

姫川水系浦川における土石流発生と降雨の関係 —多変量解析による検討—

仲 川 隆 夫*

Multivariate analysis of rainfall and occurrence of debris flow in the Ura River,
a tributary of the Hime River, Nagano Prefecture

by

Takao NAKAGAWA

(Abstract)

From July to October in 1983, twenty-one debris flows were recorded in the Ura River. The author used multivariate analyses in order to examine the relationships between the rainfall and the occurrence of debris flows. The results suggest that the occurrence of debris flow in this area was related to not only the rainfall but also other factors such as ground water.

I は じ め に

長野県姫川支流の浦川は、土石流頻発渓流として知られ、新潟大学積雪地域災害研究センターでも同地で、土石流の観測・調査をおこなっている。1983年の観測期間は土石流が多発し、7月中旬から10月中旬までの約3ヶ月間に、浦川の支流金山沢において、降雨時に21例の土石流の発生が記録された（新潟大学積雪地域災害研究センター、1984）。

浦川に地域を限定して、土石流の発生する降雨と発生しない降雨について両群を区分し、可能ならば、土石流警戒基準雨量の設定（今回は、観測者が観測体制にはいることを目的とする）をおこなう事を目標に、降雨データ（新潟大学積雪地域災害研究センター、1984）を調べた。

これまでにも、土石流発生と降雨量との関係の検討は、降雨量一時間曲線をもとにしたもの（池谷、1974）やタンクモデルを使ったもの（鈴木ほか、1979）等多数試みられ、土石流警戒・避難の基準雨量も設定されている（たとえば瀬尾・万膳、1985）。

これらの研究は、台風や前線性の集中豪雨によって発生した土石流を対象としており、降雨時間・雨量とともに浦川における発生例に比べて大きく（後述）、両者の土石流発生例を直接比較することは困難と考えられる。

本論では、多変量解析を用い、土石流発生と降雨量との関係を検討した。その結果を次に報告する。

* 新潟大学積雪地域災害研究センター研究生

II 資 料 と 方 法

1983年7月19日から10月15日までの期間に、発生が確認された土石流は21例である。これらの土石流から、数時間の間隔をおき、引続いて発生した例を除いた土石流発生時の降雨19例を土石流発生群とした。一方、1時間雨量4mm/hourで土石流が発生した例（9月12日の例）があるので、同じ期間の降雨のなかで、1時間雨量が3.5mm/hour以上あり、土石流の発生が確認されなかった降雨12例を土石流非発生群とした（表-1）。

一つの降雨の単位となる「一連の降雨」としては、前後24時間以上の無降雨（雨量0mmを含む）期間があるひとまとまりの降雨が用いられている（瀬尾・万膳、1985）。

浦川の場合、他の地域と比較すると、少降雨量・短降雨時間で土石流が発生し（後述）、しかも、数時間～数日の間隔をおいて発生する例が多い。これらの例を解析するために、本論では、ひとまとまりの降雨の前後の無降雨期間を3時間以上とした。

10分間雨量、20分間雨量、先行雨量、連続雨量、降雨時間、1時間雨量は、土石流発生群の降雨の場合は土石流発生時までの値を、非発生群の降雨の場合は、降り終りを土石流発生時と仮定し、その時間までの値を求めた。

表-1 1983年7月～10月の浦川における降雨データ
(新潟大学積雪地域災害研究センター、1984)。

Table 1 Rainfall data from the Ura River Area from July to October in 1983.

