

地震動分布のモード分解による 周期・方位依存の空間特性の分析

高橋 幸宏¹・能島 暢呂²・香川 敬生³

¹学生会員 岐阜大学大学院 工学研究科博士課程工学専攻 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)
E-mail: z3921005@edu.gifu-u.ac.jp

²正会員 岐阜大学教授 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1)
E-mail: nojima@gifu-u.ac.jp

³正会員 鳥取大学大学院教授 工学研究科社会基盤工学専攻
(〒680-8552 鳥取大学鳥取市湖山町南 4-101)
E-mail: kagawa@cv.tottori-u.ac.jp

地震動予測には不確定性を伴い、震源パラメータ設定によって予測結果にばらつきが生じる。筆者らは、そのばらつきの空間分布と空間相関（空間相関特性）の評価手法として、特異値分解によるモード分解を提案した。本研究では、横ずれ断層における 300 ケースの周期・成分別の絶対加速度応答値の分布に対して提案手法を適用し、震源パラメータ設定の違いが空間相関特性に及ぼす影響を明らかにした。モード 1 には距離減衰特性が現れ、モード 2 以上には、全域で地震動強度を増減させるモードやディレクティブイ効果に関するモードが現れた。それらが周期・成分ごとに特徴を持つことを明らかにした。また震源パラメータ（地震モーメントおよび破壊伝播速度）が及ぼす影響について考察した。

Key Words: *strong ground motion distribution, period and component characteristics, spatial variation and correlation, mode decomposition, source parameter settings*

1. はじめに

将来発生しうる地震動の予測は、地震ハザード・リスク評価においても最も本質的な課題の一つである。地震動予測には、震源特性や伝播経路特性、サイト特性など種々の不確定性を伴うため、予測結果にばらつきが生じる。地震調査研究推進本部¹⁾および(国研)防災科学技術研究所の地震ハザードステーション(J-SHIS)²⁾が公表している震源断層を特定した地震動予測地図（以下、シナリオ地震動予測地図）では、これらの不確定性のうち、震源断層モデルの設定パラメータ（以下、震源パラメータ）によって生じるばらつきを考慮して、強震動予測のレシピ³⁾に基づき複数ケースの震源断層モデルが設定され、異なる断層破壊シナリオを想定していることが多い。

一方、2016 年熊本地震、2018 年大阪府北部の地震、2018 年北海道胆振東部地震と地震が相次いで発生しているが、実際に発生した地震と想定されたシナリオ地震が、震源パラメータや地震動分布の面でかなり乖離していることがほとんどである。これより、予め想定された複数ケースの予測地震動分布で、将来発生しうる地震動分布

を含む、多様な地震動分布の可能性を網羅することは重要な課題である。シナリオ地震動予測地図が示す地震動の空間分布の多様性は、震源パラメータの設定条件である「レシピ」に依存していることから、課題の解決には「レシピ」の拡張について検討する必要がある。そのため、震源パラメータと地震動分布の関連性を明らかにすることが重要である。

震源パラメータ設定（例えば、アスペリティの位置・面積・強度、破壊開始点の位置、破壊伝播速度）が地震動のばらつきの空間分布に及ぼす影響については、これまでにも多くの定量的な評価がなされてきた⁴⁾⁻⁹⁾。例えば、先行研究^{8),9)}では横ずれ断層、逆断層における 300 ケースの断層破壊シナリオをそれぞれ設定し、最大速度⁸⁾と絶対加速度応答値⁹⁾を対象にばらつきの空間分布を評価した。ばらつきの空間分布に関する研究が行われている一方で、ばらつきの地点間の空間相関に関する検討は行われていなかった。

そこで筆者ら¹⁰⁾⁻¹²⁾は、複数ケースの地震動分布におけるばらつきの空間分布と空間相関（空間相関特性）を定量的に評価するため、特異値分解を用いたモード分解手

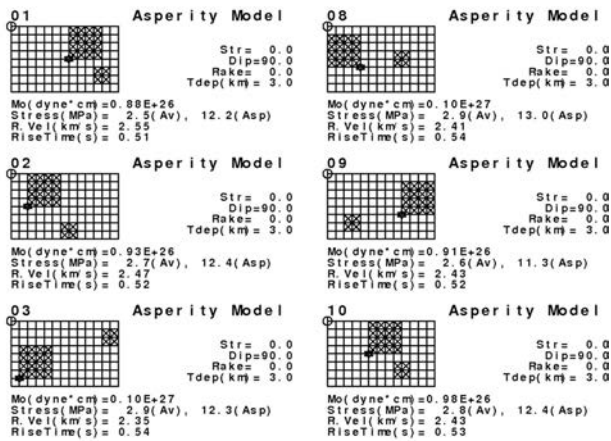


図-1 横ずれ断層における断層破壊シナリオの例 (文献⁹⁾の図-1より引用)

法を提案した。評価対象として、4~12 ケースの断層破壊シナリオが想定された計測震度分布 (シナリオ地震動予測地図) を用いて分析を行った。一方、ケース数が少数であるために、表現可能なばらつきの多様性に限界があった。また計測震度を対象としたため、周期依存性や方位依存性に関する検討ができなかった。そこで「周期・方位特性を検討できる水平2成分の応答スペクトル」を用いて「より多数のケース」により分析することが課題となっていた¹¹⁾。

