

参考資料

土石流が尾根を乗り越えて流下する危険に関する調査事例

参考資料の内容

(1) 記載内容と目的

「火山地域で発生する土石流が尾根を乗り越える危険に関する調査要領（試行案）」（以下、調査要領（試行案）と言う）をとりまとめるにあたり、伊豆大島のほかに、北海道駒ヶ岳、岩手山、草津白根山、富士山、霧島山（以下、5火山と言う）を加え、事例調査を行って第2～3章を検討した。これらの火山での調査手法や調査結果は、調査要領（試行案）第2章、第3章の記載内容を検討する際に参考になるものと考えられる。そこで、調査の手法と結果を次に示す参考資料1～3に分けて整理した。

参考資料1 流路周辺の起伏量の調査事例

参考資料2 伊豆大島大金沢における土石流が尾根を乗り越えて流下する危険性のある地点の評価・抽出事例

参考資料3 5火山における抽出された危険性のある地点の地形量の統計的な整理

参考資料1は、伊豆大島のほか5火山で実施した流路周辺の起伏量の調査事例を示した。調査要領（試行案）第2章の溪流の開析状況の調査を行う際に参考となる。

参考資料2は、伊豆大島大金沢において尾根を乗り越えて流下する危険性のある地点の評価・抽出結果と平成25年の実際に尾根を乗り越えた実績との対比検討を行った結果を示した。調査要領（試行案）第3章の土石流が尾根を乗り越えて流下する危険性のある地点の抽出を行う際に参考となる。

参考資料3は、5火山で抽出された尾根を乗り越えて流下する危険性のある地点の地形量を統計的に整理した結果を示した。調査要領（試行案）第2章の溪流の開析状況の調査を行う際に参考となる。



平成25年に伊豆大島で発生した土石流の状況

(2) 5火山の地形・地質的特性の概要

本参考資料で扱っている北海道駒ヶ岳、岩手山、草津白根山、富士山、霧島山の5火山の地形・地質的特性は参考表-1に示すとおりである。参考資料1、2を活用する際には、各火山の地形・地質的特性の類似性や相違を理解しておく必要がある。

参考表-1 検討対象5火山の特性

	地形・地質的特性※1	噴火回数※2	溶岩流出回数※2
北海道駒ヶ岳	火砕流堆積物が広く分布し、火山麓には火山岩塊・礫・火山灰・砂などからなる扇状地堆積物も発達している。	19回	0回
富士山	噴火頻度が高く、様々な年代の溶岩が折り重なるように地形を形成している。山体規模が大きく、各流域の集水域面積も大きい。	100回以上	80回以上
岩手山	比較的溶岩年代の新しいエリアが北東部に分布する。西部および南部は比較的発達した谷形状を形成している。	36回	5回
草津白根山	山体の開析が進んでおり、深い谷が分布している。近年の噴火活動は水蒸気爆発に限られる。	25回	2回
霧島山	約20の火山体から構成され、大きく年代の異なる溶岩地形が分布している。また、噴火頻度も高い。	100回以上	18回

※1: 日本活火山総覧第4版(気象庁)

※2: 1万年噴火イベントデータ集 ver. 2.2(国立研究開発法人産業技術総合研究所)

(3) 参考資料で扱う地形量

本参考資料で扱っている地形量等と算出方法は、参考表-2に示すとおりである。

参考表-2 地形量と算出方法

地形量	算出方法
起伏量	DEMデータの3×3メッシュ四方内での最大標高値と最小標高値の差
流路周辺の起伏量	流路幅とみなすバッファ幅内のメッシュの起伏量の平均値 GISにより流路データを作成し、谷次数、合流点、湾曲、勾配をもとに区分した流路区間毎に算出
湾曲角	上流側の流路と下流側の流路との差角
上流勾配	湾曲点上流の流路区間の溪床勾配
集水域面積	湾曲点上流の集水域面積
尾根高さ	各湾曲点の上流の流路を下流に延長した直線を測線として設定した縦断図の最小河床標高と尾根頂部の標高の差 設定した測線の近傍における、より低い高さの尾根となりうる地形に留意し、必要に応じ測線を再設定

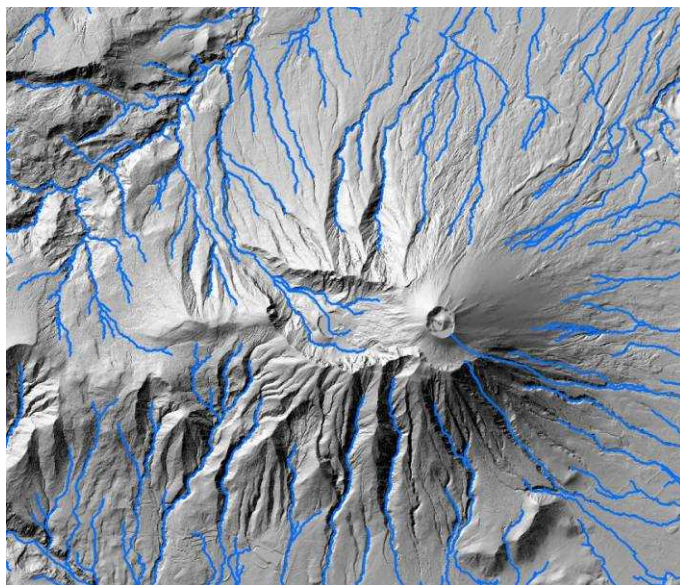
参考資料 1 流路周辺の起伏量の調査事例

1. 1 調査方法

流路周辺の起伏量を求めて地形の開析状況を評価した。調査は以下に示す手順により行った。

(1) 流路（水系網）データの作成

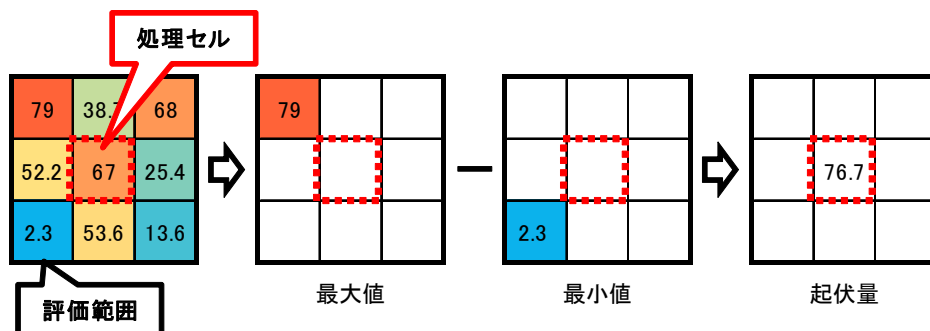
各火山の流路としての谷地形を一定程度表現し得るメッシュサイズとして 5 m 間隔の DEM データを用いて、GIS による水文解析等により流路データを作成した（参考図-1）。作成した流路は必要に応じ単純化等の処理を行った。



参考図-1 流路図

(2) 起伏量の算出

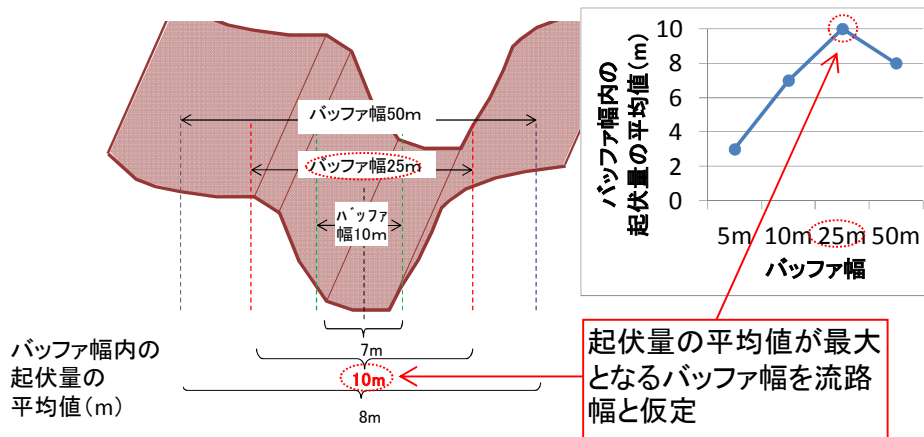
起伏量は「単位面積内の最高点と最低点の高度差」とし、「5 m メッシュの DEM データの 3 × 3 メッシュ四方内での最大標高値と最小標高値の差」を算出した（参考図-2）。



