

成果に関連して出版、もしくは印刷、投稿中の論文リスト

(1) このプロジェクト（同様の過去のプロジェクトも含む）での成果

- (a). Masada, Sano & Shibata 2007, *The Astrophysical Journal*, 655, 447, "The Effect of Neutrino Radiation on Magnetorotational Instability in the Proto-Neutron Stars"
- (b). Masada, Kawanaka, Sano & Shibata 2007 (Accepted to the *Astrophysical Journal*, astro-ph/0612664), "Dead Zone Formation and Nonsteady Hyperaccretion in Collapsar Disks: A Possible Origin of Short-Term Variability in the Prompt Emission of Gamma-Ray Bursts"
- (c). Masada 2007, ASP Conference Series Proceeding, Astronomical Society of the Pacific, Vol. 362 (in Press), "Magnetorotational Instability in Proto-Neutron Stars"
- (d). 政田洋平, 佐野孝好, 柴田一成, 「超新星コア内部の磁気流体不安定性」, 日本天文学会秋季年会, k03a, 九州国際大学, 9月, 2006年
- (e). 政田洋平, 川中宣太, 佐野孝好, 柴田一成, 「ガンマ線バースト円盤の磁気流体の性質と非定常質量降着」, 日本天文学会春季年会, j28a, 東海大学, 3月, 2007年
- (f). 政田洋平, 川中宣太, 佐野孝好, 柴田一成, 「A Possible Origin of Short-Term Variability in the Prompt Emission of Gamma-Ray Bursts」, 「高エネルギー天体現象と粒子加速の理論」研究会, 大阪大学, 2006年
- (g). 政田洋平, 川中宣太, 佐野孝好, 柴田一成, 「A Possible Origin of Short-Term Variability in the Prompt Emission of Gamma-Ray Bursts」, 第19回理論懇シンポジウム, p25, 立教大学, 2006年
- (h). 政田洋平, 川中宣太, 佐野孝好, 柴田一成, 「The Formation of Dead Zones in Hyperaccretion Disks: A Possible Origin of Short-Term Variability in the Prompt Emission of Gamma-Ray Bursts」, 「ガンマ線バーストの新しいフロンティア」研究会, 京都大学, 2007年
- (i). 政田洋平, 川中宣太, 佐野孝好, 柴田一成, 「Dead Zone Formation and Nonsteady Hyperaccretion in Collapsar Disks: A Possible Origin of Short-Term Variability in the Prompt Emission of Gamma-Ray Bursts」, 「すざく時代」のブラックホール天文学研究会, 京都大学, 2007年
- (j). 政田洋平, 川中宣太, 佐野孝好, 柴田一成, 「Dead Zone Formation and Nonsteady Hyperaccretion in Collapsar Disks: A Possible Origin of Short-Term Variability in the Prompt Emission of Gamma-Ray Bursts」, 「超新星を舞台とする高エネルギー物理現象」, 東京大学, 2007年
- (k). 政田洋平, 「Magnetohydrodynamic Instability in the Supernova Cores and Collapsar Disks」, *Astrophysical Colloquium 招待公演*, 早稲田大学, 2007年

(2) これまでのプロジェクトの今年度中の成果

成果の概要

(必要に応じてページを加えて下さい。)

本年度は、以上の申請題目を推進するために以下の三点について取り組んだ。

1. 厳密な粘性拡散、熱拡散、磁気拡散を含んだ Diffusive MHD コードの開発

大質量星や超新星コア内部では、エネルギー・運動量輸送を輻射(光子またはニュートリノ)が担う。したがって、輻射輸送を厳密な形で考慮した数値的研究が必要不可欠である。しかしながら、輻射輸送を厳密に考慮した数値計算コードは、世界的にもほとんど実用化されていない段階である。幸い、我々が興味を持つ恒星内部は光学的に厚いため、輻射輸送の効果を放射粘性項、放射熱拡散項という形で電磁流体方程式の中に近似的に組み込むことが可能である。我々は、多重拡散(放射粘性、放射熱拡散、磁気拡散)の効果を考慮した高精度の計算を行うために、Tripple Diffusive Godunov MOCC コードを開発した。この計算コードでは、空間・時間二次精度のゴドノフ法を用いており(Sano et al.1998)、数値流速の評価に非線形リーマン問題の厳密解を用いることで、最高水準の計算精度を実現している。また、放射粘性と磁気拡散を explicit に、放射熱拡散を SOR 法を使って implicit に解くことで、多重拡散の効果を高精度で組み入れることに成功した。

