

超新星爆発の形状を探る

田 中 雅 臣

〈東京大学大学院理学系研究科天文学専攻 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1〉

e-mail: mtanaka@astron.s.u-tokyo.ac.jp



超新星爆発はどのようにして起きるのだろうか？ この長年にわたる大問題を解くためのカギが、超新星がまん丸でない「形状」をもっていることにあるかもしれない。本稿では、銀河系外の点源である超新星の「形状」を、偏光観測により引き出すという試みについて紹介する。すばる望遠鏡による観測の結果、超新星は決してまん丸ではなく、爆発時に合成される元素が超新星の放出物質の中で局所的に分布していることが明らかになった。さらに、これまで知られていなかった軸対称よりも複雑な爆発の3次元形状も明らかになりつつある。

1. 超新星爆発の謎に迫る

星の一生の最期はさまざまであるが、特に太陽よりも約8倍以上重い星はその一生を超新星爆発として華々しく終わると考えられている。この爆発によって、星が進化の過程で合成してきた元素や、爆発の瞬間に合成した元素が宇宙空間にばらまかれる。ほとんど水素とヘリウムのみで始まったわれわれの宇宙は、多数の超新星爆発を経て現在のような重元素に満ちた姿を見せているのである。超新星の爆発の規模（運動エネルギー）は 10^{51} エルグ（ 10^{44} ジュール）というすさまじいもので、例えば、このエネルギーがあれば 2×10^{33} gもの質量をもつ太陽を秒速10,000 kmという速度で動かすことができる。この莫大なエネルギーのため、超新星は銀河の形成過程においても重要な役割をもつと考えられている。このように、超新星爆発は宇宙の成り立ちを理解するうえで重要なピースの一つである。

しかし、実は重力崩壊型超新星がどのようなメ

カニズムで爆発するかはいまだに解明されていない*1。大質量星はその一生の最期に中心部へつぶれていき（重力崩壊）、星の中心部が超高密度となり、外層が跳ね返るように爆発に転じると考えられている。しかし、この「爆発に転じる」部分のメカニズムが長年にわたって謎のままなのである。非常に緻密な数値シミュレーションを行っても、球対称状爆発、すなわち、「まん丸」な爆発の仮定の下では外へ向かう衝撃波が停滞してしまい、爆発が成功しないことが知られている^{1),2)}。

そこで注目されているのが、まん丸ではない爆発である。2次元・3次元といったより現実的な空間でも詳細な数値シミュレーションが盛んに行われるようになり^{3),4)}、例えば、停滞した衝撃波が不安定性によりある方向に大きくゆがんだり^{5),6)}、星の回転により磁場が増幅され双極流が発生したりと^{7),8)}、まん丸ではない爆発が起こる可能性が示唆されている。つまり、超新星がまん丸でない「形状」をもっていることは、超新星爆発の謎を解くための、残された望みなのである。

*1 超新星には大きく分けて二つのタイプがあり、大質量星が起こす爆発を「重力崩壊型超新星」、軽い星の最期である白色矮星が起こす核爆発を「Ia型超新星」と呼ぶ。本稿では特に断りがない場合、そのメカニズムが解明されていない重力崩壊型超新星を単に「超新星」と書く。

それでは、実際にわれわれが観ている超新星はどのような形状で爆発しているのだろうか？ 本稿では、実際の超新星の観測から、まん丸でない爆発が本当に起きているのかを検証し、超新星爆発のメカニズムの謎に迫る試みについて紹介したい。

2. 超新星の形状の探り方：偏光観測の威力

超新星は莫大な運動エネルギーをもつだけでなく、非常に明るい現象でもある。爆発から数カ月間は主に可視光を放射し、その明るさは太陽のおよそ10億倍にもなる*2。すなわち、たった一つの天体が一つの銀河全体の明るさに迫る光度を放っているのである。この明るさのおかげで、われわれは銀河系外の超新星も詳細に観測することができ、近年では1年間にすべての超新星のタイプを合わせて約200-400もの超新星が系外銀河に発見されている。残念なことに1604年のケプラーの超新星（Ia型か重力崩壊型か論争中）、1680年のフラムスティード（J. Flamsteed）の記録に残っていたとされるカシオペアA^{9), 10)}（重力崩壊型）以来、われわれの銀河系では新しい超新星が可視光では発見されていない。

