

富士山吉田大沢における傾斜角 27° の 斜面の成因

The Cause of Forming the Slope at an Angle 27°

in Yoshida-Osawa at Mt. Fuji

加藤裕章*・池田 宏**

Hiroaki KATO and Hiroshi IKEDA

I はじめに

富士山吉田大沢で、一定区間続く傾斜角 27° の斜面がみられた。また、吉田大沢の斜面形はこの斜面を含む4つの斜面に区分することができる。すなわち、 31° 、 27° 、 $24\sim 20^{\circ}$ 、 16° 以下の斜面である。過去の研究から、 31° の斜面は安息角斜面であり、 $24\sim 20^{\circ}$ 、 16° 以下の斜面は、それぞれ飽和岩屑流、掃流状岩屑流によって形成されると考えられる(池田ほか, 1993)。しかし、 27° の斜面は、その記載すら少なく、成因も明らかにされていない。そこで本研究では傾斜角 27° の斜面の成因を明らかにすることを目的とし、現地調査と実験を行った。

現地では、斜面上にみられる地形や斜面の物質、上下の斜面との連続性などに留意して観察し、測量した。現地調査より仮説をたて、それを検証するために、現地の条件に類似した実験を行った。

本研究は、富士山吉田大沢の傾斜角 27° の斜面の成因を明らかにするものであるが、吉田大沢に限らず、富士山の他方向の斜面、また他の山地斜面でも傾斜角 27° の斜面がみられることから、傾斜角 27° の山地斜面の成因を解明することにもつながる。

II 富士山の地形・地質の概観

富士山は玄武岩質の溶岩やスコリアなどを交互に噴出して形成された成層火山である((第1図)(守屋, 1983)。数10万年前から小御岳火山、愛鷹火山が噴出し、そして、約1万年前から、現在の新富士火山の噴出が繰り返されて形成された若々しい火山である。富士火山の溶岩は流動性が高いため、山頂に近い急斜面では、一枚の溶岩の厚さは $0.5\sim 2\text{ m}$ と薄い。富士火山の噴出物の多くは、発砲して水蒸気の抜け穴が見られるスコリアである。

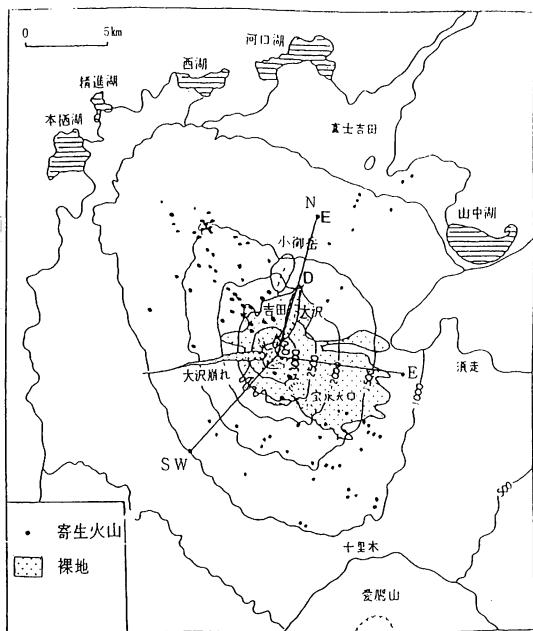
また、富士山は円錐火山であるが、第1図の等高線から、北北西から南南東方向にかけて緩傾斜した楕円形をしている。これは、この方向に寄生火山が多く分布しているためである(守屋, 1983)。

森林限界は標高2,400 m付近であるが、南東斜面のみは宝永山の噴出物によって覆われるため、森林限界は1,300 m付近まで下がる。森林限界より標高が高くなると、火山砂やスコリアで覆われた火山荒原が広がる。表土はほとんどなく、乾燥した痩せ地である。

雪崩は全斜面で発生するが、新雪雪崩は北北東斜

*筑波大学第一学群自然学類(現 岐阜県庁) **筑波大学地球科学系・水理実験センター

面の吉田口で多く、11月・12月に頂上近くから発生する。底雪崩は東斜面の御殿場口で多く、春先に標高1,200~2,200mあたりから発生する（富士自然動物園協会、1995）。



