

機関番号：13901

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009年度 ～ 2010年度

課題番号：21840028

研究課題名（和文） 宇宙磁場の起源とその観測的検証

研究課題名（英文） Origin of cosmic magnetic fields and its observational study

研究代表者

高橋 慶太郎 (TAKAHASHI KEITARO)

名古屋大学大学院理学研究科 特任助教

研究者番号：80547547

研究成果の概要（和文）：

宇宙起源に迫るために天体に付随しない宇宙論的な磁場が存在するのかどうかを探る観測的な手法を研究した。特にガンマ線バーストや活動銀河核など遠方の高エネルギー天体からの遅延ガンマ線を利用し、宇宙磁場を観測・制限する手法を考案した。その結果現在稼働中のFermiやMAGICなどのガンマ線望遠鏡により明るいガンマ線バーストや活動銀河核のフレアに対して遅延ガンマ線が観測可能であり微弱な銀河間磁場を観測できる可能性があることがわかった。

研究成果の概要（英文）：

To investigate the origin of cosmic magnetic fields, I studied how we can measure intergalactic magnetic fields. I proposed a observational method which utilizes delayed gamma-rays from gamma-ray bursts and active galactic nuclei. As a result, it was shown that tiny intergalactic magnetic fields can be measured by observing delayed gamma-rays from bright gamma-ray bursts and flares of active galactic nuclei with ongoing gamma-ray telescopes such as Fermi and MAGIC.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	950,000	285,000	1,235,000
2010年度	720,000	216,000	936,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,670,000	501,000	2,171,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：宇宙物理・磁場

1. 研究開始当初の背景

(1) 宇宙磁場

銀河や銀河団など宇宙の様々な天体がそれぞれ固有の磁場を持っていることが観測的に

示されている。この磁場は、太陽や地球と同様にダイナモ機構によって増幅・維持されていると考えられている。しかしダイナモはゼロから磁場を作り出すことができず何らか

の「種磁場」が必要であり、例えば銀河磁場に対しては $10^{(-20\sim-30)}$ ガウス程度の種磁場が必要とされる。この種磁場がどのようにして生まれたのかというのが長い間宇宙物理学の大きな謎であった。宇宙物理学で通常用いられる理想磁気流体力学の近似では磁束が保存されるので、いかなるプロセスにおいても磁場はゼロから生じることはない。したがってこの近似を超えた枠組みを考えなければならない。

(2) 種磁場

これまでの種磁場研究は主に3つのグループに分類される。1つ目は天体物理学的生成で、衝撃波のような非熱的な現象が起こると理想磁気流体近似が破れてピアマン効果により磁場が生成されるというものである。具体的には銀河・銀河団形成や宇宙の再イオン化における磁場生成が議論されており、応募者自身も第1世代超新星残骸での磁場生成を数値シミュレーションにより研究している。2つ目のグループは量子論的生成である。宇宙初期のインフレーションという加速膨張期に量子ゆらぎから磁場が生成される可能性がある。ただし通常の電磁場を考えても磁場生成は起こらず、何か特殊な相互作用を持った電磁場が必要になる。

最後のグループは報告者自身がこれまでの研究で大きく寄与してきた密度揺らぎによる磁場生成である。一連の研究で応募者は宇宙論的密度揺らぎから自然に磁場が生成されることを示した(図1参照)。誕生後間もない宇宙は高温・高密度のプラズマで電子と陽子はクーロン力を通じて結びついているのでほぼ1つの混合流体として振る舞う。しかし電子は陽子よりもずっと軽いため光子と衝突しやすく光子流体の運動に引きずられる。すると電子と陽子の運動に差が生じて電流が発生し磁場が生成される。この説は理論的にも観測的にも確立した宇宙論的摂動論に基づいており、物理的な仮定無しに磁場の強さを正確に予言できる。

