

白山山頂部の御前峰稜線南斜面に形成されたガリー

東 野 外志男 石川県白山自然保護センター
遠 藤 徳 孝 金沢大学理工学域自然システム系
村 中 克 弘 石川県白山自然保護センター

GULLY FORMED ON THE SOUTHERN SLOPE OF THE GOZENGAMINE RIDGE IN THE SUMMIT AREA, MT. HAKUSAN.

Toshio HIGASHINO, *Hakusan Nature Conservation Center, Ishikawa*
Noritaka ENDO, *School of Natural System, College of Science and Engineering, Kanazawa University*
Katsuhiko MURANAKA, *Hakusan Nature Conservation Center, Ishikawa*

はじめに

地表面には地表水等による侵食作用や地殻変動などによって、様々な地形が形成される。白山山頂部の御前峰稜線から南斜面上に、延長が50mを超え深さが最大で30cmに達するガリー (gully, ガリ, 雨裂) の存在が、2007年の9月に確認された。このガリーは上流部が急傾斜の側壁を有するのが特徴で、ほぼ無降水の期間が約14日間続いた後、8月下旬～9月上旬頃の多量でしかも強い降雨によって形成されたと推測される。白山山頂部の地形の発達を考える上で、このような微地形の形成は重要な要素の一つと考えられ、以下にその形状を報告すると共に、その形成要因について考察する。

地質・地形概要

白山は御前峰 (標高2702m) を最高峰とする (図1)。山頂部には御前峰の他に剣ヶ峰 (標高2677m)、大汝峰 (標高2684m) の高まりがあり、御前峰や剣ヶ峰、大汝峰の間の凹地には、翠ヶ池の火口湖を始めとして多数の火口が存在する。当該のガリーは、御前峰からほぼ西北西にのびる稜線から南斜面に形成された。御前峰の稜線上には登山道が通っており、夏期には多くの登山者が御前峰でご来光を仰いだ後、火口湖などを見学するためこの登山道を利用する。

白山の山頂部及びその周辺部は、新白山火山の噴

出物から構成される。新白山火山の誕生したのは約3, 4万年前 (鮎野, 2001) で、山頂部では大汝峰の溶岩について0.03~0.04MaのK-Ar年代値が得られている (北原ほか, 2000)。御前峰稜線を構成するのは、新白山火山の溶岩・火砕岩類である (鮎野, 2001)。稜線上では、御前峰近傍や御前峰から北西約160mの標高2686mの高まりや、北西端の高まり (2674m, 通称“御宝庫”) 等で溶岩が露出している。御前峰稜線に露出する溶岩類について、2箇所K-Ar法により年代測定がなされたが測定不能であり (北原ほか, 2000)、これらの溶岩類は新白山火山のなかでは比較的新しい時代のもと考えられる。御前峰稜線のほぼ中央部から北西部にかけての稜線から南南西斜面の表層には、大小のテフラが幅広く分布する (写真1・3・4)。テフラ層は淘汰の悪い火山灰や火山礫からなり、火山岩塊が散在する。火山岩塊は大きなもので直径が1mを超えるものもあるが、多くは1m以下である。テフラ層の厚さは不明であるが、稜線上で溶岩が所々に露出していることから、層厚は比較的薄いと推定される。テフラの表層には植物がほとんど生育しておらず (写真4)、白山山頂や周辺部に分布するテフラ (遠藤, 1985) のなかでも比較的新しい時代 (歴史時代?) の噴出物と推測される。

数cm大のテフラの薄片を偏光顕微鏡下で観察したところ、下方ポーラーで白山火山の安山岩と同様

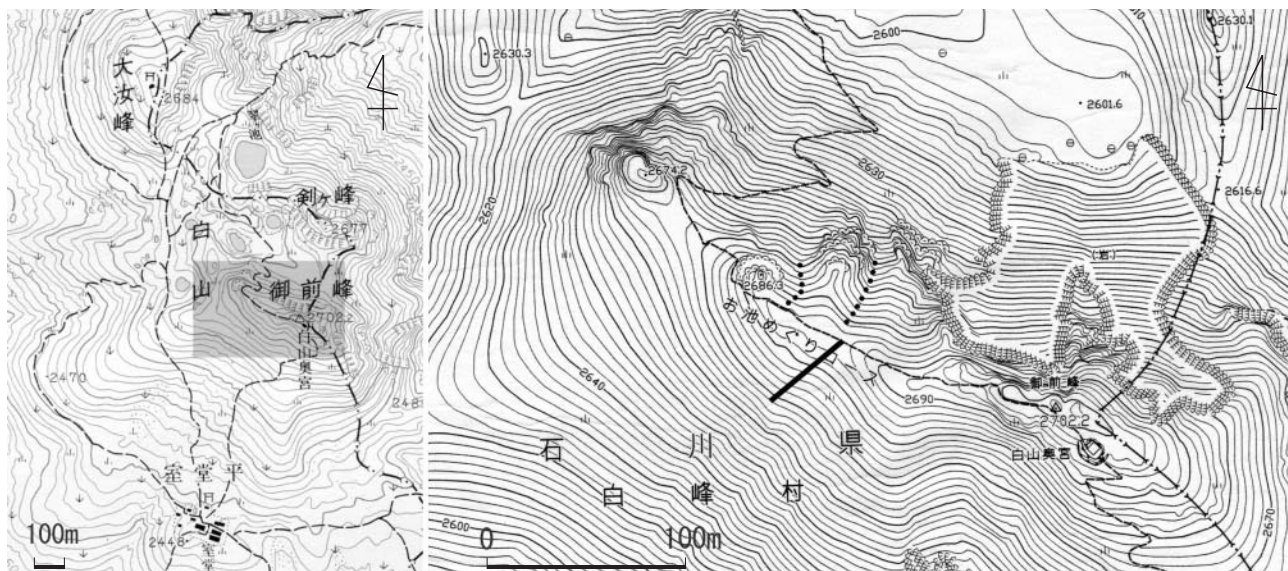


図1 御前峰稜線の南斜面に形成したガリーの位置図

右図は左図の網ぶせ部分と同じ場所。右図の実線がガリー、稜線の北斜面の点線は規模の小さな溝。左図は国土地理院発行2.5万分の1地形図「白山」(1997年9月1日発行)、右図は国土交通省北陸地方整備局金沢河川事務所作成の2500分の1地形図を使用。



写真1 室堂からの御前峰稜線遠望

白色に見えるあたり(円で囲む)に新期(歴史時代?)のテフラが分布し、その地表面にガリーが形成された。2007年9月21日撮影。

な斑状組織は認められる(写真2)が、直交ポーラーではもともと斑晶や石基であったところは、石英斑晶などを除きほとんどが常に消光状態を示す。非晶質物質(?)に変質したためと考えられる。石英斑晶はほとんどが角がとれ丸くなっており、融食によるものと考えられる。また、下方ポーラーで認められる斑晶の仮像の形態から、角閃石や斜長石、輝石の斑晶が存在したことが推測される。これらの斑晶鉱物の組み合わせは、白山火山の通常の安山岩と同じである。御前峰稜線に火口や噴気孔と思われるものが残されていないことや、後述するようにテフラの中に硫黄結晶が含まれることから、これらのテフ

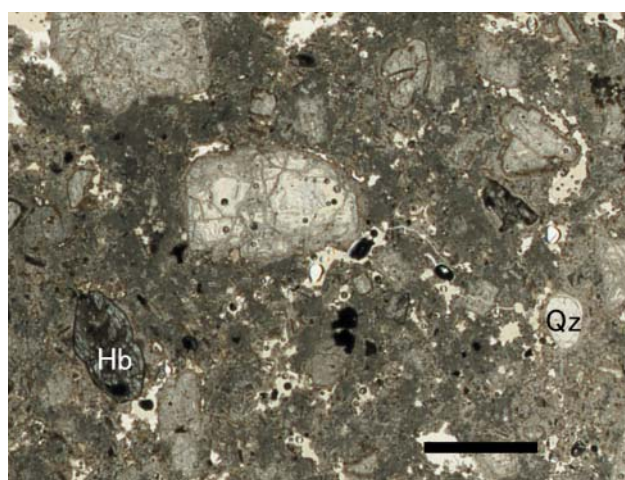


写真2 御前峰稜線斜面に分布するテフラの薄片

斑状組織が認められる。偏光顕微鏡の直交ポーラーの観察では、石英斑晶(Qz)を除きほとんど消光する。非晶質物質(?)に変質したためと考えられる。Hbは形態からホルンブレンドが変質したものと推定される。他の斑晶の仮像は鉱物を特定できないが、斜長石もしくは輝石が変質したものと推定される。スケールは2mm。スキャナーで撮影。