参考図-2 起伏量の算出方法

(3) 流路区間の設定と流路幅の推定

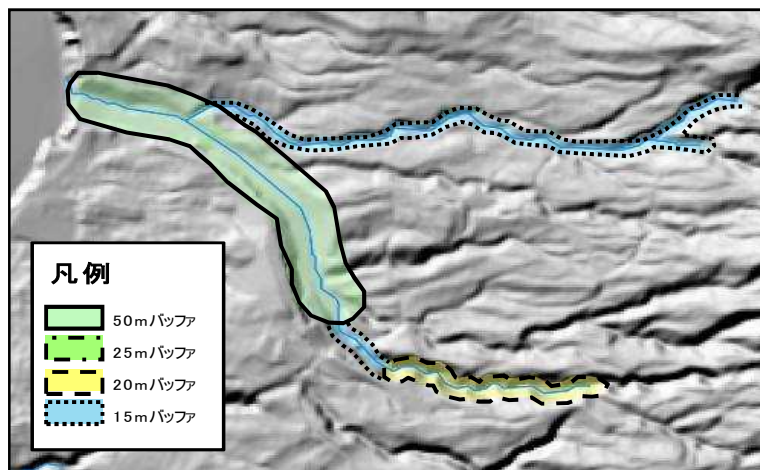
(1) で作成した流路は、谷次数、合流点、湾曲、勾配により流路の区間を区分した。区分した区間ごとに流路の流路幅を推定するため、流路からのバッファ幅を複数設定し(参考図-3 左側の図)、それぞれのバッファ幅内のメッシュにおける起伏量の平均値を求めた(参考図-3 右側のグラフ)。バッファ幅内の起伏量の平均値が最大値を示すバッファ幅が流路の溪岸と仮定し、これを流路幅とした。



参考図-3 流路幅の決定

(4) 流路周辺の起伏量

流路周辺の起伏量を評価するため、(3) で区分した区間毎に流路幅内の起伏量の平均値を求めた(参考図-4)。これを流路の全区間に適用することで、流路周辺での起伏量の分布図を作成した。作成した図は次節で示す。

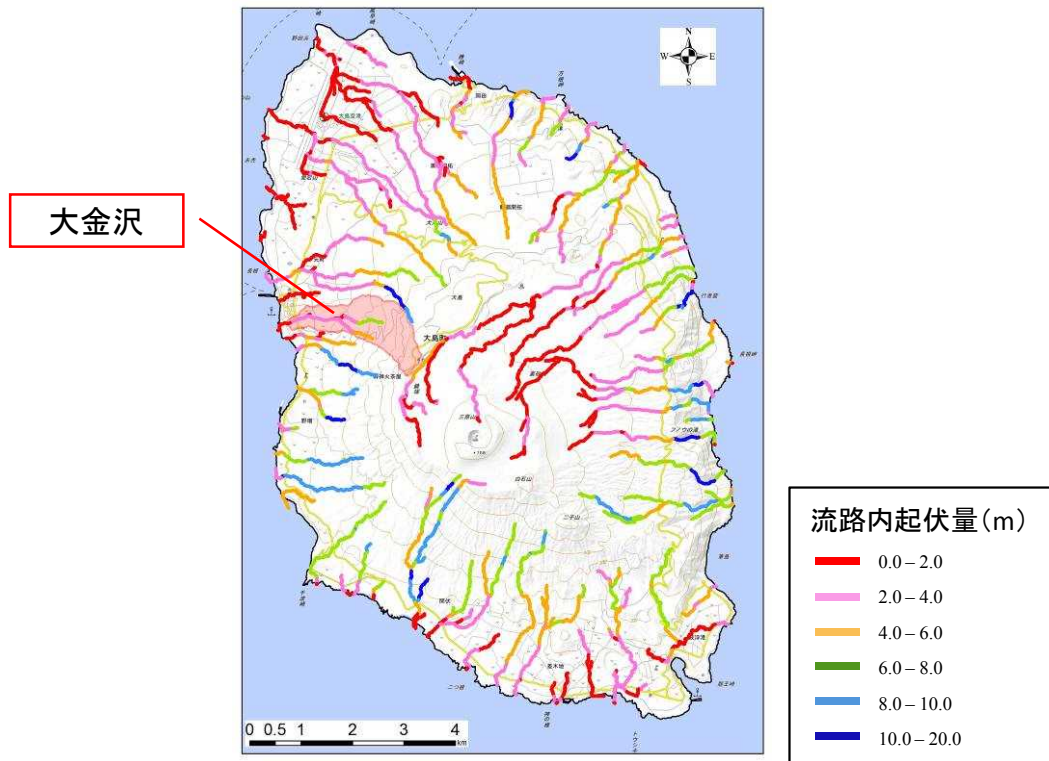


参考図-4 区間毎の流路幅と推定されるバッファ幅

1. 2 伊豆大島における流路周辺の起伏量の評価結果

平成 25 年台風第 26 号により発生した土石流が尾根を乗り越えて流下し被害が発生した伊豆大島において、1. 1 で示した方法により流路周辺の起伏量を求めた（参考図-5）。

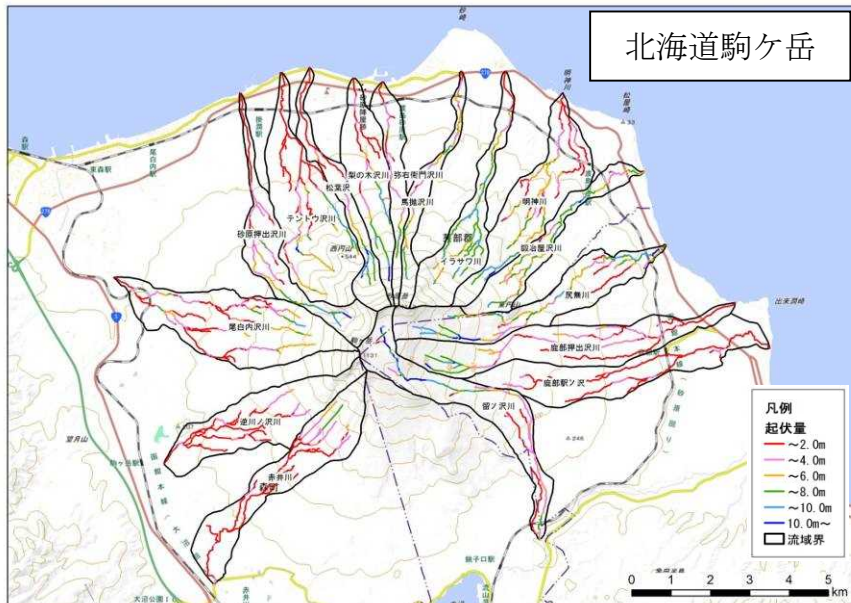
流路周辺の起伏量は、伊豆大島の北側の溪流や東側の溪流の上流で小さな値を示している。土石流が尾根を乗り越えて流下した大金沢流域は、参考図-5 に赤色のハッチングで示している。大金沢は流路全区間で比較的小さな起伏量となっている。このように開析が進んでいない溪流周辺の地形を概観する上で、流路周辺の起伏量が調査項目の 1 つとして活用できるものと考えられる。



