

2台のCosmicWatchを用いた μ 粒子の速度測定

浅野颯良¹, 川道かのん², 坂元晶一³, 高橋将太⁴, 田中香津生⁵

¹名古屋大学教育学部附属高等学校、愛知県

²名古屋大学教育学部附属中学校、愛知県

³東北大学理学部、宮城県

⁴名古屋大学KMI、愛知県

⁵加速キッチン合同会社、宮城県

1. 背景

宇宙線とは、宇宙空間から飛来してくる陽子や原子核などの放射線(一次宇宙線)である。宇宙線が地球の大気圏に入ると、 μ 粒子やニュートリノなどの放射線(二次宇宙線)に変化する。宇宙線は光速に極めて近い速度で運動しているとされている。そこで、本研究では μ 粒子検出器を用いて μ 粒子の速度測定を試みた。

精度の高い速度測定では、大規模な機械を用いた実験の例がある⁽¹⁾。そこで、小型の機械を用いた小規模な実験でも測定できるのかという疑問が湧き、この実験を始めた。

2. 実験方法

2.1 実験機器

本研究では2台のCosmicWatch(図1)とRed Pitaya(図2)を用いて素粒子の速度測定を行った。

CosmicWatchは、プラスチックシンチレータを利用した μ 粒子測定器である。 μ 粒子がCosmicWatchを通過すると、シンチレータが発光し、内部にあるSiPM(シリコン光電子増幅器)を通して電気信号に変換される。Red Pitayaはオープンソースソフトウェアが付属した小型コンピュータである。本体にはアナログ入力端子が二つついていて最大125MHzのサンプリングレートで測定ができる。今回の実験では、2台のCosmicWatchから出る電気信号をRed Pitayaに送り、RedPitaya上でPythonを動かして処理を行った。

図1 CosmicWatch 図2 RedPitaya 図3 CosmicWatchの内部構造⁽²⁾

2.2 実験方法

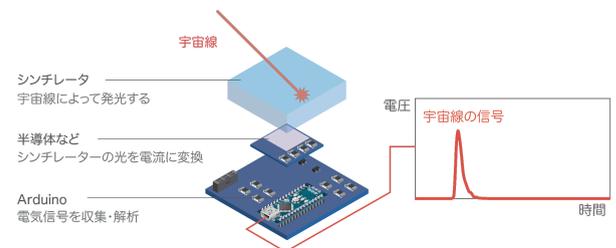
図4のようにCosmicWatch2台を上下に並べ、RedPitayaを通してPCに接続する。2台のCosmicWatchから送られる電気信号をオシロスコープで見ると、 μ 粒子が通過した時に波形が観測され、2台のCosmicWatch両方を μ 粒子が通過すると、二つの波形の山が観測できる(図5)。この二つの波形のずれを計算することで、 μ 粒子が2台のCosmicWatch間



を通過するのにかかった飛行時間

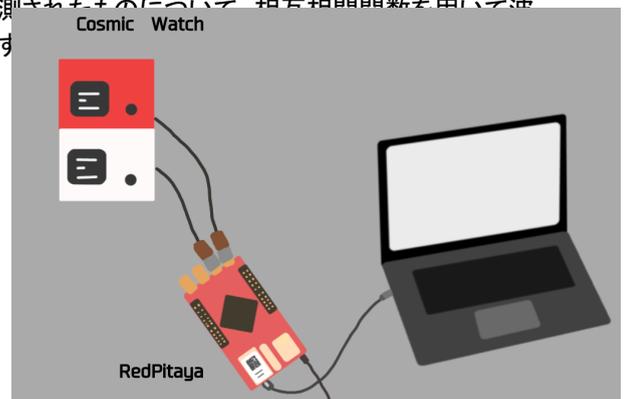
(Time of Flight, 以下TOF)を測定し、そこから μ 粒子の速度を求めた。

今回の実験では、Red Pitaya上でPythonを動かし、



CosmicWatchから来る電気信号が一定値を超えた時のみデータを記録するようにトリガーを設定した。得られたデータのうち、上下のCosmicWatch両方で波形が観測されたものについて、相互相関関数を用いて波形のずれを計算する。

各距離の



(C) TOFは、測定時や解析の過程で誤差が発生するが、中心極限定理に基づき、データの分布はガウス分布に近づく。そのため、TOFの値をヒストグラムにし、ガウス分布フィッティングを行うことでTOFの値を定めた。

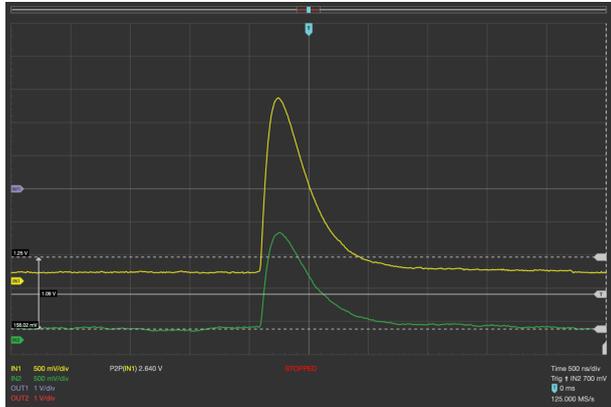


図4 測定時の接続イメージ図

図5 μ 粒子が通過した時の波形データ

RedPitayaのサンプリングレートは125MHzであるため、得られたデータは8nsごとのプロットとなる。しかし、 μ 粒子は非常に高速で運動しているため、精度向上のため、スプライン補間を使用して、0.05nsごとのデータとして扱う。