超新星の形状を探りたい。では写真を撮ればその形が見られるだろうか？ 残念ながらほとんどの場合答えはノーである。超新星が発見される系外銀河までの典型的な距離は10 Mpc（メガパーセク、1 pc = 約 3×10^{16} m なので、1 Mpc = 約 3×10^{22} m）以上であり、爆発から数百日が経過して超新星が約 10^{14} m の大きさに広がっても、その見かけの大きさは0.0001秒角程度にしかない。これでは到底可視光で分解することはできない。図1の画像に写っている超新星SN 2007gr*3は2007年で発見されたすべての超新星の中で最も

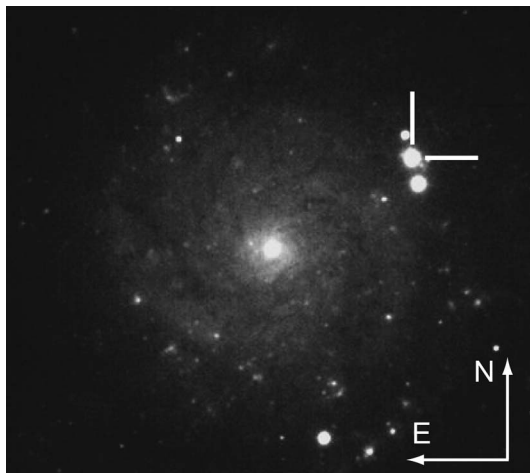


図1 NGC 1058に発見された超新星SN 2007grのR,Vバンド合成画像。2本の線で示されているのが超新星。すばる望遠鏡FOCASによって撮像されたもので、縦が1.3分角、横が1.5分角。

地球に近かったが（約10 Mpc）、点にしか見えていないのがわかるだろう。

では、より近くて古い超新星を観測すれば見かけのサイズが大きくなり、その姿形を空間的に分解できそうだ。そこで格好の対象となるのが、銀外系内に存在する超新星残骸だろう。確かに、超新星残骸の中にはカシオペアAやW49Bのように、明らかにX線や可視光の放射の様子がまん丸からずれているものがあり非常に興味深い^{11), 12)}。しかし、爆発から数百年が経過した超新星残骸の形状は星間物質や星周物質の構造に影響されてしまうため、その形状が本当に爆発によるものなのかを結論づけるのは難しい。超新星爆発そのものの形状を探るには、爆発直後の観測が最適なのだ。

これまで唯一、爆発直後の超新星の形を分解できた例が、1987年に大マゼラン雲で発見された超

*2 超新星は放射性元素⁵⁶Ni (\rightarrow ⁵⁶Co \rightarrow ⁵⁶Fe)の崩壊で発生するガンマ線と陽電子により加熱され、主に可視光を放射している。爆発時に水素外層をまとっている場合（II型超新星）には衝撃波による加熱も寄与している。

*3 英語で超新星はsupernovaといい、これを略してSNと書く。年号は発見された年を表し、その後のアルファベット（A, B, C, ..., Z, aa, ab...）は発見された順序を表す。

