

ガンマ線バーストを用いた 初期宇宙・極限時空探査計画 HiZ-GUNDAM

High-z Gamma-ray bursts for Unraveling the Dark Ages Mission

HiZ-GUNDAM WG メンバー

主査: 米徳大輔 (金沢大学)

公募型小型3/4号機ミッションコンセプト案採択

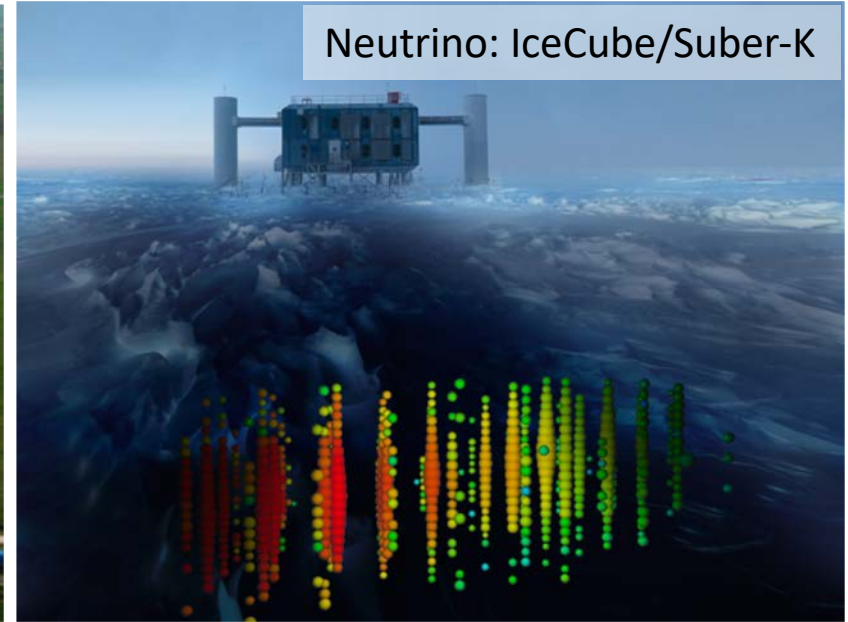
日本学術会議・学術の大型研究計画 マスタープラン2020
第1回大型計画に関する公開シンポジウム @ 東京大学 (2018/0913)

Multi Messenger Astronomy & Time Domain Astronomy

Gravitational Wave: LIGO/VIRGO/KAGRA

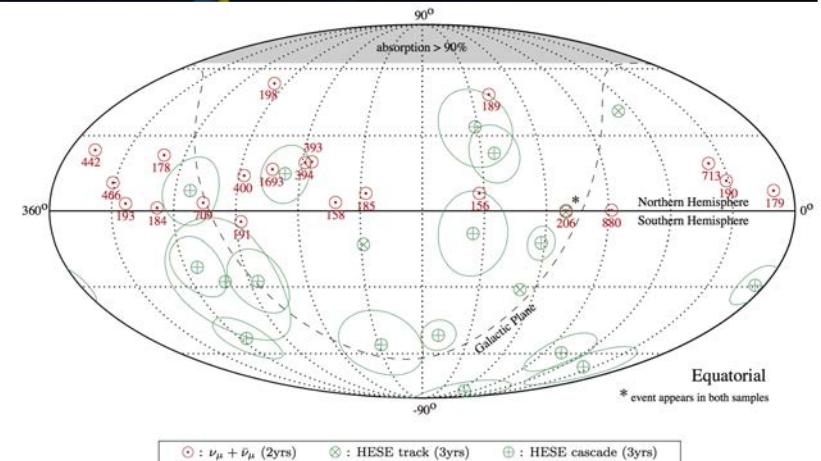


Neutrino: IceCube/Suber-K



BH-BH : GW150914/ LVT151012/GW151226 etc.

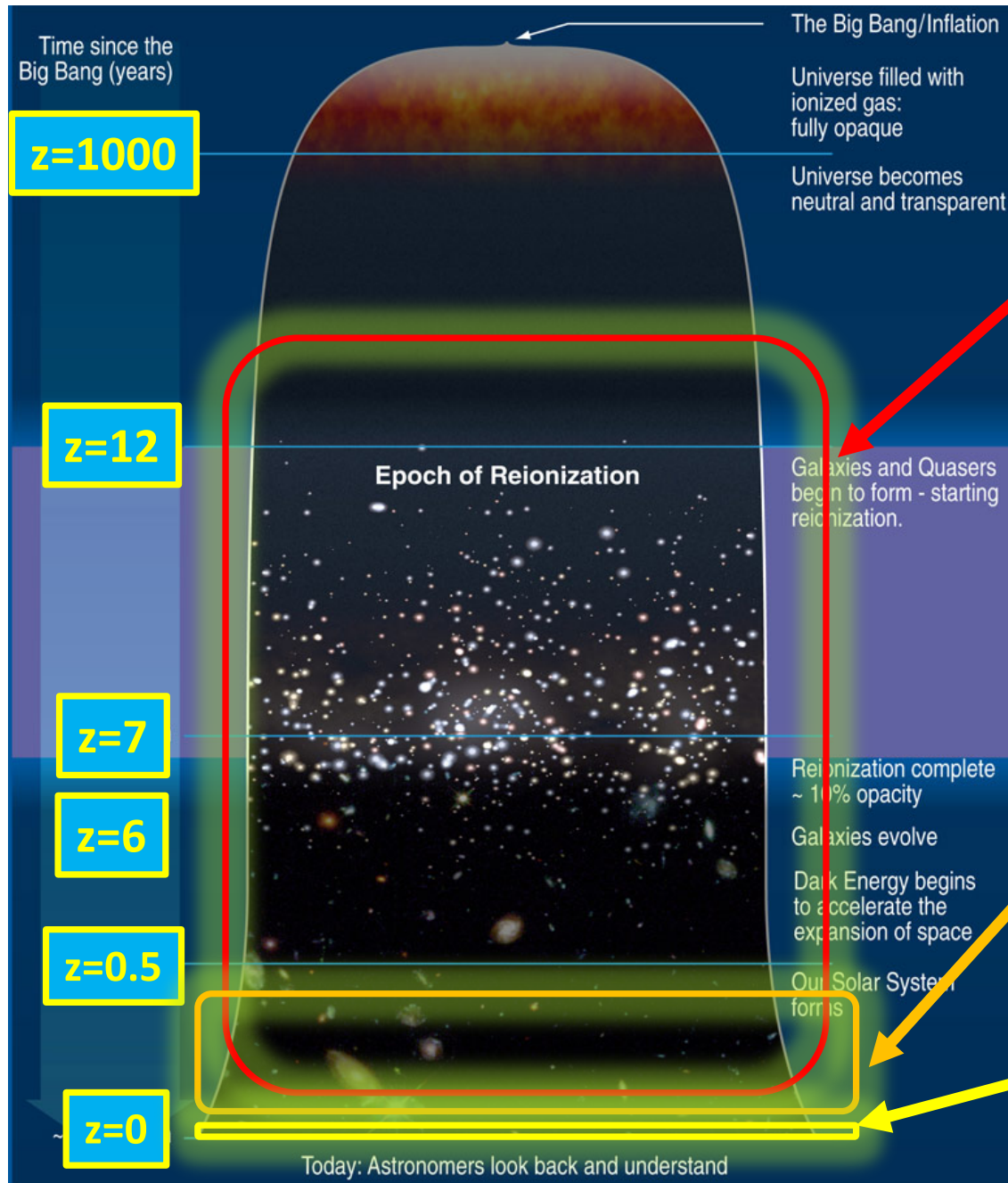
NS-NS : GW170817 + GRB170817A @ 40 Mpc



TeV/PeV neutrino : several events/yr

LIGO/Virgo/KAGRA がデザイン感度に達する2023年頃から
本格的にマルチメッセンジャー天文学を推進するプロジェクトが必要

Multi Messenger Astronomy & Time Domain Astronomy



・ガンマ線バースト(GRB)

初代星 (Pop-III)

宇宙再電離

重元素合成

・重力波 (Short GRB?)

