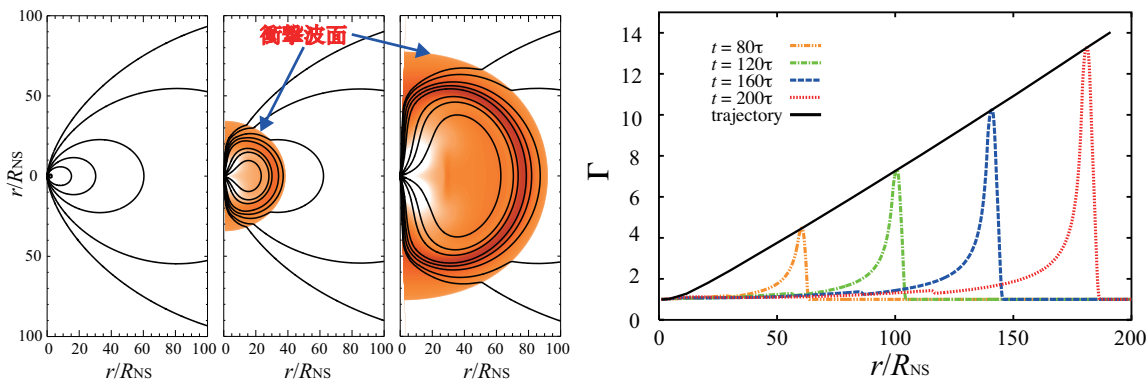


# Special Relativistic Magnetohydrodynamic Simulations of Astrophysical Outflows (学位論文)

重力的に束縛された天体からその重力の支配を振り切って天体の外側へとプラズマが流れ出す、天体アウトフローと呼ばれる現象は、様々な空間スケールで存在する普遍的な天体現象である。天体アウトフローは、駆動された中心天体付近の多くの情報を担うガスという実態をともなった情報媒体である。その力学進化を明らかにすることは中心天体の物理的な状況に示唆を与えるとともに、エネルギーや角運動量、物質の輸送といった、周囲の環境への影響の仕方の解明にもつながると期待される。本博士論文では高密度星からのアウトフローの非線形ダイナミクスと、相対論的ジェットと周囲の媒質との相互作用がアウトフローのダイナミクスに与える影響を調べた。

## 高密度天体からのプラズマアウトフロー

高密度星の表面で磁氣的爆発が起きた際の物質の力学進化を相対論的電磁流体シミュレーションを用いて調べた。その結果、磁氣的爆発によって駆動されるアウトフローの速度は、高密度星の表面のアルフヴェン速度の1/2 乗に比例し、その前面には強い衝撃波が形成されることがわかった。また、プラズマのアウトフロー速度は星周物質の密度に強く依存し星周密度が急激に減少する場合に、自己相似的に発展する相対論的アウトフローが形成されることを発見した。アウトフローの駆動源は高密度星の磁気エネルギーである。しかし、その相対論的速度への加速は、星周物質の急激な密度勾配を衝撃波が伝搬するために生じており、純粋に流体力学的な効果である。



左図：星の赤道付近で爆発が起きた際のアウトフローの時間発展（左から時系列）。原点に星が存在。色は密度をコントアは磁力線を表す。右図：自己相似的に発展する相対論的アウトフローの時間発展（ローレンツ因子  $\Gamma = 1/\sqrt{1 - (v/c)^2}$ ）。

