

第1コアの観測的確認：非局所熱平衡輻射輸送

富阪幸治 & 富田賢吾

(国立天文台)

第1コアは分子雲コアの動的な収縮過程で最初に来る力学平衡にある天体である。収縮ガスの流れは第1コア形成前と後で大きく変化する。その意味で第1コアは星形成の前期と後期を分ける基準となる天体である。これはラーソンによって1969年に予言されたが[1]、未だに観測で確認されていない。本研究では、輻射磁気流体力学シミュレーションで得られた結果から[2]、CS(一硫化炭素)回転遷移遷移線による第1コアの観測予測を行った[3]。図1は回転している分子雲コアから形成された第1コアおよびそこから噴出するアウトフローの構造である(第1コア形成645年後)。

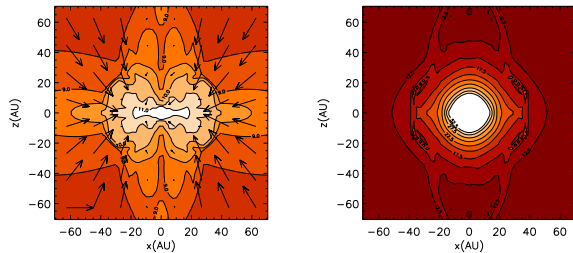


図1: 密度および速度(左)と温度(右)の構造。図は140AU四方、中心から半径30AUまで伸びた第1コアとそこから垂直に噴出するアウトフローが見て取れる。落下するガスはほぼ10Kの等温であるが、第1コア内は断熱的に温度が上昇している。

モンテ・カルロ法を用いて、入れ子状格子の上で、非局所熱平衡輻射輸送問題を解いた。これは、励起順位間の輻射励起、誘導放出、自発放射、 H_2 分子との衝突励起、および脱励起の釣り合いを、輻射輸送方程式と連立して解く問題に帰着する。回転量子数 J の励起順位(エネルギーが $E(J)$)の数密度を n_J とすると上記の釣り合いは $n_J \sum_{J' \neq J} R_{JJ'} = \sum_{J' \neq J} n_{J'} R_{J'J}$ ($J = 0, 1, \dots, J_{\max}$)、で表される。ここで、 $R_{JJ'}$ は J から J' への遷移確率で $R_{JJ'} \begin{cases} = A_{JJ'} + B_{JJ'} \mathcal{J}_{\nu JJ'} + n C_{JJ'} & \text{for } J > J', \\ = B_{JJ'} \mathcal{J}_{\nu JJ'} + n C_{JJ'} & \text{for } J < J', \end{cases}$ と書き表される。ここで $A_{JJ'}$ と $B_{JJ'}$ はアインシュタインの係数で、前者は自発放射を後者は吸収($J < J'$)と誘導放出($J > J'$)を表している。 $C_{JJ'} H_2$ 分子(密度 n)との衝突による遷移率を表す。 $\mathcal{J}_{\nu JJ'}$ は、振動数 $\nu = [E(J') - E(J)]/h$ の輻射の平均強度を表す。

第1コア期に、アウトフローが第1コア周辺から、円盤

の回転でひねられた磁場の効果によって放出される。

ディスク上の第1コアとアウトフローは以下の観測的特徴を持つ。

(i) 比較的光学的に厚い遷移で見ると、青い側が強くなった非対称な輝線プロファイルが観測される。(ii) 円盤側から見ると、ディスクは回転しながら落下する特徴的な形態を取る。すなわち、回転で近づいてくる方の円盤が反対側に比べて、明るくなり、第1モーメントで測定される速度勾配も大きくなる。(iii) アウトフローは回転を示す。アウトフローは、第1コア形成後に放出されるので、その長さは第1コア形成後の年齢を表している。

(ii)の回転しながら落下するディスクに見られる、左右対称構造からのずれは、これは自己吸収によっており、以下のように理解される。温度は中心から単調に減少しており、1つの視線を考えると、視線と回転ベクトルが接する部分(接点 tangential point)からの放射が手前の中心からの距離の遠い部分で吸収される。回転しながら落下するディスク形状では、接点の手前側の視線速度勾配(の絶対値)は、手前側に来る方向が遠ざかる方向よりも必ず大きくなる。これによって手前側に来る方向の方が輝線に対する光学的厚みが薄くなるのでこのような左右対称構造からのずれが生じる。

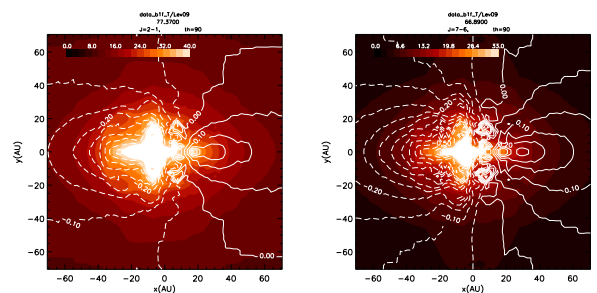


図2: CS $J = 2 - 1$ (左)と $J = 7 - 6$ (右)の積分強度と強度で重み付けした視線方向速度(第1モーメント)がそれぞれ疑似カラーと等高線で示されている。これは第1コアを円盤方向(回転軸と垂直)から見た場合に相当する。

参考文献

- [1] Larson, R. B. 1969, MNRAS, 145, 271
- [2] Tomida, K., Tomisaka, K., Matsumoto, T., Ohsuga, K., Machida, M.N., & Saigo, K., 2010, ApJ, 714, L58
- [3] Tomisaka, K. & Tomida, K.: 2011, PASJ, 63, 1151