	月・日 (Date)	10分間雨量 (mm/10min)	20分間雨量 (mm/20min)	先行雨量 (mm)	連続雨量 (mm)	降雨時間 (hour)	1時間雨量 (mm/hour)
土 石 流 発 生 群	7. 20	3. 5	6. 5	36. 35	38. 0	5. 50	14. 0
	7. 21	4. 0	7. 5	50. 70	159. 5	21. 35	17. 0
	7. 24	7. 5	11. 0	32. 40	69. 5	14. 40	19. 0
	7. 25	3. 0	6. 0	22. 05	77. 0	16. 33	14. 0
	7. 27	5. 5	6. 0	22. 80	18. 5	2. 83	12. 5
	7. 30	5. 5	8. 5	12. 50	12. 0	0. 83	12. 5
	8. 1	5. 0	10. 0	41. 85	48. 5	7. 17	19. 0
	8. 9	13. 0	15. 5	34. 25	15. 5	0. 33	32. 0
	8. 10	4. 0	7. 0	9. 35	9. 5	1. 50	8. 0
	8. 11	2. 0	3. 0	7. 60	8. 5	3. 83	4. 5
	8. 17	3. 0	5. 0	20. 35	18. 0	7. 83	11. 0
	8. 22	3. 0	5. 5	14. 80	15. 0	6. 83	7. 5
	9. 5	6. 0	10. 0	17. 50	17. 5	1. 00	17. 5
	9. 8	11. 5	16. 0	18. 55	20. 0	4. 17	16. 0
	9. 12	0. 5	1. 0	10. 20	24. 5	13. 17	4. 0
	9. 21	1. 5	3. 5	27. 10	20. 0	3. 50	13. 5
	9. 25	3. 5	3. 5	5. 00	5. 0	0. 50	5. 0
	9. 28	2. 5	4. 5	31. 95	100. 0	25. 17	8. 0
	10. 3	6. 0	6. 0	6. 00	6. 0	0. 10	6. 0
非 発 生 群	7. 22	5. 0	9. 5	32. 40	69. 5	14. 67	17. 0
	7. 24	3. 0	4. 5	8. 75	9. 0	2. 50	7. 0
	8. 8	2. 0	3. 5	3. 50	3. 5	0. 33	3. 5
	8. 12	3. 0	5. 0	6. 00	6. 5	1. 50	6. 0
	8. 17	3. 5	4. 0	14. 50	36. 0	19. 00	5. 0
	8. 21	2. 5	3. 5	5. 50	8. 5	3. 17	5. 5
	8. 25	1. 5	3. 0	10. 80	12. 5	3. 17	7. 5
	9. 7	4. 0	5. 0	5. 00	8. 0	2. 83	5. 0
	9. 15	1. 5	3. 0	7. 30	11. 0	8. 33	5. 5
	9. 24	1. 0	2. 0	19. 25	48. 5	24. 00	5. 0
	10. 5	1. 5	2. 5	12. 55	27. 5	15. 17	4. 0
	10. 9	1. 0	1. 5	13. 15	47. 5	26. 00	3. 5

先行雨量 S_R は、係数に具体的な根拠はないが、 i 時間前の時間雨量 P_i に係数 $(10 - i) / 10$ を乗じて積算した値で、単なる累積値をとらず、一種の重みつき先行雨量とし、

$$S_R = \sum_{i=1}^{10} P_i (10 - i) / 10$$

で表わした。これは、土石流の発生には、発生直前の降雨のみならず、それ以前の降雨も関与しているという考えに基づき、土石流の発生をもたらした一連の降雨とそれ以前の降雨を対象に、1時間毎に、一定規則（重み）に従って減少した時間雨量の積算値である。

ここで扱った降雨量は、金山沢の上流右岸に設置されている雨量計（日巻記録紙を使用）の記録で、土石流の発生時間は、金山沢の渓床に張られたワイヤーセンサーの切断時間もしくは、肉眼観察（ビデオカメラ、コマ撮り8mmカメラ）によって記録された時間である。これらの土石流発生群と非発生群の降雨データ（新潟大学積雪地域災害研究センター、1984）を表-1に掲げた。

これらの降雨データに、クラスター分析、主成分分析、ベクトル棄却検定を適用して検討をおこなった。なお、計算・図化には、パーソナル・コンピューターを使用した。

III 結 果 と 考 察

1. 全国の土石流発生例との比較

多変量解析をおこなう前に、浦川における土石流発生例と全国の発生例の降雨データを比較する。表-2に、全国22府県の1971年～1975年（主に1972年）の土石流発生時の降雨データ（発生までの時間と連続雨量）を掲げた（渡辺ほか、1979）。

浦川の場合には（表-1参照）、はるかに短時間の降雨、小雨量で土石流が発生する例がある。

図-1は、1971年・1972年の土砂害（主に土石流）発生時の10分間雨量と1時間雨量の関係を示す図（瀬尾・船崎、1974）に、浦川の例（表-1の土石流発生群）を加筆した。10分間雨量と1時間雨量についても、浦川の場合は、低い値で土石流が発生することがわかる。

表-2 土石流発生までの時間と連続雨量
(渡辺ほか、1979)

Table 2 Continuous rainfall and time until occurrence of debris flow (after WATANABE *et al.*, 1979).

