

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理学 )	氏名	蔡 之榕 ( Zhirong Cai )
論文題目	Reconstructing the Behavior of Turbidity Currents from Turbidites -Reference to Anno Formation and Japan Trench (タービダイトにもとづいた混濁流の挙動の復元-安野層と日本海溝の例)		
(論文内容の要旨)			
<p>混濁流は深海底での堆積物の主要な運搬プロセスとして知られているが、その挙動を直接することは困難であり、流速や堆積物濃度などの実態には不明な点が多い。本博士論文は、混濁流の堆積物であるタービダイトから流れの水利条件を復元する新しい逆解析方法を開発し、水槽実験によって手法を検証した。さらに、実際に深海底で堆積した地層中にみられるタービダイトに手法を適用し、それを堆積させた混濁流の水利条件の復元を行っている。</p> <p>本論文で使用している逆解析手法は以下のようなものである。まず、浅水方程式を用いたフォワードモデルに様々な初期水利条件を与え、それらの初期条件に対応するタービダイトの層厚・粒度分布を数値計算によって繰り返し求める。次に、ニューラルネットワーク (NN) に流れの初期条件と生成されたタービダイトの特徴との関係を学習させる。この学習により、NNは未知の条件で堆積したタービダイトの特徴からも流れの初期条件を推定できるようになる。実際のタービダイトに本手法を適用する際には、まず流れの初期条件を学習済みNNによって堆積物の特徴から推定し、得られた初期条件をフォワードモデルに与えて時間発展計算を行うことで、任意の時間・空間における水利条件を復元する。</p> <p>この逆解析手法を検証するため、まず、本研究では5つの混濁流水路実験を行い、その堆積物に対して逆解析を行っている。逆解析によって得られた水利条件を実際に測定した値と比較したところ、流速及び流れの厚さに関しては的確な復元が行われることが確認された。ただし、運搬される堆積物の濃度に関しては相違が比較的大きかった。これは、そもそも流れに含まれる堆積物濃度の測定が技術的に困難であることを反映している可能性が高い。</p> <p>次に、房総半島に分布する安野層のタービダイト単層を調査し、9つの露頭で観測された層の粒度・層厚データに対して逆解析を行った。この安野層が堆積した堆積盆の地形は中央に隆起軸のある複雑なものであったことが推定されている。そのため、本研究では3次元的な地形にも対応できる2次元浅水方程式モデルを用いてトレーニングデータを生成し、NNの学習を行った。この2次元混濁流逆解析モデルの推定したタービダイトの層厚を実際のタービダイトの層厚と比較したところ、海底チャネルから離れた地点ではタービダイトの特徴が類似していたものの、チャネルに隣接した地域では適合度が低かった。このことは、チャネル近傍における複雑な地形の元での流況の復元には至っていないものの、十分に流路から離れた平坦な地域ではより精度よく流れの条件が復元できていることを示している。</p> <p>最後に、本研究は日本海溝へ流れ込んだ津波起源混濁流の挙動の逆解析が可能かどうかを人工データにより予察的に検討した。その結果、まだトレーニングデータ量が十分でないために過学習が発生したものの、人工テストデータの逆解析結果と真の混濁流発生条件との間には十分な相関がみられた。今後、トレーニングデータを増やすことにより、日本海溝で堆積したタービダイトから混濁流の規模を復元し、過去の津波の規模推定へとつなげられることが期待される。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本研究は混濁流の水理条件をその堆積物から復元する新しい逆解析手法を検証し、実際の堆積物へと応用したものである。混濁流は浅海から深海へと堆積物を運搬する主要なプロセスであり、その堆積物であるタービダイトは石油・天然ガス貯留岩ともなる。そのため、深海底を流れる混濁流の挙動を理解することは、タービダイトの空間分布を限られた情報から推定し、地下資源埋蔵量を見積もるためにも重要な研究課題である。また、近年では、タービダイトは巨大地震と津波の記録として注目を集めている。巨大地震の過去の発生頻度や規模の推定は、各地域の災害リスクを見積もるためにも重要な課題である。

その地球科学および防災上の重要性にも関わらず、自然界での混濁流の挙動は謎に包まれてきた。これは、混濁流を深海底で直接観測することが未だに困難なことが原因の一つである。そのため、海底で採取したボーリングコアや、陸上に露出した深海底の地層の調査からタービダイトの特徴を解析し、混濁流の挙動を推定することが既存研究では試みられきた。しかし、堆積物の特徴から定量的に流れの挙動を復元する手法についてはいまだに確立されてはいなかった。

本研究で構築され、検証されたニューラルネットワーク (NN) による混濁流の逆解析手法は、このような研究状況を一変させる可能性を秘めている。本博士論文ではこの手法について多面的な検討が行われており、水路実験の結果から、流れの条件を堆積物の層厚や粒度分布から妥当な精度で復元できることが示されている。また、従来の研究手法では困難だった複雑な地形のもとで流れた混濁流の挙動推定についても本論文は挑戦しており、房総半島で堆積した地層中のタービダイトを堆積させた混濁流の水理条件が推定されている。また、日本海溝を実例として、現世の海底地形上を流れる混濁流も解析可能であることが示されている。

本研究の成果は、今後幅広い分野で応用されていくことが期待される。例えば、石油地質学の分野では、限られたボーリングコアデータや地震波探査データからタービダイト砂岩層の全体的形状を求めることが要請されている。本研究の手法により限られた数のボーリングコアデータから流れの条件を復元し、さらにその条件の下で数値シミュレーションを行えば、観察されていない領域でのタービダイトの空間分布を推定することも可能になるだろう。また、地震起源タービダイトから混濁流の規模や発生地点を推定することができれば、過去に発生した地震の規模を見積もることも可能となることが期待される。

以上のことから、本論文は博士 (理学) の学位論文として十分価値あるものと認められる。また、令和4年7月15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。

要旨公表可能日： 2022年 10月 1日以降