

# 最高赤方偏移ガンマ線バーストの観測

河合 誠之

〈東京工業大学大学院理工学研究科 〒152-8551 東京都目黒区 2-12-1〉

e-mail: nkawai@phys.titech.ac.jp

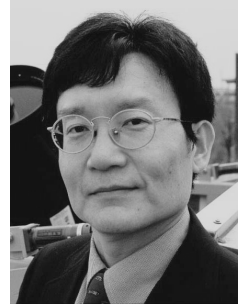
青木 賢太郎

〈国立天文台ハワイ観測所 650 North A'ohoku Place, Hilo, Hawaii 96720 U.S.A.〉

戸谷 友則

〈京都大学大学院理学研究科 〒606-8502 京都府京都市左京区北白川追分町〉

e-mail: totani@kusastro.kyoto-u.ac.jp



## 1. はじめに

ガンマ線バースト (GRB) とは、宇宙の一点から短時間 (典型的には数秒間ないし数十秒間) に強力なガンマ線・X線がやってくる現象であり、宇宙最大の爆発現象であることが今ではわかっている。この奇妙な現象によって最遠方の宇宙 (すなわち最初期の宇宙) を観測できるという期待が、すばる望遠鏡の活躍によりついに現実化した。各国のグループが大望遠鏡を動員して激しい競争を繰り広げている中でのスリル満点の観測の様子とその科学的成果を紹介する。

## 2. 背景

GRB は 1960 年代に核実験査察衛星によって偶然に発見されたが<sup>1)</sup>、その後 30 年ほどその正体は謎に包まれ、発生源までの距離も不明であった。1997 年にバースト発生後数日続く X線および可視光の残光が発見されたこと<sup>2), 3)</sup>によって、GRB が主に赤方偏移  $z > 0.2$ 、距離数十億光年以上の遠方で発生する宇宙最大の爆発現象であることがよ

うやく明らかになった<sup>\*1</sup>。HETE-2 (“High Energy Transient Explorer 2”) 衛星によって 2003 年に発見された GRB の残光スペクトルに超新星起源の成分が観測されたことから、多くの GRB は太陽の数十倍以上の質量をもつ巨大な星が生涯の最後につぶれてブラックホールになるときに発生することが確実視されている<sup>\*2</sup>。しかし、核心の物理的発生機構はいまだに謎に包まれており、理論と観測の両面で活発に研究が進められている。

一方、GRB とその残光は、宇宙にある光源の中でも最も明るく、 $z > 10$  の遠方でも検出可能であるため<sup>4)</sup>、高赤方偏移 GRB を用いた初期宇宙の探求や宇宙論的研究もまた、次のフロンティアとして期待されてきた。例えば、宇宙の始まり以来の星形成、銀河間物質の再電離、および宇宙の重元素汚染の歴史のよい探針となると指摘されている<sup>4)-7)</sup>。しかし、2005 年 9 月時点までの GRB の赤方偏移の最高記録は  $z = 4.50$  であり、さらに高赤方偏移の GRB の発見が待たれていた<sup>8)</sup>。

2004 年に打上げられた *Swift* 衛星は高い感度で広い視野を監視し、検出したガンマ線バーストの

\*1 GRB の正体追求の経緯などは天文月報 2006 年 4 月号の井岡邦仁氏の記事もご参考に。

\*2 GRB には継続時間の異なる二つの種族があると考えられており、本稿の対象である GRB 050904 は多数派の「長い GRB」に属する。全体の 1-2 割を占める少数派の「短い GRB」種族は、爆発規模が小さく古い星の多い銀河でも発生することから中性子星の衝突合体のような異なる起源をもつと考えられている。

