

ガンマ線やニューオンなど放射線の到来方向を精度良く安価に測れる装置の開発

猪目 祐介 (甲南大学大学院 自然科学研究科)

Abstract

シンチレーターと光センサーを組み合わせることにより高エネルギー粒子の存在を観測する事ができる。この方式を応用してガンマ線やミュオンなどの放射線を安価に観測できる装置を開発できないかと考え、開発を行った。安価でありながら高精度の観測を可能とするために、シンチレーターは感度や大きさの異なる 2 種類を組み合わせ、光センサーに関しては、マルチチャンネルプレートによって高解像度での光増幅を可能としたイメージンスフィアを使用した。また、シンチレーターとイメージンスフィアによって映像化された飛跡を CCD カメラを用いて撮像した後、その飛跡の映像から放射線の到来方向や数を解析して出力するソフトウェアも同時に開発し効率の向上を図った。その結果、実際に宇宙線の観測に成功した。本講演では観測装置の開発と観測結果について発表する。

1 可視化

宇宙線中の荷電粒子は物質を通過した際、物質中の分子や原子中の電子と反応して微弱な光を発生させる。この現象はシンチレーション現象と呼ばれており、このとき発生する光をシンチレーション光と呼んでいる。シンチレーション光は通過した粒子の周囲に発生するため、この光を捉える事ができれば光の流れた経路、つまり通過した荷電粒子の飛跡を観測する事が出来るはずである。それを確認するために今回の研究では、シンチレーション光を効率よく発生させることができるシンチレーターと呼ばれる検出器と、光電子増倍管の中でも面での増幅を可能とするイメージンスフィアと呼ばれる増倍管を用いて、飛跡を平面的に可視化する事とした。今回の研究では大きな入力面と鮮明化を両立させるために、大口径イメージンスフィアと高速ゲートイメージンスフィアの 2 種類のイメージンスフィアを用いた。

を接続して設置し、その入力面にシンチレーター検出器を、出力面に撮影用の CCD カメラを設置して観測を行う。大口径イメージンスフィアと高速ゲートイメージンスフィアを併用することにより大きな像を鮮明に捉えることができ、単体より増幅率を上げる事ができる。また大口径イメージンスフィアは増幅率が 1E2 倍固定であるが、高速ゲートイメージンスフィアは電源側でゲイン調整を行う事により約 1E2 倍 ~ 1E5 倍の増幅率に変更が可能で、観測に最適な倍率に調整しながら研究を行う事が可能となっている。

2 観測方法

シンチレーターの光のみを観測させるためと装置の保護のため、暗箱内に大口径イメージンスフィアと高速ゲートイメージンスフィア

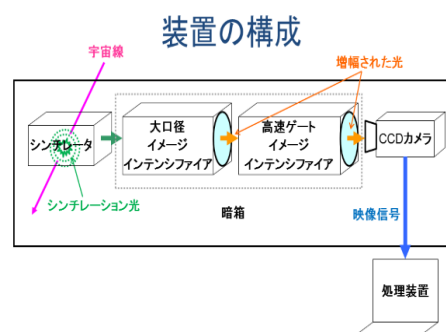


図 1: 装置の構成

3 使用装置

大口径イメージンシファイアは非常に大きい直径約 10cm の入力面を持っており、大型のシンチレーターからの光であっても損なうことなく増幅する事が出来る。光はファイバオプティクプレートを通して光電面に入射し、光電面から蛍光面に向けて 16kV の電位差で電子を打ち込むことで光量を増幅している。また構造上出力される像は上下反転している。

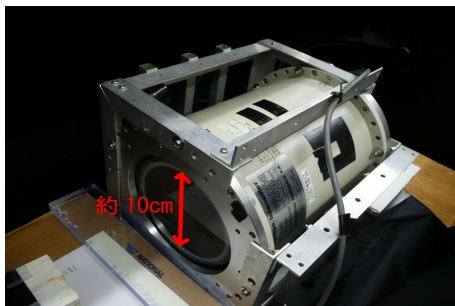


図 2: 大口径イメージンシファイア

ファイバオプティクプレート (FOP) とは数ミクロンの光ファイバを束にした光学デバイスで、光を高効率・低歪みで伝達させる事が出来る。レンズに代わる光学素子として利用されているが、レンズのように焦点距離を考える必要がないためコンパクトな光学設計が可能である。

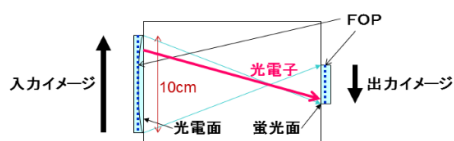


図 3: 大口径イメージンシファイアの構造

高速ゲートイメージンシファイアは、マイクロチャンネルプレートと呼ばれる面増幅型の電子倍增素子を通して増幅し、イメージのコントラストを上げて出力する事ができる。今回の研究ではゲインの変更による増幅率の調整と、高速検出によるコントラスト増加特性を利用した像の鮮明化のために用いている。

