

太陽系外現象と惑星間空間現象の観測

ガンマ線バーストは宇宙最大の天体爆発現象である。*Geotail* 衛星搭載プラズマ粒子検出器 *LEP* をガンマ線検出器として「転用」し、巨大フレアに対して専用検出器が飽和を起こす中、光度曲線を得ることが出来た。

惑星間空間の観測では衝撃波が興味深い。粒子同士の衝突のない宇宙プラズマ中の衝撃波での運動エネルギーの散逸に伴い、その一部が非熱的電子の加速へと流用される様相に迫りつつある。

LEP によるガンマ線バーストの観測

“飽和することなく巨大フレアの光度曲線を獲得することができるか？”

Soft Gamma-ray Repeater (以下 SGR) と呼ばれる特異な中性子星が、銀河中心や大マゼラン星雲に存在することが知られている。SGR の特筆すべき性質のひとつは、ごく稀に巨大フレアを起こし、1 秒足らずの間に 10^{46} 乗エルグにも達する莫大なエネルギーを放射することである。巨大フレアのエネルギー解放メカニズムを探る上で、光度曲線の観測は不可欠であるが、過去に観測された 3 例いずれにおいても、X 線/ガンマ線天文衛星搭載の検出器は、飽和の影響を大きく受け、信頼できる光度曲線の観測がなされなかった。我々は、モンテカルロシミュレーションや室内実験など様々な方法を駆使し、*Geotail* 衛星搭載の低エネルギー粒子計測器 (LEP) を、ガンマ線モニター

