

# 宇宙ガンマ線背景放射と活動銀河核種族の研究—FermiからCTAへ



井上 芳 幸

〈Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, Department of Physics and SLAC National Accelerator Laboratory, Stanford University, Stanford, CA 94305, U.S.A./日本学術振興会海外特別研究員〉  
e-mail: yinoue@slac.stanford.edu

宇宙にほぼ等方に見えるガンマ線背景放射の起源は何か？ 宇宙物理学においてこの問題は長年の謎とされており、また背景放射に埋もれているであろう暗黒物質由来のガンマ線をとらえようと近年注目を集めている課題の一つでもある。起源の解明や暗黒物質の兆候をとらえるにはまず既知のガンマ線天体の寄与の理解が重要となる。本稿ではブレイザーと電波銀河を取り上げガンマ線背景放射の起源の最新の研究について紹介したい。また現在ガンマ線領域では次世代のガンマ線観測施設チェレンコフ望遠鏡アレイ (CTA) の建設への準備が進められている。CTAで可能となる新たな銀河系外ガンマ線天体の研究の一端についても紹介する。

## 1. 宇宙背景放射

宇宙背景放射とは全天でほぼ等方に観測される電磁波放射であり、そのなかでもCOBE衛星やWMAP衛星の活躍により宇宙マイクロ波背景放射が特に有名である。しかし宇宙はマイクロ波だけでなく、電波、赤外線、可視光、紫外線、X線そしてガンマ線で満ちている。宇宙背景放射の起源を理解することは、各波長域 (エネルギー領域) における宇宙の支配的種族の進化および放射過程を理解することにつながる。さらには背景放射に埋れている未知の天体や新しい物理に迫ることができる可能性を秘めている。

本稿では100 MeV ( $10^8$  eV) 以上の高エネルギーガンマ線に焦点をあて、宇宙ガンマ線背景放射に関する研究を紹介し<sup>\*1</sup>、将来のガンマ線望遠鏡計画への展望も紹介していきたい。

### 1.1 宇宙ガンマ線背景放射

宇宙ガンマ線背景放射は1970年代にSAS-2衛星によって初めて観測された<sup>2)</sup>。その後COS-B衛星やコンプトン衛星に搭載されたEnergetic Gamma-Ray Experiment Telescope (EGRET) によっても観測されている<sup>3)</sup>。

現在、宇宙ガンマ線背景放射は2008年に打ち上げられたフェルミガンマ線衛星に搭載されたLarge Area Telescope (LAT) という観測装置によって200 MeVから100 GeVまでの詳細なスペクトルが得られている<sup>4)</sup>、<sup>\*2</sup>。EGRET時代まで背景放射に埋れていた天体の多くはフェルミ衛星によって次々に天体として分解されており、ガンマ線領域における新天体の発見が相次いでいる。

理論的にはガンマ線で観測される銀河系外天体の多くがブレイザーと言われる種族であることから、宇宙ガンマ線背景放射の起源はブレイザーで

<sup>\*1</sup> 数百keV–数十MeVの宇宙ガンマ線背景放射については筆者の過去の記事<sup>1)</sup>を参照してください。

<sup>\*2</sup> 執筆時点 (2012年4月現在) で600 GeVまでのスペクトルが国際会議では報告されている<sup>5)</sup>が、本稿では基本的に論文化されたデータを元に記述している。

あると考えられていた<sup>6)</sup>。しかしブレーザーだけでは宇宙ガンマ線背景放射は説明できない可能性が2000年代の多くの研究で指摘されており、その起源は謎に包まれたままであった<sup>7)</sup>。

近年、一つの可能性として暗黒物質が対消滅または崩壊することによって放射されるガンマ線が宇宙ガンマ線背景放射に埋もれていると考えられている<sup>8)</sup>。宇宙ガンマ線背景放射に埋もれた暗黒物質の兆候をとらえることができれば物理学における大きな謎の一つである暗黒物質の正体に迫ることが可能である。物理学において宇宙ガンマ線背景放射は非常に重要なテーマの一つとなっている。

