

## 福井・岐阜県境の山地崩壊に関する統計的研究

村野 義郎

土木研究所河川部砂防研究室\*

### Statistical Studies on the Landslides near the Boundary between Gifu and Fukui Prefectures

By

YOSHIRO MURANO

*Public Works Research Institute, Tokyo*

#### Abstract

Relations between characteristics of drainage basins and landslides, which took place on the boundary of Gifu and Fukui Prefectures, being caused by heavy rain of September 1965, are investigated.

Using aerial photographs taken immediately after the disaster and topographical maps (1/10,000) drawn from the photographs, the study is conducted on the second-order drainage basins which are divided by the method of Strahler.

It is evident that the area of landslides per unit area of a drainage basin is the product of the number of landslides per unit area of the basin and the mean area of a landslide.

That is

$$c_a / a = (c_n / a) \times (c_a / c_n),$$

where  $c_a$  is area and  $c_n$  is number of landslide within a drainage basin of area  $a$ . Therefore, it is necessary to test the relations between these three parameters of landslide and drainage basin characteristics.

Results of test for uniformity of means show that  $c_n / a$  is strongly affected by precipitation of three days and by geological condition of the drainage basin and in some measure by relief energy, hypsometric integral and forest condition.  $c_a / c_n$  is affected mainly by relief energy and drainage density, and influence of geological

---

\*現在の所属：信州大学

condition is somewhat recognized.  $c_a/a$ , which is the product of both parameters, is powerfully affected by precipitation, geological condition, and relief energy, and is affected a little by forest condition. The results resemble to the disaster of Tenryu River which took place in 1961.

From measurement of slope gradients in 55 drainage basins of the second order by the grid method, maximum occurrence of landslides per unit area of each gradient class can be found in the class of 1.00 - 1.25 in tangent. Experimentally, it has been said that the slope of gradient class of 0.75 - 1.00 is most likely to collapse, but the saying seems to be inaccurate because by no means every area of each gradient class has been considered.

It is found that number of drainage basins having  $k$  (number of landslides) per area of two hectares presents Poisson distribution. This result is the same as that of the study on Tenryu River and coincides with theoretical consideration on distribution of landslides.

## 1. ま え が き

台風24号に伴う昭和40年9月13日、14日の前線性豪雨によって九頭竜川支川真名川、および揖斐川支川根尾川の水源地に多数の崩壊が発生し、福井、岐阜両県の県境にある能郷白山(1,617m)を中心とする南北両側の地域は多大な災害を被った。

このような山地崩壊に関する研究は二つの方向に分類することができる。一つは、特定の斜面が崩壊する機構に関する研究であって、主として土質力学的な立場から、その発生条件、規模、応力状態などを知らうとするものである。他は、わが国のように湿潤な地域では崩壊は流域地形発達の主要因であるという立場から、流域相互の崩壊地発生状況を比較し、その相異を規定する流域特性を見いだそうとする研究である。この研究は後者の立場から、流域全体としての崩壊地の発生状況と各種流域条件との関係について研究を行なったものである。

得られた結果は、昭和36年6月豪雨による天竜川流域、および昭和34年8月豪雨による富士

川流域の山地崩壊についての研究結果とほぼ一致しており、地域差が著しいと言われている山地崩壊現象に関する一般的な法則性を見いだすための有力な資料を得ることができた。

