

GRB 放射メカニズム解明のための 輻射流体カップリング計算コード開発

石井彩子 (Max-Planck-Institute for Gravitational Physics)

利用カテゴリ XC-B

本研究の目的は、ガンマ線バースト (GRB) の放射メカニズムを解明することである。GRB はガンマ線放射時間によって long GRB と short GRB に大別され、それぞれについて異なる親星のモデルが考えられている。本研究では、そのどちらについても適用できるような、相対論的流体-輻射輸送カップリング計算コードの開発を目指している。

本年度は昨年度に引き続き、カップリング計算コードに組み込む予定のモンテカルロ (MC) 輻射計算コードの改良を行い、コード検証の一環として連星中性子星合体からのごく初期の電磁波放射を計算した。合体直後の中性子星からはその物質の一部が放出される。特に中性子星のもっとも外側のうすい層は相対論的速度で膨張し、そこでは急速に断熱冷却が起こり温度・密度が下がるため、自由中性子が原子核に捕獲されることなく生き残ることになる。この自由中性子がその後ベータ崩壊を起こすことによって最外層の物質がたたためられ、合体後約数時間というタイムスケールで熱的放射が観測される。このような自由中性子放射シナリオに沿って、申請者は MC 輻射輸送計算を行った。ここでは合体後の中性子星を一次元球対称で近似し、これまでに申請者らによって開発された相対論的ラグランジュ流体計算コードを用いて、中性子星物質の膨張を合体後約 10^{-1} s まで計算した。この時点で最外層において物質の運動エネルギーが内部エネルギーより十分に大きいため、その後は自由膨張を仮定して密度分布を計算した。さらに Arnett 1980 および Arnett 1982 で的手法を基に、光子の拡散およびベータ崩壊によるエネルギー注入を考慮しつつ各時刻における温度分布を求めた。最外層では上述のように中性子捕獲が抑制されるため、主に水素やヘリウムといった軽元素のみが存在していると考えられる (Ishii et al. 2018)。合体から約数時間経つと、最外層の温度が下がり中性水素や中性ヘリウムが生じ、これらが束縛-束縛遷移や束縛-自由遷移を起こすことによって生じるライン放射および吸収が観測される。これらの遷移の効果を輻射輸送計算コードに取り入れるため、Maeda et al. 2014 を参考に Sobolev 近似を用いてまずは水素についてライマン系列およびバルマー系列について束縛-束縛遷移を取り入れた。さらにヘリウムについても、Lucy 1991 を参考にまずは Ib 型超新星にて観測される強い 4 つのラインについて束縛-束縛遷移を取り入れた。開発した MC 計算コードを用いて合体後 800s から 9000s までの間で適宜選んだスナップショット上にて輻射輸送計算を行い光子エネルギースペクトルを計算したところ、比較的初期の時刻ではライマン α および $H\alpha$ のラインが特に目立って見え、ヘリウムについてのラインはどの時刻においてもほとんど見えないということがわかった。なお、これは流体計算においてあるパラメータを用いて計算した 1 モデルについての結果であり、今後さらに複数のモデルについても輻射輸送計算を行っていく予定である。さらに、光子の拡散時間は膨張時間と同程度であることが予想されるため、流体場はスナップショットではなく時間変化させるようにコードを改変する必要がある。

このように、今年度は主に MC 輻射輸送計算コードを開発し、今後のカップリング計算コード開発に向けて前進することができた。