参考図-5 伊豆大島における流路周辺での流路周辺の起伏量

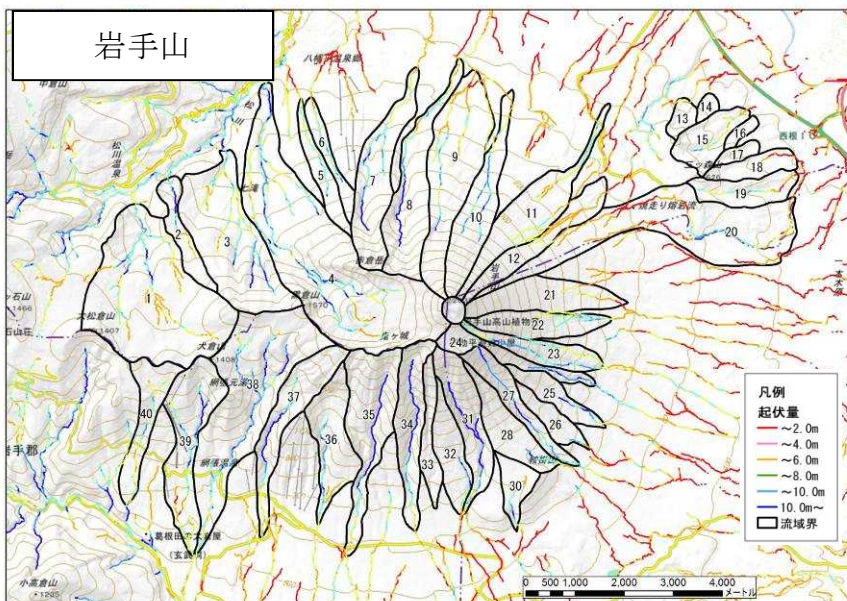
1. 3 5火山における流路周辺の起伏量の評価結果

北海道駒ヶ岳、岩手山、富士山、草津白根山、霧島山における流路周辺の起伏量の評価結果を以下に示す。



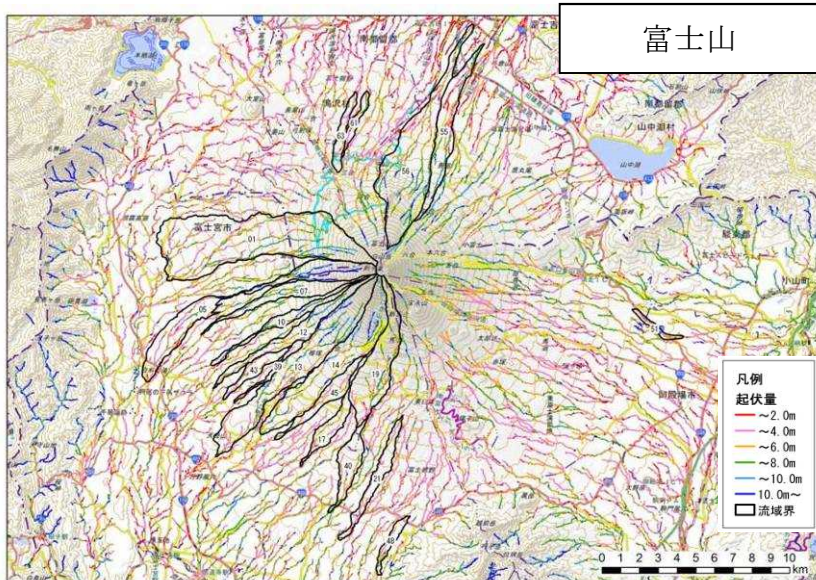
【北海道駒ヶ岳の特徴】
火砕流堆積物の多い北海道駒ヶ岳は分岐の少ない流路が多く、全般に上流ほど谷が深く、山麓域扇状地は低開析流路が分布する傾向にある。

参考図-6(a) 流路周辺の起伏量（北海道駒ヶ岳）



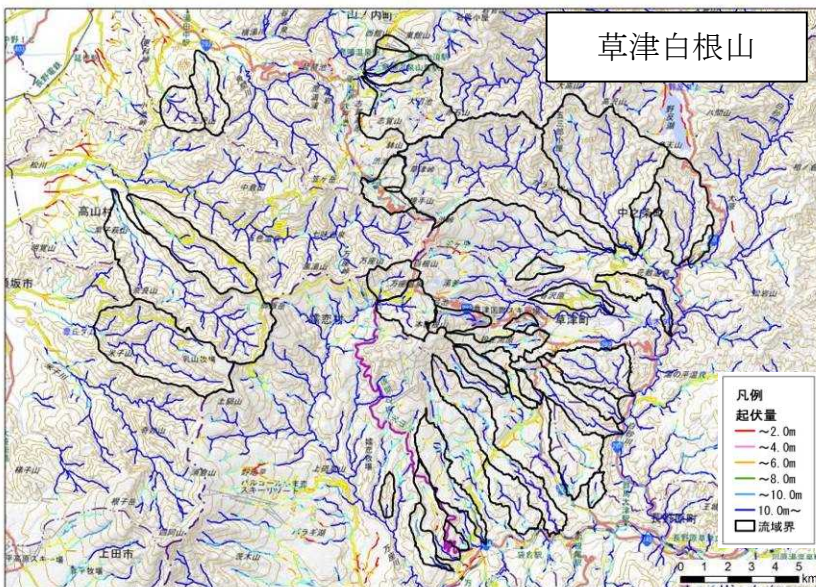
【岩手山の特徴】
比較的新しい溶岩が分布する北東域に低開析流路が偏在する傾向にある。

参考図-6(b) 流路周辺の起伏量（岩手山）



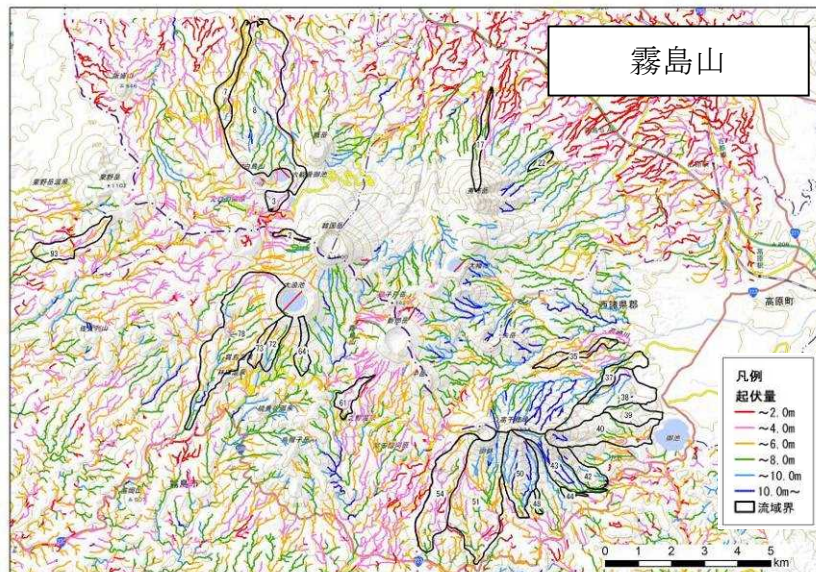
【富士山の特徴】
比較的新しい溶岩が全域に分布しており、低開析流路が全方位に分布する傾向にある。

参考図-6(c) 流路周辺の起伏量（富士山）



【草津白根山の特徴】
噴火の頻度が低く年代の古い地質が多い草津白根山は、全体に開析の進んだ流路が多く分布する。

参考図-6(d) 流路周辺の起伏量（草津白根山）

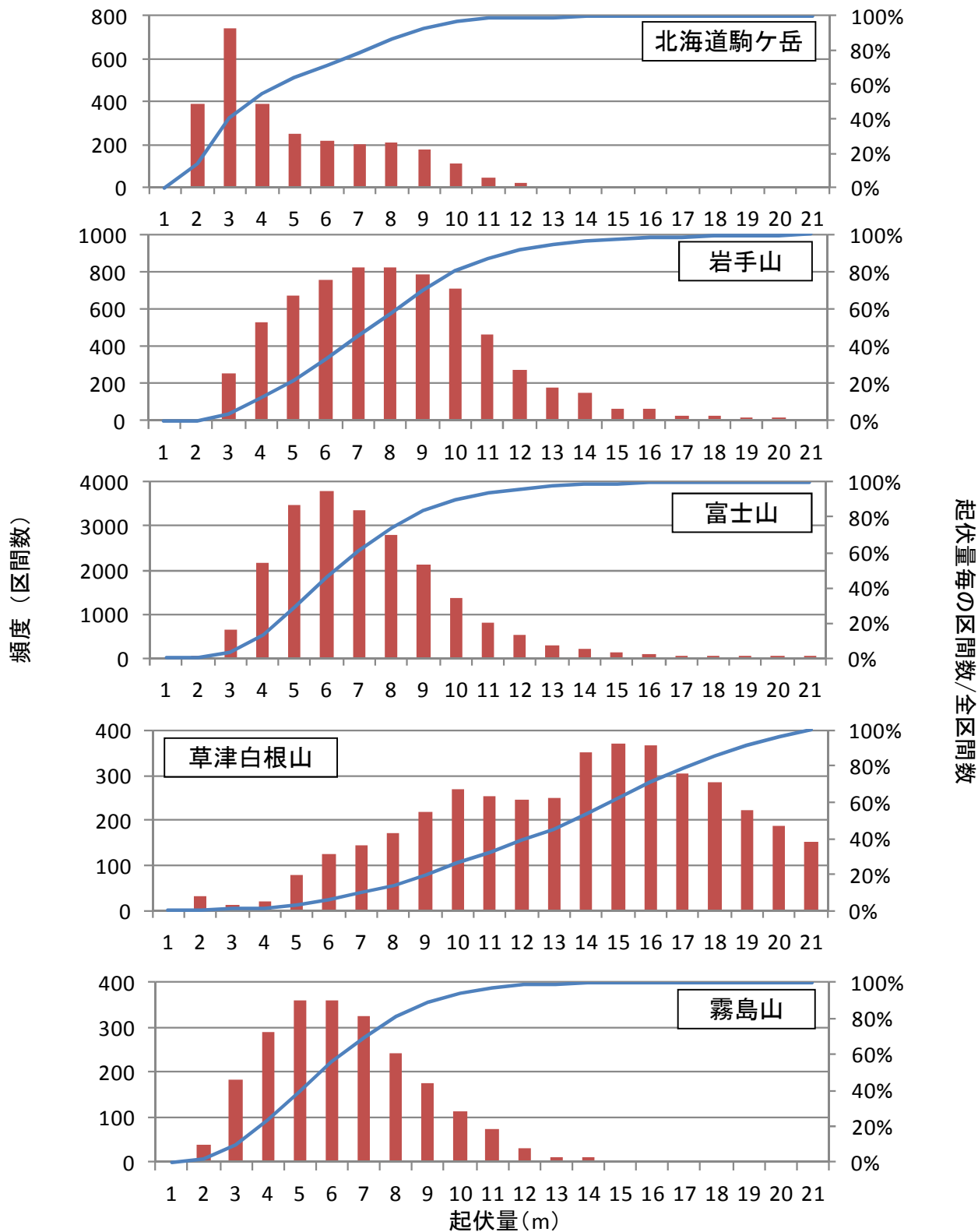


【霧島山の特徴】
霧島山は20以上の火山体で構成されているため、新旧の溶岩が分布しており南東側の古い火山体斜面に開析の進んだ流路が偏在する。

参考図-6(e) 流路周辺の起伏量（霧島山）

1. 4 5火山の流路周辺の起伏量の統計

各火山周辺の評価対象流域における全流路区間の起伏量を算出した。流路周辺の起伏量のヒストグラムを以下に示す。起伏量の分布は、火山により異なり、起伏量の最頻値が最も大きい火山は草津白根山で15 m、最も小さい火山は北海道駒ヶ岳で3 mであった。