ラは現位置に噴出される前に、稜線の北～北西に位置する火口付近で硫黄変質(?)を受けたと考えられる。

御前峰稜線の南斜面に形成したガリー

ガリーの形状

2007年9月20日に白山室堂センター職員から、山

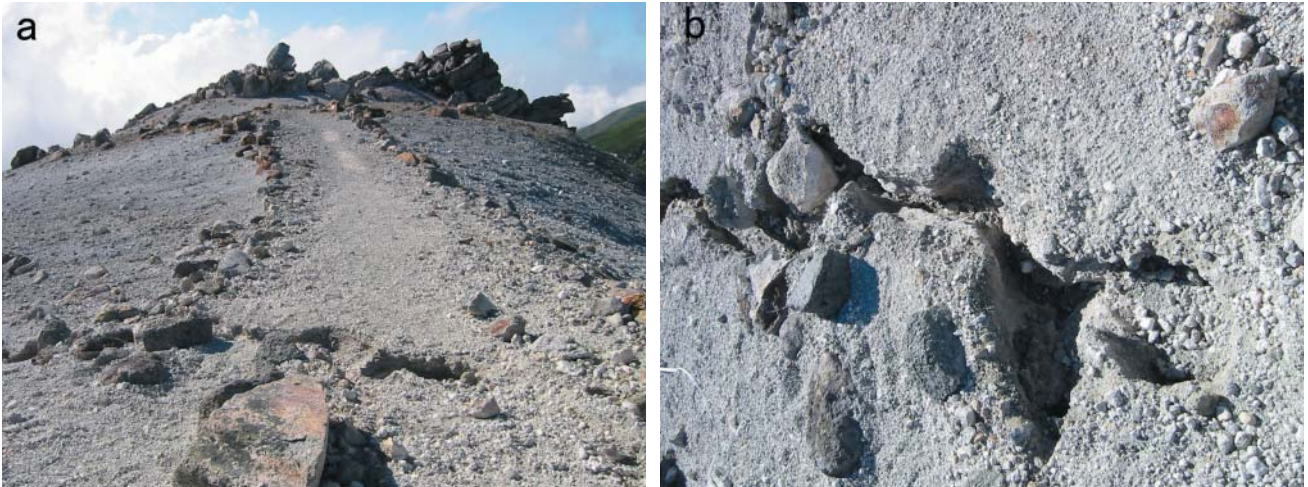


写真3 御前峰稜線から南斜面に形成したガリーの最上流部

ガリーの最上流部（最高標高）は稜線上の登山道にかかる。aは東南東から撮影。地表面に幅広く分布する白色様物質が白山火山のテフラで、最後の露頭が溶岩。登山道の幅は約2m。bはガリーの部分を拡大したもので、右方が最上流。2007年9月20日撮影。荒木光弘氏提供。

頂部に大きな“溝”が形成されていると石川県白山自然保護センターに連絡が入り、翌日の9月21日に国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所と共に現地調査を行った。“溝”は御前峰稜線の標高約2685mの位置（標高は地形図からの読み取り）からほぼ南西方向へ、多少の蛇行をしながら等高線にほぼ直角方向に形成されていた（図1）。“溝”の最上流（北東端）は、御前峰稜線の登山道にかかる（写真3）。この“溝”は後述するように流水によって形成されたガリーであり、以後はガリーとして記述する。

ガリーは御前峰稜線や南斜面にかけて分布するテフラ層に発生した。テフラ層は著しく淘汰の悪いテフラからなる（写真3～10）。ガリーが形成された斜面は、稜線近くでは傾斜は緩いが、全体として急傾斜で傾斜角は約25度である（地形図から算出）。ガリーの全長は直線距離が56mで、全体としては下流へいくほどガリーの形態は不明瞭になる。上流部のガリーは側壁がほぼ鉛直の凹状をなし、下流部に比較して一般的には幅は広く、深い（写真4-a・b、写真5）。場所によっては、側壁上部がせりだしオーバーハングしているところもある（写真4-a・8-a）。稜線の最上流から5mないしは10m間隔での測定（表1）によると、上流部での深さは大部分で20cmを超える。上流部の測定位置での最大の幅は先端から5mの位置（写真6）の44cmで、深さは30cmである。下流部の方へいくと、ガリーの断面は上流部のように地表面に対して直角ではなく、

側壁の角度は全体に緩い（写真4-c・d）。全体としてすり鉢状で、縁は裾が外側に広く広がったゆるやかな山状の形状をとる。この縁の山状の高まりは細粒物質によってしばしばセメントされている。ガリーと平行にガリーの周辺にも、細粒物質が流れた結果できたと推定される跡も観察される（写真4-c・d）。また、上流部から細粒物質を含む流水によるものと考えられる水しぶき様の痕跡が、比較的大きな火山岩塊で認められる（写真6）。上流部と下流部のガリーの形状の変化は漸進的で、ある地点を境に明瞭にその変化が表れるものではない。また、上述した上流部と下流部の形状の特徴が、必ずしもそれぞれが常に有しているわけではない。

上述した御前峰稜線の南斜面に形成したガリーほど深さや幅が顕著ではないが、比較的大きな溝が北斜面の2箇所形成されていた（図1）。長さや深さ・幅などの測定は行っていない。また、2008年8月6日に、2007年に形成した南斜面のガリーと稜線を挟んでほぼ反対側の北斜面に、南斜面のものと同様に側壁がほぼ垂直で深さや幅も比較的大きなガリーが、登山道の縁を先端として形成されているのを確認した（写真11）。このガリーの深さ・幅・長さの測定やその後の形状変化の観察なども行っていない。

ガリーの形成時期についての情報

（財）白山観光協会の職員が御前峰のガリーを確認したのが2007年9月20日で、現地調査を行ったのが

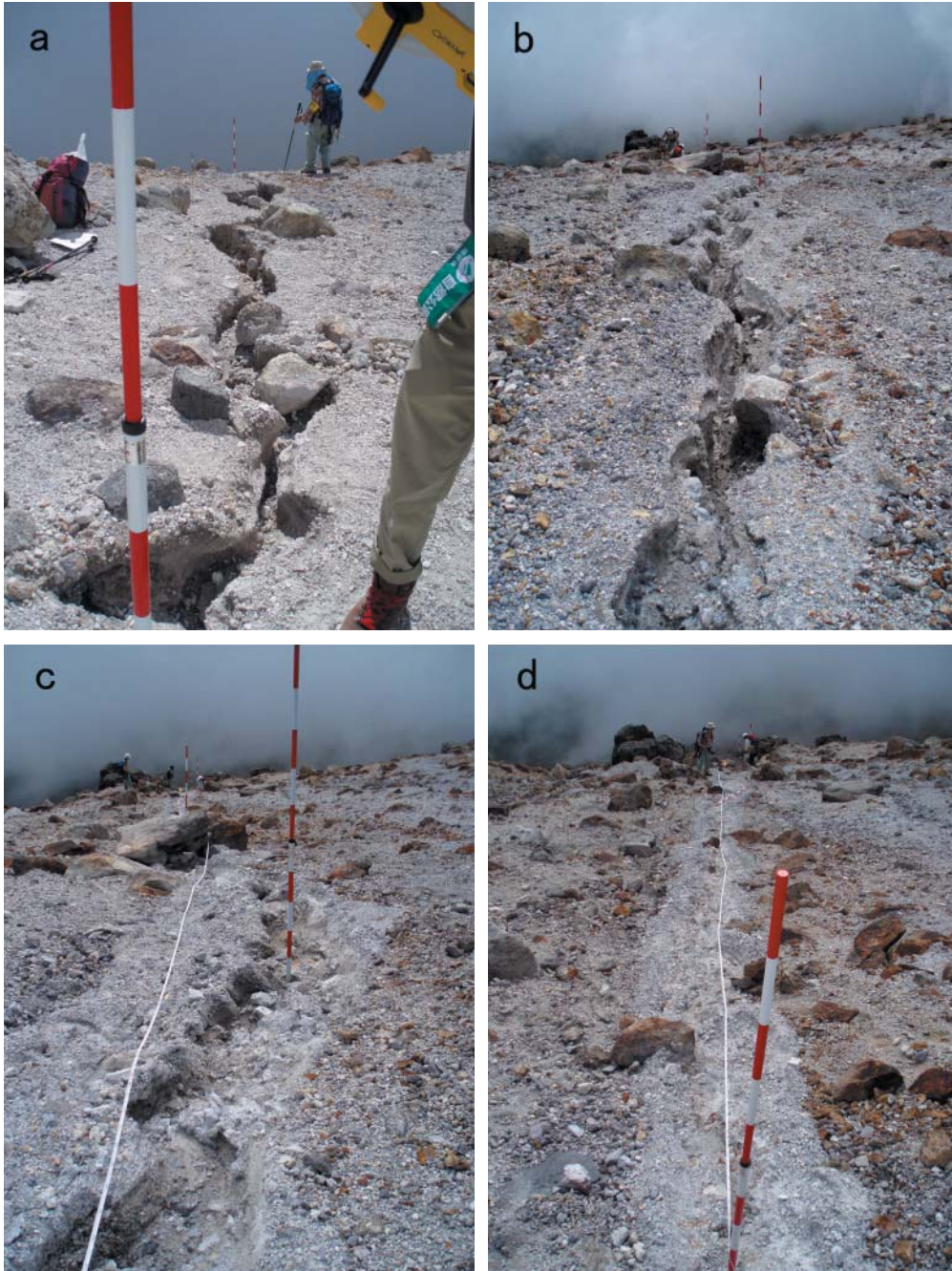


写真4 御前峰稜線から南斜面に形成されたガリー

aからb, c, dへと順に下流部となる。上流部から撮影。bの最下流部とcの上流部, cの最下流部とdの上流部がほぼ対応する。全体として, 上流部 (a・b) ではガリーの側壁は急傾斜で, 下流部では側壁の角度は緩くなり (c), 最下流部付近 (d) ではガリーの形態が不明瞭になる。c, dで, ガリー凹部の周辺の白色様の部分は, 流水が凹部から流れた痕跡と思われる。2007年9月21日撮影。

