

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：82102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04620

研究課題名（和文）強震動シミュレーションにおける震源パラメータの統計的モデル

研究課題名（英文）Stochastic model of source parameters for strong-motion simulation

研究代表者

岩城 麻子（Iwaki, Asako）

国立研究開発法人防災科学技術研究所・マルチハザードリスク評価研究部門・主任研究員

研究者番号：30770309

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、地震動予測において想定される地震断層モデルの震源パラメータの多様性を担保した予測地震動波形群を作成するため、一定数のシナリオに対する既存の地震動シミュレーション波形を用いてその集合から新たな地震波形データの集合を生成する手法を検討した。時刻歴波形データの時間・周波数領域における特徴量としてWavelet Packet (WP)係数を算出し、WP係数を低次元化した潜在変数の確率密度分布を推定することによって、元の波形データの集合の特徴が持つ分布に従う新たな波形データのサンプル生成を行った。潜在変数が従う確率密度関数と生成される地震動波形群の地震動特性の関係を議論した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では断層モデルや複雑な地盤構造の不確かさを考慮した大量の地震動シミュレーションを一つ一つ行うことなく、一定数の既存の地震動シミュレーション波形群を用いて、想定される地震断層モデルの震源パラメータの多様性を担保した入力地震動波形群を作成する手法を開発した。これによって適切な分布を持ったシミュレーション地震動波形群の作成が可能となり、強震観測記録が活用されている経験的な地震動予測における観測記録の補填や、特定地点や構造物の地震リスク評価のための入力地震動などにおける利用が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we examined a method to generate a new set of seismic waveform data from an existing set of earthquake motion simulation waveforms for a certain number of scenarios, in order to create a group of predicted seismic waveforms that ensure the diversity of source parameters of the earthquake fault models assumed in earthquake motion prediction. We calculated the Wavelet Packet (WP) coefficients as the characteristic quantities in the time and frequency domains of the time history waveform data, and by estimating the probability density distribution of the latent variables reduced from the WP coefficients, we generated new waveform data samples following the distribution of the characteristics of the original waveform data set. We discussed the relationship between the probability density function that the latent variables follow and the seismic motion characteristics of the generated group of seismic motion waveforms.

研究分野：応用地震学

キーワード：地震動予測 地震動シミュレーション

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

物理モデルに基づく数値シミュレーションによる強震動予測を地震ハザード・リスク評価に活かすためには、モデルの不確かさに伴う評価結果の不確定性の定量的評価が求められる。強震動予測のための震源モデルは震源過程の時空間進展を表現する多数の運動学的パラメータからなり、それらパラメータ間の関係性は定式化したもので記述されている。実際には想定地震に対して事前に震源像を正しく把握しモデルを一意に設定することは不可能であり、震源モデルの不確かさは強震動予測における不確定性を決める最大の要素のひとつとなる。特定地点や構造物における地域特性を反映した信頼性の高い地震リスク評価のための入力地震動において、想定される地震の断層位置形状や破壊様式といったシナリオの不確かさに起因する入力地震動のばらつきを考慮したシミュレーション波形データが有効である。観測記録を活用する経験的な地震動予測においても、巨大地震や断層ごく近傍地震動記録などの稀な記録は数が極めて少ないため、予測精度向上のためにはシミュレーションによる波形データの適切な利用が有効である。このようにシミュレーションによる地震動波形データの適切な利活用が期待されるが、断層モデルや不確かさを適切に考慮した大量の地震動シミュレーションを一つ一つ行うことは現状ではあまり現実的ではない。

2. 研究の目的

一定数の既存シミュレーション波形を用いて新たな地震動波形データの集合を生成することを試みる。新たに生成される地震動波形データは時間領域・周波数領域における「地震波形らしさ」および入力波形群としての「適切な分布」を既存波形データ集合から引き継ぐこととする。

3. 研究の方法

本研究では、一定数のシナリオに対する既存の地震動シミュレーション波形を用いてその集合から新たな地震動波形データの集合を新たに生成する。具体的には、テスト用シミュレーションデータセットを使って、既存波形データ集合として、特定地点における近傍の活断層を対象とした地震動シミュレーションによる波形データを想定する。

時刻歴波形データの時間・周波数領域における特徴量として時刻歴波形を Wavelet Packet 分解した Wavelet Packet 係数を算出する。シミュレーションデータセットの Wavelet Packet 係数を用いて深層生成モデルである Variational Auto Encoder (VAE) の学習を行い、低次元化した潜在変数を導出する。この低次元化した潜在変数を確率変数ベクトルとみなして確率分布を推定することによって、元の波形データの集合の特徴が持つ分布に従う新たな波形データのサンプル生成を行う。

新たな地震動波形群が適切な分布を持つためには特徴量が従う確率密度関数を適切に推定する必要があるため、サンプル生成にあたって仮定する潜在変数の確率分布には VAE と経験コンピュータに基づく分布の 2 通りを検討しその違いを検討することとした。

4. 研究成果

テスト用シミュレーションデータとして、不均質媒質モデルと強震動予測の標準的な手法に従った逆断層型の断層モデルを用いて、断層と観測点の位置関係および断層破壊様式の多様性を考慮した約 1500 波の広帯域地震動波形群とその Wavelet Packet 係数を計算した (図 1)。Wavelet Packet 係数を用いた VAE の学習で得られた潜在変数の確率分布を推定し、分布に従いサンプリングを行った。その際、VAE と経験コンピュータに基づく分布の 2 通りを検討した (図 2)。

