

# Real-Time Calculation Method of Seismic Intensity Applicable to Low-Rate Sampled Acceleration Record

\*Takashi Hirai<sup>1</sup>, Yuki Yoshioka<sup>2</sup>

1. Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University, 2. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

## 1. はじめに

本稿では、功刀・他 (2008) および功刀・他 (2013) による時間領域の近似フィルターを用いて加速度記録からリアルタイムで計測震度相当値を算出する手法について、既存のアルゴリズムが適用不可能な低いサンプリング周波数の加速度記録や、さらには不等間隔でサンプリングされた加速度記録に対しても適用可能となる新たな計算方法を提案する。この手法は、今後活用が広がると考えられるMEMS加速度センサーなどを用いた簡易な震動計において、処理系の演算性能やサンプリングの安定性が限定されている場合などに有効である。

## 2. 既存のリアルタイム震度演算法の概要

功刀・他 (2008) は、平成8年気象庁告示第4号に定められる計測震度算出に用いられる周波数フィルターと極力同じ振幅特性を持ち、かつ因果的な無限インパルス応答関数を有する近似フィルターを設計した。功刀・他 (2013) は、これをさらに改良したものである。リアルタイム震度演算は、加速度記録に対して時間領域の処理によりこのフィルターを施したうえで3成分を合成した振幅波形を作成し、適当な時間間隔で過去60秒間の振幅波形に対して継続時間判定処理を行って計測震度相当値を得るものである。

従来の演算法では、時間領域のフィルター処理を実装するにあたり、ラプラス変換形式で表現されたフィルター伝達関数から双線形変換によりz変換形式の伝達関数を導き、等間隔でサンプリングされた加速度記録に対して漸化式を適用することでフィルター波形を得ることとしている。この方法は簡便ではあるが、双線形変換にともなう周波数ひずみの影響などにより、加速度記録のサンプリング周波数によっては漸化式の自己回帰項が不安定な特性を示すことがある。具体的には、功刀・他 (2013) のフィルターの場合、サンプリング周波数がおおよそ77 Hzを下回ると不安定となり、フィルター波形が発散する。

## 3. 提案手法の概要

たとえばサンプリング周波数50 Hzの加速度記録に対してリアルタイム震度演算を行う場合、そのまま時間領域の処理を適用するとフィルター波形が発散するため、線形補間などの方法により100 Hzサンプリングの加速度記録としてから演算を行うことも考えられる。しかし、ここではそうした方法を用いず、沢口 (2018) を参考に、もとのサンプリング周波数のまま演算を行う方法を提案する。

功刀・他 (2013) のフィルターは6つの双二次フィルター（ラプラス変換形式の伝達関数で分母が  $s$  の2次式となっているもの）を直列に接続した形となっている。各段階のフィルターについて、まず、入出力信号間の関係を規定する2階微分方程式を書き下す。次に、これを対角正準形式の状態空間表現で表すことにより、独立な2本の1階微分方程式の組の形にする。さらに、入力信号はサンプル時刻間で線形的に変化すると仮定して、これらの微分方程式を解析的に積分することにより、状態ベクトルおよび出力信号の時系列を得る。このとき、サンプリング間隔が一定である必要はない。最終的には状態ベクトルの時間変化が漸化式の形で表現されるが、自己回帰項はサンプリング間隔の長短にかかわらず常に安定な特性を示す。

図1に、提案手法を2004年中越地震のK-NET小千谷 (NIG019) 観測点の強震記録（サンプリング周波数100 Hz, 計測震度6.732）に対して適用した結果を示す。加速度波形 (a) (b) (c) は東西成分のみを示しているが、計測震度相当値 (d) は3成分を合成した結果から算出した。従来法と提案手法によるフィルター波形はよく一致しており、計測震度相当値も括弧内に示した最大値を含めて同等となっている。図2に、同記録のサンプリング周波数を50 Hz, 10 Hzとしたときの提案手法の適用結果を示す。サンプリング周波数の変更は、単にデータを間引くことによって行った。フィルター波形・計測震度相当値ともに安定して得られていることが分かる。サンプリング周波数10 Hzの場合はエイリアシングの影響を無視できないが、計測震度相当値は極端に外れた値

