

佐藤 潤一<sup>1</sup>, 梅村 雅之<sup>1</sup>, 澤田 恵介<sup>2</sup><sup>1</sup>筑波大学計算科学研究中心, <sup>2</sup>東北大学大学院工学研究科

## 1. 緒論

最近の研究で, Pop 星形成において連星系が作られる可能性が高いことが示された(Saigo et al. 2004<sup>1)</sup>). Pop 星が大質量であることや連星の質量差が期待できることなどを考えると, この系では先に進化したより重い星(主星)はブラックホールとなる. そして, 伴星(100M<sub>⦿</sub>程度の星)の進化段階で, 伴星から主星にガスが流れ込み, 主星周囲に降着円盤ができると考えられる. この降着円盤は, high-z におけるエネルギー放射源となりうる.

しかし, 大質量の伴星は寿命が短く 10<sup>6</sup> 年程度で超新星(supernova)爆発を起こす. 典型的な SN の物理量を用いると, 円盤に注入される SN 爆発の運動エネルギーは, 円盤の束縛エネルギーの 30 倍もあることがわかる. エネルギーの見積もりから円盤は消えてなくなると考えられるが, 円盤の 3 次元的な形状を考慮すると円盤が生き残るか否かは自明ではない.

そこで我々は, SN 爆発による降着円盤への力学的影響を調べるために, 3 次元数値流体計算を行った.

## 2. 仮定と計算方法

本研究では, 1000M<sub>⦿</sub>の主星(ブラックホール)と 100M<sub>⦿</sub>の伴星からなる連星系を考える. 連星の間隔, 主星を取り巻くガス円盤の質量, 密度分布の半径依存性はパラメータとした. 典型的モデルでは, 間隔は 700AU(Saigo et al. 2004<sup>1)</sup>). ガス円盤の質量は 30M<sub>⦿</sub>(伴星が SN 以前に質量損失した分(Hegar & Woosley 2002<sup>2)</sup>)), 密度分布は主星からの距離の-1 乗に比例するとした. 温度は 10<sup>4</sup>K, 垂直方向の分布は, 静水圧平衡を仮定した. 円盤の半径は連星間隔によって変わる. 間隔が 700AU の場合, 280AU であるとした. また円盤は, 高温低密度ガス(温度:10<sup>7</sup>K, 密度:2.5 × 10<sup>-16</sup>g cm<sup>-3</sup>)に囲まれているとした.

SN 爆発のモデルとして, 高温のガス(温度:1.0 × 10<sup>8</sup>K, 密度:1.0 × 10<sup>-11</sup>g cm<sup>-3</sup>)を伴星の位置から熱的に放出させる. 放出されたガスの全質量が 50M<sub>⦿</sub>となったときガスの放出を止める. SN 爆発で放出される全エネルギーは 10<sup>51</sup>erg である.

我々は高次精度スキームを用いて, 連星の公転面上回転座標系における 3 次元非粘性オイラー方程式を解いた. また, 計算のグリッドは, ガス円盤の流れを扱いやすくした一般曲線座標を用いた. 流れは赤道面に関して対象であるため, 赤道面上側のみで計算を行なった.

## 3. 結果

図 1 は, 典型的なモデルに対する初期状態と SN 爆発後(伴星からのガス放出は 0.3 年程度で止まる)の, ガス円盤の密度分布のスナップショットである. ガス円盤領域を拡大している. SN 爆発によるガスが勢いよく広がり, ガス円盤に影響を与えていることがわかる. SN 爆発が終わった後も広がったガスはガス円盤に影響を与え, ガス円盤を変形させていることがわかる. (d) はほぼ定常になった最終的な円盤のプロファイルである. 質量にして 68.3% 残っていることがわかる.

図 2 の縦軸は, モデルを変えたときの円盤に残るガスの量を表している(シンボルは各モデルを表している. キャプションを参照). さまざまなモデルに対して 20%以上の質量が残ることがわかる. 横軸は, 各モデルに対する束縛エネルギーと SN 爆発のエネルギーの比を対数で表している. 残るガスの量は束縛エネルギーと SN 爆発のエネルギーの比に比例していること/

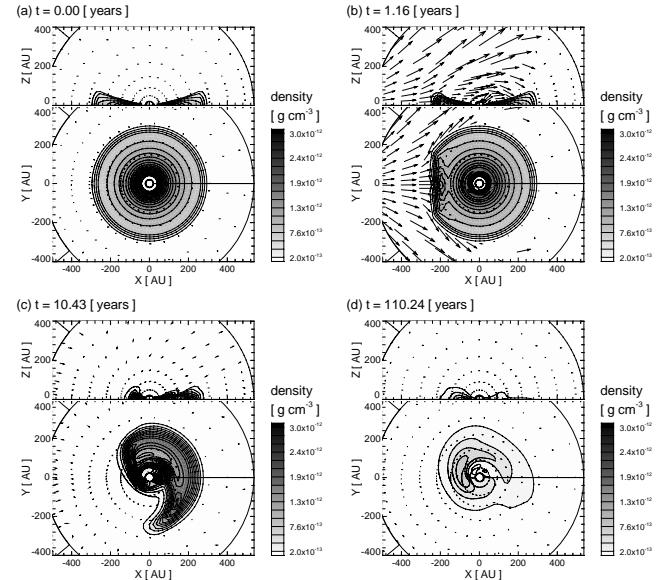


図 1: 密度分布のスナップショット. 時刻は SN 爆発が起きたときからの時間. 各パネルの下が主星と伴星を結んだ断面(x-z 面)の対数密度分布, 上が赤道面上(x-y 面)の対数密度分布である.

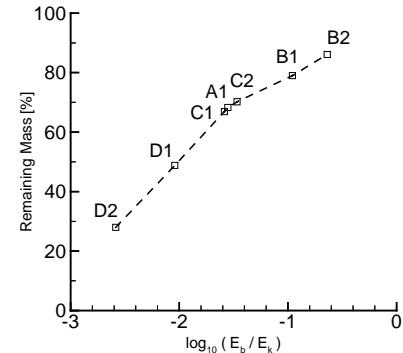


図 2: 残るガスの量と束縛エネルギーと SN 爆発のエネルギーの比との関係. A1 は典型的モデル. B1 と B2 は連星の間隔が 350AU と 140AU のモデル. C1 と C2 は密度分布が距離によらず一定と距離の-2 乗のモデル. D1 と D2 は円盤の質量が 10M<sub>⦿</sub> と 3M<sub>⦿</sub> のモデル.

がわかる.

## 4. 結言

以上の結果からガス円盤には SN 後も初期と同じオーダーの質量のガスが残ることがわかった. この結果は, 早期宇宙再電離の電離光子源や high-z におけるガンマ線バーストの progenitor の問題と関連しており, 注目に値する. 例えは, このようにして Pop binary の降着円盤は十分長い間(10<sup>7</sup> 年)存在し続け, 宇宙早期再電離源の光子源となったと考えることができる.

## 引用文献

- 1) Saigo, K., Matsumoto, T., & Umemura, M. 2004, ApJ, 615, L65
- 2) Hegar, A., & Woosley, S. E. 2002, ApJ, 567, 532