宇宙ガンマ線背景放射に埋もれた暗黒物質などの未知の天体の兆候をとらえるためには、まず既知の種族天体の宇宙ガンマ線背景放射への寄与を理解することが重要である。すでに報告されている銀河系外ガンマ線天体は確実に宇宙ガンマ線背景放射に寄与しているからである。現在知られている銀河系外ガンマ線天体は大きく分けてブレーザー、電波銀河、星形成銀河、ガンマ線バーストの4種族である。本稿では特にブレーザーおよび電波銀河に着目して紹介したい。

ブレーザーと電波銀河は銀河の中心にある太陽の約1億倍もの質量をもつ超巨大ブラックホールの重力エネルギーを解放することによって、銀河の中心が明るく輝いている活動銀河核に分類される。そのなかでもこれらは光速に近い宇宙ジェットを放出している種族である。ブレーザーは相対論的ジェットが観測者の視線方向に吹き出している種族で、電波銀河は視線方向からずれて吹き出している種族である。

## 2. ブレーザーと宇宙ガンマ線背景放射

### 2.1 EGRET時代

EGRETやフェルミ衛星の観測に基づくブレーザーが銀河系外天体の同定された天体の9割以上を占めている。つまり宇宙ガンマ線背景放射の起源はブレーザーが最有力候補である。しかしながら、フェルミ衛星打ち上げ以前のEGRET時代においてはブレーザーのガンマ線背景放射への寄与は20-100%と言われており不定性が非常に大きかった。

ここで、ある天体の宇宙背景放射への寄与を求めるには天体のスペクトルと宇宙論的進化史を表す光度関数が必要になる。光度関数とは天体の共動座標での空間数密度を赤方偏移、光度の関数として示したものである。過去の研究では光度関数を求め背景放射への寄与を見積もる際にブレーザーのスペクトルを光度によらず一つの単純なべき関数として取り扱っていた。

個々のブレーザーの多波長観測の研究からブレーザーのスペクトルはシンクロトロン放射成分と逆コンプトン成分に分解できることが知られている<sup>9)</sup>。さらに多くのブレーザーの多波長観測の結果をまとめると光度が明るいほどスペクトルの各成分のピークエネルギーが下がるブレーザーシークエンスと言われる傾向があることも知られている<sup>10), 11), \*3)</sup>。過去のブレーザーの宇宙ガンマ線背景放射への寄与の研究ではこのブレーザーのスペクトルの特徴をきちんと取り扱っていなかった。

そこで筆者らのグループは世界で初めてブレーザーシークエンスを取り入れてブレーザーの光度関数を構築した<sup>7)</sup>。このときフェルミ衛星は打ち上げ前であったのでEGRETによる観測データを用いている。図1に筆者らのモデルに基づくブレーザーの全宇宙ガンマ線背景放射スペクトルを示す。全宇宙ガンマ線背景放射の約43%がブレーザーで説明できると期待される<sup>7)</sup>。ここで述

\*3 近年ブレーザーシークエンスが観測バイアスによる結果であるという議論もあり<sup>12)</sup> ブレーザーシークエンスの有無については混沌としている。

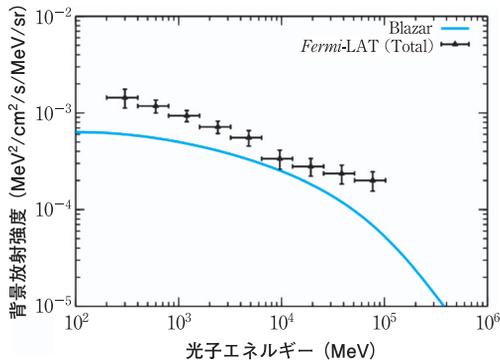


図1 筆者らのモデルに基づいて計算したブレイザーの全宇宙ガンマ線背景放射スペクトル図。ここでは未分解の宇宙ガンマ線背景放射に分解された天体を加えた全宇宙ガンマ線背景放射のスペクトルを示している。宇宙可視赤外背景放射による吸収およびカスケード成分の寄与は考慮に入れている。フェルミ衛星の観測データも示してある<sup>4)</sup>。

