

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月15日現在

機関番号：82645

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22740146

研究課題名（和文） 高エネルギー宇宙線観測に用いるパターン認識トリガーシステムの開発

研究課題名（英文） Trigger system for high energy cosmic ray measurement

研究代表者

清水 雄輝（SHIMIZU YUKI）

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・有人宇宙環境利用ミッション本部・宇宙航空プロジェクト研究員

研究者番号：60434320

研究成果の概要（和文）：本研究では高エネルギー宇宙線の観測に用いるイベントトリガーシステムの開発を行った。高エネルギー宇宙線は観測装置中でカスケードシャワーを引き起こすが、その特徴は粒子種やエネルギーによって異なる。この性質を利用したシャワートリガー方式の研究を行い、検出器試作およびモンテカルロシミュレーションによる性能評価を行った。試作装置を用いた加速器による試験データを解析、モンテカルロシミュレーションとの一致性を検証し、その有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：We have developed trigger system dedicated to measurement of high energy cosmic ray. Interaction of high energy cosmic rays causes cascade showers. The shape of cascade showers depends on the particle type and energy of cosmic rays. Such feature can be used for particle discrimination. In order to investigate the shower trigger system for particle discrimination, we developed prototype detectors and calculated particle interaction in the detectors with the Monte-Carlo simulation. Analyzing data of detector response obtained from accelerator experiments, we evaluated the performance of the shower trigger system.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：高エネルギー宇宙線、イベントトリガー

## 1. 研究開始当初の背景

高エネルギー宇宙線実験は近年、既知の現象の精密測定や未発見の希少事象の観測を目指し、観測装置の大型化や高精細化が進められている。このような変化に伴い、観測装置

を構成する検出器のチャンネル数は増加する傾向にあり、同時にバックグラウンド事象の頻度も増加している。その結果、単位時間あたりに処理しなければならないデータ量は膨大となり、エレクトロニクスやデータ取

得システムの設計を困難とする要因となっている。宇宙線の相互作用による検出器の反応には特定のパターンがある。例えば、カロリメータ中で発生するカスケードシャワーの発達は粒子種によって異なる。このような特徴を利用することで粒子弁別が可能であり、観測対象の粒子のみを選択的に取得することによりイベント頻度やデータ量の削減し、システム設計を容易にすることができる。

## 2. 研究の目的

本研究では、高エネルギー宇宙線観測装置 CALET 等への適用を想定し、高エネルギー宇宙線相互作用によって発生したカスケードシャワーの特徴を捉えることで粒子弁別を可能とするトリガーシステムの基礎開発を行う。高エネルギー宇宙線が観測装置中で生成するカスケードシャワーは、電子・ガンマ線によって生じる電磁シャワーと陽子・原子核によって生じるハドロンシャワーではその形状が大きく異なる。電子・ガンマ線観測を行う場合、フラックスの多い低エネルギーの陽子によるイベントが大きなバックグラウンドとなる。そこで、電磁シャワーの特徴を捉えることで、選択的に電子・ガンマ線イベントを取得することが可能なトリガーシステムの研究を行う。本研究では回路及び検出器の試作試験、モンテカルロシミュレーションによる宇宙線相互作用の計算を行い、シャワートリガー方式の有効性を検証する。

## 3. 研究の方法

本研究では検出器の試作、モンテカルロシミュレーションによる検出器中での粒子相互作用の計算を通して、粒子弁別が可能なシャワートリガー方式の実証を行う。シンチレータと信号処理回路からなる検出器を試作し、疑似信号の入力や加速器を用いた実際の高エネルギー粒子による試験によってその性能を評価する。モンテカルロシミュレーションを用いて高エネルギー宇宙線の検出器中での相互作用を計算し、最適な検出器パラメータについての見積もりを行う。また、加速器試験で得られたデータとモンテカルロシミュレーションの結果を比較、その一致性を確認し、粒子弁別能やトリガー効率などのシステムとしての性能を検証する。

