

General Relativistic Magnetohydrodynamic Simulations of Collapsars as a Model of Gamma-Ray Bursts (博士論文)

ガンマ線バースト (以下 GRB) は数秒から数分の間で 100 keV 程度のガンマ線を放出する突発現象である。近年の観測から GRB は非常に高速 ($\gamma \sim 100$) で細く絞られたジェット状の噴出をしていると考えられている。しかし、未だ何が GRB を引き起こしているか (中心エンジンは何か) といった基本的な問題が解決されていない。

近年、GRB と超新星爆発との関連性を示す証拠がいくつか見つかってきており、少なくとも GRB の一部は超新星爆発起源で起こっていると考えられている。例えば、母銀河の星形成との観測的関連性、GRB afterglow で観測される超新星爆発の兆候を示す 'bump'、GRB 980425 と SN1998bw や GRB 030329 と SN2003dh のような GRB と超新星爆発の同時観測である。

大質量星の重量崩壊を伴った GRB の中心エンジンモデルの一つが collapsar モデルである。このモデルでは大質量回転星の鉄コアが重力崩壊を起こした際、中心のブラックホールとその周りを回る降着円盤が形成され、ニュートリノの対消滅によるエネルギー注入や MHD プロセスによって相対論的ジェットが形成されることが考えられている。collapsar モデルからの相対論的ジェットの形成、伝播のシミュレーションは幾つか行われている。しかし、それらの研究ではジェットの形成を完全に解いていない。

そこで我々は collapsar モデルからの相対論的ジェットの形成と加速を理解するため磁場を伴った大質量回転星の重力崩壊の 2.5 次元一般相対論的磁気流体力学シミュレーションを行った。初期に星の重力崩壊によって中心に数太陽質量のブラックホールが形成され、さらにガスが中心に向かって落ち込んでくる状況を仮定する。シミュレーションはブラックホールの回転がない場合とある場合の 2 つのケースで行った。時間発展の様子は両ケースともほぼ同じような発展を見せる。シミュレーション開始とともにプラズマガスは中心のブラックホールに引かれて落ち込んで行く。プラズマガスは赤道面に積みあがり、円盤状の構造を形成する。その後、中心付近から衝撃波とジェット状の噴出が形成され、上方に伝播していく。ジェットの速度は光速の 30% 程度である。磁場は落ち込んでくるプラズマガスの微分回転と回転ブラックホールの時空の引きずり効果によって中心ブラックホールの周辺で強く捻られる。捻られた磁場はジェット状に噴出と共に上方に伝播し、ジェットをコリメートする。回転ブラックホールのジェットは回転のないブラックホールのときのジェットに比べてよりパワフルで、より中心近傍から形成されている。また、プラズマベータはジェットの内で低く、形成されたジェットが磁場によって形成、加速されることが分かる。

我々のシミュレーションでは collapsar モデルにおいて磁場によって相対論的ジェット (0.3c) が形成、加速されることが示された。しかし、これらの結果は GRB のモデルとしては直接適用することはできない。それはジェットのエネルギーとしては GRB を説明するだけ十分あるのだが、ジェットの速度が遅すぎるためである。また一方で、我々のシミュレーション結果は failed GRB に関連した baryon-rich outflow に適応することが可能であることが分かった。

Reference: Mizuno, Y. et al. (2004) ApJ, 606, 395.

(水野 陽介 記)