NS-NS, NS-BH, BH-BH
macronova/r-process

・TeV/PeV ニュートリノ

・SN Shock Breakout

・Tidal Disruption

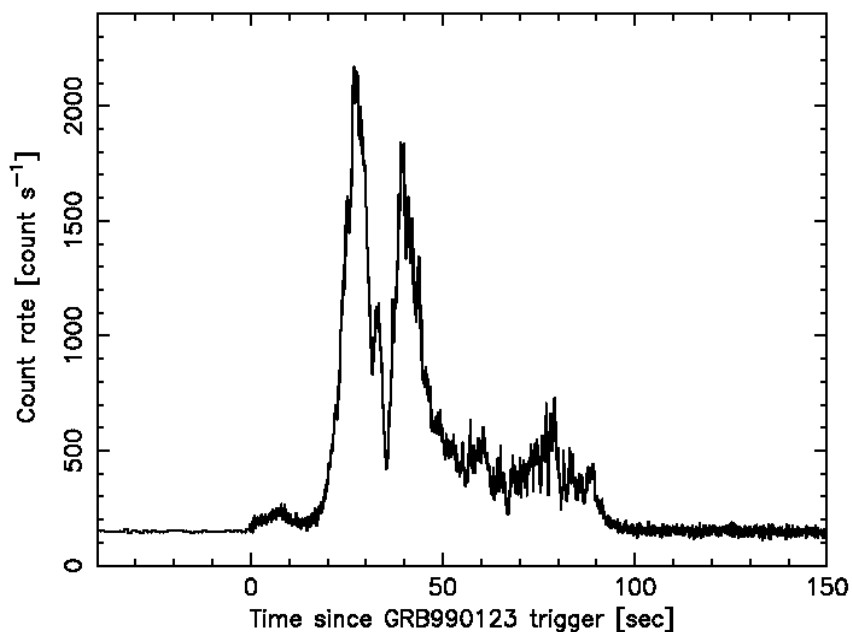
・Fast Radio Burst

・AGN etc.

・恒星スーパーフレア

・銀河系内突発天体

ガンマ線バースト(GRB)



Long GRBs ($T > 2 \text{ sec}$)

- 大質量星の爆発 ($M > 40M_{\text{sun}}$)
- 超新星爆発との同期
(energetic Hypernovae)

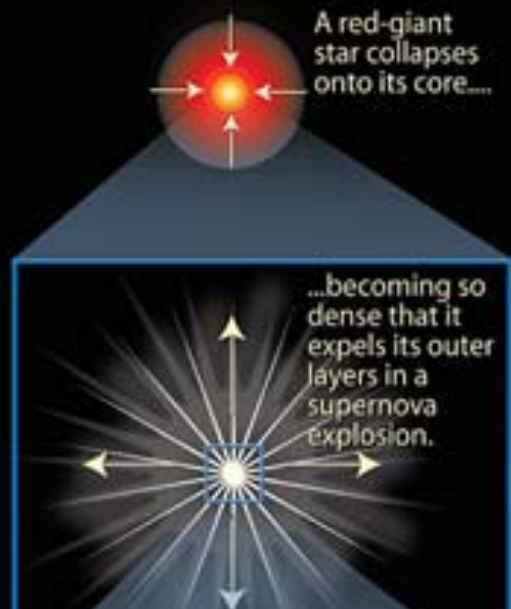
- $E = 10^{50} - 10^{54} \text{ ergs}$
- Black Hole + 相対論的ジェット

Short GRBs ($T < 2 \text{ sec}$)

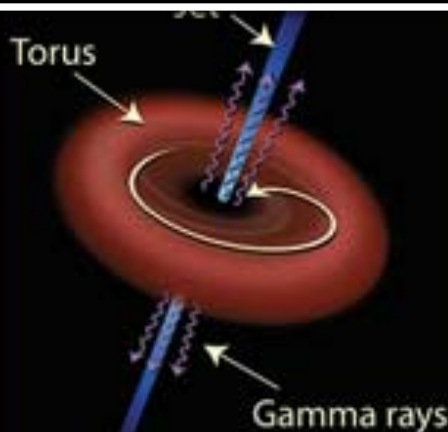
- コンパクト連星の合体・融合(?)
- $E = 10^{48} - 10^{51} \text{ ergs}$
- Black Hole + 相対論的ジェット (?)

Gamma-Ray Bursts (GRBs): The Long and Short of It

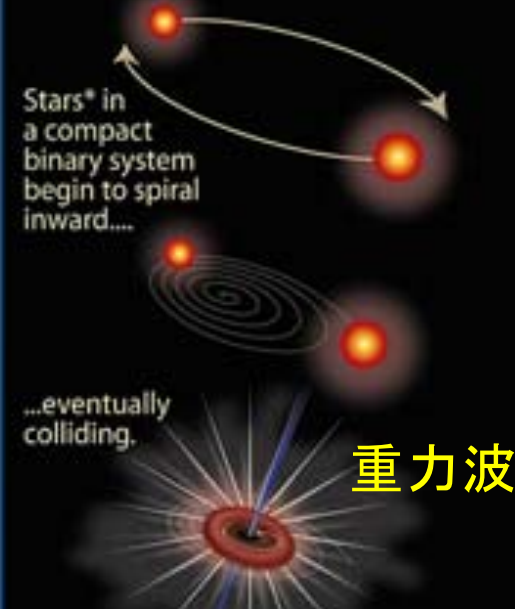
Long gamma-ray burst ($> 2 \text{ seconds' duration}$)