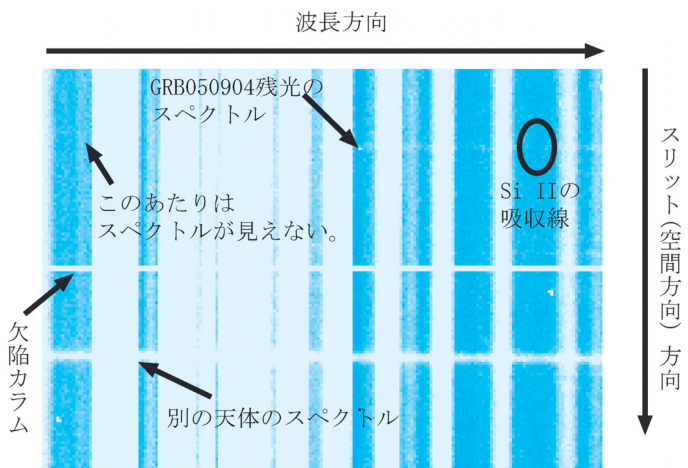


図1 すばる望遠鏡 FOCAS (微光天体撮像分光装置) によって観測した GRB 050904 可視残光の最初の生データ. 図下方に写っている別天体のスペクトルと比較すると, ある波長から短い側で非常に暗くなっているという高赤方偏移天体の特徴が見て取れる. 1 枚目にして吸収線の存在もわかるという感動の 1 枚 (本文参照). たくさん見える白い縦じまは地球大気中の OH 分子によるもので, 天文学者の天敵である.

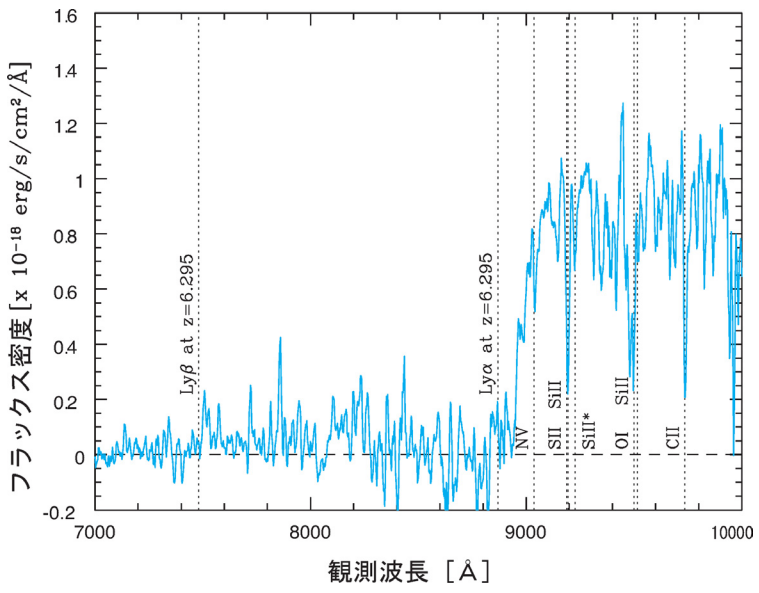


図2 すばる望遠鏡 FOCAS によって観測した GRB 050904 可視・近赤外残光のスペクトル. 約 9,000 Å よりも短波長側は, GRB の手前の銀河間空間に存在する水素ガスのライマン α 線によってべったりと吸収されてしまっているが, それより長波長側には GRB 残光の光が見えている. この吸収端の波長から, 光源の赤方偏移はほぼ 6.3 であるとわかる. また, ほぼ同じ赤方偏移に対応するケイ素, 炭素, 酸素, 硫黄などの重元素の吸収線も同定され, 正確な赤方偏移の値 6.295 が決められた. この値は, たまたま FOCAS 装置の観測波長域を考えると, 吸収されていない連続光と吸収線数本がきちんと収まる最高の赤方偏移に近い.

