

薩摩半島のシラス分布域における崩壊の地形的特徴

GEOMORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF FAILURE IN SHIRASU AREA IN THE SATSUMA PENINSULA

五十嵐 隆亮¹・須貝 俊彦²・井村 隆介³

Ryusuke IGARASHI, Toshihiko SUGAI and Ryusuke IMURA

¹ 東京大学大学院新領域創成科学研究科（〒277-8561 千葉県柏市柏の葉5-1-5）

E-mail: ryusuke_igarashi@nenv.k.u-tokyo.ac.jp

² 東京大学大学院新領域創成科学研究科（〒277-8561 千葉県柏市柏の葉5-1-5）

E-mail: sugai@k.u-tokyo.ac.jp

³ 鹿児島大学大学院理工学研究科（〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元1-21-24）

E-mail: imura@sci.kagoshima-u.ac.jp

Key Words: Shirasu, slope failure, records, geomorphological development, southern Kyushu

1. はじめに

全国には、火碎流堆積物が分布する地域が点在しており、とくに鹿児島県のシラス堆積物(以下では、入戸火碎流堆積物に限定してシラスという用語を使用)が分布する崖は、数十年という極めて短い周期で崩壊を繰り返すことが報告されている¹⁾。鹿児島県の報告²⁾では、姶良カルデラ外壁部やシラス地域などで土砂災害が発生やすい(写真-1)。シラスの土砂災害の代表的な研究例として、シラス台地開析谷の主に下刻に伴う谷壁斜面の成長過程の解明³⁾ やシラスの急斜面における崖崩れに周期性があり、崩壊後の表層土の再形成までの期間は70~80年程度であると推定⁴⁾ したもののがあげられる。また、九州南部では、地下水が関与した崩壊が目立つことから、シラス斜面脚部の崖錐崩壊を取り上げ、その発生メカニズムを水文地形学的な立場から検討した研究^{5),6)}もある。薩摩半島西部では、シラスの海食崖(写真-2)が発達している。海食崖の崩れに周期性があることから、表層滑落型崖崩れに限定すれば、崖崩れの予知は可能⁷⁾という報告もある。

他方、この地域のシラス台地を刻む谷には、現・旧開析谷があり、旧開析谷は化石谷であること、その成長・発達

の停止原因は不明であること⁸⁾が指摘されている。このことは、シラス分布域における発達史地形学の課題が残されていることを示す。

全国では、斜面崩壊が発生するたびに、崩壊要因や限界雨量などの研究がなされてきた。これらの研究成果に加え、地形学的観点からの崩壊研究の重要性が増していく⁹⁾という指摘もある。しかし、地形発達史を考慮したシラス崩壊の発生機構に関する研究例は少ない。

本稿では、近年に鹿児島県本土で発生した土砂災害実績を踏まえ、九州南部の薩摩半島を事例として得られた知見を報告する。



写真-1 シラス斜面の崩壊跡地(鹿児島市)
(2012年8月7日撮影、撮影位置を図1に示す)



写真-2 シラスの海食崖(日置市吹上浜)
(2012年10月4日撮影、撮影位置を図1に示す)

2. 研究手法

過去に発生した土砂災害に関しては、鹿児島県土木部砂防課から提供いただいたデータを用いた。1989-2010年に鹿児島県内全域で発生した土砂災害のうち、個々の崩壊の高さ(崩壊斜面の上下端の比高)、位置(緯度経度)、崩壊幅、流出(崩壊)土砂量が記載されているもの1296件を対象に、崩壊の規模や地形場の条件を解析した。

過去に発生した崩壊箇所の地形情報を把握するため、斜面の曲率と傾斜角を計測した。計測に用いたデータは、近年に国土地理院が全国整備した10m DEM(数値標高モデル)である。DEM 解析の結果と小規模崩壊との関係を考察するのに適している。解析におけるベクターラスター変換や地形量(曲率および傾斜)の算出には、Arc GIS 10.1を使用した。

