

コンドリュールの扁平率から推定される原始太陽系円盤のガス密度

Solar Nebula Density derived from Spin of Chondrules

高遠 徳尚[1]

Naruhisa Takato[1]

[1] 国立天文台

[1] Subaru Telescope, NAOJ

コンドリュールは、その形成時に液滴であったと考えられている。更に X 線 CT を用いた Tsuchiyama et al. (2000) によるコンドリュールの 3 次元形状の測定と、その中の微小な空隙の分布から、コンドリュールは液滴の状態で高速に自転していた (300-1300 rad/sec) ことが、強く示唆されている。この回転は、周りにあるガスの分子粘性によって減速される。コンドリュールの扁平率は固化した時点の値であるので、液滴として回転している時は、もっと扁平であったはずである。しかし液滴が高速に回転すると、その形状に不安定が起こって分裂してしまう。したがって液滴の回転速度には上限値がある。コンドリュールが固化した時の回転速度から、冷却時間だけ時間をさかのぼると、初期の回転速度が周りのガス圧の関数として求まるが、その値がコンドリュール液滴が安定に存在する条件を満たすべきことから、まわりのガス圧の上限値が求まる。

コンドリュールが形成された場所のガス密度は、研究者により幅が大きい、およそ 10^{-8} - 10^{-5} kg/m³ と見積もられている。もっとも濃い場合のガスの平均自由行程は、ガスを水素分子とすると約 1cm である。これは平均的なコンドリュールサイズ (~1mm) よりも大きいため、ガスは分子流として扱ってよい。

ガスがコンドリュール液滴に衝突した時に、必ず吸収されると仮定すると、半径 R の液滴に働くガスからのトルク M が求まる。この際、液滴の粘性は周りのガスに比べて非常に大きいので、液滴を剛体とかていし、また計算を簡単にするために、扁球ではなく真球を仮定した。

ガス粘性以外に液滴にトルクが働かないとすると、運動方程式は簡単に解けて、

$$= \omega \exp(-t/\tau)$$

となる。ここで τ は時定数で、コンドリュール密度、ガス密度、コンドリュール半径、ガス温度の簡単な関数で表される。半径 0.5mm、密度 3g/cm³ のコンドリュールが、ガス温度 1000K でガス密度が前述の範囲だとすると、 $\tau = 10$ sec - 10000 sec となる。

一方、液滴の形状はコンドリュール液滴の密度、回転速度、半径、表面張力で作られる無次元数 C でできまり、 $C = 0.8440$ より値が大きいと不安定である (Chandrasekhar 1965)。例えば Tsuchiyama et al. (2000) で測定された直径 2.5mm の POP コンドリュールの場合、扁平率から求まる回転速度 ω は約 360rad/sec、不安定になる回転速度 ω_c は 650rad/sec である。

コンドリュールが過去に不安定になっていなかった、という条件から求まるガス密度の上限値 ρ_c は、コンドリュール密度、半径と $\ln(\omega_c/\omega)$ に比例し、ガス温度の平方根と冷却時間に反比例する。

上記の ρ_c の例に使った値を用いて、Tsuchiyama et al. (2000) の POP コンドリュールの場合を計算すると、冷却時間が例えば 100sec だったとすると、ガス密度は 10^{-6} kg/m³ 以下でなければならない。

コンドリュールの扁平率が、本当に液滴の回転平衡形状を表しているとする、それか得られる情報は大きいので、さらに詳しい検討が必要と思われる。