第1図 富士山の概観

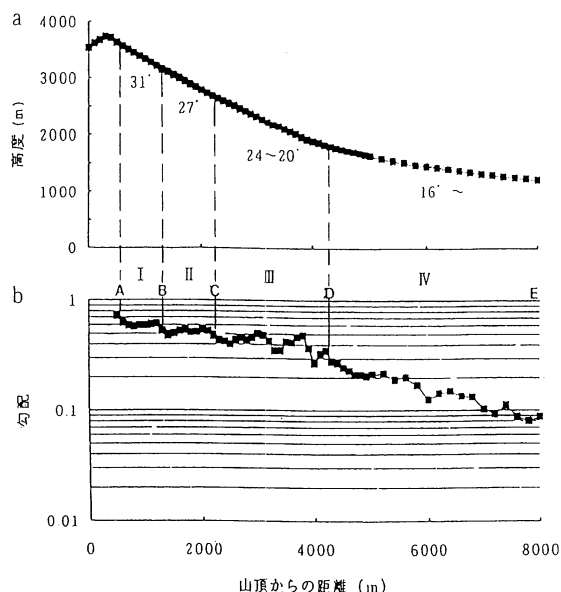
測線N, E, SWはこの測線に沿った勾配変化を第8図に示す。測線Nの地点D, Eは第2図のD, Eに一致する。（「諏訪彰<編>, 1992: 富士山 その自然のすべて」より引用し、作成）

Ⅲ 富士山吉田大沢の地形

1) 吉田大沢の斜面形

富士山の縦断形は一見すると連続的な指数曲線を示しているが、第2図の吉田大沢の勾配変化図に見られるように、4つの斜面に区分できる。すなわち山頂から31°、27°、24~20°、16°以下の斜面である。

第2図(a)は吉田大沢の底面で、山頂からの一定距離における標高を求めて、グラフ化したものである。第2図(b)は勾配変化を片対数グラフに表したものである。特筆すべきことは、傾斜角27°の一定区間がみられることである。



