

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	Rimali Mitra
論文題目	Reconstruction of tsunami characteristics from the deposits of large-scale tsunamis using a deep neural network inverse model (深層ニューラルネットワーク逆解析モデルを用いた巨大津波堆積物に基づく津波の特徴の復元)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、津波堆積物を逆解析することで過去の津波の規模を推定する手法を確立することを目的とした研究である。2011年東北地方太平洋沖地震津波や2004年インド洋津波の被害からも分かる通り、津波災害は世界の沿岸域における大きな脅威である。各地域の津波災害リスクを見積もることは、深刻な経済的・人的被害を軽減するために重要な課題となっている。この津波災害の襲来頻度や規模を推定する上で重要な手がかりとなるのが津波堆積物である。津波堆積物とは、津波が運搬した土砂が堆積したことで形成される堆積層を意味する。津波による土砂運搬を再現する1次元モデルおよび深層ニューラルネットワークを用いて、本論文は津波堆積物を逆解析するモデルを提案している。このモデルは海岸線と直交する測線に沿って測定された津波堆積物の厚さおよび粒度分布を与えることで津波の水理条件 (最大浸水距離・平均流速・粒径ごとの浮遊砂濃度) を復元する。</p> <p>本論文の逆解析手法は以下のようなものである。本論文で採用されているフォワードモデルは層平均1次元モデルであり、流速に関しては準定常状態を仮定しているが、水深および浮遊堆積物濃度については非定常・不均一な状態を考慮している。さらに、浮遊砂の密度成層が津波中の乱流運動エネルギーに与える影響も本モデルは考慮している。このモデルに上流端の境界条件 (最大浸水深・流速・浮遊砂濃度) を与えると、津波堆積物の厚さ及び粒度分布が計算される。このフォワードモデルを用い、ランダムに様々な条件を与えて繰り返し計算を行って、津波堆積物の人工データを生成する。この人工津波堆積物データとそれを発生させた計算条件の組み合わせを教師データとし、それらの関係をニューラルネットワークに学習させる。すなわち、ニューラルネットワークの入力ノードに堆積物の厚さ及び粒度分布データを与え、出力ノードから得られる数値を評価する損失関数に計算条件との間の二乗誤差を用いて訓練を行うのである。すると、結果として、訓練済みのニューラルネットワークは津波堆積物データからそれを堆積させた津波の水理条件を推定する逆解析モデルとして用いることが出来るようになる。</p> <p>提案された手法の性能を検証するため、モデルの訓練に用いたものとは独立に人工データを生成し、その逆解析結果がモデルに与えた真の津波水理条件と比較された。その結果、すべてのパラメーターが精度よく復元されることが明らかになった。津波の浸水範囲・流速・堆積物濃度は真の値と推定値がよく一致し、精度が高いだけでなくバイアスもほとんど見られない。ただし、最大浸水深に関しては同様に精度良く見積もられるものの、約0.5mほど低めに見積もられるバイアスが検出された。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文で提案された逆解析モデルの検証のため、3つの現世津波堆積物(仙台平野・常磐海岸・プラトン島)のデータが解析され、津波水理条件の観測結果と逆解析結果との比較が行われた。さらに、本論文では、ジャックナイフ法を用いて逆解析結果の95%信頼区間も推定している。仙台平野に堆積した2011年東北地方太平洋沖津波堆積物の解析結果は平均流速 5.4 ± 0.1 m/s, 最大浸水深 4.1 ± 0.2 m, 最大浸水距離 4045 ± 121 mであった。タイ・プラトン島の2004年スマトラ沖地震津波堆積物に関しては、逆解析結果は流速・浸水深については概ね2011年東北沖津波と類似した値(流速 4.6 ± 0.2 m/s・最大浸水深 4.8 ± 0.3 m)であったものの、浸水距離は 1700 ± 8.1 mと大幅に小さい値が推定された。これらの値はすべて現地での観測結果とよく一致している。一方、常磐海岸の2011年東北地方太平洋沖地震津波堆積物の逆解析結果は、他の2つの例と比較して大幅に大きい流速を示している。この地域では、津波の流速は 12.1 ± 0.4 m/s, 最大浸水深は 2.4 ± 0.1 mと推定された。現地観測によると、常磐地域では極めて高速な津波の浸水流が発生したことが推定されており、本論文の逆解析結果はよくこの観測と一致している。この地域では浸水深が場所によって大きく変動することも知られているが、本論文はその理由は浸水流が射流であったためと推定している。

最終的に、本論文は新たに提案した手法を地層中の津波堆積物に対して応用し、過去の津波の特徴を復元した。869年に発生した貞願津波の堆積物に対して手法を適用したところ、流速は 5.3 ± 1.5 m/s, 最大浸水深は 3.9 ± 1.0 mであった。これらの推定値は、仙台平野における2011年東北地方沖地震津波の水理条件とよく類似している。従来、2011年の津波は869年貞願津波の再来であるということは予想されてきたが、両者の水理条件が定量的にも一致することを示した研究はこれが初めてである。

現世津波堆積物の解析により、本論文で提唱された手法の有効性が検証された。また、古津波堆積物に対しても十分に適用可能な手法であることが示されている。今後、さまざまな地域における古津波堆積物に対して本論文の手法が適用されることにより、地域の災害リスクの推定および減災への取り組みが行われ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3年7月16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。