

Dust Dynamics and Growth from Prestellar Collapse to Protostellar Accretion Phase Using Non-ideal Magnetohydrodynamics Simulation with Lagrangian Particles

原田, 直人

<https://hdl.handle.net/2324/7182305>

出版情報 : Kyushu University, 2023, 博士 (理学) , 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名	原田 直人		
論 文 名	Dust Dynamics and Growth from Prestellar Collapse to Protostellar Accretion Phase Using Non-ideal Magnetohydrodynamics Simulation with Lagrangian Particles (ラグランジュ粒子を取り入れた非理想磁気流体シミュレーションで探る星・円盤形成過程におけるダストのダイナミクスとサイズ進化)		
論文調査委員	主査 九州大学	職名 教授	町田 正博
	副査 九州大学	職名 准教授	中島 健介
	副査 鹿児島大学	職名 准教授	塚本 裕介

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

惑星は、星形成過程で形成する円盤の中で誕生する。星は、誕生の母体である分子雲コアが重力収縮することによって形成する。星誕生の過程で、生まれたばかりの原始星の周囲には星周円盤が形成する。星周円盤からはアウトフローというガスの噴出現象が起こる。アウトフローは円盤の角運動量を星間空間に輸送する。また、磁気制動と呼ばれる現象によっても星周円盤の角運動量は円盤外部領域(エンベロープ)に輸送される。そのため、惑星形成の母体である星周円盤(原始惑星系円盤)の形成と進化は単純ではない。また、従来、惑星形成は、中心星が十分に成長しエンベロープから円盤へのガスの降着が終わった段階である孤立した円盤を仮定して調べられていた。しかし、近年の大型望遠鏡による高空間分解能・高感度の観測は星形成の初期段階から惑星形成が始まっている兆候を捉えている。そのため、惑星形成過程を解明するためには星形成過程を考慮した非線形シミュレーションが必要となる。しかし、3次元計算では高い計算コストにより惑星形成まで追跡するような長時間のシミュレーションを行うことは非常に困難である。

星や円盤の成長過程は、特別な場合を除きほぼ(回転)軸対称で近似することが出来る。原田 直人氏は二次元軸対称コードを作成して星と惑星の形成過程を調べた。原始星と星の母体となる分子雲コアは空間スケールで7桁程度異なる。そのため、多層格子法、シンク法という数値計算手法を取り入れ、大きく異なる空間スケールをカバーした。ガスの計算にはオイラー法を用いたが、惑星の素である固体微粒子(ダスト)の計算にはラグランジュ法を採用した。また、自己重力ソルバー、磁場散逸、ダストの成長なども取り入れ、独自に数値計算コードを完成させた。このコードを用いて、星形成過程におけるダストの軌道進化、成長、惑星の誕生などを調べた。

計算したコードを用いて、先行研究で示されている、分子雲コアの重力収縮の過程、原始星アウトフローの駆動、円盤の形成を確認した。その後、同数値計算コードを用いて、原始星形成後約 1 万年間の進化を計算した。

原始星誕生後徐々にガス円盤は成長した。ダストは円盤に到達するまでのエンベロープ中では、ほとんど成長することはなかった。しかし、ダストが円盤に落下後、円盤内では効率的に合体し、センチメートルサイズまで成長することを確認した。円盤に落下した各々のダスト粒子の進化を調べたところ、その進化に大きな差は無いことが分かった。また、円盤内では、円盤落下後に円盤内で急速に成長した大きなサイズを持つダストと落下直後のマイクロメートルサイズのダストが混在

していることが分かった。

以上の結果、星形成の若い段階でダストの成長が起こっていることを示すことが出来た。シミュレーション結果は、近年の観測と整合的である。この研究では、適切な物理過程を考慮し新たに数値計算コードを独自開発し円盤の形成と進化の中でダストが成長し惑星が誕生する可能性を示すことが出来た。これらは、星や惑星の形成プロセスの理解に大きな貢献をもたらす成果である。

よって、本研究者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。