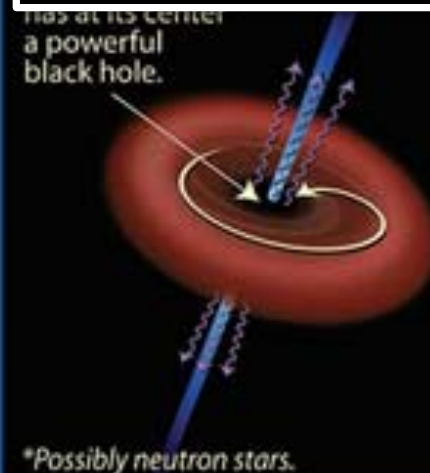
初期宇宙探査



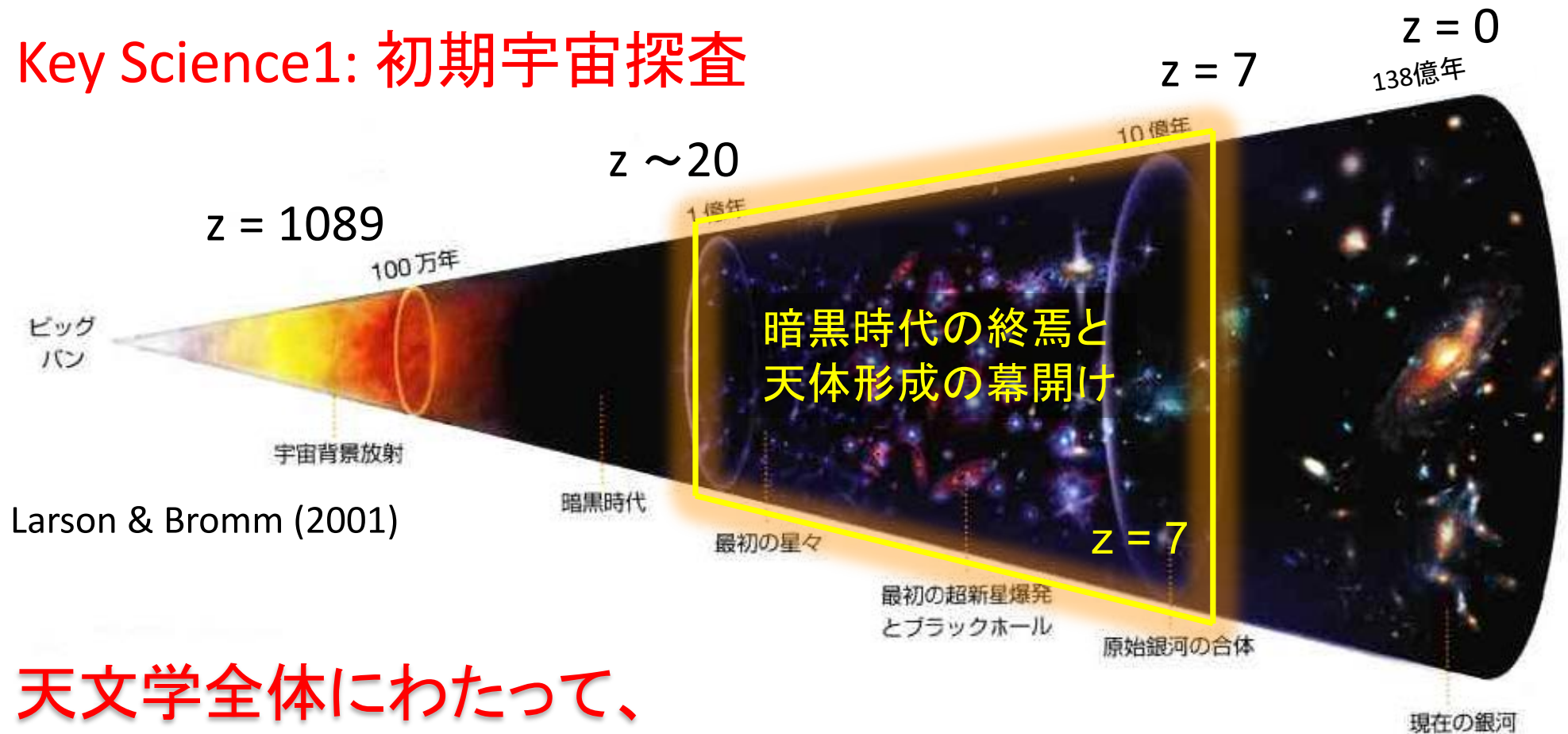
Short gamma-ray burst ($< 2 \text{ seconds' duration}$)



極限時空探査



Key Science1: 初期宇宙探査



天文学全体にわたって、
宇宙で最初の星が生まれた頃の初期宇宙を探査し、
宇宙進化を解き明かす事が大きな目標となっている

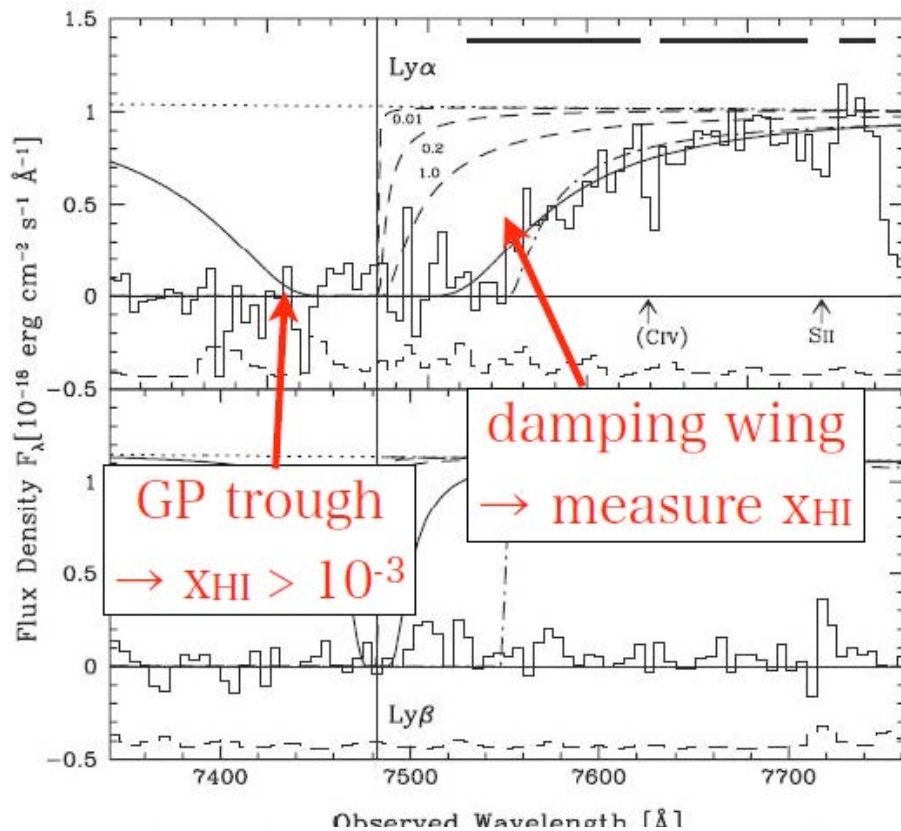
特に $z > 7$ の宇宙は、初代星の誕生、宇宙再電離、重元素合成、
宇宙最初のブラックホールの誕生など重要課題が多い

X線 +
近赤外線

2020年代においてでさえ、初代星 (Pop-III星) からの
直接的な放射を検出できるのは**ガンマ線バーストのみ**

高赤方偏移GRBの観測

GRB 050904 @ $z = 6.295$ (3.5日後)

