

東アジア・ガンマ線バースト追観測網の構築とその成果

浦田 裕次

〈埼玉大学 田代研究室 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255〉

e-mail: urata@heal.phy.saitama-u.ac.jp

〈日本学術振興会特別研究員 PD〉

われわれは、2002年からこれまでに、ガンマ線バーストの起原に迫るために欠かすことのできない、発生早期の可視光の放射をとらえるために、東アジア地域と協力して観測連携体制 (EAFON) を整えてきました。2006年4月現在までに、EAFONによってすでに68例の観測を実施し、21例のガンマ線バーストで残光の観測に成功しています。本稿では、EAFONの活動とその成果について紹介します。

はじめに

ガンマ線バーストは、宇宙で最大規模の爆発現象です。その発生機構を解明するためには、ガンマ線やX線でガンマ線バーストをとらえると同時に、発生の早期から多波長ですばやく追跡することが極めて重要です。私がガンマ線バースト研究を開始した1999年には、衛星の速報がそれほど早くなく、また地上での迅速な観測体制がまだ整っていなかったために、すばやく追跡観測は不可能でした。しかし近年のガンマ線バースト専用衛星 *HETE-2* や *Swift* の活躍とそれに伴う地上観測網の拡大によって、ガンマ線バーストの研究はめざましく発展してきています。本稿では、東アジア地域の小型自動望遠鏡や中型望遠鏡でのガンマ線バースト追跡観測網の構築とそれを用いた観測結果を紹介します。

2. ガンマ線バーストの残光観測の意義

ガンマ線バーストには、残光と呼ばれる現象があります。ガンマ線バースト発生後にX線から

電波までのあらゆる波長で観測される現象のことを指します。残光は、1997年の2月28日に発生したGRB970228において、イタリア-オランダのX線天文衛星 *BeppoSAX* によって初めて発見されました¹⁾。この減光していくX線源の位置に可視光の望遠鏡を向けたところ、X線と同様に減光する未知の点源が発見されました²⁾。これら残光の大きな特徴は、その強度が時間のベキ乗（ベキは1前後）で急速に減少していくことです。時間のベキ乗で減光する現象は、さまざまな天体の中でも特異的な現象の一つです。

この多波長にわたる残光の発見は、ガンマ線バーストの研究に大きな進展を与えました。ガンマ線バーストの観測的な研究には、四つの大きな節目 [(1) ガンマ線バーストの発生位置が全天に等方的に分布していること (1990年代)³⁾, (2) 宇宙論的遠方の大爆発現象であること (1997年)⁴⁾, (3) ある種の継続時間の長いガンマ線バーストが大質量星の爆発と関連すること (2003年) (e.g. 文献 5, 6), (4) 継続時間の短いガンマ線バーストが継続時間が長いものと起原が異なる可能性が高いこと (2005年) (e.g. 文献 7)] のうちの三つは、

すべて残光の観測を足がかりにしたものです。

その中でも可視光で残光を観測することが重要な手がかりを得る手段の一つです。残光を可視光で観測することによって、発生位置を精度よく決めることが可能です。この位置情報をもとに、残光が十分に暗くなった数カ月後にハッブル宇宙望遠鏡や KECK などの 8 m 級の可視光望遠鏡で観測を行ったところ、発生源に付随する銀河（母銀河）が発見されました。また、精度良い位置情報をもとに可視光で残光や母銀河の分光観測を行うことで、ガンマ線バーストの発生源までの距離を測定することに成功し、宇宙論的遠方での現象であることが確立しました。発生源までの距離は、残光のスペクトルに見られる母銀河かその手前にある物質に起因する吸収線と母銀河からの輝線から測定されます。この二つの赤方偏移がほぼ一致することから、ガンマ線バーストまでの距離は、どちらかの分光観測が行われれば決定されることになっています。

