

震源断層を特定した地震動予測地図による予測震度分布を用いた観測震度分布の近似表現

岐阜大学大学院自然科学技術研究科 学生会員 ○高橋幸宏
岐阜大学工学部 正会員 能島暢呂
岐阜大学流域圏科学研究センター 正会員 久世益充
岐阜大学大学院自然科学技術研究科 学生会員 吉田光太郎

1. 背景と目的

震源断層を特定した地震動予測地図(「シナリオ地震動予測地図」)は、震源断層モデルのパラメータの不確定性を考慮して複数ケースの断層破壊シナリオが予測されている。しかし、近年発生した2016年熊本地震や2018年大阪府北部の地震、2018年北海道胆振東部地震(以下「胆振東部地震」と略記)をはじめ、実地震の観測震度分布が予測されていた震度分布と一致することはほとんどない、しかし、大局的に近い設定であれば、類似した震度分布傾向を示すことがある。これより、本研究では複数の予測震度分布を組み合わせることで、観測震度分布への近似表現を試みる。近似手法として、「重回帰分析」と「モード分解・合成」を検討する。観測震度分布として胆振東部地震、予測震度分布として周辺の主要活断層である石狩低地東縁断層帯南部(以下「石狩南部」と略記)の4ケースのシナリオ地震動予測地図を用いたケーススタディを示す。

2. 北海道胆振東部地震と石狩低地東縁断層帯南部

胆振東部地震(震源深さ37km, $M_{JMA}=6.7$, $M_w=6.6$)の観測震度分布を図1に示す。

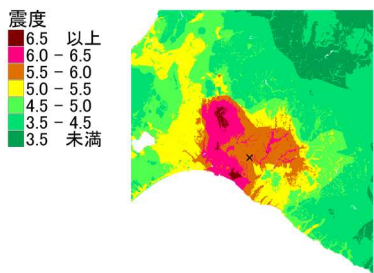


図1 2018年北海道胆振東部地震の観測震度分布

石狩南部の4ケースの地震(逆断層、震源深さ16km(Case1, 4)・17km(Case2, 3), $M_{JMA}=7.7$, $M_w=7.1$)を図2に示す。石狩南部は胆振東部地震の震源よりも浅部に断層が位置しており、マグニチュードの規模も大きい。

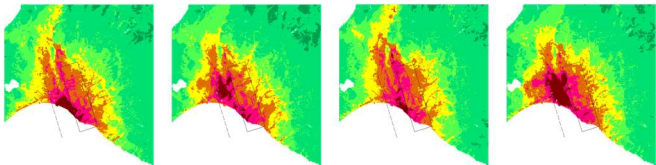


図2 石狩低地東縁断層帯南部の予測震度分布
(左から順に Case1~4)

3. 予測震度分布を用いた近似表現

3.1 重回帰モデル

胆振東部地震を被説明変数、石狩南部を説明変数として重回帰分析を適用する。重回帰モデルは次式で表され、二乗平均平方誤差(RMSE)が最小となるようにモデル係数が決定される。

$$\mathbf{x}_* \simeq \mathbf{z}_* = \mathbf{b}_0 + \mathbf{X}\mathbf{b}$$
 (1)

ここで、 $\mathbf{x}_*$ は胆振東部地震の観測震度の列ベクトル、 $\mathbf{z}_*$ はその近似表現、 $\mathbf{X}$ は石狩南部の各ケースの予測震度を表す列ベクトルで構成される行列、 $\mathbf{b}_0$ および $\mathbf{b}=\{b_1, \dots, b_4\}$ はモデル係数を表す。重回帰モデルによる震度分布を図3、胆振東部地震との震度の相関図を図4、モデル係数を表1に示す。

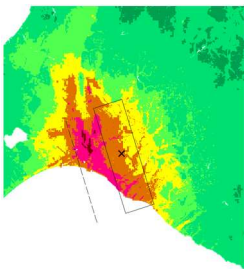


図3 重回帰モデル

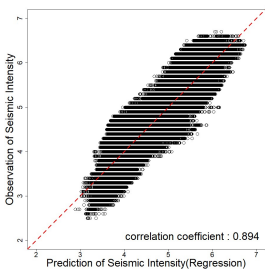


図4 震度の相関図

(縦軸: 胆振東部地震, 横軸: 重回帰モデル)

表1 重回帰モデルの切片と係数

切片 b_0	係数 $\mathbf{b}$			
	b_1	b_2	b_3	b_4
0.1010	-0.0805	0.4072	0.3639	0.2500

重回帰モデルは胆振東部地震の大きな震度分布は捉えているが、震度5.5以上の領域をうまく表現できて

いない。また重回帰モデルでは胆振東部地震を低震度で過大評価、高震度になるにつれて過小評価する傾向が読み取れる。説明変数である石狩南部の4ケース間の相関係数は全て 0.940 以上であるため、多重共線性の問題が生じ、係数比較による重ね合わせ特性の解釈が非常に困難になる。

