



国立大学法人
総合研究大学院大学
The Graduate University for Advanced Studies



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY

2013年10月4日(金)

惑星の種はすき間だらけ ～「ダストから微惑星への成長の謎」を解明～

研究成果のポイント

- ・ミクロンサイズからキロメートルにまで合体成長する際における小天体の内部構造進化モデルを構築し、超低密度な構造を経由することを提唱。
- ・多くの謎を含んでいたキロメートルサイズの微惑星という天体の起源を、超低密度小天体を経由する成長を考えることにより、矛盾なく説明することに成功。

研究成果の概要

国立天文台/総合研究大学院大学、北海道大学を中心とする研究グループは、ミクロンサイズのダストから、キロメートル程度の大きさの小天体である微惑星に至るまでの一連の進化理論を提唱しました。惑星は、はじめミクロン以下であった固体粒子(ダスト)が互いに衝突・付着を繰り返し徐々に大きくなることで形成されたと考えられています。しかし、微惑星と呼ばれるキロメートル程度の小天体よりも小さいサイズでは、自己重力が非常に弱くそれらの付着成長は困難だと考えられていました。本研究グループは、従来考慮されていなかった小天体の内部構造進化を正確に追うことで、この「ダストから微惑星への成長の謎」の解明を試みました。その結果、小天体は一旦すき間だらけの超低密度構造になった後にガスの動圧や自身の重力により圧縮されることで、微惑星に至るまでの付着成長が可能になることを明らかにしました。

論文発表の概要

研究論文名: "Static compression of porous dust aggregates"

"Fluffy dust forms icy planetesimals by static compression"

和訳名: 「多孔ダスト凝集体の静的圧縮」「低密度小天体の圧縮と氷微惑星の形成」

公表雑誌: アストロノミー・アンド・アストロフィジックス

公表日: 現地時間 2013年5月28日(火)

現地時間 2013年8月14日(水)

詳細研究内容

(背景)

惑星形成の標準理論では、若い恒星の周りの円盤状の星雲内で岩石や氷でできた固体微粒子が互いに付着することで大きくなり、最終的に惑星にまで成長すると考えられています。しかし、この理論には次の問題点がありました。まずは、成長途中のメートルサイズの段階でこの小天体が恒星に落ちてしまうという「落下問題」、次に、小天体同士が高速衝突した際に破壊してしまう「破壊問題」、三番目は小天体が衝突しても付着しない「跳ね返り問題」です。これらの問題の解決が惑星形成理論における最重要課題となっていました。

一方、自己重力の弱い小天体は、その成長過程においてすき間の多い構造をつくることが分かっていました。このすき間だらけ構造体はアグリゲイトと呼ばれます。ミクロンサイズの粒子からなるアグリゲイトは、非常に付着しやすいことが室内実験などにより示されており、合体成長には非常に適した構造です。すき間の多い構造は、アグリゲイト同士の高速衝突によって容易につぶれると予想されていましたが、最近の研究で、衝突してもすき間はつぶれず密な天体である微惑星を形成することは簡単ではないことが示されました。すなわち、惑星や小惑星のような密な天体になるためには、衝突以外の圧縮過程が必要であることがわかってきました。

(研究手法)

本研究では、ミクロンサイズの粒子から微惑星までの小天体の成長過程において、ガスから受ける動圧と自己重力によって圧縮される効果を取り入れ、小天体の内部密度進化を調べました。アグリゲイト構造をもつ小天体の圧縮強度を調べる数値計算では、アグリゲイトを構成する各粒子の運動を追うことが必要ですが、微惑星のような巨大なアグリゲイト全体の数値計算は非常に困難でした。本研究では、巨大アグリゲイトの一部を取り出し、それを周期的に並べることによって全体の圧縮を再現するという手法を用いることで、この困難を克服しました(図1、動画)。数値計算で得られた圧縮強度を用いガスから受ける動圧と自己重力による小天体の内部密度進化を解明し、それにより謎の多かった微惑星の起源を正確に説明することに成功しました。

(研究成果)

