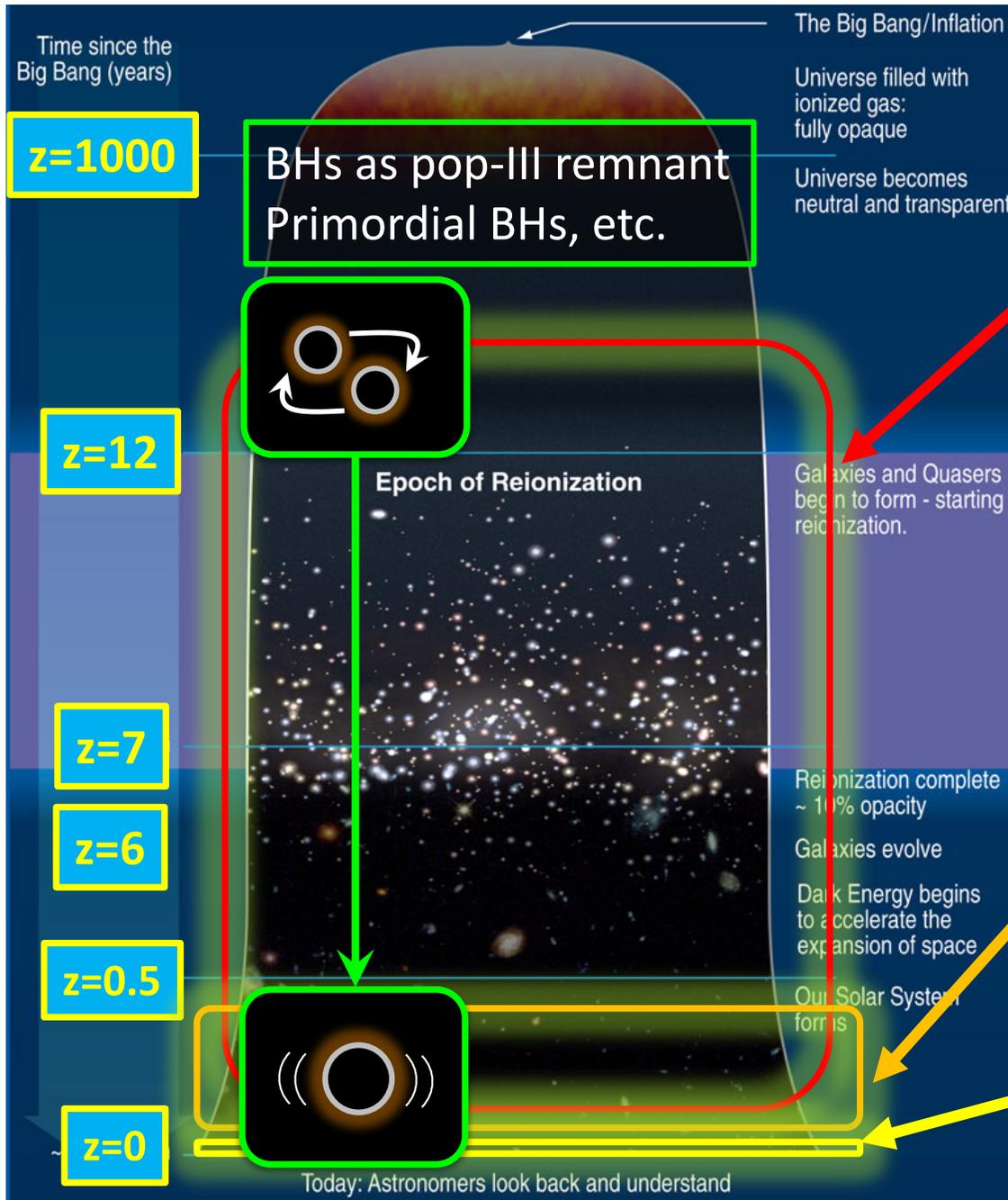


ガンマ線バーストを用いた 初期宇宙・極限時空探査計画 HiZ-GUNDAM

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)

Time Domain Astronomy & Multi Messenger 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

