

10 阿蘇火山とメラピ火山でのガリー侵食による流域発達と土砂生産

九州大学農学部 ○丸谷知己・福井康弘・執行さや香・Muhammad NURDIN

1. はじめに

近年、火山山麓での様々な土砂災害が問題となっているが、これらの共通の原因は地表面の大部分を覆い土壌の生成にも寄与している火山碎屑物である。とくに火山山麓には膨大な量の火山碎屑物が堆積しており、これらは土砂生産のソースとなって、しばしば災害を引き起こしたきたのである。火山碎屑物は火山体全体に広くかつ連続的に分布しているから、個々のガリーのスケールでの土砂生産よりも、個々の火山体のスケールでの土砂生産に対して規則性がみられるものと予想される。火山碎屑物を潜在的な不安定土砂量と考えると、火山体全体で火山碎屑物の量と質の分布を把握し、これがどの排水系（ガリー）を利用して流出するかという視点から土砂生産プロセスを扱うこともできる。

筆者らは1977年以来、桜島（丸谷，1984，1990）（Marutani，1988），（蒲原ら，1991），阿蘇（蒲原ら，1992）（福井ら，1993），九重（丸谷，1987），雲仙（丸谷ら，1992）そしてインドネシアのメラピ（丸谷ら，1991，1992，1993）（NURDIN et al.，1993）などの火山で、火山碎屑物の分布とガリー侵食による土砂生産とについて調査研究をおこなってきた。その結果、火山体の土砂生産プロセスは、現在のガリーの規模だけで考えるのではなく、流域争奪をともしうガリーの発達を考慮することが重要であると考えられた。本研究では、阿蘇山とメラピ山において時間スケールと取り方を変えて見たガリーの発達プロセスを水系網の解析から検討した。

2. 阿蘇火山における水系網解析

2. 1. 水系網パターン

阿蘇山では、 $10^3 \sim 10^4$ 年スケールでのガリーの発達プロセスを検討した。阿蘇山中央火口丘の6山体（杵島岳，往生岳，新期山体，草千里ヶ浜，檜尾岳，鷲ヶ峰＜往生岳については2流域＞）を対象として、ガリーの発達にともなって形成された水系網パターンを分析した。各山体は形成時期が明らかにされている（小野ら，1985；阿蘇火山地質図）ので、水系網パターンは山体ごとの形成時期に応じた発達段階にあるといえる。水系網パターンを水系頻度と水系密度とによって数値化した。水系頻度 F と水系密度 D の間に相関関係があることは既にMeltonによって明らかにされており、壮年期の流域では $F = 0.694 \cdot D^2$ となり、水系網が発達するにつれて右上がりの傾向にあるとされている。本研究では7流域の水系図を作成し、それぞれの流域ごとに水系頻度と水系密度とを求めた。

図-1には、7流域の水系頻度と水系密度との関係を示した。各点をつなげた回帰曲線はMelton式と同様に $F = A_i \times D^2$ (A_i : 定数) が成り立つ。それぞれの水系の発達度合は山体の形成順序とほぼ同じと考えられるので、本来ならば発達度合の小さい順に 往生岳＜杵島岳＜新期山体＜草千里ヶ浜＜鷲ヶ峰＜檜尾岳 と並ぶはずである。しかし、実際には 檜尾岳＜往生岳2＜新期山体＜鷲ヶ峰＜往生岳1＜杵島岳＜草千里ヶ浜 となっており、形成順序とは一致しない。各点を形成年代順にたどると、水系頻度も水系密度も時間経過に伴って増加し、最大値（草千里ヶ浜）を過ぎると転じて減少するという傾向にある。Melton式では水系頻度と水系密度が大きくなるほど水系網は発達すると

されているが、ここでは水系頻度と水系密度にはそれぞれ最大値が存在することがわかった。

この傾向に着目して水系頻度軸、水系密度軸にさらに時間軸を加えて水系網のパターンをあらわすと図-2のようになる。すなわち、水系頻度と水系密度との関係は、時間経過にともなって3次の関数 $H(F, D, T)$ の面にそって変化している。図-3は、このような水系網パターンの時間的変化を水系図によって模式的に説明したものである。ガリーの発生から拡大に向かって水系頻度と水系密度とは増加し、複雑な水系へと発達するが、やがて合流、争奪を経て開析谷にいたるまで逆に単純な

