

GRB 030329 は重力崩壊型超新星が起源だった —光学残光中に現れた超新星 SN 2003dh のすばる 望遠鏡による観測—

川 端 弘 治

〈広島大学大学院理学研究科物理科学専攻 〒739-8526 東広島市鏡山 1-3-1〉

e-mail: kawabtkj@hiroshima-u.ac.jp

すばる超新星 ToO 観測チーム, すばる GRB ToO 観測チーム

2003年の春に現れたガンマ線バースト GRB 030329 は、ガンマ線で明るかっただけでなく、可視光でも非常に明るい残光を示し、国内外でさまざまな観測的成果が上げられました。特に大きな成果の一つとして、典型的なガンマ線バーストとして初めて、超新星を起源とする場合があることを明快に示したことが挙げられます。本稿では、すばる望遠鏡を用いて行われた SN 2003dh/GRB 030329 の偏光分光観測の結果について、その研究の背景とともに紹介します。

1. ガンマ線バーストと残光の追跡 観測

ガンマ線バーストの起源は、その発見から30年もの長い間、謎とされてきました。その理由として、バーストの持続時間がたかだか数百秒という一過性の現象であることや、ガンマ線検出器における位置決定精度があまり良くなかったことなどが挙げられます。しかし、1997年にイタリア・オランダのX線天文衛星 BeppoSAX が、ガンマ線バースト GRB 970228 においてしだいに減衰するX線残光を発見し¹⁾、引き続き可視光や電波でも残光が見つかって^{2), 3)}追跡観測が可能となると、事態は大きく進展します。

残光とは、ガンマ線より波長が長いX線や可視光、電波などの電磁波強度がしだいに弱くなっていく現象を指します。残光強度はすぐに減衰してしまうため、観測は決して容易なものではありませんでしたが、残光が非熱的なスペクトルを持

つことや、可視光度曲線が折れ曲がりを持つ時間のベキ乗則で表されること、バーストが数十億光年以上も離れた宇宙論的距離での現象であり、その規模(エネルギー)において、宇宙における最大の爆発現象であることなどが明らかになりました⁴⁾。

残光やバーストの母銀河の観測によって、ガンマ線バーストの研究は飛躍的に進歩したわけですが、残光発見から1年余りの後に、別の展開を見せてくれます。

2. 特異なIc型超新星“ハイパーノバ” SN 1998bw と GRB 980425

1998年4月25日に、南天のぼうえんきょう座の方向に新たなガンマ線バースト GRB 980425 が見つかりました。BeppoSAXによって決められたバーストの位置は、半径約8分角(1分角は60分の1度)の誤差を持っていましたが、間もなくその誤差円の中に、可視光や電波で明るく輝く残

光が見つかりました^{5),6)}。しかし、その残光天体の振舞は、他の残光と大きく異なるものでした。ガンマ線バーストの可視残光は通常、波長に対するべき乗で表される、なだらかな非熱的放射のスペクトルを示しますが、この残光のスペクトルは、幅広い吸収線という超新星の特徴を示していました。また残光の明るさの時間変動も、他の残光のそれとは大きく異なり、この天体がまさしく超新星であることを示していました。この超新星には SN 1998bw という符号が与えられました。

超新星は、その可視スペクトルの特徴から、I 型や II 型などに分類されます。SN 1998bw は、水素やヘリウム、ケイ素の強い吸収線（や輝線）を持たないことから、Ic 型に分類されます。この型の超新星は、大質量星がその進化の途中で水素やヘリウムの外層を失った後に、中心部で重力崩壊を引き起こして爆発したものと考えられています⁷⁾。しかし、SN 1998bw のスペクトルは、典型的な Ic 型超新星に比べて、吸収線の幅が異常に広く、爆発による膨張速度が非常に大きいことを示していました。スペクトルや光度曲線の詳しい解析によると、最も外層での膨張速度は $30,000 \text{ km s}^{-1}$ にも達し、爆発の総運動エネルギーも同種の超新星に比べて 10 倍かそれ以上大きいという結果が得られています^{8),9)}。