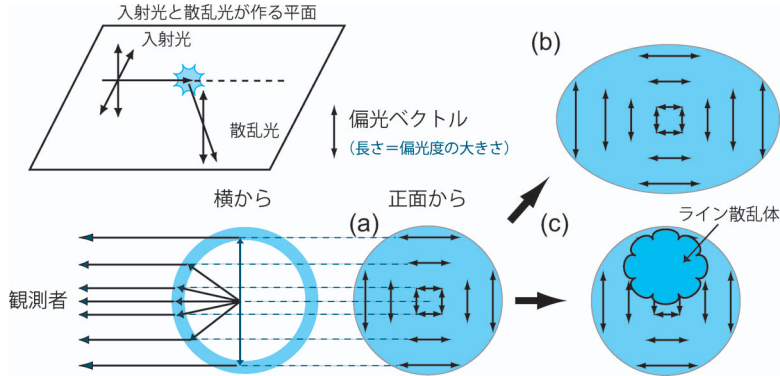


図2 (左上) 電子散乱における偏光の変化の模式図。(左下) 超新星を横から見た場合の光の道筋。観測者から見て超新星の端のほうからくる光は偏光度が高い。(中央下と右) 超新星を天球上に正面から見たときの予想される偏光マップ。超新星が(a)のようにまん丸のときは、すべての偏光成分が打ち消し合って偏光度が検出されない。(b)のように超新星がまん丸からずれていると打ち消し合えない偏光成分が検出される。また、ライン散乱は光を無偏光に戻すので、ライン散乱をする元素が(c)のように一様でない分布をしていると、ラインのある波長で偏光度が検出される。(b),(c) どちらの場合も、検出される偏光の向きは図の上下方向。

新星 SN 1987A である。ハッブル望遠鏡で撮られた SN 1987A の姿は確かにまん丸ではなく、一方方向に歪んだ楕円型をしていた¹³⁾。しかし、残念ながらこのような超近傍の超新星爆発はなかなか起きてくれない。さまざまな超新星の形状を調べるには、銀河系外の「点」を相手にしなければならないのだ。

銀河系外にある「点」の「形状」を探るのは一見不可能のように思える。しかし、これを可能にする離れ業がある。光の偏り、すなわち偏光の観測である。電磁波は進行方向と垂直方向に振動しており、その振動の特徴を偏光（もしくは偏波）と呼ぶ。まん丸でない超新星からの光は「偏り」を持っているはずなのだ。

その原理を以下に説明しよう。超新星の内側から放射される光（連続光）は特別な振動方向を持っていない（無偏光という）が、外層で電子によって散乱されるときに偏光が生まれる。光は電子に散乱されるとき、その散乱角度（入射光と散乱光のなす角）が90度のときに最も偏光の度合いが大きくなり、その光の振動方向は、入射した光と散乱された光が作る平面と垂直な方向である

(図2左上)。この性質から、超新星は天球上で図2aのような偏光のパターンをもっていることが予想される。しかし、前述したように超新星は点にしか見えないため、われわれが観測できるのはすべての偏光成分の総和だけである。つまり、このような超新星を観測しても偏光成分はすべて打ち消し合ってしまう、偏光は検出されない。一見残念な結果に思えるが、実はこれが最も重要なポイントである。もし超新星から偏光が検出されれば、それは間違いなく超新星がまん丸でないことを意味するのである(図2b)。すなわち、まん丸でない超新星からの光は「偏って」いるのだ。

超新星が図2bのようなだ円形をしている場合、検出される偏光の向きは、だ円の長軸と直角な方向である(図2bの場合では上下方向)。ちなみに、形の空間分解に唯一成功している SN 1987A は、その長軸が天球上で北から東回りに約16度傾いていた¹³⁾。そして、SN 1987A に対しては偏光観測も行われており、まさに予想どおりの約106度の方向の偏光成分が検出されている¹⁴⁾。図2bのように超新星がゆがんでいることを、偏光でも「観る」ことができているのだ。

さらに、偏光のスペクトルを取得できればよりいっそう面白い。超新星の外層ではさまざまな元素による散乱（ライン散乱）も起こっており、P Cygni プロファイル（青方偏移した吸収線と、静止波長の輝線からなるプロファイル）を作っている。ライン散乱は偏光していた光を無偏光に戻す特性があるため、ラインのある波長ではラインのない波長とは異なった偏光の性質が期待できる。例えば、もしラインを作っているイオンがまん丸でない分布をしていると、その結果偏光ベクトルが打ち消し合えなくなり、ライン吸収の場所では偏光の度合が大きくなる（図 2c）。ラインのある波長の光は元素の分布に対応して「偏って」いるのだ。この性質を使えば、超新星により放出されたさまざまな元素の分布まで知ることができる。