本研究が明らかにした小天体内部密度進化によると、小天体の内部密度は、センチメートルサイズで 10^{-5}g/cm^3 というに極めて低い値にまで低下した後に、ガスからの動圧によって 10^{-3}g/cm^3 程度に圧縮され、百メートル以上では自己重力により一気に圧縮されるという進化を経験します(図2)。この結果は、惑星形成の現場においては超低密度構造をもつ小天体が多く存在していることを示唆しています。このように超低密度小天体を經由するという本研究の微惑星形成モデルは、小天体が主に氷でつくられている場合、従来指摘されていた微惑星形成における3つの問題を全てを克服できることも明らかにしました。氷粒子

でできたアグリゲイト構造をもつ小天体は、付着しやすく成長も早いため、落下、破壊、跳ね返りなどの問題が解決されるのです。一方、地球などの材料となる岩石でできた微惑星の場合には、付着力が十分でないためその形成には依然問題があり今後の課題となっています。

(今後への期待)

今回の微惑星形成モデルの観測的な実証が次の課題です。成長途中の低密度粒子は、惑星形成の現場を電波望遠鏡で観測することで見ることができます。従来、このような観測で見える粒子は全て中身の詰まった粒子だと考えて観測を解釈してきました。ところが、今回の理論は、今まで見えていた電波望遠鏡の信号は、中身の詰まった粒子ではなく、すき間だらけのアグリゲイトだったことを示唆しています。我々の研究グループは、今後はアグリゲイト粒子の光学的性質を明らかにすることにより、円盤中のすき間だらけのアグリゲイトの実証を目指したいと考えています。

