

ラフ集合を用いた土石流発生危険度の設定手法に関する研究

山口大学工学部 正会員 ○竹本大昭 エイトコンサルタント 正会員 佐藤丈晴
 中電技術コンサルタント 正会員 荒木義則 甲南大学理工学部 非会員 中山弘隆
 京都大学大学院 正会員 水山高久 山口大学工学部 正会員 古川浩平

1. 研究の背景と目的

土石流の発生する可能性の高い溪流に対し、土石流の発生危険度（以下、「危険度」と表記）を特定することは、対策工施工箇所の選定やその優先順位設定に利用できるなど防災対策上有用である。危険度の設定に関しては、いくつかの方法が提案されているが、それらの方法は、詳細な現地調査結果を必要とするものや、算出過程が複雑なものも多い。また、設定した危険度は、設定根拠が客観的かつ明確であることが望ましく、多くの溪流の危険度を設定するには、机上調査により抽出するデータを基に設定するのが実用的である。そこで、本研究では、机上調査から得られた溪流の地形条件に地質、降雨要因を加えたデータベース（以下、「データベース」と表記）からラフ集合を用いて、客観的な土石流発生・非発生の規則性（以下、「Rule」と表記）を導き、その Rule に適合する個々の溪流に対し危険度の設定を試みた。なお、検討の対象地域は、1982 年 7 月に激甚な災害が発生した長崎市（対象溪流のうち、発生溪流 150 溪流、非発生 417 溪流）とした。

2. ラフ集合による Rule 抽出と拡張 Rule の概要

ラフ集合により求まる土石流 Rule とは、例えば土石流の発生に関わる 2 つの要因に対し、発生溪流（図-1 の●印）、非発生溪流（図-1 の○印）のデータが図-1 のように分布する場合、その 2 つの要因により区分される領域を指す。また、抽出された Rule は IF～THEN～で表現されるため分かり易いという利点を持つ。

佐藤らは、溪流の地形条件のデータベースに上記のラフ集合を適用した結果、Rule に適用する溪流数が著しく少ないため、図-2 (a) に示す非発生 Rule（着色部分）の領域をより安全と考えられる領域まで拡張（図-2 (b) 参照）し、有効な非発生 Rule の抽出を行っている。本研究では、同様に土石流の発生・非発生 Rule に対し、領域を拡張した Rule（以下、「拡張 Rule」と表記）を抽出した。

3. 離散データの拡張

溪流方位のように土石流の発生に対し、物理的な順位を持たない要因に対しては、図-3 のように各カテゴリの発生率（発生溪流/全溪流）を求め、発生率の順に並び替えることで、拡張が可能となるため、本研究ではこれらの要因も拡張の対象とした。

4. 土石流発生・非発生 Rule における最適な要因選定

Rule はデータベースの持つ規則性を縮約したものであるため、Rule を構成する要因は、土石流発生・非発生に関して、ある程度規則性を持つものが望ましい。例えば、溪床勾配などのようにカテゴリのランクが高くなるほど、発生溪流数が増加するような要因は、発生と非発生を分離する上で有効であり、Rule の拡張に伴う精度低下の抑制にも役立つ。そこで、本研究では、Rule を構成する要因数が少なくとも全要因数の半分以下となるように、整合度の要求水準（95%）を設定し、これを満足する要因の組合せをラフ集合により抽出した。更にそれらの組合せの中で、前述した要因を最も多く含む組合せを

