

地形分類図と DEM を活用した磐梯火山の ハザードマップに関する地理情報解析

小 荒 井 衛^{*,**}

Geographic Information Analysis of a Hazard Map of Bandai Volcano Using a Landform Classification Map and Digital Elevation Models

Mamoru KOARAI^{*,**}

Abstract

This paper analyzes a volcanic hazard map using grid DEMs and vector GIS data, such as landform classification polygons shown on the Land Condition Map of Bandai Volcano which was published by the Geographical Survey Institute. The hazard areas described on the hazard map of Bandai Volcano, landform classification on a land condition map and morphometric data derived from 50-m and 10-m grid DEMs were overlaid using GIS. The results indicate that the expected hazard areas on the hazard map correspond to the past hazard areas shown on the land condition map. Because large-scale collapses of the volcanic body occurred many times as major processes of landform evolution, the areas underlain by past debris avalanche deposits shown on the land condition map are important for discussing disaster prevention. The result of the landform analysis using the 50-m DEM corresponds to a rough landform classification, whereas the result using the 10-m DEM reflects micro-scale landforms.

Key words : landform classification GIS data, hazard map, land condition map of volcano, digital elevation model (DEM), Bandai Volcano

キーワード : 地形分類 GIS データ, ハザードマップ, 火山土地条件図, 数値標高モデル (DEM), 磐梯火山

I. はじめに

空間情報の整備がデジタルで進み, 様々な学問分野で GIS が使われるようになった。地形学の領域では, 数値標高モデル (DEM) を使った地形解析が主流である (岩橋, 1994; 神谷ほか, 2000 など)。地形と災害との関連性の研究においても, DEM で計算可能な斜面の傾斜や斜面方位,

集水面積などの地理情報を, 他の地理情報 (植生, 地質, 土壌など) と組み合わせて崩壊発生 の条件を解析し, 危険度評価を行うといった研究が主流である (黒川ほか, 2007; 齋藤ほか, 2007 など)。日本の初期の研究では, 国土地理院が全国整備している 50 m グリッドの DEM が主に利用されたが, 近年の航空レーザ測量の発展に伴い, 国土地理院でも都市地域について 5 m グリッドの DEM

* 国土地理院

** 茨城大学大学院理工学研究科

* Geographical Survey Institute

** Graduate School of Science and Technology, Ibaraki University

を刊行するようになり、よりグリッドサイズの細かい DEM を使った研究が増えている（三浦ほか、2005）。また、高解像度の DEM を用いて、DEM のグリッドサイズと地形表現力との関係も検討されている（高橋ほか、2003）。

このように地形学や災害の研究では、DEM に代表されるグリッド情報を活用する場合が多かったが、近年、土地条件図、地質図、植生図、土壤図等の主題図がベクトル型の地理情報として整備されつつあり、それらの利用も増えている。また、各自治体においてハザードマップの作成が進められているが、ハザードマップに掲載されている情報をベクトルデータとして整備すると、GIS による多面的な活用が期待できる。ハザードマップの作成においては、地形発達史を踏まえて各地域の災害特性をとらえた上で、災害危険度の評価を行うことが重要である。したがって、土地の持つ特性を地形の発達過程の中でとらえて分類・表示した土地条件図は、ハザードマップ作成のための基礎的な情報を提供する。

日本の土地条件図は、2006 年度から国土地理院よりベクトルデータとして刊行されており、容易に他の GIS データと組み合わせで解析することが可能である。例えば小荒井ほか（2007）は、土地条件図の地形分類ポリゴンデータを、過去の地震災害の建物被害（住家の全壊率の等被害線をベクトル化したもの）とオーバーレイし、建物被害の高い地形と低い地形を抽出した。また、地形分類の結果を地震時における地盤応答特性という視点でまとめ直し、一種のハザードマップである「揺れやすさマップ」あるいは「液状化しやすさマップ」を作成することも容易である（石川・常住、2005）。

このような地形分類の災害危険度への読み替えは、地震災害だけではなく洪水災害についても行える。例えば、扇状地や自然堤防は洪水災害の危険性が小さく、谷底平野・氾濫平野、海岸平野・三角州、後背低地、旧河道等は洪水被害の危険性が大きい（大矢、1983）。一方、土砂災害や雪崩災害等については、地形分類図のポリゴンデータではなく DEM の解析を中心とした斜面の危険度

評価の研究が主流である。例えば、DEM により計算された傾斜や集水面積と、リモートセンシングで求めた土地被覆のグリッドデータ、表層地質や土壤等のグリッドデータ等を重ね合わせて、空間統計解析や加重累積点方式を用いてグリッド単位の危険性が評価される（小林・三箇、2007；秋山ほか、2007 など）。

このように、DEM を使った地形解析や地形分類による災害危険度評価等を通じて、地形と災害特性との関連が検討されているが、火山災害の場合には火山ごとの活動様式の個性が強く、より複雑な検討が必要と考えられる。一方で、火山基本図や火山土地条件図、数値地図 10 m メッシュ（火山標高）など、火山の防災を考える際の基礎資料となる主題地図や GIS データが国土地理院から刊行されている。また、火山を持つ地方自治体では、関連市町村や行政機関と協力して火山ハザードマップを作成し、地域住民に積極的に公開するようになってきている（中村、2005a）。火山土地条件図は火山災害の予測や防災対策立案のための基礎資料として作成されており、過去の火山活動によって形成された地形や噴出物（溶岩流、火砕流、スコリア丘、岩屑なだれ等）、防災関連施設・機関、救護保安施設、河川工作物、観光施設等を縮尺 1/15,000 ～ 1/50,000 で表示している。

また、火山のハザードマップと GIS を用いた研究には、高阪（2000）、中筋（2003）、永村（2007）などがある。いずれも GIS のメリットを活用して被害想定等を試みており、DEM や基盤的な空間情報のベクトルデータを使用しているが、地形分類の情報等は活用していない。

そこで本研究では、火山地域を対象に、地形分類のベクトルデータを活用したハザードマップの研究を試みた。具体的には、すでに公開されている火山ハザードマップに、ベクトル型の地形分類情報と DEM を組み合わせた解析を行い、火山土地条件図の有効性を火山形成史との関連で考察した。対象は南東北地方の活火山である磐梯火山とした。磐梯火山は 1888 年の小磐梯の大規模崩壊など、山体の崩壊を繰り返しているが、マグマ物質の噴出を伴わない活動が主流である。したがっ

て、災害の影響範囲については地形的要因を主体に考えることができ、地形分類やDEM解析の結果と災害予想範囲との関係を考察するのに適している。

II. 磐梯火山の概況と地形発達史

磐梯火山は東北日本火山弧の火山フロントの南部に位置し、福島県の中央部に位置している（図1）。火山体は、大磐梯、櫛ヶ峰、赤埴山などの山体から構成されている。南側には猪苗代湖、北側には檜原（ひばら）湖、小野川湖、秋元湖、五色沼などの裏磐梯湖沼群が存在する。

磐梯火山は過去に何度も山体崩壊を繰り返しており、空中写真判読により山頂部周辺に5個の大規模崩壊地形が確認されている（小荒井ほか、1994a）。1888年の水蒸気爆発により小磐梯が大規模な山体崩壊を起こし、北側に馬蹄形カルデラ（図1の崩壊5）が形成され、岩屑なだれの堆積物が磐梯火山の北側に流れる河川をせき止め、裏磐梯湖沼群などの風光明媚な地形を形成した。図1をみると、1888年の山体崩壊の馬蹄形カルデラ（図1の崩壊5）よりも大きな崩壊地形（図1の崩壊1）が南側に存在する。この崩壊は翁島（おきなしま）岩屑なだれと呼ばれており、対応する流れ山地形がJR磐越西線の翁島駅から会津盆地にかけての広範囲に分布している。