とはならなかった。

#### 4. 課題

功刀・他(2013)による近似フィルターには複数のパラメータが含まれるが、その値は双線形変換に基づく演算法を用いる前提で最適化されている。提案手法に対しては、今後あらためて調整を行う必要があると考えられる。

#### 参考文献

功刀卓, 青井真, 中村洋光, 藤原広行, 森川信之, 震度のリアルタイム演算法, 地震 第2輯, 60, pp.243-252 (2008)

功刀卓, 青井真, 中村洋光, 鈴木亘, 森川信之, 藤原広行, 震度のリアルタイム演算に用いられる近似フィルタの改良, 地震 第2輯, 65, pp.223-230 (2013)

沢口義人, 不等間隔時系列に対する状態空間フィルタによる心拍変動周波数解析の高速化, 自動制御連合講演会講演論文集, 61, pp.41-44 (2018)

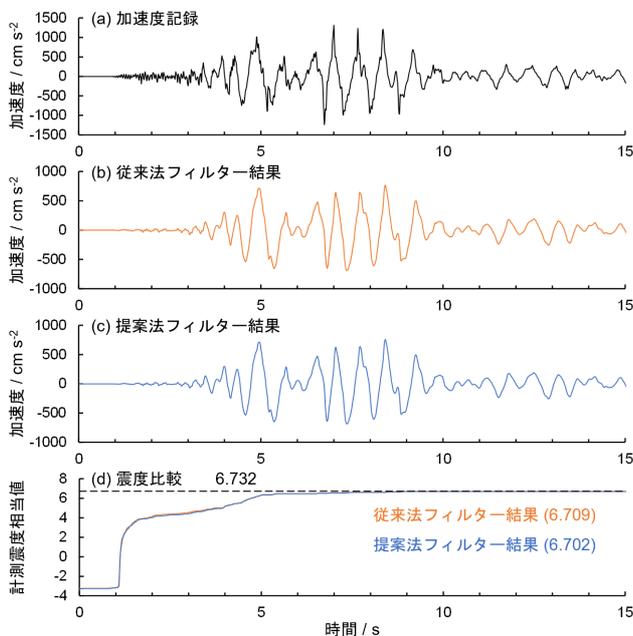


図1 新潟県中越沖地震 NIG019 EW 加速度記録に対して (b) 従来法と (c) 提案法のフィルターを施した結果と (d) 計測震度相当値の比較

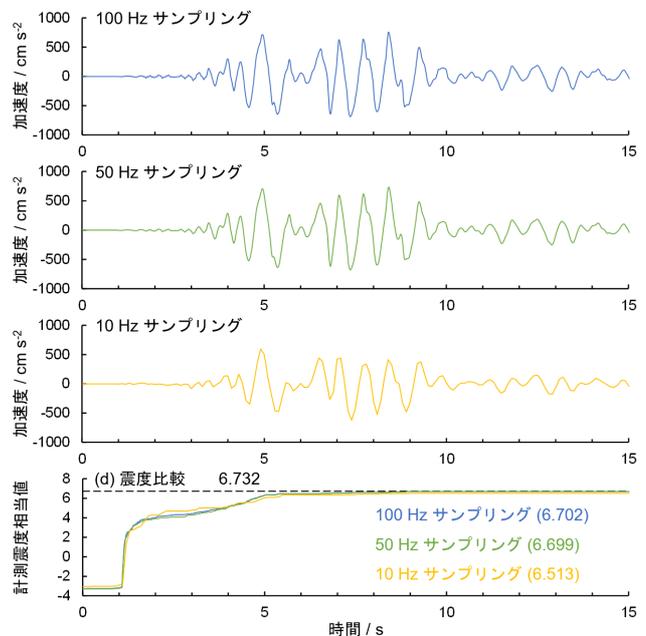


図2 新潟県中越沖地震 NIG019 EW 加速度に対して (a) 100 Hz, (b) 50 Hz, (c) 10 Hz サンプリングとしたときの提案法によるフィルター結果と (d) 計測震度相当値の比較