

論文内容の要旨

論文題目 Generalised brane cosmology with the Gauss-Bonnet term

(ガウス・ボンネ・ブレン宇宙論の一般化)

氏名 紺谷 健一郎

我々のこの4次元時空が高次元時空中に埋め込まれた4次元の面（ブレン）であるという考え方は、近年大きな注目を集めてきた。このモデルでは標準模型にある物質はブレンに閉じ込められているが、実験的な制限が比較的弱い重力は余剰次元方向に伝播することが出来る。これは一般相対論的な時空の幾何学、動力学として大変興味深いシナリオであり、高次元におけるブラックホールや宇宙論等盛んに研究されている。

これまでの研究で、ブレンワールドにおける宇宙論は少なくともビッグバン元素合成以降の宇宙の進化を記述出来ることが分かっている。これは宇宙論のモデルとしては満たすべき条件だが、宇宙論の観点からブレンモデルの検証を試みるのであればブレンモデルの宇宙論と通常宇宙論との間に明確な違いを見出さなければならない。CMBの温度揺らぎなどの一様等方性からのずれはWMAP等の観測により非常に精密に分かっている。従って、ブレンワールドにおける宇宙論的摂動論の研究は極めて重要であると考えられる。しかしながら、この計算を行うためにはバルクの摂動まで解かなければならない。これは2変数の偏微分方程式を解く問題となり、時間についての常微分方程式であった4次元宇宙論と比べて非常に困難な問題となっている。そこで、この論文ではブレンモデルを拡張するというアプローチを取ることで、ブレンモデルと通常宇宙論の間に違いが無いのか調べる。

本論文で扱うガウス・ボンネ・ブレーンはランドール・サンドラム・タイプのブレーンに、ひも理論や AdS/CFT 対応で一次の補正項として表れる二次の曲率の項（ガウス・ボンネ項）を付け加えたものである。この項は高エネルギーで重力理論を修正する。従って、ランドール・サンドラム・タイプのブレーン宇宙論で高エネルギーで重要になる現象を調べていく。

まず、初めに Z_2 対称性をはずしたブレーン宇宙論を考える。この Z_2 対称性は元々 Horava と Witten によって提唱された M 理論から導かれたモデルに由来するものである。しかし、近年の多くのモデルは M 理論から直接導かれたものではないし、また非対称性が生じるモデルもありこの対称性をはずしてブレーン宇宙論を調べることは重要だと考えられる。ランドール・サンドラム・タイプの場合であるとバルク中に存在するブラックホールのエネルギー差から、ブレーンにインフレーションのような指数関数的膨張が起こりうるということが分かっている。

ガウス・ボンネ・ブレーンモデルの場合、アインシュタイン方程式に解が二つ存在する。一つはガウス・ボンネ項が無くなる極限でランドール・サンドラム型になる解である。この解の場合、 Z_2 対称性を破る項が支配的になると $H^2 \propto \rho^2$ というよく知られている宇宙の進化の時代がブラックホールのエネルギー差から生じるインフレーションのような時代になることが分かった。しかし、ビッグバン元素合成からの制限を考えると我々のブレーンがバルクの地平線の外側に出ている限り Z_2 対称性を破る項が支配的になることは無く、通常のカウス・ボンネ・ブレーン宇宙論の進化と同じにならざるを得ないことが分かった。

もう一つの解はガウス・ボンネ項が無くなる極限でランドール・サンドラム型にならない解である。この場合、 Z_2 対称性を破る項が支配的になると宇宙が崩壊してしまうことが分かった。

次に、ブレーンからの重力子放出について調べる。初期宇宙は非常に高温高密度の状態であるため、粒子の相互作用によって五次元時空を伝播する重力子が生成されることが考えられる。ブレーンから重力子が放出されると宇宙の膨張率が変化するため、ビッグバン元素合成等によってこの放出量は制限される。このようなブレーンからの重力子放出の計算をガウス・ボンネ項を含めて行った。ガウス・ボンネ項を含めるとブレーンからの重力子放出はランドール・サンドラム型の場合と比べて劇的に少なくなることが分かった。これはガウス・ボンネ項によりブレーン上の粒子とカルーザ・クライン重力子の相互作用が弱くなったためである。従って、ガウス・ボンネ項を含めると元素合成からの制限を簡単に満たすことが出来ることが分かった。

以上見てきたように、ガウス・ボンネ項を加えるとブレンモデルの特徴が小さくなり、通常の宇宙論に近付くことが分かった。