磐梯火山の火山形成史や地形発達史の研究には、Nakamura (1978)、三村 (1988)、守屋 (1988) などがあり、相対年代に基づく火山形成史や地形発達史は明らかになっていなかった。1990年代に科学技術振興調整費による「火山地域における土砂災害発生予測手法の開発に関する国際共同研究」が行われ、広域テフラ等の時間軸を入れた地形発達史が明らかにされてきた（小荒井、1995a; 小荒井ほか、1995; 千葉ほか、1995 など）。表1に小荒井 (1995a)、小荒井ほか (1995) を一部改変した磐梯火山の地形発達史を示す。時間軸は鈴木ほか (1995) のテフラ層序に基づく（暦年補正はされていない）。これによると、翁島岩屑なだれの発生時期は、大山倉吉テフラ（DKP）

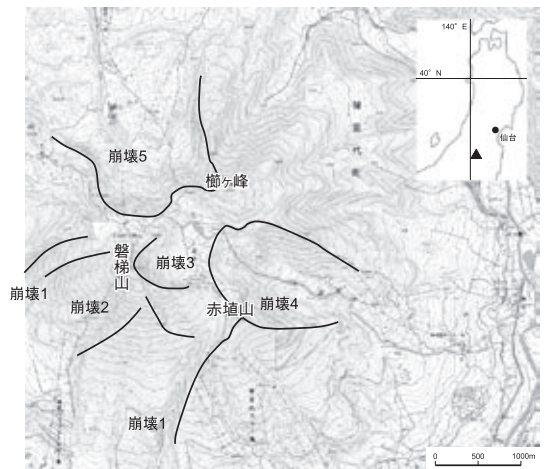


図1 磐梯火山の位置図と崩壊地形（崩壊地形は小荒井ほか（1994a）による：1/25,000地形図「磐梯山」を使用）。

Fig. 1 Location map of Bandai Volcano and collapse landforms. Interpreted by Koarai *et al.* (1994a). Topographical map is part of the 1: 25,000 map “Bandaisan” published by Geographical Survey Institute.

以降で磐梯山の降下テフラである葉山第一軽石（HP1）以前であり、約3～5万年前となる。これは、DKPが崩壊1の外側の旧期火山体斜面に乗っているが、崩壊1の内側の新期火山体斜面には乗らないことと、HP1に伴う軽石流堆積物（更科軽石流；小荒井、1995b）が翁島岩屑なだれ堆積物を地形的にも層序的にも覆っていることに基づく。他にも、何人かの研究者が磐梯火山の地形発達史を明らかにしている。山元・須藤 (1996) および千葉・木村 (2001) は、翁島岩屑なだれの発生時期について表1とほぼ同様の解釈を与えており、翁島岩屑なだれとHP1に伴う軽石流の間に明瞭な時間間隙が認められないことから、翁島岩屑なだれはHP1のプリニアン噴火に伴い発生した山体崩壊であるとしている。一方、三村・関口 (2001) は翁島岩屑なだれの発生時期を葉山第2軽石（HP2）と対応させており、その後が生じた図1の崩壊2を発生源とするやや小規模な岩屑なだれ（頭無岩屑なだれ）を、HP1の噴出によるものとしている。

表 1 磐梯火山の地形発達史（小荒井, 1995a を改変）.

Table 1 Landform evolution of Bandai Volcano (modified after Koarai, 1995a).

年代	テフラ	磐梯火山の地形発達史		
			山体形成史	山体崩壊史
A.D.1954年 A.D.1888年	沼沢－沼沢湖テフラ (Nm－NM)	新期 磐梯火 山崩壊 期	大磐梯の形成(ブルガノ式噴火) 新期大磐梯溶岩(押立溶岩)	湯桁山の崩壊 小磐梯の崩壊——崩壊5 ＜新期磐梯火山体の大規模崩壊＞ 北麓(上ノ湯付近)の崩壊 琵琶沢崩壊——崩壊4 沼ノ平崩壊——崩壊3 泥流堆積物(長峯:猫魔火山起源)
A.D.806年? 約2.4ka? 5ka		新期 磐梯火 山形成 期		大谷川段丘形成 翁島岩屑なだれより新しい岩屑なだれ 堆積物(頭無岩屑なだれ)——崩壊2
13～14ka	浅間－二口テフラ(As－FtA)	古期 磐梯火 山崩壊 期	古期大磐梯溶岩(天鏡台溶岩) HP1噴出(更科軽石流噴出)	軽石流堆積面形成 翁島岩屑流堆積物——崩壊1 ＜古期磐梯火山体の大規模崩壊＞
25ka	始良Tnテフラ(AT)			
30～46ka	＜葉山第1軽石(HP1)＞	古期 磐梯火 山形成 期	HP2噴出(日向沢軽石流噴出)	岩屑流堆積物(雄子沢:猫魔火山起源)
50～52ka 50～55ka	大山倉吉テフラ(DKP) 沼沢－金山テフラ(Nm－KN)			
66～77ka	赤城－追貝テフラ(Ag－OK)	古期 磐梯火 山形成 期	赤埴山・櫛ヶ峰等の形成(頭無溶岩)	
72～83ka 74～86ka 86～90ka	＜葉山第2軽石(HP2)＞ 御岳奈川テフラ(On－NG) 阿蘇4テフラ(Aso4)			
	沼沢－芝原テフラ(Nm－SB)			

磐梯火山の北側においても、1888年より古い山体崩壊が過去に発生していた可能性がある。例えば、竹田・米地(1994)は、1888年の磐梯山崩壊以前の絵地図等から、磐梯火山の北麓に1888年崩壊以前の流れ山地形が存在した可能性を指摘している。また、小荒井ほか(1994b)は、檜原湖岸の雄子沢の露頭において、沼沢-芝原テフラ(NM-SB)とAso-4の間に山体崩壊堆積物がみられることを報告している。

III. 解析に使用したデータ

1) ハザードマップ

磐梯火山のハザードマップの資料として、「磐

梯山火山防災マップ」と「磐梯山火山防災ハンドブック」(2001(平成13)年5月;監修:磐梯山火山防災連絡会議;発行:郡山市・会津若松市・喜多方市・塩川町・河東町・磐梯町・北塩原村・猪苗代町)を使用した。これらの資料は、防災科学技術研究所研究資料「日本のハザードマップ集」(中村ほか, 2006)に収納されているデータである。「ハンドブック」の記述および中村(2005b)によると、上記の「火山防災マップ」は、1888年の噴火と同様に火砕流や溶岩流のようなマグマ物質を伴わない水蒸気爆発を想定しており、その規模は有史以降最大の噴火である1888年と同程度とし、想定火口は噴気活動が活発な銅

沼および沼ノ平火口としている。発生が予想される現象としては、降灰、降灰後の土石流、融雪型火山泥流および斜面崩壊をあげており、これらの到達予想範囲が「マップ」に記述されている。この他に、可能性は低いが発生が予想される災害現象として、「ハンドブック」には岩屑なだれ、爆風、二次泥流、および岩屑なだれに伴って発生する湖の津波などが文章で記述されているが、「マップ」には図示されていない。

「日本の火山ハザードマップ集」に収録されているハザードマップは、画像としてのみデジタル化されている。そこで、ハザードマップの背景に示されている三角点等に位置座標を付与し、「土石流」「火山泥流」「斜面崩壊」の到達範囲を GIS 上でデジタル化し、ポリゴンデータに変換した。

2) 地形分類図

本研究では磐梯火山の地形分類図として、2003（平成 15）年 3 月に国土地理院が刊行した 1/30,000 火山土地条件図「磐梯山」を使用した。一方、1990（平成 2）年から 1994（平成 6）年に実施された科学技術振興調整費「火山地域における土砂災害発生予測手法の開発に関する国際共同研究」の際に、国土地理院は 1/25,000 火山地形分類図「磐梯山」を作成した。上記の火山土地条件図の地形分類は、この火山地形分類図の結果をかなりの部分採用している。具体的には、古期火山体や新規火山体の溶岩流などの「磐梯山の火山活動により形成された地形」、翁島岩屑なだれ堆積地形、1888 年岩屑なだれ堆積地形、流れ山などの「磐梯山の山体崩壊により形成された地形」、谷底平野・氾濫原、扇状地、火山麓扇状地、段丘、土石流堆積地形、泥流堆積地形などの「その他の地形等」が分類されている。

国土地理院の火山土地条件図は、土地条件図とは違ってベクトルデータでは刊行されていないが、元のデータはベクトル形式で整備されている。今回は、地形分類のポリゴンデータを入手して解析に使用した。

