

## メラピ火山におけるガリー侵食の発達プロセス

丸谷, 知己  
九州大学農学部林学科

Nurudin, Muhammad  
Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Kyushu University

執行, さや香  
九州大学農学部林学科

<https://doi.org/10.15017/10878>

---

出版情報：九州大学農学部演習林報告. 68, pp.61-72, 1993-03-29. 九州大学農学部附属演習林  
バージョン：  
権利関係：

## メラピ火山におけるガリー侵食の発達プロセス\*

丸谷 知己\*\*・ムハマド ヌルディン\*\*・執行 さや香\*\*

### 抄 録

本研究では火山体におけるガリー侵食の発達プロセスを明らかにすることを目的としており、孤立峰火山体において放射状に発達したガリー侵食量の位置的变化を調べた。方向と標高についての侵食量の位置的变化をもたらした条件としては降雨量分布、堆積層からの流出量分布、斜面平均傾斜角が、時間的な変化をもたらした条件としては火砕流堆積物によるガリーの埋積が分析されている。

その結果、筆者らは地下構造のほかに山体内腹部での傾斜変化ゾーンと豪雨ゾーン（雨期）がガリー侵食の発達をもたらすことと、火砕流堆積物がガリーを埋積して地形を単純化させた後ふたたび急速な侵食をもたらすことを明らかにした。

キーワード：孤立峰火山体、ガリー侵食、火砕流堆積物、平均傾斜角、降雨量

### 1. はじめに

近年、火山山麓での土砂災害が頻発している。桜島では年間 20 回にもおよぶ土石流が続き、阿蘇山一の宮町では流木災害が発生し、雲仙普賢岳では火砕流堆積物の流出が始まるなど、いずれもが過去の火山碎屑物が再移動したことに起因する現象である。火砕流や降下物からなる火山碎屑物は、火口を中心として様々な方向に分布し、それぞれの方向に厚さ数十メートルから数百メートルにおよび堆積層を形成している。この堆積層を局部的に下刻しながら発達した排水系が地隙 (Gully; 以下ガリー) と呼ばれ、火山砂防はこのガリーの中を流下してくる土砂を対象として進められる。

一方で、長期的な土砂災害の予測や土地利用の効率化を計るためには、ガリー内の土砂生産のみならず、侵食されやすい火山碎屑物全部を対象として土砂生産が考えられなければならない。そこで、火山体全体でのガリー侵食の発達プロセスが明らかにされることが重要な課題となる。ガリー侵食の発達プロセスを火山体全体で見ていくことは、とりもなおさず火山体の解体プロセスを明らかにすることにつながる。しかし、砂防学がガリー内の土砂流出に焦点をしばって来た様に、地形学も火山体の形態や形成プロセスに関しては記述してきたが、解体プロセスに関しての記述は少ない。

火山体斜面でのガリー侵食は、降雨として山体に入力した水を、斜面の堆積構造が変換し、流出として山体から出力するというプロセスを通じて発達するものである。流出にとまなう侵食が長期間蓄積した結果が、様々な形状のガリー侵食となって火山体斜面に残されることになる。したがって、ガリー侵食は堆積構造の水応答特性をあらわすひとつの指

\* Tomomi MARUTANI, Muhammad NURDIN and Sayaka SHIGYOU : Development of Gully Channel on the Slope of Mt. Merapi Volcano.

\*\* 九州大学農学部林学科

Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812

標とみなされる。堆積構造とその水応答特性とをひとつの火山体全体について明らかにすることは、ボーリング調査を多数おこなうなどの直接的な方法によらねばならないのできわめて困難な作業である。しかし、間接的には、これは降雨としての入力から流出としての出力への変換の方式から推定することができる。

本研究は、ガリー侵食の発達プロセスが降雨、地形、流出とどのような関係にあるか、さらに新たな火砕流堆積物によってどの様に変化するかについて明らかにすることを目的とした。このために、筆者らは孤立峰の火山体において放射状に発達しているガリーの侵食量が方向と標高とについてのどのように変化しているかについて調べた。降雨は侵食する側の条件であり、地形は侵食される側の形(位置)、流出は侵食される側の質を指標しており、新たな火砕流堆積物はガリー侵食に時間的な変化をもたらす条件として位置づけられる。

本研究では、インドネシアのジャワ島中央部に位置するメラピ火山(2911 m)を調査対象地とした。その理由は(1)乾期と雨期とが交互に生じることを利用して、低水流量と高水流量の2つの降雨一流出応答特性が分離できること、(2)孤立峰で円錐形の火山なので、ガリー侵食の位置(標高、方向)的相違が明瞭に計測できることである。さらに(3)メラピ火山では1969年と1984年に大規模な火砕流が発生しており、この火山砕屑物の影響が明瞭に現れるものと予想されたからである。

