

災害の現象解明と将来のリスク把握に向けた研究（第3年次）

実施期間	令和元年度～令和5年度
地理地殻活動研究センター	遠藤 涼 岩橋 純子
地理情報解析研究室	中埜 貴元

1. はじめに

地震に伴う地盤災害や降雨に伴う土砂災害等が発生した際に、なぜそのような災害がその場で発生したのかを知ることは、将来の災害リスクを検討するうえで重要である。本研究は、地震災害や土砂災害等が発生した際に、その被害分布や性状をリモートセンシングや現地調査等により把握するとともに、地形や土地被覆、地盤情報などとの関係性解析により、現象解明や将来のリスク把握手法を検討するものである。また、干渉 SAR による平常時の斜面変動も研究対象とする。

2. 研究内容

2.1 研究開発の概要

令和3年度は、地震直後に得られる地震情報のうち、土砂崩れ発生件数の多寡の判定に寄与する要素を調査した。大規模な地震においては、斜面崩壊や地すべり、土石流等（以下まとめて「土砂崩れ」という。）がしばしば発生する。一方で、同程度の最大震度を観測している地震であるのにも関わらず、土砂崩れがほとんど発生しない事例も見られる。地震発生直後の災害対応の場面においては、土砂崩れの発生の多寡がどのような要因・要素で決まるのかをあらかじめ把握し、それに基づいて大まかな発生規模を判断することで、迅速にその後の災害対応に移ることができると考えられる。

2.2 対象とした地震

2000年以降に気象庁において最大震度6弱以上を観測した地震を対象とした。気象庁の震度階級によると、震度6弱では、「地すべりや斜面崩壊が発生することがある」とされている（気象庁，2009）ためである。ただし、最大震度6弱以上でも余震と考えられる地震は、本震に代表させた。また、火山性地震は除外した。その結果、抽出された地震は表-1に示した27地震である。最大震度、気象庁マグニチュード、震源の深さは気象庁による。最大加速度は、気象庁及び地方公共団体の地震計で観測された強震動観測データ並びに防災科学技術研究所のK-NET/KiK-netの観測データの南北・東西・上下方向3成分合成値を対象とし、それぞれの地震について3成分合成値の最大値を採用した。最大水平変位は、国土地理院で公開されているGEONETで観測された地殻変動の数値を用いた。

土砂崩れ数については、既存の報告から引用・計算したものや、内閣府の災害情報及び国土交通省の災害対応ページに掲載されているもののうち、災害発生状況の報告における、土砂崩れ（がけ崩れ、土石流、地すべり、斜面崩壊を全て足し合わせたもの）の数を用いた。

2.3 手法

土砂崩れの発生の多寡を判定する要素を抽出するため、本稿ではデータマイニングの一つである決定木解析を用いた。決定木は解析結果をツリー状で可視化することができ、説明変数の解釈が容易というメリットがある（Breiman et al., 1984）。決定木解析には、統計解析ソフトウェアのR（ver.4.6.2）のrpart関数（Therneau et al., 2019）を使用した。

説明変数は、最大震度（気象庁震度階級）、気象庁マグニチュード、震源の深さ、最大加速度の3成分合成値の最大値、地震の発生型（内陸断層型・海溝型）、断層のタイプ（逆断層・正断層・横ずれ断層）、最大水平変位とした。なお、最大震度については、震度6弱・6強・7をそれぞれ整数1・2・3に置き換えて数値化した。被説明変数は、土砂崩れの件数100件と10件を閾値として、それぞれ、土砂崩れの多発／中発／少発の地震に分類した。

