

## Fermi Gamma-ray Space Telescope(旧名 GLAST)ガンマ線宇宙望遠鏡

広島大学宇宙科学センター  
 広島大学大学院理学研究科  
 SLAC  
 GLAST  
 2008年9月1日

大杉 節  
 深澤 泰司, 水野 恒史  
 釜江 常好, 田島 宏康  
 日本グループ

### ファースト・ライト「ガンマ線宇宙全天マップ」公表 およびフェルミガンマ線宇宙望遠鏡と命名

日米科学技術協力事業の課題の一つとして推進してきた, GLAST ガンマ線観測衛星が6月12日午前1時5分(日本時間)に, ケープカナベラル基地から打ち上げられました(図1, 2参照)。現在順調に予定軌道を周回しており, スケジュール通りの立ち上げ, 機能検査が終わり, 画期的な性能を発揮しています。NASA/DOE, 国際 GLAST 開発チームは, 8月27日(日本時間)に GLAST ガンマ線天文衛星を「Fermi Gamma-ray Space Telescope」と命名し, 「ガンマ線宇宙全天マップ」をファースト・ライト成果として発表しました。

この原稿を読んでいらっしゃる頃には, 初期成果の論文がいくつか投稿されているはずですが, ファースト・ライト「ガンマ線宇宙全天マップ」は95時間の全天サーベイ観測で撮ったもので, たくさんのガンマ線天体が写っており, 先代のガンマ線衛星, CGRO 衛星の EGRET ガンマ線望遠鏡が1年間かけて撮った全天マップに匹敵する感度です。また種々の面でそれを凌ぐデータになっています。



図1 ケープカナベラル基地から打ち上げられるフェルミガンマ線宇宙望遠鏡(旧名: GLAST)

このガンマ線望遠鏡は, 有名な理論家であるエンリコ・フェルミを記念して「Fermi Gamma-ray Space Telescope (フェルミガンマ線宇宙望遠鏡)」と名付けられました(ここではフェルミガンマ線望遠鏡と略します)。フェルミはご存知のように高エネルギー宇宙線加速に関しても非常に有名な「フェルミ加速理論」を提唱しており, 宇宙における高エネルギー粒子加速機構や, そこから来る高エネルギー宇宙ガンマ線を観測する宇宙望遠鏡に相応しい名前です。

### フェルミガンマ線宇宙望遠鏡の概要

このフェルミガンマ線望遠鏡には2種類の観測装置が搭載されています。一つは, われわれ日本のグループが開発に参加した Large Area Telescope (LAT) と呼ばれる主検出装置で, シリコン・マイクロストリップ検出器を用いた電子・陽電子対生成スペクトロメーターです。LAT のカバーするエネルギー範囲は20 MeV から300 GeV です。もう一つは GBM と呼ばれるガンマ線バースト検出器であり, 顕著なバーストを検出した場合にはそれをトリガーとして, LAT 望遠鏡を自動的にそちらに向け観測します。GBM は, 10 keV ~ 30 MeV の LAT より低いエネルギー帯域において LAT を補う観測をするための NaI と BGO シンチレーターからなるガンマ線バースト検出器です。

LAT 望遠鏡は, 日本, 米国, イタリア, フランス, スウェーデンの5カ国で国際共同開発しました。日本 GLAST 開発グループへの参加機関は, 広島大学, 東京工業大学, 東京大学, JAXA/ISAS, 理化学研究所などです。米国では, 初めて NASA と DOE が組んだ衛星開発プロジェクトであり DOE 側は SLAC が中心になっています。

このフェルミガンマ線望遠鏡は, CGRO 衛星の EGRET ガンマ線望遠鏡(スパークチャンバーを用いた検出器)が開拓した新しいエネルギー領域を大きく広げる目的で開発された宇宙ガンマ線観測望遠鏡です。観測エネルギー範囲は, 20 MeV ~ 300 GeV と高エネルギー側に伸び, シリコンストリップ検出器がガンマ線の到来方向精度を高め, その

後ろにあるホドスコープ化された CsI シンチレーション検出器がエネルギー測定精度を高めています。地上に設置されたチェレンコフ TeV ガンマ線望遠鏡と連携することで6桁にわたる波長領域を精度よく観測し、ガンマ線天文学に革命をもたらすものと期待されています。



