

土木研究所資料第1281号

土石流発生危険渓流判定への多変量 解析の適用とその問題点

昭和52年9月

建設省土木研究所

はじめに

昭和 49 年度の小豆島における土石流災害を契機として土石流の発生とそれに関与するであろう多くの要因との関係を統計的に解析すべく数量化法Ⅱ類による解析を試みた。

また 50 年度からは建設省技術研究会指定課題「流域の危険度判定に関する研究」の一環として土石流発生危険溪流を判定することに数量化法Ⅱ類による解析によって作成する判別関数を利用することの可能性を重点的に追求してきた。この時期には同じ目的をもって建設省の他の機関によっても同様の試みがいくつか実施された。

今この試みも一段落したと言ってよい状況にあり、我々土木研究所をはじめとするいくつかの機関による何回かの試みによって判別関数を土石流の発生の解析に利用するうえでの特性や色々な問題点もかなり明らかになってきた。

ここに今までに実施された判別解析の成果をとりまとめ各要因と土石流発生との関係を検討するとともに判別関数を土石流危険溪流判定に利用するうえでの問題点、限界を検討した。この試みを進めるにあたり、地形図、空中写真の判読、計算作業の大部分について国際航業地質部の方々に実施していただいた。

また砂防研究室の皆様からは各々多大な御教示と御支援をいただいた。特に泉室長と池谷主任研究員には原稿を詳細に査読していただき多くの点で誤りを指摘していただくと共に有益な示唆をさずけていただいた。ここに記して感謝を表明します。

土木研究所砂防研究室

研究員 山 内 修

目 次

1. ま え が き	1
2. 判別解析の実施例	3
2.1 国鉄高山線沿線（鉄道技術研究所）	3
2.2 小豆島（土木研究所）	4
2.3 全国のデータによる判別解析（土木研究所）	9
2.4 仁淀川流域（四国地方建設局）	15
2.5 全国のデータによる判別解析（関東地方建設局）	21
3. 土石流の発生に係る要因	25
4. 降雨をとりいれた判別関数	27
4.1 和型判別関数	27
4.2 積和混合型判別関数	29
5. 判別関数の信頼性	31
5.1 適 中 率	31
5.2 台風17号に対する既往判別関数の適用	34
6. 判別関数利用上の限界と問題点	37
7. お わ り に	40
付録，判別解析について	41

1 ま え が き

一般の風水害による死者が防災施設の充実によって減少の傾向があるかのように見えるなかで、土石流による死者数は増加の傾向さえあるように思われる。土石流はその被害区域が狭いため、その総被害額は少さく評価されても壊滅的な被害をうけることが多く、被災地の状況は悲惨である。

土石流の発生や流下を防ぐため、谷止めや砂防ダムを築造し、渓床が侵食されて土石流となって流下するのを防いだり、砂防ダムによって谷中の拡大、渓床勾配の緩和を図って土石流のエネルギーを減殺するのが現在おこなわれている一般的な工法である。しかし、これらはいずれも多額の工費が必要であって、日本全国には土石流発生のおそれのある渓流が約 35,000 (昭和 47 年、建設省砂防課調べ) あり、短い期間に全ての渓流に防災工事を実施することはとても不可能である。また、可能であったとしても、全ての渓流に防災工事を実施することは、経済効果の点から考えても適当でない。

そこで予め、土石流発生の危険の高い渓流を何らかの方法で知り、渓流の立地条件によって防災工事をするなり、住宅、工場等土石流によって大きな被害をうけるような施設の設置をさけるなり、対策を決定する必要がある。

従来から技術者や研究者によって、土石流の発生・流下・停止に関する調査研究は精力的におこなわれており、近い将来、渓流を 1 つ 1 つ精査して土石流の発生を予知することが可能となるものと期待されている。しかし現状では、確立された方法はなく、しかも前述のように無数に存在する渓流に多くの手間を要するような調査を実施することは困難である。

全国の渓流の土石流発生の危険を判定することにより、それに対処する方策を決めるに参考とするための調査法は次のような条件を満たしていなければならない。

- ①多数の渓流を調査するのであるから、費用や手間のあまりかからない方法でなければならない。
- ②土石流発生渓流を 100 名の確率で予知することは不可能なのは当然であるが、対策を検討するためにはどの程度の適中率が期待できるかあらかじめわかっているなければならない。
- ③多数の渓流を同じ精度で調査する必要があるが、とうてい 1 人の技術者が実施することは不可能である。従って誰がやっても同じ判定結果の方法でなければならない。

以上のような条件を満たす可能性のある方法として、土木研究所砂防研究室では建設省技術研究会指定課題「流域の危険度判定に関する研究」の一環として多変量解析の 1 種である数量化法Ⅱ類の適用を試み、土石流発生危険渓流の判定法として利用できるかどうかを検討した。数量化法Ⅱ類と呼ばれるのは 1 種の回帰分析である。重回帰分析が数量で表わされる説明変数と数量である被説明変数との関係を表現する回帰式を得るのに対して、数量化Ⅱ類による解析によって得られる判別関数と呼ばれる 1 種の回帰式では、説明変数、被説明変数ともに質もしくは区分を取り扱っている。ここでは、この判別関数によって土石流発生危険渓流の判別に利用できるかどうかを検討しようとするのであるから、判別関数を求める作業を判別解析と呼ぶことにする。

たまたま、この調査の実施期間中に四国地方の小豆島や仁淀川流域において土石流災害が連続して

発生した。そのため、これらの場所において得たデータによって、上に述べたような統計的手法によって土石流発生の危険のある渓流を判別することができるのかどうか、また判別のための要因のあつかい方をどうすればよいか、など多くの疑問を実際の災害データを解析してみることにより、かなり明らかにすることができた。

結論を簡単にいえば、土石流の発生機構をほとんど無視した方法であることなどから、当初から想像のつくことではあるが、個々の渓流の判定は、とんでもない結果となる場合があり、また、この手法を改良することによって判定精度の向上を図ることもかなり困難であることも、あらためて確認された。

以下にいくつかの解析例を紹介し、またこの手法を土石流災害防止を目的として適用しようとする場合に生ずるであろう種々の問題点について検討した結果について述べる。

2 判別解析の実施例

今までに実施された判別解析の結果をいくつか紹介する。

2.1 国鉄高山線沿線*)

鉄道技術研究所の小橋らによって、昭和43年8月17日に台風7号による災害のあった飛騨川沿いの国鉄高山線(上麻生～飛騨高山間)に影響をあたえる渓流について調査を実施し、判別解析がおこなわれた。

当初、判別解析のために選ばれた18の要因と水準区分の方法を表1に示す。

表-1 渓流関係の要因・水準一覧表

要 因		水 準					
水 系 模 様	1) 直流	2) 直流樹枝	3) 曲流				
渓 流 の 向 き	1) N	2) E	3) S	4) W			
谷 型	1) U型	2) V型	3) 平型				
" 縦 断	1) 	2) 	3) 				
流 域 傾 斜	1) 25°>	2) 25°~30°	3) 35°<				
水 系 頻 度	1) 1本	2) 2本	3) 3本				
流 域 面 積	1) 2ha>	2) 2~4ha	3) 4~8ha	4) 4本	5) 5本<		
地 表 水 の 有 無	1) 有	2) 無		4) 8ha<			
起 伏	1) 0~200m	2) 200~300m	3) 300m<				
地 質	1) 古生層	2) 濃飛流紋岩	3) 1)+2)				
線 状 模 様	1) 0本	2) 1本	3) 2本	4) 3本	5) 4本	6) 5本<	
断 層	1) 0本	2) 1本<					
表 層	1) 厚い	2) 薄い	3) 露岩				
明瞭な二次堆積物	1) 有	2) 無					
斜 面 幅	1) 0~50m	2) 50~100m	3) 100~200m	4) 200m<			
植 生	1) 伐採跡のあるもの	2) 幼令林、草生地を50%以上含むもの		3) 50%以下の幼令林、草生地を含むか50%以上の粗林地を含むもの		4) 老壮令林	
渓床の入口の状況	1) 不明瞭、草生地	2) 明瞭、岩盤なし	3) 明瞭岩盤あり	4) 堆砂あり	5) 扇状		
流 路 の 状 態	1) 全体にゴツゴツ	2) 中~下流植生あり	3) 堆砂なし	4) 3)+中~下流植生繁茂	5) 全体に滑らかで植生繁茂		

これらの要因は渓流毎に航空写真(1万分の1、パンクロマチック)から肉眼あるいは反射実体鏡によって判読され、渓流の流域面積、起伏量等の地形要因の計測は中部地建作成の5千分の1地形図によった。航空写真だけでは判読しがたい地質、表層の状態、地表水の有無までについては現地調査がなされた。

これらの要因に対する X^2 検定および相関による除却検定の結果、表-2の18要因中、表3の11要因が残され、これらによって数量化法Ⅱ類の計算がなされた。

*) 小橋澄治他：航空写真による斜面の安全度解析(1)

— 高山線での実施例 — 新砂防 Vol.1.25, No.1, 昭和47年

計算の結果得られた要因・水準毎の得点は表-2のとおりである。

表-2 溪流関係採点スコア

要 因	水 準 別 ス コ ア						Range
	1	2	3	4	5	6	
溪流の向き	-0.180797	0.269975	-0.252863	0.173743			0.522838
横断	-0.208505	0.161759	-0.089837				0.370264
縦断	0.069060	-0.034617	-0.271242				0.340302
水系頻度	-0.427228	0.233206	0.279522	0.372154	0.742684		1.169912
流域面積	-0.024044	-0.031286	0.028922	0.053215			0.084501
地表水の有無	-0.035790	0.030018					0.065808
起伏量	-0.116189	0.036388	0.103572				0.219761
線状模様	-0.107158	-0.074047	-0.000500	0.039449	0.039449	0.198634	0.305792
植生	0.711175	0.493469	0.194120	-0.492149			1.203324
渓床の出口の状態	-0.430912	-0.282385	0.001309	0.007837	-0.088717		0.438749
流域の状況	0.196546	-0.109726	0.149299	-0.115333	-0.239244		0.43579

境界値 0.130

表-3 判定結果

(溪流)

	判別得点	溪流	荒廃溪流	発生率
危険得点	1.0以上	36	33	92%
	0.0~1.0	33	18	55
安全得点	-1.0~-0.0	58	12	21
	-2.0~-1.0	39	2	5
	-2.0未満	5	0	0
計		171	65	38%

こうして得られた判別関数によって、判別解析のサンプル溪流の危険・安全を判定し、判定と実況とを比べてみると表-3の如くなる。

重回帰分析では回帰式の適合性を重相関係数によって検討する。ここでは、判別関数の適合性をチェックするために、サンプル溪流のうちで判定の適中した溪流の割合、(以下、

平均適中率と呼ぶ)、荒廃した溪流のうち危険と判定された溪流の割合(以下、荒廃溪流適中率という)、安全と判定されて荒廃した溪流の場合(以下、安全溪流錯誤率という)を算出してみると、

$$\text{平均適中率} = \{33 + 18 + (58 - 12) + (39 - 2) + (5 - 0)\} / 171 = 0.812$$

$$\text{荒廃溪流適中率} = (33 + 18) / 65 = 0.784$$

$$\text{安全溪流錯誤率} = (12 + 2 + 0) / (58 + 39 + 5) = 0.137$$

となる。

2.2 小豆島*)

昭和49年7月6日から7日にかけて、台風8号によってもたらされた降雨は香川県小豆島内海町において図-1に示すように2日雨量で200mmを越え、内海町内各地で土石流が頻発した。

*) 土木研究所：土石災害の実態および要因に関する調査報告書 昭和50年

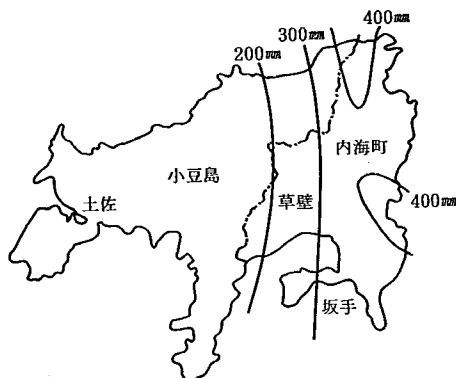


図-1 内海町位置図・等雨量線図(2日雨量)

土木研究所砂防研究室では、内海町内の溪流を調査し判別解析をおこなった。この調査では、判別のための要因は地形図および空中写真から得られる情報のみとした。それは判別関数によって多数の溪流の安全・危険を判定する場合、判別に必要な情報を得るのに費用や手間を要するようでは実行が困難と考えたのである。

判別解析の対象とする流域単元は、1/10,000地形図による1次谷流域とした。

要因判読のためには、1/2,500および1/10,000地形図と災害前の空中写真(昭和48年10月撮影、1/12,500)を用いた。

解析のサンプルとした溪流における土石流の発生・非発生の区分は、現地調査および災害後の空中写真の判読によった。土石流堆積物と思われる著しい堆積があったり、上流部で著しい浸食のみられる溪流を土石流発生溪流として区分した。水理計算等によって、厳密に掃流による土砂流出と区別したわけではない。

表-4 判別の結果 (単位: 溪流)

実況\判定	危険	安全	計
発生	50	8	58
非発生	8	137	145
計	58	145	203

平均適中率 92% 発生溪流適中率 86%
安全溪流錯誤率 6%

はじめに考えた要因と水準区分の方法は表-5のとおりである。

これらのうち、いくつかの要因は χ^2 検定によって除かれた。残った要因および計算の結果得た判別得点は

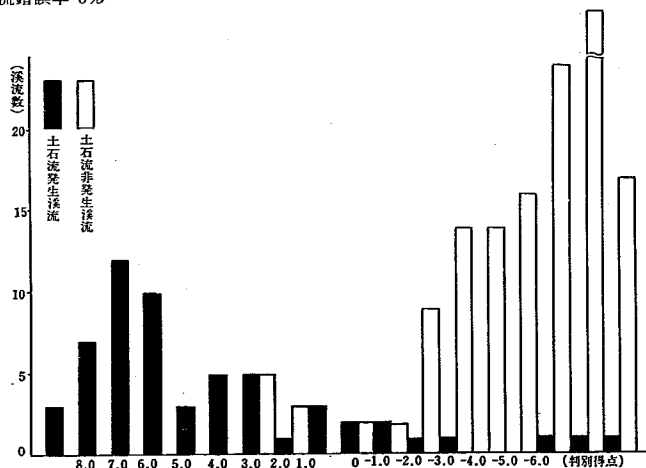


図-2 判別得点頻度分布図

表-5に示すとおりである。

この判別関数によって、流域の土石流発生危険性を判定した結果を表-4に、流域の判別得点の頻度分布を図-2に示す。

表-5 要因および水準区分一覧表

要 因	水 準 区 分	判読上の 表 現
(1) 水系模様	1/12,500 空中写真判読により2水準に区分 ◦ 直流型……直線的な河道が単一もしくは複合して発達する。 	1
	◦ 曲流型……屈曲した河道が単一もしくは複合して発達する。 	2
(2) 横断型	渓流の出口付近で溪床の横断をとり3水準に区分 ◦ U型……溪床が比較的広く側壁河道が比較的明瞭 	1
	◦ V型……溪床が狭く側壁河道が明瞭 	2
	◦ 平型……ゆるやかにわん曲し河道は、やや不明瞭 	3
(3) 縦断型	傾斜変換点の多少により3水準に区分 ◦ 著しい傾斜変換点がない。 	1
	◦ 傾斜変換点が1ヶ所みられる。 	2
	◦ 傾斜変換点が2ヶ所以上みられる。	
(4) 平均傾斜	一次水系の河床の起伏量を河道長さで除した $\tan \theta$ の θ の値を平均傾斜とし、3水準に区分 ◦ 10° 以下 ◦ $11^\circ \sim 15^\circ$ 以下 ◦ 16° 以上	1
		2
		3
(5) 単位河道長さあたりの集水面積	集水面積を一次水系の河道長さで除した値を使用し、2水準に区分 ◦ 5.0 ha/100 m 以下 ◦ 5.1 ha/100 m 以上	1
		2