3) 数値標高モデル (DEM)

磐梯山については 2 種類の数値標高モデル (DEM) が国土地理院から刊行されている。1つ

は「数値地図 50 m メッシュ (標高)」(以下 50-m DEM と略す) であり、地表を約 50 m 間隔に区切った方眼 (メッシュ) の中心点の標高を 1/25,000 地形図から計測したものである。もう 1 つは「数値地図 10 m メッシュ (火山標高)」(以下 10-m DEM と略す) であり、国土地理院発行の 1/5,000 および 1/10,000 火山基本図に描かれている等高線を数値化し、10 m 方眼の中心の標高を求めたものである。50-m DEM は全国整備されているので、岩屑なだれの堆積域を含む火山土地条件図の範囲すべてを対象とする分析に利用できる。一方、10-m DEM は、元となった火山基本図の作成範囲が磐梯火山の本体を中心とした範囲に限定されており、岩屑なだれの堆積域全域はカバーしていない。

今回の研究では、これらの DEM に岩橋 (1994) の方法を適用して地形分類を行い、その結果を火山土地条件図の地形分類やハザードマップの想定被害範囲とそれぞれ重ね合わせて解析した。岩橋 (1994) の分類は、傾斜 (K)、凸部の分布密度 (湾曲度: R)、尾根谷密度 (H) の 3 つの地形量に基づく。以下、岩橋 (1994) の手法を説明する。K は ArcGIS の slope コマンドを使用して求めた。R を求める際には、最初に DEM の 3×3 の窓領域にラプラシアンフィルタを適用して地形の曲率を求めた。この値が正ならば凹部、負ならば凸部を示す。次に、あるグリッドを中心とする半径 10 グリッドの円内 (すなわち面積 314 グリッド) において、曲率が負となるグリッドの出現比率 (0 ~ 1) を R とした。また、H は以下のようにして求めた。DEM の 3×3 の窓領域における標高値を大きい順に並べ、その中央値を領域の中央に与えて平滑化した DEM を作成する。元の DEM の標高から平滑化した DEM の標高を引き算し、その値が正なら尾根、負なら谷、0 なら斜面とする。次に、あるグリッドを中心とする半径 10 グリッドの円内における尾根と谷の合計出現比率を H (0 ~ 1) とした。

本研究では、岩橋 (1994) と同様に、上記の 3 つの指標を平均値より大きい小さいかによって 2 分し、各グリッドの地形を以下の 8 カテゴリー

のいずれかに区分した。1: K大R大H大, 2: K大R大H小, 3: K大R小H大, 4: K大R小H小, 5: K小R大H大, 6: K小R大H小, 7: K小R小H大, 8: K小R小H小。

IV. オーバーレイ解析の結果

1) 火山防災マップの想定災害範囲と火山土地条件図による地形分類との関連

「磐梯山火山防災マップ」の想定災害範囲と火山土地条件図の地形分類とのオーバーレイを口絵3-図1に示す。オーバーレイ解析の結果を以下に述べる。

土石流災害の想定範囲（すべて火山泥流災害の想定範囲に含まれる）は約2,393 haであり、その地形分類構成比は42%が「火山麓扇状地」、16%が「谷底平野・氾濫原」、12%が「1888年岩屑なだれ山麓堆積地」、6%が「翁島岩屑なだれ以降に発生した岩屑なだれによる堆積地」である（図2a）。一方、火山泥流災害の想定範囲は約4,576 haと土石流よりも大きく、30%が「火山麓扇状地」、26%が「谷底平野・氾濫原」、10%が「1888年岩屑なだれ山麓堆積地」、8%が「翁島岩屑なだれ以降に発生した岩屑なだれによる堆積地」となっている（図2b）。

斜面崩壊災害の想定影響範囲は約285 haと小さく、「1954年湯楯山崩壊による泥流堆積地」が35%、「1888年崩壊カルデラ内堆積地」が29%、「溶岩流地形」が14%となっている（図2c）。

また、火山体の近傍で土砂災害が想定されていない範囲が約250 ha認められるが、この内の27%が「翁島岩屑なだれ以降に発生した泥流による堆積域」と「1888年岩屑なだれ山麓堆積地」、22%が「翁島岩屑なだれ以降に発生した岩屑なだれによる堆積地」であり（図2d）、地質学的にみて新しい時期に発生した土砂移動による堆積地形と対応している。

火山土地条件図の地形分類区分ごとに、災害の想定面積の割合をまとめたものを図3に示す。土石流災害の想定範囲は火山泥流の想定範囲の中に含まれるので、災害の種類は「土石流（火山泥流を含む）」「火山泥流のみ」「斜面崩壊」「無災害」

の4つに区分した。土石流・火山泥流災害の想定範囲は、「火山麓扇状地」や翁島岩屑なだれ以降の岩屑なだれや泥流等による堆積地が主であり、南麓の「翁島岩屑なだれ堆積地」はほとんど含まれない。磐梯火山の北麓でも、土石流・火山泥流災害の想定範囲は、「1888年アバランシュバレー」「1888年岩屑なだれ山麓堆積地」「1888年岩屑なだれ堆積地（変形地域）」までであり、「1888年岩屑なだれ堆積地」にはほとんど至っていない。

2) DEMによる地形量と火山土地条件図の地形分類との関係

2-1) 50-m DEMによる解析

火山土地条件図の地形分類ごとに、50-m DEMから求めた傾斜、凸部の分布密度、尾根谷密度の頻度分布を調べた。傾斜の最頻値は溶岩流では10～20°、崩壊壁では20～40°、流れ山では0～10°、泥流堆積地・土石流堆積地では5～10°、1888年岩屑なだれでは0～5°、山麓堆積地では0～10°、火山麓扇状地では0～10°、谷底平野・氾濫原、扇状地、段丘では5°以下である。凸部の分布密度は0.4～0.6の範囲に入るものが多いが、溶岩流では0.5～0.6にピークが集中する傾向が強いのにに対し、岩屑なだれ堆積地や泥流堆積地では0.4～0.5に顕著なピークがある。また、谷底平野・氾濫原では凸部の分布密度がより小さい。

尾根谷分布密度のピークは、溶岩流地形では0.5～0.7、1888年岩屑なだれ堆積地形では0.4～0.6、1888年岩屑なだれ山麓堆積地形では0.5～0.7、翁島岩屑なだれ堆積地形では0.6～0.7、谷底平野・氾濫原では0.1～0.2に集中するが、扇状地では0.2～0.4にまんべんなく分布し、火山麓扇状地では0.2～0.6に広く分布する傾向がある。

50-m DEMによる自動地形分類と土地条件図の地形分類とを重ね合わせたものを図4に示す。また、土地条件図の地形分類ごとに自動分類で得られた地形のタイプの割合を図5に示す。溶岩流地形、崩壊カルデラ内堆積地、地すべり地形など火山体本体部の地形についてはタイプ1（K大

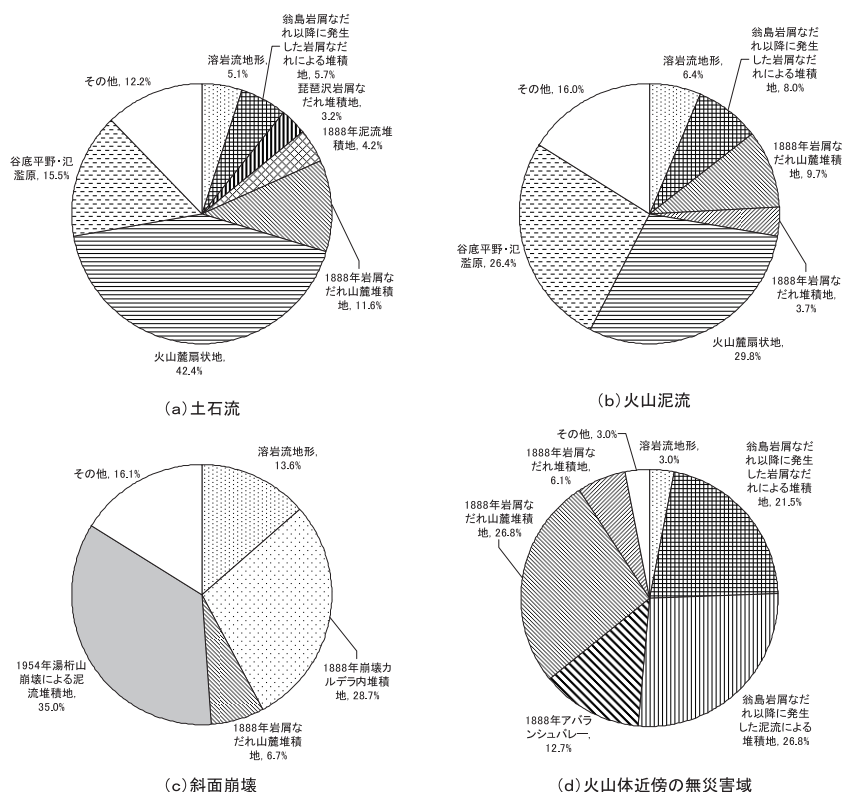


図 2 「磐梯山火山防災マップ」の各想定災害範囲の地形分類構成比。

Fig. 2 Ratio of landform classification units in each hazard area in the hazard map "Bandai Volcano".

