すばる望遠鏡による高エネルギーガンマ線観測・追記

東京工業大学 理学部　谷森 達、窪 秀利、浅原 明広、折戸 玲子
東京大学 宇宙線研究所　森 正樹
神奈川大学 工学部　田村 忠久
理化学研究所　河合 誠之, 吉田 篤正
平成 11 年 8 月

1. 最近の 10–100GeV 領域ガンマ線観測への期待と現状

観測提案書に述べたように９０年代に高エネルギーガンマ線天文学は確立し、発展してきた。今年 8 月、米国で空気チェンレンコフ望遠鏡による超高エネルギーガンマ線天文学国際会議、および第２６回宇宙線国際会議に参加してきた。その会議のなかで１０年前超高エネルギーガンマ線天文学関係の参加者は１０名程度であったが、現在２００名近く、宇宙線国際会議参加者の 3 分の 1 以上をしめる最も盛況な分野とり、まだ高エネルギー物理、原子核物理からの参入など研究者人口の増加が続いているという話があったが、まさにそのとおりである。研究は発見から定量的な研究にも進み X 線ばかりでなく、あらゆる波長の天文学との共同研究も進んでいる。このような状況を反映し、日本、米国、ドイツで 10m クラスの解像型チェレンコフ望遠鏡 4 台程度の観測装置の建設がそれぞれ決まり 100GeV 付近のガンマ線観測がこれからの主流となってゆく。

このような中、現在観測装置はその検出可能エネルギーを 100GeV 以下に下げ、ガンマ線衛星 CGRO の観測上限値 10GeV の間を埋めることが最大の関心となっている。その一番乗りを目指し、８０年代作られた太陽熱利用のための巨大太陽光集光装置 (数千平方メートル程度の敷地を鏡で覆ってある) をガンマ線シャワーからのチェレンコフ光集光に改良した検出装置が欧米で 4 実験進行し来年以降本格的な観測に入る (STACEE, CELESTE, 各装置の検出感度を示した図 1 参照)。それらのグループがまず目指すのはかにパルサーからのパルス放射の上限を捕えることである。今回米国のグループが 70GeV の観測でもパルス成分が観測されないことを報告したので、50GeV 前にカットオフがあるようである。これらの実験は、来年からエネルギー閾値 50GeV 程度の観測が行われる。我々は、提案書で述べたようにエネルギー閾値を 20GeV 程度まで下げることが出来る。図 2 に現装置の仕様によるシミュレーション結果を示す。Suprime Cam の取り付け装置をそのまま使う制約から当初予定より感度が半分程度になるが、かにパルサーのカットオフを 40GeV として一日 8 時間 (オン、オフ各 4 時間) 観測で約３０００事象のガンマ線観測が期待でき、３日程度観測できれば十分な統計 (7σ 以上) が確保できる (ガンマ線感度曲線を図 2 に示す)。なんとしても今年度の冬 (2000 年１ ~ ２月) の観測を行い、世界で初めてパルサー放射のカットオフを観測したい。

さらに AGN の観測では 200GeV 以上の観測が精力的に勧められたが、やはり Mrk421,501 以上に確実なあらたな AGN は検出されていない。ほとんどのガンマ線 AGN は確実に 10GeV ~ 80GeV 程度であることが確かになってきた。3C279 など 10GeV 以上では、かにパルサーの数倍のガンマ線フラックスが予想される AGN も 5 天体以上ある。パルサーのような時間構造はないが、チョッピング法で観測可能かどうかはかにパルサーの結果を用いて確実に予想するが出来る (現在の計算では十分可能な範囲になるが、バックグランド

の評価にある程度不確定性が残る)。

2. 銀河中心からの暗黒物質によるガンマ線放射

最近、地下深くに低放射線材料を用いた NaI 結晶シンチレータによる非バリオン暗黒物質 (WINP) 直接探査実験グループ (DAMA グループ) より有意な信号の報告があり、注目を集めている。暗黒物質の存在は、現在宇宙論、天文学の最も重要な課題の一つであり９０年代宇宙物理、素粒子物理の両面から多くの理論、実験が行われてきた。宇宙物理的な暗黒物質検証方法として、銀河ハロー全体に分布してるであろう WINP が太陽、銀河中心などの強重力場に捕えられ、対消滅反応を起こしニュートリノ、反陽子、そして高エネルギーガンマ線の放射が予測されている。実際 KAMIOKANDE では太陽中心からの GeV ニュートリノ探索から WINP の質量に対して強い制限を加速器実験より早く与え注目を集めた。しかし、ニュートリノの場合 SuperKamiokande を凌ぐ巨大体積の検出器でしか検出の可能性は高くないようである。

