

GRAINE 2015年豪州気球実験 多段シフター解析

神戸大 ○水谷深志¹ for GRAINE collaboration²

神戸大学^{1,2}、愛知教育大²、ISAS/JAXA²、宇都宮大²、岡山理科大²、名古屋大²

1. はじめに

宇宙観測は電波からガンマ線まで様々な波長で行われている。観測する波長によって宇宙は異なる姿を見せ、異なる情報を我々に提供する。最もエネルギーの高い電磁波であるガンマ線で観測すると、超新星残骸やパルサー、ブラックホールなどの高エネルギー天体やガンマ線バーストなどの高エネルギー現象についての知見が得られる。現在、sub-GeV, GeV帯域のガンマ線観測はFermi-LATがリードしている。Fermi-LATは4年間の観測で3000を超えるガンマ線天体を発見するなど多くの成果を挙げ、宇宙ガンマ線の観測をガンマ線天文学と呼べる段階にまで発展させた。しかし、その一方でFermi-LATの角度分解能は他波長の観測と比較して充分であるとは言えず、ガンマ線天文学を次のステージに導くことができる次世代のガンマ線望遠鏡が望まれている。

2. GRAINE豪州気球実験

1. エマルション望遠鏡によるガンマ線精密観測計画:GRAINE

10MeV以上のエネルギーのガンマ線の観測では対生成で生じた電子対の飛跡を精密に観測することが肝要である。そこで我々は最も高い空間分解能をもつ飛跡検出器である原子核乾板に注目している。原子核乾板の空間分解能を利用することでガンマ線に対してFermi-LATを上回る角度分解能と未だ実現されていない偏光に対する感度が期待される。我々は原子核乾板を多数積層させることでエマルション望遠鏡を構成し、科学観測気球に搭載して宇宙ガンマ線の精密観測を目指す実験をGRAINE計画として推進している。

2. タイムスタンプ：多段シフター

原子核乾板は積分型検出器であるため、本来時間情報を持たない。しかし、時々刻々と変化する天球に対する検出器の姿勢を時刻毎に決定し、ガンマ線を天球上にポインティングするためにはガンマ線の到来時刻を決定する必要がある。そこで我々は原子核乾板を用いたタイムスタンプとして多段シフターを採用している(図1,2)。多段シフターは複数のステージに原子核乾板を貼付けて使用する。それぞれのステージを異なる周期で駆動させ、時刻に対して独立なステージ位置関係を構成する。解析時には各ステージに貼付けられた原子核乾板に記録された飛跡をステージ間でつなぐ際に生じる位置ずれ dx から荷電粒子貫通時のステージの位置関係を再構成し、貫通時刻を得る。多段シフターは神戸大博士研究員の高橋によって提案され^[1]、名古屋大博士研究員の六條によって実用化された^[2]タイムスタンプ手法である。多段シフターは高い信頼性と効率、低運動量閾値、高電不要・低消費電力、軽量、コンパクト、大面積化可能など気球実験に最適な特徴を併せ持つタイムスタンプ手法である。

3. 2015年 豪州気球実験

GRAINEは2011年に行った原理実証試験の結果に基づき、2015年5月にオーストラリアにおいて2度目となる気球実験を行った。本実験ではガンマ線で最も明るい天体であるVelaパルサーをターゲットとして、世界初の原子核乾板による天体観測を行うことを目的とする。Velaパルサーはガンマ線の角度分解能に対してほぼ点源と見なすことができるため、その観測を通してエマルション望遠鏡の結像性能を評価することができる。Velaパルサーの正体は高速回転する中性子星であり、89ミリ秒を1周期として2度のパルス放射を含む規則的なガンマ線放射を繰り返す。本試験では多

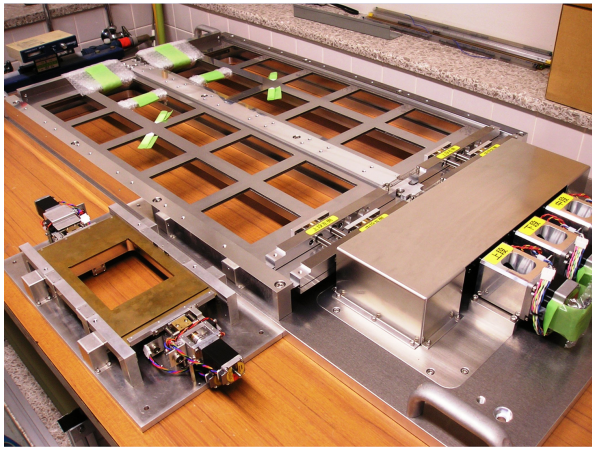


図1. 多段シフター1号機(左)と2号機(右)

