

# 小型専用望遠鏡を用いたガンマ線バースト残光の多色追跡観測計画： ガンマ線バーストの迅速な発見、観測による宇宙形成・進化の研究

河合 誠之<sup>1</sup>、柳澤 顕史<sup>2</sup>、太田 耕司<sup>3</sup>、渡部 潤一<sup>2</sup>、吉田道利<sup>2</sup>、  
吉田 篤正<sup>4</sup>、細谷 暁夫<sup>1</sup>、松永 三郎<sup>1</sup>、森 正樹<sup>5</sup>、片岡 淳<sup>1</sup>、石野 宏和<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東工大理工、<sup>2</sup> 国立天文台、<sup>3</sup> 京大理、<sup>4</sup> 青学大理工、<sup>5</sup> 東大宇宙線研

## 概要

宇宙の暗黒時代と呼ばれる観測の空白期  $6 < z < 1000$  を、宇宙でもっとも明るい光源であるガンマ線バーストを用いて探るために、可視・近赤外専用小望遠鏡を、国立天文台岡山観測所に設置することを計画している。

## 1 研究の目的

マイクロ波宇宙背景放射で観測される  $z \sim 1000$  の平坦な宇宙から  $z < 6$  で観測される銀河や星がいつ形成され、どのように進化してきたのか。これは現代天体物理学の中心的な課題である。本研究は、この暗黒時代とも言うべき観測の空白期を宇宙でもっとも明るい光源である線バーストを用いて探ることを目的とする。

星のエネルギーは基本的に可視光で放射されているため、歴史的に銀河と星の形成史は可視光で遠方の銀河を観測することによって研究されてきた。寿命の短い大質量星の紫外線輻射によって形成された電離ガスからの放射や紫外線連続成分を観測することによって、大質量星の数を算出し、それをもとに銀河の星形成率を算出するのである。この方法はある意味で成功し、 $z < 5$  までの星の形成史が観測的に明らかにされつつある。しかし、この手法は、遠方になれば観測対象天体が暗くなるという当然の困難に加えて、さらに本質的な限界を抱えている。すなわち、多数の星が集合した「銀河」が形成されていないと、そもそも観測が不可能なことである。最近では紫外光に加えて、赤外、サブミリ波によるダストの多い原始銀河の観測が注目されているが、銀河が形成される前に生まれた原初の星の存在は知りようがない。

この未開の宇宙の暗黒時代、 $6 < z < 1000$  の宇宙において直接観測できる可能性をもつ唯一の天体が線バーストである。線バースト (GRB) は、Big Bang を除けば宇宙で最大の爆発現象である。その起源は謎に包まれているが、中性子星の合体か大質量星の重力崩壊のように巨大星の終末に関連するという点についてはほぼ合意が得られている。GRB はその明るさゆえに、定常的に輝く銀河やクエーサーでは不可能な非常に遠方からでも観測可能であるとともに、単独の星が存在すれば、たとえ銀河が形成されていなくても発生しうるので、銀河形成以前の宇宙原初の星の手がかりをもたらす可能性ももつ。実際、現在衛星によって検出されている線バーストの約 30% は  $z > 6$  の高赤方偏移宇宙に起源をもつと推定されている。このように、ガンマ線バーストの赤方偏移分布から、高赤方偏移宇宙での星形成の歴史を探れるのである。さらに、線バーストは、その時間変動の特徴を用いて補正を行なうことによって、標準光源となりうるのが近年示唆されている。もしこれが本当ならば Ia 型超新星よりもはるか遠方まで宇宙の幾何学的構造を観測的に決められることになる。

## 2 観測計画

線バーストを用いて高赤方偏移宇宙を研究するにはいくつかの困難がある。まず、少数しか含まれない高赤方偏移イベントを捕捉するために、できる限り数多くの線バーストに対して光学赤外対応天体を見つけ、その赤方偏移を決定しなくてはならない。遠方の暗いイベントに対しては、減光する前に迅速に対応することが必要である。さらに、もっとも初期に線、X線だけから決められた線バーストの位置は数分角ないし数十分角という比較的大きな誤差をもつため、広い視野が必要である。

このような事情で、「数多く」かつ「迅速」という二つの条件を共同利用観測が中心の大望遠鏡で満たすのは困難である。しかし、赤方偏移を決めるための分光観測は大望遠鏡でないと難しい。我々は、ガンマ線バースト発生直後の残光が明るいうちに専用小望遠鏡で機動的に可視・近赤外領域の多色測光を行なうことによって、この困難を解決する。

小口径では分光は困難であるが、銀河間空間水素による吸収 (いわゆる Lyman  $\alpha$  (122 nm) の森など) によって連続スペクトルの短波長側が欠損することを利用し、VRIZJHK バンドの多色測光を行えば、線バーストの残光の本来のスペクトルは滑らかな冪型であるので、その赤方偏移が推定できる。 $z > 6$  であれば、R バンドで欠損する。

可視光域 (VRI) は、岡山観測所に口径 50cm の専用自動望遠鏡を設置する。電子冷却 CCD カメラ 3 台を用いて VRI 同時三色撮像測光を行う。望遠鏡および収納ドームは、コンピューターによる自動制御とし、インターネットを通じて送られてくる線バースト位置情報に対応して、自動撮像を行う。

近赤外 (zJHK) は、岡山観測所既設の 91cm 望遠鏡を改造し、衛星からのガンマ線バースト位置通報に自動的に対応して観測を行なう。特に、後者は、ミラ型変光星のサーベイ計画と共同して開発を行ない、静穏時にはサーベイを行ないつつバースト発生には即時に対応するシステムとする。

本研究は、科研費 (学術創成研究) 「ガンマ線バーストの迅速な発見、観測による宇宙形成・進化の研究」として、5 年間の予定で行う。この期間には、現在運用中の小型線バースト観測衛星 HETE-2 および、線天文台衛星 INTEGRAL、また、2003 年末に打ち上げられる予定の中型衛星 Swift、さらに 2006 年打ち上げ予定の GLAST など、線バーストの位置速報能力をもつ衛星の運用期間を、もっとも有効にカバーする。それだけに、進展が急で激しい国際的な観測競争と合従連衡の中に参入することになる。

