

## チベット実験での knee 領域鉄スペクトル測定のための データ収集システム

山内 紘一 (横浜国立大学大学院 工学府)

### Abstract

これまで実施したチベット高原羊八井でのエネルギー  $10^{15}$ eV 付近 (“knee 領域”) の宇宙線化学組成の観測研究から、knee 領域における宇宙線の主な成分は重い核子であることが示唆されている。一方 knee 領域における重い核子の観測は十分されておらず、鉄成分のスペクトルを測定するため新しい空気シャワーコア検出器 YAC (Yangbajing Air-shower Core detector) を用いた実験の準備を進めている。本課題では、YAC のデータ収集システムのために電荷パルスを 1/50 程度に減衰する回路を今回新たに開発し、この減衰回路と電荷時間変換 ASIC を使い、1pC 以下から 1000pC 程度のレンジでリアルタイムをもつ光電子増倍管用読み出しシステムを開発した。

## 1 チベット AS

我々はチベット高原の羊八井 (標高 4300m、 $606\text{g}/\text{cm}^2$ ) でエネルギー  $10^{15}$ eV 付近の宇宙線化学組成の観測研究を行っている。宇宙線原子核の加速機構や起源は未だ解明されておらず、それらの解明に向けチベットでは、空気シャワー観測装置 (Tibet-III array) と空気シャワー中心の粒子密度分布を測定するコア検出器を連動し一次宇宙線のエネルギーと核種選別を行っており、これまで宇宙線の全粒子スペクトルと陽子成分、ヘリウム成分のスペクトルが測定された [1]。

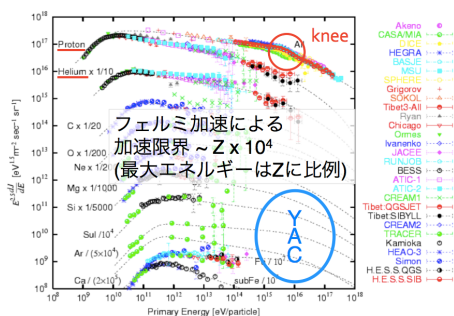


図 1: 宇宙線エネルギースペクトル

測定された全粒子エネルギースペクトルには折れ曲がり構造 (“knee”) がみられる。knee を含む  $10^{15}$ eV 付近のエネルギー領域 (“knee 領域”) は宇宙線原子核の加速機構や起源を強く反映しており、詳細な観測によりこれらの解明が期待されている。

宇宙から到来した高エネルギー宇宙線 (“一次粒子”) は大気と相互作用し二次粒子が発生し、その二次粒子がさらに大気と相互作用することで大量の二次粒子が発生する。この現象を空気シャワーといい、

チベットでは二次粒子を測定することで一次粒子のスペクトルを推定している。空気シャワーの中心軸付近には高エネルギー粒子が集中する。この部分を空気シャワーコアといい、その広がり是一次宇宙線核種により違いが生じる。陽子、ヘリウムなどの軽い原子核は平均自由行程が長く大気深くまで相互作用せず侵入するのに対し、鉄などの重い原子核は平均自由行程が短く浅い位置で相互作用する。その結果地上で観測する際、空気シャワーコアの広がり軽い原子核では小さく、重い原子核では大きくなる。

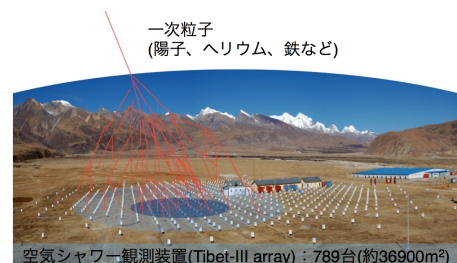


図 2: 中国チベット、羊八井

## 2 Yangbajing Air-shower Core detector

チベットでのこれまでの測定から、knee 領域における宇宙線の主な成分は重い核子であることが示唆されている。

Yangbajing Air-shower Core detector (YAC) は高エネルギー粒子の空気シャワーコアの広がり測定のために、Tibet-III array の中心部に高密度 (3.75m 間隔) で配置される。YAC1 台は、プラスチックシンチレーター (50cm x 40cm) とそれにはわした波長変

換ファイバーによって、2つの PMT に信号を入力する。またシンチレーターの上部には高エネルギー粒子の検出効率を上げるために鉛板（厚さ 3.5cm）を積んでいる。

各 YAC では最大  $10^6$  粒子までの二次粒子を測定する必要がある。一方、エネルギー校正のためバックグラウンド  $\mu$  粒子が使用される。したがって 1 粒子から  $10^6$  粒子まで測定するため YAC では High Gain と Low Gain の 2 つの PMT を用いており、各 PMT の信号読み出しシステムにも広い測定レンジが求められる。

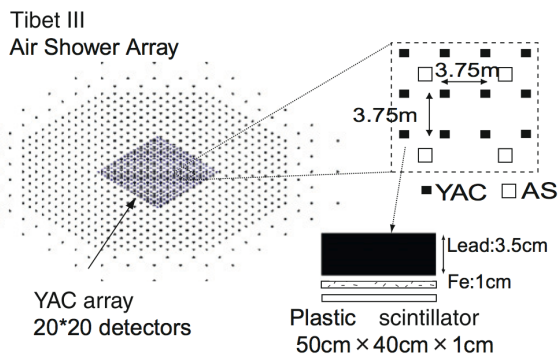


図 3: YAC 概略図

### 3 データ収集システム

これまでに 1fC から 20000fC まで測定可能な電荷時間変換 ASIC (“WDAMP”) を開発した [2]。WDAMP のスペックを図 4 に示す。

<WDAMP specification>	
Power supply & dissipation	analog : +1.65V(29.7mW), -1.65V(30.4mW) digital : +1.65V(7.8mW), -1.65V(7.9mW)
Die size	4mm x 4mm
Channel	4
Feedback capacitance	4pF, 8pF, 12pF, 16pF
Peaking time	~ 4 $\mu$ s