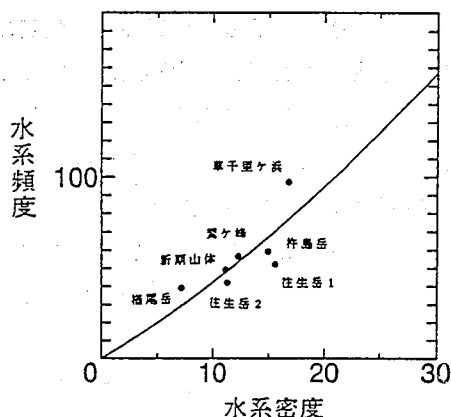


図-1 阿蘇山中央火口丘6山体における水系頻度と水系密度との関係
水系頻度：単位面積あたりでの水路の本数
水系密度：単位面積あたりでの水路の長さ

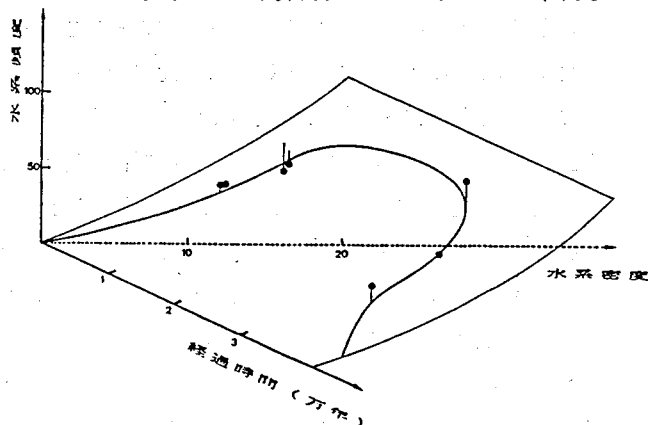


図-2 水系頻度と水系密度の山体形成後経過時間にもなう変化

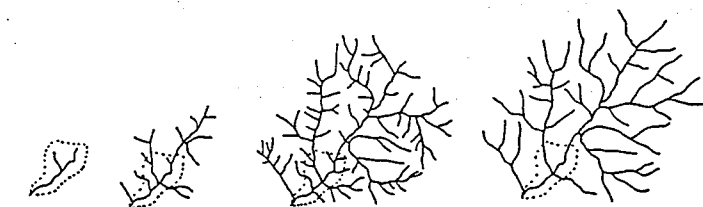


図-3 水系パターンの時間的変化の模式図

水系へと変化するプロセスである。ガリーの合流、争奪の直前の段階が水系頻度と水系密度とが最も大きく、水系網が最も複雑であることを示している。

2. 2. ガリーの横断形状と水系網パターン

現在の水系網は、側壁の崩落などのガリーの横断的発達が積み重ねられることによって形成されたといえる。そこで、水系網パターンの時間的変化の仕組みを検討するため、形成年代に差のある杵島岳と往生岳でガリーの横断形と火山碎屑物の堆積層序とを調べた。堆積層序はガリーの横断形と同一地点で測定し、侵食されやすさという観点から火山灰、火砕流の溶結層と非溶結層、溶岩の4種類に

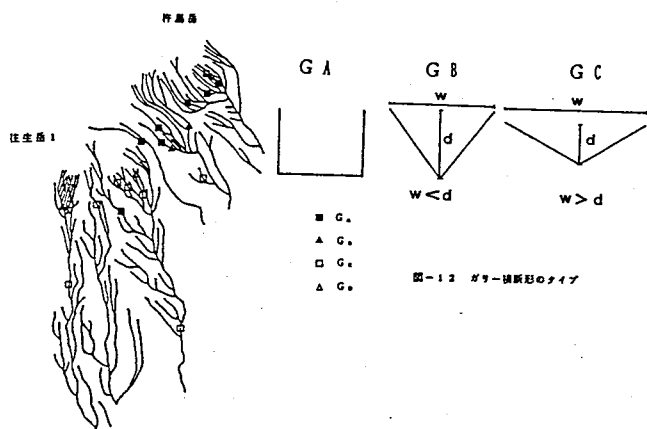


図-4 ガリー横断面形の4つのタイプとその分布位置図(右)

