

高空間解像度の斜面崩壊発生確率モデルの開発

福島大学共生システム理工学類 非会員 齋藤 洋介  
 福島大学共生システム理工学類 非会員 木崎 雄策  
 福島大学共生システム理工学類 正会員 川越 清樹

1. はじめに

近年、地球温暖化に伴い短時間降雨量の増大や豪雨頻度の増加、無降雨期間の長期化といった降水の極端化が進んでいる。国連気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）の特別報告書によると、日本は現在の再現期間50年の日最大降水量が2046年から2065年にかけて再現期間が10年になると報告されており、多降雨に対する一層の対策強化が将来的に必要とされている<sup>1)</sup>。以上の背景より気候変動に対する災害の危険度評価研究が積極的に進められている<sup>2)</sup>が、定性的かつ広域を対象にしたものが多いため、対策の社会実装する上で具現化した議論が進めにくい側面を持つ。また、防災の最前線で活動しなければならない地方自治体も有効に活用できる地域スケールの気候変動評価結果が必要である。本研究では川越らにより開発された豪雨に伴いリスクの高まる斜面崩壊現象を全国規模で評価した斜面崩壊発生確率モデル<sup>2)</sup>をベースに、地域に適用できるように高度化することを目的とした。評価地質項目の緻密化、評価の空間解像度の細分化(空間解像度250m×250m)を対象に高度化を行った。対象地域は長野県であり、起伏が大きい地形かつ複雑な地質構造を成している。また土砂災害危険箇所の割合が高いといった特徴から、地域スケールの評価として適した自治体である。

2. 解析手法およびデータセット

① 斜面崩壊発生確率モデル

川越らにより開発された斜面崩壊発生確率モデルは多重ロジスティック回帰分析をベースにしている。2004年新潟・福島豪雨により新潟県栃尾市で発生した斜面崩壊事例をベースに構築されたモデルである。なお、空間解像度は1km×1km、対象地質は崖錐堆積物、新第三紀堆積岩、第三紀堆積岩、花崗岩を対象とした。以下の(1)式に斜面崩壊発生確率モデル式を示す。

$$P = \frac{1}{1 + \exp[-(\beta_0 + \beta_h \cdot \text{hyd}Y_h + \beta_r \cdot \text{relief}Y_r)]} \quad (1)$$

ここで、 $P$ ：崩壊発生確率、 $\beta_0$ ：動水勾配係数、 $\beta_h$ ：起伏量係数、 $\text{hyd}Y_h$ ：動水勾配、 $\text{relief}Y_r$ ：起伏量である。このモデルを検討対象地域に応じた地域モデルとして高度化を図った。

② 長野県の災害実績調査（図1参照）

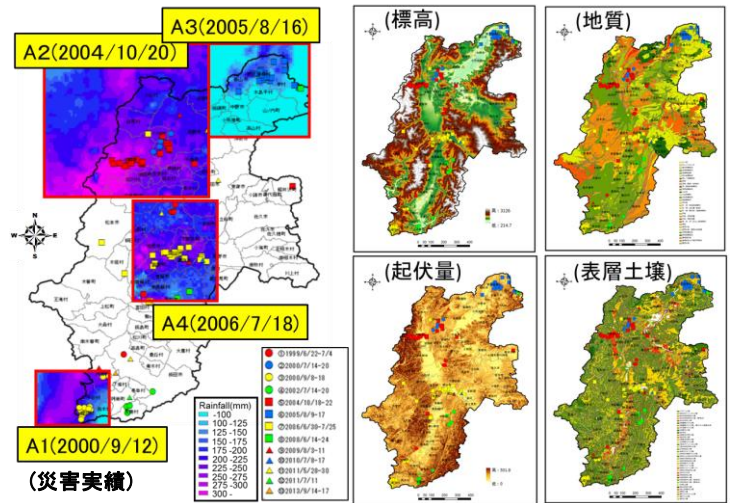


図1 発生確率モデル諸要素図

長野県を対象にするため、長野県の斜面崩壊実績データを用いてモデル開発を進める。実績データは国土交通省監修の長野県水害統計(H.11-H25)の記録を利用した。対象期間内で長野県では計13の降雨イベントにより斜面崩壊した結果が得られた。モデル開発するにあたり、履歴における降雨集中度、土砂災害発生件数、位置的バランスを踏まえ、A1～A4に示される(図1参照)4つのモデルエリアと降雨イベントを設定しモデル開発を試みた。