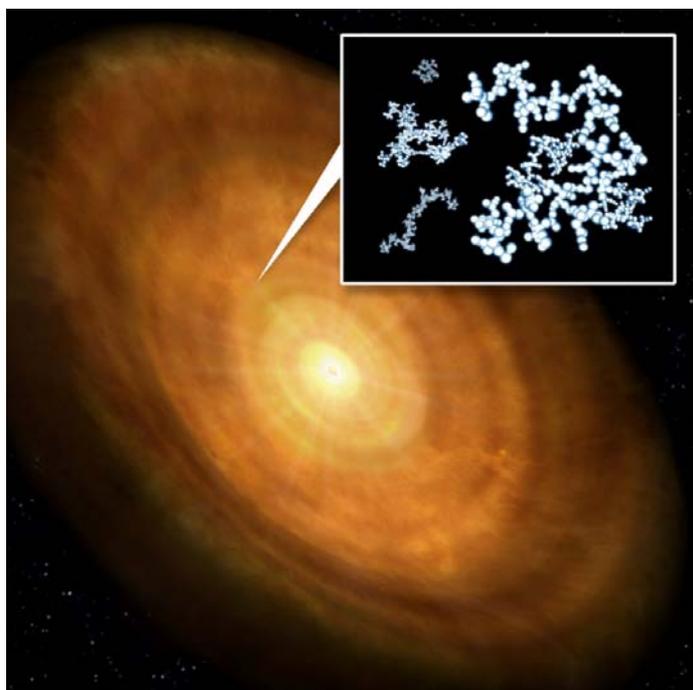


図1) 原始惑星系円盤における「惑星の種」の想像図。

5天文単位でのアグリゲイトの密度進化

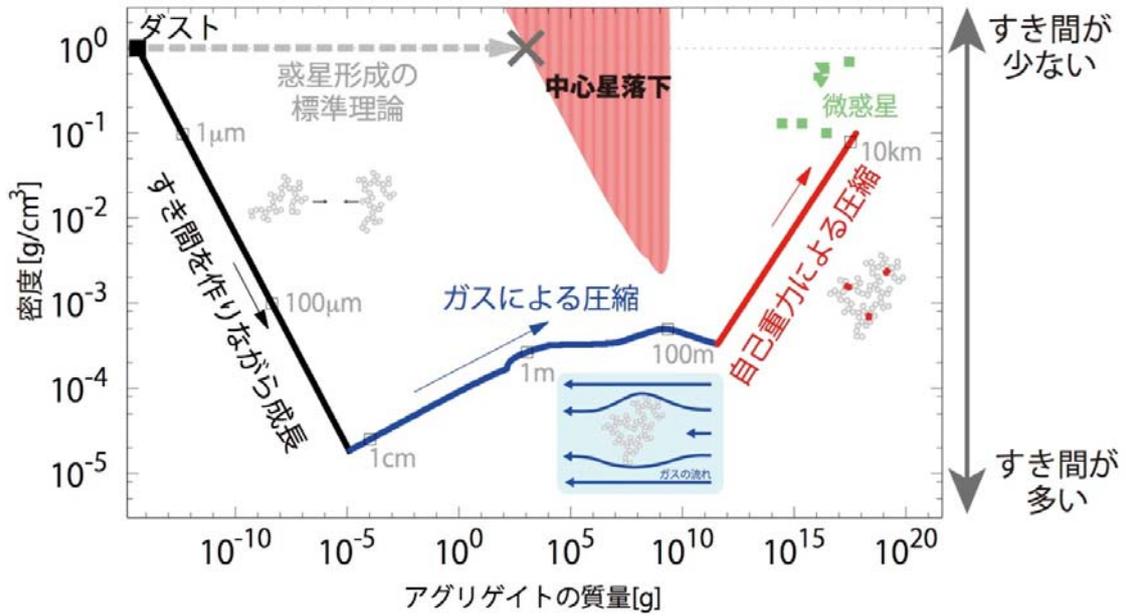
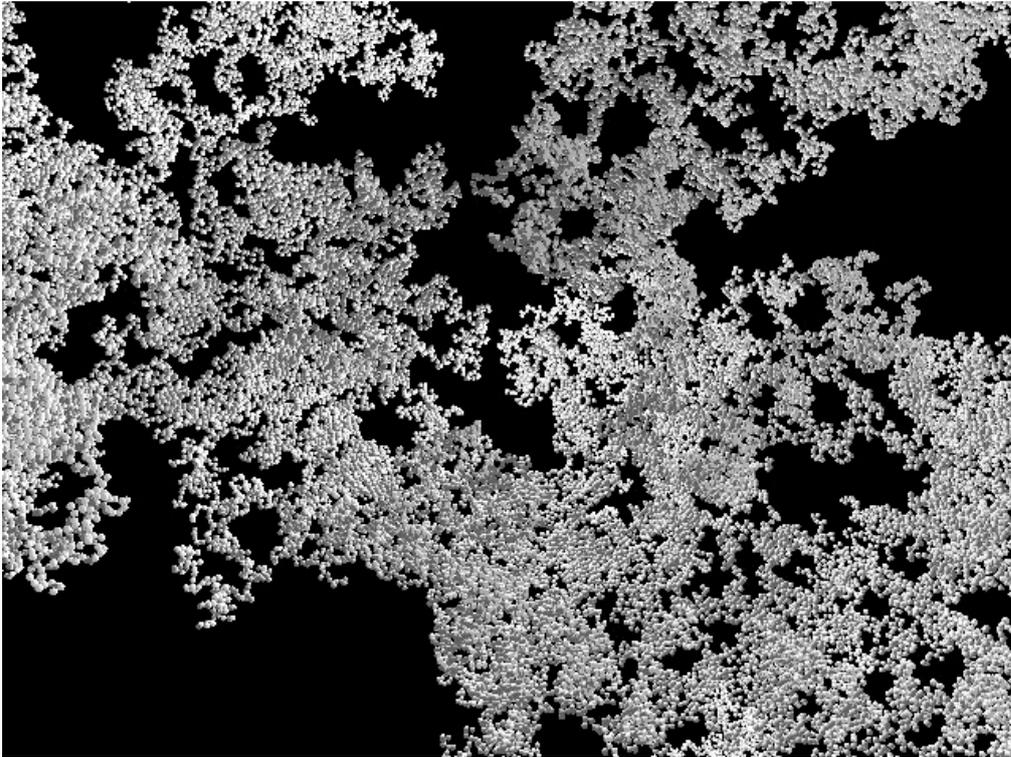


図2) 合体成長する低密度小天体（アグリゲイト）の密度進化。小天体内部密度は、センチメートルサイズで 10^{-5}g/cm^3 という値にまで低下した後、ガスからの動圧や自己重力により圧縮される。この超低密度を経由するという進化により微惑星形成の謎が解決された。



動画 アグリゲイト構造をもつ小天体の圧縮の数値計算のスナップショット。低密度天体の構造や強度の進化を明らかにした。動画は以下のサイトで見ることができます。

http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=AY6eq_S6uKE

お問い合わせ先

所属・職・氏名：北海道大学低温科学研究所・准教授 田中 秀和（たなか ひでかず）

TEL：011-706-5472 FAX：011-706-7142 E-mail：hide@lowtem.hokudai.ac.jp

ホームページ：http://risu.lowtem.hokudai.ac.jp/