

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：12501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12031

研究課題名(和文) エクサスケールに向けた、新しい重力多体シミュレーションフレームワークの構築

研究課題名(英文) Developing a new framework of gravitational N-body simulations for exascale computing

研究代表者

石山 智明 (Ishiyama, Tomoaki)

千葉大学・統合情報センター・准教授

研究者番号：90616426

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、重力多体シミュレーションからポスト処理をシームレスに実行できる、新しいシミュレーションのフレームワークを構築することである。

3次元空間情報を利用した構造検出コードをダークマター構造形成シミュレーションコードに結合させることで中間ファイルを削除し、必要なストレージ量を大幅に削減することを可能にした。またハロー合体形成史の大規模データを、データベースシステムを介してダウンロードできるようにした。個々のユーザがハローのプロパティの選択や、プロパティの値の範囲などの条件を指定できるようにし、条件を満たしたデータのみダウンロードを可能にした。

研究成果の概要(英文)：We develop a new framework of gravitational N-body simulations that enable to conduct numerical simulations and their post analysis seamlessly.

By combining a halo finding code with three-dimensional positions of simulation particles and that of cosmological N-body simulation, it becomes possible to reduce the data size for raw particle data significantly. We also made it possible to download the big dataset of halo/subhalo merger trees by means of database system. Each user can select properties downloaded and ranges of their value, which enables to download fast.

研究分野：シミュレーション天文学

キーワード：高性能計算 並列処理 分散処理 データベース 天文

1. 研究開始当初の背景

日本が誇る「京」コンピュータは2011年に世界スーパーコンピュータ性能ランキングでトップの座を獲得し、シミュレーションの大規模化が飛躍的に進んだ。一方、シミュレーションの大規模化はデータサイズを肥大化させており、ポスト処理にかかる時間やストレージのサイズがシミュレーションのさらなる大規模化を阻んでいる。さらにスパコンの演算性能の進化に比べて、ストレージ容量の増加のペースは緩やかであり、この状況はポスト「京」のエクサスケールでは一層深刻化する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、我々がこれまでに「京」上で開発、最適化してきた一連のコードをベースにした、シミュレーションからポスト処理、データベース化をシームレスに実行できる、次世代の大規模重力多体シミュレーションのフレームワークを構築することである。大規模でありながら、必要なストレージ容量を抑えたシミュレーションを可能にし、エクサスケールのパワーを最大限活かしたサイエンスを早期に進めることができる体制を整える。

3. 研究の方法

重力多体シミュレーションの中でも比較的大規模な、ダークマター構造形成シミュレーション、およびそのポスト処理は典型的には以下の手順で逐次的に行われてきた。(a) シミュレーションを行い、50~100の時刻で全粒子データを保存する。(b) 各時刻のデータから、銀河や銀河団を宿す高密度なダークマター構造(ハロー)を検出する。(c) ハローの情報を基に、準解析的モデル等を用いて、銀河形成や星形成の物理過程をモデル化する。

本研究では friends-of-friends (FoF) と呼ばれるアルゴリズムを採用した(b)の構造検出コードを、(a)のシミュレーションコードと結合し最適化することで、一連の処理をシームレスに実行できるようにし、大容量中間ファイルを削除する。そして保存するデータ量を飛躍的に減らすことを可能にする。また構造検出の出力であるハローのカタログや、その進化史である合体形成史はそれ自体が重要で、高い再利用性を秘めている。そこで世界中の研究者が利用できるようにデータベース化し、WEBアプリケーション経由でダウンロードできるようにする。カタログにはハローの位置情報や質量、サイズ、内部構造などの多くの物理量を含める。

4. 研究成果

構造検出、合体形成史構築といったポスト処理用のコードの最適化を進め、FoFを採用した構造検出コードをシミュレーションコードに結合し、シミュレーションから構造検出をシームレスに実行できるようにした。その結果中間ファイルを削除し、必要なストレージ量を大幅に削減することを可能にした。