以上の背景より本研究では、文献⁹⁾で計算された横ずれ断層における300ケースの周期・成分別の絶対加速度応答値の分布を対象に特異値分解を用いたモード分解を適用し、震源パラメータが周期・方位に依存する空間相関特性に及ぼす影響について明らかにする。以下、2.では使用データについて解説し、3.では適用する手法の説明および適用結果を示す。最後に4.では全体の考察のまとめを行い、今後の課題について述べる。

2. 特性化震源モデルと地震動分布

(1) 震源断層と断層パラメータ

設定された横ずれ断層の形状・位置は、長さ26km、幅16km、上端深さ3km、傾斜90度である。強震動予測レシビ^{13,14)}を基に断層面積から評価されるモーメントマグニチュードMwは6.6弱程度である。文献^{8,9)}では断層面積のみを固定し、地震モーメント、強震動生成域 (アスペリティ) の面積、破壊伝播速度、すべり継続時間などの震源パラメータは、強震動予測レシビ^{13,14)}の標準値を平均値とし、正規分布を仮定したばらつき^{15,16)}をラン

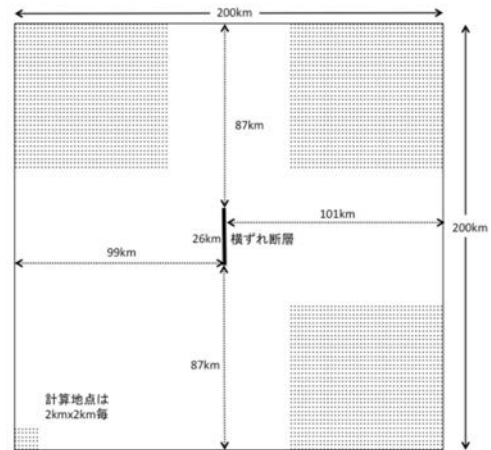


図-2 横ずれ断層における地震動計算範囲と断層位置 (文献⁸⁾の図-2より引用。便宜的に図の上を北方向とする。)

表-1 想定した水平成層の地盤構造 (文献⁸⁾の表-1より引用、 ρ は密度を示し、各層の減衰は $Q(f)=Q_0 \times f^{Q_f}$)

Parameters					
Vp (km/s)	Vs (km/s)	ρ (g/cm ³)	Q ₀	Q _f	Depth (km)
1.60	0.35	1.70	35	0.5	0.000
1.80	0.55	1.80	55	0.5	0.092
2.50	1.00	2.10	100	0.5	0.599
5.40	3.20	2.70	63.8	1.0	1.101
6.00	3.50	2.80	63.8	1.0	2.000

Depth of Layer Top

ダムに与えて生成している。以上の手順より、300ケースの断層破壊シナリオが設定される^{8,9)}。なお、震源パラメータの相関関係は無相関としている。断層破壊シナリオでは、アスペリティを2個設定しており、それぞれの位置は重複しないように走向・深さの両方向に一様乱数で与えている。破壊開始点の位置は、面積が大きい方のアスペリティの下端のどちらか端部に設定している。

図-1に設定した断層破壊シナリオの例⁹⁾を示す。

図-2に地震動計算範囲および断層位置^{8,9)}について示す。計算範囲は200km×200kmであり、計算地点は2km×2kmごとに設定され、その総数は10,201点 (=101点×101点) である。図中の上方向を北と定義しているため、断層走向方向は南北、直交方向は東西となる。断層の基準点 (図-1の断層左上の丸印) は図-2の断層の南端に対応する。地盤構造は全計算地点で同一である一般的な堆積平野・盆地を想定しており、表-1のように工学的基盤面 (Vs=350m/s) を地表面とした水平成層の地盤モデル^{8,9)}を設定した。以上の条件のもと、地震動計算によって、各計算地点で3成分 (NS, EW, UD成分) の波形が計算され、計算範囲全体では合計30,603通りの波形を計算している。地震動計算には統計的グリーン関数法¹⁷⁾を採用しており、波形計算は周期2秒まで適用できる。