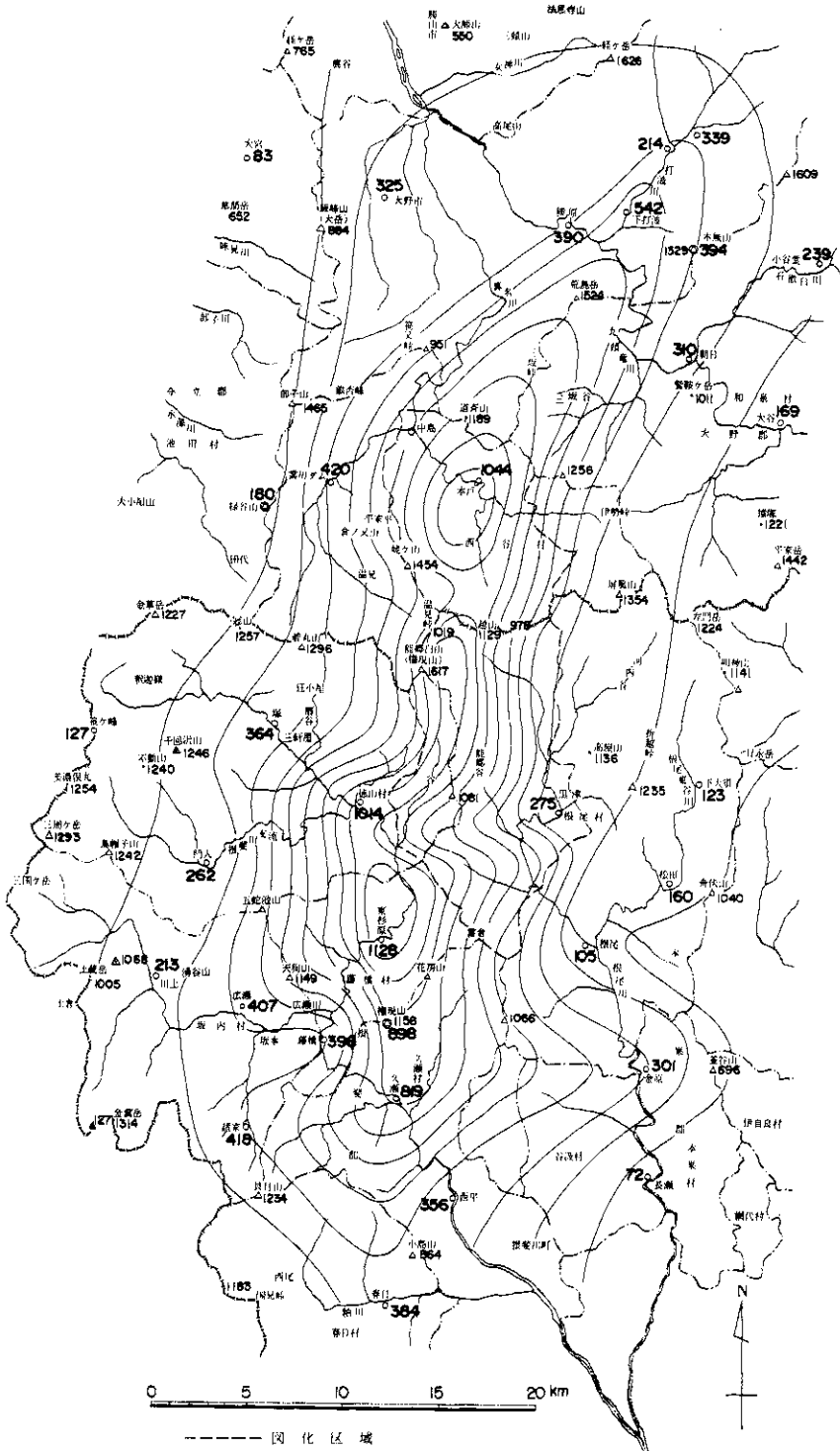
## 2. 流域の区分

この山地災害については、国立防災科学技術センターが豪雨直後の昭和40年11月13日に空中写真(縮尺約 $1/20,000$ )を撮影している。研究に必要な崩壊数、崩壊面積、あるいは各種流域特性を正確に測定するために、この空中写真を図化して縮尺 $1/40,000$ 、等高線間隔10mの地形図を作成した。図化区域は図-1に示すとおり、北側(福井県)約11km、南側(岐阜県)約16km、幅平均7km、面積約190km<sup>2</sup>の地域である。

この地形図上で Strahler のオーダー解析<sup>1)</sup>を施し、谷の発達状態に基づく流域の区分を行なった。この場合、谷とは、谷を示す等高線の幅がわん入の長さよりも小さいものをすべて谷と考えることにした。

流域相互の崩壊発生状況を比較するには、比較

福井・岐阜県境の山地崩壊に関する統計的研究—村野



図一 等雨量線図(昭和40年9月13~15日の積算雨量)

する流域の規模がほぼ等しくなければならないはずである。区分したオ1オーダーの流域はその面積が非常に小さいので局所的な影響が強く表われるおそれがあるために、オ2オーダー流域を比較する単位流域として取りあつかうことにした。

### 3. 崩壊地の測定

豪雨による山地崩壊の実情を表現するには流域単位面積当りの崩壊土量を用いるのが適当であるが、これの測定には次のような問題がある。

すなわち、崩壊は豪雨以前から存在していた旧崩壊地が拡大する場合と、植生におおわれた斜面が崩壊する場合とがあるが、いずれにしても崩壊以前の斜面の形が判然としていないかぎり崩壊土量を測定することはできないはずである。また、たとえそれがわかっていたとしても、普通の縮尺の地形図では土量を測定することは困難である。

以上の理由から一般に崩壊土量の測定値は精度が低いので、これを複雑な山地崩壊についての研究資料として用いることは適当でないと考えられる。このため、崩壊土量よりも測定が容易で精度の高い崩壊面積を用いることにし、あわせて崩壊数を測定した。

崩壊数の測定には、樹枝状崩壊のように二つ以上の崩壊の下部が合流している場合には、その全体の形にかかわらず、それぞれの枝先の数を数えることにした。また崩壊面積は原図上に記載された崩壊地を区分流域ごとに切り抜き、化学てんびんではかって、これから面積に換算した。

また、各オーダーの流域面積はプランメーターで測定し、これらを整理して、崩壊地オーダー別集計表、流域面積オーダー別集計表、および流域別崩壊地発生状況表に取りまとめた。

さらに、調査地域全般、および崩壊地の発生状況を概観するのに便利なように $1/10,000$ 地形図を $1/50,000$ に縮図し、かつ若干簡略化して崩壊地分布図を作成するとともに、縮尺 $1/50,000$ の崩壊密度分布図(図-2)を作成した。崩壊密度分布図は、崩壊地分布図に一辺500mの方眼をかぶせ、縦横に隣接する4個の方眼内に存在する崩壊数を前記の方法によって数え、これを4個の方眼の中央に記入する。そして4個の方眼内に発生している崩壊地はこの中央の点に集中しているものと考

え、崩壊数の等しい点を結んで作成したものである。したがってこれは $1\text{ km}^2$ 当りの崩壊数の分布状況を示していることになる。

### 4. 崩壊地の発生状況

崩壊地分布図から崩壊地のみを摘記したものが図-3である。また崩壊地の発生状況を幹川別に取りまとめれば表-1のとおりである。表-2、表-3には参考として天竜川<sup>2)</sup>および富士川における崩壊地発生状況を示した。

これら3地域を比較すれば明らかなように、福井、岐阜の崩壊率(流域面積に対する崩壊面積の割合)は6.34%であって、天竜川流域(7.12%)と富士川流域(4.66%)との中間にあり、また $1\text{ km}^2$ 当りの崩壊数は24.10個であって、これも天竜川(38.13個)と富士川(15.70個)の中間にある。1個所当りの平均崩壊面積も、この地域は $2,632\text{ m}^2$ であって、天竜川( $1,839\text{ m}^2$ )と富士川( $2,976\text{ m}^2$ )との中間にあり、全体的に見ればこの地域の崩壊は天竜川と富士川の中間的な性格を持っていることになるが、その内容としては、北側の真名川流域に小規模な崩壊が多数発生していて天竜川流域に近似しているのにくらべて、南側の根尾川、揖斐川流域では崩壊数は少ないが、比較的大型の崩壊地が発生しており、富士川流域に類似していると言える。

