

GRAINE 2015 年 豪州気球実験 エマルションデータ解析状況

名古屋大： ○河原 宏晃, 石黒 勝己, 大塚 直登, 北川 暢子, 駒谷 良輔, 小松 雅宏,
さこ 隆志, 佐藤 修, 長縄 直崇, 中野 敏行, 中村 光廣, 森島 邦博,
森下 美沙希, 吉本 雅浩

愛知教育大： 児玉康一

ISAS/JAXA： 斎藤 芳隆, 田村 啓輔, 濱田 要, 吉田 哲也

宇都宮大： 佐藤禎宏, 手塚郁夫

岡山理科大： 伊代野淳, 山本紗矢

神戸大： 青木 茂樹, 尾崎 圭太, 柴山 恵美, 高橋 覚, 立石友里恵, 田輪 周一,
原 俊雄, 水谷 深志, 山田恭平

1. 宇宙 γ 線観測

活動銀河核やパルサー、超新星残骸などの高エネルギー現象の観測には、星間空間磁場の影響を受けない X 線、 γ 線が有用なプローブとなる。 γ 線の観測では、最初に数 10MeV-数 100GeV 領域の感度が向上し、天体検出が可能となった。現在は、2008 年に打ち上げられた NASA の Fermi ガンマ線宇宙望遠鏡の大面積・長時間観測により 3000 以上の γ 線天体が検出され、観測データに基づいた放射源に関する議論が活発に行われている。放射源の理解には γ 線空間構造を詳細に測定することが求められるが、数 10MeV-数 100GeV γ 線の観測は他波長(電波観測、X 線観測、TeV γ 線観測など)に比べ空間分解能が悪い。 γ 線天文学をさらに発展させるためには、このエネルギー領域の観測における空間分解能を向上し、天体の精密観測を行うことが重要である。

2. 気球搭載型エマルション γ 線望遠鏡計画 GRAINE

近年使用される原子核乾板は、写真感光材料であるハロゲン化銀微結晶をゼラチン中に分散させた乳剤(エマルション)をプラスチック基板の両面に塗布した構造を持つ。これにより、低貫通物質質量($\sim 10^{-3}X_0$)かつ、サブミクロン位置精度での放射線飛跡検出を実現している。この特徴を生かし、原子核乾板中の $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$ 反応から生じる電子対を反応点直下で精密に測定することで、数 10MeV-数 100GeV γ 線の到来方向に対する角度分解能を Fermi 望遠鏡に比べ 1 桁程度改善できる。また原子核乾板は、この角度分解能を保持したまま大面積化が可能であり、デッドタイム及びデッドスペースの無い点においても理想的な検出器である。一方で、多くのエレクトロニクス検出器と異なり時間分解能を持たない点が弱点であったが、この問題を克服するためにエマルションの多段シフターが考案された。フィルムを搭載した複数のステージを異なる周期で駆動し、時刻に対応した位置関係を作り出すことで、放射線飛跡に対して一意に時刻情報を与える新しいアイデアである。この躍進により γ 線検出器の全コンポーネントに原子核乾板を使用したエマルション望遠鏡が実現可能となり、GRAINE(Gamma-Ray Astro-Imager with Nuclear Emulsion)計画が進行している。

3. 2015 年豪州気球実験の実施

GRAINE は 2011 年に原理実証を目的とするフライトを成功させ、 γ 線事象の天球上へのマッピングや大気 γ 線フラックスの測定結果を報告した[1][2]。これを受けて 2015 年 5 月にオーストラリアにおける 2 度目の気球実験を実施した。本フライトの目的は、最も明るい γ 線点源として知られる Vela パルサーをターゲットに、エマルジョン望遠鏡の天体検出性能と γ 線イメージング性能の実証を行うことである。

図 1 にフライトで使用したエマルジョン望遠鏡の構造図(左)と実物の写真(右)を示す。望遠鏡は 4 つのユニットから構成され、口径面積は 0.37m^2 (2011 年フライトの約 30 倍)を達成した。総面積 47m^2 の原子核乾板には名古屋大学で開発を行った高感度原子核乾板が導入されており、自動読取による飛跡検出効率とシグナル・ノイズ比(SN)の向上及び γ 線事象選出効率の大幅な改善が見込まれる。

フライトは 2015 年 5 月 12 日に実施され、飛行時間 14 時間 22 分、高度 36km 以上、レベル観測時間約 11 時間のフライトに成功した。回収した原子核乾板をシドニー大学において現像し、日本へ持ち帰り、読取・データ解析を開始している。