さらに残光の詳細な分光観測をするとガンマ線バーストを起こしている中心天体に迫ることができました。2003年3月29日に発生したガンマ線バーストの残光の分光観測から得られたスペクトルは水素やヘリウムの外層を失った星が最後に起こす超新星爆発のものとよく一致していました。この結果、長い継続時間をもつガンマ線バーストの起源天体は、大質量の星の超新星爆発と関連した現象であることが明らかになりつつあります。これらの解説は、2004年3月の川端弘治氏の記事⁸⁾にあります。

3. 東アジア地域ガンマ線バースト観測網 EAFON

このようなガンマ線バーストの謎に迫る重要な

手がかりの一つである可視光残光をいち早くとらえて詳細に観測するために、2002年より東アジア・ガンマ線バースト追跡観測網 EAFON (East Asian GRB Follow-up Network) を組織して東アジア協力の利点を最大限に活用しています。

といっても、最初から東アジア地域の協力を念頭においてわれわれは追跡観測網を構築していたわけではありません。私は、大学院修士課程1年の冬(2001年)に東京大学・木曾観測所にすばやい追跡態勢の構築を提案し採択されました。この追跡体制によって、GRB020813⁹⁾では日本で初めての多色測光観測に成功しました。その2カ月後のGRB021004¹⁰⁾では、対物プリズムの広い視野を活かし、分光観測に必要な不可欠な正確な位置情報の速報より前から、初期残光のスペクトルの取得に世界で初めて成功しました。このような成果に目をつけた台湾のグループに要請されて、2002年に完成した台湾の鹿林山にある1m望遠鏡を利用した追跡体制の構築^{11), 12)}の協力が始まりました。

さらに、台湾で開催された EAYAM2003^{*1}をきっかけに2004年からは中国との連携が始まり、2006年からは韓国との協力もすすんでいます。現在では、東京大学木曾観測所、台湾国立中央大学鹿林観測所、中国科学院北京天文台、ソウル大学と協力して中口径の望遠鏡群での追跡観測と理化学研究所牧島宇宙放射線研究室と埼玉大学田代研究室などで開発したガンマ線バーストが発生する前から可視光で観測できる WIDGET (WIDe-field telescope for GRB Early Timing) でネットワークは構成されています(図1)。東アジア地域の天気は他の地域よりも不利ですが、この3地域の観測地に分散することで、天候の条件があまりよくない東アジア地域での可視光観測のリスクを

*1 近年、さまざまな分野で東アジア地域の国際協力が活発になってきています。天文学の分野でも中国・韓国・台湾・日本の四つの地域を中心に EACOA が設立されたり、若手主体の研究会 East Asian Young Astronomer Meeting (EAYAM2006: 2006年2月, 清里) が開催されるなど、有機的な連携・協力の幅が広がりつつあります。筆者も若手の一人として EAYAM2006 などの LOC としても盛り上げています。



図1 EAFONの観測サイトマップ。3地域の1-2m級の望遠鏡、ハワイにある4m級の望遠鏡とガンマ線バーストの発生前から観測を行える超広視野カメラで構成される。GCNのweb pageにある追跡観測サイトの分布図にEAFONの観測サイトを重ねた。

少なくできています。さらにEAFONは、アメリカやヨーロッパでは強力なグループがあるなかで、国際競争力を与えてくれています。最近では、ハワイにある欧米の望遠鏡もこの連携に加えて追跡観測を実施しています。この結果、HETE-2打ち上げ直後の2001年初頭には、東アジア地域におけるガンマ線バーストの追跡ネットワークはほぼ皆無でしたが、EAFONによってこの空白を埋めることに成功しました¹³⁾。

東アジア地域の文化や言語の類似性も緊密な連携体制を築けた一つの重要な要素ですが、ことガンマ線バーストの可視光での追跡には、必ずしも大きな望遠鏡が有利なわけではなく、小回りのきく小型望遠鏡でも大きな成果を得られるという点

