

CTA 計画に向けた大口径望遠鏡のトリガー開発

および試験状況

京都大学宇宙線研究室 修士1年 畑中謙一郎、他 CTA-Japan Consortium

1. CTA 計画とは

Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画とは大規模な次世代大気チェレンコフ望遠鏡群の建設計画であり、日米欧など25か国以上が参加している。エネルギー領域20 GeV~100 TeVの超高エネルギーガンマ線の観測を目的としており、大口径（直径23 m）4台、中口径（直径12 m）23台、小口径（直径6 m）32台を半径3 km程の範囲にわたって配置する予定である。鏡の面積を大きくすることで、感度、エネルギー閾値が向上し（現在はMAGIC望遠鏡の17 mが最大）、望遠鏡の台数を多くすることで有効面積、角度分解能が向上する。（現行の主な望遠鏡MAGIC、H.E.S.S.、VERITAS、CANGAROO等で2~4台）日本は主に大口径望遠鏡の開発を行っている。タイムスケジュールは、デザインスタディー2007年から2010年（完了）、準備研究段階2010年から2014年（進行中）、建設2015年から2020年、部分的稼働2017年から2020年、フル稼働2020年から2040年、となっている。

2. 大気チェレンコフ望遠鏡の原理

高エネルギーガンマ線が大気中に入射してくると、大気との相互作用により電子・陽電子対生成を起こす。こうしてできた電子、陽電子は制動放射によりガンマ線を放出し、再びそのガンマ線は対生成を引き起こす。この繰り返しの繰り返しにより、図1のような電子・陽電子のシャワー（空気シャワー）が形成される。

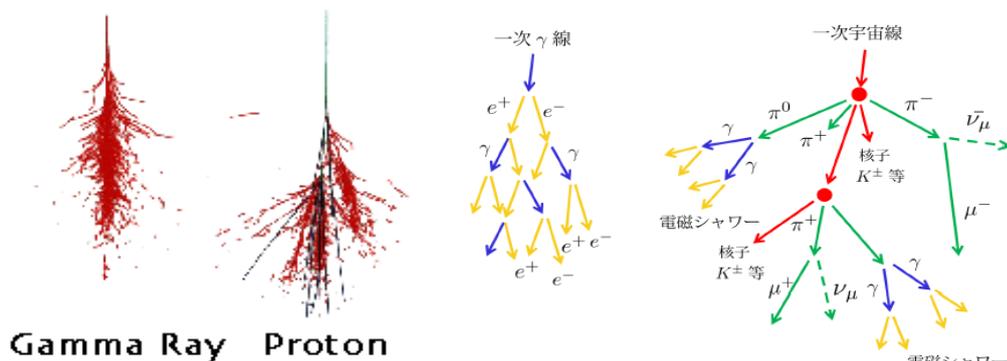


図1 ガンマ線によるシャワーと陽子によるシャワーイメージ[1]

(左図 <http://icrhp9.icrr.u-tokyo.ac.jp/japanese/glossaryJ.html> より引用)

このシャワー中の電子・陽電子が空気中の光速を超える速さで走ると、チェレンコフ光を放出する。このチェレンコフ光のイメージを、図2の様に複数の望遠鏡で撮像することで、

ガンマ線の到来方向を決定する。また、図3の様にシャワーの中心から~150m以内では光子密度が一定で、その光子密度から入射ガンマ線のエネルギーを決定することができる。

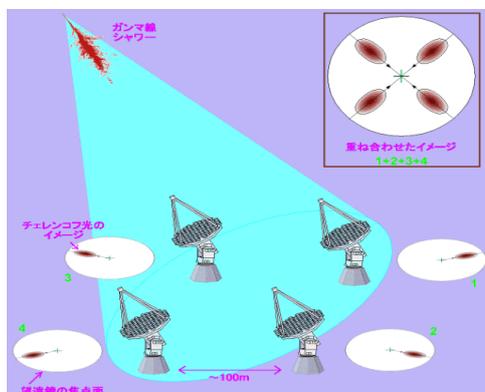


図2 ステレオ観測による到来方向の決定

(<http://icrhp9.icrr.u-tokyo.ac.jp/japanese/C-iiiJ.html> より引用)

