

論文内容の要旨

論文題目：

Cosmological consequences of flat directions
in minimal supersymmetric standard model
(最小超対称標準模型における平坦方向の宇宙論的帰結)

氏名 鎌田 耕平

初期宇宙のインフレーションは、宇宙の一様等方性、平坦性、および構造形成の種を説明する上で、非常に魅力的な理論であり、現在その存在は WMAP 等による宇宙背景放射の観測などからも強く支持されている。さらに、インフレーションはそれ以前の物質と反物質の非対称、すなわちバリオン非対称を薄めてしまい、その後バリオン非対称を生むメカニズム、バリオン数生成機構が働かないと、反物質が物質に比べて極端に少ない現在の宇宙は作られない。しかし、これら初期宇宙で起こった現象の根底にある物理は未だ理解にはほど遠く、多くのモデルが提案されてはいるものの、そのどれもが決定力に欠けている。これは、それらのエネルギースケールが非常に高く、素粒子標準模型を越えた物理を要求すること、そして、それらの実験的または観測的痕跡が非常に限られていることに起因する。

一方、超対称標準模型は有望な素粒子標準模型を物理の一つであり、これに基づく宇宙論を調べることは現実的な宇宙モデルを構築するための第一歩であろう。超対称標準模型は現象論的に様々な興味深い特徴を持っているが、中でも“平坦方向”の存在は重要である。平坦方向とは古典的極限においてスカラー場のポテンシャルが 0 になる場の配位であり、これは超対称模型の一般的な特徴である。量子効果等を考慮することによって平坦方向に沿ったポテンシャルはわずかに持ち上がり、それにより宇宙論において様々な役割を果たしうることが知られている。本博士論文においては特に素粒子標準模型を最小限に超対称に拡張した最小超対称標準模型 (MSSM) に存在する平坦方向に関わる宇宙論的現象のうち、バリオン数生成に有力な候補であるアフleck・ダイン機構 (以下 AD 機構) と興味深い特徴を持つ MSSM A タームインフレーションに注目し、その整合性と

観測可能性を考察した。

AD 機構はバリオン数やレプトン数をもった複素スカラー場、すなわちスカラークォークやスカラーレプトンが平坦方向に沿って大きな場の値を取りうることを用いたバリオン数生成機構である。この機構では、インフレーション中に大きな値を持ったスカラークォークやスカラーレプトンがその後のダイナミクスで凝縮を起こし、その際にバリオン非対称を生成する。バリオン数を持ったスカラー場の内部空間での角運動量がバリオン数密度に対応するためである。この機構の利点は、比較的低いエネルギースケールでバリオン非対称を作ることができ、それによりグラビティーノと呼ばれる超対称性理論に現れる粒子を大量に生成してしまうことにより生じる「グラビティーノ問題」が回避可能であることである。AD 機構に伴って、スカラー場が空間的に局在化した Q ボールと呼ばれる非位相的ソリトンが生成されることが知られている。 Q ボールはバリオン $U(1)$ 対称性によってその存在と安定性が保証されているが、暗黒物質となる可能性が指摘される等、多くの注目を集めてきた。さらに近年、その Q ボール生成の際に発生する重力波が現在計画されている DECIGO、BBO などの重力波干渉計で検出可能ではないかという議論が行われている。もしこのような重力波が検出できれば、これまで皆無であったバリオン数生成機構の観測的証拠になり、非常に重要な研究対象であるといえる。そこで本博士論文では、現在知られているほぼすべての Q ボール生成シナリオにおいて、どのようなパラメータで重力波が将来計画の検出感度に達しうるかを網羅的に調べた。これにより Q ボール由来の重力波の観測が宇宙論、素粒子論にどのような意味を持つかが明らかになるためである。重力波の検出可能性は、その生成時の大きさとその後の宇宙の熱史によって決まるが、一般に生成時に大きな重力波を発生するような Q ボールは、それ自体がその後宇宙のエネルギーを支配してしまい、その間にせっかく作った重力波を薄めてしまうことに注意する。その結果、ほぼすべてのシナリオにおいて、重力波が検出感度に達することはなく、唯一熱的ポテンシャルで Q ボールが作られるときのみ、重力波が検出しうるようなパラメータ領域が非常に小さくはあるが存在することを示した。逆に、もしこのような重力波が観測されれば宇宙論および素粒子論に伴う様々なパラメータがほぼ一意に決定されることになるが、このパラメータ領域では現在のバリオン数を説明することは非常に難しく、バリオン数生成に必要な CP の破れに微調整が必要であることを示した。

MSSM A タームインフレーションは、最小超対称標準模型 (MSSM) に存在する平坦方向に沿ったスカラー場の運動によってインフレーションを起こす模型である。平坦方向に沿ったスカラー場のポテンシャルは、ポテンシャルの微調整を行うことによって鞍点を持ち得、そこにスカラー場がとどまることによってポテンシャルエネルギーを用いて宇宙を加速度的に膨張させることができる。しかし、この模型が働くためにはスカラー場がその鞍点に一樣静的に値を非常に精確に取らなければならない。ポテンシャルの微調整は何らかの対称性を課すことによって正当化できるがこの初期値の微調整は正当化するのが難しい。そこで本博士論文では、MSSM A タームインフレーションより前の熱揺らぎ、および量子揺らぎをもった現実的な宇宙の初期状態を考え、MSSM A タームインフレーションがどのような状況下で実現しうるかを調べた。その結果、熱揺らぎ、量子揺らぎはスカラー場の配位の一様性を壊す方向に働き、MSSM A タームインフレーションを起こすにはそれ以前の適切な時期に適切な別のインフレーションが無ければならないことを示した。

本博士論文では、AD 機構の伴う Q ボール生成と MSSM A タームインフレーションという MSSM 平坦方向に伴う初期宇宙で起こった現象についてより深い考察を加えた。我々はまだ初期宇宙で何が起こったか、そして MSSM がそこでどのような役割を果たしたかについて十分な理解は出来ていない。しかし、本博士論文での研究によりそれらに対する新たな知見が得られたといえよう。