

2015 年度大規模実行に関する報告書

科学的背景

重力波干渉計 **Advanced LIGO** (アメリカ) が昨年9月より観測を開始した。今後は2018年頃までに目標感度を達成すると計画されている。**KAGRA** (日本)、**Advanced VIRGO** (イタリアーフランス) も本格観測に向けた準備が目下精力的に進行中であり、2018年頃までに目標感度を達成するとされている。中性子星やブラックホールからなる連星系の合体は、有望な重力波源の一つであり合体過程の現実的な描像の確立が望まれている。中性子星やブラックホールからなる連星の合体から放出される重力波が観測されたとすると、強重力場における一般相対性理論の検証、中性子星物質の状態方程式の解明、ショートガンマ線バーストの中心動力源の解明、重元素の起源の解明がなされると期待されているため、その科学的意義は計り知れない。

本大規模実行課題では、ブラックホールー中性子星連星合体に焦点を充てる。特に中性子星の普遍的な性質である磁場と傾斜したブラックホールスピンに着目し、これまでにない高解像度の数値的相対論—磁気流体シミュレーションを **XC30** 全システムを利用して実行する。ブラックホールスピンが軌道角運動量に対して傾斜している場合、合体後に歳差運動が励起されると期待される。

シミュレーションセットアップ

ブラックホールー中性子星連星合体は大きなダイナミカルレンジを持つ問題であるため、入れ子格子法を実装する。具体的には図1上の様なグリッド構造を採用した。

Fixed Mesh Refinement vs Adaptive Mesh Refinement

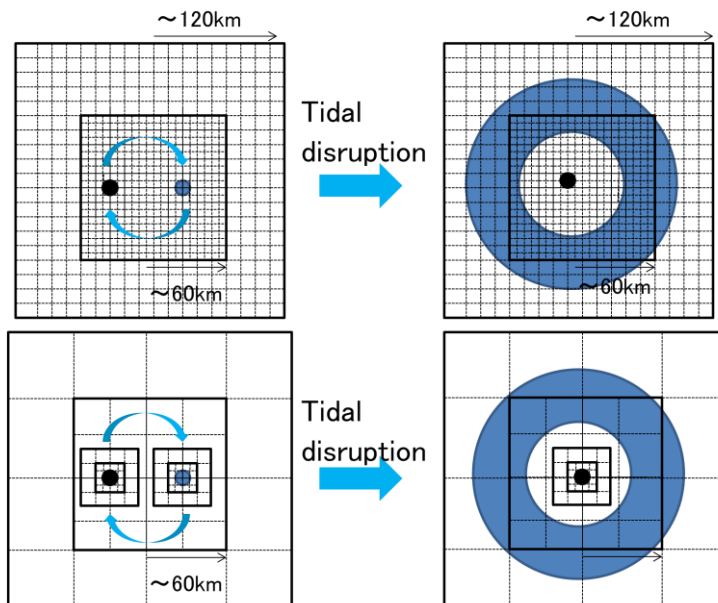


図1 : (上) 入れ子格子法の赤道面の概略図 (下) 動的入れ子格子法の概略図。ブラックホールと中性子星が互いの周りを周回し (左)、合体後降着円盤が形成される (右)。

従来用いられてきた下の場合に比べ、高解像度格子を降着円盤に割り当てることが出来るため、磁気流体効果をより正確に追跡できる。簡単のため2階層(上)、4階層(下)のみ描画している。

階層が変わる毎に解像度が倍々になる実装方法で、一階層は解像度120m、 $N=1,056^3$ 個の格子点を持つ。10階層を設定し、外部境界は約30,000kmである。この設定により外部境界は重力波波長(約450km)より十分長く、また合体後形成される降着円盤は高い解像度で覆われる。参考までに先行研究では解像度160m、 $N=240^3$ のシミュレーションが典型的である(Kyutoku et al. 15)。潮汐破壊後、降着円盤が形成されるため合体後50ミリ秒程度追跡する。状態方程式はH4(Glendenning and S. A. Moszkowski 91)、中性子星質量1.35太陽質量、ブラックホール質量5.4太陽質量、ブラックホール無次元スピン0.75、スピン傾斜角60度と設定する。先行研究によりこの設定では潮汐破壊が起こることが示されている(Kawaguchi et al. 15)。また、初期磁場の最大強度は 10^{15}G とした。

結果

昨年度にも同様の設定でシミュレーションを実行した。パフォーマンスを解析した結果、実行性能6-7%程度と判明した。本シミュレーションでも同程度のパフォーマンスを示している。図2に可視化結果を示す。可視化は和田智秀研究員(理化学研究所)の協力の下行った。潮汐破壊された中性子星(左)が歳差運動する降着円盤を形成する(右)。

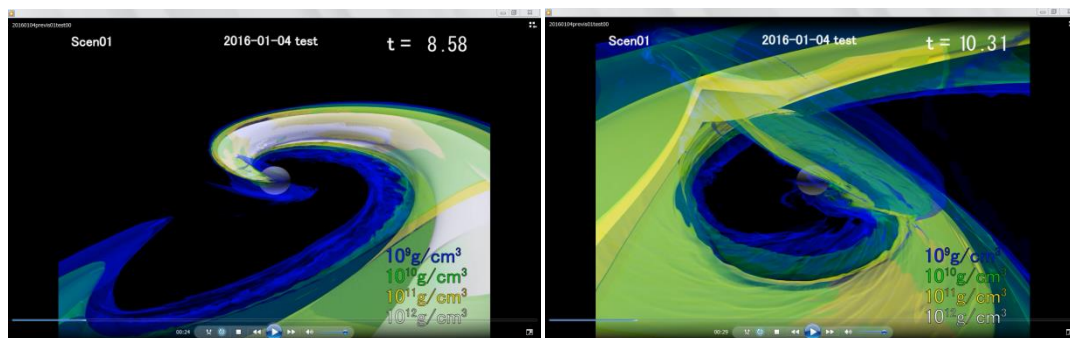


図2：密度場の可視化。(左)潮汐破壊直後(右)降着円盤形成後。中央にブラックホールがある。

磁場の増幅を解析した結果、磁気回転不安定性による磁場増幅が確認された。また、磁気回転不安定性起源の粘性により駆動される円盤風も見えている。円盤風の駆動と共にポロイダル磁場が生成され、Blandford-Znajek機構によるポインティングフラックスも確認された。これらの結果は、傾斜していないスピンを持つ場合に得た結果と無矛盾である(Kiuchi et al. 2015)。結果に基づき論文を執筆中である。