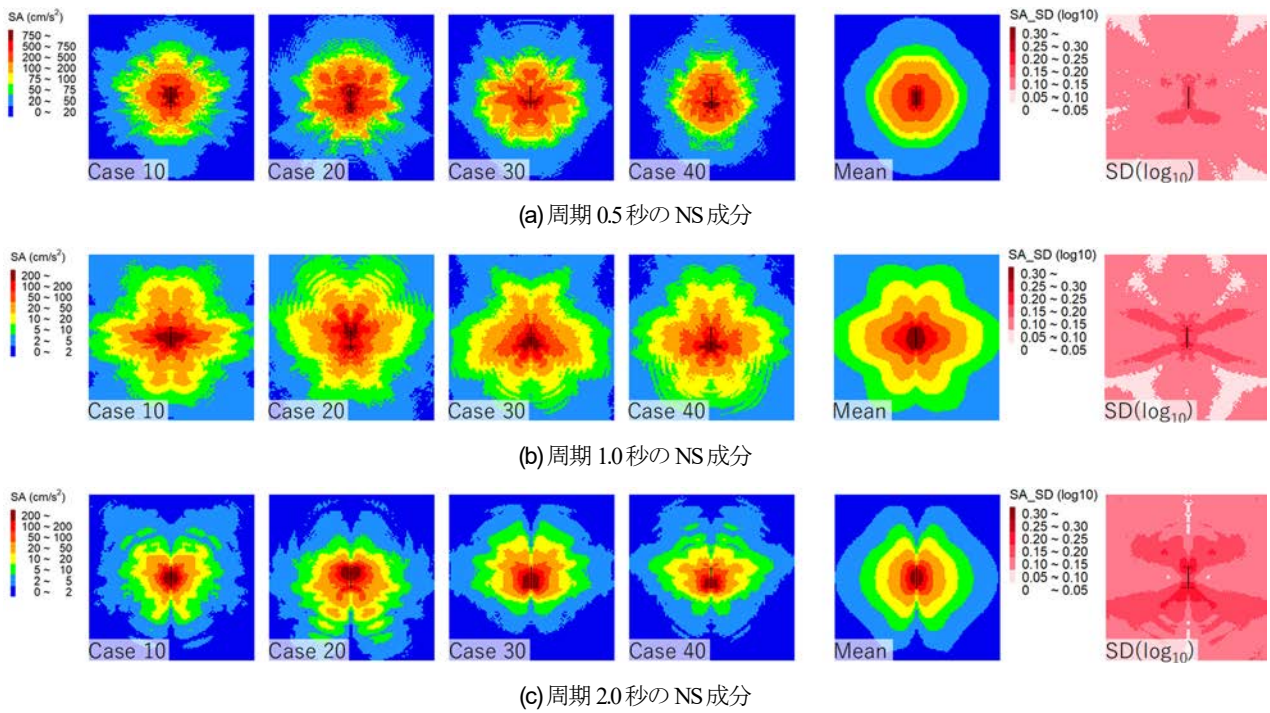


図-3 横ずれ断層の NS 成分における絶対加速度応答値（減衰定数 5%）の分布の例（左 4 枚、左から順にケース 10, 20, 30, 40）と 300 ケースの平均値および常用対数標準偏差の分布（右 2 枚）

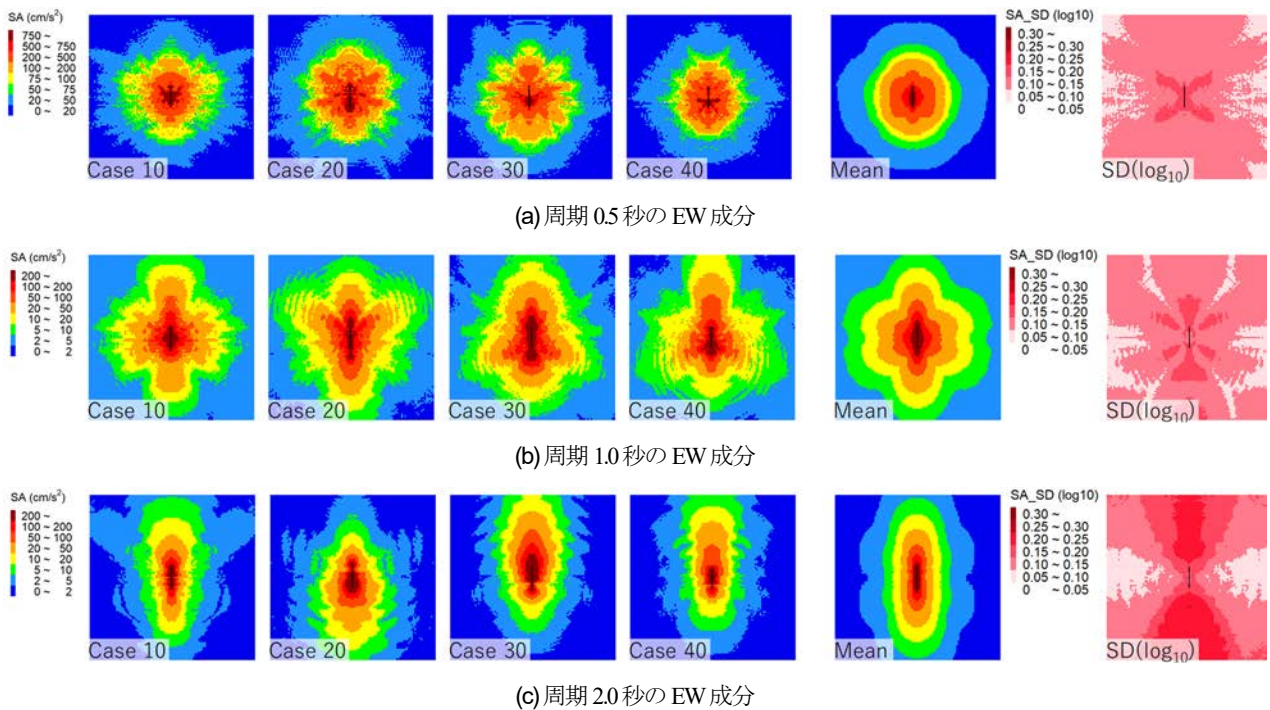


図-4 横ずれ断層の EW 成分における絶対加速度応答値（減衰定数 5%）の分布の例（左 4 枚、左から順にケース 10, 20, 30, 40）と 300 ケースの平均値および常用対数標準偏差の分布（右 2 枚）