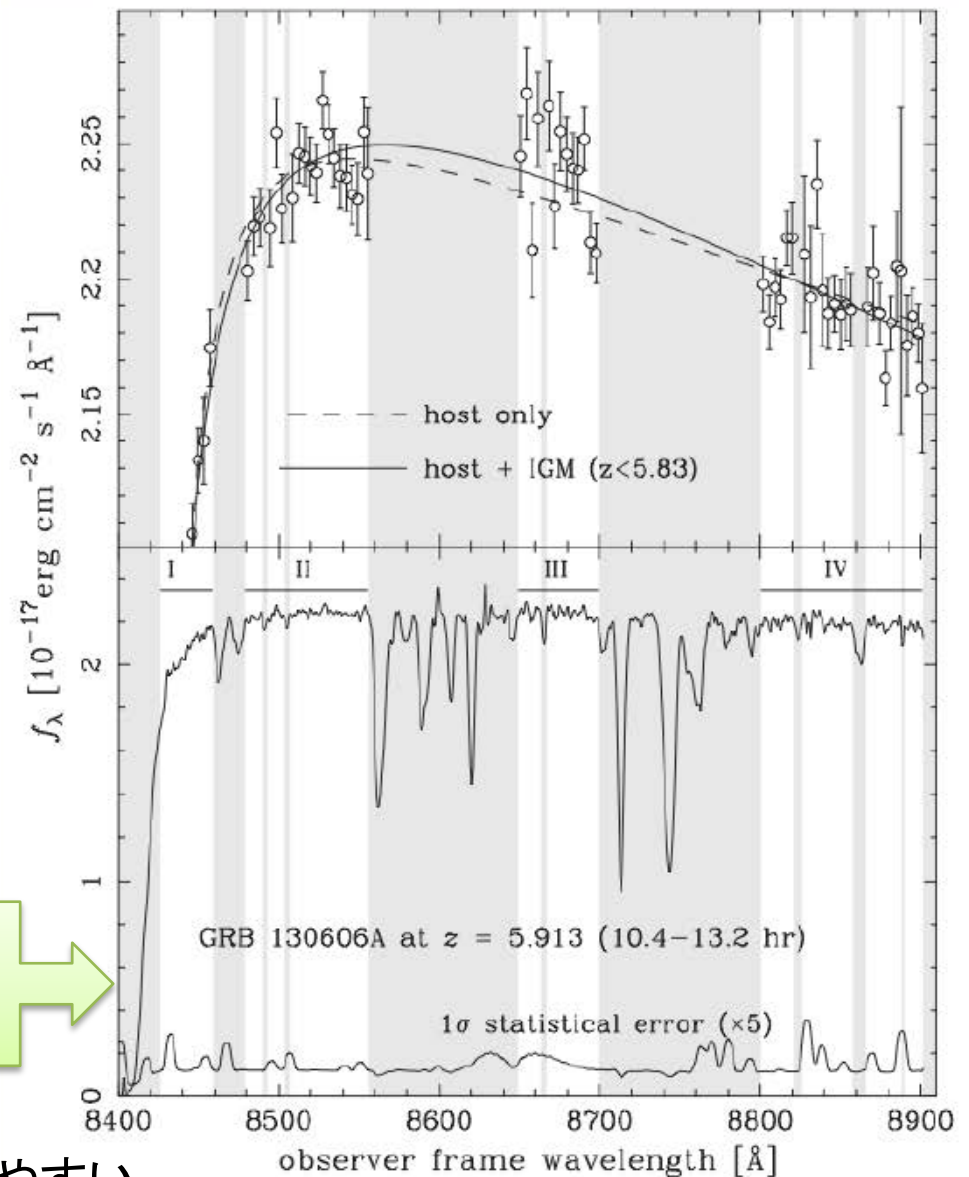


Kawai et al. (2006), Totani et al. (2006)

初めて 3σ 以上の有意度で、銀河間空間に中性ガスが存在する兆候を検出した

- ・ 銀河間空間に影響を与えない
- ・ スペクトルがベキ型なので減衰翼を測定しやすい
- ・ 矮小銀河に付随するので無バイアスな観測

GRB 130606A @ $z = 5.913$ (10時間後)



Totani et al. (2014)

Key Science2: 重力波天文学の推進と極限時空環境の理解

重力波と同期したX線突発天体の発見～近赤外線即時追観測

- 相対論的ジェットとココーンの存在の検証と、エネルギー変遷

X線による Off-axis Jet の観測

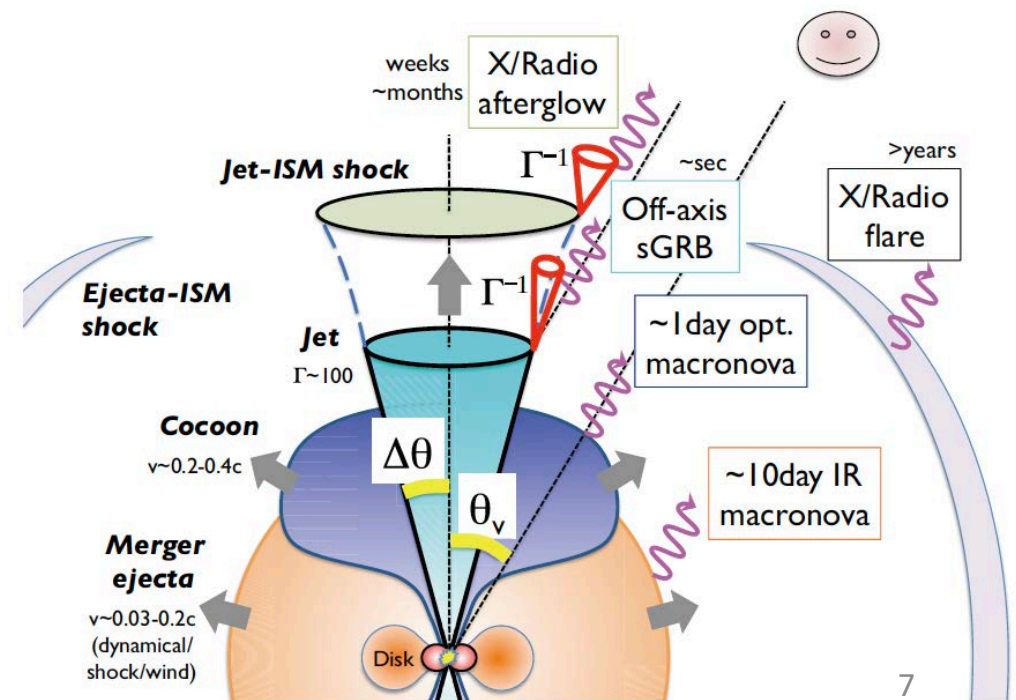
可視光／近赤外線によるココーンの検出 (トリガーから 10^4 秒以下)