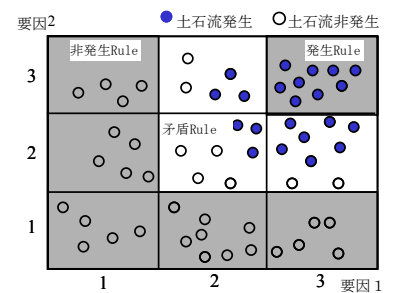


図-1 ラフ集合の概念

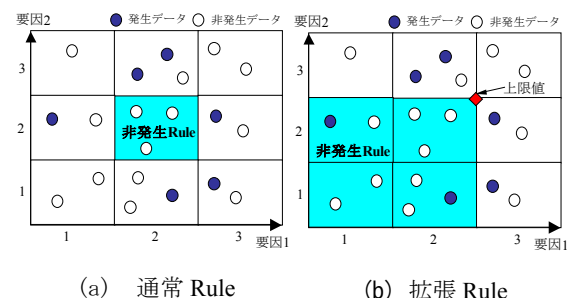


図-2 拡張の概念図

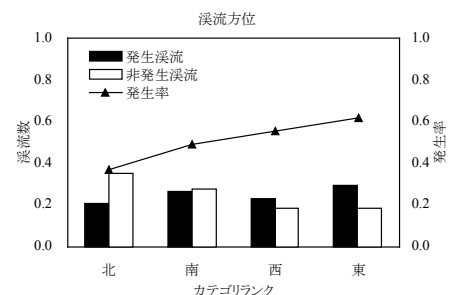


図-3 並び替え後の溪流方位

キーワード：ラフ集合、土石流、危険度 連絡先：〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2 丁目 16-1 山口大学工学部
 TEL 0836-85-9328 FAX 0836-85-9301 E-mail: takemoto@jim2.civil.yamaguchi-u.ac.jp

適とした. 本研究で採用した要因は,表-2 に示すとおりである.

5. 土石流発生・非発生 Rule の抽出

前章で選定した要因により拡張 Rule の抽出を行った結果, 223 個の Rule (発生 90, 非発生 133) が抽出できた. Rule の有効性を示すために,次式で定義される評価指標を算出し, 拡張前の Rule との比較を行った.

$$\text{確信度} = \frac{\text{Ruleに適合する整合データの渓流数}}{\text{Ruleに適合する渓流数}} \quad (\text{Rule の精度})$$
$$\text{サポート} = \frac{\text{Ruleに適合する渓流数}}{\text{全渓流数}} \quad (\text{Rule の汎用性})$$

表-1 要求水準を満足する Rule 数, 及び最良 Rule

	要求水準		拡張無し			拡張有り		
	確信度	サポート	Rule数	最良Rule		Rule数	最良Rule	
				確信度	サポート		確信度	サポート
発生Rule	0.7	0.02	0	-	-	6	0.719	0.056
非発生Rule	0.9	0.05	2	1	0.06	45	0.934	0.319

表-1 の要求水準を満足する Rule は,拡張前の 2 個に対し, 拡張後では 51 個と増加した. また,拡張後では,有効な非発生 Rule だけでなく,発生 Rule (確信度 70%,サポート 6%) も抽出することができた.

更に多くの渓流のサポートを目的として,表-1 の要求水準を満たす発生,非発生 Rule を組合せた結果,表-2 に示す組合せ土石流 Rule は,88.9%の確信度で全渓流の 62.1% (352 渓流) を特定することが可能となった.

6. 危険度の設定

本研究では, 表-2 の各土石流 Rule に危険度の設定を試みた. 危険度は,Rule 中の値に重みを乗じ,それらを要因の数だけ加算することで算出した. 次式に危険度の定義式を示す.

$$\text{危険度} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot W_i$$

A_i : 各要因のカテゴリ値
 W_i : 各要因の重み
 n : 要因数

土石流発生, 非発生に対する各要因の重みは,土石流 Rule 中の* (どんな値でも良い) が多い要因ほど重要度が低いと考え, 次式より算出した.

$$\text{重み} = \frac{\text{*以外の Rule 数}}{\text{全 Rule 数}}$$

図-4 に各要因の重みを示す. 流域最大傾斜, 渓流方位は, 重みが大きく, 土石流に対する影響が大きいといえる. また, 図-5 は,危険度毎の土石流 Rule に適合するデータのヒストグラムであり, 本研究で設定した危険度が高い程, 発生渓流が多く, 低い程非発生渓流が多いといった妥当な危険度であることを示唆している.

7. おわりに

本研究で抽出した土石流 Rule は全渓流の約 6 割のサポートが可能であり (図-6 参照), 対策工や調査の実施優先度の検討に利用することが可能と考えられる.

