

GRAINE 計画：オーストラリア実験の準備状況 1

名大:	○六條 宏紀, 石黒 勝己, 大塚直登, 河原 宏晃, 北川 暢子, 駒谷 良輔, 小松 雅宏, さこ 隆志, 佐藤 修, 鈴木 和也, 中 竜大, 中塚 祐司, 長縄 直崇, 中野 敏行, 中村 光廣, 丹羽 公雄, 宮西 基明, 毛登優樹, 森島 邦博, 吉田 純也, 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 慎宏, 手塚 郁夫
岡山理科大:	伊代野 淳
神戸大:	青木 茂樹, 尾崎 圭太, 小坂 哲矢, 柴山 恵美, 鈴木 州, 高橋 寛, 立石 友里恵, 田輪 周一, 原 俊雄, 水谷 深志, 山田 恭平

1. はじめに

ブラックホール、パルサー、超新星残骸などの高エネルギー天体のガンマ線での観測は、宇宙空間で起こる非熱的現象を理解するための有効な手段である。2008年に打ち上げられたフェルミ宇宙ガンマ線望遠鏡は、これまでの検出天体数を1桁更新する3000個以上のガンマ線天体を発見した。また観測データに基づいた放射起源に関する議論が活発に行われるようになり、「ガンマ線観測」は「ガンマ線天文学」と呼ぶに相応しい分野へと生まれ変わった。ガンマ線天文学を今後さらに前進させるためには、検出器の角度分解能を改善し、天体の精密観測を行うべきである。

原子核乾板は、低物質質量 ($\sim 10^{-3}X_0$)かつ、高分解能 (サブミクロン) で荷電粒子の通過位置を測定出来る飛跡検出器である。 $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$ 反応点直下の飛跡を精密に測定することで、ガンマ線 (数10MeV–100GeV) に対する角度分解能をFermi-LATよりも1桁近く改善出来る。加えて、 e^- pairのアジマス角を有意に測定する事が可能であり、ガンマ線の直線偏光に対する感度を持つ。エマルジョン望遠鏡は、コンバーター部(積層エマルジョンフィルム)、タイムスタンプ部(エマルジョン多段シフター機構)、カロリメーター部(エマルジョンと金属板の積層)から構成され、カウンター類を必要としないdead time free、dead space freeな検出器である。また原子核乾板は、その優れた分解能を保ったまま大面積化を実現できる唯一の検出器であり、重量も軽い。GRAINE計画 (Gamma-Ray Astro-Imager with Nuclear Emulsion)は、 $\sim 10m^2$ の大面積エマルジョン望遠鏡を気球に搭載し1週間程度の長時間フライトを繰り返す事で、Fermi-LAT等の衛星年間観測規模に匹敵するexposureを獲得し、ガンマ線天体の精密観測を目指す[1]。

本講演では、GRAINEの次のステップとして計画している天体観測性能の実証を目的としたオーストラリア実験に向けた準備状況について述べる。

2. オーストラリア実験に向けた準備研究

オーストラリア実験では、エマルジョン望遠鏡2号機(口径面積 $3600cm^2$)による24時間オーダーの観測を計画している。2011年大樹町での気球実験に比べて面積は30倍、観測時間はおおよそ15倍となる。GeV領域でガンマ線天体の中で最も明るいVelaパルサーを約6.5時間望遠鏡の視野(開口角 $\pm 45^\circ$)内に捉えるフライトを成功させ、BG(大気ガンマ線)に対して統計的有意性 5σ 相当での検出を目指し、Velaパルサー $>100MeV$ 領域での世界最高解像度でのイメージング、変更データ取得、83ミリ秒周期のパルス分解を行う。

これまで、本実験に向けた準備研究を継続して取り組んできた。 [2][3]

- i 原子核乳剤自体の改良とフィルムの製造および供給体制の構築
- ii タイムスタンプ多段シフターの大面積化と高分解能化
- iii 複数デイトイムスターカメラの他方向設置による姿勢モニター稼働効率の向上
- iv 風船式圧力容器導入によるチェンバー構造の堅牢化
- v 自動飛跡読取装置の高速化

