

ガンマ線バーストを用いた初期宇宙探査計画 HiZ-GUNDAM

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

WG 代表 **米徳大輔** (金沢大学)

X線・ガンマ線 **河合誠之** (東工大)、**三原建弘** (理研)、**坂本貴紀** (青山学院大)、**谷津陽一** (東工大)、黒澤俊介 (東北大)、郡司修一 (山形大)、芹野素子 (理研)、谷森達 (京都大)、村上敏夫 (金沢大)、山岡和貴 (青山学院大)、吉田篤正 (青山学院大)

赤外線望遠鏡 **松浦周二** (ISAS/JAXA)、**津村耕司** (ISAS/JAXA)、**白旗麻衣** (ISAS/JAXA)、沖田博文 (東北大)、川端弘治 (広島大)、柳澤顕史 (国立天文台)

理論検討 浅野勝晃 (東工大)、井岡邦仁 (高エネ研)、井上進 (宇宙線研)、川中宣太 (高エネ研)、諏訪雄大 (京都大)、高橋慶太郎 (熊本大)、筒井亮 (東京大)、當真賢二 (大阪大)、戸谷友則 (京都大)、長倉洋樹 (京都大)、長滝重博 (京都大)、中村卓史 (京都大)、新納悠 (国立天文台)、水田晃 (高エネ研)、山崎了 (青山学院大)、横山順一 (東京大)

衛星システム 坂井真一郎 (ISAS/JAXA) **アドバイザー** 金田英宏 (名古屋大)、和田武彦 (ISAS/JAXA)

ガンマ線バースト(GRB)は宇宙最大の爆発現象である。短時間ではあるが非常に明るく輝くため、初期宇宙を探るプローブとして利用されている。**本ミッションの目的は、GRBをプローブとして高赤方偏移観測のフロンティアを開拓することである。**具体的には、GRB検出後、自動的に衛星の姿勢を変更し、可視光・近赤外線望遠鏡を用いて明るい残光を観測する。バンド測光または低分散分光観測で、粗い赤方偏移を同定するまでを本ミッションの範疇で行う。高赤方偏移GRBを同定した場合は、いち早く地上大型望遠鏡(すばる、VLT, Keck, ALMA など)や大型人工衛星(SPICA, JWST など)と協力して高分散スペクトルを取得し、 $z>8$ の初期宇宙の物理情報を引き出せるだろう。GRBの明るい光源を利用することで、 $z\sim 10$ の宇宙における**第一世代星の誕生や宇宙再電離、銀河間空間の重元素汚染**などの宇宙論的に重要な未解決問題に挑戦できるだろう。また、10年後でも $z>2$ の初期宇宙における観測的宇宙論を展開できるのはGRBのみと考えられ、**暗黒エネルギーや暗黒物質**量といった21世紀物理学の最重要課題にも取り組みたい。

