



東京工業大学
Tokyo Institute of Technology

2012年11月9日

国立大学法人筑波大学
独立行政法人理化学研究所
国立大学法人東京工業大学

スーパーコンピュータ「京」による世界最大規模のダークマターシミュレーションに成功 ーゴードン・ベル賞ファイナリストにノミネート

概要

筑波大学計算科学研究センターの石山智明研究員を中心とする研究グループは、理化学研究所のスーパーコンピュータ「京」*1を用いて、約2兆個のダークマター粒子の重力進化の計算に成功しました。1兆粒子を越す規模のダークマターシミュレーションは世界最大であり、専用のアプリケーションを開発した上で「京」全体の約98%を使用し、実効性能5.67ペタフロップス（1秒間に0.567京回計算）を達成しました。

宇宙には、普段われわれが目にする物質のほかに、質量にして5倍ほどのダークマターが存在します。ダークマターの重力進化を解明することは、宇宙の形成過程を明らかにすることにつながります。この計算は現在も進行中で、終了すると、現存する銀河のダークマターの微細構造やその成長過程が明らかになり、ダークマター粒子の観測方法の改良にもつながります。

本研究の初期成果はゴードン・ベル賞のファイナリストとしてノミネートされています。11月10日～16日に米国・ソルトレイクシティで開催される国際会議SC12において、最高性能賞ほかが発表されます。

1. 背景

石山智明研究員らは、HPCI戦略プログラム分野5「物質と宇宙の起源と構造」開始当初の2011年度から、実アプリケーションによるスーパーコンピュータ「京」の性能確認を行うための最適な計算手法とアプリケーション開発を進めてきました。これまでに、宇宙におけるさまざまな物質の重力的な進化をシミュレーションすることができるTreePM法の高並列アプリケーション*2を開発しました。今回、そのアプリケーションを用いて、初期宇宙のダークマター*3分布の進化を、実際に「京」を使って計算を行いました。

