

2022 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	2022 年 4 月 1 日～2023 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」という部分を足掛かりとし、グラフの視点から「(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。

初年度となる 2022 年度はまず、(A) および (B) の方法論およびフレームワークの構築を進めた。両者に共通する開発項目として、「計算点どうしの相互作用に対応するグラフ構造の自動生成」部分のフレームワーク化を進めた。その上で、(B) に関しては、この任意のグラフ構造を幾何学的に領域分割するための機能開発を実施した。また、(A) に関しては、異なる手法が生成する異なるグラフ構造や、それらを連結するためのグラフ構造を個別の「付随グラフ」と考え、それを (B) の分割に従って一意に領域分割する方法論およびフレームワークを開発した。

加えて、本課題の学術的革新性の中核となる (C) に注力し研究を進めた。数値解析に対応する任意のグラフに対し、グラフ上にニューラルネットワークを埋め込んだ graph neural networks (GNNs) 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により、学習対象となる空間を限定し、学習効率（学習にかかるコストを一定とした場合は、「学習器が出力する解の精度」とも言い換えられる）の向上に成功した。具体的には、並進および回転操作に対する解の不変性を担保する隣接行列操作に加え、非線形解法が持つアルゴリズム的特徴である反復操作と内積操作を、GNNs の反復適用および global pooling 操作として導入した。