地 区	発生までの時間	発生までの連続雨量
北海道・東北	3 時間	110 mm
東海・中部	6	110
瀬 戸 内	6	70
山 隆	4	110
四 国	20	130
九 州	7	75

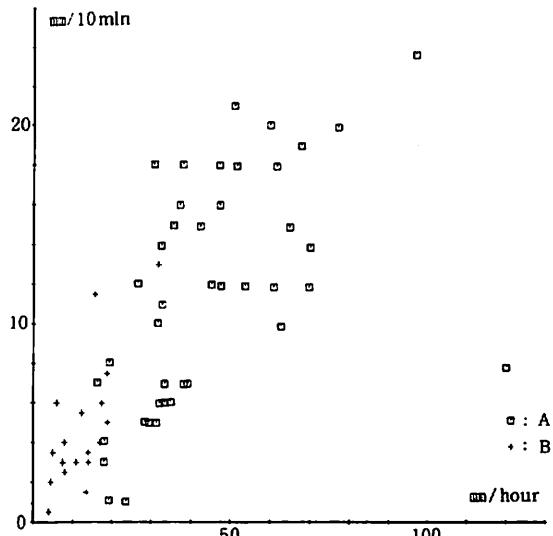


図-1 土砂害（主に土石流）発生時の10分間雨量と1時間雨量の関係 瀬尾・船崎（1974）に1983年の浦川の土石流発生例（表-1）を加筆。A：全国、B：浦川

Fig. 1 Scatter diagram showing the relationships between the 10-minute and the hourly rainfall at the time of the occurrence of debris flow.

A : Except the Ura River Area (after SENOO & FUNAZAKI, 1974),
B : Ura River Area in 1983.

2. 多変量解析の結果

A. クラスター分析

クラスター分析は、多変量のデータから算定したサンプル間の類縁関係に基づき、これらを分類するものである。非類似度の算定方法や分類作業の手順には、多くの手法がある。ここでは土石流発生群と非発生群の個々の降雨について類縁関係を調べるためにマハラノビスの距離を求め、群平均法でデンドログラム（樹状図）を作成した（図-2）。

図-2から、土石流非発生群の降雨は、比較的まとまったクラスターに分類される。しかし、土石流非発生群と発生群のクラスターが、かなり低い非類似度で隔離しており、発生群の降雨と非発生群の降雨が明瞭に二群に分類されるとは言えない。

B. 主成分分析

土石流発生群と非発生群の降雨の相互関係を調べるために主成分分析をおこなった。結果を図-3に示す。第2主成分までの累積寄与率は、88.9%である。土石流発生群の降雨については、危険率5%の