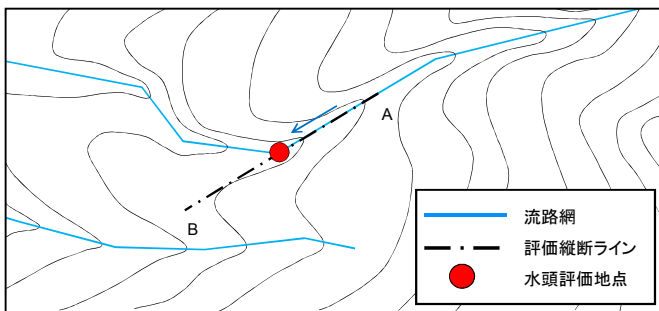
参考図-7 各火山の起伏量のヒストグラム

参考資料2 伊豆大島大金沢における土石流が尾根を乗り越えて流下する危険性のある地点の評価・抽出事例

2. 1 評価・抽出方法

(1) 危険性のある地点の評価方法

土石流が尾根を乗り越えて流下する現象は、流路が大きく湾曲している地点で土石流が上流から直進して尾根部の斜面に衝突した際に、土石流が尾根を越えるエネルギーを有している場合に起こると仮定し、土石流流下時の水頭と尾根部到達時の水頭を比較して、危険性のある地点の評価・抽出を行うこととした。

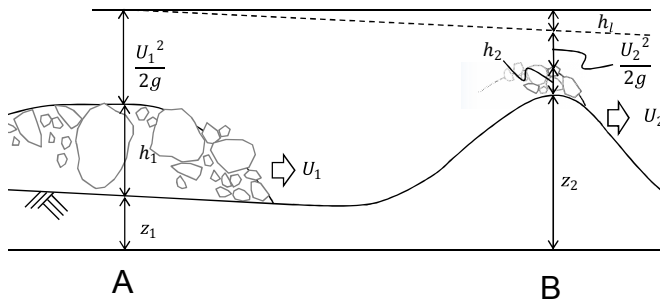


$$\frac{U_1^2}{2g} + h_1 + z_1 = \frac{U_2^2}{2g} + h_2 + z_2 + h_l \quad \dots (1)$$

$$\frac{U_1^2}{2g} + h_1 + z_1 - z_2 - h_l = \frac{U_2^2}{2g} + h_2 \quad \dots (2)$$

$$\frac{U_1^2}{2g} + h_1 + z_1 - z_2 - h_l > 0 \quad \dots (3)$$

参考図-8 土石流が尾根を乗り越えて流下する危険性のある地点の評価を行う断面



ここに U : 土石流の流速 (Manning 則)、
 g : 重力加速度、 h : 流動深、 z : 河床位、
 h_l : 損失水頭

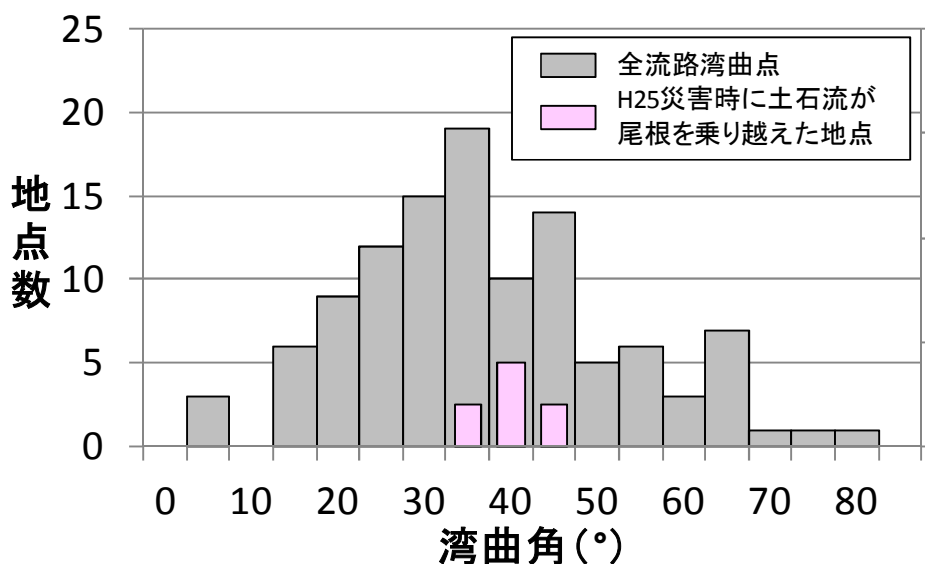
※添字の数字は地点を表す

※ h_l は、本検討においては、無視しうるものとして零とした

参考図-9 土石流全水頭と外岸標高の比較

(2) 評価を行う湾曲地点の抽出

伊豆大島大金沢において平成 25 年に発生した土石流が尾根を乗り越えて流下したと推定される地点は参考図-10 に示すとおり、流路の湾曲角が 30° 以上であった。そこで、流路の湾曲角が 30° 以上を示す地点において土石流の有するエネルギー評価を行うこととした。



