

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

所属 : 和光本所 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

近年、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 次元時空におけるダイナミクスを一般相対性理論を適用して明らかにすること、いわゆる高次元数値相対性理論研究が目的である。

2. 具体的な利用内容、計算方法

(A) 4 次元時空と 5 次元時空のダイナミクスの根本的な違いを明らかにするために、1991 年に発表されて注目を浴びた Shapiro と Teukolsky による「軸対称重力崩壊による裸の特異点形成」問題を再現し、さらにその 5 次元版でのふるまいを明らかにすることに取り組んだ。4 次元および 5 次元 Einstein 方程式を用いて初期値を準備し (非線形楕円型偏微分方程式)、時間発展 (非線形双曲型偏微分方程式) を行うコードを開発した。ブラックホールの形成を判定するために地平面判定プログラムも開発した。物質の運動は無衝突粒子の測地線を追うことで実現した。

(B) 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も開発した。

(C) 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ている。

3. 結果

(A) 4 次元時空での先行研究の結果を再現し、さらに、5 次元時空でのふるまいと比較することができた。5 次元では、重力崩壊が加速して発生し、さらに物質形状が球対称に近く崩壊してゆくことが確認された。これらは、近距離では強い重力となるため、および重力波の自由度が多いためと解釈した。また、ブラックホールの形成条件の違いも明らかにした。この結果は、Physical Review D 誌に受理 (印刷中) された。

(B) 現在、計算が進行中であり、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。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る。

(C) 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 形式に適用した定式化を行った。また、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。この結果は、Physical Review D 誌に投稿中である。

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コードを開発することができた。ファーストステップといえる数値計算を実施し、結果を論文受理の形で報告することができた。

しかし、まだ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、精密な大規模計算が必要となり、本格的に RICC の利用を始める。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、

平成 21 年度 RICC 利用報告書

安定解であるのか、を明らかにすることができ、本格的な高次元数値相対性理論研究を軌道に乗せることができる。

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、今年度から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 130^2 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 22 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. Yuta Yamada & Hisa-aki Shinkai,
Formation of naked singularities in five-dimensional space-time
Physical Review D (2011) 掲載決定 (arXiv:1102.2090)

【国際会議などの予稿集、proceeding】

1. Y. Yamada & H. Shinkai,
Gravitational collapse in five dimensional space-time
Proceedings of the 20th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan (JGRG20)
at Kyoto University, Japan, September 21-25, 2010.

【国際会議、学会などでの口頭発表】

1. H. Shinkai,
Black Objects and Hoop Conjecture in Five-dimensional Space-time
The 19th International Conference on General Relativity and Gravitation (GR19)
at Mexico City, 5-9 July 2010.
2. H. Shinkai
Gravitational collapse in five dimensional space-time
2011 Shanghai Asia-Pacific School and Workshop on Gravitation
at Shanghai Normal University, 2-14 February 2011.

【その他】

1. 論文投稿中
Takuya Tsuchiya, Gen Yoneda, Hisa-aki Shinkai,
Constraint Propagation of C^2 -adjusted formulation
submitted Physical Review D.