

自己組織化マップを用いた地震動の経時特性の考察

岐阜大学流域圏科学研究センター 正会員 ○久世 益充
 岐阜大学工学部 正会員 能島 暢呂
 岐阜大学大学院工学研究科 学生会員 高島 拓也

1. はじめに

地震動特性の評価は地震工学における基本的な課題であり、地震動ごとに異なる特徴を的確に捉えることが重要である。本研究では特に経時特性に着目し、累積パワー曲線に基づいて波形の4次までのモーメント量を求め、これに基づく特徴ベクトルを提案する。さらに自己組織化マップ¹⁾を適用して経時特性の全体像を評価する。具体例として、2011年東北地方太平洋沖地震を対象とした例を示す。

2. 地震動の経時特性の特徴抽出

2.1 特徴ベクトルの定義

本研究では、経時特性の特徴抽出に当たって、水平成分の1成分ごとの地震動加速度波形 $A(t)$ の全パワーで正規化された累積パワー曲線(Husid plot) $P_c(\tau)$ を用いる。 $P_c(\tau)$ を1%刻みで離散化し、99個のパーセンタイル値 $t_i = P_c^{-1}(\tau)$ ($i=1, \dots, 99$) を求め、基準時間を t_1 として時間差 $d_i = t_{i+1} - t_1$ ($i=1, \dots, 98$) を定義して98次元の特徴ベクトル $\mathbf{d} = \{d_i\}$ とする。

次に、階段状の関数となる $P_c(\mathbf{d})$ を0~100%に正規化し、隣り合う d_i の平均値に等確率 $p=1/98$ を付与すると確率分布関数として扱うことができる。これを用いて、4次までのモーメント(1次は原点周り、2~4次は平均値周り)を求め、平均値 μ_d 、標準偏差 σ_d 、歪度 ν_d 、尖度 κ_d (ただし正規分布の尖度3で基準化した定義)を求める。これにより4次元に縮約したベクトル $\mathbf{x} = \{\mu_d, \sigma_d, \nu_d, \kappa_d\}$ を $P_c(\tau)$ の特徴ベクトルとする。

2.2 特徴ベクトルの算出例

2011年東北地方太平洋沖地震で観測されたK-NET²⁾波形記録より、局所的な地震の影響と思われるデータを除外した693地点のEW成分を用いた。波形から算出した特徴ベクトル $\mathbf{x}$ の分布を図1に示す。NIG013のように、振幅の明瞭なピークが見られず、継続時間が長い傾向の波形は、標準偏差・歪度が大きく、尖度は若干小さい。このような特徴の波

形は、東北地方日本海側から北陸地方に見られる。NIG013に対して、単峰形で振幅のピークが鋭く、小振幅が長く継続しているCHB011は尖度が大きい。このような波形は関東平野に見られる。さらに、MYG009のように、継続時間が長く、振幅の偏りが見られるような、標準偏差・歪度が大きな波形は、東北地方に多数見られる。以上のように、累積パワー曲線より算出した特徴ベクトル $\mathbf{x}$ が経時特性を的確に評価できることが確認できる。

3. 自己組織化マップに基づく経時特性の評価

3.1 自己組織化マップの手法

自己組織化マップ(Self-Organizing Maps, SOM)を用いて経時特性を分類する。SOMは、Kohonenが開発した教師なし学習のアルゴリズムを用いるニューラルネットワークモデルである¹⁾。SOMでは、多次元データの情報を2次元平面上に写像する事でデータを要約し、可視化できる。以下に手順を概説する。

- (1) 2次元平面の座標 i に重みベクトル $\mathbf{m}_i$ をランダムに設定する。
- (2) 離散時間座標 t において、特徴ベクトル $\mathbf{x}(t)$ と $\mathbf{m}_i(t)$ の差が最小となる座標 i を探索し、 $\mathbf{m}_c(t)$ とする。
- (3) $\mathbf{x}(t)$ と $\mathbf{m}_c(t)$ より、 $t+1$ における $\mathbf{m}_i(t+1)$ を次式のように更新する。

$$\mathbf{m}_i(t+1) = \mathbf{m}_i(t) + \alpha(t) h_{ci}(t) \{\mathbf{x}(t) - \mathbf{m}_i(t)\} \quad (1)$$

ここで、 $\alpha(t)$ は学習率係数、 $h_{ci}(t)$ は近傍関数であり、 t の更新に伴い減少する関数である。

- (4) 式(1)を座標 i より $h_{ci}(t)$ の範囲にある $\mathbf{m}_i(t)$ に対して適用し、これを全ての $\mathbf{x}(t)$ に対して所定の回数を繰り返すことで、特徴ベクトル $\mathbf{x}$ は2次元平面上にマップ化できる。

3.2 経時特性の比較と考察

2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録より算出した特徴ベクトル $\mathbf{x}$ を用いてSOMを作成した。図2

キーワード 自己組織化マップ、経時特性、累積パワー、2011年東北地方太平洋沖地震

連絡先 〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 岐阜大学流域圏科学研究センター TEL 058-293-2427

に、マップの各グリッドの特徴コードを示す。3.1で前述したように、初期配置の特徴コードはランダムであるが、SOMにより、平均が大きな特徴は図2の右側、標準偏差の大きな特徴は右下、歪度・尖度の大きな特徴は左下に布置されており、規則性を持ったマップになっていることが確認できる。図1の3波形の特徴ベクトル $\mathbf{x}$ は、図2の特徴コードに最も近いグリッドに布置されている。すなわち、歪度と尖度が大きな CHB011 は図2左下、平均と標準偏差が大きく、歪度・尖度も若干大きな NIG013 は右下、両者よりも標準偏差・歪度・尖度が比較的小さい MYG009 は中央付近にそれぞれ布置された。