(2) 横ずれ断層の 300 ケースの地震動分布

図-3 と 図-4 に、本研究で対象とする横ずれ断層の周期 0.5~2.0 秒（0.5, 1.0, 2.0 秒）における水平 2 成分（NS, EW 成分）の絶対加速度応答値（減衰定数 5%）の分布の例と、300 ケースのメッシュごとの平均値および常用対数

標準偏差の分布を示す。各ケースの絶対加速度応答値および平均値の分布より、短周期では断層を中心とした距離減衰的な分布傾向が読み取れる。一方、長周期になるにつれて破壊伝播効果（ディレクティビティ効果、ラディエーション・パターン）によって断層走向方向（南北

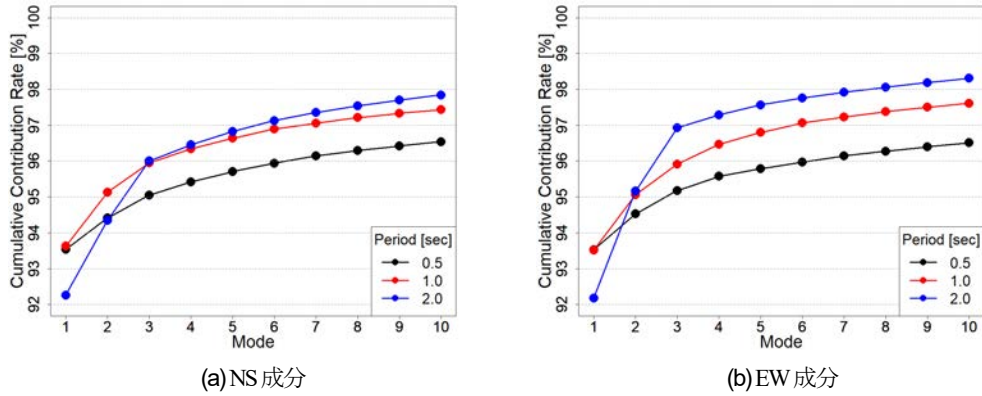


図-5 300 ケースの絶対加速度応答値の分布における固有値（特異値の2乗）の累積寄与率（モード10まで表示）

方向）で大きな絶対加速度応答値が分布している⁹⁾。その傾向はEW成分に特に顕著である。常用対数標準偏差は長周期になるにつれ大きな値が分布し、特にディレクティビティ効果によって断層の走向方向で大きく、EW成分で顕著である⁹⁾。

3. モード分解による加速度応答値の空間相関特性の要因分析

(1) 特異値分解を用いたモード分解

絶対加速度応答値を常用対数に変換し、変数 x で表し、 N ケースの絶対加速度応答値の分布（地震動計算範囲の地点総数 M ）を $M \times N (=10201 \times 300)$ 行列 \mathbf{X} で表す。 \mathbf{X} に対して、全マップの常用対数平均値と常用対数標準偏差で標準化して \mathbf{X}_0 とし、特異値分解を用いたモード分解¹⁰⁾を適用し、3つの行列の積に分解する。

$$\mathbf{X}_0 = \mathbf{U}\mathbf{D}\mathbf{V}^T$$

$$= \begin{pmatrix} u_{11} & \cdots & u_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{M1} & \cdots & u_{MN} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & d_N \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{11} & \cdots & v_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{N1} & \cdots & v_{NN} \end{pmatrix}^T \quad (1)$$

式(1)の行列 \mathbf{U} , \mathbf{V} , \mathbf{D} の意味は下記の通りである。

- 行列 \mathbf{U} : 列方向の左特異ベクトル（正規直交基底であり、 i 行 j 列要素は計算地点 i におけるモード j の特徴量を表す）は、特徴量の空間分布と空間相関を規定するモード形状を表しており、マップ表示により計算地点間の空間的な相関関係を可視化できる。
- 行列 \mathbf{D} : 対角行列（ j 行 j 列要素はモード j の特異値すなわち固有値の正の平方根）であり、ケースに依存しない各モードの重みを表す。
- 行列 \mathbf{V} : 列方向の右特異ベクトル（正規直交基底であり、 i 行 j 列要素はケース i におけるモード j の重みを表す）は、ケースに依存する各モードの重

みを表す。

以上のうち、行列 \mathbf{UD} は全ケースの特徴量の分布を支配する基本構造であり、そこに行列 \mathbf{V} の行ベクトルによってケースごとに特徴が付けられる。

(2) 固有値の累積寄与率

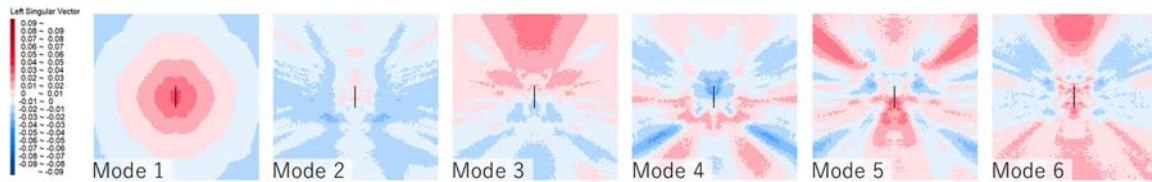
300 ケースの絶対加速度応答値の分布に対して、周期（周期 0.5, 1.0, 2.0 秒）・成分（NS, EW 成分）別に特異値分解を適用した。図-5 に固有値（特異値の2乗）を累積した累積寄与率を示す。ただし、モード1~10のみを示す。まず両成分で共通した特徴として、モード1の寄与率が突出していること、周期 0.5, 1.0 秒におけるモード1の寄与率は同程度で、周期 2.0 秒におけるモード1の寄与率は他の周期よりも小さいことが挙げられる。周期・成分別の特徴について見てみると、周期 0.5 秒と比較して周期 1.0, 2.0 秒ではモード2・3の寄与率が高い。特に周期 2.0 秒のEW成分におけるモード2の寄与率は、同周期のNS成分よりも大きい。これらの特徴は、全ケースのばらつき（常用対数標準偏差）が距離減衰的な傾向を示す短周期よりも、破壊伝播効果の影響を強く受ける長周期で大きいことに起因すると考えられる。