## 2. 調査方法

メラピ火山(図1)は、ジョグジャカルタの北東約30 kmに火口をもつ火山で過去1000年間に64回の噴火を記録した。最近では1969年と1984年に大規模な火砕流が発生しており、現在も溶岩ドームが発達中である。メラピ火山の北側はメルバブ火山と接合しているため独立峰として扱えないので、南側半分の山体について分析した。

南側半分のうち、西側ではパベラン(K. Pabelan)、ブロンケン、プテイ、バタン、ブーンクラサ(K. Krasak)などのガリーがプロゴ河に流入し、南側ではボヨン(K. Boyong)、ゲンドル(K. Gendol)などのガリーがオパック河に流入し、さらに東側ではウオロ、ブランバ(K. Bramba)などのガリーがデンケン河に流入している。

ガリー侵食量を方向別に見るために、メラピ火山の南側半分での海拔500 m以上の斜面について、火口を中心として、面積のほぼ等しい扇形に5分割した(図2)。それぞれをW(西向き斜面)、SW(南西向き斜面)、S(南向き斜面)、SE(南東向き斜面)、E(東向き斜面)とした。

ガリー侵食量はガリー断面積と考えて、現地で収集した1/25000(1984年作成)の地形図から求めた。ガリーは近似的には矩形断面をしているので、等高線を横切るすべてのガリーについて幅と深さを計測して断面積を求め、等高線100 mごとにまとめたものを各標高(100 m)でのガリー断面積とした。

降雨量については、Indonesia Construction Ministryによる1961~1970年のMonthly Data (Republic of Indonesia, 1984)から降雨量分布図を作成した。流出量については、各方向を代表するガリーとしてWではパベラン、SWではブブン、Sではボヨン、SEではゲンドル、Eではブランバを選び、それぞれについて求めた。乾期流量は、現地でこれらのガリーを遡上しながら、それぞれについて数地点で流速と流下断面積とを計測して求めた。

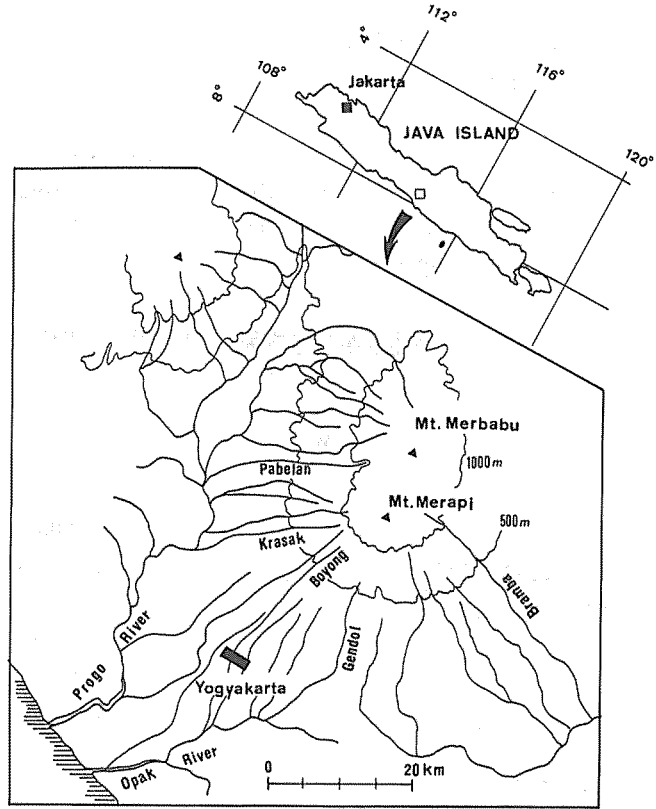


Fig. 1 Location map of Mt. Merapi.

図1 調査地位置図

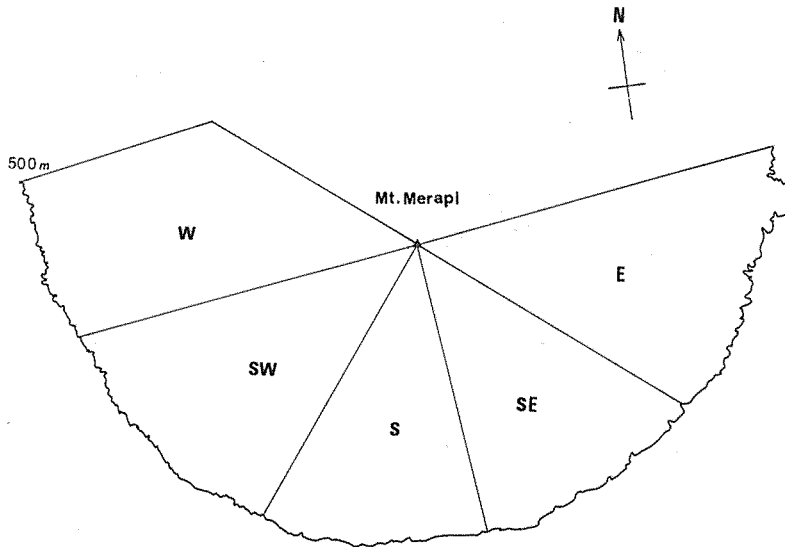


Fig.2 Method for dividing the slope of Mt. Merapi in five directions.

