

令和元年6月14日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05291

研究課題名(和文) 乱流粒子加速に基づく高エネルギー天体現象の新たな描像

研究課題名(英文) New picture of high-energy astronomical phenomena with turbulence acceleration of particles

研究代表者

浅野 勝晃 (Asano, Katsuaki)

東京大学・宇宙線研究所・准教授

研究者番号：80399279

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：高エネルギー天体で生み出されている高エネルギー粒子は、衝撃波によって加速されているというのが従来の描像であった。しかし、我々は乱流による粒子加速モデルを提案し、これがブレイザーなどの観測されている天体の光子スペクトルを良く説明することを示した。観測に合う加速モデルは、加速時間がエネルギーに依存しない、Hard-sphere加速と呼ばれるものであることを明らかにした。さらに我々は乱流の中のテスト粒子の運動を追うことで、粒子加速シミュレーションを行い、Hard-sphere加速が実現することを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の衝撃波加速モデルでは、粒子のエネルギー分布をうまく説明できなかった。これに代わって近年活発に議論されている磁気再結合モデルは、強い磁場が要求される。しかし、観測は弱い磁場を示唆していた。我々の乱流モデルは、弱い磁場と高エネルギー粒子の分布を自然に両立させることに成功した。宇宙での粒子加速の描像を大きく変更するものである。このモデルを第一原理的なシミュレーションで実証したことも意義深い。

研究成果の概要(英文)：The standard model of the particle acceleration in high-energy objects is the shock acceleration process. However, we propose a new model, the turbulence acceleration model, which agrees with the observed photon spectra of blazars and so on. We find that the most preferable model is the hard-sphere acceleration, in which the acceleration timescale is independent of particle energy. We also show that the hard-sphere acceleration is realized by large-scale turbulence via test particle simulations in MHD waves.

研究分野：高エネルギー宇宙物理学

キーワード：粒子加速 乱流 ガンマ線バースト 活動銀河核ジェット

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

ブレイザー(活動銀河核からの相対論的ジェット)やガンマ線バーストなどからの放射は、衝撃波で加速された粒子から放たれていると考えられていた。しかし、最もシンプルな加速モデルでは、その冪指数が2よりも大きくなるのに対し、しばしば指数が1に近いものが観測から示唆されていた。これは高エネルギー粒子の割合が理論よりも多いということを意味する。こうした分布を再現する代替モデルとして、磁気再結合モデルが挙げられるが、観測されている磁場のエネルギー密度は小さく、加速粒子のエネルギー源にはなりえないように見える。こうした問題を解決する粒子加速モデルが求められており、その一つは乱流加速モデルであった。しかし、これの実際の適用はそれほど行われてはおらず、その妥当性は曖昧であった。

## 2. 研究の目的

ブレイザーなどの高エネルギー天体の観測放射スペクトルに対し、乱流加速モデルを適用し、広範囲な天体で乱流加速が働いている証拠を探索する。観測を説明できる乱流モデルを明らかにする。さらにプラズマ乱流をモデル化し、その与えられた電磁場中での粒子の運動をシミュレーションし、乱流加速モデルの基礎的な物理過程の理解を進める。

## 3. 研究の方法

我々はプラズマからの放射の時間発展シミュレーションを行う、数値計算コードを開発してきた。このコードを用いて、乱流加速理論に基づいた現象論的な方法で粒子加速を扱い、加速された粒子からの放射を計算し、観測を再現するパラメータを探る。乱流加速による加速時間は長いので、時間発展シミュレーションが本質的である。さらに乱流加速による基礎理論を確立するために、MHD乱流にテスト粒子を注入し、その運動を追い、加速効率について議論する。

## 4. 研究成果

我々の結果は、加速時間がエネルギーに依存しない加速モデルが最も観測を説明できることを明らかにした。我々のモデルはガンマ線バースト、ブレイザー、パルサー星雲などに応用され、その観測スペクトルを説明することに成功した。この加速時間一定の加速を実現するための条件として、ジャイロ運動と波の共鳴による散乱ではなく、圧縮性波動によるTTD共鳴と呼ばれる機構が有望であることがわかった。我々はテスト粒子計算により、実際に圧縮性波動の中で粒子が加速される様子をシミュレーションし、その加速効率は従来考えられてきたよりも高く、実際に加速時間一定の加速が得られた。この加速機構は、必ずしも強い磁場を要求するわけではなく、長波長の乱流エネルギー密度が大きければ、加速粒子のエネルギー源となることができる。これは観測が示唆する弱い磁場とも整合的である。以上のように、現象論的にも、基礎論的にも乱流加速が正当化された意義は大きい。さらに最高エネルギー宇宙線の加速も、乱流加速による可能性もあり、実際に観測スペクトルを説明できるモデルを提案した。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計31件)

### 1. "Particle Energy Diffusion in Linear Magnetohydrodynamic Waves"

Yuto Teraki, and Katsuaki Asano  
2019 ApJ に掲載決定, arXiv:1904.08579  
<https://arxiv.org/abs/1904.08579>