(3) 左特異ベクトルの空間分布

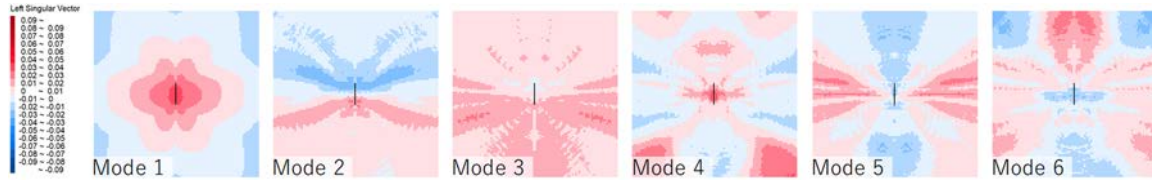
NS, EW 成分における左特異ベクトルの空間分布を図-6 と図-7 にそれぞれ示す。ただし、紙面の都合上、モード1~6のみを示す。図-6 と図-7 の左特異ベクトルの空間分布は特徴量の空間分布と空間相関（空間相関特性）を表すモード形状であり、同符号の計算地点間では正相関、異符号の計算地点間では負相関の関係にあることを表している。以下では、周期・成分別の左特異ベクトルの空間分布における各モードの特徴を考察する。

a) モード1

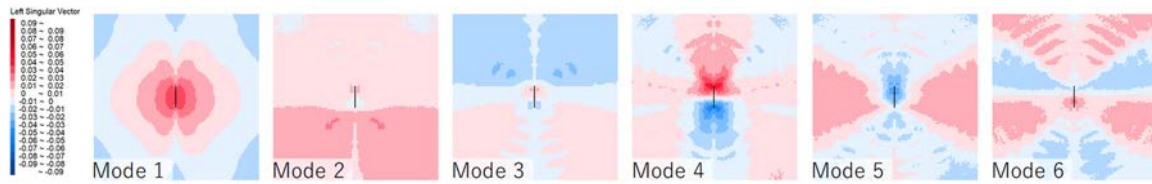
モード1の左特異ベクトルの空間分布は、両成分ともに断層近傍で正值、遠方で負値をとるシンプルな分布である。これらの分布傾向は、各周期の平均値の分布（図



(a) 周期 0.5 秒の NS 成分



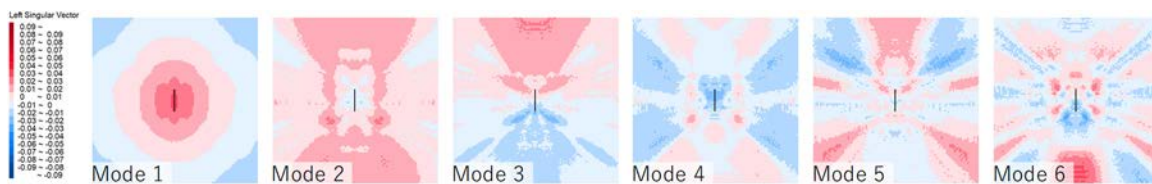
(b) 周期 1.0 秒の NS 成分



(c) 周期 2.0 秒の NS 成分

(同符号の計算地点間で正相関，異符号の計算地点間で負相関)

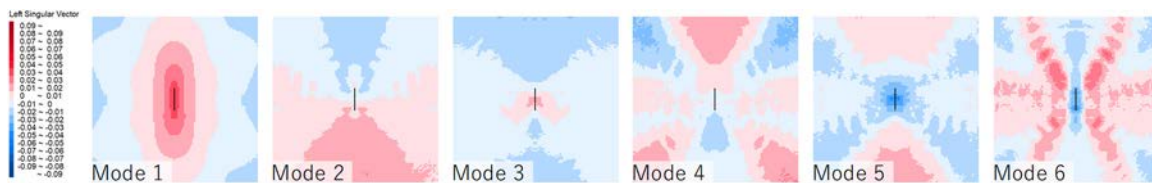
図-6 NS成分における左特異ベクトルの空間分布（モード6まで表示）



(a) 周期 0.5 秒の EW 成分



(b) 周期 1.0 秒の EW 成分



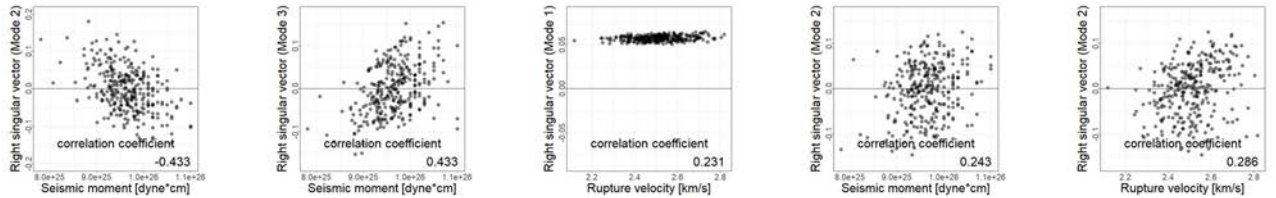
(c) 周期 2.0 秒の EW 成分

(同符号の計算地点間で正相関，異符号の計算地点間で負相関)