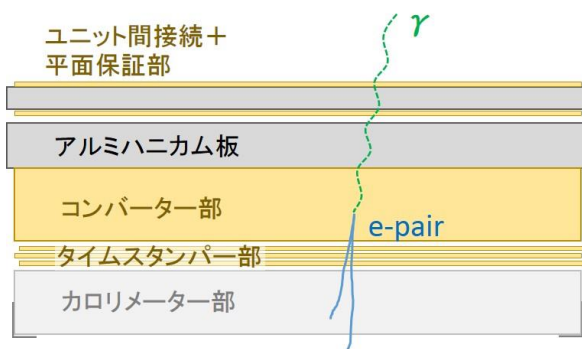


図 1. (左)エマルジョン望遠鏡の構造。

(右)2015 年フライトで使用された望遠鏡。

4. 原子核乾板の自動読取

原子核乾板の読取には名古屋大学の高速自動読取装置 HTS(Hyper Track Selector)を使用する。基板両面それぞれの乳剤層に対して 16 層の断層画像を撮影し、直線的に繋がる放射線の飛跡を選出する(詳細は[3]を参照)。HTS は従来機 S-UTS の 30 倍以上の読取速度を実現している最新機であり、GRAINE の 2015 年フライトへの導入を目標に開発が成されてきた。2015 年 6 月よりフライトフィルムの試験的な読取を開始し、同 8 月より本格的なデータ取得を開始している。以下では、9 月までに取得したフィルム 100 枚分のデータの解析状況について述べる。

5. 読出データ解析

5.1 取得データのクオリティ

自動読取装置の出力データは、基板両面の乳剤層それぞれに写る放射線飛跡の位置・角度情報及びパルスハイト(PH)である。PH とは、読取時の 16 層中のヒット層数と定義される量であり、信号強度に対応している。

図2に検出された飛跡データのPH分布を示す。フィルムに対して垂直入射($\tan\theta < 0.1$)した飛跡の内、フィルム両面の乳剤層でコインシデンスが取れた集団を用いた。2015年フライトに使用した高感度フィルムはシグナルのPHが高く、ノイズ集団の分布とはっきりと分離していることが分かる。旧来のフィルムではシグナルのPHが小さく、検出効率を確保するためにデータ取得のPH閾値(図の黒点線)を十分に下げる必要があった。このため、一次データにおいてノイズが支配的になっていた(図2右)。このSNの改善は後段の γ 線解析に対して重要な結果である。

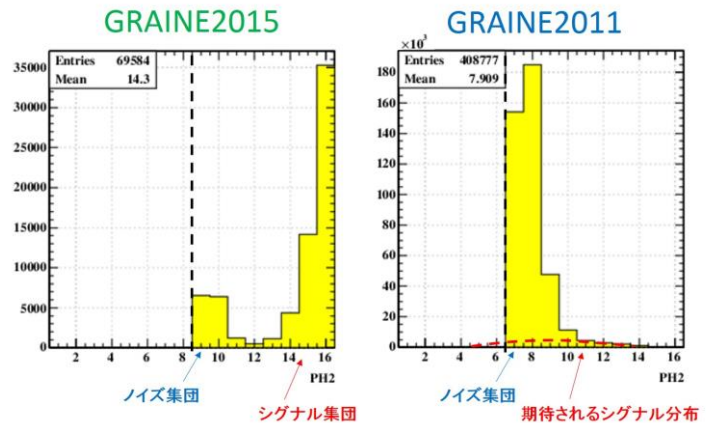


図2. 飛跡データのパルス高分布の比較。

5.2 宇宙線飛跡に対する読取検出効率の評価

フィルム一枚における宇宙線飛跡の検出効率を評価した。 γ 線事象の探索においては、電子対の飛跡検出効率と宇宙線ベト効率が重要な要素であるため、フィルムの検出効率の理解は必須である。

検出効率の評価は、図3(左)に示すように上下のフィルムをトリガーとして使い、予想される領域に飛跡が発見される確率として評価した。図3(中)は宇宙線の入射角度(天頂角)毎の評価結果である。 γ 線解析対象で主要な $\tan\theta < 1.2$ の領域で95%以上の高い飛跡検出効率を確認できた。図3(右)に100枚のフィルムの評価結果を示す。殆どのフィルムで高い検出効率を得られていることを確認できたのに対し、一部で検出効率95%を下回るフィルムが確認された。これについては、帰国後のフィルム膨潤処理過程での不具合が原因であることが確認されており、対処法を検討中である。