翌日の9月21日である。現地調査の後, 石川県自然保護センター職員の野上達也氏から, 9月9日早朝山頂部へ登頂した際に, 御前峰稜線の登山道近傍でガリーがすでに存在していたとの情報を得た。野上氏がガリーを撮影した写真が2枚あり (写真7), 撮影時間は早朝である。撮影されているのは登山道近傍で, 該当のガリーが明瞭に写されている。登山

道から遠く離れた斜面でのガリーの存在については, 野上氏は確認していない。9月9日に野上氏に同道した宮下由美子氏は, 8月26日の朝に同じ場所を歩いているが, その際にはガリーを見ていない。これらの情報は, 少なくとも登山道近傍のガリーは8月27日~9月8日の期間に形成した可能性が高いことを示す。

表1 ガリーの幅・深さ・深さ/幅

地点名	先端(最上流)からの距離	幅	深さ	深さ/幅
No.0	0m	27cm	16cm	0.59
No.5	5m	44cm	30cm	0.68
No.10	10m	30cm	30cm	1.00
No.15	15m	40cm	23cm	0.58
No.20	20m	40cm	20cm	0.50
No.24.8	24.8m	18cm	13cm	0.72
No.30	30m	73cm	16cm	0.22
No.40	40m	46cm	12cm	0.26
No.50	50m	15cm	7cm	0.47
No.56	56m	0cm	0cm	-



写真5 表1のNo.5地点のガリー
幅44cm, 深さ30cm。2007年9月21日撮影。



写真6 火山岩塊に残されている流水の水しぶき跡
スケールは約88cm。2007年10月11日撮影。小川弘司氏提供。



写真7 2007年9月9日早朝の登山道近傍のガリー
野上達也氏提供。

ガリーの形状変化

2007年9月9日以降翌年の2008年秋頃にかけて撮影された写真のうち同じ場所を撮影したもの(写真8・9・10)をもとに、ガリーの形状変化を記す。

写真8-a・bは登山道にかかるガリーを2007年9月9日と9月21日に撮影したもので、ガリーのほぼ最上流部にあたる。この写真では、両者ともガリーは側壁がほぼ垂直で、同じように蛇行しているなど、おおまかな形状は変化していないが、細部は多少変化している。a(9月9日撮影)からb(9月21日撮影)へは、△で記した礫の近くでガリーの幅が明らかに拡大している。礫の下位や周辺の砂泥サイズの粒子が流失しガリーがその部分で拡大し、それに伴い礫(△)がガリーの底面に落ちている。深さについては幅ほど明瞭ではないが、この写真の範囲のガリーは全体で9月21日の方が多少深くなっていることが読み取れる。地盤動簡易測定装置(後述)が設置された登山道近傍のガリーを撮影した写真9-a(9月9日)と写真9-b(9月21日)との比較でも、他の部分で大きな変化はないが、○で囲んだところでガリーが明瞭に拡大している。さらに同じ場所を10月11日・11月8日、翌年(2008年)の5月18日・6月18日・9月4日に撮影したもの(写真9-c・d・e・f・g)を比較すると、次のような形状変化が挙げられる。9月21日にほとんど垂直であった側壁が、10月11日には下流の標高の低い部分で崩れると共に、凹部に新たに土砂が堆積している。11月8日になると、上流の標高の高い部分の側壁も崩れ、垂直な側壁は無くなり、ガリーの底面も角がとれ砂礫で埋められす

鉢状になる。ガリーの全体の形状は、9月や10月の時と比較して明らかに不明瞭になっている。2008年の5月18日にはその傾向はさらに進み、6月18日になるとわずかに凹みが残るだけで、それまで明瞭であった侵食の痕跡はほとんど認められなくなる。しかしながら、9月4日になると、2007年の9月ほど深くはなく、側壁も垂直ではないが、2007年とほぼ同じ場所で、流水による侵食地形が形成されている。写真10は、写真8・9とは異なり、標高の低いガリー下流部のものである。2007年9月21日(写真10-a)と2008年10月10日(写真10-b)に撮影したもので、1年以上も経過しており途中の経緯は不明であるが、2008年10月10日には、侵食の痕跡はほとんど無くなっている。

登山道や地盤動の簡易測定装置が設置されたガリー上流部の写真8・9をもとにすると、当該のガリーの形状変化は下記のようにまとめられる。9月9日から9月21日にかけて、ガリーはわずかであるが拡大し、側壁は急傾斜で底面も側壁とほぼ直角の形態を保ち、深さも多少増加した。10月中旬になると、側壁の一部は崩れ、11月上旬になると側壁はほとんど崩れ、土砂による堆積も進む。その後、積雪期を過ぎ、翌年(2008年)の5月中旬には、その傾向はさらに進み、6月中旬頃にはガリーの形状はほとんど不明瞭になった。しかしながら、その後9月になると、再び侵食地形が発達するが、2007年のような顕著なものではない。この変化は、登山道から地盤動の簡易測定装置付近の上流部での写真を元にしたもので、下流部でも同じような変化をしたかは明ら

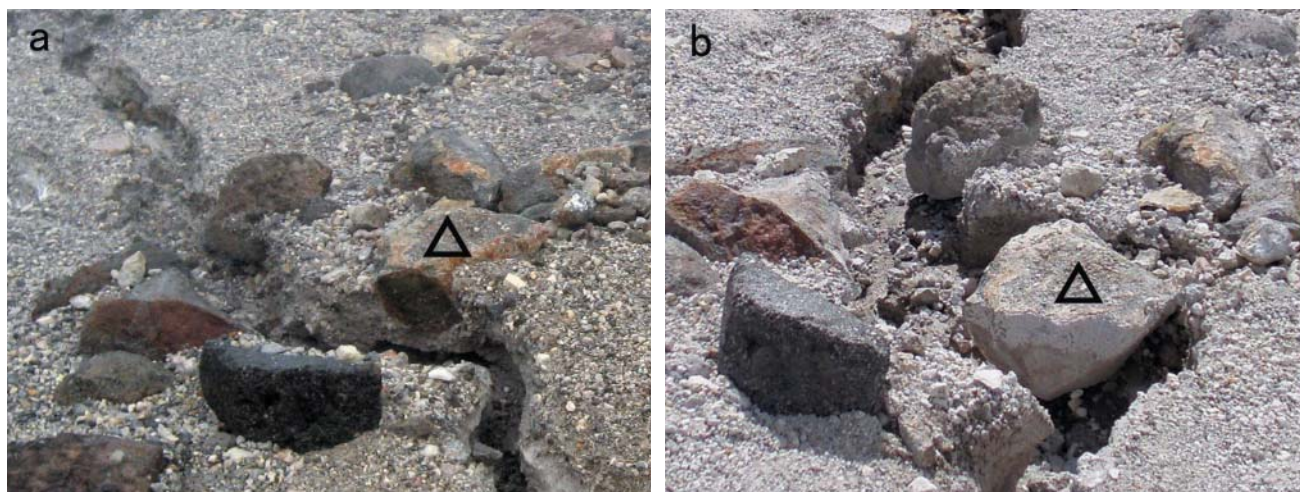


写真8 ガリー最上流部付近の形状比較(9月9日・9月21日)

aは9月9日、bは9月21日撮影。△は同じ岩塊。aは写真7-aの一部を拡大したもので、ほぼ下半部(上流部)が登山道にかかる。ガリーの一部でオーバーハングが認められる。aは野上達也氏提供。

