えないIGM

Astro-H/SXS
data
ペルセウス座銀河団



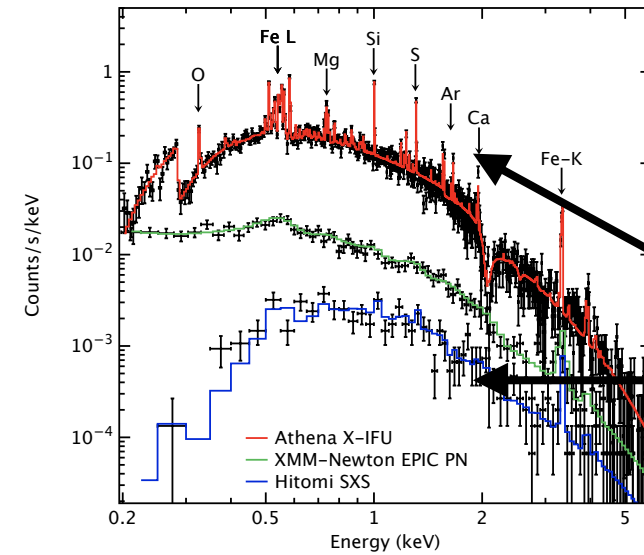
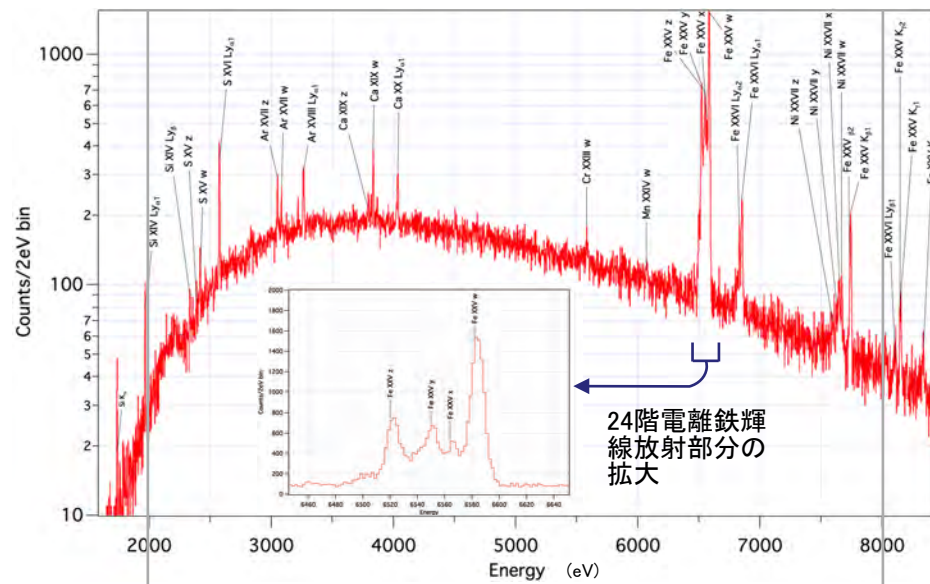
Nature 2016, 535, 119

Athena/X-IFU simulation



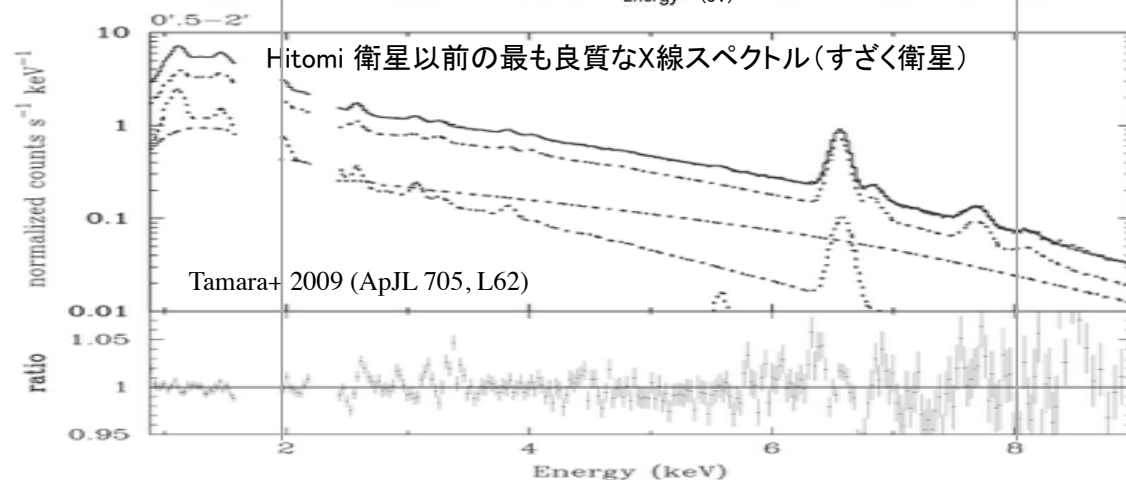
A2256

Courtesy: P. Peille, E. Pointecouteau, V. Biffi, E. Rasia, K. Dolag, S. Borgani, J. Wilms