図2 メラピ火山の斜面分割の方法

雨期流量は、Indonesia Construction Ministry によって 100 年洪水確率から計算されたピーク流量を用いた (Republic of Indonesia, 1984)。

地形については、5 方向に分けたそれぞれの扇形をほぼ 2 等分するように縦断形を取り、その線上で標高 200 m ごとでの平均傾斜角を計測した。火山碎屑物の分布については、いくつかの災害報告書 (Kemmerling, 1931) (Van Bemmelen, 1943) (Sudarman *et al.*, 1976) から火砕流堆積物の堆積範囲を調べた。ガリー侵食による水系分布については、1969 年作成と 1984 年作成の地形図とから求めた。

### 3. ガリー断面積の方向別、標高別の変化

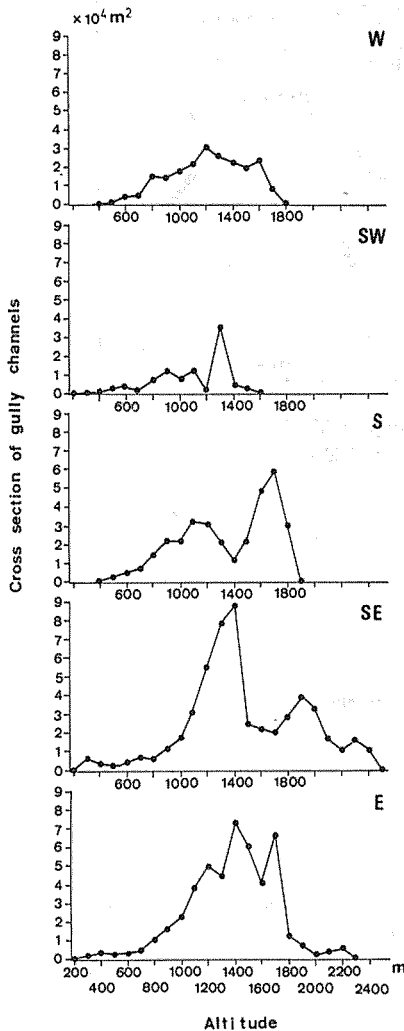


Fig. 3 Changes of cross section of gully channels to direction and altitude.

図3 ガリー断面積の方向別、標高別の変化

図3に、標高 100 m ごとに計測したガリー断面積を方向別に示した。図には標高 200 m 以上の地域について、横軸に標高を、縦軸にガリー断面積をとって示している。

Wでのガリー断面積は、標高 200 m から 1200 m までは徐々に増加し、1800 m まではふたたび徐々に減少するという、比較的単純な変化を示している。SWでは、標高 900 m ないし 1100 m まで緩やかに増加し、1200 m で落ち込んだ後に急激に 1300 m まで増加し、1600 m まで減少し続けている。Sでは、SWと類似のパターンであるが、全体に断面積が大きい上に、ピークもそれぞれ標高 1100 m と 1700 m と上流側に寄っており、1900 m まで減少し続けている。SEでは、急激に増減する 3 つのピークが含まれている。それぞれは 1400 m と 1900 m と 2300 m とで、5 方向中もっとも火口近くまでガリー侵

食が発達している。Eでは、いくつかのピークが含まれているが、1600 mでの落込みをのぞくと1000 mから1800 mの間にほとんどのガリー侵食が集中している。

ガリー断面の方向別と標高別の変化を取りまとめると、次の3つの特徴が指摘される。

- (a) ピーク形の特徴：どの方向においても、明瞭ないくつかのピークをもち、ピークには緩やかな増減によるものと急激な増減によるものの2種類がある。
- (b) 発達方向の特徴：ガリー断面の方向別の合計値はSからWにかけて比較的小さく、SWで最小となる。
- (c) 発達標高の特徴：ガリー断面はSからWにかけて斜面上方への発達が小さく、SWで最も小さい。

これらの特徴が、降雨量、地形(斜面傾斜)、流出量とどのような関係にあるのか、さらに新たな火砕流堆積物によってどのように変化したかについて分析した。

## 4. ガリー侵食の発達における降雨一流出と地形の影響

### 4.1. ガリー侵食と降雨量および流出量

図4は、メラピ火山での1961~1970年のMonthly Dataから作成した1年間当りの降雨量分布図である。南側斜面の標高500 m以上では、すべての場所で1年間に2500 mm以上の降雨量があるが、そのほとんどは10月から3月の雨期におけるものである。3500 m以上の最多雨ゾーンは、おもにSWとSの標高700 mから1100 mないし1500 mまでひろがり、3000 mm以上のゾーンは、Eをのぞく4方向で標高600 mから1400 mないし2200 mまでひろがっている。

