

## 原始太陽系双極流の発生メカニズムに関する基礎過程

Fundamental processes in the generation mechanism of bipolar molecular outflow in a proto-solar nebula

# 設楽 伸之[1], 小野 高幸[2], 岡田 康佑[3], 飯島 雅英[4]

# Nobuyuki Shitara[1], Takayuki Ono[2], Kosuke Okada[3], Masahide Iizima[4]

[1] 東北大・理・地球物理, [2] 東北大・理, [3] 東北・理・地物, [4] 東北大・理・地物

[1] Geophys. Sci., Tohoku Univ., [2] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ., [3] Geophysics, Tohoku Univ., [4] Geophysical Inst., Tohoku Univ.

双極分子流は、原始星形成過程で発生する、自転軸に沿う二方向に絞り出されたガスの流れである。この双極分子流現象はその発見(Snell et al., 1980) 以来、多くの観測例が得られ、現在では、Class I の原始星段階の星に普遍的に存在する現象であることが判明している。我々の太陽も、Class I の原始星段階においてこのような双極分子流を放出していたと考えられる。本研究は、原始太陽系星雲における双極分子流発生 of 基礎的物理機構を究明することを目的としている。

この双極分子流の発生は、基本的に原始太陽系星雲における角運動量輸送が関わり、その結果、遠心力風として発生していると考えられている。これまでそのメカニズムとして、大別して二つの理論が提唱されてきた。その一つは Wardle and Konigl(1993)に代表される Disk-Wind モデルであり、星間空間起源の磁場に貫かれた原始太陽系星雲内で磁場による角運動量輸送が生じ、ディスク表面付近で outflow するガス成分が形成され、双極分子流となるとするものである。それに対して Shu et al.(1994) は、X-Wind モデルを提唱し、中心星とディスクとの磁場による結合が重要であり、中心星の自転によるトルクが星雲ガスに磁場によって輸送されることが本質的であると提唱している。

これを踏まえ本研究では、原始太陽から原始太陽系星雲への角運動量輸送の一部が双極分子流の起源となるとする仮説に関して、その基礎過程を、理論及びシミュレーションを用いて検討する。本研究では ディスクモデル(Shakura and Sunyaev, 1973)を用いて、まず平衡状態にあるディスク密度の二次元構造について数値解を求め理論的に検討した。その結果、ディスクは、10AU までの範囲において  $10^5 \sim 10^{16}/\text{cc}$  の密度を有していることが示された。次にこの ディスクモデルから予想されるディスク赤道面の温度分布と、観測から得られているディスク表面の温度を境界条件として、その内部の温度分布の定常解を放射伝導近似が成り立つとして決定した。その結果、ディスク内は、10K ~ 10000K と幅広い温度分布を持つことが判明した。

続いてディスク内の電離度について検討を行った。電離度はディスクの電気伝導度、さらには磁気拡散率を決定する重要な値である。原始太陽系星雲は、星雲内の温度分布による熱電離と宇宙線、放射性元素による電離の二つの効果がある。この結果生じる電離度の分布は、 $10^{-2} \sim 10^{-25}$  と非常に大きな幅を持っていることが判明した。この電離度の非一様性は、従来の研究でほとんど検討されてこなかった点である。

このような考察に基づいて、原始太陽系星雲ガスの運動を記述する方程式系を決定した。方程式系は物質、運動量、エネルギーの保存と、電磁場の方程式系からなる弱電離プラズマの MHD 方程式系で、従来扱われて来なかった電離率の空間変化を表現できるものとなっている。

双極分子流の発生に関わる基礎過程をこの方程式系を用いてさらに検討するために、コンピュータシミュレーションを実施した。シミュレーションにおいては温度分布、密度構造は ディスクの定常解を初期基本場として与え、基礎方程式系に従って発展したその後の速度場、磁場等を検討し、双極分子流の発生に何が本質的に寄与しているかに関して検討した。その結果、Wardle and Konigl(1993)が提唱していたような星間空間磁場によるディスク内の角運動量輸送では、ディスク表面付近でローレンツ力の成分が大きくなる等、定性的な特徴は一致するものの、大きな磁気トルクは発生せず、観測で得られているような 10km/sec に達する out flow は生じないことが判明した。このような out flow を生む大きなトルクは、ディスク内に発生する局所的なダイナモ作用によって強い磁場が形成されるか、Shu et al. (1994)が提唱するような原始太陽からの角運動量輸送がより本質的であると結論される。シミュレーションを実施した結果、これらのプロセスによって、星雲内で 1G をこえる強度の磁場が存在することが双極流の発生において必要条件であることがわかった。また、星雲ガスの回転速度がケプラー速度の 1.5 倍以上にまで加速される場合、双極流の発生には有利に働くことが分かった。