曲率に関しては、土砂災害地点を含むセルごとに、サーフェスの曲率を、そのセルと周辺の8つのセルを対象として計算した。曲率は、サーフェスの二次導関数で示す。断面曲率は斜面(サーフェス)の最大傾斜角の方向で、平面曲率は最大傾斜角の方向に対して鉛直である¹⁰⁾。

傾斜は、各セルから計算するZ値(標高に関する情報を格納する値)の最大変化率を表したもの¹⁰⁾である。傾斜区分図を作成し、本論文であつかう崩壊地の位置情報を10m DEMと重ねて、崩壊位置情報(緯度経度)の精度を確認した。

薩摩半島西部のシラス分布域については、国土地理院発行(1975年撮影)のカラー空中写真より判読を行い、旧開析谷と現開析谷の分布を示した地形分類図を作成した。

3. 薩摩半島のシラス分布域における崩壊の地形的性質

鹿児島県土木部砂防課から提供いただいた全データを用いて、土砂災害発生地点を図-1に示した。このデータを基に、1296個の崩壊を対象として、崩壊幅のヒストグラム(図-2)を作成した。崩壊幅が10m以下の崩壊数が全体の半数以上を占め、崩壊幅20m以下で全体の80%を超える。この結果は、シラス台地周辺斜面の崩壊の形態は小規模の表層崩壊が大部分である⁴⁾ことと整合する。流出土砂量のヒストグラム(図-3)もまた、流出土砂量が1,000 m³未満で大半を占め、小規模崩壊であることを示している。

単位地表面の傾斜角と傾斜方向の変化状態の組み合わせによって、単位地表面を三次元的に区分した場合の起伏形態を斜面型とよぶ¹¹⁾。斜面型は、単位地表面の垂直断面形と水平断面形の組み合わせによって、9種類の基本型に分類される(図-4)。薩摩半島のシラス分布域における崩壊実績に関しては、災害の形態が“崖崩れ”である235地点の崩壊地の局所的な曲率を解析した(災害の形態が土石流および崩壊幅が未記載を除く)。斜面の曲率(土砂災害地点を含むセルと周辺の8つのセル)を抽出¹²⁾し、崩壊幅が0-20mと20.01m以上に分けてプロットした(図-5)。崩壊地は、個々の崩壊地付近の斜面型が等齊直線斜面に分類される場所を中心として、分布していることがわかる。凸型尾根型斜面と凹形谷型斜面は、ばらつきはあるものの、ほぼ等しく分布している。重心は、いずれ

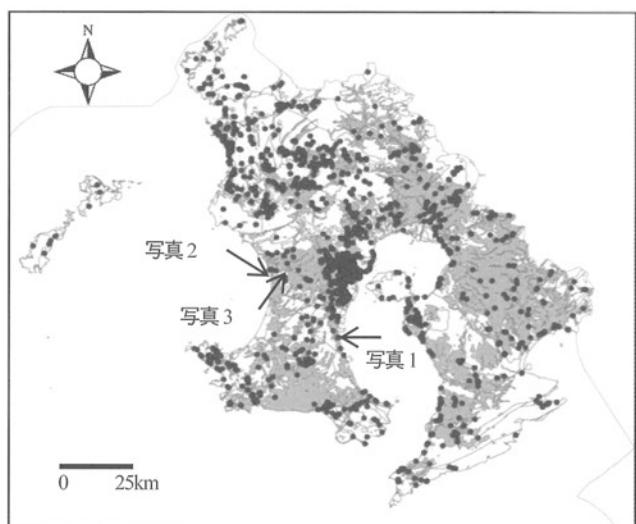


図-1 鹿児島県における土砂災害箇所のプロット図
(網掛けは火砕流堆積物の分布を示す)

