

氏 名	とう ま けん じ 當 真 賢 二
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 3242 号
学位授与の日付	平 成 20 年 3 月 24 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	Probing the Efficiency of Electron-Proton Coupling in Relativistic Collisionless Shocks through the Radio Polarimetry of Gamma-Ray Burst Afterglows (ガンマ線バーストの電波偏光観測から相対論的無衝突衝撃波における電子加熱効率に迫る)
論文調査委員	(主 査) 教 授 中 村 卓 史 教 授 川 合 光 准教授 犬塚修一郎

論 文 内 容 の 要 旨

ガンマ線バースト (GRB) とは、1973年に核実験探査衛星に偶然発見されて以来その距離すら不明な10秒程度の継続時間を持つ宇宙の謎の爆発現象であった。1997年に宇宙論的な距離であることが確定した後、GRBの理解は急速に進行し、特異な大質量星の死に伴って形成されたブラックホールから陽子の静止エネルギーの100倍以上の高エネルギー粒子が放出され、それ同士の無衝突衝撃波によって磁場が作られると伴に、電子が加速され、その電子によるシンクロトロン放射がガンマ線として観測されるとするシンクロトロン衝撃波モデルが標準理論として確立し多くの観測事実を説明することに成功した。

2004年に多波長即時同時観測が可能なSwift衛星が活躍を始めるとそれまで観測がなかったバースト後3時間のGRBは標準理論の予測を覆すものであった。特に10秒程度のガンマ線のバースト後急速に残光が暗くなることが判明し初期の高速陽子のエネルギーの90%以上がガンマ線に変換されていることになった。しかし、これは理論的には不可能で標準理論の危機と呼ばれている。

申請者は、この危機を救うべく新しいアイデアとその検証方法を提案している。まず、標準理論では全ての電子が加速されているとしているが、それは自明ではないので全体の f (<1) 倍だけが加速されていると考える。さて、観測された残光のエネルギーは決まっているのでこの場合、陽子の全エネルギーを標準理論の $1/f$ 倍にすると残光は同様に説明できることを見出した。 $f=0.1$ とすると残光は暗くなった時にも標準理論の10倍のエネルギーを持っているので、高速陽子のエネルギーの50%以下がガンマ線に変換されれば良いことになり、効率の危機、したがって標準理論の危機を救える。

次に、申請者はこのアイデアの検証方法を提案している。シンクロトロン放射の特徴は、光が直線偏光することで実際GRBの光学観測では1%程度の偏光が検出されている。そこで、加速されなかった $(1-f)$ 倍の電子がこの偏光度にどのように寄与するか注目した。直線偏光は左円偏光と右円偏光の和として書けるが、磁場のあるプラズマ中では左円偏光と右円偏光の光の位相速度は異なるので、直線偏光の方向がプラズマ中では変化する。この変化を通して加速されなかった電子の存在を確認しようというのが申請者の提案である。

偏向角の変化は振動数が低いほど大きい。偏向角が場所の違うところで大きく変化すると結果として位相相殺が起こりもともと直線偏光がなくなってしまう。具体的には $f=0.1$ として距離が1 GpcのGRBを考えるとバーストから1日後に100GHz以下では偏光がなくなるがそれ以上では存在することを見出した。2012年に本格可動する日米欧共同のALMA望遠鏡では、この特徴を観測可能であることを示した。

申請者の予言が確認されれば、GRBの標準理論を再確立できるとともに、無衝突衝撃波、磁場の起源、非熱的高エネルギー電子の起源の物理の進展に大きな寄与をすると考えられる。

論文審査の結果の要旨

Swift 衛星が2004年に打ち上げられてから、GRBの最初の3時間は標準理論では理解不能で様々な提案がなされてきた。電子の加速効率が時間と共に変化するとか、中心のエンジンからのエネルギー供給があるとか、reverse shockがX線を放出しているとか、ジェットが非一様であるとかであるが、どれも具体的な検証手段がなく、仮定が結論を決める理論であった。申請論文では全ての電子が加速されているわけではないという単純な仮定をして標準理論の復活を目指したものである。効率の危機、したがって標準理論の危機を救えると言う斬新なアイデアは十分評価できる。

申請論文では加速されなかった電子の存在を如何に確かめるかを次に論じている。それには、電波領域での偏光を観測すれば良いというのが重要な結論である。加速されない電子がない時にはシンクロトロン放射の直線偏光が見えるが、加速されない電子が存在すると偏光面が回転する。この効果は低振動数すなわち電波領域で一番大きい。空間的に違う場所で偏光面の回転の仕方は違うから位相相殺の結果直線偏光は電波領域で大きく減少する。この効果は2012年に本格稼働する日米欧共同のALMA望遠鏡でこの特徴を観測可能であることを示したのは世界的にも初めてで高く評価できる。

申請論文の予言が確認されれば、GRBの標準理論を再確立できるとともに、無衝突衝撃波、磁場の起源、非熱的高エネルギー電子の起源の物理の進展に大きな寄与をすると考えられる。

参考論文はガンマ線バーストの2極分布の起源や低光度ガンマ線バーストの起源等の主論文と深い関係のある内容である。

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られるものである。

主論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。