X線・ガンマ線

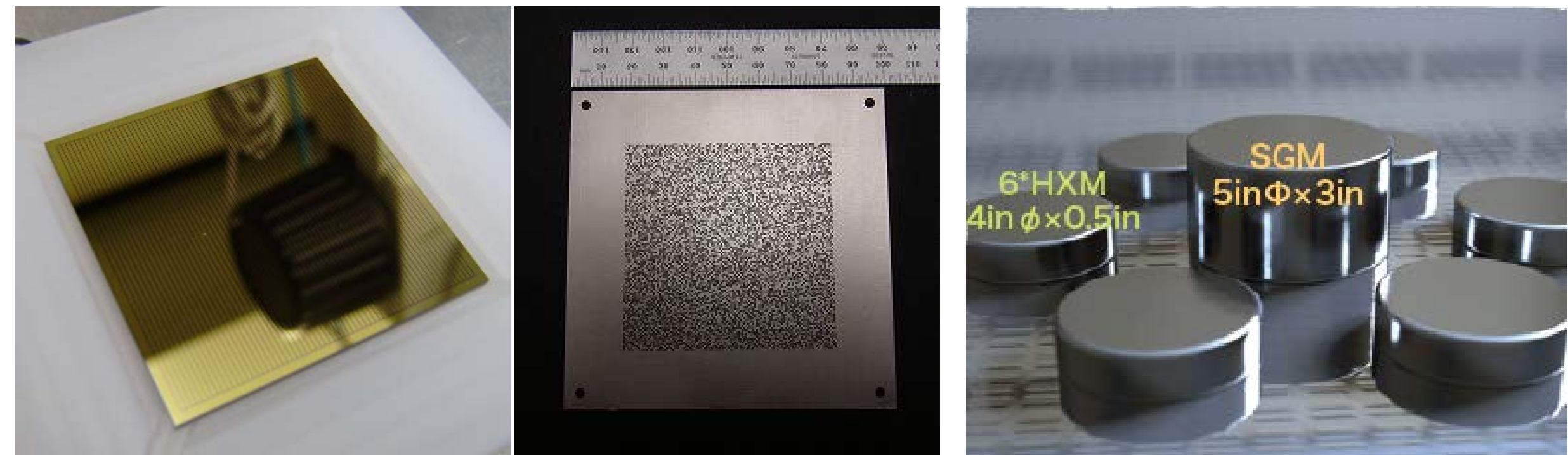


図1. 金沢大学で開発しているCdTeイメージ検出器(左)とコーデッドマスク(中央)。両面x-yストリップの電極を構成し、0.5mmピッチで64ch×2の読み出しとなる。(右)は青山学院大学が開発しているCALET搭載GBM検出器のシンチレータ。両センサーを合わせて数keV～10MeV程度の広帯域でGRBを観測する。

	X線イメージ検出器	シンチレータ検出器
検出器	Si または CdTe 両面ストリップ	BGO + 光電子増倍管
エネルギー帯域	数keV ～ 100 keV	50 keV ～ 10 MeV
検出器サイズ	0.5mm ピッチ coded mask 45 × 45cm またはその半分を2台	直径5インチ 高さ3インチを4台
有効面積	1000cm ² @ 10keV (Half Coded)	500cm ² @ 100keV
方向決定精度	11.5分角 (幾何学形状から) 5分角 (光子統計の重みづけから)	無し
視野	約2ステラジアン	約2πステラジアン

強く赤方偏移の効果を受けたGRBを観測するために、数keVのX線領域から感度を持つSi または CdTe撮像検出器を搭載する。また、GRBのスペクトル(特にピークエネルギー)を精度良く決定するためのシンチレータを搭載する。