(a) debris flows, (b) volcanic mud flows, (c) slope failures, (d) non-hazard areas close to volcano.

R 大 H 大) の割合が高く、1888 年岩屑なだれの堆積地形の関連ではタイプ 5 (K 小 R 大 H 大) の割合が高く、翁島岩屑なだれ堆積地ではタイプ 5, 7 (K 小 R 小 H 大), 8 (K 小 R 小 H 小) の割合が高く、谷底平野・氾濫原ではタイプ 8 の割合が高い。図 4 によると、磐梯山の南麓にある火山麓扇状地はタイプ 6 (K 小 R 大 H 小) と良く対応している。また、タイプ 2 (K 大 R 大 H 小), 3 (K 大 R 小 H 大) 4 (K 大 R 小 H 小) の出現頻度は少ない。

2-2) 10-m DEM による解析

10-m DEM を用いて上記と同様の検討を行った。ただし 10-m DEM の作成範囲は限られており、岩屑なだれ堆積域などは全域がカバーされていないため、地形分類ごとの傾斜、尾根谷密度、

凸部の分布密度の頻度分布の記述は省略する。自動地形分類の結果と火山土地条件図の地形分類ポリゴンとのオーバーレイを図 6 に示す。また、土地条件図の地形分類ごとに自動地形分類の結果の割合を示したものを図 7 に示す。全体的に、50-m DEM の場合とはかなり違う傾向が読み取れる。50-m DEM を用いた解析では、溶岩流地形、崩壊カルデラ内堆積地、地すべり地形でタイプ 1 (K 大 R 大 H 大) の割合が高かったが、10-m DEM を用いた解析ではタイプ 1 の割合は相対的に低く、タイプ 2 (K 大 R 大 H 小) や 4 (K 大 R 小 H 小) の割合が高い。また、50-m DEM を用いた解析では、岩屑なだれ堆積地形を中心にタイプ 5 (K 小 R 大 H 大) の割合が高かったが、10-m DEM の解析ではタイプ 5 の割合が減り、

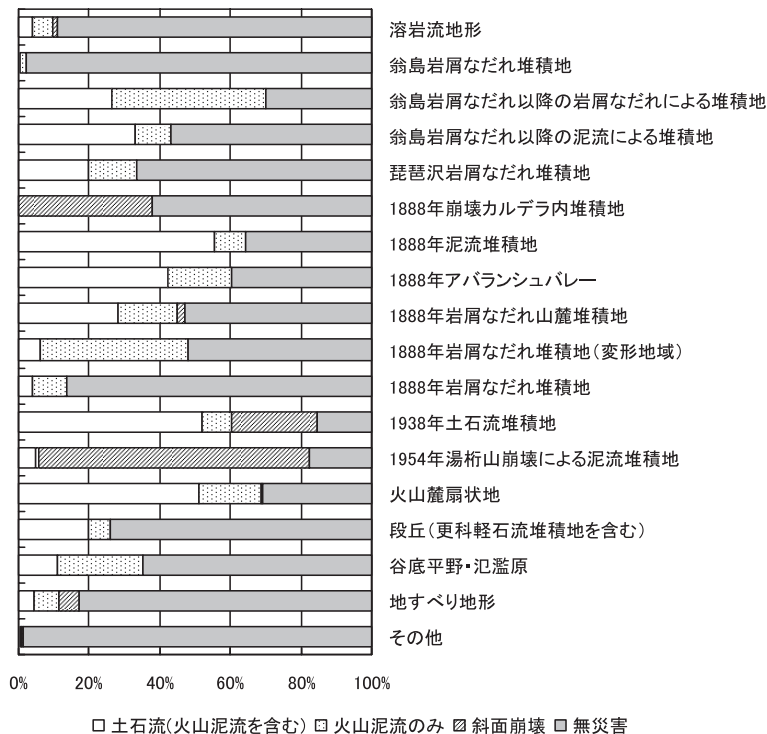


図 3 火山土地条件図の各地形分類におけるハザードマップの想定災害面積比。

Fig. 3 Hazard area ratio in each landform classification units on the Land Condition Map of Volcano.

50-m DEM の解析では出現頻度の低かったタイプ 7 (K 小 R 小 H 大) の割合が高くなっている。

図 6 によると、タイプ 4 は崩壊壁などの、急傾斜ではあるが平滑な斜面とよく対応する。一方、タイプ 7 は、1888 年岩屑なだれ堆積地形の中で広範囲に出現し、溶岩流地形の中にもしばしば出現する。50-m DEM を用いた解析では、溶岩流はほとんどタイプ 1 となったが、10-m DEM の解析では、山頂近傍の溶岩ではタイプ 2、溶岩の流送部ではタイプ 6, 7 が多く、溶岩流の末端部や溶岩じわ等に伴う急崖部ではタイプ 2, 4 が帯状に出現している。

3) DEM による地形分類とハザードマップの想定被害域との関係

「磐梯山火山防災マップ」に記述されている各災害の想定被害域における DEM による地形分類

結果の構成比を、50-m DEM の場合 (図 8) と 10-m DEM の場合 (図 9) について示す。10-m DEM と 50-m DEM による結果は全体的には類似するが、急傾斜な地形については前者ではタイプ 1 の割合が減少してタイプ 4 の割合が大きくなる。また、緩傾斜の地形では、10-m DEM の場合にはタイプ 5 とタイプ 8 の割合が減少し、タイプ 7 の割合が増加する。

V. 考 察

1) ハザードマップの災害影響範囲と火山土地条件図の火山地形分類との関係

「磐梯山火山防災ハンドブック」や中村 (2005b) によると、「磐梯山火山防災マップ」の災害の想定範囲は数値シミュレーションによって求められており、火山土地条件図の地形分類の結果とは基