図2 組み上がったフェルミガンマ線宇宙望遠鏡

上部の白いカバーの中に LAT が入っている。茶色に見える部分の中心部にある複数の白い塊が GBM 無機シンチレーター。

### 開発の歴史と日本の参加，貢献

この GLAST 改めフェルミガンマ線宇宙望遠鏡計画は、先代の CGRO 衛星が打ち上げられた直後から考えられていました。具体的には、1993 年に開催した、第一回の「International Symposium on Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors (1st STD Hiroshima), 1993.5 at Hiroshima」において W.B. Atwood(当時 SLAC, 現 UCSC) がシリコン・マイクロストリップ検出器を用いた基本的なアイデアを報告しています[1]。その時のタイトルは、Gamma-ray Large Area Silicon Telescope となっていました。このガンマ線望遠鏡開発計画が出発した時にはシリコン・マイクロストリップ検出器を主要エレメントとした現在の LAT を含め複数の装置が提案されていました。Gamma-ray Large Area Space Telescope(GLAST) プロジェクトとして装置が公募されたわけです。日本の参加は 1997 年頃からです。1996 年だったと思いますが、釜江

と大杉に参加の打診があり、1997 年から GLAST 開発ミーティングに参加しました。1998 年に日米科学技術協力事業に課題申請し、釜江が代表で準備研究に採択されました。釜江の SLAC 転出に伴い、2001 年から大杉が代表を引き継ぎ、本研究(課題：GLAST ガンマ線宇宙望遠鏡の開発)として採択され、日本が最も得意とするシリコン・マイクロストリップ検出器開発と製造・品質管理を担当しました。

20 MeV 以上のガンマ線検出には原理的に電子・陽電子対生成スペクトロメーターしか考えられませんので、どのエレメントがより高性能でより信頼性の高いスペクトロメーターを実現できるかがポイントでした。GLAST 衛星搭載の装置が公募された時には、シリコン・マイクロストリップ検出器を中心にした LAT とシンチレーション・ファイバー検出器を中心にした装置の競争となりました。NASA の立場からみると、衛星に搭載する観測装置は 100% 信頼度のある技術を用いて作る、枯れた技術を使うのが大原則でした。この大原則に照らし合わせると、どちらも実績に欠ける候補と映っていたようです。シリコン・マイクロストリップ検出器を用いる設計の場合、総計 70 平米の検出器を用いることとなりますが、当時の先進分野である素粒子実験でも数平米が最大実績でした。実績ができるまで待てないのでどのように信頼を獲得するかが開発段階のキーポイントでした。最終的には、当時のシリコン・マイクロストリップ検出器の信頼性を大幅に改良し(dead strip rate を 0.008% 以下、暗電流  $5\text{nA}/\text{cm}^2$  以下、軌道の放射線環境で 10 年以上の稼働)、競争に勝ち抜きました[2]。開発に対しても努力をしてくださった浜松ホトニクス株式会社と情熱を傾けて改良に取り組んでくださった技術者の皆様に感謝いたします。図 3 に衛星搭載シリコン・マイクロストリップ検出器の写真を示します。

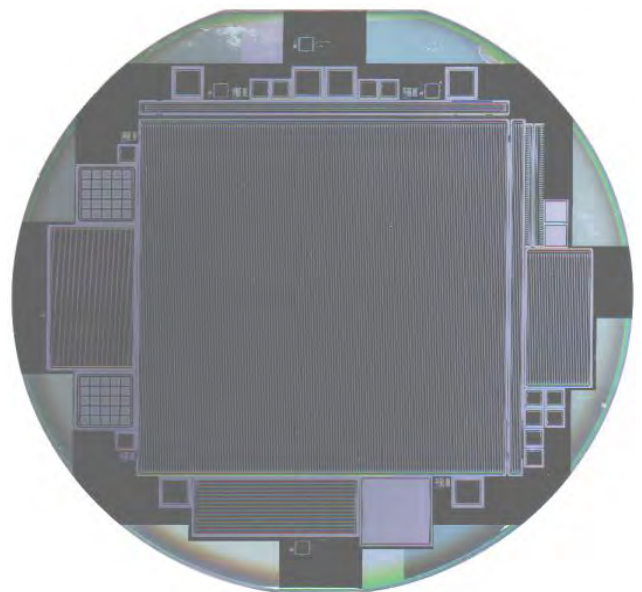


図3 シリコン・マイクロストリップ検出器フェルミガンマ線宇宙望遠鏡搭載モデル

中央の9cm×9cmの正方形の部分が発見ガンマ線宇宙望遠鏡に使用された部分です。NASAのGLAST(FERMI)計画のproject scientistであるSteve Ritzは、衛星打ち上げ後、LAT望遠鏡の電源投入からすぐにクリーンなデータ(図4参照)を出し始めたことをとても喜んで、彼のNASA blogの中で、この望遠鏡を実現可能にしたキー・テクノロジーの一つであったと評価してくれました[3]。