図-7 EW成分における左特異ベクトルの空間分布（モード6まで表示）

-3, 図-4) と対応している．また後出の図-8(c), 図-9(c) のように，右特異ベクトルは全ケースでほぼ同値をとる．これより，モード1は，全体の常用対数平均値を基準としたときの偏差の分布（距離減衰勾配）を反映していると考えられる．

長周期の NS 成分では断層直交方向に正值の分布が広がり，走向方向の正值の分布は狭まっている．EW 成分では，NS 成分とは逆の傾向が見られる．これより，長周期のモード1では距離減衰勾配に加えて，全般的な破壊伝播効果の影響は反映していると考えられる．

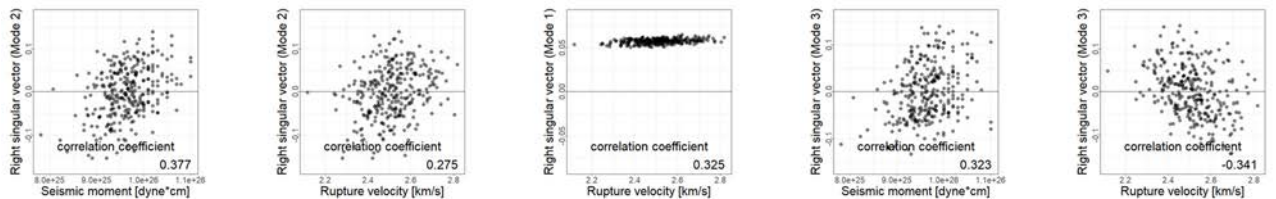


(a) 周期 0.5 秒のモード 2 と地震モーメント (b) 周期 1.0 秒のモード 3 と地震モーメント (c) 周期 2.0 秒のモード 1 と破壊伝播速度 (d) 周期 2.0 秒のモード 2 と地震モーメント (e) 周期 2.0 秒のモード 2 と破壊伝播速度
 (縦軸：右特異ベクトル，横軸：震源パラメータ，右下の数値：右特異ベクトルと震源パラメータの相関係数)

図-8 NS 成分における右特異ベクトルと震源パラメータ（地震モーメント，破壊伝播速度）の散布図の例

表-2 NS 成分における右特異ベクトルと震源パラメータ（地震モーメント，破壊伝播速度）の相関係数の絶対値（モード 6 まで表示．緑色：モード 1 との相関，赤色：マップのほぼ全域の地点間で正相関のモード，青色：マップを大きく正負に 2 分割するモード）

		Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6
周期 0.5 秒	地震モーメント	0.045	0.433	0.085	0.222	0.130	0.208
	破壊伝播速度	0.011	0.196	0.206	0.140	0.123	0.029
周期 1.0 秒	地震モーメント	0.030	0.144	0.433	0.034	0.064	0.043
	破壊伝播速度	0.012	0.025	0.005	0.150	0.279	0.095
周期 2.0 秒	地震モーメント	0.026	0.243	0.086	0.088	0.005	0.007
	破壊伝播速度	0.231	0.286	0.188	0.008	0.046	0.043



(a) 周期 0.5 秒のモード 2 と地震モーメント (b) 周期 0.5 秒のモード 2 と破壊伝播速度 (c) 周期 1.0 秒のモード 1 と破壊伝播速度 (d) 周期 1.0 秒のモード 3 と地震モーメント (e) 周期 2.0 秒のモード 3 と破壊伝播速度
 (縦軸：右特異ベクトル，横軸：震源パラメータ，右下の数値：右特異ベクトルと震源パラメータの相関係数)

図-9 EW 成分における右特異ベクトルと震源パラメータ（地震モーメント，破壊伝播速度）の散布図の例

表-3 EW 成分における右特異ベクトルと震源パラメータ（地震モーメント，破壊伝播速度）の相関係数の絶対値（モード 6 まで表示．緑色：モード 1 との相関，赤色：マップのほぼ全域の地点間で正相関のモード，青色：マップを大きく正負に 2 分割するモード）

		Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6
周期 0.5 秒	地震モーメント	0.041	0.377	0.025	0.415	0.058	0.053
	破壊伝播速度	0.002	0.275	0.141	0.161	0.198	0.061
周期 1.0 秒	地震モーメント	0.001	0.229	0.323	0.003	0.097	0.150
	破壊伝播速度	0.325	0.075	0.158	0.066	0.339	0.229
周期 2.0 秒	地震モーメント	0.048	0.109	0.188	0.019	0.363	0.144
	破壊伝播速度	0.321	0.098	0.341	0.031	0.254	0.173

b) モード 2 以上

モード 2 以上では周期・成分ごとに特徴に違いが現れている．左特異ベクトルの空間分布に関しては，「マップのほぼ全域の地点間で正相関の分布」もしくは「マップを 2~数分割した分布」からなるが，高次モードになるにつれて空間相関は複雑化している．同次のモードでも NS 成分と EW 成分で類似した傾向を示すわけではな

