

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 岩澤 全規

多くの銀河、特に巨大楕円銀河はその中心に巨大ブラックホールを持つと考えられており、またそのブラックホールの質量と楕円銀河本体の質量、あるいは恒星の速度分散といった、銀河全体の構造パラメータの間に良い相関があることが知られている。これらの相関は、楕円銀河がより小さな銀河同士の合体によって成長し、その時に中心にある巨大ブラックホール同士も合体した、と考えると自然に説明される。しかしながら、1980年代になされた理論的な予測では、楕円銀河同士の合体で形成されるブラックホール連星系の進化はゆっくりしたもので、宇宙年齢程度の中に合体することは困難とされていた。大規模シミュレーションでも理論予測を支持する結果が得られていた。これは、「Last parsec problem」と呼ばれ、巨大ブラックホール形成の理論の主要な困難の一つと考えられてきた。

論文提出者は、この連星ブラックホールの進化の問題について、従来の理論モデルやシミュレーションでは十分に考慮されていなかった効果を考えると合体のタイムスケールが大幅に短くなることを見だし、また、その短くなるメカニズムを解明した。審査委員会はこれらの点を高く評価した。

第1章は序論であり、以上のような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を述べている。

第2章では、3軸不等銀河におけるブラックホール連星の進化についての研究結果がまとめられている。従来は、単純化のため親銀河は球対称と仮定されていた。この場合には、巨大ブラックホール連星が近くの星を3体相互作用ではじき飛ばしてしまうと、新たな星がブラックホールに近づくには親銀河の2体緩和のタイムスケールが必要になる。しかし、巨大楕円銀河は通常3軸不等な楕円体で近似できる。この場合には軌道角運動量が保存しないため、星は2体緩和によらずにブラックホール連星に近づくことができる。一方、中心ブラックホールがあると3軸不等性は維持できず、急速に軸対称になる、という研究もあり、何が起るかは明らかでなかった。論文提出者は現実に近い構造をもった親銀河内でのブラックホール連星の進化の大規模シミュレーションを行ない、確かに親銀河が軸対称に近づくが、それでも連星の進化は十分に速くなることを見いだした。これは、軸対称になった後でも、非常に小さい角運動量を持つ星が多数を占めるためであるとわかった。この結果は新しくかつ重要なものであり、恒星の軌道の解析と分類により、進化が速まるメカニズムを明らかにしたことは高く評価できる。

第3章では、質量比が大きな連星ブラックホールの進化のメカニズムについてまとめられている。これについては、2007年に Matsubayashi et al. が、軌道長半径の進化は遅くなるが、離心率が急激に1に近づくために重力波による合体タイムスケールは短くなり、容易に合体できる、という結果を得ていたが、離心率が上がる、すなわち連星が角運動量を失うメカニズムは解明されていなかった。論文提出者は、連星が以下のプロセスで角運動量を失うことを見いだした。連星の軌道が完全な円軌道でなく、多少とも離心率があると、連星系が作るポテンシャルが軸対称でなく3軸不等になる。このため、連星の近くの星は角運動量が保存しなくなり、近点が連星に近付いて連星と相互作用する。相互作用の結果、系から脱出できる星がでてくるが、その散乱断面積は軌道角運動量が連星と同じ向きの場合が逆向きの場合より大きいので、平均すると脱出する

星は連星から角運動量を奪う。論文提出者は連星の進化と、その回りの星の軌道進化を詳細に調べることで、上のプロセスが起こっていることを確認した。この角運動量減少のメカニズムは新しく見いだされたもので、連星ブラックホール合体が現実になる可能性を高めるものとして極めて重要な貢献であると判断した。

以上を要するに、本論文は銀河中心における巨大ブラックホール連星の進化という重要な研究分野に対して、従来考慮されていなかった親銀河の3軸不等性や連星の質量比を考慮すると進化が速くなること、また連星の質量比がある場合については、連星自体が作るポテンシャルの非軸対称性が本質的な役割を果たすことを示すという大きな貢献をしたものである。また、これらの研究については論文提出者の主導のもと行われたことを確認した。従って、本審査委員会は博士(学術)の学位を授与するにふさわしいものと認定する。