

重力多体衝突系の物理

Physics of collisional self-gravitating many-body systems

牧野 淳一郎 [1]

Junichiro Makino[1]

[1] 東大・理・天文

[1] Department of Astronomy, University of Tokyo

宇宙に存在する自己重力系の多くは衝突系である。ここで衝突系とは、系の進化が主に2体衝突による緩和によるものである系である。具体的には、例えば典型的な銀河は全体としては緩和時間が宇宙年齢よりもはるかに長く、無衝突系とみなすことができるが、銀河中心核領域数10パーセク程度では緩和時間が宇宙年齢より短くなり、緩和過程が大きな役割を果たす。球状星団、散開星団や、最近多数見つかってきている非常に若くコンパクトな星団では、緩和時間は年齢よりも桁で短い。これらは典型的な衝突系といえる。

理論的には、自己重力衝突系は、熱力学的な緩和が起きるにもかかわらず原理的に熱平衡になく、また単一の恒星と違い局所的熱平衡にもない、という意味で興味深い存在である。このため、全て同一質量の質点からなるもっとも単純で理想化された系でも、その進化は複雑なものになる。基本的には、系の中心部から外側に向かって熱が流れる。その結果、中心部はエネルギーを失って収縮し、その結果として温度(に当たるもの)が上昇する。外側は逆に膨張した結果温度が下がる。このため温度勾配が大きくなり、ますます熱が流れるという不安定性がある。連続近似したモデルではこのメカニズムで中心の温度・密度が有限時間で発散するが、有限の粒子数の系では密度が高くなると連星が形成されそれが核融合反応と同様に熱源となって収縮が止まる。熱流と連星形成が釣り合った、主系列星に当たる定常状態を考えると、自己重力系ではこれは不安定であり振動を起こすことがわかる。

球状星団の中心部では比較的質量の幅の狭い白色矮星や中性子星が支配的になり、もっとも単純な系に近い状態が実際に存在していると考えられる。また、上に述べたような不安定な構造形成によって中心部に極めて高密度な恒星集団ができるため、熱力学的に進化する星団内では宇宙の他の場所よりもはるかに高い頻度で恒星同士の潮汐相互作用、衝突、合体といった現象が起こる。これは球状星団でミリ秒パルサーやX線連星が極めて多いことに対する理解の鍵である。また、中間質量ブラックホールや、大質量ブラックホールの形成過程にも星団の熱力学的な進化が重要な役割を果たしている可能性が高い。

このように衝突系の物理は様々な天体現象において重要な役割を果たしているが、本質的に非線型、非平衡な現象でありその理解には数値計算が必須である。特に、多体シミュレーションはもっとも直接的な方法である。最近の多体シミュレーションでは、専用計算機 GRAPE の貢献も大きい。

講演では、原理的な側面を概観した後、最近のいくつかの話題に触れる。