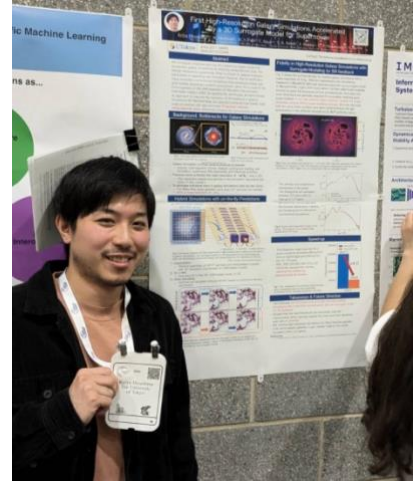


計算科学アライアンス海外派遣報告書

理学系研究科天文学専攻博士三年 平島敬也

今回、計算科学アライアンスの海外派遣制度を利用し、2024年12月10日－17日にかけてカナダ・バンクーバーで開催された NeurIPS 2024 の本会議と Workshops 「Machine Learning and the Physical Sciences (ML4PS) workshop」にて研究発表を行いました。NeurIPS は最も参加者の多い機械学習分野の学会の一つですが、私が参加した「ML4PS」は特に機械学習の物理学への応用にフォーカスした workshop です。本会議では、大規模な機械学習モデルの事前学習・評価に用いるための物理シミュレーションのデータセットである、Ruben et al. 2024. “The Well: a Large-Scale Collection of Diverse Physics Simulations for Machine Learning”を発表しました。ML4PS では、Hirashima et al. 2024. “First High-Resolution Galaxy Simulations Accelerated by a 3D Surrogate Model for Supernovae”を発表しました。



特に workshop では、2024 年に Flatiron Institute（ニューヨーク）に滞在して開発した機械学習モデルを用いて、高解像度な銀河シミュレーションを実行した結果を発表しました。本研究では、銀河形成シミュレーションにおける超新星爆発の数値計算の結果を機械学習により予測させ、全体のシミュレーションにおいて 4 倍の高速化を達成しました。銀河形成シミュレーションでは、星・ダークマターの重力の相互作用による構造の進化を計算しながら、同時に流体の相互作用(ナビエ・ストークス方程式など)を計算します。さらに、流体計算では、高密度領域で新しい星が生まれたり、星の一生の最後である超新星爆発による衝撃波が起こったりするため、マルチスケールな物理プロセスを計算する必要があります。特に、超新星爆発周辺の高密度・高温環境下では数値計算のタイムステップが非常に小さくなるため、重力計算と比較して 3 桁程度局所的に計算量が増加し、スケーリング（並列化性能）を著しく悪化させるため、達成されるシミュレーションの質量分解能には限界がありました。そこで、小規模な高解像度な超新星爆発の計算結果を学習した機械学習モデルを利用することにより、銀河形成シミュレーションの高速化・高解像度化を試みました。機械学習による置き換えをおこなった場合でも、銀河の星形成率やガスのアウトフローなどは直接計算と比較して、十分乖離が小さいことを確認しました。

本プログラムによる充実したサポートにより、本学会に参加することができました。今後も本研究を発展させていき、国際論文・学会などで成果を発表していきたいと思っています。