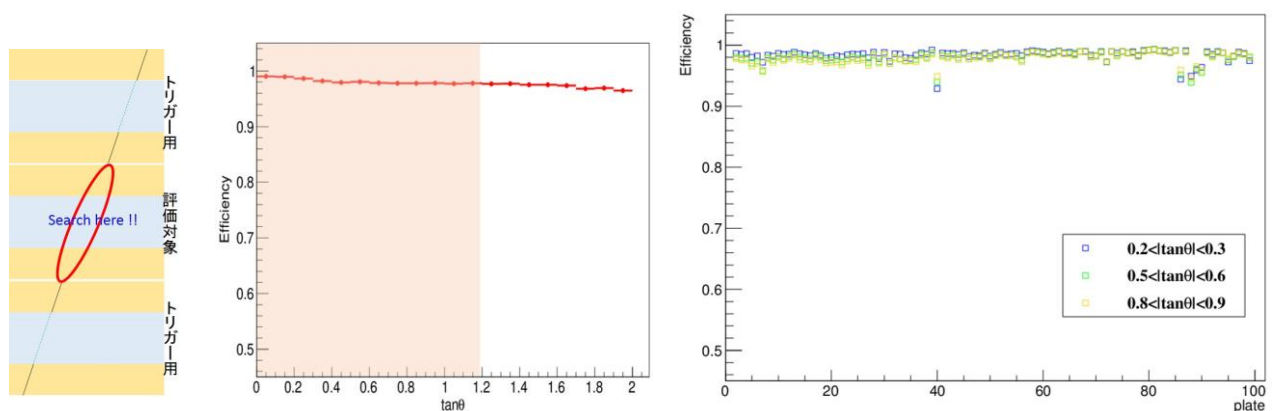


図3. (左)検出効率評価方法。(中)角度毎の検出効率。(右)フィルム毎の検出効率。

5.3 宇宙線飛跡に対する角度分解能の評価

宇宙線飛跡を用いて角度分解能を評価した。フィルム 1 枚で測定された飛跡の角度情報が γ 線解析における基礎データとなる。図 4 (左)に評価方法の概念図を示す。宇宙線の真の入射角度を知ることは不可能であるため、2 枚のフィルム間で飛跡のマッチングし、その角度差を用いて評価した。低運動量の宇宙線飛跡の混入を避けるため、上下のフィルムを用いて高運動量集団の選り出しを行っている。

入射角度毎の評価結果を図 4 (中)に示す。これにより、 γ 線解析に対して十分な角度分解能が得られていると判断できた。図 4 (右)にフィルム 100 枚分の評価結果を示す。フィルム 100 枚において解析に求められる性能が得られていることを確認した。

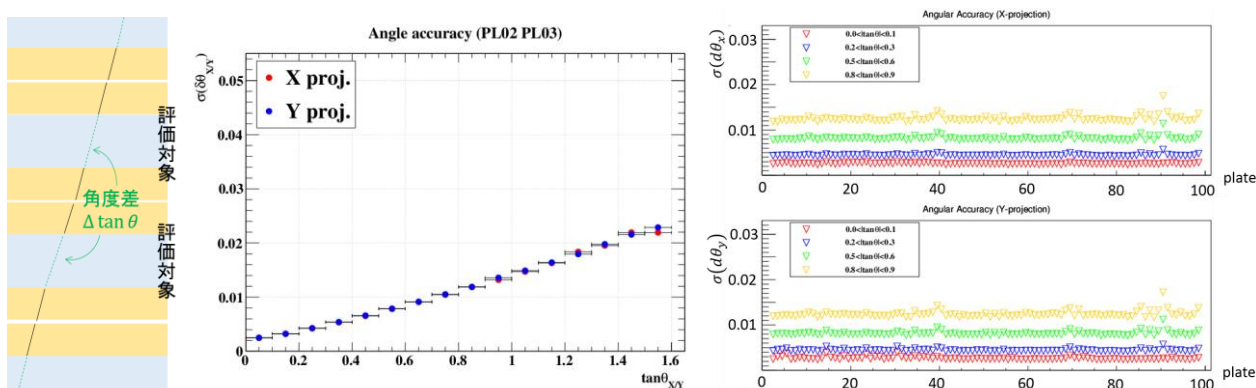


図 3. (左)角度分解能評価方法。(中)角度毎の角度分解能。(右)フィルム毎の角度分解能。

5.4 γ 線事象探索の開始

上記の結果を受け、取得データのクオリティは十分であると結論し、 γ 線イベントの探索を開始している。図 4 は選出されたイベントデータを可視化したものであり、電子対の生成が良くわかる。解析結果については系統的な評価が成され次第、順次報告していく。

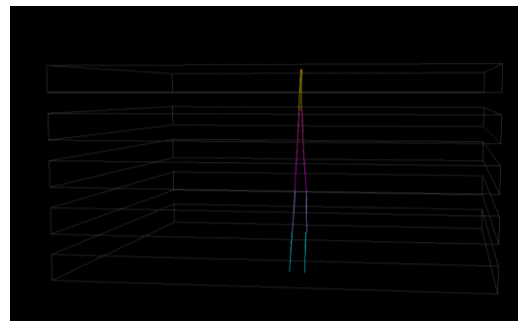


図 4. 選り出された γ 線イベント。

6. まとめ

GRAINE 計画は気球搭載型のエマルジョン望遠鏡を用いて数十 MeV-数百 GeV γ 線の精密観測を目指しており、2015 年 5 月に気球フライトを実施した。回収したフィルムを自動読取装置を用いて解析し、データのクオリティが解析に十分耐えることの確認が得られた。今後は残りのフィルム読取と並行して、 γ 線イベントの探索と時刻情報の付与、天球上へのポインティングを行っていく。

参考文献

[1] S. Takahashi et al. Prog. Theor. Exp. Phys. **2015**, 043H01 (28 pages)
 [2] 高橋寛 他, 2011~2013 年度大気球シンポジウム報告., 六條宏紀 他, 2011 年度大気球シンポジウム報告.
 [3] 吉本雅浩 他, 2015 年大気球シンポジウム報告.