$z=1$, $kT=3\text{keV}$ の
典型的銀河団
Athena 50 ksec
SXS

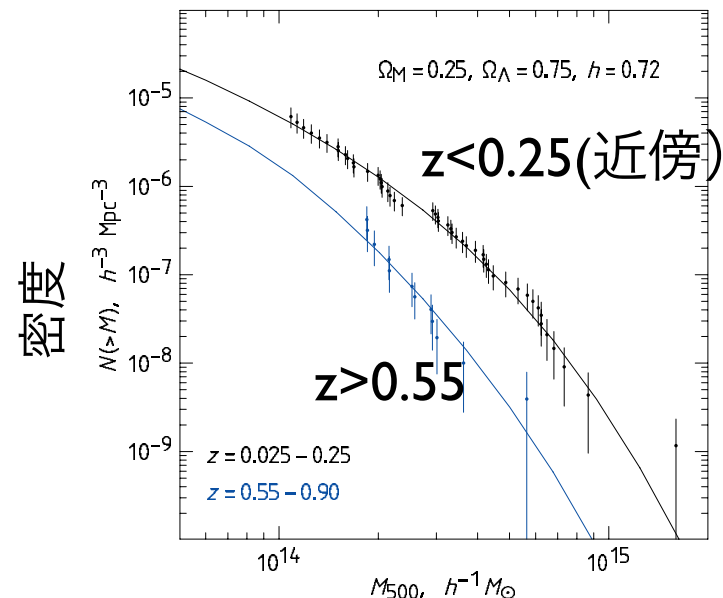
Barret+2016



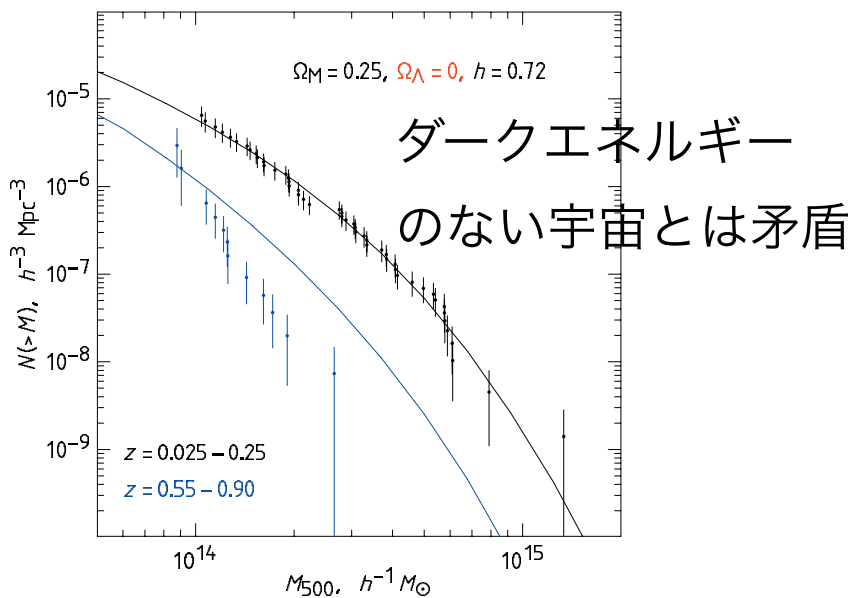
銀河団の成長と宇宙論パラメータ

銀河団は近傍宇宙で急速に成長⇒質量関数がダークエネルギーに敏感

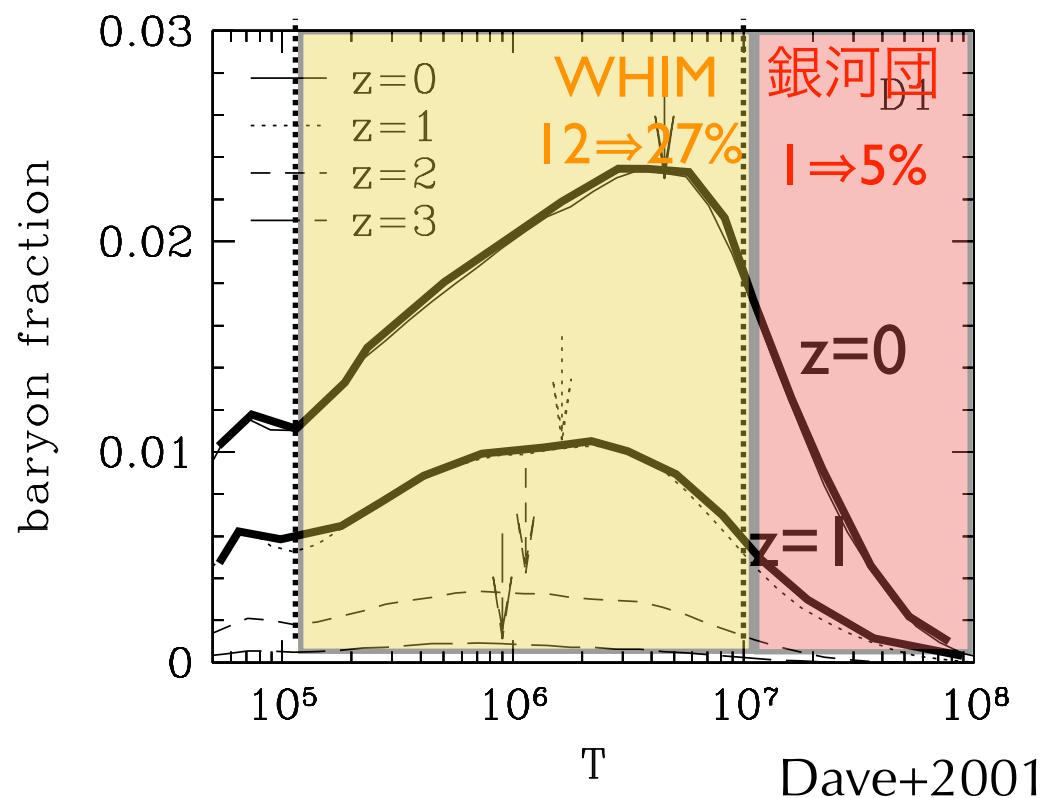