図3に、図2の特徴コードの配置に対応する加速度波形を示す。標準偏差の小さい特徴(継続時間が短い波形)が左側に見られ、標準偏差が大きな特徴(継続時間が長い波形)が右側に現れている。また、尖度の大きな特徴(単峰形の鋭い振幅のピークが見られる波形)が左下に見られ、右に行くに従って尖度が小さく標準偏差が大きい特徴(振幅の明瞭なピークが見えにくく継続時間が長くなる波形)の傾向や、左下から右上の歪度の減少(ピークが後ろにずれ込み左側の裾が長くなる波形)の傾向が現れている。なお、図2左上の平均・標準偏差・尖度が小さな特徴の波形は、図3の FKI011 のように継続時間が短い。左上の特徴コードに共通して見られた特徴であるが、これは、波形全体の振幅レベルが小さく、トリガレベル未満の地震動を記録できていないと思われる。以上のことから、SOMにより高次の特徴ベクトル $\mathbf{x}$ を縮約し、地震動の経時特性を系統的に整理したマップが作成できたと言える。加えて、 $\mathbf{x}$ に含まれる振幅特性も、マップに現れていることが確認できた。

4. おわりに

本研究では、2011年東北地方太平洋沖地震の波形記録を対象に、SOMにより地震動の経時特性をマップ化した。多次元情報を次元縮約できる主成分分析や多次元尺度構成法では、主要な2成分の特性が取り上げられ、それ以外の情報が除外される。SOMでは、多次元情報を維持したまま2次元平面への写像を行うため、特徴ベクトル $\mathbf{x}$ に含まれる4次元の情報を比較・考察することができた。今後は他の既往地震で観測された加速度波形に対してもSOMを適用して特徴比較を行う方針である。

謝辞：本研究では(国研)防災科学技術研究所 K-NETの強震記録を使用しました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 大北正昭・徳高平蔵・藤村喜久郎・権田英功，自己組織化マップとそのツール，シュブリンガー・ジャパン(株)，2008。
- 2) (国研)防災科学技術研究所，強震観測網(K-NET, KiK-net)，<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>

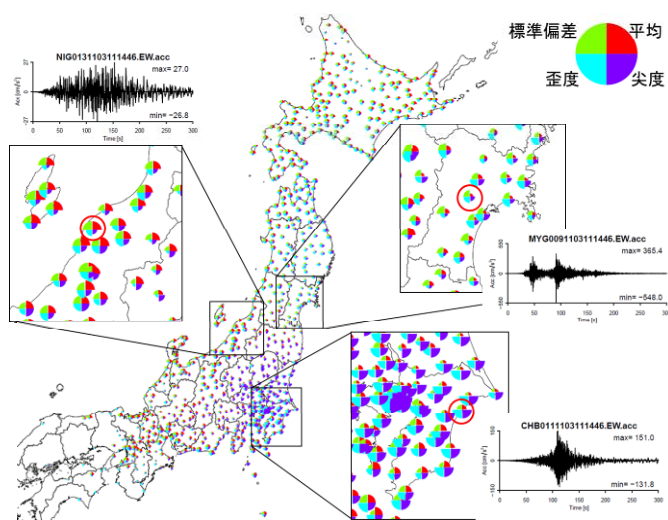


図1 特徴ベクトル $\mathbf{x}$ の分布(赤丸は波形の地点)

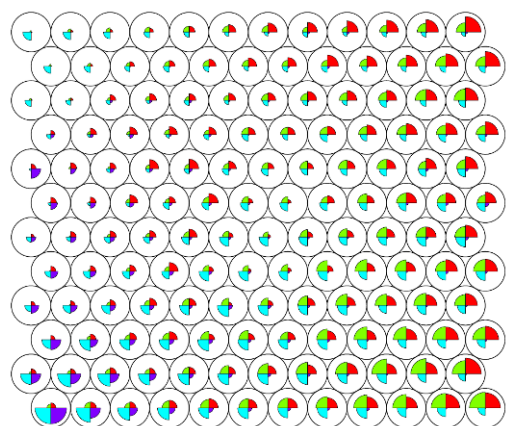


図2 SOM上に展開された特徴コード

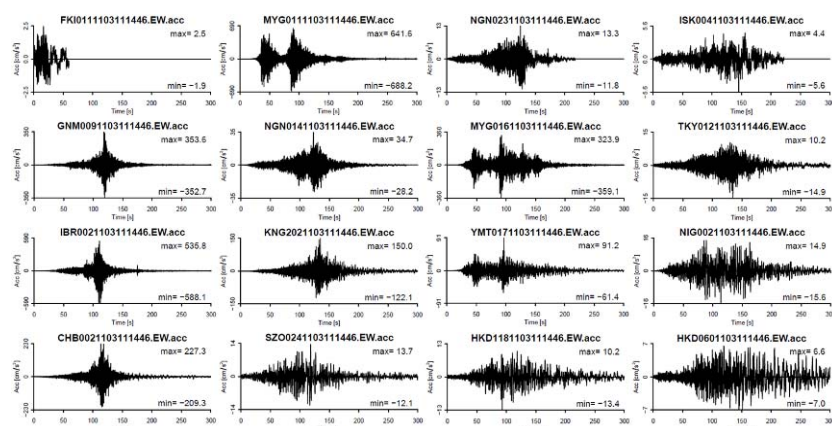


図3 特徴コードに対応した波形(図2の配列上に代表波形を描画)