- マクロノヴァの多様性とイジェクタの進化

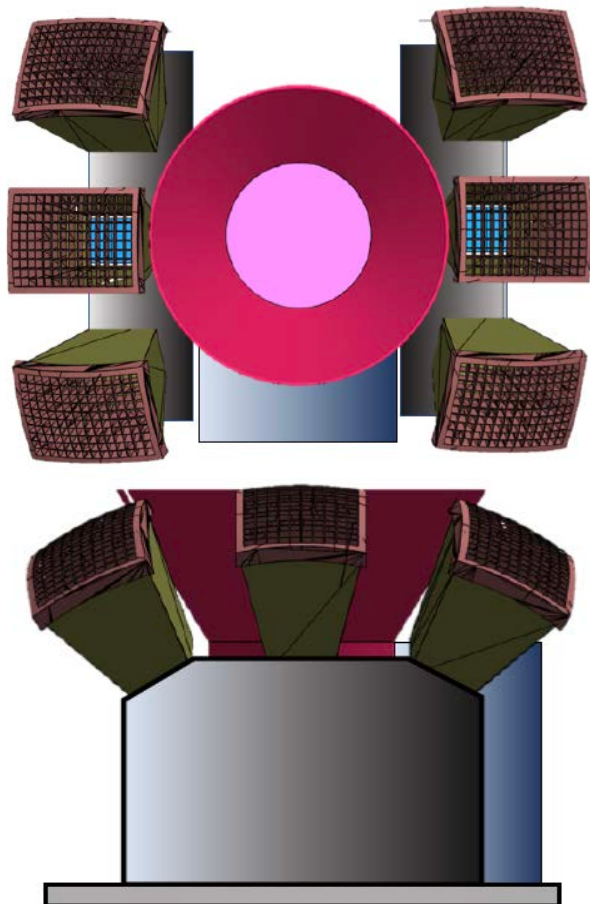
近赤外線のみで輝く場合、超重元素 ($Z > 60$) の金属量

(BH-NS, 合体後のNSが単寿命、イジェクタ質量 $< 10^{-3} M_{\text{sun}}$, etc.)

X線 +
近赤外線



- (1) X線による突発天体 (GRB /SGRB など) の検出
- (2) 自律制御で姿勢変更を行い、約300秒後から
可視光・近赤外線望遠鏡で残光・マクロノヴァを追観測
- (3) 「詳細な方向」「測光赤方偏移」「明るさ」を1時間以内にアラート
- (4) GRB発生から 1.5 時間以内に大型望遠鏡による詳細な分光観測
TAO, すばる, VLT, Keck, Gemini, JWST, E-ELT, GMT, TMT, etc.



ミッション機器:

広視野X線モニター: 115.3 kg (6 units)

近赤外線望遠鏡 : 74.1 kg

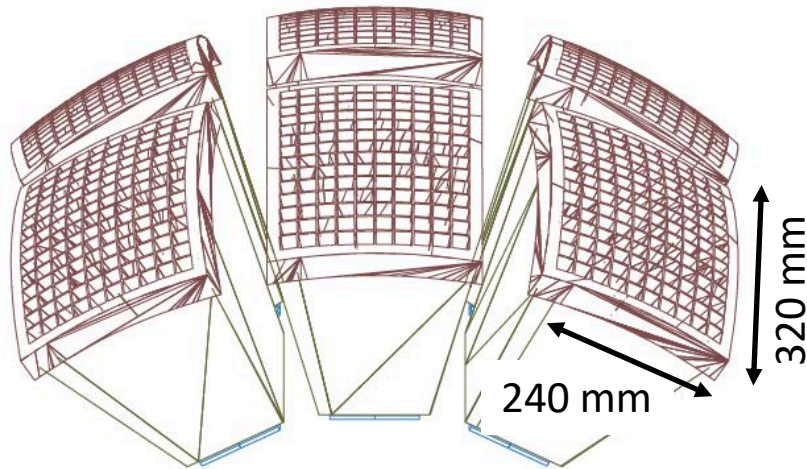
イリジウム SBD : 1.6 kg (with antenna)

衛星バス : 約 250 kg

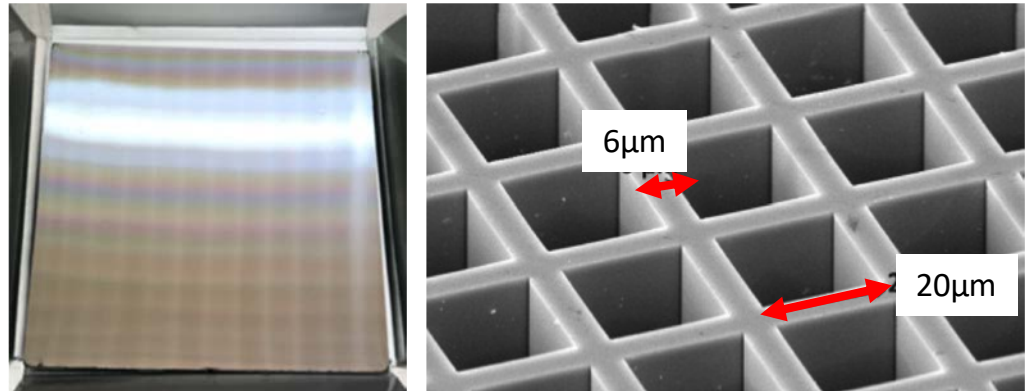
Total: 441 kg

	HiZ-GUNDAM
打ち上げスケジュール	2024 (公募型小型3号機)
衛星軌道	太陽同期極軌道 (twilight)
姿勢変更速度	1 deg/sec
コスト	140億円
衛星質量	約 441 kg
ミッション期間	> 3 years
アラート送信方式	イリジウム SBD
メンバー数	81名 (日、韓、英、伊、等)

広視野X線モニター

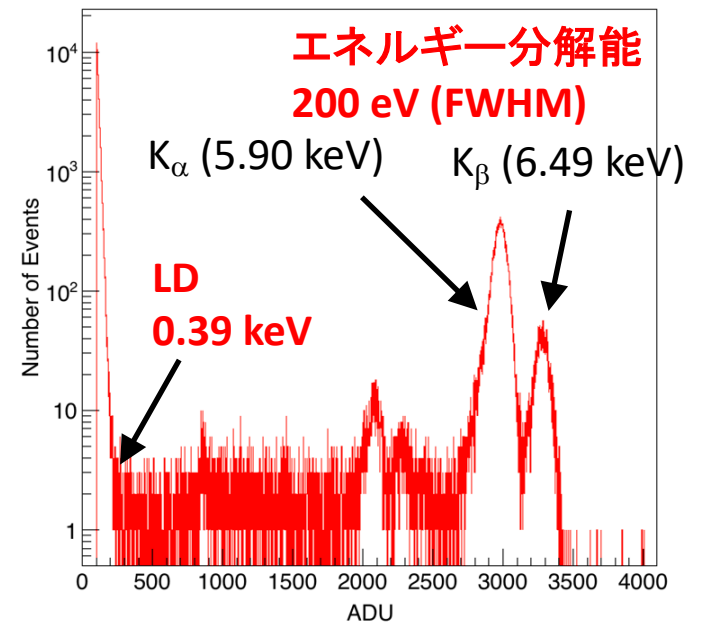
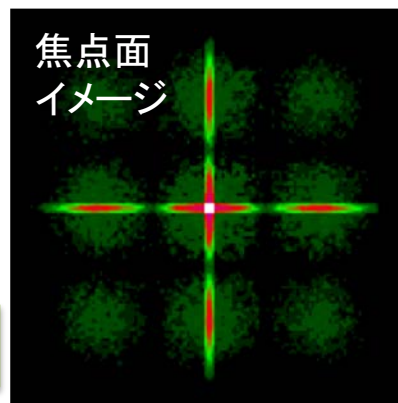