ただし、X線の温度分布から質量に戻すときに非熱的運動の考慮が必要



銀河団質量



Vikhlinin +2007

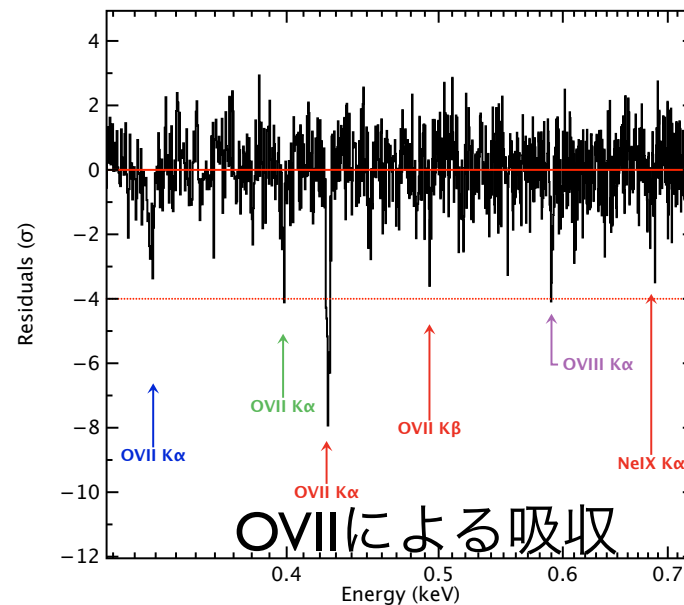


Dave+2001

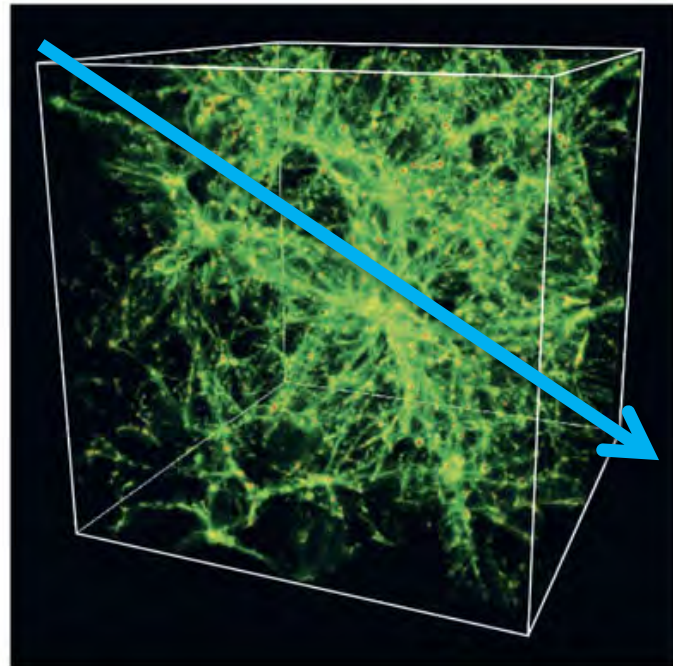
宇宙の構造形成（網目状の物質集中）は $z < 2$ で急速に成長し、バリオンの温度が1000万度を越える銀河団、10万度から1000万度の中高温物質(WHIM)が生成されたと考えられているが、直接観測は未だ限定的