# ガンマ線バーストの 迅速な発見、観測による 宇宙形成・進化の研究

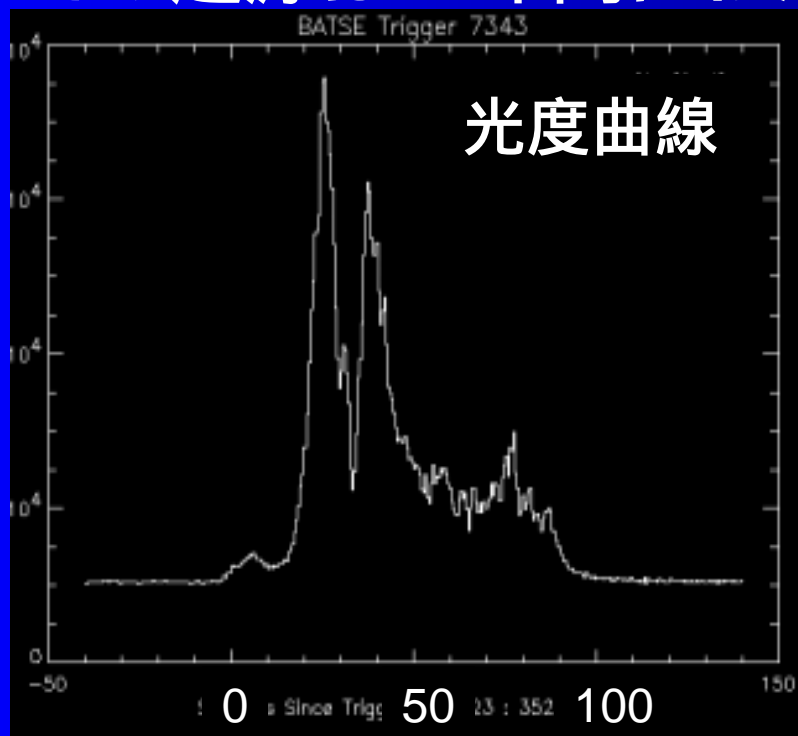
専用小望遠鏡の岡山天体物理観測所への設置

## 河合誠之

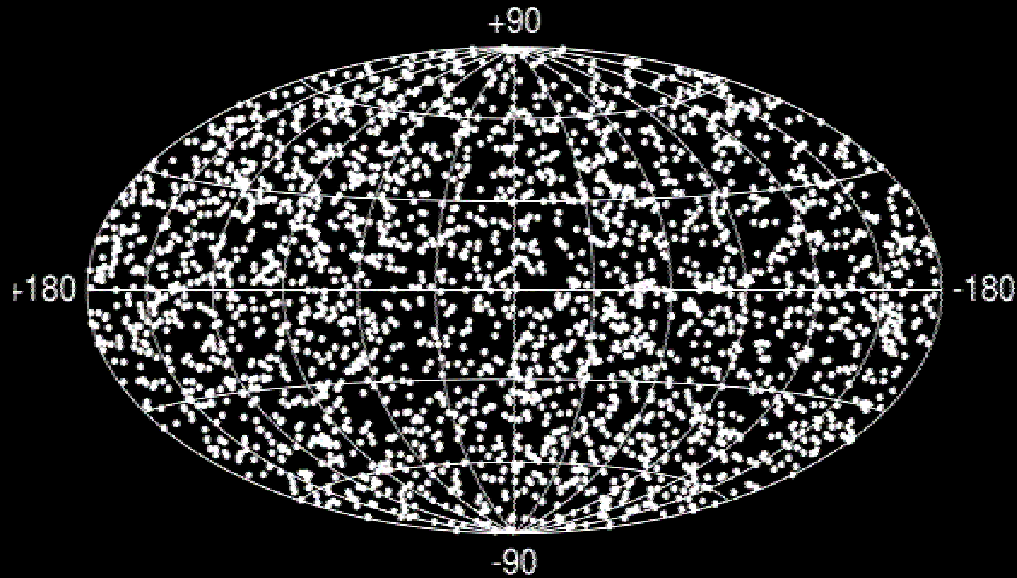
東京工業大学 大学院理工学研究科 基礎物理学専攻

# ガンマ線バーストとは？

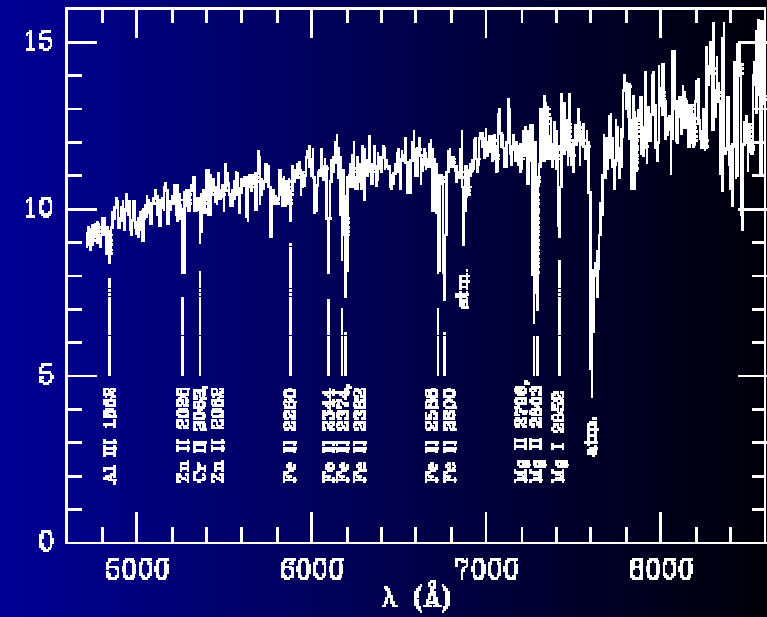
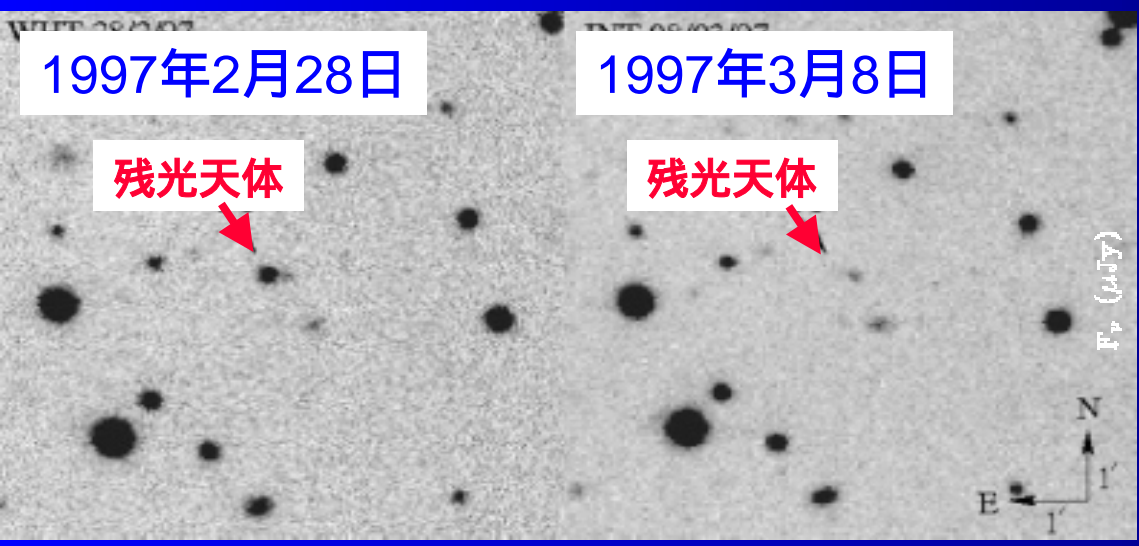
- 爆発的ガンマ線放射 (~ 数十秒間)
- 核実験査察衛星が偶然発見 (1967)
- 全天で一日に一回の割合
- その起源は30年間にわたって謎



