

MAXI 突発天体発見システムにおける ガンマ線バースト発見の為の新たな閾値の調査

南波 拓也 (日本大学大学院 理工学研究科)

Abstract

本研究室では全天 X 線監視装置 (MAXI) の観測データを解析し、突発天体の発見、速報をするシステムの開発を行っている。速報システムは天体現象だと判断したイベントの情報をフラッシュレポートというウェブインタフェースへと送る。そして、MAXI チームがフラッシュレポートのイベントの情報を本物の天体現象であると判断した場合、MAXI のメーリングリストに登録している世界中の科学者へ速報を行う。また、速報システムがイベントをガンマ線バーストのように緊急度が非常に高いイベントと判定した場合、速報システムから直接メーリングリストに速報を行う機能がある。しかし、これまでに同システムで発見した約 30 個のガンマ線バーストのうち、速報システムが信頼度が高いイベントと判定し、直接速報を行ったのは 1 件だけであった。これは、システムの閾値が比較的明るいガンマ線にあわせて設定されていたためと考えられる。より暗いガンマ線バーストでも直接速報をするためには閾値を再設定する必要がある。そこで、ガンマ線バーストの特徴を捉えるための観測データを解析するプログラムを作成し、それを用いて速報システムが発見したガンマ線バーストが信頼度が高いと判定しなかった原因を調査した。現在は速報システムの判定の正答率 (速報したイベントが天体の現象であった比率) などを調査中である。

1 研究目的

突発天体発見システムは天体現象だと判断したイベントの情報をフラッシュレポートというウェブインタフェースへと送る。そして、MAXI チームがフラッシュレポートのイベントの情報を本物の天体現象であると判断した場合、MAXI のメーリングリストに登録している世界中の科学者へ速報を行う。また、速報システムがイベントをガンマ線バーストのように緊急度が非常に高いイベントと判定した場合、速報システムから直接メーリングリストに速報を行う機能がある。GRB は 1 ~ 100 秒間で終わってしまう現象なので MAXI で観測した後すぐに追観測する必要がある。そのため、GRB は速報システムにより確実に発見し、即座に世界へ速報することが重要である。しかし、これまでに同システムで発見した約 30 個のガンマ線バーストのうち、速報システムが信頼度が高いイベントと判定し、直接速報を行ったのは 1 件だけであった。そのため、システムの閾値を再設定する必要がでてきた。

本研究では速報システムが、ガンマ線バーストを確

実に世界へ直接速報できるような閾値の設定をすることが目的である。

2 導入

2.1 MAXI

MAXI (Monitor of All-sky X-ray Image) は、国際宇宙ステーション (ISS) にある日本実験棟「きぼう」に搭載されている、全天 X 線モニターである。ISS が地球を周回することで MAXI は全天をスキャン観測する。観測データは筑波宇宙センター内の JEM 運用管制システム (OCS) へと送られる。OCS へ送られたデータは筑波宇宙センター内の MAXI 運用室、理化学研究所、日本大学の順に送られ、その各機関で MAXI-DB と呼ばれるデータベースに保存される。

2.2 突発天体発見システム

突発天体の発見のために、我々の研究室で開発をしているシステムが突発天体発見システムである。本

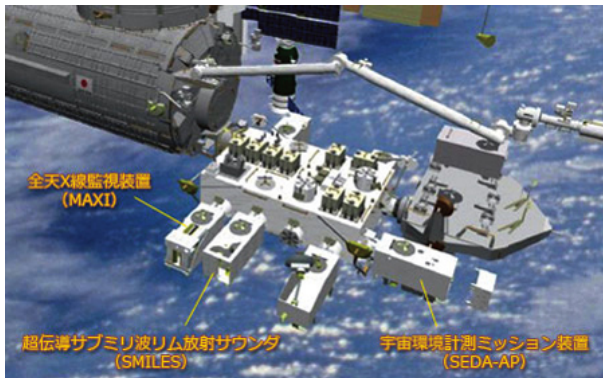


図 1: 「きぼう」日本実験棟及び MAXI [2]

システムは主にノバサーチとアラートシステムと呼ばれる 2 つのシステムで構成されており、筑波宇宙センター内で運用されている。ノバサーチは MAXI-DB に送られたデータを読み込み、リアルタイムで解析、描画を行う。解析の結果、設定した閾値を超えたデータをアラートシステムへ送信する。アラートシステムでは受信したデータを集約し、再解析を行う [1]。その結果、本物の天体現象だと判断されれば、フラッシュレポートにその天体の情報が表示される。そして MAXI チームがその情報から突発天体だと判断した場合、世界へ速報される。

3 アラートシステムの速報レベル

アラートシステムの速報は信頼度に応じてレベル分けがされ、速報のレベルは低いものから Info, Warning, Alert, Burst の 4 段階に分けられている。[1]