X-ray forest

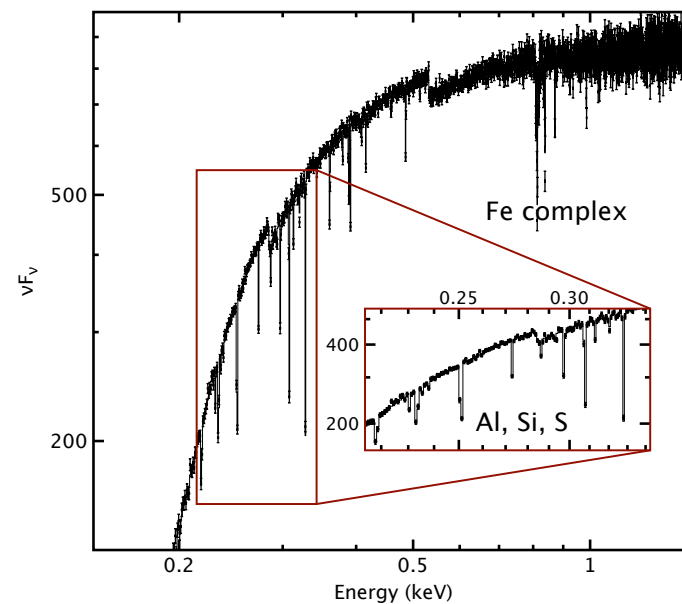
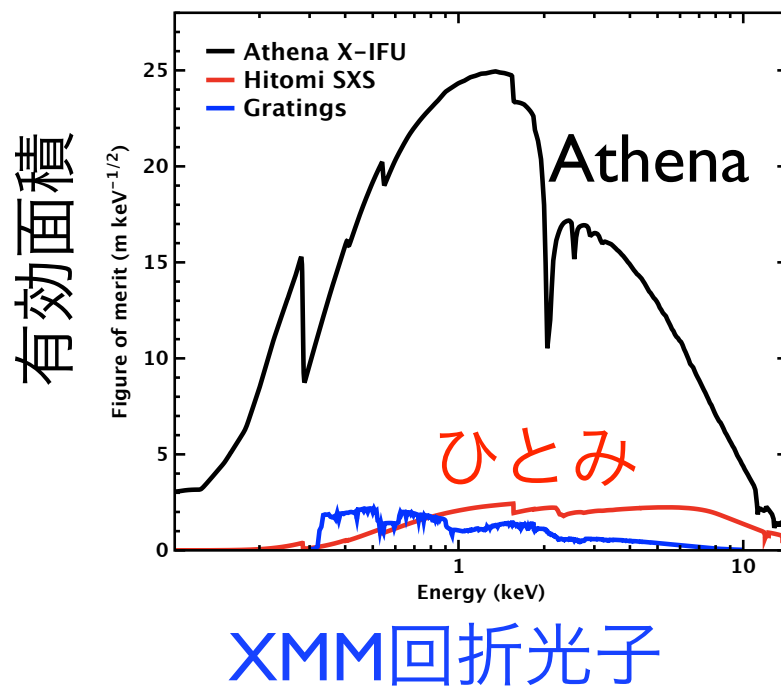
Barret+2016



$z=0.86$ のBL Lac 3C454.3の100ksec観測でのWHIMによる吸収構造検出のシミュレーション (XMM/RGS $\sim 100\text{cm}^2$ によるMkn 421の観測では検出できず)



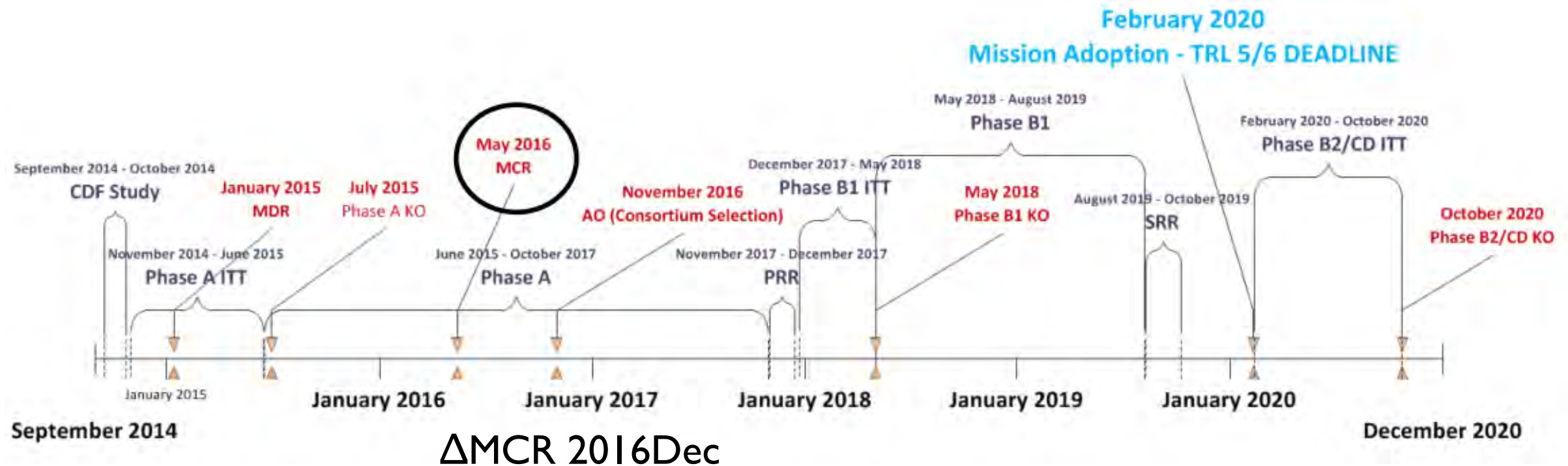
Cen & Ostriker 2006



$z=7$ のGRBのafter glowの観測シミュレーション, $2 \times 10^{22}\text{cm}^{-2}$ 相当の銀河中にAl, Siなど重元素が生成されていると仮定

