

GRAINE2018：姿勢モニタースターカメラの報告

○丸嶋 利嗣, 中村 崇文, 青木 茂樹, 高橋 寛, GRAINE collaboration^{abcd}

神戸大, 愛知教育大^a, ISAS/JAXA^b, 岡山理科大^c, 名古屋大^d

1. はじめに

宇宙ガンマ線の観測は高エネルギー現象を理解する上で非常に強力な手段となりうる。私たちは空間分解能に優れたエマルジョンフィルムを用いることで、ガンマ線に対して、高角度分解能で偏光感度のあるエマルジョン望遠鏡を開発し GRAINE 計画として推進している。2018 年 4 月にガンマ線天体撮像による望遠鏡の総合性能実証を目的とした、GRAINE2018 を Australia , Alice Springs で行った。

2. 姿勢モニタースターカメラ

天球に対するガンマ線の到来方向を決定するために望遠鏡の姿勢情報を得る必要がある。要求性能として昼夜問わず動作すること、望遠鏡の角度分解能に比べ十分良い精度で姿勢をモニターすることがあげられる。我々はこの要求を満たすべくデイトイムスターカメラを採用している。前回気球実験である GRAINE2015 では方位角方向 90 度ずつずらしてカメラを 3 台搭載しフライトに臨んだ。結果として輝度値の時間変化を図 1 に示す。

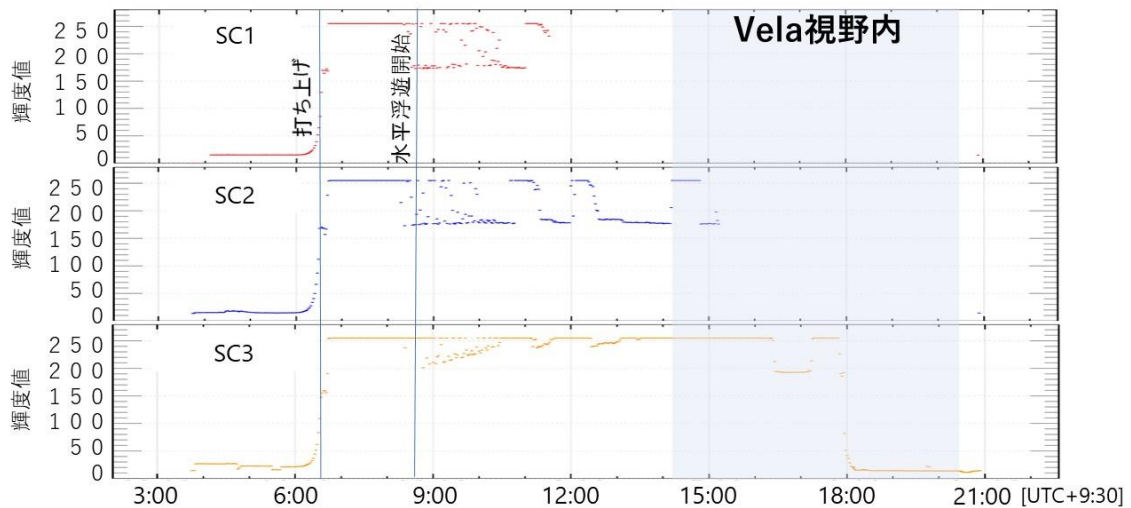


図 1. 各カメラの平均輝度値の時間変化

Vela が視野内に入る前に SC1 がディスクエラーにより停止、さらにタイマーシャットダウンの誤設定により SC2 が Vela 観測開始の 1 時間後にシャットダウンした。SC3 は観測期間を通して撮影を続けたが、セットアップ起因と考えられる飽和時間の増大が見られた。これらから Vela 視野内において有効画像取得が 60% にという結果になり、これは GRAINE2015 全体において比較的大きなロスとなった。この結果を受けて課題を明確化し改善を行った。

2. GRAINE2018

角度精度 $\sim 1\text{deg}$ で Vela パルサーをイメージングすることが GRAINE2018 の狙いとなる。前回の 10Hz \sim のデータ取得により、 $\sim 0.001\text{deg}$ の視線決定精度が達成されており、今回は安定運用および Vela 観測時間における定常的な姿勢決定が改善として求められる。そこで飽和時間の増大に対して「カメラ取付の改善」、撮影の中断に対して「システムの堅牢化」、これら 2つを主な改善として行った。

・「カメラ取付の改善」

2015, 2018 のセットアップの比較を図 2 に示す。



図 2. GRAINE2015 ペイロード(左), GRAINE2018 ペイロード(右)

