

データロガー起源のコヒーレントノイズ

高木涼太・西田究・青木陽介・前田拓人・小原一成（東京大学）

相互相関関数に見られる奇妙な周期的パルス

常時微動やコーダ波の相互相関関数から2観測点間のグリーン関数を抽出する手法は、地下構造のイメージングやモニタリングに広く用いられている。本研究では、Hi-net 短周期速度計で観測された常時微動の相互相関解析を行った結果、60 秒毎と 1 秒毎に周期的に現れる奇妙なパルスを発見した(図 1a, b)。これらの周期的パルスは、自然現象を反映しているとは考えにくい。本研究では、この周期的パルスの原因を明らかにし、相互相関解析における対処法を提示する。

波形のスタッキング

相互相関関数中の周期的パルスが生観測記録にも存在するか確かめるため、Hi-net 全点の 1 ヶ月分の上下動記録を、1 分毎と 1 秒毎に波形の先頭を揃えて整数値のままスタックした。Hi-net は全観測点で同じ計測技研製のデータロガーを用いて収録を行っているため、波形のスタッキングは収録機器に起因する信号のみを抽出すると考えられる。1 分毎のスタック波形には、振幅 1 digit のパルスが 1 秒毎に周期的に現れ(図 2a)、この周期的パルスは先頭から 0.1 秒にピークを持つ(図 2b)。また、1 分毎のスタック波形には、波形の先頭から約 2 秒後にピークを持つブロードなパルスが存在し、1 分毎に繰り返しこのパルスが混入していることを表す。

次に、白山工業製のデータロガー LS7000-XT を用いて、地震計に接続せずに試験観測を行った。記録された 1 日分の波形をスタックしたところ、Hi-net と同様に 1 秒毎と 60 秒毎に繰り返すパルスが出現した(図 3a, b, c)。また、LS7000-XT の時刻校正頻度を毎秒から毎時に変更すると、1 秒毎のパルスが出現しないこと(図 3c, d)、さらに、入力ショートにより入力信号の振幅を減少させると、60 秒毎のパルスの振幅が小さくなることがわかった(図 3e, f)。

データロガー起源のコヒーレントノイズ

Hi-net と LS7000-XT の両方で見られるこれらの周期的パルスは、地震計接続無しでも出現するため、データロガーに原因がある。1 秒毎のパルスは、毎秒時刻校正を行う場合にのみ出現することから、GPS 信号を用いた時刻同期が原因と考えられる。また、使用した収録機器は 1 分毎に CF カードへのデータの書き込みを行うことと、入力振幅に依存してパルス振幅が変化することから、データ書き込みに伴う機械的動作が 60 秒毎のパルスの原因である可能性が高い。

2つの対処法

ここで、相互相関関数からロガーノイズを除去する 2つの方法を提案する。1つ目は、観測波形からスタック波形を差し引いた後に相互相関関数を計算する方法である(図 1c, d)。この方法は、ロガーノイズが観測点と時間に依存しない必要があるが、すべての成分の相互相関関数を計算でき、また、他の解析にも適用できるという利点がある。2つ目の方法は、相互相関関数の ZR 成分(Z: 鉛直, R: 動径)と RZ 成分を使用する(図 1e, f)。レイリー波は上下動と水平動で位相が 90°ずれるため、ZR 成分と RZ 成分の相互相関関数の符号は反転する。一方、ロガー起源のノイズは成分間で同位相であるため、ZR 成分と RZ 成分の相互相関関数は同符号である。そのため、ZR 成分と RZ 成分の差をとることで、ロガー起源のノイズのみ除去できる。この方法は、適用が ZR 成分の一成分に限られるが、ロガーノイズを推定せずに効果的に除去できるという利点がある。

結論

60 秒毎と 1 秒毎に繰り返すデータロガー起源のコヒーレントなノイズが存在することがわかった。GPS 時刻校正が 1 秒毎のパルス、CF カードへのデータ書き込みが 60 秒毎のパルスの原因と考えられる。コヒーレントノイズは数 digits 以下と非常に小さいため、通常のイベント波形解析に与える影響は小さい。しかし、相互相関解析のようにコヒーレント部分を長期間スタックする場合、特に、短周期地震計記録を用いてシグナルの振幅が落ちる長周期帯域を解析する場合には注意が必要である。