べている全宇宙ガンマ線背景放射とは観測によって分解された天体も含めた宇宙ガンマ線背景放射である。EGRET時代に構築された筆者らのモデルと最新のフェルミ衛星の結果を比較するために全宇宙ガンマ線背景放射を用いている。

宇宙空間を伝播する高エネルギーガンマ線は宇宙可視赤外背景放射と電子・陽電子対生成反応を行い吸収される。さらに生成された電子・陽電子が宇宙マイクロ波背景放射を逆コンプトン散乱でたたき上げ二次的なガンマ線（カスケード成分）を作る。図1ではこの吸収成分にカスケード成分を加えた成分を図示している。

## 2.2 フェルミ衛星時代

EGRET時代に筆者らはブレイザーの光度関数モデルを構築したが現在ではフェルミ衛星が続々と最新の結果を出している。筆者らのモデルから期待されたフェルミ衛星でのブレイザーの検出数予測（1年で約750個）はフェルミ衛星で実際観測されたブレイザー数（11カ月で約650個）と無矛盾であり、また近傍の光度関数も観測結果と非常によく一致している<sup>13)</sup>。現在、フェルミ衛星はEGRETよりも10倍以上のブレイザーを検出し

ている。この結果に基づくと全ガンマ線背景放射の約44%がブレイザーに起因すると考えられており筆者らの結果ともよく一致している<sup>14)</sup>。

フェルミ衛星によってガンマ線背景放射は点源に分解されており、フェルミ衛星によっても未分解のままのガンマ線背景放射についてはその22%がブレイザー起源であると考えられている<sup>14)</sup>。筆者らの研究やフェルミ衛星の結果に共通している重要な点はブレイザー以外の天体が宇宙ガンマ線背景放射に大きな寄与をしているはずであるという点である。

## 3. 電波銀河と宇宙ガンマ線背景放射

フェルミ衛星の結果が出始めた頃、ブレイザーの寄与のより詳細な研究もしくはEGRET時代から提唱されていた星形成銀河の寄与の研究が多くなされていた。しかし前者のブレイザーはフェルミ衛星のチームが最新のデータを扱えることから圧倒的に有利であり筆者のようなチーム外の間人が改めて手を出すのは不利である。また後者の星形成銀河の寄与に関しても昔から多くのモデルがあり最新の研究では約10%程度の寄与がある<sup>15)</sup>と言われており、未分解の背景放射成分の残りの78%を説明するには明らかに足りない。

筆者がほかの研究をしながら宇宙ガンマ線背景放射の新たな起源は何かとぼんやり考えていた時期にフェルミ衛星によって電波銀河からのガンマ線が次々と報告されていた<sup>16)</sup>。電波銀河はブレイザーと比べると暗いが数は圧倒的に多い。電波銀河がフェルミ衛星で観測されているということは宇宙ガンマ線背景放射に重要な寄与をしている天体のはずと思い立ち電波銀河の寄与の研究に取り組み始めた。

フェルミ衛星によって多くの電波銀河が検出されたとはいっても、その数は11個しかなく電波銀河の光度関数を構築するには数が少なすぎる。一方、電波観測によって電波銀河の光度関数は非常によく調べられており<sup>17)</sup>、電波光度とガンマ