要 因	水 準 区 分	判読上の 表 現
(6) 流 域 面 積	3 水準に区分 ◦ 15 ha以下 ◦ 16 ~ 30 ha以下 ◦ 31 ha以上	1 2 3
(7) 線 状 構 造	流域内に含まれる線状構造の本数を面積で除した値を使用し 3 水準に区分 ◦ 0.16 本/ha以下 ◦ 0.17 本/ha ~ 0.36 本/ha以下 ◦ 0.37 本/ha以上	1 2 3
(8) 表 層	流域内全体の二次堆積物分布状況を 3 水準に区分 ◦ 風化層あるいは腐植層からなり層厚 1 m 内外の様な厚さを示し、一部に露岩地を含む。 ◦ 河道付近に二次堆積物が集中する。 ◦ 局部的に二次堆積物が厚く分布する。	1 2 3
(9) 溪床堆積物	溪床の堆砂状況を 3 水準に区分 ◦ 溪床に砂礫の堆積がほとんどない。 ◦ 溪床の一部に砂礫の堆積が著しい。 ◦ 全域にわたって砂礫の堆積が著しい。	1 2 3
(10) 流域の状態	露岩地、小起伏、河道の明瞭さ考慮し 4 水準に区分 ◦ 流域内は、小起伏に富み露岩あるいはそれに近い状態の地域を含む。且つ河道明瞭。 ◦ 河道がやや不明瞭なこと以外は上記と同じ。 ◦ 流域内は全体に平滑、河道明瞭。 ◦ 流域内は全体に平滑、河道不明瞭。	1 2 3 4
(11) 崩 壊	流域内の崩壊 1 個以上あるかどうかで 2 水準に区分 ◦ 崩壊あり。 ◦ 崩壊なし。	1 2
(12) 植 生	河道付近と流域内全体を見て 4 水準に区分 ◦ 河道付近に植生乏しく、伐採跡地・幼令林地が50%以上を占める。 ◦ 河道付近に植生繁茂し、伐採跡地・幼令林地が50%以上を占める。 ◦ 河道付近に植生繁茂し、伐採跡地・幼令林地が50%以下。 ◦ 河道付近に植生乏しく、伐採跡地・幼令林地が50%以下。	1 2 3 4

要 因	水 準 区 分	判読上の 表 現
03 河 床 勾 配	一次水系の最大河床勾配を10m コンターを基準にして計測し、3水準に区分 ◦ 15°以下 ◦ 16°～30°以下 ◦ 31°以上	1 2 3
04 地 質	3水準に区分 ◦ 第三紀層 ◦ 広島型花崗岩 ◦ 領家花崗岩類	1 2 3
05 流域の最大 傾斜	2水準に区分 ◦ 25°以下 ◦ 26°以上	1 2

表-6 水準別判別得点と Range

要 因 \ 水準区分	1	2	3	4	Range
水 系 模 様	0.84707	-0.72761			1.57468
横 断 型	-0.45909	0.90813	-0.09946		1.36722
縦 断 型	-0.51286	0.00600	0.61883		1.13169
平 均 傾 斜	-0.31068	0.33551	-0.23607		0.64619
単位河道長さあ たりの集水面積	0.18962	-0.25564			0.44526
表 層	-3.98291	5.07555	-0.02427		9.05846
溪 床 堆 積 物	-0.15142	0.09854	0.22571		0.37713
流 域 の 状 態	0.20355	-0.14174	-0.00890	-0.19973	0.40328
崩 壊	-0.00767	0.00310			0.01077
植 生	0.99860	-0.53058	-1.52004	1.56658	3.08662
地 質	-0.31093	0.11198	0.02084		0.42291

境界値 - 0.40594

適中率を云々するにはデータ数が少なすぎるが、平均適中率は表-4によって

$$(50+137) \div 203 = 0.921 \quad 92\%$$

また、実際に土石流が発生した溪流のうち何%が危険と判定されているかという意味で、発生溪流適中率は $50 \div 58 = 0.862$ 安全溪流錯誤率は $8 \div 145 = 0.055$ である。

これらの適中率や錯誤率が判定の目的を十分に達するものであるか否かは、判定結果の利用方法によって左右されるであろう。しかし、前述のように判別解析は1種の重回帰分析であり、ここでいう適中率は判別解析に用いたデータにあてはめて算出した結果であり、いわば適中率が高くなるように判別式をつくっているのであるから、ある程度高い適中率となつてあたりまえである。今後発生する別の土石流にこの判別関数あてはめてみなければ適中率を論ずる意味がないであろう。

また図-2の判別得点の頻度分布グラフをみると、最も安全と目される判別得点を得た溪流においても土石流は発生しており、判別関数によって個々の溪流の安全・危険を判断し、この溪流は安全と判定されているから豪雨時にも避難の必要はない、などと考えるのは適当でない。

2.3 全国のデータによる判別解析^{*})

前節で述べたように、判別関数は与えられたデータに合うように作成するのだから、別の災害の予知にどの程度利用できるかわからない。しかし、多量のデータによって判別解析をおこなつて、なおある程度高い適中率を得ることができれば、それは土石流の発生する溪流には一定の傾向があるということになって、この判別関数を他の災害にあてはめてもある程度の適中率を得ることが期待できる。

そこで、データの数を増すため、土研における既往の土石流調査の資料はもちろん、建設省砂防課に報告された災害報告の資料も用いて判別解析を実施した。しかし、これらのデータのうち約半分が昭和50年8月15日の台風によって高知県仁淀川流域に発生した土石流のデータになってしまい、一般的土石流発生溪流の特性から偏った判別関数を得る恐れがあると思ったので、仁淀川流域を除いたデータのみによつても判別解析をおこなつてみた。

また、判別関数は誰がやっても同じ結果となるようなものでなければならぬと考え、判別のための要因の判読方法はできるだけ客観的な方法になるように工夫した。このためかつて流域の状況を適確に表わせなくなったものもある。しかし、渓床堆積物の状況の判読の方法については、入手できた空中写真が小縮尺すぎて渓床の見えないものもあるという事情もあり、判読は技術者の直感に頼らざるを得なかった。

要因の判読に用いた空中写真も適当なものが得られないものもあり、判読の精度もマチマチである。また既往の調査や報告によつて土石流が発生したとされている溪流を何らの検討をも加えることなしに、無批判に土石流発生溪流サンプルとして取りあつかっているため、この中には厳密な意味では土石流でないものも含まれているであろう。

判定の対象とする流域単元は渓床勾配が5°となる地点から上流域を1つの流域として区分し、地形計測のための地形図は1/25,000のものを使用した。

判別のための要因として採用した要因と水準区分の方法を表-7に示す。

^{*}) 土木研究所：土石流災害の要因に関する調査報告書 昭和51年

表-7 要因および水準区分

要 因	仁淀川地区		日本全域(除, 仁淀川)		日本全域(含, 仁淀川)	
	表示	水準区分	表示	水準区分	表示	水準区分
1 流域面積 地形図より, デジタルプランイメータによりkm単位で計測した。	1	1.04 km ² 以下	1	0.24 km ² 以下	1	0.24 km ² 以下
	2	1.05~2.14 km ²	2	0.25~1.04 km ²	2	0.25~2.14 km ²
	3	2.15 km ² 以上	3	1.05 km ² 以上	3	2.15 km ² 以上
2 主流路長 地形図より, 流域の最高点~最低点までの流路の長さをキルビメータによりm単位で計測した。	1	1540 m 以下	1	940 m 以下	1	1,040 m 以下
	2	1550~2240 m	2	950~2140 m	2	1050~2140 m
	3	2250 m 以上	3	2150 m 以上	3	2150 m 以上
3 起伏量 地形図より流域の最高点と最低点の標高差を5m単位で計測した。	1	494 m 以下	1	574 m 以下	1	694 m 以下
	2	495~774 m	2	575 m 以上	2	695 m 以上
	3	775 m 以上				
4 流域形状係数(Horton) St 雨水の収れん形状として流域面積と主流路長の2つの要因を組合せて, 次式で求めた。 $St = \frac{L_2}{A} \quad \left\{ \begin{array}{l} A: \text{流域面積} \\ L: \text{主流路長} \end{array} \right.$	1	2.94 以下	1	6.74 以下	1	7.34 以下
	2	2.95 以上	2	6.75 以上	2	7.35 以上
5 流域平均起伏比(平均勾配) 流域の最高点と最低点の標高差(起伏量)を主流路長で除した値 $C = \frac{R}{L} \quad \left\{ \begin{array}{l} R: \text{起伏量} \\ L: \text{主流路長} \end{array} \right.$	1	0.25 以下	1	0.25 以下	1	0.30 以下
	2	0.26~0.45	2	0.26~0.40	2	0.31~0.50
	3	0.46 以上	3	0.41 以上	3	0.51 以上
6 屈曲比S 主流路長を流域最高点と最低点との直線距離で除した値。 $S = \frac{L}{\ell} \quad \left\{ \begin{array}{l} L: \text{主流路長} \\ \ell: \text{流域最高点と最低点の直線距離} \end{array} \right.$	1	1.04 以下	1	1.14 以下	1	1.04 以下
	2	1.05~1.14	2	1.15 以上	2	1.05 以上
	3	1.15~1.24				
	4	1.25 以上				

要 因	仁淀川地区		日本全域(除, 仁淀川)		日本全域(含, 仁淀川)	
	表示	水準区分	表示	水準区分	表示	水準区分
7 谷密度 r 主流路に合流する谷の数を 流域面積で除した値。 $r = \frac{n}{A}$ $\left\{ \begin{array}{l} n: \text{主流路に合流} \\ \text{する谷の数} \\ A: \text{流域面積} \end{array} \right.$	1 2 3	15.4 以 下 15.5~25.4 25.5 以 上	1 2 3	15.4 以 下 15.5~25.4 25.5 以 上	1 2 3	25.4 以 下 25.5~70.4 70.5 以 上
8 縦断形状Ⅰ(最急勾配)E 流域内における1次以上の 谷の勾配30°以上の部分の距 離を合計し, 単位面積(㎢)当 りの距離で表わした値。	1 2 3	1040 m 以下 1050~7540m 7550 m 以上	1 2 3 4	540 m 以下 550~2540m 2550~5040m 5050 m	1 2	540 m 以下 550 m 以上
9 縦断形状Ⅱ(遷急点) 主流路沿いで等高線間隔が $\frac{1}{2}$ になる地点の数 $\frac{a}{b} \leq \frac{1}{2}$  $\left\{ \begin{array}{l} a: \\ b: \end{array} \right.$	1 2 3 4	0 1 ケ 2 ケ 3 ケ 以 上	1 2 3 4	0 1 ケ 2 ケ 3 ケ 以 上	1 2 3	0 1 ~ 2 ケ 3 ケ 以 上
10 縦断形状Ⅲ(遷緩点) 主流路沿いで等高線間隔が 2倍になる地点の数 $\frac{a}{b} \geq 2$  $\left\{ \begin{array}{l} a: \\ b: \end{array} \right.$	1 2 3 4	0 1 ~ 2 ケ 3 ~ 4 ケ 5 ケ 以 上	1 2	0 1 ケ 以 上	1 2 3	0 1 ケ 2 ケ 以 上
11 横断形状Ⅰ 主流路において50m等高線 毎に流路と直角に接線を引き, 比高20mの位置での幅を合計 したものの平均値 $b_0 = \frac{b}{m}$  $\left\{ \begin{array}{l} b: \text{幅} \\ m: \text{本数} \end{array} \right.$	1 2 3	89.4 m 以下 89.5~99.4 m 99.5 m 以上	1 2 3	89.4 m 以下 89.5~99.4 m 99.5 m 以上	1 2 3	89.4 m 以下 89.5~99.4 m 99.5 m 以上

要 因	仁淀川地区		日本全域(除, 仁淀川)		日本全域(含, 仁淀川)	
	表示	水準区分	表示	水準区分	表示	水準区分
12 横断形状Ⅱ(拡幅部) 主流路において等高線10m 毎に流路と直角に接線を引き 2倍以上の拡幅部をとる地点 数  $\frac{a}{b} \geq 2$	1 2 3	0 1 ケ 2 ケ 以上	1 2 3	0 1 ~ 2 ケ 3 ケ 以上	1 2 3	0 1 ~ 2 ケ 3 ケ 以上
13 流域の植生状況Ⅰ 点格子板を空中写真に被せ、 面積を測定し、流域面積に占 める伐採跡地、幼令林地、竹 林の割合を百分率で表わした 値	1 2 3	22 % 以下 23~52 % 53 % 以上	1 2 3	27 % 以下 28~62 % 63 % 以上	1 2	2 % 以下 3 % 以上
14 溪床付近の植生 高木(壮令林)が溪床沿い に枝を接している区間の割合 で表わした値 高木: 5 m前後	1 2 3 4	22 % 以下 23~47 % 48~82 % 83 % 以上	1 2 3	57 % 以下 58~92 % 93 % 以上	1 2 3	57 % 以下 58~87 % 88 % 以上
15 溪床および周辺の堆積物 16で対象とした溪流以外の 溪床	1 2 3	堆積物が見え たり, 厚いと思 われる区間が優 勢 どちらともつ かない 岩が見えたり 底が見えない 区間が優勢	1 2 3	 左記に同じ 	1 2 3	 左記に同じ
16 溪床および周辺の堆積物 最高次数の流路沿い	1 2 3	堆積物が多い 中 間 堆積物が少な い	1 2 3	 左記に同じ 	1 2 3	 左記に同じ
17 地 質 深 成 岩 脈岩 火 山 岩 古 生 層 中 生 層 新生層(グリーンタフを含 む) 変 成 岩	1 2 3 4	火成岩類 変成岩類 古生層 中生層	1 2 3 4 5 6	深成層・脈岩 類 火山岩類 古生層 中生層 新生層 変成岩類	1 2 3 4 5 6	 左記に同じ

X^2 検定を経て棄却されずに残り、数量化法Ⅱ類による判別解析の対象となった要因と、その水準毎の判別得点値を表-8に示す。

判定の結果は表-9に示す。

表-8(a) 水準別判別得点とRange(仁淀川)

要因 \ 水準	1	2	3	4	Range
1 (流域面積)	-0.08191	0.15575	0.41966		0.50157
2 (主流路長)	0.16441	-0.18958	-0.55458		0.71899
3 (起伏量)	-0.26906	0.15936	1.19351		1.46257
4 (流域形状係数)	0.10300	-0.09199			0.19499
5 (谷密度)	-1.27857	-0.52556	0.26532		1.54389
6 (縦断形状Ⅰ)	-0.97704	0.14216	-0.19327		1.11920
7 (縦断形状Ⅱ)	-0.31586	-0.15734	0.21364	0.40806	0.72392
8 (縦断形状Ⅲ)	-0.29715	-0.04630	0.23874	0.11297	0.53589
9 (横断形状Ⅱ)	-0.13708	0.03097	0.30188		0.43896
10 (溪床付近の植生)	0.71863	-0.26086	0.20665	-0.85956	1.57819
11 (溪床堆積物Ⅰ)	0.83950	0.19845	-0.86717		1.70667
12 (溪床堆積物Ⅱ)	0.38224	0.29080	-0.77113		1.15337

境界値 -0.02393

表-8(b) 水準別判別得点とRange(全国データ、ただし仁淀川を除く)