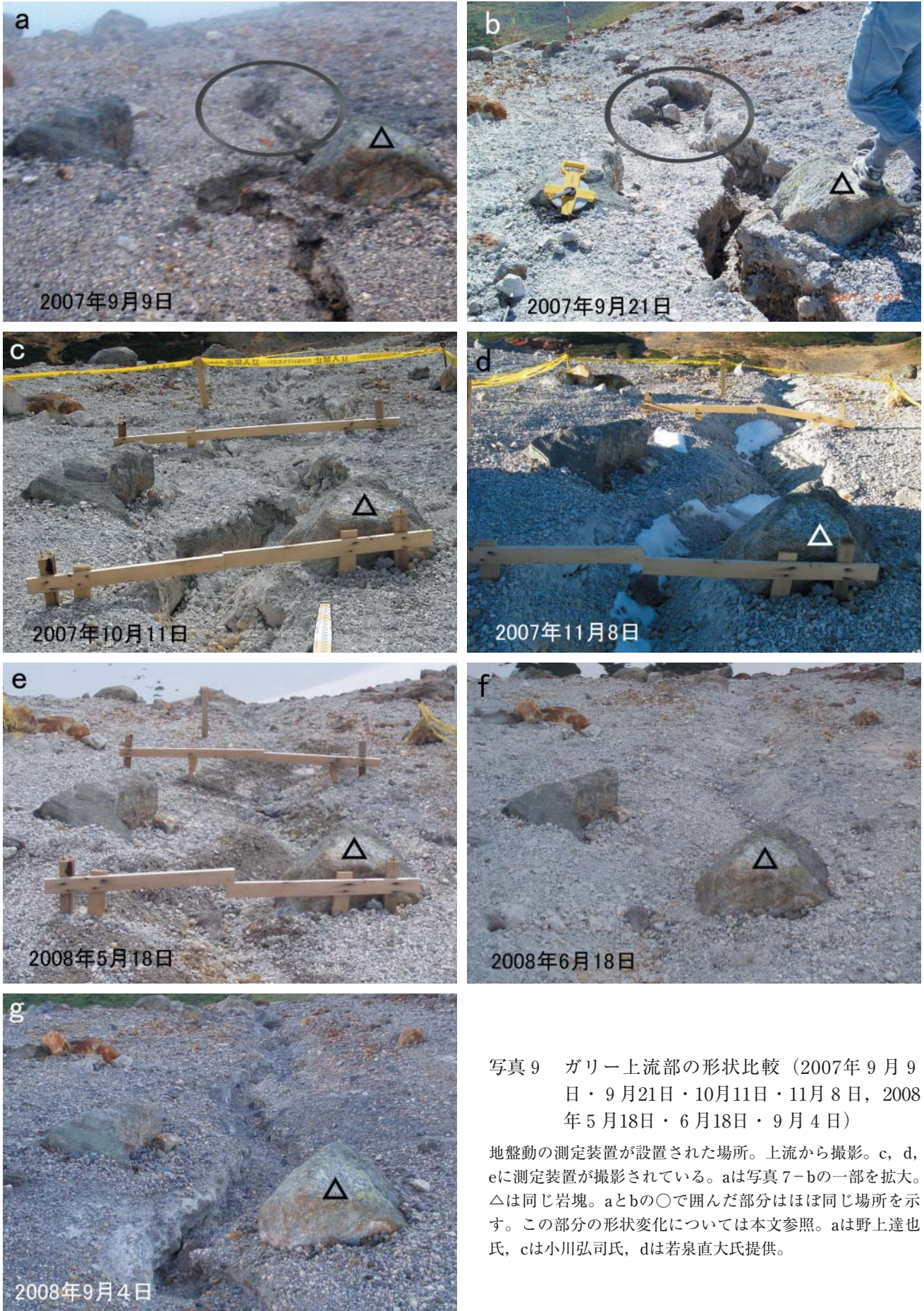


写真9 ガリー上流部の形状比較（2007年9月9日・9月21日・10月11日・11月8日，2008年5月18日・6月18日・9月4日）

地盤動の測定装置が設置された場所。上流から撮影。c, d, eに測定装置が撮影されている。aは写真7-bの一部を拡大。△は同じ岩塊。aとbの○で囲んだ部分はほぼ同じ場所を示す。この部分の形状変化については本文参照。aは野上達也氏，cは小川弘司氏，dは若泉直大氏提供。

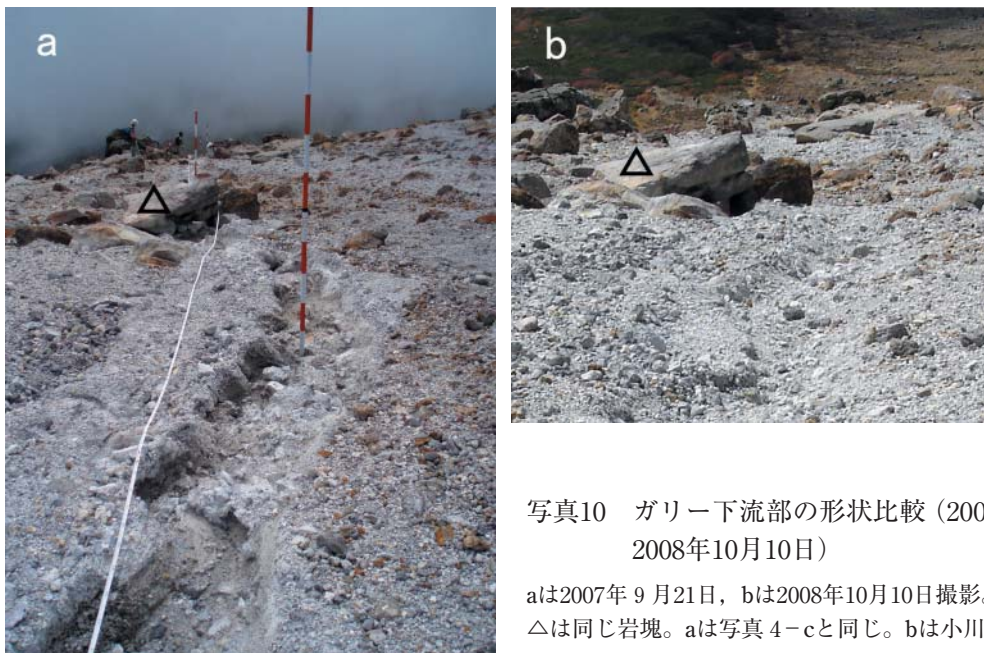


写真10 ガリー下流部の形状比較 (2007年9月21日・2008年10月10日)

aは2007年9月21日, bは2008年10月10日撮影。上流から撮影。△は同じ岩塊。aは写真4-cと同じ。bは小川弘司氏提供。



写真11 2008年に御前峰稜線北斜面に形成したガリー— 東南東から撮影。2008年8月6日撮影。

かではない。

地盤の動きの観測

御前峰稜線から南斜面に形成されたガリーは、9月21日の現地調査の際には、地盤の動きにより形成されたことも可能性の1つとして考えられた。その可能性を検証するため、地盤の動きを観測する装置が登山道近くに国土交通省によって設置され(写真12)、その後の動きを監視した。装置には断面の頂角が直角の角棒をガリーにほぼ直角方向に設置し、ガリーが通るほぼ中央あたりで角棒は切断されている。角棒には、地表面にほぼ直角な面と地表面にほぼ平行な面の中央に、ガリーにほぼ直角の方向に直

線が引かれている(写真12-c・d)。切断面の間隔はガリーに直角方向の両地盤の広がり、角棒に記された2本の直線の食い違いは、ガリーを挟んでの両地盤の上下方向とガリーに平行方向の動きを表す。測定装置は2組設置された。装置は簡便なもので、数cmから数十cmオーダーの変化は感知する能力を有すると考えられるが、mmオーダーの変化は装置の仕組みなど考慮すると誤差の範囲にはいり、実際の変化を表すものではない。

各項目の測定を、9月21日以降9月29日までは1日もしくは2日おきに行い、その後10月4日に最後の測定を行った(表2)。計測上違いが見られたのは、計測装置No.1の“ガリーに平行方向”の水平移動と、No.2の“ガリーに直角方向”と“ガリーに平行方向”の水平移動である。しかしながら、変化の最大値はそれぞれ+0.3cm, +0.2cm, +0.2cmで極微小であり、さらに計測装置No.1の“ガリーに直角方向の水平移動”と“垂直移動”, No.2の“垂直移動”では変化は見られなかった。これらのことから、上記の変化は誤差の範囲に収まるもので、9月21日から10月4日にかけてガリーをはさんで両側の地盤に動きがなかったと判断される。

白山周辺で2007年7月から9月にかけて発生した地震は、最大がマグニチュードが約1(平松研究室, 2007)で、経常的に白山で発生している地震のマグニチュード(通常2以下, 平松ほか, 2004)を超えるものは発生していない。この地震観測結果も、この時期山頂部で大きな地盤変化が起きていなかった

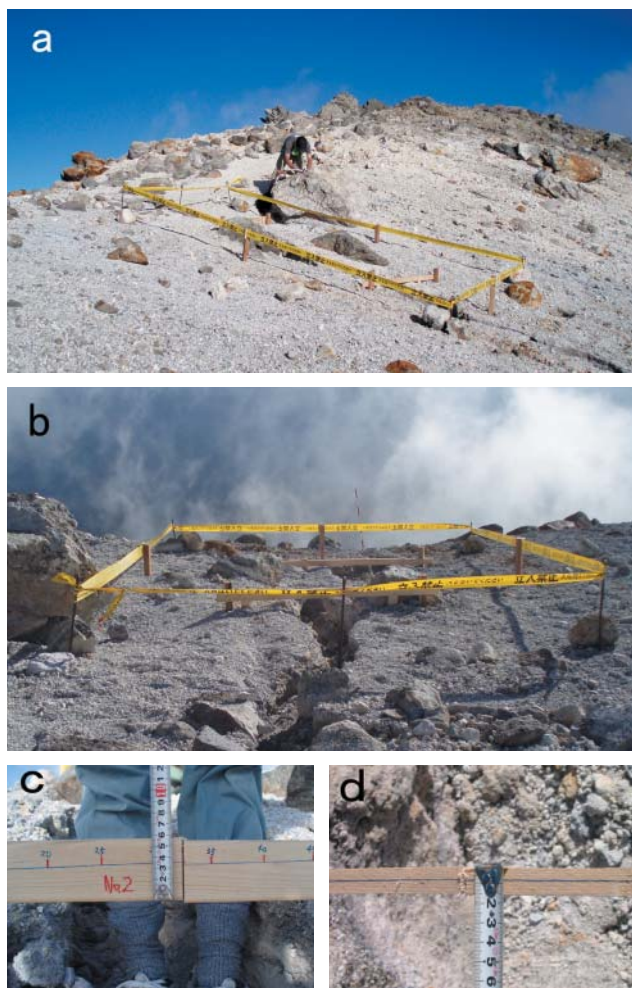


写真12 地盤動の測定装置

装置は2組設置された。aは西北西から撮影。bは下流から撮影。cは地表面にほぼ直角の面で、両地盤の広がりと上下の動き、dは地表面にほぼ平行な面で、両地盤の広がりと水平方向の動きを測定する。2007年9月21日撮影。dは荒木光弘氏提供。