図3において、降雨量3500 mm以上のゾーンは、SWの標高700 mから1200 mとSの標高700 mから1400 mのそれぞれの鈍い方のピークと明瞭に一致している。3000 mm以上のゾーンは、Eを除く4方向ほとんどのガリーを含んでいる。このことから、SWとSの鈍いピークは明らかに降雨量の影響によるが、他の鈍いピークには降雨以外により強い影響をもたらす要因があることが示唆される。

図5には、乾期(低水)と雨期(高水)との流出量を示した。低水流量は1991年7月から8月に、現地での流量測定をおこなった結果である。高水流量は、100年確率降雨から計算されたピーク流量を示した。高水流量は、下流にいくほど集水域が広がるので当然増加する傾向にある。低水流量は、降雨の影響の少ない湧水起源の流出なので、堆積層からの湧出と堆積層への浸入とが繰り返されることによって増減している。

低水流量も高水流量もともにWのパペラン(K. Pabelan)で最も多く、その他では小さい。これは直接流出成分を規定する地表での集水域と、基底流出成分を規定する地下での集水域とが方向ごとに同じ傾向で広がっており、Wの方向が地表でも地下でも水を集める能力において他より高いことを示している。

ところがガリー断面は、Wではさほど小さくなく、むしろ流量の低いS、SE、Eのほうが大きくなっている。メラピ火山は、現在の山頂より北側に少しずれた位置に埋没火山(図6)の山頂を含んでいるので、Eにはこの影響が出ているが、SとSEとには問題が残る。このことから、堆積層の水応答特性によって規定される集水域の広さはガリーの発達には大きく影響しないといえる。

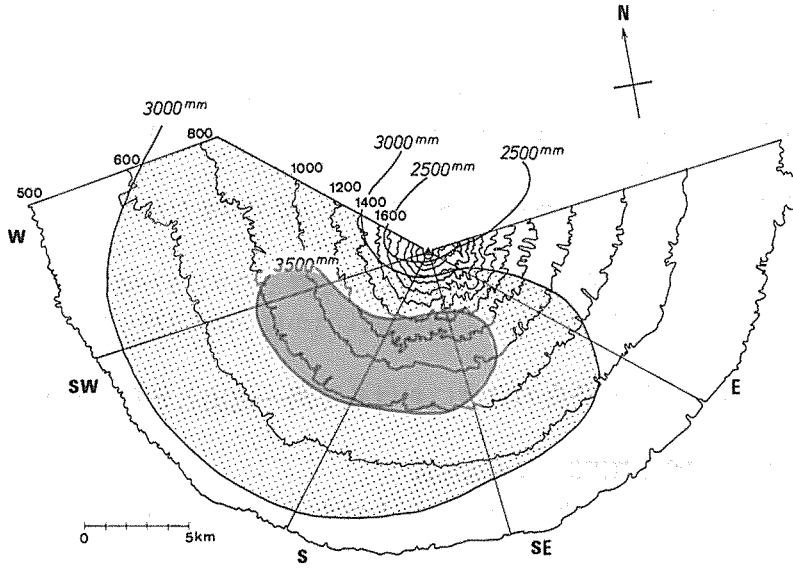


Fig. 4 Isohyetical map of Mt. Merapi.  
 図4 メラピ火山の降雨量分布

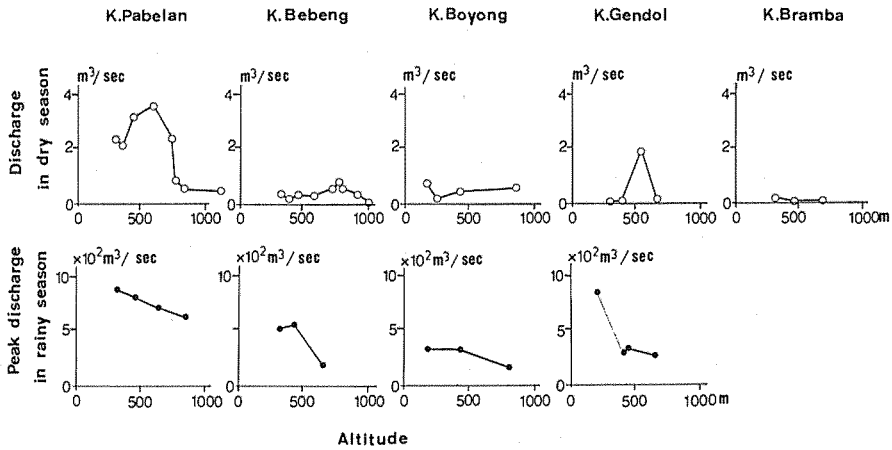


Fig. 5 Discharge of five gully channels in dry season and rainy season.  
 図5 乾期と雨期における流出量

