PRESS RELEASE

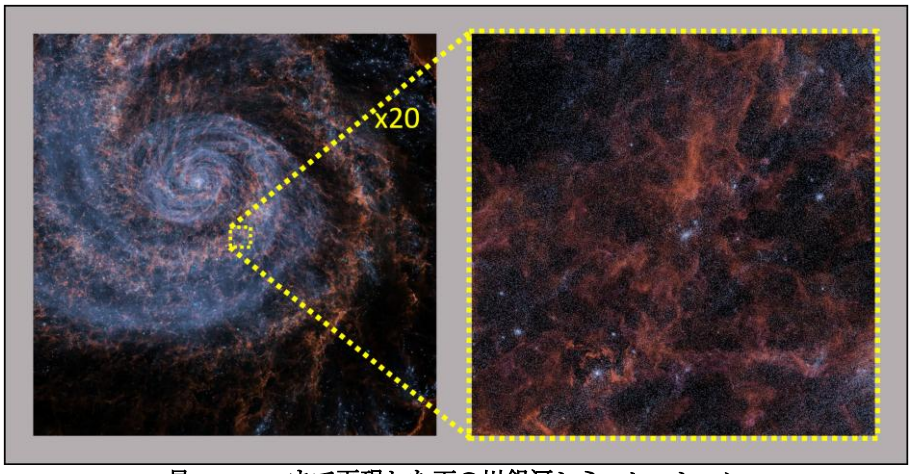
2026 年 11 月 16 日
東京大学
理化学研究所
神戸大学
東北公益文科大学
北海道大学
筑波大学

エクサスケールスパコンを用いた世界最高分解能の天の川銀河のシミュレーション

――３つのエクサスケール GPU スーパーコンピュータで高い計算効率を達成――

発表のポイント

◆天の川銀河のシミュレーションにおいて、AI サロゲートモデルを用いた高速化を行い、異なる GPU を搭載した 3 つのエクサスケール・スーパーコンピュータで、システムに依存せず高い計算効率を達成しました。
◆その結果、世界最高分解能の天の川銀河シミュレーションに成功しました。
◆天の川銀河の星一つ一つまで観測と比較することで、我々の住む太陽系のある天の川銀河の構造や進化史の理解に繋がります。



星一つ一つまで再現した天の川銀河シミュレーション

概要

東京大学大学院理学系研究科の平島敬也客員研究員（現在、理化学研究所数理創造研究センター数理基礎部門基礎科学特別研究員）、同大学大学院理学系研究科の藤井通子教授、森脇可奈助教、原田直人特任研究員、同大学情報基盤センターの三木洋平准教授、神戸大学大学院理学研究科の斎藤貴之准教授、牧野淳一郎特命教授、東北公益文科大学公益学部公益学科の平居悠講師、北海道大学大学院理学研究院の岡本崇教授、筑波大学計算科学研究センターの吉川耕司准教授、バルセロナ大学宇宙科学研究所の朝野哲郎研究員らによる国際研究グループは、3 つのエクサスケール・スーパーコンピュータ（注 1）上で、天の川銀河（注 2）の星一つ一つまで再現した世界最高分解能のシミュレーションに成功しました。今後、天の川銀河や他の銀河の観測と比較することで、我々の住む太陽系を含む天の川銀河の現在の構造や、現在までの形成・進化史が明らかになることが期待されます。

本研究成果は、11 月 18 日に The International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC'26)にて発表予定です。

発表内容

宇宙の時間・空間スケールは人間より遥かに長く・大きいため、宇宙の構造や時間進化を理解するためには、何億年という時間をかけて起こる変化を再現できる数値シミュレーションが不可欠となります。天文学における数値シミュレーションは、スーパーコンピュータ（以下、スパコン）の発展と共に高度化してきました。その一つは分解能の向上です。銀河のシミュレーションは、星、星間ガス、ダークマターを粒子の分布で表現することで行われます。より多くの粒子を使用できるほど、より細かい構造までシミュレーション内に再現できます。これまでの天の川銀河のシミュレーションで使用されていた粒子数は 10 億個が限界でした。一方、実際の天の川銀河は、星の数だけで 1 千億個以上あり、星の 100 倍の総質量を持つダークマターまでシミュレーションで再現するためには、これまでの千倍以上の粒子数（質量分解能）を達成する必要がありました。

