

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 15日現在

機関番号：15401
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20740107
 研究課題名（和文） 1 露出型広視野偏光撮像器を用いたガンマ線バースト初期可視残光の観測的研究
 研究課題名（英文） Observational study of polarization of gamma-ray burst optical Afterglow using one-shot wide-field polarimeter
 研究代表者
 川端 弘治（KAWABATA KOJI）
 広島大学・宇宙科学センター・准教授
 研究者番号：60372702

研究成果の概要（和文）：

広島大学1.5m望遠鏡と可視広視野偏光観測装置HOWPolを即時観測可能となるように整備し、ガンマ線バーストに対して世界的にも稀な可視残光の明るい初期フェーズの偏光観測を行うことにより相対論的ジェットの磁場構造に関する新たな知見を得ることが出来た。併せて、超新星や古典新星などの恒星の爆発現象に対してその初期観測を行い、爆発の機構について議論した。

研究成果の概要（英文）：

We have developed an automatic observation system with 'Kanata' 1.5-m high-speed moving telescope and an wide-field optical polarimeter HOWPol, and discussed the magnetic structure of GRB relativistic jets on the basis of the polarization of early afterglow detected by this system. We have also discussed the early observation for other outburst phenomena of stars like supernovae and classical novae.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：光学赤外線天文学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：偏光観測、ガンマ線バースト、光学赤外線天文学、高エネルギー宇宙物理学

1. 研究開始当初の背景

ガンマ線バースト（GRB）の輻射機構について、 $t \sim 10^4$ 秒以後のX線-電波の残光の振る舞いについては、相対論的ジェットにおける外部衝撃波モデル（標準モデル）でうまく説明されてきたが、2004年に打ち上げられたGRB探索衛星Swift衛星の活躍により、バースト直後（ $t=10^2-10^4$ 秒）の残光、特にX線の初期光度変化に広くみられる shallow decay や最大2桁に達するフレアや、可視光

の初期光度曲線におけるガンマ線やX線輻射と同期した変動などは、標準モデルの範疇では説明がつかず、一応の成功を収めていた標準モデルの見直しが精力的に進められていた。GRB残光の輻射は、エネルギーに対してべき乗則分布をもつ相対論的電子のシンクロトン輻射で説明され、その磁場の構造によっては、残光輻射中においても数%-数十%の偏光が期待され、その強度や時間変化からジェットの幾何学や輻射メカニズムに

深く切り込む可能性が指摘されていた。しかし、測定精度ないしは時間的密度の観点で、いずれの波長域においてもまだ十分な偏光データが得られておらず、この分野で最も進んでいるのは可視光領域においても、偏光の観測が常時可能な施設は世界的に見ても殆ど無く、GRB 発生から $t < 10^3$ 秒の初期偏光観測例として 2007 年によろやく GRB 060418 において upper-limit=8% が報告されたのみであり、初期残光の偏光観測は遅々として進んでいない状況であった。

2. 研究の目的

広島大学 1.5m かなた望遠鏡と 1 露出型広視野偏光撮像装置 HOWPol を用い、GRB の明るい初期残光に対する時間的密且つ高精度な偏光観測を行う。かなた望遠鏡は口径 1m クラスの望遠鏡としては例外的に速い毎秒 5 度（方位軸）の駆動速度を有し、バースト発生から典型的に $t \sim 10^2$ 秒程度で観測が始められる。これに 1 回の露出で直線偏光パラメータがすべて導出可能な特殊な偏光プリズムを用い、広視野での偏光撮像が可能な HOWPol を組み合わせ、爆発初期の GRB 残光に対して、偏光フォローアップ観測を行う。そして、得られた可視光偏光および光度の時間変化を、ガンマ/X 線の光度曲線ないしは理論モデルと比較することによって、ジェットの構造やエネルギー分布、輻射機構を追究する。GRB が現れない晩には、GRB の母天体と考えられる超新星のフォローアップを行う

3. 研究の方法

本研究向けに専用の使うことができる口径 1.5m 望遠鏡と広視野偏光撮像器を用いて、20 年度から 3 年半以上に亘り重点的な観測体制を敷き、ガンマ線バーストの初期可視残光に対する良質な偏光および測光データを得る。そのデータを他の望遠鏡ないしは他波長での観測結果や既存の理論モデルと比較することにより GRB ジェットの研究を進める。バーストが現れない晩には、GRB の母天体との繋がりが指摘されている Ib/Ic 型超新星のモニター観測、およびナスミス焦点における偏光較正のための観測を行う。