表-1 本研究で対象とした地震。決定木分類で文字が太字かつ斜体となっている地震は過大評価された地震を、二重線が引いてある地震は過小評価された地震を示す。

年	月	日	地震名または震央地名	最大震度	震源深さ(km)	Mj	地震の発生型	断層型	最大加速度(gal)と観測点	最大水平変位量(cm)と観測点	土砂崩れ発生件数	参考文献等	決定木分類
2000	10	6	平成12年鳥取県西部地震	6強	9	7.3	内陸断層型	横ずれ断層	1142.4 日野	16.8 日南	367	消防庁(2002)	多発
2001	3	24	平成13年芸予地震	6弱	46	6.7	スラブ内	正断層	852.6 湯来	2.2 広島2	218	(a)	少発
2003	5	26	宮城県沖	6弱	72	7.1	スラブ内	逆断層	1571.3 牡鹿	2.6 水沢1	6	国土交通省・内閣府	少発
2003	7	26	宮城県北部	6強	12	6.4	内陸断層型	逆断層	599.2 涌谷町新町※	16 矢本	118	井良沢ほか(2003)	多発
2003	9	26	平成15年十勝沖地震	6弱	45	8	プレート境界型	逆断層	1091 広尾	94.7 広尾	11	日外ほか(2008)	中発
2004	10	23	平成16年新潟県中越地震	7	13	6.8	内陸断層型	逆断層	1750.2 十日町	20.9 守門	4438	関口・佐藤(2006)	中発
2005	3	20	福岡県西方沖の地震	6弱	9	7	内陸断層型	横ずれ断層	483.1 碓井町上白井*(福岡県)	17.9 福岡	24	福岡県(2022)	中発
2005	8	16	宮城県沖	6弱	42	7.2	プレート境界型	逆断層	564.1 築館	5.1 牡鹿	4	国土交通省・内閣府	少発
2007	3	25	平成19年能登半島地震	6強	11	6.9	内陸断層型	逆断層	945 富来	20.9 富来	65	国土交通省・内閣府	多発
2007	7	16	平成19年新潟県中越沖地震	6強	17	6.8	内陸断層型	逆断層	1018.9 柏崎市西山町池浦*(新潟県)	17 柏崎1	172	小荒井・佐藤(2008)	多発
2008	6	14	平成20年岩手・宮城内陸地震	6強	8	7.2	内陸断層型	逆断層	4022.1 一関西	153.3 栗駒2	2234	(b)	多発
2008	7	24	岩手県沿岸北部	6弱	108	6.8	スラブ内	正断層	1185.9 玉山	0 -	6	国土交通省・内閣府	少発
2009	8	11	駿河湾	6弱	23	6.5	スラブ内	逆断層	881.3 御前崎市白羽*(静岡県)	1.3 焼津A	34	国土交通省・内閣府	少発
2011	3	11	平成23年東北地方太平洋沖地震	7	24	9	プレート境界型	逆断層	2933.2 築館	539.5 M牡鹿	207	国土交通省・内閣府	多発
2013	4	13	淡路島付近	6弱	15	6.3	内陸断層型	逆断層	729.1 淡路市郡家*(兵庫県)	1.2 洲本	0	国土交通省・内閣府	少発
2014	11	22	長野県北部	6弱	5	6.7	内陸断層型	逆断層	781 小川村高府*(長野県)	29.2 白馬	108	桂ほか(2016)	中発
2016	4	14	平成28年熊本地震(前震)	7	11	6.5	内陸断層型	横ずれ断層	1579.7 益城	20 城南	6	国土交通省・内閣府	中発
2016	4	16	平成28年熊本地震(本震)	7	12	7.3	内陸断層型	横ずれ断層	1761.1 大津町大津*(熊本県)	98 長陽	184	国土交通省・内閣府	多発
2016	6	16	内浦湾	6弱	11	5.3	内陸断層型	逆断層	978 南茅部	0 -	0	国土交通省・内閣府	少発
2016	10	21	鳥取県中部	6弱	11	6.6	内陸断層型	横ずれ断層	1494 倉吉	7.1 羽合	25	国土交通省・内閣府	中発
2016	12	28	茨城県北部	6弱	11	6.3	内陸断層型	正断層	886 高萩	2.5 里美	0	国土交通省・内閣府	少発
2018	6	18	大阪府北部	6弱	13	6.1	内陸断層型	逆・横ずれ断層	900.4 枚方市大垣内*(大阪府)	0.5 宇治	1	国土交通省・内閣府	少発
2018	9	6	平成30年北海道胆振東部地震	7	37	6.7	内陸断層型	逆断層	1796 追分	5.4 門別	227	国土交通省・内閣府	多発
2019	1	3	熊本県熊本地方	6弱	10	5.1	内陸断層型	横ずれ断層	417 玉名	0 -	0	国土交通省・内閣府	少発
2019	2	21	胆振地方中東部	6弱	33	5.8	内陸断層型	逆断層	807.4 厚真町鹿沼※	0 -	0	国土交通省・内閣府	少発
2019	6	18	山形県沖	6強	14	6.7	内陸断層型	逆断層	1191.3 村上市府屋*(山形県)	4.5 新潟山北	2	国土交通省・内閣府	少発
2021	2	13	福島県沖	6強	55	7.3	スラブ内	逆断層	1036.3 新地町谷地小屋*(福島県)	1.7 小高	6	国土交通省・内閣府	少発

(a) 土木学会芸予地震被害調査団(2001)

(b) 平成20年岩手・宮城内陸地震4学協会東北合同調査委員会(2009)