このように偏光観測は、空間的にその姿を分解することができない天体の形状を引き出すことができる、最も直接的で強力な方法である¹⁴⁾。しかし、超新星で期待される偏光度は数%程度であり¹⁵⁾、偏光度を正確に測るには多くの光を集める必要がある。例えば 30 Mpc の距離にある超新星の典型的な明るさは可視光で 15-18 等級であり、波長分解能が 10 Å 程度^{*4)}の偏光分光観測でも 8-10 m 級の望遠鏡が必要不可欠である。しかも、超新星は時間とともに暗くなってしまうので、観測可能な時期は 2, 3 週間しかない。そのため、質のよい超新星の偏光分光観測の例はそれほど多くないのが現状だ。

このような状況を打開するため、われわれはすばる望遠鏡 FOCAS を用いて超新星の偏光観測を行ってきた。超新星は爆発前の星（親星）の状態で分類されており、爆発時に水素層をもたない超新星は I 型超新星と呼ばれ、水素層をもつ超新星は II 型超新星と呼ばれる。I 型超新星はさらに分

類され、爆発時にヘリウム層があるものは Ib 型、ヘリウム層も失われているものは Ic 型と呼ばれる。特に Ib/c 型超新星は発生頻度が低く、偏光観測例が少ない。また、長年にわたって謎の現象だったガンマ線バーストのある種族が、大質量星の最期、特に Ic 型超新星に伴う天体現象であることがわかってきている¹⁶⁾⁻¹⁸⁾。そのような状況から、われわれは水素層の失われた Ib/c 型超新星を偏光観測のターゲットに定めた。次節ではその成果を紹介する。

3. すばるが明らかにした超新星の形状

3.1 超新星はまん丸ではない

まず、図 1 に写っている SN 2007gr に関する結果を紹介しよう¹⁹⁾。この超新星はヘリウムの吸収線が検出されなかったため、ガンマ線バーストに付随した超新星と同じく Ic 型と分類されている。しかし、スペクトルのドップラーシフトから測った超新星の膨張の速度はおよそ秒速 7,000 km で、ガンマ線バーストに付随した超新星の 3 分の 1 程度であった。この超新星をすばる望遠鏡 FOCAS で偏光分光観測した結果が図 3 に示されている。偏光分光観測によって得られる情報は、すべての光を足し合わせた全フラックス強度（いわゆる普通のスペクトル）、偏光の度合いと偏光の振動の向き（偏光角）で、偏光角は天球面上で北から東回りに測った角度である^{*5)}。Ic 型超新星でこのような良質な偏光データが取得できたのは、2002 年に M74（約 7 Mpc）で発見された SN 2002ap 以来 2 例目である^{17), 20)-22)}。

偏光度のスペクトルを見ると、明らかにカルシウムのラインの場所で大きな偏光度が検出されているのがわかる。これはまさに図 2c の場合に対

*4 超新星の膨張速度は秒速数 1,000 km なので、通常 10 Å（6,000 Å で秒速 500 km のドップラーシフトを分解できる）程度の分解能で観測が行われる。

*5 直線偏光の性質は一般にストークスパラメーター Q と U で表されるが、本稿ではより直観的な全偏光度 $P = \sqrt{Q^2 + U^2}$ と偏光角 $\theta = 1/2 \tan^{-1}(U/Q)$ を用いることにする。

