

## GRAINE 2011 年度気球実験:姿勢モニターの解析現状

神戸大 ○尾崎 圭太, 青木 茂樹, 釜田 啓樹, 鈴木 州, 高橋 寛,  
原 俊雄, 中川 諒, 水谷 早希, 六條 宏紀

愛知教育大学 児玉 康一

ISAS/JAXA 斎藤 芳隆, 田村 啓輔, 吉田 哲也

宇都宮大 佐藤 禎宏, 手塚 郁夫

岡山理科大 伊代野 淳

名古屋大 石黒 勝己, 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, 濱田 要, 宮西 基明,  
森島 邦博, 吉田 純也

### 1. はじめに

GRAINE (Gamma-Ray Astro-Imager with Nuclear Emulsion) 計画は, 高エネルギーガンマ線(10MeV から 100GeV 程度)を Fermi/LAT よりも一桁優れた角度分解能で測定し, ガンマ線天体の精密観測及び偏光観測を目指す気球実験である. 検出器は空間分解能に優れたエマルジョン(原子核乾板)である. エマルジョン望遠鏡は, ガンマ線を電子対生成させて角度情報を得るコンバーター部, エマルジョンに記録された飛跡に対して時間情報を付与するタイムスタンプ部, 及びエネルギーを測定するカロリメーター部からなる. また, ガンマ線到来時における天球に対する望遠鏡の姿勢情報を与える姿勢モニターが必要である. 本講演は 2011 年 6 月に大樹町多目的航空公園にて行った気球実験に搭載した姿勢モニター, デイタイムスターカメラの解析現状について報告する.

### 2. 姿勢モニター: デイタイムスターカメラの開発

姿勢モニターは将来の長時間フライトを見据えて昼夜問わず動作することが望ましい. また, エマルジョンの角度分解能(1.4mrad@1GeV)を上回る精度で姿勢をモニターすることも要求される. そこで, 太陽が出ている時間帯でも星画像を連続的に撮影する, デイタイムスターカメラの開発を行った. 検出した星の位置関係をもとにカメラの視線方向の絶対座標を知ることが出来る. 2011 年度気球実験用に採用した機器を挙げる.

- CCD カメラ: 浜松ホトニクス製 C3077-79(近赤外 CCD カメラ) pixel 数: 754×484
- カメラレンズ: Nikon 製 AF Nikkor 85mm F1.4D
- レンズフィルター: Schneider Optics 製 B+W 091(red filter)

CPU ボード及びビデオキャプチャボードは以下のものを採用した.

- CPU ボード: Advantech 製 PCM-3362, CPU Intel Atom N540 1.66GHz
- ビデオキャプチャボード: Sensor 製 Frame Grabber Model311

昼間の観測においてバックグラウンドとなる散乱背景光を低減するために, 630nm 以下の波長をカットするレンズフィルターを採用した. カメラの露光時間は 1/30sec, ビデオキャプチャボー

ドの ADC 分解能は 8bit, フレームレートは 30Hz である. また画像はシリコンディスク(東芝製 SSDN-ST128H, 容量 128GB)に保存した.

これらの機器におけるカメラの視野角は  $5.9^\circ \times 4.5^\circ$ , 1pixel 当たり  $0.0093^\circ \times 0.0093^\circ$  ( $=0.16\text{mrad}$ )であり, ピクセルサイズはエマルジョンの角度分解能より一桁低い値に設計した. 散乱背景光強度をシミュレーションにより見積もり [1], カメラの予想感度を求めたところ太陽とカメラの視線方向との方位角差が 140 度, 高度 35km のとき 6.1 等となる.

### 3. 2011 年度気球実験

2011 年度気球実験におけるスターカメラの実験目的は, 動作検証, ゴンドラの回転速度の実測及び太陽光散乱背景光の方位角依存性の実測である.

スターカメラ機器をマウントした後のゴンドラを図 1 に示す. カメラ, CPU ボードは圧力容器に入れ, 迷光を防ぐためのカメラフードは長さ 1m のものを取りつけ, フードの内側には黒の植毛紙を貼った. カメラは仰角  $53.3^\circ$  に固定した.