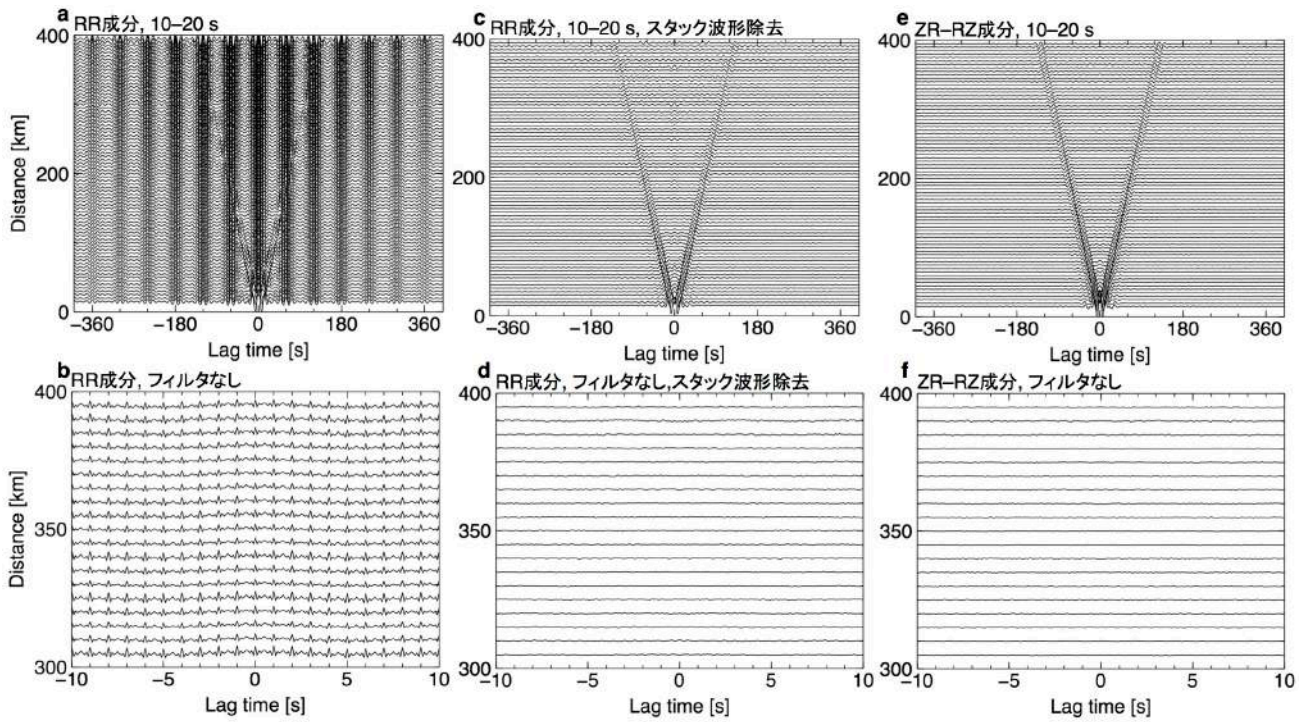


図 1. Hi-net 記録の常時微動の相互相関関数. (a) 10–20 秒のバンドパスフィルタをかけた RR 成分の相互相関関数. (b) フィルタなしの RR 成分の相互相関関数. (c)(d) (a)(b)と同様だが、スタック波形を差し引いた後の相互相関関数. (e)(f) (a)(b)と同様だが、ZR 成分と RZ 成分の差.

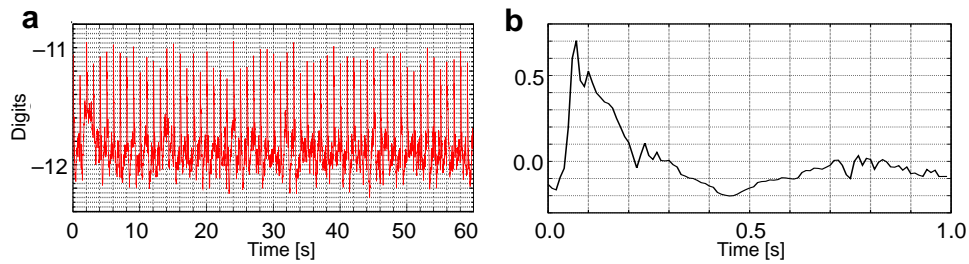


図 2. Hi-net のスタック波形. (a) 1 分毎のスタック波形. (b) 1 秒毎のスタック波形.

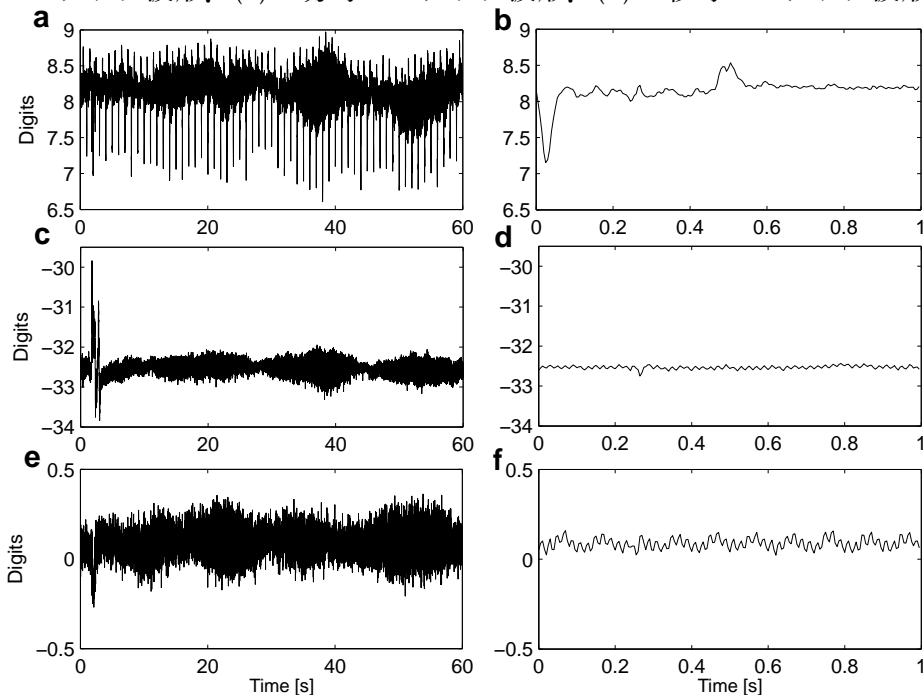


図 3. LS7000-XT の 1 分毎 (a, c, e)・1 秒毎 (b, d, f) のスタック波形. (a)(b) 毎秒時刻校正・入力ショートなし. (c)(f) 毎時時刻校正・入力ショートなし. (e)(f) 毎時時刻校正・入力ショートあり.