

## KM20-Langevin 方程式論による定常性解析を用いた新しい初動検出アルゴリズム

### New algorithm for automatic determination of first arrival times using stationary analysis from KM20-Langevin equation

# 中村 祥[1], 武尾 実[2], 松浦 真也[3], 岡部 靖憲[3]  
# Sho Nakamura[1], Minoru Takeo[2], Masaya Matsuura[3], Yasunori Okabe[3]

[1] 東大 理 地物, [2] 東大・地震研, [3] 東大・院・情報理工学  
[1] Department of epsScience U-Tokyo, [2] ERI, Univ. Tokyo, [3] Information Science, Univ. Tokyo

地震波形データに対して AR モデルを適用することで初動を検出する方法は、P 波初動の自動検出方式として現在広く用いられている。この手法では地震波の初動到着前後で、データは定常であると見なし、初動到着時で 2 つの区間に区分して AR モデルを当てはめると最も予測誤差が小さくなると仮定している。しかし、初動到着後の地震波 形が定常であることは保証されておらず、さらに、AR モデルを用いては時系列の定常性自体を判定することは難しい。そこで、本研究では KM20-Langevin 方程式理論に基づく時系列の定常解析の手法を用いて、地震波の時系列に対し定常・非定常の解析を行うことによる新しい初動検出アルゴリズムの開発を試みた。

用いた定常性解析の基本概念は以下の通りである。ある区間の時系列  $X(n)$  が時間に関して一次独立である時、 $X(n)$  は KM20-Langevin 方程式という形で書き表すことができる。この時、揺動項と呼ばれる部分は直交性の条件を満たす。この区間の時系列が定常性を満たすための必要十分条件は、この方程式の係数行列関数および揺動項の内積行列 関数(この 2 つを合せて Langevin 行列系という)が揺動散逸定理を満たすことである。また、Langevin 行列系と定常な時系列の共分散行列  $R(n)$  との間には、ある関係式が成立する。一方、任意の行列関数から揺動散逸定理および前述の関係式を満たす行列系を唯一つ決定することができる、という構成定理と呼ばれる定理が成立する。

以上より、ある区間の時系列から見本擬似共分散行列関数  $R'(n)$  を計算し、この行列関数  $R'(n)$  に構成定理を用いることで求めた擬似揺動項が直交性の条件を満たすかどうかを調べれば、その区間の時系列が定常であるかどうかを統計的に検定することができる。

地震波形記録中に一定長さに区切った区間を取り、この区間を離散的な時間間隔に沿って一つずつずらして行きそれぞれに対して次々に前述の方法を用いて定常性の解析を行う。もしバックグラウンドノイズが定常であれば、区間が非定常と判定され始めるのは、区間が初動の最初の点を含むように取られた時からと予測できる。注目すべきことは、AR モデルの理論を用いた場合と異なり、バックグラウンドノイズおよび初動到着時の時系列の定常性についてはこの解析自身で検証できるということである。実際の地震波形記録に定常解析を行った結果、バックグラウンドのノイズは多くの場合定常であるということが確認された。また、初動到着後の区間の時系列は非定常となることも確認された。

前述の特性を利用して、定常解析を用いた初動の自動検出法を考えた。バックグラウンドが多くの場合定常であることが確認されているので、定常な状態からの非定常状態へ遷移する際の顕著な異常を読み取る事を、この検出法の基本的なアルゴリズムとする。これを実際の地震波形記録へ適用した結果、バックグラウンドノイズが大きい場合でも、定常性が成り立っていると、初動は良く検出された。

今回の研究によって、地震波データにおける初動到着前後の時系列の定常性が明らかになると共に、定常性の解析を用いた初動の自動検出アルゴリズムが定常なバックグラウンドの波形記録においては非常に有用であることが分かった。今後の課題として、我々は S 波の検出についても検討を行っているが、前述したように初動到着後時系列は いったん非定常になるため、S 波の検出は非定常な状態からの検出となる可能性がある。そのため、S 波の検出には定常性解析に加えより複雑な考え方が必要になると思われる。