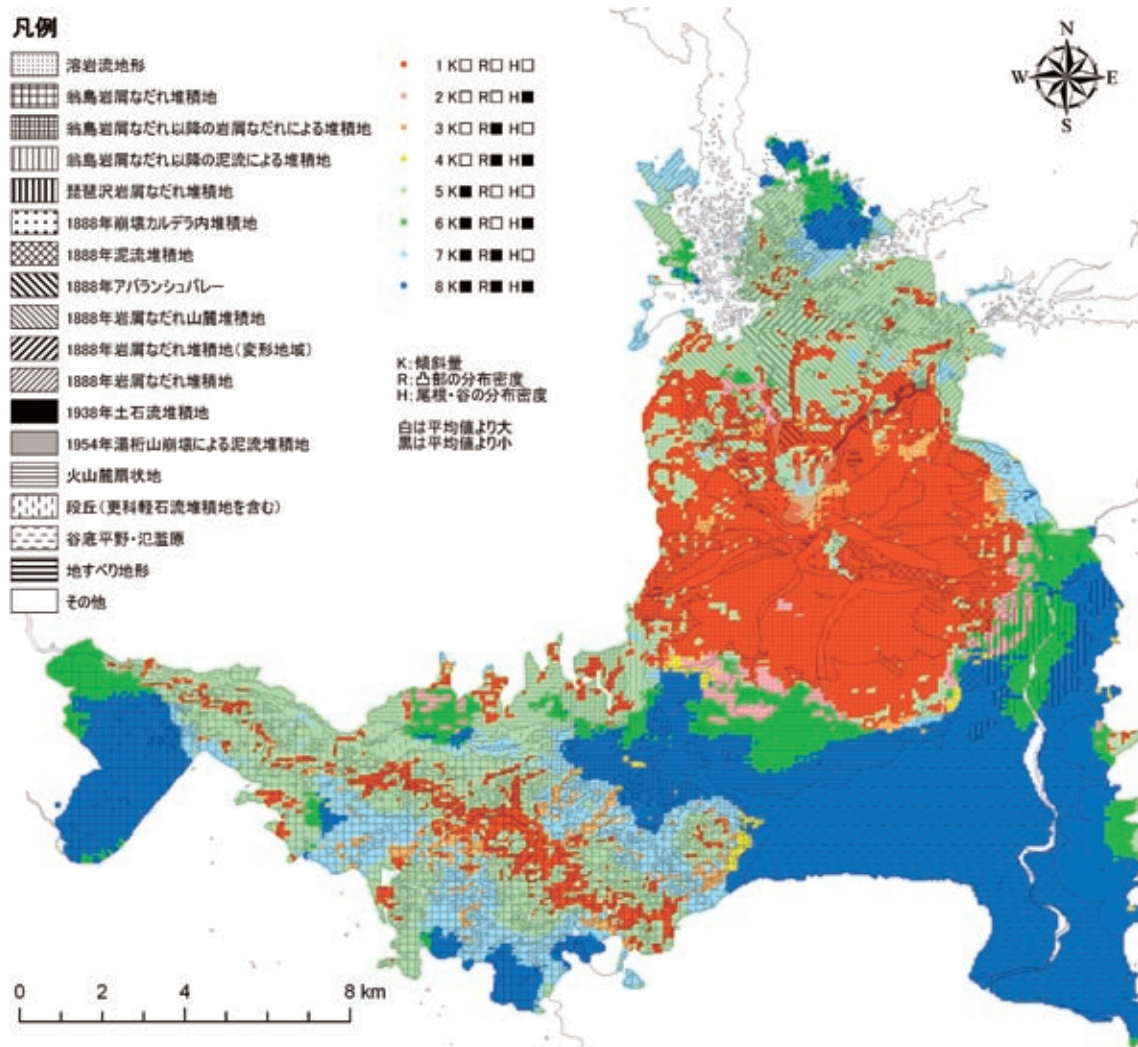


図 4 火山土地条件図の地形分類と 50-m DEM による自動地形分類とのオーバーレイマップ。

Fig. 4 Overlay map of landform classification on the Land Condition Map of Volcano and automated landform classification using the 50-m DEM.

本的に独立に求められている。よって、ハザードマップの災害想定範囲と火山地形分類との関係を考察することは、地形と災害危険度の関係を解明する上で意味のあるものである。

土石流災害と火山泥流災害の想定範囲は、溶岩流地形、翁島岩屑なだれ堆積地形、1888 年岩屑なだれ堆積地形とはほとんど重なっていない。このことは、これらの地形は、ハザードマップで想

定されている頻度と規模の土石流や火山泥流に関しては危険性が低いことを示している。そもそも溶岩流は、土石流や火山泥流の発生場とみなされ、周りより高い地形であるため、土石流や火山泥流の堆積の場となることは希である。実際、磐梯山の旧期火山体の溶岩流には Aso-4 以降のテフラが連続して堆積しており（小荒井ほか、1995 など）、約 8 万年前以降、斜面が安定していたこ

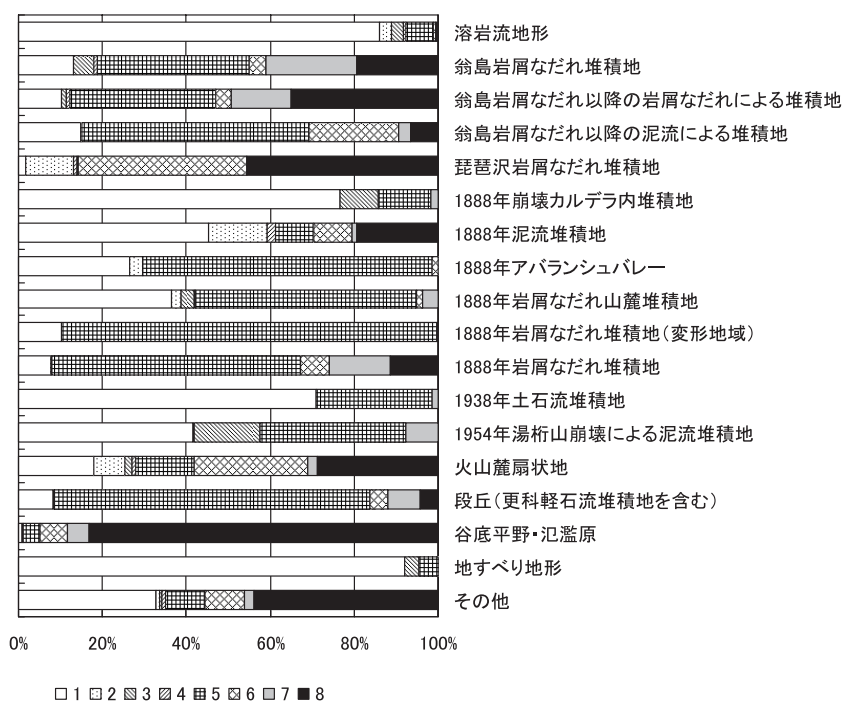


図 5 火山土地条件図の各地形分類における 50-m DEM による自動地形分類の結果。

Fig. 5 Result of automated landform classification using the 50-m DEM for each landform classification units on the Land Condition Map of Volcano.

とを示している。一方、翁島岩屑なだれ堆積地については、現状のハザードマップでは災害の想定範囲外であるが、もし翁島岩屑なだれの際と同等の大規模崩壊（山体を平面でみて 1/3 近く消失させる程度）が発生した際には、被災する危険性のある地域といえよう。また、JR 磐越西線よりも磐梯山体側には、翁島岩屑なだれ以降の岩屑なだれ堆積地（より規模の小さな山体崩壊によるもの：例えば図 1 の崩壊地形 2 など）や土石流堆積地形、泥流堆積地形、火山麓扇状地などが存在しており、これらの範囲はハザードマップにおける土石流や火山泥流の想定到達範囲に入っている。したがって、磐梯山の南麓では、地形分類と災害の危険性との対応が高いといえる。

山体北側の 1888 年小磐梯崩壊による岩屑なだれ地形に関しては、大半がハザードマップにおける土石流や火山泥流の到達範囲外にあるが、一部は土石流、火山泥流、小規模な山体崩壊などによ

る土砂で埋積されていく途上にあると考えられる。したがって、磐梯山の北麓では南麓とは異なり、地形分類と災害との対応が明瞭でないといえる。これは、山体の北側では、約 100 年前に大規模な山体崩壊が起きたばかりであり、その後の土石流や火山泥流による地形がほとんど発達していないためと考えられる。なお、「翁島岩屑なだれ堆積地形」と同様に、大規模山体崩壊が新たに生じた場合には、より広域が被災する可能性があるが、100 年前に生じた崩壊カルデラ内は崩壊後の噴出物でまだ埋められていないため、大規模な崩壊は当面は起こりえない。

次に、「磐梯山火山防災マップ」では図示されていない大規模な岩屑なだれの危険性について、地形発達史に基づく災害頻度の視点から考察する。前記のように、小荒井（1995a）は、翁島岩屑なだれの発生時期をテフラの関連から約 3 ～ 5 万年前としており、千葉・木村（2001）も同様