より高い分解能を達成するためには、より高性能なスパコンが必要ですが、単純に、これまでの 2 倍の性能を持つスパコンがあれば、これまでの 2 倍の分解能を達成できるわけではありません。一つ目の問題点は、より詳細まで分解できる（シミュレーションの中に再現できる）ということは、より短い時間で変化する構造まで再現できることを意味し、その結果、より細かい時間刻みで計算を進める必要があります。もう一つの問題は、計算の並列化効率です。より大規模なスパコンになるほど、より多くの計算機を並列で同時に使用する必要が出てきます。しかし、10 万を超える計算機を同時に効率良く使用するには、計算機間の通信やアルゴリズムの最適化など、様々な工夫が必要となります。また、近年のスパコンは GPU（注 3）を搭載していますが、その種類が異なる場合、どの GPU でも高速に計算を行うためには、それぞれの特徴に合わせた最適化が必要となります。

本研究では、最も短い時間刻みを必要とする超新星爆発後の星間ガスの広がりに AI サロゲートモデル（注 4）を用いることで、局所的に発生する短い時間刻みを避け、計算の効率を上げることに成功しました。さらに、2026 年 6 月現在、世界のトップ 5 に入る GPU を搭載したスパコンのうち、異なる 3 社の GPU を搭載するシステム「Frontier」「Aurora」「JUPITER Booster」（注 5）のいずれにおいても高い計算効率を達成し、最大 5 兆粒子を用いた計算で、1 秒あたり 1440 億粒子の計算を行いました。これにより、これまでの 100 倍規模の計算が、20 日足らずで実行できるようになりました。本研究で用いられた手法は、天文学以外のシミュレーションにも応用可能であり、今後、他分野のシミュレーションの高速化にも貢献することが期待できます。本論文は、ACM ゴードンベル賞（注 6）の最終候補に選ばれています。今年のゴードンベル賞は 11 月 15 日からアメリカ・シカゴで開催される SC'26 にて発表されます。

動画
https://www.youtube.com/watch?v=10pCOqZMzG0

〇関連情報：
「プレスリリース：AI が描く超新星爆発の広がり」（2023/10/23）
https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/10077/

発表者・研究者等情報

東京大学
大学院理学系研究科　天文学専攻
藤井　通子　教授
平島　敬也　客員研究員
兼：理化学研究所数理創造研究センター数理基礎部門　基礎科学特別研究員
原田　直人　特任研究員

森脇　可奈　助教
情報基盤センター
三木　洋平　准教授

神戸大学
大学院理学研究科
斎藤　貴之　准教授
牧野　淳一郎　特命教授

東北公益文科大学
公益学部
平居　悠　講師

北海道大学
大学院理学研究院
岡本　崇　教授

筑波大学
計算科学研究センター
吉川　耕司　准教授

論文情報

雑誌名：SC'26: Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis
題　名：Architecture-Agnostic Exascale Star-by-Star Simulation of Our Galaxy
著者名：Keiya Hirashima, Naoto Harada, Takayuki Saitoh, Kentaro Nomura, Masaki Iwasawa, Dennis Bollweg, Kohji Yoshikawa, Yohei Miki, Tetsuro Asano, Yutaka Hirai, Takashi Okamoto, Junichiro Makino, Matthew Bettencourt, Laura Morgenstern, Mathis Bode, Michiko Fujii

URL：https://sc26.conference-program.com/presentation/?id=gb101&sess=sess197

注意事項（解禁情報）

日本時間 11 月 18 日午前 1 時 30 分（米国中部時間：17 日午前 10 時 30 分）以前の公表は禁じられています。

研究助成

本研究は、科研費「集積超伝導分光器技術とデータ科学で切り拓くサブミリ波輝線強度マッピングの新展開（JP24H00004）」、「革新的運動論的数値シミュレーションによる宇宙構造形成と天体プラズマの新展開（JP25H00625）」「シミュレーションで探る宇宙最初期の星団形成と銀河形成（JP25H00664）」「活動銀河核の５次元構造とその起源：多波長精密分光による解明（JP25H00671）」、「銀河系初期世代星の窒素組成で探る大質量星の進化・元素合成と初期の銀河化学進化（JP25K01046）」「高赤方偏移超大質量ブラックホール形成の第一原理的輻射流体シミュレーション（JP26K00730）」「星団的高密度環境が駆動する高赤方偏移銀河形成機序の解明（JP26K00744）」、「球状星団の元素組成異常の起源の解明（JP21K03614）」「銀河中心考古学：天の川銀河の棒状構造はいつ形成され、どのように進化してきたのか？（JP21K03633）」「次世代広域観測に向けた銀河形成モデルの研究（JP23K03446）」「銀震学：衛星銀河はどのように天の川銀河を震わせ、星をつくったのか？（JP24K07095）」「銀河形成シミュレーションで拓く銀河考古学（JP26K07153）」、日本学術振興会国際共同研究加速基金（国際先導研究）「超