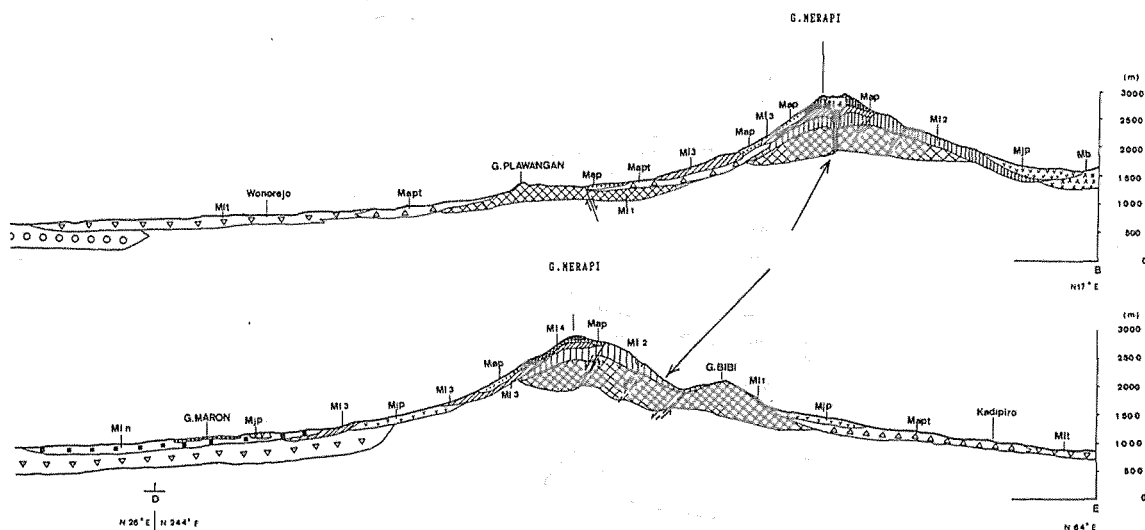


Fig. 6 Geological map of Mt. Merapi  
 図6 メラピ火山の地質図

#### 4.2. ガリー侵食と斜面傾斜

図7は、それぞれの方向での標高200mごとの平均傾斜角（各点の上側100mと下側100mの間の平均値）の変化である。大きく見れば、いずれの方向でも山頂に近づくほど傾斜は急になっている。Sの標高1600m付近でいったんピークをつくり、1800mで傾斜が落ちているのは、山腹に小さな突起部を含んでいるためである。この突起部が、かつての山体崩壊によって形成された「流れ山」か、埋没火山かは不明であるが、本論ではこの成因は問題とせず一応「流れ山」と呼ぶ。Eの標高2200mと2600mの2つのピークは、埋没火山（図6）の2つの山頂の形が現れたものである。

図3において、断面積10000m<sup>2</sup>以上のゾーンをピークごとに取り出すと、Wでは標高800mから1700m(①)、SWでは標高800mから1100m(②)と1300m付近(③)、Sでは標高700mから1400m(④)と1400mから1800m(⑤)、SEでは標高900mから1700m(⑥)と1700mから2400m(⑦)、Eでは3つのピークを含む800mから1800m(⑧)となる。それぞれのゾーンを図7の上を示すと、②と⑤を除くすべてのゾーンが傾斜の急激に緩くなる地点（矢印：以下、傾斜変換点）を含んでいる。⑤は「流れ山」の傾斜の影響が現れているので、本来は点線のようにつながっていたと仮定すれば、④と⑥とはひとつになり、やはり傾斜変換点に一致する。

物理的には、2次元断面で考えると斜面傾斜が急激に緩くなるにつれて流体による洗掘力が大きくなるため、ガリー侵食の発達する場が与えられ、降雨量だけで説明できなかったピーク形の特徴も、斜面の傾斜変化点を考慮にいれれば説明可能となる。このことから、