GA, GB, GC, GD: 横断面形のタイプ

W: ガリー侵食幅, d: ガリー侵食深

区分した。調査の結果、堆積層厚は場所によって異なるが、堆積層序はいずれの地点でもほとんど同じであった。ガリー断面積は火山砕屑物の堆積層厚に影響されるが、ガリー断面形状は堆積層序が同じであれば相似形になると考えられるので、堆積層序だけに着目してガリーの横断形をG_A、G_B、G_C、G_Dの4タイプに区分した。G_A：溶岩層に達するまで垂直に侵食されガリーが拡大したタイプ。G_B：下層にいくほど侵食量が小さくV字形をなすタイプ。G_C：G_Bタイプが溶岩層にまで達したのち横侵食によって幅が拡大しているタイプ。G_D：G_Bタイプで侵食されたのち途中から垂直なG_Aタイプに移行したタイプ。これらの4タイプの分布を図-4に示す。傾斜変換点より下流部の密度頻度の小さい場所でG_Cタイプが多いのは、比較的浅い位置に存在する溶岩層または溶結火砕流層のためにガリーの縦侵食が一時的に停止したからである。杵島岳（古）と往生岳（新）の形成年代の差から、G_B、G_C、G_Dタイプは最終的にG_Aタイプに移行すると考えられる。また、ほとんどがG_CタイプとG_Aタイプからなるので、この2タイプに注目すると、G_CタイプからG_Aタイプへの移行が、杵島岳と往生岳の水系網パターンの変化と対応している。すなわち、水系網パターンが複雑になるプロセスすなわち斜面上方への発達プロセスは、ガリーの横断形の時間的変化に基づいていることが示唆された。

3. メラピ火山における水系の発達

メラピ火山では $10^1 \sim 10^2$ 年スケールでのガリーの発達プロセスを検討した。水系網パターンが複雑になったり単純になったりするプロセスは、複数の流域がひとつの流域にとりこまれる流域の争奪によると考えざるをえない。そこで、比較的短い時間での流域の争奪プロセスをメラピ火山において（図-5のハッチング部分）計測した。メラピ火山の標高1000mより上部では活発な流域の争奪がおこなわれていることが空中写真から判読される。1976年の空中写真と比較するために、1991年8月に低高度斜め空中写真を撮影したものを図-6に示した。標高1000mのところでの隣り合うK. Krasak と K. Bebung の15年間の変化をとらえたものであるが、ハッチング部分がK. Krasakの流域である。斜面下方（左）からK. Krasakが著しい速度で斜面上方（右）に発達してきたため、すでにあった古いK. Bebungのガリーに突き当たりその流域の一部を奪いさったところである。このように、流域の争奪によって、それまで自分自身の上方への発達のみによって水系網をひろげてきたガリーが、隣り合うガリーの流域から水系網をもらうことによって急激に水系網をひろげることができる。円錐形の火山では、幾何学的には山頂に近いほど山体の表面積は小さくなり、ガリーは樹枝状に分岐して広がるので、流域の争奪は当然山頂近くで活発になるといえる。しかし、ガリーは時間差をとまって山麓からはい上がってくるので、山頂に近づく以前にすでに争奪を始めることになる。

図-7は、メラピ火山の南半分を5つに分割して（上）、それぞれの扇形の中でガリー断面積の標高ごとの総和をもとめたもの（下右）である。横軸は標高、縦軸はガリー断面積の総和であるが、いずれの方向でも標高1000m~1800mでガリー断面積は最大値を示している。E~Sに比べS~Wで全体に断面積が少ないのは最近の火砕流による埋め戻しによるものである。図-7（左下）には、扇形の中心線での山腹傾斜を示したが、1000m~1800mはちょうど傾斜変換点（↓）にあたることからわかる。つまり、ガリーによる流域争奪が活発な標高1000mより上部は傾斜変換点上部でガリーによる山体侵食量が最大になるところと一致している。流域の争奪機構は、傾斜変換点と火山砕屑物の堆積構造（量と質）との関係を明らかにしなければならず、現在、現地でも調査した堆積層序を検討している。