参考図-10 平成 25 年伊豆大島大金沢で発生した土石流における流路の湾曲角と土石流が尾根を乗り越えた実績の関係

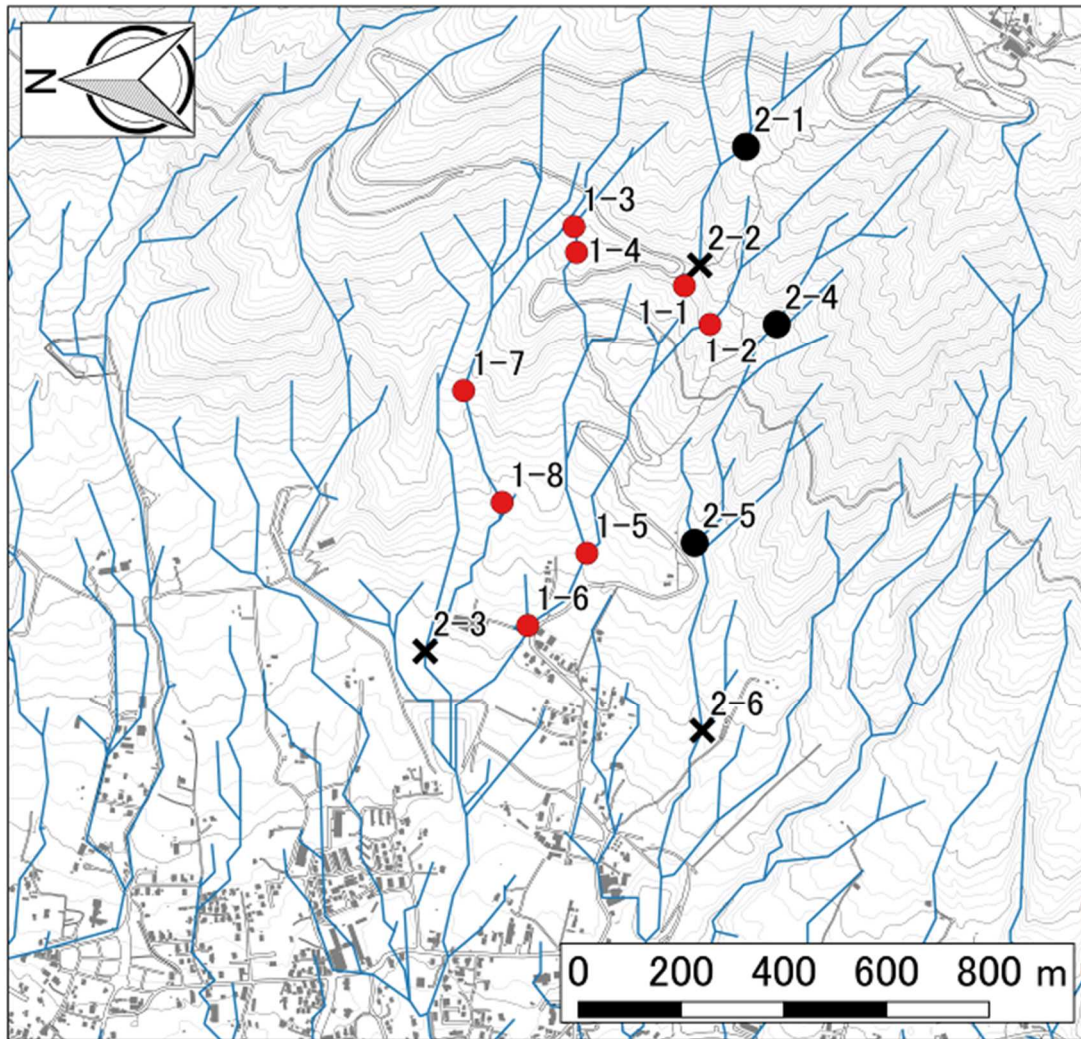
2. 2 伊豆大島大金沢における危険性のある地点の評価・抽出結果

平成 25 年に土石流が尾根を乗り越えた実績のある伊豆大島において、2. 1 に示した方法により土石流流下時の水頭と尾根部到達時の水頭を比較した。土石流の水頭を推定するための土石流ピーク流量は、砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）で示された流出土砂量に基づく土石流ピーク流量の設定方法に準じて算出した。流出土砂量は、災害時の実績日雨量（824mm/日）と流域面積等から求める運搬可能土砂量と伊豆大島土砂災害対策検討委員会報告書（平成 26 年 3 月）で示された土砂の生産域面積と平均侵食深から求める移動実績土砂量を移動可能土砂量として扱い、小さい方の値を採用した。調査結果を参考表-3 および参考図-11 に示す。参考図-11 の赤丸で示した 1-1~1-8 の実際に土石流が尾根を乗り越えた 8 地点は全て乗り越える判定となった。尾根を乗り越えなかった黒色のマークの 8 地点の内、×印で示した 3 地点で尾根を乗り越える判定となった。このように伊豆大島大金沢では、比較的安全側の結果とはなるものの土石流が尾根を乗り越えて流下する危険性のある地点を抽出することができた。

参考表-3 水頭比較結果一覧

	地点	集水域面積 (km ²)	粗度係数	湾曲角度 (度)	上流側勾配	尾根の高さ z ₂ (m)	運搬可能土砂量 (m ³)	移動可能土砂量 (m ³)	土石流ピーク流量 (m ³ /s)	土石流水深 H ₁ (m)	流速 V ₁ (m/s)	全水頭 H ₂ (m)	判定 (H>Z2 : 乗り越える)
実績で土石流が尾根を乗り越えた地点	1-1	0.19	0.10	37	1/2.9	0.0	127,640	6,712	74.6	1.07	5.97	2.89	乗り越える
	1-2	0.10	0.10	33	1/2.8	0.0	77,470	509	5.7	0.40	3.15	0.91	乗り越える
	1-3	0.04	0.10	40	1/2.6	1.2	32,370	11,786	131.0	1.32	7.21	3.97	乗り越える
	1-4	0.04	0.10	36	1/3.0	0.0	35,900	12,899	143.3	谷深さ以上*	-	-	乗り越える(流下断面不足)
	1-5	0.50	0.10	42	1/5.5	1.9	91,970	68,389	1364.9	5.13	12.58	13.20	乗り越える
	1-6	0.54	0.10	42	1/8.6	0.9	99,280	72,197	1443.9	谷深さ以上*	-	-	乗り越える(流下断面不足)
	1-7	0.20	0.10	33	1/3.7	4.1	134,030	69,739	776.6	3.31	11.34	9.87	乗り越える
	1-8	0.22	0.10	38	1/5.8	1.7	52,780	75,646	1055.6	谷深さ以上*	-	-	乗り越える(流下断面不足)
実績で乗り越えていない尾根を乗り越えない地点	2-1	0.12	0.10	39	1/3.1	7.3	94,080	4,816	53.5	0.94	5.32	2.38	乗り越えない
	2-2	0.19	0.10	35	1/2.7	0.0	126,220	6,378	70.9	1.10	6.28	3.11	乗り越える
	2-3	0.34	0.10	41	1/8.4	2.0	71,030	93,854	1420.6	谷深さ以上*	-	-	乗り越える(流下断面不足)
	2-4	0.12	0.10	34	1/2.5	6.8	89,120	6,006	66.7	1.07	6.38	3.15	乗り越えない
	2-5	0.20	0.10	93	1/5.1	10.6	57,410	13,005	234.1	1.32	5.28	2.74	乗り越えない
	2-6	0.33	0.10	33	1/6.6	1.8	70,160	22,804	456.1	2.45	7.02	4.96	乗り越える

※流路横断の流下能力以上の流量のため、谷深さ以上の水深となり流路から溢水して土石流が尾根を乗り越える箇所



	判定	実績(H25)
●	乗り越える	乗り越える
●	乗越えない	乗越えない
×	乗越えない	乗り越える
×	乗り越える	乗越えない

注: ×に該当する地点は無かった

参考図-11 伊豆大島金山沢における評価・抽出結果

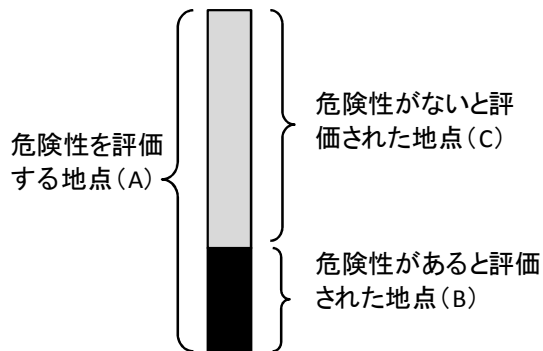
参考資料3 5火山における抽出された危険性のある地点の地形量の統計的な整理

土石流が尾根を乗り越えて流下する危険性に影響を及ぼす地形量として、参考資料2の2.1で示した式(3)より、尾根部と河床との位置関係を示す「起伏量」、土石流の流速、流動深との関連性が考えられる「勾配」、「集水域面積」を挙げることができる。

今後、土石流が尾根を乗り越えて流下する危険性の評価に資するため、北海道駒ヶ岳、岩手山、草津白根山、富士山、霧島山の5火山を対象とし、上記の3つの地形量と抽出された尾根を乗り越えて流下する危険性のある地点との関係を整理した。

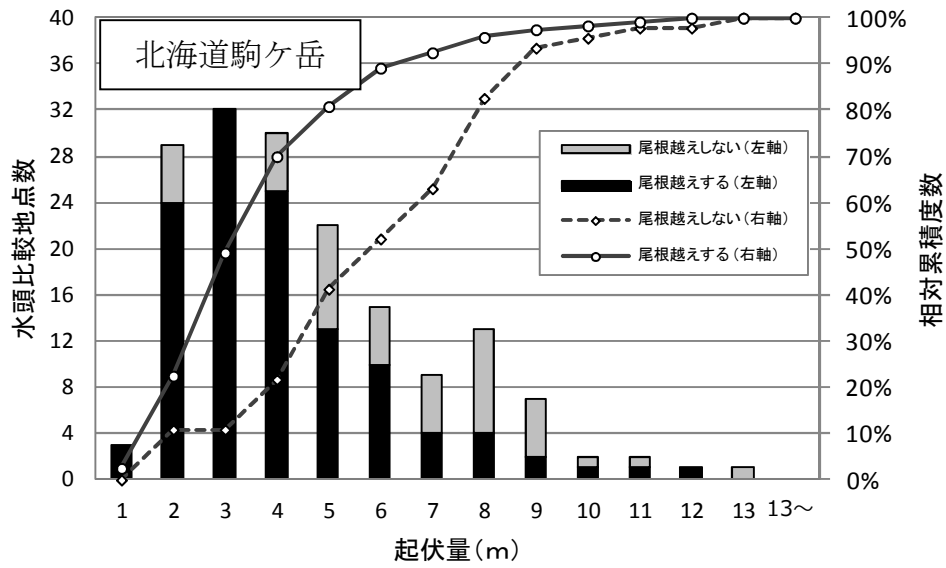
参考図-13には起伏量との関係を、参考図-14には勾配と関係を、参考図-15には集水域面積との関係を示した。

土石流流下時の水頭と尾根部到達時の水頭を比較することによって尾根を乗り越えて流下する危険性を評価する地点(A)(水頭比較地点)は、伊豆大島大金沢と同様に、流路の湾曲角が 30° 以上を示す地点を抽出した。危険性を評価する地点(A)は、水頭による評価の結果、尾根越えの危険性があると評価された地点(B)と危険性が認められなかった地点(C)に分類される。参考図-13~15には、地形量の階級毎に、危険性を評価する地点数及びそれらの危険性の評価を、棒グラフで示した。抽出地点数の分類を集計した棒グラフの凡例を参考図-12に示す。また、相対累積度数を示した。例えば、参考図-13(b)の岩手山の事例では土石流が尾根を乗り越えて流下すると評価された地点のうち90%は起伏量9m以下の範囲にある。こうした傾向は火山毎に異なっているが、対象とする地域毎にこのような検討を行いながら、溪流の開析状況の調査の参考にしていくことも有効と考えられる。