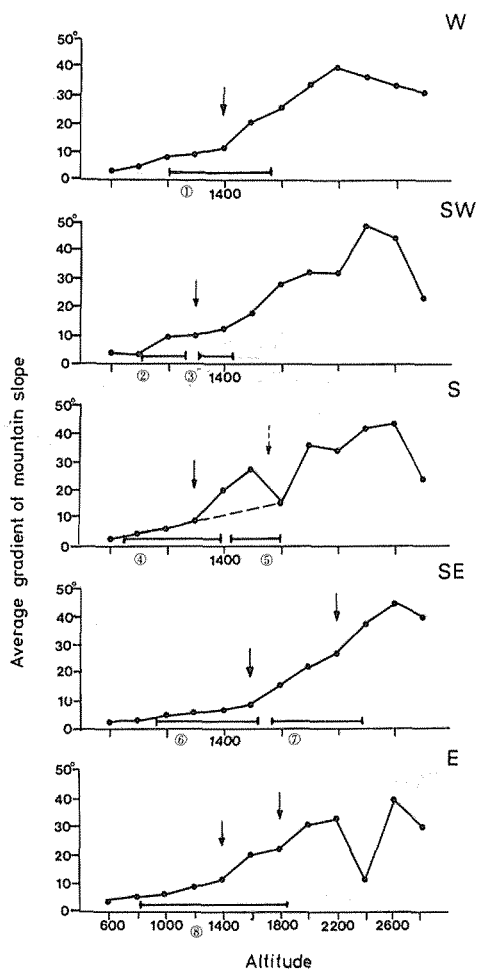


Fig. 7 Changes of average gradient of mountain slope to direction.

図7 方向別の平均傾斜角の変化

傾斜変換点によっておおまかに侵食の場が与えられたうえに、局所的な降雨がさらに侵食量に強弱をつけた結果、図3のような侵食量のピークが形成されたことが推定される。

### 5. ガリー侵食の発達における火砕流堆積物の影響

ガリー侵食の発達方向と発達標高との特徴、とくにSWを中心としてガリー断面積が小さくなり、かつ上方への発達が小さくなっている理由は、降雨一流出や地形だけから説明できないので、新たな火砕流堆積物の影響を検討する必要がある。

図8には標高約1000mより上方斜面での1969年と1984年でのガリー侵食による水系分布を示した。図中にハッチングしたように、1969年から1984年までにいずれの方向にお

いてもガリー侵食は山頂に向かって延びているが、その距離はSWでは他に較べて大きい。また、SWでは平行水系を発達させているのに対し、他の方向では樹枝状水系(Leopold *et al.*, 1964)を発達させている。

図3の結果と併せて考えると、SWの標高の高い地域ではガリー断面が浅くかつ単純な平行水系となり、そのためにガリー断面積としては小さい値しかとらなかったと推定される。これを実証するために、山頂から4~6 kmすなわち標高約1000 m以上で、実際にガリーの深さ/幅比を求めた。深さ/幅比は、1 kmメッシュで地形図を区切り、それぞれのメッシュにおいて5本のガリーについて谷埋法を用いて深さと幅を計測し、その平均値を各メッシュでの値とした。値が小さいほど底の浅いガリーが多いことを意味している。

図9には、最近発生した火砕流堆積物の分布範囲、図10にはメッシュごとの深さ/幅比を示した(丸谷ら, 1992 a)。1930年と1972年とは、比較的規模が小さく火口から2 kmの

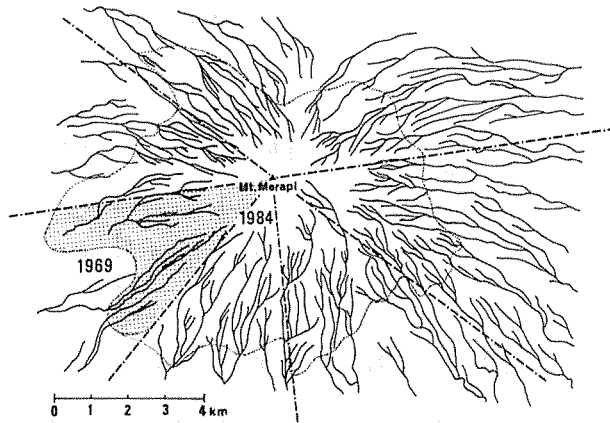


Fig. 8 Drainage systems formed by gully erosion at 1969 and 1984.

図8 1969年と1984年のガリー侵食による水系分布図

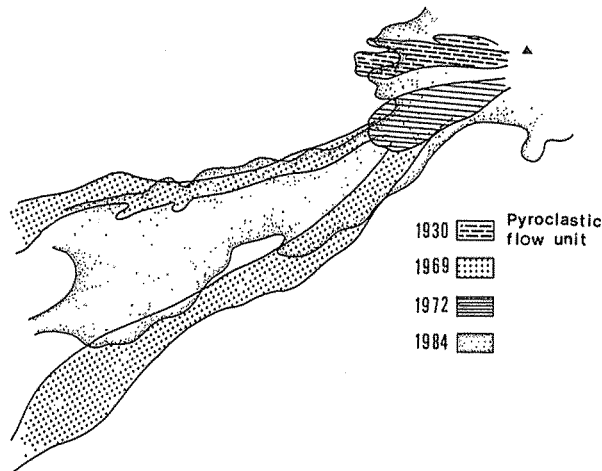


Fig. 9 Distribution areas of recent pyroclastic flow units.