SN 1998bw は爆発のエネルギーが大きいだけではありませんでした。スペクトルの母銀河成分の赤方偏移から得られる距離で補正した SN 1998bw の絶対光度は、同種の超新星に比べて 10 倍ほど明るかったことや⁸⁾、電波でも突出して明るかったこと⁶⁾など、さまざまな側面で群を抜いていたことは、そこに物理的なつながりがあることを予感させます。このような大きなエネルギーを持った (hyper-energetic) 爆発を、通常の超新星 (supernova) と区別して “ハイパーノバ (hyper-nova=極超新星)” と呼ぶ場合もあります⁸⁾。

後に、スペクトルやその進化が類似している SN 1997ef や SN 2002ap も同類の特異超新星に

分類され、いずれも主系列星時の質量で太陽質量の 20~40 倍という質量が非常に大きい恒星における超新星であろうという解析が報告されています^{10),11)}。

GRB 980425 と SN 1998bw の発見は、ガンマ線バーストと重力崩壊型超新星との関係に対して大きな知見をもたらしてくれました¹²⁾。しかし、その関係は磐石とは言えず、依然疑問が残っていました。それは、(1) SN 1998bw の赤方偏移 ($z = 0.0085$) から換算される距離 (約 1 億 2 千万光年) が、他のガンマ線バーストに比べて近すぎることや、(2) その距離を考慮して得られる GRB 980425 が放出したガンマ線エネルギーは、通常のガンマ線バースト ($5 \times 10^{50} \text{ erg}^{13)$) に比べて 3 桁未満とも小さく、「普通の」ガンマ線バーストとは言えないこと、(3) GRB 980425 には時間のべき乗則で減衰する通常の残光が見つからなかったこと、そして、(4) SN 1997ef や 2002ap などの SN 1998bw 以外の極超新星には、対応するガンマ線バーストが (少なくとも明確には) 見つからなかったことや、(5) それらの絶対光度が SN 1998bw ほどは明るくなかったこと、などが理由です。GRB 980425 の誤差円内に、偶然に SN 1998bw が見つかる可能性は、文字どおり万に一つで⁵⁾、両者には物理的なつながりがあるとみなすのが妥当ではあるものの、その議論の発展には新たな観測例の追加を待たねばなりません。

3. HETE-2 による GRB 030329 の発見と光学残光

ガンマ線バーストの研究には、バースト位置情報に基づく迅速な追跡観測が不可欠であることは共通の認識で、そのような位置速報のために作られた観測衛星が、HETE-2 です¹⁴⁾。日本からも理化学研究所を中心に製作・運用に参加しています。

2003 年 3 月 29 日、HETE-2 によって、しし座の方向に非常に強いガンマ線バースト GRB

030329 が検出されました¹⁵⁾。ガンマ線の検出から約 73 分後には、地上での解析によって得られた誤差数分角という高精度の位置情報が、ガンマ線バースト連携ネットワーク (GCN) を通じて世界中に流されました。その結果、バーストから約 1 時間後としては最も明るい可視残光が観測されました^{16)~21)}。バーストが検出された時刻が日本時間の 20 時 37 分と宵の時刻帯であったことも幸いし、日本からも多くの初期観測成果が上げられています。バーストから 16 時間後には ESO (ヨーロッパ南天文台)/VLT での可視残光のスペクトル観測により、このバーストの赤方偏移 $z = 0.1685$ (角径距離で約 20 億光年) が得られました²²⁾。これまでに見つかった宇宙論的ガンマ線バーストとしては、地球に最も近い場所で起こったものとなります。この距離を考慮したガンマ線のエネルギーは、典型的なバーストに比べて 1 桁 (4 σ) 小さいものですが、残光の光度曲線の振舞は、GRB 030329 が「普通の」バーストであったことを物語っています。

GRB 030329 の光学残光は明るかったことから、当初から、残光中に超新星成分が見えてくるかもしれないという期待がありました。残光は時間のベキ乗則に従ってどんどん暗くなりますが、超新星は爆発のあとしだいに明るくなり、数日~十数日後に極大光度に達します。両者が同時に起こった場合、可視光のフラックスは暫くの間、残光の成分が支配的ですが、爆発から 1 週間ほどたつと、超新星の成分の方が卓越する可能性があります。GRB 980425/SN 1998bw はおいておくとして、赤方偏移 $z > 0.3$ の宇宙論的なガンマ線バーストでも、残光の光度曲線に超新星成分らしいバンプが見つかった例が報告されていました^{23), 24)}、GCN でも 4 月 3 日には GRB 030329 が SN 1998bw を伴うと仮定した単純なモデルにおける光度曲線がシミュレートされて流されるなど²⁵⁾、期待はいやが上にも高まりました。

