

# 広視野可視光望遠鏡 WIDGET-2 の 撮像画像におけるフラットフレームの評価

榎本 淳一 (埼玉大学大学院 理工学研究科)

## Abstract

WIDGET-2 は埼玉大学と理化学研究所で共同開発したガンマ線バースト観測のための超広視野可視光望遠鏡である。一般に、可視光観測によって得られた画像は、ダークノイズや集光ムラを補正する一次処理を行う必要がある。WIDGET-2 でも撮像されたライトフレームは、自動的にダークノイズを補正するパイプラインを通る仕組みが確立されている。一方で、フラット処理は自動化されていない。WIDGET-2 では、夜空の違う場所を撮影した複数枚のフレームを合成して一枚のフラットフレームにするというスカイフラットと呼ばれる手法をとっている。しかし、WIDGET-2 の撮像フレームにおいて、最適なフラットフレームの作成方法は確立されておらず、作成時に用いるフレームの選び方や枚数などはフラットフレーム制作者に依っている。そこで、フラットフレーム作成方法の確立を目指し、複数の方法でフラットフレームを作成してその評価を行った。具体的には、用いるフレームの枚数、各フレームの時間間隔、フレーム合成方法の3つ要素について作成条件を変化させてフラットフレームを作成し、実際の観測で得られたライトフレームに処理を施して補正の効果を評価した。この結果、時間間隔を変えた場合は20分のもの、枚数を変えた場合は標準偏差では70枚、検出限界値では80枚のもの、合成方法を変えた場合は中央値で合成したものがそれぞれ最も良い結果となった。

## 1 Introduction

### 1.1 ガンマ線バースト

ガンマ線バースト (GRB) は、宇宙のある一点から膨大な量のガンマ線が短時間に降り注ぐ宇宙最大規模の爆発現象である。GRB は突発的に発生する現象であり、バーストの継続時間は数ミリ秒から数百秒程度である。コンプトンガンマ線観測衛星に搭載された BATSE 検出器による観測で、1日に約1回の頻度で、全天のいたるところで等方的に発生していることがわかっている。また、ガンマ線だけでなく X 線、可視光、電波などさまざまな波長帯域で放射が観測されており、可視光観測においては残光現象や、可視光フラッシュなどが観測されている [恩田香織. (2004)]。

### 1.2 超広視野可視光望遠鏡 WIDGET-2

WIDGET-2 とは埼玉大学田代寺田研究室と理化学研究所牧島宇宙放射線研究室 (現玉川高エネルギー

宇宙物理研究室) らが中心となって開発した GRB 観測のための可視光望遠鏡である。現状では、GRB の可視光初期放射の観測例は非常に少ない。しかし、GRB 発生時、もしくは直後の可視光観測ができれば極めて広い波長帯での観測データが得られることになり、その発生機構に更に迫ることができる。そこで、可視光初期放射の早期観測を目的として超広視野可視光望遠鏡 WIDGET-2 が開発された [恩田香織. (2004)]。一般に、地上の望遠鏡では GRB 観測衛星からのアラートを受けてその方向に視野を導入するが、GRB の減光はほぼ経過時間に反比例するために初期放射を捉えるのは困難である。そこで、WIDGET-2 ではあらかじめ広い視野を見ることで、GRB 発生初期または発生前からの空の観測を試みている。冷却 CCD、広角レンズ、光害防止フードからなる検出器が4台ついており、全体の視野は  $64^\circ \times 64^\circ$  で全天の 1/10 をカバーしている。

### 1.3 WIDGET-2 の観測システム

WIDGET-2 の視野は、GRB 観測衛星 Swift の視野を追尾するように制御されている。GCN で送られてくる運用プランをもとに Linux PC で赤道儀を自動制御し、Swift の視野との同期を図っている。また、一晩中 Swift の視野を追尾しているため、何回も視野を変えながら観測を行っており、結果的に北天をランダムにサーベイしている。

## 2 画像処理

### 2.1 1 次処理

WIDGET-2 によって得られた生データは、ダークノイズや光学系のムラを含んでいるため 1 次処理を施す必要がある。冷却 CCD の温度が上昇すると自由電子が増加し、暗電流が発生しノイズとして検出される。また、情報を伝送する際の読み出しノイズ等も存在する。これらの検出器への光の入射と関係のないノイズをダークノイズといい、これを補正する処理が必要である。WIDGET-2 ではダークを除く自動パイプラインが構築済みである。

CCD は各ピクセルごとの個性は小さいものの、感度ムラが存在している。また、広視野レンズを用いているため周辺減光が避けがたい。これらの光学系による収差や感度ムラを補正するためにフラット処理が必要である。フラット処理は、フラットフレームでライトフレームを割ることで行われる。