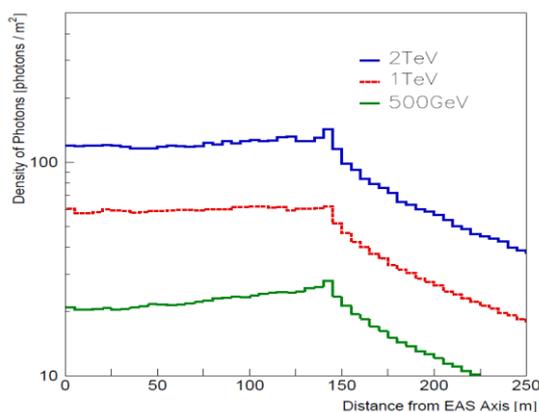


図3 入射ガンマ線のエネルギーとシャワー中心からの距離と光子密度との関係[2]

宇宙線陽子も大気と相互作用しシャワーを形成するためバックグラウンドとなるが、図1の様にシャワーの発達の様子がガンマ線とは異なり横に広がりやすい。そのため焦点面でシャワーのイメージが広がったものとなり、ガンマ線と陽子とを区別できる。

3.1.CTA 大口径望遠鏡におけるトリガー開発の状況

望遠鏡の焦点面には光電子増倍管 (PMT) が図4の様に 1855 本配置され、この PMT でガンマ線による電磁シャワーからのチェレンコフ光を撮像する。図5の様に PMT は7本で1クラスターとしてまとめられており、図6の様にクラスター毎に1つの信号読み出し回路がつく。

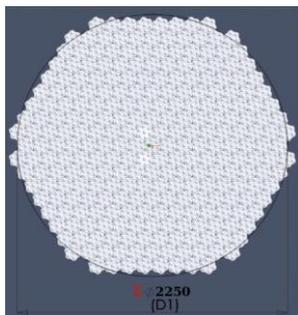


図4 焦点面に配置される PMT 図5 クラスター 図6 PMT と信号読み出しボード

星からの光など夜光によるバックグラウンドで、PMT1本あたりに、1光子が167MHz[1]程度で入射することが考えられる。夜光による信号は、図7の様に焦点面のPMTへ位置的にランダムに入ってくる。その一方で、ガンマ線による電磁シャワーからのチェレンコフ光の信号は、位置的にまとまった範囲に入ってくる。

空気シャワーからのチェレンコフ光による信号を選び出すための、トリガー生成回路は、これまでにドイツのグループによりデジタル方式のものが、イタリアのグループによりアナログ方式のものが開発されている。

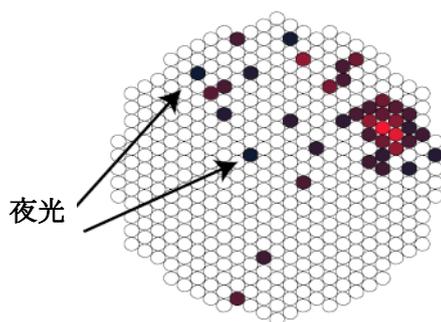
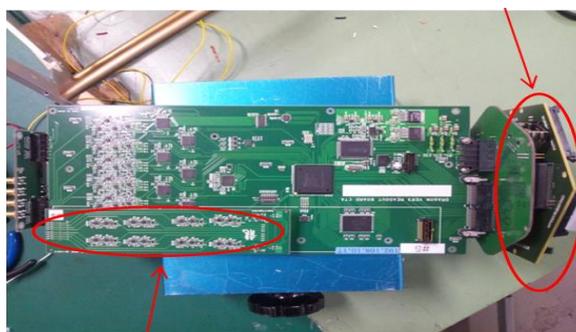


