

GAPSプロトタイプ気球実験データ解析

JAXA: 福家 英之, 坂東 信尚, 小川 博之, 岡崎 峻, 柴野 靖子, 莊司 泰弘, 吉田 哲也; *東海大*: 河内明子, 中村史彦; *理研*: 小池貴久; *福井工大*: 宮崎芳郎 Columbia Univ.: 荒牧嗣夫, F. Gahbauer, C. Hailey, J. Koglin, N. Madden, 森 嘉野, K. Perez, D. Stefanik, G. Tajiri; UC Berkeley: S. Boggs, P.v. Doetinchem, J. Hoberman; Technical Univ. Denmark: F. Christensen; LLNL: W.W. Craig; ORNL: R. Fabris, K.P. Ziock; UCLA: S.A.I. Mognet, R.A. Ong, J. Zweerink

【概要】

計画名: GAPS (General Anti-Particle Spectrometer)

- 目的: 宇宙線中の反粒子の観測による「初期宇宙に関する未知の現象の探査」を主目的とする。 特に、未発見の反重陽子(antideuteron)をsub-GeVエネルギー領域に探索することで、ダークマター等の反粒子起源を探査する。 併せて反陽子なども超高感度で観測し、原始ブラックホール等の反粒子起源も探る。
- エキゾチック原子核の崩壊過程を利用した新しい反粒子検出方法を導入している。 特色:
- 研究体制: 日米を中心とする国際共同計画。コロンビア大学のC.J.Hailey教授が全体のPIを務める。 2010年1月に ISAS/JAXA の 宇宙理学委員会にて「小規模ワーキンググループ」として承認された。
- 南極での長時間気球による本格観測に先立ち、技術実証を目的とする気球実験「pGAPS」を2012年6月に北海道大樹町にて実施した。 事前に掲げた3つのサクセスクライテリアを全て達成し、実験は成功した。フライトの結果をここに報告する。

1. 目的: 宇宙線中の反粒子観測によるダークマター等の間接探索

▶ダークマターの解明は、宇宙物理学・素粒子物理学的の重要な課題である。 CDMの対消滅から反重陽子が 生成される過程の概念図 ➤ GAPSは、宇宙線中の低エネルギー d(反重陽子)の検出によって

4. 気球実験「pGAPS」の結果(データ解析)

▶ pGAPSのペイロードは、GAPS測定器の各構成要素のプロトタイプで構成した。

• Si(Li)型半導体検出器 Aramaki et al., NIM A 682 (2012) 90.

ダークマター(CDM)の間接探索を目指す。

- ▶ 宇宙線反重陽子はまだ1例も観測例が無いが、 理論的には微量に存在している可能性がある。 反重陽子の特徴的な魅力は、1GeV/n 以下の 低エネルギー領域にてダークマター起源の 反重陽子が最大割合となり物理的にバックグラ ウンドフリーとなり得る点である。
- ➢ GAPSは、既存の実験とは全く異なる新しい 反重陽子検出方法として、エキゾチック原子の 崩壊過程を利用した手法を導入する。 検出原理の妥当性・有用性は2004~2005年に KEKのビームテストによって実証した。

Mori et al., ApJ. 566 (2002) 604, Hailey et al., NIM B214 (2004) 122, Hailay et al., JCAP. 0601 (2006) 007, Aramaki et al., Astropart. Phys. 49 (2013) 52.

▶ 地磁気の影響を避けて低エネルギーの荷電粒子 を直接観測するため、GAPSは南極域の周回気球 による高感度探索を計画している。



- 2. GAPS測定器の主要構成
- ▶ GAPS測定器は主にSi(Li)型半導体検出器とTOFシンチレーション
- カウンタから構成される。

Fuke et al., Adv. Spa. Res. 41 (2008) 2056, Aramaki et al., Adv. Spa. Res. 46 (2010) 1349.