図9 最近の火砕流堆積物の分布範囲

範囲におさまっている。しかし、1969年と1984年には大規模な火砕流が発生し、その堆積物がSWの標高1000m付近まで広く分布している。

図10には1984年の火砕流堆積物の分布範囲も示した。深さ/幅比は、火口付近では0.14から0.29と非常に小さく、火砕流が発生するたびにガリーが埋積されていることを反映している。山頂から離れるにしたがって、南方向でも西方向でも1.30から1.38までガリーは深くなる。ところが、1984年の火砕流で埋積されたゾーンは、0.29から0.91までの小さい値をとり、とくに山頂に近づくにしたがって小さくなっている。

図8と図10とから、SWでの新たな火砕流堆積物は、E、SE、Wのように樹枝状水系に発達しようとするガリーを埋積し、底の浅い単純な平行水系にかえてしまうことがわかる。ただし、1969年以後のガリー侵食の発達距離がSWでとくに大きいことから、火砕流で埋積されたガリーが再度侵食される速度は速いといえる(丸谷ら、1992b)。このことから、火砕流は樹枝状に発達していたガリー侵食を一時中断させ、埋積によって浅い単純な平行水系に戻してしまいが、その後の侵食は速く以前より加速されることがわかった。

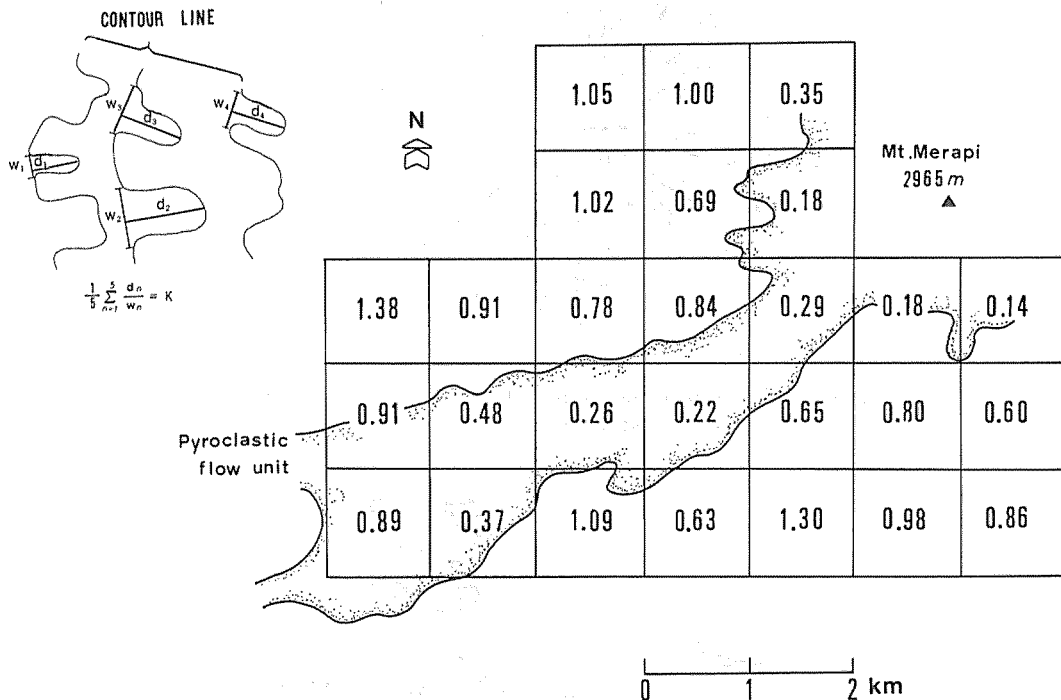


Fig. 10 Depth/width rates around the summit of Mt. Merapi and distribution area of pyroclastic flow unit at 1984

図10 山頂周辺での深さ/幅比と1984年火砕流堆積物の分布

## 6. おわりに

火山体のガリー侵食の発達を方向別、標高別に調べ、その特徴を降雨一流出、斜面傾斜、火砕流堆積物の分布によって説明しようとした。メラピ火山では、降雨一流出と斜面傾斜とは空間的な特性としてガリー侵食の発達に働きかけ、火砕流堆積物は時間的な特性とし

て働きかける傾向があった(図 11)。すなわち、ガリー侵食は、まず埋没火山のあるゾーンとそうでないゾーンで違った発達をみせる。次に、傾斜変換点の集中する標高 1200 m から 1800 m のゾーンに発達するための場の条件があるが、降雨量の多いゾーンによってさらに発達程度が細かく左右される。Ollier (1991) は火山中腹で侵食量が最大になることを観察しているが、傾斜変換ゾーンによるガリー侵食の発達はこの現象と一致する。

