

地震波速度変化の統計的特徴

中原 恒 (東北大・理)

1. はじめに

地震波干渉法により地下の地震波速度の時間変化が調べられ、大・中地震に伴う変化(e.g. Wegler and Sens-Schoenfelder, 2007)や火山噴火に伴う変化(e.g. Brenguier et al., 2008)が検出されている。また、それらの現象が見られる期間以外でも、年周変化(e.g. Meier et al., 2010; Hirose et al., 2017)などが見られることが報告されている。地震波速度変化のモニタリングを行い、地震や火山噴火に伴う異常を検出するには、平常時の振る舞いを理解し、その統計的な特徴を事前に調べておくことが重要である。そこで本研究では、地震波干渉法により検出された平常時の地震波速度変化のデータの確率密度分布を調べることにした。

2. データ

本研究では、地震の震源域と火山の2種類の地域を対象とすることにした。

2. 1 2008年岩手宮城内陸地震の震源域周辺

Hobiger et al. (2012)とHobiger et al. (2014)により求められた地震波速度変化のデータを使用した。彼らは、20観測点の合計190個の観測点ペアに対して、0.125-1Hzの脈動帯域で地震波干渉法解析を行い、相互相関テンソル9成分のコーダ部分を全てスタックすることで、安定的に地震波速度変化を求めた。図1には例として、岩手宮城内陸地震の震源域周辺のICEH-NRKH, OGCH-JYKペアの0.25-0.5Hzの結果を示す。サンプリング間隔は1日であるが、相互相関テンソルを計算する際に10日間のスタッキングが行われている。データには、2008年岩手宮城内陸地震と2011年東北地方太平洋沖地震に伴うステップ的な速度低下とその後の過渡応答、さらに年周変化などが見られる。以下の解析では、平常時の地震波速度変化の確率密度分布を調べたいため、地震による明瞭なステップ変化が見られない2009年1月から2010年末までの2年間の「平常時」のデータを利用した。

2. 2 桜島

Hirose et al. (2017)や廣瀬・他 (2017) により求められた地震波速度変化のデータを使用した。彼らは、6観測点の合計15観測点ペアに対して、2012年から2015年の4年間について、1-8Hzの帯域で地震波干渉法解析を行い、上下動成分の相互相関関数のラグタイム10sまでのデータを用いて地震波速度変化を求めた。2015年8月のダイク貫入に伴う顕著な変化に加えて、春先に極小、秋口に極大をとるような年周変化も見られる。以下の解析では、ダイク貫入による変化が見られない2012年から2014年までの3年間の「平常時」のデータを利用した。

3. 確率密度分布

平常時の地震波速度変化のデータを用いて、平均ランク法により図2のようなガウス確率プロットを作成し、その直線性を確認することによりガウス分布に従うかどうかを調べた。ICEH-NRKHペアは少し曲がっているようにも見えるが、第1近似としては直線としても悪くない。一方、OGCH-JYKペアはかなりきれいな直線を示す。2008年岩手宮城内陸地震震源域では、他の観測点ペアでもガウス確率プロット上での直線性は良く、平常時の地震波速度変化がガウス分布に従っていると仮定してもよいと考える。

一方、桜島の場合は、4-8Hzでは確率プロット上での直線性はよいが、1-2, 2-4Hzでは図3に示すように明らかに直線からずれてくる。この形状は、外れ値がガウス分布よりも顕著に多いような分布を示唆する。試行錯誤の結果、このような分布は切断コーシー分布でモデル化できることが分かった。

4. 定量的モニタリングに向けて

この結果を受けて、次のようなモニタリングが可能である。確率密度分布が分かると、ある地震波速度の値が観測される確率を計算することが可能となる。例えば、2008年岩手宮城内陸地震の震

源域にあるOGCH-JYKペアの場合、今回の結果から平常時の地震波速度変化は、平均0.0056%、標準偏差0.029%のガウス分布に従うことが分かった。この場合、東北地方太平洋沖地震に伴う約0.23%の速度低下量は、平常時の標準偏差の約8倍に対応する極めて大きな変化で、ガウス分布に従えば極めてまれな現象であることが確率的に表現されることになる。

5. まとめ

本研究では、2008年岩手宮城内陸地震の震源域周辺と桜島の2地域で求められた地震波速度変化のデータについて、「平常時」の確率密度分布を求めた。前者はガウス分布で、後者の特に低周波側は切断コーシー分布でモデル化可能であることが分かった。異なる分布になるメカニズムについてはまだよくわからないが、このような知見は、今後定量的かつ自動的なモニタリングを行う際に不可欠である。異常を知るには平常を知ること、定量化するには確率を用いること、の重要性を改めて確認した。

謝辞 スイス連邦工科大学 (ETH) のManuel Hobiger博士、東北大学大学院理学研究科の廣瀬郁氏には、地震波速度変化のデータを提供していただいた。

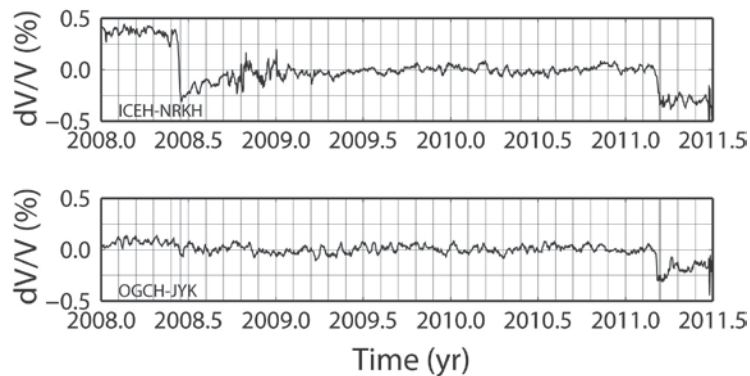


図1. 地震波速度変化の例（岩手宮城内陸地震の震源域，2-4s）。

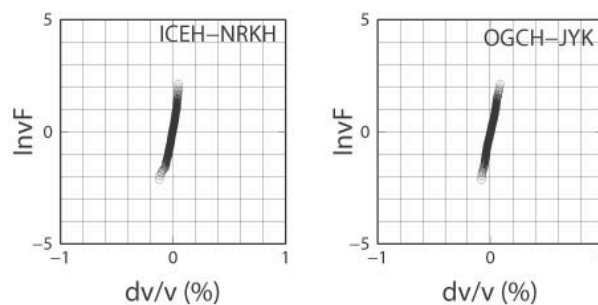


図2. 地震波速度変化の正規確率プロットの例（岩手宮城内陸地震の震源域，2-4s）。

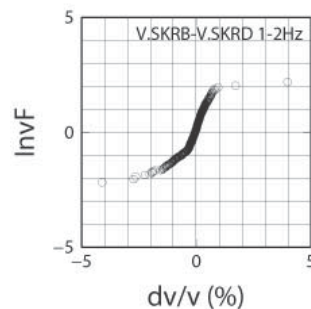


図3. 地震波速度変化の正規確率プロットの例（桜島，1-2Hz）。