

課題名 (タイトル) :

高次元ブラックホールの安定性解析

利用者氏名 : 真貝 寿明

理研での所属研究室名 : 和光研究所 基幹研究所 戎崎計算宇宙物理研究室

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

我々の 4 次元時空が、高次元時空に埋め込まれている、とする考え方に注目が集まり、高次元重力の研究が積極的に推進されている。LHC 加速器実験で高次元ブラックホールの検証ができる可能性もあり、本研究では、5 次元時空における非線形な重力場の引き起こすダイナミクスを数値計算を用いて明らかにすることが目的である。

2. 具体的な利用内容、計算方法

(A) 5 次元時空では、4 次元ではあり得なかったトポロジーのブラックホール解が Einstein 方程式の厳密解として存在しているが、その形成条件や安定性は未知である。特に 5 次元時空ではリング形状のブラックホール解が知られている。本研究では、リング形状ブラックホールの形成条件、安定性を調べるために、時空が 2 軸対称性をもつ場合のダイナミクスを追うコードを開発した。

(B) 一般相対性理論の数値計算では、どのような方程式を使うと安定に数値計算ができるのか、という定式化問題も存在する。本研究でも長時間の数値積分を行う際には定式化も重要になる。そこで、従来のスタンダードな ADM 形式および BSSN 形式と呼ばれる定式化に、Lagrange 乗数的に拘束条件式を付加した発展方程式でどの程度安定性が改善されるか、という問題を、さまざまなパターンに対してテスト比較を行う研究も進めた。

(C) 高次元時空を考える理由の 1 つに、初期宇宙での高次曲率項のふるまいが未知であることがある。我々は、Gauss-Bonnet 重力理論として知られる、幾何学的に特殊な高次曲率項を含む時空でのブラックホール形成条件を明らかにするために、定式化と共にコード開発に着手した。

3. 結果

(A) リング形状の物質の重力崩壊によって、リング状のブラックホールができる場合と、球状のブラックホールができる場合が確認されている。これらの結果は、ある程度、初期値系列のサーチから予想されたダイナミクスの描像と一致している。さらに精密な計算を行い、両者の発生条件を明確にする必要があり、現在、パラメータを変えて、さまざまなシミュレーションを実施すると共に、論文の執筆を進めている。また、物質が回転をもつ場合のコード開発も行っており、実際のブラックリング形成に少しずつ近づいている。

(B) 拘束条件式の発展方程式が常に安定化する 1 つの Lagrange 乗数の処方箋を発見し、それを ADM/BSSN 形式に適用した定式化を行った。実際に数値計算を行い、期待通りに効果がみられることを確認した。特に、現在世界的に標準として使われている BSSN 定式化よりも、2 倍から 10 倍程度の安定な計算を保つ可能性をもつ計算実験結果も得られた。この結果は、Physical Review D 誌に掲載された。

(C) 現在、具体的な計算コード開発に着手した。

4. まとめ

年度当初の計画通り、5 次元時空でのダイナミクスを解く計算が進んでいる。回転を入れた時空や、ブラックホール地平面のダイナミクスを追う計算の実現に向けて、計算コードの開発を進めている。また、計算コードの並列化や高速化は完成しておらず、次年度にこれらの開発が持ち越されている。

5. 今後の計画・展望

来年度には、いよいよ、リング形状ブラックホールが本当に形成され得るのか、安定解であるのか、を明らかにすることができるよう、本格的な高次元数値相対性理論研究を軌道に乗せたい。

6. RICC の継続利用を希望の場合は、これまで利用した状況（どの程度研究が進んだか、研究においてどこまで計算出来て、何が出来ていないか）や、継続して利用する際に行う具体的な内容
- 本研究課題は、実質的なコード開発に取り組んでいる。RICC ではデバッグを中心に行っている。
- まだ、並列化の部分が完成していないため、大規模計算を実行する段階に至っていない。来年度は、現在 250^2 の格子規模でしかできていない数値計算を、 500^2 および 500^4 の格子で解く規模で実現したい。

平成 23 年度 RICC 利用研究成果リスト

【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

1. Takuya Tsuchiya, Gen Yoneda, Hisa-aki Shinkai,
Constraint propagation of C^2 -adjusted formulation -- Another recipe for robust ADM evolution system -- □
Physical Review D. 83 (2011) 064032
2. Takuya Tsuchiya, Gen Yoneda, Hisa-aki Shinkai,
Constraint propagation of C^2 -adjusted formulation -- Another recipe for robust BSSN evolution system -- □
Physical Review D. 85 (2012) 044018
3. Hisa-aki Shinkai, Yuta Yamada
Numerical Investigation of Five-dimensional Gravitational Collapses □
Int. J. Modern Phys. D. (2012) to be published

【国際会議などの予稿集、proceeding】

4. Takuya Tsuchiya, Gen Yoneda, Hisa-aki Shinkai,
Constraint propagation and constraint-damping in the C^2 -adjusted formulation
Proceedings of the 21th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan (JGRG21) at Tohoku University, Japan, September 26-29, 2011.
5. Yuta Yamada, Hisa-aki Shinkai,
Gravitational Collapse of ring objects in 5-dimensional space-time
Proceedings of the 21th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan (JGRG21) at Tohoku University, Japan, September 26-29, 2011.

【国際会議、学会などでの口頭発表】

【その他】