発生源は全天に一様に分布



# ガンマ線バースト可視残光の発見 (1997)



大望遠鏡の分光観測

赤方偏移: 数十億光年の遠方

- 起源は太古の宇宙
- 宇宙最大の爆発現象
  - 銀河系全体の1000年分の放射を10秒で
  - 宇宙の星全てを合わせたよりも明るい

# ガンマ線バーストの 起源

- 大質量星の重力崩壊  
(極端な超新星)

大質量星の終末  
.....星の存在の証明！

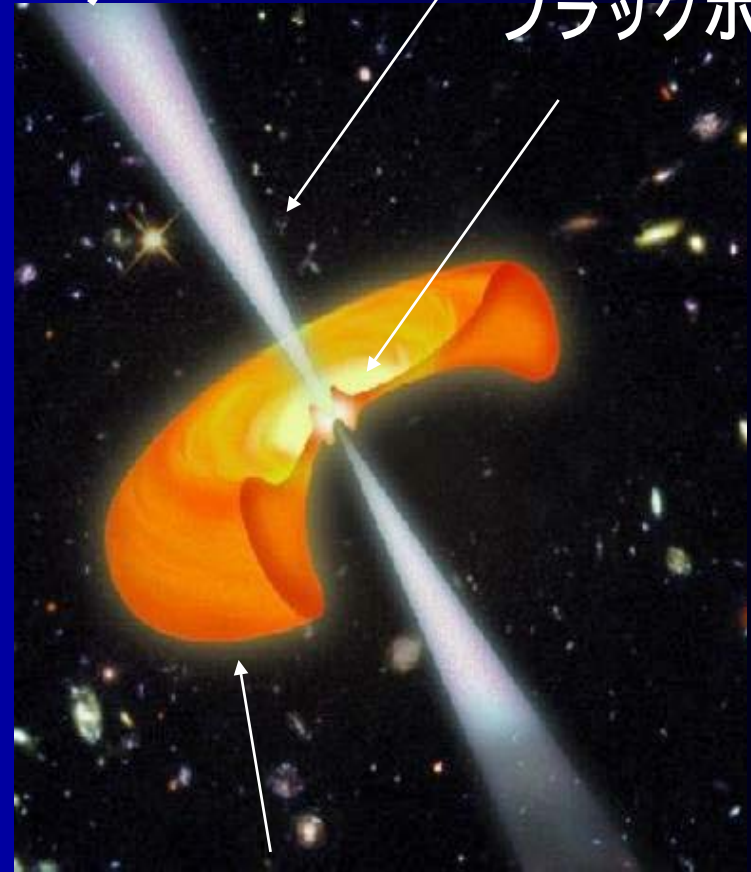
さらに

初代の星: 数百太陽質量  
必ず重力崩壊するはず！  
ガンマ線バースト



