

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	飯嶋 耕崇
論文題目	Estimation of source fault parameters from tsunami deposits by inverse model using deep neural network (津波堆積物のDNN逆解析による波源断層パラメーター推定)		
(論文内容の要旨)			
<p>大規模な津波は沿岸域の砂や泥を侵食し、陸上の広い範囲に土砂を堆積させる。このような津波堆積物のうち、地層中に保存された砂層は過去の津波イベントを推定するための貴重な手がかりとなっている。本誌学位論文の研究は、津波堆積物からそれを堆積させた津波の波源断層の形状・滑り量を推定する逆解析手法を開発するというものである。このモデルは深層学習ニューラルネットワークを利用しており、その訓練には津波の数値フォワードモデルによって生成した人工的津波堆積物データが利用される。</p> <p>まず、本研究は滑り量が空間的に均質であると仮定した海溝沿いの断層モデルを仮定し、津波堆積物の逆解析モデルを構築した。本研究では、ランダムな断層パラメーターに基づいて海面の初期形状を決定し、浅水2次元方程式による津波伝搬シミュレーションを行った。さらに、陸上における津波の遡上とそれに伴う土砂の移動を計算し、堆積物の層厚分布と粒度分布を求めた。このフォワードモデル計算を繰り返すことで、断層パラメーターとその結果として生じる津波堆積物の組み合わせを多数生成する。そのうえで、両者の関係をニューラルネットワークに学習させることで、津波堆積物の特徴から波源断層パラメーターを直接推定する逆解析モデルを本研究は構築した。</p> <p>開発したモデルの検証を行うため、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震津波の堆積物について逆解析を行い、実際の事例に対するモデルの適用性を試した。2011年東北沖津波は、震源断層や津波の挙動、堆積物などが定量的かつ詳細に調査されているため、過去の津波の規模を堆積物から推定する手法を検証するのに最適な事象である。まず、逆解析モデルの訓練に使用しなかったテスト用の人工データでモデルの性能を検証したところ、均質滑りを仮定した断層パラメーターが仙台平野で計測された津波堆積物の情報のみから復元可能であることが確認された。そして、逆解析モデルを実際に測定された津波堆積物に適用したところ、断層すべり量21.3m、断層幅119.9km、モーメントマグニチュード8.9であったことが予測された。これらの値は、既存の測地学的・地震学的研究による推定値と一致した。</p> <p>次に、滑り量が不均質であることを考慮した断層モデルを推定するため、逆解析モデルの改良を行った。この際に、震源断層の幅、長さ、断層全体の位置、大滑り領域の位置、平均滑り量を逆解析の対象としている。モデルの検証はやはり2011年東北地方沖地震津波の堆積物に対して行った。堆積物の解析を行った地域は、岩手県陸前高田市、宮城県仙台市、福島県南相馬市小高の3地域である。まず、人工データによって検証したところ、逆解析モデルは3地域のデータが揃っていれば津波の波源断層パラメーターを堆積物の情報のみから適確に推定できることが示された。そのうえで、逆解析モデルを実際に測定された堆積物のデータに適用したところ、断層の長さは464.5km、幅は162.0km、断層の北東端は日本海溝の端から196.9kmと推定された。また、この不均質な滑り量を想定する逆解析モデルで行われた2011年東北地方太平洋沖地震津波の震源断層のモーメントマグニチュードは9.0と計算された。これらの復元値は、測地学的手法や地震学的手法で得られた値とよく一致している。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本博士論文は、津波堆積物のみから震源断層パラメータを推定する逆モデルを新たに開発し、そのモデルを2011年東北地方太平洋沖地震津波によって検証したものである。既存研究でもすでに津波堆積物から逆解析を行うモデルは開発されていたが、それらはすべて津波の水理条件（浸水流の深さや流速など）を推定の対象としており、津波堆積物から直接断層パラメータを推定しようとする逆解析モデルが開発されたのは本研究が初めてである。また、従来のモデルはすべて平野地形に浸水する津波を対象とした1次元モデルであった。本研究は浅水流2次元モデルを採用しているため、内湾など複雑な地形に浸水する津波からの堆積物も解析の対象とすることができ、従来よりもその解析対象は大きく広がっている。そのため、本研究はこの分野の研究手法を大幅に進展させてものと認められる。

巨大地震の災害リスク見積もりにおいて、その発生頻度や周期性の有無は決定的な情報となる。これまで、海溝型巨大地震は周期的に発生することが理論的分析や文献記録に基づいて想定されてきたが、その実証的な証拠は稀であった。本研究で開発された津波堆積物の逆解析手法は、歴史記録に残っている津波もしくは先史時代の津波を発生させた地震断層も評価することを可能とする。すなわち、日本海溝に留まらず、南海トラフや世界各地の津波災害のリスク評価に貢献することが本研究の手法には期待できるだろう。地球科学および防災という観点から、本研究の成果は大きな意義がある。

本論文の内容は、研究内容を的確に表現したものであった。論文は全5章よりなり、第1章は導入として研究課題の提示と過去の研究のレビューが行われている。第2章は手法を記述しており、順解析モデルと逆解析モデルが記述されている。第3章は断層が均質な滑り量をもつと仮定した場合の逆解析モデルを提示しており、仙台平野の津波堆積物のデータに基づき検証が行われる。第4章は断層が不均質な滑り量を持つと仮定した場合の逆解析モデルであり、東北地方の陸前高田市、仙台市、南相馬市の3地域の津波堆積物データから逆解析が行われ、実際の断層変位量と逆解析結果の比較が行われる。第5章は結果の総括と今後の展望が記述されている。論文は平易に記述されており、博士論文にふさわしい体裁を備えている。

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6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。本論文は学位授与後に即事公表する。

要旨公表可能日： 年 月 日以降