

多波長観測による電波で明るい狭輝線セイファート1型銀河  
の可視光放射に関する研究

広島大学大学院理学研究科物理科学専攻  
高エネルギー宇宙・可視赤外線天文学研究室

M132129 河口 賢至

主査 深澤 泰司 副査 山本 一博

2015年2月10日

## 概要

宇宙には、銀河中心の狭い領域が非常に明るく輝く銀河が存在しており、これらの天体を活動銀河核 (Active Galactic Nuclei; AGN) と呼ぶ。AGN の中心には太陽質量の  $10^5\text{--}10^{10}$  倍もの超巨大質量ブラックホールが存在しており、周辺物質が落ち込む際に解放される重力エネルギーをもとに輝いている。また AGN の中には、ジェットと呼ばれる相対論的速度のプラズマ噴流を持つ天体が存在し、これらの天体は電波で明るい特徴を示す。

本研究の対象天体である狭輝線セイファート 1 型銀河は AGN の 1 種であり、大部分が電波で暗い種族であるが、電波で明るい性質を示す天体が極少数存在することが知られてきた。近年、一部の電波で明るい狭輝線セイファート 1 型銀河から、ガンマ線観測衛星であるフェルミ衛星によって MeV/GeV ガンマ線帯域での放射が検出されたことで、相対論的ジェットからの直接的な証拠が得られたとして注目を集めている。またこの種族は、従来から知られているジェットを持つ AGN とは異なる特徴を持つため (比較的軽いブラックホール質量、高い降着率など)、AGN におけるジェット生成のメカニズム解明の上で重要な天体であると言える。しかし、この種族の天体は、近赤外線から紫外線までの帯域において、ジェットからの放射に加えて降着円盤からの放射も卓越して見られる。複数の成分が混ざり合って存在することで、この帯域での放射のメカニズムは未だよくわかっていない。

今回我々は、電波で明るい狭輝線セイファート 1 型銀河の可視光帯域での放射メカニズムを解明するため、可視光及びガンマ線帯域での長期観測を実施した。

ガンマ線で明るい天体として知られる PMN J0948+0022、1H 0323+342 の 2 天体に対して可視光、ガンマ線観測を実施した結果、両天体とも可視光、ガンマ線の両帯域で大きな光度変化が見られ、また、可視光度、ガンマ線光度の関係を見ると、両帯域での光度変化は全ての期間で関連するわけではなく、可視光、ガンマ線でよく相関する時期、可視光のみで明るい時期が存在することがわかる。

また、ガンマ線で暗い 4 天体に対して可視光モニター観測を実施した結果、1 天体から数日スケールでの光度変化が見られた。このような短い時間スケールでの変動は相対論的ジェットからの放射の可能性はあるものの、決定的な証拠は得られていない。

これらの観測結果に基づき、電波で明るい狭輝線セイファート 1 型銀河での、可視光帯域における放射メカニズムについて議論を行なった。

# 目次

第 1 章	まとめと今後	4
第 2 章	Appendix. セイファート銀河、電波銀河の可視光・X 線関連の探査	5
2.1	活動銀河核からの X 線放射	5
2.2	観測・解析	5
2.2.1	観測天体	5
2.2.2	観測機器	6
2.2.3	結果	6
2.2.4	セイファート銀河	7
2.2.5	電波銀河	7
2.2.6	考察	8

# 目 次

2.1	NGC 3227 の可視光、X 線光度曲線 . . . . .	7
2.2	NGC 3516 の可視光、X 線光度曲線 . . . . .	7
2.3	NGC 4151 の可視光、X 線光度曲線 . . . . .	7
2.4	3C 390.3 の可視光、X 線光度曲線 . . . . .	8
2.5	3C 111 の可視光、X 線光度曲線 . . . . .	8
2.6	3C 120 の可視光、X 線光度曲線 . . . . .	8
2.7	NGC 1275 の可視光、X 線光度曲線 . . . . .	8

# 表 目 次

2.1 観測天体 (セイファート銀河、電波銀河) . . . . .	5
------------------------------------	---

# 第1章 まとめと今後

本研究では、新たなガンマ線活動銀河核として近年注目を集める、電波で明るい狭輝線セイファート1型銀河に対して、広島大学所有かなた望遠鏡とガンマ線観測衛星であるフェルミ衛星による、可視光、ガンマ線観測を実施した。

