

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	氏名	格和 純												
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 ①・② 項該当														
<p>論文題目</p> <p style="text-align: center;">Stochastic Gyroresonant Acceleration for Hard Electron Spectra of Blazars: Effect of Damping of Cascading Turbulence</p> <p style="text-align: center;">(統計的ジャイロ共鳴加速機構によるブレーザー領域の硬い電子スペクトルの解釈における乱れ場減衰の影響)</p>															
<p>論文審査担当者</p> <table style="width: 100%; margin-left: 40px;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px 2px 20px;">主 査</td> <td style="padding: 2px 10px 2px 20px;">教 授</td> <td style="padding: 2px 10px 2px 20px;">小 寫</td> <td style="padding: 2px 10px 2px 20px;">康 史</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px 2px 20px;">審査委員</td> <td style="padding: 2px 10px 2px 20px;">教 授</td> <td style="padding: 2px 10px 2px 20px;">大 川</td> <td style="padding: 2px 10px 2px 20px;">正 典</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px 2px 20px;">審査委員</td> <td style="padding: 2px 10px 2px 20px;">教 授</td> <td style="padding: 2px 10px 2px 20px;">深 澤</td> <td style="padding: 2px 10px 2px 20px;">泰 司</td> </tr> </table>				主 査	教 授	小 寫	康 史	審査委員	教 授	大 川	正 典	審査委員	教 授	深 澤	泰 司
主 査	教 授	小 寫	康 史												
審査委員	教 授	大 川	正 典												
審査委員	教 授	深 澤	泰 司												
<p>[論文審査の要旨]</p> <p>銀河の中心部が銀河全体の光度に匹敵するほど極端に明るく、また時間変動が数時間程度と極めて短い天体现象がある。そこからは母銀河を突き抜ける距離までに細長く伸びたジェットが観測されることもしばしばである。このように非常に小さな領域で莫大なエネルギーを解放する特異な天体は活動的銀河核と呼ばれる。その一種であるブレーザーはジェットを視線方向に臨む天体で、その明るさのため比較的観測が進んでいる。その結果、ブレーザーでは数パーセク以下の非常に小さな空間領域において、数桁の範囲に渡る冪則であらわされるエネルギー分布をした非熱的な相対論的電子がエネルギーを散逸したものを電波からガンマ線まで広帯域に至る電磁波として観測していると考えられている。その放射源となる相対論的な高エネルギー電子が如何にエネルギーを得たかは、重要な未解決問題である。統計的加速機構と一般的に総称される加速過程が近年、注目を集めている。乱れた背景プラズマ中で粒子群が加速と減速を繰り返し、平均としてエネルギーを得るものである。数 10GeV-数 TeV の高エネルギー帯の光子の放射のスペクトルが極度に硬いという観測的報告があり、その源となる電子のエネルギー分布もそれを生み出すようにスペクトルが硬いことが示唆される。統計的加速ではそのような分布を生み出せる機構と考えられているため、強い関心を集めている。実際にブレーザー領域からの放射モデル計算で極度に硬いスペクトルを再現することを検証する先行研究があり、統計的加速機構が働くことが肯定的にみなされてきた。</p> <p>しかしながら、これまでのどの研究でも、被加速粒子をテスト粒子として扱う定式化に基づいている。先行研究と同じく、ブレーザーのエネルギースペクトルの再現に好ましいパラメータ値を用い、テスト粒子を仮定した計算を行った。その計算量を用いて推測すると、単純な単一領域の統計的加速では乱れ場の減衰が有意であること、すなわちテスト粒子計算の前提が破綻している可能性を第 2 章で論じている。極度に硬いエネルギースペクトルを説明すると期待されてきた電子分布の形成が乱れ場の減衰を考慮することによって、如何に変更を受けるのかを明確に示し、ブレーザー放射の統計的加速機構による解釈</p>															