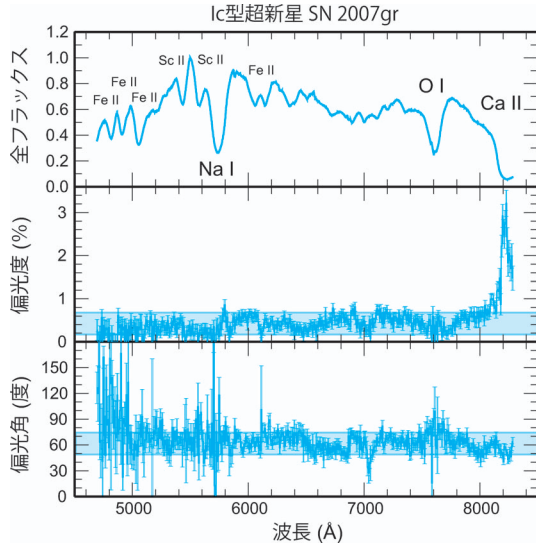


図3 すばる望遠鏡 FOCAS で取得された Ic 型超新星 SN 2007 gr の偏光スペクトル. 上から, 全フラックス ($10^{-14} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ \AA}^{-1}$), 偏光度, 偏光角 (度). 星間吸収によるおおよその偏光度は補正してある. 偏光度と偏光角の網掛けの部分はラインが少ない波長でのおおよその値. 短波長側で偏光角が大きくばらついているのは, 偏光度が小さくて偏光角が意味をもたなくなるため.

応しており, 超新星の放出物質の中で, カルシウムの分布が一様ではないことを示している. 点源にしかな見えない SN 2007gr の爆発がまん丸ではなかったことが明らかになったのである.

一方で, 例えば酸素やナトリウムなどの他の強いラインでは偏光度が検出されていない. もしこれらの元素がカルシウムと同じ分布をしていれば, ラインの強さに比例した偏光度が予想される. すなわち, 酸素とナトリウムはカルシウムと違って, まん丸に近い分布をもっていることがわかる.

さて, このような観測結果からどのような爆発が起きたと考えられるだろうか? カルシウムは主に爆発時に合成される元素であり, 酸素とナトリウムは爆発前の星 (親星) に含まれている元素

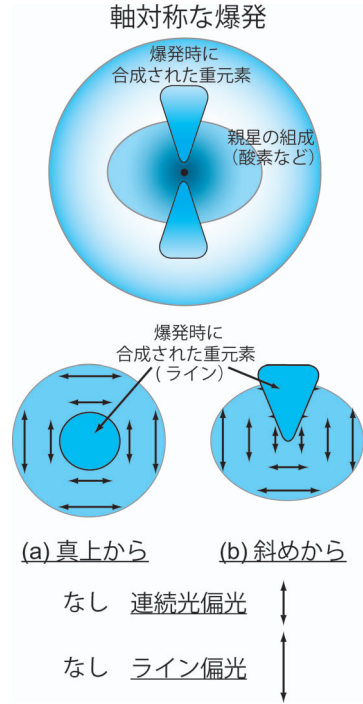


図4 軸対称な双極状爆発の模式図. カルシウムなどの重元素は対称軸付近で多く合成される. このような爆発を真上 (双極流の真正面) から観測すると偏光は期待されないが (a), 視線方向が正面からずれると連続光, ラインともにゼロでない偏光が期待できる (b).

である. 例えば図4の模式図のような軸対称で双極状な爆発のシミュレーションによると, カルシウムは極方向に多く分布し, 酸素やナトリウムはほぼ球対称, もしくは赤道面状に分布することが知られている²³⁾⁻²⁵⁾. このような爆発を斜め方向から観測したと考えると (図4b), カルシウムだけが一様でない分布をとるため, ライン偏光はカルシウムラインの波長だけで検出されるだろう. もちろんより複雑な形状も考えられるが, どうやら SN 2007gr は軸対称な双極状爆発で説明ができそうだ*6.

それでは, 図2bのように, 超新星全体の形状の指標となる, ラインのない波長帯域での偏光の特

*6 鉄もカルシウムの近くで合成されるが, SN 2007gr では鉄のラインが弱かったため, 形状の情報が得られなかった.