### 2.2 WIDGET-2 におけるフラットフレーム補正

フラットフレームを作成するには、原理的には、光学系に一様で均一な光を入射させ撮像を行えば、光学収差や感度ムラのみを反映したフレームを得ることができる。そこで、ドームフラットなどの方法も用いられるが、この方法だと新たに設備が必要となる上に、天体の観測の他にフラット用の撮像を行わなければならない。したがって、WIDGET-2 では、晴天時の夜空の別の場所を複数枚撮像し、それらを

重ね合わせることでフラットフレームを作成するスカイフラットという方法を採用している。

観測によって得られたライトフレームは自動的にダークを処理するパイプラインを通る一方で、フラット処理については自動化されておらずフラットフレームの作成は観測者に任されている。そこで、WIDGET-2 において最適なフラットフレームの作成条件を求め、自動化に向けた指針を確立するために本研究を行った。

## 3 検証

### 3.1 フラットフレームの評価

WIDGET-2 において最適なフラットフレーム作成条件を求めるために、フラットフレームに用いるフレームの時間間隔、枚数、合成方法の 3 つの要素について条件を変化させてフラットフレームを作成し、観測によって得られたライトフレームを補正して、どのような要素が補正の効果に影響するのかを検証した。また今回の検証に用いたフレーム、は WIDGET-2 によって得られた 1 日分の観測データから選んだものである。

### 3.2 フラットフレーム作成条件

#### 3.2.1 フレームの時間間隔を変化させた場合

WIDGET-2 は、Swift の視野を追尾しながら一晩中何度も視野を変えて観測を行っているため、観測で得られたデータは観測時刻が一定以上隔たっていれば概ね別の場所を撮像したものである。したがって、フラットフレームに用いるフレームの時間間隔が異なる場合、フラット補正の効果には差が出ると考えられる。この影響を検証するため、フレーム枚数を 20 枚に固定し、各フレームの時間間隔を 1 分、5 分、10 分、15 分、20 分、25 分、として、それぞれフラットフレームを作成し、ライトフレームを処理して補正の効果と比較した。

### 3.2.2 フレーム枚数を変化させた場合

フラットフレームに用いるフレーム枚数を多くすることで、平均をとったときに星による高いカウントの影響をより軽減し、スカイ揺らぎも小さくなることが期待できる。よって、フラットフレームに用いるフレーム枚数の違いによる影響を検証するため、フレーム枚数が 10 枚、20 枚、30 枚、40 枚、50 枚、60 枚、70 枚、80 枚、90 枚、100 枚の場合でフラットフレームを作成し、補正の効果の比較を行った。このとき、フレームの時間間隔は概ね 3 分となるようにフレームを選んだ。

### 3.2.3 合成方法を変えた場合

フラットフレーム作成時に複数枚のフレームを一枚にするとき、各ピクセルの平均をとることで、星の高いカウント数の影響を低減することができる。このとき、平均ではなく中央値をとったとしても有効であると考えられる。したがって、合成処理の方法の違いによる影響を検証するために、それぞれ各ピクセルの平均値をとって 1 枚に合成したものと、中央値をとって 1 枚に合成したもので、ライトフレームを処理し、補正の効果の比較を行った。

### 3.2.4 評価方法

評価の方法は、それぞれ作成したフラットフレームでフラット処理を施したライトフレームのスカイカウントの標準偏差  $\sigma$  と検出限界値で評価した。平均からバックグラウンド揺らぎの 3 倍、すなわち  $3\sigma$  を検出限界値とした。

## 4 結果と考察

### 4.1 時間間隔の違いによる影響

時間間隔を変えて作成したフラットフレームで処理を施したライトフレームのスカイの標準偏差と検出限界値を以下に示す。

時間間隔を変えて作成したフラットフレームの場合、20 分間隔のものが標準偏差、検出限界値共に最

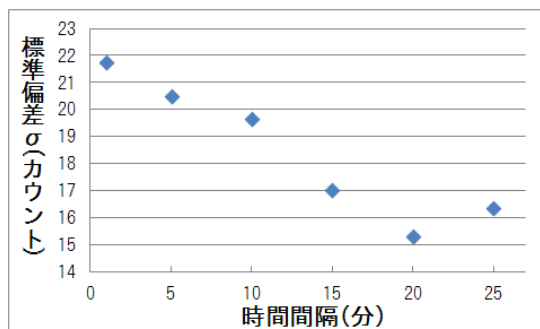


図 1: 時間間隔を変えた場合のスカイの標準偏差  $\sigma$

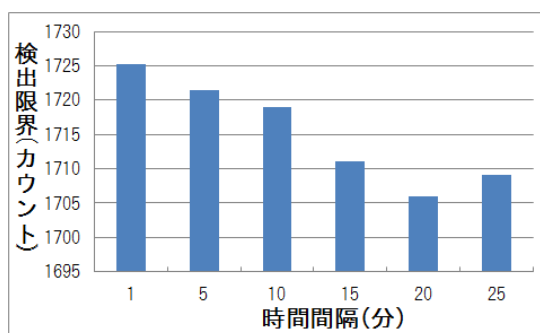


図 2: 時間間隔を変えた場合の検出限界値

も良い結果となった。20 分間隔までは時間間隔が長くなるにつれてスカイの標準偏差、検出限界値は共に小さくなる傾向が見られる。25 分間隔の値が 20 分間隔のものより大きくなったが、20 分に次いで 2 番目に良い値となっている。これは、時間間隔を大きくすることで得られる補正効果の向上の限界付近でゆらいだものと予想される。よって、20 分よりも時間間隔をとったとしてもこれ以降は大きな補正効果の向上は期待できない。したがって、WIDGET-2 の観測データにおいてフラット補正効果の向上が期待できる時間間隔は 20 分程度までである。