HiZ-GUNDAM計画：科学目標

ESA M5 でTHESEUSが選定されなかったため、この好機を逃さずに実現することが重要

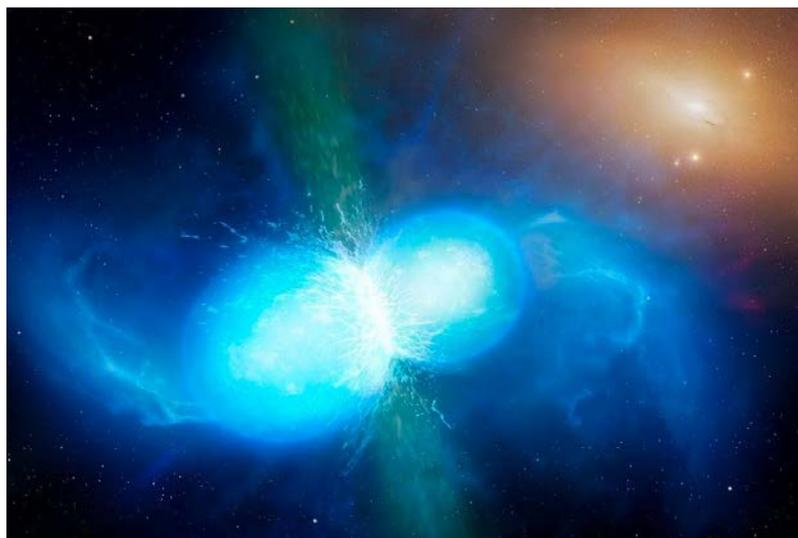
Key Science 1: GRB による初期宇宙探査



High-z GRBの迅速な特定と大型望遠鏡による分光観測

- (1) 赤方偏移 $z > 7$ の GRB 発生率
- (2) 宇宙再電離時期の特定とその変遷の理解
- (3) 宇宙最初期の重元素探査
- (4) 初代星を起源とする GRB 探査

Key Science 2: 重力波と同期したX線突発天体の観測による極限時空の理解

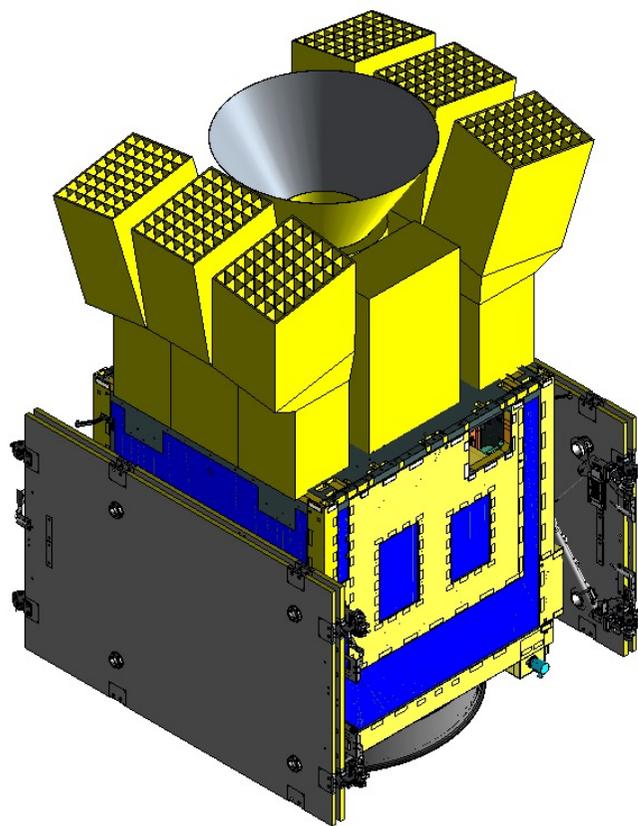


- (1) 重力波と同期したX線突発天体/SGRB の発見
- (2) 相対論的ジェットが存在の検証
- (3) 早期の可視光／近赤外線観測によるエネルギーの変遷の解明
(ジェット→コクーン→マクロノヴァ)
- (4) マクロノヴァの多様性の検証

いずれもX線によるGRB/SGRB の発見と迅速な近赤外線追観測が重要

観測の流れ

- (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、300秒以内に追観測を開始
可視光・近赤外線望遠鏡で残光・キロノヴァを追観測
- (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: 136.3 kg (6 units + 支持構造)