### 5. 流域特性の測定

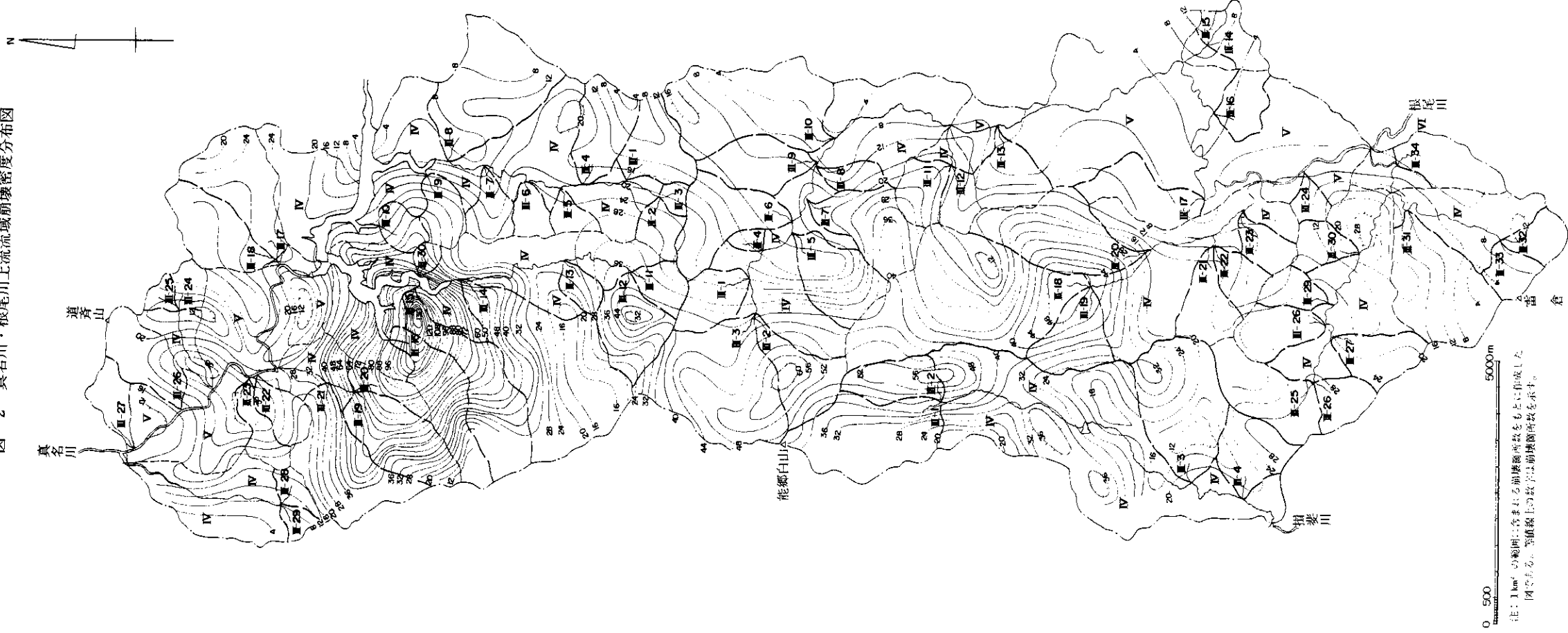
調査地域内にあるオ2オーダー流域の全部(合計312流域)について次の各種流域特性を測定した。

#### 1) 降雨量(R)

福井県、および岐阜県の昭和40年9月13日から16日にわたる主要地点の降雨量は表-4および表-5のとおりである。

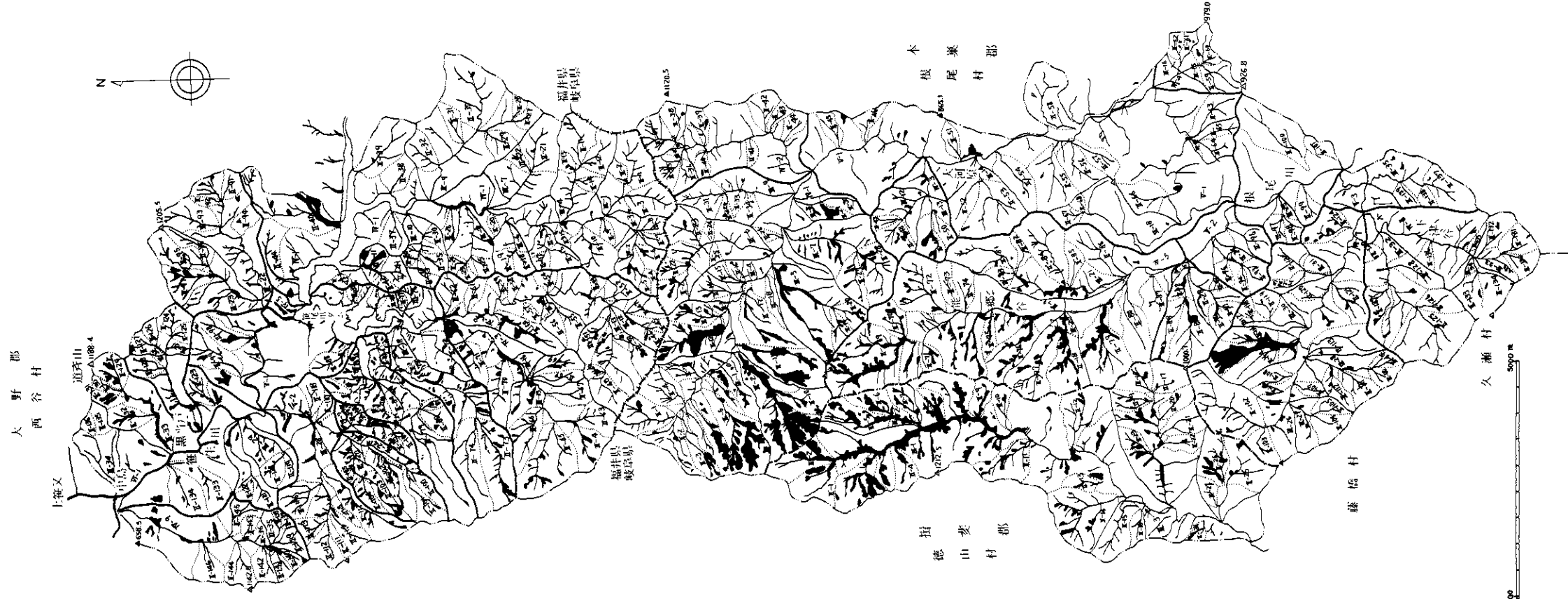
流域雨量を決定するには、縮尺 $1/200,000$ 地形図を用いて等雨量線図(図-1)を作成した。用いた雨量観測資料は33個<sup>3)</sup>で、9月13日から同15日までの3日間の継続雨量である。次に、この等雨量線図を縮尺 $1/50,000$ に拡大し、100mm間隔に描かれた等雨量線とオ2オーダー流域との相対的な位置にしたがって、50mm間隔で流域の雨量を定めた。

図一2 真名川・根尾川上流域崩壊密度分布図



注：1km<sup>2</sup>の範囲に占める崩壊箇所数をもとに作成した図である。等値線上の数字は崩壊箇所数を示す。

图-3 真名川・根尾川上流域平面图



表一 1 真名川、根尾川流域崩壊地測定結果総括表 (昭.40.9.豪雨)