また最近、次期ガンマ線衛星 GLAST および次期大型チェレンコフ望遠鏡などによる銀河中心にトラップされた WINP による対消滅ガンマ線の検出可能性が論じられている。この場合、銀河回転を説明する比較的低密度な WINP の仮定に基づいた計算でも 10GeV ~ 100GeV あたりのガンマ線が検出可能と予測され、検出の可能性が出てきた。

上記の DAMA の結果では WINP の質量の制限が 30GeV< M<130GeV となっている。このような質量の WINP 対消滅過程から放射されるガンマ線は図３に示すように 50GeV から 100GeV あたりで宇宙線との S/N も良く、またすばるガンマ線観測で観測が可能になる。現在、この観測に必要な感度、角度分解能を備えしかも、南天にある銀河中心を観測できるのは「すばる」ガンマ線観測のみである。銀河中心は南天にあるため仰角が４０度以上になりエネルギー閾値が 40 ~ 50GeV と高くなるが有効面積が増加する為、感度は４倍以上よくなるのでこの観測には都合がよく、夏の重要な観測天体と考えられる。例えガンマ線フラックスの上限値しか得られない場合でも、すでに加速器実験から 30GeV 以下のの WINP の存在は否定されているので質量の下限値が 130GeV 以上となり素粒子論に重要なデータを供給できる。