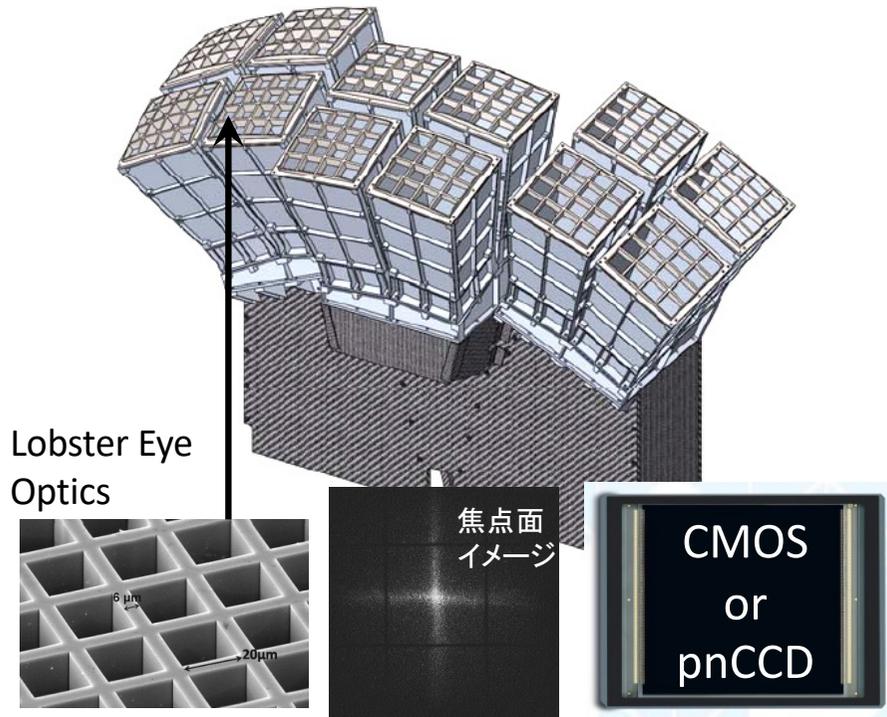
近赤外線望遠鏡 : 35.6 kg

ベースフレーム : 15.5 kg

衛星バス : 約 250 kg **Total: 約 440 kg**

| | HiZ-GUNDAM |
|------------|--------------------------|
| 打ち上げスケジュール | 2030 年頃 (公募型小型5号機を目指す) |
| 衛星軌道 | 太陽同期極軌道 (twilight) |
| 姿勢変更速度 | 1 deg/sec |
| 衛星質量 | 約 440 kg |
| ミッション期間 | > 3 years |
| アラート送信方式 | イリジウム SBD, VHF (SVOM地上局) |
| メンバー数 | ~100名/32機関 (韓、英、伊、等を含む) |

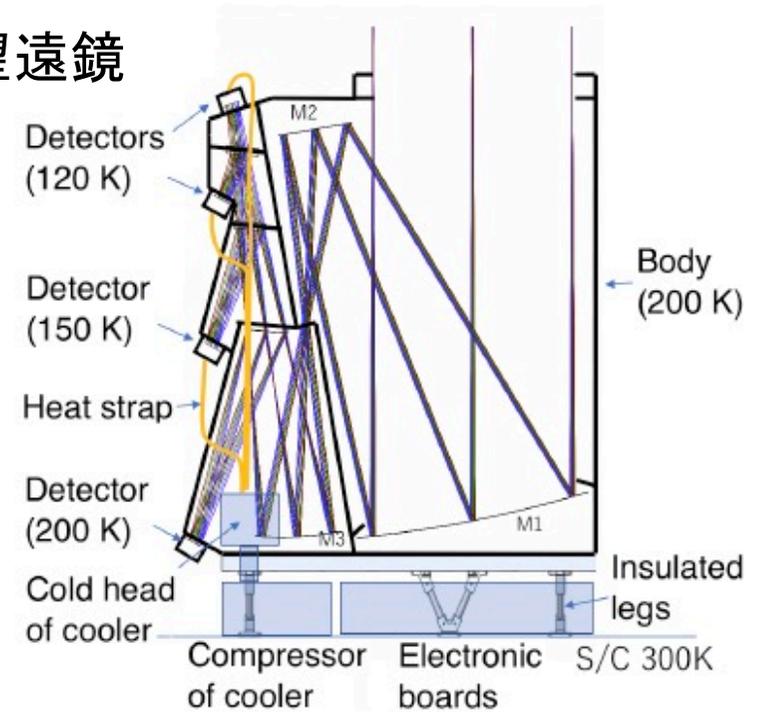
広視野X線モニター



| 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 | ~ 1.0 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 |
| Position accuracy | 3 arcmin |