以下に i および iv について詳しく述べる。

3. 原子核乾板

3.1. エマルジョンガンマ線望遠鏡2号機のデザイン

2010年以降、名古屋大学では学内に乳剤製造装置を導入し、独自で乳剤開発・製造が行える環境を整えてきた。これにより、実験目的に合わせた乳剤を研究者が選択出来るようになり、フィルムの大きさや乳剤厚の調整も可能となった。エマルジョン望遠鏡2号機に搭載する原子核乾板は377.5 mm x 250 mmを基本サイズとした。2003年以降用いてきたOPERAフィルムサイズ(125 mm x 100 mm)の小さいユニットを多数並べるより、1ユニットの面積を大きくし、ユニット数を減らす(20 units→4 units)事で、エッジによる有効面積のロスを大幅に軽減させる。最上流に設置するガンマ線コンバーター部は180 μ m厚ポリスチレンフィルムの両面に70 μ m厚の乳剤を塗布したフィルムの100枚積層構造である。1号機のデザインから乳剤厚を厚くし、金属箔を無くしたデザインに変更したことでコンバート直下の飛跡のより精細な測定が可能となり、角度分解能をさらに追求出来る。製造時のゼラチン量を限界にまで減らし、単位厚みあたりの物質を高めた"高銀"タイプの乳剤 (AgBr体積割合55%) を使用することで、金属箔なしでもガンマ線の反応確率(約34%)はそのままである。タイムスタンプ部、カロリメーター部には、"低銀"タイプ乳剤(AgBr体積割合35-45%)を40 μ mないし50 μ m両面塗布し、乳剤中での電磁散乱を押さえつつ、飛跡の自動読取効率は維持するようデザインした。

3.2. 原子核乳剤の製造

現行の乳剤製造装置では1回あたり高銀タイプ0.5kg、低銀タイプ0.8kgの製造が可能である。これまでは専門技術者の指示のもとで製造を行っていたが、2014年からは若手研究者、学生らのみで装置のオペレーションが出来るようトレーニングし、1日2シフトでの安定した乳剤の量産体制を整えた。製造バッチごとに乳剤を少量サンプリングしてスライドグラスに塗布した乾板にUVSOR(愛知県岡崎市)で電子線を照射

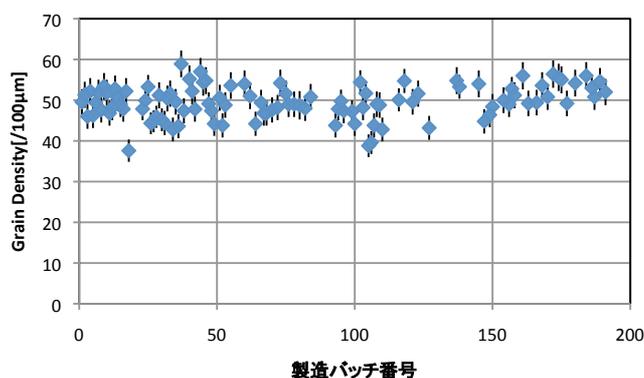


図1 量産した高銀タイプ乳剤のGrain Density

し、乾板の感度を評価した。図1に高銀タイプ乳剤のGrain Density(GD、最小電離粒子が乳剤中100 μ mを貫通した後に析出する現像銀粒子の個数)を示す。飛跡の自動認識効率が95%以上となるGD40以上を合格ラインに設定しており、大半の製造でこれをクリアしている。オーストラリア実験に用いる乳剤はすでに約半分を作り終え、2014年内には必要量の製造を完了する。

3.3. フィルムの製造体制の整備

搭載フィルム約50平米を数ヶ月で塗布するため、図2に示す塗布暗室を整備した。均一な厚みに加工したアクリル板の表裏に真空チャック用の溝を作り、裏側の溝で石定盤に貼付けてフラットな面を出す。表面の溝でポリスチレンフィルムを貼付け、この上に溶解した乳剤を塗布

する。数十分後、乳剤の流動性がなくなり次第、乾燥用テント内の棚へフィルムを運び、相対湿度70%程度で2日間ゆっくり乾燥させる。乾燥後ベースを裏返し、アクリル台に貼付けて同様に裏面の乳剤を塗布する。4台の塗布台(800 mm x 300 mm)を使って並列に作業し、1日4サイクルで基本サイズの両面塗布フィルムが週に64枚(約6 m²)完成する。

