

大規模シミュレーションプロジェクト 平成 16 年度成果報告書

プロジェクト ID: rky61c

研究課題名: Ia 型超新星爆発の数値シミュレーション

研究代表者: 山田 耕平 (東京大学 総合文化)

近年、Ia 型超新星の観測が宇宙論パラメータの決定に非常に重要な役割を果たすようになっているが、Ia 型超新星の物理については決定的に重要でかつ未解明な点が残されている。それは標準光源として Ia 型超新星を使う上での物理的理解が、未だに理論的に求められていないことである。

本研究では、Ia 型超新星の最大光度の分散やスペクトルの多様性の根源を解明を最終的なゴールとするまず第一歩として、爆発メカニズムの理解するために、Ia 型超新星爆発時の炭素燃焼波面の対流不安定による伝播を 2 次元直接数値シミュレーションを行うことで求めた。

これまでの研究で核燃焼波伝播の際に様々なスケールで不安定が起きることが分かっているが、この核燃焼波の不安定による微細構造が再現できるか否かは、燃焼波面の増減に直結するために燃焼によるエネルギー放出量に大きく影響を与える。これは、Ia 型超新星の観測と比較可能な唯一の定量値である総エネルギー放出量に関わるため、格子点数を増やした計算は不可欠である。具体的には、質量降着によって M_{Ch} 近くまで成長した白色矮星を親星に仮定し、高密度な中心付近での点火後の爆燃波のダイナミクスを追従した。

示された計算から得られた結果を利用して、Ia 型超新星の爆発メカニズムについての幾つかの定性的な結論を導くことができる。まず第一に、本研究の白色矮星と爆発メカニズムの単純な描写からは、白色矮星全体の束縛エネルギーに打ち勝つための十分なエネルギー $\sim 10^{51}$ erg を引き起こすことができなかった。また本研究において示された結果は、典型的な Ia 型超新星のために必要とされているエネルギー量が、純粋な爆燃のみでは説明できない可能性を示している。

エネルギー発生 の時間発展は予期される定性的な性質を示しているが、全てのシミュレーションで白色矮星の束縛エネルギーには達していない。それに伴い、予想されるニッケルの生成量なども観測で示されるような値と比べて、総じて低くなってしまっている。概して本研究でのシミュレーションは、Ia 型超新星としては全体的に非常に弱い爆発ということが出来る。今後、数値解像度を増やすことによって束縛から逃れる値が得られる可能性はあるが、典型的な Ia 型超新星としては非常に弱い爆発にしかならないことは明らかである。

一般に、 $\sim 10^7$ cm 程度の大きなスケールでの物質分

布や混合の幅は、計算の数値解像度にあまり依存しないことが確認されたが、微小な不安定による火炎構造としてはその解像度への依存性がみられる。総エネルギー放出量の計算格子数依存性は、特にシミュレーション後半で顕著であることが分かった。それと比較してシミュレーション前半での収束がみられるが、この段階においては急速な爆発のため、微細不安定の発達による燃焼波面増大と比較して全体的な膨張の効果がエネルギー生成に対して支配的であることが示唆される。爆発初期では、急激な膨張のため不安定を抑制する効果が働くともみられ、微細構造がそれほど発達せず、したがって解像スケールの依存性は大きくない。その一方で爆発後期では、燃焼波面が星表面に近づくことで燃焼バブルの膨張が緩やかになり、それまで抑制されていた不安定の成長が起こるために解像スケールによって再現に差が生じ、エネルギー発生 の違いに繋がっている。

また、Rayleigh-Taylor 不安定効果による既燃物質の上昇に伴って燃料の落ち込みが確認されたが、こうした元素は観測から示唆されるものではなく、爆轟波への変遷 (DDT) などの可能性も考えられる結果となった。

今回は簡単なモデルに留まったが、更に計算を続けていく必要があり、今後複雑な効果の導入や改善が求められる。

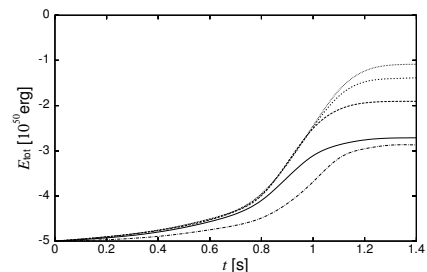


図 1 異なる解像度による E_{tot} の時間発展

参考文献

- [1] Gamezo, V. N., Khokhlov, A. M., Oran, E. S., Chtchelkanova, A. Y., & Rosenberg, R. O. 2003, Science, 299, 77
- [2] Reinecke, M., Hillebrandt, W., & Niemeyer, J. C. 1999, A&A, 347, 739