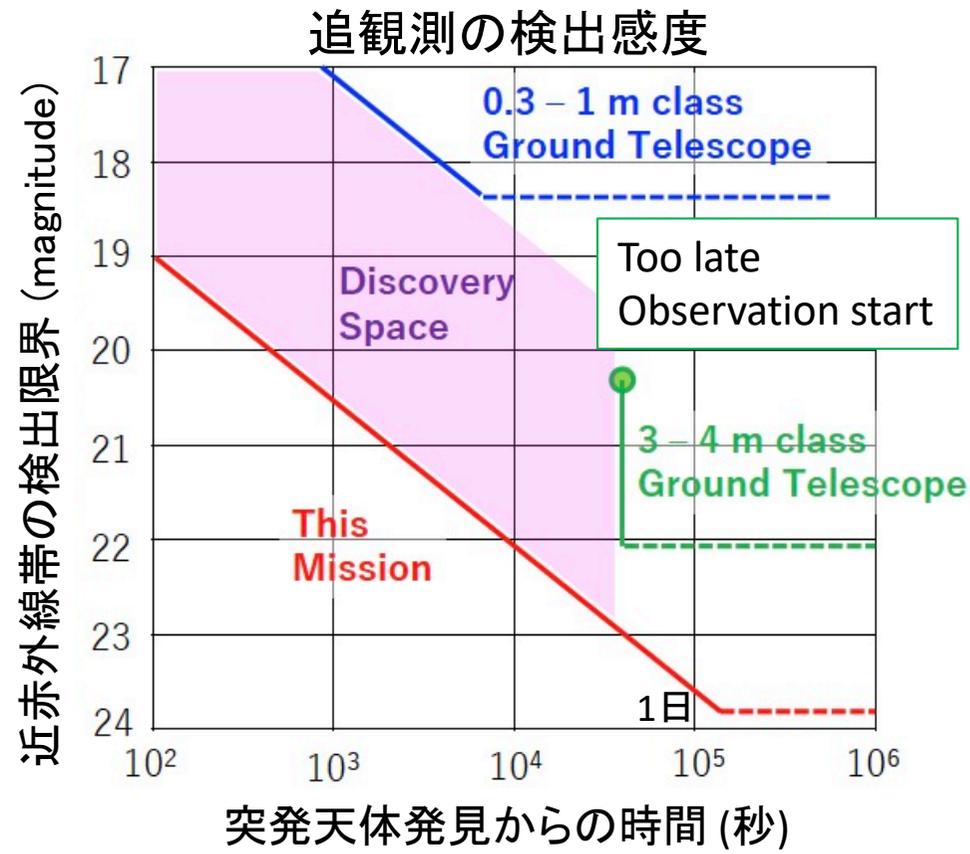
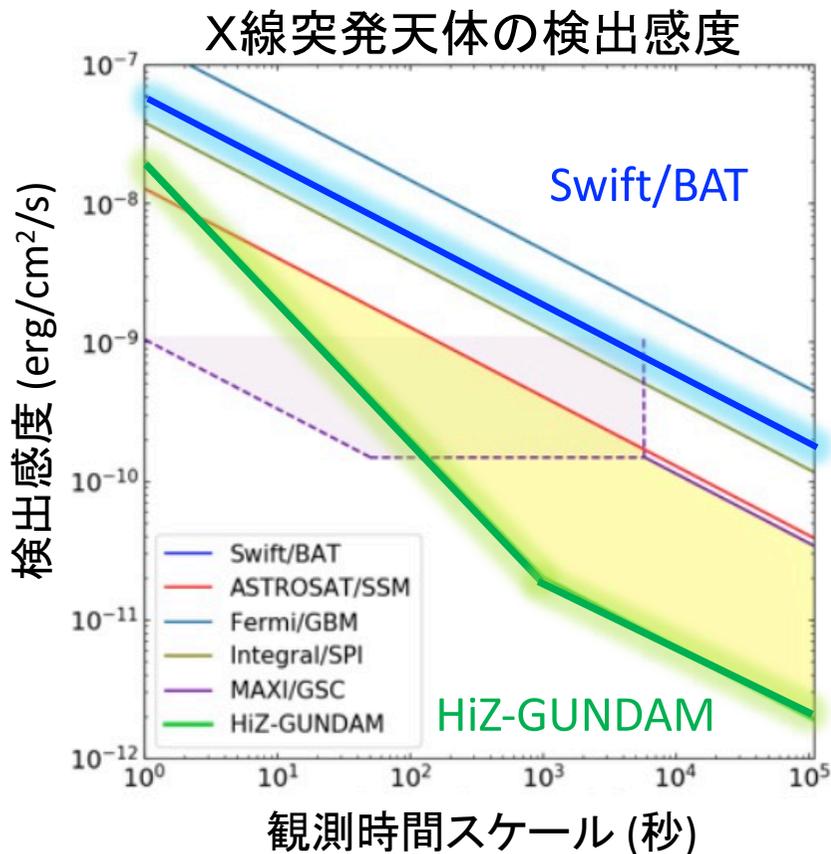
近赤外線望遠鏡

