

課題名 (タイトル) :

高次元ワームホールの安定性解析

利用者氏名 : ○真貝 寿明

所属 : 和光本所 戒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、高次元重力の研究に注目が集まっている。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 次元以上の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によって明らかにすることが目的である。

本年度は、高次元時空構造として、ワームホール研究に着手した。4 次元のワームホールについては、利用者のかつての研究に、世界的にも初めてのワームホールのダイナミクスに関する数値解析[H.Shinkai & S. Hayward, Phys. Rev. D.64 (2001)044002]がある。この報告では、ワームホールは不安定であり、擾乱を加えるエネルギーの正負によって、ブラックホールに変容したり、ワームホールが拡大することが指摘した。その後、複数のグループによって追試確認された。本年度は、この仕事を高次元に拡張するとともに、(高次曲率項を含む) 拡張された重力理論 (Gauss-Bonnet 重力理論) でのダイナミクスに取り組んだ。

2. 具体的な利用内容、計算方法

(A) ワームホール構造の安定性を調べるために、まず Ellis 型ワームホール (いわゆる Morris-Thorne 型ワームホール) の高次元版の解を導いた。そして、線形摂動の式を導き、数値的に固有値問題として解くことによって、安定性を議論した。

(B) 線形摂動の議論を確かめるため、数値計算コードを作成し、シミュレーションを行った。

(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。そこで、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本格的な数値計算に着手し、ワームホールのダイナミクスを追う定式化を終え、シミュレーションによる解析を開始した。

3. 結果

(A) 線形摂動の結果、4 次元時空を含め、すべての次元の Ellis 型ワームホール (いわゆる Morris-Thorne 型ワームホール) は、不安定であることが示された。

(B) 数値計算によるシミュレーションの結果、上記の線形摂動のふるまいが確かめられた。さらに、非線形なレベルの摂動に対して、5 次元時空でのワームホールは、4 次元のときと同様に、擾乱を加えるエネルギーの正負によって、ブラックホールに変容したり、ワームホールが拡大することが確認された。その不安定性の拡大は、線形摂動で予想されたように、次元が増えるほど顕著であることが示された。

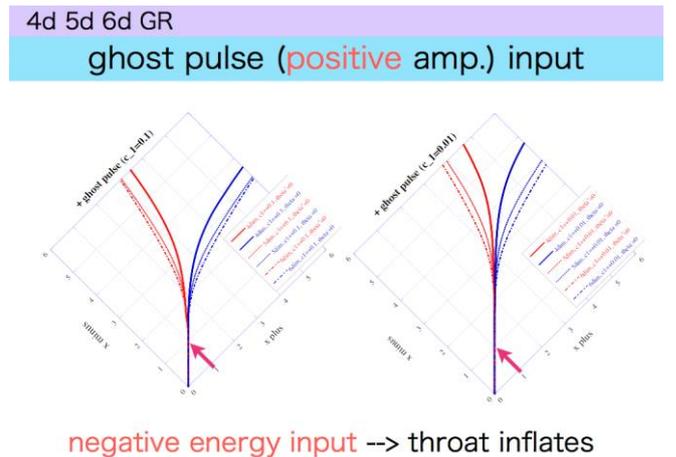


Fig.1 ワームホールの喉に、負のエネルギーを加えると、不安定性によって、拡大していく様子。Dual-null 座標による計算で、上向きが時間の進む方向。実線が 4 次元、点線が 5 次元、破線が 6 次元時空の場合。

(C) Gauss-Bonnet 修正重力理論におけるワームホールのシミュレーションでは、非常に短時間で不安定性が発生することがテスト計算で得られている。

5d GR vs Gauss-Bonnet instability appears

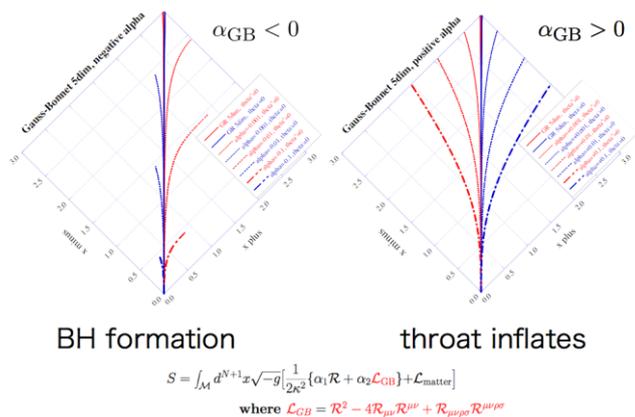


Fig. 2 Gauss-Bonnet 修正重力理論によるワームホールの喉のふるまい. 結合定数の正負によって, 不安定性が異なる方向に進む. 通常考えられる正の結合定数ならば, 特異点形成が避けられるような発展 (ワームホールの喉の拡大) を容易に起こす.

4. まとめ

昨年度までのブラックホール計算に続き, 5次元以上の高次元時空でのダイナミクスを解く計算が進めている. また, 計算コードの並列化や高速化は完成しておらず, 次年度に開発が持ち越されている.

5. 今後の計画・展望

次年度は, 高次元ワームホール時空に関して, 宇宙項の影響や Gauss-Bonnet 時空での時間発展のふるまいをより詳細に調べるとともに, 平面重力波の衝突による特異点形成問題にも取り組み, 高次元時空でのダイナミクス研究を推進する.

平成 25 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. Takashi Torii, Hisa-aki Shinkai
Wormholes in higher dimensional space-time: Exact solutions and their linear stability analysis
Physical Review D 88, 064027 (2013) (6 pages)

【国際会議などの予稿集、proceeding】

1. Hisa-aki Shinkai, Torii Takashi
Wormholes in higher-dimensional spacetime: Dynamics
Proceedings of General Relativity and Gravitation (JGRG23) at Hirosaki University, Japan,
November 5--8, 2013.
(available at <http://www-tap.scphys.kyoto-u.ac.jp/jgrg/pastjgrg.html>)

【国際会議、学会などでの口頭発表】

1. Hisa-aki Shinkai, Torii Takashi
Wormhole dynamics in Gauss-Bonnet gravity
The 20th International Conference on General Relativity and Gravitation (Warsaw, Poland)
2. 真貝寿明, 鳥居隆
ワームホールの不安定性
日本天文学会 2014 年春季年会 (国際基督教大学) 2014 年 3 月
3. 鳥居隆, 真貝寿明
高次元ワームホールの安定性: 線形摂動と時間発展数値解析
日本物理学会第 69 回年次大会 (東海大学) 2014 年 3 月

【その他】

1. 真貝寿明, 鳥居隆
Wormhole Dynamics in Gauss-Bonnet gravity
第 26 回理論懇シンポジウム (東京大学柏キャンパス), 2013 年 12 月 25 日-27 日
2. 鳥居隆, 真貝寿明
高次元ワームホールと安定性解析
第 26 回理論懇シンポジウム (東京大学柏キャンパス), 2013 年 12 月 25 日-27 日