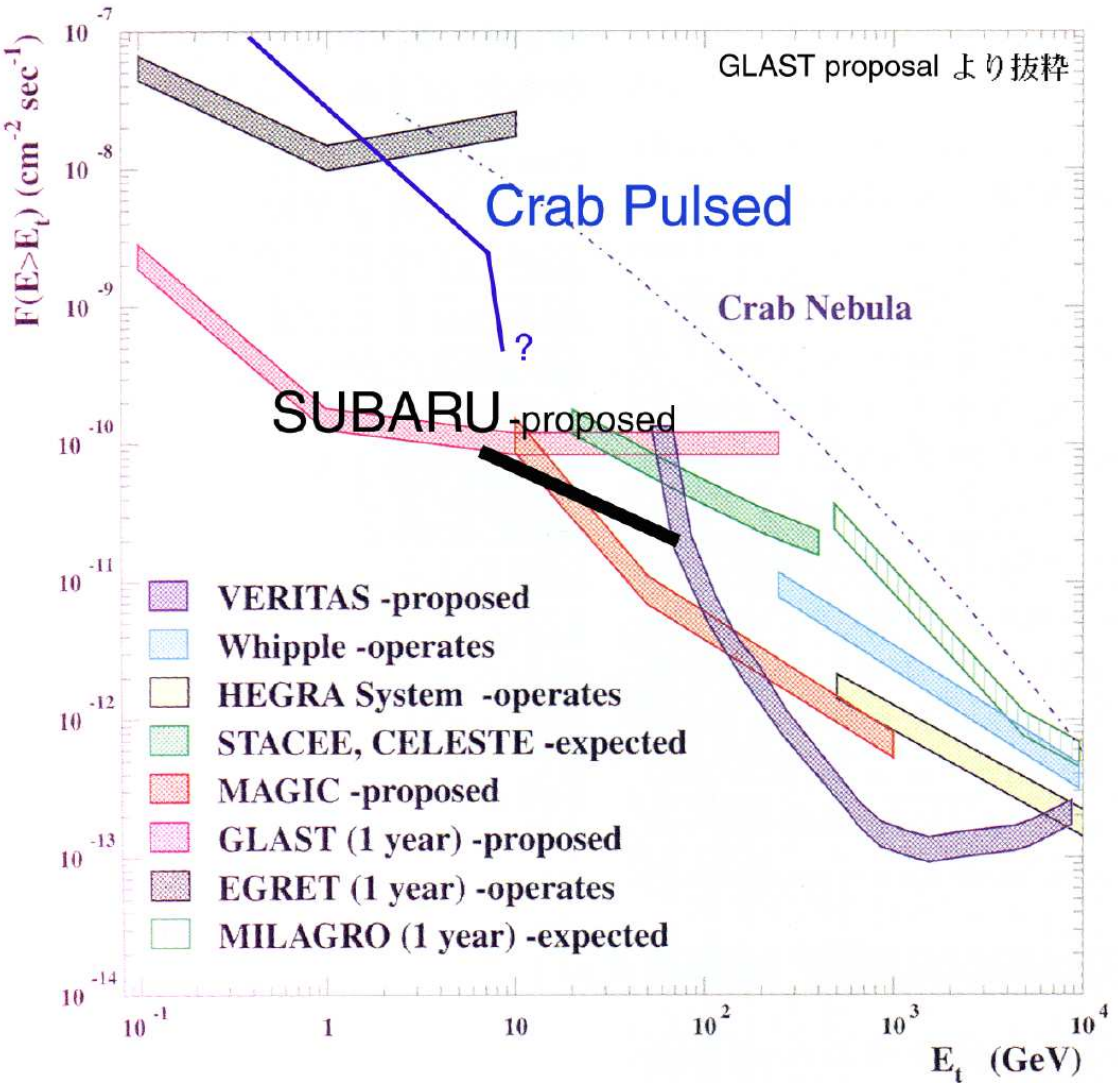

図 1: 今後の高エネルギーガンマ線観測衛星およびチェレンコフ望遠鏡の感度・エネルギー閾値曲線と、最近の STECCE によるかにパルサーからの 70GeV におけるパルスガンマ線の上限、および「すばる」ガンマ線装置での観測可能領域。

