

TSUBAME 共同利用 令和4年度 学術利用 成果報告書

利用課題名 海洋底探査を加速する AI とシミュレーション技術の開発

英文: Development of AI and simulation technologies to accelerate ocean-bottom exploration

橋本 博公

Hirotada Hashimoto

大阪公立大学 大学院工学研究科

Osaka Metropolitan University

https://kyoiku-kenkyudb.omu.ac.jp/html/100002465_ja.html

海溝型地震や熱水活動観測による資源評価など、調査船を用いた海洋底探査の重要性が増している。外乱が複雑に変化する状況では、緻密な操船制御を長時間にわたり求められるため、その代替として深層強化学習にもとづく自律操船 AI の開発を行った。また、海底での採掘・揚鉱装置の開発を加速させるために、個別要素法と MPS 法を連成させた混相流解析用の GPU シミュレーションコードを開発し、その検証を行った。

The importance of seabed exploration using research vessels is increasing. A careful and precise ship control is required in a situation where natural disturbances complicatedly change in time. As an alternative, we developed AI for autonomous ship maneuvering based on deep reinforcement learning. In addition, in order to accelerate the development of mining and mining equipment, a GPGPU DEM-MPS code for simulating multi-phase flows reproducing seabed environment was developed.

Keywords: Seabed exploration, AI, DEM, -MPS, GPU

背景と目的

海溝型地震や海底火山噴火の予測、熱水活動観測による資源評価など、調査船を用いた海洋底探査の重要性が増している。気象海象が複雑に変化する状況下において、海洋底探査に課せられた高度ミッションを達成するためには、革新的な船舶制御が求められる。本研究では、既存の制御理論では取り扱いが困難な海洋底探査における操船問題の新たな解として、深層強化学習にもとづく自律操船 AI の開発を行う。スパコンを利用した学習環境を構築し、学習スキームの改良や学習用パラメータの最適化を行うことで、海洋底探査の高度化と効率化に資する船舶制御を実現する。開発した自律操船 AI は、模型船を用いた水槽試験による検証に加えて、実船を用いた実海域での実証実験を実施することにより精度とロバスト性の評価を行う。これらの研究成果をもとに、今後の海洋底探査を加速させるための基盤的な船舶制御技術として確立することを目的とする。

また、探査・開発の対象となる海底環境は、砂、泥、礫などの離散体で構成されており、採掘・揚鉱装置の開発を加速させるためには、連続体である海水との連

成シミュレーションが求められる。本研究では、個別要素法と粒子法を連成させて解く固液混相流シミュレーションを開発し、スパコンを用いた大規模数値解析が実行可能な環境の構築を図る。

概要

今年度は、深層強化学習のひとつである DDPG ベースの自動航路追従 AI の開発を行った。ニューラルネットワークの入力には予め与えられる航路情報と船位・方位の偏差を用いる。追従精度の検証とロバスト性を確認するため、海洋調査船を用いて航路追従に関する検証実験を行った。その結果、海技者と同等の精度にて追従が可能であるものの、操船指示の左右非対称性、指令値の振動、大出力値の頻発という課題が確認された。そこで、これらの課題を解決するための提案を行い、改めて実船実験を実施することでその有効性を実証した。

海底環境の模擬シミュレーションについては、自前で開発した個別要素法と MPS 法を組み合わせた固液混相流解析用の GPGPU コードを開発し、ダムブレイク問題でシミュレーションモデルの妥当性を検証した。

結果および考察

開発した自動操船 AI について、海洋調査船を用いて航路追従を行った結果を Fig.1 に示す。自然外乱が存在する実海域においても、目標とする直線と円弧を組み合わせた航路を高精度に追従可能であること、オリジナルの DDPG の課題であった指令値の振動や大出力値を回避できることを確認した。この結果から、開発した AI は人間と同程度の操船能力を有するものと判断できる。

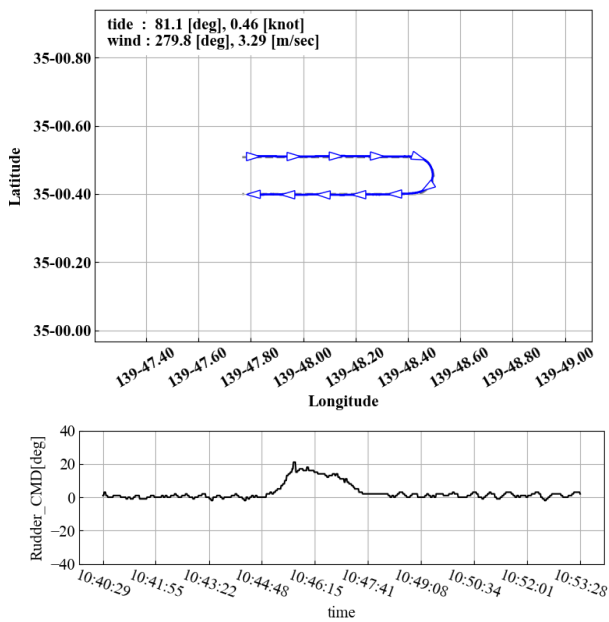


Fig.1 Ship path-tracking by AI captain

(upper: ship trajectory, lower: rudder command)

開発した DEM-MPS の GPGPU 連成解析コードの妥当性を検証するため、ダム崩壊解析を行った。その結果を Fig.2 に示す。

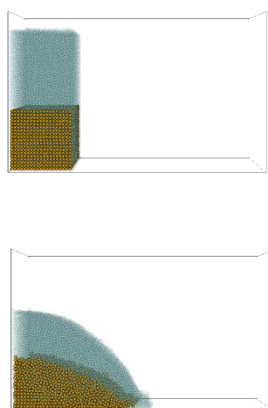


Fig.2 Multiphase flow analysis of dam-breaking

液相、固相それぞれの単相計算に比較して、液相はダムブレイク直後に固相粒子に引っかかることで進行が遅れていることや、それによって速度が低下したことで水しぶきの高さが低くなることが観測された。その後、アーチ状の巻波が形成されている様子も見られた。これは、固体粒子によって形成された斜面との摩擦で流体が減速し、水面付近との速度差が発生することによるものと考えられる。

まとめ、今後の課題

今年度は、深層強化学習ベースの自動航路追従 AI の開発と GPU シミュレーション用の DEM-MPS 連成解析コードの開発を行った。前者については、実船を用いてバリデーションを実施した。オリジナルの DDPG では色々な課題が確認されたが、それらの解決策を提案し、その効果として、開発した自動操船 AI は自然外乱下でも航路を高精度に追従しつつ、操舵の量と頻度を抑制できることを確認した。今後は、より外乱の厳しい条件での検証が必要となる。

DEM-MPS の混相流計算コードについては、ダムブレイク解析により連成影響が考慮されていることが確認できた。今後は検証実験を実施することで精度を明らかにするとともに、大規模計算への対応を進めていく。