

超高エネルギー宇宙線探索

松下千穂里¹、中井莉世¹、永田仁希¹、齋藤隆太²、田中香津生³

¹女子学院高等学校、東京都

²東北大学 理学研究科 物理学専攻

³早稲田大学

本研究では、理論的に予測されたエネルギーの限界よりも高いエネルギーを持つ最高エネルギー宇宙線を簡易的な検出器を用いて捉えることを最終目標としている。最高エネルギー宇宙線は、大気シャワーという現象を利用して観測することが可能である。以前大気シャワーを検出する実験を行ったが、観測されたイベントが大気シャワーであるとは一意に同定することが困難であったため、大気シャワーに類似した現象である、銅板由来の電磁シャワーの検出が可能であるか検証を行った。銅板を設置した場合と設置しなかった場合の到来頻度の差を調べたが、その差は誤差の範囲内であった。同様に、到来頻度の銅板—検出器間距離依存性を調べたところ、到来頻度は誤差の範囲内で一致し、銅板—検出器間距離5cmにおいて最大値を取った。このことから、1週間程度の測定時間ではこの測定系で電磁シャワーをとらえることができないことがわかった。この測定結果を元に行なった見積から、この測定系で電磁シャワーをとらえるには最低3週間の測定が必要であることが示された。今後は検出期間を3週間に延ばし、再度同様の検出を行う予定である。

1. 背景

実験の最終目標は簡易的な検出器を用いて最高エネルギー宇宙線を検出することである。最高エネルギー宇宙線とは、宇宙空間を飛び交う粒子である宇宙線の中でも特に、理論的に予測されたエネルギーの限界 (GZK 限界、 10^{19} eV) よりも高いエネルギーを持つ

宇宙線の総称である。最高エネルギー宇宙線は、高いエネルギーを持つ宇宙線が大気中の原子核と衝突することで発生する大気シャワーという現象 (図1) を用いて、テレスコープアレイ実験等で数十回検出されている[1]。しかし一般的な大気シャワーの検出には高価な装置が使われており、高校生が手軽に実験に用いることは難しい。そこで、より安価な

Cosmic Watchを用いて大気シャワーを検出する仕組みを確立することで超高エネルギー宇宙線を観測することを試みた。

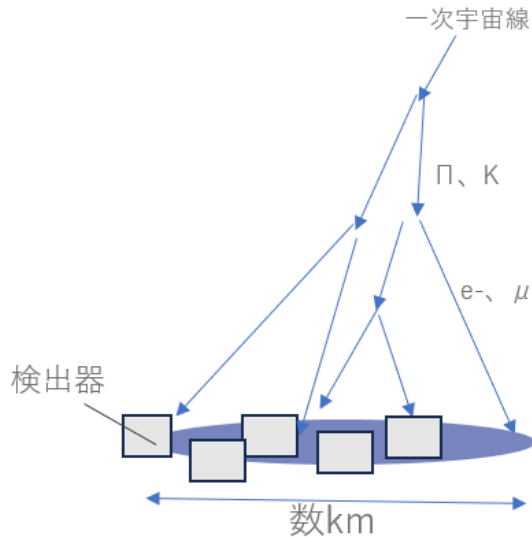


図1 大気シャワーの模式図。一次宇宙線が大気に入射し、大気中の原子核と衝突することで、粒子が生成される。それらの生成された粒子が新たに粒子や原子核と衝突することをくりかえすことで、最終的に大量の宇宙線が一定の面積に同時に降り注ぐ現象が発生する。

そこで、2022年から2023年まで大気シャワーの検出を試みた。しかし、それらの実験では測定したデータが大気シャワーであることと一意に同定することは困難であった。そこで、今回の実験では大気シャワーを模して人為的に生成した電磁シャワーの検出を試みた。電磁シャワーは大気シャワーと同様に物体に宇宙線が衝突して発生する現象であるが、大気シャワーとは異なり、銅板等を設置することで人為的に生成でき、検出が容易である。