3. 得られた成果

3.1 決定木解析の結果

決定木解析の結果を図-1に示す。決定木解析の結果、土砂崩れの発生数に寄与する第一の因子として最大水平変位が選択された。最大水平変位が5.2cm以上の地震は計14地震あり、土砂崩れ多発9地震、中発4地震、少発1地震であった。一方、最大水平変位が5.2cm未満の地震については、土砂崩れ多発1地震、中発1地震、少発11地震であり、最大水平変位が相対的に大きい地震ほど、土砂崩れが多発する傾向が見られた。

第二の因子として、震度が選択された。震度6弱の地震は計4地震あり、それぞれ多発1地震、中発3地震であった。一方、最大震度6強以上の地震は計10地震あり、土砂崩れ多発8地震、中発1地震、少発1地震であった。最大震度が相対的に大きいほど、土砂崩れが多発する傾向が見られた。

3.2 選択された因子の考察

最大水平変位に関連した既往研究成果として、神山ほか(2011)は平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震において、震度の分布よりも地盤永久変位の分布のほうが、斜面被害の分布とより強い相関があり、斜面被害箇所の82%以上が水平永久変位31.7mm以上の領域に収まるとしている。本研究で

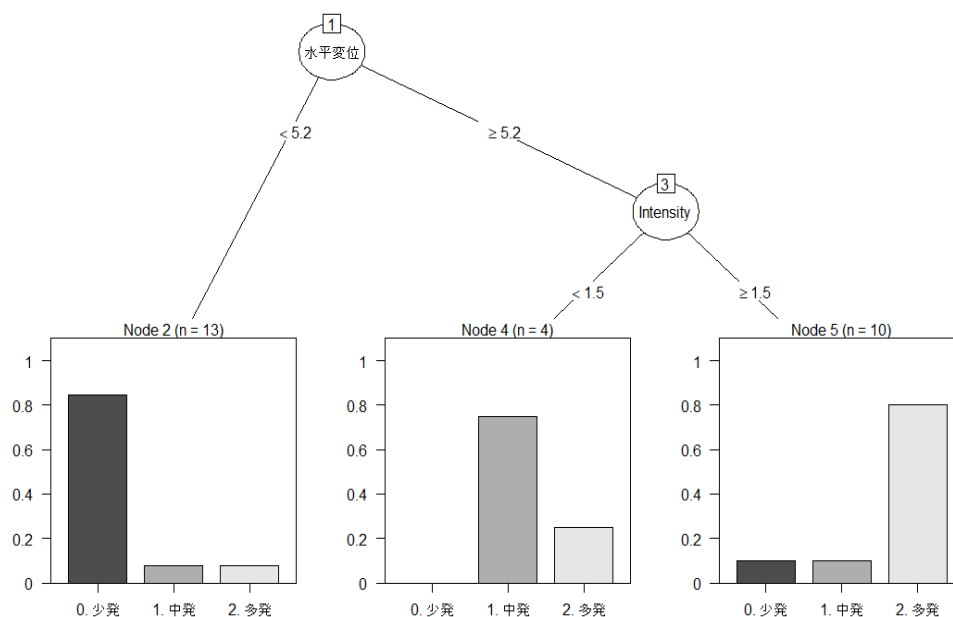


図-1 本研究で作成された決定木

土砂崩れの多寡を分ける最大水平変位の閾値は 5.2cm であり，神山ほか（2011）の斜面被害箇所が多く分布する地盤永久変位量と同オーダーである．なお，本研究の閾値 5.2cm は，土砂崩れが多発した平成 30 年（2018 年）北海道胆振東部地震における最大水平変位量 5.4cm の影響を受けている．同地震の土砂崩れはテフラの影響が大きかったとされ（例えば，梅田ほか，2019），最大水平変位量の寄与は他の地震と比べて小さい可能性があるが，その次に大きい最大水平変位量 7.1cm の 2016 年 10 月 21 日の鳥取県中部の地震は土砂崩れ中発，次いで最大水平変位量 17cm の平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震は土砂崩れ多発であり，最大水平変位量が概ね 5cm 以上であれば土砂崩れ多発（図-1 のノード 3）となる可能性が高いという決定木の解析結果は，全体の傾向を反映した妥当な結果と考えられる．一方で震度については，震度が大きいほど土砂崩れの発生件数が大きいことが指摘されており（例えば，伊藤ほか，2009），決定木解析の結果と調和的である．