- Info
太陽イベントや太陽パドルイベントなどの非天体イベント。
- Warning
通常のイベント。
- Alert
Warning イベントの中でも一定の閾値の条件満たし、信頼性の高いイベント。
- Burst
GRB のような即座に報告すべきと判定した

イベント。

以下のような条件で判定される。

1. Alert レベルに属するイベント。
2. 既知天体から 1 度以上離れたイベント。
3. 複数の積分時間、エネルギーバンドで検出されたイベント。
4. ノバサーチからのデータ受信が 40 回以上のイベント。

Info, Warning, Alert についてはフラッシュレポートによって突発天体かどうか判断してから速報をするが、Burst はアラートシステムから MAXI 検出後、最短約 10 秒で直接全世界へ速報をする。よって、GRB は Burst と判別されることが重要になる。

4 ログデータの解析

4.1 ログデータ

GRB の特徴を捉える為には、ログデータを解析する必要がある。ログデータとは、アラートシステムがノバサーチから受信した観測データのことであり、観測した時間や X 線の飛来方向、積分時間、エネルギーバンド、過去の観測時刻や X 線カウント数などの情報が含まれる。

4.2 ログデータの解析プログラム

アラートシステムのプログラムの一部を使用、改変し、ログデータの解析プログラムを作成した。この解析プログラムでは指定した座標から 2.5 度以内のログデータを集計し、ノバサーチからのログデータ受信数を計算している。アラートシステムでは、ノバサーチからのデータ受信が 10 秒以上途切れた時に、イベントのスキャンが終わったと判断している。[1] よって、データ受信が 10 秒以上途切れるまでを 1 イベントとして受信数を足し上げている。

4.3 解析結果

各 GRB について解析プログラムを走らせ、1 イベントでのログデータの最大受信数を以下の表 1, 2 にまとめる。表に載せている GRB はアラートシステムが速報をしたが、Burst レベルにならなかったものである。

表 1: 各 GRB のデータの最大受信数とエネルギーバンド毎の受信数

GRB	受信数	エネルギーバンド ¹			
		all	high	med	low
120424A	71	41	0	30	0
120510A	232	126	10	96	0
120528B	90	46	3	41	0
120614A	173	83	7	61	22
120622A	15	9	0	6	0
120908A	23	19	0	4	0
121025A	45	24	0	21	0
121027A	23	19	0	4	0
121225A	15	8	0	7	0
130102B	155	79	15	61	0
130407A	47	28	0	19	0
130925A	85	55	0	30	0

表 2: 各 GRB のデータの最大受信数とタイムスケール毎の受信数

GRB	受信数	タイムスケール							
		1sec	3sec	10sec	30sec	1scan	4orbit	1day	4day
120424A	71	2	5	14	20	26	0	4	0
120510A	232	4	13	38	43	66	43	25	0
120528B	90	4	6	21	27	32	0	0	0
120614A	173	3	10	36	47	59	18	0	0
120622A	15	0	0	4	4	7	0	0	0
120908A	23	0	0	6	6	11	0	0	0
121025A	45	0	0	8	17	20	0	0	0
121027A	23	0	0	3	5	13	2	0	0
121225A	15	0	0	2	4	4	3	2	0
130102B	155	0	1	22	57	72	3	0	0
130407A	47	2	3	12	12	15	3	0	0
130925A	85	0	3	12	30	35	5	0	0

¹それぞれ low : 2 - 4 keV、med : 4 - 10 keV、high : 10 - 20 keV のエネルギー領域を表す。

5 フラッシュレポートの解析

5.1 フラッシュレポート

フラッシュレポートは速報イベントの解析結果を表示するウェブインタフェースである。アラートシステムが速報したイベントの情報を元に MAXI-DB からデータを取得し、イベント毎に詳細な情報をウェブページに表示する。フラッシュレポートでは、イベントのライトカーブやイメージ、エネルギースペクトルを見ることが、ボタン一つで MAXI のメーリングリストに登録している世界中の科学者へ e メールを流すことができる。アラートシステムから速報されるイベントには偽イベントも少なからず含まれるため、MAXI チームメンバーはフラッシュレポートの情報を元に突発天体かどうかの判断をし、世界へ速報を行っている。

5.2 フラッシュレポートの解析プログラム

Alert レベルで GRB であったイベントを Burst レベルにするためには、GRB と区別すべき Alert レベルであった天体も調査する必要がある。よって、フラッシュレポートから過去のイベント情報を取得するプログラムを作成した。

5.3 解析結果

表 3 は上記のプログラムを用いて、2013 年に Alert レベルで速報されたイベントで、フラッシュレポートにて天体のイベントとして処理されたリストである。ここでは、フラッシュレポートの処理は正しいとしてリストアップした。