もEAFONを組織した要因の一つです。例えば、 $z = 4.048$ という高赤方偏移で発生したGRB 060206では、鹿林観測所の0.4mと1mの望遠鏡を駆使することで、比較的明るい可視光の残光をとらえることに成功しています(図2)。さらに、突発天体であるガンマ線バーストの観測には、日本や東アジア地域の位置する経度が重要となります。特に、地球周回の衛星でガンマ線バーストをとらえようとする、SAA (South Atlantic Anomaly) 付近のアメリカ上空では、荷電粒子の影響下であり、本物のガンマ線バーストをとらえることが難しいことに比べると、日本・アジア上空では、良い条件のガンマ線バーストをとらえる確率が高いです。実際にHETE-2衛星の場合に

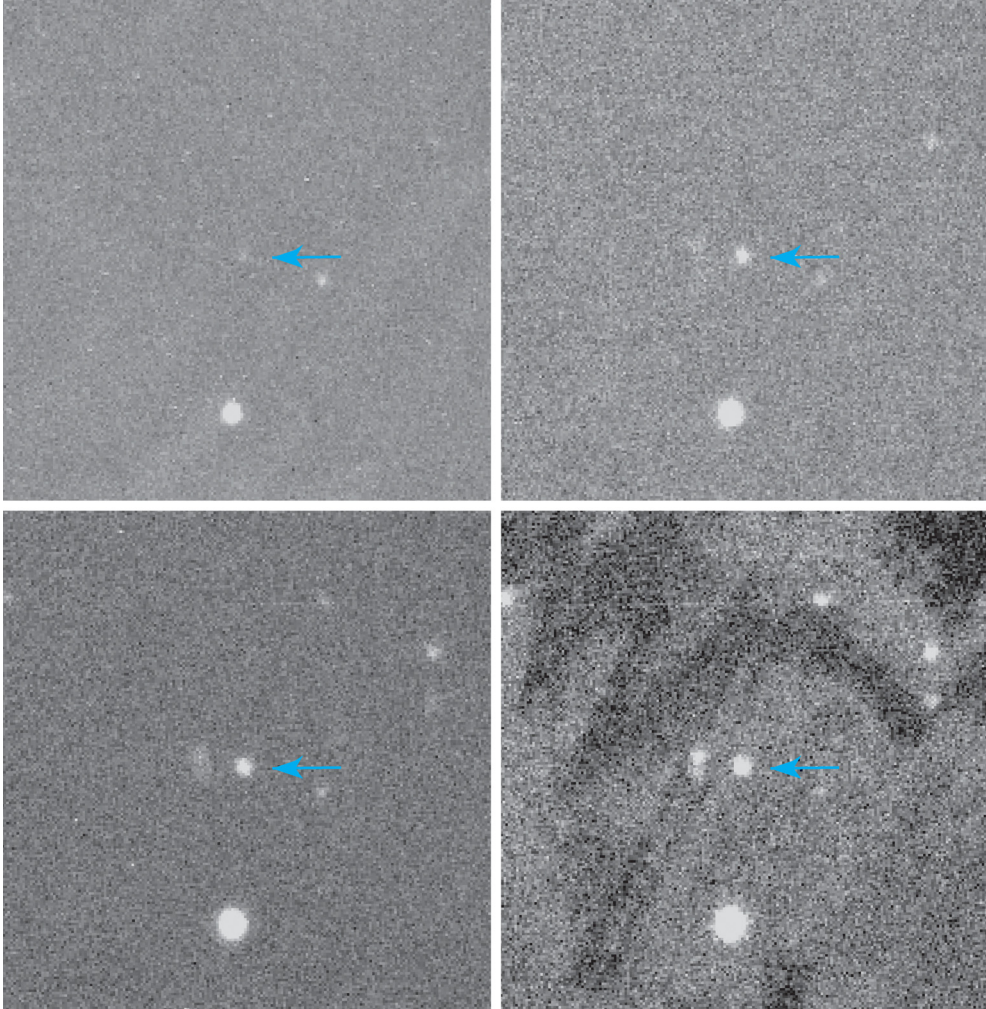


図2 台湾鹿林観測所の1 m 望遠鏡でとらえた $z=4.025$ の可視光残光 (左上: B, 右上: V, 左下: R, 右下: D).