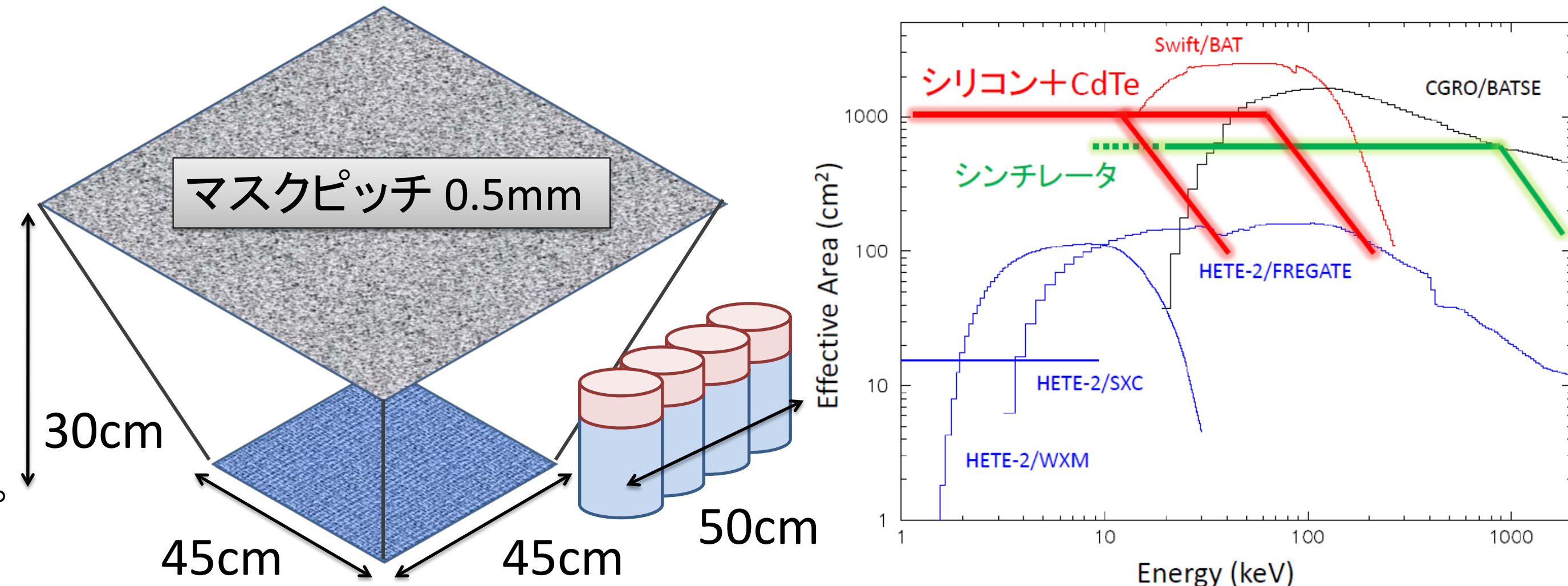


図2. X線・ガンマ線センサーの有効面積を表した図。Swift-BAT、HETE-2と比較しても15keV以下の有効面積が圧倒的に大きいため、過去の衛星と比べて高赤方偏移GRBの観測を実施できるだろう。GRBと類似したX-ray Flash や、超新星のshock break-outなども数多く観測できるようになり、高エネルギーの突発現象を包括的にモニターできるだろう。

