

高エネルギー天体ガンマ線観測の物理*

東京大学宇宙線研究所 森 正樹

TeV 領域の天体ガンマ線の検出が確実に became のは 1989 年のことであり、まだ歴史は浅いといえるが、2003 年には天体数は 20 程度まで増加した。かに星雲をはじめとした超新星残骸などの銀河系内天体、活動銀河核などの銀河系外天体が複数見ついているのに加え、最近新しいタイプの天体も見つかると、高エネルギー天体現象の範囲は広がりを見せ始めている。

TeV 領域天体ガンマ線の観測は、解像型チェレンコフ望遠鏡によるイメージング法の確立によってブレークスルーを迎えたと言える。Weekes と Turver は 1977 年、チェレンコフ光を 2 次元で観測することの利点を指摘しているが、これは主に角度分解能の向上についてであった[1]。翌年にはガンマ線と陽子のイメージによる識別可能性を指摘し[2]、これを受けて Weekes らは Whipple 10m 望遠鏡に最初のイメージングカメラ(37ch)を設置して 1982 年から観測を始めた。Hillas は 1985 年、モンテカルロ計算に基づき像のモーメントとして「イメージパラメータ」を定義し、イメージによる識別の定量的方法を提案した[3]。解像型チェレンコフ望遠鏡の解析には、このイメージング法が改良されながら用いられている。

Weekes et al. は 1989 年、このイメージパラメータ分布を用いて 9 の有意性でかに星雲の検出を報告した[4]。これが最初の確実な TeV ガンマ線源の検出といえるものである。その後 Whipple のイメージングカメラは 109ch (1988 年)、337ch (1996 年) と進化し、1999 年からは 490ch で観測が続けられている。

南半球では、日豪共同の CANGAROO グループが東京天文台(当時)堂平観測所で役目を終えた月測距儀 3.8m を改造し、224ch の高解像度イメージングカメラを主焦点に置いて南オーストラリア州ウーメラで 1992 年から観測を開始した。Compton ガンマ線天文台衛星の EGRET 検出器で検出された GeV ガンマ線天体などをターゲットとして観測を進め、南天最初の TeV ガンマ線天体としてパルサー PSR 1706-44 を検出した[5]。1999 年には新規に建設した 7m 望遠鏡(翌年 10m に拡張)が稼働を始め、いくつかの新 TeV 天体が発見されている[6]。

チェレンコフ光は、直径~300m、厚さ~1m の「円盤」として地上に到達する。この円盤を 100m 程度離れた 2ヶ所で同時に検出することにより、「三角測量」としてシャワーまでの距離の情報を得て、シャワーの到来方向をより正確に求めようというのがステレオ観測法である。角度分解能の向上のみならず、シャワーから検出器までの距離がわかることにより、シャワーの発達高度のばらつきが補正されて、エネルギー分解能も向上する。ドイツなどの HEGRA グループはカナリア諸島ラパルマに 3m 口径のチェレンコフ望遠鏡 5 台を設置し、イメージングカメラを装備して解像型チェレンコフ望遠鏡によるステレオ観測を開始した。このような観測により、かに星雲の TeV ガンマ線放射領域は 1.5' 以下であることが示され、ステレオ観測により角度分解能を向上できることが示された[7]。

現在の各種天体の観測状況については報告が多数ある[8, 9, 10]のでここでは詳説せず(Presentation をご覧いただきたい)、表 1 に Trevor Weekes がまとめた TeV ガンマ線カタログのみを示す[9]。これは 2003 年宇宙線国際会議で彼が示したもので、この会議で検出が報告された天体を含まない。「Grade」というのは彼の与えた評価で、A は複数のグループが高い有意度で検出した天体、B は高い有意度で検出されているが一つのグループのみによるもの、C はまだ有意度が十分高いといえないものである。

