

# 修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01 / 08 / 2014 (MM/DD/YYYY)

専攻名 (専門分野) Department	物理学及 応用物理学	氏名 Name	竹内 勇人	指導 教員 Advisor	片岡 淳 印 Seal
研究指導名 Research guidance	放射線応用 物理学研究	学籍番号 Student ID number	5312A057 - 3		
研究題目 Title	フェルミ衛星を用いたスターバースト銀河の系統探査				

## 1. 研究背景

フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡(以下、フェルミ衛星)の打ち上げから5年が経過し、これまでに 3,000 に迫る新しいガンマ線天体が続々と発見された。高エネルギー宇宙物理学は、今まさに新世紀を迎えつつある。特に、爆発的な星生成を特徴とする4つのスターバースト銀河(図 1)が  $5\sigma$  以上で検出され、これらはガンマ線天体の新しい種族としてだけでなく、系外宇宙線加速の現場として注目を集めている。

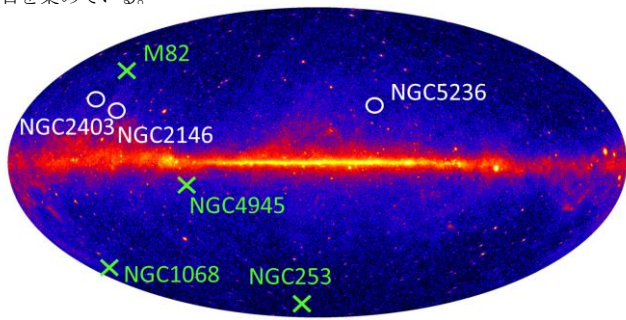


図 1. フェルミ衛星のガンマ線全天画像。×は既知、○は新しく発見されたガンマ線を放射するスターバースト銀河

一方で、そのガンマ線放射の起源については未だ決着がつかない。スターバースト銀河では爆発的な勢いで星生成が行われると同時に、超新星爆発も次々と発生しているため、宇宙線の密度も天の川銀河に比べて高くなっていることが想定される。そのため、宇宙線と星間物質が相互作用することによって  $\pi$  中間子が生成され、その  $\pi$  中間子の崩壊 ( $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ ) によってガンマ線が放射されるとする説が一般的である。これを実証するには、70MeV 付近 ( $m_\pi c^2/2$ ) のスペクトルに特徴的な折れ曲がりの有無を明らかにする必要があるが、フェルミ衛星の観測エネルギー閾値に近く、解析は困難を極める。本研究では 5 年間の統計の蓄積や近年の検出器キャリブレーション精度の大幅な向上を受け、世界で初めてスターバースト銀河の低エネルギー帯の解析に成功し、そのガンマ線放射の謎に迫った。

## 1. スターバースト銀河のガンマ線系統探査

フェルミ衛星で取得した、5 年間の観測データ全てを用いてスターバースト銀河の系統探査を行った。まず、スターバースト銀河カタログに記載された 127 天体から独自の選択基準を設け、ガンマ線での検出が見込まれる 32 天体を選出、そのすべてに対してガンマ線放射の有意度を計算した。その結果、既知のスターバースト銀河 4 天体に加え、新たに 2 天体を  $5\sigma$  以上で検出することに成功した。これら 6 天体を対象として、60MeV-100GeV の全エネルギー帯で詳細なスペクトル解析を行い、70MeV 付近のカットオフ構造の有無を調べた。その結果、個々の天体のスペクトルは統計的な誤差の大きさから、有意に折れ曲がりの有無を断言するには至らなかったものの、その兆候は確認することができた。図 2 に、比較的明るいスターバースト銀河のスペクトルの例を示す。

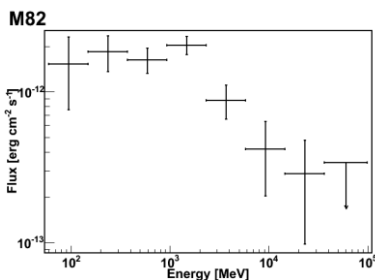


図 2. フェルミ衛星 5 年間のデータを用いた M82 のガンマ線スペクトル(60MeV-100GeV)

