

地球自由振動を用いた未知のイベント探索

Searching for unidentified events using Earth's free oscillations

大鳥井 咲恵[1], # 須田 直樹[1], 名和 一成[2]

Sakie Ootorii[1], # Naoki Suda[2], Kazunari Nawa[3]

[1] 広大理, [2] 産総研

[1] Earth & Planet. Sys. Sci., Hiroshima Univ, [2] Earth & Planet. Sys. Sci., Hiroshima Univ., [3] AIST

現在、地球には大気・海洋を励起源とする微弱な常時自由振動が存在することが明らかになっている。このような微弱な常時励起のレベルを超えて、通常の地震とは異なる未知のイベントにより自由振動が励起されている可能性がある。未知のイベントとしては、沈み込み帯やトランスフォーム断層で起きるスローアースクェイク、何らかの突発的な大気・海洋現象などが考えられる。今回、このような地表付近での未知のイベント検出を目的として、自由振動のスペクトルを用いたイベント探索を10年分の広帯域地震計記録に対して行った。その結果、地震の影響の無い期間において、およそ20個の未知のイベントを検出した。

本研究では、基本的には Beroza & Jordan (1990)と同様に、自由振動のモード励起の有無の検定の結果を用いてイベントの有無の検定を行う2段階の統計的検定法を用いている。ただし、検定統計量や数値的な方法を用いていることに違いがある。この方法で、ある時刻でのイベントの有無を検定することを考える。地表付近のイベントの場合は、主に基本モードが励起される。このとき、周波数帯は基本モードのスペクトルピークが存在する「シグナル帯」とそれ以外の「ノイズ帯」に分けられる。第1段階のモード励起の検定では、モードのシグナル帯とその両側のノイズ帯での平均パワーの差を検定量とする。モード励起が無い、という帰無仮説のもとでの検定量の確率密度関数としては、離散的なパワースペクトルデータのブートストラッピングから得られる経験分布を用いる。これによって、帰無仮説のもとで検定量が観測値以上の値をとる確率 p_{mode} が求められる。その値がある有意水準 α_{mode} 以下ならば、帰無仮説を棄却、すなわち、モード励起が有るとする。このような検定を、解析する全観測点・全モードに対して行う。第2段階のイベントの検定では、励起されたモードの総数を検定量とする。イベントが無い、という帰無仮説のもとでの検定量の確率関数は、 p_{mode} を用いたモンテカルロ法で推定できる。これによって、帰無仮説のもとで検定量が観測値以上の値をとる確率 p_{event} が求められる。その値がある有意水準 α_{event} 以下ならば、帰無仮説を棄却、すなわち、イベントが有るとする。この方法では、当然通常の地震もイベントとして検出される。地震の影響の無い期間で p_{event} の値が小さければ、それが未知のイベントということになる。

解析には、IRIS GSN と GEOSCOPE の観測点からバックグラウンドノイズの小さい30観測点を選び、それらの1990-99年の10年分の上下動連続記録を用いた。解析したモードは、最もバックグラウンドノイズが小さい周波数帯である2.5-5mHzに固有周波数を持つOS17からOS43の27個の伸び縮み基本モードである。ある時刻でのモード励起を検定する際、最適なデータ開始時刻及びデータ長はモード毎に異なっているが、それらは数値実験で決定した。解析は3時間毎に行い、各時刻でのデータにはハニング窓を掛けてFFTでパワースペクトルを求めた。その際、システム応答を補正し、速度を加速度に変換した。

統計的検定法の難点は有意水準が任意なことである。本研究のような方法では、特に第1段階の有意水準 α_{mode} が最終的な p_{event} の値に大きく影響する。 $\alpha_{\text{mode}}=30\%$ 以上では、ほとんどの時刻で p_{event} は0.1%以下になってしまう。これは、常時自由振動を検出してしまっていると考えられ、未知のイベントの検出基準としては緩すぎる。また、 $\alpha_{\text{mode}}=1\%$ 以下では、マグニチュード6の地震の p_{event} の値が4割程度しか0.1%以下にならず、検出基準としては厳しすぎると考えられる。今回は、マグニチュード5.9の地震の p_{event} の値が5割程度0.1%以下になる値として $\alpha_{\text{mode}}=5\%$ を採用した。また、有意水準 α_{event} には0.1%を採用した。これによって、通常の地震の検出率に関しては Beroza & Jordan (1990)と同等になっている。

今回の解析では90年代の10年間でおよそ20個の未知のイベントを検出した。それらがISCカタログに未掲載の通常の地震ではないことは時系列データを見て確認した。今回検出した未知のイベントの75%は前半の5年間に起きていた。また、Beroza & Jordan (1990)では、1978-79年の旧IDAの10観測点の記録を解析して27個の未知のイベントを検出している。これは今回の結果に比べて1桁以上大きい頻度である。このような解析時期による頻度の違いが有意かどうかは、データや方法の違いを考慮して今後慎重に検討する必要がある。また、本研究の方法ではイベントの有無が分かるだけで、イベントの起きた場所や大きさは分からない。それらも含めて探索できる方法の開発が今後の課題である。