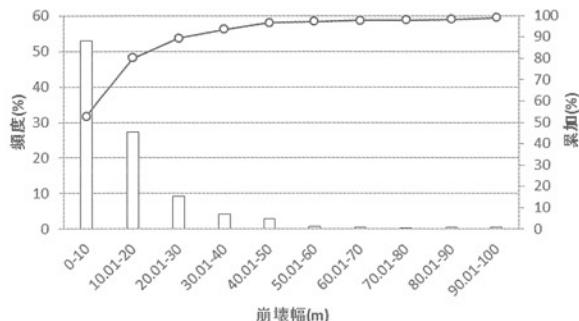


図-2 崩壊幅のヒストグラム

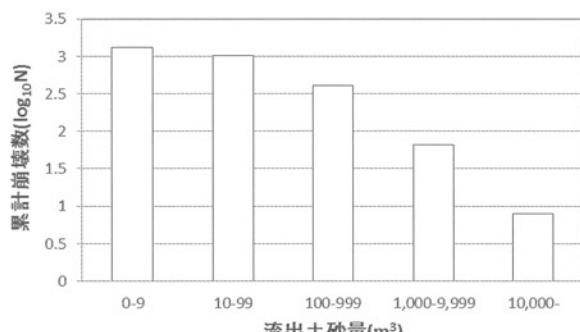


図-3 流出土砂量のヒストグラム

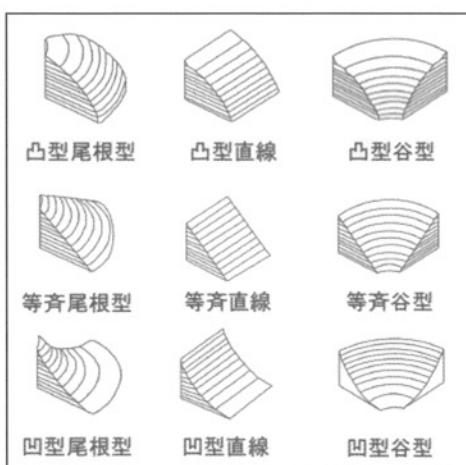


図-4 斜面型の概念図¹¹⁾

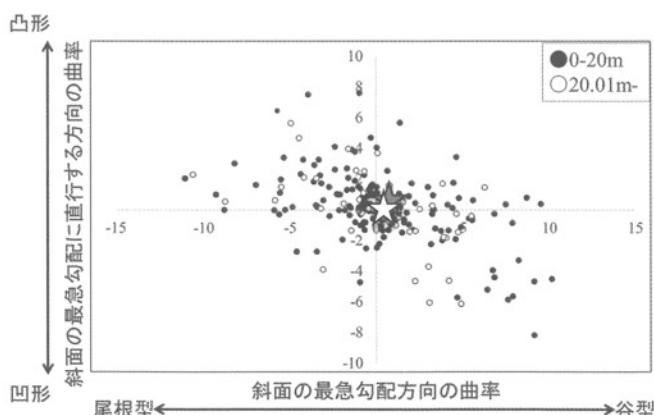


図-5 崩壊地における曲率の分布(★: 0-20 m のプロットの重心, ☆: 20.01 m- のプロットの重心を示す)

の規模の斜面崩壊であっても原点付近にあることから、等齊直線斜面に分布する傾向にある。なお、シラス分布域で発生した土砂災害地点を図-6 に示した。次に、崩壊が発生した斜面の傾斜特性を考察するために、斜面の傾斜区分図を作成した(図-6)。崩壊地の緯度経度を含むメッシュの傾斜を求めるることは、崩壊斜面の傾斜の傾向を知るうえでは、有効と判断した。ただし、この場合の斜面傾斜は 10 m DEM による値であるから、局所的な変動が大きくなる。局所的な変動や計測誤差が、崩壊斜面の傾斜の全体の傾向を知るうえで、ノイズにならないよう、傾斜の階級幅を広くとって、20 °ごとにした。そこで、斜面全体の平均的な傾向を把握するために、本研究では、傾斜量を 0 °~20 °, 20.01 °~40 °, 40.01 °~60 °, 60.01 °~ に階級区分した(図-6)。崩壊によって生じる斜面、すなわち急斜面の表層部が崩れて、その崩れた後に残される新たな斜面の傾斜角は、ほぼ 50 ° 前後であるという計測例がある¹³⁾。本研究では、40.01 ° 以上 60 ° 以下の傾斜量をもつ斜面に着目すべきことを示唆する。