3.2 特異値分解を用いたモード分解・合成モデル

石狩南部の4ケースを行列 $\mathbf{X}$ で表して標準化し、特異値分解を用いたモード分解を適用する²⁾。

$$\mathbf{X}_0 = \mathbf{U}\mathbf{D}\mathbf{V}^T \quad (2)$$

ここに、 $\mathbf{X}_0$ は行列 $\mathbf{X}$ を標準化した行列、 $\mathbf{U}$ 、 $\mathbf{V}$ は左・右特異ベクトルを列とした行列、 $\mathbf{D}$ は対角線上に特異値が並ぶ対角行列である。 $\mathbf{U}$ はモード形状、 $\mathbf{D}$ はケースに依存しない各モードの重み、 $\mathbf{V}$ はケースに依存した各モードの重みを表す。ここで、右特異ベクトルを変化させることで胆振東部地震の観測震度分布への近似を行う。モード分解・合成モデルは次式で表せる。

$$\mathbf{x}_{0*} \approx \mathbf{z}_{0*} = \mathbf{U}\mathbf{U}^T \mathbf{x}_{0*} \quad (3)$$

ここに、 $\mathbf{x}_{0*}$ は標準化を行った胆振東部地震の列ベクトル、 $\mathbf{z}_{0*}$ は標準化されている近似表現を表す。モード合成モデルは互いに直交する左特異ベクトルの重ね合わせのため、係数が負値の場合でも自然な解釈が可能となる。なお $\mathbf{x}_{0*}$ の標準化には観測震度分布と予測震度分布のいずれかの平均値・標準偏差を用いるが、以下では後者の場合を示す。

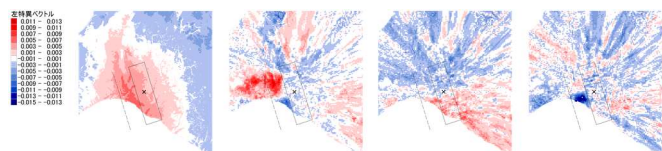


図 5 石狩低地東縁断層帯南部における左特異ベクトルの空間分布 (赤：正值，青：負値)

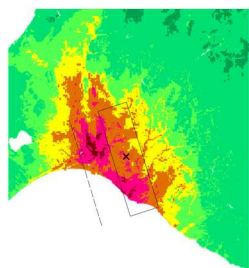


図 6 モード合成モデル

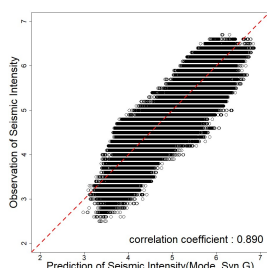


図 7 震度の相関図

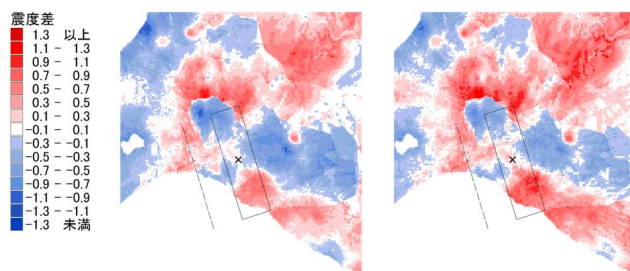
(縦軸：胆振東部地震，横軸：モード合成モデル)

石狩南部の4ケースに特異値分解を用いたモード分解を適用して得た左特異ベクトルを図5に示す。得られたモード合成モデルによる震度分布を図6、胆振東

部地震との震度の相関図を図7に示す。モード合成モデルは重回帰モデルと類似した震度分布となった。モード合成モデルは重回帰モデルと異なり、互いに直交する左特異ベクトルを重ね合わせるものであるため、解釈が容易となる。

4. モデルの比較

胆振東部地震と2つのモデルの震度差を図8に示し、集計値の比較を表2に示す。震度差には系統的な空間分布特性は見られない。重回帰モデルはRMSEを最小化するため、その意味では近似精度に優れるといえる。しかし両モデルの差は小さく、全体的な震度分布傾向に大きな違いは見られない。



(a) 重回帰モデル (b) モード合成モデル
図 8 震度差 (近似モデルによる震度－観測震度)

表 2 北海道胆振東部地震と各モデルの比較

	平均値	標準偏差	相関係数	RMSE
2018年北海道胆振東部地震	4.4786	0.8442		
重回帰モデル	4.4786	0.7550	0.894	0.3776
モード合成モデル	4.6150	0.7594	0.890	0.4080

5. まとめ

本研究では北海道胆振東部地震の観測震度分布を、周辺の主要活断層である石狩低地東縁断層帯南部の複数ケースのシナリオ地震動予測地図を用いた近似表現を行った。両地震は規模や震源の深さなどが違うものの、観測震度と予測震度が類似した分布傾向を示すことから、ある程度の近似が可能であり、重回帰モデルとモード合成モデルとでは、ほぼ同等の近似結果が得られた。なお、発生した地震の震源周辺に適切に関連付けられる主要活断層帯がない場合については、吉田ら³⁾を参照にされたい。また、今後さらに多数の地震の事例を対象に検討を進める方針である。

参考文献

- (国研)防災科学技術研究所：http://www.bosai.go.jp/
- 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，第18巻，第2号，pp.2_95-2_114，2018。
- 吉田光太郎，能島暢呂，久世益充，高橋幸宏：震源不特定地震による予測震度分布を用いた観測震度分布の近似表現，土木学会第74回年次学術講演会，2019。