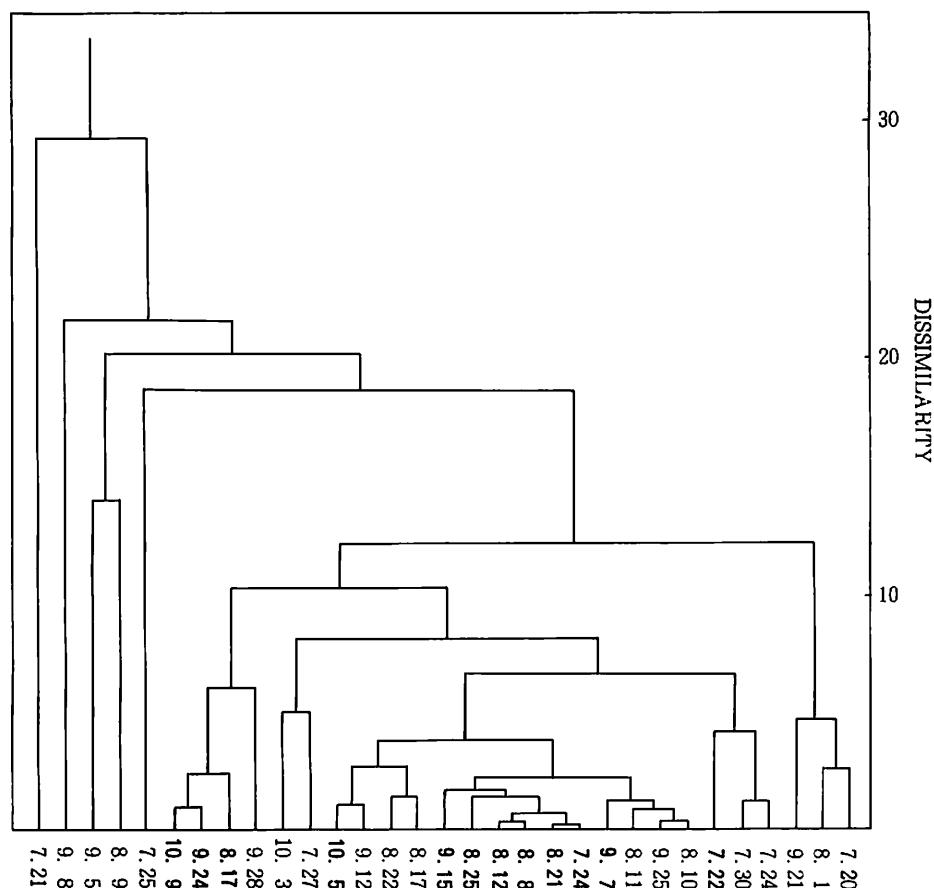


図-2 クラスター分析の結果 デンドログラムを示す。太字は土石流非発生群の降雨を表わす。

Fig. 2 Results of the cluster analysis. (Boldface indicates the non-occurrence group of debris flow.)

表-3 ベクトル棄却検定の結果 土石流非発生群の降雨について、算出されたF値と対応する発生群からなる母集団に含まれる確率を示す。*は、無降雨でかつ先行雨量が0 mmの場合を表す（本文参照）。

Table 3 Results of the test for rejection of vectors.

Specimen(x)	Observed F	Probability($x \in S$)
7.22	0.492	0.803
7.24	0.228	0.960
8.8	0.653	0.687
8.12	0.467	0.820
8.17	2.014	0.136
8.21	0.284	0.929
8.25	0.370	0.885
9.7	0.281	0.930
9.15	0.370	0.885
9.24	2.439	0.083
10.5	0.914	0.515
10.9	3.074	0.042
*	0.854	0.552

Population (S) : Occurrence group of debris flow ($n=19$)

棄却楕円を図示した。土石流非発生群の降雨（図-3のA）は、いずれも、発生群の棄却楕円内に位置し、非発生群は発生群から棄却（危険率5%）できないことを示している。

C. ベクトル棄却検定

ベクトル棄却検定（増山, 1943）をおこない、
F値を求め、土石流非発生群の個々の降雨が発生群からなる母集団から棄却できるかどうかを調べた。
結果を表-3に示す。

土石流非発生群の降雨が発生群に含まれる確率は、0.042となる10月9日の例を除いて、他は0.05より高い（表-3）。したがって、危険率を1%とすれば、土石流非発生群の降雨はすべて発生群から棄却することはできない。

また、無降雨でかつ先行雨量が0 mmの場合を計算すると、土石流発生群から棄却（危険率5%）できず（表-3）、数値上では、無降雨で土石流が発生してもよいことになる。

3. 考 察

今回、扱った降雨データの範囲内では、土石流発生群と非発生群の降雨を分離することはできなかった。

金山沢では、無降雨時に土石流が発生し（新潟大学積雪地域災害研究センター, 1981），しかも、数値的には、無降雨で土石流が発生しうること（前述）から、本地域における土石流発生には、降雨は重要な要因の一つであるが、他にも重要な要因があると考えられる。