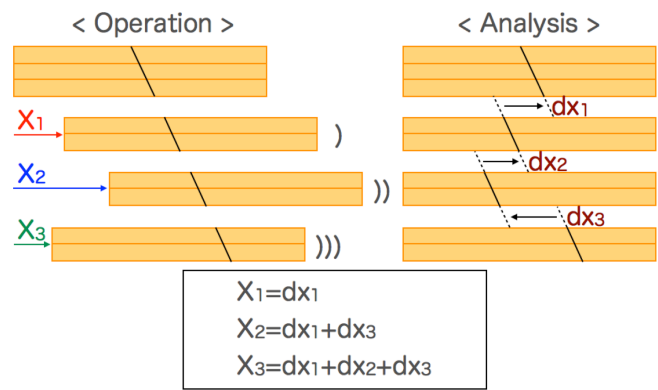


図2. 多段シフター概念図

段シフターのオペレーションを時間分解能を追求するものへと改良することで、Velaパルサーの位相分解を目指す。

3. 多段シフター解析

1. 多段シフターのオペレーション

多段シフターによるタイムスタンプの時間分解能 δt は下段ステージの位置決定精度を δdx 、下段ステージの駆動速度を v として $\delta t = \delta dx / v$ で与えられる。本実験では時間分解能を追求した高速駆動モード($v = 500 \mu\text{m/s}$)とガンマ線の到来方向の決定に必要な最低限の時間分解能を実現する低速駆動モード($v = 10 \mu\text{m/s}$)を併用した。図3に高速駆動モードにおける各ステージのオペレーションの一例を示す。低速駆動モードの際には下段ステージの駆動速度が1/50となり、それに応じて上段・中段の駆動周期も1/50となる。これまでの多段シフターの動作試験の結果から、低速駆動モードで $\delta t \sim 0.5$ 秒、高速駆動モードで $\delta t \sim 0.01$ 秒程度の時間分解能を見込んでいる。放球直後から低速駆動を開始し、Velaパルサーがエマルジョン望遠鏡の 45° 視野に入る30分前から高速駆動モードへ切り替えた。高速駆動モードはオペレーション終了まで継続した。

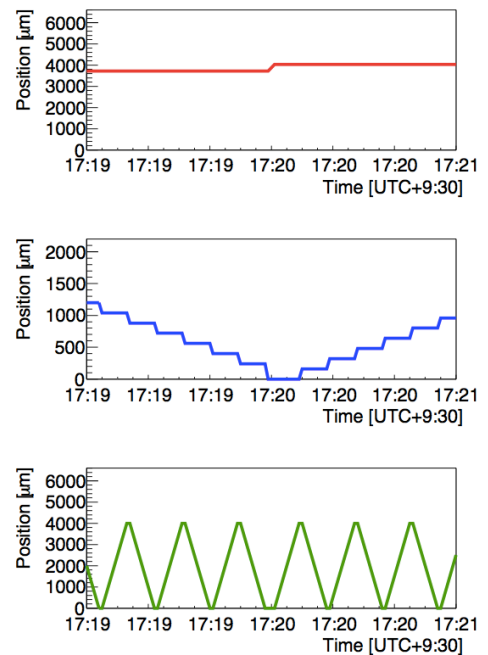


図3. シフターオペレーション

2. 機械的動作の健全性

フライト時の多段シフターの動作の健全性はステッピングモーターに送ったパルス数で評価する。ステージ送り出し時のパルス数と引き戻し時のパルス数の差分を機械的な駆動再現性として定義し、時刻毎の変化を図4に示す。点の密度の違いはオペレーションの違いを反映している。この結果から、全観測時間に渡って $1 \mu\text{m}$ 未満の高い再現性で動作していたことが確認できた。

