

ダークバリオン探査計画 「Super DIOS」 の現状

~コズミックネットワークを巡るエネルギーと物質の探査~
(2020年2月よりISAS/JAXAのRGとして承認)

佐藤浩介 (PI, 埼玉大学)

大橋隆哉、石崎欣尚、江副祐一郎、山田真也 (首都大学東京)

山崎典子、満田和久、石田学、前田良知、中島裕貴 (ISAS/JAXA)

三石郁之、田原譲 (名古屋大学)、河合誠之 (東京工業大学)

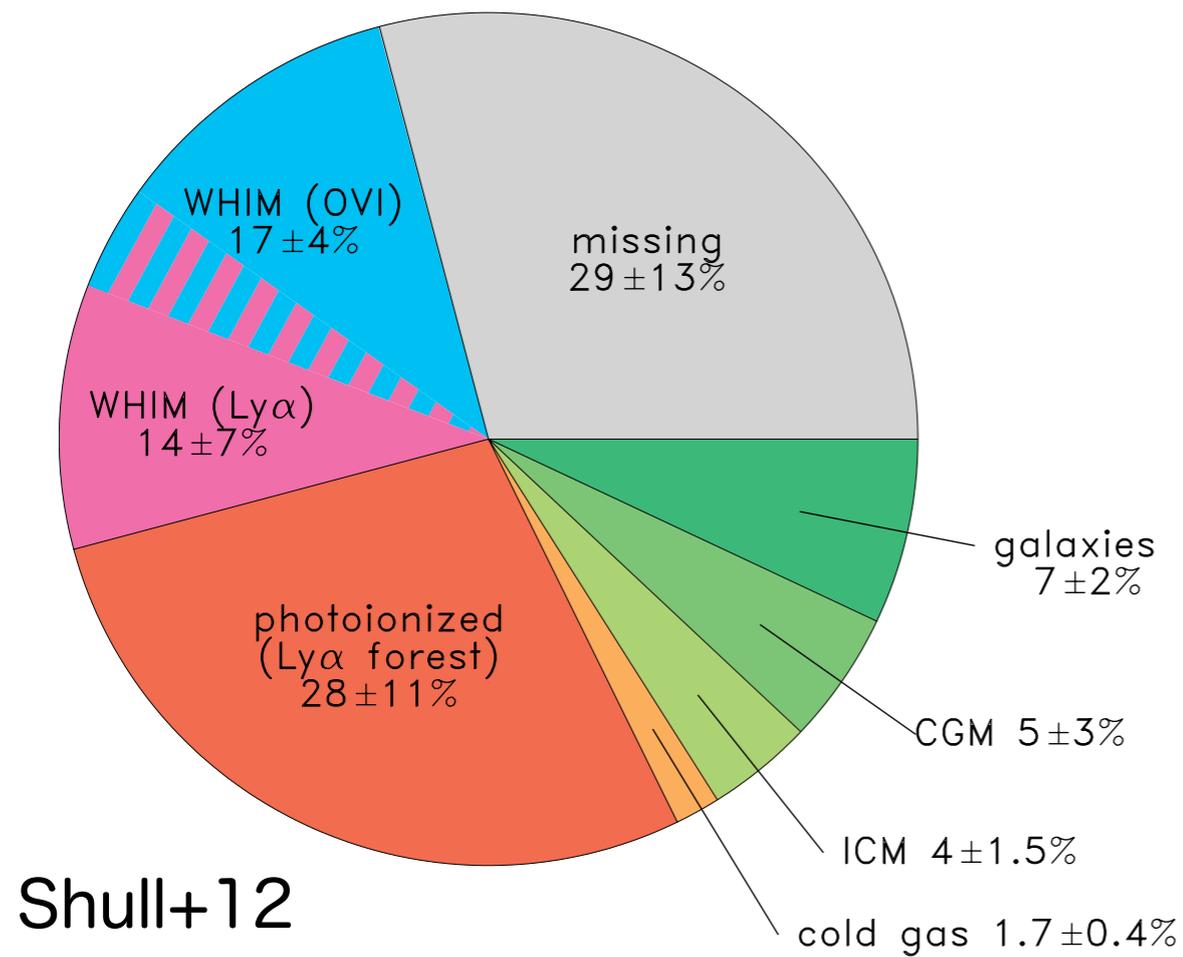
松下恭子 (東京理科大学)、藤田裕 (大阪大学)、永井大輔 (米 Yale大学)

