

原始惑星系円盤からの水素分子輝線：ダスト粒子成長・沈殿の影響

Molecular hydrogen emission from protoplanetary disks : Effects of dust size growth and settling

野村 英子[1]; 相川 祐理[2]; 中川 義次[3]; Millar Tom J.[4]

Hideko Nomura[1]; Yuri Aikawa[2]; Yoshitsugu Nakagawa[3]; Tom J. Millar[4]

[1] 神戸大・自然科学・地球惑星; [2] 神戸大・理・地球惑星科学; [3] 神戸大・理・地球惑星; [4] マンチェスター大・物理天文

[1] Earth and Planetary Sci., Kobe Univ.; [2] Dept. of Earth and Planetary Sci., Kobe Univ.; [3] Earth and Planetary Sci, Kobe Univ; [4] Physics and Astronomy, The Univ. of Manchester

原始惑星系円盤のガス質量及びその時間進化は、惑星系形成に影響する重要な物理量である。最近の近・中間赤外線及び紫外線観測は、円盤ガス質量をもっとも確実にトレースする水素分子遷移線の観測を可能にしつつある。一方、円盤内ダスト粒子のサイズ成長・円盤赤道面への沈殿は、惑星系形成に繋がる重要な過程であるが、これらの過程はダスト吸収係数・ダスト上の光電加熱率等の変化を通じ、円盤からの水素分子輝線へ影響を及ぼす。

本研究ではその影響を評価する為、まず、ガス冷却・加熱間の局所熱平衡及び円盤鉛直方向の静水圧平衡の仮定の下、原始惑星系円盤内ガスの温度・密度分布を求め、そのダストサイズ依存性を調べた。ダストサイズ分布はダストサイズの -3.5 乗に比例するモデルを使用し、ダストサイズの最小値は 0.01 ミクロンで固定、最大値は 10 ミクロン、 1mm 、 10cm の場合について調べた。また中心星からのUV放射としては、Tタウリ型星 TW Hya の観測値を再現するモデルを用いた。計算の結果、ダストサイズ成長に伴いダスト数密度が減少し、円盤表面のガスの主な加熱源である、ダスト上の光電加熱率が小さくなった。即ち円盤表面でガス温度が低下することがわかった。

次に求めた温度・密度分布を用い、円盤内水素分子各エネルギー準位の滞在密度を計算した。ここで円盤内において水素分子滞在密度は、主に紫外線励起及び衝突励起過程により決定される。このダストサイズ依存性を調べたところ、以下の様な結果を得た。まずダストサイズが小さいときには、上述の様に円盤表面のガスは高温である為、衝突励起が優勢に作用し、滞在密度は熱的な分布を示した。一方ダストサイズが大きくなると、円盤表面のガス温度は低下し、かつダスト吸収係数の減少に伴い紫外線がより円盤内に浸透し易くなる為、紫外線励起が優勢に作用するようになり、高エネルギー準位の滞在密度は非熱的な分布を示すようになった。

さらに求めた温度・密度分布、水素分子滞在密度分布を用い、円盤からの水素分子輝線を求め、そのダストサイズ依存性を調べたところ、輝線強度比に変化が現れた。まず、振動回転遷移輝線が放射される近赤外線領域においては、上述の様にダストサイズの成長に伴い、水素分子の滞在密度は非熱的な分布を示すようになる為、高エネルギー準位からの遷移の強度がより強く現れるようになった。次に、純回転遷移輝線が放射される中間赤外線領域においては、水素分子の滞在密度は熱的な分布を示す為、ダストサイズの成長に伴い円盤表面のガス温度が低くなるにつれ、より低エネルギー準位からの輝線が強く現れるようになった。最後に、電子軌道遷移輝線が放射される紫外線領域においては、ダストサイズの成長に伴い、電子励起の基底状態において水素分子の滞在密度が非熱的な分布を示すようになる為、各輝線強度の比は差が小さくなり、輝線間隔は密になる傾向が現れた。

本研究ではさらに、円盤内ダスト粒子の合体成長過程を赤道面への沈殿過程と共に計算した結果を用い、円盤内ダストの成長・沈殿が水素分子輝線へ及ぼす影響を調べた。その結果、ダスト沈殿に伴い紫外線がより円盤赤道面付近まで届くようになる為、水素分子輝線放射領域は赤道面付近に移動した。また水素分子輝線強度及び強度比は、輝線放射領域におけるダストサイズ(ダスト数密度及び全ダスト表面積)に依存し、ダスト成長・沈殿開始後 10 万年では、上述のダストサイズ分布モデルにおいて、最大ダストサイズ 100 ミクロンのモデルと類似する結果が得られた。