図 4: WDAMP のスペック

一方 PMT からの最大出力電荷 (1000pC) は WDAMP の最大入力電荷 (20pC) を超えてしまうため、PMT からの電荷を 1/50 程度に減衰する回路 (“減衰回路”) を今回新たに開発した。WDAMP、減衰回路を用い開発を進めているデータ収集システムの流れを図 5 に示す。

システム内の個々の開発はほぼ終了しており、現在は各部の接続テスト及び VME ボードの設計を進めている。

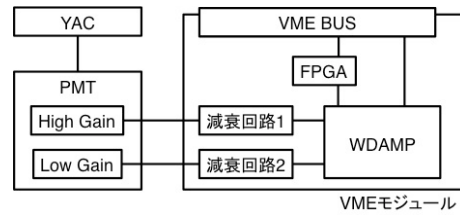


図 5: データ収集システムのブロック図

### 4 減衰回路

PMT の最大出力電荷と WDAMP の最大入力電荷をあわせるために今回開発した減衰回路は、主に以下の 4 つで構成される。

- a) カレントミラー型回路 (減衰)
- b) 容量 T 型回路 (減衰)
- c) 反転回路 (極性反転)
- d) 電流バイアス回路 (動作安定化)

減衰回路の回路図を図 6 に示す。またカレントミラー型回路および容量 T 型回路の減衰方法と入力に対する出力を図 7 に示す。

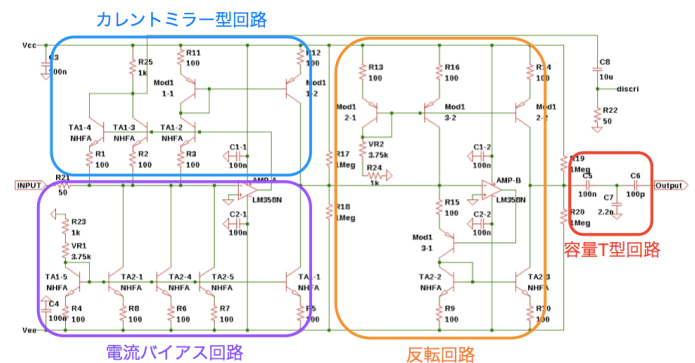


図 6: 減衰回路の回路図

減衰方法	OUTPUT / INPUT
カレントミラー型回路	トランジスタの個数nにより減衰 <b>1 / n</b>
容量T型回路	容量のインピーダンスZ1, Z2の比により減衰 <b>Z1 / (Z1 + Z2)</b>

図 7: 減衰方法と入力に対する出力

### 5 減衰回路-WDAMP テスト

疑似パルスによるテスト電荷信号により、減衰回路-WDAMP の測定レンジとリニアリティを調べた。テストの概略を図 8 に、結果を図 9 に示す。

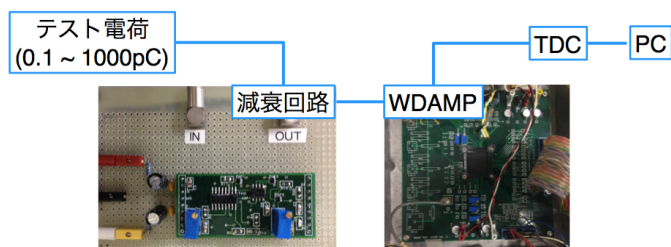


図 8: 減衰回路-WDAMP テスト概略

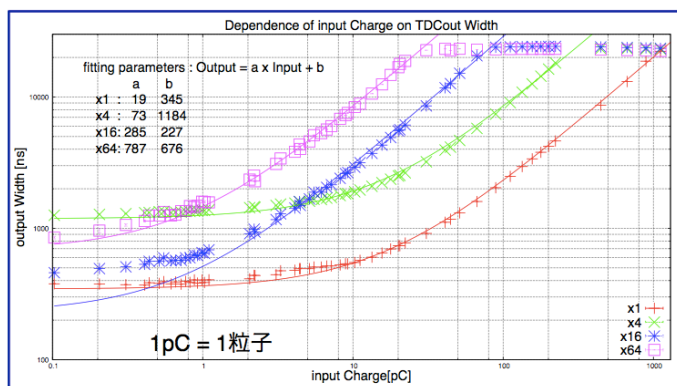


図 9: 入力電荷に対する WDAMP 出力

## 6 まとめ

減衰回路と WDAMP を用いた光電子増倍管用信号読み出しシステムを開発した。1pC 以下から 1000pC 程度のレンジでリニアリティがあり、2つの光電子増倍管を用いることで1粒子から  $10^6$  粒子測定することのできる読み出しシステムを開発した。今後は本回路を搭載した VME ボードを設計し、YAC-III を使った長期観測試験を行う。

## Reference

- [1]M. Amenomori. 2011. Advances in Space Research 47
- [2]Y. Katayose. 2013. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 699