吉川耕司 (筑波大学)、大里健 (仏 ソルボンヌ大学)

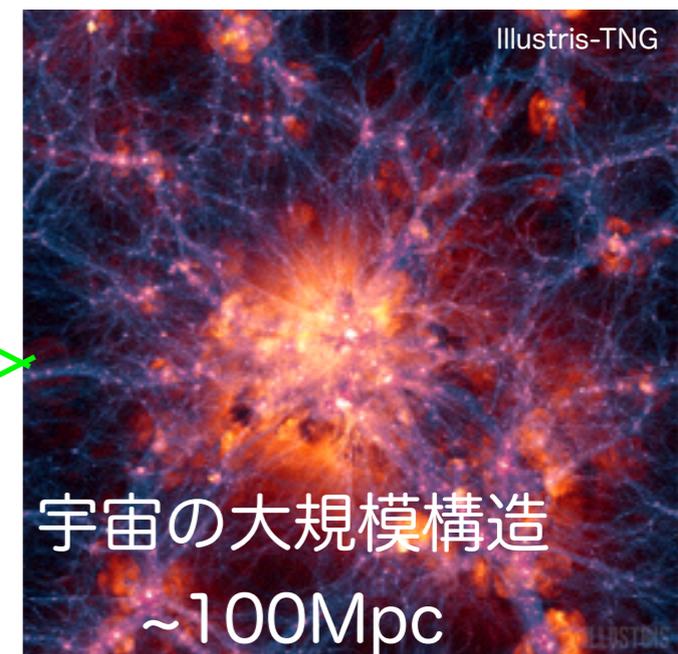
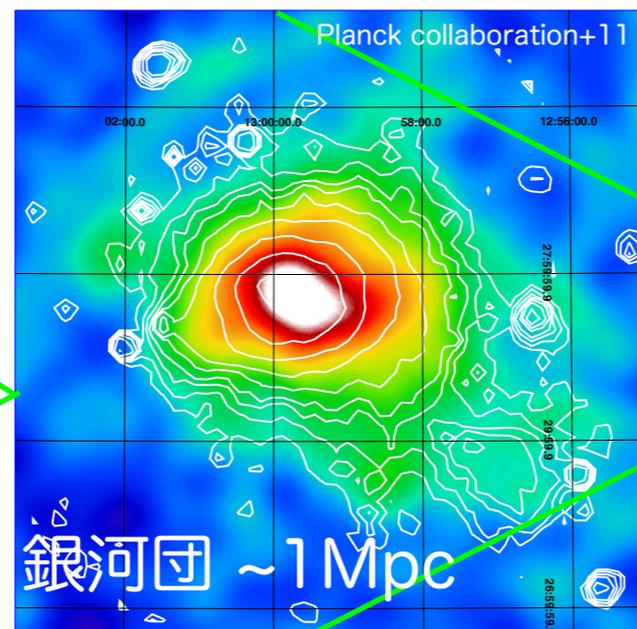
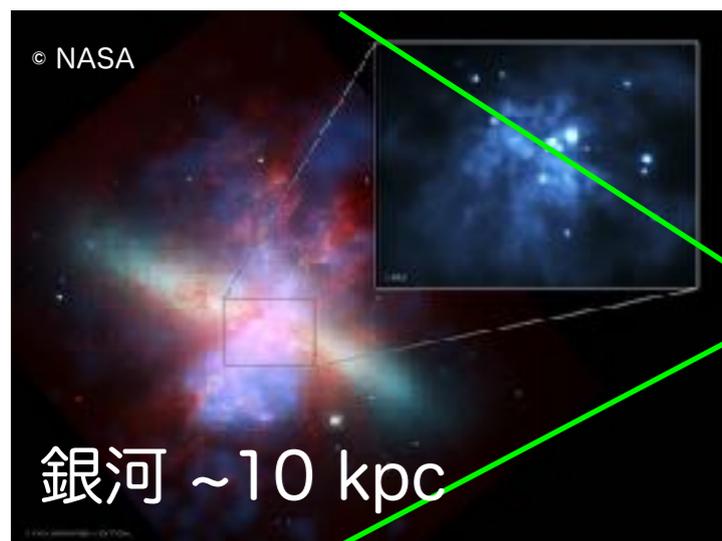
藤本龍一 (金沢大学)、鶴剛 (京都大学)、太田直美 (奈良女子大学)