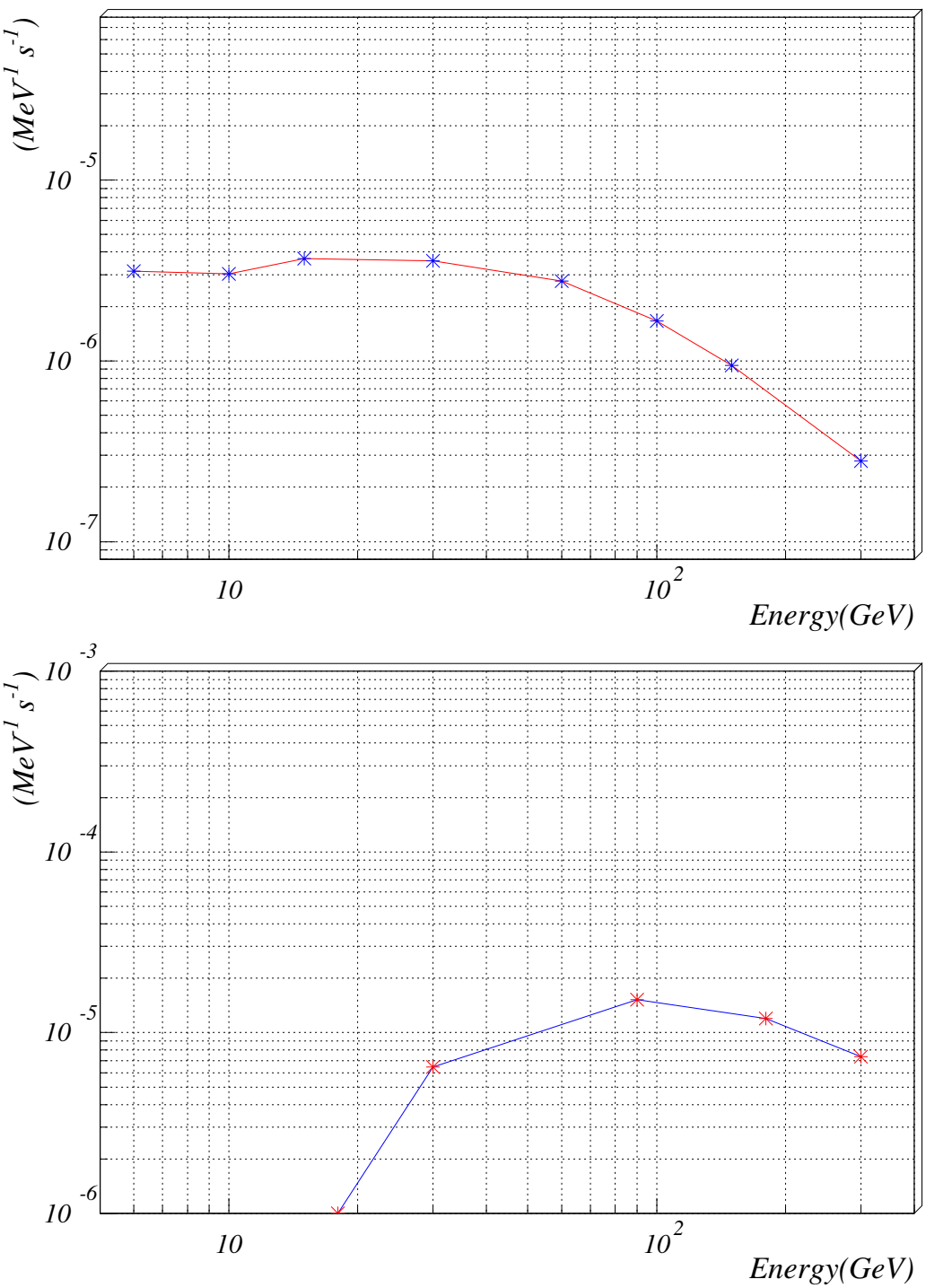

図 2: すばるガンマ線観測でのかにパルサーガンマ線 (上図)、および宇宙線 (下図) に対する感度曲線

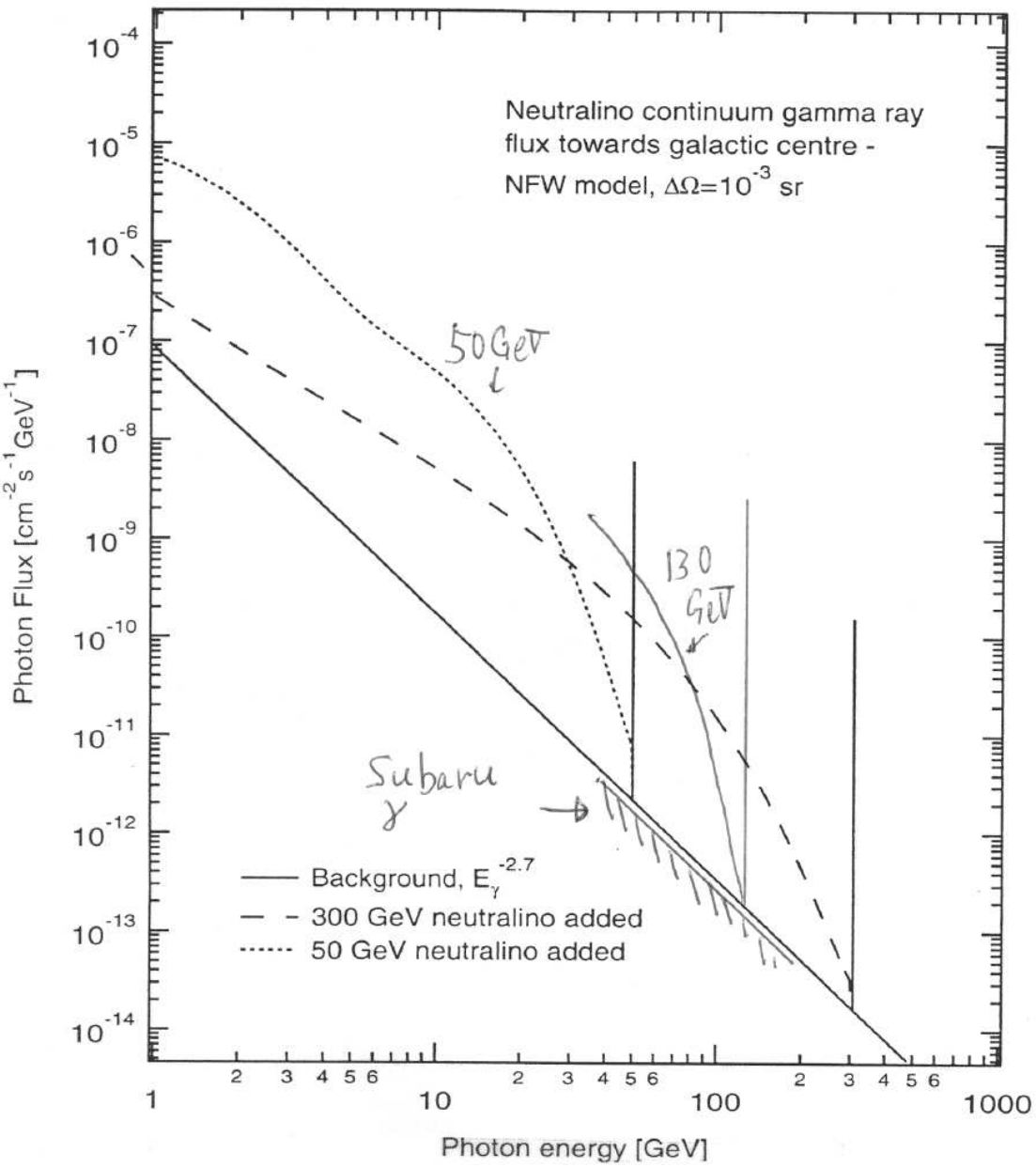

図 3: 銀河中心からの WINP 対消滅による高エネルギーガンマ線フラックスとすばるガンマ線観測での感度曲線 (Bergstrom,Ullio,& Buckley astro-ph/9712318 より)