画像のコントラストを良くするために CCD カメラのゲインはオートゲインコントロールモード(AC)に設定し, ビデオキャプチャの ADC ゲインはコマンドを送信することで AC とマニュアルコントロール(MC)の切り替えを行えるようにした.

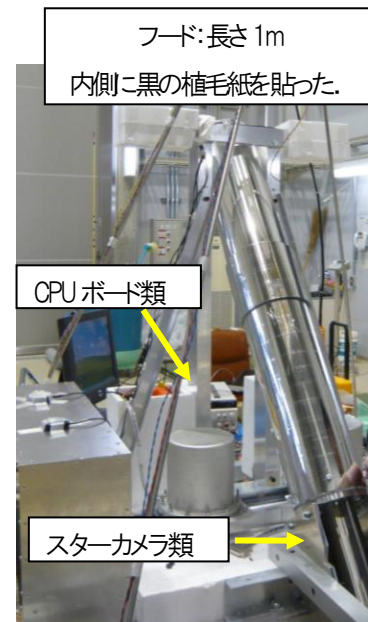


図1:機器をマウントした後のゴンドラ写真

画像データのサンプリングレートは電源投入後からレベル高度前までは  $1/60\text{Hz}$  のサンプリング録画を行い, コマンド送信によりレベル高度からは  $30\text{Hz}$  の連続録画を行った. ゴンドラは着水後速やかに回収され, 画像データの取得に成功した.

### 4. フライトデータの解析現状

2011 年度気球実験のフライトデータ解析の Preliminary な結果について報告する.

#### 4.1. バックグラウンドレベル

図 2 はバックグラウンド(BG)レベルの時間変化を示したものである. レベル高度に入る前は空が明るいために BG レベルは高く画像は白く飛んでしまっているが, レベル高度に入ると安定していることが分かる. 始めビデオキャプチャの ADC ゲインは AC に設定されており, 7:50 よりコマンド送信により MC に変更した. 8:07 頃よりコマンド送信によりゲインを段階的に上げたため BG レベルが増加している.

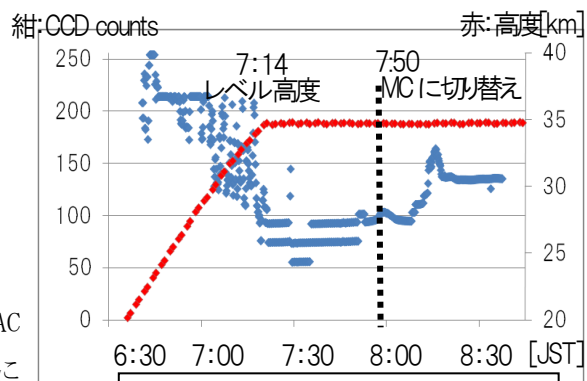


図2:バックグラウンドレベルの時間

## 4.2. 姿勢解析

### 4.2.1 目視での星検出による視線方向の決定

撮影した画像の一例として、星が数個写っている画像を図3に示す。視野の外側が白く飛んでいる領域が確認出来るが、フライト後の再試験によりフード内が光り、それを見てしまったためであることを確認した。これはフードの口径設計の際、レンズ中心からの視野角だけで口径を決めており、レンズの口径分大きくすることを考慮に入れていなかったことによると考えている。次回のフライトではフードの設計に気をつける（レンズの口径を考慮してフードの口径も大きくする）ことが第一である。またフード内での反射成分を除去するための反射板を取りつけることも考慮に入れ、このようなことが起きないように対策を施すつもりである。

図3の画像から目視によって星が写っているピクセルを選び出し、スターカタログを用いてパターンマッチングを取り視線方向を探索した。仰角53度±5度、全方位角の範囲でパターンマッチングを取った結果、カメラの視線方向を一意に決定することが出来た。その結果を図4に示す。これによりほぼ予想感度(6等)までの星を検出していることが確認された。このときカメラの視線方向は、方位角:322.44度±0.04度、仰角:52.42度±0.03度と定まった。この時刻のとき太陽は方位角:100.6度、仰角45.7度にあった。