4. 研究成果

初年度 (2008 年度) は、1 露出型偏光器 HOWPol の立ち上げを行い安定して観測できるよう整備すること、および初期残光に対して有効な観測体制を整えることが目標であった。HOWPol の観測は 2008 年 7 月より開始され、CCD のリニアリティやノイズが十分な性能を出しているほか、望遠鏡も含めた装置全体での像質（星像分布の半値幅は最良値で視野全面にわたり 1.2 秒角、視野端付近の歪

曲は 2% 程度）、測定効率（大気減光や望遠鏡反射率を含めた総合効率で V バンド 20%、R バンド 30%）がいずれも設計性能をほぼ満足していることを確認した。

2009 年度には、HOWPol の制御ソフトウェアを開発し、観測モードのセットアップからデータアキュジションに至るすべての命令を一つの linux PC 上で自在に行えるように整備した。そして、既にかた望遠鏡用に整備してあったガンマ線バースト・アラート受信プロセスとの連携プロセスを整備し、ガンマ線バーストの出現アラートを受け取ってすぐに望遠鏡を指向すると共に HOWPol において 1 露出型偏光観測モードに切り換えて、露出を開始するようにした。この自動観測モードは 2009 年 5 月より運用を開始した。その結果、12 月 8 日には、本システムでの初めてのガンマ線バーストの偏光観測に成功した。バーストのトリガーから 149 秒後の観測開始は、これまで公表されている GRB 可視残光の偏光観測では最も早いものである。残念ながら R バンド等級で 17 等程度と暗く、目標の精度（偏光度で 0.5% 以内）での偏光測定は出来なかったが、初期の貴重なデータを得ることができた。

加えて、ガンマ線バーストが現れない晩には、超新星や古典新星のモニター観測を行った。2009 年 4 月に現れた Ia 型超新星 SN 2009dc は、初期より明るく、炭素過剰なスペクトルを示したことから精力的にモニター観測を行い、この超新星がこれまで発見された Ia 型超新星で最も明るい部類 (Super-Chandrasekhar-mass Type Ia) であることを見出し、その爆発メカニズムについて議論した。

2010 年度には、昨年度導入した広視野タイプのウォラストン・プリズムの性能出しを行いながら、ガンマ線バースト (GRB) の観測を継続するとともに、昨年度得られた GRB 091208B の偏光測光データの解析を進めた。最終的に、どのプリズム・観測モードについても、任意の赤緯・時角における器械偏光を求めることが出来るようになり、キャリブレーション方法を確立することができた。偏光測定精度は $\Delta p = 0.5\%$ である。GRB に対する観測は 2010 年度中に 16 回行った。そのうち 11 回は自動で観測を開始することができた。ただ、11 回とも残光成分が暗く、偏光を測定するには至らなかった。なお、11 回中 5 回は 100 秒以内で露出を開始でき、最速では GCN 受信から 42 秒後に観測を開始できた。これは 1.5m 望遠鏡では世界的にも最速クラスである。

GRB 091208B の解析では、爆発 150 秒以降の可視光と X 線の光度曲線の振る舞いを標

準モデルと比較することで、数千秒までの可視・X線放射は外部衝撃波による残光でうまく説明されること、その場合観測された $p=10 \pm 2.5\%$ の直線偏光はシンクロトロンモデルを支持する結果を得た (2012 年に ApJL に出版)。なお、当初本課題は 2011 年度までを研究期間としていたが、2011 年度から基盤(B)の別課題が採択されたことから、本課題は 2010 年度にて終了となる。ただ、東広島天文台の 1.5m 望遠鏡と HOWPol による GRB 観測のスタンバイ・自動観測は、今後も継続する予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