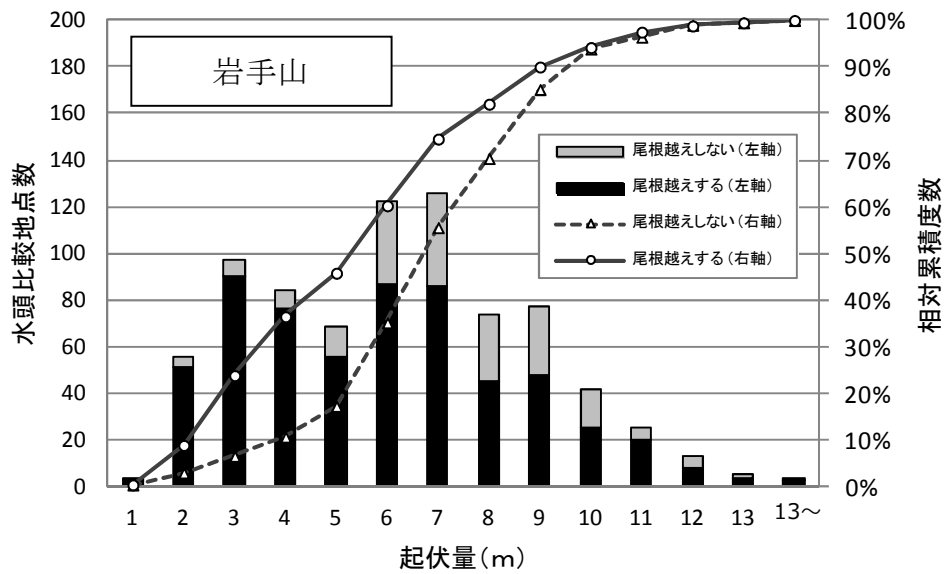


参考図-12 抽出地点数の分類凡例

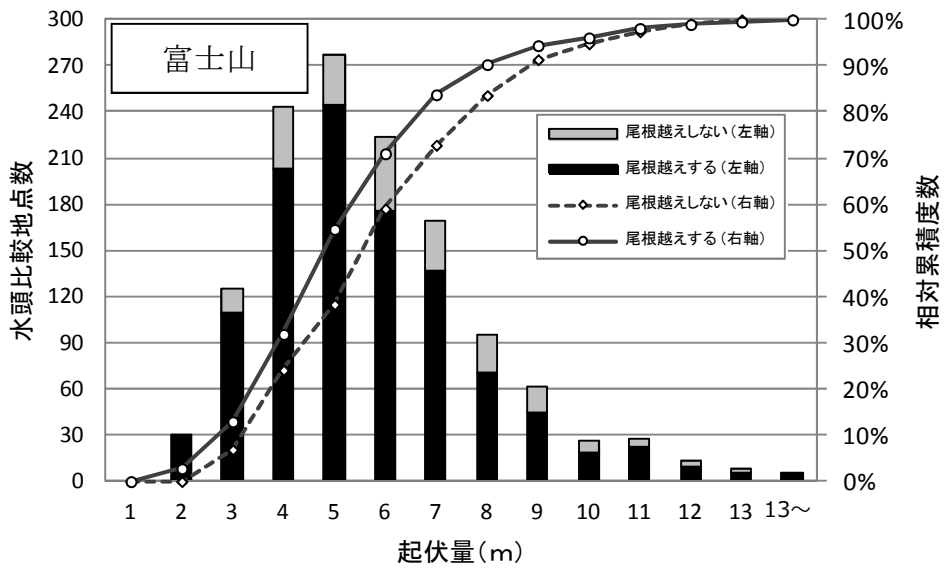
①起伏量



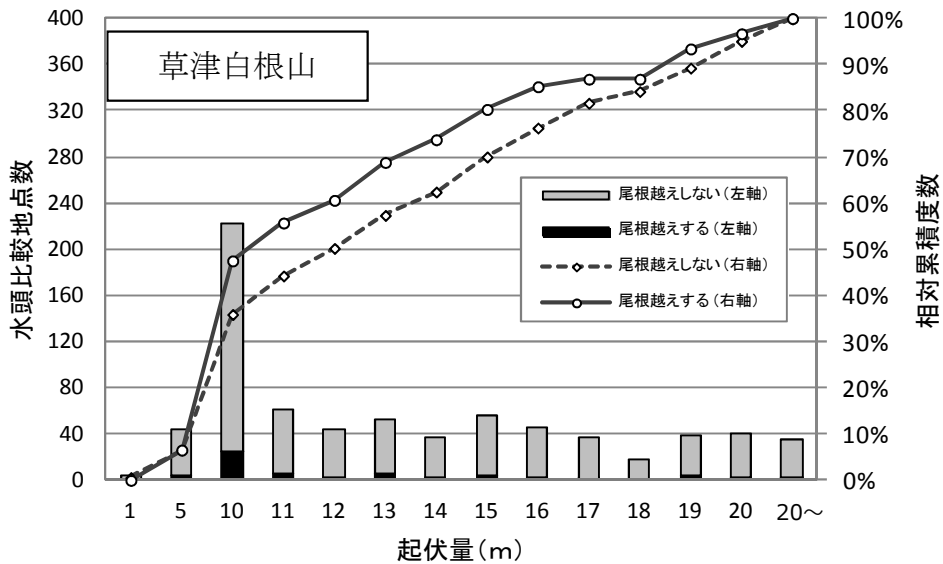
参考図-13(a) 地点下流の起伏量と抽出地点数の関係 (北海道駒ヶ岳)



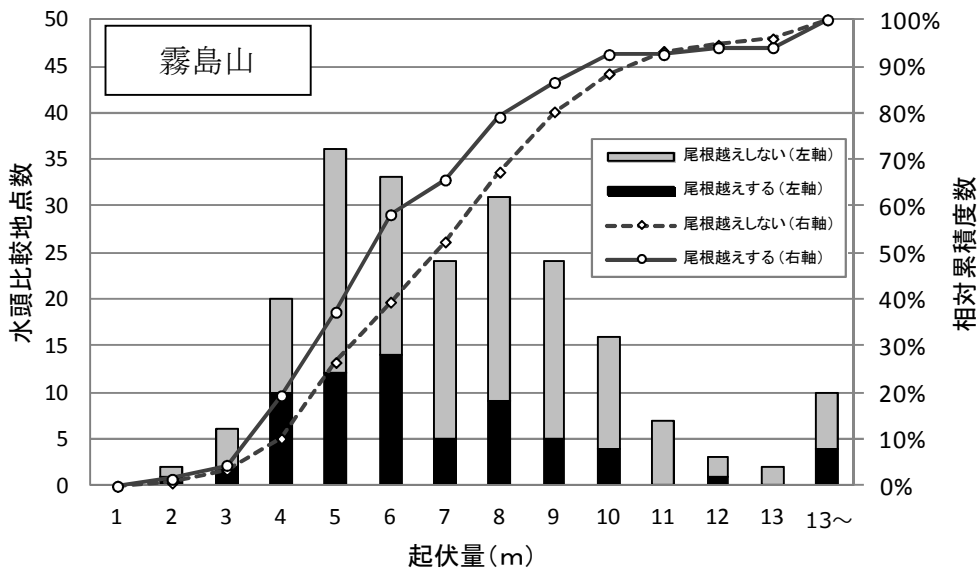
参考図-13 (b) 地点下流の起伏量と抽出地点数の関係 (岩手山)



参考図-13 (c) 地点下流の起伏量と抽出地点数の関係 (富士山)

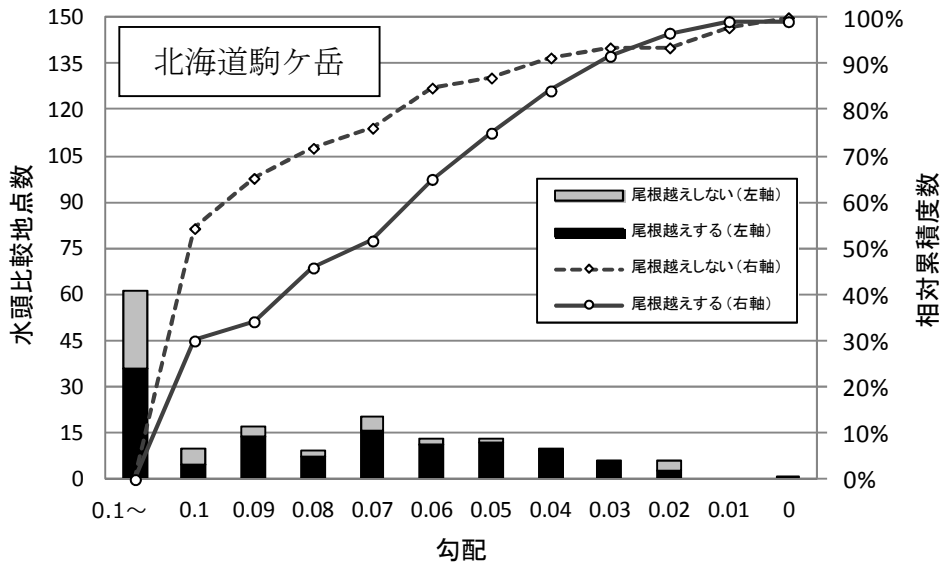


参考図-13 (d) 地点下流の起伏量と抽出地点数の関係 (草津白根山)