手のひらサイズのSi(Li)検出器4000個を2m×2m×2mの空間

6個のウエハを搭載(ϕ 94mm, *t*2.5mm, 各8 strips × dual range読み出し)。 フライト中の較正用にX線管も搭載。

TOFカウンタ

プラスティックシンチ(t3mm)+ライトガイド+PMT。 両読み出しのX-Yパドル×3層構造(計32PMTs)。

Si(Li)の冷却機構

単層流体ループ方式(技術的には手堅いが消費) 電力が大きい)と、OHP方式(低消費電力だが) 挑戦的技術)の 2つの案のプロトタイプを搭載。

ペイロードの方向制御系

ペイロード上部の撚り戻しモータを用いた1軸制御。

• Si(Li)やTOFの読み出し機器、HKモニター系、データ収集 記録・通信系、などは圧力容器内や水密容器内に格納。







OHP方式の

冷却機構モデル

TOFカウンタ



Si(Li)検出器

- 内に敷き詰め、宇宙線反粒子に対する degrader、エキゾチッ ク原子生成のターゲット、エキゾチック原子崩壊に伴う特性X 線や π/p のエネルギー測定やトラッキング、の役割とする。
- Si(Li)の周囲とその上方にはパドル状のプラスティックシンチ レーションカウンタを配置し、トリガー発生、Time-of-Flight測 定、Veto発生、の役割とする。
- 「特性X線 1~2本以上 + π/p 5~6個以上」の検出により dやp を他のバックグラウンド宇宙線種から識別できる。

3. プロトタイプによる気球実験「pGAPS」の実施

- ▶ 2012年5~6月のJAXA第1次気球実験@北海道大樹町にて実施した。
- ▶ pGAPS実験の目的は、南極実験に先立ち測定器各要素の基本動作(特に以下の3点)を プロトタイプ(BBM)によって気球フライトの実環境下で技術実証することであった。 Hailey et al. Adv. Spa. Res. 51 (2013) 290
- (地磁気rigidityカットオフが高く観測時間も短いので、pGAPSでは反粒子そのものの観測は行えない)。
- 1 気球飛翔環境下で Si(Li)検出器やTOFカウンタが機能することを確認すること。
- 2 気球飛翔環境下で Si(Li)の冷却系の動作を確認し熱設計に関するデータを得ること。
- 3 気球飛翔環境下でインコヒーレントバックグラウンドなどの基礎データを得ること。
- ▶ pGAPSペイロードの構成は右上欄に示すとおり。
 - ペイロード(ゴンドラ)のハードウェアは 上下2段から成る。上段は米国UCBにて、 下段はISASにて、それぞれ組み上げた。
 - 2012年5月にUCBから機材をISASに輸送し、 相模原にて総合組立と総合試験を実施した。





▶ pGAPS気球フライトは2012年6月3日に実施された。

- ▶3時間の水平浮遊を含む6時間のフライト全般に亘って測定器を動作させ、のべ100万事象を 超えるデータの取得に成功した。
- ▶ 水平浮遊到達後にオペレーションミスによって撚り戻しモータを損傷させてしまうというトラブル はあったが、その他のシステムは概ね問題無く動作した。
- ▶ これにより、左欄に掲げた3つのサクセスクライテリアをいずれも達成し、実験は成功した。
 - ① Si(Li)やTOFの各種測定器は低ノイズで安定的に動作した。
 - 2 冷却系の動作を確認し、熱データを取得した。
 - ③ 飛翔環境下でのインコヒーレントバックグラウンドデータを取得した。

▶ 詳しい解析結果については以下を参照。

Fuke et al., Adv. Spa. Res. (in press) doi: 10.1016/j.asr.2013.06.026, Mognet et al., NIM A 735 (2014) 24, Doetinchem et al. Astropart. Phys. 54 (2014) 93.

▶ 今回のpGAPSで得た知見を今後のGAPS測定器の詳細設計に反映させる所存である。





GAPS測定器の主要構成と

反重陽子同定の概念図

その後、場所を大樹町に移し、最終準備作業 を経て、6月3日のフライトに臨んだ。

当する)(方向制御できなかったことでフライト 中に温度が上昇した)。





フライト中の冷却機構各所の温度実測値(実線)とFEM熱モ デル過渡解析(破線)との比較。熱モデルでよく再現できて おり、冷却機構がフライト中に正常に動作していたことが確 認された(これが世界初のOHPの飛翔実証となった)。方向 制御で放熱板を太陽と逆方向に向けられていれば、一点鎖 線のように放熱板が設計どおりの低温になったと推察される。

TOFカウンタのトリガーレートから算出した 各高度・各βに対する宇宙粒子線全流束。 誤差は大きいものの大気中の宇宙線伝播 モデル(青線)で再現されており、バックグラ ウンド宇宙線を正しく評価できた。