シンチレーター検出器 当初は CsI(Tl) シンチレ

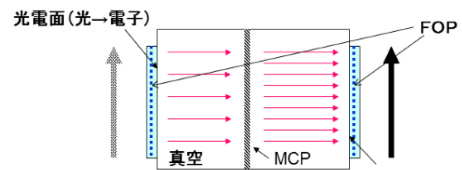


図 4: 高速ゲートイメージンシファイアの構造

ターのみで飛跡を捉える予定だったが、実際に撮影してみると飛跡がぼやけてしまう場合が多々あったため、シンチレーションファイバーの束を使用してみる事とした。しかしシンチレーションファイバーのみでは発光強度が弱くノイズにかき消されてしまい、目視ではかろうじて飛跡を判別できるがソフトウェアでの自動判別は難しいと判断した。そのため上記二つのシンチレーターについて特性を考慮し、感度の高い CsI(Tl) シンチレーターを飛跡通過の検出用として、分解能の高いシンチレーションファイバー束を飛跡の角度算出用として使用することでソフトウェアによる処理がしやすくなると考えた。また上方から飛来する荷電粒子を効率よく捉えるため、CsI(Tl) シンチレーターの上にファイバーシンチレーター束を重ねて設置し、CsI(Tl) シンチレーターからの強い光の影響を抑えるため間に 5mm 厚のボール紙を挟みこんだ物を検出器として用いる事とした。

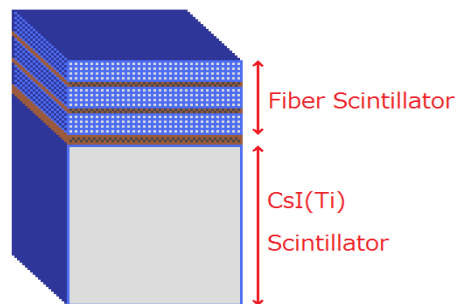


図 5: 高速ゲートイメージンシファイアの構造

4 解析ソフトウェア

今回の研究では撮影した映像の中から飛跡が捉えられている部分を探し出し、その角度を測ったうえ

で時間当たりの角度・個数を集計する必要があった。しかし一秒間に 30 枚のフレームからなる動画を手作業で確認してはかなりの時間がかかるため、撮影された映像を自動で解析するソフトウェアを開発できれば効率よく研究を進められると考え、開発を行った。その際ソフトウェアの自動性、使いやすさを求めて自分なりに以下のような動作要求を設定した。

1. 手で動画ファイルを読み込ませる手間を省くため、UFOCapture の出力先フォルダを監視し、新たに出力されたファイルを自動的に読み取る機能を付ける事。また前回の動画ファイルやその他のファイルが出力先フォルダに残っている可能性を考慮して、ソフトウェア実行段階で既にあるファイルや指定拡張子以外のファイルは無視するようにする。
2. CsI(Tl) シンチレーターは湿度に弱く観測を終えるたびに密閉された容器で保管するため、毎回シンチレーター検出器の場所は移動すると思われる。そのためソフトウェア側で読み込むシンチレーター検出器の各部位の位置情報や検出基準値、分解度の値などはソフトウェア内で固定定義するのではなく外部に設定データとして保存することで設定を引き継げるようにして、起動時に読み込む事とする。

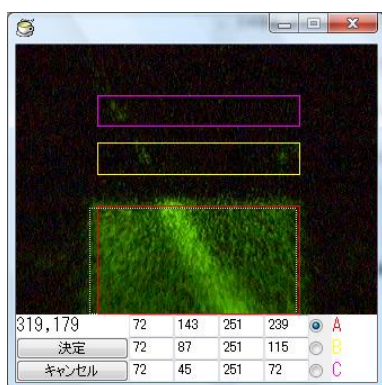


図 6: ソフトウェアから見たシンチレーターとその座標設定画面

ソフトウェアの飛跡をノイズと識別するアルゴリズムとしては、トリガとして用いる CsI(Ti) シンチレーターの X 軸方向の線的な分布を取得するだけでなく Y 方向にも走査することで各枠内を格子状に区切り、それぞれの格子内で分布の平均を算出して最高輝度を出力する方法を考えた。格子の分解度につい

てはソフトウェア実行時に任意で指定できるようにすることでノイズの状況などから最良の選択を行えるようにした。また前回まで悩まされたノイズについては下の(例図)のように、最高輝度の格子に対してその X 座標だけでなくその前後の X 座標に対して Y 方向に走査し、その個数が複数以上となる部分を密集領域と考え、その中で一番合計値の高い領域内のみで平均値を取り角度を計算することで、飛跡と離れたところに存在するノイズとの分離を行う事に成功した。