項目 \ 幹川名	真名川	根尾川	揖斐川	合計
幹川別				
谷の最高オーダー	V	VI	IV	
流域面積 $a \text{ km}^2$	75.28	91.69	20.74	187.71
崩壊数 $c_n$	2,316	1,810	435	4,561
崩壊面積 $c_a \text{ m}^2$	4,039,470	6,035,718	1,830,297	11,905,485
オIIオーダー流域				
流域数	146	139	27	312
流域面積合計 $\Sigma a \text{ km}^2$	38.40	50.27	10.49	99.16
崩壊数合計 $\Sigma c_n$	1,070	1,202	320	2,592
崩壊面積合計 $\Sigma c_a \text{ m}^2$	2,096,915	3,811,592	1,011,924	6,920,431
崩壊率				
$c_a/a$ %	5.37	6.58	8.82	6.34
$\Sigma c_a/\Sigma a$ %	5.46	7.58	9.65	6.98
$c_a/a_{\text{max}}$ %	30.8	56.7	24.5	—
同上流域番号	II - 107	II - 115	II - 8	—
1 km <sup>2</sup> 当り崩壊数				
$c_n/a$	30.77	19.74	20.97	24.10
$\Sigma c_n/\Sigma a$	27.86	23.91	30.51	26.14
$c_n/a_{\text{max}}$	214.3	80.0	100.0	—
同上流域番号	II - 87	II - 5	II - 8	—
1 個所当り崩壊面積				
$c_a/c_n$ m <sup>2</sup>	1,744	3,335	4,208	2,632
$\Sigma c_a/\Sigma c_n$ m <sup>2</sup>	1,960	3,171	3,162	2,670
$c_a/c_n_{\text{max}}$ m <sup>2</sup>	9,750	11,749	9,704	—
同上流域番号	II - 66	II - 49	II - 2	—

表-2 天竜川流域崩壊地測定結果総括表 (昭.36.6.豪雨)

項目	幹川名	新宮川	百目川	鹿塩川	滝沢	四徳川	その他	計
幹川別								
谷の最高オーダー		V	IV	V	V	V	—	
流域面積 $a$ km <sup>2</sup>		30.36	14.96	54.50	9.26	30.28	10.90	150.26
崩壊個所数 $c_n$		605	675	1,472	550	2,007	509	5,818
崩壊面積 $c_a$ m <sup>2</sup>		1,022,230	1,158,490	3,101,320	1,058,890	3,360,360	999,440	10,700,730
才IIオーダー流域								
流域数		42	26	53	14	62	18	215
流域面積合計 $\Sigma a$ km <sup>2</sup>		20.05	9.74	27.28	4.65	20.38	8.27	90.37
崩壊個所数 $\Sigma c_n$		463	583	937	249	1,486	408	4,126
崩壊面積合計 $\Sigma c_a$ m <sup>2</sup>		777,530	835,920	1,882,050	482,940	2,479,060	818,430	7,275,950
崩壊率								
$c_a/a$ %		3.37	7.74	5.69	11.44	11.10	9.17	7.12
$\Sigma c_a/\Sigma a$ %		3.88	8.58	6.90	10.39	12.16	9.90	8.05
1 km <sup>2</sup> 当り崩壊数								
$c_n/a$		19.93	45.12	27.01	59.40	66.28	46.70	38.13
$\Sigma c_n/\Sigma a$		23.09	59.86	34.35	53.55	72.91	49.33	45.66
1 個所当りの崩壊面積								
$c_a/c_n$ m <sup>2</sup>		1,690	1,716	2,107	1,925	1,674	1,943	1,839
$\Sigma c_a/\Sigma c_n$ m <sup>2</sup>		1,679	1,434	2,009	1,940	1,668	2,006	1,763

表-3 富士川流域崩壊地測定結果総括表 (昭.34.8.豪雨)

項目	幹川名	小武川	大武川	尾白川	濁川	流川	計
幹川別							
谷の最高オーダー		IV	V	V	IV	IV	
流域面積 $a$ km <sup>2</sup>		38.36	56.45	25.56	14.52	7.60	142.49
崩壊数 $c_n$		655	816	531	167	60	2,229
崩壊面積 $c_a$ m <sup>2</sup>		1,542,200	2,507,250	1,869,050	558,150	156,350	6,633,000
除外流域		II 1,3,15,17 下流合流 点まで	II 14,28,29,30,41,47 石空川合流 点まで		II 4,5,8		
才IIオーダー流域							
流域数		62	82	35	21	12	212
流域面積合計 $\Sigma a$ km <sup>2</sup>		20.13	26.00	9.57	6.67	4.87	67.24
崩壊数 $\Sigma c_n$		382	409	323	125	45	1,284
崩壊面積 $\Sigma c_a$ m <sup>2</sup>		852,100	1,406,550	914,700	378,050	136,250	3,687,650
崩壊率							
$c_a/a$ %		4.0203	4.4415	7.3124	3.8440	2.0572	4.6551
$\Sigma c_a/\Sigma a$ %		4.2330	5.4098	9.5580	5.6679	2.7977	5.4843
1 km <sup>2</sup> 当り崩壊数							
$c_n/a$		17.075	14.455	20.775	11.501	7.895	15.698
$\Sigma c_n/\Sigma a$		18.977	15.731	33.375	18.740	9.240	19.095
1 個所当り崩壊面積							
$c_a/c_n$ m <sup>2</sup>		2,355	3,073	3,520	3,342	2,606	2,976
$\Sigma c_a/\Sigma c_n$ m <sup>2</sup>		2,231	3,439	2,830	3,024	3,028	2,872



表-4 昭和40年9月前線豪雨降雨量 (mm)

観測所		13~14日	14~15日	15~16日	計
福井県	大野	29	257	39	325
	下打波	34	426	82	542
	本戸	41	844	159	1,044
岐阜県	徳山	30	689	295	1,014
	黒津	37	164	74	275
	権現山	29	708	161	898

表-5 時間雨量(mm) (昭和40年9月)

時 日	観測所		徳山(建設省)	
	本戸(福井県)	徳山(建設省)	14日	15日
10	1	38	2	6
11	4	36	6	22
12	4	23	6	37
13	17	26	17	70
14	18	4	8	35
15	10	16	6	22
16	10	↓	8	1
17	13	↓	24	
18	32	7	15	1
19	32	↓	11	6
20	72	↓	10	3
21	89	2	76	2
22	79	↓	103	4
23	78	↓	71	3
24	82	4	60	
1	41	↓	36	4
2	33	↓	43	2
3	9	1	26	1
4	1		37	1
5	8		53	0.5
6	49		36	0.5
7	56		21	
8	53		7	1
9	53		27	
計	844	159	709	222