我々は日豪共同の CANGAROO-III プロジェクトとして、10m 口径望遠鏡 4 台によるステレオ観測装置の建設を進めてきており、今年度中には 4 台目の調整も終了して完成させる予定である[11]。同じ南半球では、ドイツなどの H.E.S.S. グループがアフリカ・ナミビアに 12m 口径望遠鏡 4 台の装置を完成した[12]。北半球では別のドイツなどの MAGIC グループがカナリア諸島ラパルマに 17m 望遠鏡の

表 1. TeV ガンマ線天体カタログ

Catalog Name	Source	Type	Date/Group	EGRET	Grade
TeV 0047-2518	NGC 253	Starburst	2003/CANG.	no	B
TeV 0219+4248	3C66A	Blazar	1998/Crimea	yes	C-
TeV 0535+2200	Crab Nebula	SNR	1989/Whipple	yes	A
TeV 0834-4500	Vela	SNR	1997/CANG.	yes	C
TeV 1121-6037	Cen X-3	Binary	1999/Durham	yes	C
TeV 1104+3813	Mrk 421	Blazar	1992/Whipple	yes	A
TeV 1231+1224	M87	Radio Gal.	2003/HEGRA	no	C
TeV 1429+4240	H1426+428	Blazar	2002/Whipple	no	A
TeV 1503-4157	SN1006	SNR	1997/CANG.	no	B
TeV 1654+3946	Mrk 501	Blazar	1995/Whipple	no	A
TeV 1710-2229	PSR 1706-44	SNR	1995/CANG.	no	A
TeV 1712-3932	RXJ1713-39	SNR	1999/CANG.	no	B+
TeV 2000+6509	1ES1959+650	Blazar	1999/TA	no	A
TeV 2032+4131	CygOB2?	OB Assoc.	2002/HEGRA	yes?	C
TeV 2159-3014	PKS2155-304	Blazar	1999/Durham	yes	A
TeV 2203+4217	BL Lacertae	Blazar	2001/Crimea	yes	C
TeV 2323+5849	Cas A	SNR	1999/HEGRA	no	B
TeV 2347+5142	1ES2344+514	Blazar	1997/Whipple	no	C

設置を完了した[13]。Whippleグループは7台の12m望遠鏡7台によるVERITASを計画していたが、まず4台分の予算が認められ、最初の1台となるプロトタイプが完成するところである[14]。これらの望遠鏡による観測結果が出てくるここ数年は、TeVガンマ線天文学にとって新たな時代の始まりとなることであろう。

参考文献

- [1] T.C. Weekes and K.E. Turver, *Proc. of the 12th Eslab Symp.* (Frascati, 1977) ESA SP-124, p.279
- [2] T.C. Weekes and K.E. Turver, *Nuovo Cim.* **45B**, 99 (1978)
- [3] A.M. Hillas, *Proc.19th ICRC*, Vol.3, p.445 (1983)
- [4] T.C. Weekes et al., *Astrophys. J.* **342**, 379 (1989)
- [5] T. Kifune et al., *Astrophys. J.* **438**, L91 (1995)
- [6] M. Mori, *Prog. Theor. Phys. Suppl.*, 151, pp.85-94 (2003)
- [7] F.A. Aharonian et al. *A&Ap* **361** (2000) 1073
- [8] T.C. Weekes, "Very High Energy Gamma-ray Astronomy" (Inst. of Physics Publishing, 2003)
- [9] T.C. Weekes, T. Kifune and H.Voelk, Highlight talk at 28th ICRC (2003), to be published
- [10] M. Mori, Rapporteur talk at 28th ICRC (2003), to be published
- [11] <http://icrhp9.icrr.u-tokyo.ac.jp/c-experiments.html>
- [12] <http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/HESS.html>
- [13] <http://hegra1.mppmu.mpg.de/MAGICWeb/>
- [14] <http://veritas.sao.arizona.edu/>

* Talkで使用したPresentationは、<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/~morim/presentation.html> に置いてあります。