1. 上原岳士, 当真賢二, 川端弘治ほか, GRB 091208B: First Detection of the Optical Polarization in Early Forward Shock Emission of a Gamma-Ray Burst Afterglow, *Astrophysical Journal*, 査読有り, 752, 2012, L6
2. 山中雅之, 植村誠, 川端弘治ほか, Early Spectroscopy of the 2010 Outburst of U Scorpii, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 査読有り, 62, 2010, pp. L37-L41
3. 上原岳士, 植村誠, 川端弘治ほか, Infrared/optical - X-ray simultaneous observations of X-ray flares in GRB 071112C and GRB 080506, *Astronomy and Astrophysics*, 査読有り, 519, 2010, pp. A56: 1-9
4. 川端弘治, 前田啓一ほか, A massive star origin for an unusual helium-rich supernova in an elliptical galaxy, *Nature*, 査読有り, 465, 2010, pp. 326-328
5. 山中雅之, 川端弘治ほか, Early Phase Observations of Extremely Luminous Type Ia Supernova 2009dc, *Astrophysical Journal*, 査読有り, 707, 2009, pp. L118-L122
6. 川端弘治, 田中雅臣ほか, Extremely Luminous Supernova 2006gy at Late Phase: Detection of Optical Emission from Supernova, *Astrophysical Journal*, 査読有り, 697, 2009, pp. 747-757

7. 前田啓一, 川端弘治ほか, Subaru and Keck Observations of the Peculiar Type Ia Supernova 2006gz at Late Phases, *Astrophysical Journal*, 査読有り, 690, 2009, pp. 1745-1752

8. 永江修, 川端弘治ほか, Multiepoch Optical Spectropolarimetry of Three Microquasars, Cyg X-1, LS 5039 and LS I +61d 303, *Astronomical Journal*, 査読有, 137, 2009, pp. 3509-3519

9. 川端弘治, 永江修ほか Wide-field one-shot optical polarimeter: HOWPol, *Proceedings of SPIE*, 査読無し, 7014, 2008, 70144L-10

[学会発表] (計 10 件)

1. 川端弘治, Prompt optical polarimetry of GRB afterglow, *Stellar Polarimetry: From Birth to death*, 2011 年 6 月 27-30 日, University of Wisconsin-Madison (米国)
2. 小松智之, 田中祐行, 千代延真吾, 永江修, 川端弘治ほか, 可視 1 露出型偏光撮像器 HOWPol の開発: (6) 広視野モードと器械偏光, 日本天文学会 2011 年春季年会, 2011 年 3 月 18 日, 筑波大学
3. 小松智之, 植村誠, 川端弘治ほか, Kanata optical photometric and polarimetric observations of MAXI J1659-152, *The First Year of MAXI: Monitoring Variable X-ray Sources*, 4th International MAXI Workshop, 2010 年 11 月 30 日-12 月 2 日, 理化学研究所
4. 奥嶋貴子, 山中雅之, 川端弘治ほか, 大きな膨張速度を持つ IIb 型超新星 SN 2010cn の早期観測, 日本天文学会 2010 年秋季年会, 2010 年 9 月 22 日, 金沢大学
5. 川端弘治, 上原岳士ほか, GRB 091208B の初期可視残光の偏光アッパーリミット, 日本天文学会 2010 年春季年会, 2010 年 3 月 25 日, 広島大学
6. 小松智之, 田中祐行, 千代延真吾, 永江修, 川端弘治ほか, 可視 1 露出型偏光撮像器 HOWPol の開発: (5) 分光、GRB モードと器械偏光, 日本天文学会 2010 年春季年会, 2010 年 3 月 26 日, 広島大学
7. 小松智之, 川端弘治ほか, HOWPol を用い

たナスミ焦点における器械偏光の評価, 日本天文学会 2009 年秋季年会, 2009 年 9 月 14 日, 山口大学

8. 川端弘治, 田中祐行, 永江修ほか, 可視 1 露出型偏光撮像器 HOWPol の開発: (3) ファーストライトと試験観測, 日本天文学会 2009 年春季年会, 2009 年 3 月 27 日, 大阪府立大学

9. 田中祐行, 川端弘治, 永江修ほか, 可視 1 露出型偏光撮像器 HOWPol の開発: (4) 駆動制御系と性能評価, 日本天文学会 2009 年春季年会, 2009 年 3 月 26 日, 大阪府立大学

10. 川端弘治, 永江修, 千代延真吾ほか, Wide-Field One-Shot Optical Polarimeter: HOWPol, Astronomical Polarimetry 2008: Science from Small to Large Telescopes, 2008 年 7 月 6-11 日, Fairmont Le Manoir Richelieu (カナダ)

[その他]

ホームページ

<http://hasc.hiroshima-u.ac.jp/instruments/howpol/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川端 弘治 (KAWABATA KOJI)

広島大学・宇宙科学センター・准教授

研究者番号: 60372702