Lobster Eye 光学系 (Micro Pore Optics)



Leicester 大学との共同開発

CMOS イメージセンサ



環境温度: 0 degree

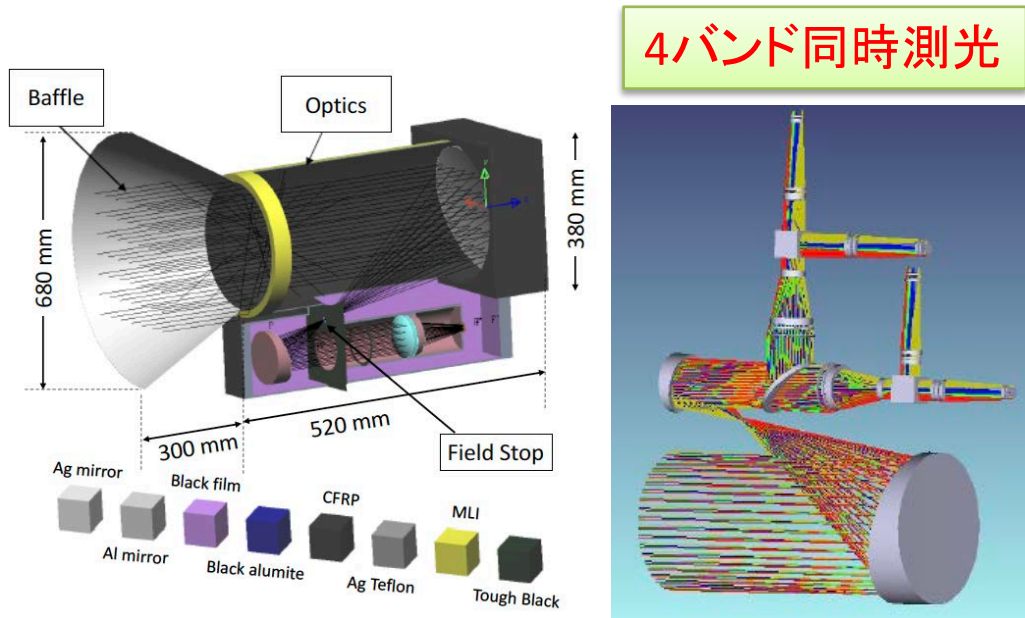
Single pixel event

0.1 sec 露光

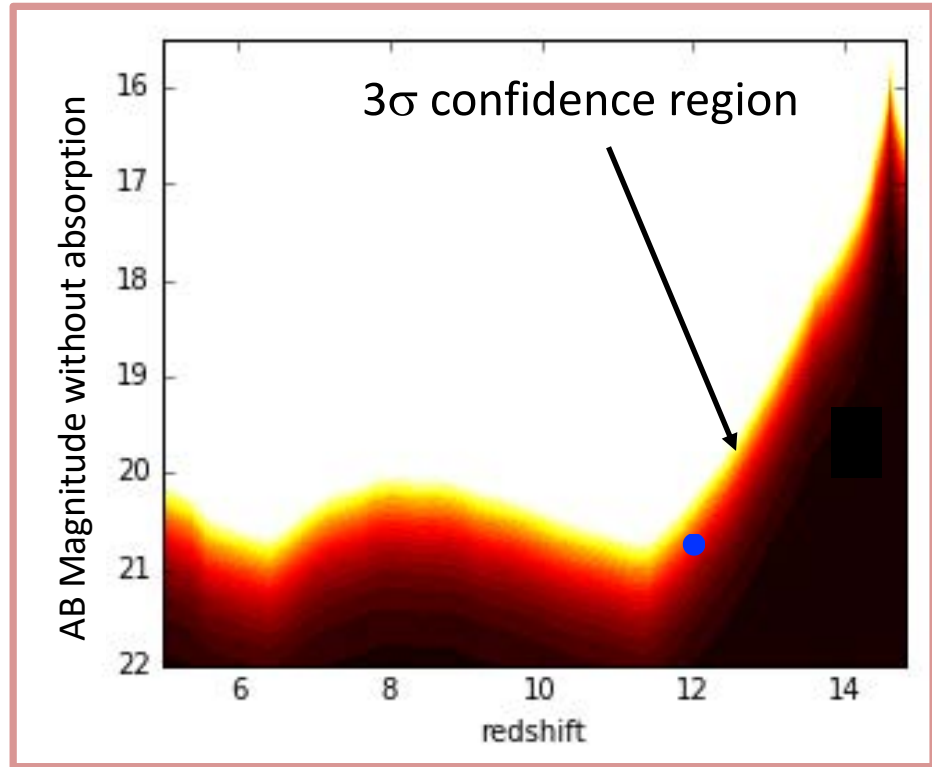
Items	Parameters
Energy band (keV)	0.4 – 4 keV
Telescope type:	Lobster Eye Optics
Optics aperture	240 x 320 mm ²
Number of Unit	6
Field of View	~ 1.2 str (6 units)
Focal length	300 mm
Focal plane detectors	CMOS array
Number of CMOS	24 (4 CMOS x 6 units)
Sensitivity	1e-10 (erg/cm²/s) For 100 sec
Point Spread Function	3 arcmin
Angular accuracy	~ 60 arcsec