一戸悠人 (立教大学)、内田悠介 (広島大学)

ダークバリオン探査



- “ミッシング”バリオン問題の解決
- 温度数百万度, 密度 10^{-5} cm^{-3} 程度の希薄なガスの観測
- 様々なスケールにおけるバリオンの直接観測と定量化
 - ✓ 銀河周辺物質 (CGM)
 - ✓ 銀河群/銀河団とその周辺部
 - ✓ 宇宙の大規模構造に付随するガス (WHIM)



ダークバリオン探査

- 
- **宇宙の大規模構造**
 - ✓ 宇宙全体でのバリオンフラクションの解明と定量化
 - ✓ 大規模構造の中での銀河と銀河団の進化の解明
 - ✓ バリオン効果によるダークマターへの制限
 - **銀河群/銀河団及びその周辺部**
 - ✓ 大規模構造から銀河団へのガスの降着とエネルギーの流れの解明
 - ✓ ダークマターハロー分布と質量の評価、電波/可視光観測との比較
 - ✓ 銀河団~大規模構造に至る元素循環の解明
 - **銀河周辺部**
 - ✓ 銀河周辺物質(CGM)の分布の解明と定量化
 - ✓ 銀河のハロー内外でのガスの流れとフィードバック効果
 - ✓ 銀河の星生成率のウエンチングとCGMの相関

各階層での宇宙のバリオン分布を定量的に観測し、宇宙の進化におけるエネルギーと物質の循環、さらにはダークマター分布との相関の解明を目指す

ダークバリオン観測は世界的にも2040-50年代に 実現されるべき大型ミッションとして提案

- NASA's Decadal Survey (Walker et al., AAS, 2019)
- ESA's Voyage 2050 (Simionescu et al. arXiv:19080177)

Astro2020 Science White Paper

Unveiling the Galaxy Cluster – Cosmic Web Connection with X-ray observations in the Next Decade

Principal Authors:

Name: Stephen A. Walker¹, Daisuke Nagai²
Institution: 1) NASA GSFC, 2) Yale University,
Email: stephen.a.walker@nasa.gov; daisuke.nagai@yale.edu
Phone: +1 (301) 286-9882; +1 (203) 432-5370

Co-authors: A. Simionescu (SRON), M. Markevitch (NASA GSFC), H. Akamatsu (SRON), M. Arnaud (CEA), C. Avestruz (U.Chicago), M. Bautz (MIT), V. Biffi (CfA), S. Borgani (UniTS/INAF), E. Bulbul (CfA), E. Churazov (MPA), K. Dolag (USM/MPA), D. Eckert (MPE), S. Ettori (INAF), Y. Fujita (Osaka), M. Gaspari (Princeton), V. Ghirardini (CfA), R. Kraft (CfA), E. T. Lau (Miami), A. Mantz (Stanford), K. Matsushita (TUS), M. McDonald (MIT), E. Miller (MIT), T. Mroczkowski (ESO), P. Nulsen (CfA), N. Okabe (Hiroshima), N. Ota (Nara), E. Pointecouteau (IRAP), G. Pratt (CEA), K. Sato (Saitama), X. Shi (SWIFAR), G. Tremblay (CfA), M. Tremmel (Yale), F. Vazza (Bologna), I. Zhuravleva (U.Chicago), E. Zinger (Heidelberg), J. ZuHone (CfA)