2) 地質(G)

地質調査所の調査による地質図を用い、才2オーダー流域内において最も分布面積の広い岩種をもって、その流域の地質と定めた。この場合、分布面積のわずかなもの、ならびに類似した岩種は適宜統合して、表-6に示すNo1ないしNo9の9種類に区分することにした。

表-6 地質区分

番号	層 序	構成岩石
1	沖積層, 段丘堆積物	(省略)
	安山岩類	
	西谷流紋岩	
3	面谷流紋岩	(省略)
	姥ヶ岳累層	れき岩, けつ岩, 砂岩
4	小沢層	砂岩, 粘板岩, 輝緑凝灰岩
	手取層群	砂岩, けつ岩相
2	— 断 層 —	れき岩相
	本戸累層	凝灰質れき岩, 砂岩
5	— 断 層 —	
	時代未詳中~古生界	砂岩相
6	— 断 層 —	粘板岩相
	上部古生界	粘板岩相
7		石灰岩相
8		輝緑凝灰岩相
8		チャート相
9	花こうせん緑岩	

3) 谷密度 ( $D_d$ )

オーダー解析の際に決定した谷を用い、オ2オーダー流域内の谷の総延長  $L$  (km) と流域面積  $A$  ( $\text{km}^2$ ) とから、

$$D_d = L/A$$

として求めた。

4) 起伏量 ( $R_e$ )

流域最高点と最低点の標高差 (m) である。ただし、最高点が水源部付近にない場合には水源部付近の山頂の標高を最高点の標高とした。

5) 起伏量比 ( $R_r$ )

流域下流端から最高点にいたる水平距離  $l$  (m) を主流に沿って測定し、

$$R_r = R_e/l$$

で求めた。

6) ヒブソ積分 (hypso metric integral)

$$(h_{13})$$

ある等高線と、これより上流側の流域界との間の面積  $a$  を測定し、これと全流域面積  $A$  との比  $a/A$  を横軸に取り、また流域最低点とその等高線の標高差  $h$  の流域全標高差  $H$  (起伏量とは必ずしも一致しない) との比  $h/H$  を縦軸に取ってヒブソ曲線 (Percentage hypso metric curve) を作成する。この曲線と縦横両軸との間の面積を測定し、これと縦横両軸が作る長方形の面積との比を百分率で表わしたものである。

7) 浸食量 ( $h_{12}$ )

左右両側の分水界上にある等しい高度の点を直線で結び、 $h_{13}$  を求めたのと同様な方法で  $h_{11}$  を測定する。そして

$$h_{12} = h_{11} - h_{13}$$

で求めたもので、分水界が切降面を示すものとするれば、 $h_{12}$  は相対的な浸食除去量を表わすことになる。

8) 林相係数 ( $F_e$ )

空中写真からオ2オーダー流域内の林相を、無立木地、幼令林、壮令林の3種類に区分判読し、それぞれの占有面積の流域面積に対する比を計算する。そして、無立木地に1点、幼令林に2点、壮令林に3点を与え、それぞれの点数に占有面積比を乗じて合計したものを林相係数と呼ぶことにした。

6. 分散分析

流域面積を  $a$ 、崩壊数を  $G_n$ 、崩壊面積を  $G_a$  で表わせば、流域単位面積当りの崩壊面積は

$$G_a/a = (G_n/a) \times (C_a/C_n)$$

である。式中右辺の  $C_n/a$  は流域単位面積当りの崩壊数であり、 $C_a/C_n$  は1個所当りの平均崩壊面積である。このように流域単位面積当りの崩壊面積は崩壊数と崩壊規模との二つの要素に分解され、かつ、これら二つの要素を支配する因子は必ずしも同じではないと考えられるので、これら両者のそれぞれと各種因子との関連について調べることが必要である。

表-7には、 $C_a/a$ 、 $G_n/a$ 、 $C_a/C_n$ のそれぞれと、 $R$ 、 $G$ 、 $D_d$ 、 $R_e$ 、 $R_r$ 、 $h_{13}$ 、 $h_{12}$ 、 $F_e$  との合計60個の組み合わせについて電子計算機で分散分析を行なった結果のうち、危険率5%以下で有意差ありと判定されたもののみを掲げた。崩壊地調査のような現地測定資料のある特性の階級にしたがって分類した場合には、実験結果の整理とは異なって、測定値を持たない階級が多数生ずるのが普通である。したがって表-7の分散分析は平均値の均一性の検定の方法を用いた。

分散分析の結果、流域単位面積当りの崩壊数 ( $G_n/a$ ) は主として降雨量 ( $R$ ) と地質 ( $G$ ) の強い支配を受け、これに起伏量 ( $R_e$ )、ヒブソ積分 ( $h_{13}$ )、および林相 ( $F_e$ ) が関係している。これにくらべると、1個所当りの平均崩壊面積 ( $C_a/C_n$ ) は起伏量 ( $R_e$ ) と谷密度 ( $D_d$ ) の支配を受け、また地質 ( $G$ ) の影響が若干認められる。これら両者の積である流域単位面積当りの崩壊面積 ( $C_a/a$ ) は降雨量 ( $R$ ) と地質 ( $G$ ) の強い支配を受け、これに起伏量 ( $R_e$ ) と林相 ( $F_e$ ) との若干の支配を受けている。

ここに得られた流域特性と崩壊量との関係は天竜川流域の結果<sup>5)</sup> とほぼ同じであることに注意したい。

7. 流域特性と崩壊との関係

分散分析の結果崩壊量と有意な関係があると判定された流域特性のうち、 $R$ 、 $R_e$ 、 $D_d$  のそれぞれと  $C_a/a$ 、 $G_n/a$ 、 $C_a/C_n$  との関係を示せば図-4~6のとおりであり、また  $G$  とこれら崩壊量との関係は表-8のとおりである。ただし、これらの図表に示す3種類の崩壊量の中には流域特性

