

# 微惑星衝撃波による氷微惑星の蒸発

## Evaporation of Icy Planetesimals due to Planetesimal Bow Shocks

田中今日子<sup>1</sup>、山本哲生<sup>1</sup>、三浦均<sup>2</sup>、長沢真樹子<sup>3</sup>、中本泰史<sup>3</sup>、田中秀和<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>北海道大学低温科学研究所、<sup>2</sup>東北大学、<sup>3</sup>東京工業大学

### 1. 背景と研究目的： 原始惑星系円盤内に発生する微惑星衝撃波

惑星形成の標準的なシナリオによると、中心星をとりまく原始惑星系円盤からダスト微粒子が集まり km サイズ以上の微惑星が形成される。この微惑星はさらに衝突合体を繰り返し、1000km サイズの原始惑星へと成長する。このような惑星成長過程は円盤ガスの中で起こる。円盤ガス中において微惑星同士の重力相互作用により、微惑星の離心率が大きくなると、円盤ガスと微惑星との間に相対速度が生じる。この相対速度が音速を越えると、微惑星の進行方向前面の円盤ガス中に衝撃波（微惑星衝撃波）が発生する。この微惑星衝撃波は惑星成長期において原始惑星系円盤が散逸するまで頻繁に発生すると考えられる。

微惑星衝撃波に関する従来の研究では、主に隕石の始原粒子の起源に関連し、衝撃波面に突入するダスト微粒子の熱進化に着目してきた<sup>1</sup>。一方、衝撃波後面で加熱されたガスが微惑星を吹きつけることにより、微惑星本体が加熱し蒸発が起きる可能性がある。もし蒸発が効率的に起きれば、惑星成長が阻害されるため従来の惑星形成シナリオに影響を与えるだろう。また微惑星蒸発により大量のダストが放出されれば、新しいダスト発生機構となり観測にも影響を与える可能性がある。本研究では原始惑星系円盤中における微惑星衝撃波による微惑星の加熱と蒸発を記述するモデル化を行い、衝撃波の強さと微惑星の蒸発率との関係等について調べた。

### 2. 結果： 氷微惑星の蒸発

円盤モデルとして最小質量モデル<sup>2</sup>を用いた場合、snow line の外側となる軌道長半径 3-4AU 付近において、衝撃波速度が数 km/s 以上になると、氷微惑星の表面温度は 200K 程度まで上昇し、100km サイズの氷微惑星は数百万年以下で蒸発する。惑星形成の標準理論によると、微惑星の形成後、微惑星の一部が暴走成長し原始惑星を形成する<sup>3</sup>。原始惑星が形成されると、周りの微惑星は重力散乱によりはね上げられ離心率が上昇する<sup>4</sup>。この原始惑星暴走成長期にモデルを適用すると、原始惑星の周りの氷微惑星の蒸発が効率的に起きることが分かった。大きな微惑星はガス抵抗があまり効かないために離心率が高くなる。その結果、数地球質量以上の原始惑星の周りでは 100km サイズ以上の微惑星の蒸発が効率的に起きる。Fig.1 は 10 地球質量の原始惑星の周りに存在する半径

100km サイズの微惑星の蒸発時間と軌道長半径  $a$  との関係を表す。

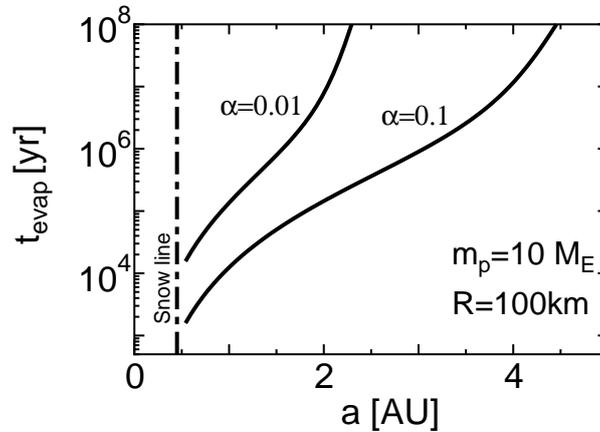


Fig. 1.— 半径 100km サイズの微惑星の蒸発時間と軌道長半径  $a$  との関係を表す。原始惑星質量は 10 地球質量とした。 $\alpha$  はガスから微惑星表面への熱伝導効率を表す無次元量 ( Stanton 数) を表す。円盤モデルは太陽光を通さない冷たい円盤モデル ( $T_0 = 120a^{-3/7}\text{K}$ ,  $\rho_0 = 2 \times 10^{-39/14}\text{gcm}^{-3}$ ) を想定している。

暴走成長により原始惑星が形成され始めると、周りの氷微惑星の蒸発が普遍的に起きる。本研究の結果は、周りの微惑星が蒸発するため原始惑星がガス惑星を作る臨界コアまで成長できず、円盤内側において木星型惑星の形成が困難になることを示唆する。また微惑星蒸発が効く領域は小惑星帯付近と一致するため、snow line より外側にある岩石質の小惑星の存在や多様な酸化還元状態を説明するかもしれない。また本結果は原始惑星が形成されるようなステージにおいても、円盤ガス中にダストがまき散らされることを示唆しており、 $10^7$  年の長い円盤年齢に渡って観測される赤外放射スペクトルの超過の原因となるダストの存在<sup>5</sup> を説明するかもしれない。以上、さまざまな波及効果が考えられるため今後さらに追求していきたい。微惑星の蒸発は熱伝導効率  $\alpha$  に大きく依存しており、加熱率の詳しい検討も必要である。

References: [1] Miura, H. et al. ApJ, 719, 642-654 (2010), [2] Hayashi, C. Progr. Theor. Phys. 70 (Suppl.), 35-53 (1981), [3] Kokubo, E., and Ida, S. Icarus 143, 15-27 (2000), [4] Tanaka, H., and Ida, S. Icarus 139, 350-366 (1999), [5] Birnstiel, T. et al. A&A, 503, L5-L8 (2009)