すでに、山口ほか（1978）は、金山沢における降雨量・ハイドログラフの解析、伸縮計・自然電位測

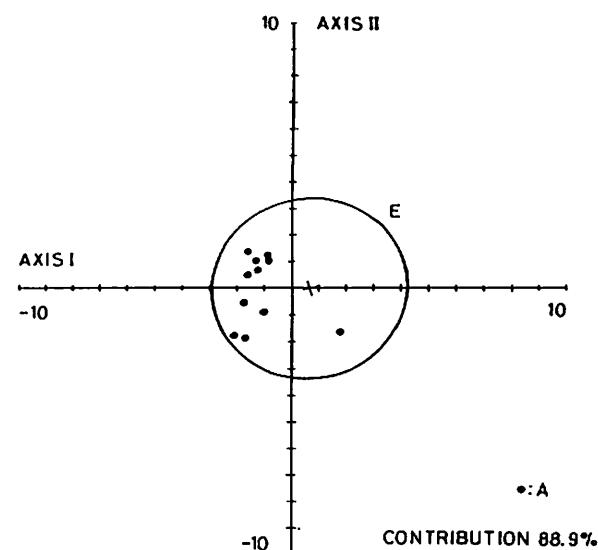


図-3 主成分分析の結果 第1主成分（AXIS I）と第2主成分（AXIS II）を表す。土石流非発生群の降雨は、土石流発生群の棄却楕円（危険率5%）内に位置することを示す。
A：土石流非発生群の降雨、E：土石流発生群の棄却楕円（危険率5%）

Fig. 3 Two-dimensional demonstration of the results obtained from the principle component analysis.-1 A, Non-occurrence group of debris flow ; B, Rejection ellipse (5 %) of occurrence group of debris flow.

定器による観測結果をもとに、土石流の発生には、降雨量よりも発生源の粘土化や粘土の力学的性質等の降雨以外の気象的、環境的現象が作用していることを述べている。

また、土石流発生時および発生直前の金山沢の沢水の化学組成・電気伝導度の変化から、土石流発生時に多量の地下水の湧出があることが指摘されている（新潟大学積雪地域災害研究センター、1984）。

これらのことから、金山沢に地域を限定すれば、土石流の発生には降雨に加えて、地下水の挙動等、他の要因が関与していると考えられる。

IV 今後の課題

以上の結果では、土石流発生群と非発生群の降雨の分離ができず、当初の目的である本地域の土石流警戒基準雨量の設定は困難と考えられる。降雨データの蓄積を進め、改めて検討したい。

また、極めて短時間の降雨で、土石流が発生すること（例えば10月3日の例）がある。土石流の発生要因（前述）を検討するためには、少なくとも土石流の発生と雨の降り始めの前後関係を明確にする必要がある。

現在の観測システムでは、日巻記録紙を用いる雨量計を使用し、さらに個々の観測機器が時計を内蔵しているために、土石流発生（センサーの切断もしくは肉眼観察による）の時間と降雨データの時間を分・秒の単位で一致させ、解析・検討することは困難である。この目的のためには、同一の時計を用い、各観測データを記録する新たなシステムが必要である。

本稿をまとめるにあたり、御指導頂いている青木滋教授にお礼申し上げる。

文 献

- 池谷 浩（1974）：降雨強度比による土砂害からの避難基準に関する一私案。新砂防，94，7-11。
- 増山元三郎（1943）：ベクトルの棄却検定法とその医学的応用。医学と生物学，3，291-293。
- 新潟大学積雪地域災害研究センター（1981）：昭和55年度浦川土石流調査報告。焼岳・浦川における土石流調査関係資料集VI，建設省北陸地方建設局松本砂防工事事務所技術資料，14，91-150。
- （1984）：昭和58年度浦川土石流調査報告。焼岳・浦川における土石流調査関係資料集IX，同上，17，93-162。
- 瀬尾克美・船崎昌継（1974）：土砂害（主に土石流的被害）と降雨量について。新砂防，89，22-28。
- ・万膳英彦（1985）：土石流警戒・避難基準雨量設定手法。土木技術資料，27，247-252。
- 鈴木雅一・福島義宏・武居有恒・小橋澄治（1979）：土砂災害発生の危険雨量。新砂防，110，1-7。
- 渡辺 敏・徳山久仁夫・中山政一・二宮寿男・大八木俊治（1979）：土石流警戒避難基準雨量の一手法
—高知県仁淀川流域を対象として—。同上，110，22-30。
- 山口伊佐夫・西尾邦彦・鈴木勇二（1978）：土石流の発生機構に関する研究。同上，107，18-24。