

平成22年 5 月 7 日現在

研究種目： 特定領域研究
 研究期間： 2007-2010
 課題番号： 19047004
 研究課題名（和文）ガンマ線バーストの起源の理論的研究

研究課題名（英文）Theoretical Research on the origin of Gamma Ray Bursts

研究代表者

中村卓史（Nakamura Takashi）

京都大学大学院理学研究科・教授

研究者番号：80155837

研究分野： 素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

科研費の分科・細目：

キーワード：ガンマ線バースト、初代星の形成、超新星爆発、ジェット、残光、距離指標

1. 研究計画の概要

継続時間が長いガンマ線バースト(以下 GRB と略称)は特異な超新星の爆発時にジェットが飛び出して発生することが分かって来た。GRB が特異な超新星なら宇宙で最初に星ができた太古の宇宙にも GRB は存在した可能性がある。しかも GRB は宇宙で最も明るい光源として知られているので宇宙の果てでも観測できるのではないかと考えられている。代表者が米徳らと発見した GRB の光度とスペクトルのピークのいわゆる米徳関係式を赤方変移の決まっていない600個程度の GRB に適用すると赤方変移 $z=10$ 程度の GRB が存在することを推定していた。理論的に赤方変移 $z=30$ 程度の GRB もあるのではないかと予想すらある。実際 2005 年には Swift 衛星が稼働し始めて直ぐに領域代表者の河合らはすばる望遠鏡を用いて $z=6.29$ の GRB を発見した。2008 年には $z=6.7$ の GRB080913 また 2009 年には $z=8.2$ の GRB090423 が発見された。予想通りの進展であり、特に $z=8.2$ の GRB090423 は現在最も遠い天体として認知されている。本領域のタイトル通り太古の宇宙が見えつつある。

このような研究の進展に伴い GRB に関連する理論的研究も多分野にまたがり一人の研究者が全てをカバーすることは不可能であり、研究者が常時情報を交換する有機的な組織が必要である。理論の計画研究はまさにこれを狙いとしている。具体的には①GRB の距離指標の研究②GRB の親星、母銀河の研究③GRB と超新星爆発の研究④ジェットの発生と伝搬の研究⑤GRB と残光の放射機構の研究を主にとりあげ、TV 会議等を駆使して常時有機的な繋がりを深めることで過

去から現在に至る GRB の起原に迫ることを主要な目的とする。また、全く新しい発見にも対応して理論的な考察を行い論文を発表する。

2. 研究の進捗状況

主要な成果に絞って記述する。

①宇宙論的初期条件から始めて、原始星の形成まで輻射・化学過程を組み込んだ3次元流体シミュレーションにより初めて計算した。この原始星の初期質量は1/100太陽質量以下と小さいものの、周囲には高密度のガスが大量に存在し、原始星へ降着する。そのため、原始星は数100太陽質量の超大質量星へと成長し GRB の親星となる可能性があることが分かった。(論文1で、これはNHK7時のニュース並びに各紙で取り上げられた。)

②GRB の早期 X 線残光に見られる Plateau phase のふるまいを説明する新たなモデルとして、「時間差をおいて出る2成分ジェットモデル」を提唱した。このモデルによると、Swift 時代に入ってから新たに得られた X 線残光の振る舞いを説明するとともに GRB 発生の数千秒前に X 線のプリカーサが検出される。これは現在稼働中の MAXI で確認可能であるので計画研究 A01 班と密接に関連している。(論文2)

③GRB の大きな謎の一つにエネルギー変換効率が50%程度にまでなるということがある。これを解決するためにまず GRB の主要なエネルギーは光球表面から出ているとするモデルを採用する。しかし、GRB 自身は非熱的な放射であるので、光球表面で電子陽電子対と陽子が2流体不安定を起こして、非熱的な放射をするシナリオを提案した。特に親星をジェットが付きぬけた辺りで不安定

が起こりかつローレンツ係数が光度の平方根に比例すると米徳関係式を導けることが分かった。この研究には代表者と分担者2名が参加している。

④米徳関係式のように距離指標となる関係式を導くためには普通今まで宇宙論パラメータを仮定してきた。しかし、 $z=10$ のような高赤方変移を考えると宇宙論を仮定せずに距離指標を決めることが重要である。そこで多くの距離指標が今までやって来たように z が小さい (具体的には $z<1.7$) で米徳関係式を **Type Ia** 超新星の距離指標を使って確立した。これは我々が論文4で始めて行ったもので、その後の論文では必ず引用されている。これは代表者と A01、A02 の分担者との共同研究である。(論文4)