4バンド
同時測光



| Items | Parameters | | | |
|-----------------------------|---------------------------------------|---------|---------|----------------|
| Telescope type | Offset Optics (Three Mirror Assembly) | | | |
| 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 x 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 |

検出期待値



| X-ray | event/yr | X-ray | event/yr | Near Infrared | event/yr |
|--------------------|----------|----------------------------|----------|---------------------------|---------------|
| GRB (6<z<12) best | 26 | Tidal Disruption | 60 | afterglow (6<z<12) best | 13 |
| GW/SGRB prompt | ~8 | SN Shock Breakout | > 5 | macronova | ~8 + α |
| GW/SGRB E.E. | ~8 | Stellar Flare | many | Supernovae | 40 |
| GRB/SGRB | ~700 | Direct collapse BH | a few | afterglow of GRB/SGRB/XRF | many |
| Low-Luminosity GRB | > 5 | Accretion induced collapse | ~10 | Variable stars | many |
| X-Ray Flash | 50 | | | | |

Swift 時代: 赤方偏移 $z > 6$ の GRB は約 0.5 event/yr
 良質な分光スペクトルは 0.1 event/yr

→ HiZ-GUNDAM は約 20~30倍
 → HiZ-GUNDAM は約 100倍

| | |
|-----------|-----|
| PI: 米徳大輔 | 金沢大 |
| PoC: 土居明広 | 宇宙研 |

開発コアメンバ

※機器開発グループのみ

| 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 | |
|-------------------|-----------|-----------------|---------------------|-------------------|------------|
| 三原建弘 | 理研 | 津村耕司 | 東京都市大 | 浅野勝晃 | 宇宙線研 |
| 澤野達哉 | 金沢大 | 吉田道利 | 国立天文台 | 井岡邦仁 | 京都大 |
| 河合誠之 | 東工大 | 松浦周二 | 関西学院大 | 伊藤裕貴 | 理研 |
| 有元誠 | 金沢大 | 川端弘治 | 広島大 | 稲吉恒平 | 北京大学 |
| 池田博一 | 宇宙研 | 秋田谷洋 | 千葉工業大 | 井上進 | 理研 |
| 榎戸輝揚 | 理研 | 松本敏雄 | 宇宙研 | 川中宣太 | 東京大 |
| 大野雅功 | 広島大 | 柳澤顕史 | 国立天文台 | 木坂将大 | 青山学院大 |
| 黒澤俊介 | 東北大 | 沖田博文 | 国立天文台 | 衣川智弥 | 東京大 |
| 郡司修一 | 山形大 | 田中雅臣 | 東北大 | 木内建太 | 京都大 |
| 坂本貴紀 | 青山学院大 | 成田憲保 | 国立天文台 | 久徳浩太郎 | 高エネ研 |
| 芹野素子 | 青山学院大 | 福井暁彦 | 国立天文台 | 諏訪雄大 | 京都大 |
| 杉田聡司 | 青山学院大 | 浦田裕次 | 台湾国立中央大 | 高橋慶太郎 | 熊本大 |
| 玉川徹 | 理研 | 本原顕太郎 | 東京大 | 田中貴浩 | 京都大 |
| 田代信 | 埼玉大 | 板由房 | 東北大 | 寺木悠人 | 理研 |
| 田中孝明 | 京都大 | 野田博文 | 大阪大 | 當真賢二 | 東北大 |
| 田村啓輔 | 名古屋大 | 松原英雄 | 宇宙研 | 戸谷友則 | 東京大 |
| 谷森達 | 京都大 | 和田武彦 | 宇宙研 | 長倉洋樹 | Princeton |
| 富田洋 | JAXA | 井上昭雄 | 早稲田大 | 長瀧重博 | 理研 |
| 中川友進 | 海洋研 | Jochen Greiner | MPE | 中村卓史 | 京都大 |
| 平賀純子 | 関西学院大 | Woong-SeobJeong | KASI | 新納悠 | 国立天文台 |
| 前田良知 | 宇宙研 | MinjinKim | KASI | 松本仁 | 理研 |
| 三石郁之 | 名古屋大 | YujinYang | KASI | 水田晃 | 理研 |
| 村上敏夫 | 金沢大 | MyungshinIm | Seoul National Univ | 村瀬孔大 | Penn State |
| 谷津陽一 | 東工大 | Shiang-Yu Wang | 台湾中央研究院 | 山崎了 | 青山学院大 |
| 山内誠 | 宮崎大学 | | | 横山順一 | 東京大 |
| 山岡和貴 | 名古屋大 | 工学 | | 中田好一 | 東京大学 |
| 吉田篤正 | 青山学院大 | 山田和彦 | ISAS | 泉浦秀行 | 国立天文台 |
| Paul T. O'Brien | Leicester | 坂井真一郎 | ISAS(アドバイザー) | Maria G. Dainotti | Stanford大 |
| Julien P. Osborne | Leicester | 福田盛介 | ISAS(アドバイザー) | Maxim Barkov | 理研 |
| Lorenzo Amati | INAF | 宮坂明宏 | 東京都市大学 | Jirong Mao | 雲南天文台 |
| | | 坂東信尚 | 宇宙研 | Alexey Tolstov | Kavli IPMU |
| | | 軸屋一郎 | 金沢大 | Donald C. Warren | 理研 |