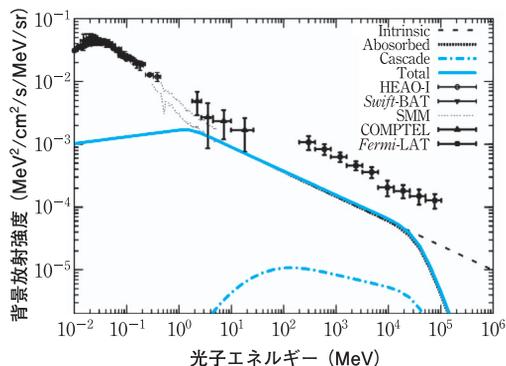


図2 筆者のモデルに基づいて計算した電波銀河の宇宙ガンマ線背景放射スペクトル。破線が宇宙可視赤外背景放射による吸収前のスペクトル、点線が吸収を受けたスペクトル、一点鎖線がカスケード成分。実線が吸収成分とカスケード成分を足した電波銀河の全体としての寄与成分。HEAO-I<sup>19)</sup>, Swift<sup>20)</sup>, SMM<sup>21)</sup>, COMPTEL<sup>22)</sup>, Fermi<sup>3)</sup>の観測データも示している。

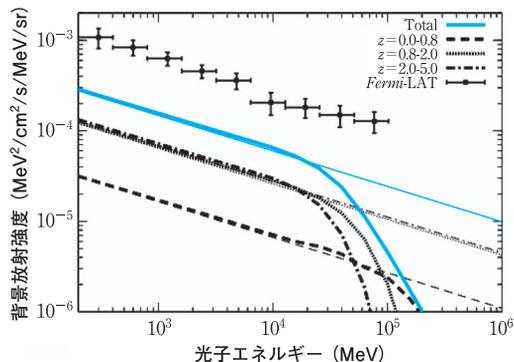


図3 電波銀河の宇宙ガンマ線背景放射に対する寄与を各赤方偏移空間範囲ごとに分解した図。実線が $z=0-5$ 、破線が $z=0.0-0.8$ 、点線が $z=0.8-2.0$ 、一点鎖線が $z=2.0-5.0$ の範囲に対応する。太線は宇宙可視赤外背景放射による吸収を考慮に入れた場合。細線は吸収を考慮に入れない場合。どの赤方偏移空間でも宇宙可視赤外背景放射によるガンマ線吸収の兆候が見えている。

線光度に相関があれば光度相関を用いることで電波の光度関数をガンマ線の光度関数に焼き直すことができる。そこで筆者らはまずフェルミ衛星によって検出された電波銀河の電波光度とガンマ線光度を調べたところ光度相関があることがわかったので、この光度相関関係を元に電波銀河のガンマ線光度関数を導出した<sup>18)</sup>。

図2に電波銀河の宇宙ガンマ線背景放射スペクトルを示す。電波銀河の未分解の宇宙ガンマ線背景放射への寄与を求めると25%も寄与している結果となった<sup>18)</sup>。とはいえ筆者の電波銀河のモデルにはまだまだ不定性が大きい。単純にモデルの不定性を組み込むと1シグマの誤差の範囲で10-60%の寄与をしていると考えられる。今後フェルミ衛星でより多くの電波銀河が見つけれればより不定性は小さくなりモデルの詳細化も可能となるであろう。

#### 4. 宇宙ガンマ線背景放射の残された謎

現在の宇宙ガンマ線背景放射の内訳は22%がブレーザー、25%が電波銀河である。つまり相対論的ジェットをもつ活動銀河核種族によって約

50%の成分が説明できることになる。また星形成銀河が約10%効いているという研究もあり<sup>15)</sup>、観測と理論双方の不定性を考えると宇宙ガンマ線背景放射の起源をほぼ理解できたといえる。しかし、30 GeV以上の超高エネルギー宇宙ガンマ線背景放射に着目すると全くそうは言えない状況にある。

