

氷粒子による光吸収を考慮した原始惑星系円盤内スノーラインの進化

The Evolution of the Snowline in Protoplanetary Disks with the Absorption by Icy Dust Particles

岡 明憲 [1]; 中本 泰史 [2]; 生駒 大洋 [3]; 井田 茂 [4]

Akinori Oka[1]; Taishi Nakamoto[2]; Masahiro Ikoma[3]; Shigeru Ida[4]

[1] 東工大・理・地惑; [2] 東工大; [3] 東工大・理・地惑; [4] 東工大・地惑

[1] Earth and Planetary sciences, Tokyo tech; [2] Tokyo Tech; [3] Earth Planet. Sci.

Tokyo Tech.; [4] Dept. of Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. of Tech.

本研究は、Tタウリ型星周りの降着円盤におけるスノーラインの位置とその時間進化に関するものである。

我々の太陽系をはじめとする惑星系の形成過程において、氷の存在領域を表すスノーラインの位置は非常に重要な役割を果たす。惑星系においては中心星に近いほど温度が高いため、中心星からある距離の範囲内では水分子は水蒸気の状態が存在し、それより外側では凝結し氷として存在する。その境界がスノーラインである。原始惑星系円盤の組成が太陽組成であれば、氷粒子の有無で惑星材料物質としての固体の量は大きく異なる。そのため、スノーラインの位置は惑星形成に大きな影響を与えることになる。例えば、コア集積による巨大ガス惑星の形成モデルによれば、巨大ガス惑星の大質量コアの形成場所は惑星材料物質としての固体粒子の多いスノーラインの外側であると考えられている。また、地球型惑星への水の供給プロセスを議論する上でもスノーラインは重要となってくる。そこで本研究では、Tタウリ型星の周りの降着円盤におけるスノーラインの位置とその進化の様子について、数値計算により調べた。

スノーラインの位置は円盤の温度・密度構造によって決まるので、Dullemond et al. (2002) と同様な 1+1 次元平行平板輻射輸送コードによって軸対称な降着円盤の温度・密度構造を求めた。その際、加熱源として中心星による輻射と円盤ガスの粘性散逸による加熱を考慮した。さらに、光の減光を担うダストモデルとして、Miyake & Nakagawa (1993) による $0.1 \mu\text{m}$ のシリケート粒子と氷粒子の 2 粒子モデルを用い、減光係数として吸収と散乱によるものを用いた。ただし、ダストの沈殿・成長は考慮せずガスとのような完全混合を仮定し、さらにダストとガスは互いに頻りに衝突し両者の温度は等しいと仮定する。また、氷の凝縮条件として、水分子の飽和蒸気圧を用いた。円盤ガスの粘性係数については、Shakura & Sunyaev (1973) によるモデルを用い、 α の値として 0.01 を採用した。円盤の進化は、温度・密度構造の計算から得られた粘性係数を用い、標準降着円盤モデルにおける 1 次元の面密度拡散方程式を解くことによって求めた。中心星への質量降着率は、 10^{-7} - 10^{-9} 太陽質量/年の範囲において調べた。

スノーラインの計算における本研究の新しい点は次の 3 つである：(i) 蒸発や凝縮を考慮したシリケートと氷の 2 粒子のダストモデルを用いていること、(ii) 中心星輻射や円盤からの輻射に対する光の散乱を考慮していること、(iii) 乱流粘性を通して温度・密度構造とコンシステントな円盤進化を求めていること。特に、氷が存在している領域で氷による吸収と散乱を考慮している点は、従来の類似の計算と大きく異なる点である。

以上の計算モデル・手法により、乱流粘性による円盤の進化に伴うスノーラインの位置とその進化を、動径距離-鉛直高度の 2 次元面で得た。その結果、動径距離に対して円盤内側から順に、(1) シリケート粒子のみが存在する高温領域、(2) 中心面付近にはシリケート粒子しか存在しないが上空に氷粒子が存在する中間領域、(3) 円盤外側の氷がいたるところ存在する低温領域、の 3 つの領域に分けられることが分かった。(1) の領域では鉛直方向に光学的に厚く粘性加熱が強く効くため高温となり、氷は存在できずシリケート粒子のみとなっている。(3) の領域は、光学的に薄く密度も薄いため加熱源として中心星からの輻射しか効かず、温度が低くなり氷が存在できる。(2) の領域は粘性加熱がちょうど効かなくなり始める領域であるが、円盤上空で凝縮した氷粒子が中心面付近で発生する粘性加熱エネルギーに対して蓋のような役割をし、動径距離が増加しても中心面付近の温度を高く保っている。このような (2) の領域の存在のため、かつてなされたシリケート粒子のみの減光係数を考慮した場合よりもスノーラインの位置が約 1.5 倍中心星から遠くなっていることが分かった。

以上のように、スノーラインを求めるには氷粒子による減光を考慮することが重要であることが分かった。また、スノーラインの位置が従来よりも外側に位置しているため、円盤進化後期の内側領域でのダストの成長や沈殿による晴れ上がりを考慮すれば、地球軌道がスノーラインの内側に入らなかった可能性も考えられる。