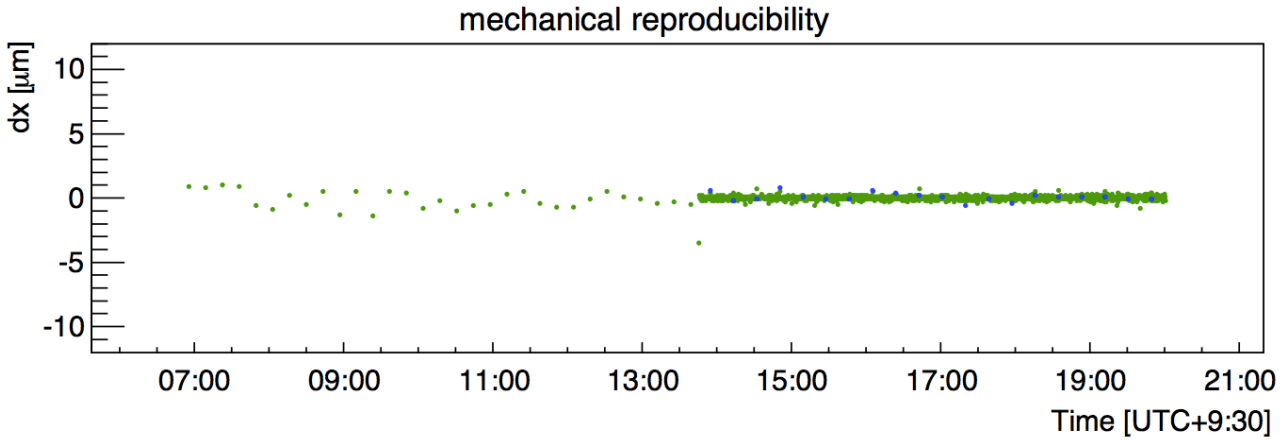


図4. 多段シフターの機械的駆動再現性

3. 本体-上段間の飛跡つなぎ精度

名古屋大学F研究室が所有

する高速飛跡読み取り装置 HTSを用いて、多段シフターに貼り付けたフィルムの一部を試験的にスキャンし、解析を行った。図5上段はコンバータ最下流フィルムとシフター上段ステージフィルムの間でつながる飛跡について飛跡間の位置ずれを横軸に取ってヒストグラムを描いたものである。コンバータと上段ステージ間の飛跡の位置ずれ量は上段ステージの駆動量に対応し、各ピークの高さはそれぞれの位置でのステージの停止時間に対応する。一番高いピークは低速駆動モードを

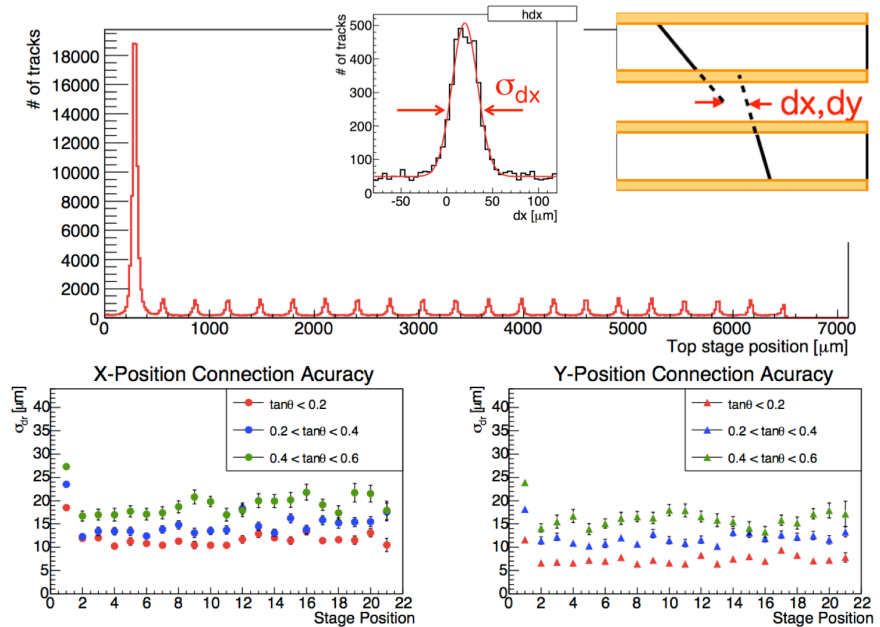


図5. コンバータ-上段ステージ間のつなぎ精度の時間変化

下段のグラフは駆動方向(X方向)と直交方向(Y方向)についてのつなぎ精度をステージ位置、角度毎に評価した結果を示す

含む7.3時間の蓄積集団であり、複数の低いピークは高速駆動モード時の16.7分の蓄積集団である。観測時に蓄積した飛跡のデータのクォリティを評価する指標の一つとしてつなぎ精度がある。つなぎ精度は評価対象の飛跡集団の位置ずれヒストグラムを描いた際の広がりとして定義する。多段シフターの情報を使って観測時の飛跡を時間毎に分割し、それぞれの時間帯について角度毎につなぎ精度を評価した結果が図5下段である。横軸は上段ステージの位置であり、ステージ位置の変化は時刻の変化に対応する。このグラフから全観測時間を通して角度毎におおむね一樣なつなぎ精度が得られた。