要因 \ 水準	1	2	3	4	Range
1 (流域面積)	0.10293	-0.09551	-0.27669		0.37962
2 (主流路長)	-0.04710	0.03567	0.11819		0.16529
3 (起伏量)	-0.07469	0.42931			0.50400
4 (平均勾配)	0.16503	0.01360	-0.20993		0.37496
5 (屈曲比)	-0.02227	0.05219			0.07446
6 (縦断形状Ⅰ)	-0.15073	0.13901	-0.08133	-0.25563	0.39464
7 (縦断形状Ⅲ)	-0.01117	0.00196			0.01313
8 (横断形状Ⅱ)	-0.34053	0.00283	0.30081		0.64134
9 (流域の植生)	-0.05859	0.15602	0.19437		0.25296
10 (溪床付近の植生)	0.12089	0.00583	-0.15125		0.27214
11 (溪床堆積物Ⅰ)	1.62572	0.50931	-1.42307		3.04879
12 (溪床堆積物Ⅱ)	1.36186	-0.02079	-1.59276		2.95462

境界値 0.03439

表-8 (c) 水準別判別得点と Range (全国データ)

要 因 \ 水 準	1	2	3	Range
1 (流 域 面 積)	0.07504	-0.03917	-0.23343	0.30847
2 (主 流 路 長)	-0.17324	0.06975	0.51568	0.68892
3 (起 伏 量)	-0.03663	0.25056		0.28719
4 (平 均 勾 配)	0.01524	-0.00672	-0.04503	0.06027
5 (谷 密 度)	-0.15912	0.13965	-0.41544	0.55509
6 (縦 断 形 状 I)	-0.27669	0.04560		0.32229
7 (縦 断 形 状 II)	-0.00780	0.00002	0.00857	0.01637
8 (縦 断 形 状 III)	-0.07807	-0.01613	0.02851	0.10658
9 (横 断 形 状 II)	-0.28184	0.04958	0.34954	0.63138
10 (流 域 の 植 生)	-0.05777	0.00526		0.06303
11 (溪床付近の植生)	0.09345	0.01940	-0.14212	0.23557
12 (溪床堆積物 I)	1.23612	0.36959	-1.17876	2.41488
13 (溪床堆積物 II)	0.85837	0.08346	-1.06989	1.92826

境界値 0.00412

表-9 (a) 判定結果 (仁淀川)

実況 \ 判定	危 険	安 全	計
発 生	149	45	194
非 発 生	61	145	206
計	210	190	400

平均適中率 74%

発生溪流適中率 77%

安全溪流錯誤率 24%

表-9 (b) 判定結果 (全国データ
ただし仁淀川を除く)

実況 \ 判定	危険	安全	計
発生	264	61	325
非発生	79	229	308
計	343	290	633

平均適中率 72 %

発生溪流適中率 81 %

安全溪流錯誤率 21 %

表-9 (c) 判定結果
(全国データ)

実況 \ 判定	危険	安全	計
発生	402	117	519
非発生	147	367	514
計	549	484	1,033

平均適中率 74 %

発生溪流適中率 77 %

安全溪流錯誤率 24 %

2.4 仁淀川流域^{*})

昭和50年8月、高知県下仁淀川流域においては、台風5号に伴う集中豪雨により、200ヶ所以上におよぶ土石流が発生し、72名にのぼる死者を含む甚大な被害を蒙った。

建設省四国地方建設局では、再度災害の防止のために総合的な災害調査を実施したが、その一環として土石流発生危険溪流の判別解析をおこなった。その成果の1部を紹介する。

この調査では、地形および土石流の状況によって3つの地区にわけて解析がおこなわれた。A地区は、地形がなだらかで、土石流の発生数・規模ともに小さい。B地区は、地形が急峻で、土石流の発生数・規模ともに大きい。C地区は土石流の発生数が少なく判別解析をおこなわなかった。(図-3)

判定の対象とする流域単元は2次流域毎に区分した。要因判読のための空中写真は、災害前、昭和47・48年林野庁撮影の1/20,000、昭和48年国土地理院撮影の1/22,000のものを使用した。

はじめに採りあげた判別のための要因および水準区分の方法は表-11のとおりである。これらのうち、 X^2 検定を経て棄却されずにのこった要因と水準毎の判別得点を表-12に示す。また判別の結果を表-10に示す。

^{*}) 建設省四国地方建設局吉野川砂防工事事務所：仁淀川流域土砂災害対策調査 昭和51年

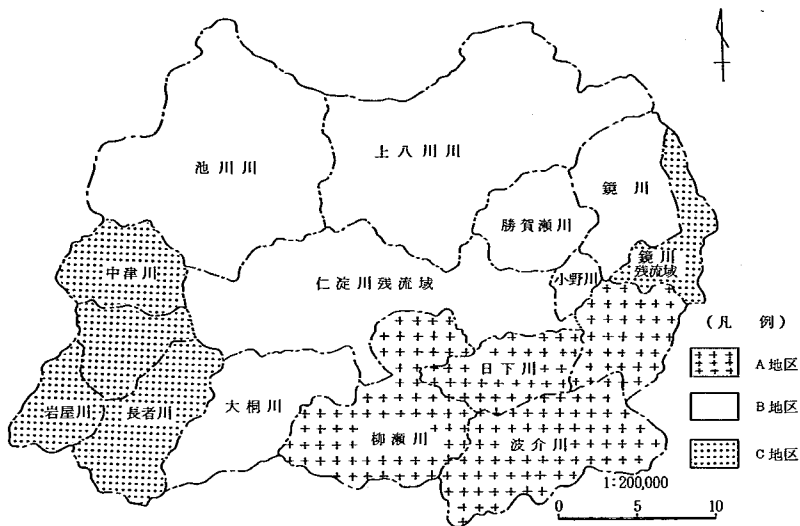


図-3 調査地区分け一覽図

表-10(a) 仁淀川A地区における判別結果

判定 5号台風	危険	安全	計
発 生	34	28	62
非 発 生	18	214	232
計	52	242	294

平均適中率 84 %
発生誤差適中率 55 %
安全誤差適中率 12 %

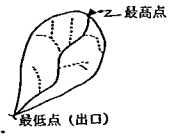
表-10(b) 仁淀川B地区における判別結果

判定 5号台風	危険	安全	計
発 生	129	52	181
非 発 生	25	353	378
計	154	405	559

平均適中率 86 %
発生誤差適中率 71 %
安全誤差適中率 13 %

表-11 要因および水準区分一覽表

要 因	(A地区)水準区分	表現	(B地区)水準区分	表現
(1) 流域面積 (km ²) デジタルプランメータ により, km ² 単位で計測し た。	0.50 km ² 以下	1	0.40 km ² 以下	1
	0.51 km ² - 1.00 km ²	2	0.41 km ² - 0.80 km ²	2
	1.01 km ² 以上	3	0.81 km ² - 1.00 km ²	3
			1.01 km ² 以上	4

要 因	(A 地区) 水準区分	表現	(B 地区) 水準区分	表現
(2) 主流路長 (m) 流域の最高点～最低点 (出口) までの流路の長 さをキルピューターによ り測定した値。 	1,000 m 以下 1,001 m - 1,200 m 1,201 m - 1,700 m 1,701 m - 1,900 m 1,901 m - 2,100 m 2,100 m 以上	1 2 3 4 5 6	900 m 以下 901 m - 2,100 m 2,101 m 以上	1 2 3
(3) 起伏量 (m) 流域の最高点と最低点 の標高差を10mコンター 単位で計測した値。	200 m 以下 201 m - 300 m 301 m - 400 m 401 m 以上	1 2 3 4	350 m 以下 351 m - 650 m 651 m 以上	1 2 3
(4) 流域平均勾配 (°) $\tan \theta = \frac{\text{起伏量(m)}}{\text{主流路長(m)}}$ 起伏量を主流路長で除 した $\tan \theta$ の値で小数第 1 位を四捨五入した。	11° 以下 12° - 15° 16° - 19° 20° 以上	1 2 3 4	17° 以下 18° - 19° 20° - 21° 22° - 23° 24° 以上	1 2 3 4 5
(5) 拡幅部の数 (ヶ所) 主流路沿いの数 $\frac{a}{b} \geq 2 \text{ (拡幅部)}$ 10m コンター 	1ヶ所以下 2ヶ所以上	1 2	0ヶ所 1ヶ所 2ヶ所以上	1 2 3
(6) 河道の縦断形状(ヶ所) (遷緩点) 主流路沿いの数 $\frac{a}{b} \geq 2 \text{ (遷緩点)}$ 10m コンター 	1ヶ所以下 2ヶ所 3ヶ所以上	1 2 3	1ヶ所以下 2ヶ所 3ヶ所以上	1 2 3

要 因	(A 地区) 水準区分	表現	(B 地区) 水準区分	表現
(7) 河道の縦断形状(ヶ所) (遷急点) 主流路沿いの数 $\frac{a}{b} \leq \frac{1}{2}$ (遷急点) 	1ヶ所以下 2ヶ所以上	1 2	1ヶ所以下 2ヶ所 3ヶ所以上	1 2 3
(8) 崩壊の数(個) 災害前の空中写真判読 により測定した数。	0 個 1 個以上	1 2	0 個 1 個 - 5 個 6 個以上	1 2 3
(9) 地 質 流域内で最大面積を占 める地質で代表し、各水 準で標本数が不足するも のは類似する岩相、時代 別などでまとめた。	古生層(砂岩優勢層, 砂岩 泥岩互層, 準片岩) 中生層(砂岩, 泥岩, 砂岩 泥岩互層) 火成岩類(寺野変成岩類, 三滝火成岩類, そ の他の貫入岩類)	1 2 3	三波川変成岩類 緑色片岩 " 黒色片岩 古 生 層 砂岩優勢層 古 生 層 砂岩泥岩互層 中 生 層 砂岩, 泥岩, 砂岩泥岩互層 古 生 層 準片岩 火成岩類 流紋岩, 角閃 岩, 雲母片岩, 花崗閃緑岩, 蛇紋岩, 石英 斑岩	1 2 3 4 5 6
(10) 溪床およびその周辺の 堆積物の状況 流域内の0次水系, 1 次水系に着目し、溪床の 堆砂状況とその周辺の崖 錐性堆積物の分布状況を 4水準に区分。	0次水系, 1次水系に溪 床堆積物および崖錐性堆 積物が1m以上の厚さで 全域に分布する。 0次水系, 1次水系の一 部に溪床堆積物および崖 錐性堆積物が1m以上の 厚さで分布する。 0次水系, 1次水系に溪 床堆積物および崖錐性堆 積物が1m未満の厚さで 一様に分布する。 0次水系, 1次水系に溪 床堆積物および崖錐性堆 積物がほとんどなく、溪 床は露岩部が連続する。	1 2 3 4	同 左	1 2 3 4

要 因	(A地区)水準区分	表現	(B地区)水準区分	表現
(11) 植生の状況 流域内の0次水系, 1次水系の河道付近の植生状況と流域全体の植生状況の組合せで4水準に区分。	0次水系, 1次水系の河道付近は, 植林地(杉, 桧, 松)で伐採跡地, 幼令林地が50%以上を占める。	1	同 左	1
	0次水系, 1次水系の河道付近は, 植林地(杉, 桧, 松)で伐採跡地, 幼令林地が50%以下を占める。	2		2
	0次水系, 1次水系の河道付近は, 広葉樹で伐採跡地, 幼令林地が50%以上を占める。	3		3
	0次水系, 1次水系の河道付近は, 広葉樹で伐採跡地, 幼令林地が50%以下を占める。	4		4
(12) 河道の横断形状 主流路長の1次水系最上流部の河道の横断形状を3水準に区分。	U字型	1	同 左	1
	V字型	2		2
	〜平型	3		3
(13) ガリの数(本) 「流域区分および谷次数区分図」1/10,000で0次水系の本数を計測した。	6本以下	1	4本以下	1
	7本-18本	2	5本-10本	2
	10本以上	3	11本-16本	3
			17本以上	4
(14) 流路の屈曲比 $n = \frac{\text{主流路長}(\ell)}{\text{直線距離}(m)}$  直線距離は, 出口(最低点)と最高点間の直線距離	1.15 以下	1	1.20 以下	1
	1.16 - 1.20	2	1.21 - 1.25	2
	1.21 以上	3	1.26 以上	3

表-12(a) 水準別判別得点とRange (A地区)

要 因 \ 水準区分	1	2	3	4	5	6	Range
1 (流 域 面 積)	-0.31401	0.10395	1.24126				1.55527
2 (主 流 路 長)	-0.44334	0.66928	-1.07843	0.25984	2.24152	0.70329	3.31995
3 (起 伏 量)	-0.12285	-0.03195	0.08888	0.17096			0.29381
4 (流域平均勾配)	-0.46051	-0.40982	1.12893	0.98674			1.58944
5 (河道の縦断形状) 遷緩点	-0.42011	0.37361	-0.07774				0.79372
6 (地 質)	0.13483	-1.00846	3.51667				4.52513
7 (ガ リ の 数)	-0.5223	0.44227	0.43644				0.9645
8 (溪床およびその 周辺の堆積物の 状況)	-0.57453	-0.21471	-0.35808	0.69160			1.26613
9 (河道の横断形状)	-0.50767	0.24491	-0.02278				0.75258

境界値 0.4059

表-12(b) 水準別判別得点とRange (B地区)

要 因 \ 水準区分	1	2	3	4	5	6	Range
1 (流 域 面 積)	-0.13594	-0.00144	0.02868	0.26195			0.39789
2 (主 流 路 長)	0.38809	-0.02417	-0.41445				0.80254
3 (起 伏 量)	0.27618	-0.05904	-0.11145				0.38763
4 (河道の縦断形状) 遷急点	-0.19287	0.11541	0.28486				0.17773
5 (崩 壊 の 数)	-0.27819	-0.00355	0.76047				1.03866
6 (地 質)	-0.07995	0.02968	0.26312	-0.74223	-0.48558	-0.40275	1.00535
7 (ガ リ の 数)	-0.50790	-0.00586	0.33191	0.82189			1.31979
8 (流 路 の 屈 曲 比)	0.02740	0.60374	-1.04569				1.64943
9 (溪床およびその 周辺の堆積物の 状況)	4.07015	-0.97113	-3.42111	-3.60445			7.6746
10 (植 生 の 状 況)	0.63344	0.08702	0.88508	-0.56144			1.44652

境界値 -0.25189

2.5 全国のデータによる判別解析^{*)}

関東地方建設局利根川砂防工事事務所では管内の神流川流域において、土石流発生危険区域を判定しようとした。しかし、近年、神流川流域では土石流の発生はほとんどなく、危険渓流の判定のための判別関数作成のための十分な資料が得られなかった。そこで、全国の緊急砂防事業要求資料を収集・整理して、土石流危険渓流の判別関数を作成することとした。解析のために採用したサンプル渓流は2次流域を単元として、土石流発生サンプル129渓流、非発生サンプル164渓流であった。当初、判別要因として選ばれた要因とその水準区分の方法を表-13、最終的に判別関数として選ばれた要因とその判別得点を表-14に示す。判定の結果は表-15に示す。また渓流の判別得点の頻度分布を図-4に示す。