赤破線で囲まれているのが迷光除けフードを含むスターカメラである。前回セットアップではフードをトラスにクランプで固定しており、フライト中に視線方向とフードの関係が変わった可能性がある。また視線方向付近にあるシェルが散乱体として影響を与えた可能性がある。これらを受けて GRAINE2018 では機械的により強固なセットアップとし、視線方向にシェルが存在し得ないマウントに変更した。

・「システムの堅牢化」

前回は各カメラに SSD を 1 台搭載し、システムとストレージを兼用していた。そこで改善としてシステム部とストレージ部を分離し、システムディスクにはより信頼性のある SLC のディスクを採用した。さらにストレージディスクを各カメラ 2 台ずつ搭載し、フライト途中でも切り替えられるように冗長化を図った。さらに地上からスターカメラシステムを制御できるように電源制御ラインも新たに増設しシステムの堅牢化を図った。これらを組みこんだ新システムを構築し、JAXA 恒温恒圧槽での環境試験など国内で様々な準備試験を行った。2018 年 3 月より現地での準備を開始し、最終セットアップおよびピント合わせを行い、4 月 26 日のフライトに臨んだ。

・フライト結果

フライト結果として各カメラの輝度値時間変化、および SC1 の取得画像を図 3 に示す。

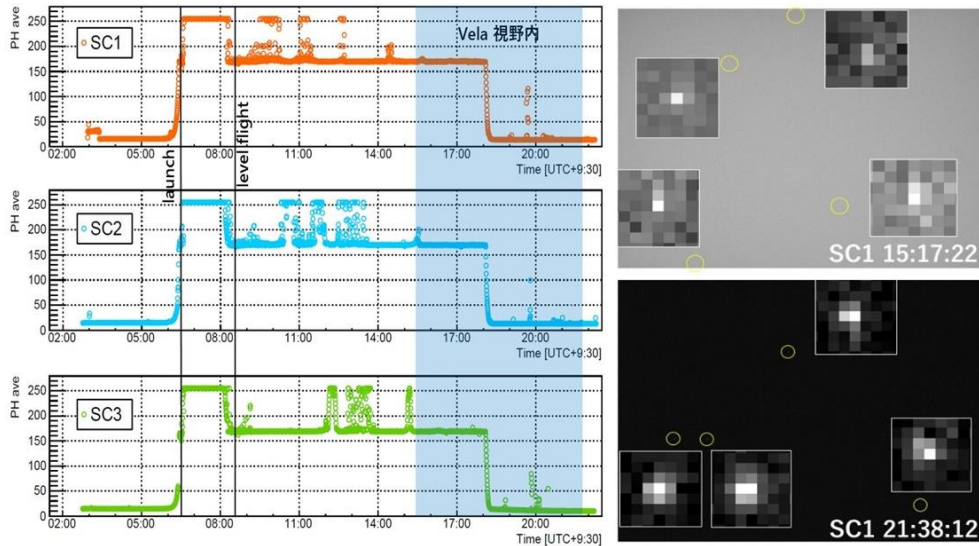


図 3. GRAINE2018 各カメラの平均輝度値 SC1 の日没前画像(右上)、日没後画像(右下)

観測時は常時フレームレートや平均輝度値などをモニタリングし、アラート体制を敷いて臨んだ。3 台共にフライト終了までフレームレートを保ったまま安定運用を達成した。さらに Vela 視野内において輝度値が飽和している時間がなく、日中でも常時少なくとも 2 台は有効なフレーム取得を行うことができた。また生画像レベルで日没前、日没後ともに星を複数確認することができ、視野欠損もなくレベルフライト全期間にわたって解析可能なフレーム取得に成功した。

4. フライトデータ解析

得られたフレームから星ピクセルを抽出し、スターカタログと対応づけ各カメラの視線方向(方位角、仰角、光軸周りの回転角)を決定した。Vela 視野内における方位角および仰角の時間変化、精度について SC1 の解析結果を図 4,5 に示す。