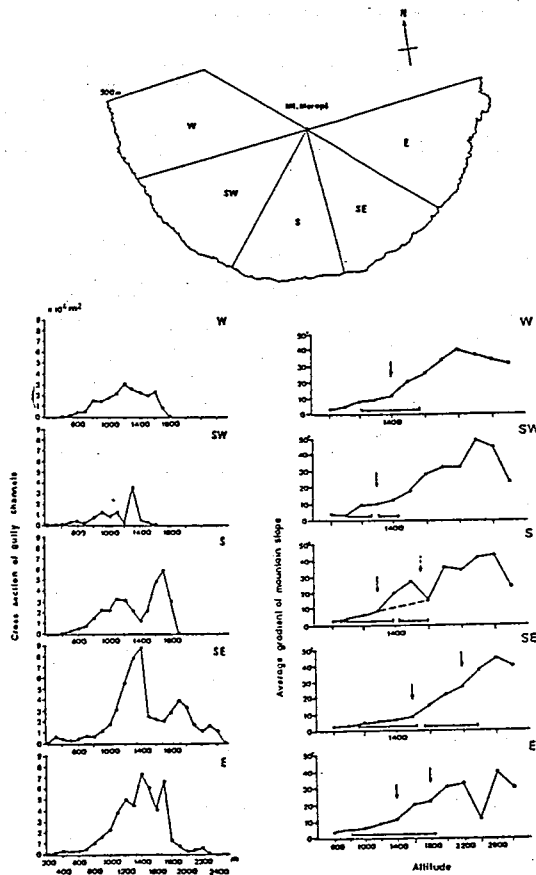


図-7

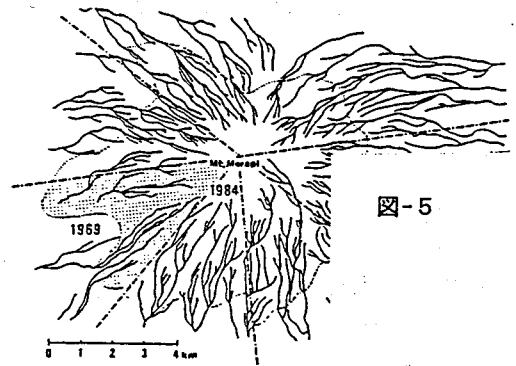


図-5

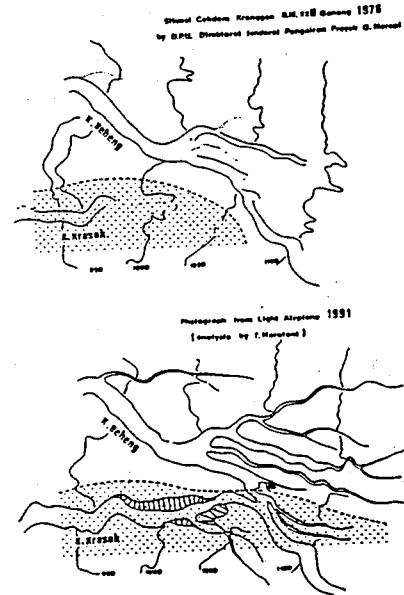


図-6

引用文献

- 丸谷知己 (1984) : 新砂防, 36, No. 4, 23-28
- 蒲原潤一・丸谷知己・竹下敬司 (1992) : 平成4年度砂防学会研究発表会概要集, 182-185
- 丸谷知己 (1987) : 文部省科研報告書, 59480062 (代表; 竹下敬司), 49-65
- 丸谷知己 (1990) : 平成2年度砂防学会研究発表会概要集, 312-315
- 蒲原潤一・古賀 大・丸谷知己 (1991) : 平成3年度砂防学会研究発表会概要集, 368-371
- Marutani, T. (1988) : Proceedings of Kagoshima International Conference on Volcanoes, 626-629
- 福井康弘・丸谷知己・竹下敬司 (1993) : 自然災害科学西部地区部会報15号, 印刷中
- 丸谷知己・Muhammad NURDIN・執行さや香 (1991) : 自然災害科学西部地区部会報13号, 65-69
- 丸谷知己・Muhammad NURDIN・執行さや香 (1992) : 平成4年度砂防学会研究発表会概要集, 340-343
- 丸谷知己・ムハマドヌルディン・執行さや香 (1993) : 九大農演報68号, 61-72
- NURDIN, M. and T. Marutani (1993) : J. Fac. Agr., Kyushu Univ. Vol. 37 Nos (3・4), 339-345
- 丸谷知己 (1992) : 文部省科研報告書 (代表; 平野宗夫) 03306010, 52-29