## 2. スタッキング解析

個々の天体の統計不足補うため、スタッキング解析とよばれる独自の手法で 7 天体のデータを加算し、より強い制限を与える議論を試みた。まず、イメージ画像からスペクトルの折れ曲がりを議論するため、各天体に対して検出の有意度を表したイメージを三つのエネルギーバンドで作成した。それぞれを足し合わせ、エネルギー毎のイメージ上の変化を見た。その結果を図 3 に示す。

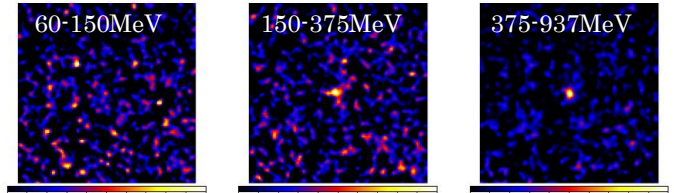


図 3. エネルギーバンド毎に 7 天体の放射を足し合わせたイメージ(左から、60-150MeV, 150-375MeV, 375-937MeV)

明らかに低エネルギー側(左:60-150MeV)では放射が弱く、加算後も放射の兆候は見られない。一方で、高エネルギー(中/右)は放射が強く、検出も顕著である。つまり、スターバースト銀河からのガンマ線放射は殆どが 150MeV 以上の高エネルギー成分といえる。

続いて、異なる明るさの天体のスペクトルを足し合わせ、スペクトルの形状から議論を行った。具体的には、折れ曲がりのない高エネルギー部分のスペクトル(150MeV-100GeV)に対してべき関数で fit を行い、そのモデルによって予想される値と、実際のデータとの比 (data/model) をとり、それらを重み付き平均で加算した。図 4 に示すとおり、低エネルギー側でのスペクトルの折れ曲がりが顕著にみられた。

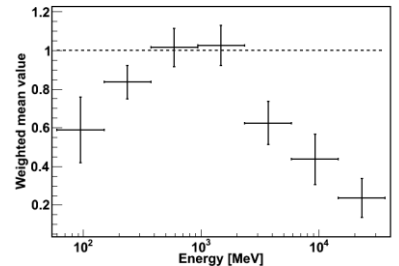


図 4. べき型モデル (150MeV-100GeV) と実データとの比の足し合わせ

## 3. まとめと結論

本研究では、フェルミ衛星 5 年間のデータを用いてスターバースト銀河のガンマ線系統探査を行った。その結果、ガンマ線で既知の 4 天体に加え、新たに 3 天体のガンマ線を放射するスターバースト銀河を発見した。これら 7 天体に対して、100MeV 以下に注目した詳細なスペクトル解析に初めて成功した。さらに、個々の天体の統計的不確かさを補うため、画像およびスペクトルにスタッキング解析という独自の手法を導入したところ、その結果はいずれもスペクトルの折れ曲がりを支持する結果となった。この結果は、スターバースト銀河からのガンマ線は  $\pi^0$  崩壊によるガンマ線放射が支配的であることを示唆し、宇宙線が活発に生成されていることを支持する結果と言える。

### 【研究業績リスト】

- (1) [講演] 竹内勇人 他, 「すぐく衛星を用いたガンマ線ローブ NGC6251 の観測」, 日本天文学会 2012 年春季年会, J65a.
- (2) [査読付論文] Y. Takeuchi et al. "SUZAKU X-RAY IMAGING OF THE EXTENDED LOBE IN THE GIANT RADIO GALAXY NGC 6251 ASSOCIATED WITH THE FERMI-RAT SOURCE 2FGL J1629.4+8236", The Astrophysical Journal, 749, 66
- (3) [国際会議(ポスター)] Y. Takeuchi et al., "Multiband Diagnostics of Unidentified 1FGL Sources with Suzaku/Swift X-ray Observations", Fourth International Fermi Symposium
- (4) [査読付論文] Y. Takeuchi et al. "Multiband Diagnostics of Unidentified 1FGL Sources with Suzaku and Swift X-ray Observations" The Astrophysical Journal Supplement Series, 208, 25
- (5) [講演] 竹内勇人 他, 「フェルミ衛星を用いたスターバースト銀河からのガンマ線系統探査」, 日本天文学会 2013 年秋季年会, R21a
- (6) [論文] Y. Takeuchi et al. "Search for the Pion-Decay Signature in the Gamma-ray Spectra of Starburst Galaxies", The Astrophysical Journal Letter, in prep