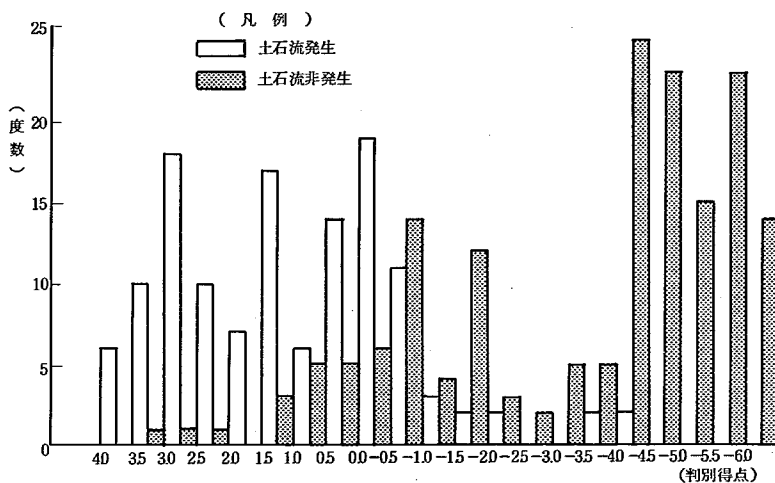
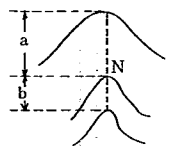
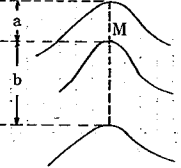
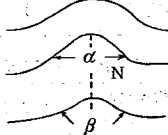


図-4 判別得点別土石流発生非発生度数分布

*) 関東地方建設局利根川砂防工事事務所「管内土石流危険渓流調査業務」 昭和51年

表-13 要因および水準区分一覧表

要 因	水 準 区 分	判読上の表現
(1) 流域面積	プラニメーターで、地形図を計測し、3水準に区分 ・流域面積が、0～0.14 km ² ・流域面積が、0.15～0.34 km ² ・流域面積が、0.35 km ² 以上	1 2 3
(2) 流域の平均勾配	最上流点と扇頂点との標高差を主流路長で除し3水準に区分 ・流域の勾配が、15°以下 ・流域の勾配が、16°～20°以下 ・流域の勾配が、21°以上	1 2 3
(2)-1 最上流点～扇頂点		
(2)-2 最上流点～流域末端	最上流点と流域末端との標高差を流路長で除し、3水準に区分 ・流域の勾配が、15°以下 ・流域の勾配が、16°～20°以下 ・流域の勾配が、21°以上	1 2 3
(3) 河道の縦断形状		
(3)-1 遷急点の有無	地形図より、次式を満足するN点を遷急点とし、主流路沿いにあるか、ないかで、2水準に区分 $\frac{b}{a} < \frac{1}{2}$ ・遷急点がない ・遷急点がある	 1 2
(3)-2 遷緩点の数	地形図より、次式を満足するM点を遷緩点とし、遷緩点の個数により、2水準に区分 $\frac{b}{a} > 2$ ・主流路沿いに、遷緩点が1箇所以下しか見られない。 ・主流路沿いに、遷緩点が2箇所以上ある。	 1 2
(4) 溪床およびその周辺の堆積物の状況	災害前の空中写真判読により、溪床の堆砂状況を3水準に区分 ・溪床に砂礫の堆積がほとんどない。 ・溪床の一部に、砂礫の堆積が、著しい。 ・全域にわたって、砂礫の堆積が、著しい。	1 2 3
(5) 植生の状況	災害前の空中写真より、河道付近と流域内全体の植生状況を判読し、4水準に区分 ・河道付近に、植生乏しく、伐採跡地・幼令林地が50%以上を占める。	1

要 因	水 準 区 分	判読上の表現
	・河道付近に、植生繁茂し、伐採跡地・幼令林地が50%以上を占める。 ・河道付近に、植生繁茂し、伐採跡地・幼令林地が50%以下 ・河道付近に、植生乏しく、伐採跡地・幼令林地が50%以下	2 3 4
(6) 河道の横断形状	渓流の出口付近で、溪床の横断をとり、3水準に区分 ・U型……溪床が、比較的広く側壁河道が比較的明瞭 ・V型……溪床が狭く、側壁河道が明瞭 ・平型……ゆるやかに、わん曲し、河道はやや不明瞭	1 2 3
(7) 崩壊の有無	災害前の空中写真判読により、流域内に、崩壊があるかないかで2水準に区分 ・崩壊がない ・崩壊がある	1 2
(8) 拡幅部の有無	地形図により、次式を満足するNを転幅部とし、主流路沿いにあるか、ないかで2水準に区分 $\frac{\beta}{\alpha} > 2$ ・拡幅部がない ・拡幅部がある	 1 2
(9) 河道の平面形状	災害前の空中写真判読により、2水準に区分 ・直流型……河道が直線状を呈する。 ・曲流型……河道が曲線状を呈する。	 1  2
(10) 流域の形状	災害前の空中写真より、露岩地、小起伏、河道の明瞭さを写真判読し、4水準に区分 ・流域内は、小起伏に富み、露岩あるいは、それに近い状態の地域を含んでおり、河道は明瞭 ・河道がやや不明瞭なこと以外は、上記と同じ ・流域内は、全体に平滑、河道は明瞭 ・流域内は、全体に平滑、河道は不明瞭	1 2 3 4
(11) 地 質	下記の5水準に区分 ・深成岩（花崗岩が主） ・火山噴出岩 ・変成岩	1 2 3

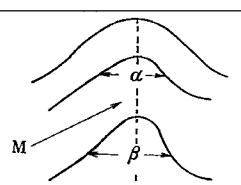
要 因	水 準 区 分	判読上の表現
	・中生層，古生層 ・第3・4紀層	4 5
02 狭窄部の有無	地形図より，次式を満足するMを狭窄部とし，主流路沿いにあるか，ないかで2水準に区分 $\frac{\beta}{\alpha} < \frac{1}{2}$ ・狭窄部がない。 ・狭窄部がある。	

表-14 水準別判別得点とRange

要 因 \ 水準区分	1	2	3	4	Range
1 流域面積	-0.77204	-0.13092	0.60664		1.37868
2 河道の縦断形状 (遷急点)	-0.37672	0.57508			0.9518
3 溪床およびその 周辺の堆積物の 状況	-3.28261	0.74557	3.25091		6.53352
4 植生の状況	0.02099	0.00316	-0.01509	0.01100	0.03608
5 横断形状	0.01321	-0.04660	-0.00131		0.05981
6 崩壊の有無	-0.21322	0.24420			0.45742
7 河道の縦断形状 (遷緩点)	0.04362	-0.07923			0.12285
8 拡幅部の数	-0.44900	0.26858			0.71758

表-15 判定結果

実況 \ 判定	危 険	安 全	計
発 生	121	8	129
非発生	40	124	164
計	161	132	293

平均適中率 84 %

発生溪流適中率 94 %

安全溪流錯誤率 6 %

3 土石流の発生に関係する要因

判別解析は、流域状況を要因として、これらの要因の土石流発生に対する関係を解析しようとするものである。判別解析の結果、得られる判別関数は、土石流の発生・非発生と各要因との関係を次のような関数として表現する。

$$L = X_1 + X_2 + X_3 \dots\dots\dots$$

$X_1, X_2, \dots\dots\dots$ は流域面積や地質区分によって定められ特性値（ここでは要因の判別得点という。）である。Lはこれらの要因の判別得点の和であり、渓流の判別得点といっている。このLがある値（境界値）より大きいと土石流発生の危険あり、と判定するわけである。

Lは上述のように X_i の和として表わされているから、Xの値の変化する中の大きな要因はどLの値の増減に大きな影響を与える。そこでXの範囲の大きなものほど土石流の発生・非発生に大きく影響していると考えて良いだろう。各要因毎の判別得点の最大値と最小値との差をRangeと呼んでいるが、これによって、どんな要因が土石流の発生・非発生に大きく影響しているかみてる。まず表16にRangeの大きな要因を示す。

表-16 Rangeの上位5位までの要因

判別解析	1	2	3	4	5
Rangeの大きさの の上位5要因					
国鉄高山線沿線（鉄研）	植 生	水系頻度	渓流の向き	溪床の出口 の状態	流路の状況
小 豆 島 （土研）	表 層	植 生	水系模様	横断型	縦断型
全国データ （土研）	溪床堆積物 （Ⅰ）	溪床堆積物 （Ⅱ）	主流路長	横断形状 （Ⅱ）	谷密度
仁淀川を除く全国データ （土研）	“	“	横断形状 （Ⅱ）	起伏量	縦断形状 （Ⅰ）
仁 淀 川 （土研）	“	溪床付近の 植物	谷密度	起伏量	溪床堆積物 （Ⅱ）
仁淀川A地区（四国地建）	地 質	主流路長	流域平均勾 配	流域面積	溪床および その周辺の 堆積物の状 況
仁淀川B地区（四国地建）	溪床および その周辺の 堆積物の状 況	流路の屈曲 比	植物の状況	ガリの数	崩壊の数
全国データ（関東地建）	“	流域面積	河道の縦断 形状 （遷緩点）	拡幅部の数	崩壊の有無

Rangeの大きさと上位5位までに最も多く現われる要因は、溪床堆積物の状況である。これは全ての判別関数にでてきている。土石流となって流下すべきものがなければ、土石流も発生しえないのであるから当然なことである。

次に多くでてくるのは、植生状況である。これは4つの判別関数にでてきている。植生がどのように土石流の発生に影響するのかよくわからないが、流域内の表土を安定させる働きがあるかもしれない。あるいは、植生の繁茂しているような溪流では表土や堆積物が安定していて、土石流が発生しにくいということを表わしているのかも知れない。

このほかには、谷密度や溪床の縦断形状が3回ずつあらわれてくる。これらは土石流の発生に関係があるといわれると、何となくうすげろような気がする。

起伏量、主流路長、崩壊、溪流の横断形状などは2回ずつあらわれる。

以上が土石流の発生を支配する要因の主なものと考えてよかろうが、地質の差があまり土石流の発生・非発生に関係なさそうなのが気になる。要因としてのあつかいかたが、地質学的な分類をほとんどそのままに用いているので、これでは、土石流の発生のしやすさを表現しきれないのかも知れない。

溪床堆積物状況は他の要因と比較してみるとRangeの大きさがずばぬけて大きな場合が多い。判別結果がほとんどこの要因で決定されてしまうような判別関数もある。この要因については、特に慎重にとりあう必要があるだろう。

4 降雨をとりいれた判別関数

判別解析によって土石流危険渓流を判定する場合、雨量要因を説明変数に加えないのが普通であった。これは後で述べるような困難があるためと、土石流を発生させるような強雨は全国どこでも発生する可能性があり、このような強雨が発生した場合にどのような渓流で土石流が発生するかということに眼目をおいて判別解析が実施されたからであろう。

しかし、降雨は土石流の誘因として、土石流の発生に最も大きな影響をもつはずであるからそれを表現するような判別関数を作成することが望ましい。また、ある渓流にどのくらいの降雨があれば土石流が発生する危険があると判定できれば、これは土石流の時間的予知、ひいては土石流予報にもつながる。そこで是非とも降雨を土石流発生危険渓流判別関数の要因にとりいれたいところである。しかし、それには次のような問題点があり、実現を困難にしている。

1) 数量化法による判別関数は要因の和のかたち

$$L = X_1 + X_2 + \dots\dots\dots$$

で表わされ、各要因は判定結果に対して独立に個々同じように影響をあたえる。従って、この要因に雨量を加えた場合、降雨が0であっても、他の要因によって判別結果が危険となる場合がある。これは明らかに不合理である。

降雨以外にも同じようなことがいえる要因もあろうが、ここでは論じない。

判別関数を

$$L = R (X_1 + X_2 + \dots\dots\dots)$$

R: 降雨状況を表わす変数

の形で表わせばよいのであろうが、どのようにして、この関数を決定すればよいかわからない。

2) 降雨を判別関数の要因に加えるには、土石流発生までの降雨状況が正確にわかっていなければならない。ところが土石流は、雨量観測所のまばらな山間地で発生することが多く、しかも山間地ではわずかな距離をへだてた場所でも降雨状況が極端に変わることがしばしばある。このため土石流の発生した渓流の降雨状況を適確に表わしている降雨記録を入手することが困難である。

また、土石流の発生には、10分間の降雨強度や発生までの総雨量と関係をもつといわれているが、土石流の発生時刻が正確にわからないため、これらを決定することが困難である。

上に述べたような事情のため、降雨は土石流発生の要因に加えられることがなかったが、仁渡川流域の土石流災害の場合には、比較的に整った雨量データが得られたので、判別要因に加えることが試みられた。また筆者も雨量要因のあつかい方にちょっとした工夫をしてみた。

4.1 和型判別関数

前述したように、数量化法Ⅱ類による判別関数の説明変数にそのまま雨量要因を加えることには疑問がある。しかし、四国地方建設局では、土石流に対する避難基準雨量を設定する目的をもって、雨

表-17 雨量要因別・水準別集計表および発生率表

A	平均発生率	最大時間雨量					最大24時間雨量					総雨量					
		1	2	3	4		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
		80mm 以下	81 90	91 100	101 以上		450mm 以下	451 500	501 550	551 600	601 以上	500 以下	501 550	551 600	601 650	651 700	701 以上
区	発生 S_1	16	8	23	15		13	17	11	15	6	10	5	7	25	7	8
	非発生 S_2	36	16	50	130		40	20	30	18	124	33	10	24	41	40	34
	合計 S_3	52	242	73	145		53	37	41	33	130	43	15	31	66	47	92
	発生率 $S_1/S_3 \times 100$	30.8	32.3	31.5	10.3		24.5	45.9	26.8	45.5	4.6	23.2	33.3	22.6	37.9	14.9	8.7
B	平均発生率	最大時間雨量					最大24時間雨量					総雨量					
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4		
		90mm 以下	91 100	101 110	111 120	121 以上	550mm 以下	551 650	651 750	751 850	851 以上	700 以下	701 800	801 900	901 以上		
区	発生 S_1	17	26	50	27	61	11	33	57	46	34	20	46	61	54		
	非発生 S_2	127	64	79	80	28	86	91	107	83	11	90	119	118	51		
	合計 S_3	144	90	129	107	89	97	124	164	129	45	110	165	179	105		
	発生率 $S_1/S_3 \times 100$	11.8	28.9	38.8	25.7	68.5	11.3	26.6	34.8	35.7	75.6	18.2	27.9	34.1	51.4		

量要因を判別関数の説明変数に加えることを試みた^{*)}。雨量要因も他の要因とまったく同じ方法であつた。

まず、降雨と土石流発生率との関係が調べられた。(表-17) これを見ると、土石流の発生は降雨と大きな関係をもっていることは明らかであるが、降雨の増加に伴って、土石流の発生率も単純に増大しているわけではない。これは、降雨データが正確に各渓流域への降雨を示していない(雨量観測所の間かくが大きすぎる)か、今回の土石流発生渓流の資料が偏っている。(各雨量段階毎の他の条件の分布が一樣でない)ことが原因であろうが、また新たな問題が出現したわけである。

このように、多くの問題点があったが、とにかく雨量要因を加えた判別解析が実施された。

結果は表-18に示す通り、適中率の改善にもあまり役立たなかった。

むしろ、この判別関数によって、特定の渓流で土石流を発生せしめる降雨を推定するまでということとは論外であろう。

表-18 雨量要因と土石流発生・非発生の単相関係数
および各雨量要因を加えた時の判別の精度

		最大時間 雨 量	最大24時間 雨 量	総 雨 量	雨量3要因 と 要 因	要因だけ
A 地 区	単相関係数	-0.1807	-0.2243	-0.1308	-	-
	判別の精度	75.85%	※ 76.7%	75.58%	76.71%	75.24%
B 地 区	単相関係数	0.3340	0.2999	0.2445	-	-
	判別の精度	※ 83.13%	82.65%	82.34%	83.26%	82.00%