ガンマ線で明るい2天体に対して観測を行なった結果、いずれの天体も可視光度、ガンマ線光度には明確な相関関係が見られなかった。また、偏光度が上昇する時期が見られ、このような時期には可視光帯域でジェットからの放射が卓越していると考えられる。

ガンマ線で暗い4天体に対して観測を行なった結果、1天体で数日スケールでの光度変化が見られた。電波帯域、ガンマ線帯域での先行研究からも、可視光帯域での短いタイムスケールの光度変化は、相対論的ジェットからの放射であることを支持する。

以上の観測結果から、電波で明るい狭輝線セイファート1型銀河の可視光放射は、(1) 静穏期には降着円盤からの放射が卓越して見られるものの、(2) 突発的なフレア時には可視光帯域でジェットからの放射が見える時期が存在する。しかし、(3) ジェットからの放射が卓越する時期かどうかは、可視光度のみからは判断できず、降着円盤の変動も考慮しなければいけない。そのため、可視光帯域での放射モデルを構築する際には、可視偏光、変動のタイムスケールを考慮しなければいけない。

今後は、2014年から本格的な観測を開始した、かなた望遠鏡カセグレン焦点に取り付けられた装置 HONIR による近赤外線帯域での観測が期待される。よりジェットからの寄与が強まり、降着円盤からの寄与が弱まる短波長側での観測によって、新たな情報が得られると考えられる。

## 第2章 Appendix. セイファート銀河、電波銀河の可視光・X線関連の探査

本節では、かなた望遠鏡とX線観測衛星による可視光、X線モニター観測の結果を述べる。

### 2.1 活動銀河核からのX線放射

AGNからのX線放射は複数の放射起源が考えられる。

radio-quietなAGNからは、主に熱的放射が卓越して見られる。X線帯域では高温コロナでの逆コンプトン散乱が見られる。

一方、radio-loudなAGNからは、上のような熱的放射に加えて、ジェットからの非熱的放射が入り交じって観測される。しかし、いずれの天体においても可視光、X線同時観測の長期観測例は乏しく、両帯域の相関関係は未だ未解明な部分が多い。そこで本研究では、かなた望遠鏡と全天モニターを実施しているX線観測衛星による、可視光、X線長期モニター観測を行った。

### 2.2 観測・解析

本章では、本研究での観測天体、使用した観測機器について記述する。

#### 2.2.1 観測天体

本研究での観測天体を、表 2.1 に示す。天体の選出は、先行研究が豊富で有名な天体であり、X線である程度明るいもののうち、かなた望遠鏡から観測可能な天体という条件で、セイファート銀河 3 天体、電波銀河 4 天体を選出した。

セイファート銀河	
NGC 3227	NGC 3516
NGC 4151	
電波銀河	
3C 390.3	3C 111
3C 120	NGC 1275

表 2.1: 観測天体 (セイファート銀河、電波銀河)

## 2.2.2 観測機器

本研究では観測機器として、可視光帯域の観測に広島大学かなた望遠鏡 HOWPol、X線帯域の観測に全天X線監視装置 MAXI、Swift 衛星 BAT を用いた。

かなた望遠鏡 HOWPolについては、第3章で既に記述しているため、こちらを参照のこと。以下ではX線観測機器について記述する。

### 全天X線モニター MAXI

全天X線監視装置 (Monitor of All-sky X-ray Image; MAXI) は、国際宇宙ステーション (ISS) に搭載されたX線観測装置である。全天X線観測装置としては過去最高感度を誇り、多数のX線突発天体を発見している。

MAXIには、Gas Slit Camera(GSC)とSolid-state Slit Camera(SSC)の2つの検出器が搭載されている。GSCは比例係数管を用いた検出器で、2-30keVの比較的高いエネルギー帯域を観測し、SSCは0.5-12keVの比較的低いエネルギー帯域までを、GSCよりも優れたエネルギー分解能で観測する。これらの検出器は、ISSの自転方向と垂直な方向に2本の細長い視野を持っており、ISSの自転によって全天サーベイ観測が可能となっている。およそ92分周期で全天を監視しており、X線突発天体をいち早く発見することができる。

MAXIの観測データはwebページから取得することができる。全天中の任意の位置、期間において、2-4keV、4-10keV、10-20keV帯域の3バンドのデータを生成し、取得することが可能である。