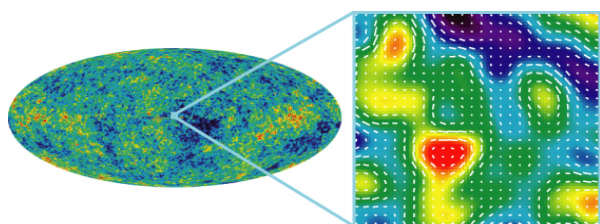


図1：密度揺らぎによる磁場生成の概念図

2. 研究の目的

上記のように宇宙磁場の起源に関していくつかのシナリオがあり、特に応募者が提唱したシナリオが有力視されている。そこで研究目的は微弱な宇宙磁場を観測することによって磁場生成の説を検証・棄却し、宇宙磁場の起源に迫ることである。

様々な磁場生成説が予言する磁場の大きさは $10^{(-15\sim-22)}$ ガウス程度と微弱で、 $10^{(-9)}$ ガウス程度の感度しか持たない既存の方法では観測は非常に難しい。そこで応募者はガンマ線バーストや活動銀河核などの高エネルギー天体を用いた磁場観測の方法を提唱してきた。この方法はこれまで実行されたことがない全く新しい方法で $10^{(-15\sim-20)}$ ガウスと微弱な磁場に対して感度があり、磁場生成のシナリオを検証する上でとても都合が良い。この方法論の定式化を完成させることが研究の目的である。

3. 研究の方法

遅延ガンマ線とは、天体からの高エネルギーガンマ線が宇宙空間で赤外線光子と対消滅することによって生成される電子・陽電子が宇宙背景放射光子を逆コンプトン散乱することによって生じるガンマ線である。このガンマ線がガンマ線バーストや活動銀河核のフレアの発生からどの程度の時間遅れてやってくるかを測ることにより宇宙空間の磁場を測定することができる。ガンマ線の対消滅や荷電粒子の対生成、ラーモア回転、逆コンプトン散乱などのプロセスを考慮に入れたうえで光子・粒子の軌道を幾何学的にモデル化し、遅延ガンマ線のフラックスを計算する(図2参照)。ここで散乱やラーモア回転による光子・粒子の角度の変化が十分小さいという仮定をすることによって計算が簡便になり数値計算にかかる時間を大幅に短縮することができる。

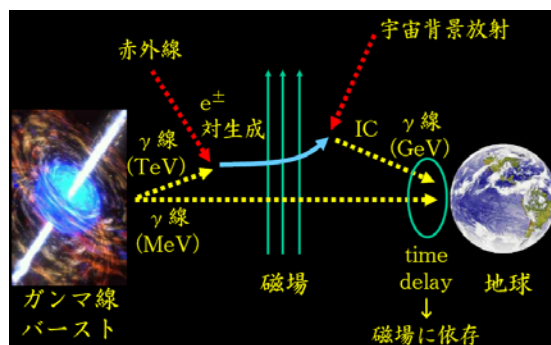


図2：遅延ガンマ線の計算モデル

4. 研究成果

まずガンマ線バーストからの遅延ガンマ線と残光の強さを比較し、遅延ガンマ線の観測可能性について議論した。ほとんどのガンマ線バーストには残光と呼ばれる高エネルギー放射が付随しているため、遅延ガンマ線が隠されてしまって観測不可能になり磁場探索が困難になる可能性がある。そこで磁場の強さや残光の時間発展に関して様々なケースを想定してどちらが明るいのかを比較した。その結果、宇宙磁場の強さが十分であれば標準的な残光よりも遅延ガンマ線は長時間持続し、ガンマ線バースト発生からおおよそ1日後には遅延ガンマ線の観測が可能であることが示された（図3参照）。この研究によって宇宙磁場の探索方法としてのガンマ線バーストが非常に有望であることがわかり、これまで考えられてきた宇宙磁場探索の研究の方向性の正しさが示された。