表 - 7 分散分析結果

崩壊量	要因	自由度	F	F <sub>0</sub>		結果
				0.01	0.05	
c <sub>a</sub> / a	R - G	7, 37	3.4666	3.15	2.28	< 1 %
	R - D <sub>d</sub>	7, 46	7.8590	3.05	2.22	"
	R - F <sub>c</sub>	7, 21	12.8577	3.65	2.49	"
	R - R <sub>r</sub>	7, 32	10.5314	3.25	2.32	"
	G - R	8, 36	3.4470	3.04	2.21	"
	G - D <sub>d</sub>	8, 49	6.4645	2.88	2.13	"
	G - R <sub>r</sub>	8, 32	5.0178	3.12	2.25	"
	R <sub>e</sub> - D <sub>d</sub>	7, 40	7.1908	3.12	2.25	"
	F <sub>c</sub> - D <sub>d</sub>	4, 29	4.0622	4.04	2.70	"
	G - F <sub>c</sub>	8, 21	3.0698	3.51	2.42	< 5 %
	R <sub>e</sub> - G	7, 37	2.6379	3.15	2.28	"
c <sub>n</sub> / a	R - G	7, 37	6.5374	3.15	2.28	< 1 %
	R - D <sub>d</sub>	7, 46	6.9627	3.05	2.22	"
	R - F <sub>c</sub>	7, 21	4.4027	3.65	2.49	"
	R - R <sub>r</sub>	7, 32	12.6231	3.25	2.32	"
	G - R	8, 36	7.6905	3.04	2.21	"
	G - D <sub>d</sub>	8, 49	5.2797	2.88	2.13	"
	G - F <sub>c</sub>	8, 21	4.1706	3.51	2.42	"
	G - R <sub>r</sub>	8, 32	10.1183	3.12	2.25	"
	R <sub>e</sub> - D <sub>d</sub>	7, 40	3.8063	3.12	2.25	"
	h <sub>i3</sub> - D <sub>d</sub>	5, 39	2.4934	3.51	2.45	< 5 %
	F <sub>c</sub> - D <sub>d</sub>	4, 29	3.5980	4.04	2.70	"
c <sub>a</sub> / c <sub>n</sub>	R <sub>e</sub> - G	7, 37	7.4811	3.15	2.28	< 1 %
	R <sub>e</sub> - D <sub>d</sub>	7, 40	9.1473	3.12	2.25	"
	D <sub>d</sub> - G	12, 45	2.1210	2.60	1.97	< 5 %
	D <sub>d</sub> - F <sub>c</sub>	12, 21	2.9471	3.17	2.25	"
	D <sub>d</sub> - R <sub>r</sub>	12, 29	2.4714	2.87	2.10	"
	G - D <sub>d</sub>	8, 49	2.1765	2.88	2.13	"

注 たとえば、本表の最上欄は、c<sub>a</sub>/a をRとGとの2次元に分類し、Rについて平均値の均一性の検定を行なった結果、c<sub>a</sub>/a とRの間には危険率1%をもって有意な関係があるといえることを示す。

と有意な関係を持たないものも併記されていることに注意する必要がある。

これら4種の流域特性と3種の崩壊量との関係を考えてみると、まず、雨が降ったから崩壊した

のであり、また崩壊密度図に合うように等雨量線を描くことはある程度可能であるから、Rがc<sub>a</sub>/a、あるいはc<sub>n</sub>/aに強い影響を与えているのは当然である。しかし、Rはc<sub>n</sub>/aと高度の関係がある

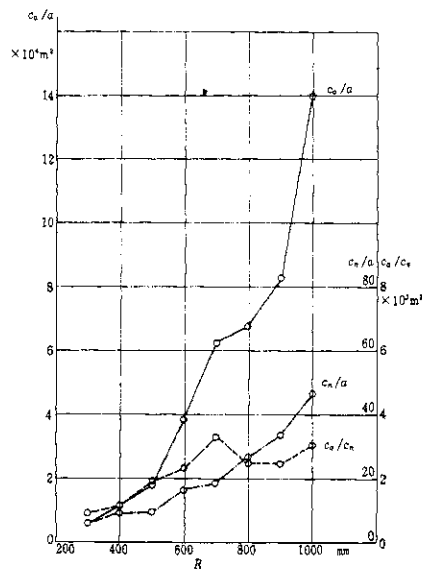


図-4 積算雨量(R)と崩壊との関係

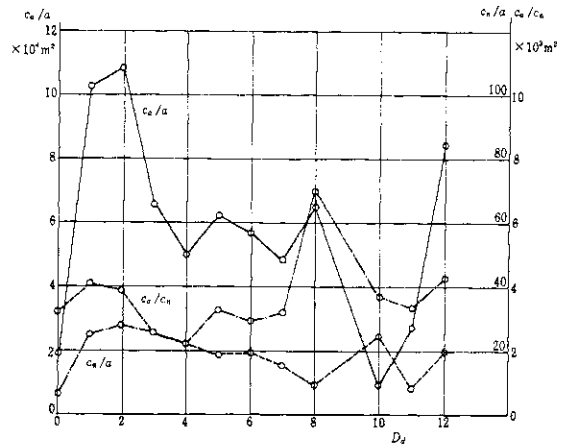


図-6 谷密度( $D_d$ )と崩壊との関係

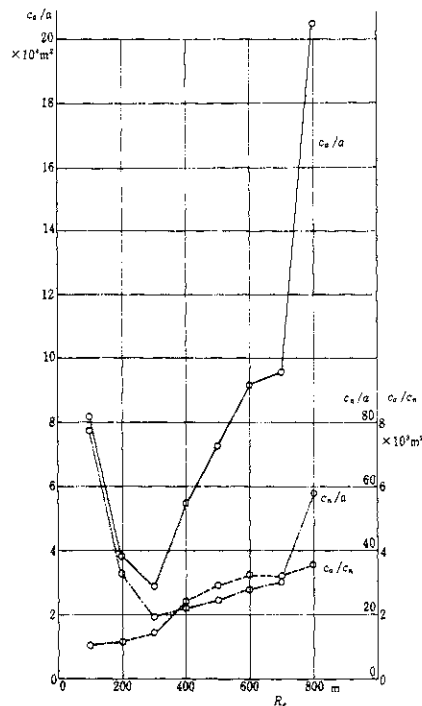


図-5 起伏量( $R_r$ )と崩壊との関係

のに、 $c_a/c_n$ とは有意な関係が認められていない。このことは、降雨量が増加すれば斜面は安定を失って次々と崩落したが、一度崩壊地が発生するとその後にさらに降雨が続いても個々の崩壊地の周囲がさらにくずれて拡大することはなく、したがって、流域内の崩壊面積の増加は崩壊数の増加によって行なわれたことを示すものと考えられる。