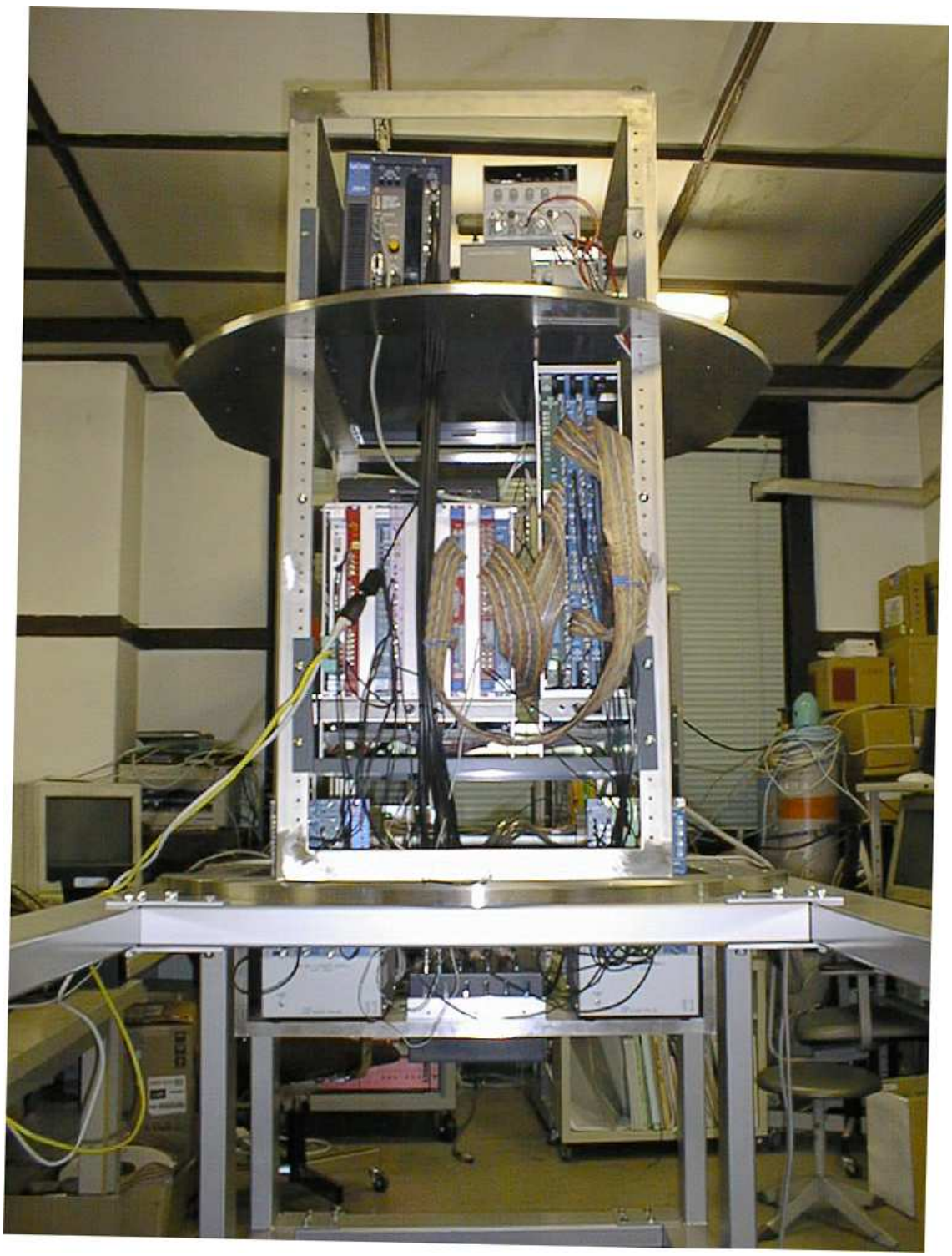

図 4: 組み上げ中のガンマ線検出器

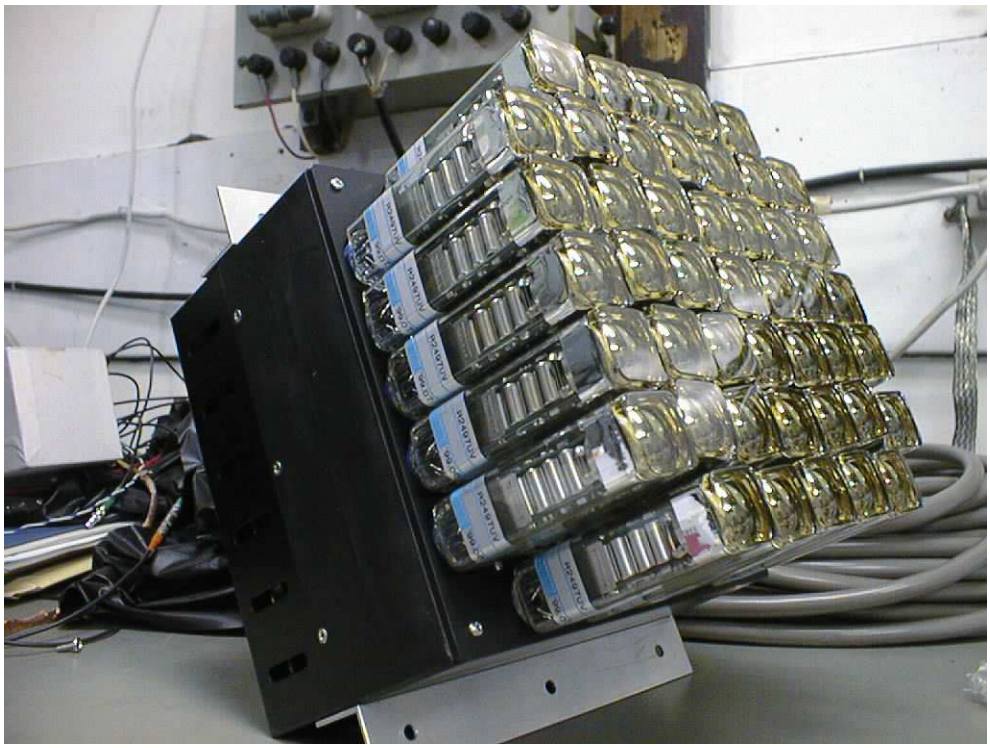

