

## GRAINE2018：与圧容器ゴンドラの開発とフライト結果

名古屋大学 ○小宮山 将広, 大塚 直登, 岡田 晟那, 河原 宏晃, 駒谷 良輔, 小松 雅宏, 佐藤 修, 杉村 昂, 鳥井 茉有, 長縄 直崇, 中野 敏行, 中野 昇, 中村 光廣, 中村 悠哉, 西尾 晃, 丹羽 公雄, 宮西 基明, 森下 美沙希, 森島 邦博, 吉本 雅浩, 六條 宏紀

愛知教育大学 児玉 康一

ISAS/JAXA 池田 忠作, 濱田 要

岡山理科大学 伊代野 淳, 松川 秋音, 山本 紗矢

神戸大学 青木 茂樹, 尾崎 圭太, 小田 美由紀, 呉坪 健司, 佐藤 良紀, 柴山 恵美, 鈴木 州高橋 寛, 立石 友里恵, 中村 崇文, 中村 元哉, 原 俊雄, 松田 昌汰, 松本 稔樹, 松本 明佳, 丸嶋 利嗣, 水谷 深志, 藪 美智, 山田 恭平, 山本 知己

### 1 はじめに

天体での粒子加速に伴い生じるガンマ線は、磁場の影響を受けず空間を直進するため、宇宙ガンマ線観測は、宇宙の高エネルギー事象を研究する上での重要なプローブの一つである。GeV 帯のガンマ線観測は、2008 年に打ち上げられたフェルミ衛星が全天観測を行い、5000 以上ものガンマ線天体を検出した。フェルミ衛星の観測結果からガンマ線による天体の観測数は大幅に向上した。さらに、それまでの GeV 帯のガンマ線観測実験と比較して高い角度決定精度を持ち、各天体のイメージング画像の高解像度化にも成功した。しかし、ガンマ線天体観測においてはまだ課題が残っている。一つはフェルミ衛星の検出器構造ではガンマ線の偏光観測が不可能という点である。もう一つは、フェルミ衛星によって観測された天体のおよそ 3 割が他の波長域との対応が取れない未同定天体であるという事である。このような未同定天体は拡散成分や天体が複雑に密集している銀河面領域に集中しており、この帯域の観測は他波長域に比べて角度分解能が劣っているために天体の分離が上手く出来ていない。そのためガンマ線天体観測において、統計量の改善だけでなく観測データの質的な向上が求められている。

### 2 GRAINE 計画

GRAINE 計画は優れた空間分解能をもつ飛跡検出器である原子核乾板からなるエマルション望遠鏡を気球に搭載し宇宙ガンマ線の精密観測を行う計画である。原子核乾板とは直径 200 nm の臭化銀結晶がゼラチン中に充填されたもので、結晶中を荷電粒子が通過すると臭化銀結晶中の銀イオンは銀に還元される。これに現像処理を施すことでサブミクロンの銀粒子の連なった 3 次元的な飛跡として読み取ることができる。10 MeV～数 10 GeV ガンマ線が乾板内で起こす電子対生成反応を精密測定する事で、フェルミ衛星と比較して 1 桁近く優れた角度分解能を実現し、ガンマ線の直線偏光に対する感度も持つ。エマルション望遠鏡は、コンバータ、タイムスタンプ、姿勢モニタからなる。コンバータは原子核乾板を 100 枚積層させたエマルションチェンバからなっており、コンバータで電子対生成反応の飛跡 (角度情報、エネルギー情報、偏向情報) を検出し、事象に対して、タイムスタンプで入射時刻を付与し、姿勢モニタの情報から天球に対する飛来方向を決定することができる。初めてのフライトである 2011 年の気球実験では、これらの連動試験を成功させ、気球高度におけるガンマ線の飛来方向の決定までの原理実証を成功させた。2015 年の豪州気球実験で

は、望遠鏡の大幅な改良や性能実証を達成したが、一部の不具合によりガンマ線天体の検出には至らなかった。ガンマ線天体 Vela pulsar(角度分解能  $1.0^{\circ}$  @100MeV) を有意に検出し、望遠鏡の総合的な性能実証を目的として、2018 年 4 月に豪州にて気球実験を行った。

### 3 風船式与圧容器ゴンドラ

風船式与圧容器(図 1) はエマルションチェンバを真空パックする目的で、2015 年実験で初めて開発・導入した。真空パックのメリットは、平面性の確保、スリップ現象の防止、湿度の保持、フィルムの保護などがあげられる。真空パックを十分に維持するためには、隣り合うフィルムに  $1^{\circ}\text{C}$  の温度差があった場合の伸縮を十分に押さえつける圧力として 100 hPa 以上の圧力を観測時間全域にわたって保持することが要求される。