は、GRB021004 や GRB030329 に代表される歴史に残るガンマ線バーストが日本上空でとらえられて、木曾観測所¹⁴⁾や日本の観測チームが追跡観測で大きな成果を上げています。

4. 迅速な追跡観測のために

この EAFON の連携を活かして、いつでもどこで起こるかわからないガンマ線バーストの迅速な追跡観測を実行するためには、さまざまな工夫をする必要があります。まず、全天で一様に発生するガンマ線バーストを望遠鏡が置かれている場所から

観測できるか？ できるとしたら、どの高度でどれくらいの期間観測を継続して行えるかをチェックする必要があります。複数の観測地がある場合は、どこが最も適しているか判断することも重要です。次に、地上からの観測の宿命である天候判断も迅速にする必要があります。天気が悪ければ、どんな条件の良いガンマ線バーストも全く観測をすることができません。さらに、どのような天域でガンマ線バーストが発生したかを確認する必要があります。時には、明るい星の近傍で発生し長い積分時間をかけられない観測になる場合



図3 新しいガンマ線バーストの発生速報を受けると自動的に観測/解析に必要な情報がチーム内閲覧専用のweb page に集約される。

や、衛星からの発生情報が本物のガンマ線バーストではなく、ほかの突発天体の場合もあります。これらのチェックをもとにすべての観測の方針が決まります。また、複数サイトと連携して観測する場合は、チーム内の迅速な意思疎通も不可欠な要素の一つですが、skypeなどのインターネット電話を活用することで解決しています。

このような一連の確認作業をガンマ線バーストが発生してからいちいち手で行っていると時間をどんどん失ってしまい重要な観測を逃すことになります。いつどこで起こるかかわからない現象ですから、時として外出しているときや起き抜けの眠い目をこすりながらの確認作業になる場合もあ

り、誤りも入る可能性が高くなります。まさにガンマ線バーストの追跡観測は、人間の生活にはとても厳しく、気力・体力・根気がいります。もちろん強運もいります！そこで少しでも、楽にかつ正確にすばやく確認作業を行えるようにしています。

迅速な観測の鍵になるガンマ線バースト発生のアラートは、NASAのGRB Coordinate Network (GCN)¹⁵⁾から無償で電子メールなどで受信することが可能です。しかし、単に受信しているだけでは膨大な量のアラートを受け取るのみで、逆に圧迫感を少なからず受けます。なので、われわれは、ひとたびガンマ線バーストが発生しGCNか

らアラートを受信すると、自動的に処理プログラムが走り、EAFONの専用 web page に各ガンマ線バーストごとにその追跡観測と解析に必要な情報やファイルが集約され表示されるようにしています(図3)。観測地ごとに天体の高度-時間(UT)のプロット、ガンマ線バーストが起きたフィールドのDSS画像に各衛星の誤差範囲と周辺の星の等級を表示したプロット、3種類の可視光・赤外線のカタログからリストアップした周辺の天体のリスト、各サイトの天候がわかる web page へのリンクがアラート受信後1分以内には作成されます。また迅速な解析(位置測定やおおざっぱな測光)のために必要となる一連の情報も解析ツールに適した形で自動的に生成されます。これらの確認作業を終えてから、初めて観測を実行することになります。望遠鏡や観測システムで多少異なりますが、大別した観測戦略を立てそれぞれにおいて観測スクリプトを用意しています。ちなみに、この web page は、台湾・アメリカで進められているリモート望遠鏡のプロジェクトにも提供をしています。

ガンマ線バーストの追跡観測において迅速な観測が最優先に重要なことですが、観測したデータをすばやく処理してさらに詳細な観測を行えるようにフィードバックしていくことも重要です。特にバースト発生源の位置は、ガンマ線やX線で求められる位置よりもはるかに良い精度で決定でき、可視光および近赤外線での分光観測を実行するのに必要不可欠な情報です。そこで、すばやくデータ処理ができる解析システムも構築しています。取得したデータの転送は、各観測サイトでまちまちですが、台湾の場合では取得後すぐにFTPサイトに置かれるようになっているので、ほぼリアルタイムでの解析が行え、観測にフィードバックすることを可能としています。また、取得の位置を自動的に既存のカタログとを比較して位置を校正し、カタログやDSS画像に記録されていない新しい天体探査を自動的に行えるようにして