$c_a/c_n$ は主として $R_r$ と $D_d$ の支配を受けている。谷密度が高ければ流域内の斜面はそれだけ細分されているわけであるから、そこに発生する崩壊地も小規模にならざるをえないはずであり、また谷密度が高ければ起伏量は小さくなるはずであるから、<sup>6)</sup>起伏量の小さい流域では平均崩壊規模も小さくならなければならない。つまり、 $D_d$ と $R_r$ とは関連しているのである。図-5と図-6に見られる $c_a/c_n$ と $D_d$ および $R_r$ との関係は以上の考え方でうまく説明することができる。

$c_n/a$ と $G$ とは高度の関係がある。しかし、 $G$ の表現は定性的であるから表-8に示される関係もこの地域のみについて成立するものと考えべきであろう。 $c_n/a$ と定量的な表現の可能な地形要素との関係はあまりめいりようでない。今後さ

表-8 地質と崩壊との関係

地質区分	所属 流域数	流域面積 合計 $a$ km <sup>2</sup>	崩壊面積合 計 $c_a$ m <sup>2</sup>	崩壊数合 計 $c_n$	$c_a/a$ m <sup>2</sup>	$c_n/a$	$c_a c_n$ m <sup>2</sup>
1 安山岩, 流紋岩	18	4.13	187,676	114	45,442	27.60	1,646
2 手取層群, 本戸累層	26	7.51	476,524	196	63,452	26.10	2,431
3 姥ヶ岳累層	9	4.79	464,624	220	96,999	45.93	2,112
4 小沢層	15	1.00	123,024	101	123,024	101.00	1,218
5 時代未詳中古生界(砂岩相)	25	7.01	198,132	134	28,264	19.11	1,479
6 上部古生界(粘板岩相)	96	30.34	1,298,010	544	42,782	17.93	2,386
7 上部古生界(輝緑凝灰岩相)	42	15.26	915,881	370	60,018	24.25	2,475
8 上部古生界(チャート相)	49	12.77	684,385	236	53,593	18.48	2,900
9 花こうせん緑岩	32	16.35	2,572,180	677	157,320	41.41	3,800
合計	312	99.16	6,920,431	2,592	69,791	26.14	2,670

らに他の地形要素, ならびにその表現方法について研究することが必要である。

斜面崩壊の難易を決定する重要な地形要素は斜面傾斜角であろう。これについて次に述べることにする。

### 8. 斜面傾斜角と崩壊数との関係

一般に, 崩壊は傾斜角  $35^\circ \sim 45^\circ$  の斜面に発生しやすいと言われている。しかしこの定説は流域内全般の傾斜角別斜面占有面積と傾斜角別崩壊数とを比較した上での結論ではない。

この研究では, 斜面傾斜角と崩壊との関係を調べるために, 揖斐川支川白谷と, 根尾川支川能郷谷に属する合計55のオ2オーダー流域について斜面傾斜角を測定した。傾斜角の測定には種々の方法が考案されているが, 今回は方眼法<sup>7)</sup>を採用することにした。すなわち, 縮尺  $1/10,000$  地形図上に縦横間隔5mmの方眼をかぶせ, 方眼線の交点における等高線の間隔から傾斜角を測定してそのタンジェントを交点の下部に記入した。次に方眼を縦横両方向に2.5mmずつ移動して, 前と同様に傾斜を測定した。そしてオ2オーダー流域内にある方眼交点の総数に対するそれぞれの傾斜角別交点数の比を計算し, この比をもってその傾斜角を持つ斜面の占有面積比とした。また崩壊地の傾斜角は崩壊主要部分に存在する方眼交点の傾斜角の平均値を用いることにした。

以上で測定した結果を取りまとめれば図-7である。図から, 崩壊数 ( $c_n$ ) は  $\tan \alpha$  が  $0.75 \sim 1.00$  の階級に最も多く, 全体の約48%を占めている。しかし傾斜角別斜面面積  $1 \text{ km}^2$  当りの崩壊数 ( $c_n/a$ ) はこれより急な  $\tan \alpha$  が  $1.00 \sim 1.25$  の階級が最大で, 約60個/ $\text{km}^2$  あり, この傾斜角の範囲が最もくずれやすかったことになる。

天竜川流域では,  $c_n$  の最大は  $\tan \alpha$  が  $0.75 \sim 1.00$  の階級にあり, 全体の約31%を占めていたが,  $c_n/a$  は  $\tan \alpha$  が  $1.25 \sim 1.50$  の斜面に最大であって, その数は約180個/ $\text{km}^2$ であった。このように傾斜角別崩壊数の分布が河川によって相異なるのは何に原因するかを調べることは今後の重要な課題であろう。

### 9. 崩壊数の確率分布

いま, 特定の傾斜角を有する斜面を1個所当りの平均崩壊面積に等しい大きさに区分したとする。このように区分された個々の部分斜面が崩壊するという事象を  $X=1$ , 崩壊しないという事象を  $X=0$  で表わすことにする。そうすると, 傾斜角が  $S$  で,  $n$  個の部分斜面から構成されている面積  $a$  の単位斜面上に  $k$  個の崩壊地が発生するということは,  $X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n$  という確率変数が実現値  $k$  を取るということである。ゆえに一つの部分斜面が崩壊する確率を  $p$  とすれば, 面積  $a$  の単位斜面上に  $k$  個の崩壊が発生する確率は