図3に適当な赤方偏移範囲ごとの成分に分解した電波銀河のガンマ線背景放射スペクトルを示す。ここで重要な点は理論モデルには約50 GeV付近にカットオフが存在することである。これは以下の理由による。先ほど述べたように宇宙空間を伝播する高エネルギーガンマ線は宇宙可視赤外背景放射と電子・陽電子対生成反応をし吸収される<sup>23)</sup>。つまりガンマ線背景放射の起源が宇宙論的な距離にある天体であると考えるとガンマ線背景放射のスペクトルにはこの吸収が見えるはずである。しかしながら観測データを見る限り100 GeVまでは吸収の兆候は見えていない<sup>4)</sup>。最新のフェルミ衛星の結果に基づく600 GeVまでこの吸収のスペクトルは見えていない<sup>5)</sup>。

典型的に 100 GeV のガンマ線の光学的厚みが 1 となる（フラックスが  $1/e \sim 0.37$  となる）距離が  $z \sim 1$  である<sup>23)</sup>。宇宙の星形成史や活動銀河核の密度はより遠方の  $z \sim 2$  で最大値を迎えることが知られている。つまり 100 GeV どころか 600 GeV まで吸収の兆候が見えないことはガンマ線吸収の観点から不思議である（筆者としては非常に不思議である）。もちろん観測の不定性の問題もあるかもしれないが、この特徴がガンマ線背景放射に埋もれた新たなガンマ線源を紐解く鍵になるはずである。また近年は宇宙ガンマ線背景放射に見える非等方性を探る新しい研究も進められており筆者が紹介した手法とは独立な手法で起源の解明の研究もされている<sup>24)</sup>。

## 5. Cherenkov Telescope Array で解明する活動銀河核および遠方宇宙

ガンマ線背景放射の起源を解明するうえで今後重要な点は (1) 別の観測装置でガンマ線背景放射のスペクトルをとること、(2) 高エネルギー側にフェルミ衛星で検出されていない系外ガンマ線天体があるかという点である。これらを解決するのに最適なのが地上チェレンコフ望遠鏡による超高エネルギーガンマ線 (>30 GeV) の観測である。

超高エネルギーガンマ線天文学は 100 GeV から 10 TeV に感度をもつ H.E.S.S.<sup>25)</sup>, MAGIC<sup>26)</sup>, VERITAS<sup>27)</sup> の 3 大望遠鏡によって牽引されている。上記の (2) の点に関してはすでに現在の超高エネルギーガンマ線望遠鏡では検出されているがフェルミ衛星では検出されていない種族天体が 6 天体報告されている<sup>28)</sup>。

現在これらの望遠鏡よりも 1 桁程度優れた感度で 30 GeV から 100 TeV と広いエネルギー帯をカバーするように計画されているのが「次世代チェレンコフ望遠鏡アレイ Cherenkov Telescope Array (CTA)」である。CTA には日本を含めた世界

25 カ国 860 名による研究者（2011 年 11 月時点）が参加し、現在盛んに準備研究が進められている<sup>29), 30)</sup>。

日本チームは装置開発およびサイエンス検討双方に寄与しており筆者は主にサイエンス検討に携わっているので、CTA で可能となるサイエンスのほんの一端をここで紹介したい。詳しくは *Astroparticle Physics* から出版予定の CTA Special Issue をご覧いただきたい。

### 5.1 活動銀河核と CTA

現在の地上チェレンコフ望遠鏡によって約 140 の天体が報告されており、そのうちの約 50 が系外天体でその大半がブレーザーである<sup>31)</sup>。超高エネルギーガンマ線での最遠方天体は MAGIC によって観測された  $z=0.536$  の 3C 279 である<sup>32)</sup>。可視赤外観測と比べると非常に近傍であるが、先に述べたガンマ線吸収から宇宙可視赤外背景放射に強い制限を課しており、可視領域においていくつかの宇宙可視赤外背景放射の直接観測のデータや理論モデルを棄却し星銀河形成史の理解において非常に重要な役割を果たしている<sup>32), 33)</sup>。