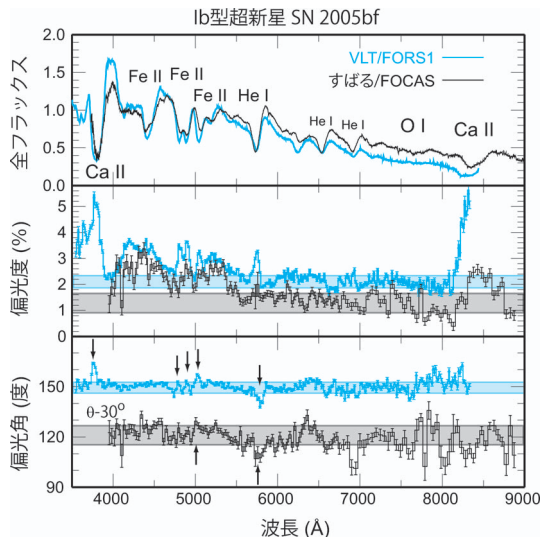


図5 すばる望遠鏡/FOCAS (黒線)と VLT/FORS1 (青線)で取得された Ib型超新星 SN 2005bf の偏光スペクトル. 上から, 全フラックス (すばるのデータの単位は $10^{-15} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ \AA}^{-1}$, VLT のデータはすばるのデータに合わせて規格化してある), 偏光度, 偏光角 (度, すばるのデータは下へ 30 度ずらしてある). 星間吸収によるおおよその偏光度は補正してある. 偏光度と偏光角の網掛けの部分はラインが少ない波長でのおおよその値. 矢印で示された偏光角が, ラインに対応して変化を見させている.

徴はどうだろうか? SN 2007gr ではラインが比較的弱い部分でも確かに偏光度が検出されている. しかし, この議論には注意が必要である. 超新星からの光はわれわれに届く前に星間ダストにより吸収を受けており, 星間吸収により偏光が生まれるためである (星間偏光)²⁶⁾. 星間偏光は波長に対して滑らかにしか変化しないため²⁷⁾, カルシウムで検出された偏光は間違いなく超新星固有のものである. しかし, ラインの少ない波長帯域で検出された偏光度は主に星間偏光によるものかもしれない. 同様に, 偏光角も星間偏光に影響されてしまうため, 超新星固有の光の正確な「向き」を定めるのは難しい. この問題への取り組みは第4節で簡単に紹介したい.

3.2 超新星は軸対称でもない?

すばる望遠鏡で観測したもう一つの例として, 図5に Ib型超新星 SN 2005bf の例を示した^{28), 29)}. この超新星は Very Large Telescope (VLT) でもすばるの2週間前に偏光分光観測が行われており, 偏光の時間進化が明らかになった初めての Ib型超新星である. 時間とともに偏光度が全体的に減少しているのが見てとれる. これは星間偏光によらない超新星固有の性質であり, 超新星の各層でまん丸からのずれ具合が異なることを意味している.

この超新星では, 鉄とカルシウム, さらにヘリウムのラインで偏光が検出された. 鉄とカルシウムは主に爆発時に合成される元素である. また, ヘリウムは爆発前のヘリウム外層に多く存在する元素だが, ヘリウムのラインは ^{56}Ni と共存している部分で非熱的電子により励起されて生じるため, ヘリウムのラインでわかる分布は ^{56}Ni とヘリウム層の共存層だと考えられる. すなわち, 鉄, カルシウム, そして ^{56}Ni が, 局所的に合成されていると考えれば偏光の性質は説明がつきそうだ. これはやはり図4のような双極状爆発の予想と一致している.

しかし, 矢印で示されたラインの場所の偏光角を見て欲しい. ラインの場所で偏光角が少し変化しているように見える. このような狭い波長域での変化は星間偏光によるものではない. データの分散が大きいため判断は難しいが, 例えば $5,800 \text{ \AA}$ のヘリウムのラインや $5,000 \text{ \AA}$ の鉄のラインでは, すばる, VLT のデータともに同じような変化が見てとれる. これはどのように解釈できるだろうか? 双極状爆発のように軸対称に元素が分布していると, ラインの波長で偏光度が変わるが, 偏光角は常に一定に保たれる (図4b). すなわち, 偏光角の変化は軸対称な分布では説明できず, 爆発が軸対称よりも複雑な形状をしていることを意味している¹⁴⁾.

