

光学的に厚い原始惑星系円盤における氷境界の進化

Evolution of the Ice Boundary in Optically Thick Protoplanetary Disks

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

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

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

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

Tokyo Tech.; [3] Tokyo Tech; [4] Dept. of Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. of Tech.

惑星形成論において、原始惑星系円盤内での氷の存在領域を求めることは非常に重要な問題である。氷の存在領域は巨大ガス惑星のコアの形成領域や地球の水の起源などと関連してくる。円盤は大量の水分子を含むため、氷が存在することで固体成分の量は数倍増加し、惑星の材料物質の量もそれに応じて増加する。木星など巨大ガス惑星の大質量のコアの形成において、岩石微惑星のみではその質量をまかないきれないと考えられており、コアの形成領域は氷の存在領域であると予想されている。また、地球は現在有する水の量を円盤の大気から直接水蒸気形で取り込むことはできないので、氷微惑星の存在領域の位置と地球軌道の関係は地球への水の供給のプロセスとも絡んでくると考えられる。定性的に見て、太陽に近い円盤内側では氷が凝縮できず、円盤外側では氷が凝縮する。円盤の加熱源としては、中心星輻射や円盤が差動回転していることによる粘性散逸が考えられるが、それらは中心星に近いほど強いので円盤内側ほど温度は高く、外側では温度が低いので、外側領域で氷が凝縮する。それらの境界を氷境界と呼ぶ。円盤の温度構造は、加熱率と冷却率、光学特性などによって決まるが、粘性散逸は円盤が進化して質量が減少していくほど弱まり、また、ダストの成長・沈殿などにより光学特性は変わっていくので、温度構造は変化する。温度構造が変われば必然的に氷境界の位置は移動する。本研究では、Tタウ型星の周りの光学的に厚い降着円盤における密度、温度構造の時間進化を計算し、各年代での氷境界の位置を求めた。

円盤の進化は標準降着円盤モデルを用いて計算した。その際、粘性係数はモデルにより与え、音速、スケールハイトについては円盤の温度・密度構造より与えた。温度構造は、動径方向について光学的に厚い状況を考え、加熱源として中心星輻射と粘性加熱を考慮し、円盤中心面に垂直な方向に次元の輻射によるエネルギー輸送を計算することで求めた。その際、輻射の吸収体として $0.1 \mu\text{m}$ サイズのダスト粒子群を考え、ダスト粒子はガスに均一に混合されているとした。密度構造は中心面に垂直な方向に、中心星重力とガス圧による静水圧平衡が成り立っていると、温度構造と整合的になるように計算した。氷の凝縮の条件は、水の蒸気圧曲線により与えた。また、輻射輸送計算については、Dullemond et al. (2002) の輻射平衡計算法を採用し、平行平板の仮定の下、輻射強度を各振動数・各方向について解くという、詳細な計算を行っている。

計算の結果、円盤の進化にともなって、氷境界の位置は中心星から約10AUの位置から1AU付近まで移動することがわかった。これは、円盤の進化に伴って円盤温度が低下するからである。円盤面密度が減少すると、粘性散逸は弱まる。また、円盤面密度の減少は輻射冷却を促進する効果がある。これらが相まって、円盤の進化、すなわち、面密度の減少に伴い、円盤温度は低下する。同様の状況をDavis (2005) が粘性モデルを用いて計算しているが、本研究で開発した計算コードを用いて両者の結果を比較したところ、両者で定性的に似た結果が得られることが分かった。

本研究では、光学的に厚い降着円盤内の氷境界に着目している。しかし、微惑星の組成や最終的な惑星コアの組成・形成を考える場合には、光学的に薄い原始惑星系円盤までの進化を考慮する必要がある。それについては、今後の課題としたい。