

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	にいのう ゆう 新納 悠
学位 (専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 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) Progenitors of Long-Duration Gamma-Ray Bursts: Implications from Their Host Galaxies (母銀河の観測的性質から探る継続時間の長いガンマ線バーストの起源)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 戸谷 友則 准教授 嶺重 慎 教授 長田 哲也 教授

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	新納 悠
論文題目	Progenitors of Long-Duration Gamma-Ray Bursts: Implications from Their Host Galaxies (母銀河の観測的性質から探る継続時間の長いガンマ線バーストの起源)		
(論文内容の要旨)			
ガンマ線バーストは 0.1-1 MeV 程度の軟γ線で観測される突発天体である。ガンマ線バーストはその継続時間に応じて、長いガンマ線バースト (> 2 秒) と短いガンマ線バースト (< 2 秒) の、少なくとも 2 種族に分けられると考えられている。継続時間の長いガンマ線バースト (以下、単に GRB) は明るいもので $L_{\text{iso}} \sim 10^{54}$ erg/s にも達し、宇宙最大の爆発現象と呼ばれている。低赤方偏移で起きた GRB の数例について Type Ic 超新星が付随している事が観測的に確認されており、このことから GRB の少なくとも一部は大質量星の重力崩壊によって引き起こされると考えられている。しかし、GRB の発生頻度は一般的な重力崩壊型超新星 (CC SN) の発生頻度に比べて遥かに低く、どのような条件の下で大質量星の重力崩壊が GRB を引き起こすのかはよく分かっていない。 母天体の金属量が GRB と一般の CC SN を隔てる重要な要素の一つである可能性が指摘されている。GRB が発生するには重力崩壊する天体が十分な角運動量を持っている必要があると考えられるが、金属量の大きい大質量星では恒星風が角運動量を持ち去ってしまうためである。恒星進化の理論モデルを用いて金属量と GRB 発生の関係を調べた研究によると、モデルの不定性は大きいものの、GRB が発生するには起源星の金属量が $Z < 0.1 Z_{\text{sun}}$ でなければならないとされている。また GRB 母銀河の観測においても、GRB 母銀河は同程度の赤方偏移の CC SN 母銀河より光度が統計的に暗いことや、GRB 母銀河には $\text{Ly}\alpha$ 輝線の強い銀河が多いことが知られており、GRB が低金属量の領域で発生しやすいとする理論予想と定性的に合致する。 しかし、分光観測によって母銀河の金属量が知ることができるのは低赤方偏移 ($z < 1$) で起きた少数の GRB にかぎられており、銀河の光度や $\text{Ly}\alpha$ 輝線強度を定量的に金属量と結びつけることは単純ではない。 GRB 母銀河の観測的性質と GRB 起源天体の金属量の関係を定量的に制限するため、申請者は GRB の発生頻度が様々な金属量の星生成率をトレースする場合を考え、それぞれの場合について期待される母銀河の性質を銀河形成の数値モデルを用いて調べた。 申請者はまず、宇宙論的流体シミュレーションを用いて赤方偏移 $z \sim 1$ における GRB 母銀河の光度分布を調べた。宇宙論的流体シミュレーションには、粒子を用いた流体計算法である Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法による計算結果を用い、シミュレーションの結果から赤方偏移 $z \sim 1$ の銀河を取り出した。シミュレーションの各銀河に星種族合成モデルを当てはめる事で銀河の光度を求めた。これらの数値銀河は $z \sim 1$ 銀河の光度分布や質量-金属量関係の観測を再現することが確かめられた。			

続いて申請者は金属量ごとの星生成がどのような銀河に属しているかを調べた。GRB 発生頻度はある金属量のしきい値 (Z_{crit}) より低い金属量の星生成率をトレースすると仮定し、さまざまな Z_{crit} について期待される母銀河の光度分布を計算した。得られた結果を観測された GRB 母銀河および CC SN 母銀河の光度分布と比較することで、GRB は $Z < 0.1Z_{\text{sun}}$ の低金属の星生成をトレースし、CC SN は金属量と関係なく一般の星生成をトレースすると考えれば、観測された母銀河の光度分布を再現できる事が分かった (第 2 章)。

申請者はさらに高赤方偏移でも観測可能な金属量の指標として GRB 母銀河の $\text{Ly}\alpha$ 輝線を用いることができるか検討した。 $\text{Ly}\alpha$ 輝線は電離ガスから放射される再結合輝線であり、金属量の小さい星ほど多くの電離光子を放射すると考えられている。したがって金属量の小さい銀河は $\text{Ly}\alpha$ 輝線の強いものが多いと考えられる。 $\text{Ly}\alpha$ 輝線は非常に遠方の銀河 ($z \sim 8.6$) でも観測可能であるため、もし $\text{Ly}\alpha$ 輝線が銀河の金属量の統計的指標になるならば、GRB の金属量を幅広い赤方偏移で調べていくための有力な手段とすることができる。準解析的モデルを用いて様々な金属量の星生成がどのような $\text{Ly}\alpha$ 輝線強度をもつ銀河に属しているか調べた結果、現在の GRB 母銀河観測サンプルによっては有意な制限はつけられないものの、将来母銀河の $\text{Ly}\alpha$ 観測サンプルが増えれば GRB の金属量を調べる上で有用な指標になりうる事がわかった (第 3 章)。

(論文審査の結果の要旨)

ガンマ線バーストは宇宙最大の爆発とも呼ばれ、その起源は依然として謎に包まれた部分が多く、その起源解明は宇宙物理学の大きな目標の一つと言える。

本論文は申請者が、ガンマ線バーストの起源に迫るために母銀河の性質を探るという観点から行った二つの研究成果が治められている。

まず一つは、本論文の主要な部分で、宇宙論的流体シミュレーションを用いて赤方偏移 $z \sim 1$ における GRB 母銀河の光度分布を調べたものである。宇宙論的流体シミュレーションには、粒子を用いた流体計算法である Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法による計算結果を用い、GRB 発生頻度はある金属量のしきい値 (Z_{crit}) より低い金属量の星生成率をトレースすると仮定し、さまざまな Z_{crit} について期待される母銀河の光度分布を計算した。得られた結果を観測された GRB 母銀河および CC SN 母銀河の光度分布と比較することで、GRB は $Z \sim 0.1 Z_{\text{sun}}$ の低金属の星生成をトレースし、CC SN は金属量と関係なく一般の星生成をトレースすると考えれば、観測された母銀河の光度分布を再現できる事が分かった。こうしたことを調べた論文は以前にもいくつかあったが、非常に単純な計算や、単純すぎる仮定が含まれていたり、現実的な観測での選択効果などが見落とされていた。本論文はこうした研究の中でも決定版といえる質の高さを持っている。

もう一つは、さらに高赤方偏移でも観測可能な金属量の指標として GRB 母銀河の Ly α 輝線を用いることができるか検討したものである。まだ観測が少ないので強い結論は導けないが、将来的に観測が蓄積されれば、ガンマ線バーストとライマン α 輝線の関係が何かしらのヒントを与える可能性があり、本論文はその際の理論解釈の基盤を与える、大変ユニークなものである。

以上の2つの研究によって、ガンマ線バーストの基本課題の解明に大きく寄与したことは高く評価できる。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た。また、平成23年1月14日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行い、その結果合格と認めた。