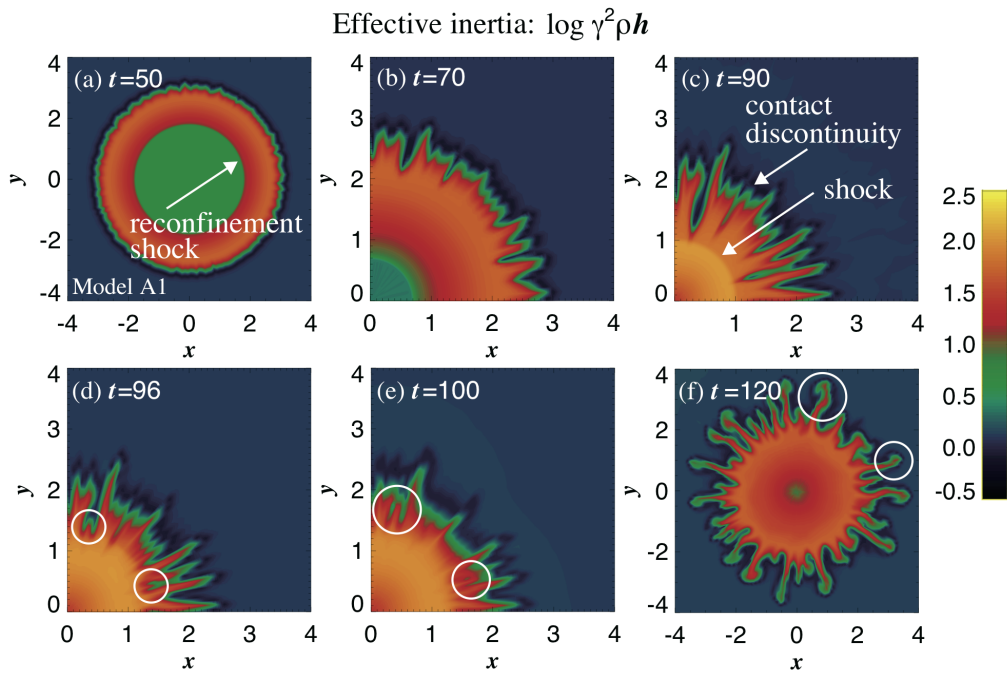
## 希薄波が相対論的高温ジェットに与える影響

相対論的高温ジェットと周囲の媒質との境界で生じる希薄波同士の相互作用がジェットのダイナミクスに与える影響を相対論的流体シミュレーションを用いて調べた。ジェットの伝搬方向に対し垂直な方向のジェットの構造を模した次元シミュレーションにより、相対論的高温ジェット中で繰り返して生じる希薄波の相互作用が、ジェット内の内部エネルギーとバルクの運動エネルギーの転換を反復して引き起こし、ジェットが振動することを発見した。ジェットの運動エネルギーの増減は、ジェット内に速度差を生

じさせ、不均一なジェットが形成されることを予言する。そこでジェットの伝搬方向も考慮した二次元シミュレーションを行った結果、一次元計算で明らかにしたジェットの振動がジェットの伝搬方向に対し、静的で準周期的な構造を形成し、速度の不均一なジェットを生むことを明らかにした。また、相対論的高温ジェットが圧力勾配が存在する媒質中を伝搬する際には、希薄波の相互作用領域が自己相似的に広がることを示した。

Rayleigh-Taylor 不安定性と Richtmyer-Meshkov 不安定性が相対論的ジェットに与える影響

さらに、相対論的高温ジェットの断面の進化を追う二次元計算を行い、ジェットの実効的な慣性がジェットを取り囲む媒質の慣性よりも大きい場合、ジェットが振動する際にジェットの境界で Rayleigh-Taylor 不安定性と Richtmyer-Meshkov 不安定性が成長し、ジェットの構造を著しく乱すことを明らかにした。



図：相対論的ジェットの断面の時間発展。ジェット境界面で Rayleigh-Taylor 不安定性および Richtmyer-Meshkov 不安定性成長している様子。

これらの研究はアウトフローとアフフローが伝搬する周囲の媒質との相互作用がアウトフローの力学進化に与える影響が大きいことを示すものであり、アウトフローの自己相似発展といったアフフローの発展の仕方の特徴は、密度や圧力構造といった伝搬する周囲の媒質の流体力学的な構造に大きく依存することを示すものである。

Reference:

Matsumoto, J., Masada, Y., Asano, E., Shibata, K., 2011, ApJ, **733**, 18  
 Matsumoto, J., Masada, Y., Shibata, K., 2012, ApJ, **751**, 140  
 Matsumoto, J., Masada, Y., 2013, ApJL, **772**, L1

(松本仁 記)