

W26b P³T-DENEB を用いた球状星団内の連星形成シミュレーション

吉成直都, 藤井通子, 熊本淳, 谷川衝 (東京大学), 岩澤全規 (理化学研究所)

球状星団は、重力波を放出して合体する連星ブラックホールの形成場所の一つである。密度が高い星団では、3体の恒星同士の遭遇により、連星間距離が小さくエネルギーが大きい連星が力学的に形成される。しかし、現実的な恒星の数(100万個以上)を含む球状星団の N 体計算は依然として困難である。理由の一つとして、恒星間の重力計算コストが $O(N^2)$ で非常に大きいことが挙げられる。また、球状星団の時間スケールが連星の軌道周期(1日以下)と比較して非常に長い(10 Gyr 以上)ため、連星の軌道計算を正確に行いつつ長時間計算しなければならない。これらの問題を解決するために、私は Particle-Particle Particle-Tree (P³T) 法 (Oshino et al. 2011) と連星アルゴリズムを持つ GORILLA (Tanikawa and Fukushige 2009) を組み合わせた新しいシミュレーションコード「P³T-DENEB」を開発した。これは遠く離れた星からの重力の計算コストが $O(N\log N)$ となる Tree コードでまとめて計算し、近くの星からの重力は近似することなく高精度で計算するシミュレーションコードである。また、連星がある場合は解析的に連星の軌道を計算することで、エネルギー誤差の蓄積を抑えている。P³T-DENEB の計算速度は、 10^6 個の星で GORILLA を使用した N 体計算よりも約 100 倍高速であることを確認している。

本研究では、Salpeter の質量関数 ($0.1M_{\odot} - 50M_{\odot}$) を持つ $10^4 - 10^5$ 個の恒星からなる球状星団のモデルを生成し、P³T-DENEB による力学進化シミュレーションを行った。系全体のエネルギーの誤差を 0.1% 以下の精度を保った状態でコアコラプス時間の 100 倍まで計算したところ、星団内で最も重い星が連星系をなし、星団内の恒星が持つ平均運動エネルギーの $10^3 - 10^4$ 倍のエネルギーを持つ連星が 10 個程度星団外へ放出される様子が確認された。その他のテスト計算の結果や今後の展望についても報告する。