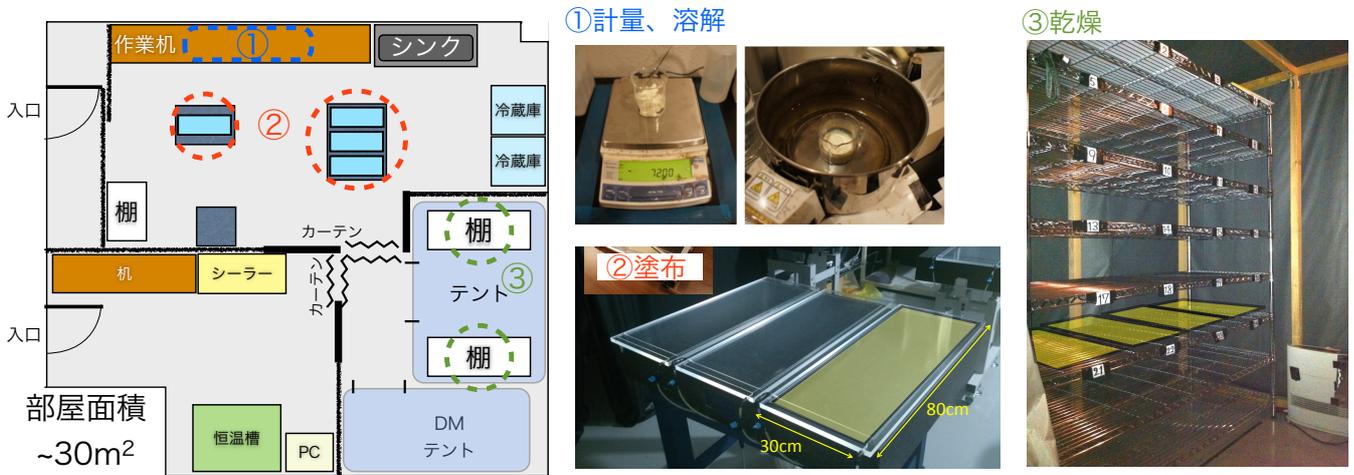


図2 原子核乾板塗布室(名古屋大) ①乳剤を計量、薬品添加、溶解するスペース ②石定盤とアクリル製塗布台x4 ③テント内の乾燥棚(最大12mのフィルムを収納可能)

4. 風船式圧力容器

4.1. スリップ問題

原子核乾板はミリラジアン、サブミクロンの優れた空間分解能を持つが、その特徴を十分に引き出すためにはフィルム同士のアライメントが変化しないよう、照射時に堅牢なチェンバーを維持することが極めて重要である。2011年大樹町での気球実験に搭載したチェンバーの一部にはフィルム間でのスリップ現象が見られた。

オーストラリア実験では、検出器全体を圧力容器内に納める。これにより、エマルジョンチェンバーを真空パック状態のまま上空へ運ぶことが可能になる。全体を一様な圧力(0.1気圧程度)で押しえつけ、観測時の温度変化が激しい環境でも形状の変化を抑えられる他、フィルム環境を低湿度に保つことができ観測後から回収までに時間を要した場合に懸念される飛跡の退行(フェーディング)を防ぐ。また、遮光、防水を兼ねておりフィルムの回収作業が確実にできるなどの効果が得られる。

4.2. シェルの素材の更新

我々はATICグループが採用している風船式圧力容器を参考に直径1.6mの圧力容器を製作した(図3、4)。昨年度の報告[2]からの更新として、内外の差圧を保持するシェル部の素材を選定し直した。もともとアラミド繊維織物をミシンで縫い合わせて半球を成形していたが、圧力を掛け続ける間に織物と縫い糸が滑脱し、接続箇所での保持が困難であった。太陽工業株式会社の技術者らとの議論から既に製品化されている塩化ビニルがコーティングされた織物を母材とし、これを熱溶着によって張り合わせ、十分な張力に耐えうるシェルの製作を採用した。母材自体の強

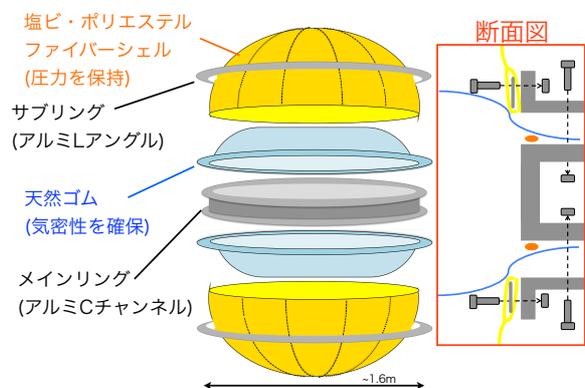


図3 風船式圧力容器の概念図

度は十分に高く、また母材同士の接着は4cmの幅を熱溶着する事で -60°C の低温下で $500\text{N}/\text{cm}$ の張力を掛け続けても剥がれることは無かった。織物の素材は伸びのほとんど無いガラス繊維も検討したが、折り曲げには弱く、強度が劣化が見られた。最終的に折り曲げに耐性のあるポリエステル繊維を採用した。