リアルタイムで方向を決定し、衛星の姿勢を自立制御。**可視・近赤外線望遠鏡で明るい残光の追観測を行う。**

地上観測者に対して発生時刻・方向のアラート情報を出すことで、世界中の望遠鏡と協力して追観測を行う。

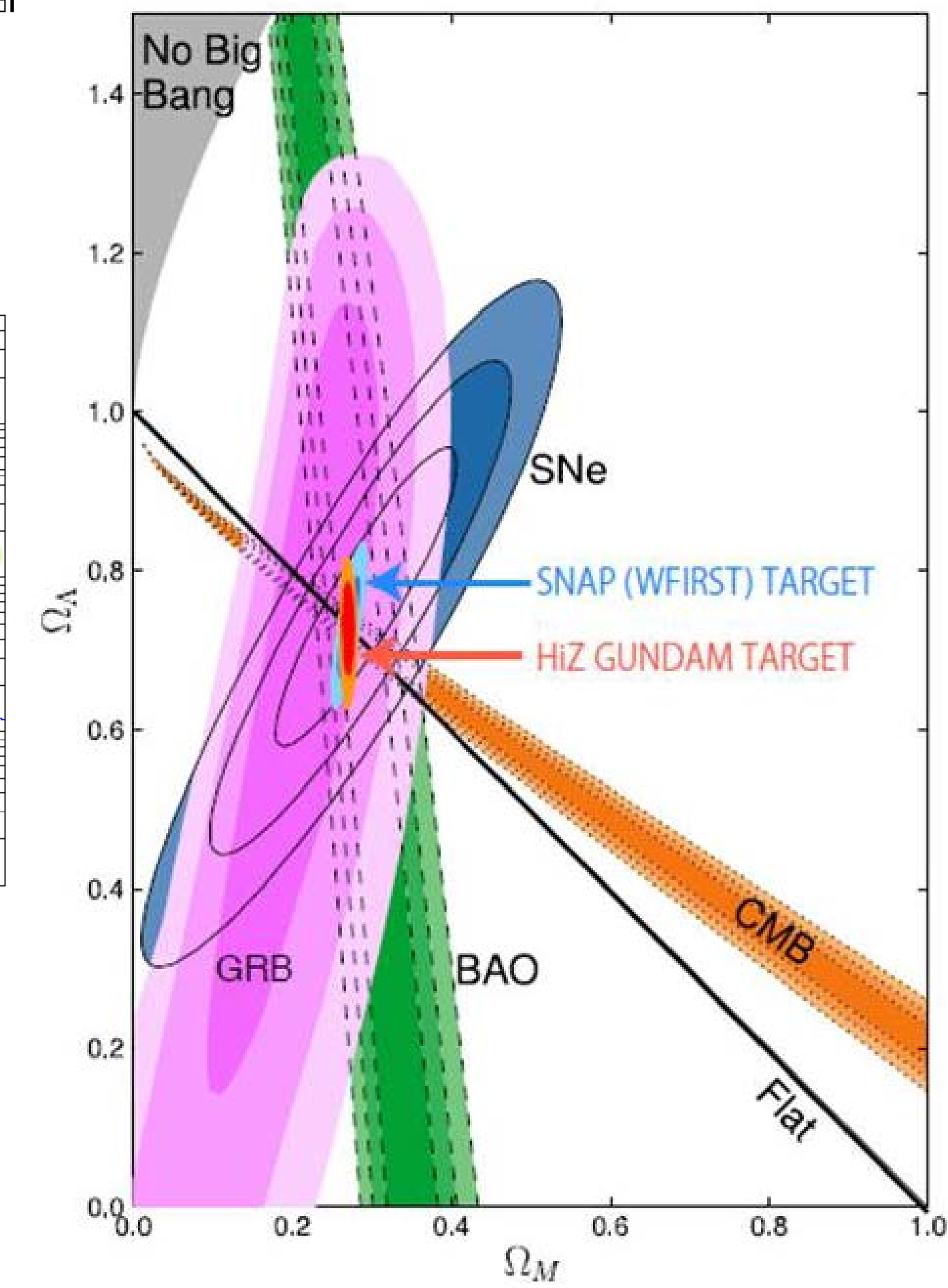


図3. Epeak - 光度関係 (Yonetoku et al. 2004) や GRB Fundamental Plane (Tsutsui et al. 2009) から制限した宇宙論パラメータ。赤色で示した等高線は、赤方偏移を測定できた100イベントのGRBのEpeakを5%の精度で測定した時の制限の例。 $z>2$ を超える初期宇宙でIa型超新星に匹敵する精度で宇宙論パラメータを測定できる。

可視・近赤外線

赤方偏移 $z>8$ の天体は、水素のLy α 吸収端が近赤外線までシフトするため、可視光では全く観測できず、近赤外線での観測が重要となる。可視光・近赤外線の両方で同時に観測し、大まかな赤方偏移を同定する。