4.2 積和混合型判別関数

前述のように、雨量要因を線形の判別関数の要因に加えることには、かなり不合理な点がある。また実際にやってみても前節で紹介したように、適中率はほとんど変らない。

そこでどうしても判別関数を

$$L = R (X_1 + X_2 + \dots)$$

の形で表わしたいのだが、どうやって各要因の特性値を求めてよいか筆者にはわからない。

そこで、 X_1 , X_2 , ……には雨量を除外した素因だけによる判別解析の成果をそのまま用い、 R には各雨量段階毎の土石流発生率を用いたらどうか考えた。

*) 建設省四国地方建設局吉野川砂防工事事務所：仁淀川流域土砂害対策調査 昭和51年

早速、前節の四国地方建設局による仁淀川B地区の判別解析のデータおよび結果と表-16の雨量段階毎の土石流発生率を用いて試みた。

その結果を表-19に示す。適中率をみると、平均適中率は、かえって数%低くなってしまったが、発生溪流適中率は6%ほどよくなった。

適中率を見る限りでは、この試みが成功なのか失敗なのかよくわからない。

けれども、判別関数を積和混合型とし、 $L = X_1 \cdot X_2 \cdots X_n (X_{n+1} + X_{n+2} + \cdots)$ のかたちをとることはより適当であるはずである。ただ、このような判別関数をどうして導出すればよいかわからない。

表-19(a) 要因として最大24時間雨量
を加えたもの

判定 実況	危 険	安 全	計
発 生	149	32	181
非発生	53	326	379
計	202	358	560

平均発生率 85 %
発生溪流適中率 82 %
安全溪流錯誤率 9 %

表-19(b) 要因として最大時間雨量
をくわえたもの

判定 実況	危 険	安 全	計
発 生	142	39	181
非発生	55	324	379
計	197	363	560

平均発生率 83 %
発生溪流適中率 78 %
安全溪流錯誤率 11 %

5 判別関数の信頼性

5.1 適 中 率

判別の信頼性といっても場合によって種々な意味がありうる。ひとつには適中率が高いということが信頼性につながるであろうが、誰れがやっても、どの災害に適用しても予想どおりの適中率が得られるという安定性も重要である。

判別関数による判別の適中率は高いほうが良いことはいうまでもない。けれども 100% の適中率は得ることができないのは明らかであるから、この適中率を考慮にいれて利用法を考えなくてはならない。この適中率が、その時々で大きく異なるようでは、利用法もかなり限定されることになる。

また適中率にも 2通りの適中率が考えられる。1つは全サンプル渓流数に対する判定の適中した渓流数の割合であり、通常、適中率といえばこれを指す。しかし、判別関数は何らかの意味で土石流発生の予知に役立てようとするものであるから、実際に土石流の発生した渓流数に対する、そのうちの危険と判定された渓流数のほうが、適中率の指針としてふさわしい場合も多い。もちろん、安全と判定した渓流のうちで土石流の発生する割合、安全渓流錯誤率も重要である。

表-20に今までのいくつかの判別関数の適中率を示す。また判別要因から渓床堆積物状況を削除し

表-20 判別関数の適中率

実施機関	対 象 災 害	発 生 データ数	非発生 データ数	平 均 適中率	発生渓流 適中率	安全渓流 錯誤率
鉄道技術 研究所	昭和43年 7号台風による国鉄 高山線沿線の災害	65	106	81%	78%	14%
建設省 土木研究所	昭和49年 8号台風による小豆 島内海町内における災害	58	145	92%	86%	6%
"	昭和50年 5号台風による仁淀 川流域における災害	194	206	74% (68%)	77% (68%)	24% (31%)
"	全国データから上記仁淀川デ ータを除いたもの	325	308	72% (67%)	81% (63%)	21% (36%)
"	全国データ	519	514	74% (64%)	77% (64%)	24% (36%)
建設省四国 地方建設局	昭和50年仁淀川 A地区におけ る災害	62	232	84%	55%	12%
"	仁淀川 B地区における災害	181	378	86%	71%	13%
土木研究所	上記に最大24時間雨量を要因 として加えたもの			85%	82%	9%
"	最大時間雨量を要因に加えたも の			83%	78%	11%
建設省関東 地方建設局	全国の緊急砂防要求渓流	129	164	84%	94%	6%

() 書は渓床堆積物の状況を判別のための要因から除外した場合の結果

た判別解析の結果を（ ）内に示した。我々は、前述のように要因の判読の方法はできるだけ誰がやっても同じ結果となるという客観性に特に留意したにもかかわらず、浜床堆積物状況については、空中写真の縮尺が小さいため浜床の見えないものもあって、客観的な方法を工夫できなかった。そこで判別要因から浜床堆積物状況を削除した場合に適中率がどのくらい低下するかを調べるために実施したものである。浜床堆積物状況を判別要因から削除した結果を表-21に示す。

表-20で平均適中率をみると、小豆島での判別解析が最もよい結果となっているが、これはサンプル数が少ないこと、要因判読の方法があまり客観的でないことを考慮にいれると、このような高い適中率を期待することには無理があるような気がする。70%ぐらいが判別関数という手法に対して期待できる適中率だと思う。

次に、浜床堆積物の状況を判別のための要因から除くと適中率はかなり低下するが、利用法が適正であれば、それなりに有効に利用できるであろう。全国の渓流の危険判定を実施しようとするれば、多くの技術者が分担して要因判読を実施せねばならないから、客観的要因のみによって判定をおこなうほうが妥当かも知れない。

また、安全渓流錯誤率をみると、最低でも6%であり、判別要因から浜床堆積物状況を除いたものでは、何と36%にもなっている。判別関数によって安全と判別されて安心していると、3渓流に1つは土石流に襲われるという恐ろしい結果となるわけである。

表-21(a) 浜床堆積物状況を要因から削除した判定結果（仁淀川）

判定 実況	危険	安全	計
発生	132	62	194
非発生	66	140	206
計	198	202	400

平均適中率 68 %
発生渓流適中率 68 %
安全渓流錯誤率 31 %

表-21(b) 浜床堆積物状況を要因から削除した判定結果（全国データから仁淀川を除く）

判定 実況	危険	安全	計
発生	205	120	325
非発生	91	217	308
計	296	333	633

平均適中率 67 %
発生渓流適中率 63 %
安全渓流錯誤率 36 %

表-21(c) 浜床堆積物状況を要因から削除した判定結果（全国データ）

判定 実況	危険	安全	計
発生	330	189	519
非発生	181	333	514
計	511	522	1,033

平均適中率 64 %
発生渓流適中率 64 %
安全渓流錯誤率 36 %

判別解析をおこなうにせよ、判別関数によって危険渓流の判定をおこなうにせよ、判定に用いる要因が少ないほど、作業が簡単で、実用的である。そこで土木研究所で作成した、全国データをもとにした判別関数と仁淀川流域のデータをもとにした判別関数とを例にとりあげて、判別要因数を減少させていくと、平均適中率がどのように変化していくかを調べた。

要因は判別結果への影響の少ないものから順に除去していった。要因除去の手順を図-5に示し適中率の変化を図-6に示す。

図-6を見るとステップ4あたりまで、適中率はほとんど変化しない。

これで見ると、判別関数を作成するためには、9要因もとれば十分のようである。

ステップ4の段階で判別要因としてのこったものは、仁淀川流域のデータによるものでは、溪床堆積物のIとII、縦断形状のIとII、溪床付近の植生、および谷密度であった。

双方に共通して残った要因は、縦断形状I、谷密度、溪床堆積物IとIIである。

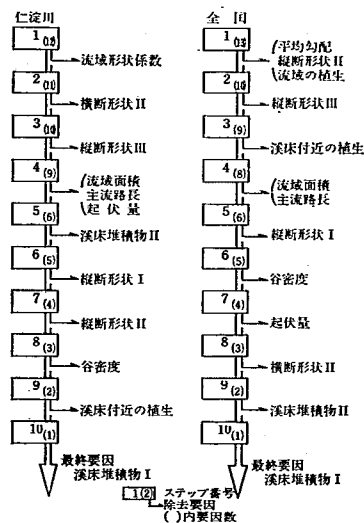


図-5 各ステップにおける要因の選択

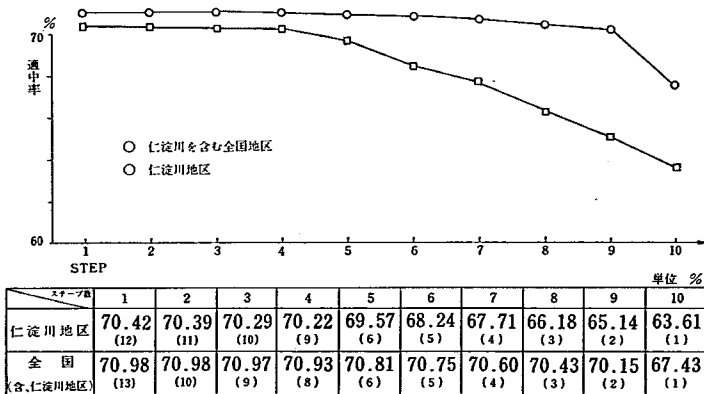


図-6 精度の変化図 () 内: 要因数 (適中率)

5.2 17号台風に対する既往判別関数の適用

51年9月、台風17号による豪雨は四国各地に土石流災害をもたらした。特に香川県小豆島内においては土石流が頻発したが、この地域は昭和49年の台風8号によっても、内海町内の多くの溪流に土石流が発生し、土木研究所砂防研究室で土石流発生危険溪流の判別解析を実施済みであった。また高知県仁淀川流域でも四国地方建設局において判別解析が実施済みであったが、仁淀川に隣接する鏡川流域においても、この台風で土石流災害が発生した。そこで、これらの災害に既往の判別関数を適用して、適合性を検証した^{*)}。

前述のように、判別関数は1種の回帰式である。判別関数も回帰式と同様にあたえられたサンプルデータに合うように作成するのであって、いわば合うのがあたりまえである。したがって、別の災害における土石流発生溪流の予測に合うかは大いに不安である。

土石流の発生にも、地域特性があるかもしれないし、また1つ1つの災害毎に特性を有するかもしれない。それは、判別解析にとりいれた要因の他に未知の要因があり、それが地域特性が1つ1つの災害毎の特性となってあらわれてくるかも知れないという意味である。

1つ1つの災害の特性が大きすぎれば、ある1つの災害データによって作成した判別関数を他の災害における土石流発生溪流の予想に用いることはできない。また地域特性というものがあれば、判別関数は地域毎に作成せねばならない。

前に紹介したように、我々は50年度に、全国の土石流データによる判別関数を作成した。これは、全国の種々の時期の土石流データによって作成した判別関数である。もしこの判別解析に用いたサンプルデータに偏りがなく、サンプル数も十分（どの程度の数があれば十分なのか筆者には未知である）であれば別の災害における土石流発生溪流の判定に用いても、解析に用いたデータに対する適中率とは同程度の適中率を得るであろう。もっとも、この17号台風による土石流の発生の仕方が強い特性を有しておれば、全々適用できないということもおこり得る。このような結果になれば全国データによる判別解析ということは意味がないことになる。さらに個々の災害時の土石流の発生の仕方の特性というものが強すぎれば、判別関数を災害の予知に用いることは、まったくできないということになる。

このようなことを今回の調査によって確かめたかったのである。

検証の結果を表-22に示す。

*) 土木研究所：台風17号による土石流災害調査（その2）報告書 昭和52年

表-22(a)昭和49年の小豆島の土石流災害
データによる判別関数によって、
小豆島の渓流の危険度を判定し
た結果と昭和51年災害における
実況

実況 \ 判定	危 険	安 全	計
発 生	122	102	224
非発生	77	291	368
計	199	393	594

平均適中率 70 %
発生渓流適中率 54 %
安全渓流錯誤率 26 %

表-22(b)全国の土石流資料によって作成
した判別関数によって小豆島の
渓流の危険度を判定した結果と
昭和51年災害における実況

実況 \ 判定	危 険	安 全	計
発 生	55	126	181
非発生	18	234	252
計	73	360	433

平均適中率 67 %
発生渓流適中率 30 %
安全渓流錯誤率 65 %

表-22(c) 昭和50年の仁淀川B地区の土石流資料によって
作成した判別関数によって、鏡川流域内の渓流
の危険度を判定した結果と昭和51年災害におけ
る実況

実況 \ 判定	危 険	安 全	計
発 生	10	1	11
非発生	34	96	130
計	44	97	141

平均適中率 75 %
発生渓流適中率 91 %
発生渓流錯誤率 1 %

表-22(d) 既往の判別関数を昭和51年の台風17号による
土石流災害に適用した結果

作成者	判別解析にもちいたデータ	左による適中率		安全渓流 錯誤率	今回適 用地域	左の適中率		安全渓流 錯誤率
		平 均	発 生			平 均	発 生	
		%	%	%		%	%	%
土 研	昭和49年台風8号によって 小豆島に発生した土石流	92	86	6	小豆島	70	54	26
"	全国の土石流データ	74	77	24	"	67	30	35
四 国 建	昭和50年台風5号によって 仁淀川B地域に発生した土 石流	86	71	13	鏡 川	75	91	1

結果をみると、平均適中率は最低でも67%で、賽の目の丁半によるよりもましである。また、同じく平均適中率で、判別関数を作成するのに用いたデータにあてはめた適中率と今次の災害でのデータにあてはめた適中率を較べると、いずれも今次の災害に適用した適中率の方が小さな値を示している。これはあたりまえのことであるが、その適中率の差は最低で7%、最高で22%と大きく異っている。そして当初、判別解析に用いたデータ数の大きなものなどこの差は小さい。これは多数のデータをもとにした判別関数では平均化されていて、別の災害における適応性もよくなっているであろう。

また、昭和49年の小豆島における土石流災害のデータによる判別関数では、もとのデータによる適中率と今次の災害に適用した場合の適中率との差が22%と特に大きい。これは前述のように判別解析に用いたデータ数が少ない（発生溪流 58，非発生溪流 145）ためもあろうが、表-5をみればわかるように判別のための要因の判読・測定の方法の客観性が低く、当初の判別解析時と今次災害への適用時とのあいだに要因の判読・計測に個人差が生じた結果かも知れない。

ともあれ、判別解析をおこなう場合には、できるだけ多くのデータを集め、要因の判読・計測にはできるだけ個人差のはいらないような方法を工夫することが肝要であると考ええる。

次にこの判別関数の適用によって、前もって災害の危険性を知らうとする場合には、発生溪流適中率（表-24における $n_{11}/(n_{11}+n_{12})$ ）が重要になってくるであろう。この土石流発生溪流に対する適中率をみると、判別解析に用いたデータに対する適中率では71~86%とかなり高い、しかも安定した値を得ているが、判別関数を今次の災害に適用した適中率をみると、その値は30~91%と大きくばらつき、判別関数という手法に対してどの程度の適中率なら期待できるのが見当がつかない。

また、安全溪流錯誤率をみると、最大で65%にもなっている。もしも、この判別関数による判定によって、安全だと安心していたら、このうち半分以上が土石流に襲われていたことになる。判別関数による判定の結果を豪雨の際に避難すべきか、否かの判断に利用したとすると、とんでもないことになるということは明らかであろう。

6 判別関数利用上の限界と問題点

土石流の発生の予知することがなぜ必要であるか、これはもちろん土石流の発生の危険を知って何らかの対策をたて、それによって土石流による被害を軽減するためである。

そこで今までに述べてきたような判別関数は、土石流による災害を軽減するに役立ちうるか、あるいは、判別関数をどのように用いれば災害の軽減に役立つことができるのかということを考える必要がある。