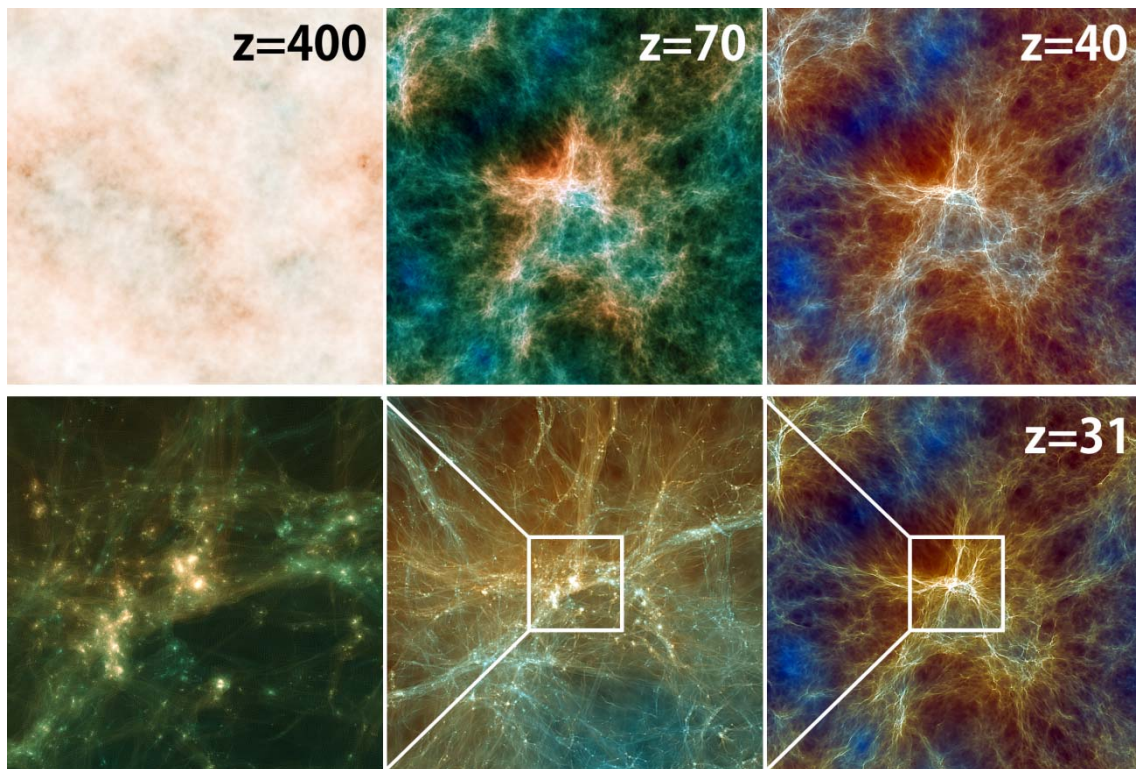


図1 宇宙初期のダークマター密度分布

明るさはダークマターの空間密度を表し、明るいところは密度が高くなっています。宇宙が生まれてすぐはほぼ一様（上段左）ですが、時間が経つにつれて（順番に右へ）重力により集まり、大きな構造が形成されていきます。 z は赤方偏移の量を表し、天文学では時間や距離の尺度として用いられます。 z が大きいほど過去を見ていることになり、上段左の $z=400$ は宇宙誕生から約200万年後（1辺約5光年）、下段右の $z=31$ は誕生から約1億年後（約136億年前、1辺約65光年）の宇宙の姿を表しています。下段の3枚はすべて $z=31$ で、下段右の中心部を拡大したものが下段中、さらに中心部を拡大したものが下段左です。

2. 研究手法と結果

「京」全体の約98%（81,408ノード）を用いて、約2兆個のダークマター粒子の重力進化を計算しました。その結果、実効性能*45.67ペタフロップス（1秒間に0.567京回の演算性能）を得ることができました（実行効率約55%）。この結果を、米国・ソルトレイクシティで11月10日～16日に開催される「ハイ・パフォーマンス・コンピューティング（高性能計算技術）に関する国際会議 SC12（International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis）」で発表する予定です。本研究の初期成果は、ゴードン・ベル賞*5のファイナリストとしてノミネートされています。

今年のゴードン・ベル賞の審査では、5件の論文がファイナリスト（日本からは本論文のみ）に選ばれました。SC12会期中に最高性能賞ほかの受賞グループが決定されます。ゴードン

ン・ベル賞のファイナリストに選出されたことは、今回開発したアプリケーションの実用的価値と「京」の実運用での性能が高く評価された結果といえます。

計算対象とするダークマターは、最新の「低温ダークマターモデル」によると、普段我々が目にする原子や分子のようなバリオンと呼ばれる物質と比べ、全宇宙におよそ 5 倍の質量で存在すると考えられています。それが、宇宙の重力的な構造形成、進化に重要な役割を果たしてきました。ダークマターの重力によってバリオンが集まり、現在観測される多種多様な銀河が生まれ出されてきたと考えられています。

今回開発したアプリケーションによって、数兆個におよぶダークマター粒子の重力進化が実用的な時間内にシミュレーションできることを世界で初めて示しました。1 兆粒子を超える規模のダークマターシミュレーションは世界最大規模であり、パソコン 1 台で数百年かかる計算が、「京」ではわずか 3 日程度で可能になりました。これは、より微細なダークマター構造を解明できることを意味しており、ダークマター粒子の探査、そして正体解明のために重要です。

アプリケーション開発に用いた **TreePM** 法は、粒子間の重力相互作用を高速に解くアルゴリズムの一つです。この方法では、近距離力を **Tree** 法、遠距離力を **Particle-Mesh (PM)** 法で計算します。21 世紀に入ってから **TreePM** 法を採用したアプリケーションは世界のいくつかのグループで開発されており、これまでに、およそ 1000 並列度まで対応した並列化が報告されていました。今回、遠距離力の計算の際に発生する大データの通信を高速に行う新しいアルゴリズムを開発するなどの最適化を行い、少なくとも 10 万近い並列度まで非常に効率良く動作する **TreePM** アプリケーションの開発に成功しました。