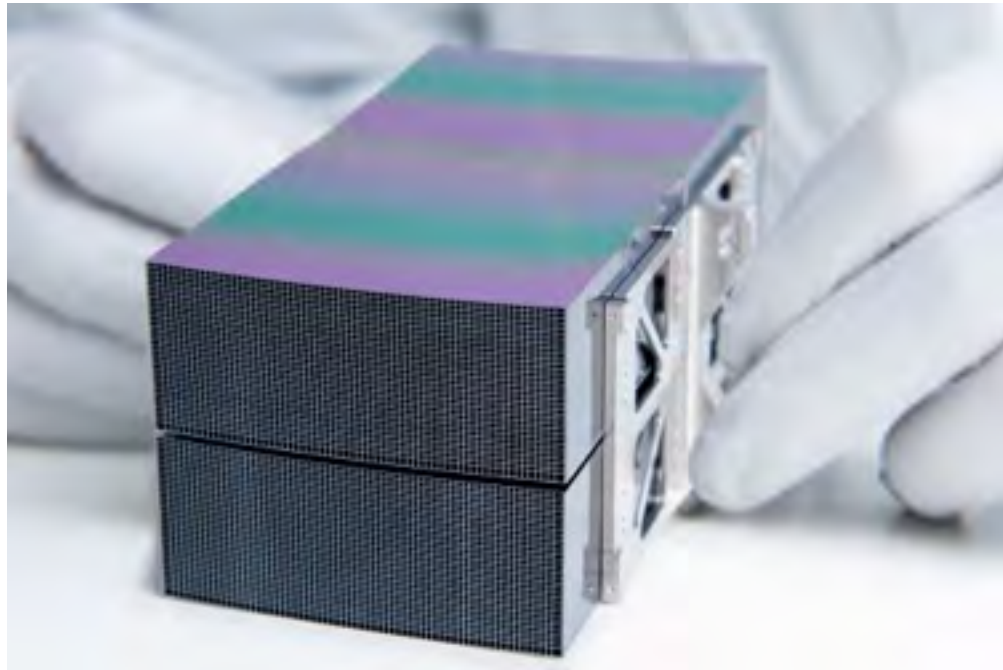
銀河団周辺のWHIM emissionだけでなく、吸収を用いたX-ray forestを見ることを可能にする。

Schedule



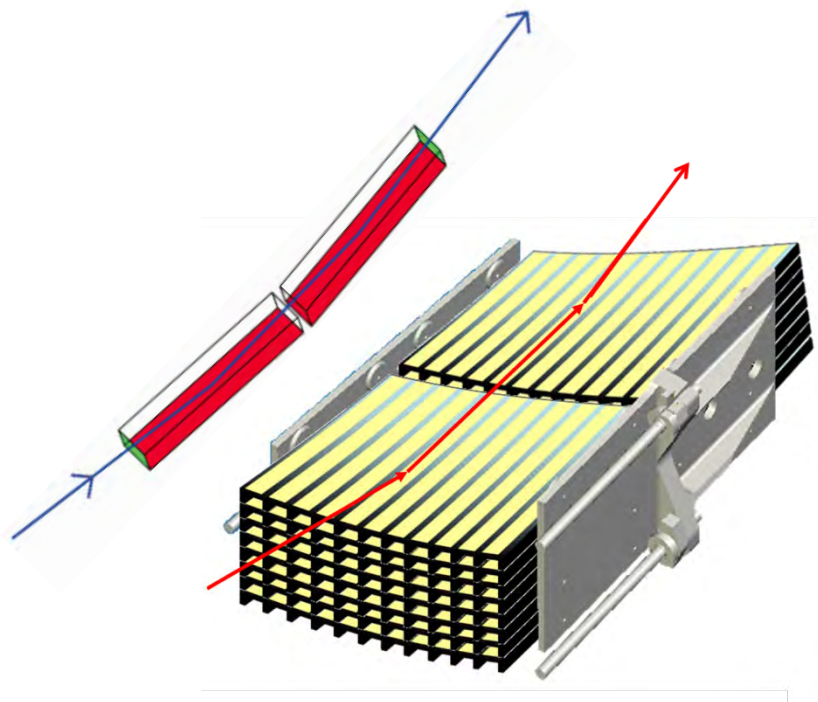
- Phase-A進行中
 - 各Consortiumによる検討・システム/衛星の検討
 - 平行してESA CDF study
 - Mission Consolidation Reviewで質量コスト等のベースライン検証,
- Instrument AOにより具体的な検出器案と, それを提案するConsortiumの役割等が固まる。(2016Nov->2017?)
- 2020年のMission Adoptionでミッションの形が定まる。

SPO (Silicon Pore Optics)