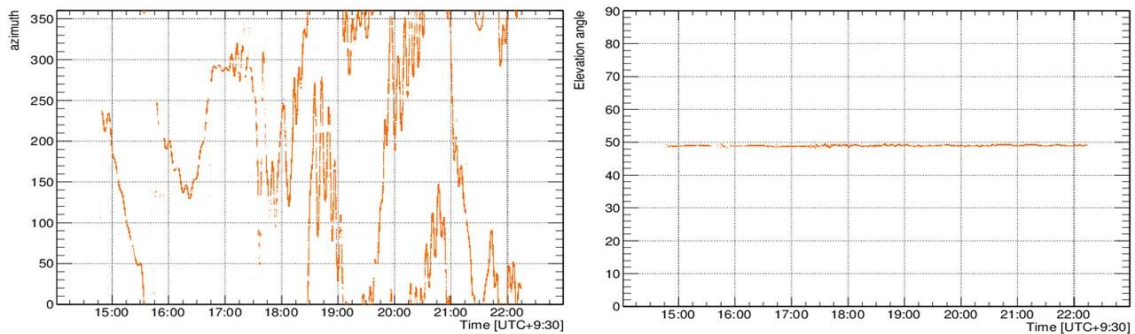


図 4. SC1 の方位角(左)、仰角(右)の時間変化

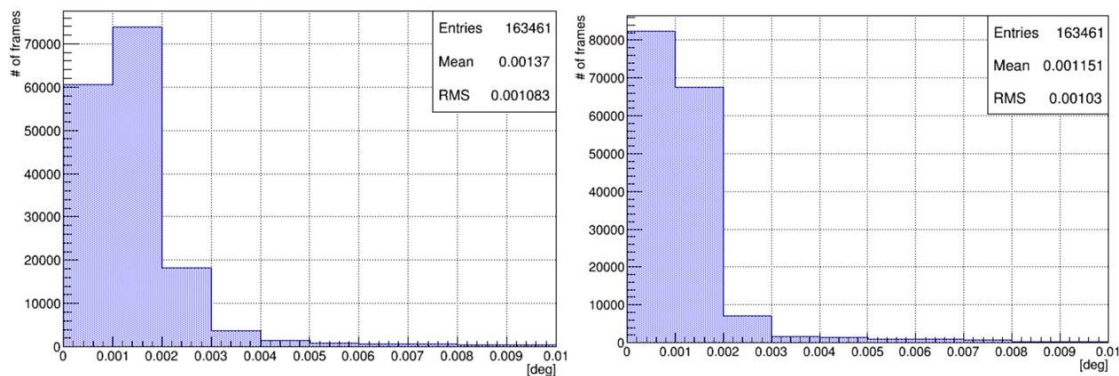


図5. 方位角(左)、仰角(右)の視線決定精度

Vela 観測時間において SC1 のみで~66%の視線決定に成功した。また方位角、仰角の視線決定精度を撮影画像と星カタログの残差から求めた。どちらも~0.001deg の精度を達成しており、エマルジョン望遠鏡の目指す角度分解能(~0.1deg)に対して十分良い精度での視線決定に成功した。また方位角の時間変化からゴンドラの回転速度を求め、~0.3deg/s という値が得られた。10fps で撮影していることから視線方向の決定に問題ない値である。同様の解析を SC3 台において行っており、Vela 観測時間各カメラ独立に 6~7 割の視線方向の決定ができている。3 台を組み合わせて 96%の姿勢決定ができる見込みをたてた。現在は星を 3 つ以上認識できたフレームを使ってマッチングを行っており、星 2 つでのマッチングや、さらにフレーム間の情報を使うことでさらなる改善が見込まれると考えている。

5. まとめと展望

GRAINE2015 において姿勢モニターとして搭載した 3 台のスターカメラにおいて、ディスクエラー、タイマーシャットダウンの誤設定、セットアップによる飽和時間の増大の不具合が生じ、Vela 観測時間において姿勢決定できた時間が 60%にリミットされた。GRAINE2018 ではディスクの冗長化等によるシステムの堅牢化、散乱体を考慮した最適なセットアップを上記の問題の対策とし、様々な準備試験を経て気球実験へと臨んだ。3 台全てのフライト運用を完遂し、レベルフライト全期間にわたって 3 台共に解析可能なフレーム取得に成功した。現在フライトデータ解析を進めており、Vela 観測時間において 3 台の組み合わせで~96%の姿勢決定を見込めており、GRAINE2015 から大きく改善した。また視線決定精度においても~0.001deg とエマルジョン望遠鏡の目指す角度分解能(~0.1deg)に対して十分良い精度を達成した。今後望遠鏡の姿勢決定を行い、エマルジョン座標とつきあわせ天球上へのマッピングを行う。

参考文献

GRAINE collaboration(エマルジョンガンマ線望遠鏡グループ)2004-2018 年度大気球シンポジウム報告