

全国の3次メッシュを対象としたラフ集合による土砂災害発生の重要要因の抽出

国土交通省国土技術政策総合研究所
(株) エイト日本技術開発
岡山理科大学

野呂智之・神山嬢子(現土木研究所)・鈴木大和・戸舘光
○谷田佑太・海原荘一・只熊典子・竹本大昭・藤原康正
佐藤丈晴

1. はじめに

全国各地で毎年多数の土砂災害が発生しているが、土砂災害の発生危険度を把握するためには、地形や地質、降雨指標など土砂災害の発生と関連性の高い素因や誘因を把握することが重要である。

そこで、本研究では国内において1988～2014年で土砂災害が集中して発生した降雨イベントを対象に、3つの災害種別(土石流、がけ崩れ、地すべり)ごとに素因・誘因と災害発生・非発生の関係を把握した。そして、土石流、地すべり、がけ崩れの各現象を対象に、その発生についての重要要因抽出のためラフ集合による解析を行った。

2. 検討に使用したデータ

本研究の検討対象は日本全国を対象に1998～2014年の間で、土砂災害種別を問わず1日当たり10件以上の災害が発生した降雨イベントとした。

検討対象とした要因は、表1に示す素因・誘因を含めた全17要因である。素因のデータはインターネットでGISデータが公表されているものを用い、解析雨量、超過確率年、土壤雨量指数、実効雨量は各降雨イベント期間における最大値を各メッシュの値とした。地質、植生、土壌、傾斜方向、降雨パターン以外のカテゴリ区分は5カテゴリ(5分位)とした。

災害発生の評価単位は3次メッシュ単位とした。解析対象とした3次メッシュ数は、データを作成できたメッシュ数が最も少ない平均年間降水量のメッシュ数に合わせ、543,203メッシュである。

3. ラフ集合の概要

ラフ集合は1982年にポーランドの計算機学者 Zdzisław Pawlak によって提唱されたもので、膨大なデータベースの中から有用な法則を見つけるデータマイニング手法の一つであり、表層崩壊によるがけ崩れや土石流などの発生及び非発生条件の研究に適用事例がある。

3.1 ラフ集合の基本的考え方

ラフ集合の概念を図1に示す。例えば斜面勾配と斜面高の2要因をそれぞれ4カテゴリに分割して、災害の発生した箇所(○印)と非発生の箇所(●印)を分類する場合を考える。

災害の発生と非発生の条件を明らかにすることは、発生する箇所と非発生の箇所を分離することであり、ラフ集合では図1の白色の範囲のように同一カテゴリ内が発生または非発生のみで構成されているようなデータを整合データと呼び、

灰色のセルは発生・非発生が混在しているものカテゴリであり、ここに含まれるデータを矛盾データと呼んでいる。

また、ラフ集合ではデータの分離性を評価する指標として(1)式に示す整合度を定義している。整合度が高いほど発生と非発生を分離しやすく、また、検討対象とする要因数が多ければ整合度が高くなる傾向にあり、少ない要因数で高い分離性が得られるのが望ましい。

$$\gamma = \frac{\text{card}C}{\text{card}N} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 γ : 整合度 $\text{card}C$: 整合領域内のデータの集合 $\text{card}N$: 全データの集合

