

GAPS 気球実験における姿勢制御システムの研究

東海大学大学院 修士2年 中村史彦

1, Introduction

1.1 GAPS 気球実験とは

GAPS 気球実験とは、CDM が対消滅した際に生成される成分のうちの反重陽子を観測することで、CDM を間接探索する気球実験である。南極での長期間気球フライトによる化学観測を 2015~2019 年に計 3 回実施する事を目指しており、2012/6/3 には GAPS 測定器のプロトタイプを用いた pGAPS 実験が行われた。

1.2 GAPS の目的

有力候補である超対称性粒子ニュートラリーノ等の Cold Dark Matter(CDM)の間接探索を目的としている。GAPS は、CDM の対消滅による生成物(γ 線、陽電子、反陽子など)の中でも宇宙線反重陽子に着目し、既存の探索手段とは異なる間接探索を目指している。宇宙線反重陽子は、1GeV 以下の低エネルギー領域では、CDM 起源の反重陽子スペクトルを単独で観測できる可能性がある(図 1)。

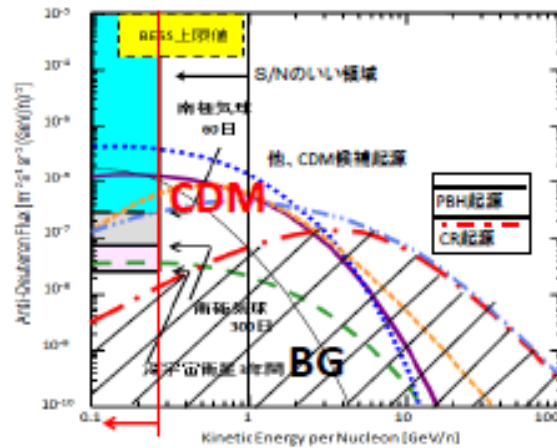


図 1, GAPS の目標である上限値と、
様々な CDM 起源エネルギースペクトルモデル

図 1 は宇宙線起源のエネルギースペクトルと、いくつかの CDM 起源のエネルギースペクトルモデルを描いているが、そのいくつかに該当し得る事がわかる。従って、宇宙線反

重陽子が一例でも低エネルギー領域に観測されればその意義は大きく、CDMの探索に大きな結果を残すことができる。

ただし、反重陽子探索には好感度な探索が必要となる。図1からわかるように、現存する唯一のflux上限値はBESS実験による $1.9 \times 10^{-4} [\text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1} \text{GeV}^{-1}]$ であり、スペクトルモデルにはまだ感度が2~3桁足りない。そこで、GAPSはBESSを3桁以上も上回る高感度での反重陽子探索を目指している。

1.3 GAPSの反重陽子検出原理

GAPSはエキゾチック原子を用いた新しい手法で探索感度の向上を目指している。低エネルギー反粒子をエネルギー損失によって測定器内のターゲット中で止めると、ターゲット原子の電子軌道に反粒子が捕捉されて励起エキゾチック原子が生成された後、反粒子が基底準位にカスケード的に落ち込み、最後は原子核と核子対消滅してパイオン群を生成する。このパイオンの生成数、及びカスケード崩壊準位に対応して放出される特性X線のエネルギーは捕捉反粒子の種類に依存するため、粒子を同定できる(図2)。

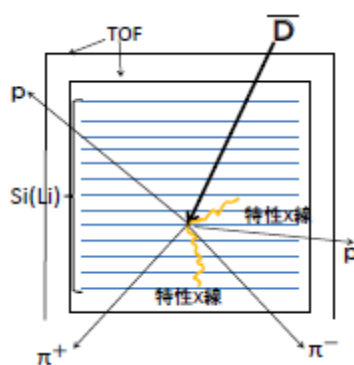


図2, 反重陽子の粒子識別概念図

2, 姿勢制御

2.1 GAPS における姿勢制御

GAPS において、ゴンドラの向きを安定させる理由が3つある。1つは搭載している Si(Li) 測定器の排熱を行っているので、放熱板を太陽と逆の方向に向かせるため。2つめは、太陽パネルを太陽の方向に向けて効率よく発電するため。3つ目はゴンドラと気球の間のロープやパラシュート等が風で回転してよじれた時、それを解消するためである(図 3)。

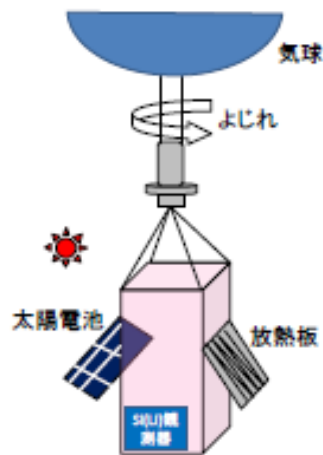


図 3, GAPS ゴンドラとモーター図

2.2 姿勢モニター

pGAPS では、ゴンドラの方角をモニターするための機器を3つ搭載した。1つは魚眼カメラ(図 4)である。ゴンドラから上向き視点で全天を望むことができる魚眼カメラを搭載した。映像は live 中継され、太陽に対するゴンドラの向きがわかる(図 5)。2つめはジャイロ JG-35FD(図 6)である。フライト中のゴンドラの方角の推移を記録した。電源入力時が 0 起点となり、 0.01° 以下の角度分解能をもつ。3つめは GPS(図 7)である。複数の人工衛星の電波を、プライマリー、セカンダリー2つのアンテナがキャッチし、プライマリー→セカンダリーの方角を導く。しかし、今回はフライト中に使用不可となったため、GPS のデータを用いていない。

