

2024 年度  
創発的研究支援事業 年次報告書【公開版】

研究担当者	三目 直登
研究機関名	筑波大学
所属部署名	システム情報系
役職名	助教
研究課題名	複雑現象の革新的数値解析パラダイムによる減災設計戦略
研究実施期間	2024 年 4 月 1 日～2025 年 3 月 31 日

### 研究成果の概要

本研究では、沿岸重要構造物の高度な耐津波減災設計の実現のための革新的数値解析パラダイム創成を目的とし、グラフ理論的な視点から「(A) マルチフィジックス解析」、「(B) 分散メモリ型大規模並列解析」、「(C) 機械学習による知的かつ高速な数値解析の代替」の 3 つの重要問題を統一的に解決するための数理基盤構築を実施している。

フェーズ 1 の最終年度に相当する 2024 年度は、研究課題 (A) および (B) の基盤的な数理をなす、グラフ構造的領域結合・領域分割の方法論およびそのフレームワーク化が完了した。具体的には、数値解析の計算点間の相互作用を表す抽象的なグラフ構造を基に、異なる現象や数値解析手法のグラフを連結し、数値解析手法や対象の物理現象に依存せず、マルチフィジックス解析を実現する方法論 (研究課題 (A)) を明らかにした。加えて、各計算点の計算量に比例するグラフ点上の重みを導入し、重み付きグラフの分割問題に基づく幾何学的領域分割を実施することで、任意の数値解析系に対して汎用的に利用できる分散メモリ型並列解析を実現した。

研究課題 (C) に関しては、力学および数値解析手法の数理的性質を導入した graph neural network (GNN) を、分割領域間の連結情報を表すメタグラフに導入する方法を提案した。このメタグラフは研究課題 (B) の幾何学的領域分割と同じ数理で構築でき、対象の計算点とは独立に、力学的な予測を実施するメタ計算点 (領域に対応) を定義した上で、GNN による高速な解の予測が構築可能である。また、機械学習による方法に並行して、各分割領域に対し固有直行分解で同定した力学現象の特徴量モードを付与し、それを Galerkin 法の基底関数として利用することで、高精度かつ高速な解析を可能とする低次元モデル化手法を開発した。このような数値解析と情報科学の融合により、波浪災害を含め、多様な力学現象を合理的かつ高速に解くための数理的基盤が構築された。