本研究では、ライトカーブの作成に当たっては、共同研究者である京都大学の上田氏、川室氏及びMAXIチームの大きな協力をいただき、webページ上で自動生成されるデータよりも、バックグラウンド成分を精度よく除去した、3-10keV帯域のデータを使用した。

### Swift 衛星-BAT

Swift 衛星は、ガンマ線バースト観測に特化した国際衛星である。ガンマ線バーストの発生をいち早く検出し、ネットワークシステム (Gamma-ray Coordinates Network; GCN) にアラートを流した後、自身でも搭載されたX線観測装置 X-Ray Telescope (XRT) と、可視光・紫外線観測装置 UV/Optical Telescope (UVOT) による追観測を行う。

Swift 衛星に搭載された検出器の1つである Burst Alert Telescope (BAT) は、15-150keVの硬X線帯域に感度を持つ検出器である。1.4strの広い視野を生かした全天サーベイ観測を行い、ガンマ線バーストからの硬X線放射をいち早く検出する。

BAT 検出器は、ガンマ線バーストの検出が主な目的であるが、一方で硬X線帯域での全天モニター観測も行っている。特に明るい天体については、webページ上で光度曲線を公開しており、本研究ではこの公開データを使用した。

## 2.2.3 結果

本章では、セイファート銀河、電波銀河のそれぞれについて、観測結果を述べる。



## 2.2.4 セイファート銀河

図 2.1 から図 2.3 は、各セイファート銀河の観測結果である。

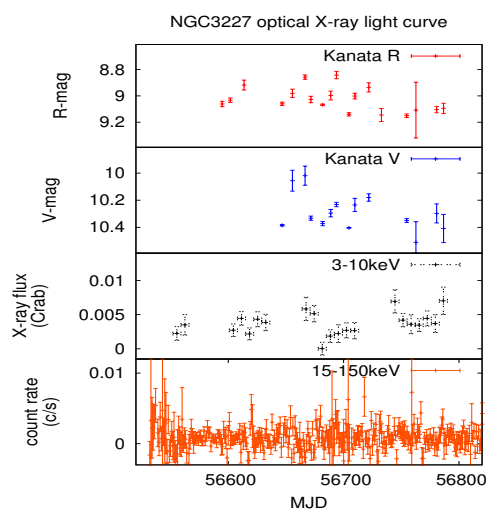


図 2.1: NGC 3227 の可視光、X線光度曲線

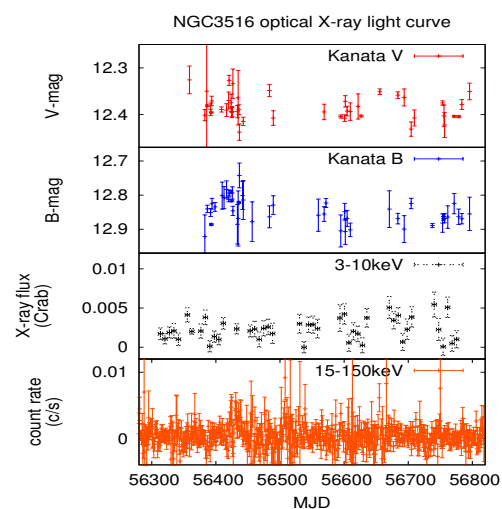


図 2.2: NGC 3516 の可視光、X線光度曲線