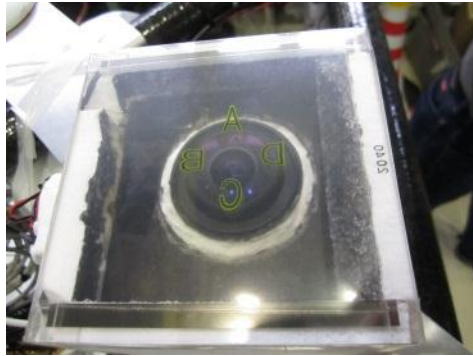


図 4, 魚眼カメラ

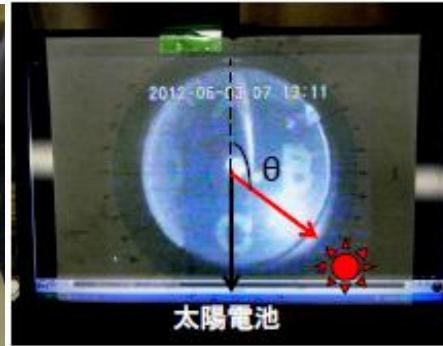


図 5, 魚眼カメラの映像



図 6, ジャイロ JG-35FD

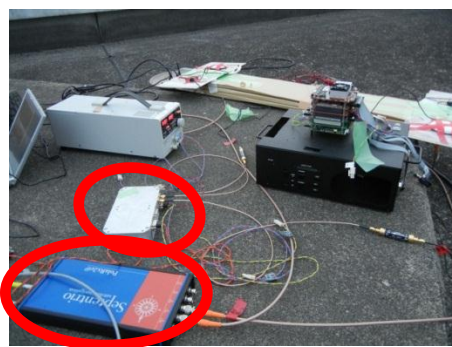


図 7, GPS

2.3 pGAPS 実験のモニターデータとその解析

まず、魚眼カメラのデータを用いて太陽とゴンドラの相対方位を求めた。円形の 1deg ずつ目盛りが入ったシートをディスプレイに敷き、6:00-11:00 にて A を 0° として 5sec 毎に太陽の位置を記録した。これに root にて算出した太陽の絶対方位で補正を行う事で、ゴンドラの絶対方位を出すことができる。このゴンドラの絶対方位とジャイロデータによるジャイロの相対方位を比べる。ゴンドラ絶対方位とジャイロ相対方位は 0 起点がそれぞれ異なるから、2つの方位角の一定差分 $\Delta\theta$ を求めてジャイロ相対方位に補正をかける事で、ジャイロの絶対方位を出す事ができる。これら 2つの絶対方位を比較する事でより正確なフライト中におけるゴンドラの方位角がわかる。

2.4 より戻し係数の測定

ゴンドラを回転させてよじれを与え、一定角度で離れた時、よじれを解消するまでの角速度の減衰波形から、よじれた時によじれた部分が元に戻ろうとする、より戻し係数なるものを特定していった。このグラフ(図 8)がその時の減衰波形の一例である。縦軸角速度、横軸時間でだんだんと収束していく様子がわかる。これにフィッティングを行い、各成分

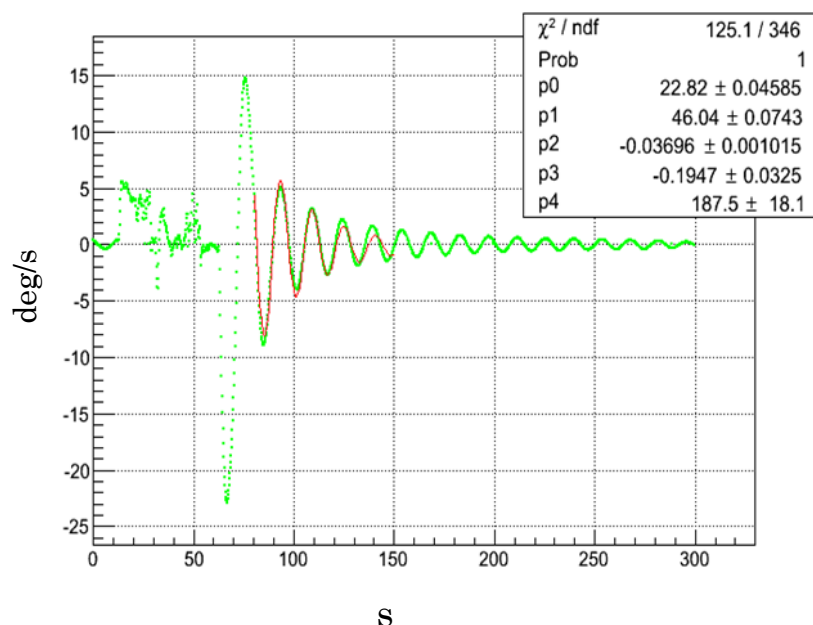


図 8, ラダー4m、90deg 時計回りの時の減衰波形図

を導いた。その中から ω を用いて、 $\omega = \sqrt{\kappa / I}$ より、より戻し係数 κ を出した。実験ではよじる角度や材料といった条件を変えていくつも行った。これらの事から、各材料を比較すると、連結した際、ラダー1.5m が主によじれ、ラダーが一番硬い。また、同じ材料でも長さが異なるとラダーでは 30%、同じ材料同じ長さでもよじる角度が異なるとラダーでは 89%、ケブラーにおいては 70% 値に差異が表れた。

3, まとめと今後

GAPS 気球実験において必要な姿勢制御システムにおいて、より戻し係数の算出や、pGAPS のモニターデータからゴンドラの絶対方位を出してフライト中の制御の様子を確認した。pGAPS にて用いたより戻しモーターを自作し、再度検証実験を行う。