ことを示す。

テフラ層中に含まれる硫黄結晶

御前峰稜線の登山道沿いでガリーから約1m室堂寄りのところで、硫黄の結晶が約50cmの範囲に存在していたことを、(財)白山観光協会の職員が確認している。結晶の個数は十数個で、最大のものは1cmを超える。硫黄結晶はガリーにも1個存在していた。硫黄結晶の多くに、付近のテフラと同種のものが付着している。2008年9月8日にも、(財)白山観光協会の職員が、御前峰稜線で硫黄結晶を見ている。

2007年9月21日の現地調査の際、ガリーの凹部を嗅いだら、硫黄臭は確認できなかった。また、ガリー近傍の登山道沿いから1995年10月13日に採集したテフラを調べたところ、その中に極微量であるが数mm大の硫黄結晶が単独で存在することや、テフラに極微小の硫黄が付着していることを確認した。これらのことは、上記の硫黄結晶は今回のガリーの形成と直接関係ないことを示すものである。硫黄の結晶は、火山地帯の噴気孔周辺で火山ガスからしばしば晶出することや、御前峰稜線の硫黄結晶には周辺のテフラと同種のテフラが付着することから、周辺テフラと共に火口付近から噴火により現位置にもたらされたものと判断される。

2007年7月～9月の気象状況

白山では1964年から7月と8月の限られた期間であるが、(財)日本気象協会によって室堂(標高2450m)

表2 ガリーを挟んでの両地盤の水平方向と垂直方向の移動測定結果

年月日 時刻	No 1			No 2		
	水平移動 (cm)		垂直移動*** (cm)	水平移動 (cm)		垂直移動*** (cm)
	ガリーに直角方向*	ガリーに平行方向**		ガリーに直角方向*	ガリーに平行方向**	
2007/09/21 14:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007/09/23 07:15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007/09/24 07:45	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
2007/09/25 07:20	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2007/09/27 —	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2007/09/29 —	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2007/10/04 10:45	0.0	0.2	0.0	0.2	0.2	0.0

*：この値は、ガリーに直角方向に両地盤が広がった場合をプラスとした。

，*：これらの値は、ガリーをはさんで山頂（標高の高い位置）を望んで右側の地盤が山頂方向に移動した場合や上方に移動した場合をプラスとした。

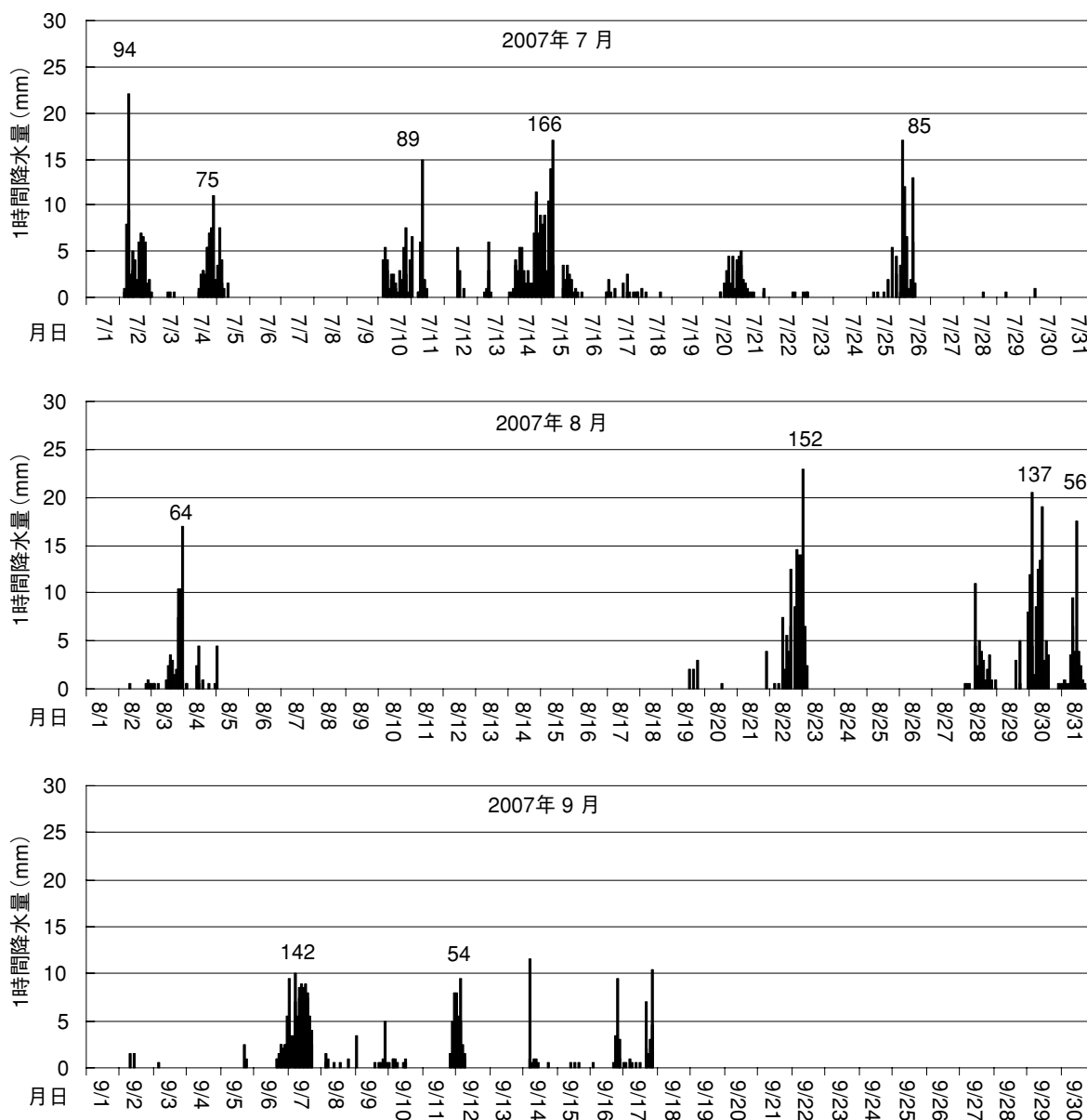


図2 白山室堂1時間降水量(2007年7月1日～9月31日)

(財)日本気象協会北陸支店の観測による。連続雨量を6時間以上1時間雨量が0.0mmの中断を伴わず継続した際の累積雨量と定義し、50mmを超える連続雨量の量を数字(mm、小数点以下は四捨五入)で示した。

で気象観測が行われた。観測項目は天気、気温、最高気温、最低気温、降水量、雲量、視程、風向風力で、9時と15時に定時観測が行われた。2007年は降水量については、(財)日本気象協会北陸支店によって、7月1日から9月30日にかけて毎時測定が行われた。

2007年の北陸地方の梅雨入りは6月21日ごろ、梅雨明けは8月1日ごろ、平年値はそれぞれ6月10日と7月22日で(気象庁, 2008a), この年の梅雨入りと梅雨明けは平年値より11日と10日遅かった。日本

列島の2007年8月は、南西諸島を除いては太平洋高気圧におおわれて晴れて気温の高い日が続き、全国的に高温、太平洋側で小雨となった。特に8月中旬は、顕著な高温となった(気象庁, 2008b)。室堂においては、最高気温は8月5日から8月21日までの17日間連続して日別平年値(1971-2000年の観測値から算出)を上まわった(東野, 2008)。そのうち8月10～12日と8月15～18日の7日間は特に高く平年値を4℃上まわり、全国の天候と同様に8月中旬が平年より特に暑かったのが特徴である。