傾斜量が 40.01 ° 以上の地域は大きく分けて、シラス台地縁辺部にみられる開析谷の急傾斜地、伊集院や松元地域などのように(図-6)シラス台地の内部まで伸長した現開析谷ぞいの谷壁斜面、東シナ海に面している急崖斜面(海食崖)があげられる。シラス台地縁辺部の等齊直線型谷壁斜面では、普段は流水が少ないが、梅雨や台風の豪雨時には流水によって、降雨で斜面から供給された崩壊物質を運搬しながら、下刻や谷頭侵食が進行することが示唆される。伊集院や松元地域の現開析谷の谷壁斜面も、表層崩壊によって現開析谷の谷壁斜面が平行後退し、等齊直線型の斜面が形成されてきた可能性がある。現地調査の結果、この地域の谷壁斜面の露頭には二次シラスが認められた(写真-3)。二次シラスは、流水で運搬され堆積したものであるが、通常の河川による堆積物ではなく、シラス原上を一様に広がって流れた流水によるものだと考えられる⁸⁾。二次シラスは、シラスの上を流れた流水作用で堆積した重要な証拠である。二次シラスの堆積物がしばしば認められることは、シラス台地の最上部に地表流による堆積物が発達していることを意味する。また、東シナ海に面して 40.01 ° 以上の傾斜からなる急崖が発達している(写真-2 など)。これは、植生に覆われない海食崖が主であり、現在も侵食を受けて後退していると考えられる。