いことが読み取れる．

まず「マップのほぼ全域の地点間で正相関」であるモードに着目する．こうしたモードは，周期 0.5 秒におけるモード 2 (両成分)，周期 1.0 秒におけるモード 3 (両成分)，および，周期 2.0 秒におけるモード 2 (NS 成分) とモード 3 (EW 成分) に現れている．このモードは全域で一様に変動させるため，地震モーメントの違いを反

映していると推察される。

「マップを大きく正負に2分割するモード」としては、周期 0.5 秒のモード 3 (両成分) , 周期 1.0 秒のモード 2 (NS 成分) とモード 4 (EW 成分) , 周期 2.0 秒のモード 3 (NS 成分) とモード 2 (EW 成分) が挙げられる。特に図-5 より、周期 2.0 秒における EW 成分のモード 2 の寄与率は他と比べて特に大きい。これらはいずれも、破壊進行方向とその反対方向の地点間で相互に負相関となる空間相関特性を有するため、ディレクティブティ効果を反映していると考えられる。

ここまでに述べたモード 2 以上に共通することとして、NS 成分では断層の東西方向に絶対値の大きな値が分布し、EW 成分では南北方向に分布している。常用対数標準偏差の分布が示す傾向と整合している。

以上より、類似した空間相関構造を示すモードでも、地震動の放射特性やディレクティブティ効果の影響に伴って、方位依存性を持ち、長周期側で顕著になることが分かった。

c) 右特異ベクトルおよび震源パラメータとの関連性

NS, EW 成分における右特異ベクトル (当該モードにおける各ケースの重み係数) と震源パラメータ (地震モーメント, 破壊伝播速度) の散布図の例を図-8 と図-9 に示し、相関係数の絶対値を表-2 と表-3 に示す。ただし紙面の都合上、モード 1~6 のみを示す。表-2 と表-3 の緑色はモード 1 と相関を持つ値を示し、赤色は「マップのほぼ全域の地点間で正相関のモード」、青色は「マップを大きく正負に2分割するモード」を示す。

まずモード 1 の右特異ベクトルでは、NS 成分の周期 2.0 秒および EW 成分の周期 1.0, 2.0 秒において、破壊伝播速度と相関を持つ。これより、破壊伝播速度は長周期の距離減衰形状に大きな影響を与えられられる。

「マップのほぼ全域の地点間で正相関」を示すモードの右特異ベクトルは、両成分とも、周期 0.5 秒と 1.0 秒で地震モーメントとの相関が高く、前述の考察を裏付ける結果となっている。しかし EW 成分の周期 2 秒では、破壊伝播速度との相関も認められる。

一方、「マップを大きく正負に2分割するモード」については、高い相関性を示すものではなく、破壊開始点の設定に関する分析が必要と考えられる。

(4) 既往研究との比較

文献^{10)・12)}では、4~12 ケースの断層破壊シナリオのシナリオ地震動予測地図の計測震度を対象としたため、周期や方位依存性に関連する考察ができなかったが、本研究ではそれが可能になった。

また、全域の地点間で正相関を示すモードは、文献^{10)・12)}ではほとんど現れなかった (2 種類の地震モーメントが設定された石狩低地東縁断層帯主部においてのみ限定

的に現れた)。シナリオ地震動予測地図では、基本的に地震モーメントが単一に設定されるためである。しかし本研究では、このモードが全周期の両成分で現れており、マップ全域での地震動強度の様な変化を考慮することができている。これは、地震モーメントのばらつきを考慮したデータセットを用いたためである。シナリオ地震動予測地図が示す空間分布特性の多様性を拡張させるためには、震源パラメータ設定においては、こうした配慮が必要と考えられる。

4. まとめ

本研究では、震源パラメータの違いが地震動分布の周期・方位に依存した空間相関特性に及ぼす影響を明らかにするために、横ずれ断層における 300 ケースの周期・成分別の絶対加速度応答値の分布に対して特異値分解を用いたモード分解を適用した。周期は周期 0.5, 1.0, 2.0 秒の 3 つの周期帯域を対象とし、成分は水平 2 成分 (NS, EW 成分) を対象とした。得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 絶対加速度応答値の平均値と標準偏差の分布より、長周期帯では距離減衰特性に加えて、成分ごとに異なる破壊伝播効果 (ディレクティブティ効果, ラディエーション・パターン) の影響が現れ、ばらつきが大きくなることを示した。
- (2) モード 1 は、周期および成分によらず距離減衰勾配を反映しており、加えて長周期では破壊伝播効果の影響も反映していることがわかった。
- (3) 「マップ全域の地点間で正相関」を示すモードは、全周期の両成分で認められた。特に短周期では地震モーメントの影響が支配的であることがわかった。
- (4) 「マップを大きく正負に2分割するモード」はディレクティブティ効果を反映しており、長周期帯域ほど方位依存性による影響が顕著に現れた。