一方、時間的な特性として、SW においては火砕流堆積物が通常の火山体の侵食速度を変化させ、侵食を中断させたり加速させたりすることによって、SE と W などと違った発達段階にあることがわかった。

これらのモデルは、定量化されねば防災計画、土地利用計画に組み込むことができない。降雨量や傾斜変換点のゾーニングおよび火砕流による中断量(ガリーの埋め戻し量)は定量できるが、火砕流による侵食の加速とそれぞれのガリー侵食が開始された時点の推定は難しい。おおよその値でもいいから、これらを定量する方法を開発することが今後の課題となろう。

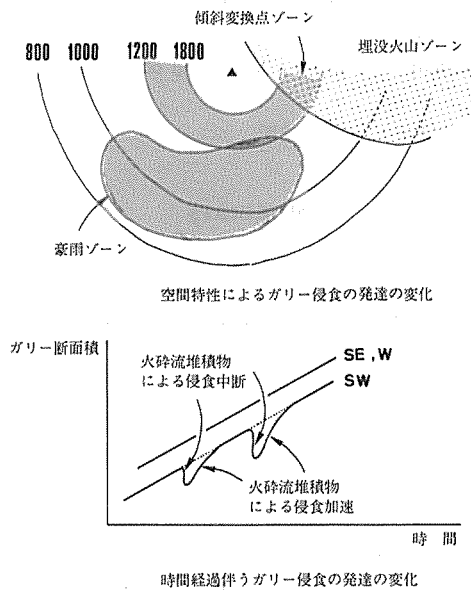


Fig. 11 Development model of gully channels according to spatial and temporal changes of geological conditions in Mt. Merapi.

図 11 時間的、位置的な土地条件の変化に応答したガリー侵食の発達モデル

## 謝 辞

本研究は、科学技術庁による「火山地域における土砂災害予測手法の開発に関する国際共同研究(砂防学会)」チームとしておこなうことができた。代表者の京都大学小橋澄治教授、リーダーの京都大学福嶋義宏助教授とインドネシア公共事業省 VSTC の廣済富夫氏、阿部宗平氏、酒谷幸彦氏、Ir. Agus Sumaryono 氏にお礼を申し上げる。また、調査結果について多くの議論をいただいた九州大学竹下敬司教授に深く謝意を表す。

## 引用文献

- KEMMERLING, G. L. L. (1931) : De west-helling van G. Merapi. De Ingenieur. Kon. Ned. Aardr. Gen.-Kaart No. IV
- LEOPOLD, L. B., WOLMAN, M. G. and MILLER, J. P. (1964) : Fluvial processes in geomorphology. W. H. Freeman and Company, San Francisco and London, pp. 413, 414
- 丸谷知己・ムハマド ヌルディン・執行さや香 (1992 a) : インドネシアメラビ火山における火砕流堆積物の侵食速度. 自然災害西部地区部会報・論文集 13 : 65~69
- 丸谷知己・ムハマド ヌルディン・執行さや香 (1992 b) : インドネシアメラビ火山における火砕流の堆積構造とガリー侵食のパターンについて, 平成4年砂防学会研究発表会概要集, pp. 340~343
- OLLIER, C. (1991) : 火山. 太田陽子訳. 古今書院, 東京, pp. 187, 188
- REPUBLIC OF INDONESIA (1984) : Master plan for land erosion and volcanic debris control in the area of Mt. Merapi.
- SUDARMAN, E. and PARDYANTO, L. (1976) : Peta Erah Bahaya Puncak G. Merapi. Direktorat Geologi Sub Direktorat Volcanologi.
- VAN BEMMELEN (1943) Volcano-Tectonic sketchmap of Mt. Merapi.

(1992年12月15日受付; 1993年1月18日受理)

## Summary

It is important to clear the process of development of gully channels on volcanic slope, because of forecasting volcanic hazard and planning land utilization in long term. We analyzed the changes of cross section of gully channels to direction and altitude in order to clear the process of development of gully channels. The changes are related with spatial and temporal changes of geological conditions on mountain slope. The spatial changes are showed by rainfall distribution, discharges in dry season and rainy season at five gully channels and average gradient of mountain slope at five directions. Temporal change is showed in covering process by pyroclastic flow units and scouring process of gully channels.

The results are as follows. The changes of cross section of gully channels at Mt. Merapi shows three characteristics, peak values of cross section in each directions, differential of the summation of cross section of gully channels. The some peak values are formed in a zone of changing average gradient of mountain slope, 1200m-1800m in altitude, and in a zone of maximum rainfall, more than 3500 mm/year. The changes of cross sections according to directions are formed in the covering area by recent pyroclastic flow units.

**Key words** : isolated volcano, gully erosion, pyroclastic flow unit, average gradient, rainfall.