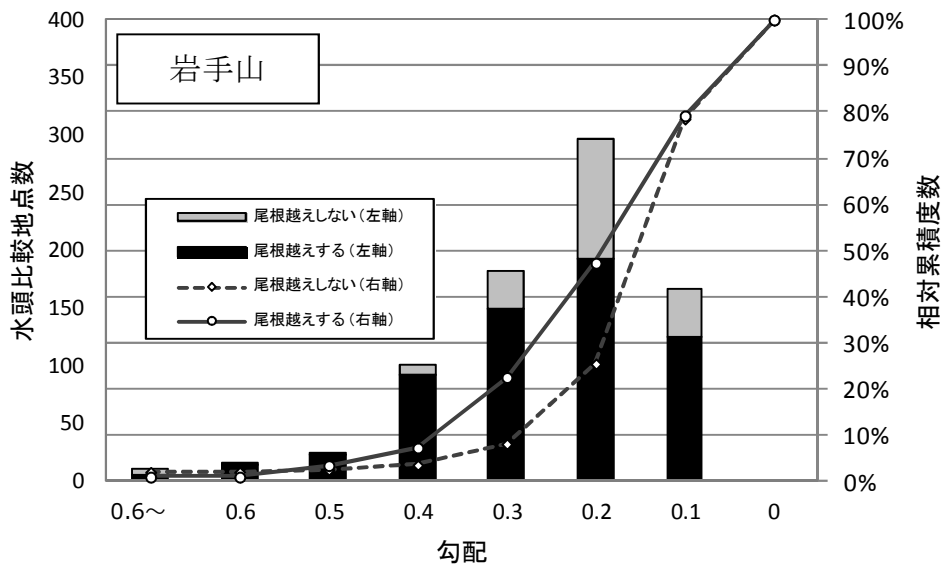


参考図-13 (e) 地点下流の起伏量と抽出地点数の関係 (霧島山)

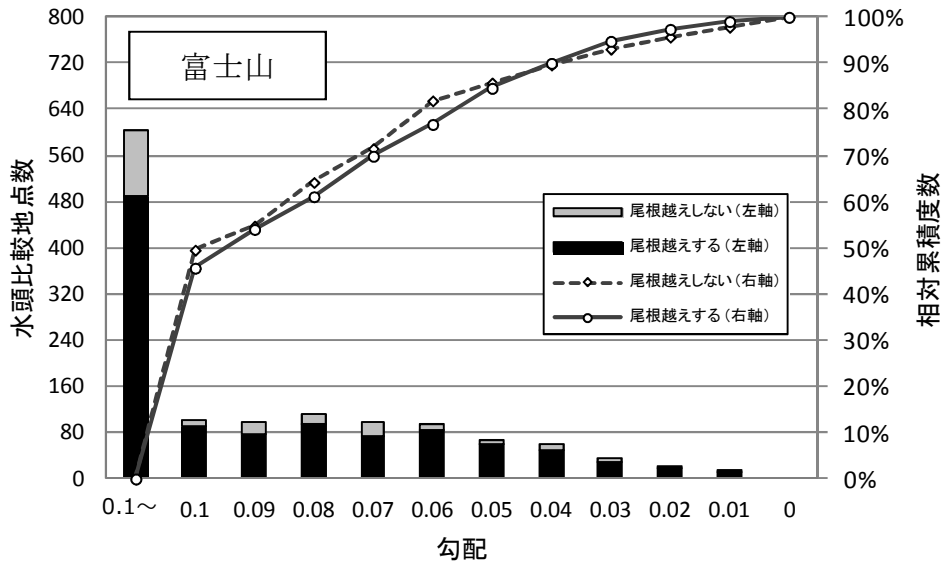
②勾配



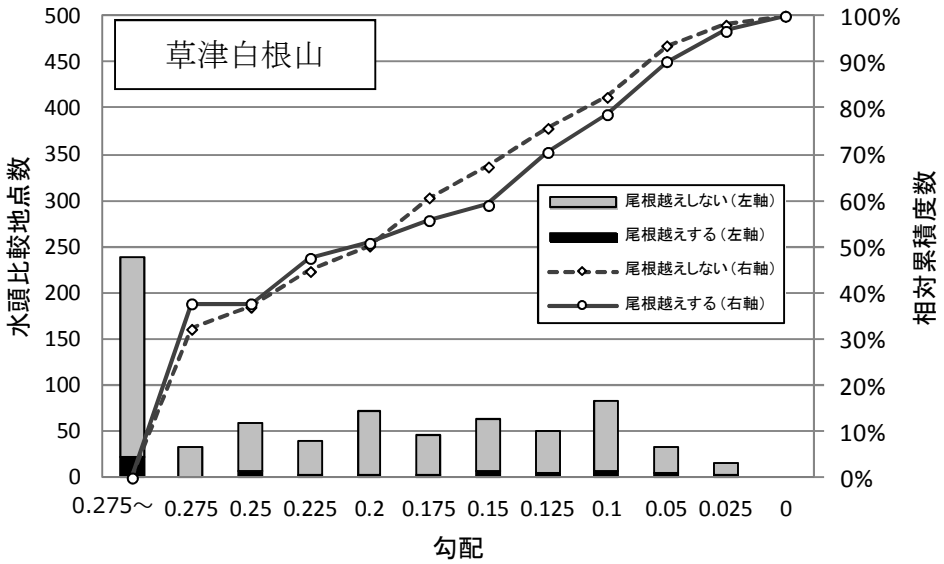
参考図-14 (a) 勾配と抽出地点数の関係 (北海道駒ヶ岳)



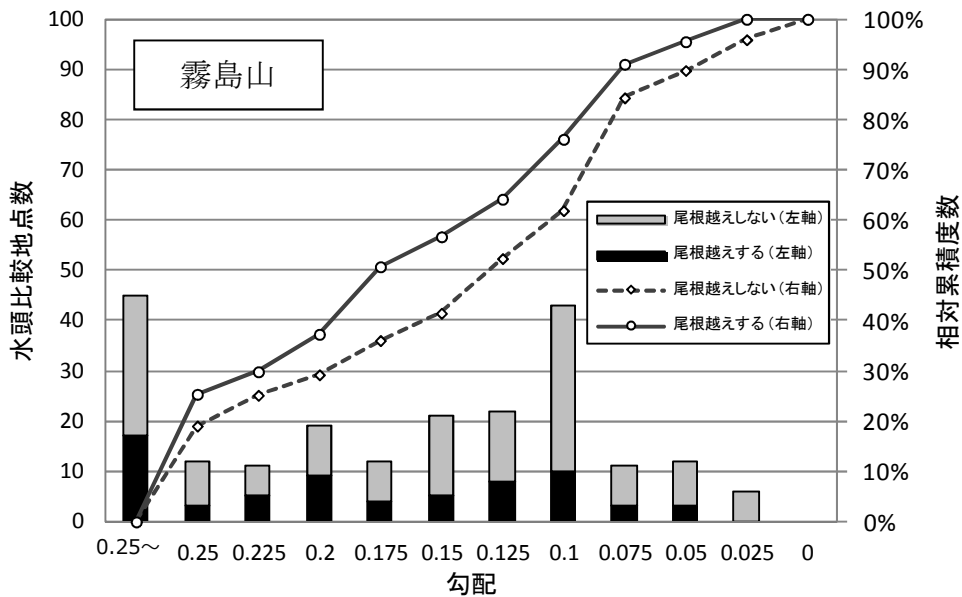
参考図-14 (b) 勾配と抽出地点数の関係 (岩手山)



参考図-14 (c) 勾配と抽出地点数の関係 (富士山)