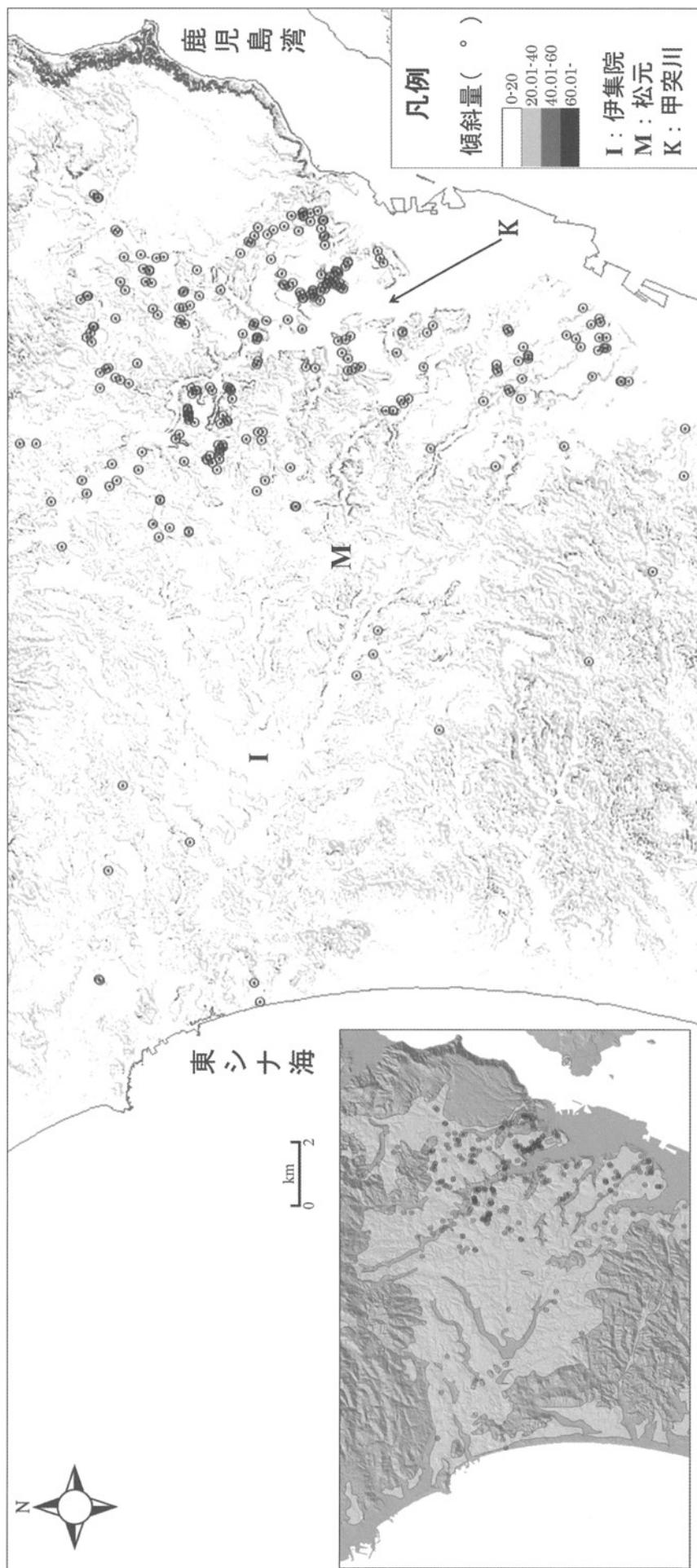




写真-3 二次シラスの露頭(日置市伊集院)
(2012年10月4日撮影, 撮影位置を図1に示す)

薩摩半島のシラス分布域における土砂災害は、甲突川流域の谷壁斜面に多発している(図-6)。これらの土砂災害は、1993年の梅雨末期に鹿児島市を中心に被害が拡大した8.1豪雨および8.6豪雨(死者71名, 負傷者142名)が主な誘因であった。崩壊地付近の傾斜は、シラス台地縁辺部にみられる開析谷の急傾斜地周辺とほぼ一致していることから、シラス台地縁辺部は総じて崩壊ポテンシャルが高い場所であることを裏付ける災害となった。

4. 薩摩半島西部の旧開析谷と現開析谷の分布を示した地形分類図からの考察

シラス台地の開析は、薩摩半島西側の東シナ海に近い場所に位置するシラス原の下流側の縁辺部から始まり、徐々に上流側へ進行した⁸⁾。海水準が安定化する約7千年前以降は、開析谷底が侵食基準面に近い状況が継続してきたと推定される。このため薩摩半島西部に位置する伊集院地域では、旧開析谷がよく残存し、現開析谷の下刻作用は不活発な状況が継続していると推定される。

空中写真判読の結果、伊集院地域の地形は、主に、シラス台地、段丘面(段丘Iは段丘IIより一段高い面)、現開析谷底、旧開析谷底、新旧崩壊斜面に分類することができる(図-7)。崩壊跡地は、シラス台地のなかでは、平均的な密度で分布している。旧開析谷は、現開析谷の上流延長に多数存在する浅い谷であり、屈曲に富み、伸長方向もランダムである⁸⁾。旧開析谷の判読にあたっては、谷底部が茶畑として利用されている点や現開析谷と傾斜変換部を介して不連続に接している点⁸⁾から判断した。旧開析谷は、かつて存在した上流部分を、現開析谷によ

って争奪されたことを示しており、旧開析谷と現開析谷の高度が異なる⁸⁾。崩壊跡地は、現開析谷の本流谷から支谷へ追跡すると、谷幅が急減する区間が認められ、そうした場所に相対的に高密度で分布している。現開析谷の谷幅拡大によって、谷壁斜面での崩壊が継続してきたと考えられる(図-8)。シラス台地内の地下水はシラス堆積前の基盤地形に規制されて移動しており、斜面脚部の崖錐崩壊の発生位置は基盤地形において谷や凹地に分布している⁶⁾。したがって、この間に現開析谷の側方侵食が継続してきたことが、開析谷壁の下端部付近で崩壊が発生する背景をなしていると考えられる。斜面脚部の崖錐内の地下水は、素早く基盤まで達し、台地周縁脚部から流出している⁶⁾。加えて、崩壊物質はシラスであり、細粒化しやすく、また低密度であるため、河床勾配の緩