4. 結論

土砂崩れ発生件数への寄与の高い地震情報を決定木解析により抽出した．その結果，最大水平変位と震度を採用するのが妥当と考えられる．最大水平変位が 5.2cm 未満のとき土砂崩れが少発，最大水平変位が 5.2cm 以上かつ最大震度 6 弱のとき土砂崩れ中発，最大水平変位が 5.2cm 以上かつ最大震度 6 強以上のとき土砂崩れ多発に概ね分類できる．一方で，これらの分類に当てはまらない例外もあり，その要因を詳細に分析する必要がある．最大水平変位については，国土地理院が運用している GEONET のデータや，防災科学技術研究所等で公開されている地震波形の積分値を計算することで推定可能である．震度については，気象庁や防災科学技術研究所より発表がなされる．地震発生直後に上記のデータを迅速に入手することによって，大まかな発生規模が把握できる可能性がある．本研究で得られた誘因に関する知見と，詳細な地形・地質データや地盤データなどの素因や既存の推計手法とを組み合わせることで，地震発生後により詳細な土砂崩れの発生規模の推計につなげることが期待される．

謝辞

地震データについては、気象庁、山形県、福島県、新潟県、長野県、大阪府、兵庫県、福岡県、熊本県並びに防災科学技術研究所 K-NET/KiK-net のデータを利用した。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 日外勝仁, 伊東佳彦, 日下部祐基, 岡崎健治 (2008): 地質的観点からみた黄金道路急崖の崩壊特性と斜面点検時の着目点, 寒地土木研究所月報, 664, 17-27.
- 防災科学技術研究所: K-NET, KiK-net, <https://www.doi.org/10.17598/NIED.0004> (accessed 7 Dec. 2021).
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R.H., and Stone, J. C. (1984): Classification and regression trees, Wadsworth International Group, 358p.
- 土木学会芸予地震被害調査団 (2001): 2001 年 3 月 24 日芸予地震被害調査報告, 土木学会誌, 86, 75-78.
- 福岡県: 平成 17 年災害年報, <https://www.pref.fukuoka.lg.jp/contents/saigainenpo17.html> (accessed 24 Feb. 2022).
- 平成 20 年岩手・宮城内陸地震 4 学協会東北合同調査委員会 (2009): 平成 20 年 (2008 年) 岩手, 宮城内陸地震災害調査報告, 403p.
- 井良沢道也, 牛山素行, 松村和樹, 川邊洋, 平松晋也, 檜垣大介 (2003): 2003 年 7 月宮城県北部を震源とする地震による土砂災害 (速報), 砂防学会誌, 56, 3, 44-54.
- 伊藤英之, 小山内信智, 西本晴男, 臼杵伸浩, 佐口治 (2009): 地震による崩壊発生箇所と震度分布との関係, 砂防学会誌, 61, 5, 46-51.
- 神山眞, 松川忠司, 穴澤正宏 (2011): 2008 年岩手・宮城内陸地震の被害と地盤の永久変位の関係, 日本地震工学会論文集, 11, 5, 3-67.
- 桂真也, 木村諤, 丸山清輝, 石田孝司 (2016): 2014 年 11 月 22 日長野県神城断層地震に伴う斜面崩壊, 地すべりの分布特性と発生箇所の特徴, 地すべり学会誌, 53, 3, 85-94.
- 気象庁 (2009): 気象庁震度階級関連解説表.
- 気象庁: 強震観測データ, <https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/index.html> (accessed 7 Dec. 2021).
- 小荒井衛, 佐藤浩 (2008): 平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震による斜面崩壊, 地質学雑誌, 114, 1, I-II.
- 国土地理院: GEONET により地殻変動を観測した地震, <https://mekira.gsi.go.jp/catalogue/index.html> (accessed 19 Jan. 2022).
- 国土交通省: 災害, 防災情報, <https://www.mlit.go.jp/saigai/index.html> (accessed 7 Dec. 2021).
- 内閣府: 災害情報, <https://www.bousai.go.jp/updates/index.html> (accessed 7 Dec. 2021).
- Scott, D. W. (2009): Sturges' rule. WIREs Computational Statistics, 1, 303-306.
- 関口辰夫, 佐藤浩 (2006): 新潟県中越地震における斜面崩壊の特徴と分布, 日本地すべり学会誌, 43, 3, 42-154.
- 消防庁: 平成 12 年 (2000 年) 鳥取県西部地震 (確定報), <https://www.fdma.go.jp/disaster/info/assets/post62.pdf> (accessed 4 Feb. 2022) .
- Therneau, T. M. and Atkinson, E. J. (2019): An Introduction to Recursive Partitioning Using the RPART Routines, 60p.
- 梅田浩司, 千代谷佳織, 柴正敏, 近藤美左紀 (2019): 平成 30 年北海道胆振東部地震に伴う斜面崩壊, 応用地質, 60, 4, 172-179.