

第二コア形成と高速ジェット: Resistive MHD Nested Grid Simulation

Second Core Formation and High Speed Jet: Resistive MHD Nested Grid Simulation

町田 正博 [1]; 犬塚 修一郎 [2]

Masahiro Machida[1]; Shu-ichiro Inutsuka[2]

[1] 京大・理; [2] 京大物理

[1] Theoretical Astrophysics Group

Department of Physics; [2] Physics Dept.

Kyoto Univ.

星形成領域で 100 km/s を超える高速ジェットが数多く観測されており、星形成における普遍的な現象である。特に数多く観測される低質量星の形成段階では、星からの輻射による効果は小さいために、これらのジェットは、重力エネルギーが磁場を媒介して開放されたために駆動すると考えられている。しかし、高速ジェットの駆動源は濃い分子雲ガスの中に埋め込まれており直接観測することは難しい。そのため、ジェットの駆動機構はあまり理解されていない。このような状況では、数値シミュレーションによる理解が有効である。今までに行われてきた多くのジェット形成のシミュレーションでは、人為的に理想化した初期条件を用いて原始星が形成した直後から計算を開始している。このような理想化した初期条件が実際に実現されるかどうかは、分からない。より正確にジェットの駆動機構を理解するためには、低密度の分子雲ガスから星コアが形成する密度までを一貫して計算する必要がある。現在までに行われているこのようなシミュレーションは、Tomisaka (2002) の 2 次元計算のみである。Tomisaka (2002) では、理想 MHD 近似を用いて低密度の分子雲から計算を開始して、形成した第二コア ($n \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$) から高速ジェットが駆動することを求めた。分子雲中のガスのイオン化度は、 10^{-6} - 10^{-7} と非常に小さいが、低密度 ($n < 10^{12} \text{ cm}^{-3}$) では、ガスは磁場と非常によくカップルしているために、理想 MHD 近似が妥当であると考えられている。この段階では、磁場が分子雲の進化にあたる影響は大きい。しかし、高密度 ($n > 10^{12} \text{ cm}^{-3}$) では、オーム散逸 (Ohmic dissipation) が有効である (Nakano et al. 2002) ため、理想 MHD は妥当ではない。その後、さらに密度が上昇すると、重元素がイオン化するために、再び理想 MHD 近似が妥当となる。

我々はオーム散逸を実装した 3 次元 MHD Nested Grid を用いて、分子雲コア ($n = 10^4 \text{ cm}^{-3}$; $R = 10^4 \text{ AU}$) から第二コア ($n > 10^{22} \text{ cm}^{-3}$; $R < 1 R_{\text{sun}}$) の形成までを一貫して計算した。Nested Grid は、空間分解能の低いグリッドで全体を覆いながら、細かいグリッドで空間分解能の必要な星間雲中心部を覆う手法である。これにより粗いグリッドの外周のみが真の境界となり、興味のある物理現象が起こっている細かなグリッドで覆われた部分を詳細に計算出来、星間雲の動的収縮から星が形成するまでの計算を可能にする。

シミュレーションの結果、オーム散逸を取り入れた計算では、第二収縮開始時の磁場強度は、理想 MHD 近似を用いたモデルに比べ 1/100 程度になることが分かった。また、オーム散逸が効く以前に形成したコア (ファーストコア) は、回転のタイムスケールが収縮のタイムスケールよりも短いために、磁力線が激しく巻き込まれる。その後、オーム散逸が効きはじめると、磁場のトロイダル成分が減少し、磁場がほどかれる。セカンドコア形成直後には、ポロイダル成分が卓越した磁力線が形成されるが、その後、再び磁力線は激しく巻き込まれて、磁場が増幅する。形成したセカンドコアのディスク内では、増幅した磁場による磁気回転 (Balbus-Hawley) 不安定性によりガスの角運動量が輸送され、ガスが動径方向に流れる。その結果、中心部でさらに磁場が増幅されて、強いジェットが駆動することが分かった。このジェットは、計算内では、80 km/s 程度まで加速されて、周囲のガスとの相互作用で bow shock を形成した。また、以前に行われた研究 (Tomisaka 2002) に比べて、分子雲はその進化の過程で磁場が散逸するために、磁気制動 (magnetic braking) による角運動量輸送の効果が小さくなる。そのため、形成したコアは高速で回転しており、“bar mode instability” (Durisen et al. 1986) を起こしやすい。結果、多くのコアが分裂して近接連星になると考えられる。