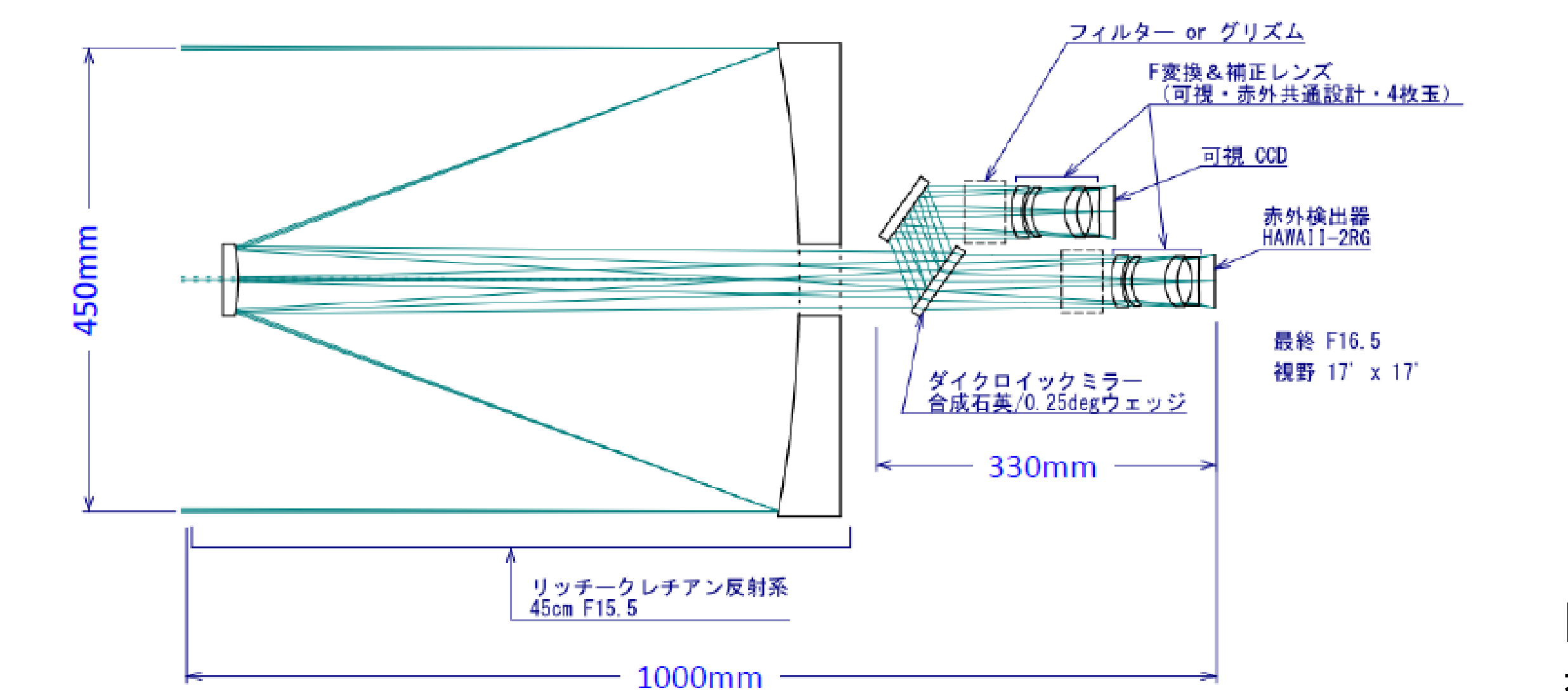


図4. 口径45cm望遠鏡の光学設計案。広い視野を確保するために、リッチークレチアン望遠鏡と補正光学系を検討している。鏡筒の長さは約70cmで、検出器モジュールを含めて1m以下で構成させる。

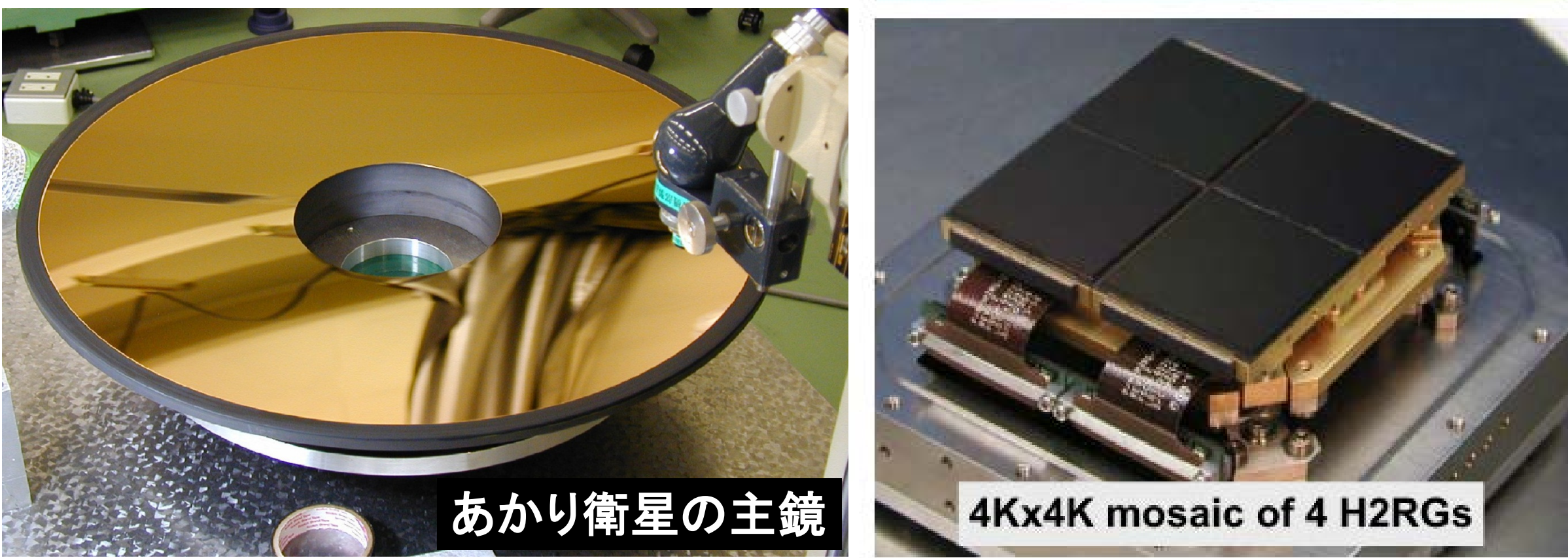


図5. (左)あかり衛星で使われたSiC製の主鏡。本ミッションでもあかり衛星を参考に製作することを想定しているが、鏡面精度を高くする必要がある。波長700nmの可視光に対して、鏡面精度を $\lambda/10=70$ nm程度に保つことを目標とする。(右)1.75 μ mカットオフのHAWAII2-RGアレイ。JTまたはST冷凍機で120Kまで冷却する。読み出しはSIDE CAR ASICと呼ばれる専用の集積回路を用いる。