位置を直ちに地上に通報するとともに, 衛星全体が回頭して, 搭載した X 線望遠鏡と紫外光学望遠鏡によって残光を観測する. 年間 100 個の割合

で GRB の位置が地上に速報されるようになったため, GRB の研究は地上と宇宙の大小の望遠鏡を巻き込んで, 白熱状態を呈するに至った. その

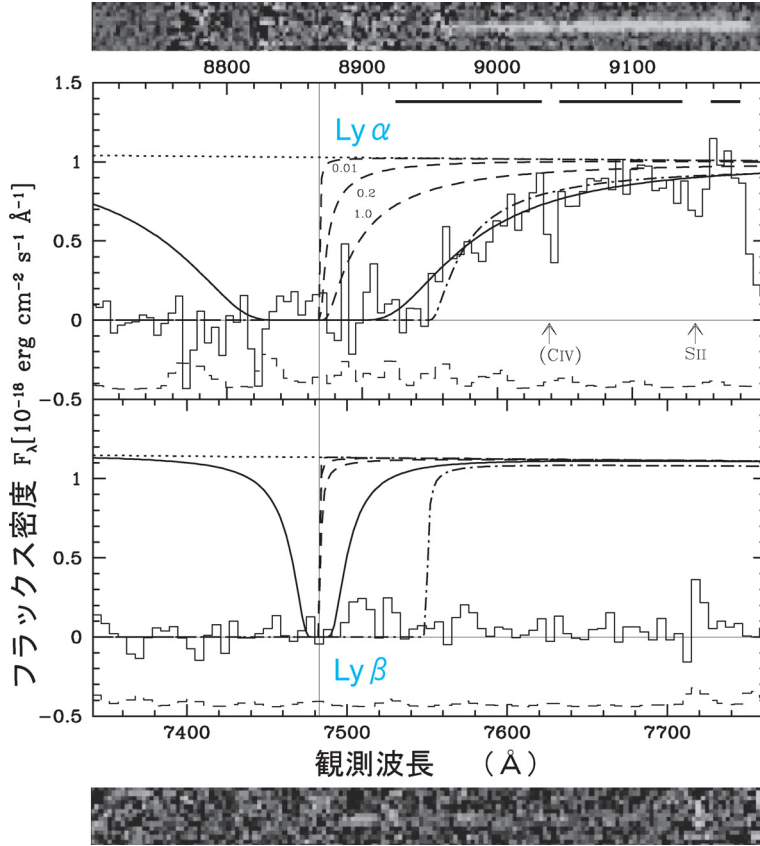


図3 GRB 050904 の残光スペクトルのライマン  $\alpha$  と  $\beta$  付近の拡大図. 実線は  $z=6.295$  の母銀河の DLA による吸収モデル [ $\log(N_{\text{HI}}/\text{cm}^{-2})=21.62$ ]. 破線は、同じ  $z$  で銀河間空間の中性水素による吸収モデル ( $x_{\text{HI}}=0.01, 0.2, 1.0$  の三つ). 一点鎖線は、 $z=6.36$  の銀河間水素による吸収モデル ( $x_{\text{HI}}=1.0$ ). ライマン  $\beta$  の  $7,500\text{--}7,530 \text{ \AA}$  近辺のフラックスが、実線と一点鎖線のモデルを見分ける決め手となった. 上下につけてあるのはスペクトルの CCD イメージで、 $7,500\text{--}7,530 \text{ \AA}$  のフラックスがノイズではないことがわかる.

中で、われわれすばる GRB チームは 2005 年 9 月に発生したガンマ線バーストの残光をすばる望遠鏡を用いて分光観測し、それが今までの記録を大幅に更新する最高赤方偏移 GRB であることを発見した。まず、そのときに国立天文台ハワイ観測所で観測にあたったチームメンバーの目から見た現場の様子を報告しよう。なお、ガンマ線バーストのような予期できない突発現象を観測するモードとして ToO (Target of Opportunity) 観測という一種の割り込み観測形態が世界中の大望遠鏡で

は用意されており、すばる望遠鏡でもしかりである<sup>\*3</sup>。今回報告する GRB 050904 の分光観測も ToO 観測として実行された。

### 3. 赤方偏移 $z=6.3$ の GRB 050904 の発見

GRB 050904 は *Swift* 衛星によって 2006 年 9 月 4 日 1 時 51 分 44 秒 (世界時) に検出された、200 秒を超える長い継続時間をもつバーストであった<sup>9)</sup>。バースト発生 3 時間後の可視光の観測では

\*3 その日の夜に予定されていた共同利用観測は後日に回されてしまう。それに伴い、観測所の諸々の予定も変更される。

$R > 20.8$  等,  $I > 19.7$  等とかなり厳しい上限値が得られた一方, 近赤外線では  $J \sim 17.5$  等と明るい残光が検出された. およそ 10 時間後の 9 月 4 日 12 時 (世界時) には,  $0.9\text{--}1\ \mu\text{m}$  付近に銀河間ライマン吸収端があるとする, この GRB が高赤方偏移で発生したことを示唆する電子メールが世界中の GRB 研究者の間に流れた<sup>10)</sup>.

