## GRAINE計画と2018年気球実験 高橋覚(神戸大) for GRAINE collaboration <sup>愛知教育大学、ISAS/JAXA、岡山理科大学、神戸大学、名古屋大学 PI: 青木茂樹(神戸大)</sup>

GRAINE 2018, JAXA Scientific balloon @ BLS Alice Springs Australia, 6:30AM 26<sup>th</sup> April (ACST)

All-sky map by Fermi Gamma-ray Space Telescope using nine years of data collected from 2008 to 2017

Image credit: NASA/DOE/Fermi LAT Collaboration

>5000 sources (FL8Y)





2011年度気球実験 エマルションガンマ線望遠鏡の 初めての気球実験





#### 初めての気球実験、実現可能性の実証



### 2015年気球実験

放球地点 日時:5月12日午前6時03分JST 場所:アリススプリングス気球放球基地 着地地点 日時:5月12日午後8時25分JST 場所:クイーンズランド州ロングリーチの 北方約130km地点

**飛翔時間** 14時間22分

Flight duration: 14hour22min (11hour32min(約7倍) @36.0-37.4km) image©JAXA

ロ径面積3780cm<sup>2</sup>(約30倍) ミリ秒オーダー時間分解能(約1/10倍)

Launched, 6:33 12<sup>th</sup> May 2015 実験設計、様々な改良・準備、気球実験 オーストラリアでの気球実験体制を確立

Image©JAXA

S. Takahashi et al., PTEP 073F01 (2016); K. Ozaki et al., JINST 10 P12018 (2015)

## 2015年気球実験のまとめ

- 口径面積3780cm<sup>2</sup> (約30倍,新型エマルションフィルム,総面積48m<sup>2</sup>)
- フライト時間14.4hour (11.5hour@36.0-37.4km (約7倍))
- オーストラリア気球実験 scheme & flow を確立
- JAXA豪州大気球実験の先行実験としての役割を果たした
- 飛跡読み出し総面積41m<sup>2</sup> w/ HTS
- エマルションフィルムのS/N比~20倍、データサイズ~20分の1
- フィルムあたりの飛跡inefficiency~10分の1
- ・ガンマ線事象検出のためのデータリダクションロード~200分の1
- 全有効面積データ処理 口径面積2830cm<sup>2</sup> (総面積30m<sup>2</sup>)
- ガンマ線結像性能<~1.0deg cf. 角度分解能1.0deg@100MeV</li>
- ・ 全フライト時間(6:30 20:00)にわたるタイムスタンプ
- •時間分解能9.8ミリ秒(約7倍)
- スターカメラ限界等級改善 6.1→7.5等級

#### 2011年気球実験から大きく前進

H. Kawahara, et al., KMI 2017, https://pos.sissa.it/294/059; H. Rokujo, et al., PTEP 063H01 (2018); F. Mizutani et al., NIMA (Submitted).

2015年気球実験 Vela Pulsarからのガンマ線を有意に検出する。

2018年4月JAXA豪州気球実験

<u>有効面積・有効時間拡大およびBG低減の展望</u>

- ・スターカメラの堅牢性強化→有効時間 1.77倍
  - データストレージの冗長化、エラーからの復帰可能なシステム
- ・エマルションフィルムの安定性確保→有効面積 1.33倍

望遠鏡の総合的な性能実証を目指す

目標結像性能: 1deg (>100MeV)

- ・製造および処理処方の最適パラメーター確立
- ・シフターセットアップの確立→有効面積x有効時間 1.33倍

・フィルム搭載条件の最適化

・シフター動作パラメータの適正化→BG 1/2倍



(実効値5倍)

# 2018年気球実験

Google Earth Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO Image Landsat / Copernicus

Alice

Flight duration: 17.4h (21%个). Sydney Level flight @38.1 – 35.4 km: 14.7h (28%个) Fully covered Vela pulsar in 45 deg zenith (10%个)

anokn

reac

 ✓ 望遠鏡(多段シフター、スターカメラ3台、与 圧容器)の安定運用を達成
✓ 回収成功(4/27 Longreach)
✓ 現像を無事に完了(4/29 – 5/13 @U Sydney)



GRAINE 2018, JAXA Scientific balloon @BLS Alice Springs Australia, 6:30AM 26<sup>th</sup> April (ACST)





#### GRAINE 2018, Flight data analysis, Timestamper, Timestamping



#### GRAINE 2018, Flight data analysis, Attitude monitor

![](_page_13_Figure_1.jpeg)

![](_page_14_Figure_0.jpeg)