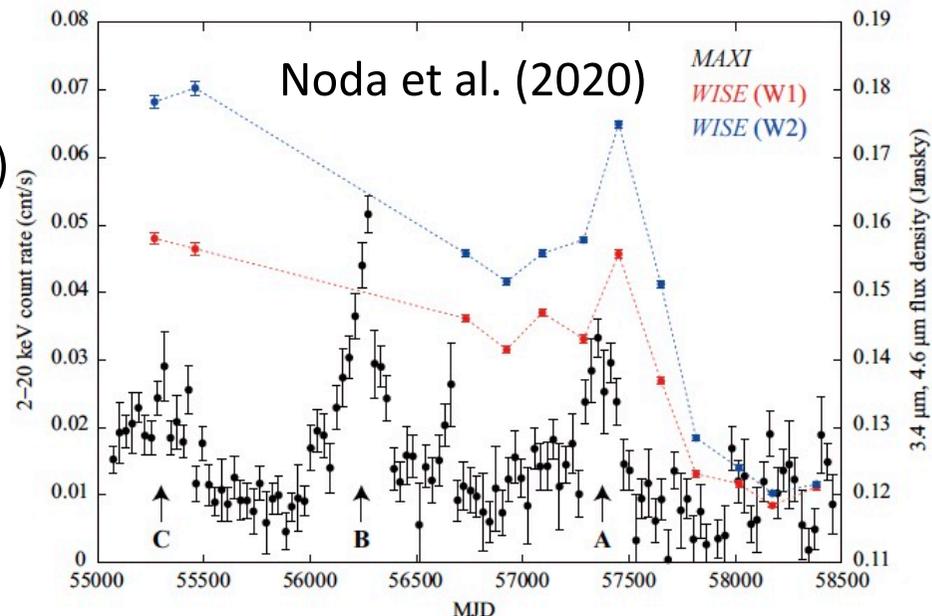
Key Science 以外の Time Domain Astronomy の例

■ 初の2型AGN (NGC 2110) の反響マッピング

X線 (MAXI: 2– 20 keV) + 赤外線 (WISE: 3 – 5 μm)
ダストオーラス内縁構造の探索 (130日のラグ)
(WISE は半年に一回程度の観測)

