

隠れマルコフモデルに基づく地震波形の時系列構造のモデル化 Modeling of time series structure of seismic waveforms based on hidden Markov models

小寺 祐貴^{1*}, 酒井 慎一¹
Yuki Kodera^{1*}, Shin'ichi Sakai¹

¹ 東京大学地震研究所

¹Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

地震波形の時系列構造(どのようなフェーズがどのような順序で観測されるか)をモデル化することで、波形が持つ時系列の特徴を定量的に評価できたり、地震発生の物理過程を把握する手掛かりを得ることができると考えられる。モデル化された時系列構造を用いて、フェーズの検知、イベントの分類、周波数構造の解析、破壊過程の解析、波形の合成などが可能になると期待される。隠れマルコフモデル(hidden Markov model; HMM)は、観測データから統計的に時系列構造をモデル化する代表的な手法である。本研究ではフェーズの検知に焦点を当て、HMMによりモデル化された時系列構造を用いて、P波とS波の初動を読み取る新しい手法を開発する。ノイズからP波になりS波に至るという一連の時系列を直接自動検知システムに取り入れることで、従来の自動検知手法よりもフェーズの検知能力が上がると思われ。

時系列構造のモデル化をする対象にした地震は、足尾地域(栃木県西部)で発生する深さ0kmから15kmまでのイベントである。足尾の観測点であるE.ASOで2009年から2011年までに観測された明瞭なイベントトリガー波形約1000個に対して、パワー、極性、高次統計量を特徴量として抽出する。抽出した特徴量の時系列を学習用データとし、ノイズ、P波、S波をそれぞれ表現する3種類のHMMを構成する。それら3種類のHMMを一系列に繋げることで、イベントの時系列構造を表現するHMMを得る。与えられた地震波形に対し、イベントを表現するHMMから隠れ状態を推定し、その変化からP波とS波の初動を同定する。

E.ASOで2012年に観測された明瞭なイベントトリガー波形約1000個をテスト用データとして、HMMによる自動検知法を、振幅や周波数の変化を利用した手法(STA/LTA-AR法)と比較した。P波に対しては、HMMによる自動検知法の精度はSTA/LTA-AR法と同程度であった。S波に対しては、HMMによる自動検知法の精度がSTA/LTA-AR法の精度よりも有意に高かった。HMMはモデル化された時系列構造をもとに、P波の後続波とS波の後続波を認識した上でS波初動を検知するという物理過程を考慮した読み取り方を行っているため、S波の検知能力が向上したと考えられる。

キーワード: 隠れマルコフモデル, 時系列構造, 自動検知, 地震活動

Keywords: hidden Markov model, time series structure, automatic detection, seismicity