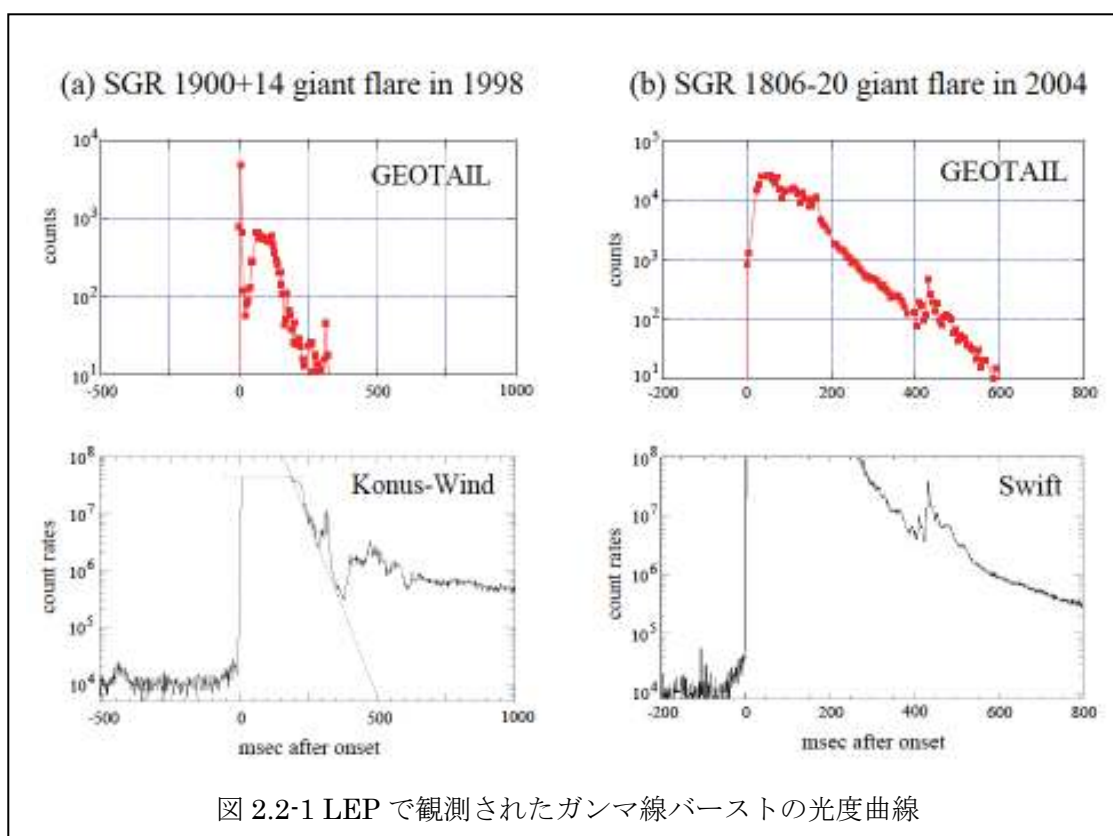


図 2.2-1 LEP で観測されたガンマ線バーストの光度曲線

として較正した (Tanaka et al., 2007a)。LEP が観測した SGR 巨大フレアの光度曲線を図 2.2-1 に示す: (a) 1998 年に発生した SGR1900+14 からの巨大フレア (Tanaka et al., 2007b)、(b) 2004 年に発生した SGR1806-20 からの巨大フレア (Terasawa et al., 2005)。各々の下に、ガンマ線観測衛星 ((a) Konus-Wind、(b) Swift) 搭載の検出器によって観測された光度曲線を示す。LEP が、飽和の影響を受けることなく、ピークプロファイルを捉えていることがわかる。我々は、これらの光度曲線から見積もられた e-folding rise time を、既存の理論モデルを用いて解釈し、巨大フレアのエネルギー解放が大規模な星震によって引き起こされたことを見出した。

惑星空間衝撃波の観測

“衝撃波が太陽系空間を伝播する間、高エネルギー電子は如何に加速されるか?”

広く宇宙にみられる非熱的粒子の起源を説明する機構として最も注目されているものの一つに、プラズマ衝撃波による統計的加速がある。1978 年以降、衝撃波上下流での (主に弾性的) 粒子散乱を考え、多重散乱を起こす際に上下流のバルクフロー圧縮によって粒子を加速する「衝撃波フェルミ加速」が広く天体衝撃波加速の標準理論となってきた。しかし、電子の惑星間空間衝撃波フェルミ加速を示唆する観測結果はなかった。1994 年 2 月、Geotail 衛星が初めて電子について衝撃波フェルミ加速から予想されるプロファイルをクリアに観測した。宇宙プラズマ衝撃波においては、粒子同士の衝突は無視できるほど小さく (無衝突衝撃波) 実質的な粒子散乱やエネルギー散逸を担っているのは、粒子-波動場 (電磁場) 相互作用であり、フェルミ加速が「どのように」実現されているのかを理解するには、本来「その場」プラズマ粒子波動計測が欠かせない。Geotail 衛星によって衝撃波近傍波動の詳細、電子のピッチ角分布や波動と空間分布の同時観測といったプラズマ粒子の運動そのものについて物理的考察を促進する極めて貴重なデータが得られた。その結果、10keV 以上の電子については低周波波動との共鳴による散乱があり、フェルミ加速の描像で問題なさそうであることが明らかになった (Shimada et al., 1998)。その一方、熱的電子 (1keV 以下) を 10keV まで加速する機構は謎のまま残され、現在、数値シミュレーション研究において精力的に追求されている。

バウショックでの電子加速

“非熱的電子生成にとって都合のよいショック・パラメータは何か?”

一般に、衝撃波における電子加速過程の解明にはミクロスケールの観測を必要とする。Geotail に搭載されている波形捕捉受信機 (PWI/WFC) は数ミリ秒に迫る高い時間分解能を持つため、電子スケールの電場構造を検出できる。これまで、静電孤立波が衝撃波遷移層やフォアショック領域で観測されており、これらの構造が電子加速過程において何らかの役割を担っていることが期待されていた。(Matsumoto et al., 1997, Shin et