4. すばる望遠鏡における ToO 観測

すばる望遠鏡の共同利用公募は半年ごとに行われていますが、超新星やガンマ線バーストのような突発天体に対応した観測計画でも、Target of Opportunity (ToO) 観測として応募できます。ToO 観測がめでたく受理された場合は、対応する天体が現れたら、観測者が観測所へ申し出て、認められれば、スケジュールが急遽変更されて、その天体の観測を行えるという方式です。われわれすばる超新星 ToO 観測チームは、幸運にも 2003 年 4 月から半年間の S03A 期に、微光天体分光撮像装置 FOCAS²⁶⁾ を用いた超新星の偏光分光観測で、ToO 観測夜一晩の割り当てをいただいています。チーム内で協議した結果、ガンマ線バーストと超新星の関連は現代天文学上で重要な課題であり、GRB 030329 という好機を逃すことなく観測を行うべきという結論に達し、ToO 観測をトリガー (発動) することにしました。ただし、FOCAS が取り付けられている日に限り ToO 観測の発動が可能とされていたため、観測を行える可能性があるのは、4 月中は 8 日から 10 日 (ハワイ時間)、その次は 5 月上旬と非常に限られていましたし、われわれのプロポーザルのテーマは超新星を前面に出したもので、一般的な見地から GRB 030329 の観測に対する発動がすぐに認められるかは微妙でした。そこで、念のため 4 月 3 日には、すばる望遠鏡プログラム小委員会に対して、GRB 030329 の観測は、受理されたわれわれの観測テーマの範疇に含まれることを説明しつつ、8 日からの FOCAS ランに ToO 観測を発動することを検討している旨を電子メールで伝えました。

そうしているうちにも、世界中で GRB 030329 の残光観測は進められ、とうとう 4 月 7 日には、可視スペクトル中に超新星らしき特徴が見え出したことが報じられました²⁷⁾。この超新星に対しては間もなく SN 2003dh という符号が与えられました。ここに、ガンマ線バーストが超新星を伴う

場合があることが、疑いようのない事実として明快に示されたわけです。これを受けて、われわれも正式に ToO 観測の発動を申し込みました。ただ、ここで別の問題が生じました。東工大の河合誠之氏を代表とする GRB ToO 観測チームも発動を申し込んでいたのです。(ガンマ線バーストの観測では実績のあるチームですし当然の成り行きと言えます。) その後の経過の詳細は省きますが、とにかく、4月9日に GRB チームが主導で(超新星チームとの共同研究として) FOCAS による観測が行われることに決まりました。しかし、その晩のマウナケア山頂は全く晴れず、観測は行われませんでした。良いチャンスだっただけに残念でした。

5. 偏光分光観測の意義

GRB 030329 は、典型的なガンマ線バーストとして初めて、超新星を伴うことを明快に示した例となりました。特に興味深いのは、その超新星成

分である SN 2003dh が、極超新星 SN 1998bw に非常によく似たスペクトルを示していたことで(図1)。GRB 980425 ではガンマ線強度があまりに弱かったことは先に述べたとおりですが、GRB 030329 のガンマ線強度も典型的なバーストに比べると弱かったことは、このバーストが、GRB 980425/SN 1998bw と通常のガンマ線バーストとの大きな隔たりを埋めてくれる貴重な存在である可能性を示唆しており、さらなる注目を浴びていました。すばるでの4月の観測は流れたものの、5月上旬でもこの天体は可視 20 等程度を保つことが期待されていました。この光度があれば、偏光観測には S/N 比が足りなくとも、分光観測は十分に可能であり、その意義も大きいと判断して、5月7日から8日にかけての FOCAS ランに ToO 観測を発動することにしました。

