

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2006～2009

課題番号：18540238

研究課題名（和文）

原始惑星系円盤における弱電離プラズマ素過程と惑星形成過程の理論的研究

研究課題名（英文）

“Physical Processes of Weakly Ionized Plasma in Protoplanetary Disks and Planet Formation”

研究代表者

犬塚修一郎 (Inutsuka Shu-ichiro)

京都大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：80270453

研究分野：宇宙物理学・天文学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：惑星形成・系外惑星・磁気流体力学・弱電離プラズマ・微惑星

### 1. 研究計画の概要

本研究の目的は、従来の惑星形成論に束縛されずに、必要な物理素過程を積み上げて、もう一度惑星形成シナリオを考え直すことである。古典的な惑星形成モデルが考案された段階に比べて大きく発展した原始惑星系円盤の天文学的研究は、円盤の物理的・化学的特長の観測と、その内部での角運動量輸送と質量降着に関する理論である。実際、角運動量輸送を引き起こす現象論的乱流粘性の起源としては磁気回転不安定性による磁気乱流であることが有力となり、その研究は非常に進歩した。この磁気流体力学的現象は原始惑星系円盤において重要であるにもかかわらず、従来の惑星形成シナリオでは無視されている。したがって、この電磁場の効果を考慮した現代的な惑星形成理論を再解析することが本研究の目的である。具体的には(1) 原始惑星系円盤の電離度分布と磁気乱流の解析、(2) 塵粒子の合体・成長過程における電磁氣的相互作用の効果の研究、(3) 原始惑星系円盤のガス成分の散逸過程の研究、の3つの側面について研究を進める予定である。このようにして、これまでのシナリオとは非常に異なる惑星形成理論を展開することで、独創的な研究を展開することをめざす。

### 2. 研究の進捗状況

原始惑星系円盤内での磁気乱流の発達の程度を決める最も重要な要素はガスの電離度であるが、塵粒子の(接触)摩擦電離がこの電離度を左右する重要なメカニズムとなる可能性があることがわかってきたため、その取り扱いについて調査を行った。しかしながら、

この摩擦電離という現象はミクロの視点では物理的な理解がまだ得られておらず、部分的な実験データのみが学術雑誌に報告されている。20年度はその結果を集め、原始惑星系円盤について応用する準備ができた。次年度には論文化する予定である。また、磁気乱流状態の円盤内で複雑な乱流運動を行う塵粒子の合体・成長・沈殿過程を解析することの重要性は多くの研究者が認識しており、本研究課題の一部であるため、主に数値シミュレーションの技法でこれに取り組むため、多数の粒子を扱う高速の計算機を購入した。当初は専用計算機ボードである GRAPE6 ボードの発展版である GRAPE/DR ボードを導入することを計画していたが、最新の計算機資源として、学術的な高速計算を可能とする画像処理ボード(GP-GPU)を購入して、専用計算機を組み立てた。今後は、これを用いて、電荷を帯びた塵粒子集団の物理素過程の研究をさらに進める。一方、20年度は本研究課題の当初の目的の一つであった原始惑星系円盤の散逸現象についても研究が進み、磁気回転不安定性による乱流の結果として円盤上層部からは激しい磁気流体力学的円盤風が流れ出し、極めて効果的な円盤ガスの散逸メカニズムとなることがわかった。この結果は *Astrophysical Journal Letters* 誌に発表された。その他、木星型巨大ガス惑星の形成過程の3次元流体力学的進化計算に関する研究など計13本の論文を査読付欧文雑誌に発表した。

### 3. 現在までの達成度

おおむね順調に進展している

研究計画の概要で記した本研究の目的は以下の3つに分けられる。

(1) 原始惑星系円盤の電離度分布と磁気乱流の解析、

(2) 塵粒子の合体・成長過程における電磁氣的相互作用の効果の研究、

(3) 原始惑星系円盤のガス成分の散逸過程の研究

これらのうち、(3)に関しては、2009年1月に *Astrophysical Journal Letters* 誌に発表された論文において示したように、ほぼ解決の目途が立ったと考えている。(1)と(2)は密接にリンクしており、論文としてまとめるための準備がかなり進んでいるが、研究課題が始まった当初に比べて、詳細な理解が飛躍的に進んだため、大きく軌道変更をした研究も行った。それらの結果の大部分は、これまでに *Astrophysical Journal Letters* 誌に発表されている(以下の「5. 代表的な研究成果」参照)。

#### 4. 今後の研究の推進方策

塵粒子の詳細な電離過程を含む原始惑星系円盤の電離度分布に関する論文を仕上げれば、当初計画した研究はほぼ完成することになる。さらに、それらの成果を総合して、新しい惑星形成理論を再構築することが最終目的である。これに関しても、2009年3月に米国で開催された国際会議にて、「惑星形成のハイブリッド・モデル」という題目で講演を行い、諸外国の研究者と議論をした。この内容についていち早くまとめ、査読付論文雑誌に投稿することが急務だと考えている。

#### 5. 代表的な研究成果

[雑誌論文](計30件)

Takayuki Muto & Shu-ichiro Inutsuka, "Orbital Evolution of a Particle Interacting with a Single Planet in a Protoplanetary Disk", *The Astrophysical Journal*, Vol. 695, 1132 (2009) 査読有

Takeru K. Suzuki & Shu-ichiro Inutsuka, "Disk Winds Driven by Magnetorotational Instability and Dispersal of Proto-planetary Disks", *The Astrophysical Journal*, Vol. 691, L49 (2008) 査読有

Masahiro, N. Machida, Shu-ichiro Inutsuka, & Tomoaki Matsumoto "Outflows driven by Giant Protoplanets " *The Astrophysical Journal*, Vol. 649, L129 (2006) 査読有

[学会発表](計20件)

Shu-ichiro Inutsuka,

"A Hybrid Scenario for Planet Formation", Talk given at "Exo-Planets & Disks: Their Formation & Diversity"

held in Kona, Hawaii, March 9 2009

Shu-ichiro Inutsuka,

"Magnetohydrodynamics & thermodynamics of protostellar collapse", Invited Talk given at Chamonix 2007 conference: "Structure formation in the Universe", held in Chamonix, France (May 27 - June 1, 2007)

[図書](計4件)

星間物質と星形成

(シリーズ現代の天文学)

福井, 大西, 中井, 犬塚, 水野, 舞原(編集) 325 ページ 出版社: 日本評論社 (2008/09)

シミュレーション天文学

(シリーズ現代の天文学)

富阪, 花輪, 牧野(編集) 共著

324 ページ 出版社: 日本評論社 (2007/08)

[その他]

ホームページ

<http://www-tap.scphys.kyoto-u.ac.jp/inutsuka/>