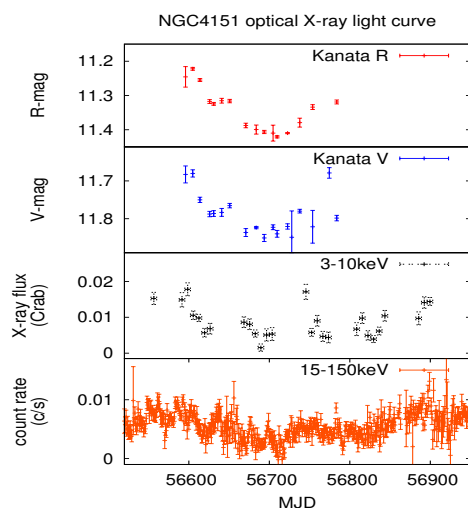


図 2.3: NGC 4151 の可視光、X線光度曲線

## 2.2.5 電波銀河

図 2.4 から図 2.7 は、各セイファート銀河の観測結果である。また MAXI の X 線データは、NGC 1275 のみ公開データを使用している。

3C 390.3 の BAT データは公開されていないため、載せていない。

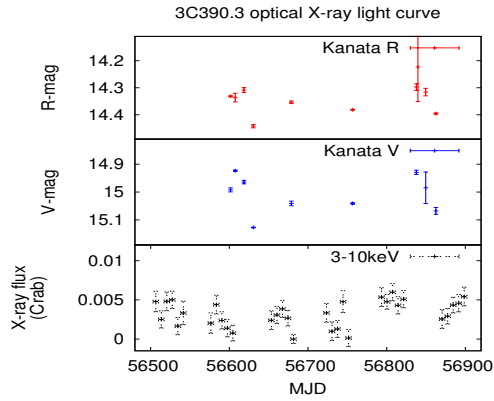


図 2.4: 3C 390.3 の可視光、X 線光度曲線

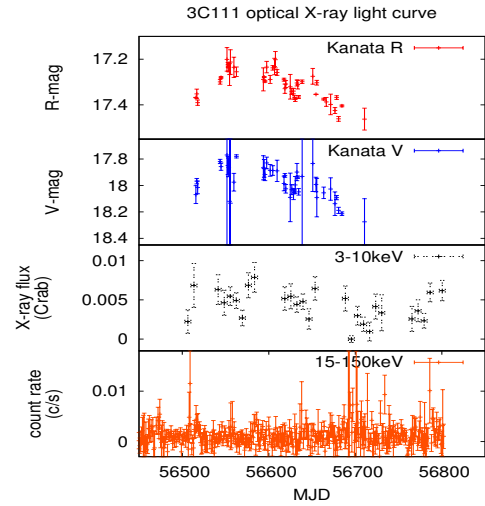


図 2.5: 3C 111 の可視光、X 線光度曲線

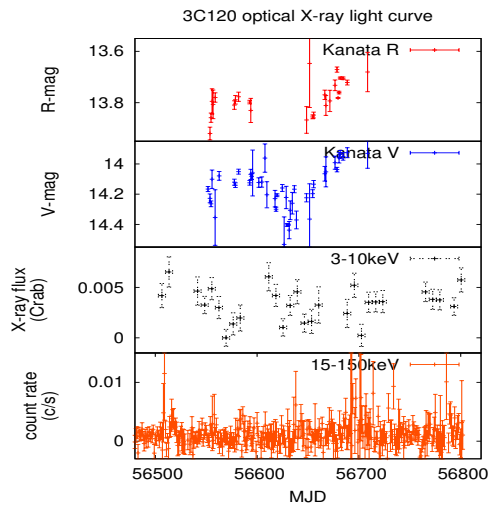


図 2.6: 3C 120 の可視光、X 線光度曲線

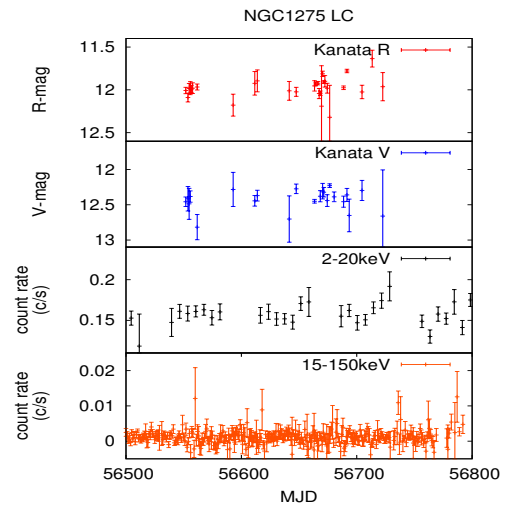


図 2.7: NGC 1275 の可視光、X 線光度曲線

## 2.2.6 考察

セイファート銀河においては、NGC 4151 から可視光、X 線で同期した変動が見られた。

電波銀河においては、どの天体からも顕著な相関は見られなかった。NGC 1275 はペルセウス銀河団の中心に位置するため、今回の結果の X 線光度曲線は銀河団からの放射を見ていると考えられる。この天体に関しては、X 線解析は AGN 成分のみを切り出す必要がある。

可視光、X 線帯域で同期した変動が見られた NGC 4151 は、X 線で非常に明るい天体であり、今回の結果は他の天体での X 線変動を検出できていない可能性が考えられる。可視光帯域での変動は複数の天体から検出されているため、他の天体においても、X 線で明るい時期で変動が確認できるかもしれない。

