

氏 名 ・ 本 籍	柴田 三四郎（大阪府）
学 位 の 種 類	博士（理学）
報 告 番 号	甲第 87 号
学位授与の日付	平成 27 年 3 月 31 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当者
論 文 題 目	Random Walks in Relativistic Flow and Its Application to Gamma-Ray Bursts (相対論的流体中でのランダムウォークとその ガンマ線バーストへの応用)
審 査 委 員	(主査) 准教授 富永 望 (副査) 教 授 須佐 元 (副査) 教 授 梶野 文義

論文内容の要旨

ガンマ線バーストは約 10^{51}erg もの膨大なエネルギーがわずか 10 秒程度の間に主にガンマ線として放射されるという、宇宙でも最も活発な天体の一つである。数々の観測結果からこの現象はローレンツ因子が 100 を超えるような超相対論的なジェットと呼ばれるガスの流れに起因しているという事が分かっている。しかしながら、具体的な放射メカニズムについては未だ解明されていない。これまで相対論的ジェット中の内部衝撃波からのシンクロトロン放射が有力とされてきたものの、近年シンクロトロン放射では説明が困難な観測データが提出され、ガンマ線バーストの放射メカニズムの候補として超相対論的なジェットからの熱的な放射が注目されている。それを定量的に調べるには、複雑なジェットの内構造とジェット中での熱的光子の輸送の両方を考慮に入れた計算が必要不可欠であるが、そのような計算は未だなされていなかった。特に熱的光子の輸送を計算する際には、それらがジェット中のどこで生成されたかを見積もる必要があり、その為に必要となる相対論的流体中での有効光学的深さに対する表式はこれまで得られていなかった。

本博士論文では、相対論的ビーミング効果や光学的深さの角度依存性等の相対論的効果を考慮に入れ相対論的流体中での光子のランダムウォーク過程を調べ、相対論的流体中での光子の散乱回数に対する解析的な式や、有効光学的深さに対する相対論的な解析的表式を導出した。その結果、有効光学的深さは、物質が静止しておりかつ散乱が支配的な場合には散乱に対する光学的深さと吸収に対する光学的深さの幾何平均となるが、相対論的流体中では吸収に対する光学的深さに比例するという事が分かった。また、求められた散乱回数に対する解析的な式とモンテカルロ法に基づいた光子の輸送計算との比較によって、解析的な式が正しく散乱回数を導くことを確認した。

更に、得られた解析的表式を流体力学計算により得られた相対論的ジェット中での光子輸送計算に実際に適用し、ガンマ線バーストを引き起こす相対論的ジェット中で熱的光子が生

成される場所を見積もった。この結果を用いて、ガンマ線バーストジェット中での熱的光子の輸送に対する数値シミュレーションを行い、最終的に観測されるエネルギースペクトルを導出した。その結果、観測されるスペクトルは従来議論されているようなプランク分布ではなく、より幅の広いスペクトルとなり、経験的にガンマ線バーストのスペクトルを上手くフィット出来る事が知られているバンド関数として観測される可能性がある事が分かった。

審査結果の要旨

本学位論文はガンマ線バーストと呼ばれる相対論的現象の放射メカニズムに関する研究である。ガンマ線バーストは 1970 年代に Vela 衛星によって発見された現象で、これまで BeppoSAX 衛星、HETE-II 衛星、Swift 衛星、Fermi 衛星などによって多数の観測データが得られているものの、これまでの理論研究は主に解析的な研究に留まっており、その放射メカニズムに関する定量的な研究はほとんど行われてこなかった。

申請者は、ガンマ線バーストの放射メカニズムの中でも熱的放射に注目し、まずこれまで非相対論的極限でのみ解析的に求められていたランダムウォーク過程を相対論的に正しく取り扱い、有効光学的深さの解析的表式を求めた。さらに、申請者はモンテカルロ法を用いて相対論的光子輸送計算コードを開発し、上記解析的表式との比較を行い、相対論的流体中での散乱回数について解析的表式が正しく求められていることを明らかにした。この表式は、ガンマ線バースト中での熱的光子の生成場所を決定するために必要不可欠であり、申請者の研究以前に行われてきたガンマ線バーストの熱的放射に関する研究で用いられてきた仮定が間違いであったことを明らかにした。

また、申請者は、星の進化計算に基づく現実的な親星モデルを用いてガンマ線バーストジェットが星を突き抜ける相対論的流体計算を行った。この流体計算の結果に申請者自身が開発した相対論的光子輸送計算コードおよび申請者自身が求めた有効光学的深さの解析的表式を用いて、ガンマ線バーストジェット中での熱的光子の輻射輸送計算を行った。これにより、現実的な親星モデルおよび数値計算に基づくガンマ線バーストのエネルギースペクトルを世界で初めて提出した。この結果、そのスペクトルは従来提案されていたプランク分布とは異なり、高エネルギー側、低エネルギー側にそれぞれ広がった幅の広いスペクトルを示すことが明らかとなった。この結果は、これまでに多数のガンマ線バースト観測から得られているスペクトルのピークエネルギー、高エネルギー側、低エネルギー側の冪の分布を一部再現し、ガンマ線バーストの放射メカニズムの一つとして熱的放射が現実的であることを初めて示した。

以上により審査委員は本論文提出者（柴田三四郎）が、博士課程の修了に必要な所定の単位を修得し、かつ、必要な研究指導を受け、博士論文の審査及び最終試験に合格したので、博士（理学）の学位を授与せられるに充分なる資格をもつものであると認める。