その後, 続々と世界各地の望遠鏡による観測結果が GCN<sup>\*4</sup> に流れ始めた. しかしながら, なぜか, 分光観測を行い, 赤方偏移を決定したという情報がなかなか流れてこない. 1 日ほど経った 9 月 5 日には ESO VLT の ISAAC という赤外分光撮像装置と FORS2 という可視分光撮像装置による「測光観測」に基づく赤方偏移の推定が行われ,  $6.10_{-0.12}^{+0.37}$  という値が公表された<sup>11)</sup>.

「なぜ, 分光の結果が出ないんだ?」

さらに, 1 日ほど経った 9 月 6 日にはハワイの Keck 望遠鏡の DEIMOS という分光撮像装置による「測光」結果が公表された<sup>12)</sup>.

「なぜ, 赤方偏移ではなくて, 等級だけなんだ?」

読者の方は「人のことはともかく, すばる GRB チームこそなにをしてたんや?」と思われることであろう. 理由は簡単である. 9 月 4 日から 6 日 (世界時) の間, すばる望遠鏡には Suprime-Cam という撮像装置がついており, 分光観測がやりたくてもできなかったのである. 「装置を交換すればよかったじゃないか?」そのとおり. 赤方偏移がわかっている今なら, そう言える. しかし, 分光装置がついている 8–10 m 級望遠鏡から, 分光観測の結果が出てこない状況では, なかなかそのような決断はできなかった.

「現在, スペクトルを解析中なのかもしれな

い.]」

今にも「赤方偏移確定!」のメールが飛込んで来そうな, 東工大の研究室で, すばる GRB チーム PI<sup>\*5</sup> の河合は 9 月 7 日 (世界時) を待っていた. この日から可視分光撮像装置の FOCAS がすばる望遠鏡に付き, ToO 観測による分光が可能になるのだった.

#### 4. ようやく観測開始……そして……

爆発後 80 時間も経っているので, 等級は  $I$  バンドで 24 等と予想された<sup>\*6</sup>. かなり暗くなっているのだから, すばる望遠鏡をもってしても, いいスペクトルを取るのには難しい. まずは予想どおりの明るさかどうか確認してから, 実際に分光するかどうか決断しようということになった. 9 月 7 日 7 時 54 分 (世界時), ハワイ時間では 9 月 6 日の午後 9 時 54 分, まずは最初の  $z'$  バンド画像が撮れた. モニターを見ていた人々の頭をよぎった思いは「これは暗い!」である. とにかく国際電話で PI の決断を仰がなければ.

マウナケア山頂の山田 亨氏「残光天体は一応, 見えています, 暗いです.

一晩やっても, ものになるか難しいかもしれませんねえ.]」

東京の河合「観測はできるんですか?」

山田「大丈夫, スリットには載せられると思いますよ.]」

河合「分光できるんですね. じゃ, やりましょう.]」

その日, 観測現場にいた人は「ほ, 本当にやるんですね?!」という顔をしていたと思う. しかし, PI の決定は重い. たとえ, セメスター開始 1 週間目にして, 2 夜割り当ての 1 夜が無駄になってし

\*4 Gamma-ray Bursts Coordinates Network: バースト発生や残光追求観測の結果が報告されるメーリングリスト.  
<http://gcn.gsfc.nasa.gov/>

\*5 Principal Investigator: 研究チームの代表者のことを言う.

\*6 後から考えると, この予想は間違っている. 本当に赤方偏移が 6 以上なら,  $I$  バンドに相当する  $8,000\ \text{\AA}$  には光はほとんどこず (図 2 参照), こんな明るさのはずがない.

