原始惑星系円盤の温度構造に対するダストのサイズ分布の効果

Effects of dust particle size distribution on the thermal structure of protoplanetary disks

中本　泰史[1]，竹内　拓[2]
Taishi Nakamoto[1], Taku Takeuchi[2]

[1] 筑波大・計物セ，[2] リック天文台カリフォルニア大サンタクルツ
[1] CCP, Univ Tsukuba, [2] Lick Obs., Univ. of California, Santa Cruz

原始惑星系円盤の内部では，ダスト粒子が衝突・合体・成長することによってそのサイズが大きくなっていくことが予想されている．一般にダスト粒子はサイズが変化するとその光学的性質も変化するため，ダスト粒子サイズの変化は，原始惑星系円盤内部の輻射の状態を変化させると考えられる．本研究では，ダスト粒子のサイズ分布が変化することによって，原始惑星系円盤内の温度分布・密度分布がどのような影響を受けるか，またそのような円盤がどのように観測されるかを調べた．

ここでは，T タウリ型星段階の中心星に付随する原始惑星系円盤を考える．この段階では円盤内部に熱源はあっても弱いと考えられるので，中心星からの輻射との輻射平衡によってダスト粒子およびガスの温度が決まるとする．このとき，数ないし 10AU よりも外側ではガス粒子の数密度が小さくなるためにガス粒子とダスト粒子の衝突頻度が下がるので，ダスト粒子は熱的に輻射との結合の方が強くなる．すなわち，ダスト粒子はガス粒子とは独立に輻射平衡のみで温度が決まることになる．本研究ではこのような領域の円盤の鉛直方向の温度構造を明らかにすることを目指し，上空から一定の輻射を入射して得られる円盤内の温度構造を，１次元平行平板近似を用いた輻射輸送・輻射平衡数値計算によって調べた．この際，次の効果を考慮した：入射光の振動数依存性，ダスト粒子のサイズ分布，サイズ分布の空間依存性，ダストによる吸収と散乱，各サイズ毎の吸収係数の振動数依存性，ガスの鉛直方向の静水圧平衡．

得られた主な結果は次の通りである．

・一般にサイズの異なるダスト粒子は異なる温度を持つ．サイズの大きい粒子ほど低温になりやすい．すなわち，空間的に同じ場所においてもサイズ分布があれば，異なる温度のダスト粒子が共存していることになる．これは，高い振動数の輻射の吸収率と低い振動数の放射の放射率の差が，サイズ毎に異なることに起因している．

・入射光のピーク波長よりも小さいサイズのダスト粒子は，上層では高温になり下層では低温になる．大きいダスト粒子は，空間的に等温になる．これは，自分のサイズよりも小さい波長の輻射に対してはダスト粒子はほぼ灰色であるのに対し，長波長の輻射に対しては，吸収係数が波長の-2 乗に比例しているからである．

・このような円盤のスペクトルは，一温度では近似できない．

・ダストのサイズ分布を考慮して吸収係数を求めてから，それを用いて円盤の温度構造を求めた場合（この場合は，同じ場所に存在するダスト粒子はサイズが異なっても同じ温度となっていることを仮定していることになる）に得られるスペクトルは，異なる温度のダスト粒子の存在を考慮した場合に得られるスペクトルと異なる．主な違いは，近赤外から中間赤外域のフラックスの違いとして現れる．これは，高温のダストがより多数存在していることに起因している．

・全てのダスト粒子のサイズが 0.1 ミクロン（星間雲内の初期サイズ．円盤内でダスト粒子が全く成長していない場合に相当）の場合でも，ダスト粒子の温度は空間的に異なる．したがって，この円盤からの輻射として観測されるスペクトルは，一温度では近似できない．

・全ダストのうちのわずかでも（ダストの柱密度のおおよそ 1%程度が成長，それ以外は 0.1 ミクロンのまま）成長した円盤は，観測的にそうでない円盤と区別できる可能性がある．

以上の結果は，近い将来に計画されている ALMA などの大型観測装置を用いて原始惑星系円盤を高分解能観測した場合，その観測結果から円盤内のダスト粒子の分布やダストサイズの成長を知るための手がかりとなると思われる．