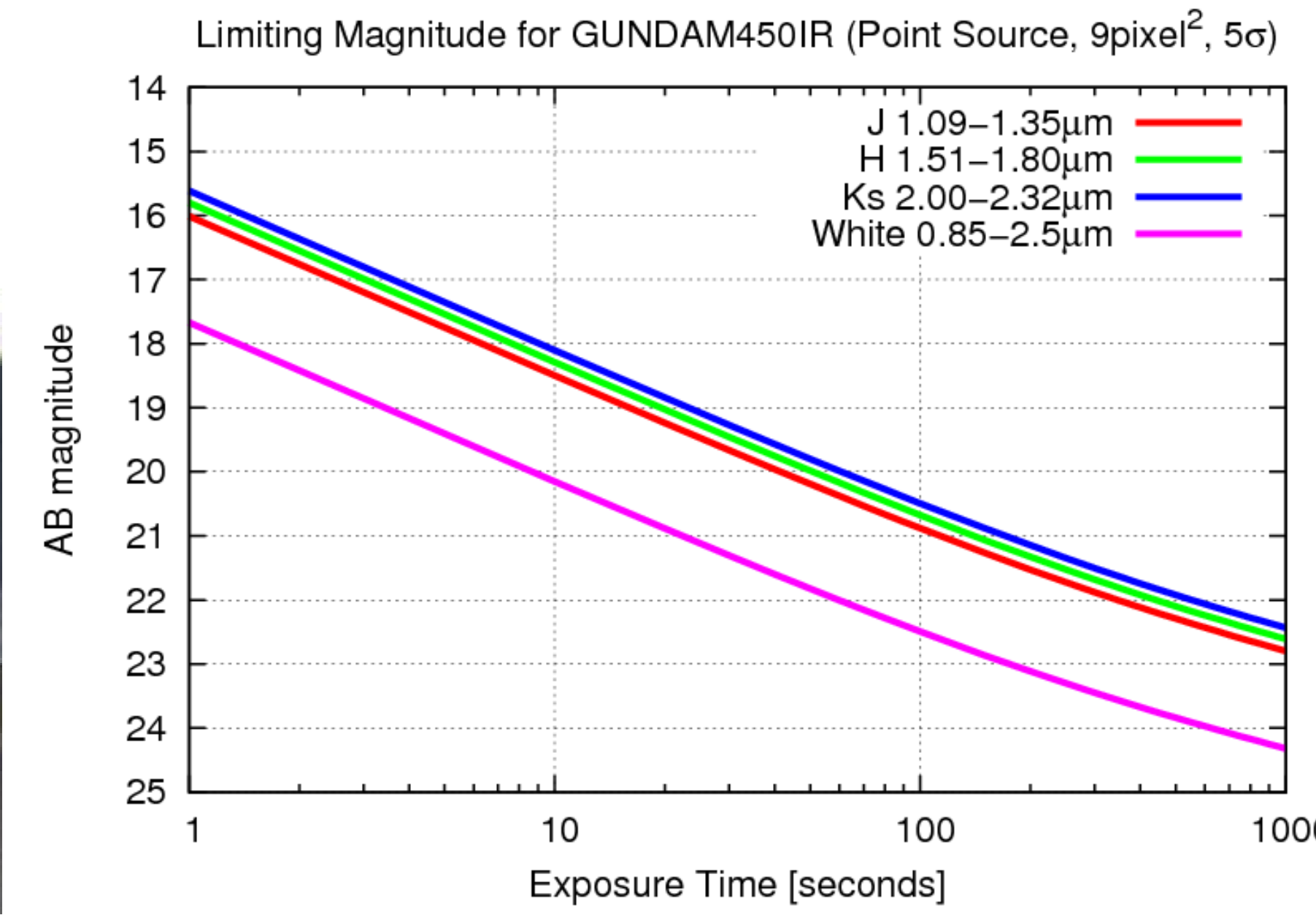


図6. 口径45cm望遠鏡を用いた時の検出感度計算。J,Hバンドで換算した場合、1分露光で20等級(AB)を達成できる。長時間の露光ではより深い限界等級を達成できるため、待機時のモニター観測でも利用できる。