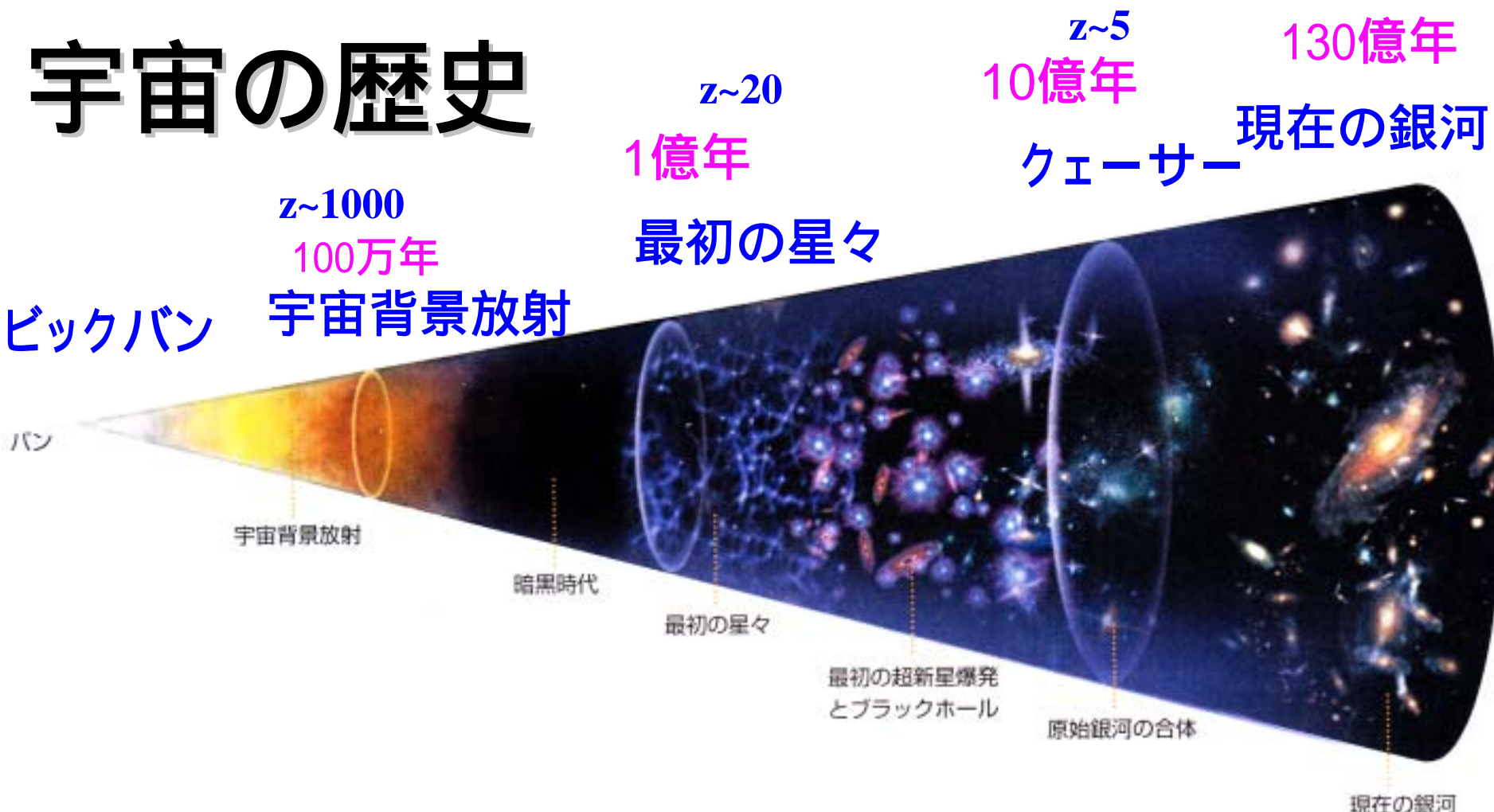
超相対論的ジェット

ブラックホール



星の残骸からできた  
降着円盤

# 宇宙の歴史



日経サイエンス2002年3月号「宇宙最初の星」

ガンマ線バースト

見えている  
銀河

# 宇宙開闢以来の星生成の歴史

経過時間

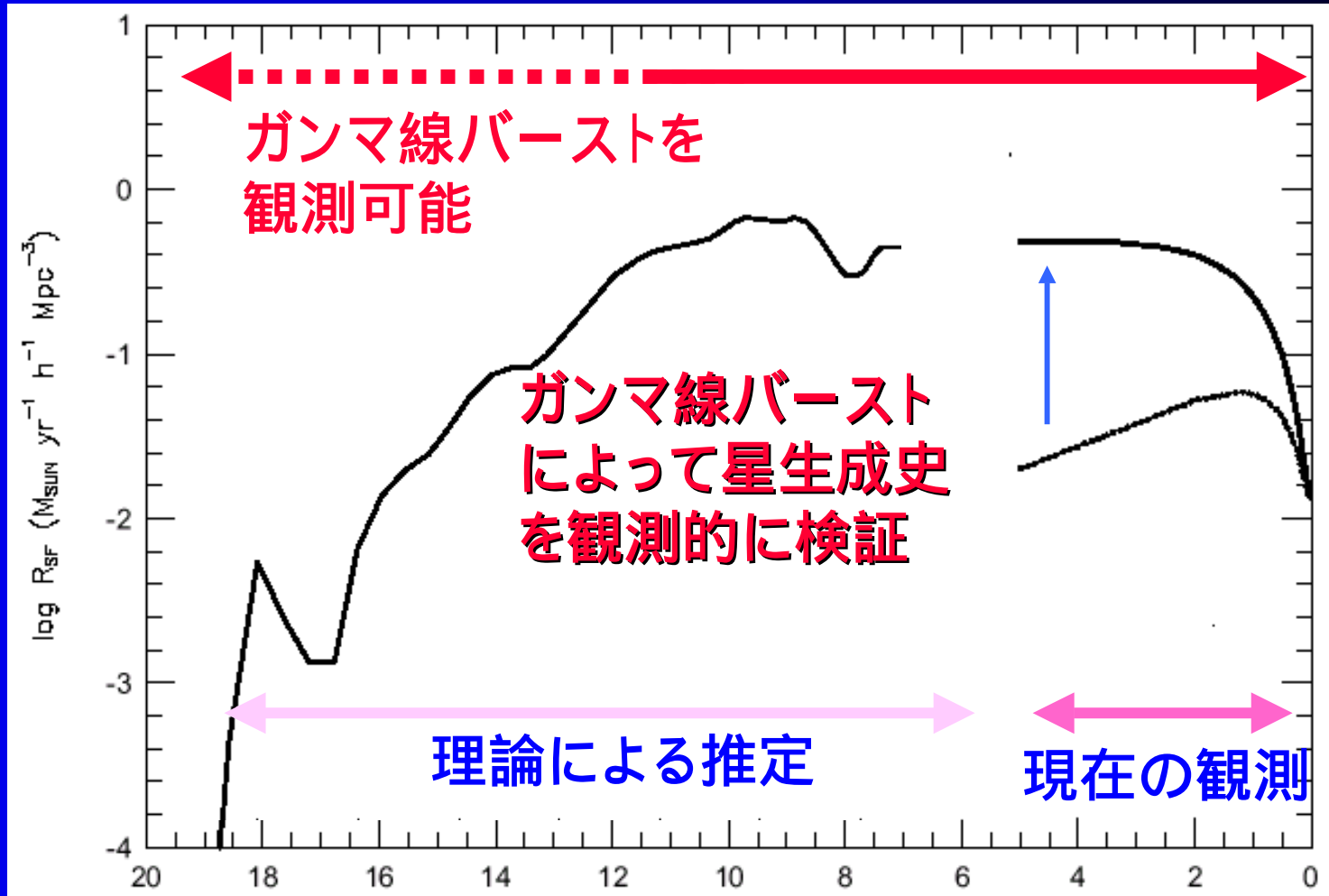
1億年

5億年

10億年

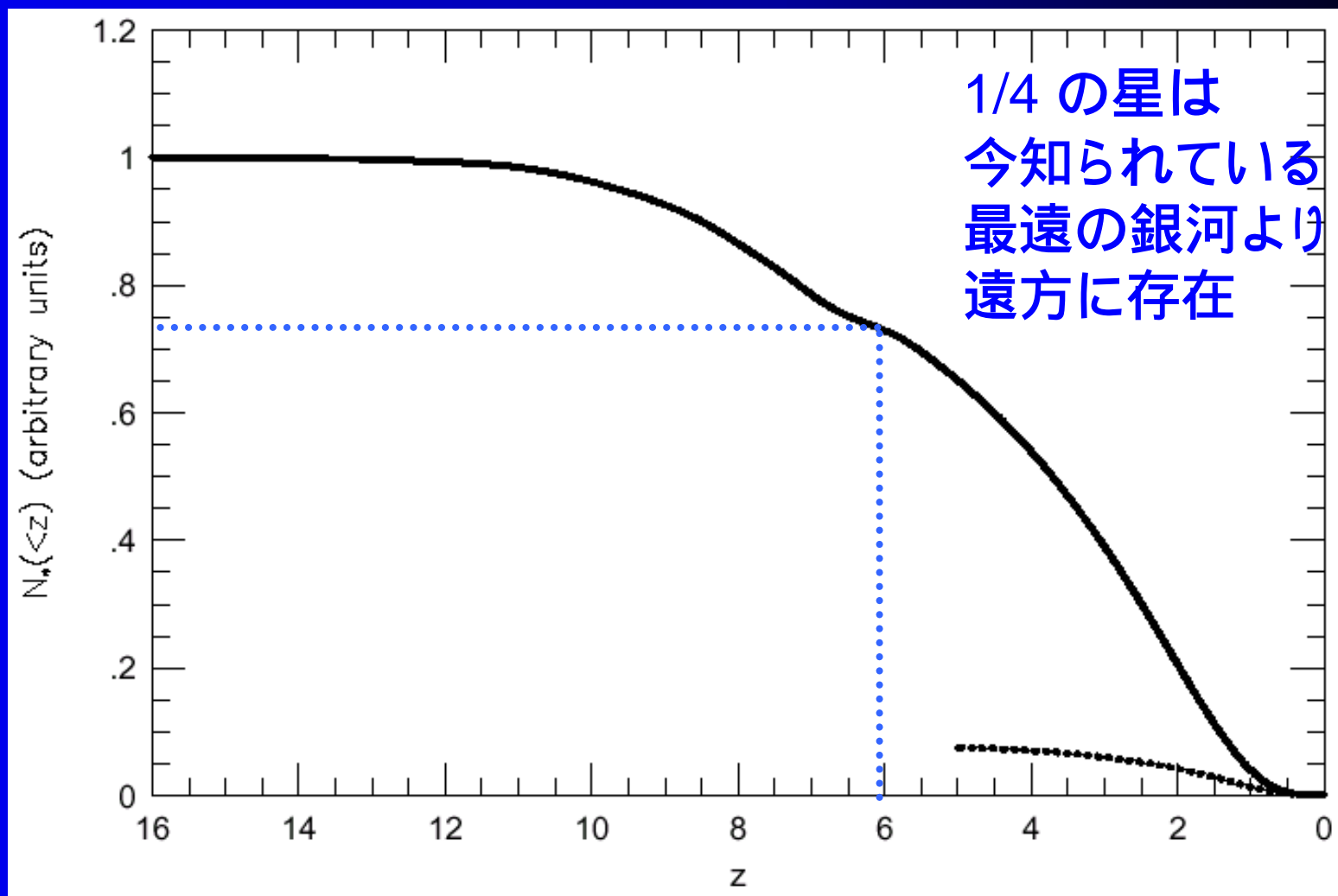
130億年  
(現在)

星生成率  
(対数目盛)