参考文献: 佐藤丈晴, 河野泰典, 荒木義則, 中山弘隆, 水山高久, 古川浩平, 1982 年 7 月長崎災害におけるラフ集合を用いた土石流発生・非発生の評価ルール設定に関する研究, 土木学会論文集, 第 721 号/VI-57, pp. 13-25, 2002. 12.

表-2 組合せ土石流 Rule

	流域長	渓流方位	0次谷の数	流域最大傾斜	地質小分類	時間雨量	実効雨量	判定	適合データ	整合データ	矛盾データ	残りの渓流	確信度	サポート
	6	10	11	12	16	20	21					567		
Rule1	2以下	*	*	3以下	*	*	*	非発生	181	169	12	386	0.934	0.319
Rule2	*	2以下	1	*	*	2以下	*	非発生	217	202	15	350	0.931	0.383
Rule3	3以下	*	*	1	*	4以下	*	非発生	232	216	16	335	0.931	0.409
Rule4	2以下	*	*	4以下	3以下	*	*	非発生	240	224	16	327	0.933	0.423
Rule5	*	2以下	*	*	1	1	*	非発生	245	229	16	322	0.935	0.432
Rule6	*	1	*	*	*	1	*	非発生	248	232	16	319	0.935	0.437
Rule7	*	1	1	*	*	*	3以下	非発生	250	234	16	317	0.936	0.441
Rule8	*	*	1	1	1	*	*	非発生	252	236	16	315	0.937	0.444
Rule9	1	*	*	4以下	*	*	*	非発生	253	237	16	314	0.937	0.446
Rule10	3以上	2以上	*	3以上	6以上	*	*	発生	311	278	33	256	0.894	0.549
Rule11	4以上	3以上	3以上	3以上	*	*	*	発生	330	293	37	237	0.888	0.582
Rule12	*	*	*	4以上	7以上	4以上	*	発生	337	299	38	230	0.887	0.594
Rule13	*	4以上	*	*	*	*	*	発生	342	304	38	225	0.889	0.603
Rule14	*	4以上	3以上	*	*	2以上	*	発生	347	308	39	220	0.888	0.612
Rule15	*	4以上	4以上	*	6以上	*	*	発生	349	310	39	218	0.888	0.616
Rule16	3以上	*	*	3以上	7以上	4以上	*	発生	350	311	39	217	0.889	0.617
Rule17	4以上	4以上	*	*	5以上	*	*	発生	351	312	39	216	0.889	0.619
Rule18	*	4以上	*	4以上	7以上	*	*	発生	352	313	39	215	0.889	0.621

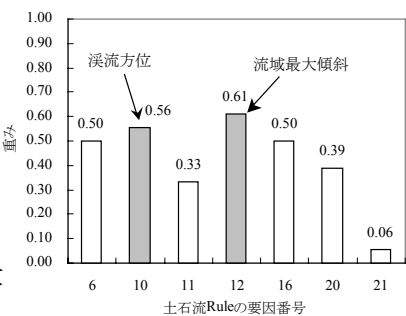


図-4 各要因の重み

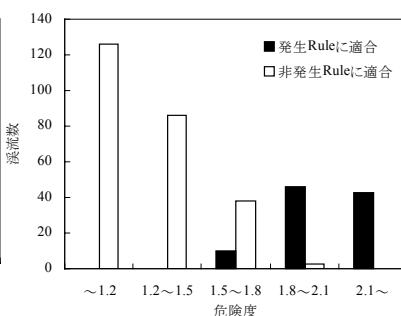


図-5 危険度の算出結果

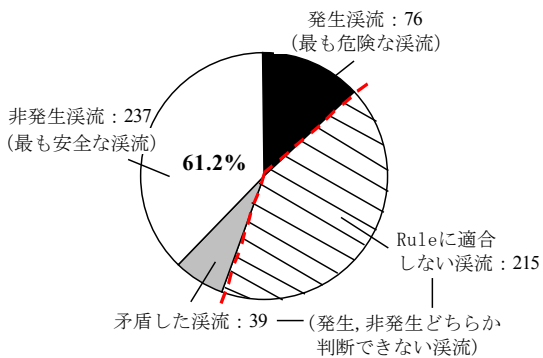


図-6 組合せ土石流 Rule に適合した渓流