

# Oscillating Bianchi IX Universe in Hořava-Lifshitz Gravity

御園生 洋祐<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> 早稲田大学 先進理工学研究科

(Dated: August 5, 2011)

2011 年度天文天体物理若手 夏の学校 (2011 年 8 月 1 日から 4 日まで愛知県蒲郡にて開催) に於ける講演 “Oscillating Bianchi IX Universe in Hořava-Lifshitz Gravity” (宇宙論 17a) の概要. この講演は Yosuke Misonoh, Kei-ichi Maeda, Tsutomu Kobayashi による論文 [3, 4] に基づくものである.

PACS numbers: 04.60.-m, 98.80.Cq, 98.80.-k

宇宙は高温、高密度の火の玉から始まったとするビッグバン理論は宇宙膨張、全天に渡る等方的な宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の存在、さらには宇宙初期に於ける軽元素合成などを説明する理論として、今日では標準宇宙論としての地位を確立している。しかし、ビッグバン理論は宇宙の始まりがエネルギー密度や曲率の発散を伴う特異点であるという問題を孕む。これを宇宙初期特異点問題という。この問題は、ミクロな高エネルギー領域にまで古典的な重力理論を適用していることが原因であると考えられ、重力を量子的に扱うことで解消されると期待される。このような動機付けにより、量子重力理論が精力的に研究されてきたが、重力の摂動的な繰り込みが困難であるという理由から、未だ完全な理論を構築するには至っていない。

そのような状況で Horava-Lifshitz (HL) 重力理論は近年量子重力理論の候補として注目を集めている [1]。一般相対論の重要な特性である一般座標変換に対する不変性を高エネルギー領域で破ることによって、重力の摂動的な繰り込みを目指す理論である。作用に含まれる 2 階の時間微分に対して、空間微分の数も 6 階にまで増やすことにより、量子重力理論の困難である繰り込み不可能という問題が解消出来ることが示唆されている。この理論が本当に重力の繰り込みを可能にするか、低エネルギー領域で観測と矛盾が無い程度に一般相対論を再現出来るかなど、幾つかの解決すべき点が存在するが、他の相互作用と同様の手続きで量子化出来る可能性があるという点で意義のある理論と言える。

HL 重力理論の応用は宇宙論の分野で顕著である。特に Brandenberger により、高階の空間微分項が宇宙を膨張させる斥力として振る舞う可能性が示唆されたことは重要である [2]。この指摘が契機となり、HL 重力理論に基づく初期特異点回避に関する数多くの研究が発表された。その結果、一様等方時空 (FLRW 時空) に於ける宇宙初期特異点を回避する解として、収縮する宇宙が永続的な膨張へと転じるバウンス解、収縮と膨張を周期的に繰り返す振動解が発見されている。しかし、従来の研究では作用に対して特別な制限を課した FLRW 時空でしか解析が行われていない。多様な条件に対して HL 重力理論の特異点回避の性質を調べることは、バウンス宇宙や振動宇宙といったシナリオがどの程度一般的であるのかを知るといった意義がある。

以上のような動機により、本研究では最も一般的な作用に対して FLRW 時空及び、閉じた一様時空 (Bianchi IX 時空) に於ける特異点回避を議論した。FLRW 時空に対して摂動的に非等方性を加える方法と比較すると、Bianchi IX 時空での解析は摂動とは見なせない大きな非等方性を持つ場合を扱うことが出来る利点がある。Bianchi IX 時空の基

礎方程式は高次の非線形微分方程式であるため、数値的な解析を行った。

平坦でない一様等方宇宙では高階空間微分項が仮想的な輻射や stiff matter のように振る舞い、その結合定数が負の場合には宇宙を膨張させる斥力として働くことがわかった。一様等方宇宙に於ける特異点回避は定常宇宙、バウンス宇宙、振動宇宙によって実現される。定常宇宙は、他の解には遷移し得ない安定解と、他の解に遷移し得る不安定解が存在することがわかった。不安定な定常宇宙からは、emergent universe という特異点回避のシナリオが考えられる。過去に遡っていくと、宇宙がある有限の体積へと無限の時間をかけて漸近していくというものであり、エネルギー密度と曲率の発散を伴わないという点で特異点回避が為されている。振動宇宙に於けるスケールファクターの振動幅を解析したところ、結合定数を不自然な値に取らない限り Planck スケール程度のミクロスケールとなることがわかった。マクロスケールな宇宙へと接続するために、量子的トンネル効果によって膨張宇宙に遷移するというシナリオが考えられる。

Bianchi IX 時空の場合、一様等方宇宙で実現されていたバウンス宇宙や振動宇宙に対して非等方性を加えると、宇宙の体積がゼロとなって特異点が現れる解や、宇宙項が正の場合であれば、加速膨張宇宙に転じる解へと遷移する傾向が見られた。特に、振動宇宙から加速膨張宇宙に転じる解は宇宙が誕生してから暫くは加速膨張へせずに振動しているの、宇宙無毛仮説を破る例として興味深い。また、振動宇宙に見られた初期値に対する強い依存性はカオス的な振る舞いを示している可能性がある。

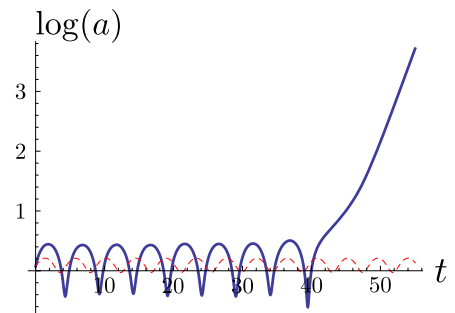


FIG. 1: 振動から加速膨張へと遷移する解.

- 
- [1] P. Hořava, Phys. Rev. D **79**, 084008 (2009) [arXiv:0901.3775 [hep-th]].
- [2] R.H. Brandenberger, Phys. Rev. D **80**, 043516 (2009) [arXiv:0904.2835 [hep-th]].
- [3] K. Maeda, Y. Misonoh and T. Kobayashi, Phys. Rev. D **82**, 064024 (2010) [arXiv:1006.2739 [hep-th]].
- [4] Y. Misonoh, K. Maeda and T. Kobayashi, arXiv:1104.3978 [hep-th].