超新星、特に極超新星の偏光分光観測において、われわれのチームは1年前に現れた SN 2002 ap の研究を行った経験がありました²⁸⁾。SN 2002

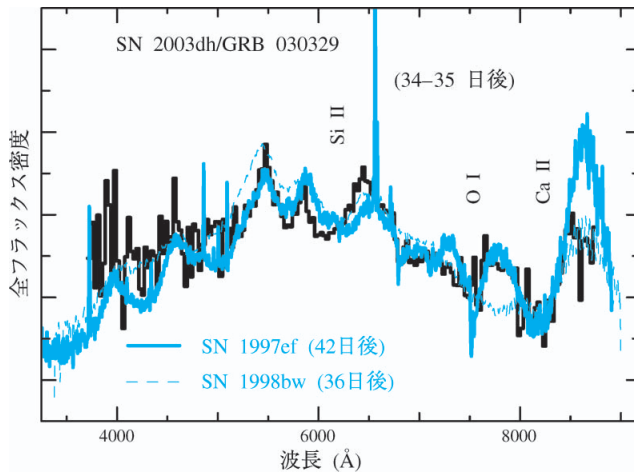


図1 すばる望遠鏡/FOCAS によって得られた SN 2003dh/GRB 030329 の爆発後 34~35 日のスペクトルを、他の同時期のハイパーノバ=極超新星^{10), 42)}と比較したもの。比較のため縦軸は適当にスケールしており、SN 2003dh においては母銀河の成分は差し引き済みである。これらのスペクトルを見ると、凹凸のパターンがいずれもよく似ていることがわかる。しかし、7,000~8,500 Å 付近の中性酸素、一階電離カルシウムによるフィーチャーは、SN 1998bw がつながつた一つの吸収になっているものの、SN 2003dh は SN 1997ef と同様に分かれた別々の吸収となっている。これは、超新星の速度構造を反映していると考えられ、SN 1998bw が最も運動エネルギーが大きいと推察されるが、より初期のスペクトルでは、SN 2003dh の膨張速度は SN 1998bw と同程度に大きかったことが報告されている。

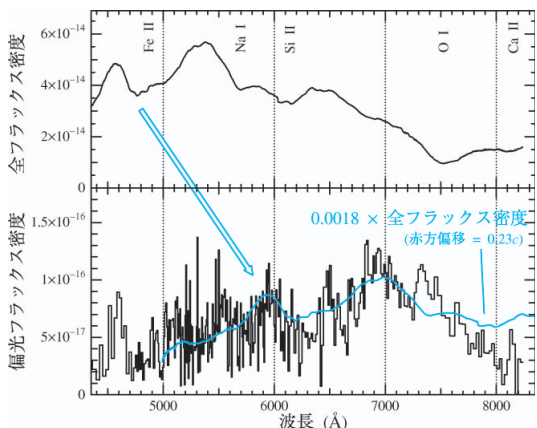


図 2 すばる望遠鏡/FOCAS によって得られた SN 2002ap のスペクトル (上段) と、その直線偏光成分 (下段). 共に 2002 年 2 月 9 日から 11 日の 3 晩に得られたフラックスの平均値をプロットしてあり、単位は $\text{erg cm}^{-2} \text{sec}^{-1} \text{\AA}^{-1}$. 偏光フラックスにおいては、星間偏光成分は取り除いてある. 偏光フラックスのパターンは、全フラックスを光速の 0.23 倍だけ赤方偏移させたパターンに類似している. この類似性は、同時期に Keck/LRIS で得られたデータでも独立に確認できる⁴³⁾.

ap は 2002 年 1 月 29 日に広瀬洋治氏がうお座の銀河 M74 の中に発見した明るい超新星で、対応するガンマ線バーストは見つかりませんでした. 最も近傍で起こった極超新星としてさまざまな観測が行われました. われわれは、すばる望遠鏡/FOCAS による偏光分光観測で、この超新星が最大 2% に及ぶ直線偏光 (以下、直線偏光を単に偏光と呼びます) の特徴を持ち、爆発が単純な軸対称系ではなく、複数の非等方成分が存在することを見いだしました. また、全フラックスと偏光フラックスの両スペクトルの類似性から、光速の 10 分の 1 よりも大きい速度で、視線から逸れた方向に放出されたプラズマ塊 (ジェット) の存在を提案しました (図 2). (この思索的な提案に対しては、SN 2002ap では 1998bw に比べて電波強度がかなり弱かったことから否定的な見解もありますが²⁹⁾、理論面からの肯定的な解釈もあります³⁰⁾.)