土石流による災害の軽減のためにとられるべき対策としては次のようなものが考えられる。

①土石流の発生をまえもって知り、避難によって人命の安全を確保する。

②土石流の発生する渓流をまえもって知り、このような渓流付近には居住することをさけ人命の安全を図る。

③土石流発生の危険のある渓流内には、住居、水田等、土石流によって大きな被害をうけるような財産を置かない。

④土石流発生の危険性の高い渓流を判定し、これらの渓流にのみ土石流防止工事を実施し、防災投資効率の向上を図る。

これらいずれかの対策に判別関数による判別が役立てば判別解析は有用である。判別関数は土石流災害の軽減にどのように役立つことができるであろうか。

1) まず、判別関数によって、土石流に対する予報警戒避難を実施することができるであろうか。既往の判別関数は土石流が発生するような降雨があった場合にどの渓流で土石流が発生するかということを予想するものであって、いつ土石流が発生するかということを予想するものではない。けれども判別要因に雨量をくわえ、ある渓流にどのぐらいの降雨があれば土石流が発生するかということを予想できれば、降雨の予報によって間接的に土石流の発生を予報することができるだろう。しかし前述のように、雨量を他の要因と同じようにあつかって判別解析をおこなうことには、考え方としても疑問があるし、これによって土石流の発生を予想することも不可能であろう。筆者の工夫した方法とした紹介した手法によれば、あるいは土石流発生を降雨予報を用いて間接的に予報することが可能かも知れない。これが可能かどうか確めるには、降雨の少なかった地域の渓流データをもくわえて、実際にためてみなければならないだろう。

それにしても、土石流発生の警戒避難のための予報としては、何時、どこかの渓流でという情報を含まなければ意味がない。ところで雨量要因の特性値は気象予報によって得るしかないが、現在の気象予報の技術では集中豪雨と呼ばれるような規模の小さな気象現象に対しては適確な予報ができないと聞いている。

また場所の予報にしても100%の確かさで予報することは到底できない。以上のことから、判別解析によって土石流の発生を予報し、それだけで人命の安全の確保を図ることには無理であろう。

2) つぎに、判別関数によって土石流の発生する危険のある渓流を指定し、この渓流付近に居住す

ることを規制することにより、人命の安全を図ることはできないだろうか。これだと時間的な予報が必要でないで、いくらか実現が容易であるかのように思われる。しかし、これも現在の判別関数による判定では、最も安全と目されるような判別得点を得ている渓流においても土石流が発生していることからみて、もっと精度の高い判別関数を開発する必要がある。それが可能であるかどうか疑問がある。

3) 同じ土石流に襲われても、その地域の土地利用形態によって、その被害の様相は大いに異なってくる。人命のことはいわないにしても、土石流に襲われた土地が造成に費用のかかる水田であるのと、草地や造林地であるのとでは被害の深刻さは大いに異なる。

そこで、判別解析による判定結果により、土地利用の方法をかえ、土石流による被害を軽減することができないかと考えられる。これだと、判定が100%適中せず、予想のはずれる渓流がたくさんあっても、全体としての被害が軽減できれば、判定の効果はあるわけであるから大いに期待がもてる。しかし、これにも大きな未解決の問題がある。一般的にいて、工場や水田など生産性の高い土地利用形態であるほど資産の密度が高く土石流に襲われたときの被害も深刻である。けれど工場や水田も一定の期間、土石流をこうむらなければ、その所期投資を回収してなお余りある場合もある。そこで、工場や水田などの適地を土石流の被害をこうむる恐れがあるからといって、そこへの投資を抑制すれば、かえって当然得べき利得を失うこともあるわけである。

従って、土石流の危険を考慮した最適土地利用形態を考える場合には、問題とする渓流で何年に1回ぐらい土石流が発生するかということを考える必要がある。これには、いくつかの渓流の土石流発生履歴を調べることによって必要な知識を得る方法が考えられるが、これには数百年さかのぼるような調査が必要で困難が予想される。

4) 最後に、判別関数による判定によって、土石流災害に対するより効率的な防災投資をおこなうことが可能であるかどうか考えてみる。判別関数による判定結果が表-23 (a) のようなものであったと考える。また具体例として、前に紹介した土研で作成した全国の土石流データによる判別関数によって判定した。昭和51年の小豆島における土石流災害を考える。

表-23 (a) 判 定 結 果

	危 険	安 全
発 生	n_{11}	n_{12}
非発生	n_{21}	n_{22}

表-23 (b) 全国判別関数による昭和51年
小豆島土石流災害の判定結果

	危 険	安 全	計
発 生	55	126	181
非発生	18	234	252
合 計	73	360	433

今、土石流防止工事を実施するのに、任意の渓流をランダムに選ぶのと、判別関数による判定が危険となった渓流に工事をおこなうのとで、投資効率がどのように変るかをみる。投資効率を考える場合には、もちろん、ヶ所毎の工事費や被害軽減額なども考慮にいれる必要がある。けれども話を簡単

にするため、これらの条件が皆同じと考える。

ランダムに工事渓流を選んだ場合、そこで土石流が発生して、土石流防止工事が効果を発揮する割合は、

$$\frac{n_{11} + n_{12}}{n_{11} + n_{12} + n_{21} + n_{22}}$$

である。一方、判別関数によって、危険と判定された渓流のなかから、工事渓流を選んだ場合には、有効に働く割合は、

$$\frac{n_{11}}{n_{11} + n_{21}}$$

である。この差は

$$\frac{n_{11}}{n_{11} + n_{21}} - \frac{n_{11} + n_{12}}{n_{11} + n_{12} + n_{21} + n_{22}}$$

となる。これを全国判別関数による昭和51年小豆島土石流災害の判定結果に例をとってみる。

ランダムに工事渓流を選んだ場合、効果を発揮する割合は、

$$181 / 433 = 0.418$$

判険と判定された渓流のなかから工事渓流を選ぶと

$$55 / 73 = 0.753$$

この差は0.335、約34%となる。

今この地域に土石流防止工事に100億円投入するとする。上の結果によると、土石流防止工事をする渓流をランダムに選んだ場合、工事を実施した渓流で土石流が発生し、効果を発揮するのが約42億円分、一方、判別関数の判定に従った場合には約75億円分、ということになり、判別関数の適用が大きな効果をもつことになる。

しかし、以上の推論は、近い将来再び、土石流の発生をもたらすような豪雨が再びあった場合のことである。100年も後に土石流が発生するようでは、判別関数による判定も意味がない。

今、地域Aには、土石流を発生させるように豪雨が10年毎に襲来し、地域Bには100年毎にしか襲来しないとすれば、判別関数を云々するよりもA地域に集中して防災工事を実施したほうがよいだろう。

ともあれ、結論としては、土石流対策を考える場合、土石流の発生に関する場所・時間双方の情報を含んだ統計資料がどうしても必要であるということである。

7. お わ り に

土石流危険判定に多変量解析の1種、数量化法Ⅱ類の適用を試みた。その結果、次のような知見または感想を得た。

①渓流域の地質や山腹崩壊の有無は、以後の土石流発生・非発生に大きな関係があると思われたが、統計的にはあまり大きな関係がなかった。

②溪床堆積物の状況が土石流の発生・非発生に最も大きな関係があるが、判別要因として客観的に表現するのが難しい。これを判別要因から除くと平均適中率は5%ほど低下する。

③判別解析による平均適中率はデータの少ないものでは約90%という例もあるが、データ数の多いものでは70%ぐらいである。

④発生溪流適中率は、今までに実施された判別解析毎に大きなバラツキがあり、どの程度の適中率が得られるものか、見当がつかない。

⑤作成された判別関数を別の土石流災害に適用した場合、少数のデータによって作成された判別関数では適中率に大きな差がでるが、多くのデータによって作成した判別関数ではあまり大きな差がない。

⑥最も安全と目される判別得点を得た溪流においても、土石流は発生しているので個々の溪流の危険・安全を判定することに用いるには難がある。

⑦雨量をそのまま判別要因に加えても、判別の適中率はほとんど向上しなかった。また降雨の予報を媒介として、土石流の発生を予報することもできない。

⑧通常の判別関数による溪流の判別得点に雨量段階毎の土石流発生率を乗じた値で判別をおしなうと、平均適中率は1~3%低下したが発生溪流適中率は7~11%向上した。この方法によって、雨量を媒介とした土石流発生の予報が可能かも知れない。

⑨Range(要因の水準毎の判別値の最大値と最小値との差)の小さな要因を除いた判別関数も平均適中率はほとんど低下しない。9要因ほどあれば十分のようである。

⑩判別要因として(特に溪床堆積物の状況)、現地調査を採り入れ、その成果によって判別の適中率の向上を図るべきだとも考えられる。しかし、このような統計的な手法においてはサンプル数を多くすることが重要であるから、費用や手間のかかる地上調査の成果を要因として採用することは困難である。また土石流発生前の状況を土石流が発生してから、現地調査によって知るのは困難である。

従って、現状以上の適中率を期待せず、判別解析の成果の利用法を考える方が賢明であろう。

この試みを進めるにあたり、地形図・空中写真の判読・計算作業の大部分について、国際航業地質部の方々に実施していただいた。また砂防研究室の皆様からは、各々、多大な御教示と御支援をいただいた。特に泉室長と池谷主任研究員には、原稿を詳細に査読していただき、多くの点で誤りを指摘していただくと共に有益な指唆をさずけていただいた。ここに記して感謝を表明します。

付録 判別解析について

付録 判別解析について

重回帰分析が量を表わすいくつかの変数によって、1つの量を表わす目的変数を推定するための回帰式を得る手法である。一方、数量化法Ⅱ類と呼ばれる手法は、質や分類を表わすいくつかの変数によって、推定の対象物の質や分類を推定するための回帰式を得るための手法である。

具体的には、土石流の発生の危険性を

$$L = X_1 + X_2 + \dots + X_n$$

なる関数で表わし、このLの値がある値を越えると、その溪流には土石流発生の危険があると判定するわけである。

$X_1 \sim X_n$ を求めることを数量化法Ⅱ類と呼んでいるが、データの前処理や適中率による回帰式の評価等を含めて、数量化法Ⅱ類を利用して土石流危険溪流を判定しようとするを以下、判別解析と呼んで話を進めていきたい。

判別解析を最初に溪流荒廃の予知に用いることを試みたのは、筆者の知るところでは鉄道技術研究所の小橋らが最初であるが、これはもともと市場調査等の目的のために開発された手法であり、土石流危険溪流の判定等土木計画に適用することについて、我々はあまり多くの経験をもたない。この手法を土石流危険溪流の判定に利用した場合にどのような性質をもつか、どの程度適用できるか、そしてその成果をどのように利用できるかという問題を考えるのがこの小文をまとめようという目的である。

まず判別解析の手法のあらましを紹介する。*) **)

第1段階 土石流発生危険溪流を判定するための要因の選定とその取り扱い方の決定

本調査は溪流の流域面積、地質、堆積物の状況等の要因によって土石流発生の危険性を判定しようとするものであるから、多くの要因の中から取りあげるべき要因を探し出し、またその取り扱い方を決定しなければならない。

例えば流域面積をとりあげると、流域面積の大小によっていくつのグループに分ける必要があるか、またこのグループ分けの境界値はどこにおけば最も適当であるかを決定しなければならない。

また要因が地質の場合はどのような地質を一つのグループにまとめるべきかが問題となる。火山噴出物と安山岩は成因の上からは同一のグループに分類されるであろうが、安山岩はむしろ古生層と同一グループに分類するのがより適当かも知れない。

流域の形状では、例えば形状を円形とダ円形に分けた場合誰れがやっても同じ区分に属する結果になるようにその判定方法を工夫し決定する必要がある。

植生に関してはさらに別の問題が生じる。植生で分類するといっても、樹種によって要因のグルー

*) 田口玄一 統計解析 丸善株式会社 昭和41年

**) 奥野忠一、久米均、芳賀敏郎、吉沢正 多変量解析法 日科技連 昭和46年

分けをすべきか、地表の被ふく率で行うべきか、あるいは樹高等によるべきか、問題は複雑である。これらはとにかく出来るだけ多くの色々な区分法を試みるしか解決の方法はないと思われる。

第2段階 分散分析

選択した要因や水準区分の方法が妥当なものかどうかを分散分析によってチェックする (X_2 検定によっても同じ結果になる)。即ちある要因の水準間で土石流発生に関して差があるか否かを検定するわけである。

発生非発生に関係あるといえない要因は、水準区分の方法を変えてみる。それでもだめならば要因から除去する。

分散分析の方法を次に紹介する。*)

ある要因 A (例えば地質) が a 箇のグループ, $A_1, A_2, \dots, A_a$ に分けられ、各々に属するデータの数 (渓流数) がそれぞれ $n_1, n_2, \dots, n_a$, そのうち土石流の発生した渓流数が $r_1, r_2, \dots, r_a$ であるとする。

データ全体の分散 (バラツキ) は

$$S_T = R = r_1 + r_2 + \dots + r_a$$

で表わす。 S_T の自由度は

$$df = N = n_1 + n_2 + \dots + n_a$$

である。

データ全体の偏りは

$$CF = \frac{R^2}{N} = \frac{(r_1 + r_2 + \dots + r_a)^2}{N}$$

であらわされる。この自由度は 1 である。

グループ間の分散 (バラツキ) は

$$S_A = \frac{r_1^2}{n_1} + \frac{r_2^2}{n_2} + \dots + \frac{r_a^2}{n_a} - CF$$

で表わす。 S_A の自由度は

$$df = a - 1$$

である。

誤差分散は

$$S_e = S_T - CF - S_A$$

となり、自由度は

$$df = N - a$$

となる。

各々の分散を自由度で除したものが変動であり、

$$V_m = CF$$

*) 田口玄一「統計解析」丸善

$$V_A = S_A / (a - 1)$$

$$V_e = S_e / (N - a)$$

$$F_0 = V_A / V_e$$

となり, F_0 によってグループ間の有意差を検定する。

以上を次の表の形に整理するとわかりやすい。

この F_0 の値がF表の値より大きければグループ間に有意差がある(要因としてとりあげる意味がある)と判定することにする。

分散分析表

要因	df	S	V	F_0
m	1	CF	CF	F_0
A	a - 1	S_A	V_A	
e	N - a	S_e	V_e	
T	N	S_T		

例, 参考資料-1の調査を実施したときのデータを流域の地質によって分類すると次の表のようになった。これによって, 地質の違いが土石流の発生, 非発生に関係するかどうかを調べてみる。

表 流域の地質と土石流

区分	水準	第3紀層 (A_1)	広島型花崗岩(A_2)	領家花崗岩類(A_3)	合計
土石流発生		5 ($=r_1$)	34 (r_2)	19 (r_3)	58 ($=R$)
土石流非発生		45	58	42	145
合計		50 ($=n_1$)	92 (n_2)	61 (n_3)	203 ($=N$)

$$S_T = R = 58$$

(自由度 203)

$$CF = \frac{R^2}{N} = \frac{58^2}{203} = 16.571$$

(自由度 1)

$$S_A = \frac{r_1^2}{n_1} + \frac{r_2^2}{n_2} + \frac{r_3^2}{n_3} - CF = \frac{5^2}{50} + \frac{34^2}{92} + \frac{19^2}{61} - 16.571 = 2.412$$

(自由度 2)

$$S_E = S_T - CF - S_A = 58 - 16.571 - 2.412 = 39.019$$

(自由度 200)

$$V_A = S_A / (a - 1) = 2.412 / 2 = 1.206$$

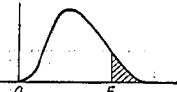
$$V_e = S_E / (N - a) = 39.019 / 200 = 0.195$$

$$F_0 = V_A / V_e = 1.206 / 0.195 = 6.185$$

要因	自由度	振動	分散	分散比
m	1	16.571	16.571	6.185 **
A	2	2.412	1.206	
e	200	39.019	0.195	
T	203	58		

F-表によって危険率1%の値を調べると, 3.88であるから, 地質の相違が土石流の発生・非発生に関係があると結論することが間違いない確率は1%以下であることがわかる。