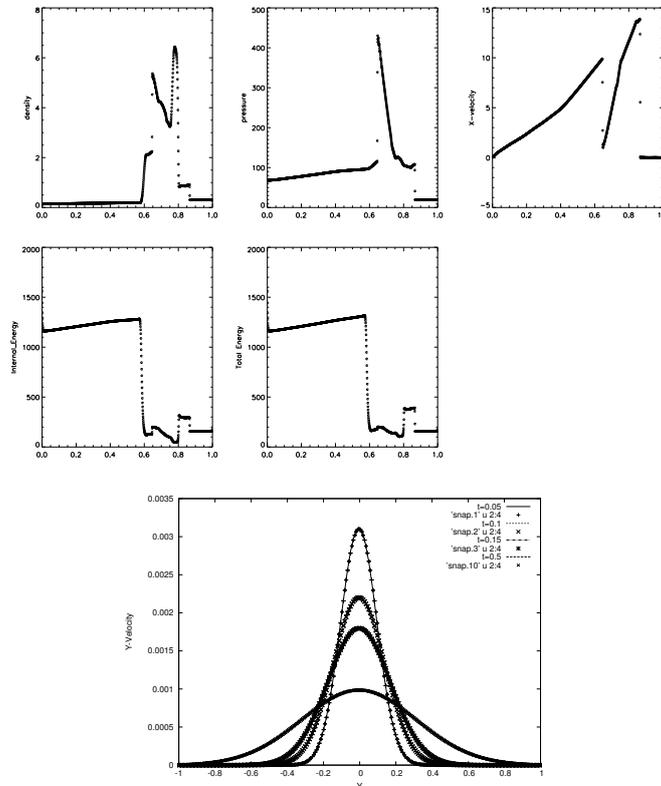


図 1: 上図は Woodward & Collela(1984) の Strong Shock の Test Problem ; 右図は拡散項の厳密解と数値解の比較

2. 超新星コア内部における磁気流体不安定性に対するニュートリノ輸送の効果の解明
 超新星コアの内部では、ニュートリノがエネルギー・運動量輸送を担う。つまり、ニュートリノによる熱拡散やニュートリノ粘性が流体不安定性の成長に大きな影響を及ぼす (Bruenn&Dineva 1996; Miralles et al.2000,2004; Bruenn et al.2004)。我々は、超新星コアの局所的数値シミュレーションを行う前準備として、ニュートリノ輸送が磁気流体不安定性の線形成長に及ぼす影響を詳細に調べた。その結果、ニュートリノ粘性が磁気回転不安定性の成長に強い影響を及ぼし、磁場強度が 10^{12}G 以下の場合には軸対称モードの成長が著しく抑制されることがわかった。また、超新星コアの深部では安定成層によって磁気回転不安定性の成長が抑制されるが、ニュートリノによるエネルギー輸送やレプトン輸送を考慮することで安定成層の効果が緩和されることを明らかにした。本研究は、磁気回転不安定性に対する多重拡散の効果を詳細に明らかにした点で、超新星コアのみならず、大質量星内部における磁気流体不安定性の非線形成長を調べて行く上でも指針となる重要な成果である。またこの成果は、すでに論文としてまとめられ ApJ から出版済みである (Masada et al.2007, ApJ,477,576)。

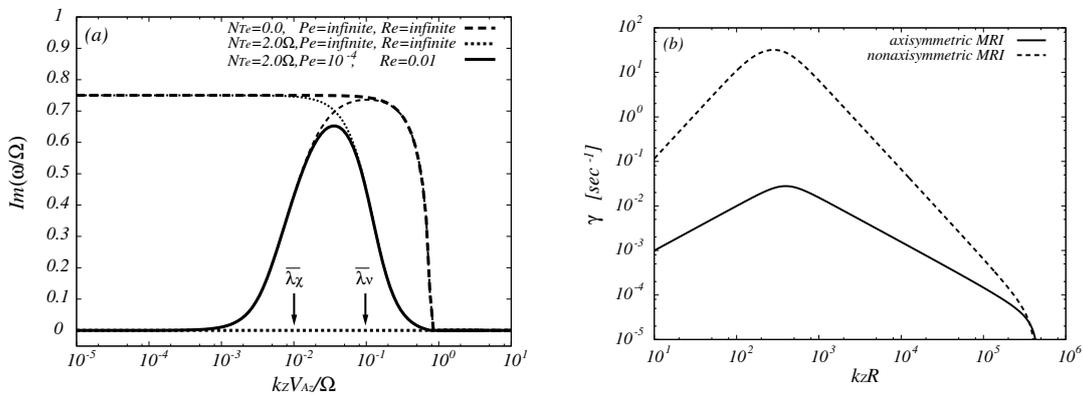


図 2: 左図は粘性による磁気回転不安定性の抑制効果を示す分散関係の一例；右図は超新星コア内での磁気回転不安定性の成長率の極角依存性。(軸対称モードが抑制され、非軸対称モードの成長が卓越する。)