このような観測結果は例えば図6のような, 重

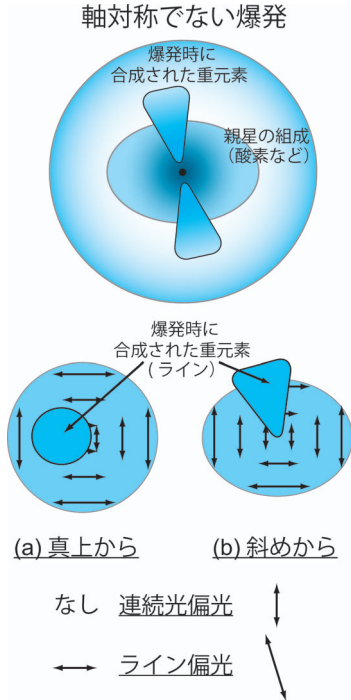


図6 軸対称でない爆発の模式図。密度分布の対称軸と重元素分布の対称軸が一致していないと、斜め方向から観測されたときに、連続光とラインで偏光の向き（偏光角）が異なることが予想される (b)。

元素分布の軸と、密度分布の軸（もしくは爆発前の星の回転軸）が一致していない爆発を示唆しているのかもしれない。この場合には、重元素のラインでの偏光角は連続光と一致しない（図6b）。超新星爆発の後に残される中性子星がパルサーとして観測されるときに、その磁軸と回転軸が一致していないことはよく知られており、超新星爆発もこのような2軸をもっているのかもしれない。実際そのような3次元数値シミュレーションも行われており³⁰⁾、観測結果と直接比較できれば面白いだろう。

4. 今後の展開：狙いはガンマ線バースト

超新星爆発は確かにまん丸ではなかった。すばる望遠鏡で観測した二つの超新星では、どちらも

爆発時に合成された元素に起因するラインで偏光が検出され、これらの元素が星のある選択的な方向で多く合成されていることが明らかになった。これは双極状爆発の予想と一致していると言える。しかし、精度の高い偏光観測は軸対称より複雑な3次元形状を発見しつつあり、このような観測は今後の3次元シミュレーションの道筋を与えるだろう。

軸対称でない3次元的な構造が普遍的なものかどうかはまだわからない。この問いに答えるためには、まずは十分近傍で発見される超新星を逃さず偏光観測し、各波長の偏光角を詳しく調べられる質の良いデータを地道に増やしていくしかない。

また、一つの超新星をしぶとく(?) 観測し続けることも非常に重要である。爆発からおよそ100日が経過すると、超新星で電子散乱が起こらなくなり、超新星からの光は偏光をもたなくなる。つまり、この時期に検出される偏光はすべて星間偏光のはずで、この性質を使えば星間偏光の正確な見積もりができる。超新星は時間とともに暗くなるため、観測はいっそう難しくなるが、超新星固有の偏光をより正確に議論するためには避けることのできない方向性だろう。

そして、今後最も興味深い偏光観測のターゲットの一つは、ガンマ線バーストに付随する超新星である。ガンマ線バーストは光速に近い双極流によるもので、爆発は全くまん丸ではないと考えられている^{17), 18)}。しかし、そのような爆発をわれわれが双極流の真正面から観測していれば、天球上では対称な形となり（図4a）、偏光度は全く検出されないはずだ。しかし、本当にそうなのだろうか？ これはぜひとも検証してみたい。実はこれまでも挑戦されているのだが、データの質が十分でなく決着がついていない^{17), 31)}。

もし万が一偏光度が検出されたら、われわれは双極流の真正面にはいないのかもしれない。そのような視線方向の多様性はガンマ線バーストの多

様性の一因を担っているかもしれない³²⁾。また、もしかすると爆発がそもそも軸対称ではないのかもしれない。もしそうだとしたら、本当にガンマ線バーストはブラックホール誕生の瞬間に発生する双極流なのだろうか？ いや、軸対称でないのは観ている超新星だけで、ガンマ線バーストは軸対称なのかもしれない。ではどのようなメカニズムでその両者がずれるのか…。興味は尽きないが、これ以上の想像は近傍銀河にガンマ線バーストが現れた後の楽しみにとっておくことにしよう。