まうとしても、

服部 堯氏の慎重な操作の後、バーストの残光は FOCAS のスリットに載り、最初の 30 分積分が始まった。いつも以上にドキドキである。待望の最初のスペクトルは 23 時 49 分に現れた (図 1)。ある波長より短波長側の光がなく、逆に長波長側に連続光が比較的よく見える、高赤方偏移天体特有のスペクトルが一見して見て取れた。予想以上に質のいいスペクトルが撮れた。大当たりである。撮像したバンド ( $z'$  バンド) の長波長側半分にしか連続光がなかったので、バンド全体では暗く見えたのだった。簡単に解析してみると、吸収線も見えていそうだとということで、2 時間前の悲観的な雰囲気はどこへやら、俄然、観測チームは元気が出てきたのであった。この日はシーイングが 0.5 秒角になるなど、気象条件も味方し、計 4 時間の分光観測ができたのであった。1 枚 1 枚データが取れるたびに、小杉城治氏が手早く解析して重ねていくと、確実に水素の吸収線といくつかの重元素の吸収線が見えてきた。明け方までに、赤方偏移が 6.29 というところまでわかった。

そうやってわれわれが興奮している間にも、GCN に他の望遠鏡の分光結果が出るのではないかと内心、戦々恐々であったが、結局、この GRB を分光観測したのはわれわれだけであった。VLT を使っていたチームは、近赤外分光にこだわった結果、必要な時間が 5 時間と見積もられたのであきらめたという話である。前日の晩にお隣の Keck 望遠鏡の分光器で「撮像だけ」したチームは、予想に反して  $I$  バンドで明るかったので、高赤方偏移ではありえないと考えたようである。後からわかったことだそうだが、この  $I$  バンド・フィルターが欠陥品で、より長波長の光も透過し

てしまうものであったらしい。だから、明るめに見えたのだ\*7。Gemini 望遠鏡では二つの GRB 観測チームがお互いに牽制して、観測できなかったとかという噂も聞こえてきた。

結局、「分光できる可能があれば、挑戦してみる。」という単純かつ果敢な考えがすばらしい結果をもたらしたのだった\*8。このことは観測可能なのに分光しなかった人々に非常に教訓になったようである。この GRB の後から、GRB 残光の分光観測の結果が非常に増加した。また、バースト発生後、分光観測にとりかかるまでの時間も短くなってきた。すばる GRB チームがこの大競争時代にどのような結果を今後残していくのか、いっそうの努力と知恵が求められている。

## 5. スペクトルの特徴

さて、漫談はこのくらいにして、われわれすばる GRB チームの得たスペクトルを詳しく見てみることにしよう (図 2)。先にも述べたように、得られた可視スペクトルは、赤方偏移  $z=6.3$  のライマン吸収に対応する  $9,000 \text{ \AA}$  を境として短波長側にはほとんどフラックスがない。長波長側の連続光には、SII, SiII, OI, および CII の吸収線が共通の赤方偏移  $z=6.295 \pm 0.002$  で検出され<sup>13)</sup>、この GRB の赤方偏移が決められた。この  $z=6.3$  という値は、銀河の最高記録 (LAE: ライマン emitter と呼ばれる原始的な銀河) の  $z \sim 6.6$ \*9 やクエーサーの最高記録  $z \sim 6.4$  に肉薄するものである。

また、これら吸収線の強度から、S, Si, O, C など重元素の柱密度が求められた。GRB 050904 残光のライマンの吸収端は緩やかな減衰翼 (damping wing) を示しており、大きな柱密度の中性水素による吸収を示していることがわかる。詳しい

\*7 前述のように、その間違った明るさをもとにすばる GRB チームは観測を計画したのだから、世の中なにごと転ぶかわからないものである。

\*8 すばる一晩の観測には多くの人の労力と巨額の運転費用が費やされる。それを無駄にすることは許されないが、今回の成果は、空振り覚悟で勝負しなければ得られなかっただろう。「虎穴に入らずんば虎児を得ず」。

