

# 氷微惑星の合体条件

柴田 雄

小久保 英一郎

(東京大学 / 国立天文台)

細野 七月

(海洋研究開発機構 / 理化学研究所)

原始惑星系円盤の雪線外側領域における氷微惑星の集積過程の研究は、現実的な氷惑星の形成過程および物理的特徴の起源を明らかにする上で必要不可欠である。一方で、氷微惑星衝突時の合体条件はあまり調べられておらず、特に微惑星集積過程の研究に用いられる  $N$  体計算に応用できる形式では得られていない。

このため、多くの微惑星集積過程の研究においては、触れ合った微惑星はすべて合体するという完全合体が仮定されており、微惑星の集積時間が過小評価されている可能性が高い。

また、微惑星の集積により生じる原始惑星は巨大衝突を経て惑星へ進化するが、原始惑星の自転は巨大衝突時の合体条件に強く影響を及ぼすと考えられている。しかし、原始惑星の自転を研究する際に微惑星の完全合体を仮定すると、原始惑星の自転角速度が過大評価される可能性がある。

このため、正確な微惑星集積過程を明らかにするため、微惑星の現実的な合体条件は必要不可欠である。

過去に原始惑星（コアマントル分化後の鉄—岩石天体）の合体条件は調べられてきており、近年の氷微惑星集積過程の研究においては、暫定的にこの合体条件を用いて研究が行われている。

実際、Asphaug (2010)によれば、衝突する天体の総質量（密度および半径）は合体条件に影響しないとされてきた。このため、物質強度が無視できる大きいサイズ(半径 100m 以上)の微惑星の場合は、組成に依らず同一の合体条件が適用できるように思える。

しかし、同論文中においては、衝突微惑星の密度は等しく、理想的な球形であることが仮定されていた。

斜め衝突の際にはターゲットのマントルとインパクターのコアが衝突して等しい密度の天体衝突であるという仮定が崩れる上に、氷のように密度が小さい微惑星であれば、潮汐による変形で理想的な球とみなすこともできない。

よって、未分化の氷微惑星を考える場合は岩石原始惑星とは異なる物理を考慮する必要があり、原始惑星の合体条件を用いて過去に行われた氷微惑星の集積計算は必ずしも現実的とはいえない。

本研究では、Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) を用いて未分化氷微惑星の合体条件を調べた。微惑星内部の圧力計算には Tillotson Equation of State を用いる。

微惑星の総質量、質量比、衝突角度、衝突速度を変化させて複数回計算し、合体と非合体を分ける衝突速度（臨界衝突速度）を求めた。

微惑星のモデルとしては 100–1000km サイズを考える。コアなしの場合において総質量を変えた計算の結果を比較するため、全計算を通してコアの存在を想定しない。また、本研究における最小微惑星は 100km サイズとなるため、氷の物質強度は無視し、流体的に振る舞う。

計算の結果、Genda et al. (2012)同様に微惑星の合体条件は総質量に依らなかった。

一方で、臨界衝突速度の、微惑星質量比および衝突角度に対する依存性は同論文とは異なる結果となった。特に質量比に対する依存性では、質量比が大きくなるに従って臨界衝突速度は小さくなり、Genda et al. (2012)とは逆の傾向が見られた。

質量比が大きい場合において、インパクター微惑星の一部がターゲット微惑星から受ける潮汐力により変形し、衝突時にインパクターが質量を失いやすくなる。質量を失ったインパクターをターゲットに完全に合体させるためには、より小さな衝突速度が必要になる。よって、臨界衝突速度が小さくなる傾向となった。

本研究では、これらの結果をもとに、氷微惑星の合体条件を定式化した。