図6 スプライン補間前(左)と補間後(右)のデータ

3.結果・考察

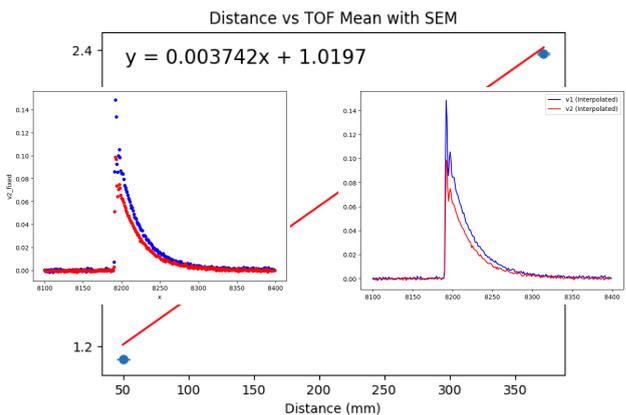
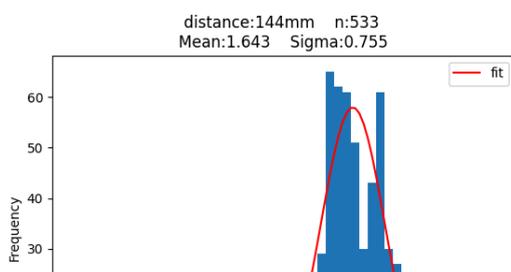
今回はCosmicWatch間の距離を50mm、144mm、372mmに設定して測定を行った。50mmのTOFのデータは正規分布に近い分布となったが、144mm、372mmのデータは分布にばらつきが見られた。これらは、取得したデータ数の違いによるものと考えられる。

図7 各距離におけるTOFの分布

(A) : 50mm、(B) : 144mm、(C) : 372mm

また、距離を横軸、TOFの値を縦軸としてデータをプロットし、その傾きの逆数から μ 粒子の平均速度 v を得た(図8)。

$$v = 2.6724 \times 10^8 \text{ m/s}^2$$



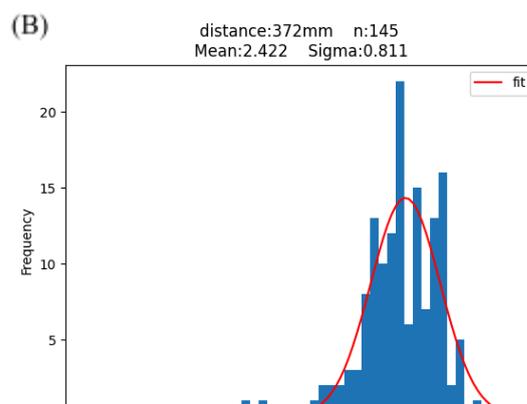
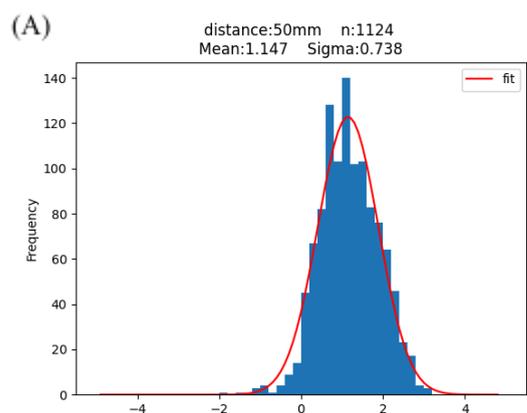
また、光速を $c=2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}^2$ とすると、得られた μ 粒子の値は、 $0.8914c$ となった。

図8 測定距離とTOFの関係

4.考察・今後の展望

宇宙線の速度は光速に近いとされており⁽³⁾、今回の測定でも $0.8914c$ という値が得られたが、光速に対して10%程度の差異が見られた。この誤差は、 μ 粒子が地表に到達するまでにエネルギーが失われ、速度が減少した可能性が考えられる。今後の研究では粒子の持つエネルギーについても議論していきたい。

現段階では144mmと372mmのデータ数が不足しており、TOFのヒストグラムの分布にばらつきが見られた。今後も測定を続け、データ数を増加させることで解析の精度を高めたい。また、測定距離を増やすことで、より高精度な μ 粒子の速度の値を算出したい。今回の結果には、 μ 粒子の入射角による測定距離への影響が考慮されていないため、測定およ



び解析の過程で発生する誤差を考慮し、結果に反映させることで信憑性の向上を図っていきたい。

5.参考文献

[1]小松成亘、羽山紀生

「宇宙線 μ 粒子の速度測定」

<https://osksn2.hep.sci.osaka-u.ac.jp/theses/soturon/yon2002.pdf>

[2]加速キッチン

<https://accel-kitchen.com/tanq-cosmicray/5>

(2024年12月13日閲覧)

[3]佐々木 俊

「宇宙線ミューオンの速さとエネルギーの測定」

http://www.nda.ac.jp/cc/radiation/sotsuken/H22_abst1.pdf