Swift/BAT と比較して1.5~2 桁高感度

近赤外線望遠鏡



4バンド同時測光



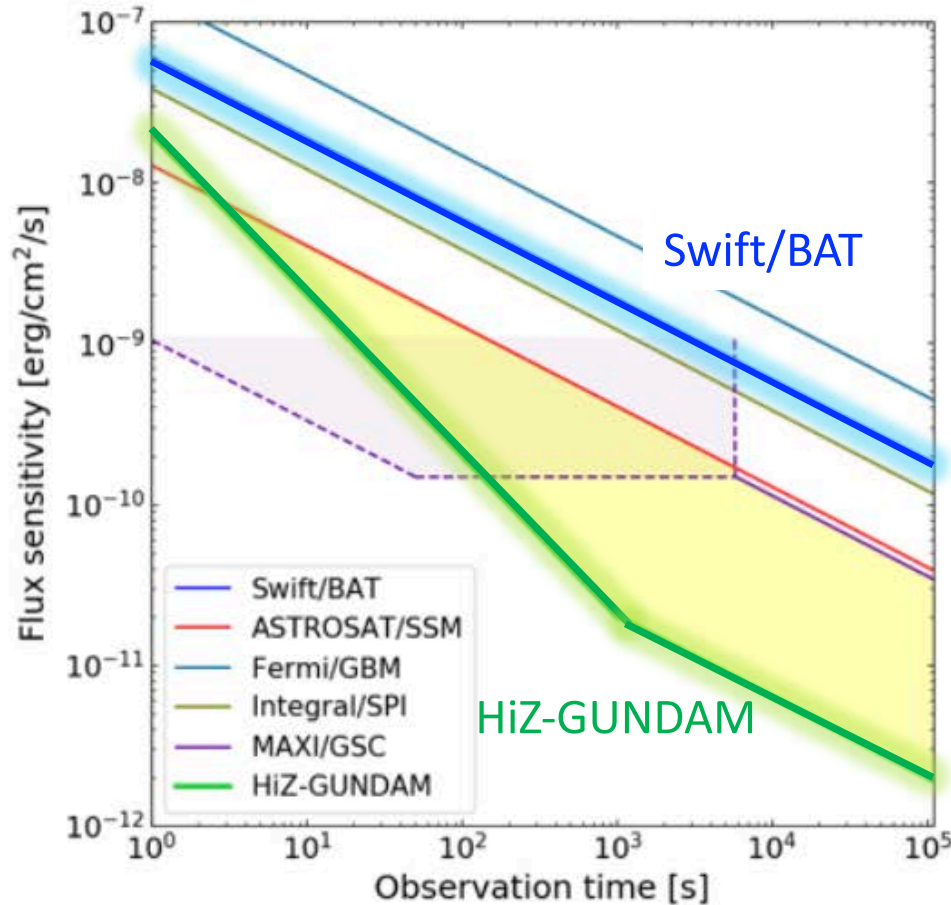
Items	Parameters			
Telescope type	Offset Gregorian			
Aperture size	30 cm			
Focal length	183.5 cm			
F number	F6.1			
Field of view	34 arcmin × 34 arcmin			
FoV per pixel	2 acsec × 2 arcsec			
Image size	3 pixel × 3 pixel			
Integration time	10 minutes (2 minutes × 5 frames)			
Observation Band (μm)	0.5–0.9	0.9–1.5	1.5–2.0	2.0–2.5
Band width	0.4 μm	0.6 μm	0.5 μm	0.5 μm
Limiting Magnitude mag (AB)	21.4	21.3	20.9	20.7
Focal detector	HyViSi	HgCdTe	HgCdTe	HgCdTe

赤方偏移 $z < 12$ まで測定可能

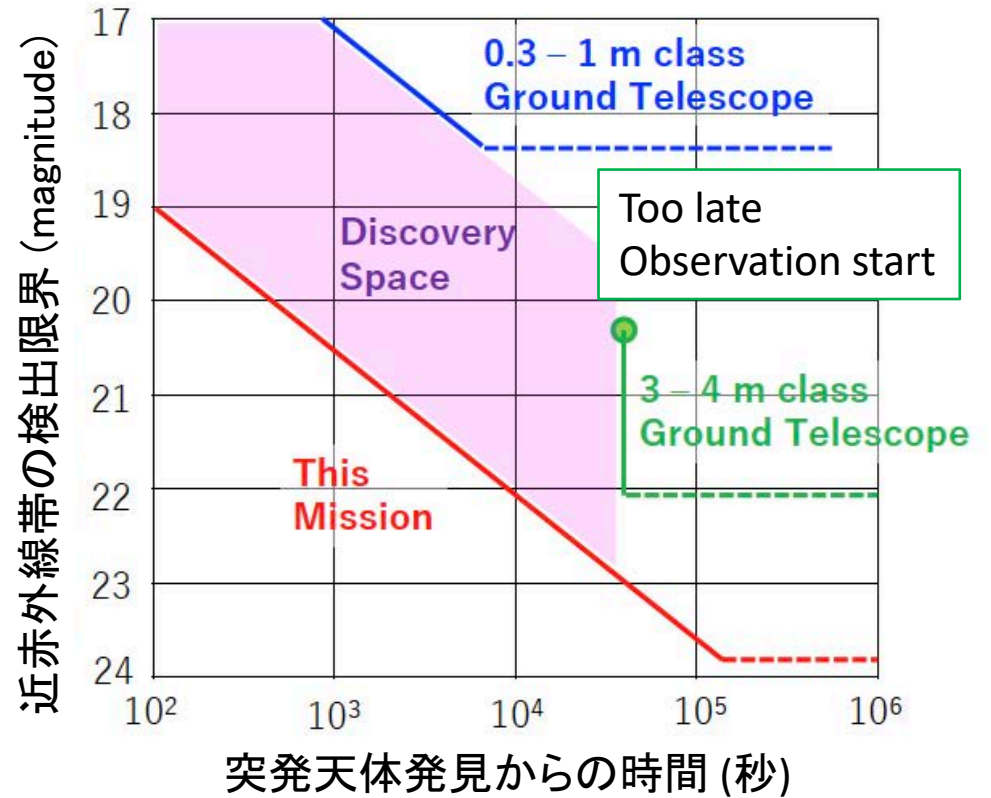
- High- z GRB と low- z dusty GRB は photometry で区別可能
- X線の方向決定精度 (3 arcmin) の中に偶然、近傍の赤色銀河が入る可能性は約20% 程度

時間変動やX線の吸収量などでの判別も試みる

検出期待値



追観測の感度



X-ray	event/yr
GRB (z>9) best model	40
GRB (z>9) lower limit	> 15
GW/SGRB prompt	~8
GW/SGRB E.E.	~8
GRB/SGRB	~700
Low-Luminosity GRB	> 5
X-Ray Flash	50

X-ray	event/yr
Tidal Disruption	60
SN Shock Breakout	> 5
Stellar Flare	many
Direct collapse BH	a few
Accretion induced collapse	~10

Near Infrared	event/yr
afterglow (z>9) best model	34
afterglow (z>9) lower limit	> 13
macronova	~8 + α
Supernovae	40
afterglow of GRB/SGRB/XRF	many
Variable stars	many