次に、6次元位相空間情報を利用した発展的な構造検出アルゴリズムを採用した

Rockstar と呼ばれる公開コード

(<https://bitbucket.org/gfstanford/rockstar>) を、これまでに得られたいくつかの大規模ダークマター構造形成シミュレーションに適用した。高精度なダークマターハローカタログや、サブハロー込みの合体形成史のビッグデータ群を構築し、世界中の研究者が利用できるようにインターネット上に公開した。

またこれらデータを単にインターネット上に公開するだけでなく、WEBアプリ経由でデータベースシステムと連携できるようにした(図1、2:

<http://hpc.imit.chiba-u.jp/~ishiytm/db.html/>)。データベースにはMySQL、WEBアプリはオープンソースのAdminer editor を使用した。これにより個々のユーザがハローのプロパティの選択や、プロパティの値の範囲などの条件を指定できるようにし、条件を満たしたデータのみダウンロードを可能にした。データ転送時間やストレージ消費量を抑えることが可能となった。データにはハローの時刻、識別子、ハロー・サブハロー関係、さまざまな定義による質量とサイズ、内部構造をあらゆる複数のパラメータ、位置情報などの多くの物理量だけでなく、進化史や合体の履歴を辿るための子孫の情報などが含まれている。

公開しているデータはひとつのシミュレーションから得られたものだけでなく、空間サイズやひとつのシミュレーションダークマター粒子の質量が異なる複数のものから構成される。そうすることで、質量スケールに換算しておよそ8桁にもおよぶ範囲でのハローの構造形成史をダウンロードすることが可能となっている。初期宇宙から現在にわたって、矮小銀河から銀河団におよぶ多種多様な天体の形成、進化過程、そして空間分布を調べることができる大規模データベースである。

次にこれまで構築してきた FoF ハローカタログへの準解析的銀河、活動銀河核形成モデルの適用を進め、その結果をまとめた論文が Publications of the Astronomical Society of Japan 誌に出版された。そしてそれをういた種ブラックホールの質量制限に関する論文が Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 誌にて出版された。またクエーサーの輻射効率がクラスター

グに対して与える影響を評価した。観測で得られるクラスタリングの情報から、銀河中心超巨大ブラックホール周りの降着円盤のモデルに制限が付けられることが示唆された。この結果をまとめた論文が Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 誌にて出版された。

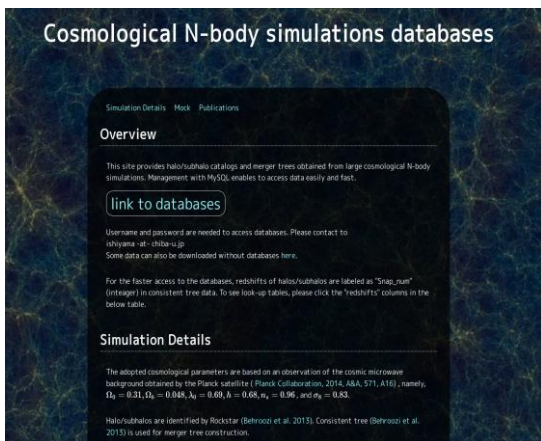


図 1: データベースサイトのフロントページ (<http://hpc.imit.chiba-u.jp/~ishiytm/db.html/>)

