

豪雨型山腹崩壊の発生個数と面積の確率統計的特性

徳島大学工学部 正員 端 野 道 夫
徳島大学大学院 ○学生員 武 田 理

1 ま え が き

豪雨による崩壊は関連要因が多く、物理的機構が複雑で不明な点が多く残されている。本研究は確率論的な立場より崩壊の発生個数と面積に焦点を合わせて解析を行い、崩壊発生個数と面積に関する確率モデルを構築するものである。研究の対象流域として那賀川上流長安口ダム流域(539 km²)をとり、昭和51年台風17号によって発生した崩壊について解析を行った。流域を250m×250mのメッシュに分割し、その中から図-1に示すように10個×10個のメッシュデータを17組、すなわち1700個抽出した。

2 崩壊発生個数と累加崩壊面積の確率分布

1) 崩壊発生個数の確率分布 図-2に示すように各メッシュ内の崩壊個数の数え方について考えると崩壊の形状は1個が単独に発生したものと樹枝状に発生したものに分けられる。樹枝状の崩壊を1つの崩壊群として1個と数えた場合、崩壊発生個数の確率分布はポアソン分布に従うと予想される。一方樹枝状の崩壊を切り離して数えた場合、その確率分布は複合ポアソン分布としての負の2項分布が誘導され、その生起確率 P は(1)式で与えられる。この場合の平均と分散は(2)式となり、負の2項分布では分散は平均よりも常に大きく、パラメータ p を一定とすれば残りのパラメータ k_1 のみで与えられる。また、各メッシュの崩壊発生個数が負の2項分布に従うとすれば S 個のメッシュの和の崩壊発生個数も負の2項分布に従うという特性があり、その平均と標準偏差は(3)式、(4)式で与えられる。

2) 累加崩壊面積の確率分布 1崩壊当りの崩壊面積の確率分布はほぼ指数型分布に従うことが明らかになっている¹⁾。また、前述したように崩壊発生個数の確率分布はポアソン分布または負の2項分布に従うと予想される。そこで、崩壊発生個数の確率分布が負の2項分布に従うとすれば、累加崩壊面積の確率分布は指数型分布による複合分布となり、これを複合負の2項分布と呼ぶことにする。この場合の分布関数は(5)式で与えられる。また、平均と標準偏差は(6)式、(7)式となり p を一定とすれば k_1 の関数となる。

以上のように、崩壊発生個数の確率分布が負の2項分布に従うとすれば、任意の広がりをもつ地域で崩壊発生個数、累加崩壊面積の期待値は k_1 を推定することによって求めることができる。そこで、 k_1 を(8)式のように各メッシュの素因、誘因の回帰式で表し、有差な説明変数を変数増減法による回帰分析により選択する。

3 那賀川上流域における解析例

地質については崩壊の規模、個数に大きく関連していることが既往の研究²⁾によって明らかとされているので、本文では表-1に示すように代表メッシュ内で地質を13に分類し、さらにその中で岩層が似ているものを3つに大別し、これら3つの地質区について解析を行った。図-3は各地質区ごとの崩壊発生個数の確率分布である。この図において実線は実際の崩壊による確率分布を、破線は負の2項分布理論により求めた確率分布を表す。こ

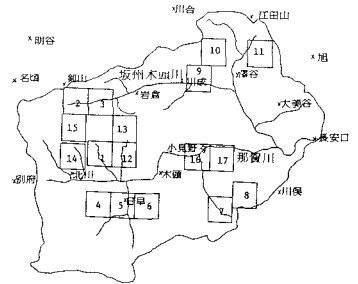


図-1 対象流域と代表メッシュの位置

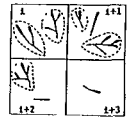


図-2 メッシュにおける崩壊発生個数の例

$$\begin{aligned}
 P(x_i = N_i; k_1, p) &= \binom{x_i + k_1 - 1}{x_i} p^{k_1} q^{x_i} \quad (1) \\
 N_i: & \text{樹枝状の崩壊を切り離して考えた場合の崩壊発生個数} \\
 k_1, p: & \text{負の2項分布のパラメータ} \\
 E(x) &= k_1 q / p, \text{Var}(x) = k_1 q / p^2 \quad (2) \\
 E(J_s) &= \sum_{j=1}^S k_1 q / p \quad (3) \\
 \sigma(J_s) &= \sqrt{\text{Var}(J_s)} = \sqrt{\sum_{j=1}^S k_1 q / p^2} \quad (4) \\
 P\{T_{js} = j\} &= \sum_{i=1}^S P\{J_s = j\} P\{T_{js} \leq z | J_s = j\} \quad (5) \\
 J_s, T_{js}: & \text{それぞれ} S \text{個のメッシュの崩壊発生個数, 面積の和} \\
 P\{J_s = j\}: & \text{崩壊発生個数の分布関数} \\
 P\{T_{js} \leq z | J_s = j\}: & \text{崩壊面積の分布関数} \\
 E(T_{js}) &= \sum_{j=1}^S k_1 q / p E(Z) \quad (6) \\
 \sigma(T_{js}) &= \sqrt{\text{Var}(T_{js})} \\
 &= \sqrt{q/p \sum_{j=1}^S k_1 \{E(Z)^2/p + \text{Var}(Z)\}} \quad (7) \\
 E(Z), \text{Var}(Z): & 1 \text{崩壊当りの崩壊面積の平均, 分散} \\
 k_1 &= a + \sum_{i=1}^p \delta_{ijm} \xi_{jm} + \sum_{i=1}^p Z_{ip} \beta_p \quad (8) \\
 Z_{ip}: & p \text{ 階目の量的変数のメッシュ} i \text{ での値} \\
 \beta_p: & p \text{ 階目の量的変数の回帰係数} \\
 \delta_{ijm}: & \text{メッシュ} i \text{ のアイテム} j, \text{ カテゴリー} m \text{ におけるカテゴリー値} \\
 \xi_{jm}: & \text{アイテム} j \text{ のカテゴリー} m \text{ に対する重み}
 \end{aligned}$$