\*9 当時の記録。すばる望遠鏡の観測により、2006 年 9 月に 6.96 に更新された (Ref. 18)。

解析により、この吸収は銀河間ではなく、GRBの母銀河に付随する物質によることがわかった（次章参照）。水素と重元素の柱密度の比から金属量が求められ、およそ、太陽の1/10の金属量という値になった。

また、Siの微細構造線の等価幅の比から吸収物質の電子密度が数百 $\text{cm}^{-3}$ のオーダーであること、そして吸収体の大きさがパーセク程度、すなわち銀河に比べてはるかに小さいことが導かれる。このことは、吸収体がGRB母天体が生まれた分子雲ガスか、母天体（おそらく大量の質量放出を行うWolf-Rayet星）が爆発前の星風によりその周囲に形成したシェルである可能性が高いことを示している。赤方偏移が6を超える天体で、これほどさまざまな情報をわれわれに与えてくれる天体は、今のところない。このことはいくら強調しても強調しすぎることはない。

## 6. 宇宙再電離への示唆 —GRB宇宙論の幕開け

このGRBは、発生源そのものと母銀河に関する情報のみならず、宇宙の再電離という、人類が辛うじて探りうる $z>6$ の最遠方宇宙における宇宙的大事件に関する重要な手がかりをもたらした。

宇宙の通常物質（バリオン）の大半を占める水素は、宇宙初期は高温のため電離していたが、誕生後およそ40万円で温度の低下により中性化した。これ以降、光は電子によるトムソン散乱を受けず、直進できるようになった。「宇宙の晴れあがり」である。有名な温度2.7Kの宇宙マイクロ波背景放射（CMB）はこの時の宇宙の姿である。一方、現在の宇宙では、宇宙の水素の大半は銀河間ガスとして存在していると考えられており、また、この銀河間水素ガスは電離していることがクエーサーのスペクトルにおけるライマン $\alpha$ 線の吸収の度合いにより知られている。初代天体の形成に伴う紫外線により電離されたと考えられてい

るが、いつ、どのようにこの「再電離」が起きたのかは、初期天体形成論と関連して宇宙論の重要なテーマの一つとなっている。（最近のレビューとしては、文献14, 15などを参照。）

クエーサーの観測からは、 $z<6$ ではすでに電離していることが知られているが、一方で、この時代付近で過去に向かって中性度（ $x_{\text{HI}} \equiv n_{\text{HI}}/n_{\text{H}}$ ）が急激に上がっていることもわかっており、 $z \sim 6$ 付近が再電離の終わりの時期ではないか、また、 $z \sim 6-6.4$ のクエーサーのスペクトルから、この時期の宇宙は中性に近いのではないとも言われていた。一方、全く独立な方法で、WMAP衛星によるCMBの偏光の観測から、高赤方偏移で大量の自由電子の存在が示唆され、1年目のデータでは再電離の時期は $z_{\text{reion}} \sim 17$ 、最新の3年目のデータではやや下がったものの $z_{\text{reion}} \sim 11$ と、クエーサーの観測に比べてかなり高い赤方偏移が示唆されていた。これを受けて、両者を矛盾なく説明するため、宇宙の再電離は二度起ったとする学説も提案されている。

したがって、 $z \sim 6-10$ の宇宙の電離度を高い精度で測定することが重要である。クエーサーでは、 $z>6$ を超えると、正確な電離度の測定はできない。このようなクエーサーは、静止系でのライマンに対応する波長より短波長側では、銀河間空間における中性水素のライマン吸収によりフラックスが完全に減衰してしまう（Gunn-Petersonトラフと呼ばれる）。しかしこれは、宇宙が中性であることを意味しない。中性度が $x_{\text{HI}} \sim 10^{-3}$ を超えるだけで、完全に減衰してしまうため、このためGunn-Petersonトラフの存在は $x_{\text{HI}} \geq 10^{-3}$ という下限値しか与えない。また、CMBによる情報は視線積分された自由電子量しかわからないため、ある特定の赤方偏移における電離度を測定することは不可能である。また、近年は、この時代のLAEの光度関数進化から間接的に再電離の情報を得るという研究もなされていて、すばる望遠鏡を用いた日本のチームからも世界最高の結果が