我々の用いる風船式与圧容器は、内側のバルーン(天然ゴム)に空気を封入し、外側のシェル(合成繊維に樹脂をコーティングした膜材料)で押さえつける二重膜構造になっている(図 2)。気密膜とメインリングのパッキンにはシリコンゴムチューブを用いている。この手法で目標の圧力を保持することが再現性もかねて実証されている。2015 年実験では、フライト全時間帯において 100hPa 以上の圧力を保持することに成功した。

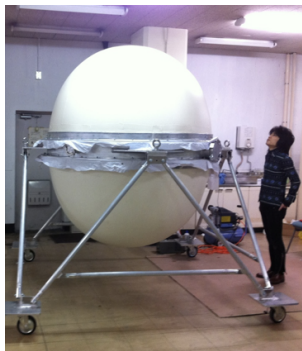


図 1: 2015 年気球実験で用いた与圧容器ゴンドラ

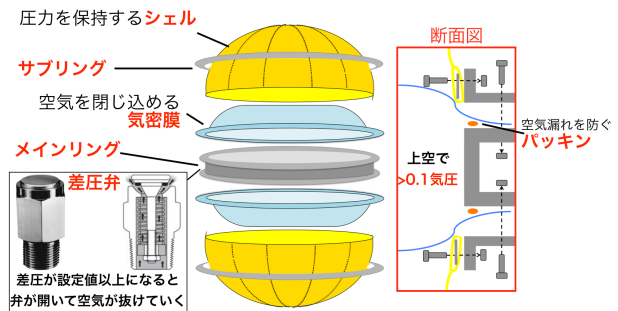


図 2: 風船式与圧容器の構造

#### 3.1 2018 年気球実験用繭型与圧容器ゴンドラの新規製作

2018 年気球実験用与圧容器ゴンドラ(図 3) は、2015 年実験で用いた与圧容器ゴンドラの基本的な構造を踏襲しつつ、いくつかの改良を施して製作した。その中でも大きな変更点は、2015 年モデルの形が「球」であるのに対して、2018 年モデルの形を「繭」に変更した。これは、今後の科学観測実験用の大型・大面積のガンマ線望遠鏡(図 4)において、これをさらに伸ばした長繭型を想定しているためである。

2018 年与圧容器ゴンドラの開発は、①楕円アルミリングの設計製作、②シェル素材の検討、③繭型シェルの製作、④加圧試験(密閉性能試験、耐圧性能試験)、⑤低温に強いパッキン材の選定、⑥メインリング圧力変形の確認、以上の流れで行った。①-⑤については参考文献を参照したい。次節では⑥について述べる。

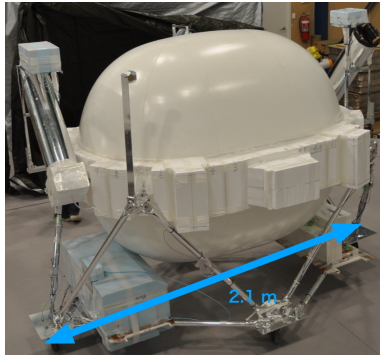


図 3: 2018 年モデルの実機 (フライト前)

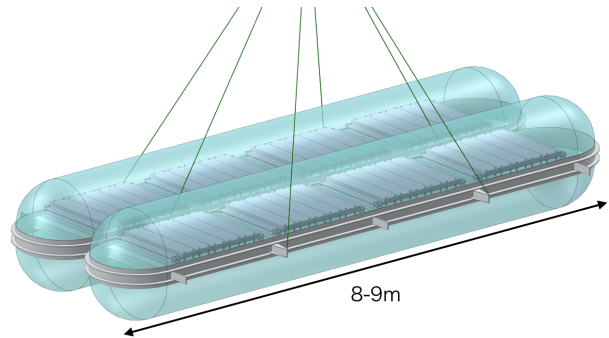


図 4: 2021 年モデルのイメージ図 (案)

### 3.2 メインリング圧力変形の確認

メインリングの内側にはガンマ線検出器、外側には姿勢モニタが搭載される。内圧の変化によってそれぞれの視線方向が今回の望遠鏡結像性能  $1.0^\circ$  ( $100\text{meV}$ ) よりも変化すると天体観測に影響がでる。それぞれに角度分解能  $0.05^\circ$  の傾斜センサを設置し (図 5)、圧力を  $300\text{hPa}$  から  $100\text{hPa}$  に変化させた時の 2 点間の相対角度差を測定した。図 6 は、横軸が時間、左縦軸-緑プロットが与圧容器内外の差圧、右縦軸-赤プロットが  $300\text{hPa}$  の時をゼロ点としたときの 2 点間の相対角度差の絶対値を示す。相対角度差は差圧に対して応答しているが、それは  $0.1^\circ$  以内であり、今回の望遠鏡結像性能  $1.0^\circ$  に対して十分に小さいことを確認した。