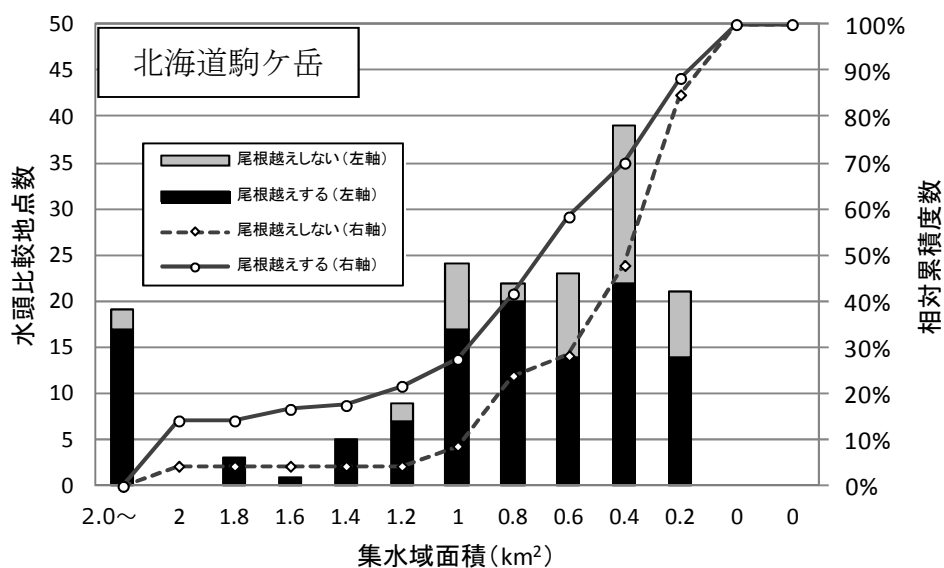


参考図-14 (d) 勾配と抽出地点数の関係 (草津白根山)

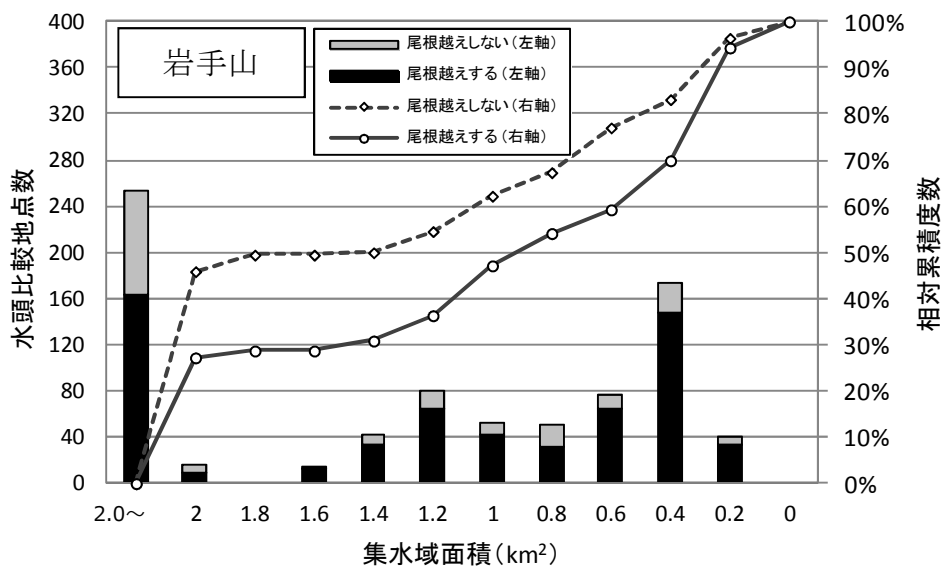


参考図-14(e) 勾配と抽出地点数の関係 (霧島山)

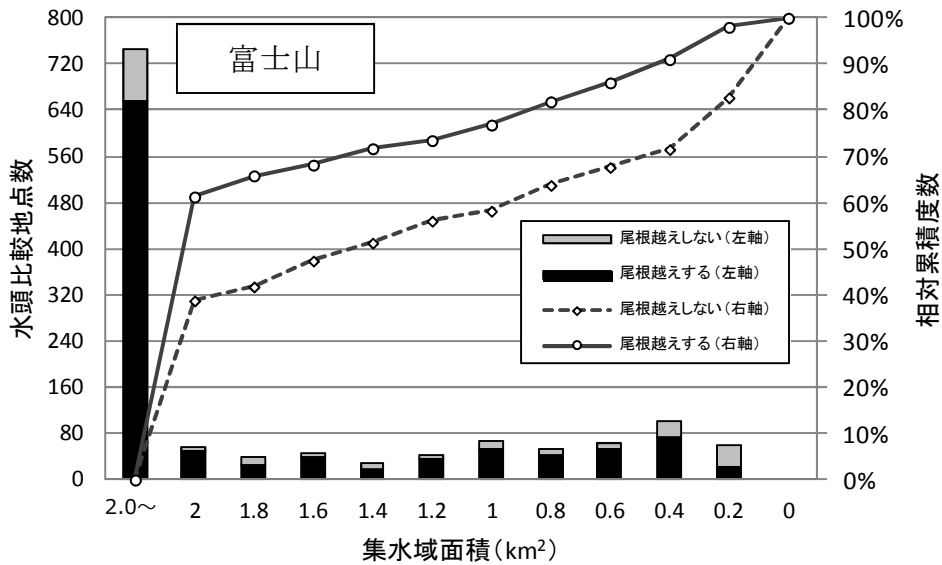
③集水域面積



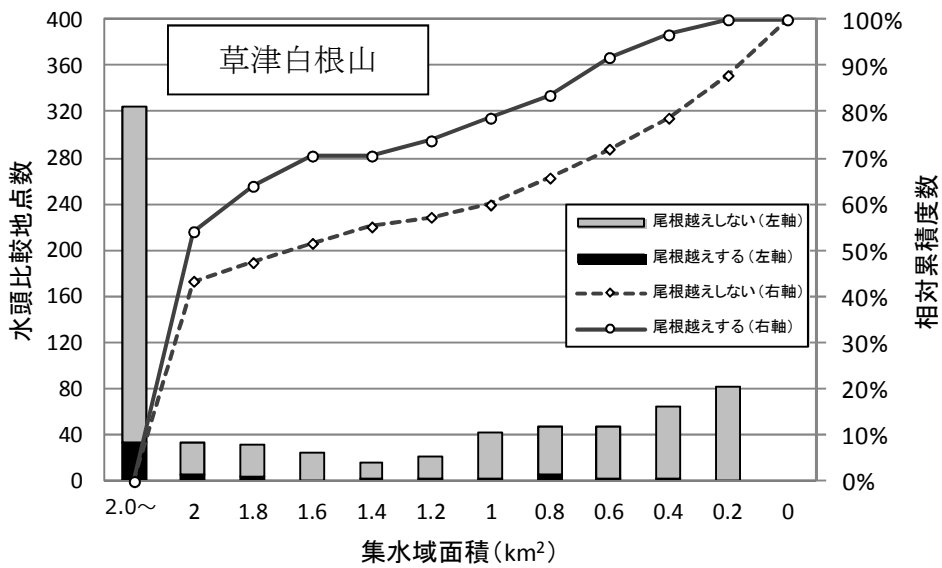
参考図-15 (a) 集水域面積と抽出地点数の関係 (北海道駒ヶ岳)



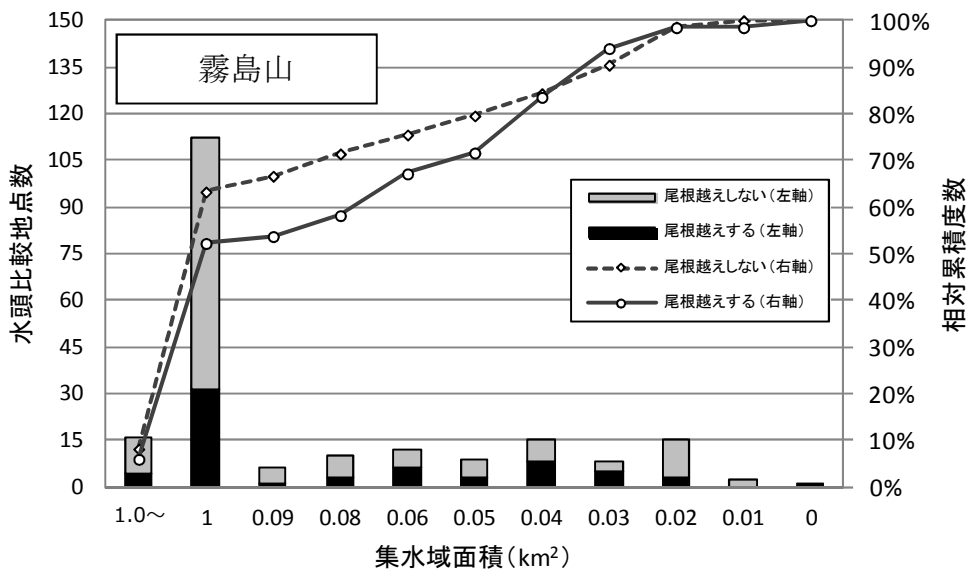
参考図-15 (b) 集水域面積と抽出地点数の関係 (岩手山)



参考図-15 (c) 集水域面積と抽出地点数の関係 (富士山)



参考図-15 (d) 集水域面積と抽出地点数の関係 (草津白根山)



参考図-15 (e) 集水域面積と抽出地点数の関係 (霧島山)