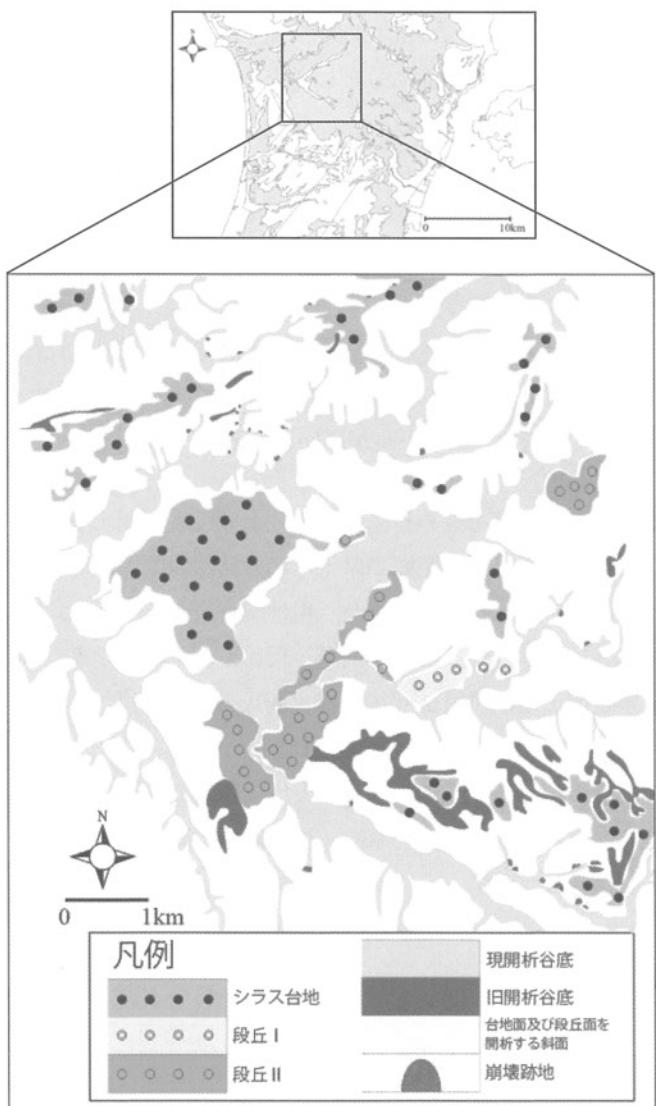


図-7 伊集院地域における地形分類図

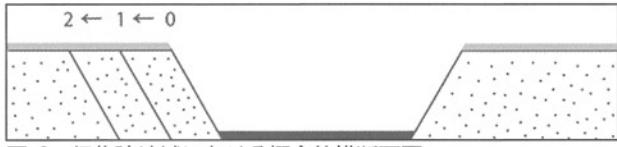


図-8 伊集院地域における概念的横断面図
(数字は谷壁斜面の平行後退の順序を示す)

い河川であっても、洪水時には容易に運搬除去されてきたと推定できる。このため、長期的に、谷壁斜面の傾斜が急な状態で、斜面が後退し、谷幅が広がり続けてきたと考えられる。なお、個別のシラス崩壊の誘因としては豪雨が考えられ、シラスの高い透水性と南九州の豪雨が、シラス台地の特異な地形発達に影響してきたと考えられる。詳細は別稿で論ずる予定である。

