

# 論文審査の結果の要旨

氏名 今枝 佑輔

本論文は7章からなりその構成は以下の通りである。第1章は本論文の持つ天文学的背景及びその意義、第2章は考慮される物理方程式系、第3章は従来の計算法についてのレビュー、第4章は従来の計算法がシアー流の計算において本質的に持っている問題点、第5章はその問題解決の為の方策と新しい流体計算法の構築、第6章は新計算法の天体物理学への応用計算、第7章は論文全体のまとめとなっている。

惑星系や連星系といった天体の形成に関しては、原始惑星系円盤と呼ばれるガス円盤の中で形成が進行するというシナリオが、観測的にも理論的にも受け入れられている。しかしその詳細は未だ不明である。特に、最近の太陽系外の惑星系や、若い連星系を取り囲む円盤の形状などの観測によって、円盤と連星系の相互作用や、円盤内での巨大惑星へのガスの流入問題など、理論的に解明すべき問題が明らかとなってきた。それらの過程を定量的に詳しく解明するためには、特にガス円盤が何回転もするような長時間にわたって原始惑星系円盤の力学進化を調べる必要がある。この力学進化は非線形過程であるので、数値的に計算する必要がある。ところが、既存の数値計算法は、これらの問題を解く上で様々な問題点を抱えていた。従って、原始惑星系円盤の長時間力学進化を正しく計算できる新しい数値計算法の開発が必要とされていた。

本論文で論文提出者は、数値計算法として、Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法と呼ばれる数値計算法を採用した。SPH法はラグランジュ的計算法に分類される計算法で、流体をN個の粒子で代表させて時間進化を考える。SPH法は天体物理学の様々な分野において流体運動の時間進化を計算する方法として広く使われている計算法のひとつである。しかし従来のSPH法は音速が小さい場合のシアー流を含む問題において、長時間計算すると密度進化を正しく追うことができないという問題を含んでいることを、論文提出者は明確に示した。そして、この問題点がSPH法という数値計算法自体に含まれる根本的な問題であることを明らかにした。

この問題を解決するために、論文提出者は、SPH法の定式化を詳細に再解析して、従来のSPH法では粒子の時間発展そのものを流体の運動方程式に従って与えていたのに対し、流体の運動方程式が満たされるためには各粒子の時間発展は流体の運動方程式とは違う時間発展方程式によって定められるべきであることを示した。そして、流体の運動に無矛盾な形で粒子の運動を決定する時間発展方程式を初めて導出した。さらに、この粒子の時間発展方

程式を使う新たな SPH 法は、シアー流の長時間計算においても密度進化を安定かつ高精度に計算することを実証した。

論文提出者は、新しく構築した計算法によって、連星系とそれを円環状にとりまく原始惑星系円盤との潮汐相互作用を解析した。ここで考慮されたのは、連星系の軌道離心率の違いである。その結果、軌道離心率が十分大きな場合には (軌道離心率が 0.5 以上)、原始惑星系円盤内に  $m = 1$  の定常的な密度構造が形成されることを明らかにした。この結果は、新たな計算法の開発により、長時間の数値計算が可能となることで初めて得られた結果であり、同時に、天文学的にも興味深い現象の発見である。最近の観測によれば、生まれて間もない連星系を取り巻く円盤において、円盤からの輻射に  $m = 1$  のモードと解釈できる非一様性が存在することが報告されている。今後の詳細な観測を待つ必要があるが、本論文の結果が、これらの観測的結果に理論的解釈をつける可能性がある点で、観測的観点からも重要な研究である。

以上、論文提出者は、1) 従来の数値計算法の問題点を根本的に解決する新たな SPH 法を開発して、シアー流を含むような円盤系の長時間の力学進化の計算に初めて成功し、2) その方法を用いて、原始惑星系円盤と連星系との相互作用の結果生じる新たな現象を発見した。本論文によって示されたこれらの成果は、惑星系や連星系の形成過程の解明を大きく前進させるものとして高く評価できる。

なお、本論文第 5 章は犬塚 修一郎氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士 (理学) の学位を授与できると認める。