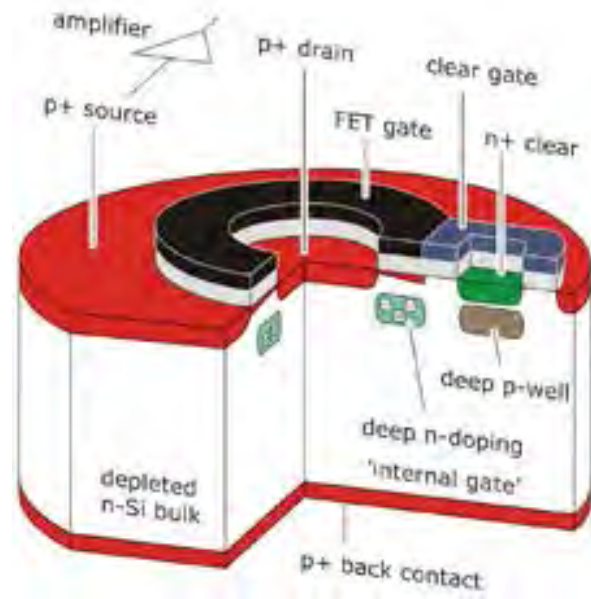
シリコンの基板表面を滑らかにし、全体を整形して反射鏡とする。

On-Axisで5秒角， Off-axisで10秒角
有効面積 2m^2 @ 1keV のために， このブロックを直径 3m 程度組み合わせる。

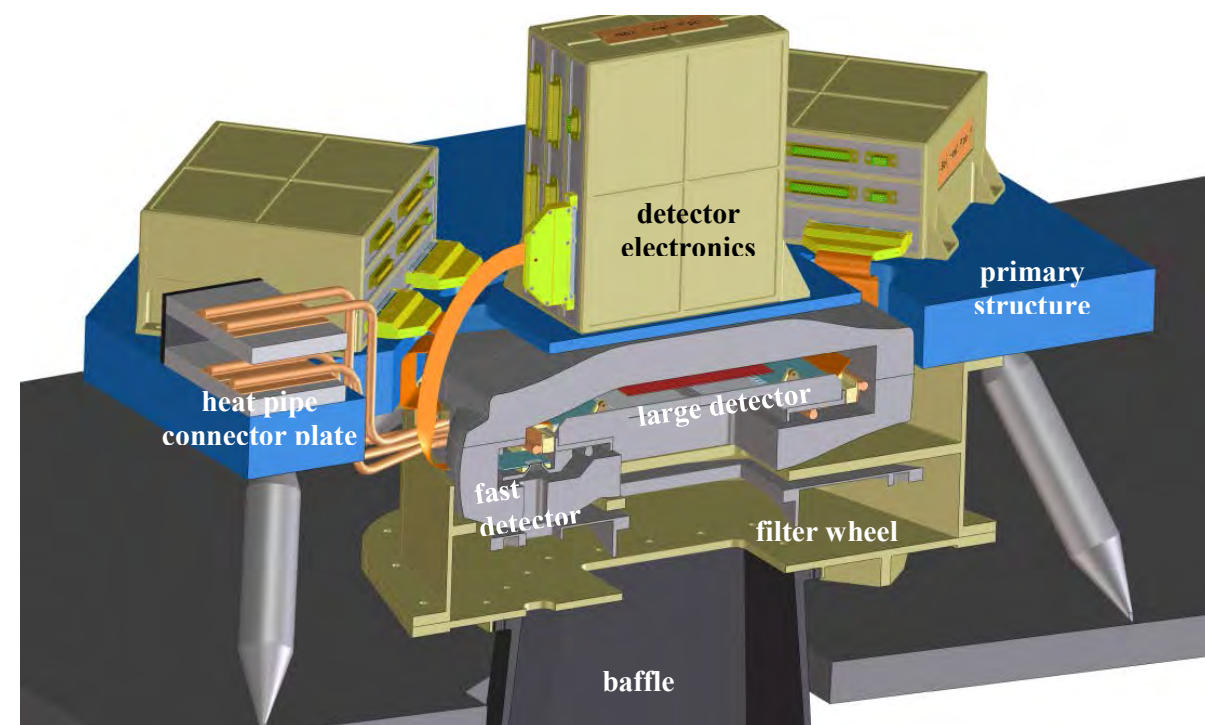
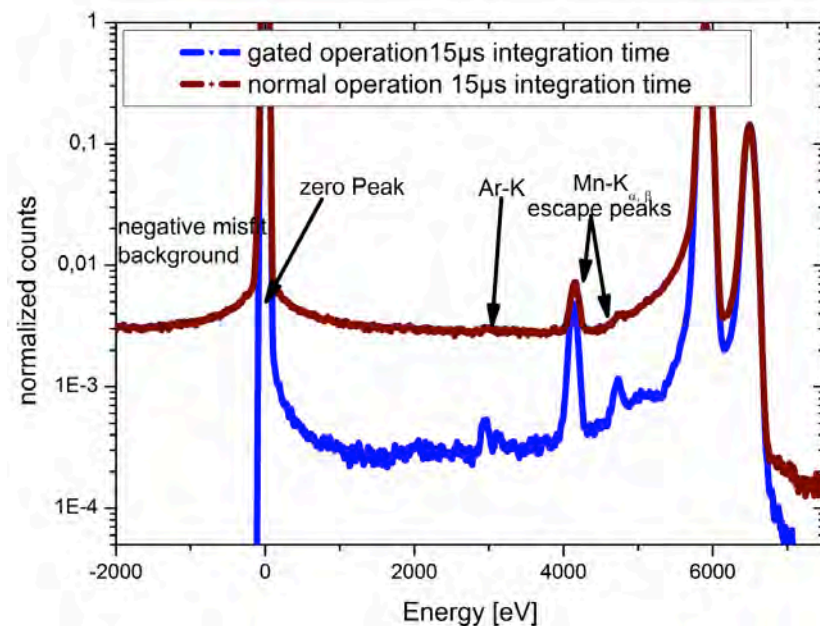
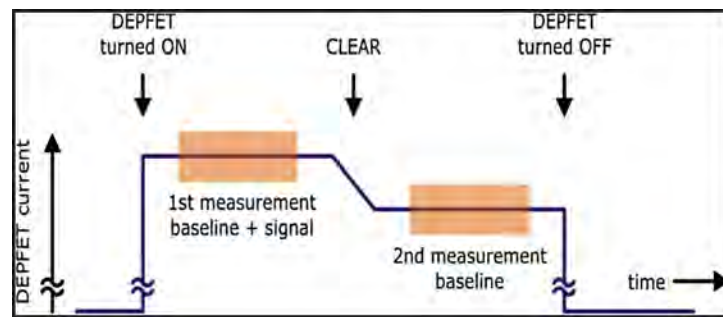