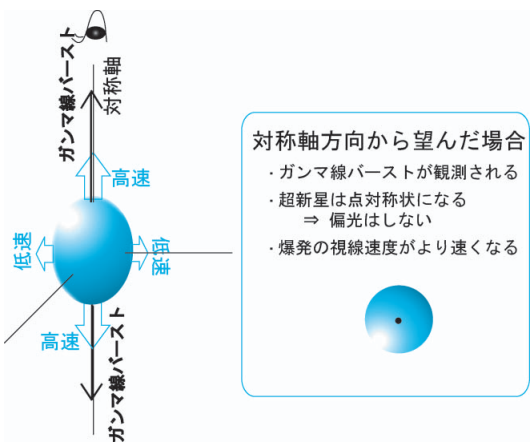


図 3 双極的な爆発を示す超新星と、ガンマ線バーストの幾何学的な関係が期待される一種の模式図. 超新星が、ガンマ線バーストを生む元となるジェットに付随した非対称な構造を持っている場合には、見かけの向きによって、視線速度や偏光強度が大きく異なるかもしれない.

これまでの超新星の偏光観測から、重力崩壊型超新星の多くは 0.3% から 4% に及ぶ偏光を示し、極大光度から星雲期にかけてしだいに偏光度が増加する傾向があることがわかっています. SN 2002ap もその範疇に含まれます. 偏光が大きいことは、爆発が視線方向に対して軸対称とはなっておらず、何らかの非対称性が存在することを意味します. 重力崩壊型超新星における従来のニュートリノ駆動風による爆発モデルのみでは、この非対称性を単純には説明できませんが、重力崩壊に伴って双極ジェットが発生し、双極的な超新星爆発を示すというモデルを取り入れることができれば^{31)~33)}、随分自然に解釈できそうです. さらに、この双極ジェットが相対論的な速度を持っている場合にガンマ線バーストが発生すると仮定すれば、ガンマ線バーストを伴う重力崩壊型超新星と、それ以外の同類の超新星とで、偏光の有無に統計的な差が生じるであろうと期待できます (図 3). ガンマ線バーストに付随して見つかった SN 1998bw と 2003dh が共に、通常重力崩壊型超新星より見かけのエネルギーが大きい極超新星

であることも、単なる偶然ではないかもしれません。われわれは、爆発から1カ月余りたった SN 2003dh のスペクトルを得るとともに、あわよくば偏光特性も知ろうと目論みつつ、すばる望遠鏡を SN 2003dh/GRB 030329 へ向けました。

6. SN 2003dh の偏光分光観測

われわれは、2003年5月8,9日(世界時)の両日、SN 2003dh の偏光分光観測を行いました³⁴⁾。赤方偏移を補正すると爆発から34,35日後の超新星の様子を観測したことになります。われわれはまず、この SN 2003dh のスペクトルが、爆発から同程度(34~42日)経過した極超新星 SN 1998bw および SN 1997ef のスペクトルと酷似していることを見だし、当初の報告とおり SN 2003dh がまぎれもなく極超新星であることを確認しました(図1)。

しかしよく見ると、7,500 Å から 8,500 Å 付近のスペクトルの特徴は、SN 1998bw よりも SN 1997ef の方に似ていることがわかります。この特徴は、主に短波長側が中性酸素原子によるもの、長波長側が一階電離カルシウム原子によるものです。SN 1998bw は爆発による膨張速度が大きいため、これら二つのフィーチャーが連続した幅広い吸収として見えていると考えられます。こういった特徴は、SN 2003dh の運動エネルギーは SN 1997ef と同等であり、SN 1998bw ほどには大きくないことを示唆しています。一方、4月上旬の時点での SN 2003dh のスペクトルからは、SN 1998bw と同等かそれ以上の膨張速度を持っていたことが知られています^{35), 36)}。よって、これらの超新星の内部の速度構造には、明確な差があったと考えられます。SN 2003dh の総運動エネルギーは、SN 1998bw と SN 1997ef の中間的なものであったろうと考えられます。また、超新星の外層において支配的な元素である酸素の吸収線の類似性から、今回の爆発で放出された物質の量は SN 1997ef と同程度であったと考えられます。(超新