表 3: 2013 年に Alert レベルで速報された天体

date	time	ra	dec	comment
2013-01-04	15:24:06	82.544	-66.334	LMC X-4
2013-01-19	23:23:49	170.21	-60.761	Cen X-3
2013-01-28	00:26:01	170.221	-60.581	Cen X-3
2013-01-28	01:58:03	169.912	-60.858	Cen X-3
2013-02-01	00:07:40	170.43	-60.744	Cen X-3
2013-02-03	13:53:20	170.509	-61.228	Cen X-3
2013-02-08	14:30:39	254.174	35.659	Her X-1
2013-02-14	18:53:39	276.57	-23.115	GS 1826-238 XRB
2013-02-26	22:46:55	185.962	-62.979	GX301-1
2013-03-01	08:55:03	307.972	37.598	EXO 2030+375
2013-03-02	03:27:50	307.989	37.603	EXO 2030+375
2013-04-22	02:01:57	250.223	-53.418	H 1636-536
2013-04-25	10:33:43	289.129	10.945	GRS 1915+105
2013-04-27	08:51:03	135.606	-40.713	Vela X-1
2013-05-01	13:08:18	170.301	-60.317	Cen X-3
2013-05-05	11:28:16	136.923	17.629	GRB 130505A
2013-05-12	12:43:20	277.418	-23.78	GS 1826-238 XRB
2013-05-22	11:52:54	186.365	-62.979	GX 301-2
2013-05-23	18:44:15	135.283	-40.862	Vela X-1 GX 354-0 (Slow Burster) or
2013-05-24	15:32:35	263.525	-34.246	H 1730-333 (Rapid Burster)
2013-05-28	07:39:46	254.512	35.092	Her X-1
2013-05-28	09:12:31	254.675	35.049	Her X-1
2013-06-11	22:43:53	135.479	-40.177	Vela X-1,GP Vel
2013-06-25	06:14:20	170.404	-60.763	Cen X-3
2013-06-30	14:34:07	277.566	-23.725	GS 1826-238
2013-07-06	12:51:25	186.174	-62.706	GX 301-2
2013-07-10	23:49:56	277.938	-23.432	GS 1826-238
2013-07-10	23:50:12	277.674	-23.501	GS 1826-238
2013-07-16	06:44:43	135.629	-40.558	Vela X-1
2013-07-17	04:21:55	249.978	-53.922	H 1636-536
2013-07-20	06:30:15	170.277	-60.288	Cen X-3
2013-07-28	10:20:51	168.847	-61.411	Cen X-3
2013-08-06	17:05:53	298.451	31.631	4U1954+319
2013-08-30	15:57:32	82.544	-66.334	LMC X-4
2013-08-31	14:08:21	135.706	-40.601	Vela X-1
2013-09-01	01:55:29	264.301	-30.148	SFXTH
2013-09-04	07:20:05	262.554	-35.194	GX 354-0
2013-09-06	05:26:08	264.472	-44.037	H 1735-444
2013-09-21	04:35:11	277.11	-24.018	GS 1826-238
2013-10-08	12:50:21	229.965	-57.13	Cir X-1,BR Cir
2013-10-10	10:33:55	297.482	30.061	KS 1947+300
2013-10-16	07:09:10	297.425	29.76	KS 1947+300
2013-10-18	08:42:45	296.851	30.00	KS 1947+300
2013-10-18	22:41:44	307.709	37.304	EXO 2030+375
2013-10-22	14:55:52	297.402	30.356	KS 1947+300
2013-10-25	03:20:33	297.232	30.377	KS 1947+300
2013-11-06	20:54:08	277.153	-23.33	MAXI J1828 and/or GS 1826-238
2013-11-07	06:20:53	170.931	-60.218	Cen X-3
2013-11-10	10:07:03	171.013	-60.875	Cen X-3
2013-11-13	05:55:30	254.286	35.515	Her X-1 An X-ray burst or
2013-11-14	12:51:58	230.018	-57.155	an outburst of Cir X-1
2013-11-16	08:10:41	229.861	-56.646	Cir X-1
2013-11-16	08:10:33	232.269	-56.013	Cir X-1
2013-12-10	13:05:19	279.865	5.036	Ser X-1
2013-12-12	10:10:12	308.091	40.144	Cyg X-3
2013-12-15	16:09:18	185.324	-63.101	GX 301-2

査していた。GRB を Burst レベルで速報するためには、表 3 で示したような GRB 以外の Alert レベルで速報されたイベントについても同様にログデータ受信数を調査し、GRB とどのような違いがあるかを調査する必要がある。そして、その違いを考慮した最適な閾値をアラートシステムに設定することで GRB を逃さずに速報することが目標である。

Reference

- [1] 諏訪文俊, 日本大学大学院 理工学研究科 物理学専攻 修士論文, 2011
- [2] JAXA きぼう, <http://www.isas.jaxa.jp/j/column/kibou/10.shtml>

6 課題

これまでは、GRB について、どのエネルギーバンド、タイムスケールでログデータを受信したかを調