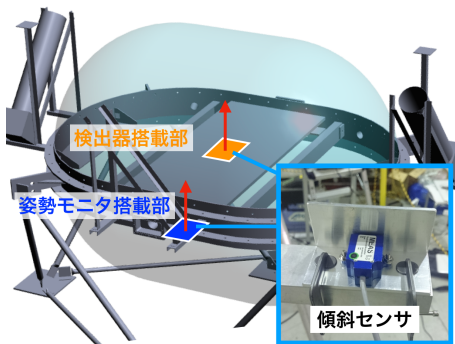


図 5: 傾斜センサの設置箇所

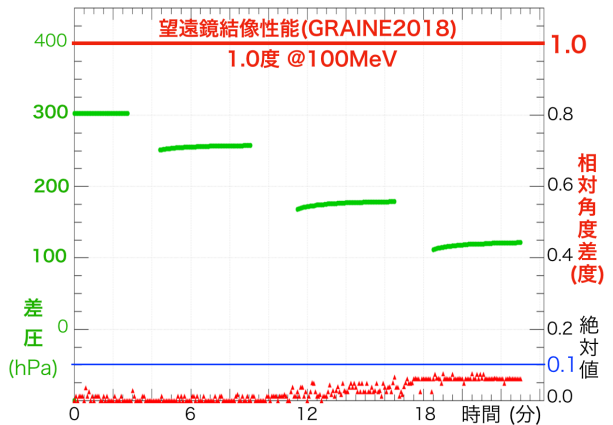


図 6: 内圧に対する角度差の応答

## 4 フライトにおける与圧容器の性能

日本で開発した与圧容器を豪州に輸送し、放球基地アリススプリングスで受け取り、組み立て、密閉性能試験を行い、放球直前までその健全性を確かめた。図 7 は、横軸が現地時刻、縦軸がフライトにおける与圧容器内外の絶対圧力を示す。放球後の高度上昇によって外圧が低くなり、それに伴い差圧弁が開き、容器内の空気が抜けていき、水平浮遊になると、差圧弁が閉じ、そこから Vela Pulsar 視野内時間をカヴァーし切り離しまで目標の  $100\text{hPa}$  以上を保持し続け、狙い通りの

運用が達成できたことがわかる。18 時ごろに内圧が下がっているが、これは、右上の右縦軸-緑プロットが容器内温度を示すグラフを見ると、日没の影響で容器内温度が下がっており、その温度変化による圧力変動が支配的で上空での顕著な漏れではないことがわかる。

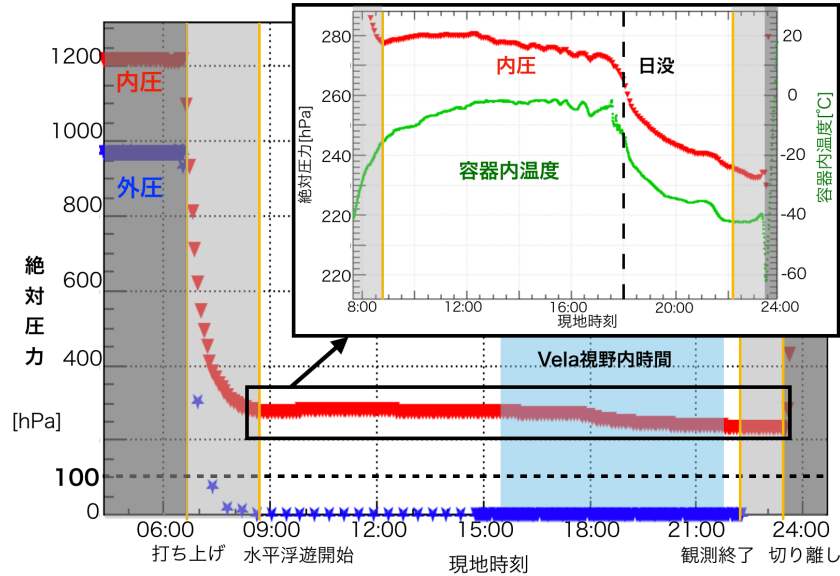


図 7: フライト中の与圧容器内外の絶対圧力

## 5 まとめ

GRAINE では気球搭載型エマルジョン望遠鏡による GeV/sub-GeV ガンマ線の観測を目指しており、2018 年気球実験では、vela Pulsar の検出による望遠鏡の総合性能実証を目指している。

2018 年気球実験に向けて、実績のある 2015 年モデルの風船式与圧容器ゴンドラを部分的に改良した 2018 年モデルを新規製作した。楕円アルミリングの設計製作、シェル素材の検討、繭型シェルの製作、加圧試験 (密閉性能試験、耐圧性能試験)、低温に強いパッキン材の選定、メインリング圧力変形の確認を行い、日本での準備を完了し豪州に輸送した。現地で、組み立て、輸送後の密閉性能の確認など準備作業を行い、4 月 26 日に気球フライトを実施した。気球フライト中の与圧容器は目標の 100hPa を保持し続けることができた。

## 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
- F.Acero, et al. 2015. Fermi large Area telescope third source catalog. ApJS, 218(June), 23.