図 5: ガンマ線カメラ本体。光電子増倍管 45 本を備えている。

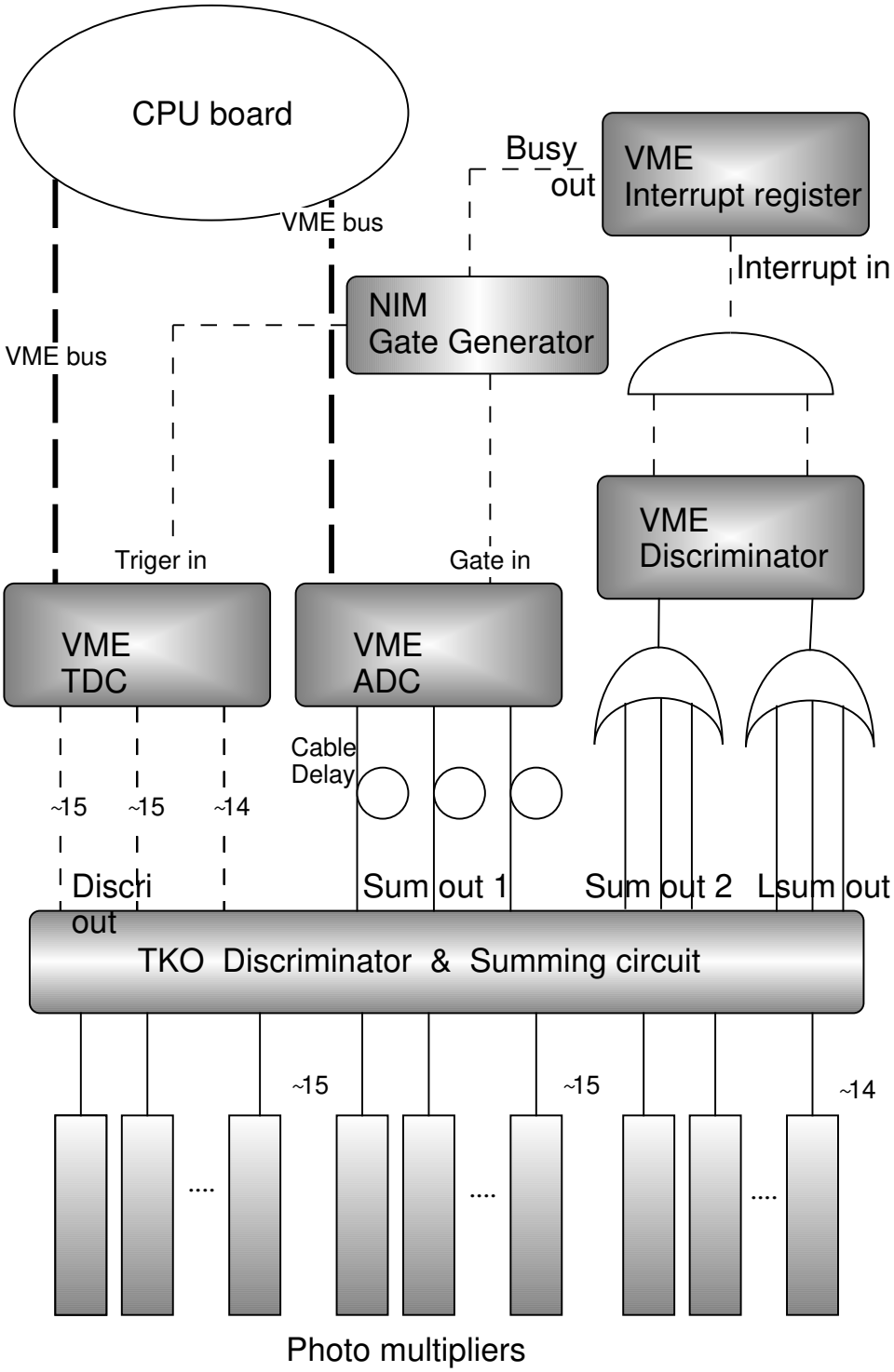

図 6: ガンマ線検出器のブロックダイヤグラム。実線はアナログデータの流れ、点線はデジタルデータの流れを示す。