

プロジェクト ID g03a06
課題タイトル 高密度恒星系の現実的なシミュレーション
研究代表者 牧野淳一郎, 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻
分担者 Simon Portegies Zwart, University of Amsterdam
 Holger Baumgardt, 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻

1 成果報告

本年度は、中心にブラックホールを持つ、あるいは持つと観測的に示唆されている球状星団や若い高密度星団について恒星進化や衝突・合体の効果を取り入れた詳細な進化的モデルを構築し、GRAPE-6 を使った N 体シミュレーションと観測を比較することでブラックホールの存在可能性、形成メカニズムを探る研究を行った。主な成果は以下の2つである

- 若い星団コアにおける中間質量ブラックホールの形成について
- 球状星団 G1 の力学構造について

以下、順に簡単に述べる。

1.1 若い星団コアにおける中間質量ブラックホールの形成について

アンドロメダにある球状星団 G1 はローカルグループ内で最大の球状星団であり、その起源を理解することはローカルグループ自体の起源を理解する上で極めて重要である。また、主に HST による測光及び分光観測から、いくつかの興味深い主張がなされてきた。その一つは、中心に2万太陽質量程度のブラックホールがあるというものである。もう一つは、G1 全体の輝度分布は強い速度分布の非等方性をもった多質量キングモデルで表現できるというものである。これまでの G1 の質量の推定値はこの多質量キングモデルに基づいており、その値は 1.5×10^7 太陽質量であった。

我々は、G1 は熱力学的な緩和時間が宇宙年齢の数倍あり、多質量キングモデルでのフィットには原理的な問題があることから、進化的なモデルで G1 の構造を再現することを考えた。G1 の輝度分布の大きな特徴は外側にほとんどべき乗的な大きなハローを持ち、明確な潮汐半径をもたないことであるので、そのようなハローができるメカニズムとして球状星団同士の合体を考えた。いくつかのシミュレーションの結果、輝度分布、速度分散の分布、偏平率の分布のどれも極めて良く再現するモデルを構成できた。このモデルは形成時から中心密度が低く、中間質量ブラックホールが形成されることはありそうにない。また、ブラックホールなしでも速度分散、輝度を同時にフィットできる。質量については、キングモデルと違い外側で mass segregation を起こしていないために、従来の見積りもののほぼ半分の 8×10^6 太陽質量となった。

1.2 球状星団 G1 の力学構造について

ASCA、Chandra による X 線観測で、スターバースト銀河 M82 の中心近くに非常に明るいポイントソースがあることがわかった。このソースはエディントン質量で 700 太陽質量となり、10 太陽質量前後の恒星質量ブラックホールとそれよりもはるかに大きな銀河中心にある巨大ブラックホールの間にある中間質量ブラックホールが初めて発見されたと考えられる。すばる、HST による

赤外でのイメージング観測で、この中間質量ブラックホール候補、および他のいくつかのこれよりは暗いソースの多くが、M82 中心近くにある非常に若い星団と重なった位置にあるとわかった。また Keck による分光観測で、中間質量ブラックホールと重なった星団 (MGG11)、および明るい X 線源はもたないがこの領域でもっとも明るい星団 (MGG9) について速度分散および M/L が求められた。

我々は中間質量ブラックホールの形成メカニズムを理解するために、この2つの星団について恒星進化と星同士の衝突・合体の効果を取り入れた N 体シミュレーションを行った。その結果、MGG11 については初期の中心密度がある程度高ければ中心で大質量星同士の暴走的な合体が起こり、1000 太陽質量を超える超大質量星が形成されることがわかった。このような大質量星からは、仮定するシナリオによるがそれなりの質量のブラックホールが形成されることが考えられる。これに対して MGG9 では非常に初期中心密度が高い場合でもそのような暴走的合体は起こらない。この違いは、定性的には速度分散、 M/L の違いからくる星団の熱力学的緩和時間の違いによって理解できる。MGG11 では緩和時間が短く、大質量星が寿命を終える前に中心まで沈むことができるが、MGG9 では緩和時間が長く大質量星は中心に沈む前に寿命が尽きる。このために MGG11 では星団中心に大量の大質量星が集まって、それらの暴走的合体が起こるが、MGG9 ではそのようなことは起こらない。この結果は中間質量ブラックホールの形成メカニズムとして若い星団内での大質量星の暴走的合体が有力な候補であることを示唆するものである。

2 関連する発表論文等

1. Pooley, D., Lewin, W. H. G., Anderson, S. F., Baumgardt, H., Filippenko, A. V., Gaensler, B. M., Homer, L., Hut, P., Kaspi, V. M., Makino, J., Margon, B., McMillan, S., Portegies Zwart, S., van der Klis, M., and Verbunt, F. 2003, “Dynamical Formation of Close Binary Systems in Globular Clusters”, *ApJ*, **591**, L131–L134
2. Baumgardt, H., Makino, J., Hut, P., McMillan, S., and Portegies Zwart, S. 2003, “A Dynamical Model for the Globular Cluster G1”, *ApJ*, **589**, L25–L28
3. Portegies Zwart, S., Baumgardt, H., Hut, P., Makino, J., and McMillan, S. 2004, “The formation of massive black holes through collision runaway in dense young star clusters”, *Nature* in press.