国立天文台天文シミュレーションプロジェクト 成果報告書

超大質量星形成に関する理論的研究

松木場　亮喜 (東北大学)

利用カテゴリ　XC-B

近年高赤方偏移のクェーサーの観測によって、ビックバンより 9 億年以内に $\sim 10^9$ $M_\odot$ もの質量を持つ超巨大ブラックホールが 200 個以上見つかっている。このような甚大な質量をもつブラックホールを短時間で形成する標準的なシナリオとして、直接崩壊シナリオが有力視されている。活発に星形成する銀河を近傍に持つ始原的ガス雲では、ガス雲中の水素分子が解離されることでガスの冷却効率が下がり、高温を保ちながら重力崩壊をする。このようなガス雲からできる超大質量星は 10^5 $M_\odot$ になると直接崩壊を起こし、同質量のブラックホールを残す。このブラックホールを種として観測されているような超巨大ブラックホールを形成するのが直接崩壊シナリオである。超大質量星を形成するためには、その原始星段階において 4×10^{-2} $M_\odot$ yr^{-1} 以上の非常に高い降着率を保つ必要がある。高降着率下で原始星は膨張していき、その表面温度は 5000 K 程度に保たれる。したがって星からの電離フィードバックが抑制され、10^5 $M_\odot$ になるまで降着成長をし続けることが可能となる。しかし原始星周囲に円盤ができると高い降着率が維持できるのかは定かではない。高い降着率を持つ円盤は自己重力的に不安定化しやすく、円盤分裂を起こす可能性がある。もし分裂が起きると円盤から原始星への降着率は時間変動するようになるため、原始星の進化に影響を及ぼす。先行研究において、簡単にモデル化した時間変動する降着率のもとでの原始星の進化計算から、降着率が臨界降着率 (4×10^{-2} $M_\odot$ yr^{-1}) より小さい quiescent phase の長さが星表面における Kelvin-Helmholtz 収縮のタイムスケールよりも長くなると電離フィードバックが働くことがわかっている。そのような状況では原始星が 10^5 $M_\odot$ yr^{-1} まで成長するよりも先に星の成長が止まる。

そこで本研究では、超大質量星を形成するようなガス雲が重力崩壊を起こし、中心星および円盤が形成されその後それらが進化していく過程を 2 次元の流体計算を用いて追った。そして数値計算から得られる星周円盤から中心星への降着率をもとに、電離フィードバックが働くことなく超大質量星が形成されることが可能なのかを検証した。円盤の自己重力的な安定性はガスの温度に依存する。本研究では始原ガスにおける熱および化学過程を詳細に取り扱うことによって、ガス温度の進化も追った。ガス雲の初期条件は、3 次元の宇宙論的シミュレーションから得られたガスの密度と温度の半径分布を参考にした。また計算は、中心星の質量が 30000 $M_\odot$ に達するまで行った。

数値計算から得られたガスの面密度の各時刻における空間分布図を図 1 に示す。図 1 にはどの時刻においても多数の分裂片と渦状腕が見られ、形成される円盤は非常に自己重力不安定であることがわかる。円盤の自己重力不安定性を Toomre の Q パラメータを用いて評価すると渦状腕付近で ~ 1 になっており、これらの渦状腕同士が衝突し一部で密度が増加することによって分裂片が形成されていることがわかった。そのように形成された分裂片のほとんどはしばらく経つと中心星へと降着していくが、一部の分裂片は分裂片同士の合体を繰り返し成長していく。本計算ではひとつの分裂片が独占的に成長していく様子が見られ、その質量は徐々に中心星質量に近づいていった。もしこの巨大分裂片が中心星へと降着することなく生き残れば連星系を形成する可能性がある。先に述べたように超大質量星の形成の可否は、降着の quiescent phase の長さと星表面における Kelvin-Helmholtz

収縮のタイムスケールの比較によって決まる。そこで中心星への降着率の時間進化を図 2 に示す。図 2 より最も長い quiescent phase は時刻 t=38 kyr で $\sim$ 2000 yr である。このときの中心星の質量をもとに星表面における Kelvin-Helmholtz 収縮のタイムスケールを見積もると $\sim$ 7000 yr である。両者の比較より、中心星から電離フィードバックが働くようになるよりも先に降着率が再び臨界降着率を上回るようになるため、降着流を止めることはないと考えられる。また他に降着の quiescent phase が長い時刻 t=33, 44, and 46 kyr においてもその長さは $\sim$ 700 yr ほどであり、収縮のタイムスケールに比べて十分に短くなっている。以上より、降着流が電離フィードバックの影響によって塞き止められることはなく中心星への降着は続き、中心星は 10^5 $M_\odot$ まで成長できると考えられる。

現在上記の内容を論文としてまとめている最中であり、近いうちに投稿する予定である。

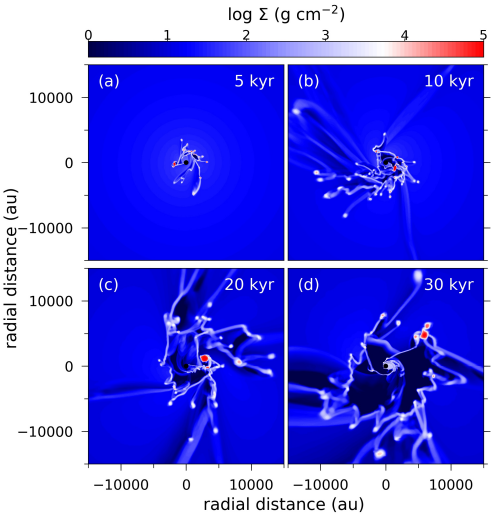

図1: 面密度の空間分布図。各パネルは時刻が異なり、円盤形成後 5 (a), 10 (b), 20 (c), and 30 (d) kyrを表す。パネルの1辺は30000 au。

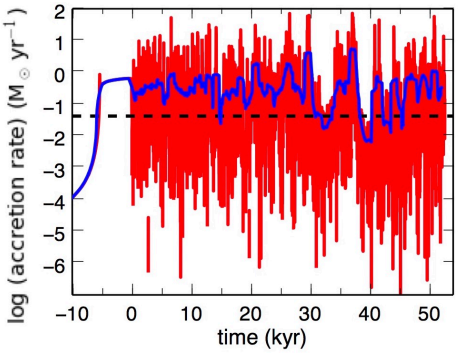

図2: 降着率の時間進化。赤線は5 yrごとの降着率で、青線は赤線の1000年平均をとった降着率である。黒破線は星がKelvin-Helmholtz収縮する臨界降着率(4x10^{-2} Msun yr^{-1})である。