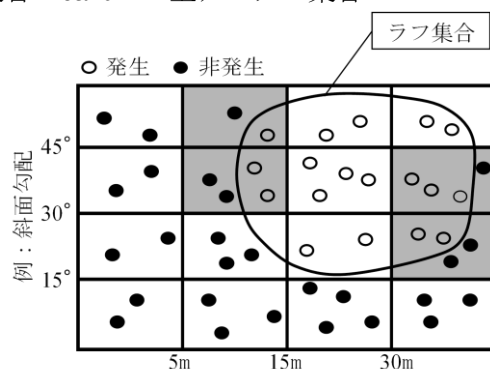


図1 ラフ集合の概念

表1 全17要因とそのデータ内容の概要

要因		使用データ・データ作成方法・カテゴリ分類方法
素因	地質	20万分の1日本シームレス地質図を使用し、8カテゴリに分類した。3次メッシュ内に複数の地質がある場合は、面積占有率が最も高い地質を選定した。
	植生	5万分の1植生調査図を使用し、5カテゴリに分類した。3次メッシュの中心点に位置する植生をメッシュの代表植生とした。
	土壌	20万分の1土壌図を使用し、11カテゴリに分類した。3次メッシュ内に複数の土壌がある場合は、面積占有率が最も高い土壌を選定した。
	地形(谷密度)	50mメッシュより谷密度を求め、5分位で5カテゴリに分類した。3次メッシュ内の総計河川長を3次メッシュの面積で割った値より、谷密度を求めた。
	地形(接峰面差)	5次メッシュの標高値より接峰面差を求め、5分位で5カテゴリに分類した。3次メッシュ内の最大標高と最低標高の差分を接峰面差とした。
	地形(傾斜方向)	5次メッシュの標高値より最大傾斜方向を求め、最大傾斜方向を45度ごとに8カテゴリに分類した。
	地形(傾斜角度)	5次メッシュの標高値より最大傾斜角度を求め、5分位で5カテゴリに分類した。
	平均年間降水量	過去30年間の観測値から3次メッシュごとの平均値を推定・算出したデータを使用し、5分位で5カテゴリに分類した。
誘因	解析雨量(1h・24h・72h)	解析雨量は、国土交通省水管理・国土保全局、道路局と気象庁が全国に設置しているレーダー、アメダス等の地上の雨量計を組み合わせ、降水量分布を30分ごとに1km四方で解析したものである。1h・24h・72の解析雨量を求め、5分位で5カテゴリに分類した。
	超過確率年(1h・24h・72h)	1h・24h・72hの解析雨量の最大値に対する超過確率年を求め、5分位で5カテゴリに分類した。各アメダス観測所の確率降雨はアメダス確率降雨計算プログラム(国立研究開発法人土木研究所水災害研究グループ水文チーム)のFair式を採用した。アメダス観測所の分割方法については、全国のアメダス観測所の分布をもとに、ボロノイ分割(ティーセン分割)した。作成したボロノイ図と3次メッシュを重ね、3次メッシュ内の面積占有率が最も高い観測所を選定した。
	降雨パターン	解析雨量(一連降雨)を3等分割でカテゴリ分類し、前方・中央・後方の中で最大雨量となるカテゴリを選定した。
	土壤雨量指数	5kmメッシュ単位の土壤雨量指数データを使用し、土壤雨量指数の最大値を求め、5分位で5カテゴリに分類した。5kmメッシュ単位の土壤雨量指数データを1kmメッシュ単位(3次メッシュ)に細分して、再度計算した。
	半減期の長い実効雨量	半減期1ヶ月(720h)の実効雨量の最大値を解析雨量を使用して求め、5分位で5カテゴリに分類した。

5. ラフ集合による解析結果

土石流、がけ崩れ、地すべりの現象毎に、その発生及び非発生に対する重要要因を抽出するために、ラフ集合による解析を行った。

5.1 整合度と要因数の関係について

土石流については、17 要因のうち 5 要因の組み合わせで整合度約 90%，6 要因で 97%，7 要因で 99%の精度で発生・非発生を分離可能であった。

がけ崩れについては、17 要因のうち 6 要因の組み合わせで整合度約 94%，7 要因で 98%，8 要因で 99%の精度で発生・非発生を分離可能であった。

地すべりについては、17 要因のうち 4 要因の組み合わせで整合度約 89%，5 要因で 97%，6 要因で 99%の精度で発生・非発生を分離可能という結果となった。

整合度の高いケースで多く選定されている要因は、発生・非発生の重要要因であるといえるため、要因ごとに選定率を算出した。

なお、選定率の定義は各要因が整合度 95%以上のケースにおいて選定されているケース数を整合度 95%以上の全ケース数で割った値である。

土石流では全 17 要因に対して 6 要因の組み合わせで整合度 95%となるケースが存在するが、その中でも特に整合度が高い上位 6 ケースと各要因の選定率を表 2 に示す。同様にがけ崩れを表 3、地すべりを表 4 に示す。

5.2 土砂災害を考える上での重要要因

災害種別ごとに見ると、整合度が高いケース(表 2)では土石流の抽出要因としては、「谷密度」、「傾斜方向」、「1h 超過確率年」がどの組み合わせの場合においても抽出されており、次いで、「地質」、「24h 超過確率年」、「実効雨量(半減期 720h)」が多く抽出された。

がけ崩れでは、同様に「谷密度」、「傾斜方向」、「1h 超過確率年」、「24h 超過確率年」がどの組み合わせの場合においても抽出されており、次いで「土壌」が多く抽出された。

地すべりでは、「地質」、「傾斜方向」、「平均年間降水量」がどの組み合わせの場合においても抽出されており、次いで、「谷密度」、「1h 超過確率年」、「24h 超過確率年」が多く抽出された。