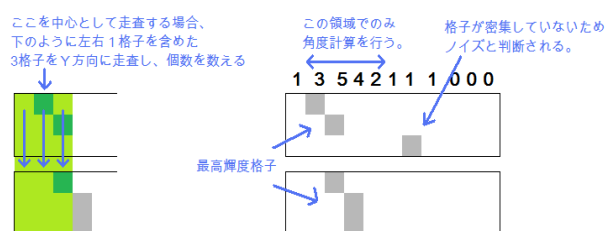


図 7: ノイズと飛跡の識別

このアルゴリズムを用いて飛跡解析のプログラムを組んだことで格子ごとの平均を取る事によりほとんどのノイズを無視でき、また無視できない大きなノイズであっても密集領域から離れている場合は読み取らずに計算を行うことが可能となった。これにより飛跡の解析精度が大きく上昇した。

5 結果

まず CsI(Ti) シンチレーターのみを用いて、荷電粒子が通過した際どのように映るかを確認した。

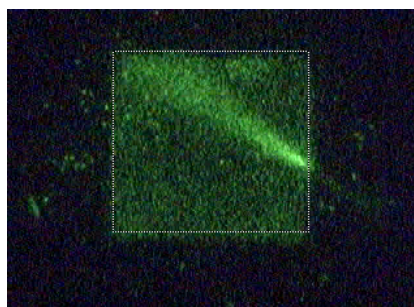


図 8: CsI(Ti) シンチレーターが捉えた飛跡

このようにはっきりと映る場合もあるが、入射した際シンチレーター自体が全体的に発光するため飛跡との境界があいまいになりやすい。また CsI(Tl) シンチレーターのような結晶体のシンチレーターのみではイメージンテンシファイアの入力面とピントが合わない事がほとんどであるため、飛跡の鮮明度が極端に落ちる。次に、シンチレーションファイバー束と CsI(Tl) シンチレーターを組み合わせたシンチレーター検出器にて飛来したミュオンの観測を行った結果と、その画像からソフトウェアの行った解析をわかりやすく可視化した画像である。

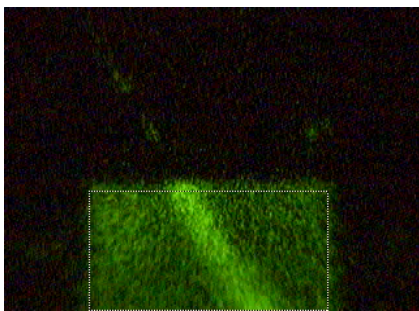


図 9: シンチレーター検出器で捉えた飛跡

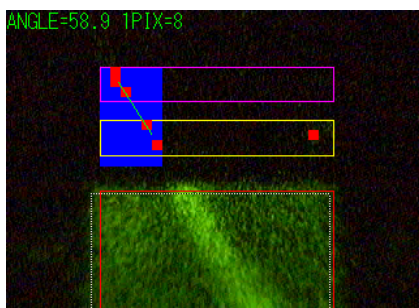


図 10: ソフトウェアによって視覚的に情報を表示した図

ファイバースンチレーター束部の枠内に複数存在する正方形が格子状に区切った中で一番輝度分布の高かった格子であり、その裏側に重ねて表示されている広い長方形が格子分布の高かった領域であり、角度計算を行う部分である。解析画像上方にある文字列は、・ANGLE=: 解析により求められた角度・1PIX=: 一辺が 8 ドットの格子を表している。上の解析画像で示すように正常に解析が行われた際には、計算で

求められたラインが実際の飛跡を追従するように表示されており、角度もほぼ正確である事がうかがえる。このように、宇宙線中の荷電粒子を観測することが可能な装置の開発に成功した。

6 参考文献

宇宙線 (小田 稔, 1972, 裳華房)

Acknowledgement

今回の研究を行うにあたって、梶野文義教授、山本常夏准教授より様々なご指導・ご指摘をいただきました。使用する機材はどういった面を重視するかや、装置を特性ごとに複数を使い分ける方法など、行き詰まった際に頂いたご助言・ご指導により最後まで研究をやり通す事が出来ました。心から感謝申し上げます。また解析のアルゴリズムで思い通りの結果が出ずに悩んでいた時や、検出器や装置の加工・設置に苦労している時などに様々な助言や励ましの言葉を下さった吉田さん、佐々木さん、同じ研究室の方々に深く御礼申し上げます。

Reference

- [1] 浜松 ホトニクス V4440U-01X/MOD 大口径イメージンテンシファイア <http://www.hamamatsu.com/jp/ja/index.html>
- [2] 浜松 ホトニクス C4078-01MOD 高速ゲートイメージンテンシファイア <http://www.hamamatsu.com/jp/ja/index.html>
- [3] UFOCapture <http://sonotaco.com/index.html>