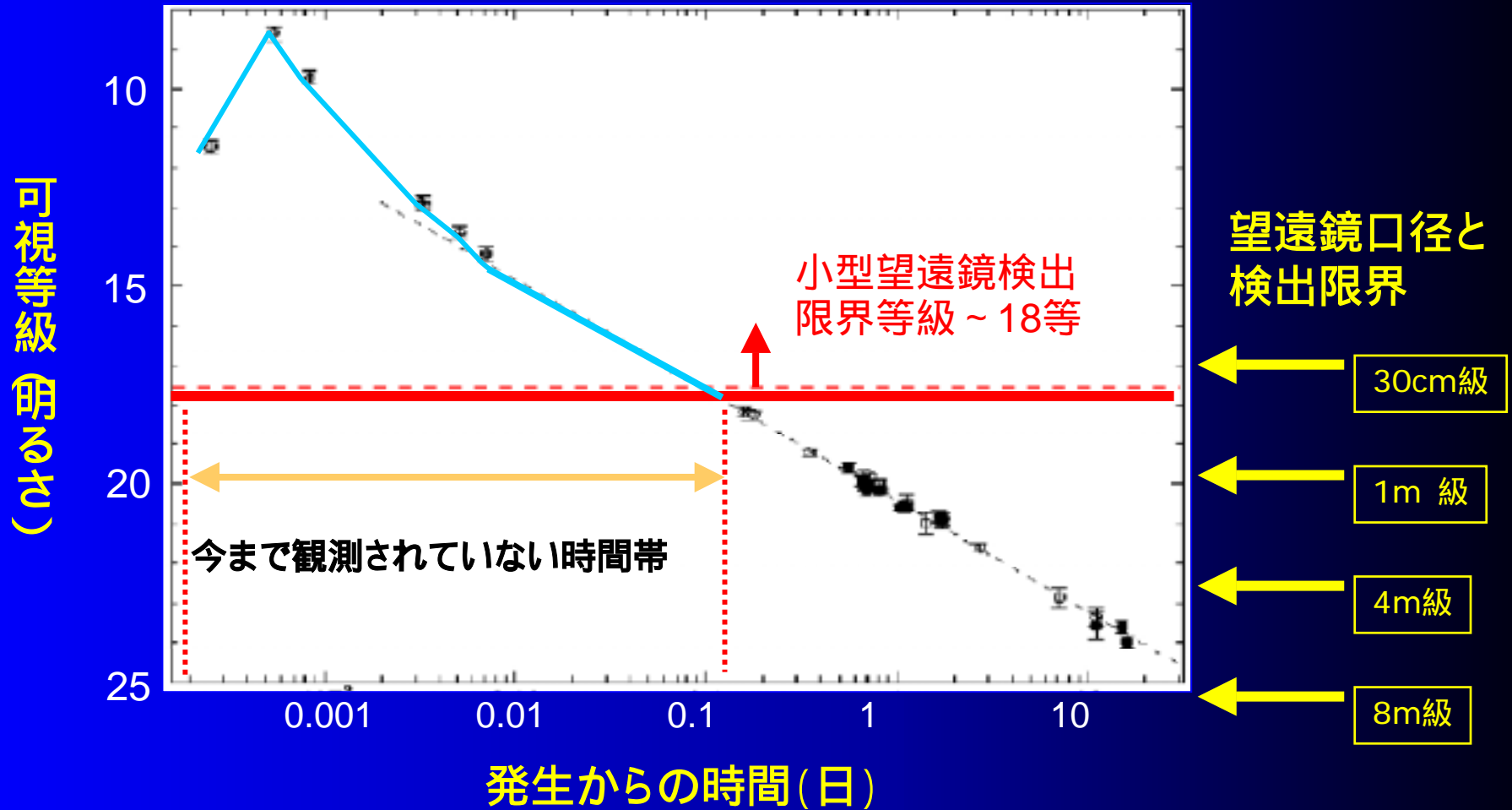




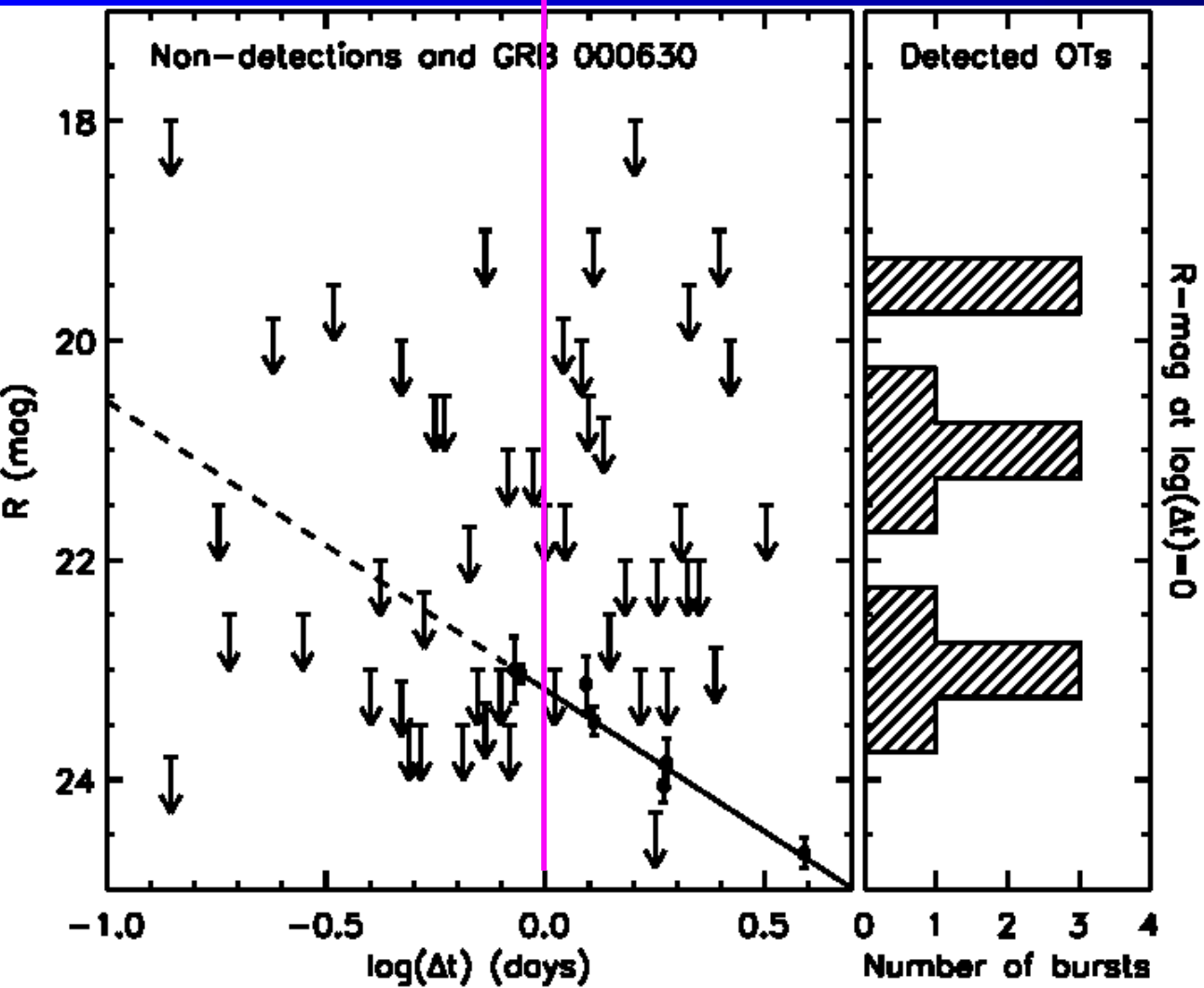
# ガンマ線バーストは遠くで起こる



# 迅速に残光を捉えて...



