

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                        |    |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-------|
| 京都大学                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 博 士（理 学）                                                                                                                                                                                                                               | 氏名 | 藤島 誠也 |
| 論文題目                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | DNN-based horizontal two-dimensional inverse model for estimating the hydraulic conditions of turbidity currents from their deposits in confined and unconfined basins<br>(confined basinおよびunconfined basinにおけるDNNを用いた平面2次元混濁流逆解析モデル) |    |       |
| <p>(論文内容の要旨)</p> <p>本博士論文は、混濁流堆積物（タービダイト）の空間分布から流れの水理条件を推定するための、平面二次元深層学習（DNN）逆解析モデルを開発し、その有効性を人工データおよび水槽実験データによって検証した研究である。</p> <p>混濁流は浮遊土砂による過剰密度により駆動される重力流であり、その堆積物には過去の地震や津波などの巨大イベントの情報が記録されている可能性がある。タービダイトから流動条件を推定する逆解析手法はこれまでも提案されてきたが、従来法は計算負荷が大きい、あるいは精度が低いといった課題を抱えていた。近年、一次元DNNモデルが提案され一定の成果を挙げたが、実際の海底地形の複雑性を表現できず、地形制約が堆積様式に与える影響を評価できないという限界があった。</p> <p>そこで本研究では、非制約堆積盆および制約堆積盆の双方に適用可能な二次元逆解析フレームワークを構築した。順解析数値モデルにより大量の学習データを生成し、堆積量分布から流速・流れ厚・浮遊土砂濃度・継続時間などの流動条件を推定するモデルを学習させた。</p> <p>まず非制約堆積盆において人工データを用いて検証した結果、塩分濃度の推定は困難であったものの、その他の主要な水理パラメータは高精度（SMAPE &lt; 29.7%）で再現された。さらに水槽実験堆積物に適用した場合も、既存の一次元モデルと同等の精度で流動条件を復元できることが示された。</p> <p>次に制約堆積盆に流入する混濁流の数値実験に適用したところ、地形的高まりでの衝突と反射に伴うponding現象が再現され、堆積盆全体が浮遊土砂で満たされる過程が明瞭に示された。また、跳水点付近で発生する大規模水平渦により流路が不安定化し、分岐流路が形成されるなど、非制約堆積盆では見られない特徴的な堆積様式が再現された。</p> <p>さらに、学習データ数、観測サンプリング点数、入力ノイズが逆解析精度に与える影響を評価した。その結果、チャンネルが不安定に移動する場合でもモデルは高い性能を維持し、比較的小規模な学習データセット（5,000ケース）および限られた観測点（10点）でも実用的精度が得られること、さらにノイズに対しても頑健であることが明らかとなった。</p> <p>以上より、本研究で開発した平面二次元DNN逆解析モデルは、地形制約の有無にかかわらず主要な混濁流水理条件の推定を可能にする実用的手法であることが示された。今後は本手法を天然タービダイトへ適用し、過去の巨大地質イベントの規模推定へ展開することが期待される。</p> |                                                                                                                                                                                                                                        |    |       |

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、混濁流堆積物から流動条件を復元するための平面二次元深層学習型逆解析手法を開発し、その有効性を人工データおよび水槽実験によって体系的に検証したものである。従来提案されてきた逆解析手法は、計算負荷の大きさや復元精度の低さといった課題を抱えており、近年登場した二次元深層学習モデルも、実際の海底に見られる複雑な地形条件を十分に扱えないという制約があった。本研究はこれらの問題点を克服することを目的とし、地形制約の有無を考慮可能な二次元逆解析フレームワークを構築した点に大きな独創性がある。

本研究の学術的意義は、地形の影響を受ける実際の混濁流堆積システムに対して適用可能な逆解析モデルを初めて実用的な精度で実現した点にある。特に、非制約堆積盆だけでなく、地形的高まりに囲まれた制約堆積盆における複雑な流動・堆積過程を対象とし、その双方に適用できる汎用的枠組みを提示したことは、堆積学、海底地形学、さらには古地震・古津波研究への応用可能性を大きく広げる成果である。

方法論の構成も適切であり、順解析数値モデルによって大規模な学習データセットを生成し、人工データによる基礎検証、水槽実験データによる現実的条件下での検証という段階的な評価がなされており、性能評価の議論も定量的かつ客観的に行われている。非制約堆積盆においては主要な水理パラメータが高精度で再現され、水槽実験との比較でも既存二次元モデルと同等の性能が示されたことから、モデルの妥当性は十分に裏付けられている。

さらに、制約堆積盆条件下での数値実験では、地形的高まりでの衝突・反射によるponding現象や、跳水点付近での大規模渦に伴う流路不安定化および分岐といった特徴的な挙動が再現されており、地形制約が堆積様式に与える影響を物理的に整合的な形で表現できている点は高く評価できる。加えて、学習データ数、観測点数、入力ノイズが逆解析精度に与える影響についても詳細に検討されており、比較的小規模な学習データと限られた観測情報でも実用的な精度が維持されること、さらにノイズに対しても頑健であることが示された点は、本手法の実用性を強く支持する結果である。

一方で、天然タービダイトへの適用に際しては、続成作用、侵食・再堆積、粒度分級の不完全性など、自然環境特有の複雑要因への対応が今後の課題として残されている。また、人工データ検証において推定が困難であった塩分濃度に関しても、将来的なモデル改良の余地があると考えられる。しかしながら、これらは本研究の価値を損なうものではなく、むしろ本手法の今後の発展可能性を示す課題である。

以上より、本論文は混濁流研究および堆積学的逆解析分野において顕著な学術的進展をもたらす優れた研究成果であり、方法論の独創性、検証の妥当性、結果の信頼性のいずれの点においても高い水準に達している。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和8年1月19日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、(当分の間)当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

要旨公表可能日：                      年                      月                      日以降