世界に先駆け2030年代にダークバリオン探査「**Super DIOS**」の
検討を開始し、2020年2月にISAS/JAXAのRGとして承認

バリオン探査衛星計画

- XRISM計画により旧DIOS計画はキャンセルとなったが、宇宙のバリオン探査は宇宙物理学に残された重要課題
- XRISM/Athenaの観測を補完し、宇宙の広い領域でバリオンを定量的に観測するには、**広視野/高空間撮像分解能力/高エネルギー分光能力**が必要

	Year	Detector	FOV	Ang. Resol.	Aera (cm ²)	Grasp (cm ² deg ²)
eROSITA	2019	pn-CCD	1 deg.	16-28 arcsec	1500	1500
XRISM	2022	CAL/CCD	3'/38'	2 arcmin	~350	1/90
Athena	2031	TES/CCD	5'/40'	5 arcsec	>15000	100/6500
HUBS	2030's	TES	1 deg.	~1 arcmin	~1000	~1000
Super DIOS	2030's	TES	0.5-1 deg.	~10 arcsec	>1000	300-1000

Baseline plan of Super DIOS

Super DIOS performance

Weight	2000-3000 kg
Rocket	H2-H3
Area at 0.6 keV	> 1000 cm ²
Focal length	about 3-4 m
Angular resolution	~10 arcsec
Energy resolution	< 2 eV @ 1 keV
TES pixels	~30000
Field of view	0.5 - 1 deg.

Instruments (TBD for detail after feasibility study based on simulations):

- ✓ 1 TES array with 30,000 pixels, cooled by a cryogen-free cooling system
- ✓ Microwave SQUID multiplexer (MUX) TES readout system
- ✓ 1 XRT, covering 0.5-1 deg. FOV with ~10" angular resolution and effective area > 1000 cm² @0.6 keV
- ✓ 1 Gamma-ray burst detector with fast repointing system

Launch:

- ✓ Satellite mass will be 2000-3000 kg
- ✓ Launch year will be >2030

Study team:

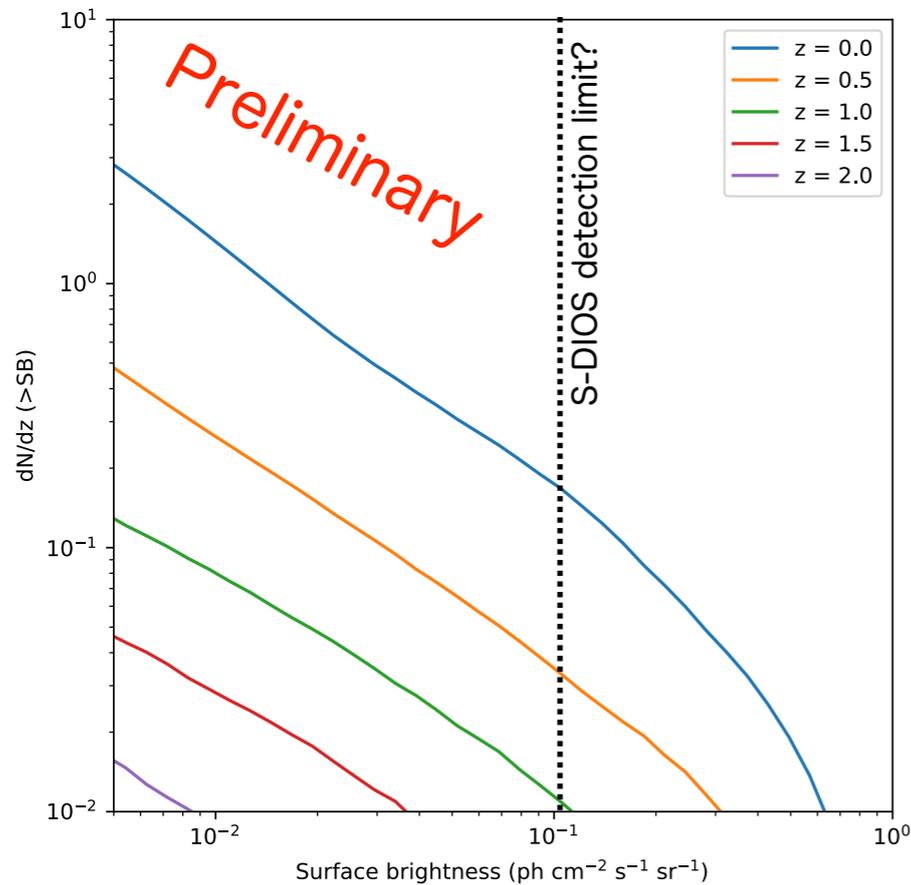
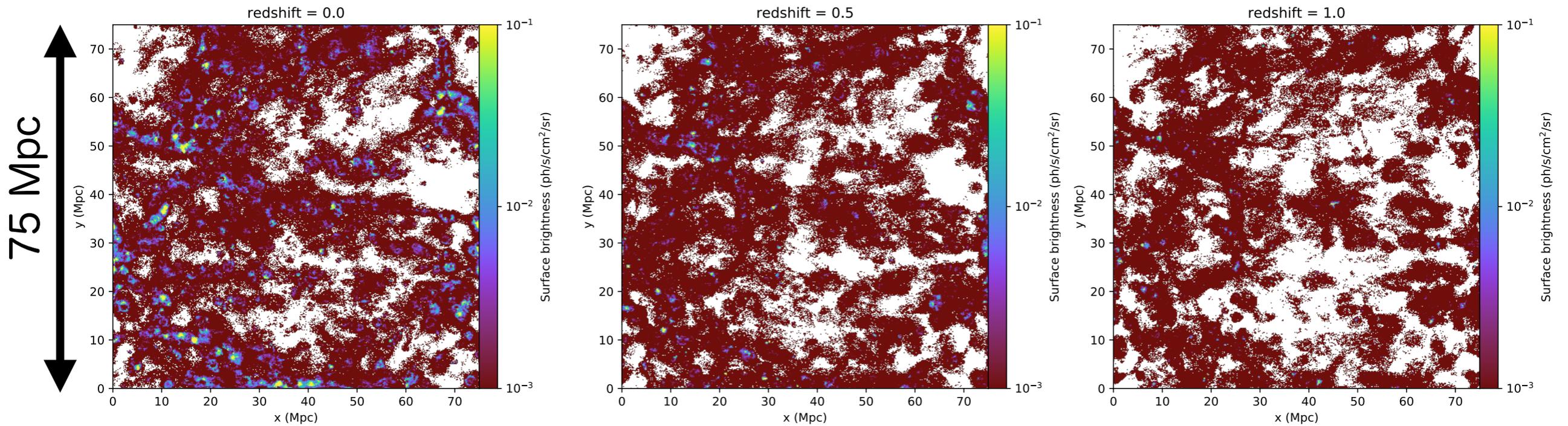
- ✓ International study team with Japan, US, and Europe(TBD)

国内外の協力体制

- ・科学目標設定の検討のため宇宙論的シミュレーションを用いた議論を開始しており、国内外の理論/シミュレーションの専門家がチームメンバーとして新たに加
- ・ハードウェアの開発は、これまでのX線衛星の開発を担ってきたJAXA及び各大学機関だけでなく、産業技術総合研究所など地上実験で高度な技術を持つ機関や、民間企業とも協力
- ・米国 NASAゴダード宇宙飛行センター(GSFC)のRichard L. Kelly 博士のグループとは今後のバリオン探査ミッションにおいて協力することで合意
- ・オランダ SRONからも協力に前向きな回答

Feasibility study with “Illustris-TNG” (Pillepich+18)

OVII surface brightness in $z=0, 0.5$ and 1



Based on simulations

- ✓ Quantifying what fraction of “dark baryon”
- ✓ Fractions of X-ray signals arising from ICM, CGM, and WHIM components
- ✓ Feasibility study with mock X-ray spectra with detector responses to determine requirements for detector performances