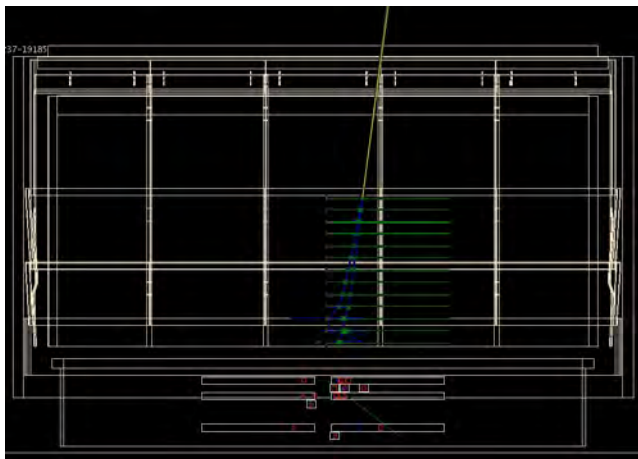


図4 LATが捕えたガンマ線の例

#### フェルミガンマ線宇宙望遠鏡の目指すサイエンス

地上では実験不可能な研究としてマクロな極限状態の物理があります。たとえば一般相対性理論が支配する世界であるブラックホールの物理、究極の高密度物質世界である

中性子星、クォーク星?などの世界では新しい物理法則の兆候が見えるかも知れません。以下に代表的な研究テーマを箇条書きして置きます[4]。

- 1) パルサーの粒子加速とガンマ線放射機構の解明
- 2) 巨大ブラックホールがエンジンとなっている活動銀河核のジェット状粒子加速現象の解明
- 3) ガンマ線バースト現象の観測と粒子加速メカニズムの解明
- 4) 暗黒物質粒子の探索と宇宙進化の関わりについての研究
- 5) 高エネルギー宇宙線加速機構の解明

#### ファーストライトガンマ線宇宙全天マップについて

6月中旬の打ち上げ成功から、約2ヶ月かけて、衛星の立ち上げと機能検査、望遠鏡の電源投入と較正が極めて順調に進み8月中旬から観測に入りました。図5に示す「ガンマ線宇宙全天マップ」は、標準観測モードである全天サーベイモードで観測した95時間積算データです。約1.5時間で地球を一周し、二周する間に全天をスキャンするように一周ごとに南あるいは北に首を振ります。天の川銀河面が明るく輝いています。画面の中心が銀河中心です。右手半ばに明るい輝く有名な「ほ座パルサー」が、右端には「ゲミンガパルサー」と「かにパルサー」がはっきり見えます。