できているが<sup>16)</sup>, LAE 自身の進化効果との分離が難しいなどの不定性がある。

そこで期待されていたのが GRB である。原理はクエーサーと同様、銀河間水素ガスによるライマンなどの吸収を見るのであるが、クエーサーに比べていくつかの重要な利点がある。クエーサーは一般に天体密度の高い、構造形成の最も進んだ場所で見つかることが多く、クエーサーの周囲が宇宙の平均的な場所であるとは言いがたい。また、クエーサー自身の強い紫外線によって周囲が電離してしまうため、真の電離度を測定できない (proximity 効果)。一方 GRB は、クエーサーに比べれば、より普通の場所 (星形成さえ起きれば GRB の発生も期待できる) で発生し、また、放射が短時間のため、proximity 効果も全く問題にならない。さらに、元のスペクトルが冪型の単純な形をしているため、Gunn-Peterson トラフの長波長側の境界における減衰翼が見つければ、Damped ライマンシステム (DLA)<sup>\*10</sup> と同様に、 $x_{\text{HI}}$  の下限値ではなく正確な値の測定が可能となる。

このような背景から、この GRB 050904 のスペクトルを用いて宇宙再電離について何か言えるのではないかという議論はデータ取得直後からあった。ライマン吸収端がややならかになってきたため、減衰翼ではないかという見方も出たが、スペクトルを眺めている段階では断定する人はいなかった。そこでまず、再電離に関する解析を担当した戸谷は、銀河間中性水素ガスによる Gunn-Peterson トラフの減衰翼と仮定してモデルフィットしてみた。結果は驚くべきもので、 $x_{\text{HI}} \sim 1$ , すなわち宇宙がほぼ中性であるときの減衰翼の理論曲線とデータが見事に一致したのである。この解釈が正しければ、われわれはついに宇宙がまだ中性である時期の銀河間ガスを直接検出したことになり、教科書級の成果である。今、記録を読み返し

てみると、9月10日午前3時に興奮したメールをすばる GRB チームに送っているので、よほど高揚していたのであろう。

しかし世の中、そううまくいくものではない。休日返上でさらに解析を続けた結果、もう一つの可能性として、母銀河に付随する中性水素による吸収、すなわち DLA による減衰翼でもスペクトルによく合うことがわかった。その後数週間にわたってさまざまな可能性を検討した結果、ライマン線付近の吸収の兆候が決め手となり、今回のケースは母銀河の DLA が支配的なことが判明した (図 3)。ほぼ中性な宇宙というのは幻となってしまったのである。

しかしそれでも、再電離に関しても重要な結果が得られた。銀河間水素ガスと母銀河 DLA の詳細な同時フィットの結果、銀河間ガスの  $x_{\text{HI}}$  があまり大きいと減衰翼の形が合わなくなるため、宇宙の中性度について、 $x_{\text{HI}} < 0.17$  (68% 信頼度) または  $0.60$  (95% 信頼度) という上限値を得た。すなわち、 $z = 6.3$  の宇宙はすでにほぼ電離していたことが判明した<sup>17)</sup>。これは、クエーサーでも CMB でも得られなかった貴重な情報であり、GRB による初期宇宙研究の幕開けとも言っていられる。今後、より多くの GRB が見つければ、さらに精密な  $x_{\text{HI}}$  の測定も可能になるだろう。

## 7. まとめと今後の展望

このように、 $z = 6.3$  という高赤方偏移 GRB の良質の残光スペクトルが実際に計測されたことにより、GRB を探針とする初期宇宙の観測研究が現実のものになった。この分光観測は 3.4 日後に行われたすばるが分光観測の成果を独占する結果となったが、もし、もっと残光が明るい早い時期に観測されていたら、さらに良質の可視・近赤外スペクトルによって、もっと豊かな情報が得られ

<sup>\*10</sup> クエーサーや GRB 残光のスペクトルに見られる吸収線系の一つで、中性水素の柱密度が  $N_{\text{H}} = 2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$  を超えるものをそう呼ぶ。この値はおおよそ銀河円盤の中性水素ガス密度に相当する。天文月報 2006 年 6 月号の長峯健太郎氏の記事参照。