2. 方法と結果

2.1. 実験装置

本研究では安価に検出を行うため、すべてCosmicWatch(図2)という2万円相当の小型宇宙線検出器を使用している。この検出器はシンチレータ、SiPM、Arduinoの3つの部分で構成されている。まず宇宙線がシンチレータに入射すると、シンチレータが光を発する。その光がSiPMに届くと電気信号に変換されて、読み出し回路により増幅される。増幅された電気信号はArduinoによって処理され、PCに送信される。このような仕組みから、Cosmic Watchを用いることで、宇宙線が来たという情報をPCに記録できるようになっている。

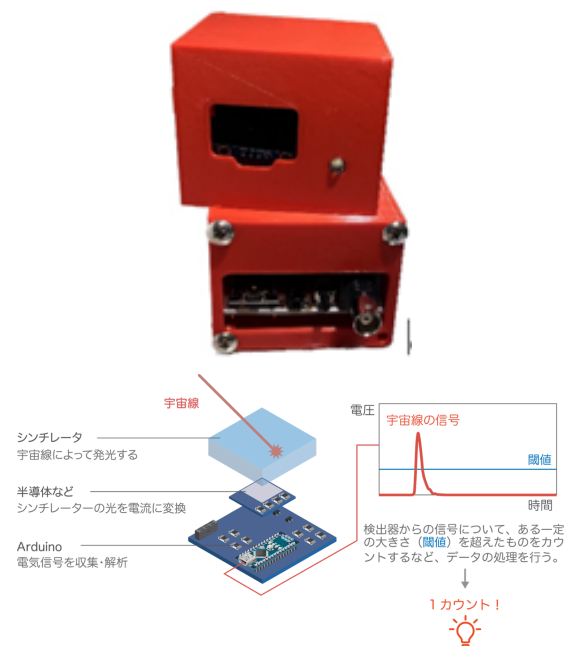


図2 Cosmic Watchの仕組み

このCosmic Watchを4台用いて、大気シャワーの観測に使用できると考えられる測定系を考案した。測定系は以下の通りである。ま

ず、Cosmic Watchを縦に2台重ねたものを2
セット作成する。それらの4台のCosmic
Watchをコインシデンスする。これにより、
Cosmic Watch4台に同時に降り注いだ宇宙線
のみ観測することができる。この時横から検
出器4台を通り抜けることのできる宇宙線は存
在しない。ゆえにこの測定系で観測できる現
象は、4台の検出器に偶然同時に宇宙線が到来
する現象または、電磁シャワーであると考え
られる。

2.2. 実験方法

まず、2.1で示した測定系の上に銅板を設置
し、設置しなかった場合と比較して到来頻度
に変化が見られるかを調べた。女子学院高等
学校4階の物理室にて、2024年11月26日から
12月8日、2月9日から2月14日に、銅板を上
に置いていない状態で測定を行った(図3)。ま
た、2024年11月19日から11月24日まで銅板を
置いた状態で測定を行った(図4)。
測定期間については表1にまとめた



←図3 銅板なしの測定系。4台の検出器はコインシデンス
されている。この測定系で、2024年11月26日から12月8
日、2月9日から2月14日に観測を行った。

→図4 銅板ありの測定系。この測定系で、2024年11月19
日から11月24日まで測定を行った。

この測定の結果、到来頻度は銅板がある場合
とない場合で違いがないことがわかった(図
5)。

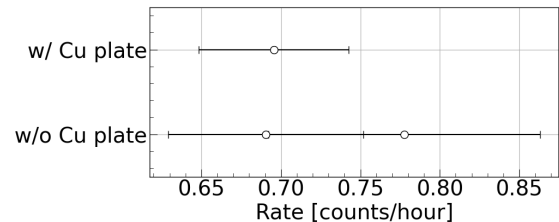


図5 銅板の有無と到来頻度の相関関係のグラフ。銅板を
設置した場合と銅板を設置しなかった場合の到来頻度との
差は誤差の範囲内である。

次に、銅板と検出器の間の距離を変化させる
測定を行った。女子学院高等学校4階物理室に
て、2025年1月20日から23日に銅板一検出器
間距離を10cmに設定して検出を行った(図
6)。又、2025年1月25日から30日まで銅板検
出器間距離を5cmに設定して検出を行った(図
7)。測定期間については表2にまとめた。

