

## 審査の結果の要旨

氏名 藤井 通子

近年、銀河系の中心部 1 pc 以内の非常に狭い領域に、非常に若く重い星が 100 個以上も見つかっている。これらの星がどのようにしてできたかが大きな問題になっており、現在、その起源を説明する仮説が二つ提案されている。ひとつは、銀河中心にある巨大ブラックホールの周りの降着円盤において星ができたとするものであり、ふたつめは、銀河中心から 10 pc から数 10 pc 離れた場所でできた星団が、銀河系の星からの力学的摩擦をうけて、銀河中心に沈み、巨大ブラックホールの潮汐力により破壊されたものを見ているという説である。論文提出者は、高密度恒星系の数値シミュレーションを大幅に加速する、新しい手法の計算コードを開発し、実際に後者の説に基づいて観測結果を説明することに成功した。

本論文は 6 章からなる。第 1 章は序論であり、研究の背景や従来の研究の問題点をまとめ、本研究の目的と意義、およびその概観を述べている。

第 2 章では、恒星どうしの 2 体衝突の緩和時間が非常に長い無衝突系と考えられる銀河系中心領域の星の運動と、緩和時間が短い衝突系である高密度な星団に属する星の運動の両方を同時に効率良く扱うための新しい計算手法 (Bridge 法と命名) について述べられている。この計算法の特徴は、星団を構成する星どうしの重力を直接計算し、時間積分はエルミート法で計算する。その他の相互作用 (銀河の星どうし、銀河の星と星団内の星の相互作用) については、重力はツリー法で近似的に計算し、時間積分はリープフロッグ法を用いて計算するものである。混合変数シンプレクテック法を応用して、この 2 つの時間積分を融合している。論文提出者が開発したこの新しい方法により、世界ではじめて、星団と銀河の星の相互作用を実用的な時間内に計算できるようになった。この手法は衝突系と無衝突系を含んだ系の進化計算を可能にしたという点で、その成果は高く評価される。

第 3 章では、星団を衝突系、銀河を無衝突系として、Bridge 法を用いて  $N$  体計算を行い、星団はこれまでの簡便な見積りより速く銀河中心に沈み込むことを示した。また、簡便な方法による、銀河の星の力学的摩擦の見積りが、なぜ誤った時間スケールを出したのかの、物理的な理由を明らかにした。

第 4 章では、星団内部の進化をより詳しく計算した。その結果、星団中心部では、コアの重力熱力学的崩壊が起こり、恒星の数密度が上がり、恒星どうしの暴走的合体によって、中間質量ブラックホールが形成された。その重力のため、星団の中心部は以前の計算結果より銀河中心に近いところでそこにある巨大ブラックホールの潮汐破壊を受けるようになった。その後でも、中間質量ブラックホールは力学的摩擦を受けて、銀河中心に向けて沈み込む。このとき、束縛されなくなった若い星の一部は、中間質量ブラックホールと巨大ブラックホールの 1 : 1 平均運動共鳴に入り、中間質量ブラックホールとともに銀河中心にさらに沈み込む。これは、今まで気づかれていなかった新しいメカニズムであり、その発見は高く評価できる。

第 5 章では、銀河中心部の計算の精度を上げて、長時間のシミュレーションを行い、銀河中心ブラックホール近傍 0.1–1 pc の若い星の統計的な分布を詳しく調

べ、観測との比較を行っている。星団の内部では重い星が選択的に沈むため、銀河中心ブラックホールの潮汐力によって星団が壊される時も、重い星がより銀河中心近くまで運ばれる。このため、最終的に星団が潮汐破壊を受け、銀河中心ブラックホールの周りに円盤状の構造をつくるが、より内側に重い星が存在する。これから、さらに中間質量ブラックホールとの1:1共鳴により、さらに中心へと重い星が運ばれていく。その結果、運ばれた重い星の面密度分布の傾きは、観測されているものと一致することがわかった。

最後の章は、論文全体のまとめと、新しく開発した計算手法 (Bridge 法) の他の分野への応用可能性を述べたものである。

論文提出者は銀河および星団などの高密度恒星系の進化を同時に解くための計算手法を新しく開発し、銀河中心ブラックホールのごく近傍に存在する若い星々の起源を説明するためのシミュレーションを行い、その仮説を実証した。また、新しく開発した計算手法はすでに他の分野でも使われ、その分野の発展に貢献している。これらの結果は高密度恒星系を含む系の進化シミュレーションを大きく進展させる画期的なものである。

本論文は高密度恒星系天文学の分野において、新しい知見をもたらすとともに、新しい発展の可能性を開くものである。本論文は共著者との連名ですでに出版あるいは出版予定であるが、そのすべてが、論文提出者が筆頭著者であるだけでなく、論文提出者の主導で研究が進められたものである。よって本論文は博士(理学)の学位論文としてふさわしいものであると、審査委員会は認める。