ではいったい CTA の時代になればどれだけの数のブレーザーがどれだけ遠方まで観測可能なのだろうか。先に述べた筆者らのブレーザーシーケンスを組み込んだブレーザーの宇宙論的進化モデルに基づけば 10 年間の運用で約 150 個、30 年間の運用で 400–500 個のブレーザーが検出可能である<sup>34)–36)</sup>。ここで筆者らのモデルはブレーザーが増光するフレア現象を考慮に入れていないため実際観測される数はより増える可能性が大いにある。

将来 CTA で取得されるブレーザーカタログには GeV 領域で暗い天体も多数含まれると期待される。これらはフェルミ衛星でとらえるのは難しいため、ブレーザーの宇宙論的進化の理解だけでなく、先に述べた宇宙ガンマ線背景放射の起源の解明にも大きく近づけるであろう<sup>\*4)</sup>。

\*4 余談であるが系内天体は約 500 天体検出されると期待されている<sup>35)</sup>。

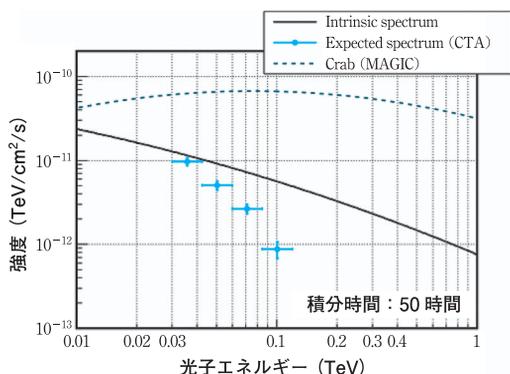


図4  $z=1.839$ にあるブレイザー 2FGL J1504.3+1029をCTAで50時間観測した場合に期待されるスペクトル。黒実線がインプットのスペクトル。Franceschiniらの宇宙可視赤外背景放射によるガンマ線吸収モデル<sup>38)</sup>を考慮した場合にCTAで期待されるスペクトルデータが青点。強度比較の参考のためにMAGICで観測したかに星雲のスペクトルを灰色破線で示している。

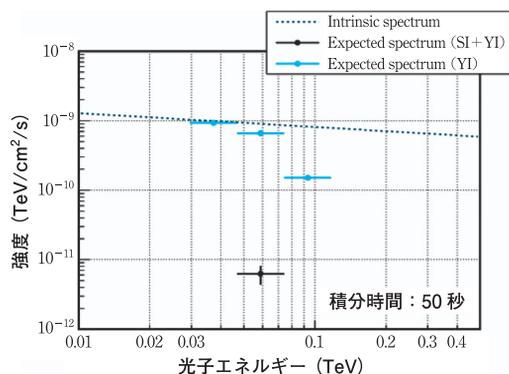


図5 GRB 080916Cが $z=6.5$ で起こったと仮定しCTAで観測した際に期待される予想スペクトル。積分時間は50秒を仮定。ガンマ線吸収を考慮していないインプットのスペクトルが灰色破線。黒および青のデータ点はそれぞれS. Inoueによる吸収モデル<sup>43)</sup>、Y. Inoue吸収モデル<sup>23)</sup>を仮定した場合に対応。

さてCTAではどのぐらい遠方まで観測可能なのであろうか。遠方ブレイザーをCTAで観測した場合を筆者らがシミュレーションした結果の一例を図4に示す<sup>36)</sup>。この天体はフェルミ衛星の2年間のサーベイカタログで報告されている天体2FGL J1504.3+1029で $z=1.839$ の距離にある<sup>37)</sup>。図4にあるように宇宙可視赤外背景放射によるガンマ線吸収の兆候を綺麗にとらえることができる。さらにこのスペクトルは静穏期を仮定したものであり、フレアも考慮に入れるとCTAでは $z=2.5$ の天体まで検出可能であると期待され<sup>36)</sup>、これまで以上に宇宙可視赤外背景放射を強く制限することが可能となるであろう。