3. コラプサー円盤における Dead Zone 形成と GRB の新たな中心エンジンモデルの提案
 ガンマ線バースト (GRB) の中心エンジンモデルとして最も有力なのがコラプサーモデルである。これは、高速回転する恒星核の重力崩壊にともないブラックホールと降着円盤が形成され、降着円盤の重力エネルギー解放とそれともなう超相対論的ジェット形成によって GRB を説明する理論モデルである (Woosley 1992, MacFadyen&Woosley 1999)。この枠組みで形成される降着円盤 (コラプサー円盤) は、超新星コアと同様に超高温・高密度状態になっており、ニュートリノ輸送が円盤の力学的進化に強い影響を及ぼす。我々は、Masada et al.2007 (ApJ,477,576) の結果をコラプサー円盤に応用し、円盤内での磁気回転不安定性の成長を詳細に調べた。その結果、磁場強度が 10^{15}G 以下の場合、円盤の内縁付近がニュートリノに対して光学的に厚くなり、ニュートリノ粘性によって磁気回転不安定性の成長が著しく抑制されることがわかった。また、それに起因して円盤内縁の角運動量輸送効率が著しく低下することを明らかにした (= Dead Zone 形成)。一方、円盤の外側は

ニュートリノに対し光学的に薄くなるため、磁気回転不安定性が成長し効率的な角運動量輸送が生じる。降着円盤で Dead Zone が形成される描像は、原始惑星系円盤で詳しく調べられている。我々は原始惑星系円盤とのアナロジーから、Dead Zone をともなうコラプサー円盤の新しい進化シナリオを提案した (Episodic Disk Accretion Scenario)。このシナリオは、従来のコラプサーモデルでは説明できなかった、ガンマ線バーストの prompt emission にみられる短時間変動の起源を矛盾無く説明する。また、このシナリオの枠組で、Swift 衛星が発見したバーストの数千秒後に発生する X 線フレアの起源をも矛盾無く説明できる。本研究は、我々の今回の研究課題の応用的側面を担っており、磁気回転不安定性の非線形研究の適用範囲を広げる重要な成果である。また研究の成果は、すでに論文としてまとめられ ApJ に受理されている (先日出版済：Masada et al.2007,ApJ,512,547)。

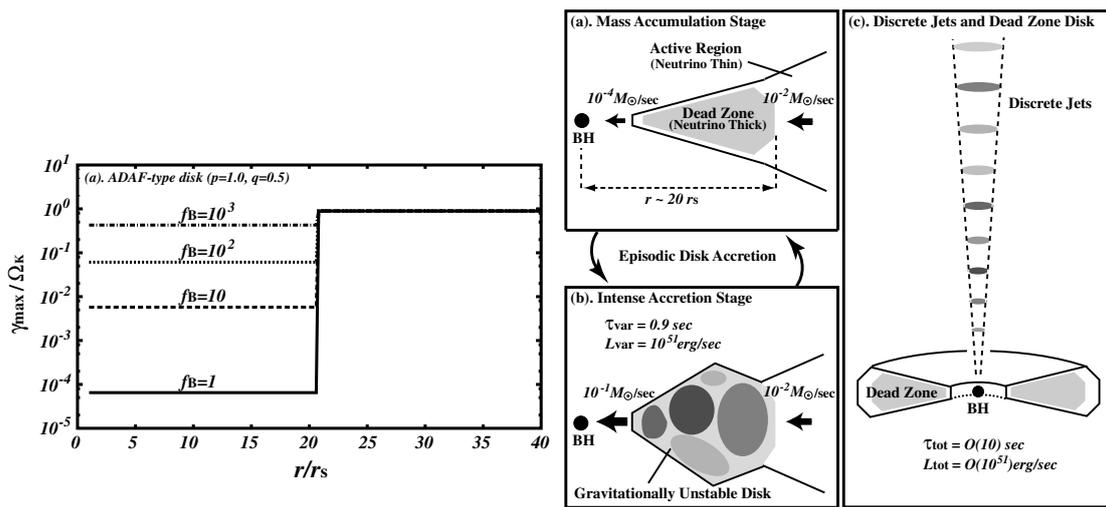


図 3: 左図：コラプサー円盤における磁気回転不安定性の成長率 (縦軸、横軸はそれぞれ規格化された成長率と円盤の半径。成長率の不連続点で円盤の光学的厚みが 1 になる。 f_B は magnetic parameter で $f_B = 1, 10, 10^2, 10^3$ がそれぞれ $B_p = 10^{12}, 10^{13}, 10^{14}, 10^{15} \text{ G}$ に対応する。)、右図：Episodic Disk Accretion Scenario の概略図 [(a) \leftrightarrow (b) を繰り返すことで、非定常な質量降着が生じ、discrete なジェットの起源になる。]