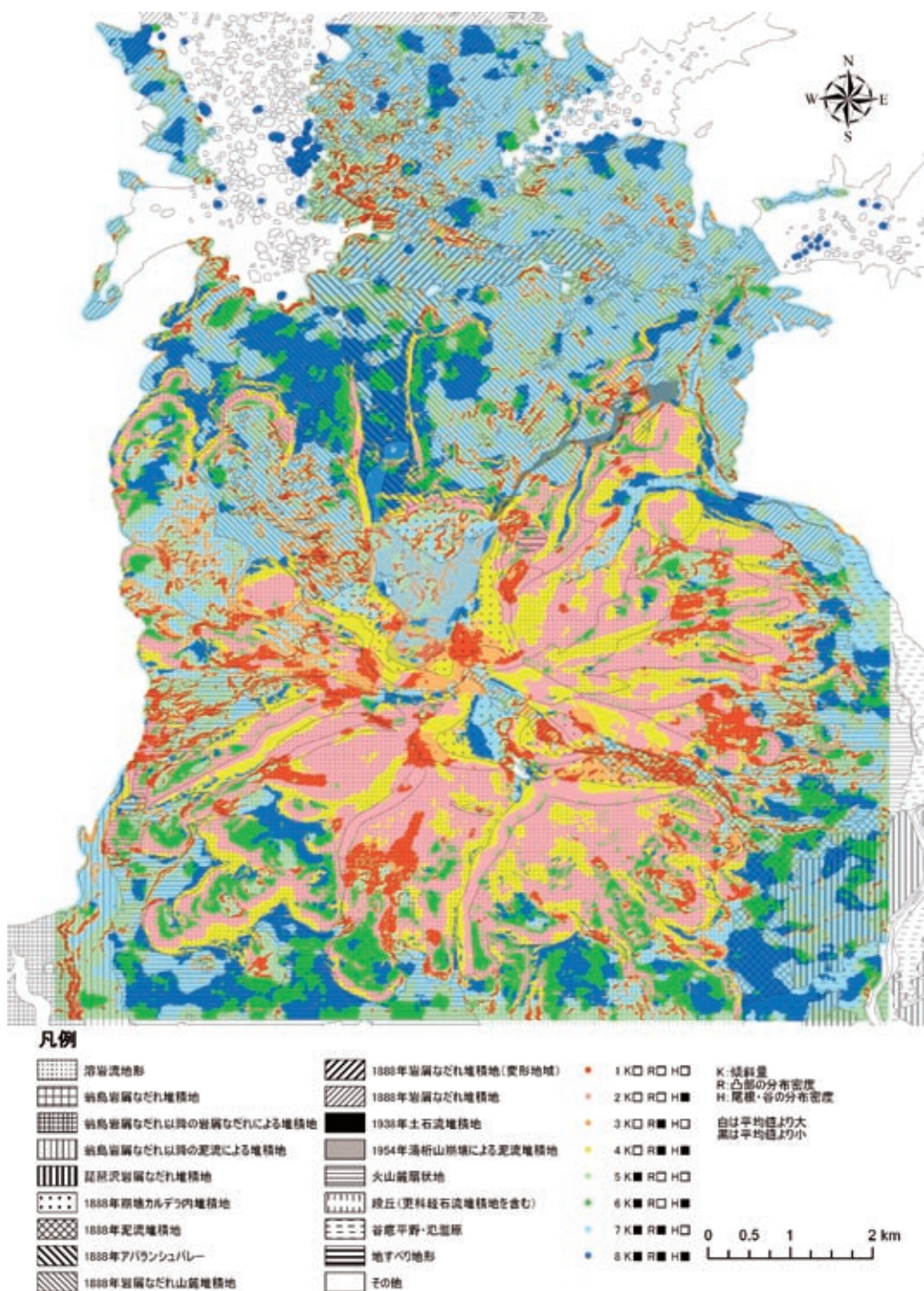


図 6 火山土地条件図の地形分類と 10-m DEM による自動地形分類とのオーバーレイマップ。

Fig. 6 Overlay map of landform classification on the Land Condition Map of Volcano and automated landform classification using the 10-m DEM.

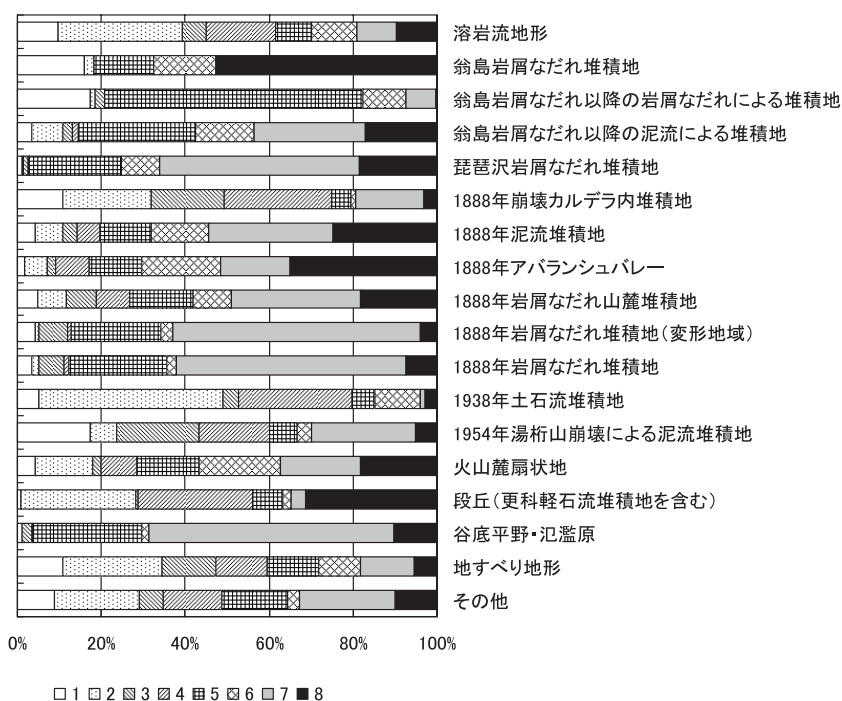


図 7 火山土地条件図の各地形分類における 10-m DEM による自動地形分類の結果.

Fig. 7 Result of automated landform classification using the 10-m DEM for each landform classification units on the Land Condition Map of Volcano.

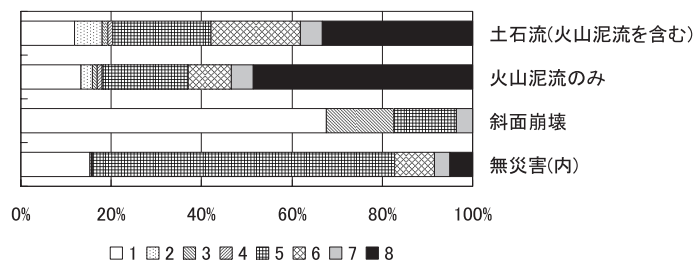


図 8 想定災害範囲ごとの 50-m DEM による自動地形分類の結果.

Fig. 8 Result of automated landform classification using the 50-m DEM for each hazard area of the hazard map.

の見解を示している。一方、三村・関口（2001）は翁島岩屑流の発生時期を葉山第2軽石（HP2）と関連づけているが、翁島岩屑なだれを起こした崩壊1の崩壊壁でHP2の軽石堆積物が確認できる（小荒井ほか、1995）ので、ここでは小荒井（1995a）の見解を採用する。この場合、翁島岩屑なだれと約100年前の小磐梯崩壊という2回

の山体崩壊が、過去5万年以内に起きたことになる。また、前記のように磐梯火山の北側では1888年より古い山体崩壊の可能性が指摘されており、HP2が噴出したプリニアン噴火の時にも山体崩壊が生じた可能性も考えると、10万年に3回以上の頻度で山体崩壊が発生した可能性が高い。

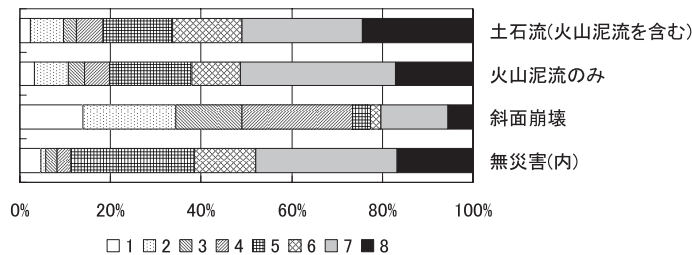


図 9 想定災害範囲ごとの 10-m DEM による自動地形分類の結果。

Fig. 9 Result of automated landform classification using the 10-m DEM for each hazard area of the hazard map.

