

ガンマ線バーストにともなう光学閃光観測のための光学系の開発

Development of optics for observing the optical flash associated with the gamma-ray burst

プロジェクト代表者：田代 信 (理工学研究科・教授)

Makoto Tashiro (School of Science and Engineering:
Professor)

1 ガンマ線バーストの可視光同時観測

ガンマ線バースト(GRB)は、 10^{44} Jものエネルギーを1秒～数分のうちに放出する、宇宙で最も大規模な爆発的な現象である。その起源は、巨大星の崩壊など、大規模な重力エネルギーの解放が原因との見方が有力であるが、提案されているモデルでは、まだ観測上の説明できない点も多数あることが指摘されている。GRBの放射の主軸であるガンマ線およびX線は、地球大気によって吸収されるため、地上から観測することはできない。このため、広視野のX線望遠鏡を搭載した人工衛星や、複数の人工衛星や人工惑星に搭載されたガンマ線検出器による惑星間空間ネットワークが検知の主体となる。最初のGRB探知専用衛星として、MITと理化学研究所が中心になって計画したHETE-2衛星である。1999年に打ち上げられたHETE-2は、GRBを探知すると即座に地上に通報、インターネットを通じた速報網が、これを各地の天文台に伝え、ロボット化された望遠鏡が残光を観測するシステムが確立した。さらに、我々も開発に参加し、2004年に打ち上げられたSwift衛星の登場によって、この宇宙-地球観測網は大きく進展した。なかでもSwiftは、衛星自体に残光観測のための可視光・紫外光、X線の望遠鏡を搭載し、1分ほどで自律的に残光観測を行う画期的な衛星である。これによって、X線帯域に関しては、GRBから残光まで、ほとんど時間差なしで連続的な観測が可能になった。

驚くべき事に、この連続観測によって、X線残光は単一のベキ型ではあらかた説明できない複雑な減光を伴っていることが明らかになった。これは、単純な断熱膨張や放射冷却では説明できず、実際に数時間におよぶエネルギー注入などを必要とする。すなわち、GRB起源天体の動的な状態が反映されている可能性が極めて高い。しかしX線観測だけでは不十分である。崩壊の規模や物質分布、磁場、さらには崩壊の時間スケール、星周物質の状態など起源天体の状態を観測的に明らかにするためには、X線ガンマ線だけでなく、むしろ、より星周物質の影響を反映しやすい可視光での「光学閃光」の同時観測が重要である。そこで我々は世界でのユニークな、可視光での完全同時観測を企図して、次項に述べるWIDGETを開発した。

2 GRB可視光閃光観測カメラ「WIDGET」

我々は、理化学研究所の共同研究者とともに、活躍中のGRB探知衛星の視野を追尾する広視野可視光望遠鏡「WIDGET」を考案した。これは、あらかじめ公開されている、GRB探知衛星の視野を、常時、地上から可視光でモニターし、撮影し続けることで、GRBが検知された瞬間の星野を確実に撮影する。毎日、自動的に衛星の観測計画をインターネット経由で取得し、赤道儀の制御を行う完全に自律的な観測システムと、GRB探知衛星の広い視野をよい効率でカバーする広角レンズをもつ。2003年から制作に着手し、2004年に東大宇宙線研明野観測所に設置した。類似の試みは世界中をみても他に3箇所で行われているが、WIDGETは視野の広さで他を圧倒している。すでに最初の一年間で、1台の広視野カメラを用い、運用効率95%の稼働実績を達成した。2005年度には、カメラを24mmレンズのもの1台から、35mmレンズのもの3台へと拡充し、性能評価を行った。その結果、天候などの条件が整えば、約11等級の限界等級がと所定の値を達成できることを実証した。またいくつかのGRBについては同時観測に成功したが、いずれも上限値を得るにとどまった。

そこで、2006-2007年度に、限界等級の向上を主眼とした改良をおこなった。改良のポイントは以下の3点である。

1. 観測サイトの変更: 甲府盆地に近く夜光があかるく、広視野カメラに与える影響が無視できないことがわかった。このため、より暗い空を求めて、各地のサイト調査を行い、最終的に東京大学天文教育センター木曾観測所内に移転することにした。
2. 光学系の改良: レンズの変更し、狭視野にすることで、一ピクセルあたりの夜光を実質的に低減する。失う視野の広さは、カメラの台数を4台に増やすことで補う。
3. Swift衛星の視野追尾プログラムの改良。

本プロジェクト研究では、2のレンズの改良に主眼をおき、2006年度末から2007年度にかけて、改良と性能評価を行った。

3 光学系の性能評価

感度の向上のため、我々は光学系の狭視野化を行うことにした。これは焦点距離を長くすることで、単純にCCDの1ピクセルあたりに入る空を狭め、結果としてノイズ源である夜光を低減することができる。我々は、新規開発された、50mm f1.2 のキヤノン製レンズを使用し、それまで用いていた 35mm f1.5 のレンズと、限界等級のノンフィルター条件での比較を行った。これは35mmレンズのデータがノンフィルターで取得されていたためである。このレンズの交換によっておよそ2等級の改善がみられ、GRBにともなう可視光閃光観測の可能性が飛躍的に高まった。

光学系の交換による性能向上が確認できたので、実際に限界等級を求めた。上述したように WIDGET は、検出感度を最大化するために、ノンフィルターで観測している。いいかえれば、採用したレンズと CCD の波長感度で決まる感度特性をもっているといえるが、これは可視光観測の標準的なフィルターで定義されている「バンド」とは大きく異なる。そこで我々は、この特性を定量的に評価し、WIDGET の感度をもっともよく代表できるバンドを選定するために、較正観測をおこなった。すなわちマルチバンドで測光が行われている代表的な標準星カタログ Landolt standard star カタログで用いられている領域を観測し、CCD を含めた光学系の色感度を評価した。フィルターなしで取得された WIDGET の実データと、ジョンソンフィルターで定義され、可視光観測でよく使われている B, V, R, I の4つのバンドの標準星カタログでの等級を比較したところ、Rバンドでもっともよくカタログ等級と実測の信号強度が相関することがわかった。そこで、WIDGET の光学特性をもっともよく代表するバンドが Rバンドで限界等級をもとめた。その結果を表1にまとめる。

表1 Rバンドで評価した限界等級

有意度	1 σ	2 σ	3 σ
5 秒露出	12.45	11.30	10.75
60 秒露出	14.11	12.91	12.36
120 秒露出	13.99	12.80	12.24
180 秒露出	14.10	12.91	12.35

4 成果発表

以下に本年度に発表した成果をまとめておく。

これらは、WIDGET を含む東アジアの追観測望遠鏡網による観測によるもの、また「すざく」衛星を含む軌道上からの観測によるものである。これらのほかに WIDGET 単独によるものとしては、これまでに7報の報告を、世界的な GRB 観測の速報である、GRB coordinate network におこなっている。

査読つき論文誌での発表成果

- Urata, Y. et al. Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.59, No.4, pp.L29-L33 (2007)
- Ohno, M. et al. Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.60, No.SP1, pp.S361-S374, (2008)

➤ Yonetoku, D., et al., Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.60, No.SP1, pp.S352-S360 (2008)

修士論文

栞原允「超広視野望遠鏡WIDGET の改良と測光性能試験」東京理科大学・理化学研究所 2008年