## 小望遠鏡で宇宙最遠を観る



- ← 30cm級
- ← 1m 級
- ← 4m級
- ← 8m級

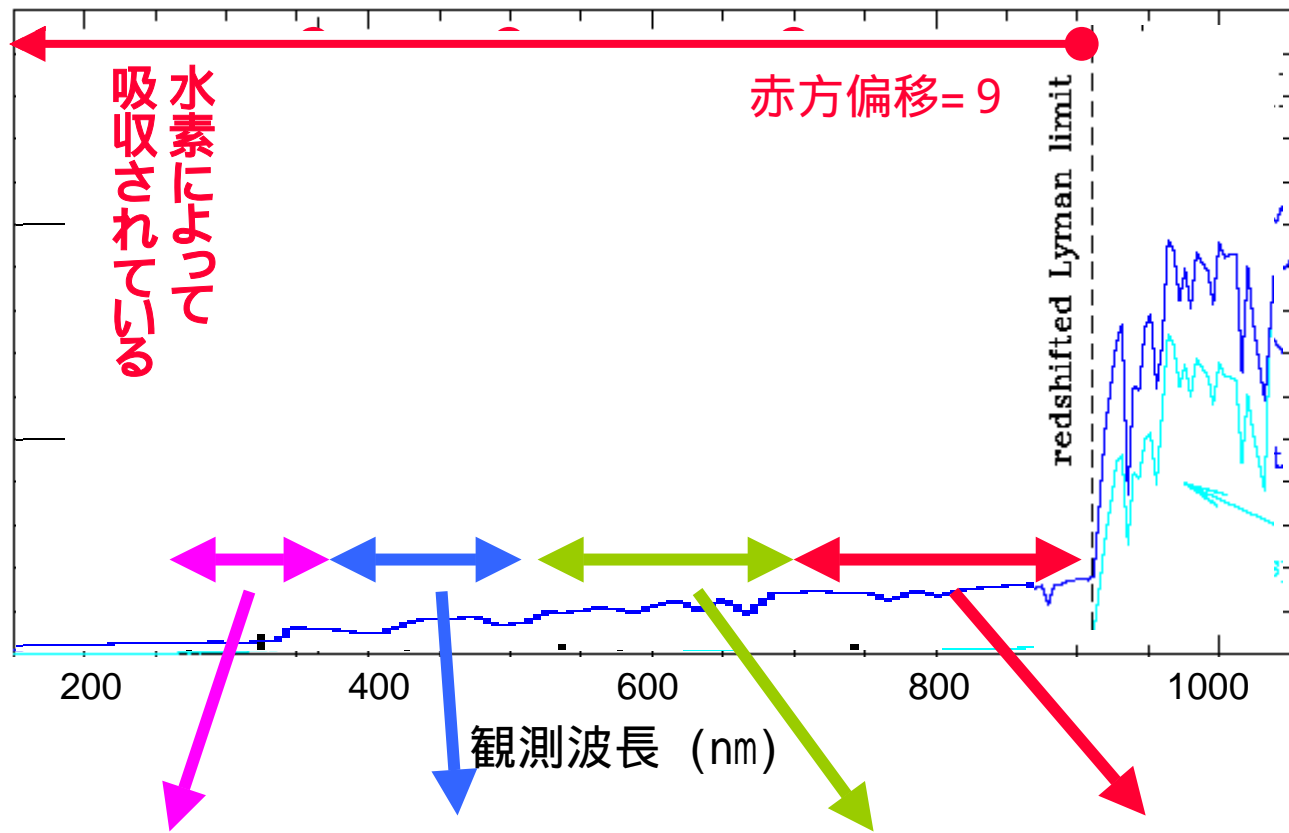
Fynbo et al. 2001  
(A&A 369, 373)