の図により崩壊発生個数の確率分布は負の2項分布に従うことが明らかである。次に、崩壊の発生に関連すると思われる主な要因として地形特性、谷次数、伐採、雨量、貯留高を取り上げた。表-2は主な要因の具体的なものを質的変数(カテゴリー変数)と量的変数に分けて示したものである。量的変数についてはそれぞれの値を基準化し、さらに変数増減法による回帰分析により有意な変数に絞りこみ、選ばれた量的変数を数量化理論第I類に用いた。表-3はこのようにして選ばれた変数に対して数量化理論第I類を適用した結果である。この表の偏相関係数によれば崩壊の発生に比較的強い相関性を示していると思われる要因として質的変数では伐採、量的変数では総雨量、表層タンク貯留高、最大斜面の凹凸形状(縦断面、平面)があげられる。特に、地質区2、地質区3においてその傾向が見られる。地質区1ではその他に標高、谷密度があげられる。このようにして(8)式の説明変数とその係数が定まり、メッシュごとの推定値 $\hat{E}_i$ を(3)式に用いて求めた累加崩壊個数 $E(J_0)$ の推定値と実測値の関係を表したものが図-4である。この図によると、どの地質区においても推定値はほぼ実測値に近い値が得られており、(8)式に示した崩壊発生個数のパラメータ $\hat{\beta}_i$ の回帰モデルは妥当であるといえ、それぞれのメッシュにおける崩壊発生個数、または、任意の広がりをもつ地域の崩壊発生個数の確率分布は負の2項分布に従うといえる。次に得られた $\hat{\beta}_i$ を(6)式に用いて求めた累加崩壊面積 $E(T_{JS})$ の推定値と実測値の関係を表したものが図-5である。この図において破線は(7)式に示した標準偏差 $\sigma(T_{JS})$ を用いて描いた線である。この図によると、どの地質区においても確率分布(対角線)は推定値の標準偏差を2倍した範囲内に入り、累加崩壊面積の確率分布はほぼ複合負の2項分布に従うといえる。

表-1 地質区分表

1	砂礫混合地	地
2	礫状砂	地
3	砂状砂	地
4	チャート	地
5	砂岩、泥岩を主とする互層	地
6	砂岩、泥岩を主とする互層	地
7	砂岩、泥岩互層	地
8	石灰岩	地
9	砂岩礫岩	地
10	砂岩礫岩	地
11	三層状成層	地
12	層状砂岩、砂岩層、白く砂岩	地
13	砂岩層	地
14	砂岩層	地
15	砂岩層	地

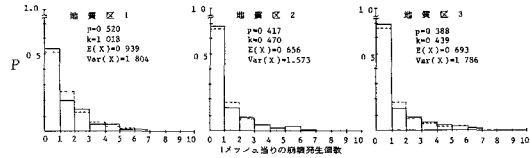


図-3 地質区ごとの崩壊発生個数の確率分布

表-3 地質区ごとのパラメータの値と偏相関係数

変数	地質区1	地質区2	地質区3	地質区4
崩壊発生個数	0.520	0.417	0.388	0.520
谷次数	-0.0232	0.0323	-0.0208	0.0409
伐採	-0.0349	0.0297	0.0297	0.0171
総雨量	-0.2221	0.3084	-0.0577	0.1429
表層タンク貯留高	0.0581	0.0581	0.0581	0.0581
最大斜面の凹凸形状	0.2435	0.2720	0.6449	0.2185
谷密度	-0.0615	-0.0707	0.1727	0.2219
標高	-0.0222	-0.0284	0.0293	0.0553
土壌水分	-0.1765	-0.2098	-0.1948	-0.1919
地下水位	-0.1169	-0.1169	-0.1169	-0.1169
谷次数	-0.0672	-0.1145	0.1718	0.0771
伐採	-0.0679	-0.0816	0.0954	0.1019

表-2 質的変数と量的変数の具体例

変数	1 次変数		2 次変数	
	変数	1	変数	2
雨量	51m	1 <td>2</td> <td>3</td>	2	3
地	1 地形	1	2	3
	2 地形	1	2	3
地	3 地形	1	2	3
	4 地形	1	2	3
地	5 地形	1	2	3
	6 地形	1	2	3
地	7 地形	1	2	3
	8 地形	1	2	3
地	9 地形	1	2	3
	10 地形	1	2	3
地	11 地形	1	2	3
	12 地形	1	2	3
地	13 地形	1	2	3
	14 地形	1	2	3
地	15 地形	1	2	3
	16 地形	1	2	3
地	17 地形	1	2	3
	18 地形	1	2	3
地	19 地形	1	2	3
	20 地形	1	2	3