

## 地震動及び常時微動の振幅に関する非ガウス性の基礎的検討

東京都市大学 学生会員 ○檀ノ原 宗  
東京都市大学 正会員 吉田 郁政

## 1. はじめに

様々な問題に対してガウス分布（正規分布）や対数正規分布を仮定した検討が数多く行われてきた。取得できるデータは平均値付近が多く、平均から離れた低頻度事象のデータは少ないため、その確率的特性の検証は困難であった。近年、計測技術やデータ取得技術の発達により、多くの低頻度のデータの取得が可能となりつつある。これまでガウス分布で予測していた現象が低頻度の特性も実現象と一致しているのかは重要な問題であろう。

佐藤<sup>1)</sup>は地震動の位相差分がガウス分布に従わない特殊な特性をもっていることを指摘し、安定分布（レヴィフライト分布）を用いた解釈を行っている。磯貝<sup>2)</sup>は株価の変動の特性を調べ、その特性がガウス分布ではなく安定分布のパラメータ  $\alpha=1.66$  程度であることを報告している。 $\alpha=2$  であればガウス分布であるが、それよりも小さくなると裾野の分布が厚くなり、ガウス分布でモデル化した場合よりも低頻度事象が発生しやすいことを意味している。

今後、様々なデータの特性を調べる予定であるがその第1歩として地盤で計測した常時微動の加速度時刻歴や東北地方太平洋沖地震の加速度時刻歴の振幅特性の非ガウス性について検討を行った。

## 2. 安定分布のパラメータの最尤法による推定

分散が有限な独立な分布に従う変数の和は、足し合わせる変数の数が多くなると正規分布に収束するという中心極限定理は広く知られている。安定分布はガウス分布をその特殊な場合として含み、分散が有限ではない場合も含めて、もとの安定分布に収束するという一般化中心極限定理が成り立つ。安定分布は4個のパラメータ  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  で記述され、 $\alpha$  は0より大きく2以下の数値をとる。 $\beta$  は歪度をあらわし左右対称であれば0となる。 $\gamma$  はばらつきの大きさを、

$\delta$  は中心の位置を表すパラメータである。正規分布は  $\alpha=2$ 、コーシー分布では  $\alpha=1$  となり、それぞれ安定分布の特別な場合として位置づけることができる。

以下の例題では数値的な最尤法を用いてパラメータの推定を行った。地震動や常時微動観測の時刻歴を対象としたため  $\beta=0, \delta=0$  として、 $\alpha$  と  $\gamma$  について最尤法を用いて推定した。安定分布の尤度の計算にはR言語のパッケージ `stabledist` を用いた。

## 3. 常時微動についての推定結果

東京都市大学の世田谷キャンパスの地盤で計測した常時微動を用いた。比較的安定していると思われる部分 200 秒間を抽出した。その加速度時刻歴波形（標準化変換した時刻歴）を図-1(1)に示す。10 秒間ずつの区間の  $\alpha$  と  $\gamma$  について推定した。時間刻みは 0.01 秒であるため、それぞれの区間 1000 データとなる。図-2 に図-1 の赤で示した区間の尤度（対数尤度に-1 を乗じている）のコンター（等高線）を示す。 $\alpha$  は2 よりもやや小さく、 $\gamma$  は 0.4 程度の付近に

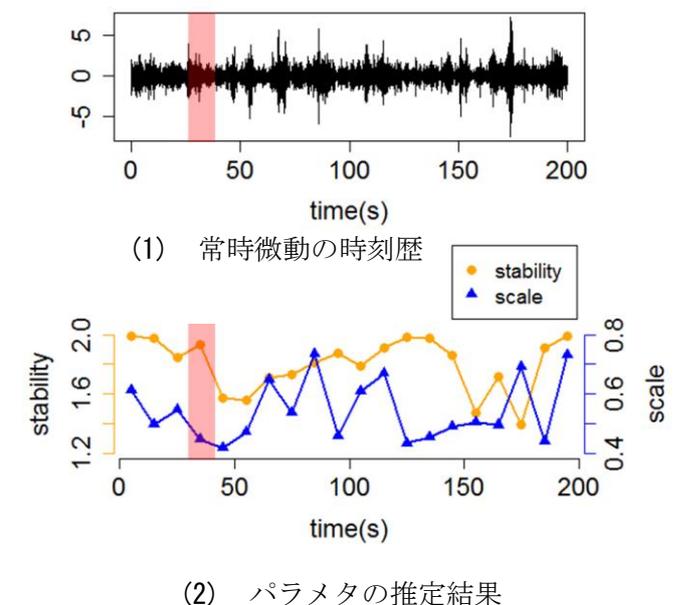


図-1 常時微動の加速度に対する  $\alpha, \gamma$  の分布

キーワード 低頻度事象, 安定分布, ガウス分布, 最尤法

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 都市工学科 TEL 03-5707-0104

最小点が現れていることがわかる。各区間について  $\alpha$  と  $\gamma$  を調べた結果を図-1(2)に示した。 $\alpha$  は 1.4 から 2.0 の間で変動しており、パルス的な振動がある区間で  $\alpha$  が小さくなっているように見える。