### 5.2 CTAで切り拓く遠方宇宙

宇宙ガンマ線背景放射や活動銀河核とは別の話題になるが、CTAによるガンマ線バースト (GRB) 観測についても少し触れておきたい。

GRBとは $10^{53}$  ergに及ぶ莫大なエネルギーをわずか数秒から数十秒の間に開放してしまう宇宙で最大の爆発現象である<sup>39)</sup>。赤方偏移8を超える

GRBが発見されており人類の知る宇宙で最も遠方の天体はGRBである<sup>40)</sup>。GRBはGeVガンマ線帯域でもEGRETやフェルミ衛星により多数の観測例がある高エネルギーガンマ線放射天体でありCTAの観測ターゲットの一つである。フェルミ衛星では有効面積が限られており光子の統計が不足していたが、CTAはフェルミ衛星と比べて約1万倍の圧倒的な有効面積を誇る。CTAによって高統計のガンマ線を用いて新たなGRBサイエンスが切り拓かれることになる<sup>41)</sup>。

CTAによるGRBサイエンスの目玉の一つが遠方宇宙探査である。GRBの極めて明るい多波長放射は宇宙再電離期や初代星形成期を含めた遠方宇宙を探る貴重な光源になる。特にすばる望遠鏡によるGRB観測が宇宙再電離期に強い制限を課したのは記憶に新しい<sup>42)</sup>。遠方GRBのガンマ線領域観測からは宇宙可視赤外背景放射によるガンマ線吸収を用いて宇宙再電離期にとって本質的な初代星由来の紫外線背景放射の強度と進化を探ることができ初代星形成にも制限を加えることができる<sup>43)</sup>。

筆者らはフェルミ衛星で観測されたGRBを例

としてCTAでのGRB検出可能性を調べている。図5にその一例を示す。ここではGRB080916C<sup>44)</sup>が $z=6.5$ にあったと仮定しCTAで50秒観測した場合の結果である。シミュレーションスペクトルデータの違いは背景放射光のモデルの違いであり主に初代星形成量の違いに起因している。ざっと1桁ほど初代星形成量が黒データと青データで異なる。CTAの大きな有効面積で $z=6.5$ のGRBを観測できればこの吸収の傾向の違いから初代星形成にも重要な制限が加えられるであろう。

## 謝 辞

本稿は筆者の博士論文の一部をもとにしたものです。指導教官の戸谷友則准教授、共同研究者の井上 進氏、上田佳宏准教授、片岡 淳准教授、小林正和氏、佐藤理江氏、森 正樹教授、そしてCTAJapanコンソーシアム、CTAコンソーシアムの方々に感謝いたします。また本稿を執筆する機会を与えてくださった編集員の山崎 了氏に感謝いたします。最後に筆者の写真と一緒に写ってくれたペルーの女の子とそのツーショットを撮ってくれた妻に感謝します。