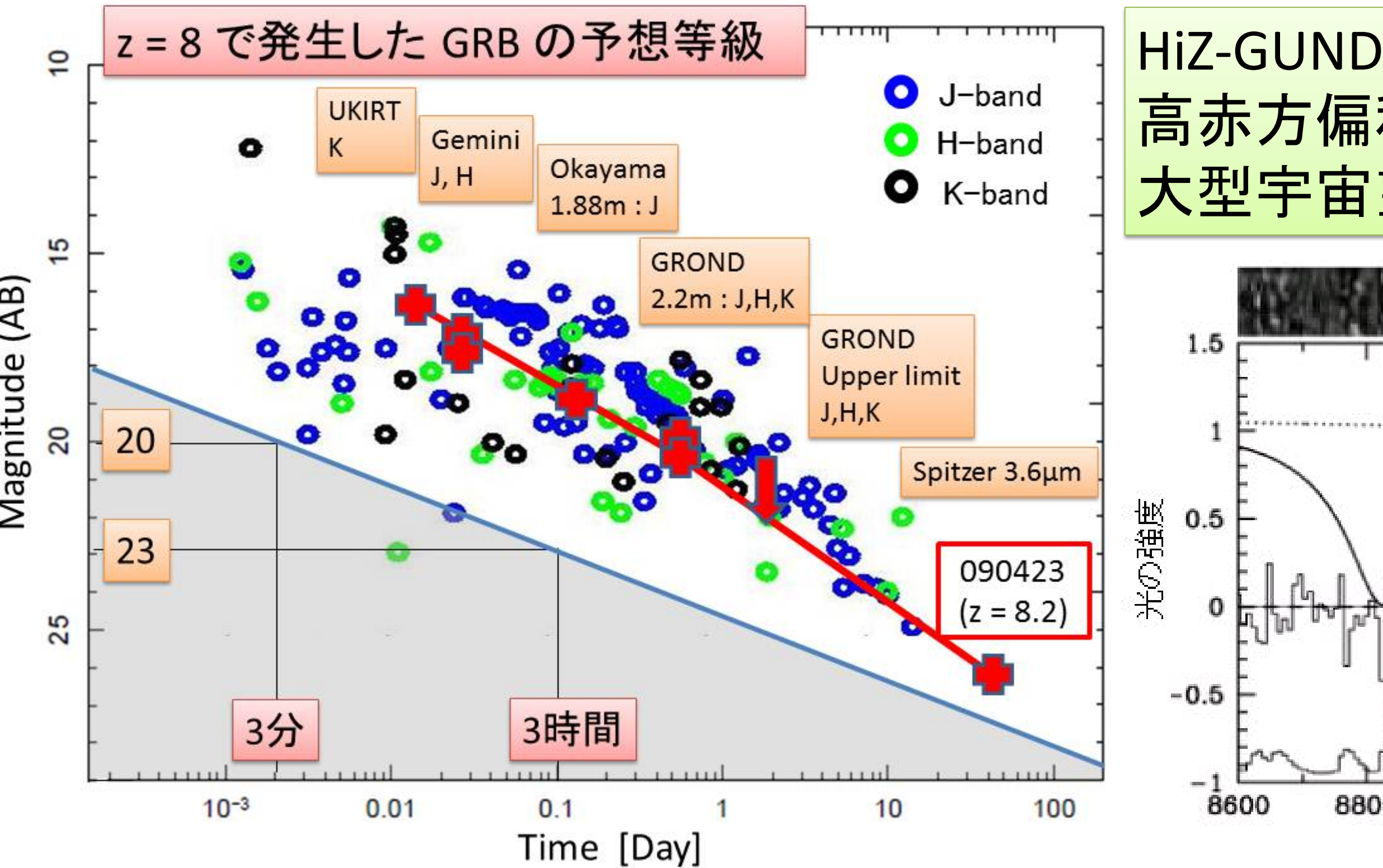


図7. これまでに赤外線残光が観測された例の明るさから、 $z=8$ に存在する場合を予測した光度曲線。測光観測では非常に多くの残光を検出できる。低分散分光を含めた場合を検討する。

HiZ-GUNDAMで検出したGRBに対して包括的に残光を観測し、いち早く赤方偏移の情報を取得する。高赤方偏移イベントの場合は、すばる、Keck, VLT, TAO などの大型地上望遠鏡や、JWST, SPICA などの大型宇宙望遠鏡と連携し、残光が明るいうちに高分散スペクトルを取得する。

