

高エネルギー電子、ガンマ線¹

東京大学宇宙線研究所 森 正樹

国内には宇宙線電子観測の長い伝統があり、ECC、BETS や最近の南極周回気球実験 (PPB-BETS) による 10 GeV から TeV 領域の観測で世界をリードしてきている。さらに、国際宇宙ステーションでは CALET による 10 TeV までの観測が計画されている。これらについては鳥居氏の発表を参照されたい。この稿では、飛翔体を用いた宇宙電子・ガンマ線の観測について最近の国外の状況を紹介します。

1. 高エネルギー電子

宇宙線の起源・加速に関する研究には、銀河磁場によって曲げられるため、到来方向からソースを同定できないという困難がある。高エネルギー電子の場合は特に、エネルギー損失と発生してから地球に到達するまでの伝播を考慮に入れなければならないが[1]、以下のような特徴を利用して、方向性を用いるガンマ線観測とは異なる方法でソースの同定が可能である。

- 1) 高エネルギー電子は、シンクロトロン放射と逆コンプトン散乱によりエネルギーを失うので、エネルギー損失の割合がエネルギーの 2 乗に比例する。その結果、高エネルギー電子ほど寿命が短く、拡散過程で伝わる距離が短くなる。その結果、TeV 領域ではソース候補が限られ、エネルギースペクトルに特徴的な構造が現れ、その形状によりソースの同定が可能になる。
- 2) 遠方のソースによる寄与は、各ソースの和として観測される。このため、個々のソースの情報を得ることはできないが、加速に関する平均的情報がえられる。特に、近傍ソースの寄与がない場合には、エネルギースペクトルにカットオフがあらわれるので、距離や加速エネルギー上限に対する制限がつけられる。
- 3) 地上で加速器ビームによる較正を行えるため、信頼度の高い測定器の製作が可能である。
- 4) 欠点としては、高エネルギー側でエネルギースペクトルが急になるため、陽子などのバックグラウンドが増大するほか、フラックスそのものが減少することにより統計が集まりにくいことが挙げられる。このため、1 TeV を超えるところまでの観測を十分な精度で行うには、ASPEN のワークショップ”Below the Knee”(2005) [2]でも報告されているように、 $1.5 \text{ m}^2 \text{ sr yr}$ 以上の観測量が必要となる。

ATIC [3] Louisiana State U.などのグループがSilicon電荷検出器・プラスチックシンチレータ飛跡検出器・BGOカロリメータを組み合わせた $0.24 \text{ m}^2 \text{ sr}$ の装置を用い、南極周回気

¹ CRC宇宙線将来計画シンポジウム (2005年12月5-6日、宇宙線研究所) における講演

球で軽元素を主目的として観測している。2000年と2001年の観測から1 TeVまでの電子のスペクトルが得られ、600-800 GeV付近のfeatureが示唆されている。

PAMELA [4] Roma U.などのグループによりTRD・0.48 T永久磁石・飛跡検出器・解像型カロリメータを組み合わせた $20.5 \text{ cm}^2 \text{ sr}$ の装置が、ロシアResurs-DK1 ロケットで2005年12月に打ち上げられるとされていた。(その後2006年6月とされている。)3年間のフライトにより2 TeVまでの電子のスペクトルを精度よく測るとしている。

AMS-2 [5] S.Tingなどのグループは、0.865 T超伝導磁石を擁するSilicon飛跡検出器と、TRD・RICH・カロリメータを組み合わせた $0.5 \text{ m}^2 \text{ sr}$ の大型の装置を国際宇宙ステーション (ISS) に設置し、3年間以上運用しようとして準備を進めてきたが、米国のスペースシャトル計画の変更による打ち上げ回数削減に伴い、打ち上げの見通しは立っていない。

CREST [6] Michigan U.などのグループは、Stephensらが20年以上前に提案した、高エネルギー電子が地球磁場中で発する複数のシンクロトロン X 線を同時に検出して電子を測定する方法を実現する装置により、気球で試験観測を行っている。

2. 高エネルギーガンマ線

(TeV 領域は別に議論されるため、ここでは話を GeV 領域に限る。)ガンマ線の到達距離は宇宙論的に大きく、寿命は無限大で、電荷を持たないため磁場を感じず直進する。このエネルギー領域では標的+飛跡検出器と、電子陽電子対のエネルギーを測るカロリメータからなる Pair Compton Telescope が1960年代より用いられてきた。この場合、ガンマ線の到来方向は、電子・陽電子の運動量ベクトルの和の方向として定まるが、その決定精度は1) 対生成の粒子放出角度の不定性、2) 飛跡の決定精度及び、3) 飛跡検出器中のクーロン多重散乱によって制限される [7]。エネルギー分解能はカロリメータでほぼ決まる。1991年から2000年まで Compton ガンマ線天文台衛星の EGRET 検出器により271個のガンマ線天体が報告され[8]、このエネルギー領域の研究が一気に進んだ。

AGILE [9] イタリア独自の小型天文衛星ミッションとして企画され、Silicon 飛跡検出器を用いてコンパクトながらも EGRET を超える性能が期待されている。打ち上げは当初より遅れ、2006年1月とされていた。

GLAST [10] Stanford U.などにより開発されたSilicon飛跡検出器を用いたNASAの大型ガンマ線ミッションで、 $140^\circ \times 140^\circ$ の広い視野と 2 m^2 の面積を持ち、全天走査型の観測を行って数千個のガンマ線源をとらえようという計画である。打ち上げは2007年8月とされている。

参考文献

[1] For an example: Reinhard Schlickeiser, "Cosmic Ray Astrophysics", Springer (2002)

- [2] <http://www.cosmic-ray.org/conf/index.html>
- [3] <http://atic.phys.lsu.edu/aticweb/>
- [4] <http://wizard.roma2.infn.it/pamela/>
- [5] <http://hpl3tri1.cern.ch/>
- [6] <http://pandora.physics.lsa.umich.edu/crest/>
- [7] Carl E. Fichtel and Jacob I.Trombka, "Gamma-Ray Astrophysics", NASA Reference Publication 1386 (1987)
- [8] R.C. Hartman et al., *Astrophys. J. Suppl.* 123, 79 (1999)
- [9] <http://agile.mi.iasf.cnr.it/Homepage/index.shtml>
- [10] <http://glast.gsfc.nasa.gov/>