VAE は潜在変数が標準正規分布へ従うよう学習が行われるため、学習された標準正規分布に従ってサンプルされた潜在変数をデコードすることにより新たな WP 係数を生成可能である。一方、コンピュータは多次元確率変数の累積分布関数とその周辺分布関数の関係性を表す関数である。ここでは既往研究を参考に、学習された多次元の潜在変数が従う累積分布関数 (CDF) を経験コンピュータを用いて推定し、推定した CDF に従ってサンプルを行い新たな WP 係数を生成した。

2 通りの方法で既存約 1500 波に対して 8 倍のサンプリングを行い、既存の波形群と新たに生成された地震動波形群について 3 成分加速度波形の最大値 (PGA) の分布を比較したところ、サンプリング方法による顕著な違いは見られなかった。一方、時刻歴波形の特徴のバリエーションを調べるため、既存波形群の位置波形を基準として、新たに生成された地震動波形群の一つ一つの形状に対して、形状の類似度を測る指標である KL ダイバージェンスや RMSE 指標を求めてそれらの分布を比較したところ、VAE を用いたサンプリング方法の場合は既存波形群の持つ KL ダイバージェンスの分布よりもばらつきが小さい傾向が見られた。

今後、様々な地震動指標や評価指標を用いて、生成された地震動波形データの適切さを評価する必要があると考えている。

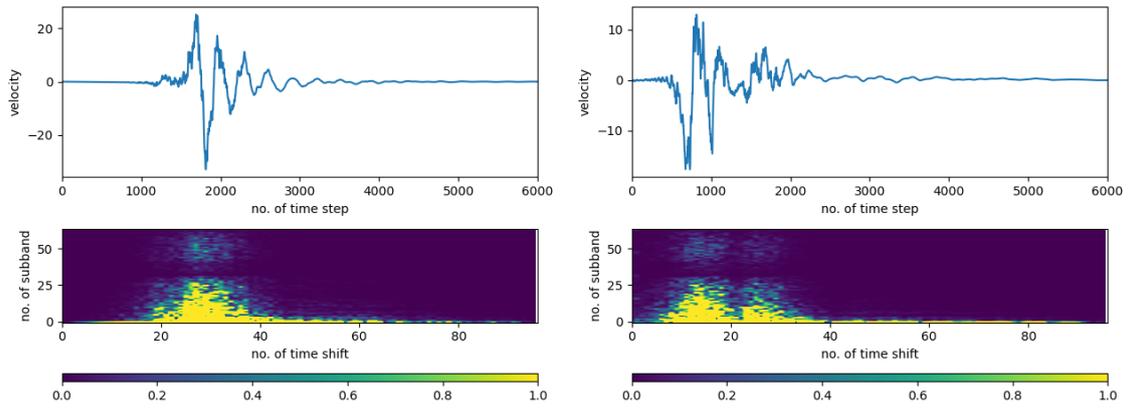


図1 シミュレーション地震動波形の時刻歴波形（上）と Wavelet Packet 係数（下）の例

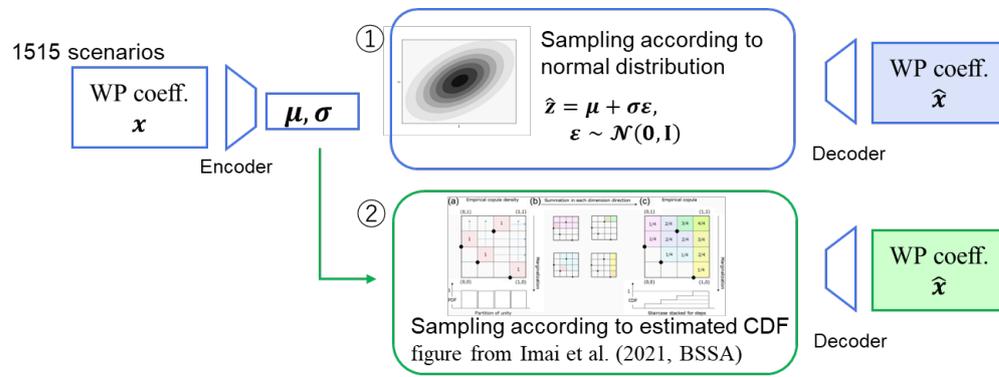


図2 本研究で検討した波形サンプリング方法の概念図

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岩城麻子・藤原広行・前田宜浩・森川信之・鈴木文乃・友澤裕介・加藤研一・元木健太郎
2. 発表標題 強震動データベースにおけるシミュレーションデータの妥当性評価手法の検討
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会, SSS10-13, 2022.
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩城麻子・森川信之・藤原広行・岡崎智久・久保久彦・司宏俊・小穴温子・石井透・友澤裕介・引田智樹
2. 発表標題 強震動データベースに基づく強震動予測モデルの比較
3. 学会等名 日本地震学会2022年度秋季大会, S15-16, 2022.
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩城麻子, 森川信之, 前田宜浩, 藤原広行
2. 発表標題 強震動予測レシピに基づく2016年熊本地震(Mj7.3)の強震動シミュレーション
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩城麻子, 藤原広行
2. 発表標題 2016年熊本地震の地表断層ごく近傍の強震動について
3. 学会等名 日本地震学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩城麻子, 今井隆太, 賀須井直規, 藤原広行
2. 発表標題 地震動時刻歴波形データの サンプル生成の試み
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2024年大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織			
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)		備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関