F 表



細字はF分布の5%点
太字はF分布の1%点

分子の分散の自由度 n_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	∞	
1	161 4052	200 4999	228 6003	255 6764	280 7684	304 8489	327 9122	350 9699	372 10212	394 10672	416 11092	438 11472	460 11812	482 12112	504 12382	526 12622	548 12832	570 13012	592 13172	614 13312	636 13432	658 13542	680 13642	702 13732	724 13812
2	18.51 99.49	19.00 99.17	19.16 99.25	19.30 99.33	19.43 99.38	19.56 99.36	19.67 99.34	19.78 99.31	19.88 99.28	19.97 99.25	20.06 99.22	20.14 99.19	20.22 99.16	20.29 99.13	20.36 99.10	20.43 99.07	20.50 99.04	20.56 99.01	20.62 98.98	20.68 98.95	20.74 98.92	20.79 98.89	20.84 98.86	20.89 98.83	20.94 98.80
3	10.13 34.12	9.55 30.81	9.23 29.46	9.12 28.71	9.01 28.24	8.94 27.91	8.88 27.67	8.84 27.49	8.81 27.34	8.79 27.23	8.77 27.13	8.75 27.06	8.74 27.00	8.73 26.94	8.72 26.88	8.71 26.82	8.70 26.76	8.69 26.70	8.68 26.64	8.67 26.58	8.66 26.52	8.65 26.46	8.64 26.40	8.63 26.34	8.62 26.28
4	7.71 21.20	6.94 18.69	6.59 16.99	6.36 15.99	6.16 15.32	6.00 15.21	5.86 14.99	5.74 14.80	5.63 14.66	5.53 14.54	5.44 14.44	5.36 14.37	5.29 14.24	5.22 14.15	5.16 14.02	5.10 13.83	5.04 13.74	4.98 13.69	4.92 13.61	4.86 13.53	4.80 13.47	4.74 13.41	4.68 13.35	4.62 13.29	4.56 13.23
5	6.61 16.25	5.79 13.27	5.41 12.06	5.19 11.39	5.03 10.97	4.95 10.67	4.88 10.45	4.82 10.27	4.76 10.15	4.70 10.05	4.64 9.98	4.58 9.91	4.52 9.84	4.46 9.77	4.40 9.70	4.34 9.63	4.28 9.56	4.22 9.49	4.16 9.42	4.10 9.35	4.04 9.28	3.98 9.21	3.92 9.14	3.86 9.07	3.80 9.00
6	5.99 12.59	5.14 9.65	4.76 8.46	4.53 7.95	4.39 7.48	4.28 7.19	4.21 6.94	4.15 6.71	4.10 6.50	4.06 6.32	4.03 6.16	4.00 6.02	3.98 5.88	3.96 5.75	3.94 5.62	3.92 5.50	3.90 5.38	3.88 5.26	3.86 5.14	3.84 5.02	3.82 4.90	3.80 4.78	3.78 4.66	3.76 4.54	3.74 4.42
7	5.32 11.28	4.46 8.65	4.07 7.59	3.84 7.01	3.69 6.63	3.58 6.37	3.50 6.19	3.44 6.03	3.39 5.91	3.34 5.82	3.31 5.74	3.28 5.67	3.26 5.60	3.24 5.53	3.22 5.46	3.20 5.39	3.18 5.32	3.16 5.26	3.14 5.20	3.12 5.14	3.10 5.08	3.08 5.02	3.06 4.96	3.04 4.90	3.02 4.84
8	5.12 10.68	4.26 8.02	3.86 6.99	3.63 6.42	3.48 6.06	3.37 5.80	3.29 5.62	3.23 5.47	3.18 5.35	3.13 5.25	3.10 5.18	3.10 5.11	3.07 5.06	3.05 5.00	3.02 4.92	3.00 4.84	2.98 4.76	2.96 4.68	2.94 4.61	2.92 4.54	2.90 4.48	2.88 4.41	2.86 4.35	2.84 4.29	2.82 4.23
9	4.96 10.04	4.10 7.66	3.71 6.55	3.48 6.03	3.33 5.64	3.22 5.39	3.14 5.21	3.07 5.06	3.02 4.95	2.97 4.86	2.94 4.78	2.91 4.71	2.88 4.63	2.86 4.56	2.84 4.49	2.82 4.42	2.80 4.35	2.78 4.28	2.76 4.21	2.74 4.14	2.72 4.07	2.70 4.00	2.68 3.93	2.66 3.86	2.64 3.80
10	4.84 9.84	3.98 7.20	3.59 6.22	3.36 5.67	3.20 5.32	3.09 5.07	3.01 4.88	2.95 4.74	2.90 4.63	2.86 4.54	2.82 4.46	2.79 4.40	2.76 4.33	2.74 4.26	2.72 4.19	2.70 4.12	2.68 4.05	2.66 3.98	2.64 3.91	2.62 3.84	2.60 3.77	2.58 3.70	2.56 3.63	2.54 3.56	2.52 3.50
11	4.75 9.33	3.89 6.93	3.50 6.03	3.27 5.41	3.11 5.06	3.00 4.82	2.92 4.65	2.85 4.49	2.80 4.39	2.75 4.30	2.72 4.22	2.69 4.16	2.66 4.09	2.64 4.02	2.62 3.95	2.60 3.88	2.58 3.81	2.56 3.74	2.54 3.67	2.52 3.60	2.50 3.53	2.48 3.46	2.46 3.39	2.44 3.32	2.42 3.25
12	4.67 9.07	3.81 6.70	3.41 5.74	3.18 5.20	3.02 4.85	2.92 4.62	2.85 4.44	2.79 4.30	2.74 4.19	2.70 4.10	2.67 4.02	2.64 3.95	2.62 3.88	2.60 3.81	2.58 3.74	2.56 3.67	2.54 3.60	2.52 3.53	2.50 3.46	2.48 3.39	2.46 3.32	2.44 3.25	2.42 3.18	2.40 3.11	2.38 3.04
13	4.60 8.96	3.74 6.51	3.34 5.60	3.11 5.06	2.95 4.69	2.85 4.46	2.77 4.28	2.71 4.14	2.66 4.03	2.62 3.94	2.59 3.86	2.56 3.79	2.54 3.72	2.52 3.65	2.50 3.58	2.48 3.51	2.46 3.44	2.44 3.37	2.42 3.30	2.40 3.23	2.38 3.16	2.36 3.09	2.34 3.02	2.32 2.95	2.30 2.88
14	4.54 8.68	3.68 6.36	3.29 5.40	3.06 4.86	2.90 4.49	2.79 4.26	2.71 4.14	2.65 4.00	2.60 3.89	2.55 3.80	2.51 3.72	2.48 3.65	2.46 3.58	2.44 3.51	2.42 3.44	2.40 3.37	2.38 3.30	2.36 3.23	2.34 3.16	2.32 3.09	2.30 3.02	2.28 2.95	2.26 2.88	2.24 2.81	2.22 2.74
15	4.49 8.53	3.63 6.22	3.24 5.29	3.01 4.75	2.85 4.38	2.74 4.14	2.66 3.99	2.59 3.89	2.54 3.78	2.50 3.69	2.46 3.61	2.43 3.54	2.40 3.47	2.38 3.40	2.36 3.33	2.34 3.26	2.32 3.19	2.30 3.12	2.28 3.05	2.26 2.98	2.24 2.91	2.22 2.84	2.20 2.77	2.18 2.70	2.16 2.63
16	4.45 8.40	3.59 6.11	3.20 5.18	2.97 4.64	2.81 4.27	2.70 4.03	2.62 3.88	2.55 3.79	2.50 3.69	2.45 3.61	2.41 3.54	2.38 3.47	2.35 3.40	2.32 3.33	2.30 3.26	2.28 3.19	2.26 3.12	2.24 3.05	2.22 2.98	2.20 2.91	2.18 2.84	2.16 2.77	2.14 2.70	2.12 2.63	2.10 2.56
17	4.41 8.28	3.55 6.01	3.16 5.09	2.93 4.55	2.77 4.18	2.66 3.94	2.58 3.79	2.51 3.71	2.46 3.63	2.41 3.54	2.37 3.47	2.34 3.40	2.31 3.33	2.28 3.26	2.25 3.19	2.22 3.12	2.20 3.05	2.18 2.98	2.16 2.91	2.14 2.84	2.12 2.77	2.10 2.70	2.08 2.63	2.06 2.56	2.04 2.49
18	4.38 8.18	3.52 5.93	3.13 5.01	2.90 4.47	2.74 4.10	2.63 3.86	2.55 3.71	2.48 3.63	2.43 3.54	2.38 3.46	2.34 3.38	2.31 3.30	2.28 3.23	2.25 3.16	2.22 3.09	2.20 3.02	2.18 2.95	2.16 2.88	2.14 2.81	2.12 2.74	2.10 2.67	2.08 2.60	2.06 2.53	2.04 2.46	2.02 2.39
19	4.34 8.08	3.49 5.88	3.10 4.96	2.87 4.42	2.71 4.05	2.60 3.81	2.52 3.66	2.45 3.58	2.40 3.49	2.35 3.41	2.31 3.34	2.28 3.27	2.25 3.20	2.22 3.13	2.20 3.06	2.18 2.99	2.16 2.92	2.14 2.85	2.12 2.78	2.10 2.71	2.08 2.64	2.06 2.57	2.04 2.50	2.02 2.43	2.00 2.36
20	4.32 8.02	3.47 5.82	3.07 4.90	2.84 4.36	2.68 3.99	2.57 3.75	2.49 3.60	2.42 3.52	2.37 3.43	2.32 3.34	2.28 3.26	2.25 3.19	2.22 3.12	2.20 3.05	2.18 2.98	2.16 2.91	2.14 2.84	2.12 2.77	2.10 2.70	2.08 2.63	2.06 2.56	2.04 2.47	2.02 2.40	2.00 2.33	1.98 2.26
21	4.30 7.94	3.45 5.72	3.05 4.82	2.82 4.28	2.66 3.91	2.55 3.67	2.47 3.52	2.40 3.44	2.35 3.35	2.30 3.26	2.26 3.18	2.23 3.10	2.20 3.03	2.18 2.96	2.16 2.89	2.14 2.82	2.12 2.75	2.10 2.68	2.08 2.61	2.06 2.54	2.04 2.46	2.02 2.39	2.00 2.31	1.98 2.22	1.96 2.15
22	4.28 7.88	3.43 5.66	3.03 4.76	2.80 4.24	2.64 3.84	2.53 3.61	2.45 3.46	2.38 3.38	2.33 3.30	2.28 3.24	2.24 3.16	2.21 3.07	2.18 2.99	2.16 2.92	2.14 2.85	2.12 2.78	2.10 2.71	2.08 2.64	2.06 2.57	2.04 2.50	2.02 2.43	2.00 2.36	1.98 2.29	1.96 2.22	1.94 2.17
23	4.26 7.82	3.41 5.60	3.01 4.70	2.78 4.18	2.62 3.82	2.51 3.51	2.43 3.43	2.36 3.36	2.31 3.28	2.26 3.22	2.22 3.14	2.19 3.06	2.16 2.99	2.14 2.92	2.12 2.85	2.10 2.78	2.08 2.71	2.06 2.68	2.04 2.61	2.02 2.58	2.00 2.49	1.98 2.44	1.96 2.37	1.94 2.32	1.92 2.23
24	4.24 7.77	3.39 5.54	2.99 4.64	2.76 4.16	2.60 3.80	2.49 3.63	2.41 3.46	2.34 3.38	2.29 3.32	2.24 3.24	2.20 3.17	2.17 3.10	2.14 3.07	2.12 2.99	2.10 2.91	2.08 2.84	2.06 2.77	2.04 2.70	2.02 2.63	2.00 2.56	1.98 2.49	1.96 2.41	1.94 2.38	1.92 2.25	1.90 2.15
25	4.22 7.72	3.37 5.52	2.97 4.64	2.74 4.14	2.58 3.82	2.47 3.59	2.39 3.42	2.32 3.34	2.27 3.27	2.22 3.19	2.18 3.12	2.15 3.05	2.12 2.98	2.10 2.91	2.08 2.84	2.06 2.77	2.04 2.70	2.02 2.63	2.00 2.56	1.98 2.49	1.96 2.41	1.94 2.38	1.92 2.28	1.90 2.19	1.88 2.15

F 表 (つづき)