## 4. 研究成果

CALET 等の高エネルギー宇宙線観測装置における電子・ガンマ線観測において主要なバックグラウンドとなる低エネルギーの陽子イベントを効率的に除去するトリガーシステムの開発を実施した。カロリメータ中で電子・ガンマ線による電磁シャワーを生じたイベントのみを取得するトリガー判定条件をモンテカルロシミュレーションにより評価し、トリガー効率及びバックグラウンド除去率の最適化を行った。また、シンチレーティングファイバーとマルチアノード光電子増

倍管、PWO シンチレータと光電子増倍管及びフォトダイオードを組み合わせたカロリメータに用いるトリガー回路の試作を行った。マルチアノード光電子増倍管の最終段ダイノード出力をトリガー信号に用いる手法を開発し、最小電離粒子イベントからカスケードシャワーイベントまでを選択的に取得できる回路を作製した。この試作回路を用いて2010、2011年度に実施した、ヨーロッパ原子核研究機構 (CERN) のSPS 加速器を用いた実験での高エネルギー電子・陽子の測定データから、適切な出力電圧しきい値を与えることにより、バックグラウンドイベントを数%に抑えながら10GeV以上の電子に対して90%以上のトリガー効率が得られることが分かり、シミュレーションからの期待値ともよい一致が得られた (図1)。

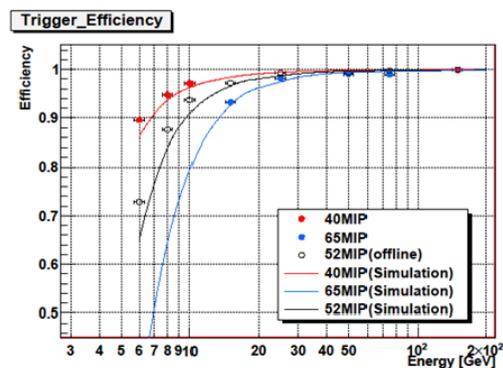


図1 加速器実験で得られたトリガー効率の入射エネルギー依存性 (電子)

検出器応答の評価として、電磁シャワーの全吸収に用いるPWOシンチレータの発光特性評価、読み出し用試作回路の応答特性評価を実施した。トリガー閾値決定において重要となるエネルギーあたりの発光量及び均一性の評価を宇宙線ミューオン及びガンマ線源を用いて行い、改良型PWOにおいては従来品よりも優れた特性を持つことを確認した。また、試作回路の線形性、ノイズ評価を行い、前述のPWO発光量と合わせてシグナル-ノイズ比の評価を行った。前述の加速器実験のデータの評価において測定粒子数の不定性の問題が見られたが、シンチレータ発光量や回路ノイズ等の検出器応答をシミュレーション計算に取り入れることで改善され、実験データとシミュレーションからの予測値の間の差異を低減することができた。

また、宇宙線原子核成分の選択的な取得を目

的とし、プラスチックシンチレータの原子核に対する応答の評価を実施した。放射線医学総合研究所の HIMAC 加速器にて原子核を照射したデータを解析し、プラスチックシンチレータの出力信号を評価した。重粒子に対するシンチレータの応答はクエンチング効果によって直線性が失われることが知られている。Fe よりも原子番号の大きい超重核までの観測における性能の評価のため、核破砕片を利用してプラスチックシンチレータの核種ごとの応答を測定した (図 2)。プラスチックシンチレータの応答曲線を Kr までの核種について測定し、原子核の識別が可能なことを確認した (図 3)。