います。また取得画像の位置を瞬時に秒角以下の精度で画像に記載するようにしているので、EAFON以外のさまざまな観測データとの比較も容易にしています。

これらの作業は、副産物をもたらすこともあります。実際に、われわれが観測したガンマ線バーストの画像から新しい小惑星を発見したこともあります。

5. 観測結果

これらの連携と工夫のおかげで、アラート受信から最速で10分後からの追跡観測を60例以上実行することに成功しています(e.g. 文献16)。なかには、これまで観測することが困難であった短い継続時間のガンマ線バーストの可視光残光を世界最速の0.1日後から10日間にわたる継続的なモニターに初めて成功しています。ここでおさらいですが、ガンマ線バーストは、継続時間とスペクトルの硬軟によって3種類に分類されます。継続時間によって、スペクトルが硬く2秒以下の短いものとスペクトルが軟らかく2秒以上の長いもの¹⁷⁾、スペクトルが非常に軟らかくX線領域で卓越して見えるX線フラッシュ(e.g. 文献18, 19)があります。ここでは長い継続時間のガンマ線バーストの残光に絞って紹介します。

5.1 半分のガンマ線バーストにしか見つからない可視光残光

EAFONによって、世界に先駆けて最も早い時期からの追跡を、30以上のガンマ線バーストに対して深くに実施してきました。しかしながら、これまでは発生直後から観測を始めると、すべてのガンマ線バーストで明るい残光がとらえられると考えられていましたが、EAFONをはじめとする観測によりガンマ線バーストの5-6割では、ガンマ線バーストが起こった1時間後の早期に見ても残光がこれまでの予想よりもずっと暗いことが明らかになりました。特に、2004年11月に打ち上げられたSwift衛星により、ガンマ線X線の位

置決定精度が向上し、より早期からの深い観測が可能となりましたが、それでもわれわれの EAFON の早期の観測などを含め可視光で見ると依然としてガンマ線バーストの半数近くは、可視光残光をとらえられないことがあります。驚くことに、*Swift* 衛星がもつ自前の X 線望遠鏡では、ほぼすべてのガンマ線バーストで X 線の残光が付随しているのです。

可視光の残光がとらえられない理由として、

1. 高赤方偏移しており、銀河間水素のライマン線吸収のため可視領域では見えない (e.g. 文献 20)
2. ガンマ線バーストの母銀河は星生成の活発なものが多く、母銀河自体で強く吸収を受けて暗くなっている (e.g. 文献 20-23)
3. ガンマ線バーストの可視光残光の放射が、もともと暗い (e.g. 文献 24, 25)

の三つの説が考えられています。それぞれがどのくらいの割合で存在しているのか、確定的な観測結果はまだ得られていません。

しかし、最近の $z=6.3$ の高赤方偏移のガンマ線バーストの発見^{26), 27)}や、理論的な研究を考慮すると遠いガンマ線バーストが数多く存在することが考えられています。実際に、Lamb らの研究からはガンマ線バースト本体のスペクトル、もしくは時間変動と固有光度の間の相関を用いて間接的に赤方偏移が求められており、これまで観測されたすべてのガンマ線バーストのうち、30% 以上が $z>6$ であり、 $z>10$ も数% 含まれているという驚くべき結果が得られています²⁰⁾。

これまでの EAFON の観測でも、 $z=4.025$ の高赤方偏移のガンマ線バーストの残光を観測することに成功しています (図 2)。しかも、台湾鹿林観測所の 40 cm の小型リモート望遠鏡でもとらえられるような十分な明るさのものでした。1 m 望遠鏡での多色観測からは、可視光の残光を暗くする理由の一つである $z=4.025$ に相当するライマン吸収もとらえています。上記のことを考慮する

