

これまでの研究成果のまとめ

一般相対性理論により、宇宙そのものが物理学の対象として研究できるようになった。我々の宇宙には銀河やその集まりである銀河団などが非一様に分布している。しかし、十分大きなスケールで平均化すると一様な分布と見なすことができる。アインシュタイン方程式の、空間的に一様・等方な解はロバートソン・ウォーカー解である。この解から得られるフリードマン宇宙モデルは観測結果をよく再現するため、我々の宇宙を記述するものとして支持されている。

フリードマン宇宙モデルにより、膨張する宇宙という新たな宇宙像がもたらされた。膨張宇宙において任意の領域をとると、その膨張則は宇宙が厳密に一様・等方であるか近似的にそうであるかに依存する。

非一様宇宙の膨張率に関して、これまで様々な研究がなされて来たが、それらは非一様性がフリードマン宇宙からの摂動として扱える場合に限定されていた。摂動には成長するモードが存在するため、非一様性が非摂動的になることは一般的である。論文1ではスイスチーズ (SC) 宇宙モデルという非一様な宇宙モデルを構成して、宇宙膨張がどのような影響を受けるかについて調べた。

SC 宇宙モデルはフリードマン宇宙にトールマン・ボンディ (TB) 解を埋め込むことによって構成される。TB 解はダスト流体で満たされた球対称時空を記述するので、局所的に非一様な物質分布を記述することができる。この宇宙モデルには次の2つの特徴がある:

- 宇宙モデル全体として、アインシュタイン方程式の厳密解である。
- 宇宙初期には非一様性が摂動的である。

宇宙初期で非一様性が摂動として表すことができるので、摂動論に基づいた研究結果と比較することができる。

この宇宙モデルで体積の膨張率を計算した結果、次のことが分かった:

- 宇宙初期の非一様性が摂動的な場合、膨張率は減速される。
- 十分時間発展すると、非一様性が体積の膨張率に及ぼす影響がゼロになる。

宇宙初期での結果は、これまでの摂動論に基づく結果と一致するものである。十分時間発展すると非一様性の影響がゼロになる過程で、体積が収縮し、再び膨張に転じることが分かった。