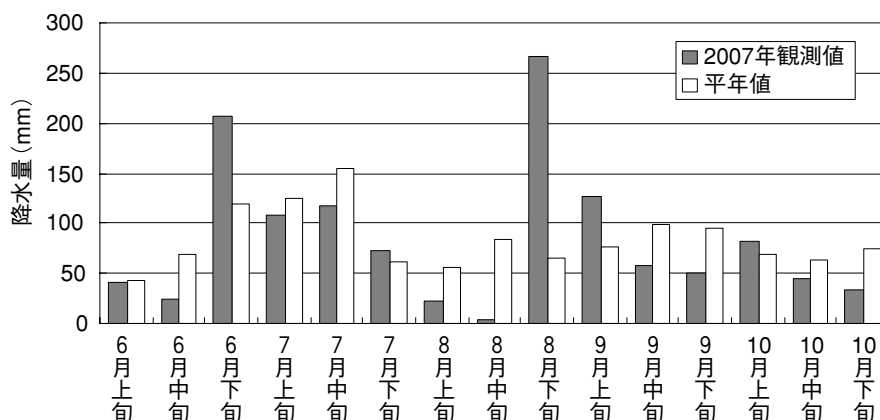


図3 白山白峰（標高470m）における2007年7～9月の旬別降水量と旬別降水量平年値
気象庁（2008b）をもとに作図。

7月1日から9月30日にかけて、白山の室堂では断続的に降雨があった（図2）。比較的長期間、連続して1時間降水量が0.0mmだったのは、8月5日1時から8月19日13時までの14日間12時間と、9月17日21時から9月30日24時までの13日間3時間（10月1日以降の観測はなし）である。8月5日9時から8月19日9時までの9時と15時の29回の定時観測（日本気象協会北陸支店，2007）で、降雨を示唆するものは8月13日9時の“霧雨”のみで、それ以外は“霧”が4回，“曇り”が5回，“晴れ”が17回，“快晴”が2回であった。前の定時観測からの継続した天気状況を記した「記事」では，“快晴”が1回，“晴れ”が17回，“曇り”が4回，“霧”が6回で、唯一降水を示すものは5日の9時の記事に記されている“霧と雨”のみである。5日9時の「記事」の対象となる4日15時～5日9時で、観測で0.5mm以上の時間雨量を記録し明らかに降水があったのは4日19時（時間雨量；0.5mm，以後同じ），4日24時（0.5mm），5日1時（4.5mm）である。それ以外の時間雨量は0.0mmで、5日1時から9時までは連続して時間雨量が0.0mmであった。「記事」の“霧と雨”がそれぞれいずれの時のことを表しているか明らかでないが、この連続して時間雨量が0.0mmであった期間は降水があった直後であり、時間雨量が0.5mm未満の降水があった可能性はある。しかしながら、最大で0.5mm未満の降水がこの間連続したとしても総量は4mm未満で微量である。5日9時以降8月19日13時までについては、前述したように途中8月13日9時の天気“霧雨”と記載されているが、8月13日9時と13時の「記事」はいずれも“霧”

で、13日9時の“霧雨”は極めて短時間のものであったと推測される。山岳地における気象観測のため、「記事」は多少の不確かを含むことも予想されるが、上述した9時と15時の天気と「記事」の内容からは、8月5日1時から8月19日13時までの期間は、微量の降水があったとしても全体としてはほとんど無降水に近かったと推測される。前述の気温状況もふまえると、8月5日頃から8月19日頃までの間は、ほとんど無降水で、しかもきわめて気温が高かった時期であったと言える。9月以降については、7・8月のような気象観測が行われていないので、9月17日以降の降水量が0.0mmの時期に気温がどの程度であったかなどについては不明である。

ここで連続雨量を6時間以上0.0mmの中断を伴わず継続した際の累積雨量と定義すると、7月1日～9月30日の期間で、連続雨量が100mmを超えたのは、7月14日0時～7月15日9時（累積雨量166.0mm，以下同じ），8月21日22時～8月23日4時（151.5mm），8月29日14時～8月30日15時（136.5mm），9月6日15時～9月7日18時（141.5mm）で、梅雨を過ぎても8月下旬から9月上旬の時期に連続雨量が100mmを超える降雨があった。日最大1時間降水量についても同様で、気象庁の予報用語で「強い雨」とされている日最大1時間降水量（20mm以上で30mm未満，気象庁，2008c）が、7月2日（22.0mm）の梅雨の期間の他に、8月23日（23.0mm）と8月30日（20.5mm）の8月下旬にも記録している。ちなみに気象庁では、「強い雨」の際の災害発生状況を「側溝や下水，小さな川があふれ，小規模の崖くずれが始まる」としている（気象庁，2008c）。2007年の夏から秋にかけ

ての降雨の特徴として、梅雨の他に8月下旬から9月上旬に、多量のしかも強い降雨が何度かあったことが挙げられる。

平年値に比較しての上述の白山室堂における降水量の多寡の程度は、室堂の西北西約13kmに位置し長年にわたって気象観測が行われている白山白峰(標高470m)の観測(図3, 気象庁, 2008d・2008e)からおおよそ類推できる。白山白峰の観測地点は長期間観測を行っている所としては白山室堂に最も近くに位置し、両者で降雨日はほぼ対応しており(東野・野上・小川, 1996), 以下の推測に大きな誤りは少ないと思われる。白山白峰における2007年7~9月について、梅雨期の降雨は平年と大きな違いはないが、室堂の2007年の降雨で多量の降雨があった8月下旬と9月上旬については、8月下旬が平年値の約4倍で、9月上旬が平年値の約1.6倍であった。白山白峰では9月5日と8月22日にそれぞれ45mmと43mmの日最大1時間降水量が観測され、これらの観測値は白峰における観測史上(1977年7月~2008年11月の期間)4位と6位にあたる(気象庁, 2008f)。室堂でほとんど降水が無かった(7.5mm)8月中旬については、白山白峰で降水量が平年値の約5%であり、8月上旬についても平年値の約40%であった。場所が異なるので厳密なものではないが、これらの事柄から、室堂における8月上・中旬の降水量の少なさと、8月下旬・9月上旬の降水量の多さが、平年値に比較して際だっていたであろうということが類推できる。

議 論

ガリーの特徴

御前峰稜線から南斜面上にできた“溝”は、次の観察・観測結果から、ガリーと呼ばれる、降雨に伴う流水で生じた小規模侵食地形であると結論づけられる。亀裂ではないと判断する理由として、①“溝”が蛇行し直線性が低いこと、②溝の幅が拡大している場合でも、9月9日から9月21日の変化(写真8, 写真9-a・b)で見られるように、拡幅は一部のみで、全体に及んでいないこと、③当該地域で、地盤の動きが観測されないことなどが挙げられ、さらにガリーを支持する観察結果として、④下流部でしぶきが飛び散ったような、明らかに流水作用の動きを示すところがある点(写真6)などである。御前峰稜線付近にできたガリーは側壁が急斜面ゆえ、発見当初、地盤の動きによる地割れの可能性が考えられ

たが、発見された“溝”が大局的には等高線と直交していることからすると、地滑りのような理由で生じた地割れである可能性はもともと低かったと言える。また、9月21日以降になるが、簡易測定装置によっても地盤の動きを示すものも観測されていない。尚、ガリーと同様の地形でガリーより小さい深さ数センチ程度のものをリル(rill)と呼び、逆にガリーより大きいものはすべて谷(valley)に分類されるが、区分に関して数値的な定義はない。

ガリーは雨水の侵食によって出来る小規模な地形で、河川のような定常的な地下水の涵養がないため、降雨時にのみ流路となる。ガリーは河川同様に流水で形成されるものの、一般の河川に比べ側壁が急傾斜である(小池, 1996; Hancock and Skinner, 2000)。ガリーが急な側壁を維持するためには土壤斜面の安定性が高いことが必要である。ここでいう斜面の安定性とは、自重と強度との兼ね合いといった意味であり、自重は斜面を崩壊させる方向に働き、強度はそれを食い止める方向に働く。土壤中の有機物などにより構成物粒子同士の粘着性が増した場合や基盤岩を直に侵食する場合には、ガリーの側壁は急傾斜となるが、土壤化していない未固結堆積物の場合には、一時的に急傾斜の側壁が出来てもすぐに崩れて傾斜は緩くなる。

ガリーの上流部は場所によってはほぼ垂直な側壁を有していたが、この場所はテフラが覆いほとんど植生がなく土壤化は起きていないし、テフラは固結するほど古い年代のものでもない。このような未固結のテフラからなる場でガリーが生じるのは珍しくないが、通常火山の裾野で見られることが多く、稜線付近で、しかもほぼ鉛直の側壁を持つガリーができることは自明でない。また、ガリーの形成期間が最大でも8月27日から9月8日の比較的短期間(13日間)である可能性が高いが、その割には規模が大きい(9月21日の計測時で全長56m)ことが、もう一つの疑問点として挙げられる。この2点について以下で考察する。形成期間の推定は必ずしも正しいとは断定できないので、実はもっとゆっくりと時間をかけて成長した可能性もあるが、以下では、そうでない場合にどう理解すべきかについて考えることとする。