開発にあたっては、研究グループ内の、理化学研究所 計算科学研究機構 (AICS)・似鳥啓吾研究員、および東京工業大学大学院理工学研究科 理学研究流動機構・牧野淳一郎教授の協力を得ました。

3. 今後の期待

本研究は、スーパーコンピュータ「京」による実アプリケーションが評価され、ゴードン・ベル賞のファイナリストに選ばれました。このことは、今後の科学技術の発展に「京」が大きく寄与することを、国際的な学会が認めたことを意味します。

引き続き、宇宙のダークマター微細構造をこれまでにない精密さで解明していきます。また、今回開発したアプリケーションを、圧縮性流体のための計算法である **SPH** 法などのより複雑な物理を扱うアルゴリズムと組み合わせ、星形成、銀河形成など、「京」がもたらす宇宙の構造形成過程に関する科学的成果の早期創出に向けて、貢献していきます。

用語解説

*1 スーパーコンピュータ「京（けい）」

文部科学省が推進する革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ (HPCI) の中核システムとして、理研と富士通が共同で開発を行い、2012年9月に共用を開始した、計算速度10ペタフロップス級のスーパーコンピュータ。「京（けい）」は理研の登録商標で、10ペタ（10の16乗）を表す万進法の単位であるとともに、この漢字の本義が大きな門を表すことを踏まえ、「計算科学の新たな門」という期待も込められています。

*2 高並列化アプリケーション

並列数の高い計算機で効率よく実行できるプログラムです。

*3 ダークマター

重力相互作用だけが働く物質で、素粒子としての正体は解明されていません。宇宙初期に存在したダークマターの密度揺らぎが重力相互作用により成長して、至るところにさまざまなサイズの天体を形成し、その中でバリオンを集め、現在の宇宙で観測される銀河のような構造を作ってきたという理論「低温ダークマターモデル」があります。これが、宇宙の構造形成を記述する標準的なモデルとして広く受け入れられています。

*4 実効性能

理論性能であるピーク性能に対して、あるアプリケーションを実行したときの計算性能を実効性能といいます。計算機の実質的な性能とされます。

*5 ゴードン・ベル賞

ゴードン・ベル賞 (ACM Gordon Bell Prize) は、計算機設計者として著名な米国のゴードン・ベル氏により、並列計算機技術開発の推進のため1987年に創設されました。米国計算機学会 (ACM、1947年設立) によって運営され、毎年11月に開催されるハイ・パフォーマンス・コンピューティング (高性能計算技術) に関する国際会議 SC で、ハードウェアとアプリケーションの開発において最も優れた成果を上げた論文に与えられます。

論文

Ishiyama, T., Nitadori, K., Makino, J., 4.45 Pflops Astrophysical N-Body Simulation on K computer - The Gravitational Trillion-Body Problem, accepted in Proceedings of the 2012 ACM/IEEE conference on Supercomputing (SC12), Salt Lake City, Utah, USA, Nov 2012

問い合わせ先

国立大学法人筑波大学 計算科学研究センター（神戸分室） 石山智明

報道担当：

国立大学法人筑波大学 計算科学研究センター 広報室 吉戸智明

TEL：029-853-6260 FAX：029-853-6260 E-MAIL：pr@ccs.tsukuba.ac.jp

独立行政法人理化学研究所 計算科学研究機構 広報国際室 岡田昭彦

TEL：078-940-5625 FAX：078-304-4964 E-mail：aics-koho@riken.jp

独立行政法人理化学研究所 広報室 報道担当

TEL：048-467-9272 FAX：048-462-4715

国立大学法人東京工業大学広報センター

TEL：03-5734-2975 FAX：03-5734-3661 E-mail：hyo.koh.sya@jim.titech.ac.jp