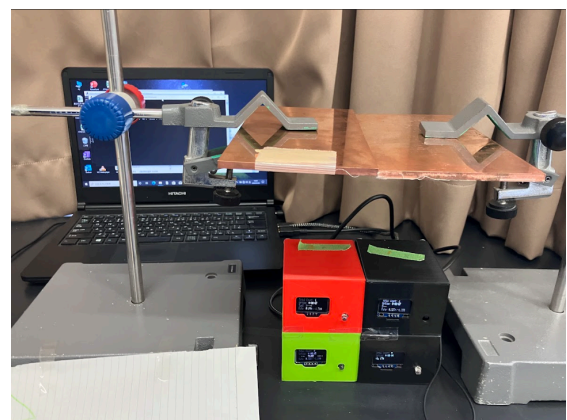


図6 銅板一検出器間距離10cm

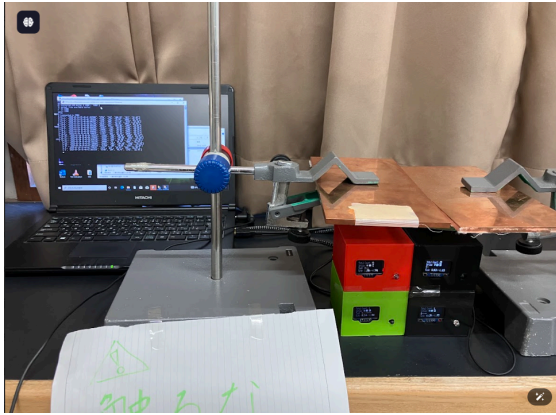


図7 銅板－検出器間距離5cm

この測定の結果、銅板－検出器間距離を変化させても到来頻度は誤差の範囲内で一致した(図8)。

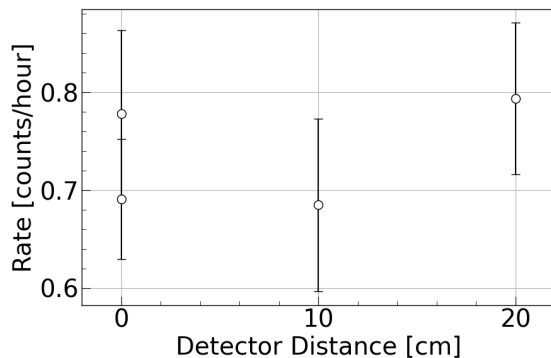


図7 銅板－検出器間距離と到来頻度の相関関係のグラフ。誤差は統計誤差のみを考慮している。到来頻度は銅板－検出器間距離が変化しても誤差の範囲内で一定である。

3. 考察

到来頻度の銅板有無依存性について、到来頻度が減少すれば銅板による遮蔽の影響のみが見えていたことになる。逆に、到来頻度が増加すれば銅板による電磁シャワーの影響が見えていると考えられる。本実験では銅板を置

いた場合の方が到来頻度が多かったものの、銅板を置かなかった場合との到来頻度の差は誤差の範囲内であった(図4)。ゆえに、電磁シャワーが観測できている可能性はあるものの、現状の測定期間では電磁シャワーが観測できたと断定することは出来なかった。

また、銅板－検出器間距離依存性について、銅板－検出器間距離が大きくなるに連れて到来頻度が減少するならば、電磁シャワーの影響が見えていると考えられる。また、銅板－検出器間距離が大きくなるにつれて到来頻度が増加するならば、銅板による遮蔽の影響が見えていると考えられる。本実験では銅板検出器間距離を離すことによって以上の2つの実験から、銅板による遮蔽の影響と銅板による電磁シャワーの影響が同じ程度あり、この測定系で1週間観測することで銅板による電磁シャワーを測定することは難しいとわかった。

4. 結論・展望

本研究ではCosmic Watchを4台コインシデンスした測定系により、銅板由来の電磁シャワーが測定可能であるか調べた。この結果1週間の測定では銅板由来の電磁シャワーを確認できないことがわかった。