al., 2007) しかし、これらの時間スケールでどのように電子の分布形状が変化しているかが分からず、加速過程との直接の関連も分からなかった。そこで、頻繁な観測のある地球バウショックにおいて電子の分布関数を統計的に処理する試みが行われた。イベント数が多いため、惑星間空間観測では分からないパラメータ依存性や波動観測では分からないエネルギースペクトルの平均的描像などが調べられるからである。解析の結果、エネルギースペクトルのべき指数がホイッスラー臨界マッハ数で整理できることが分かった (図 2.2-2)。詳しい加速過程については亜臨界の場合と超臨界の場合とでそれぞれ調べられ、DSA やサーフィン加速、ドリフト加速などについて議論されている。ただし、衝撃波遷移層における時間変化「リフォーメーション」が影響している可能性も新たに浮上し、加速機構の解明は未だ決着を見ていない (Oka et al., 2006)。

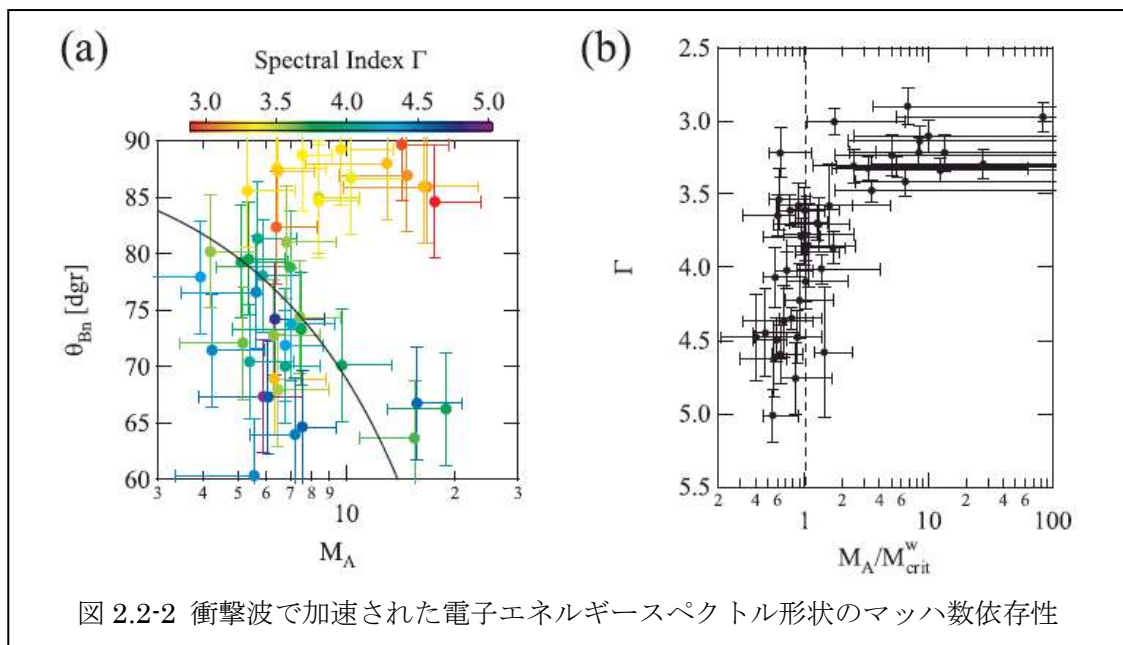


図 2.2-2 衝撃波で加速された電子エネルギースペクトル形状のマッハ数依存性

[参考文献]

- [97-27] Matsumoto et al. (1997), Geophys. Res. Lett.
- [06-27] Oka et al. (2006), Geophys. Res. Lett.
- [98-70] Shimada et al. (1998), Astrophys. Space Sci.
- [05-77] Shin et al. (2005), COSPAR Colloq. Ser.
- [07-11] Tanaka et al. (2007a), Rev. Sci. Instrum.
- [07-12] Tanaka et al. (2007b), Astrophys. J. Lett.
- [05-97] Terasawa et al. (2005), Nature