空間分解能をだすのは， 組み合わせの位置合わせがポイント， ロボティクス
の利用を検討。コストが課題

WFI

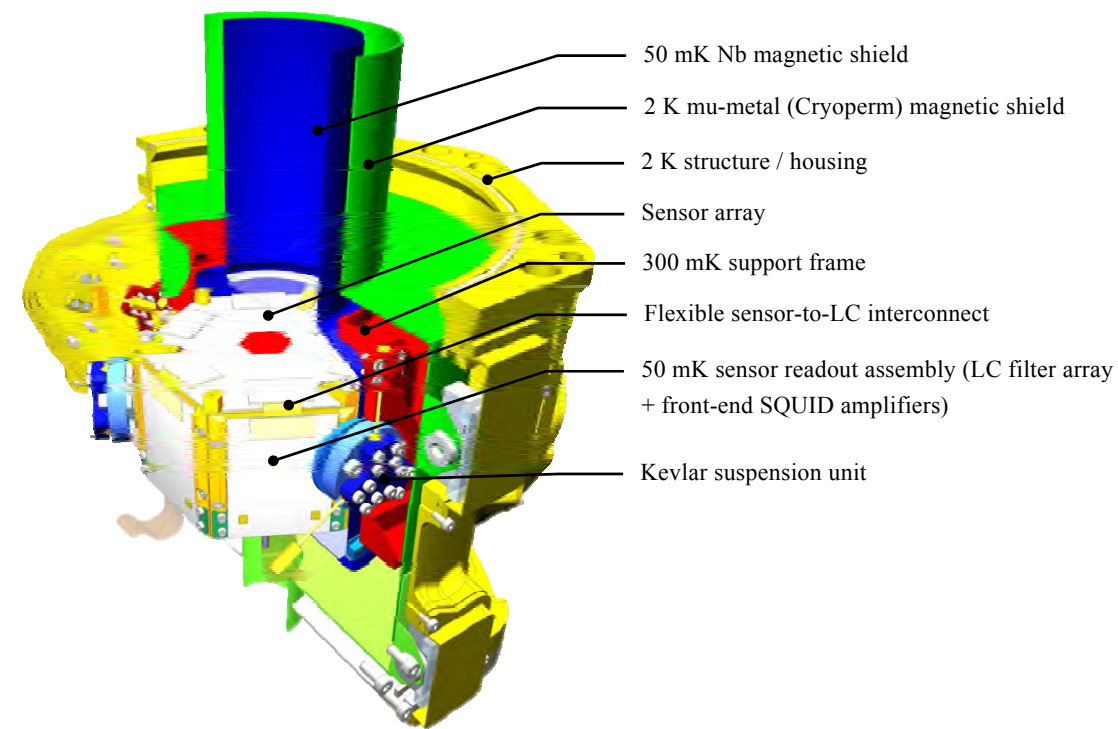
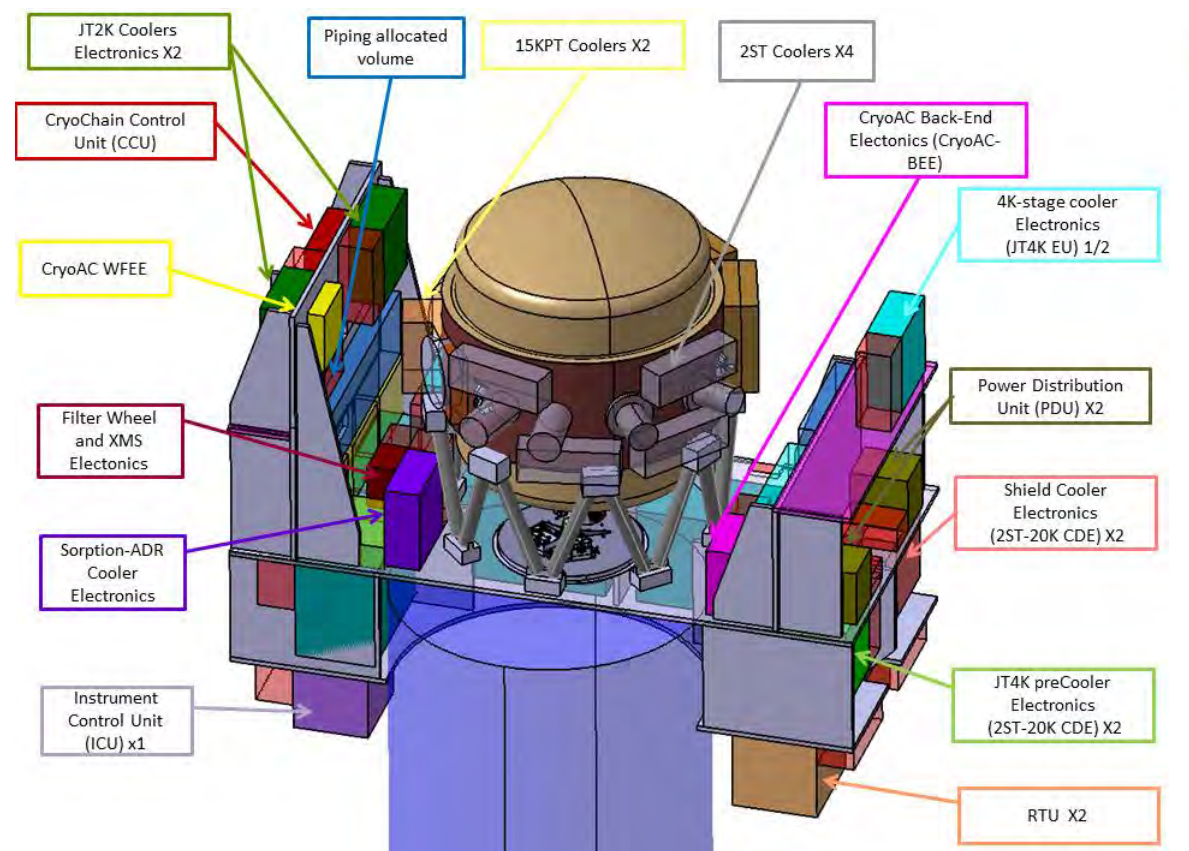