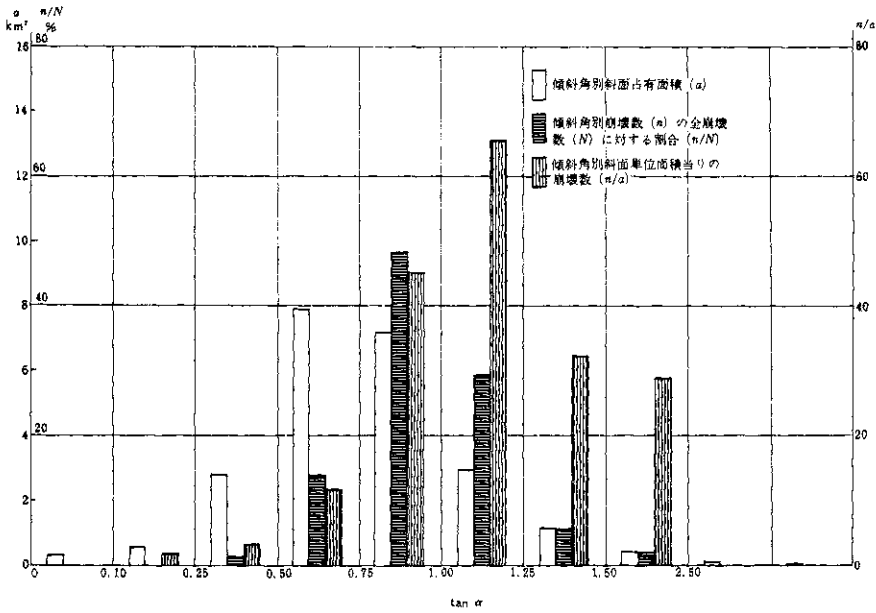


図-7 傾斜角別斜面面積および崩壊数

二項分布  $b(k; n, p)$  で与えられるはずである。  
 図-8 は白谷と能郷谷のオ2オーダー流域について測定した斜面傾斜角別崩壊数の確率分布を示

したもので、図の横軸は2ha 当りの崩壊数  $k$ 、縦軸は2ha当りの崩壊数がそれぞれ 0, 1, 2, 3, ……  $k$  であるオ2オーダー流域数の全流域数

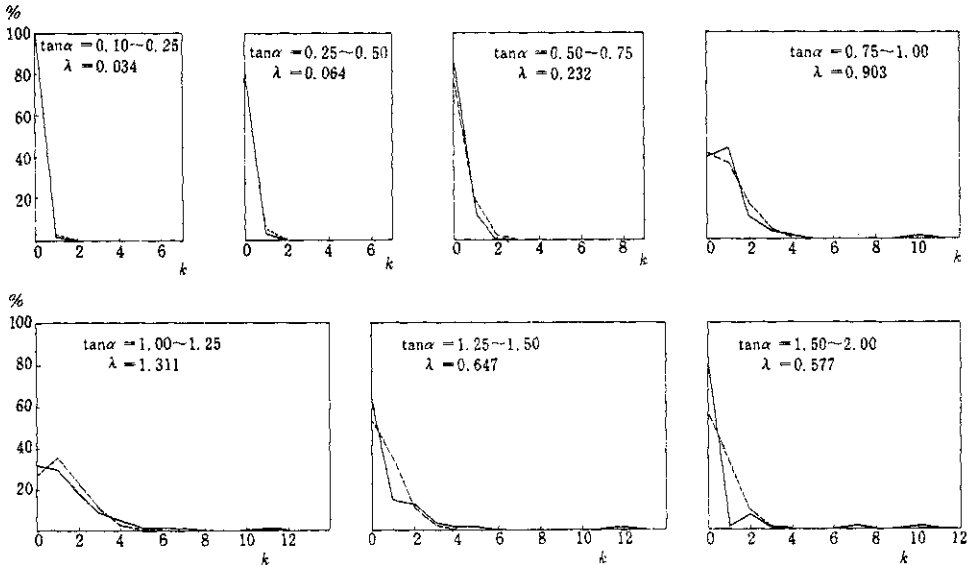


図-8 崩壊数 ( $k$ , 2ha 当たり) の確率分布

に対する割合(%)であって、実測による崩壊数の分布を実線で表わしてある。

$p$  が比較的小さく、 $n$  が比較的大きい場合には二項分布はポアソン分布

$$p(k, \lambda) = e^{-\lambda} \lambda^k / k!$$

で近似することができる。この地域では崩壊の平均面積は約3,000 m<sup>2</sup> であるから、2haの大きさの単位斜面を3,000 m<sup>2</sup> の部分斜面に区分するとすれば、これは6.6個の部分斜面から構成されていることになる。この $n=6.6$ は決して大きい値ではないが、面倒な二項分布の計算をきけてポアソン分布として理論値を求めた結果が図-8の点線である。

図で、 $\tan \alpha = 1.0 \sim 1.25$  よりゆるやかな傾斜角の5階級では実測値と理論値は比較的良く合っているのに対して、 $\tan \alpha = 1.25 \sim 1.50$  より急な斜面では分布の形があまり似ていない。このような理論値と実測値との関係は天竜川流域における調査結果<sup>5)</sup>と全く同じであって、結局、 $\tan \alpha = 1.25$  よりゆるやかな斜面では崩壊数の確率分布はポアソン分布をなすということはかなり確実なようである。

### む す び

福井、岐阜県下の山地崩壊発生状況をオ2オーダー流域を基準として調査した結果、

- 1) この地域の崩壊を全体的に見れば、天竜川と富士川との中間的な性格を持っているということができる。
- 2) また、崩壊の発生を支配する因子は天竜川流域のそれとほぼ同様である。この2地域の調査結果のみから、地域差の著しい山地崩壊現象についての一般的な傾向を言うことは危険であるが、それに向かって一歩近づいたことはたしかである。
- 3) 理論的には、崩壊数の確率分布はポアソン分布をなすはずであり、実測値を整理した結果も傾斜角の階級ごとにポアソン分布にした

がっている。このことは、山地崩壊現象の取りあつかいに確率的な考え方が用いられることを示すものである。

この研究に用いた資料のうち、空中写真の図化、ならびに崩壊地の測定に関する諸作業は特別研究促進調整費によったが、これだけでは金額的にも時間的にも不十分なので、流域特性の測定ならびに解析、計算などは土木研究所費によった。また研究の全般を通じて砂防研究室の川島絃技官の努力によるところが多かったことを付記する。

### 参 考 文 献

- 1) Schumm, S.A. (1956): Evolution of drainage systems and slopes in Badland at Perth Amboy, New Jersey. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **67**.
- 2) 村野義郎 (1965): 豪雨型山くずれの研究 (天竜川上流流域について). 新砂防, №56.
- 3) 福井県防災気象連絡会: 福井県気象月報. 昭.40.9.
- 3) 岐阜地方気象台: 昭和40年9月14~15日の前線による岐阜県西濃山間部の集中豪雨に関する異常気象速報. 昭.40.9.
- 4) 村野義郎 (1966): 崩壊地調査データの分類, 集計, 分散分析のプログラム. 新砂防, №63.
- 5) 村野義郎: 豪雨型山くずれの研究 (II). 新砂防 (投稿中).
- 6) 谷津栄寿 (1950): 秩父山地の起伏量について. 田中啓爾先生記念大塚地理学会論文集. 昭.25.
- 6) 三野与吉 (1936): 福島県小野新町付近における谷長と起伏量との関係. 地理学, **4**, №7.
- 7) Strahler, A.N. (1956): Quantitative slope analysis. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **67**.