と可視光の残光が暗いものは、赤方偏移が 5 を超えるようなもっと高赤方偏移のガンマ線バーストである可能性が非常に高いといえます。なので X 線で位置がよく決まった可視光で暗いガンマ線バーストに対し、すばるなどの大型望遠鏡で発生場所を系統的に観測してやると、かなりの割合で高赤方偏移の銀河が見つかることも予想されます。

5.2 複雑だが統一性のある光度曲線

HETE-2 衛星以前の典型的に 5-6 時間のタイムラグがあった *BeppoSAX* 衛星の位置速報をたよりに追跡観測していた時代には、残光は単純なベキ型減光している様子しかとらえられていませんでした。ところが *HETE-2* 衛星や *Swift* 衛星のほばリアルタイムの位置速報をもとにした迅速な追跡観測から、これまで想像もつかなかった単純なベキ型では表せないような複雑な構造の光度曲線が得られるようになりました。EAFON の観測では、GRB020813, GRB021004 や GRB041006 をはじめとする 10 例を超える早期追跡観測から、特徴的な光度曲線の折れ曲がりや増光を多色でとらえています^{9), 16), 28)}。図 4 は、EAFON やほかの観測サイトがとらえた、緩やかな減光の様子や急激に増光する残光の 5 例の様子を示しています。

残光は、標準的には中心の何らかのエンジンから放出物と星間物質が相対論的な衝撃波を起こし、その衝撃波面で加速された電子からのシンクロトロン放射と考えられています²⁹⁾。このシンクロトロン放射のスペクトルの特徴的なピークの波長は、時間とともに長波長側へ移動していきます。特徴的なピーク波長が観測している波長帯域を通過すると、その帯域の光度曲線は増光していたものが減光に変わり、極大が観測されることとなります。多色観測で見ているとこの極大の前後で残光の色が大きく変わることを意味しています。

実際に、EAFON の多色観測などでこれらの予言と類似する例が観測されつつあります。GRB 041006 の可視光の多色観測例では、0.1 日後回り

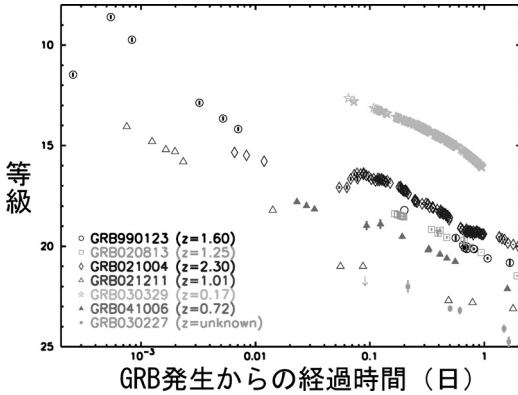


図4 EAFONなどの追跡観測でとらえた複雑な可視光残光の光度曲線の例。

に標準的な残光モデルで解釈できる増光現象が見えています。極大を迎える時間も短波長（Bバンド）から長波長側（Rバンド）の時間の遅れも予想とほぼ一致する時間帯にとらえられています。一方で、GRB021004のように色の変化を見せずに急激な増光を見せるようなものもあります。GRB021004では、波長に依存しないベキ2での増光があり、0.07日後に極大を迎え、その後、波長に依存した光度曲線の折れ曲がりを見発しています。ある理論モデル³⁰⁾と比べると増光のベキと定性的な振舞いがほぼ一致し、相対論的な速度をもった物質が減速され始めた時期のローレンツ因子が60と求まり、相対論的現象であることが確認できます。しかし、このような変化の多種多様さが、ガンマ線バーストを難しくしている理由の一つで、なかなか統一的な放射メカニズムでは説明がつけられません。

とはいえ、おおまかな振舞いに注目すると、どのガンマ線バーストの光度曲線もおおよそ0.1日後を境に変化する統一性を示します。共通する特徴は、急激に減光していたものが、比較的緩やかな減光へと変化していきます。これは、標準的なシンクロトロンショックモデルやそれを拡張した理論モデルや単純な一つだけの成分で説明がつけられません。例えば、先行する可視光の放射が