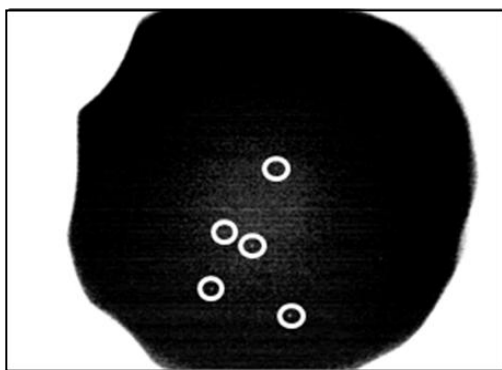


図3:撮影画像の一例(撮影時刻:8:10:59)  
外側が飛んでいるのはフード内が光ったため。

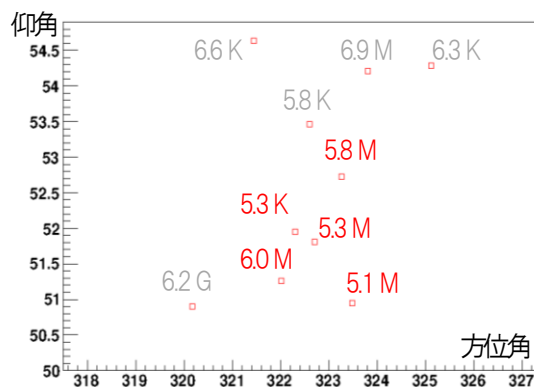
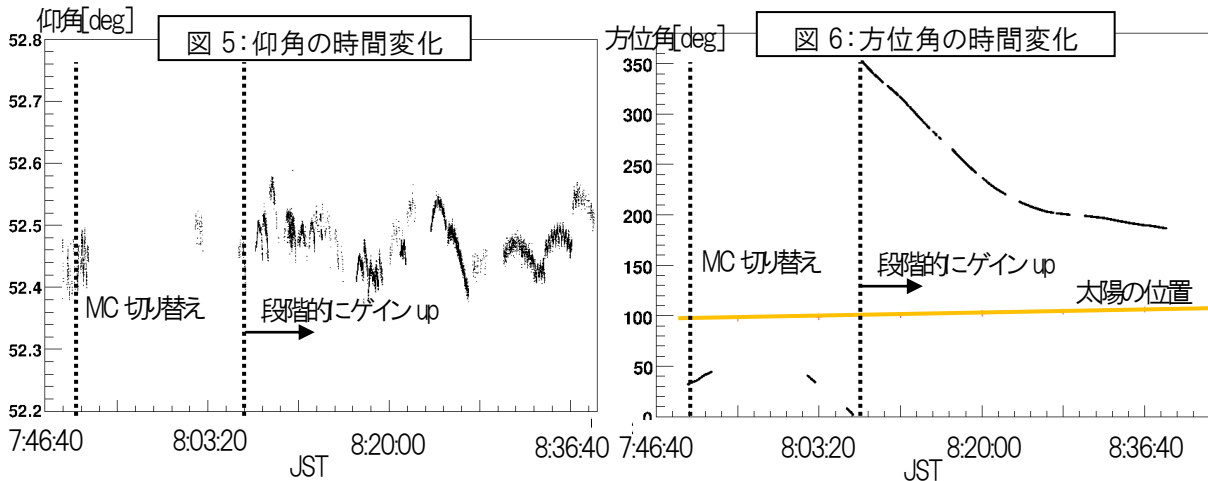


図4:スターカタログとのパターンマッチングの結果  
星の等級及びスペクトル型を記している。

### 4.2.2 星検出自動化による姿勢解析結果

姿勢解析をレベルフライト全時間帯にわたって行うためには星検出は自動化すべきである。星検出プログラムの開発を進めており、現状の処理プログラムにおける姿勢解析結果を報告する。まずビデオキャプチャゲインをMCに設定していたレベルフライト後半部から解析を進めている。これは、撮影画像の視野の外側が白く飛んでしまっているためACの時間帯はゲインが低く抑えられ、感度が低下してしまっていると考えられるためである。

