

実験室で宇宙を作れるか？

坂井伸之、小林真（山形大）、中尾憲一、石原秀樹（大阪市大）

「実験室でインフレーション宇宙を作れるか？」という問題を最初に論じたのは Farhi と Guth[1] である。彼らは球対称偽真空泡モデル [2] について考察し、Penrose の特異点定理から、「偽真空泡が膨張する時空では初期特異点が必ず存在する」という結論を導いた。これは、「実験室でインフレーション宇宙を作ることとは不可能」ということを意味する。しかし、特異点定理は古典論にしか適用されないため、量子論的過程によって初期特異点を回避する可能性は残る。実際、その後 Farhi 等 [3] は、偽真空泡モデルにおいて、初期特異点を含まないが収縮する古典解から膨張してインフレーション宇宙になる古典解への量子トンネリングが可能であることを示した。

しかし、この過程をもう少し現実的な観点で見ると、2つの問題点がある。第1に、偽真空泡モデルでは定常な古典解が存在しないため、古典的にすぐに崩壊する泡しか初期に用意することができず、量子トンネリングが起こる可能性は殆ど期待できない。第2に、この偽真空泡モデルはもともとインフレーションのオリジナルモデルで議論されたものであるが、そのモデルは宇宙論的に否定されており、もはやそれを考える積極的動機はない。

本研究では、Einstein-Yang-Mills-Higgs 系で現れる磁気モノポールに注目し、それが実験室でインフレーション宇宙になる可能性について論じた。磁気モノポールは普通定常な粒子とされているが、ある条件において収縮してブラックホールになったり、またはブラックホール地平線の内側で膨張（インフレーション）したりする [4]。特に、同じモデルパラメーターに対して古典的な定常解と膨張解が共存することは、定常解から膨張解への量子トンネリングが可能であること、つまり上の1番目の問題点が解決することを示唆している。また、磁気モノポールの存在は統一理論において自然なものと考えられていると共に、モノポールインフレーションモデルも観測的に矛盾がない。つまり、磁気モノポールは発見こそされていないが、理論的に考える動機は十分あるため、2番目の問題も解決される。

具体的には、磁気モノポールの境界を thin wall で近似したモデル [5] の古典的及び量子論的ダイナミクスを解析した。まず、モノポールの質量と磁荷が同程度の時、境界の運動方程式の有効ポテンシャルに極小値が現れ、定常解が存在することがわかった。そして、この定常なモノポールにドメインウォールを衝突させるという古典的過程によって、インフレーション宇宙ができることを発見した。また、定常なモノポールからの量子トンネリングによってもインフレーション宇宙が出来ることを示し、その遷移確率を計算した。

本研究によって、磁気モノポールという比較的現実的な粒子からインフレーション宇宙を作ることが、理論的に可能であることが示された。ただし、その宇宙は必ずブラックホール地平線の内側に形成されるため、古典的にはその宇宙を確認することができないという問題が残る。しかし、最近 Hawking[6] は、ブラックホール形成時の情報は喪失せず量子過程によって引き出すことが可能である、と論じている。したがって、我々のモデルで作られた宇宙の観測可能性の問題は、このブラックホール情報喪失の問題と関連して、今後検討すべき重要な問題である。

参考文献

- [1] E. Farhi and A. H. Guth, Phys. Lett. B **183**, 149 (1987)
- [2] K. Sato, H. Kodama, M. Sasaki, and K. Maeda, *ibid.* **108B**, 103 (1982);
S. K. Blau, E. Guendelman, and A. Guth, Phys. Rev. D **35**, 1747 (1987)
- [3] E. Farhi, A. H. Guth, and J. Guven, Nucl. Phys. **B339**, 417 (1990);
W. Fischler, D. Morgan, and J. Polchinski, Phys. Rev. D **41**, 2638 (1990); **42**, 4042 (1990)
- [4] N. Sakai, Phys. Rev. D **54** 1548 (1996)
- [5] G. Arreaga, I. Cho, and J. Guven, Phys. Rev. D **62**, 043520 (2000)
- [6] S. W. Hawking, arXiv: hep-th/0507171