

# Lagrange 的摂動論による宇宙の構造形成での速度分散の効果

立川 崇之<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> 早稲田大学理工学部物理学科

宇宙の大規模構造形成における解析的手法では、1970年に Zel'dovich [1] によって提案された Lagrange 的摂動論が、準非線形領域でも良い近似になる事が知られている。しかしこのダスト流体を扱う摂動論は、密度発散が生じると以後の発展を追う事が出来なくなるという問題点があった。そのため、発散を防ぐ修正理論として Adhesion 近似 [2] や Truncated Zeldovich 近似 [3, 4] 等が提案されたが、この修正の物理的意味は明らかではなかった。

その後 Buchert & Domínguez [5] により、従来の Lagrange 的摂動論で無視されていた、速度分散の効果を検討した場合の構造形成の議論がなされている。彼等は等方的速度分散を考慮すると、その効果は有効な圧力として働き、いくつかの仮定の下で圧力は質量密度の  $5/3$  乗に比例する事を示した。次いで Adler & Buchert [6] により、圧力の効果を取り入れた Lagrange 的摂動論の基礎方程式が示された。我々は圧力がポリトロップ型の状態方程式で与えられる事を仮定し、まず E-dS 宇宙モデルでの任意のポリトロップ指数  $\gamma$  に対する一次の摂動解を導出し [7]、特に  $\gamma = 4/3$  である時の一次と二次の摂動解の振る舞いの違いを議論した [8]。次に一般的な一様等方宇宙モデルでの一次の摂動解を導出し、E-dS 宇宙モデルでの、 $\gamma = 5/3$  の場合の二次の摂動解の振る舞いを議論した。我々の過去の解析により、 $\gamma$  の値が大きいほど、二次の摂動の効果小さくなる事が分かった。

本発表では速度分散の効果が構造形成の結果をどの程度改善するかを定量的に調べた。具体的には E-dS 宇宙モデルにおいて  $P(k) \propto k^n$  ( $n = -1, 0, 1$ ) なるスペクトルで表される初期密度ゆらぎを与え、このゆらぎを N 体シミュレーション [9] と摂動解で発展させ、互いの密度ゆらぎについて次式で与えられる cross-correlation を求めた。

$$S \equiv \frac{\langle \delta_{N\text{-body}} \delta_{\text{approx}} \rangle}{\sigma_{N\text{-body}} \sigma_{\text{approx}}}$$

状態方程式には比例定数が含まれるがこの値は未定のため、値をいくつかの場合に変えて調べた。

この結果、 $\gamma = 4/3$  の場合には比例定数により構造形成が改善されるどころか大きくずれる事があるが、 $\gamma = 5/3$  の場合には特に比例定数に依らず、ダスト解である Zel'dovich 近似よりも改善される事が分かった。

- 
- [1] Ya. B. Zel'dovich, *Astron. Astrophys.* **5**, 84 (1970).
  - [2] S. N. Gurbatov, A. I. Saichev, and S. F. Shandarin, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **236**, 385 (1989).
  - [3] P. Coles, A. L. Melott, and S. F. Shandarin, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **260**, 765 (1993).
  - [4] A. L. Melott, T. F. Pellman, and S. F. Shandarin, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **269**, 626 (1994).
  - [5] T. Buchert and A. Domínguez, *Astron. Astrophys.* **335**, 395 (1998).
  - [6] S. Adler and T. Buchert, *Astron. Astrophys.* **343**, 317 (1999).
  - [7] M. Morita and T. Tatekawa, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **328**, 815 (2001).
  - [8] T. Tatekawa et al., *Phys. Rev.* **D66**, 064014 (2002).
  - [9] COSMICS Website: <http://arcturus.mit.edu/cosmics/>

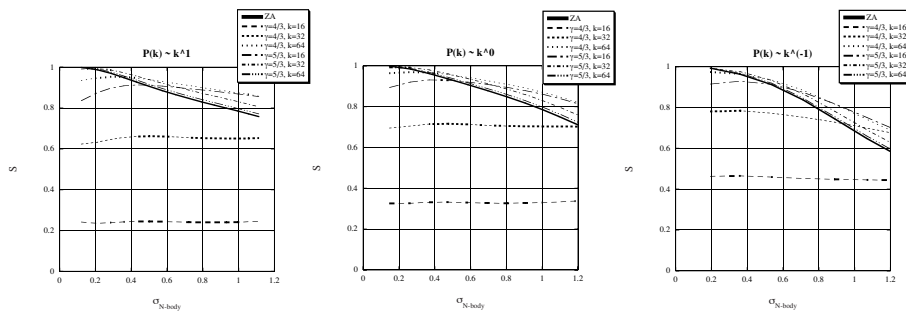


FIG. 1: 密度ゆらぎの cross-correlation . 左から  $n = 1, 0, -1$  の初期密度ゆらぎを与えた場合の結果を示す .

---

\*Electronic address: [tatekawa@gravity.phys.waseda.ac.jp](mailto:tatekawa@gravity.phys.waseda.ac.jp)