全体で見ると、「傾斜方向」は災害種別に関係なく、どの組み合わせの場合においても抽出されており、次いで「谷密度」、「1h 超過確率年」が多く抽出されている。ただし、「傾斜方向」に関してはカテゴリ数(8 カテゴリ)が多いため、選定率が高くなっている可能性がある。

「実効雨量(半減期 720h)」に関して、がけ崩れ、土石流は多くの組み合わせにおいても抽出されているが、地すべりはどの組み合わせにおいても抽出されていないかった。

既存の深層崩壊を対象としたラフ集合による解析事例¹⁾では、深層崩壊の発生と関係が深いと考えられる要因として「傾斜方向」(選定率 100%)、「微地形」(選定率 95%)、「累積雨量の超過確率年」(選定率 67%)などが挙げられており、斜面方向以外はこの土石流・がけ崩れ・地すべりを対象とした検討での重要要因とは大きく異なっていた。

6. 結論

本研究では土砂災害の発生と関連性の高い素因や誘因を把握するために、ラフ集合による解析を行った。災害種別に関係なく「傾斜方向」「谷密度」、「1h 超過確率年」等が重要要因として選定された。全体では、がけ崩れと土石流で同じような傾向が見られ、地すべりは少し異なる傾向が見られた。

参考文献

- 1) 海原莊一，木下篤彦，今森直紀，竹本大昭，只熊典子：ラフ集合による深層崩壊発生の重要要因と発生・非発生条件の抽出，砂防学会誌，Vol. 70, No. 1, p. 10-19, 2017

表 2 整合度が高い上位 6 ケース(土石流:6 要因)

要因	選定率 (%)	case1	case2	case3	case4	case5	case6
1 地質	48.5	●	●		●	●	
2 植生	1.3						
3 土壌	37.2						
4 谷密度	54.9	●	●	●	●	●	●
5 接峰面差	30.9			●			
6 傾斜方向	99.9	●	●	●	●	●	●
7 傾斜角度	30.6						●
8 平均年間降水量	37.7		●			●	
9 1h解析雨量	26.1						
10 24h解析雨量	17.4						
11 72h解析雨量	19.4						
12 1h超過確率年	43.8	●	●	●	●	●	●
13 24h超過確率年	44.9	●	●	●			●
14 72h超過確率年	46.0				●	●	
15 降雨パターン	12.4						
16 土壌雨量指数	16.6						
17 実効雨量(720h)	31.6	●		●	●		●
整合度 (%)	—	97.14	97.09	96.97	96.96	96.91	96.91

● 選定数6 ● 選定数5 ● 選定数4

表 3 整合度が高い上位 6 ケース(がけ崩れ:7 要因)

要因	選定率 (%)	case1	case2	case3	case4	case5	case6
1 地質	41.8						●
2 植生	28.4						
3 土壌	48.7	●	●	●	●	●	●
4 谷密度	48.2	●	●	●	●	●	●
5 接峰面差	32.2			●			
6 傾斜方向	97.9	●	●	●	●	●	●
7 傾斜角度	33.3		●		●		
8 平均年間降水量	44.5	●			●	●	●
9 1h解析雨量	35.6						
10 24h解析雨量	27.7						
11 72h解析雨量	28.4					●	
12 1h超過確率年	43.3	●	●	●	●	●	●
13 24h超過確率年	45.1	●	●	●	●	●	●
14 72h超過確率年	45.6						
15 降雨パターン	32.5						
16 土壌雨量指数	26.8						
17 実効雨量(720h)	39.7	●	●	●			●
整合度 (%)	—	98.29	98.29	98.22	98.18	98.16	98.09

● 選定数6 ● 選定数5 ● 選定数4

表 4 整合度が高い上位 6 ケース(地すべり:5 要因)

要因	選定率 (%)	case1	case2	case3	case4	case5	case6
1 地質	39.6	●	●	●	●	●	●
2 植生	2.5						
3 土壌	32.2						
4 谷密度	40.5			●		●	●
5 接峰面差	19.4						
6 傾斜方向	99.8	●	●	●	●	●	●
7 傾斜角度	28.0						
8 平均年間降水量	37.7	●	●	●	●	●	●
9 1h解析雨量	26.2				●		
10 24h解析雨量	16.0						
11 72h解析雨量	16.2						
12 1h超過確率年	33.3	●	●	●			
13 24h超過確率年	34.0	●			●	●	
14 72h超過確率年	36.3		●				●
15 降雨パターン	0.7						
16 土壌雨量指数	13.0						
17 実効雨量(720h)	23.4						
整合度 (%)	—	97.09	97.04	96.97	96.93	96.92	96.89

● 選定数6 ● 選定数5 ● 選定数4