ていたと思われる。大望遠鏡の膨大な時間を費やした観測によって拾い上げられた数万個の天体からようやく見いだされたものが、銀河とクエーサーの最高赤方偏移の記録である。この記録を更新していくのはそれほど技術的に易しくないことを考えると、GRBがこれらの記録を破るのは時間の問題である。Swift, HETE-2, INTEGRAL が稼働している今後の数年間、高赤方偏移宇宙の最前線はGRB観測によって先導されるだろう。

## 謝 辞

ただでさえないへん窮屈なすばる望遠鏡の日程に変更を余儀なくさせる ToO 観測を受け入れてくださった唐牛 宏国立天文台ハワイ観測所所長(当時)にまず、御礼申し上げます。また、昼夜を問わず、すばる望遠鏡を運用し、性能の維持更新に努められておられるすべての方々にも感謝いたします。GRBのToO観測のために自分の共同利用観測日程が変更になったすべての観測者の皆様にもお礼を申し上げます。これからもご理解とご協力をよろしくお願いします。この研究はすばる望遠鏡共同利用に採択されたToO観測プログラムの一環として行われたものです。すばるGRBチームは以下の人々で構成されています。河合誠之(東工大)、小杉城治、青木賢太郎、関口和寛、寺田 宏、古澤久徳、服部 堯、家 正則、水本好彦、小宮山 裕、能丸淳一、小笠原隆亮、山田亨、白崎裕治、青木和光、高田唯史、渡部潤一、Pyo Tae-Soo、田実晃人、田中 壱(国立天文台)、吉田篤正(青山学院大)、太田耕司、戸谷友則(京大)、玉川 徹、鈴木素子(理研)、野本憲一、小林尚人(東大)、佐藤理江、谷津陽一(東工大)、坂本貴紀(NASA)、川端弘治(広島大)、K. Hurley(U.C. Berkley)。

## 参 考 文 献

- 1) Klebesadel R. W., et al., 1973, ApJ 182, L85
- 2) Costa E., et al., 1997, Nature 387, 783

- 3) van Paradijs J., et al., 1997, Nature 386, 686
- 4) Lamb D. Q., Reichart D. E., 2000, ApJ 536, L1
- 5) Totani T., 1997, ApJ 486, 71
- 6) Miralda-Escude, J., 1998, ApJ 501, 15
- 7) Ciardi B., Loeb A., 2000, ApJ 540, 687
- 8) Andersen M. I., et al., 2000, A&A 364, L54
- 9) Cusumano G., et al., 2006, Nature 440, 164
- 10) Haislip J., et al., 2005, GCN 3914
- 11) Antonelli L. A., et al., 2005, GCN 3924
- 12) Perley D., et al., 2005, GCN 3932
- 13) Kawai N., Kosugi G., Aoki K., et al., 2006, Nature 440, 184
- 14) Fan X., Carilli C. L., Keating B., 2006, ARA&A 44, 415
- 15) Choudhury T. R., Ferrara A., 2006, astro-ph/0603149
- 16) Kashikawa N., et al., 2006, ApJ 648, 7
- 17) Totani T., Kawai N., Kosugi G., et al., 2006, PASJ 58, 485
- 18) Iye M., et al., 2006, Nature 443, 186

## Observation of the Highest Redshift Gamma-Ray Burst

**Nobuyuki KAWAI**

*Department of Physics, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8551, Japan*

**Kentaro AOKI**

*Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan, 650 North A'ohoku Place, Hilo, HI 96720, USA*

**Tomonori TOTANI**

*Department of Astronomy, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan*

Abstract: Gamma-ray bursts (GRBs) are bursts of X-rays and gamma-rays for a typical duration of a few to a few tens of seconds, which are known to be the largest explosions in the universe. The long-awaited opportunity of probing the most distant (i.e., the earliest) universe by using these mysterious phenomena has finally been realized by the Subaru Telescope. Here we introduce this latest result and the thrilling story of this epoch-making observation, in the heavy competition with the largest telescopes on the globe.