以上から、平面的に山体の 1/3 近くを消失させるような大規模な山体崩壊による岩屑なだれは 3 万年に 1 回程度の頻度で生じ、さらに山頂部周辺では数千年に 1 回程度の頻度で小規模な山体崩壊が生じたと判断できる (表 1)。磐梯火山のハザードマップは、大規模山体崩壊も考慮したものが望ましいが、「磐梯山火山防災マップ」ではこの件については文章のみで記述されており、その影響範囲は明記されていない。一方、火山土地条件図は大規模山体崩壊を含む過去の地形形成の過程をとらえた災害実績図とみなすことができ、低頻度であるが非常に大規模な災害に関するハザードマップとして利用可能といえよう。

2) 火山土地条件図と自動地形分類との対応に DEM の解像度が与える影響

50-m DEM による自動地形分類の結果 (図 4) は、火山土地条件図の地形分類と対応が良く、50-m DEM の地形表現が 1/25,000 程度の縮尺の地形分類表現に対応していることを示唆している。このことは、開発途上国など地形図が未整備の地域であっても、衛星画像のステレオマッチング等により 50-m DEM が作成できれば、現地的情報が少なくても火山の大局的な地形分類が可能であることを示している。

一方、10-m DEM による自動地形分類の結果 (図 6) は、より詳細な火山の微地形を反映している。前記のように、50-m DEM による分類では、火山体の中心部はすべてタイプ 1 となっているが、10-m DEM ではタイプ 4 に分類されるものが多く、急で平滑な斜面が個別に抽出されて

いる。同様に、溶岩流地形については 50-m DEM による分類ではほとんどタイプ 1 となっているが、10-m DEM の解析では、溶岩流の末端部や溶岩じわ等に対応して他のタイプが出現している。したがって、10-m DEM は溶岩流の微地形を表現可能といえる。

次に、上記のような DEM のグリッドサイズによる相違の背景を調べるために、K, R, H の 3 要素のヒストグラムを、2 つの DEM が共通にカバーしている山体部分について作成した (図 10)。傾斜 K については、ヒストグラムの頻度分布の大局的な形状は DEM の解像度によらず類似しているが、10-m DEM の方が 50-m DEM と比べて傾斜 15 ~ 35° の相対頻度が高く、高橋ほか (2003) が指摘しているように、グリッドサイズが小さいと狭い範囲の急傾斜地をより正確にカウントできることを示す。また、傾斜の増加に伴うグリッド数の減少の傾向をみると、10-m DEM の場合には、傾斜 20 ~ 30 度で減少がにぶる傾向が顕著である。このことは、DEM の解像度が変化した際に、ヒストグラムの位置や幅が単に変化するのではなく、頻度分布の形状が質的に変化することを示している。

凸部の分布密度 R については、いずれの DEM の場合も 0.5 をピークとしているが、10-m DEM の場合には頻度分布が正規分布に近いのに対し、50-m DEM の場合には低い値が相対的に生じやすく、高い値は少なく最大でも 0.6 となっている。したがって、R についてもヒストグラムの形状の質的な相違が認められる。

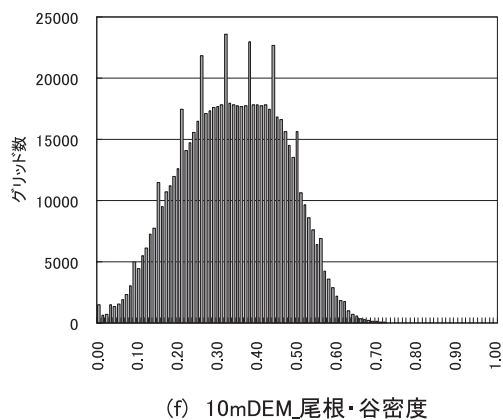
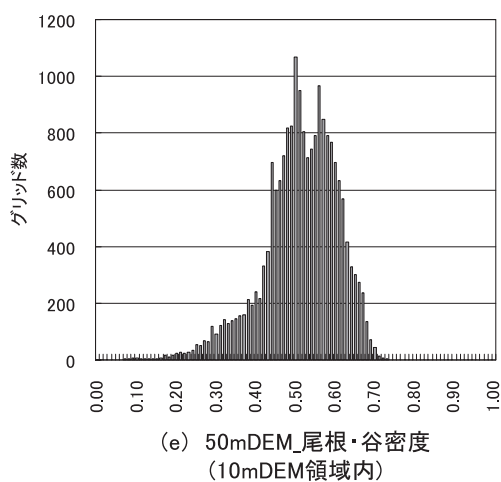
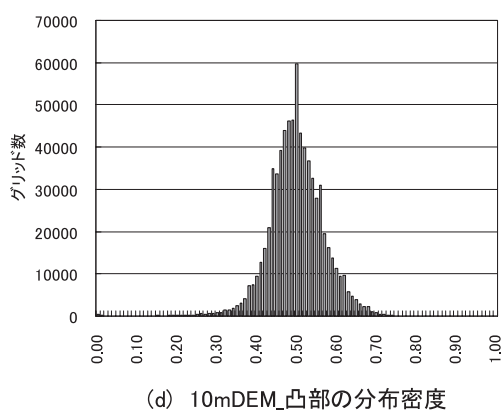
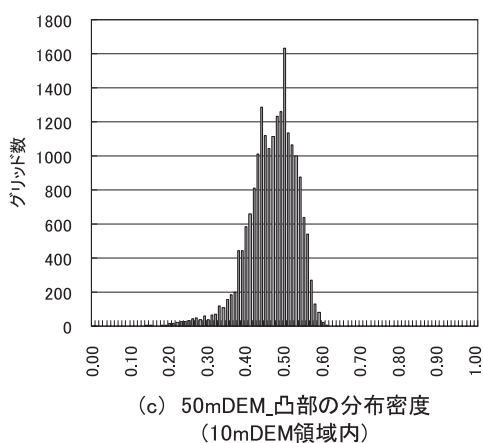
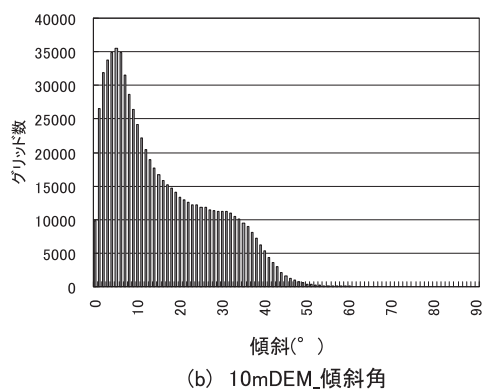
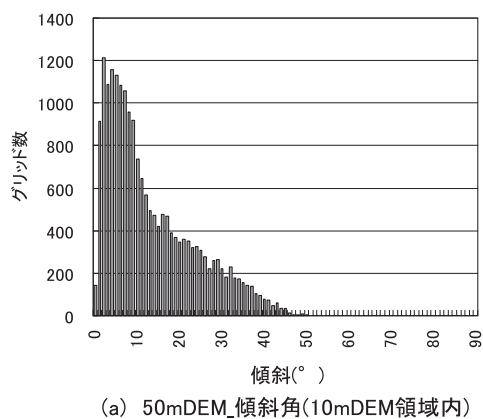


図 10 DEM の解析で求めた地形量のヒストグラム。

Fig. 10 Histogram of topographic parameter values obtained by DEM analysis.

