

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	いのうえ よしゆき 井上 芳幸
学位 (専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻
(学位論文題目) The Extragalactic Gamma-Ray Background Radiation and the Cosmological Evolution of Active Galactic Nuclei beyond the <i>Fermi</i> Era (宇宙ガンマ線背景放射と活動銀河核の宇宙論的進化)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 戸谷 友則 准教授 上田 佳宏 准教授 太田 耕司 教授

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	井上 芳幸
論文題目	The Extragalactic Gamma-Ray Background Radiation and the Cosmological Evolution of Active Galactic Nuclei beyond the <i>Fermi</i> Era		

(論文内容の要旨)

宇宙背景放射とはあるエネルギー領域で支配的な種族天体からの電磁波放射とその宇宙論的進化史が積分された放射であり、宇宙空間の全方向からほぼ均等に観測される。つまり宇宙背景放射の起源を解明する事は各エネルギー領域の支配的な種族天体だけでなく支配的な天体の放射機構及び宇宙論的進化史の理解に直結する。特に宇宙ガンマ線背景放射 (Extragalactic Gamma-ray Background, EGRB) は暗黒物質の対消滅によるガンマ線放射なども埋れている可能性があり、現在その起源の分解が天文学及び物理学において重要課題となっている。観測的にはガンマ線領域では活動銀河核 (Active Galactic Nucleus, AGN) が最も多く発見されていることから AGN が EGRB の支配的な天体と考えられており、EGRB の起源の研究から AGN の放射機構や宇宙論的進化さらには暗黒物質の物理の解明に繋がる。

EGRET やフェルミガンマ線衛星によるガンマ線観測から AGN の中でも相対論的ジェットが観測者の視線方向に噴き出しているブレーザーが EGRB の支配的な種族であると考えられていたが、ブレーザーの宇宙論的進化史を表す光度関数には不定要素が多く、詳細はわかっていない。また近年フェルミ衛星の観測によって観測者の視線方向から外れた方向に相対論的ジェットを噴出している電波銀河からのガンマ線放射が発見されたが、EGRB にどの程度寄与するのかは未知でありフェルミ衛星の結果を組み込んだモデルが必要とされている。

本博士論文ではまず Radio-loud 型 AGN であるブレーザーおよび電波銀河が EGRB にどのように寄与しているかを調べた。過去の研究においてブレーザーに関しては SED (Spectral Energy Distribution) が単純なべき関数であるという非常に大きな仮定がされていたため、ブレーザーの EGRB への寄与は 20% から 100% と非常に不定性が大きかった。そこで本論文では観測的に知られているブレーザーシークエンスと言われるブレーザーの SED モデルを初めて組込んだ光度関数モデルを構築しブレーザーの EGRB への寄与を精確に見積もった。このモデルに基づく 100MeV 以上の全 EGRB フラックスの約 40% がブレーザーによって説明できると期待される。また、このブレーザー光度関数モデルはフェルミ衛星で観測されたブレーザーの天体数や近傍でのブレーザーの光度関数と非常によく一致している。

次に、電波銀河に関してであるが、電波銀河の EGRB への寄与はフェルミ衛星打ち上げ以前は 1 天体が検出されていたのみであったため、これまで定量的に考えられてこなかった。そこで本論文ではフェルミ衛星の結果を受けてすぐにフェルミ衛星で検出された電波銀河の電波光度とガンマ線光度の相関を発見し、これを基に電波銀河の電波光度関数を用いて電波銀河のガンマ線累積個数分布を組み込むことでガンマ線光度関数を構築しガンマ線背景放射への寄与を調べた。結果、電波銀河が EGRB に約 20% も寄与することを示した。

本論文で得られた各 AGN 種族の EGRB に対する寄与のモデルに基づけば Radio-quiet 型 AGN、ブレーザーそして電波銀河といった全ての AGN 種族によって EGRB の約 70% が説明できることがわかった。すなわち、残り 30% は AGN によっては説明できず、新たな種族 (星形成銀河やダークマター対消滅) が必要になり、他の種族の EGRB に対する寄与への強い制限となっている。また AGN 種族が X 線からガンマ線まで約 7 桁のエネルギー領域における宇宙背景放射支配的であるということが初めて定量的に示すことが

できた。

さらに本論文の AGN 種族のモデルに基づき、今後のフェルミ衛星による観測や次世代ガンマ線望遠鏡 CTA (Cherenkov Telescope Array) で期待される AGN の検出数や高赤方偏移 AGN についても議論している。特に高赤方偏移のガンマ線天体の検出は宇宙可視赤外背景放射 (Extragalactic Background Light, EBL) の制限において重要である。これは遠方宇宙からのガンマ線が EBL と電子陽電子対生成反応をし吸収されるためである。本論文のモデルに基づけば 5 年間の全天観測によってフェルミ衛星は $z \sim 6$ までブレーザーを発見すると期待され、CTA は 1 年および 10 年の全天探査によって ~ 50 および ~ 160 のブレーザー天体を発見すると期待される。さらに、CTA によって $z=1.4$ までのブレーザーが発見されることが予測される。また、フェルミ衛星で観測されたブレーザーのスペクトルを CTA のエネルギー帯域に外挿し CTA の観測をシミュレーションすると CTA で $z=2.49$ のフェルミブレーザーを検出できると期待される。

また本論文では、近年ガンマ線望遠鏡によってガンマ線放射が確認された星形成銀河における宇宙線加速限界を二次的なガンマ線によって探る方法も示している。星形成銀河由来のガンマ線は宇宙線起源であることからその観測は銀河における宇宙線の加速の理解において重要である。一方で銀河における宇宙線加速限界を調べるためには銀河由来の最高エネルギー宇宙線起源の超高エネルギーガンマ線を検出しなければならないが、星形成銀河内では赤外光子が豊富にあるためそのような超高エネルギーガンマ線は電子陽電子対反応によって銀河から脱出することなく吸収されてしまい検出することは難しい。しかし生成された電子陽電子は星間輻射場の光子を逆コンプトン散乱することで二次的なガンマ線を GeV 領域に生成する。これらの二次的なガンマ線を捉えることで宇宙線加速限界を調べるということが可能であることを初めて示し、将来の CTA による観測によって近傍星形成銀河である M82 と NGC 253 において宇宙線加速限界を調べられることを示した。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、申請者が博士課程在学中に行ってきたいくつかの研究をまとめたものである。共通のキーワードは宇宙ガンマ線背景放射 (EGRB) で、その起源解明は宇宙物理学の様々な話題に関連して、極めて重要な問題と認識されている。また、数年前に稼働を始めたフェルミガンマ線観測衛星の最新データが、新たな知見をもたらしつつある。

申請者は、おもに活動銀河中心核 (AGN) の EGRB への寄与について、いくつかの重要な理論的研究を行った。特に、最も支配的とされるブレーザーと呼ばれる AGN について、ブレーザーシーケンスという概念を始めて背景放射の理論計算に応用し、既存の研究よりもはるかに物理的で意味のあるスペクトル予言を示した。その結果はフェルミ衛星の最新データともよく合っており、世界的にも大きく注目された。もう一つは、これまでほとんど考慮されていなかった電波銀河の寄与を、フェルミの新しいデータにいち早く注目することで、世界で始めて理論予想を計算することに成功した。

これ以外にも、最遠方のブレーザーの検出可能性や、次世代ガンマ線望遠鏡である CTA での検出個数予想など、将来プロジェクトにとって有用な結果も多く導いている。

これらの成果は、世界的にも最先端を走る研究成果と言える。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認めた。また、平成 24 年 1 月 13 日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行い、その結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降