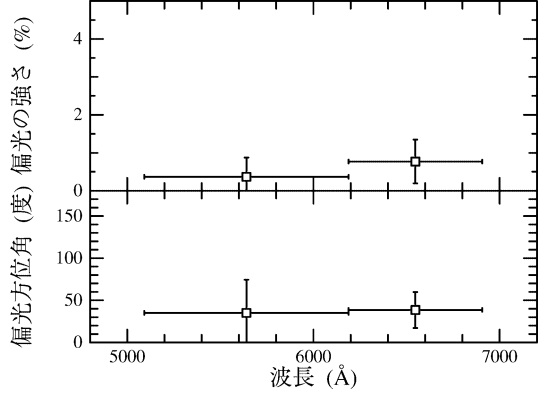


図4 すばる望遠鏡で観測された爆発後34~35日の SN 2003dh の直線偏光度(上段)とその方位角(下段)。水平方向の誤差棒は、そのデータ点において積分した波長幅で、縦方向の誤差棒は観測誤差(1σ)を示している。ごく早期における光学残光の偏光観測の結果から、この超新星成分で観測された偏光の多くは、母銀河の星間偏光成分であり、超新星固有の偏光は他の重力崩壊型超新星に比べて小さかったと考えられる。

星の物理パラメータについては、Mazzali, Deng, 富永らの共同研究者が、スペクトルや光度曲線の計算を用いてより詳しく解析しています³⁷⁾、小杉, 水本, 河合らがより後期のスペクトルも用いて爆発の軸対称性も含めた議論を進めています³⁸⁾。) Mazzali らは放出物質の質量は太陽のおよそ8倍で、SN 1997ef (太陽の8~10倍)よりやや小さいと報告しています。

また、われわれはスペクトル進化における SN 1998bw や SN 1997ef との類似性から、SN 2003dh の爆発は、GRB 030329 の検出と(-8日, +2日)程度の範囲で一致し、同時に起こったとみなしても問題はないことを提案しました。これはガンマ線バーストの重力崩壊起源の相対論的ジェットによる火の玉モデルを支持する結果です。

偏光については、比較的 S/N 比が良かった 6,000 Å 台において、偏光度が1%以下であるという結果を得ました(図4)。まだ残光成分が支配

的だった早期の偏光観測の結果³⁹⁾との比較から、観測された偏光の大部分は、母銀河の星間偏光を起源とする可能性が高いと予想され、SN 2003dh 固有の偏光は、通常の重力崩壊型超新星に比べて偏光度が小さいであろうと考えられます。偏光が小さいことは、軸対称的な爆発をその軸上から望んだとすればうまく解釈できそうです。ただし、偏光観測としてはデータの S/N 比が悪い（ノイズが多い）ため一点だけの観測では決定的証拠とはなりにくいかもしれません。統計（時間変動、サンプル数の多さ）で勝負するか、あるいは近くて明るい同型超新星の出現を待つかしくはないかもしれません。今後の課題の一つです。

7. 最後 に

超新星やガンマ線バーストといった突発天体の観測では競争が激しく、データの鮮度が特に重要で、後手を踏むと誰も注目してくれなくなると聞いたことがあります。実際、GRB 030329/SN 2003dh においても、ESO/VLT 8.1 m 望遠鏡や、米国 MMT 6.5 m 望遠鏡、チリ 6.5 m マジェラン望遠鏡などの大型望遠鏡を駆使した包括的な観測結果が公表され^{36), 40), 41)}、個人的には、研究者層の厚さや、ToO 観測に対する取り組みの進み具合に驚きました。信頼性が高いデータを産出して良いサイエンスを行うには、ある程度じっくりと注意深く対応する必要もあると思うのですが、こういった大型の分野では、普段からの準備でほとんど決着がついているということなのでしょう。汎用型の運用をしているすばる望遠鏡 1 台で対抗するのは容易ではなく、タイミングやアイデアで勝負するか（いち早く良いデータを手にすることでサイエンスをリードするのは依然魅力です）、そうでなければ他の望遠鏡や多波長での連携など、別の方策を考えるべきなのかもしれません。

GRB 030329/SN 2003dh の発見で、多くの新しい知見がもたらされており、超新星やガンマ線バーストはいっそう魅力的な研究対象になっている

と思います。そういった情報を吟味・整理して、今後進むべき道を誤らずに判断していきたいと思う今日この頃です。

謝 辞

本稿で紹介した観測成果は、共同研究者のサポートをなくしては上げられませんでした。また、筆者がこれらの研究を行うことができた背景には、各方面からいただいた指導や寛大な協力があります。その中でも次に挙げる皆様には特にお世話になりました。ここに厚く感謝の意を表し、結びとします。Jinsong Deng, Paolo Mazzali, 前田啓一、野本憲一（東大）、Lifan Wang (Lawrence Berkeley National Laboratory), 家 正則, 大山陽一, 小杉城治, 佐々木敏由紀, 柏川伸成 (国立天文台), David J. Jeffery (University of Nevada), 海老塚 昇 (理研), すばる望遠鏡 FOCAS 開発チーム〈敬称略〉。