HiZ-GUNDAM による高頻度の X 線 + NIR 観測

より軽い BH 質量 ($10^6 - 10^7 M_{\text{sun}}$) を含めた
1型/2型 AGN の網羅的な内部探査

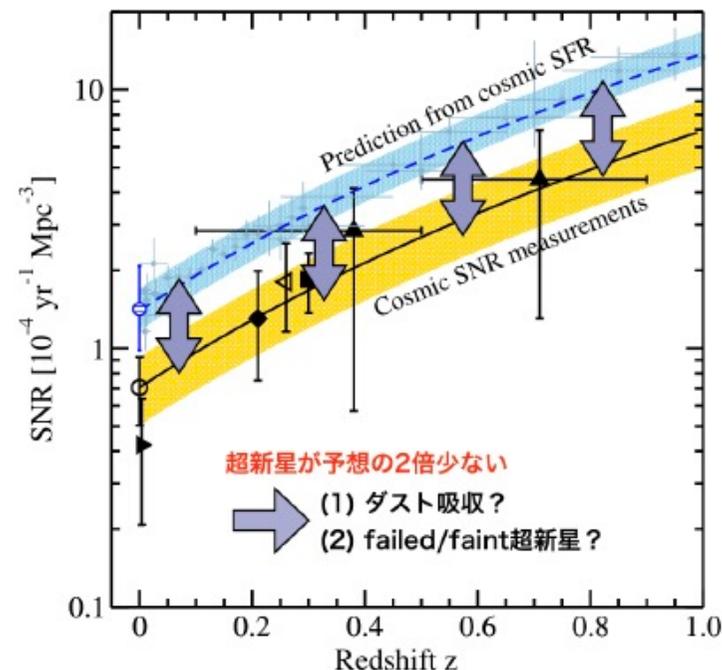


■ 超新星爆発

重力崩壊型超新星の頻度は、
星形成から予想される数の 1/2 程度
(1) 星間空間のダスト吸収による不定性？
(2) Failed/Faint Supernovae？

これまでの観測は
超新星発生率が高い赤外線銀河(LIRG)をモニター
⇒ ダスト減光の不定性を強く受ける

Horiuchi et al. (2011)



可視光～近赤外線での同時測光により、
LIRG に頼らない赤外線超新星サーベイ、
そして SN shock breakout の観測

HiZ-GUNDAM (High-z Gamma-ray bursts for Unraveling the Dark Ages Mission)

ミッション目的:

“時間領域天文学”と“マルチメッセンジャー天文学”への貢献

主要課題1: ガンマ線バースト(GRB)を用いた初期宇宙探査

観測: 高赤方偏移 GRB の検出 ($9 < z < 12$)

科学: 初期宇宙の星形成率の測定と初代星を起源とするGRBの探査
宇宙再電離と元素合成の変遷の理解

主要課題2: 重力波天文学の推進

観測: 重力波と同期したX線突発天体の同定

科学: 相対論的ジェットが存在確認と外周物質との相互作用の理解

r 過程による希土類元素生成と、その崩壊熱(マクロノバ)の多様性の理解

観測戦略

- (1) 広視野X線撮像検出器による暗いGRBやX線突発天体の発見
- (2) 自律制御による衛星の姿勢変更
- (3) 近赤外線望遠鏡を用いた高赤方偏移GRBやマクロノバの同定
- (4) 観測情報のアラート送信
- (5) 大型望遠鏡による高赤方偏移GRBや重力波天体の分光観測



広視野X線撮像検出器

- ・ ロブスターアイ光学系
- ・ CMOS 撮像検出器

近赤外線望遠鏡

- ・ Offset Gregorian光学系
- ・ 4バンド同時測光

広視野X線撮像検出器の仕様

| | |
|--------------|---|
| エネルギー帯 (keV) | 0.4 – 4 keV |
| 視野 | 約 1.2 str (6 ユニット合計) |
| 検出感度 | 10^{-10} erg/cm ² /s (100 秒露光時) |
| 空間分解能 | 3 分角 |
| 方向決定精度 | ~ 60 秒角 |

近赤外線望遠鏡の仕様

| | | | | |
|----------------|---------------------|---------|---------|---------|
| 望遠鏡口径 | 30 cm | | | |
| 視野 | 34 分角 x 34 分角 | | | |
| 露光時間 | 10 分 (2 分 x 5 フレーム) | | | |
| 観測バンド (μm) | 0.5–0.9 | 0.9–1.5 | 1.5–2.0 | 2.0–2.5 |
| 限界等級 (AB) | 21.4 | 21.3 | 20.9 | 20.7 |
| 10 分露光, S/N=10 | | | | |