の可能性に新たな知見を得ることが本論文の主題である。

この「統計的加速に伴う乱れ場の減衰効果」を取り入れるため、これまでの枠組みを超え、より自己無矛盾な計算を行う必要がある。本研究では統計的加速機構の具体的モデルの一つとして、素過程が詳細に調べられている代表的な加速機構である、統計的ジャイロ共鳴加速機構に着目した。それは背景プラズマ中の乱れた電磁場を構成する波動とのジャイロ共鳴相互作用を通して、粒子が統計的に加速されるものである。また、乱れ場のモデルとして乱流モデルでしばしば考えられるコルモゴロフ型のエネルギー輸送を仮定し、その発展方程式も同時に解いた。これら電子の加速及び乱れ場の減衰を具体的に考慮し、エネルギー空間における輸送方程式を解析することで、どのような電子エネルギー分布が実現するかが分かる。このような取り扱いはこれまでに無かったもので非常に重要な研究の一步である。モデルに含まれるパラメータ領域は極めて広く網羅することは不可能である。そこで、従来の取り扱いと同一付近において、電子エネルギー分布がどのようになるかを再考した。

テスト粒子的扱いでは集積分布と呼ばれる、非常に硬い電子のエネルギー分布が得られる。減衰することが無いので時間とともに高エネルギー側の電子が増える。本研究で乱れ場の減衰を考慮した数値計算結果、その集積分布の形成は妨げられることを示している。例えば、これまで得られた集積分布の電子指数(電子数密度をエネルギーで表す冪指数)が+2であったものが、コルモゴロフ輸送率を仮定した場合にその指数が-1と大きな変更を受ける。もはや硬いスペクトルでなくなっている。このように減衰の影響は無視できない。さらに、高エネルギー側に現れる到達可能な硬さは乱れ場のエネルギー輸送率によって決まっていることも本研究で示されている。計算可能なパラメータ領域には限りがあり、エネルギー輸送モデルも今後のさらなる改善が必要なことは明らかであるが、減衰は常にその輸送効率を悪くする方向に働くので、減衰効果は硬い電子のエネルギー分布の形成は妨げられることは普遍的なものと結論づけている。より現実的な場合には電子の注入率、相互作用する波動の性質に関わる熱的プラズマの性質など、これまで指摘されてきた未解明の問題も関係するが、本論文で示された自己無矛盾な計算の必要性も明らかにされた。これまでテスト粒子計算で示されたブレーザー放射モデルを無批判に適応することに対し、警鐘を与えるもので非常に重要である。

公表論文は単著で既に米国天文学誌から発行されている。その内容の学術的価値が高いとともに、著者の関連分野での十分な学識と研究の独創性が示されているのは明らかである。また、参考論文で示されるように、異なる理論宇宙物理学のテーマでも業績を上げていることでその実力が示されている。

以上の審査の結果、本論文の著者は博士(理学)の学位を授与される十分な資格があるものと認める。

公表論文

Stochastic Gyroresonant Acceleration for Hard Electron Spectra of Blazars:
Effect of Damping of Cascading Turbulence
統計的ジャイロ共鳴加速機構によるブレーザー領域の硬い電子スペクトルの解釈における
乱れ場減衰の影響
The Astrophysical Journal, 816:24 (10pp), 2016 January 1

参考論文

- (1) Synchrotron self-Compton emission by relativistic
electrons under stochastic acceleration: application to Mrk 421 and Mrk 501
Jun Kakuwa, Kenji Toma, Katsuaki Asano, Masaaki Kusunose, and Fumio Takahara
Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 449, 551–558 (2015)
- (2) Time-Dependent Models for Blazar Emissions with
the Second-Order Fermi Acceleration
Katsuaki Asano, Fumio Takahara, Masaaki Kusunose, Kenji Toma, and Jun Kakuwa
The Astrophysical Journal, 780:64 (12pp), 2014 January 1
- (3) Radio Relics Tracing the Projected Mass Distribution in CIZA J2242.8+5301
Nobuhiro Okabe, Hiroki Akamatsu, Jun Kakuwa, Yutaka Fujita, Yuying Zhang, Masayuki Tanaka,
and Keiichi Umetsu
Publications of the Astronomical Society of Japan, 67 (6), 114 (1–9)