あって、0.1日後から残光が卓越して見えてくると考えられます。もしくは、星間物質の密度にむらがあることやエネルギーが継続して注入されているとも考えられます。

似たような振舞いは、最近のSwift衛星のX線の残光観測からもとらえられています。Swift衛星のガンマ線バースト発生から連続したX線の観測からは、やはり単一のベキ型では表せない複雑な減光を示していることがわかりました³¹⁾。これらも、単純な断熱膨張や放射冷却では説明できなく、実際に数時間に及ぶエネルギーの注入などが必要とされます。すなわち、ガンマ線バースト起源天体の動的な様子をじかに反映している可能性が極めて高いと言えます。

これらの振舞いをX線と可視光で同時に観測された例はまだ少ない現状にあります。EAFONでは5例のガンマ線バーストに対して同時観測を成功させています。減光のベキが異なることや光度曲線の折れ曲がりの時間が異なるなど徐々に鉱脈が見えてきます³⁸⁾。いずれにしろ、これらEAFONなどの可視光追跡観測やSwift衛星などのX線観測は、早期からの連続的な追跡観測が新たな知見をもたらすことを実証したと思います。

6. 今後の展開

これまでに新展開をもたらしてきているバースト発生早期からの連続観測がまだまだ必要ですが、それに加えて多波長の連携観測がよりいっそう重要な鍵となるといえるでしょう。

しかし、ガンマ線バースト発生と同時にガンマ線から可視光までの観測を行えた例はまだ1例もありません。このような現状を打破するために、ガンマ線バースト自体の可視光観測を行う超広視野カメラWIDGETを理化学研究所・牧島宇宙放射線研究室と埼玉大学・田代研究室を中心に開発を行っています(図5)^{32), 33)}。従来のロボット望遠鏡では、衛星からの発生速報を受信してから初め



図5 埼玉大学・田代研究室と理化学研究所・牧島宇宙放射線研究室が中心となって開発/運用している WIDGET. 左端に写っているのが筆者.

てガンマ線バーストが発生した方向の追跡観測を行うので、どうしてもバーストの発生前もしくはバースト発生中をガンマ線・X線と同時に観測を行うことができません。WIDGETは、*HETE-2*や*Swift*などのガンマ線バーストをとらえるための衛星とほぼ同じ視野を常に監視することで、ガンマ線バーストと同時にもしくは、それに先行する可視光閃光を観測できる画期的な観測システムなのです。2004年6月より東京大学宇宙線研究所の明野観測所（山梨県）に設置し本格的なモニター観測を連続して行っています。2005年11月には、観測装置のアップグレードを行い、監視視野をこれまでより1.5倍に広げ、現在までに95%の稼働実績を達成しています。この結果、ガンマ線バーストの発生する前からの観測をすでに7例も行うことに成功しています。“可視光閃光をとらえること”は、ガンマ線バーストの起源天体を突き止めるのに欠かせませんが、まだ世界中を見てもほかに数カ所で行われているにすぎません。そのうちでもわれわれのシステムは、視野の広さ・稼働率で他を圧倒しており、新たな分野を世界に先駆けて切り開きつつあります。

さらに、2005年7月に打ち上がった日本の5番

目のX線天文衛星「すざく」³⁴⁾に搭載された硬X線検出器³⁵⁾の広帯域全天モニター³⁶⁾がガンマ線バースト本体の広い範囲のスペクトル観測に非常に適しています³⁷⁾。「すざく」の広い帯域での分光能力とWIDGETを用いてのガンマ線バースト本体の多波長観測が期待されています。