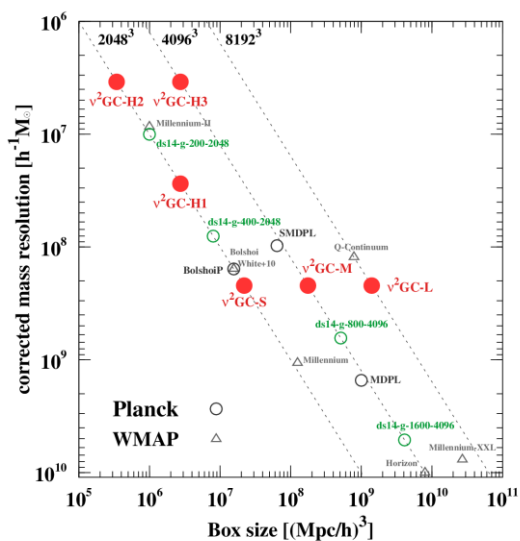


図 2: 公開しているデータのスペック。横軸はシミュレーションの空間体積を、縦軸は 1 粒子の質量を表す。シンボルは採用している宇宙論パラメータの違いをあらわし、丸は最新の観測結果を反映している。赤丸が研究代表者がこれまでに行ってきた大規模ダークマター構造形成シミュレーションである。赤丸以外は世界の他のグループによってなされたシミュレーションをあらわす。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① "Imprints of the super-Eddington accretion on the quasar clustering", Oogi, T., Enoki, M., Ishiyama, T., Kobayashi, M. A. R., Makiya, R., Nagashima, M., Okamoto, T., Shirakata, H., 2017, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 471, pp. L21-L25, 10.1093/mnras/slx102, 査読あり
- ② "Theoretical re-evaluations of the black hole mass-bulge mass relation - I. Effect of seed black hole mass", Shirakata, H., Kawaguchi, T., Okamoto, T., Makiya, R., Ishiyama, T., Matsuoka, Y., Nagashima, M., Enoki, M., Oogi, T., Kobayashi, M. A. R., 2016, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 461, pp. 4389-4394, 10.1093/mnras/stw1798, 査読あり
- ③ "The New Numerical Galaxy Catalog: An updated semi-analytic model of galaxy and active galactic nucleus formation with large cosmological N-body simulations", Makiya, R., Enoki, M., Ishiyama, T., Kobayashi, M. A. R., Nagashima, M., Okamoto, T., Okoshi, K., Oogi, T., Shirakata, H., 2016, Publications of the Astronomical Society of Japan, 68, pp. 25, 10.1093/pasj/psw005, 査読あり
- ④ "Quasar clustering in a galaxy and quasar formation model based on ultra high-resolution N-body simulations", Oogi, T., Enoki, M., Ishiyama, T., Kobayashi, M. A. R., Makiya, R., Nagashima, M., 2016, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 456, pp. L30-L34, 10.1093/mnras/slv169, 査読あり
- ⑤ "Mass and size growth of early-type galaxies by dry mergers in cluster environments", Oogi, T., Habe, A., Ishiyama, T., 2016, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 456, pp. 300-313, 10.1093/mnras/stv2581, 査読あり

[学会発表] (計 8 件)

① 石山智明, 「大規模宇宙論的 N 体シミュレーション・データベースの公開」, 日本天文学会 2017 年秋季年会, 2017

② 石山智明, 「大規模宇宙論的 N 体シミュレーション・データベースの公開」, 平成 29 年度国立天文台天文シミュレーションプロジェクト ユーザーズミーティング, 2017

③ 石山智明, 「大規模宇宙論的 N 体シミュレーション」, 素粒子・原子核・宇宙「京からポスト京に向けて」シンポジウム, 2017

④ 石山智明, 「Supercomputer Simulations of Structure Formation in the Universe」, IAU Symposium 325 Astroinformatics, 2016

⑤ 石山智明, 「The v²GC simulations: Quantifying the dark side of the universe in the Planck cosmology」, The 7th East-Asian Numerical Astrophysics Meeting, 2016

⑥ 石山智明, 「様々なアーキテクチャのスーパーコンピュータ上における大規模シミュレーション、プログラム最適化」, 電子情報通信学会 FIIS 研究会, 2016

⑦ 石山智明, 「The v²GC Simulations: Quantifying the Dark Side of the Universe in the Planck Cosmology」, IAU General Assembly Meeting, 2015

⑧ 石山智明, 「High Resolution Simulations for Hierarchical Formation of Dark Matter Halos Hosting Galaxies and AGNs at High Redshift」, IAU General Assembly Meeting, 2015

[その他]

ホームページ等

<http://hpc.imit.chiba-u.jp/~ishiytm/db.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石山 智明 (ISHIYAMA, Tomoaki)

千葉大学・統合情報センター・准教授

研究者番号: 90616426