

Lagrange 的摂動論における修正モデルと圧力の効果

立川崇之

tatekawa@gravity.phys.waseda.ac.jp

早稲田大学理工学部物理学科

宇宙の大規模構造形成に際し、Lagrange 的記述による摂動論が準非線形段階でもよい近似を与える事が知られている [1–3]。オリジナルは Zel'dovich [1] によって 1970 年に発表された Zel'dovich 近似であるが、このモデルでは物質を圧力の働かないダスト流体として扱っており、密度が発散すると以後の時間発展を追う事が出来なくなる。そのため、密度発散を回避する事を目的として Adhesion 近似 [4] や Truncated Zel'dovich 近似 [5, 6] が提案されたが、これらの修正モデルにおける修正の物理的意味が明らかにされなかった。

我々は Buchert and Domínguez [7] が考察した、等方的速度分散が有効的な圧力、あるいは粘性を与えるという議論、さらにその後 Adler and Buchert [8] によって示された圧力入り流体の Lagrange 的記述をもとに、摂動解を導出した [9, 10]。

本シンポジウムでは圧力入り流体の Lagrange 的記述による発展方程式を解き、過去の修正モデルとの対応を議論する。また、圧力入りの Lagrange 的近似で、線形摂動がどの程度有効であるかを、数値解との比較から議論を行った。

Adhesion 近似との比較では、球対称モデルを考えた。一様球対称なダストの崩壊については過去に結果が報告されているが [11, 12]、今回は圧力などの不連続を避けるために、Mexican hat タイプの非一様球対称な質量分布を与えた。まずダストでの成長を、三次までの摂動解 [13, 14] を用いて比較し、過去の結果と同じ傾向を与える事を確認した。次に圧力入りのモデルの線形近似と、フルオーダーの計算を行い、Adhesion 近似の結果と比較した [15]。この結果、粘性項の起源を圧力の効果では十分に説明しきれない事が分かった。また、圧力入りのモデルの場合も、密度ゆらぎが 1 程度である準非線形段階までは、線形近似が割と良さそうである事が分かった。

また、圧力は小スケールのゆらぎの成長を特に抑えるため、Truncated Zel'dovich 近似と類似しているのではないかと考えた [16]。だが、Truncated Zel'dovich 近似は初期密度ゆらぎのスペクトルに依存したカットオフを導入するのに対し、圧力のモデルは初期条件に依存しない状態方程式を導入するため、対応を検討するには与える状態方程式についてどのようなものが妥当であるかを考察する必要がある。

簡単な場合を仮定して、我々は圧力入りのモデルで三次の摂動解を導出し、この解の振る舞いを、空間一次元モデルで解析した [17]。解析では、密度が発散する直前で、高次の効果が明らかになる。これは一次元モデルでは、高次の効果は圧力でしか現れないためである。しかし一般には、高次の効果は重力でも現れるため、非線形段階で高次の摂動は重要となると考えられる。

圧力を考慮した Lagrange 的摂動論について、次のような応用が考えられる。最近、様々なダークマター、ダークエネルギーのモデルが提唱されている。もしダークマターの特別な相互作用が、有効的に圧力で記述されたら、圧力入りモデルの線形解は密度ゆらぎの発展の解析に応用できるのではないだろうか。将来の観測計画では、high- z の銀河の三次元分布の調査が含まれている。この領域では現在ほど密度ゆらぎが大きくないため、摂動的なアプローチも有効になるのではないだろうか。そこで Lagrange 的摂動論を用いて、特別な相互作用を圧力で記述したとすると、観測との比較から我々はダークマターモデルに制限を与えられるのではないかと期待できる。

-
- [1] Ya. B. Zel'dovich, *Astron. Astrophys.* **5**, 84 (1970).
 - [2] P. Coles and F. Lucchin, *Cosmology: The Origin and Evolution of Cosmic Structure* (John Wiley & Sons, Chichester, 1995).
 - [3] T. Tatekawa, astro-ph/0412025.
 - [4] S. N. Gurbatov, A. I. Saichev, and S. F. Shandarin, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **236**, 385 (1989).
 - [5] P. Coles, A. L. Melott, and S. F. Shandarin, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **260**, 765 (1993).
 - [6] A. L. Melott, T. F. Pellman, and S. F. Shandarin, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **269**, 626 (1994).
 - [7] T. Buchert and A. Domínguez, *Astron. Astrophys.* **335**, 395 (1998).
 - [8] S. Adler and T. Buchert, *Astron. Astrophys.* **343**, 317 (1999).
 - [9] M. Morita and T. Tatekawa, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **328**, 815 (2001).
 - [10] T. Tatekawa, M. Suda, K. Maeda, M. Morita, and H. Anzai, *Phys. Rev.* **D66**, 064014 (2002).
 - [11] D. Munshi, V. Sahni, and A. A. Starobinsky, *Astrophys. J.* **436**, 517 (1994).
 - [12] V. Sahni and S. F. Shandarin, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **282**, 641 (1996).
 - [13] F. R. Bouchet, S. Colombi, E. Hivon, and R. Juszkiewicz *Astron. Astrophys.*, **296**, 575 (1995).
 - [14] P. Catelan, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **276**, 115 (1995).
 - [15] T. Tatekawa, *Phys. Rev.* **D70**, 064010 (2004).
 - [16] T. Tatekawa, *Phys. Rev.* **D69**, 084020 (2004).
 - [17] T. Tatekawa, submitted to *Phys.Rev.D*.