4. 地震動についての推定結果

気象庁のホームページ<sup>3)</sup>から 2011 年の東北地方太平洋沖地震について気仙沼市赤岩地点で計測された南北方向の加速度をダウンロードして検討を行った。全体 360 秒間のうち、30 秒から 200 秒までを抽出してパラメタの推定を行った。その加速度時刻歴を図-3(1)に示す。 $\gamma$  は加速度波形の振幅レベルと整合する形で変動しているが、 $\alpha$  については 2.0 に近い値で比較的安定している。図-4 に常時微動と同様に赤で示した区間についてコンターを示す。常時微動と比較的似たような形状のコンターとなっている。

5. まとめ

本検討では常時微動と地震動の加速度時刻歴の振幅の確率分布の特性について調べた。その結果、あいまいなところもあるが、おおよそガウス分布に近い特性を示していると思われる。現在、様々データについてその確率分布の裾野部分の特性を調べており、データによっては非ガウスの特性を示す可能性もあると予想している。その場合には限界状態超過確率にも大きな影響を与えるため、その感度についても検討する予定である。

参考文献

- 1) 佐藤忠信：震動位相差分の特異な確率特性と確率過程。一分散の定義できない群遅延時間のモデル化—，土木学会論文集A1(構造・地震工学)，Vol.73, No.2, 344-363, 2017.
- 2) 磯貝孝：安定分布による試算収益率のファットテイル性のモデル化とVaR・ESの計測手法におけるモデル・リスクの数値的分析，日本銀行ワーキングペーパーシリーズ，No.13-J-3, 2013.
- 3) 気象庁：強震波形(平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震)，  
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/index.html>, 2019.3.20. 閲覧.

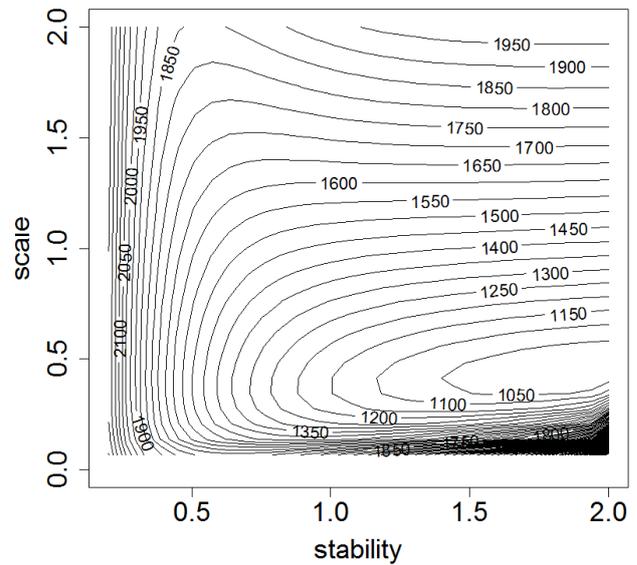
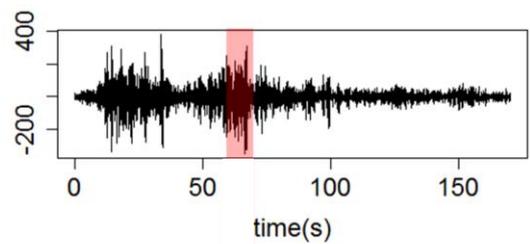
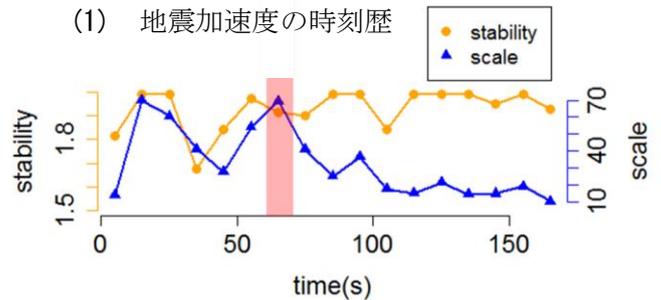


図-2 常時微動 30-40s に対するコンター



(1) 地震加速度の時刻歴



(2) パラメタの推定結果

図-3 地震加速度に対する  $\alpha$ ,  $\gamma$  の分布

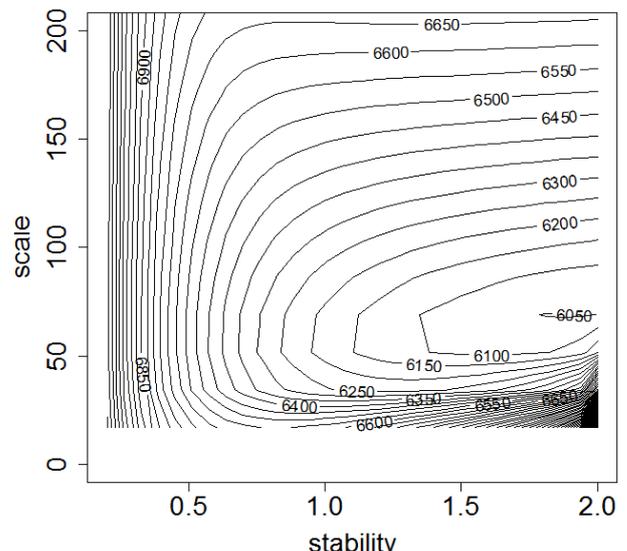


図-4 地震加速度 60~70s に対するコンター