謝 辞

筆者は、本件の最も核となる部分の構築に協力していただいた中田好一先生、宮田隆志さん、青木 勉さん、征矢野隆夫さん、樽澤賢一さん、西浦慎悟さん（現 東京学芸大）、三戸洋之さん、磯貝瑞希さんをはじめとする東京大学木曾観測所の所員のみなさま、ユーザーのみなさまに深く感謝いたします。また本研究に注目と理解をしていただき、東アジア観測網の発展に指導や協力をしていただいている国立中央大学の葉副学長、黄麗錦さん、国立中央大学天文学科のみなさま、中国科学院国家天文台の裘予雷老師、胡景耀老師、魏建彦所長、ご指導をいただいた牧島一夫先生、玉川 徹氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) Costa E. et al., 1997, *Nature* 387, 783
- 2) van Paradijs J., et al., 1997, *Nature* 386, 686
- 3) Paclesus W. S., et al., 1999, *ApJS* 122, 465
- 4) Bloom J. S., Djorgovski S. G., Kulkarni S. R., 2001, *ApJ* 554, 678
- 5) Stanek L. Z. et al., 2003, *ApJL* 591, 17
- 6) Hjorth J., et al., 2003, *Nature* 423, 847
- 7) Gehrels N., et al., 2005, *Nature* 437, 851
- 8) 川端弘治ほか, 2004, 天文月報第97巻3号 EUREKA
- 9) Urata Y., et al., 2003, *ApJ* 595, L21
- 10) Urata Y., et al., 2003, *FSS41* 2749
- 11) Huang K. Y., et al., 2005, *IL NUOVO CIMENTO* 28, 731
- 12) Huang K. Y., et al., 2005, *ApJL* 628, 93
- 13) Urata Y., et al., 2005, *IL NUOVO CIMENTO* 28, 775
- 14) Urata Y., et al., 2004, *ApJL* 601, 17
- 15) The Gamma ray bursts Coordinates Network; <http://gcn.gsfc.nasa.gov/>
- 16) Urata Y., et al., 2005, *IL NUOVO CIMENTO* 28, 779

- 17) Kouveliotou C. et al., 1993, ApJ 413, 101
- 18) 坂本貴紀, 2005, 天文月報 第98巻8号 SKYLIGHT
- 19) Sakamoto T., et al., 2005, ApJ 629, 311
- 20) Lamb D. Q., Reichart D. F., 2000, ApJ 536, 1
- 21) Reichart D. F., Price P., 2002, ApJ 565, 174
- 22) Piro L., et al., 2002, ApJ 577, 680
- 23) Labm D. Q., et al., 2003, astro-ph/0310414
- 24) Fynbo J. P. U., et al., 2001, A&A 369, 373
- 25) Berger E., et al., 2002, ApJ 581, 981
- 26) Haislip J. B., et al., 2006, Nature 440, 181
- 27) Kawai N., et al., 2006, Nature 440, 184
- 28) Urata Y., et al., 2006, ApJL, submitted
- 29) Sari R., Piran T., Narayan R., 1998, ApJ 497, L17
- 30) Sari R., Pira T., Halpern J. P., 1999, ApJ 519, L17
- 31) Nousek J. A., et al., 2006, ApJ 642, 389
- 32) Tamagawa T., et al., 2005, IL NUOVO CIMENTO 28, 771
- 33) Abe K., et al., 2006, PASJ, submitted
- 34) すざく衛星 <http://www.astro.isas.ac.jp/suzaku/>
- 35) Kokubun M., et al., 2002, IEEE TNS 49, 1893
- 36) Yamaoka K., et al., 2005, IEEE TNS 6, 2765
- 37) 天文月報 第99巻5号 ASTRONEWS
- 38) Huang K. Y., et al., 2006, ApJL, submitted

East Asian GRB Follow-up Network EAFON

Yuji URATA

*Department of Physics, Saitama University,
Shimo-Okubo 255, Sakura, Saitama 338-8570,
Japan*

Abstract: We have established a collaboration EAFON on GRB study in the East Asian region since 2002. This serves as valuable additions to the world-wide optical and infrared follow-up network because the area would be under developed in this field. The network consists of 5 telescopes and unique instrument WIDGET, and allows us quick follow-up observations. Utilizing this, we have made continuous multi-band monitoring of more than 20 GRBs from early timing. We present the EAFON activities and results of Long GRB afterglow follow-up observations.