

理研計算科学, Ewha Womans Univ. (Korea)^A真貝寿明, Sean A. Hayward^A

Fate of the traversible wormhole

Computational Science Div., RIKEN

Hisaki Shinkai, Sean A. Hayward^ADept. Science Edu., Ewha Womans Univ. (Korea)^A

「どこでもドア」やタイムマシンの可能性をもたらすワームホールは、SF小説の題材としても多く登場するが、Einstein方程式の解として与えられる科学的な研究対象である。小説「Cosmos」を執筆中だったCarl Saganに依頼され、実際に通過可能なワームホールを考察したKip Thorneらは、負のエネルギーを持つ物質が操作することができるならば、球対称静的な Einstein方程式の解として、有限時間で通過可能なワームホール解を構成できうることを示した[1]。その後、ワームホール解の研究は、エネルギー条件や因果律の観点から進められているが、ワームホール構造の安定性についての議論は皆無であった。我々は、数値計算を用いてダイナミカルなワームホールの描像を初めて明らかにすることができた[3]ので、ここに報告する。

モデルは、Morris-Thorneの球対称ワームホール解で、負のエネルギーを持つ質量ゼロのスカラー場 (ghost Klein-Gordon field) を持つ。我々はこれを dual null 座標(2+2分解)で表示し、ワームホールで接続された二つの世界をヌル方向に時間積分した。その結果、(1)ワームホールは、正のエネルギーを持つゆらぎ(旅行者の通過)に対しては、“throat”部分からブラックホール地平面が分岐して発生する(ブラックホール生成)、(2)負のエネルギーゆらぎ(ghost fieldの追加)に対しては、“throat”部分が指数関数膨張を開始すること(インフレーション膨張)、が分かった。これらは、Morris-Thorne解が不安定であることを示唆すると共に、ワームホールとブラックホールのduality仮説[2]を支持することにもなった。また、正と負のエネルギーパルスを手早く調整することができれば、ワームホール構造を維持することも原理的に可能であることも示した(図参照)。そして、どんなに小さな正エネルギーゆらぎに対しても、生成されるブラックホールの質量には下限があることも示した。

インフレーション的膨張現象は、量子ゆらぎで発生したワームホールをそのまま拡大させる効果も持つので、将来的なワームホール創造に新たな可能性を示したとも言える。

図 1: [左] 時間発展の模式図 (Penrose diagram) . [右] ワームホールのメンテナンス例 . ホライズンの位置を $x^+ - x^-$ 面で描いた (45度回転させれば, Penrose diagram) . $x^+ = 3$ で正エネルギーパルスをワームホール ($x^+ = x^-$) に当てると, ワームホールはブラックホールに変化するが, 直後に負エネルギーパルスを調整して送り込むことで, ワームホール構造をしばらく維持することが可能である .

[1] M S Morris & K S Thorne, Am. J. Phys. **56**, 395 (1988).

[2] S A Hayward, Int. J. Mod. Phys. **D 8**, 373 (1999).

[3] H. Shinkai and S.A. Hayward, gr-qc/0205041 (to appear in Phys. Rev. D.)