### 2. "Outflow and Emission Model of Pulsar Wind Nebulae with the Back Reaction of Particle Diffusion"

Wataru Ishizaki, Katsuaki Asano, and Kyohei Kawaguchi  
2018 ApJ, 867, 141(12pp) (Nov 10)  
<https://doi.org/10.3847/1538-4357/aae389>

### 3. "Blazar Spectra with Hard-Sphere-like Acceleration of Electrons"

Katsuaki Asano, and Masaaki Hayashida  
2018 ApJ, 861, 31(7pp) (Jul 1)  
<https://doi.org/10.3847/1538-4357/aac82a>

### 4. "On the Radio-Emitting Particles of the Crab Nebula: Stochastic Acceleration Model"

Shuta J. Tanaka, and Katsuaki Asano  
2017 ApJ 841, 78(11pp) (Jun 1)  
<https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa6f13>

5 . "Ultra-high-Energy Cosmic Ray Production by Turbulence in Gamma-Ray Burst Jets and Cosmogenic Neutrinos"

Katsuaki Asano and Peter Meszaros  
2016 PRD 94, 023005(10pp) (July 13)  
DOI: 10.1103/PhysRevD.94.023005

6 . "Minute-Timescale  $>100$  MeV  $\gamma$ -Ray Variability during the Giant Outburst of Quasar 3C 279 Observed by Fermi-LAT in 2015 June"

M. Ackermann, R. Anantua, K. Asano, et al. (3/109)  
2016 ApJ 824, L20(8pp) (June 20)  
doi:10.3847/2041-8205/824/2/L20

他 25 件

〔学会発表〕(計 16 件)

1 . 日本天文学会 2018 年秋季年会

2018 年 9 月 19 日-21 日 兵庫県立大学  
「3C 279 の巨大ガンマ線アウトバーストの電子・陽電子カスケードモデル」  
浅野勝晃、林田将明

2 . Half a Century of Blazars and Beyond

2018 年 6 月 11 日-15 日 Biotechnology Department of the University of Torino, Torino, Italy  
「Broadband Modeling of Blazar Spectra with a Turbulent Acceleration Model」  
Katsuaki Asano

3 . Jet and Shock Breakouts in Cosmic Transients

2018 年 5 月 14 日-18 日 京都大学基礎物理学研究所  
「Wave-Particle Interaction in Blazar」(招待講演)  
Katsuaki Asano

4 . 研究会 X@広島

2018 年 3 月 1 日-2 日 広島大学  
「乱流による粒子加速」(招待講演)  
浅野勝晃

5 . AGN Jet Workshop 2018 "Dawn of a New Era for Black Hole Jets in Active Galaxies"

2018 年 1 月 25 日-27 日 東北大学  
「Physics of the emission region of blazars」(招待講演)  
Katsuaki Asano

6 . 日本天文学会 2017 年春季年会

2017 年 3 月 15 日-18 日 九州大学  
「ブレイザーにおける Hard Sphere 的粒子加速の観測的傍証」  
浅野勝晃、林田将明

7 . HAP Workshop: Monitoring the Non-Thermal Universe

(HAP: Helmholtz Alliance for Astroparticle Physics)  
2016 年 12 月 7 日-9 日 Kulturzentrum Kapuzinerkloster, Cochem, Germany  
「Turbulence Acceleration Model for the Broad Band Blazar Spectra」(招待講演)  
Katsuaki Asano

8 . 日本物理学会 2016 年秋季大会

2016 年 9 月 21 日-24 日 宮崎大学  
「乱流による最高エネルギー宇宙線生成と GZK ニュートリノ」  
浅野勝晃、Peter Meszaros

9 . Beyond a PeV: Particle Acceleration to Extreme Energies in Cosmic Sources

2016 年 9 月 13 日-16 日 Institut d'Astrophysique de Paris, France

「Slow UHECR Acceleration by Turbulence in Gamma-Ray Bursts」(招待講演)

Katsuaki Asano

10 . The 6th International Symposium on High-Energy Gamma-Ray Astronomy (Gamma2016)

2016年7月11日-15日 Kongresshaus Stadthalle Heidelberg, Heidelberg, Germany

「Possible Roles of Turbulence in Gamma-Ray Burst Jets」

Katsuaki Asano, Toshio Terasawa, Peter Meszaros

他6件

〔図書〕(計1件)

1 . 新天文学ライブラリー5「ガンマ線バースト」

河合誠之 浅野勝晃

15th Jan. 2019 日本評論社

304 ページ

ISBN: 978-4-535-60744-6

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ

<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/~asanok/publication.html>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 寺木 悠人

ローマ字氏名: Teraki, Yuto

所属研究機関名: 旭川工業高等専門学校

部局名: 一般理数科

職名: 講師

研究者番号(8桁): 40733093

2017年度をもって本人都合により、削除。

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 林田 将明

ローマ字氏名: Hayashida, Masaaki

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。