図5に仰角の時間変化、図6に方位角の時間変化を示す。視線方向が決定出来ていない穴があった時間帯があるが、これは、1. 自動星選出がうまくいっていない。2. 天球に明るい星が存在しない、という2つの理由によることが分かっている。星検出処理の最適化を図って穴を埋めることが課題である。また天球に明るい星が存在しないため穴があくことは、次回フライトではフードの最適化で視野を回復することと異なる視線方向に2台以上のカメラを搭載することでこの発生確率を抑える予定である。

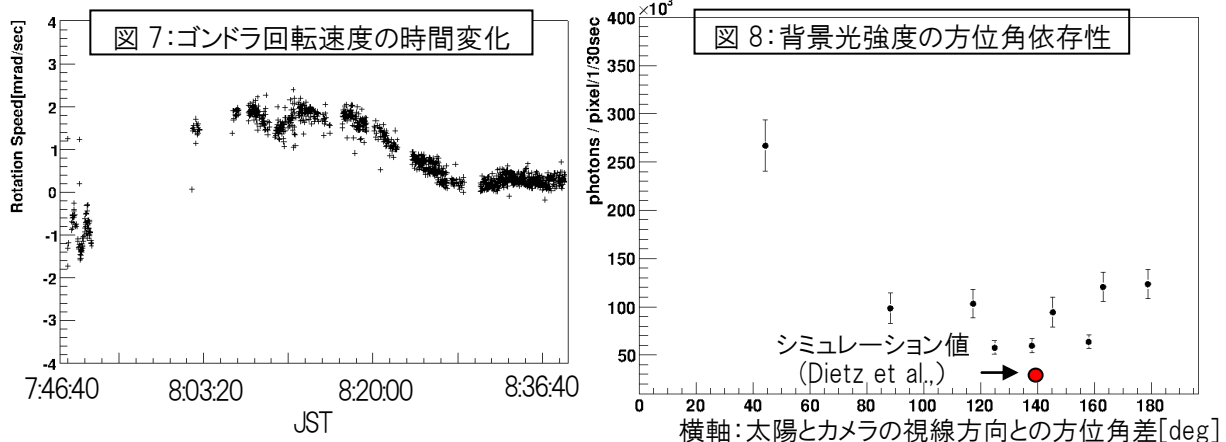


### 4.3. ゴンドラの回転速度

姿勢解析が済んだ期間においてゴンドラの回転速度を算出した結果を図 7 に示す. この期間では回転速度は最大 2.4mrad/sec であった. ただし, 本フライトではレベルフライト前半に方位角回りの姿勢制御が行われているため, 今回実測した回転速度は過小評価した値の恐れがある.

### 4.4. 太陽光の散乱背景光強度の方位角依存性

バックグラウンドとなる太陽光の散乱背景光は太陽とカメラの視線方向との方位角差に依存する. 星の絶対光量を黒体放射スペクトルから算出し, CCD 信号強度を絶対光量に換算した. この関係を用いてバックグラウンドレベルを絶対光量に換算し, 方位角差依存性を評価した結果を図 8 に示す. 方位角差 90 度以上では目立った強度変化は認められない.



## 5. まとめと展望

2011 年度気球実験に搭載した姿勢モニターはほぼ問題なく動作し, 画像データの取得に成功した. フライトデータの解析を進めており, レベルフライト後半部は視線方向を決定することが出来ている. また, ゴンドラ回転速度や背景光強度の方位角依存性の解析を進めた. 今後の展望としては, レベルフライト全時間帯の姿勢解析を進めることや回転方向の解析を進める. 本フライト結果により姿勢モニター開発の基本コンセプトに問題はないことが確認出来た. 得られた結果をフィードバックし, フライトモデル 2 号機に向けて姿勢モニターの開発を進めていく.

終わりに, 本気球実験にあたり全面的にサポートして頂いた宇宙科学研究本部, 気球グループの方々に厚く御礼申し上げます.

[1] Daytime Aspect Camera for Balloon Altitude Dietz et al., 2002, Opt. Eng. 41