GRAINE 2018, Flight data analysis, Timestamper+Attitude monitor 姿勢付飛跡 到来方向分布 in 地平座標  $tan heta_{北南}$ (仰角→天頂角) 22000 U3A7, U4A6 天頂角<45° of Tracks 0.8 <mark>45°</mark> 20000 0.6 18000 30° 16000 0.4 **40**1.05)<sup>2</sup> 14000 0.2 601 12000 九 0 301 , 20deg **0008** 0008 -0.2 -0.4 201 6000 of Tracks / -0.6 4000 101 南 -0.8 2000 0, -1--0.8 -0.6 -0.4 -0.2 0 0.2 0.4 0.6 0.8 50 350 100 150 200 250 300  $tan \theta_{{f R}{}_{{f B}}}$ 方位角 北 東 南 西 東西効果を確認 エマルション系ー姿勢系がつながり始めた

# フライトデータ解析状況および見通し

エマルション部

時刻付与多段シフター 時刻再構成処理 ガンマ線コンバーター 姿勢監視スターカメラ 4段、2,2,2,3枚/段(計9枚)x4ユ <u>エマルション積層</u> 姿勢決定処理 ニット(計36枚)、13stp x16stp ガンマ線事象検出処理 6.3x10<sup>5</sup> frames (420GB) x3台 x1500um-strk (状態数~3x10<sup>4</sup>, δt~1 取得画像確認、星結像性能確認(0.6pixel→0.003deg)、 秒@Vela観測運用(最終段10um/s)) 100枚 x4ユニット(計400枚) 限界等級確認(7.95等級@K型)、視線決定処理、視線 表面銀取り、膨潤条件だし(フライトフィルム(予備ユニット))、ス 表面銀取り、膨潤条件だし、スキャン条件だし、膨潤、ス 決定率、視線決定精度、視線変化速度確認 キャン条件だし(膨潤率、膜厚、スキャン厚、フィルター周波数、 キャン、飛跡再構成、飛跡再構成精度、飛跡検出効率、 (0.4deg/sec(回転))、決定視線フィルタリング(連続性、 2値化閾値)、膨潤処理、スキャン(12エリア/枚、スキャンフィル エリア合体処理、ガンマ線事象検出処理、Follow down、 GPSデータ取得時)、視線決定フレーム間線形補完条 ムorエリアごとに膜厚、スキャン厚、フィルター周波数、2値化閾 運動量測定、平面保持フィルムによる補正処理、検出器 件だし(0.1deg w/ 10sec @地平方位角)、3台間の時間 値を最終調整)、pilot段間・段内飛跡再構成、段間ギャップ確認、 内ハドロン反応起因ガンマ線を確認、検出器外放球プ 合わせ(~10msec)、3台間の軸合わせ、姿勢決定処理、 再構成飛跡による多段シフター動作確認、ハドロン反応を確認、 レートからのガンマ線を確認 飛跡再構成の条件だし(固・上・中・下段間、固・上・中段内、上 姿勢決定率(99.0%)、姿勢決定精度(0.02deg@地平方 段ステップごと(部分的に上段ステップx中段ステップごと)、精度、 位角) ユニット3・4、済 再構成軸見直し(LR)、チャンスコインシデンス率、検出効率)、フ 姿勢決定率98.9% w/i ユニット1、70% 2、30% ライト時・非フライト時の飛跡の識別・除去、飛跡再構成、下段 ストロークエッジ評価(エッジ、なまり、安定性)、エリア結合処理、 0.02deg @Vela観測時間帯 処理済75% (3/4) 飛跡時刻付与 ユニット2・3・4、1(/12)area済 ユニット1、4(/12)area済 データ処理+確認 処理済15% (7/48) ~半年 ガンマ線事象に時刻付与 時刻付エマルション事象に pilot時刻付与 姿勢付与 時間合わせ(Sh-SC<~60msec)、付与 率99.0%(時刻付エマルション飛跡 ベース)、東西効果を確認 ガンマ線天球到来方向決定

科学観測実験 ロードマップ Takahashi, Aoki et al., ASR 62 (2018) 2945 2018年4月, 総合性能実証 2021-, 科学観測 Alice Springs Alice Springs Alice Springs 6, 78 ~0.4 m<sup>2</sup> aperture 74X4 balloon ~18 hours flight duration 10 m<sup>2</sup> aperture >~36 hours flight duration <~5 g/cm<sup>2</sup> altitude <~10 g/cm<sup>2</sup> altitude Pioneering polarization Vela pulsar observation for high Polarization observation (<50%) energy γ-rays SNR W44 (<200MeV, >200MeV) Studying cosmic ray Velaパルサーの検出 Precise spectrum measurement sources 精密撮像、 High resolution imaging 位相分解解析study、 銀河面放射、Gemingaを **Galactic Center** Resolving GeV γ-ray 検出もしくは兆候を捉える Obs. with ~arcmin resolution excess at galactic center Test of fundamental symme<mark>tries beyond the Planck scale</mark> 目標結像性能1deg(>100MeV) Transient sources Studying transient Obs. w/ high sensitivity sources & w/ ones & high photon stats GRPとの相関探索、GeV γ-ray Pair Halo探索→IGMFを制限

![](_page_18_Figure_0.jpeg)