伝導工学・大規模数値計算・データ科学で解明する宇宙最初期の重元素生成過程（JP23K20035）」、同特別研究員奨励費「数値シミュレーションと位置天文学観測データを用いた銀河動力学の研究（JP22J11943）」「深層学習による映像予測を用いた銀河形成シミュレーションの高解像度化の研究（JP22KJ1153）」科学技術振興機構（JST）創発的研究支援事業「AI を組み込んだ新しい銀河シミュレーション（JPMJFR2367）」、日本学術振興会（JSPS）海外特別研究員制度、スペイン科学・イノベーション・大学省およびスペイン国家研究機構（MICIU/AEI、機関識別子：10.13039/501100011033）、欧州連合の欧州地域開発基金（FEDER, UE）が助成する研究課題「PID2024-160244NB-I00」、バルセロナ大学宇宙科学研究所（ICCUB）「マリア・デ・マエストゥ」卓越研究ユニットへの助成（CEX2019-000918-M）、文部科学省「富岳」成果創出加速プログラム「シミュレーションと AI の融合で解明する宇宙の構造と進化（JPMXP1020230406）」、理化学研究所基礎科学特別研究員制度、東京大学卓越研究員制度による支援を受けました。

大型計算機資源について、理化学研究所計算科学研究センター（課題番号：hp230204、hp240219、hp250186、hp250226、hp260111）、最先端共同 HPC 基盤施設（JCAHPC）の「大規模 HPC チャレンジ」、東京大学情報基盤センターの「若手・女性利用者推薦」、筑波大学、国立天文台、アルゴンヌ・リーダーシップ・コンピューティング施設（ALCF）、オークリッジ・リーダーシップ・コンピューティング施設（OLCF）、サイモンズ財団フラットアイアン研究所の Scientific Computing Core、ならびにユーリヒ・スーパーコンピューティング・センター（JSC）の JUPITER Research and Early Access Program（JUREAP）による支援を受けて行われました。さらに、高度情報科学技術研究機構（RIST）の高度化支援により、スーパーコンピュータ「富岳」を用いた全系規模シミュレーションに関する支援を受けました。

用語解説

（注 1）エクサスケール・スーパーコンピュータ
システム全体の演算性能（1 秒間に何回浮動小数点演算を行えるか＝フロップス）が 1 エクサ（100 京）フロップスを超えるスーパーコンピュータ。

（注 2）天の川銀河
我々の住む太陽系のある銀河。円盤状に星が分布し、円盤中心に棒状構造、その外側に渦状腕がある。円盤の質量の約 10%は、星間ガスと呼ばれる主に水素からなる気体である。円盤は、その 100 倍程度の質量を持つダークマターの中心にある。

（注 3）GPU
Graphics Processing Unit。元々は、画像や映像を画面に映し出すための計算を高速に行うために用いられる専用プロセッサ。CPU と比べて、同じ計算を複数同時に実行できる。

（注 4）サロゲートモデル（代理モデル）
機械学習などを用い、実験や数値シミュレーションの代わりに近似的な結果を与えるモデル。10 年ほど前から流体計算において用いられるようになってきた。

（注 5）「Frontier」「Aurora」「JUPITER Booster」
Frontier（フロンティア）
アメリカ・オークリッジ国立研究所に設置された、世界で初めてのエクサスケール・スーパーコンピュータ。AMD 製の GPU を搭載している。2026 年 6 月発表のスパコンランキング（TOP500）第 3 位。
Aurora（オーロラ）
アメリカ・アルゴンヌ国立研究所に設置されたエクサスケール・スーパーコンピュータ。インテル製の GPU を搭載している。2026 年 6 月発表のスパコンランキング（TOP500）第 4 位。
JUPITER Booster（ジュピター・ブースター）

ドイツのユーリッヒ・スーパーコンピューティングセンターが運用する、欧州初のエクサスケール・スーパーコンピュータ。NVIDIA 製の GPU を搭載している。2026 年 6 月発表のスパコンランキング（TOP500）第 5 位。

（注 6）ACM ゴードンベル賞
ハイパフォーマンス・コンピューティングの分野で優れた成果を報告した論文を表彰する賞。米国計算機学会（ACM）が主催する。