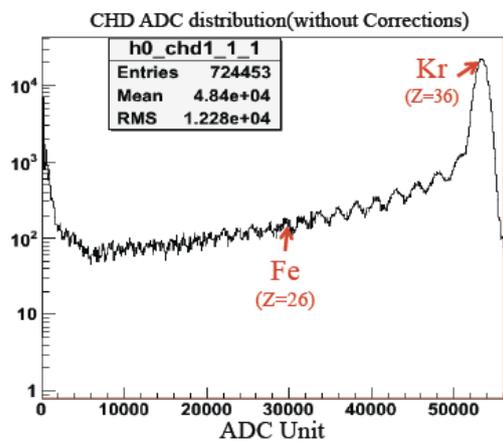


図 2 HIMA 加速器で得られた Kr の核破砕片によるプラスチックシンチレータの波高値分布

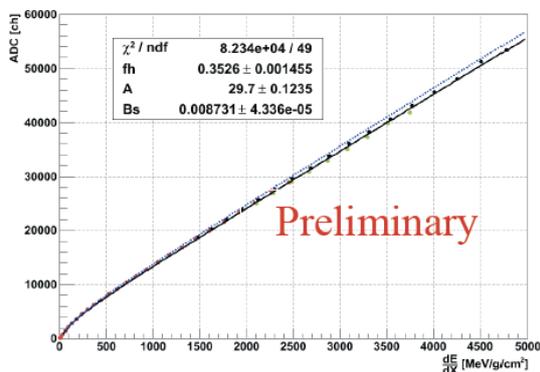


図 3 HIMAC 加速器における Kr 及び Ge の核破砕片を用いた測定したシンチレータの応答

本研究によって得られたシャフトトリガーによる粒子弁別のための回路パラメータやカロリメータを構成するシンチレータの応答特性を元に、現在開発中の CALET の観測性能を最適化することが可能である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① P. S. Marrocchesi, O. Adoriani, 赤池陽水, 清水雄輝, 他 (15 人中 14 番目), Beam test performance of a scintillator-based detector for the charge identification of relativistic ions, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 査読有、659 巻、2011、pp. 477~483、DOI: 10.1016/j.nima.2011.08.034
- ② 清水雄輝, O. Adriani, 赤池陽水, 他 (23 人中 1 番目), The CALET CHD for determination of nuclear charge, Proceedings of 32nd International Cosmic Ray Conference, 査読無、2011、pp. 387~390
- ③ 植山良貴, 鳥居祥二, 笠原克昌, 村上浩之, 清水雄輝, 他 (13 人中 13 番目), The Event Trigger System for CALET, Proceedings of 32nd International Cosmic Ray Conference, 査読無、2011、pp. 383~386
- ④ 清水雄輝, 鳥居祥二, 笠原克昌, 他 (12 人中 1 番目), bCALET による電子エネルギースペクトルの観測、大気球シンポジウム平成 22 年度、査読無、2010、pp. 124~127
- ⑤ 小澤俊介, 鳥居祥二, 笠原克昌, 清水雄輝, 他 (15 人中 4 番目), 気球搭載型宇宙線電子観測装置 bCALET の開発、大気球シンポジウム平成 22 年度、査読無、2010、pp. 128~131

[学会発表] (計 4 件)

- ① 清水雄輝, 及川幸揮, 遠藤美穂, 他 (16 人中 1 番目), CALET カロリメータ構造モデル試験、第 12 回宇宙科学シンポジウム、2012、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所
- ② 赤池陽水, 植山良貴, 小澤俊介, 清水雄輝, 他 (23 人中 11 番目), CALET 搭載の電荷弁別型検出装置 (CHD) 開発報告、第 12 回宇宙科学シンポジウム、2012、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所
- ③ 植山良貴, 鳥居祥二, 清水雄輝, 他 (14 人中 6 番目), ビーム実験による CALET トリガーシステムの評価、日本物理学会

第 66 回年次大会、2011、新潟大学五十嵐キャンパス

6. 研究組織

(1) 研究代表者

清水 雄輝 (SHIMIZU YUKI)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・有人宇宙環境利用ミッション本部・宇宙航空プロジェクト研究員

研究者番号：60434320