可視光残光: 半数以下  
Dark Burst Problem

- 減光が早い・観測が遅い
- 高い星間吸収
- 高赤方偏移 (Lyman Drop)

どうやって  
距離を  
決めるか？

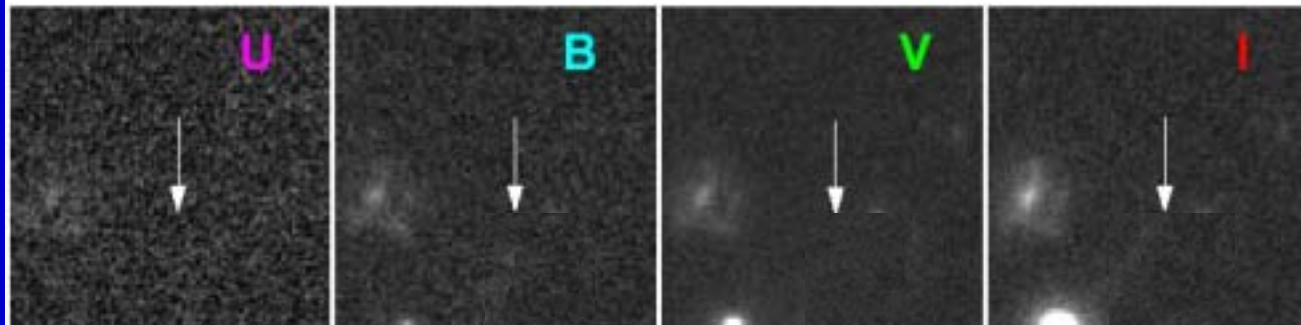
相対強度



ライマンドロップ法

銀河間空間の水素ガスによる吸収を利用

(赤方偏移した  
ライマン吸収端より  
短波長側は見えない)

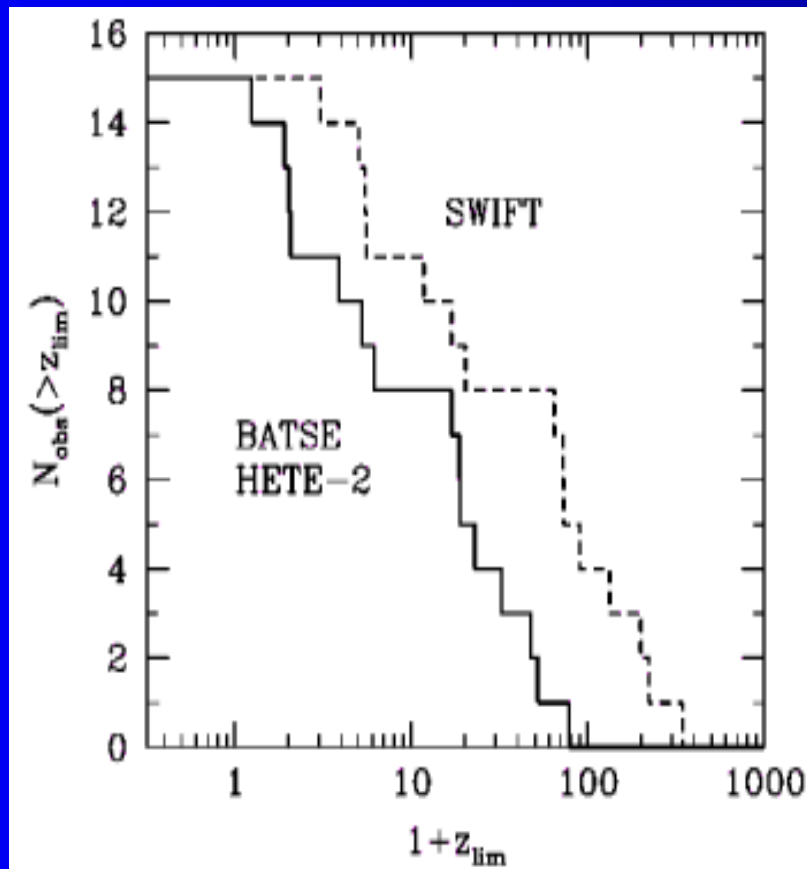


ビッグバン後10億年以前 (赤方偏移 > 10)