図7 焦点面でのチェレンコフ光と夜光のイメージ (CANGAROO)[2]

今回試験を行ったデジタルトリガーでは、図8の様にL0トリガー(図9)、L1トリガー(図10)がそれぞれ1つの読み出しボードに1つ付くようになっている。

L1デジタルトリガー



L0デジタルトリガー

図8 読み出しボードとデジタルトリガー

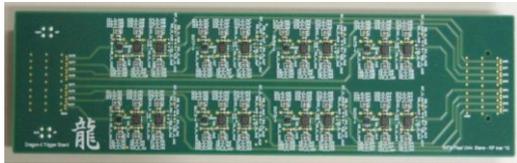


図 9 L0 デジタルトリガー

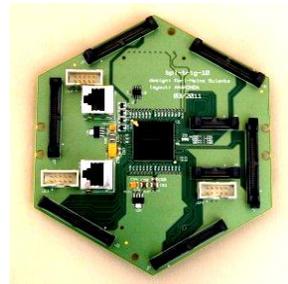


図 10 L1 デジタルトリガー

PMT からの信号は、読み出しボードを経て L0 デジタルトリガーへ送られる。L0 デジタルトリガーは個々の PMT について閾値を超えているかどうかを判定し、個々の PMT ごとにトリガー信号を生成する。次に、L0 トリガー信号は、L1 デジタルトリガーへと送られる。L1 デジタルトリガーは、L0 トリガー信号の同期を取り、PMT の位置分布を判定する。現在は図 11 の様に 3 本以上隣り合うヒットパターンで、トリガー信号を生成するようになっているが、この同期の取り方は検討中である。

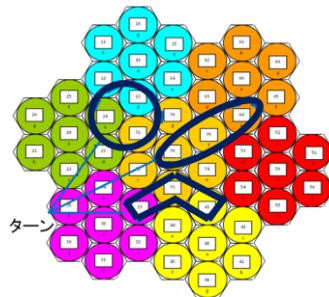


図 11 L1 デジタルトリガーがトリガー信号を生成する PMT のヒットパターン



図 12 L1 デジタルトリガーの連結

L1 デジタルトリガーは、図 12 の様に隣接するクラスターの L1 デジタルトリガーと連結され、L0 トリガー信号をやりとりするようになっており、そうすることでクラスターをまたぐヒットパターンを判定することができるようになっている。

3.2.L1 デジタルトリガー動作試験

日本のグループが開発した PMT からの信号を読み取る回路と、ドイツのグループが開発したデジタルトリガー生成回路を組み合わせ正常に動作するかどうかを試験した。今回の試験では、離れた位置に信号を入力してもトリガー信号を生成しないこと、図 13 のような入力パターンでトリガー信号を生成することを確認した。

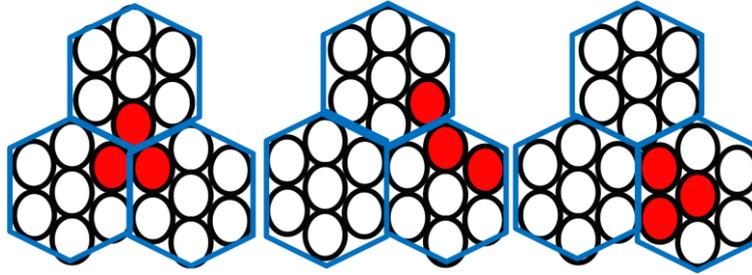


図 13 トリガー動作試験での入力信号パターン

今後は連結するクラスター数をさらに増やしたカメラプロトタイプの実験が行われる予定である。

4.参考文献

- [1]M.Aono, Master Thesis Kyoto University 2011.
- [2]T.Nakamori, Ph.D. Thesis Kyoto University 2007.