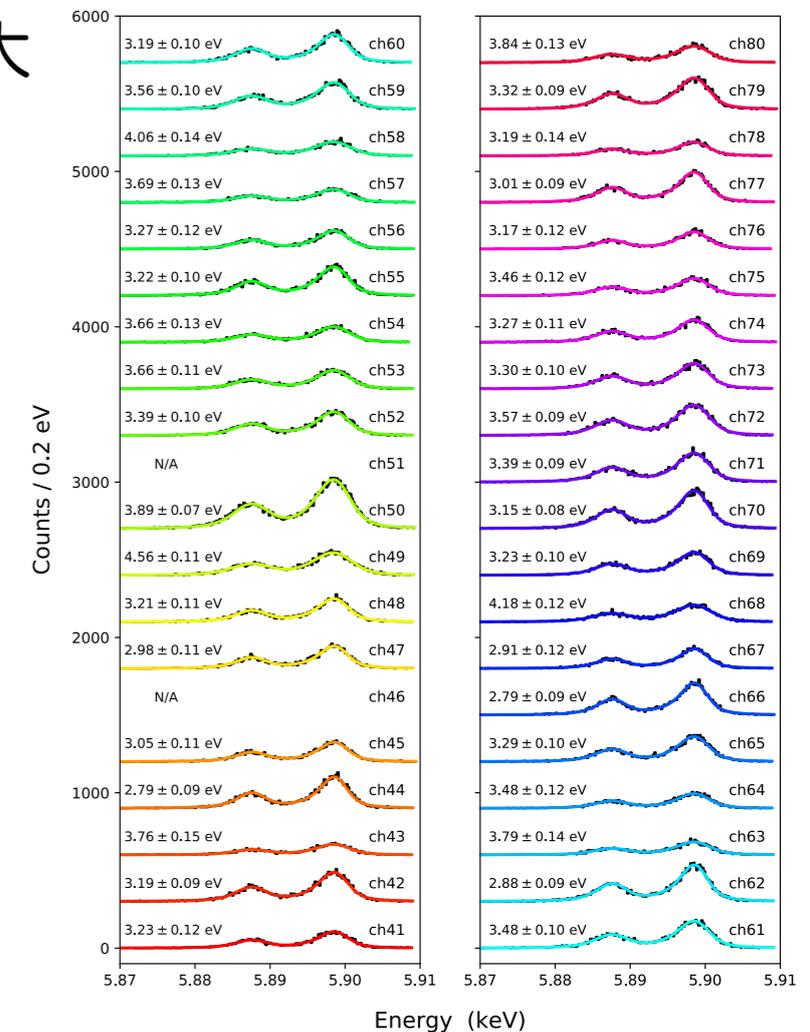
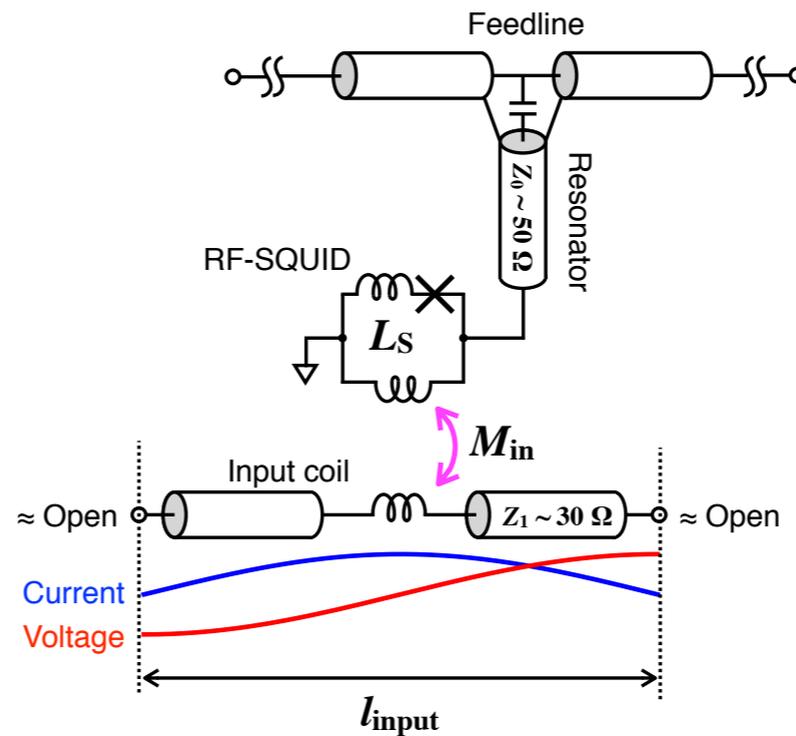
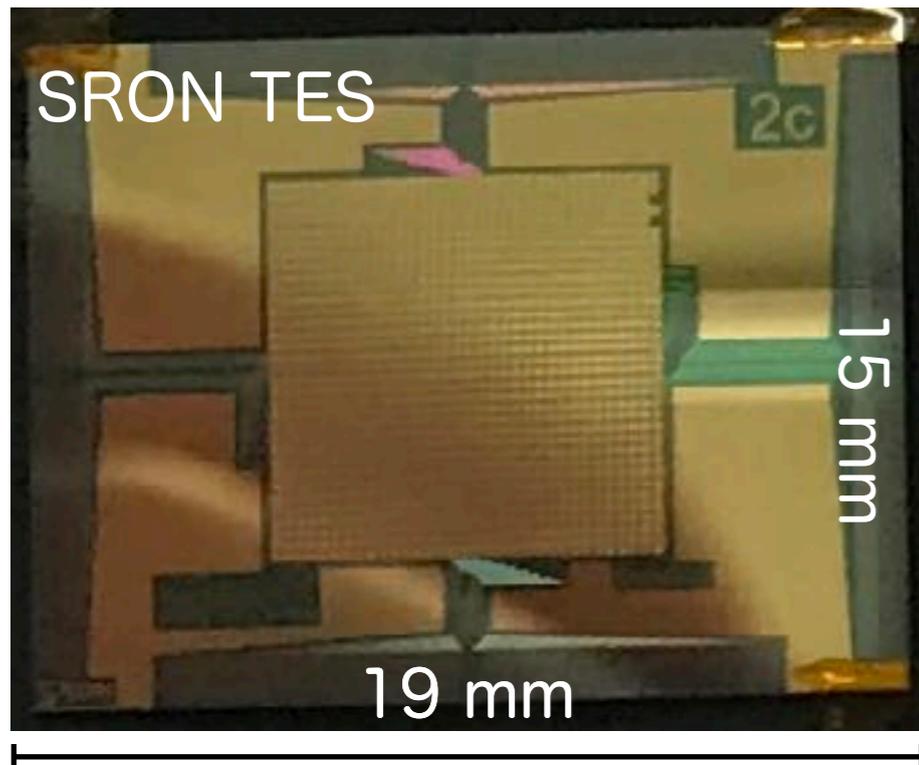
Simulation meeting @ISAS/JAXA, Jan. 6th, 2020
Works in progress by Y. Ichinohe & Y. Uchida