③ 斜面崩壊関連要素データの作成（図1参照）

- a) 起伏量：国土数値地理情報の最高標高と最低標高の差から導出した。
- b) 動水勾配：国土数値地理情報、長野県デジタル地質図2015から斜面傾斜度と表層土壌データを用い、擬似二次元斜面を作成した。レーダーアメダス解析雨量より各空間、豪雨イベントのデータを取得し、降雨条件を設定した。擬似二次元斜面と降雨条件で不飽和浸透解析を行い、動水勾配を得た。
- c) 表層地質・土壌：長野県デジタル地質図2015に収録されている表層地質と表層土壌を使用した。

④ 評価地質項目の緻密化

災害実績の地質を踏まえ、表1に示す地質を対象とした。

⑤ 開発モデルと感度計算

上記の①から④までの条件を基に開発されたモデルについて、日降雨量100mm、150mm、200mm、250mm、300mmの降雨感度計算を実施した。この結果を川越らにより開発された先行モデルと比較した。また、降雨変動状況により危険性の高まる領域の評価を実施した。

表 1 評価地質項目と各説明変数の係数

評価地質	起伏量 $\beta_r$	動水勾配 $\beta_h$	切片 $\beta_0$
崖錘堆積物	0.08	1.52	-8.58
安山岩	0.09	0.81	-12.94
花崗岩	0.08	1.00	-10.85
砂岩	0.08	1.33	-11.21
泥岩(互層含む)	0.02	0.73	-4.08
礫岩(互層含む)	0.11	1.52	-13.74
凝灰岩	0.06	1.26	-8.21

3. 解析結果

①地質に応じたモデルの感度解析結果

災害実績を基に開発された地質に応じた発生確率モデルの動水勾配，起伏量の感度解析を確認した。感度は長野県の平均的実績より動水勾配 2.0，起伏量 100m で条件を固定して検討した(図 2 参照)。

動水勾配変化の場合，勾配上昇に従い発生確率上昇する中で，特に崖錘堆積物は顕著な上昇量を示す地質は崖錘堆積物である。対象地質唯一の未固結層であり物性上の解釈と一致した結果を示す。その他，凝灰岩，礫岩と粗粒組織の堆積岩の序列となり，最も動水勾配に反応しない地質が安山岩である。

起伏量変化の場合，変化に対して敏感に確率変化する結果が得られており，250m×250m による解像度では地形条件の寄与が大きいことを示唆する。なお，安山岩，花崗岩，砂岩，泥岩，凝灰岩は約 100m から発生確率が急激に上昇している結果を得た。

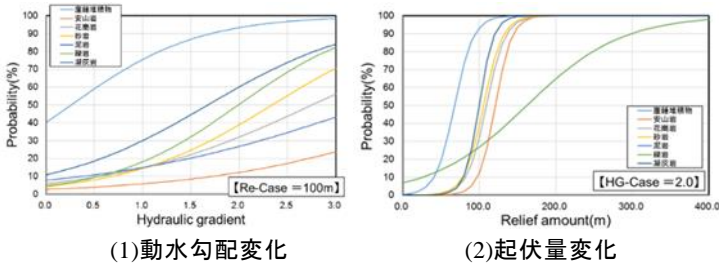


図 2 モデル感度解析結果

②先行モデルとの比較結果

川越らにより開発された先行モデルと発生確率分布を長野県で比較した。日降雨量 200mm で比較した結果，相対的な危険地域の空間分布は変わらず，飛騨山脈，木曾山地，赤石山脈の高標高位置での急峻な地形は概ね 95%以上の発生確率を示している。その一方で，緩斜面の分布する山脈，山地群の山麓

