

Boltzmann equation in de Sitter space¹

総研大 北本浩之

E-mail: kitamoto@post.kek.jp

de Sitter 空間上の場の理論を調べることは宇宙初期におけるインフレーション、現在の宇宙のダークエネルギーに関する問題を扱う上で重要である。

de Sitter 空間上の場の理論には、時間積分に赤外発散が生じるため Feynman-Dyson の処方では相互作用を摂動的に扱うことができないという顕著な性質がある。実は de Sitter 空間のような時間依存性を持つ背景時空上で相互作用を扱うには非平衡物理において用いられる Schwinger-Keldysh の処方が必要となる [1][2][3]。この処方では時間積分は上限を持つため、赤外発散は現れず相互作用を摂動的に扱うことができ、また相関関数は相互作用の寄与から時間依存性を持ち得る。この相関関数の時間依存性を調べ、物質場のエネルギー運動量テンソルの期待値から effective な宇宙項の時間依存性を調べるのが我々の目的である。

時間依存性を持つ背景時空上では、一般に励起状態を考える必要があるため相関関数には粒子数分布関数が含まれる。この粒子数分布関数の相互作用による時間変化を非平衡物理の標準的な道具である Boltzmann 方程式を用いて調べるという提案が A.M. Polyakov によってなされた [3]。平坦な時空上、もしくはエネルギー保存が成り立つ極限において Schwinger-Dyson 方程式から Boltzmann 方程式を導出する方法は既に知られていたが [4][5][6]、我々はスカラー場の φ^3, φ^4 理論において、ホライズンの十分内部ではあるがエネルギー保存が成り立たないオーダーまで de Sitter 空間上の Boltzmann 方程式を求めた。

この Boltzmann 方程式から我々は、粒子生成によるオフシェル項の生成に伴ってオンシェル項が減少し、エネルギースペクトラムの重みが一定に保たれること、またオンシェル、オフシェル間で赤外領域からの寄与は 1 次では打ち消しあうが残された赤外効果が粒子数分布関数を変化させるという興味深い結果を得た。しかし、これらの時間依存性は物理的な運動量、温度で表すことによって全て消すことができ、むしろ運動量依存性と捉えることができる。そのため相互作用の寄与を含めた effective な宇宙項は膨張による温度の減少以外の時間依存性を持たない。これは我々の Boltzmann 方程式がホライズンの内部を調べたものであり、ホライズン内部の自由度は時間経過に対して一定に保たれるからである。

一方、ホライズンの外に自由度が出て行くことによってホライズン外部の自由度は時間とともに増大する。この自由度の増加は massless, minimal coupling の粒子の相互作用から宇宙項に顕な時間依存性を与える [1][7]。我々は φ^3, φ^4 理論において結合定数の 2 乗のオーダーでは、この効果により宇宙項は時間とともに減少するという宇宙定数問題を考える上で望ましい結果を得た。この結果は [7] のものと一致する。

今後の課題としては、スカラー場だけでなく重力場も含めた場合の赤外効果を調べること、また時間が十分経過すると摂動論が破綻するため、非摂動的な赤外効果の取り扱いを調べるのが挙げられる。

- [1] N.C. Tsamis, R.P. Woodard, Nucl. Phys. B**474**, 235 (1996).
- [2] S. Weinberg, Phys. Rev. D**72**, 043514 (2005), Phys. Rev. D**74**, 023508 (2006).
- [3] A.M. Polyakov, Nucl. Phys. B**797**, 199 (2008).
- [4] L.P. Kadanoff, G. Baym, *Quantum Statistical Mechanics* (Benjamin, New York, 1962).
- [5] L.V. Keldysh, Zh. Eksp. Teor. Fiz. **47**, 1515 (1964) [Sov. Phys. JETP **20**, 1018 (1965)].
- [6] A. Hohenegger, A. Kartavtsev, M. Lindner, Phys. Rev. D**78**, 085027 (2008).
- [7] N.C. Tsamis, R.P. Woodard, Phys. Lett. B**426**, 21(1998).

¹ この発表は KEK の北澤良久氏との研究に基づく: H. Kitamoto, Y. Kitazawa, Nucl. Phys. B**839**, 552 (2010).