

2023 年度
創発的研究支援事業 年次報告書

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	2023 年 4 月 1 日～2024 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ている。そのために、「全ての数値解析手法はグラフ構造で記述できる」という数理特性を足掛かりとし、グラフ構造の視点から「(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。

2023 年度は前年度に引き続き、(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を実施した。特に、(B) に関連して、領域分割を実施した後の領域の連結情報を表す「メタグラフ」を構築することによって、任意階層の領域分割を可能とした。また、開発したフレームワークを用い、B-spline 有限要素法や重合メッシュ法など、複雑な計算手法の領域分割型並列化を実施し、開発フレームワークの高い汎用性および実用性を定量的に示した。

本課題の学術的革新性の中核となる (C) に関しては、前年度に引き続き、グラフ上にニューラルネットワークを埋め込んだ graph neural network (GNN) に対し、力学および数値解析手法の数理的性質を導入することを試みた。具体的には、既の実現されている並進・回転操作に対する解の不変性を担保する方法に加え、有限体積法の定式化を参考に、計算点ごとの局所的保存性を満たす学習器の定式化を考案し、各現象の保存則を自明に満たす機械学習計算を実現した。また、前述の階層的な領域分割から着想を得、新たな研究アイデアとして、各分割領域に対しデータ科学的方法 (固有直交分解) で同定した「モード」を付与しつつ、モードのための領域と並列計算のための領域を個別に設定できる低次元モデル化手法の研究に着手した。