### 4.2 枚数の違いによる影響

枚数を変えて作成したフラットフレームで処理を施したライトフレームのスカイの標準偏差と検出限界値を以下に示す。

枚数を変えて作成したフラットフレームの場合、標準偏差においては 80 枚のもの、検出限界カウントにおいては 70 枚のものがそれぞれ最も良い結果となっ

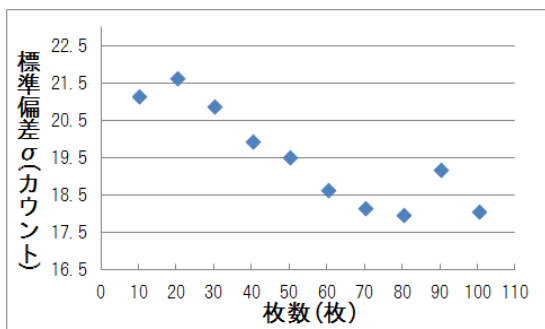


図 3: 枚数を変えた場合のスカイの標準偏差  $\sigma$

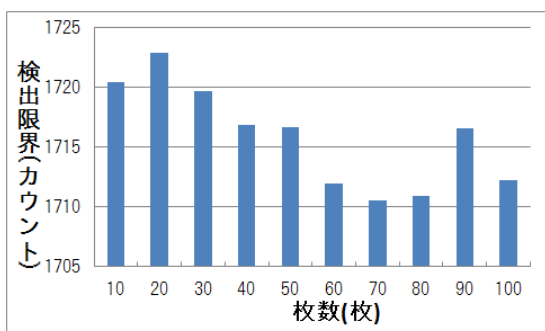


図 4: 枚数を変えた場合の検出限界値

た。標準偏差について見てみると、80 枚までは概ね枚数を重ねることで値が小さくなって行く傾向が観られる。90 枚では再び少し大きな値となっているが、100 枚は 80 枚の次に良い結果となっている。これは時間間隔を変えた場合と同様に補正効果向上の限界付近でゆらいだものと予想される。よって、枚数を重ねることでゆらぎが小さくなる傾向は 80 枚程度までと考えられる。また、検出限界値においては 70 枚まで小さくなる傾向があるが、これも標準偏差と同様に 70 枚で頭打ちとなったと考えられる。したがって、WIDGET-2 の観測データにおいてフラット補正効果の向上が期待できるフレーム枚数は 70~80 枚程度までである。

### 4.3 合成方法の違いによる影響

合成方法を変えて作成したフラットフレームで処理を施したライトフレームのスカイの標準偏差と検出限界値を以下に示す。

表 1: 合成方法を変えた場合のスカイの標準偏差と検出限界値

	標準偏差 $\sigma$	検出限界値
平均値	18.24	1694.72
中央値	14.49	1692.97

平均値よりも中央値をとって一枚にしたもののほうが、標準偏差が小さく検出限界値もよかった。合成方法を変えて作成したフラットフレームの場合、平均値では非常に明るい星の影響を受けるために中央値の方がよい結果となったと考えられる。

以上の結果は 1 日のデータについてである。WIDGET-2 の観測データにおいて一般にこの傾向が成り立つかを知るには、さらに別日における検証が必要である。

## 5 まとめ

WIDGET-2 におけるフラットフレーム作成において、フレームの時間間隔、枚数、合成方法の 3 つの要素がフラット補正効果に及ぼす影響を検証した。標準偏差  $\sigma$  が最もよい結果となったのはそれぞれ、20 分、80 枚、中央値であった。また、検出限界値はそれぞれ、20 分間隔、70 枚、中央値が最良となった。フレームの時間間隔は 20 分程度で頭打ちとなりこれ以上の劇的な補正効果の向上は期待できない。また、フレーム枚数においても 70~80 枚程度で頭打ちとなることがわかった。合成方法においては、中央値の方が  $\sigma$ 、検出限界値が共に良い結果となった。また、今回の実験は 1 日分のデータを用いて行ったものであり、他の日についても検証が必要である。

## Reference

恩田香織「ガンマ線バースト可視光閃光観測システム WIDGET の性能評価」 埼玉大学 卒業論文 (2004 年度)