高宇連と光赤天連の分野横断型プロジェクト

2012年度：ワーキンググループ設立（宇宙科学研究所）

2015/04/10：両コミュニティに「分野横断型プロジェクト合同検討委員会」を設置

2015/06/30：同委員会による「HiZ-GUNDAMに関する答申文書（案）」を提出

マスタープラン2017 採択（学術大型研究計画・区分I）

計画の進捗

2018/01/29：公募型小型衛星に対するミッションコンセプト案を提案

2018/02/19：一次ヒアリング（通過）

2018/05/17：二次ヒアリング（通過）

Pre-phase A1b（アイデア実現加速プロセス）の検討を開始するための課題解決を行っている

コミュニティでの議論

高宇連（最新のロードマップ 2018年9月7日）

最優先課題（分野横断型）、高宇連もその実現に向け積極的にサポートする

光赤天連（最新の工程表 2015）

多波長連携で推進するプロジェクトの中核、SPICA/TMTの基幹プロジェクトと相補的多分野の連携により革新的な研究の進展が期待できる

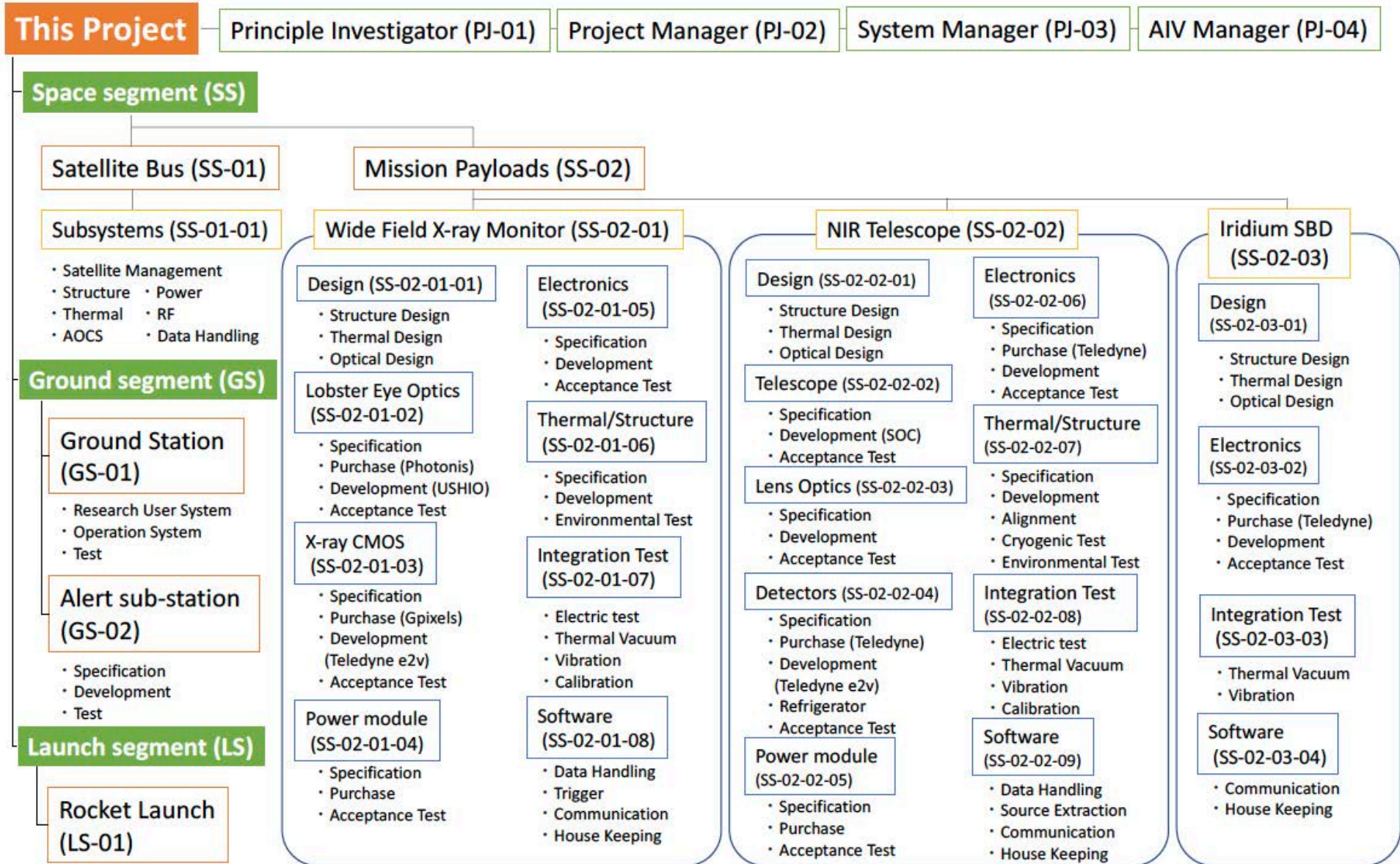
両コミュニティでマスタープラン2020へ向けた議論が行われる予定

体制

広視野X線撮像検出器班		近赤外線望遠鏡班		サイエンス班	
米徳大輔	金沢大	川端弘治	広島大	浅野勝晃	宇宙線研
三原建弘	理研	吉田道利	国立天文台	井岡邦仁	京都大
澤野達哉	金沢大	松浦周二	関西学院大	伊藤裕貴	理研
河合誠之	東工大	津村耕司	東北大	稲吉恒平	コロンビア大
有元誠	金沢大	松本敏雄	ISAS	井上進	理研
池田博一	ISAS	柳澤顕史	国立天文台	川中宣太	東京大
榎戸輝揚	京都大	沖田博文	国立天文台	木坂将大	青山学院大
大野雅功	広島大	田中雅臣	国立天文台	衣川智弥	東京大
黒澤俊介	東北大	成田憲保	国立天文台	木内建太	京都大
郡司修一	山形大	福井暁彦	国立天文台	久徳浩太郎	高エネ研
坂本貴紀	青山学院大	浦田裕次	台湾国立中央大	諏訪雄大	京都大
芹野素子	青山学院大	本原顕太郎	東京大	高橋慶太郎	熊本大
玉川徹	理研	板由房	東北大	田中貴浩	京都大
田代信	埼玉大	野田博文	大阪大	寺木悠人	理研
田村啓輔	名古屋大学	Jochen Greiner	MPE	當真賢二	東北大
谷森達	京都大	Woong-SeobJeong	KASI	戸谷友則	東京大
中川友進	海洋研	MinjinKim	KASI	長倉洋樹	Princeton
三石郁之	名古屋大学	YujinYang	KASI	長瀧重博	理研
村上敏夫	金沢大	MyungshinIm	Seoul National Univ	中村卓史	京都大
谷津陽一	東工大	Shiang-Yu Wang	台湾中央研究院	新納悠	国立天文台
山内誠	宮崎大学			松本仁	理研
山岡和貴	名古屋大	工学		水田晃	理研
吉田篤正	青山学院大	山田和彦	ISAS	村瀬孔大	Penn State
Paul T. O'Brien	Leicester	坂井真一郎	ISAS(アドバイザー)	山崎了	青山学院大
Julien P. Osborne	Leicester	福田盛介	ISAS(アドバイザー)	横山順一	東京大
Lorenzo Amati	INAF			中田好一	東京大学
				泉浦秀行	国立天文台
				Maria G. Dainotti	Stanford大
				Maxim Barkov	理研
				Jirong Mao	雲南天文台
				Alexey Tolstov	Kavli IPMU
				Donald C. Warren	理研

81名/32機関

WBS



大型望遠鏡の時間確保

本プロジェクトに関わる各地域のメンターが中心となって観測を提案

すばる望遠鏡

- すばる Science Advisory Committee 等を経由して将来の ToO 観測について議論を開始する
- 赤外線分光器の利用時間枠を確保
- 迅速な ToO 観測が実現できるよう調整 (LIGO O3 にて試行)

VLT望遠鏡

- 欧州側の WG メンバーを中心に観測時間を確保

Gemini 望遠鏡

- すばるとGeminiの時間交換枠を利用できるように検討

Keck 望遠鏡

- Caltech 研究者との共同研究体制を構築し、観測時間を確保

**Frontier of Early Universe and
Extreme Space-Time**