今後、アスペリティの配置条件や破壊開始点の位置などの震源パラメータが周期・成分別のモードに与える影響を分析する。地震動分布にクラスター分析を適用し、特徴分類 (類似度評価)¹⁸⁾を通じて震源パラメータ設定に関する考察を行う。さらに、逆断層の地震動分布^{8),9)}についても検討し、断層タイプの違いが及ぼす影響についても考察を行う方針である。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 20H02413 の助成を受けたものである。記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：全国地震動

- 予測地図 2018 年版, 2018.,
https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/shm_report_2018/ (最終アクセス: 2020年9月4日)
- 2) (国研)防災科学技術研究所: 地震ハザードステーション J-SHIS, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/> (最終アクセス: 2020年9月4日)
 - 3) 地震調査研究推進本部地震調査委員会: 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」), 平成29年(2017年)4月, 45p., 2017.
 - 4) 奥村俊彦, 佐藤俊明, 石井透, Somerville, P., Graves, R., Collins, N.: 断層パラメータの変動に伴う地震動のばらつきに関する基礎的検討, 土木学会地震工学論文集, Vol. 28, 論文番号 P167, 2005.
 - 5) 山田雅行, 先名重樹, 藤原広行: 強震動予測レシピに基づく予測結果のバラツキ評価の検討, ~震源パラメータのバラツキについて~, 日本地震工学会論文集, 第7巻, 第1号, pp.43-60, 2007.
 - 6) 山田雅行, 先名重樹, 藤原広行: 強震動予測レシピに基づく予測結果のバラツキ評価の検討, ~逆断層と横ずれ断層の比較~, 土木学会地震工学論文集, pp.104-113, 2007.
 - 7) 糸井達哉, 翠川三郎, 鬼頭順三, 三浦弘之, 内山泰生, 坂本成弘: 統計的グリーン関数法で評価した地殻内地震の応答スペクトルのバラツキ, 日本地震工学会論文集, Vol. 6, No. 1, pp. 128-142, 2009.
 - 8) 香川敬生: 多数の断層破壊シナリオによる強震動のばらつき分布, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 71, No. 4, pp. I_191-I_197, 2015.
 - 9) 香川敬生: 多数の断層破壊シナリオによる強震動周期特性の空間分布, 日本地震工学論文集, Vol. 15, No. 70, pp. 90-99, 2015.
 - 10) 能島暢呂, 久世益充, LE QUANG DUC: シナリオ地震動予測地図の特異値分解によるモード分解と地震動分布のシミュレーション, 土木学会地震工学論文集, Vol. 18, No. 2, pp. 2_95-2_114, 2018.
 - 11) 能島暢呂, 久世益充, 高橋幸宏: シナリオ地震動予測地図のモード分解による予測震度分布の空間相関特性の分析, 日本地震工学会論文集, Vol. 19, No. 1, pp. 1_121-1_135, 2019.
 - 12) 能島暢呂, 高橋幸宏: 複数ケースの震源パラメータ設定がシナリオ地震動予測地図の空間相関特性に及ぼす影響について, 東濃地震科学研究所報告, Vol. 45, pp. 53-66, 2020.
 - 13) 入倉孝次郎, 三宅弘恵: シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, Vol. 110, No. 6, pp. 849-875, 2001.
 - 14) Irikura, K., Miyake, H., Iwata, T., Kamae, K., Kawabe, H. and Dalguer, D. L.: Recipe for predicting ground motions from future large earthquakes, *Proc. of 13WCEE*, DVD-ROM, Paper No. 1371, 2004.
 - 15) Somerville, P. G., Irikura, K., Graves, R., Sawada, S., Wald, D., Abrahamson, N., Iwasaki, Y., Kagawa, T., Smith, N. and Kowada, A.: Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, *Seismological Research Letters*, Vol. 70, No. 1, pp. 59-80, 1999.
 - 16) Kagawa, T., Irikura, K. and Somerville, P. G.: Differences in ground motion and fault rupture process between the surface and buried rupture earthquakes, *Earth, Planets and Space*, Vol. 56, pp. 3-14, 2004.
 - 17) 香川敬生: ハイブリット合成法に用いる統計的グリーン関数法の長周期帯域への拡張, 日本地震工学会論文集, Vol. 34, No. 2, pp.21-32, 2004.
 - 18) 吉田光太郎, 能島暢呂, 高橋幸宏: 同一断層帯を対象とした複数ケースのシナリオ地震動予測地図のクラスター分析による特徴分類, 土木学会論文集 A1, Vol. 76, No. 4, 2020. (登載決定)

(Received ??,?)
 (Accepted ??,?)

EVALUATION OF PERIOD AND DIRECTION DEPENDENT SPATIAL CHARACTERISTICS BY MODE DECOMPOSITION OF STRONG GROUND MOTION DISTRIBUTION

Yukihiro TAKAHASHI, Nobuoto NOJIMA and Takao KAGAWA

The uncertainties in source fault parameter settings cause variations in prediction results. In the previous study, the authors proposed a mode decomposition method to evaluate spatial variation and correlation reflected in a set of strong ground motion distributions by use of singular value decomposition technique. In this study, the proposed method was applied to 300 cases of absolute acceleration response spectra maps by periods and components which were generated for strike-slip fault. Mode 1 represents the attenuation characteristics; in addition, the long-period Mode 1 represents the fault rupture propagating effects. Based on the relationship between source parameter settings and right singular vectors, the dominant factors of seismic scale of entire distribution was analyzed, and the effect of seismic moment and rupture velocity was examined.