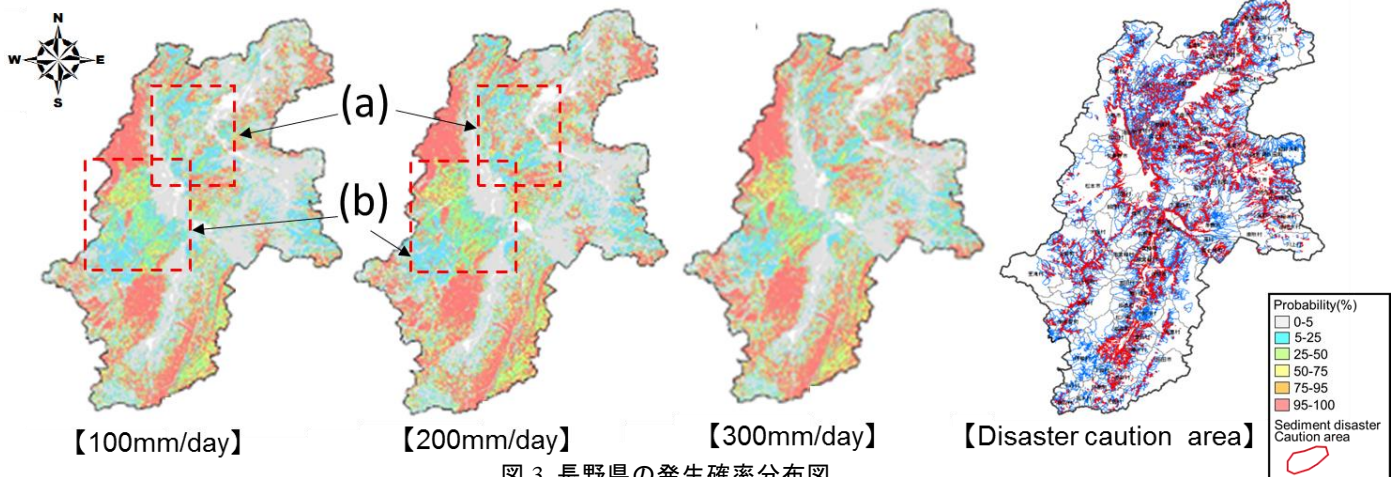


図 3 長野県の発生確率分布図

部の発生確率が低い値になる結果を得ている。この原因として，本モデルのサンプルが市街地域に偏った災害実績であること(川越らのモデルは山地全般の斜面崩壊をサンプルにしている)が示唆される。市街地の相対的な危険度高低の評価の場合，利用できる成果となるが，実質的な危険性は不明である。したがって，今後，対象地域の検証を行う必要がある。

③降雨変化による長野県の評価

図 3 に日降雨量 100mm, 200mm, 300mm のケースに応じた長野県の斜面崩壊発生確率を示す。飛騨山脈，木曾山地，赤石山脈の高標高位置での急峻な地形は概ね 95%以上の発生確率を示すこと，(a)，(b)などの市街地近辺における発生確率の地域差が明瞭に分離できることなどの地域的特徴が示された。降雨に応じた発生確率の地域差に関するれば，市街地周辺の微細な危険度変化を捉えることができる。そのため，土砂災害警戒区域の指定情報と重ね合わせして利用できる可能性を有している。警戒区域は迅速な災害情報の伝達や避難をできるようにすべき地域である。しかし，多くの指定より整備優先度が決定できない課題も残されている。本解析結果も利用して降雨のリスクに応じた整備を進めていくことも検討できる。

4. まとめ，および今後の課題

空間解像度を高解像度化し，地質項目を細分化したことで先行モデルの発生確率よりも確率の幅が広がり，地域に対して適用しやすいという可能性を含んだ成果を得た。ただし，モデルの検証も必要であるため，今後，検証の評価を進める意向である。

謝辞：本研究は，文部科学省気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)によって実施された。ここに謝意を示す。

参考文献：

- 1) IPCC: Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: : SREX, Cambridge Univ. Press, 2012.
- 2) 川越清樹・風間聡・沢本正樹： 数値地理情報と降雨極値データを利用した土砂災害発生確率モデルの構築，自然災害科学，27，69-83，2008.