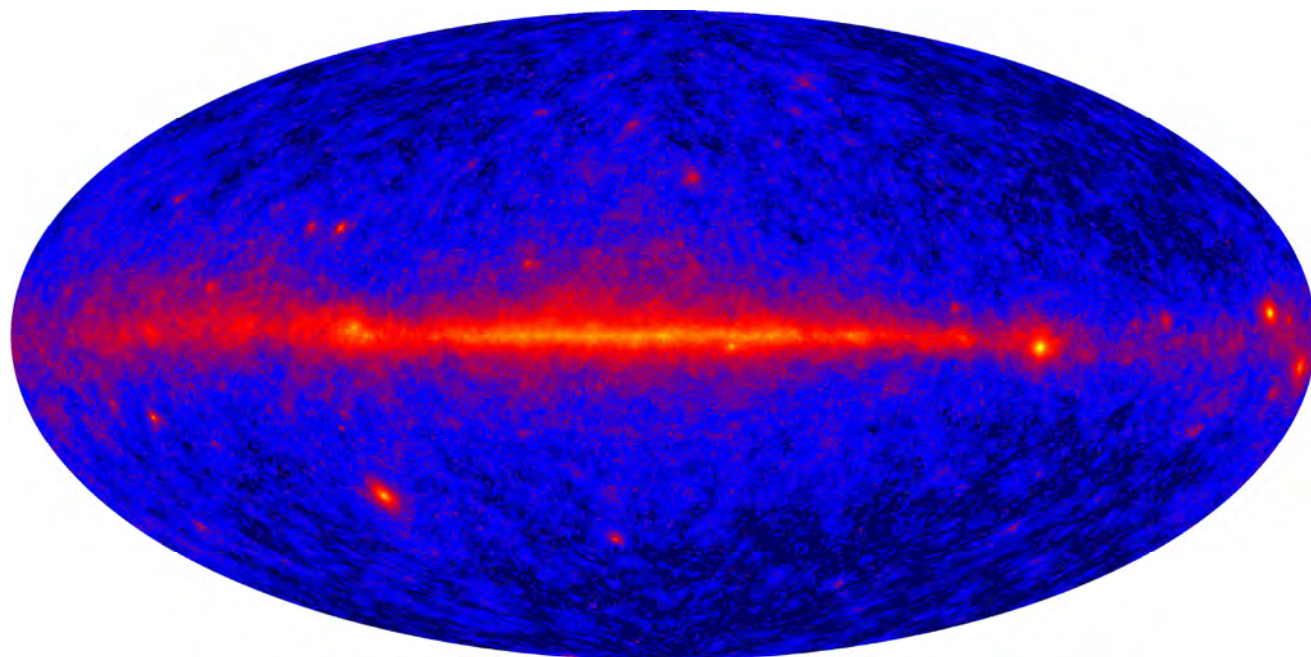


図5 全天サーベイモードで95時間観測したガンマ線全天マップ

中央の明るい帯が天の川銀河面。マップ中央が銀河中心で、右方向半ばに「ほ座パルサー」、右端に「ゲミンガパルサー」および「かにパルサー」がみえる。銀河面から離れて輝く天体は、大部分が中心に巨大ブラックホールを持つ活動銀河核。

銀河面から離れて輝く天体は大部分が中心に巨大ブラックホールを持つ活動銀河核やクエーサーとされます。これらがガンマ線で明るく輝くのは、そこで高エネルギー宇宙線が生まれ、それらが、星が出す光やマイクロ波背景放射、ガス中の電子や原子核に衝突しているためとされています。その加速メカニズムはよく解っておらず、このフェルミ衛星の重要な研究課題の一つです。わずか 95 時間(4 日間)でこのように鮮明な画像が撮れましたが、これは先代のガンマ線天文衛星 CGRO 衛星に搭載された EGRET 望遠鏡の 1 年分の観測に相当する検出感度です。

### 今後の計画

衛星の運用は NASA が責任を持ち、ガンマ線望遠鏡 LAT の運用は SLAC を中心とした国際 LAT チームが責任を持ちます。LAT 装置のモニター、データ処理の監視、および突発的な活動であるフレア現象などを監視し、発見した場合は世界の宇宙・天文観測網に「注意報」を流します。シリコン検出器の性能監視・校正は日本チームが中心に行っています。その他にガンマ線バーストに対しては特別な監視グループが立ち上がっています。初年度に得られる LAT 観測データは、原則として LAT 開発グループが解析し、2009 年秋には 1 年目の取得データが公開されます。また 2 年目以降のデータはすべて即座に公開されます。

### 最後に

LAT ガンマ線望遠鏡開発では、日本の技術的貢献は非常に重要であったと評価されています。しかし科学的成果が最終的な評価を決めるでしょう。日本 GLAST チームは、2009 年秋のデータ公開時には多くの方にデータを利用していただけるように準備しています。

開発研究段階から継続的な支援をいただいた日米科学技術協力事業に感謝いたします。この支援なくしてはこのプロジェクト研究は遂行できませんでした。文部科学省科学研究費補助金(特定領域「ブラックホール天文学の新展開、計画研究：高感度 GeV $\gamma$  線観測で探る巨大ブラックホールの進化とジェットの放出機構」研究代表者 深沢泰司(広島大学教授))にも大きな支援を受けました。そのほか理化学研究所、広島大学、JAXA/ISAS、東京大学などの支援を受けましたことを感謝いたします。

### 参考文献

- [1] Gamma-ray Large Area Silicon Telescope, W. B. Atwood, Nuclear Instruments and Methods A342 (1994) 302-307.
  - [2] Design and properties of the GLAST flight silicon micro-strip sensors, T. Ohsugi *et al.*, Nuclear Instruments and Methods A541 (2005) 29-39.
  - [3] <http://blogs.nasa.gov/cm/blog/GLAST>
  - [4] The first GLAST Symposium Proceedings, edited by Steven Ritz, Peter Michelson and Charles A. Meegan, AIP Conference Proceedings, Vol. 921, August 2007, Window on the Extreme Universe, W.B. Atwood, Peter Michelson and Steven Ritz, Scientific American, December 2007,
- 「極限宇宙を覗くガンマ線宇宙望遠鏡 GLAST」,日経サイエンス 2008 年 3 月号