⑤種族 III(PopIII) 星が質量降着によって約 1 Msun から質量を増やしながら進化していく過程を、重力崩壊の段階まで計算した。Pop III.1 星はほぼ 1000 太陽質量まで成長するので、ブラックホールを形成する。これらは、宇宙初期のガンマ線バースト源となるとともに、巨大質量ブラックホールの種ともなり得る。この計算で Pop III 星の質量降着率は、Yoshida-Omukai の初代星形成の計算で与えられた率を使用しており、分担者大向の質量降着の計算を、重力崩壊段階まで続けたものに対応する。(論文5)

⑥一般相対論的磁気流体コードを開発し、ガンマ線バーストジェット形成シミュレーションを行なった。回転しているブラックホールからの回転エネルギー引き抜き効果により、ジェットが形成されていることが示された。(論文6)

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している

理由：88 編に及ぶ論文と国際会議で 32 編の発表をしており大変活発である。また分担者同志の共著の論文、他の計画研究との論文等もあり、領域の有機的な繋がりも出ている。

4. 今後の研究の推進方策

研究支援者の支援のもとに代表者が全体の総括を行い、今まで実質2年間でTV会議88回、紹介論文367、月例会20回を行ってきた。今後もこの方法を中心にして計画研究を進めて行く。また、最終年にあたり研究の総括も意識して終盤にはまとめの会議を持つことを計画している。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計 88 件)

1. "Protostar Formation in the Early Universe" Yoshida, N., Omukai, K., & Hernquist, L. (2008) Science, 321, 669

2. "Prior Emission Model for X-ray Plateau Phase of Gamma-Ray Burst Afterglows", Ryo Yamazaki, The Astrophysical Journal Letters, 690, L118-L121 (2009)

3 Unstable GRB Photospheres and e⁺/-Annihilation Lines Ioka, Kunihito; Murase, Kohta; Toma, Kenji; Nagataki, Shigehiro; Nakamura, Takashi The Astrophysical Journal, 670, L77-L80 (2007)

4. Gamma ray Bursts in $1.8 < z < 5.6$ suggest that the time variation of dark energy is small Y. Kodama, D. Yonetoku, T. Murakami, R. Tsutsui and T. Nakamura, Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 391, L1-L4 (2008)

5. "Evolution of Very Massive Population III Stars with Mass Accretion from Pre-main Sequence to Collapse", Ohkubo, T., Nomoto, K., Umeda, H., Yoshida, N., and Tsuruta, S., The Astrophysical Journal, 706, 1184-1193, 2009

6. "Development of a General Relativistic Magnetohydrodynamic Code and Its Application to the Central Engine of Long Gamma-Ray Bursts" S. Nagataki The Astrophysical Journal, Volume 704, Issue 2, pp. 937-950 (2009)

[学会発表] (計 32 件) 国際会議のみ

1 Gamma Ray Cosmology Project

Ryo Tsutsui Takashi Nakamura, Daisuke Yonetoku, Toshio Murakami, Keitaro Takahashi,

'The Essential Cosmology for the Next Generation' 2010 January Playa del Carmen Mexico

2. Low metallicity Star Formation K. Omukai, 'The First Stars and Galaxies' 2010 March Austin USA

3. Prior Emission Model for the Plateau Phase in the X-ray Afterglow Ryo Yamazaki 'The Shocking Universe' 2009 June Venice Italy

4. Toward Understanding of GRB-Supernova Connection by General Relativistic MHD simulation S. Nagataki '4th Sakharov Conference on Physics 2009 May Moscow Russia

5. Chemical Yields from supernova and intermediate-mass stars K. Nomoto 'The Galaxy Disk in a Cosmological Context IAU Symp. 250 2008 June Copenhagen Denmark

[その他] 各種受賞があった。

分担者の井岡: 「Off-axis ガンマ線バーストの研究」 2008 年度日本物理学会若手奨励賞

分担者の山崎: 「ガンマ線バーストの多様性に関する理論的研究」 2009 年度日本天文学会研究奨励賞: 代表者の共同研究者の米徳:

「ガンマ線バーストにおける米徳関係式の発見と初期宇宙の研究」 2009 年度 文部科学大臣表彰 若手研究者賞 (これはまさに共同研究のテーマの1つでもある。)