# 謝辞

本論文を執筆するにあたり、深沢先生、田中さん、伊藤さんを始め、本当に多くの方々にご指導いただきました。X線ガンマ線分野、光赤外分野と両分野にまたがり、自分が一番多くの方にお世話になったと思います。3年間、本当にありがとうございました。

深沢先生には、研究生活だけでなく学生生活、私生活でも多大なご支援いただき、私の修了を支えていただきました。先生のご協力が無ければ、今日このように無事修了することはできませんでした。本当にありがとうございました。

田中さんには、4年生の頃からずっと研究をご指導いただきました。厳しい時も多々ありましたが、研究する姿勢を田中さんから教えていただきました。これからもますます研究成果を挙げられることを願っています。今まで本当にお世話になりました。

伊藤さんには、観測方法から解析から何から何まで全ての面倒を見ていただきました。論文で書いたことの大半は、伊藤さんから教わったことだと思います。これからも天文台での観測、頑張ってください。海外でもご活躍されることを願っています。今まで本当にありがとうございました。

また、植村さん、秋田谷さん、神田さん、志岐くんには、月曜のミーティングでいつも貴重なご意見をいただきました。本当にありがとうございました。神田さん、志岐くんも、これからの大学院生活も頑張ってください。

同期の皆には、3年間色々な場面でお世話になりました。まとまりの無い学年でしたが、このメンバーでやってこれてよかったと思います。来年からはバラバラですが、この3年間を糧にますます発展することを願っています。

天文台での観測では、既に卒業された先輩方含め、多くの方々にお世話になりました。一晩中の観測は身体的に辛いものでしたが、とても貴重な時間を過ごすことができました。観測中の食事も楽しかったです。今までありがとうございました。

最後に、広島での一人暮らし、大学院までの進学を支えてくれた両親に御礼を言いたいと思います。本当に今までありがとうございました。

以上で本研究論文の謝辞とさせていただきます。

## 参考文献

- [1] A. A. Abdo, et al.2011, *Astrophysical Journal*, 726, 43
- [2] Antonucci, R. et al.1993, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 31,473,521
- [3] Osterbrock,D.E.,& Pogge,R.W.1985,*ApJ*,297,166
- [4] Peterson,B.M.1997, 「 An introduction to active galactic nuclei 」
- [5] Zhou,H.,Wang,T.2002, *Chin.J.Astron.Astrophys*, 2,501
- [6] Yuan, W. et al.2008, *ApJ*, 685,801
- [7] Komossa,S et al.2006, *AJ*, 132,531
- [8] Doi,A. et al.2006, *PASJ*, 58,829D
- [9] Doi,A. et al.2007, *PASJ*, 59,703D
- [10] A.A.Abdo et al.2009, *ApJ*, 699,976A
- [11] A.A.Abdo et al.2009, *ApJ*, 707L.142A
- [12] Whalen,D.J et al.2006, *AJ*, 131,1948
- [13] Ikejiri et al.2011, *PASJ*, 63,639I
- [14] Eggen,J.R. et al.2011, *nlsf.confE*,49E
- [15] Itoh.R et al.2013, *ApJ*, 775L,261
- [16] Itoh.R et al.2014, *PASJ,tmp*, 99l
- [17] Zhou H. et al.2007, *ApJ*, 658L,13Z
- [18] Fermi-LAT Collaboration.2015, *arXiv:1501.02003*
- [19] NASA web site <http://fermi.gsfc.nasa.gov/>
- [20] 広島大学宇宙科学センター web site <http://www.hiroshima-u.ac.jp/hasc/>
- [21] HONIR web site <http://hasc.hiroshima-u.ac.jp/instruments/honir/index-j.html>
- [22] HOWPol web site <http://hasc.hiroshima-u.ac.jp/instruments/howpol/>

- [23] Atwood et al.2009, Apj, 697,1071
- [24] Angelakis.E, et al.2014, Astronomy & Astrophysics manuscript, no.AA,2014,25081
- [25] 高木勝俊「かなた望遠鏡用1露出型偏光撮像器HOWPolの器械偏光に関する研究」広島大学2011年度卒業論文
- [26] IRAF web site <http://iraf.noao.edu/>
- [27] Doi et al.2012, ApJ,760.41D
- [28] Doi et al.2011, ApJ,738.126