尾根谷密度 H については、50-m DEM の場合には 0.5 ~ 0.6 をピークとしているが、 R と同様に低い値が高い値よりも多くなるような頻度分布の歪みが認められる。一方、10-m DEM の場合には頻度分布がほぼ左右対称になっている。このことは、50-m DEM を用いた場合には、平均値よりも値が大きいグリッドの数が、値が小さいグリッドの数よりも明瞭に多くなり、 H が大と認定される場合が多いことを示している。50-m DEM による地形分類では溶岩流地形などの大半がタイプ 1 (K 大 R 大 H 大) と認定されるのに対し、10-m DEM による地形分類ではタイプ 2 (K 大 R 大 H 小) が多く抽出されることは、上記のような頻度分布の対称性の相違に影響されている可能性がある。

本稿で適用した岩橋 (1994) の方法は、 K , R , H の大小を平均値で区分する。しかし、上記のように、地形量の頻度分布の正規性が不明瞭な場合には、平均値による区分ではグリッドの数が不均一になり、それが結果に影響を及ぼす可能性がある。また、同一の地域であっても、DEM の解像度が異なると地形量の頻度分布の正規性が変化することが示された。以上から、DEM の解像度による地形表現力の変化は複雑であり、とくに地形分類に関連した検討では、この問題を慎重に扱う必要があると考えられる。

VI. まとめ

本論文では、DEM とベクトル型の GIS データを活用した防災研究として、磐梯火山のハザードマップに示された想定災害範囲、火山土地条件図の地形分類ポリゴンデータ、およびグリッドサイズの違う DEM による自動地形分類の結果を組み合わせた検討を行った。その結果、ハザードマップの想定災害範囲は、火山土地条件図の地形分類結果から読み取れる過去の災害実績の結果とおおむね調和的であることが判明した。ただし、両者の対応は磐梯火山の南麓では明瞭であるが、1888 年の大崩壊の影響が強い北麓では相対的に不明瞭である。一方、ハザードマップに表示されていない大規模山体崩壊の影響を評価する際に

は、地形発達史の視点から岩屑なだれの堆積域を図示した火山土地条件図の利用が有効である。また、50-m DEM による自動地形分類は、大局的な火山地形分類の結果と対応が良いが、10-m DEM ではより細かい微地形を反映した地形単位が抽出可能である。ただし、DEM の解像度に応じて得られる地形量の頻度分布が質的に変化するため、自動地形分類に際しては慎重な検討が必要なこととも明らかとなった。

今回の研究では磐梯火山のみを対象にしたが、国土地理院の火山土地条件図や 10 m グリッドの火山標高データは、複数の火山について整備されている。今後、研究事例を増やしてより一般的な議論を行い、火山土地条件図等のベクトルデータを実用的な火山ハザードマップの基礎情報として活用する方策について検討していきたい。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、茨城大学理学部の藤縄明彦准教授には、磐梯火山の地質・岩石についてご教示を頂いた。宇都宮大学教育学部の中村洋一教授には、磐梯山火山防災マップの作成過程についてご教示頂いた。国際航業 (株) の中筋章人氏には、火山のハザードマップ全般に関してご教示頂いた。国土地理院地理調査部防災地理課には、火山土地条件図のベクトルデータの提供を受けた。DEM の地形解析の際には、同院地理地殻活動研究センター地理情報解析研究室の岩橋純子研究官に解析ソフトの提供を受けた。同室の村上弘明氏には、データ図表の作成を手伝っていただいた。また、2 名の匿名の査読者からは、本論文を改善する貴重な御意見を頂いた。ここに記して、感謝いたします。

文 献

- 秋山 実・佐藤 浩・小荒井 衛・本間信一 (2007): 雪崩実績図を用いた雪崩の発生条件分級加点点図の評価とその改良. 写真測量とリモートセンシング, **46** (2), 4-16.
- 千葉茂樹・木村純一 (2001): 磐梯火山の地質と火山活動史—火山灰編年法を用いた火山活動の解析—. 岩石鉱物科学, **30**, 126-156.
- 千葉茂樹・木村純一・佐藤美穂子 (1995): 磐梯火山のテフラ層序と火山活動史. 磐梯火山, 103-110.
- 永村恭介 (2007): GIS を用いた妙高火山ハザードマップの作成と危険度評価. 上越教育大学大学院学校教育研究科教科・領域教育専攻社会系コース修士論文,

- 107p.
- 石川弘美・常住春夫 (2005): ハザードマップ基礎情報としての土地条件 GIS データおよび新旧地形図の活用について. 地図, **43**(3), 1-8.
- 岩橋純子 (1994): 数値地形モデルを用いた地形分類手法の開発. 京都大学防災研究所年報, **37B-1**, 141-156.
- 神谷 泉・黒木貴一・田中耕平 (2000): 傾斜量図を用いた地形・地質の判読. 情報地質, **11**(1), 9-22.
- 小荒井 衛 (1995a): 地形発達史. 地理調査部研究報告, **12**, 97-101.
- 小荒井 衛 (1995b): 更科軽石流の発生時期について. 地理調査部研究報告, **12**, 97-101.
- 小荒井 衛・星野 実・津沢正晴・大谷智生・水越博子・中村洋一・鈴木毅彦・千葉茂樹・早田 勉 (1994a): 磐梯火山南麓の岩屑流堆積物について. 地理調査部研究報告, **11**, 49-58.
- 小荒井 衛・米地文夫・竹田裕子・中村洋一・田中耕平 (1994b): 磐梯火山北麓の岩屑流について—地形復元結果に対するコメント—. 地理調査部研究報告, **11**, 42-48.
- 小荒井 衛・津沢正晴・星野 実 (1995): 磐梯山の地形発達史. 磐梯火山, 135-143.
- 小荒井 衛・佐藤 浩・宇根 寛 (2007): 地震による地盤災害と土地条件との関連に関する GIS 解析. 国土地理院時報, **112**, 115-123.
- 小林裕之・三箇智二 (2007): GIS と空間統計解析による富山県の地すべり危険度評価. 日本地すべり学会誌, **43**(6), 46-52.
- 高阪宏行 (2000): GIS を利用した火砕流の被害予測と避難・救援計画—浅間山南麓を事例として—. 地理学評論, **73**, 483-497.
- 黒川 潮・阿部和時・大丸裕武・松浦純生 (2007): 物理則モデルによる表層崩壊危険度評価. 日本地すべり学会誌, **43**, 351-355.
- 三村弘二 (1988): 磐梯火山の地質と活動史. 地学雑誌, **97**, 279-284.
- 三村弘二・関口辰夫 (2001): 磐梯山南西麓の岩屑などの ^{14}C 年代. 火山, **46**, 11-16.
- 三浦弘之・翠川三郎・井上聡史 (2005): 高解像度数値標高モデルを用いた都市域での急傾斜地崩壊危険箇所の抽出手法. 地域安全学会論文集, **7**, 299-306.
- 守屋以智雄 (1988): 磐梯火山の地形発達史. 地学雑誌, **97**, 293-300.
- Nakamura, Y. (1978): Geology and petrology of Bandai and Nekoma Volcanoes. *Science Report of Tohoku University, Series 3*, **14**, 67-119.
- 中村洋一 (2005a): データベースからみた日本の活火山ハザードマップ. 月刊地球, **27**, 253-258.
- 中村洋一 (2005b): 磐梯山の火山防災マップ. 月刊地球, **27**, 328-330.
- 中村洋一・荒牧重雄・佐藤照子・堀田弥生・鶴川元雄 (2006): 日本の火山ハザードマップ集. 防災科学技術研究所研究資料, **292**, 1-20.
- 中筋章人 (2003): リアルタイム型火山ハザードマップシステムの開発に関する研究—北海道有珠火山を例として—. 新潟大学大学院自然科学研究科環境管理科学専攻博士論文, 125p.
- 大矢雅彦編 (1983): 地形分類の手法と展開. 古今書院, 219p.
- 齋藤 仁・中山大地・松山 洋 (2007): Decision tree による地すべり発生流域の推定とその検証—ASTER データを用いて—. 日本地すべり学会誌, **44**(1), 1-14.
- 鈴木毅彦・木村純一・早田 勉・千葉茂樹・小荒井衛・吉永秀一郎・新井房夫・高田将志 (1995): 磐梯火山周辺に分布する広域テフラ. 地学雑誌, **104**, 551-560.
- 高橋昭子・小口 高・杉盛啓明 (2003): ラスター型 DEM の解像度と地形表現力. 地理学評論, **76**, 800-818.
- 竹田裕子・米地文夫 (1994): 1888 年噴火以前裏磐梯における地形景観の復元. 季刊地理学, **46**, 51-52.
- 山元孝弘・須藤 茂 (1996): テフラ層序からみた磐梯火山の噴火活動史. 地質調査所月報, **47**, 335-359.

(2007 年 10 月 30 日受付, 2008 年 3 月 28 日受理)