細字は F 分布の 5% 点

大字は F 分布の 1% 点

分子の分散 の自由度	分 子 の 分 散											の 自 由 度 n_1													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	∞	
27	4.21	3.35	2.90	2.73	2.57	2.46	2.37	2.30	2.25	2.20	2.16	2.13	2.08	2.03	1.97	1.93	1.88	1.84	1.80	1.76	1.74	1.71	1.68	1.67	1.66
28	7.58	5.49	4.60	4.11	3.79	3.56	3.39	3.25	3.14	3.06	2.98	2.93	2.83	2.74	2.63	2.55	2.47	2.38	2.33	2.28	2.21	2.16	2.12	2.10	2.09
29	7.64	5.48	4.57	4.07	3.76	3.53	3.36	3.23	3.11	3.03	2.95	2.90	2.80	2.71	2.60	2.52	2.44	2.35	2.30	2.22	2.18	2.13	2.09	2.06	2.05
30	4.17	3.33	2.93	2.70	2.54	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.05	2.00	1.94	1.90	1.85	1.80	1.77	1.73	1.71	1.69	1.66	1.65	
31	7.60	5.52	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.03	2.95	2.87	2.82	2.72	2.63	2.52	2.45	2.37	2.28	2.23	2.15	2.10	2.06	2.02	2.00	1.99
32	4.18	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.34	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.04	1.99	1.93	1.89	1.84	1.79	1.76	1.72	1.69	1.66	1.64	1.62	1.61
33	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.06	2.98	2.90	2.84	2.74	2.65	2.55	2.47	2.38	2.29	2.24	2.16	2.13	2.07	2.03	2.01	2.00
34	4.13	3.30	2.90	2.67	2.51	2.40	2.32	2.25	2.19	2.14	2.10	2.07	2.02	1.97	1.91	1.86	1.82	1.78	1.74	1.71	1.67	1.64	1.61	1.59	1.58
35	7.45	5.34	4.46	3.97	3.66	3.42	3.25	3.12	3.01	2.92	2.86	2.76	2.67	2.57	2.47	2.42	2.34	2.25	2.20	2.12	2.09	2.05	2.00	1.98	1.97
36	4.10	3.25	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.96	1.92	1.85	1.80	1.76	1.71	1.67	1.63	1.60	1.57	1.54	1.53	1.52
37	7.37	5.16	4.30	3.81	3.50	3.28	3.11	3.02	2.91	2.82	2.75	2.68	2.58	2.49	2.41	2.40	2.35	2.28	2.22	2.14	2.08	2.00	1.94	1.88	1.84
38	4.11	3.23	2.86	2.63	2.48	2.35	2.28	2.21	2.15	2.10	2.06	2.03	1.98	1.93	1.87	1.82	1.78	1.73	1.69	1.65	1.61	1.59	1.55	1.53	1.52
39	7.39	5.25	4.38	3.89	3.58	3.35	3.18	3.04	2.94	2.86	2.78	2.72	2.62	2.54	2.43	2.35	2.26	2.17	2.12	2.04	1.97	1.90	1.84	1.78	1.74
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.07	2.04	2.00	1.95	1.90	1.84	1.79	1.74	1.69	1.65	1.61	1.59	1.55	1.53	1.51	1.50
41	7.31	5.19	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.80	2.73	2.66	2.56	2.49	2.37	2.29	2.21	2.05	1.97	1.94	1.88	1.84	1.78	1.73	1.70
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.02	1.99	1.94	1.89	1.82	1.78	1.73	1.68	1.64	1.60	1.57	1.54	1.51	1.49	1.48
43	7.27	5.16	4.29	3.80	3.49	3.26	3.10	2.96	2.86	2.77	2.70	2.64	2.54	2.46	2.35	2.26	2.17	2.08	2.02	1.94	1.91	1.86	1.80	1.76	1.73
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.92	1.88	1.81	1.76	1.72	1.66	1.63	1.58	1.56	1.52	1.50	1.48	1.47
45	7.24	5.12	4.25	3.76	3.45	3.24	3.07	2.94	2.84	2.75	2.68	2.62	2.52	2.44	2.32	2.24	2.15	2.06	2.00	1.92	1.88	1.82	1.76	1.71	1.68
46	4.05	3.20	2.81	2.57	2.42	2.30	2.22	2.15	2.08	2.04	2.00	1.97	1.91	1.87	1.80	1.75	1.71	1.65	1.62	1.57	1.54	1.51	1.48	1.46	1.45
47	7.21	5.10	4.24	3.75	3.44	3.22	3.05	2.92	2.82	2.73	2.66	2.59	2.49	2.42	2.30	2.22	2.13	2.04	1.98	1.90	1.86	1.80	1.74	1.70	1.67
48	4.04	3.19	2.80	2.56	2.41	2.30	2.21	2.14	2.08	2.03	1.99	1.95	1.90	1.86	1.79	1.74	1.70	1.64	1.61	1.56	1.53	1.50	1.47	1.45	1.44
49	7.19	5.08	4.22	3.74	3.43	3.20	3.04	2.90	2.80	2.71	2.64	2.58	2.48	2.40	2.28	2.20	2.11	2.02	1.96	1.88	1.84	1.78	1.73	1.70	1.68
50	4.03	3.18	2.79	2.55	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.02	1.98	1.95	1.90	1.85	1.77	1.74	1.69	1.63	1.60	1.55	1.52	1.48	1.44	1.41	1.40
51	7.17	5.06	4.20	3.72	3.41	3.18	3.02	2.88	2.78	2.72	2.66	2.59	2.49	2.39	2.28	2.19	2.10	2.00	1.94	1.86	1.82	1.76	1.71	1.68	1.66
52	4.02	3.17	2.78	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.05	2.00	1.96	1.93	1.88	1.83	1.76	1.72	1.67	1.61	1.58	1.52	1.48	1.43	1.41	1.39	1.38
53	7.12	5.01	4.15	3.66	3.37	3.15	2.98	2.85	2.75	2.68	2.62	2.55	2.45	2.35	2.23	2.15	2.06	1.98	1.90	1.82	1.77	1.69	1.64	1.59	1.56
54	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.86	1.81	1.75	1.70	1.65	1.59	1.56	1.50	1.48	1.44	1.41	1.39	1.38
55	7.09	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.65	2.59	2.52	2.42	2.32	2.20	2.12	2.03	1.93	1.87	1.79	1.74	1.68	1.63	1.59	1.57
56	4.00	3.14	2.75	2.51	2.35	2.24	2.15	2.08	2.02	1.98	1.94	1.90	1.85	1.80	1.73	1.68	1.63	1.57	1.54	1.49	1.46	1.42	1.39	1.37	1.36
57	7.04	4.95	4.10	3.62	3.31	3.09	2.93	2.79	2.70	2.61	2.54	2.47	2.37	2.30	2.18	2.09	2.00	1.90	1.84	1.76	1.71	1.64	1.60	1.56	1.54
58	4.00	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.01	1.97	1.93	1.89	1.84	1.79	1.72	1.67	1.62	1.56	1.53	1.47	1.45	1.40	1.37	1.35	1.34
59	7.01	4.92	4.06	3.58	3.29	3.07	2.91	2.77	2.67	2.59	2.51	2.45	2.35	2.28	2.15	2.07	1.98	1.88	1.82	1.74	1.69	1.62	1.56	1.51	1.49
60	4.00	3.12	2.73	2.48	2.33	2.21	2.12	2.05	1.99	1.95	1.91	1.87	1.82	1.77	1.70	1.65	1.60	1.54	1.51	1.45	1.42	1.38	1.35	1.33	1.32
61	6.98	4.89	4.04	3.56	3.25	3.04	2.87	2.74	2.64	2.55	2.48	2.41	2.32	2.24	2.11	2.03	1.94	1.84	1.78	1.70	1.65	1.57	1.52	1.47	1.45
62	4.00	3.09	2.70	2.45	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.83	1.79	1.75	1.68	1.63	1.57	1.51	1.48	1.42	1.39	1.34	1.30	1.28	1.27
63	6.94	4.82	3.98	3.51	3.20	2.99	2.82	2.69	2.59	2.51	2.43	2.36	2.28	2.19	2.06	1.98	1.89	1.79	1.73	1.64	1.60	1.51	1.48	1.43	1.41
64	4.00	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.77	1.72	1.65	1.60	1.53	1.49	1.43	1.39	1.36	1.31	1.27	1.25	1.24
65	6.94	4.78	3.94	3.47	3.17	2.96	2.79	2.65	2.56	2.47	2.40	2.33	2.25	2.16	2.03	1.94	1.85	1.75	1.69	1.60	1.56	1.49	1.44	1.37	1.35
66	4.00	3.06	2.67	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.76	1.71	1.64	1.59	1.54	1.47	1.44	1.37	1.34	1.29	1.25	1.22	1.21
67	6.91	4.75	3.91	3.44	3.13	2.92	2.76	2.62	2.53	2.44	2.37	2.30	2.20	2.12	2.00	1.91	1.83	1.72	1.66	1.58	1.51	1.45	1.38	1.33	1.30
68	4.00	3.04	2.65	2.41	2.25	2.14	2.05	1.98	1.92	1.87	1.83	1.80	1.74	1.69	1.62	1.57	1.52	1.45	1.42	1.35	1.32	1.27	1.23	1.20	1.19
69	6.88	4.71	3.88	3.41	3.11	2.90	2.73	2.60	2.50	2.41	2.34	2.27	2.17	2.09	1.97	1.88	1.79	1.69	1.63	1.53	1.48	1.39	1.33	1.28	1.26
70	4.00	3.02	2.62	2.38	2.23	2.12	2.03	1.96	1.90	1.85	1.81	1.78	1.72	1.67	1.60	1.54	1.49	1.42	1.38	1.32	1.28	1.22	1.16	1.13	1.12
71	6.70	4.66	3.83	3.36	3.06	2.85	2.69	2.55	2.45	2.37	2.29	2.23	2.12	2.04	1.92	1.84	1.74	1.64	1.57	1.47	1.42	1.32	1.24	1.18	1.16
72	4.00	3.00	2.61	2.38	2.22	2.10	2.02	1.95	1.89	1.84	1.80	1.76	1.70	1.65	1.58	1.53	1.47	1.41	1.36	1.30	1.26	1.19	1.13	1.10	1.09
73	6.66	4.62	3.80	3.34	3.04	2.82	2.66	2.53	2.43	2.34	2.26	2.17	2.09	1.99	1.89	1.81	1.71	1.61	1.54	1.44	1.38	1.29	1.19	1.13	1.11
74	4.00	3.00	2.60	2.37	2.21	2.09	2.01	1.94	1.88	1.83	1.79	1.74	1.69	1.64	1.57	1.52	1.46	1.40	1.35	1.28	1.24	1.17	1.11	1.08	1.07
75	6.64	4.59	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32	2.24	2.16	2.07	1.99	1.87	1.79	1.69	1.59	1.52	1.41	1.36	1.26	1.15	1.09	1.06
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	∞	

第3段階 水準区分の数量化

各要因の水準の数量化を行う。即ち各水準に土石流の発生しやすいものほど大きくなるような数値をあたえる。

そのため次のような度数表を作成し、数量化値 x_k を求める。

表 カテゴリー因子の数量化のための度数表

カテゴリー	1	2	3	4	5	6	計
連続数量	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	
ケース A	f_{A1}	f_{A2}	f_{A3}	f_{A4}	f_{A5}	f_{A6}	f_A
ケース B	f_{B1}	f_{B2}	f_{B3}	f_{B4}	f_{B5}	f_{B6}	f_B
計	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	N

$$x_1 = C \left(\frac{f_{A1}}{f_A} - \frac{f_{B1}}{f_B} \right) / (f_{A1} + f_{B1})$$

$$x_2 = C \left(\frac{f_{A2}}{f_A} - \frac{f_{B2}}{f_B} \right) / (f_{A2} + f_{B2})$$

.....

$$x_6 = C \left(\frac{f_{A6}}{f_A} - \frac{f_{B6}}{f_B} \right) / (f_{A6} + f_{B6})$$

即ち、ある要因の k 番目の水準に対応する数量化 x_k は

$$x_k = C \left(\frac{f_{A^k}}{f_A} - \frac{f_{B^k}}{f_B} \right) / (f_{A^k} + f_{B^k})$$

であたえられる。

定数 C には意味がなく、 x_k の値を扱いやすい値にするためだけのものであるから、どんな数値を用いてもよい。但し、同一の要因に対しては同一の数値でなければならない。

例、次のようなデータが得られたとする。

表 流域の地質と土石流

区分 \ 水準	第3紀層 (A_1)	広島型花崗岩 (A_2)	領家花崗岩類 (A_3)	合計
土石流発生	5	34	19	58
土石流非発生	45	58	42	145
合計	50	92	61	203

$$x_1 = (5/58 - 45/145)/50 = -0.004482$$

$$x_2 = (34/58 - 58/145)/92 = 0.002029$$

$$x_3 = (19/58 - 42/145)/61 = 0.006218$$

取り扱いの容易なように $C = 100$ とすると

$$x_1 = -0.4482 \quad x_2 = 0.2029 \quad x_3 = 0.6218$$

となる。

同様にして全ての要因の全ての水準の数量化値を計算する。

第4段階 係数の決定

判別関数が

$$L = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_p x_p$$

で表わされると考えて、 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$ を求める。

ここで x_i はある溪流の要因 i のその溪流に対応する水準の数量化値である。

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$ を求めるため、次のような表を作成する。群 L_A は土石流発生溪流のデータであり、群 L_B は土石流非発生溪流のデータである。

ここで $x_{\alpha i}$ は α 番目の溪流の i 番目の要因のその溪流に対応する水準の数量化値である。

これより、次の統計量を計算する。

$$\text{平均: } \bar{x}_i^{(A)} = \sum_{\alpha=1}^{n_1} x_{\alpha i}^{(A)} / n_1, \quad \bar{x}_i^{(B)} = \sum_{\beta=1}^{n_2} x_{\beta i}^{(B)} / n_2$$

$$\bar{x}_i = (\bar{x}_i^{(A)} + \bar{x}_i^{(B)}) / 2, \quad d_i = \bar{x}_i^{(A)} - \bar{x}_i^{(B)}$$

$$(i = 1, 2, \dots, p)$$

群内平方和・積和:

$$S_{ii'} = \sum_{\alpha=1}^{n_1} (x_{\alpha i}^{(A)} - \bar{x}_i^{(A)}) (x_{\alpha i'}^{(A)} - \bar{x}_{i'}^{(A)}) + \sum_{\beta=1}^{n_2} (x_{\beta i}^{(B)} - \bar{x}_i^{(B)}) (x_{\beta i'}^{(B)} - \bar{x}_{i'}^{(B)})$$

$$\dots\dots\dots (5) \quad (i, i' = 1, 2, \dots, p)$$

群内分散・共分散

$$V_{ii'} = S_{ii'} / (n_1 + n_2 - 2)$$

こうして得られた値によって、 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$ を求める正規方程式をつくることができる。

$$\alpha_1 V_{11} + \alpha_2 V_{12} + \dots + \alpha_p V_{1p} = d_1$$

$$\alpha_1 V_{21} + \alpha_2 V_{22} + \dots + \alpha_p V_{2p} = d_2$$

$$\alpha_1 V_{p1} + \alpha_2 V_{p2} + \dots + \alpha_p V_{pp} = d_p$$

表 2 群の判別のためのデータ

要 因		x_1	x_2	x_i	x_p
群	1	$x_{11}^{(A)}$	$x_{12}^{(A)}$	$x_{1i}^{(A)}$	$x_{1p}^{(A)}$
	2	$x_{21}^{(A)}$	$x_{22}^{(A)}$	$x_{2i}^{(A)}$	$x_{2p}^{(A)}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	α	$x_{\alpha 1}^{(A)}$	$x_{\alpha 2}^{(A)}$	$x_{\alpha i}^{(A)}$	$x_{\alpha p}^{(A)}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	n_1	$x_{n_1 1}^{(A)}$	$x_{n_1 2}^{(A)}$	$x_{n_1 i}^{(A)}$	$x_{n_1 p}^{(A)}$
	平 均	$\bar{x}_1^{(A)}$	$\bar{x}_2^{(A)}$	$\bar{x}_i^{(A)}$	$\bar{x}_p^{(A)}$
群	1	$x_{11}^{(B)}$	$x_{12}^{(B)}$	$x_{1i}^{(B)}$	$x_{1p}^{(B)}$
	2	$x_{21}^{(B)}$	$x_{22}^{(B)}$	$x_{2i}^{(B)}$	$x_{2p}^{(B)}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	β	$x_{\beta 1}^{(B)}$	$x_{\beta 2}^{(B)}$	$x_{\beta i}^{(B)}$	$x_{\beta p}^{(B)}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	n_2	$x_{n_2 1}^{(B)}$	$x_{n_2 2}^{(B)}$	$x_{n_2 i}^{(B)}$	$x_{n_2 p}^{(B)}$
	平 均	$\bar{x}_1^{(B)}$	$\bar{x}_2^{(B)}$	$\bar{x}_i^{(B)}$	$\bar{x}_p^{(B)}$

※ 要因を水準区分した場合には、 x_α は、水準区分の個数分の種類の値だけしかとらない。

これは行列を用いて

$$V\alpha = d$$

と表わせる。

ここで

$$V = \begin{vmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{1P} \\ V_{21} & V_{22} & V_{2P} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ V_{P1} & V_{P2} & V_{PP} \end{vmatrix} \quad \alpha = \begin{vmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_P \end{vmatrix} \quad d = \begin{vmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_P \end{vmatrix}$$

である。

V の逆行列を V^{-1} とすると、解 α の行列は

$$\alpha = V^{-1} d$$

となるので、行列演算のできる計算機であれば極く簡単に α を求めることができる。

第5段階 要因・水準毎の判別得点の決定

判別得点を求める。

i 番目の要因の j 番目の判別得点 p_{ij} は

$$p_{ij} = \alpha_i x_{ij}$$

で計算できる。

しかし、判別得点 L の境界値を0に近い数値にしたときは

$$p_{ij} = \alpha_i \times \left(x_{ij} - \frac{d_i}{2} \right)$$

とする。

こうして判別関数

$$L_i = \sum_{j=1}^P p_{ij}$$

が得られる。 p_{ij} は i 番目の要因のその溪流に対応する j 番目の水準の数量化値である。

第6段階 境界値の決定

前段階で判別関数

$$L = p_1 + p_2 + \cdots + p_p$$

を得たので境界値を計算する。

境界値は全サンプルの L の値の平均値である。

$$L_c = \frac{\sum^P}{n_1 + n_2}$$

第7段階 判定

判別関数によって、土石流発生危険渓流を判定する。

ある渓流の L の値が境界値より大きければ危険と判定する。小さければ安全と判定する。

第8段階 適中率の算定

適中率を計算する。

判定の適中したサンプル数を全サンプル数で除する。 E を適中率とすると

$$E = \frac{n_A + n_B}{n_1 + n_2} \times 100 \quad (\%)$$

n_1 : 土石流発生サンプル数

n_2 : " 非 "

n_A : 危険と判定され、かつ実際に土石流が発生している渓流数

n_B : 実際に土石流が発生していない渓流のうち安全と判定された数