5. 結論

薩摩半島のシラス分布域を対象として、以上の検討を実施した。得られた結論は以下の通りである。

- (1) 崩壊地は急斜面に分布しやすく、その斜面型は主に、等齊直線斜面である。
- (2) 西部のシラス分布域では、表層崩壊によって開析谷の等齊直線型谷壁斜面が平行後退し、細粒・低密度な崩壊物質は河川によって容易に除去されてきたと考えられる。
- (3) シラスで構成されている谷壁斜面では、長期的には、現開析谷の谷幅拡大プロセスが卓越する場所において崩壊ポテンシャルが高いといえる。

謝辞：本研究を進めるにあたり、土砂災害に関する資料を提供いただいた鹿児島県土木部砂防課の関係者の皆様に深く感謝致します。また、現地調査にあたっては、株式会社日本地下技術の原田研一氏および首都大学東京大学院博士後期課程2年の西澤文勝氏の協力を得た。ここに記して深く感謝申し上げます。

最後に、この土砂災害で被災になられた方々に対してお悔み申し上げるとともに、被災地の一日も早い復興をお祈り致します。

付録 傾斜の算出法

地理座標系(経緯度座標)のDEMデータを用いたことにより、鹿児島県の平面直行座標系であるII系に設定した。ラスタサーフェス(斜面の表面)の各セルから傾斜角(勾配、Z値の最大変化率)を決定し、傾斜量の範囲は、0-90、出力値をDEGREE、Z係数(垂直方向の単位の計測単位が入力サーフェスの水平座標の単位と異なるときに、それらを調整する変換係数¹⁰⁾)を1で作成した。

参考文献

- 1) 塚本良則：平成5年豪雨による鹿児島県下の土砂災害について、新砂防、Vol. 46, No. 4, 23-35, 1993.
- 2) 伊藤仁志・小川和久・松元勇・神志那仁・古賀省三・増田考造：鹿児島県における土砂災害履歴とその特徴について、砂防学会誌、アブストラクト、R1-04, 20-21, 2012.
- 3) Matsukura, Y.: Evolution of Valley Side Slopes in the "Shirasu" Ignimbrite Plateau, 地形, Vol. 8, No. 1, 41-49, 1987.
- 4) 下川悦郎・地頭蘭隆・高野茂：しらす台地周辺斜面における崩壊の周期性と発生場の予測、地形, Vol. 10, No. 4, 267-284, 1989.
- 5) 地頭蘭隆・下川悦郎・寺本行芳：南九州火山地域における地下型崩壊の予測、土砂災害に関するシンポジウム講演論文集, 9-12, 2002.
- 6) 地頭蘭隆・下川悦郎・寺本行芳：シラス地域の水文地形とシラス斜面崖錐部の崩壊、地形, Vol. 23, No. 4, 611-626, 2002.
- 7) 下川悦郎・地頭蘭隆・谷口浩幸：しらす海食崖における崖くずれの周期性、鹿児島大学農学部演習林報告, Vol. 14, 19-31, 1986.
- 8) 横山勝三：シラス学—九州南部の巨大火砕流堆積物、古今書院, 88-111, 2003.
- 9) 飯田智之：地形学的観点からみた、豪雨による土砂災害の予測と対策、地形, Vol. 31, No. 1, 77, 2010.
- 10) ESRI ジャパン株式会社 ArcGIS Help 10.1, 傾斜角(Slope)曲率(Curvature), Z係数の適用.
- 11) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門、第1巻読図の基礎、古今書院, 122-126, 1997.
- 12) 長谷川淳・太田岳洋：空間数値情報を用いた斜面崩壊の発生危険箇所の抽出手法、鉄道総研報告, Vol. 26, No. 9, 23-28, 2012.
- 13) Matsukura, Y., Hayashida, S. and Maekada, A.: Angles of valley-side slope made of "Shirasu" ignimbrite in South Kyushu, Japan, Zeit. Geomorph. N. F., 28, 179-191, 1984.

(2014.5.9受付)