TES readout system (Microwave SQUID MUX)

	Detector	Pixels	ΔE	Readout
Athena	TES	3,840	$< 2.5 \text{ eV}$	FDM/TDM
Super DIOS	TES	$\sim 30,000$	$< 2 \text{ eV}$	Microwave SQUID MUX

永吉/中島講演

中島博士論文, 2020, 東京大



38画素同時読み出し(配線数6!)で
高い分解能(中央: 3.3 eV, 最高: 2.8 eV)

We are working on developments of Microwave SQUID MUX readout system with JAXA/AIST/TMU/Saitama Univ and SRON.

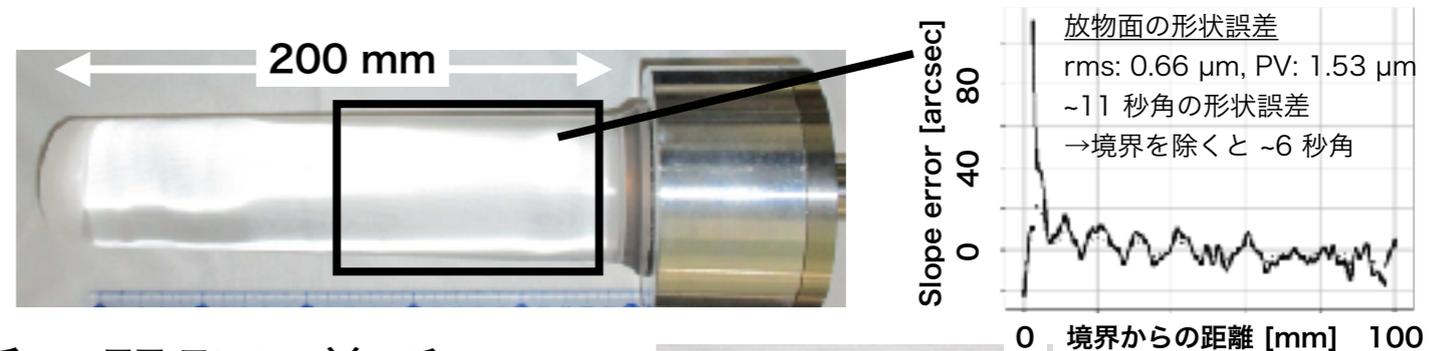
高結像性能・大有効面積電鍍光学系開発の現状 (名大)

要求仕様が大幅に変わり、設計や開発体制の構築から着手
→独自の国産次世代高結像性能電鍍光学系を開発をスタート

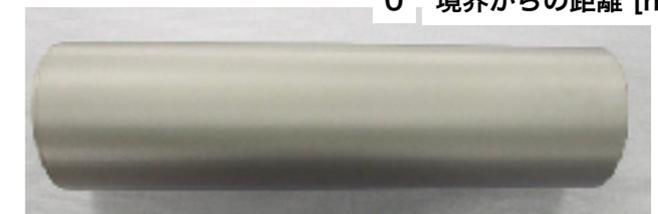
要求

- ◆ <~10 秒角 (要検討)
- ◆ >1000 cm² @0.6 keV
- Wolter 型大有効面積光学系が必須

Wolter 型マンドレル (上左) とその放物面 slope error プロファイル (上右) およびニッケル電鍍ミラー (下) 夏目光学 & 東京大学三村グループ提供



- ▶ 一昨年度から国産の高性能電鍍光学系の開発に着手
 - ▶ 小口径サンプル鏡設計・試作・形状評価まで完遂
 - ▶ 周方向の形状精度は本手法世界最高レベル (<1 秒角) 境界部を除き ~6 秒角を達成
 - ▶ X 線評価@SPring-8 予定 (PI: 三石で採択済み, 2020/6E)
 - ▶ ハウジングシステムの設計・試作まで完遂
 - ▶ 単体鏡での動径調整に成功 (<1 μm)
 - ▶ 複数枚調整方法の確立を目指す



国際協力

- ▶ 三石が cosine 社訪問やイタリアグループと議論し、サンプル提供を含めポジティブなレスポンスをもらっている

要求性能は上がったものの、国産光学系も視野に入れ開発を進めていく

Summary & future work

- ✓ Our project was accepted for establishing the research group in ISAS/JAXA
- ✓ **Super DIOS** will enable us to resolve not only dark baryons but also “low X-ray surface brightness diffuse” objects such as cluster outskirts, galaxies, and their halos over several scales
- ✓ We have started discussions to quantify what fraction of “dark baryons” based on cosmological simulations
- ✓ The first simulation paper on the scientific feasibility study for **Super DIOS** based on simulations will be submitted soon
- ✓ Instrumental performance requirements will be determined based on the feasibility study with mock X-ray spectra taking into account detector responses in future work
- ✓ Developments of TES readout system and X-ray mirror candidates are ongoing
- ✓ Synergy with other missions should be discussed