DEPFET (DEPlated p-channel FET) アレイ検出器, CCDのような電荷転送を行わず, 速い読出しを行なうために, パイルアップせず, high count rateに耐える(~Crab)



Rau +2013, Meidinger+2016

X-IFU



Barret+2016

TES Calorimeter array (米)+ 40x96 多重化読出し(蘭)
 冷却系 (仏+日) は無冷媒化でミッション寿命5年以上

40x2 画素を冗長系のないデュワーにいたれたDemonstration ModelをPhase-Aで製作する。

Athenaへの日本の参加



- Athenaの観測の当初5年間は、Key Projectで70%、またKey Project/Instrument Consortiumで割当を行い、公募は20%程度と想定している。
⇒参加しなければ、2030年代のサイエンスの最先端データは得られない
- 日本が参加する目的
 - Athenaの実現を確実なものとする。
 - 科学成果の最大化に貢献する。
- Astro-H等で培った技術と、Astro-H/代替機のサイエンス成果を生かす
 - Athena Science Study Team に松本が参加(11人中日本から1人)
 - サイエンスWGに26名が参加 (そのうち6人はChair)
 - X-IFU Pre-Consortiumに3名が正式参加(40名中) , SWGに1名が参加
日本の機械式冷凍機を供給することをベースラインにPhase-A studyに参加
 - WFI/SPOへの技術協力(HW/キャリブレーション)の可能性を協議
 - その他, PDなどの人的交流

日本のAthenaへの参加の今後の進め方

- 2015年2月 理学委員会に小規模プロジェクトとして応募
 - 予算規模：2028年まで、総額50-80億円程度(Optionの内容による)
 - 判断：ISASにて計画の位置づけを再定義し、それに対応した計画内容の詳細化の十分な整理を行った後に再評価
⇒この規模の国際協力をどうすすめるか、という整理と認識、Instrument AOへの応募(2017)までに計画審査、Mission Adoption(2020)までにfull commitmentへの判断が必要
 - 冷却系への協力は独立して行なっている。
 - ESAもCryo-Chain CTPとして、衛星搭載の50mKまでの冷凍機システムの開発をミッション横断的に行なうこととして、X-IFUチーム(CNES+)がこれに応募した。ISASでCC-CTPチームをAthena/SPICA/LiteBIRDをベースに結成し、冷凍システムの開発に参加中
2020年までの活動は代替機と平行しての実施が可能

Fact Sheet of Athena



Mission Status		ESA L2 accepted
Launch year		2028
S/C mass		6800 kg
Total Budget		~ 1.2 B€ ?
SPO	X-Ray Energy Range	0.2-15 keV
	Spatial Res.	5 arcsec
	Effective Area	2m ² @1keV, 0.25m ² @6 keV
WFI	Leading Inst.	MPE
	FoV	40 arcmin
	No. of pix	1024x1024
	Energy Res.	<80 eV @1keV
X-IFU	Leading Inst.	CNES/IRAP
	FoV	5 arcmin
	No. of pix.	3840
	Energy Res	2.5 eV