4.3.リーク性能

容器内を 1.3kPa まで加圧し、リークを測定した結果を図5に示す。常温での測定に比べ、低温環境(-40°C)では性能の低下が見られた。実際の観測では、周囲の圧力(P_1) $\sim 5\text{hPa}$ の高度で、容器内圧力(P_2)を 150hPa 以上に24時間保持することが要求される。リーク流量は容器内外の差圧 $P_2 - P_1$ と容器内外の平均圧力 $(P_2 + P_1)/2$ の積に比例するため、地上での測定よりも1桁程度時定数は長くなり、現状でも要求をクリアできる十分な性能を有している。

5.まとめ

GRAINEの次期計画であるオーストラリア実験に向けた準備は着実に進行している。原子核乳剤およびフィルム製造・量産の体制を整備した。来年2月中に必要なフィルムの製造を完了させオーストラリアへ出荷する。観測環境での堅牢なチェンバーを実現するための風船式圧力容器を開発し、耐圧性能、リーク性能ともに要求を満たすものが完成した。オーストラリア実験を遂行する事で、Velaパルサーの検出によって検出器の天体観測性能を実証すると共に、海外サイトでのプロセスを確立し、さらなる口径面積と観測時間の拡大を進め、GRAINEによる科学観測開始を目指す。

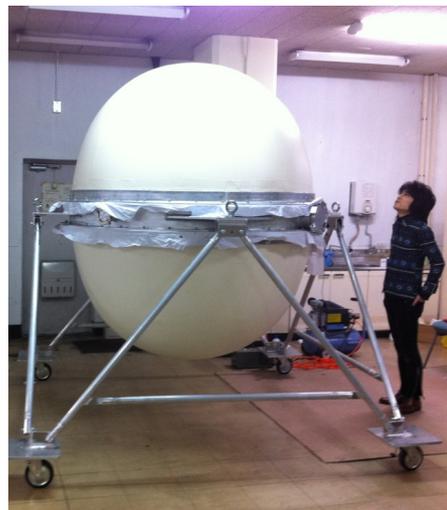


図4 風船式圧力容器 加圧試験時の外観

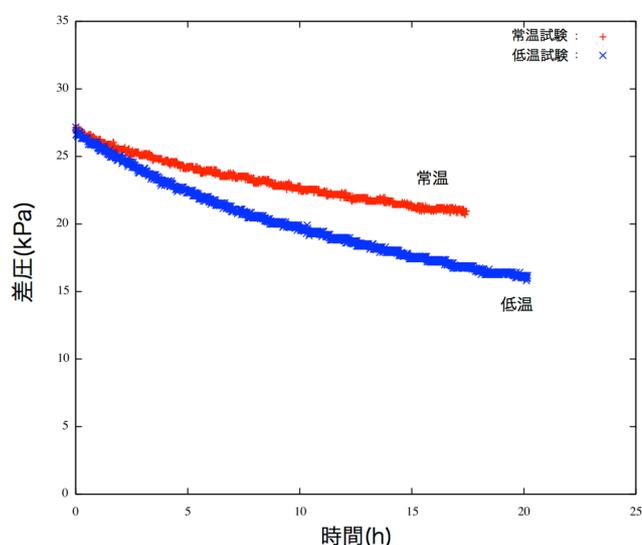


図5 地上加圧試験でのリーク測定

[1]青木茂樹 他,2004-2011, 2013年度大気球シンポジウム報告.,

高橋覚 他,2007-2009,2014年度大気球シンポジウム報告. 等

[2]六條宏紀 他,2013年度大気球シンポジウム報告.,

[3]水谷深志 他,2014年度大気球シンポジウム報告.,

長縄直崇 他, 2010年度日本写真学会秋季研究発表会講演要旨集, pp10-11

吉本雅浩 他, 2013年日本物理学会秋季大会., 河原宏晃 他, 2014年日本物理学会年次大会. 等