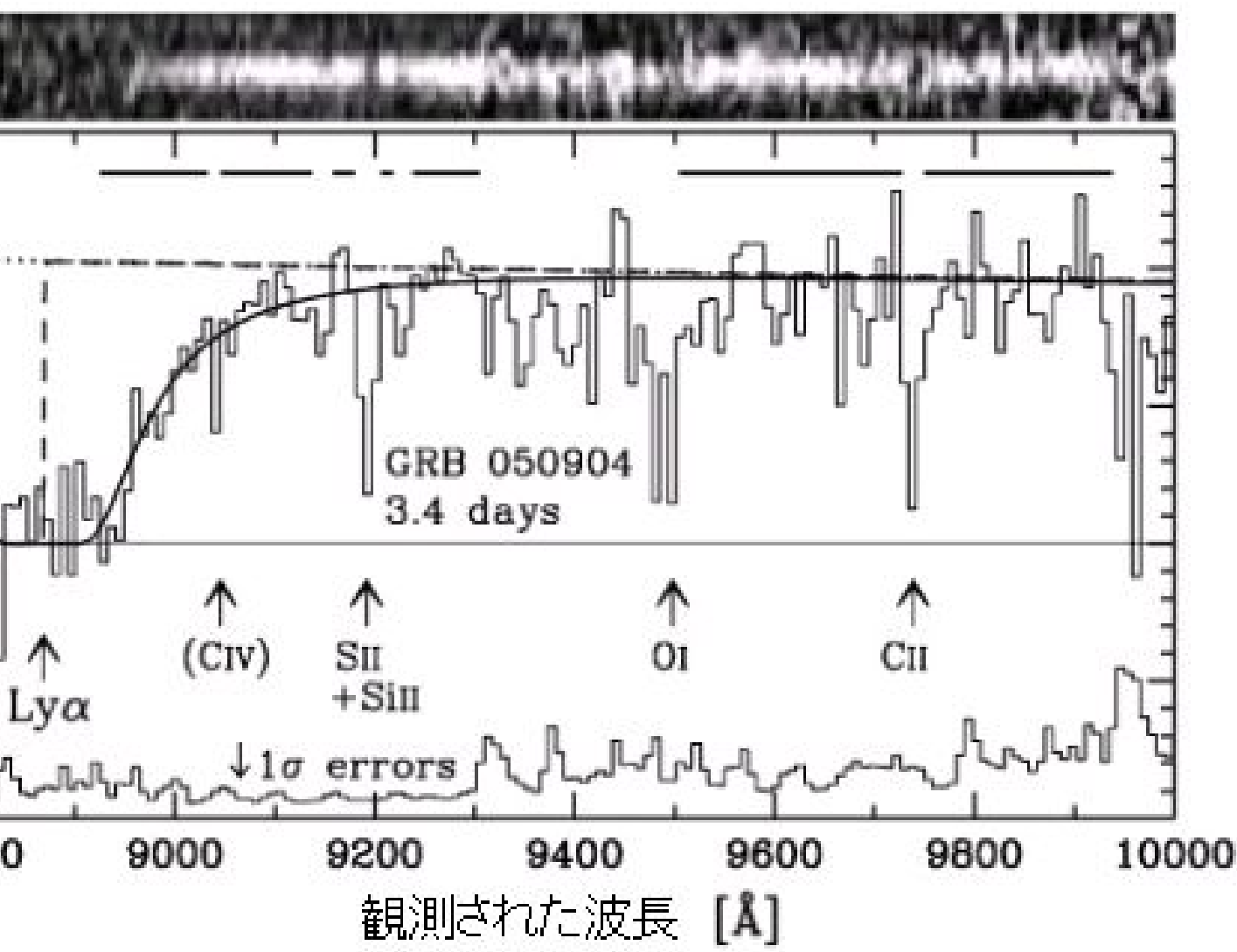


図8. すばる望遠鏡で得られたGRB050904 ($z=6.3$)の分光スペクトル。ライマン α 端の形状から、宇宙の電離度が高い事を測定した(Kawai et al. 2005)。

GRB発生率は大質量星の生成率と直結しているため、宇宙の星生成歴を調べられるだろう。ライマン α 端のdumping wingから水素の電離度を測定し、宇宙再電離の時期を同定でする。吸収線量から重元素量を測定し、宇宙最初期の元素合成の歴史を議論できるだろう。

■宇宙再電離の時期やそのエネルギー源
■重元素量 ■第一世代星の観測
■星形成歴 ■暗黒エネルギー量の時間変化
GRBを用いて宇宙論の重大問題の解明へ！