

|       |       |
|-------|-------|
| 受付 ID | 17a40 |
| 分野    | 宇宙    |

## 宇宙大規模構造形成におけるニュートリノの力学的影響

### Dynamical Effect of Cosmological Neutrinos on the Formation of Large-Scale Structure in the Universe

吉川耕司

筑波大学 計算科学研究センター

#### 1. 研究目的

銀河・銀河団・宇宙の大規模構造などの無衝突自己重力系の数値シミュレーションでは、その質量の大半を占めるダークマターの運動を記述するのに、ダークマター素粒子の位相空間分布をサンプリングして超粒子近似によって計算するN体シミュレーションが用いられ、これまでに一定の成功を収めてきた。しかしながら、N体シミュレーションでは超粒子近似したことによる人工的なショットノイズや、運動量空間を十分にサンプリングできないことによって密度揺らぎの無衝突減衰などの分布のテール部分にある粒子が重要な役割を果たす物理過程を正しく計算できないという欠点の本質的に内在する。

本研究では、宇宙大規模構造形成におけるニュートリノのダイナミクスをVlasov方程式の直接数値積分による数値シミュレーション(Vlasovシミュレーション)で解明することを目的とする。特に、2017年度では2016年度に開発した空間7次精度の高精度な計算スキームを用いることで、宇宙大規模構造形成でのニュートリノの数値シミュレーションを世界で初めてVlasovシミュレーションによって高精度に行うことを目的とする。

#### 2. 研究成果の内容

ニュートリノが質量を持つ場合の宇宙大規模構造の大規模なVlasovシミュレーションを行い、ニュートリノ質量が宇宙大規模構造の空間構造の統計量に与える影響を調査した。特に、宇宙大規模構造の密度揺らぎのパワースペクトル・cold dark matterのダークマターハローの質量関数のニュートリノ質量による影響に着目した。密度揺らぎのパワースペクトルについては、線形摂動理論との比較を行い小スケールの密度揺らぎについては摂動理論との有意な乖離を確認した。また、ダークマターハローの質量関数についてはニュートリノ質量が大きくなると銀河団スケールのダークマターハローの数密度が下がることを発見した。

### 3. 学際共同利用として実施した意義

本研究では、6次元位相空間での分布関数の時間発展をとく Vlasov シミュレーションを行ったが、そのような数値シミュレーションは膨大なメモリ容量と計算コストを必要とするため Oakforest-PACS システム及び COMA システムのような大規模なスーパーコンピュータシステムを用いることで世界で初めて可能となった。その点で、学際共同利用として実施した意義は大きいといえる

### 4. 今後の展望

来年度以降は、ニュートリノ質量に加えてのニュートリノの質量階層が宇宙大規模構造形成に及ぼす影響について調査する。また、ニュートリノと cold dark matter の相対速度によって生じると予言される密度揺らぎの二点相関関数の双極子成分とその観測可能性について調査する。

### 5. 成果発表

#### (1) 学術論文

- Tanaka, S., Yoshikawa, K., Minoshima, T., Yoshida, N., “Multidimensional Vlasov–Poisson Simulations with High-order Monotonicity and Positivity-preserving Schemes”, 2017, *The Astrophysical Journal*, 849, 76

#### (2) 学会発表

- 吉川耕司, “Vlasov-Poisson シミュレーションによる宇宙大規模構造形成におけるニュートリノの力学的影響”, 日本天文学会 2017 年秋季年会、北海道大学
- Yoshikawa, K., “Vlasov-Poisson simulation of collisionless self-gravitating systems and its application to cosmological neutrinos in the large-scale structure of the universe”, “Collisionless Boltzmann (Vlasov) Equation and Modeling of Self-Gravitating Systems and Plasmas”, Oct. 30 – Nov. 3, 2017, Centre International de Rencontres Mathématiques (CIRM), Marseille, France

#### (3) その他

- プレスリリース: “ニュートリノや宇宙プラズマのシミュレーション精度が飛躍的に向上 - ブラソフ方程式の高精度数値解法を開発”, 2017 年 11 月 13 日  
URL: <https://www.ccs.tsukuba.ac.jp/press171113/>
- 寄稿: “宇宙空間に広がる素粒子の運動を探る - ブラソフ方程式の高精度シミュレーション”, *academist Journal*, 2018 年 1 月 4 日  
URL: <https://academist-cf.com/journal/?p=6735>

| 使用計算機                       | 使用計算機<br>に○ | 配分リソース※ |       |
|-----------------------------|-------------|---------|-------|
|                             |             | 当初配分    | 追加配分  |
| HA-PACS/TCA                 |             |         |       |
| COMA                        | ○           | 51840   |       |
| Oakforest-PACS              | ○           | 40000   | 20000 |
| ※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。 |             |         |       |