参 考 文 献

- 1) Costa E., et al., 1997, Nature 387, 783
- 2) van Paradijs J., et al., 1997, Nature 386, 686
- 3) Frail D. A., et al., 1997, Nature 389, 261
- 4) Metzger M. R. et al., 1997, Nature 387, 878
- 5) Galama T. J., et al., 1998, Nature 395, 670
- 6) Kulkarni S. R., et al., 1998, Nature 395, 663
- 7) Nomoto K., et al., 1994, Nature 371, 227
- 8) Iwamoto K., et al., 1998, Nature 395, 672
- 9) Maeda K., et al., 2002, ApJ 565, 405
- 10) Mazzali P. A., Iwamoto K., Nomoto K., 2000, ApJ 545, 407
- 11) Mazzali P. A., et al. 2002, ApJ 572, L61
- 12) 岩本弘一, 梅田秀之, 中村敬喜, 野本憲一, 1999, 天文月報 92, 87
- 13) Frail D. A., et al., 2001, ApJ 562, L55
- 14) 河合誠之, 2001, 天文月報 94, 287
- 15) Vanderspek R., et al., 2003, GCN Circ. 1997
- 16) Price P. A., et al., 2003, Nature 423, 844
- 17) Uemura M., et al., 2003, Nature 423, 843
- 18) Torii K., et al., 2003, ApJ 597, L101
- 19) Sato R., et al., 2003, ApJ 599, L9
- 20) Urata U., et al., 2004, ApJL in press
- 21) 植村 誠, 他, 2004, 天文月報 97, 169

22) Greiner J., et al., 2003, GCN Circ. 2020
 23) Bloom J. S., et al., 2002, ApJ 572, L45
 24) Price P. A., et al., 2003, ApJ 589, 838
 25) Zeh A., Klose S., Greiner J., 2003, GCN Circ. 2081
 26) Kashikawa N., et al., 2002, PASJ 54, 819
 27) Matheson T., et al., 2003, GCN Circ. 2107
 28) Kawabata K. S., et al., 2002, ApJ 580, L39
 29) Berger E., Kulkarni S. R., Chevalier R. A., 2002, ApJ 577, L5
 30) Totani T., 2003, ApJ 598, 1151
 31) Wang L., Howell D. A., Höflich P., Wheeler C., 2001, ApJ 550, 1030
 32) Nagataki S., 2000, ApJS 127, 141
 33) Maeda K., Nomoto K., 2003, ApJ 598, 1163
 34) Kawabata K. S., et al., 2003, ApJ 593, L19
 35) Stanek K. Z., et al., 2003, ApJ 591, L17
 36) Hjorth J., et al., 2003, Nature 423, 847
 37) Mazzali P. A., et al., 2003, ApJ 599, L95
 38) Kosugi G., et al., 2004, PASJ 56, in press
 39) Covino S. et al., 2003, GCN Circ. 2167
 40) Greiner J., et al., 2003, Nature 426, 157
 41) Matheson T., et al., 2003, ApJ 599, 394
 42) Patat F., et al., 2001, ApJ 555, 900
 43) Leonard D. C., Filippenko A. V., Chornock R., Foley R. J., 2002, PASP 114, 1333

GRB 030329 is Originated in a Core-collapse Supernova –Subaru observation of SN 2003dh emerged in the afterglow–

Koji S. KAWABATA

Department of Physical Sciences, School of Science, Hiroshima University, 1-3-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8526, Japan, Subaru Supernova ToO Observation Team and Subaru GRB ToO Observation Team

Abstract: Gamma-ray burst GRB 030329, detected in 2003 spring, was very bright not only in gamma-ray energy but also in its optical afterglow. Various good observational results have been obtained in the world. Most of all, the GRB has clearly shown that a typical GRB can be produced with a supernova explosion. In this paper, we describe the results of our spectropolarimetric observation for SN 2003dh/GRB 030329 with Subaru telescope as well as the background of the study.