急傾斜の側壁を有するガリーの形成と侵食抵抗の不連続性

上述したように、側壁が急傾斜を維持するには斜

面材質の強度が高くなくてはならない。ガリーが形成された場所は、雨が降るとテフラは湿るが、植生が無いと保水性は低く、特に表層は直射日光を遮る樹木が無いと比較的速く乾燥すると考えられる。碎屑粒子は間隙水が多いと流動化するが、乾燥するに連れて、物理化学的な作用により粒子同士の固着性が増して強度（コンシステンシー：変形に対する抵抗力）が上がる。テフラの粒度の淘汰はよくないが、大きな粒子の間に挟まった小さな粒子（マトリクス）が乾燥してセメントの役目を果たすことが考えられる。前述したように、2007年には、8月5日1時から8月19日13時にかけてほぼ無降水（降水量0.0mm）の期間があり、しかも、気温は平年値を大きく上回ることが多く、乾燥化が比較的深部まで進んだと推測される。この乾燥化により、強度が増加したと推測される。しかし、表層の強度が高ければ、侵食に対する抵抗力も増すので、ガリー侵食自体は起きにくくなる。高い強度に打ち勝ってガリーを形成するには、強くても多量の流水が必要となる。ほぼ無降水期間の後のガリーが形成した可能性の高い8月27日から9月8日の間で降雨状況（図2）を見ると、計387.5mmの降水量があり、同時期の白峰村の降水量（図3）から類推するに、平年よりかなり多量の降雨であったと推測される。この間、8月29日から8月30日にかけて連続雨量が136.5mmの、9月6日から9月7日にかけて連続雨量が141.5mmの100mmを超える多量の降水量を記録し、8月30日には日最大1時間降水量が20.5mmの強い降雨があった。9月9日以降は平年に比べて際だった量ではないが、9月17日にかけて、計138.5mmの降雨があった。要約すると、好天と高い気温がほぼ2週間続き、その後多量で強い雨が降ったということであり、こうした状況は乾燥による表層の侵食抵抗増加とその後の強い侵食力の発生を引き起こすには有利である。

上での議論で、側壁の傾斜が斜面材質の硬さに依存すると考えたが、これは斜面の物性を静的に捉えた見方である。地形学的に考える際、動的（ダイナミクス）な要素も重要である。地形が全く変化しないのではなく、変化しながらも一定の地形学的特徴を維持している場合、一種の動的平衡な状態と捉えることができる。写真8や写真9-a・bで見たように、ガリーは拡張しながらもその間、側壁を鉛直に維持し、ガリー横断面は箱型をしている。側刻（側壁の間隔を拡張する侵食）が卓越し、特に側壁

下部が激しく削られる場合には、短期的な側壁のオーバーハングした状態とそれに続く崩落により側壁が急傾斜に（動的に）維持される。実際、写真4aや写真8aから、一部側壁がオーバーハングしているのが見て取れる。下刻（谷を深くする侵食）よりも側刻が速くなる理由として、ある深さを境に侵食抵抗が変わることが考えられる。写真8-bや写真9-bを見るとガリー底部が比較的平らになっており、この深さ以下では、その上部に比べて侵食され難いことが推測される。また、側刻が衰えなかったことから、下の層は水の浸透性も悪いと考えられる。この下の層が大きな侵食抵抗を獲得した理由は不明だが、ある種の弱い続成作用、おそらく水による化学反応などが関係したと推測される。侵食抵抗が深さ方向に不連続に変化することが下刻を抑え、相対的に側刻を卓越させ、急峻な側壁を作るのに貢献したと考えられる。

流れに関する一考察

上述したように強度が増した表層が多量で強い雨により侵食されると共に、深さ方向への侵食抵抗の変化により、静的且つ動的に急な側壁斜面が維持されたと考えられる。だが一方、ガリーが発見当初のような幅に対して深い“溝”地形（写真3-b・4-a・8-aなど）を持つためには、下刻速度が側刻速度を上回るような状況が必要であると考えられている。しかし、一般にガリーなど谷地形発達の初期（地形学で言う河川地形発達過程の幼年期）において下刻が盛んであることは確かだが、ほとんどの場合側刻に勝つことはないと言われる（寿円，1981）。このことは上で、箱形の横断面を持つ理由として考察した、側刻が活発であったとする考えと矛盾しないが、では、どのような流れがきっかけで幅が細く深さの深いガリーが生じたのであろうか。

比較的長期間直射日光を受けて乾燥し固着したテフラは、少々雨水に濡れたくらいでは容易に強度は失われない。また、火山灰の凝集により水に対する浸透性が低下することが知られている（恩田・竹中・水山，1996）。これらのことを考えると、この場所で雨が降ると大部分の雨水は地下に浸透せず表層流として流れて行くと考えられ、水が地下にしみ込むのが一部の場所に限られていたであろう。土壌に浸透した水は、水はけの悪い表層近くの浅い所よりも下の、且つ、上述したようにガリー底部よりもさらに下の層もまた浸透性が低いと推測されること

からそれより上の、すなわち中間層の、テフラがあまり固着・凝集していない場所を移動するものと推測される。地下浸透水の流れが生じると、マトリクスとなる小さな粒子が徐々に取り除かれ空隙が増していく。これにより、トンネルとまでは言えなくとも、比較的空隙の大きい場所、つまり浸透水の通り道が地下にできる。こうしたものはパイプと呼ばれ、そこに流れる水をパイプ流と言う。御前峰稜線や斜面上でも、パイプ流もしくはそれに準じる流れが部分的に発生していた可能性が考えられる。

現段階では可能性に過ぎないが、パイプ流もしくはそれに準じる流れを想定すると、①表層が固着すると侵食抵抗が増すため、却ってガリーは形成されにくくなるように思われるのに、実際には形成された、②ガリーの形成期間が比較的短期間である可能性が高い割に全長が長い、③発見当初、地盤の亀裂と見間違えるほど深さ／幅比が比較的大きかった、の3点について説明可能であると考えられる。地下数十cmあたりで形成されたパイプは、支えとなるマトリクスが少なく、その上にはバルク密度の高い固着した層が載っているため、力学的に不安定な構造である。何かのきっかけで、パイプの天井 (pipe roof) が崩落することがある。推定されるガリー形成時期より少し前の8月21日から8月23日にかけて、連続雨量が151.5mmで、8月23日には日最大1時間雨量が23.0mmに達した (図2)、多量でしかも強い降水を経験している。その際、侵食抵抗が増加した表層は何事も無かったかのように見えても、その数十cm地下のパイプは成長していたかもしれない。そして、8月27日から9月8日の間で多量の降水があった8月29日～30日もしくは9月6日～7日、ないしは両時期でパイプの不安定性が限界を超え天井部 (表層) が崩落した可能性がある。表層水により徐々に表層から深部へ下刻するより、深部の侵食が先行して上部が崩落する方が、より鉛直に近い急傾斜な側壁ができやすいし、そう考えると、ガリーの上流部で深さ／幅比が比較的大きかった理由として理解しやすい。またこの場合、表層だけを見ていたならば、短期間にガリーができたように見えるだろう。

パイプの崩落による短期間の流路形成については、既に報告がある。Parker and Higgins (1990) はコロラドのラングレーから32km東で、降雨をきっかけにしたパイプの天井崩落により、一夜にして長さ25m、幅1.5mの流路が出現したことを報告して

いる。記載には無いが写真を見る限り、流下方向の傾斜は御前峰稜線の斜面よりかなり緩いが、ガリーの幅はかなり大きい。尚、パイプが崩壊するのは、パイプが成長する場合だけでなく、一時的な土砂の過剰輸送により下流側でパイプ閉塞が起き、間隙水圧の上昇に伴って粒子同士の支持力が不安定化することによる場合もある (恩田・奥西・飯田・辻村, 1996)。

パイプ流が流れていくためには、表層が高い強度をもち崩れにくくなることの他に、粒子間のすきまが確保されなければならない。前述したように、パイプ流と言ってもトンネルのような構造を考える必要はなく、この場合むしろ、地下水脈のような粒子間隙が連なった水の通り道というイメージが近いであろう。粒子間隙は粒度分布と密接に関係する。パイプが発達すれば局所的に粒度分布も変化するであろうが、もともとの粒径分布もまたパイプ発達の程度や可能性を左右するであろう。粒子が細かく均一であると、間隙が小さく流れにくい。逆に、淘汰が悪ければ、大きい粒子の間隙を埋める細かい粒子が徐々に失われて行く過程で間隙が増え、パイプ流が流れやすくなっていく。御前峰稜線や斜面に存在する粒子は基盤岩の風化で生産されているのではなく、離れた火口から降ってきた火山砕屑物である。従って、降雨の際、上流からの土砂供給は非常に限られているので、粒度分布は流水による粒径分別により長年にわたって変化し続けている可能性が高い。その過程で、たまたまパイプ流が発達しやすい条件となることもあり得る。ただし、こうした状況は時間的・空間的に変動するであろうし、乾燥・固着の程度や粒径以外の様々な要因が複雑に関係すると思われるので、パイプが発生するとしても、確率的、あるいは、偶発的な現象として捉えるべきものかもしれない。

御前峰稜線から南斜面に現れたガリーの発生には、上述のようにパイプに関連した可能性が考えられるが、全長56m全てがパイプの崩落によるかは不明である。ひとたびある場所で、侵食抵抗の低い部分の深さまで侵食され露出されれば、あとはそこへ流れ込む表層水だけでも容易に侵食を推進できるであろう。下流部は、上流部ほどには側壁が切り立っていなかったため、上流部のパイプ崩落で生じた流路に水が集まり、下流部はその流水 (地下水流としてでなく表層流として) が斜面を侵食することでV字形の流路を伸ばしたのかも知れない。しかし、侵