謝 辞

すばる望遠鏡による超新星の偏光観測を実現させるため、あらゆる面でサポートしていただいた広島大学の川端弘治氏に深く感謝いたします。本研究は川端氏のほか、国立天文台の服部 堯氏、家 正則氏、東京大学の前田啓一氏、野本憲一氏、トリエステ天文台の Elena Pian 氏、MPA の Paolo Mazzali 氏、甲南大学の富永 望氏とともに行ったものです。上記の方々だけでなく、すばる望遠鏡で Target of Opportunity (ToO) 観測に協力してくださっている青木賢太郎氏、佐々木敏由紀氏をはじめ、スタッフの方々に深く感謝いたします。また、本稿の執筆を勧めてください、本稿にたいへん貴重な意見をいただきました山崎了氏に深く御礼を申し上げます。筆者は日本学術振興会から援助をいただいています。

参 考 文 献

- 1) Ramp M., Janka H.-Th., 2000, ApJ 539, L33
- 2) Sumiyoshi K., et al., 2005, ApJ 629, 922
- 3) 水野陽介, 2005, 天文月報 98, 461
- 4) 関口雄一郎, 2009, 天文月報 102, 308
- 5) Blondin J. M., et al., 2003, ApJ 584, 971
- 6) Iwakami W., et al., 2008, ApJ 678, 1207
- 7) Takiwaki T., et al., 2004, ApJ 616, 1086
- 8) Burrows A., et al., 2007, ApJ 664, 416
- 9) Ashword W. B., 1980, Journal for the Historical of Astronomy 11, 1
- 10) Stephenson F. R., Green D. A., 2002, Historical Supernovae and Their Remnants (Clarendon Press, Oxford)
- 11) Hwang U., et al., 2004, ApJ 615, L117
- 12) Miceli M., et al., 2006, A&A 453, 567
- 13) Wang L., et al., 2002, ApJ 579, 671
- 14) Wang L., Wheeler J. C., 2008, ARA&A 46, 433
- 15) Höflich P., 1991, A&A 246, 481
- 16) 植村 誠ほか, 2004, 天文月報 97, 169
- 17) 川端弘治ほか, 2004, 天文月報 97, 176
- 18) 井岡邦仁, 2006, 天文月報 99, 220
- 19) Tanaka M., et al., 2008, ApJ 689, 1191
- 20) Kawabata K. S., et al., 2002, ApJ 580, L39
- 21) Leonard D. C., et al., 2002, PASP 114, 1333
- 22) Wang L., et al., 2003, ApJ 592, 457
- 23) Nagataki S., et al., 1997, ApJ 486, 1026
- 24) Khokhlov A. M., et al., 1999, ApJ 524, L107
- 25) Maeda K., et al., 2002, ApJ 565, 405
- 26) Davis L. J., Greenstein J. L., 1951, ApJ 114, 206
- 27) Serkowski K., et al., 1975, ApJ 196, 261
- 28) Maund J., et al., 2007, MNRAS 381, 201
- 29) Tanaka M., et al., 2009, ApJ 699, 1119
- 30) Mikami H., et al., 2008, ApJ 683, 357
- 31) Patat F., et al., 2001, ApJ 555, 900
- 32) Yamazaki R., et al., 2003, ApJ 594, L79

Probing Explosion Geometry of Supernovae Masaomi TANAKA

*Department of Astronomy, School of Science,
University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku,
Tokyo 113-0033, Japan*

Abstract: What is the explosion mechanism of supernovae? Explosion geometry may be an important key to solve this longstanding problem. In this article, we show that spectropolarimetry is a powerful tool to extract the explosion shape from extragalactic, point-source supernovae. Our observations with the Subaru telescope revealed that supernova explosion is not spherically symmetric. Especially, the distribution of explosively synthesized heavy elements is not uniform in the SN ejecta. Three-dimensional structure of the explosion is also becoming apparent.