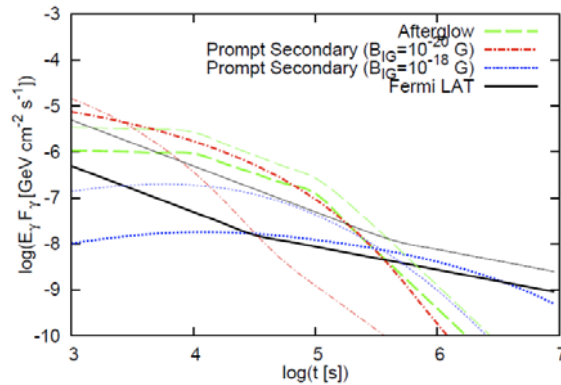


図3：遅延ガンマ線と残光の光度曲線の比較

また星形成活動の初期に起こるガンマ線バーストからの遅延ガンマ線について研究を行った。このような初期の宇宙では天体から放出される磁場はほとんど存在しないと期待できるため宇宙初期に生成された磁場の情報を得ることができると期待される。またガンマ線が対消滅する相手となる赤外線光子の不定性がなくなるため遅延ガンマ線の予言にあいまいさが少なくなるという利点もある。本年度の研究ではCTAなどの将来建設される予定の次世代ガンマ線望遠鏡も考慮に入れて遅延ガンマ線の観測可能性を議論した。その結果、非常に明るいガンマ線バーストに対して遅延ガンマ線が観測可能であることを示した（図4参照）。

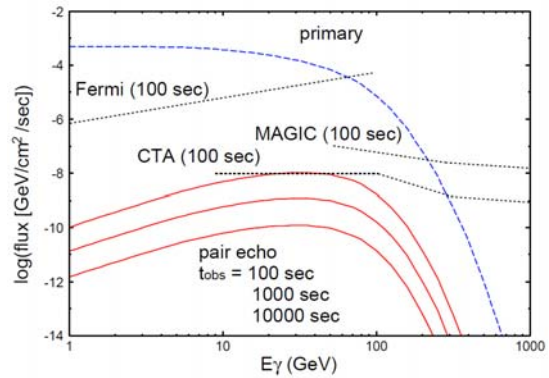


図4：第1世代星ガンマ線バーストからの遅延ガンマ線スペクトル

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計11件）

- ① Keitaro Takahashi, Susumu Inoue, Kiyotomo Ichiki and Takashi Nakamura
“Probing Early Cosmic Magnetic Fields through Pair Echos from High-Redshift GRBs”
査読有
Monthly Notice of Royal Astronomical Society, 410, 2011, 2741-2748
- ② Maresuke Shiraishi, Daisuke Nitta, Shuichiro Yokoyama, Kiyotomo Ichiki and Keitaro Takahashi
“CMB Bispectrum of Vector Modes Induced from Primordial Magnetic Fields”
査読有
Physical Review D, 82, 2010, 121301
- ③ Maresuke Shiraishi, Shuichiro Yokoyama, Daisuke Nitta, Kiyotomo Ichiki and Keitaro Takahashi,
“Analytic formulae of the CMB bispectra generated from non-Gaussianity in the tensor and vector perturbations”
査読有
Physical Review D, 82, 2010, 103505
- ④ Kohta Murase, Bing Zhang, Keitaro Takahashi, Shigehiro Nagataki
“Possible effects of pair echoes on gamma-ray burst afterglow emission”
査読有
Monthly Notice of Royal Astronomical Society, 396, 2009, 1825-1832

〔学会発表〕（計5件）

①高橋慶太郎

“Study of Cosmic Magnetic Fields with
Square Kilometer Array”
Japan SKA Workshop 2010
2010年11月4日
国立天文台三鷹キャンパス

②高橋慶太郎

「ブレイザーからの2次ガンマ線による宇宙磁場探索」
日本天文学会
2010年9月24日
金沢大学

③高橋慶太郎

“Magnetic Fields from Cosmological
Perturbations”
International Workshop on Cosmological
Magnetic Fields
2009年6月5日
スイス、アスコーナ

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 慶太郎 (TAKAHASHI KEITARO)
名古屋大学大学院理学研究科特任助教
研究者番号：80547547

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：