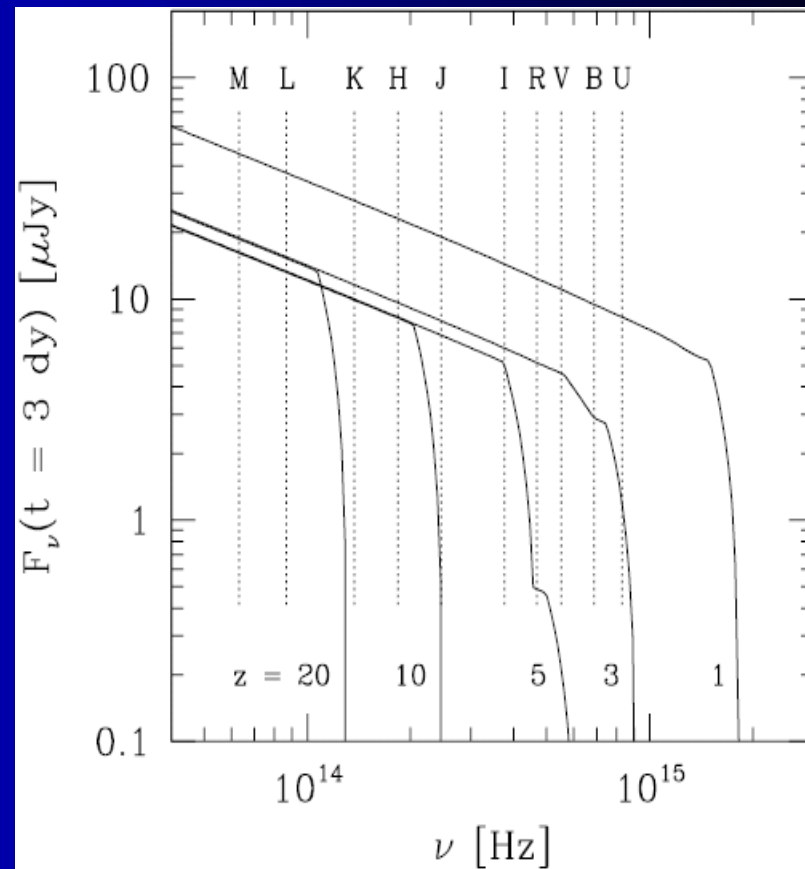
ライマン吸収端の波長 > 1  $\mu\text{m}$

近赤外線領域

# Detectability of High-z GRB



15 GRBs with well-determined redshifts

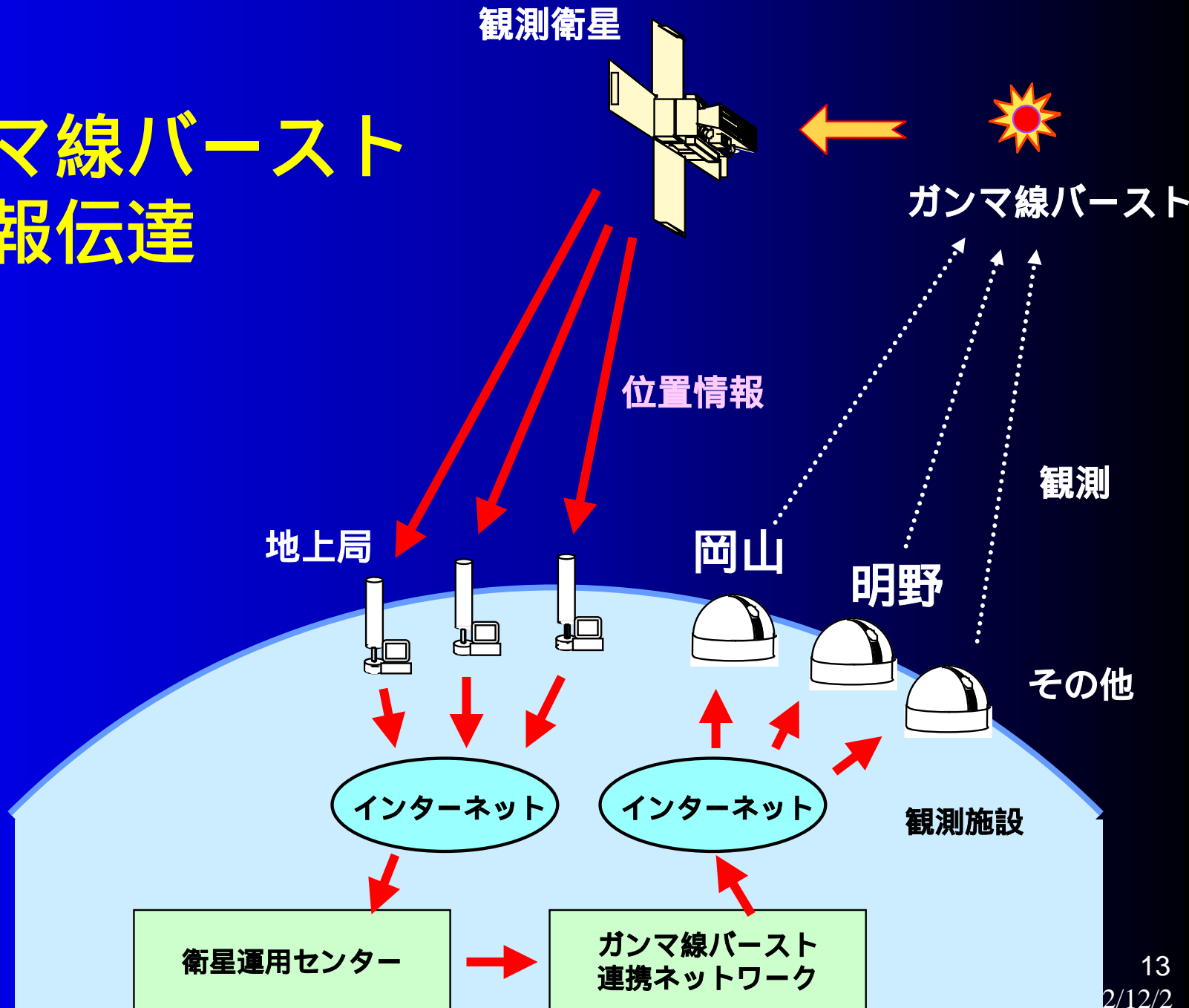


early afterglow of GRB 000131,  
as observed one day after the burst

# ガンマ線バースト専用小望遠鏡

- 口径50cm; F 6.0
- フォーク式赤道儀; 導入 $>4^\circ/s$
- 写野対角30分角
- 空冷CCDカメラ (AP6)
- VRI三色同時撮像
  - 91cm望遠鏡赤外線カメラと連動
- 設置候補地：太陽クーデ望遠鏡北空き地

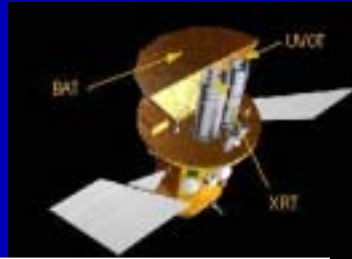
# ガンマ線バースト の情報伝達



# ガンマ線バースト観測衛星との連携

2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010

HETE



Swift



新ミッション



本研究期間



設計・製作

観測・解析

明野望遠鏡



岡山望遠鏡



ガンマ線

基礎開発

実験室モデル製作

検出器開発



ミッション概念設計



↑ 次期ミッション提案