## 参考文献

- 1) 井上芳幸, 2008, 天文月報101, 391
- 2) Fichtel C. E., Simpson G. A., Thompson D. J., 1978, ApJ 222, 833
- 3) Sreekumar P., et al., 1998, ApJ 494, 523
- 4) Abdo A. A., et al., 2010, PRL 104, 101101
- 5) Ackermann M., et al., 2011, TeV Particle Astrophysics
- 6) Stecker F. W., Salamon, M. H., 1996, ApJ 464, 600
- 7) Inoue Y., Totani T., 2009, ApJ 702, 523
- 8) Bergström L., 2000, Rep. Prog. Phys., 63, 793
- 9) 片岡 淳, 2002, 天文月報95, 373
- 10) Fossati G., Maraschi L., Celotti A., Comastri A., Ghisellini G., 1998, MNRAS 299, 433
- 11) Kubo H., Takahashi T., Madejski G., Tashiro M., Makino F., Inoue S., Takahara F., 1998, ApJ 504, 693
- 12) Padovani P., Giommi P., Landt H., Perlman E. S., 2007, ApJ 662, 182
- 13) Ajello M., et al., 2011, arXiv: 1110.3787.
- 14) Abdo A. A., et al., 2010, ApJ 720, 435
- 15) Makiya R., Totani T., Kobayashi M. A. R., 2011, ApJ 728, 158
- 16) Abdo A. A., et al., 2010, ApJ 720, 912
- 17) Willott C. J., Rawlings S., Blundell K. M., Lacy, M., Eales S. A., 2001, MNRAS 322, 536
- 18) Inoue Y., 2011, ApJ 733, 66
- 19) Gruber D. E., Matteson J. L., Peterson L. E., Jung G. V., 1999, ApJ 520, 124
- 20) Ajello M., et al., 2008, ApJ 689, 666
- 21) Watanabe K., Hartmann D. H., Leising M. D., The L., Share G. H., Kinzer R. L., 1997, in American Institute of Physics Conference Series, Vol. 410, Proceedings of the Fourth Compton Symposium, ed. by C. D. Dermer, M. S. Strickman, J. D. Kurfess, pp. 1223–1227
- 22) Kappadath S. C., et al., 1996, A&AS 120, C619+
- 23) Inoue Y., et al., in preparation
- 24) Ackermann M. et al., 2012, arXiv:1202.2856
- 25) <http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/>
- 26) <http://www.magic.mppmu.mpg.de/>
- 27) <http://veritas.sao.arizona.edu/>
- 28) Abdo A. A., et al., 2009, ApJ 707, 1310
- 29) Actis M., et al., 2011, Experimental Astronomy 32, 193
- 30) 手嶋政廣, 2011, 天文月報104, 333
- 31) <http://tevcat.uchicago.edu/>
- 32) MAGIC Collaboration, Albert J., et al., 2008, Science 320, 1752
- 33) Aharonian F., et al., 2006, Nature 440, 1018
- 34) Inoue Y. for the CTA Consortium, 2011, arXiv: 1112.5813
- 35) Dubus G., et al., in preparation
- 36) Sol H., et al., in preparation
- 37) Fermi-LAT Collaboration, 2011, arXiv: 1108.1420
- 38) Franceschini A., Rodighiero G., Vaccari M., 2008, A&A 487, 837
- 39) 井上 進, 2009, 天文月報102, 248
- 40) Tanvir N., et al., 2009, Nature 461, 1254
- 41) Inoue S., et al., in preparation
- 42) Totani T., et al., 2006, PASJ 58, 485
- 43) Inoue S., Salvaterra R., Choudhury T. R., Ferrara A., Ciardi B., Schneider R., 2010, MNRAS 404, 1938
- 44) Abdo A. A., et al., 2009, Science 323, 1688

**The Extragalactic Gamma-ray Background Radiation and the Active Galactic Nuclei Population Studies—From *Fermi* to CTA**

**Yoshiyuki INOUE**

*Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, Department of Physics and SLAC National Accelerator Laboratory, Stanford University, Stanford, CA 94305, U.S.A./JSPS Postdoctoral Fellow*

Abstract: The origin of the extragalactic gamma-ray background (EGB) radiation has been argued for a long time in astronomy. Recently, the study of the origin of EGB is one of the most popular topic in astrophysics since dark matter signature is expected to be buried in the spectrum. However, we first need to understand the guaranteed sources' contribution to EGB. In this article, we discuss the contribution from blazars and radio galaxies. And, in the gamma-ray band, the next generation gamma-ray imaging atmospheric Cherenkov telescope, Cherenkov Telescope Array (CTA), is being prepared. We further discuss a part of the possible new science for the extragalactic gamma-ray sources by CTA.