食とは逆に、流れが弱まる時期（雨が止みかける）に、上流から運ばれた土砂（テフラ）が下流部の流路内で堆積したことによって側壁の傾斜が緩くなった可能性もある。

ガリーの形成・成長・衰退

規模にもよるが、通常ガリーはそれほど短命ではない。むしろ、ガリーができればその場所に水が集まりやすいので、さらに深さや長さ及び幅を成長させるのが一般的である。大きな谷や河川の発達もガリーを起点に生じると考えられている。もちろん、ガリーが成長できるためには、形成された時の外部条件が大きく変わらず安定している必要がある。御前峰稜線やその斜面は冬期には相当量の積雪があり、春に雪が融けだす際にも土砂が運ばれる。融雪時と夏期の降雨時とでは土砂移動に質的違いがあるだろうから、この場所で一年を通じて、ガリーに関連する外部条件が一定とは言いがたい。従って、無雪期に形成されたガリーが冬を越えて成長せず埋積に転じて不思議ではない。

2007年の夏から秋にかけて形成されたガリーは、10月中旬以降土砂により埋積され、2008年の春には融雪を経験し、6月には辛うじてガリーの痕跡をとどめるのみとなった（写真9-f）。その後、9月には2007年ほど顕著な地形ではないが再び侵食が認められた（写真9-g）。冬を越してわずかに残された流路が水を集め、夏期の間には再びガリーが侵食に転じたと判断できる。2007年の発見当時に比べると地形はシャープではないが、部分的には急傾斜に切り立った側壁も出ている。ただし、一旦ガリー内にたまった土砂が移動して取り除かれただけかもしれない。その場合でも侵食作用とは言えるが、それだけではガリーが成長したとは言えない。従って、わずか約1年間だけの観察であるが、御前峰の南斜面で鉛直な側壁を持つシャープなガリーを形成させる条件が生じたのは2007年だけであり、2008年には同様のガリー形成条件は満たされなかったと言える。しかしながら、一方で、2008年8月にはほぼ同じ御前峰稜線の位置から反対側の北斜面に、2007年に形成されたものと同様な側壁斜面が切り立ったガリーが新たに確認された（写真11）。このことは、南斜面ではガリー形成の形成条件が満たされなかったが、一方、北斜面ではその条件が満たされていたということになる。これらの事実を単純に説明する仮説は、この場所での通常の降雨による表層流だけで

は垂直な側壁を持つガリーを新たに形成させる条件とはならず、ガリーは表層流とは別の何らかの理由により一時的に生じたとする考え方である。そして、表層流とは別の何らかの理由が上で説明したパイプの崩落であるとすれば、2007年と2008年に御前峰の南斜面と北斜面で生じた地形変化が矛盾なく説明される。つまり、2008年には御前峰稜線の北斜面でパイプ崩落が起きたと解釈することになる。パイプ崩落を伴ってのみシャープな、側壁が鉛直で幅に対して深さの深いガリーが形成されるとすれば、既に2007年にパイプ崩落してしまった場所では、2008年に多量の降雨があっても元のシャープな形状に回復できないが、2008年にパイプ崩落した場所（稜線の北反対側斜面）では側壁が急なガリーが新たに形成されることが理解できる。

摘要

2007年に御前峰の稜線から南斜面にかけて、淘汰の悪い白山火山のテフラ中にガリーが形成された。延長が56mで深さが最大で30cmに達し、上流部では側壁がほぼ鉛直の形状をなす。ガリーは8月27日から9月8日の間に形成された可能性が高い。8月上・中旬の比較的長期間（約14日間）続いたほぼ無降水と高温による乾燥と、その後の8月下旬～9月上旬の多量でしかも強い降雨が、ガリーの形成の要因と考えられる。上流部のガリーで特徴的にみられるほぼ垂直の側壁は、テフラ層内に生じた浸透水が通るパイプと、その後のパイプの天井崩落によって形成された可能性が高い。

謝辞

2007年9月21日の現地調査は、金沢大学人間社会研究域学校教育系酒寄淳史教授、国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所浅井誠二流域対策課長（当時）、（財）白山観光協会荒木光弘氏と共に行った。簡易装置による地盤の動きの観測の大半は、（財）白山観光協会職員が行った。（財）日本気象協会北陸支店からは、未公表の白山室堂の時間降水量の測定資料を提供頂いた。石川県白山自然保護センターの野上達也氏と石川県解説員研究会の宮下由美子氏からは、9月20日以前の山頂部の情報を得た。酒寄敦史氏からはテフラの薄片を提供頂き、白山火山について日頃から議論頂いている。ガリーとその周辺の写真は、（財）白山観光協会の職員、環境省中部地方環境事務所白山管理官事務所の若泉直大、白山自然保

護センターの野上達也、小川弘司、徳田外治朗の各氏から提供を受け、一部については本論文で使用した。金沢大学人間社会研究域人間科学系青木賢人准教授には、本論文の草稿を読んでご意見を頂いた。金沢地方気象台の山下光信氏と(財)日本気象協会北陸支店の中山益孝氏からは、白山の気象や気象全般にわたってご教示頂いた。以上の方々に、ここに記して謝意を表する。

文 献

- 遠藤邦彦(1985) 白山火山地域の火山灰と泥炭層の形成過程。白山高山帯自然史調査報告書, 11-30.
- Hancock, P. and Skinner, B. J. (2000) Gulliers and gullying. <http://www.encyclopedia.com/doc/1O112-gulliesandgullying.htm>.
- 東野外志男(2008) 2007年の夏, 白山はどのくらい暑かったのか——白山山頂部の夏山の気象観測をもとに——。はくさん, **35-4**, 2-6.
- 東野外志男・野上達也・小川弘司(1996) 白山高山帯の室堂平における1993-1995年夏季・秋季の降水量観測資料。石川県白山自然保護センター研究報告, **23**, 1-9.
- 平松研究室(2007) 白山の周囲10km四方の地震活動。 http://hakusan.s.kanazawa-u.ac.jp/seisimg/seis_hakusan.html.
- 平松良浩・酒井主計・高橋直季・石原吉明・本多亮・白井祐介・古本宗充・東野外志男(2004) 白山火山直下の地震の精密震源決定と震源メカニズム。石川県白山自然保護センター研究報告, **31**, 13-32.
- 粕野義男(2001) 石川県地質誌・補遺。194p, 石川県。
- 気象庁(2008a) 昭和26年(1951年)以降の梅雨入りと梅雨明け(確定値):北陸。 http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/baiu/kako_baiu10.html.
- 気象庁(2008b) 平成19年報道発表資料 夏(6~8月)の天候(報道発表日;平成19年9月3日)。 <http://www.jma.go.jp/jma/press/0709/03c/tenko070608.html>.
- 気象庁(2008c) 予報用語 雨の強さと降り方。 http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/amehyo.html.
- 気象庁(2008d) 気象統計情報 白山白峰 2007年(旬ごとの値)主な要素。 http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/10daily_a1.php?prec_no=56&prec_ch=%90CE%90EC%8C%A7&block_no=1171&block_ch=%94%92%8ER%94%92%95%F4&year=2007&month=&day=&elm=10daily&view=.
- 気象庁(2008e) 気象統計情報 白山白峰 平年値(旬ごとの値)。 http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/nml_amd_10d.php?prec_no=56&prec_ch=%90CE%90EC%8C%A7&block_no=1171&block_ch=%94%92%8ER%94%92%95%F4&year=2007&month=&day=&elm=normal&view=.
- 気象庁(2008f) 気象統計情報 白山白峰 観測史上1~10位の値(年間を通じての値)。 http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/rank_a.php?prec_no=56&prec_ch=%90CE%90EC%8C%A7&block_no=1171&block_ch=%94%92%8ER%94%92%95%F4&year=&month=&day=&elm=rank&view=.
- 北原哲郎・堀伸三郎・小川義厚・前川秀和・石田孝司(2000) 新白山火山の層序区分——年代測定結果による検討。日本火山学会2000年秋季大会講演要旨, 153.
- 小池一之(1996) ガリ。地学事典, 265, 地学団体研究編平凡社。
- 日本気象協会北陸支店(2007) 白山室堂夏山気象観測表。4p.
- 恩田裕一・竹中千里・水山高久(1996) 雲仙火山灰が浸透能低下を引き起こす原因, 砂防学会誌, **49** (1), 25-30.
- 恩田裕一・奥西一夫・飯田智之・辻村真貴編(1996) 水文地形学—山地の水循環と地形変化の相互作用—。古今書院, 267p.
- 寿円晋吾(1981) 谷の横断形。地形学事典, 二宮書店, 362-363.
- Parker Sr, G.G. and Higgins, C.G. (1990) Piping and pseudokarst in drylands. In: Higgins, C.G. and Coates, D.R. eds. Groundwater Geomorphology, 77-110, The Geological Society of America Special Paper 252.