第2図 富士山吉田大沢の斜面形

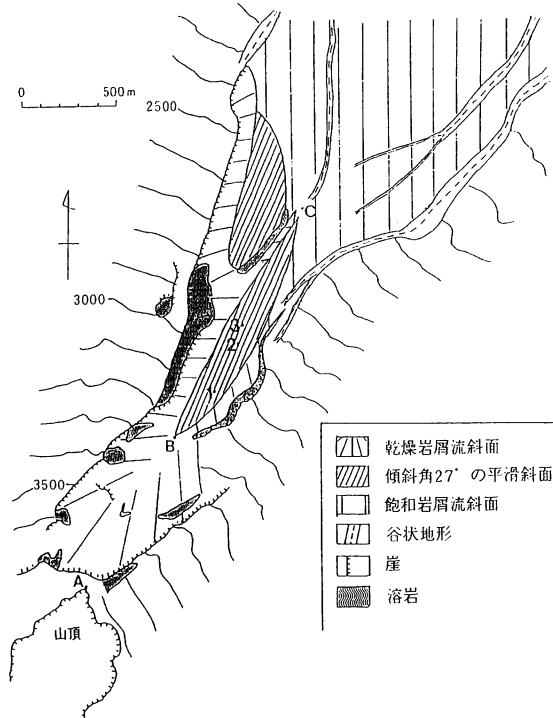
a: 縦断形図, b: 勾配変化図

地点A~Eは第1, 3図のA~Eに一致する。

2) 吉田大沢の地形と岩屑流動プロセス

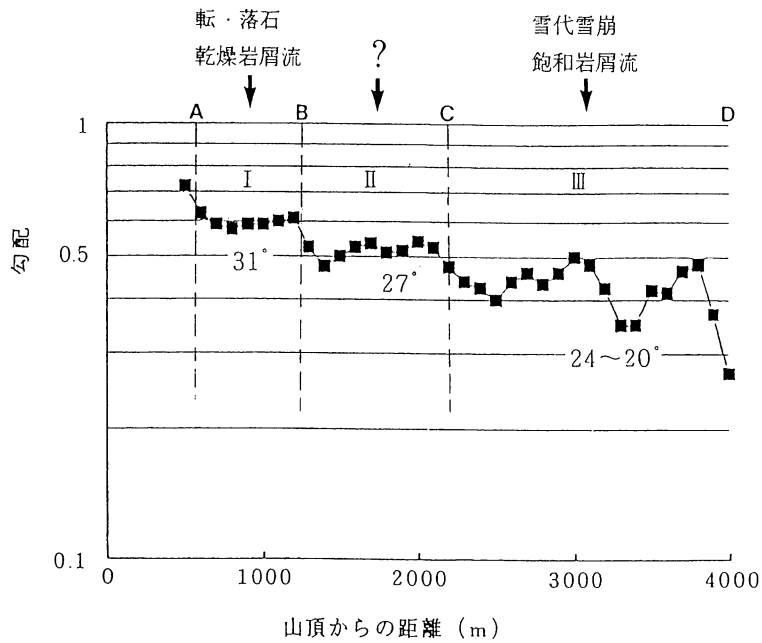
第3図は吉田大沢の地形学図である。吉田大沢の谷崖には溶岩が露出している。崖の高さは10数mである。31°の崖錐斜面には、崖から崩壊した多量の溶岩片が、スコリア層上に堆積している。溶岩片は平均的に長径約20cmである。この斜面は転・落石や乾燥岩屑流によって形成されると考えられる。この斜面は下方へ連続的に、傾斜角27°の平滑な斜面につながっている。傾斜角27°の斜面は斜面長1 km以上にわたって続いている。より下方の傾斜角24~20°の斜面になると、ガリーが発達し始める。ガリーの大きさは様々である。この斜面は地下水が地表にまで上昇することによって、ゆっくりとした流動形態をもつ飽和岩屑流、または、雪代雪崩が砂礫を取り込みながら流れ下るといったような岩屑の流動プロセスによって形成されると考えられる。さらに下方の傾斜角16°以下の斜面は、土石流や雪代雪崩などに伴う表面水流を伴った掃流状岩屑流によって形成されると考えられる。それでは、27°の斜面はどのように形成されるのだろうか。

なお吉田大沢では1980年8月に落石事故が起きた。



第3図 富士山吉田大沢の地形学図

地点1～3は溶岩片の長軸方向を測定した地点で、結果を第5図に示す。
(国土地理院発行の25,000分の1地形図と空中写真より作成)



第4図 富士山吉田大沢の勾配変化図

午後1時40分頃、山頂直下から直径1～2 m、50～60個の落石が吉田大沢に沿って転落し、下山中の登山者を直撃して、12名の死者と31名の負傷者を出した。なお、この時の落石は六合目(2,400 m)まで達した。山頂久須志岳の崖の調査によると、質量10トン以上の落石も数多くみられる(濱野, 1992)。

また、吉田大沢では雪代雪崩(スラッシュ雪崩)が発生する。まれに春先に底雪崩が起きるが、多くは11・12月に新雪雪崩が起きる(富士自然動物園協会, 1995)。現地での聞き取り調査によると、底雪崩は発生地点から地表面を削るが、新雪雪崩は山頂近くから表層のみがなだれるように発生し、しだいに地表の砂礫を取り込みながら流れ下るようである。

IV 吉田大沢における傾斜角27°の斜面の特徴

写真1は31°の斜面と27°の斜面の境から見下ろしたものである。27°の斜面は横断的にも縦断的にも極めて平滑で、直線的な斜面であり、斜面長1 km以上にわたって続いている。スコリア層の上には溶岩片が点在している。また、オンタデやフジハタザオなどの草本植物はまばらにあるが、森林はなく火山荒原である。写真2は東斜面の27°の斜面から24°以下の斜面を見下ろしているものであるが、27°の斜面下方に向かうにつれて、スコリア層上の溶岩片の数が多くなり、サイズも大きくなる。24°以下の斜面になると、ガリーなど地形に凹凸がみられるようになる。これは水による堆積や侵食が繰り返されてできたものである。

27°の斜面の溶岩片の特徴として、長径は平均20 cm程度、斜面下方になると、最大2 mのものもある。表面は比較的平らである。また、長軸方向は斜面の最大傾斜方向に比較的平行にそろっている。そろっている程度を求めるために、3地点で、10 m四方のスコリア層上に点在している溶岩片の長軸方向を調べた。比較的大きな溶岩片を約30個選び、クリノメーターを用いて、溶岩片の長軸方向と斜面の最大傾斜方向を測定した。第5図はS1(溶岩片長軸方向の平均方向への集中度)と $|\Delta\theta H|$ (溶岩片長軸方向と斜面の最大傾斜方向とのずれの角度)を表している。S1値は1に近づくほど溶岩片長軸方向が平

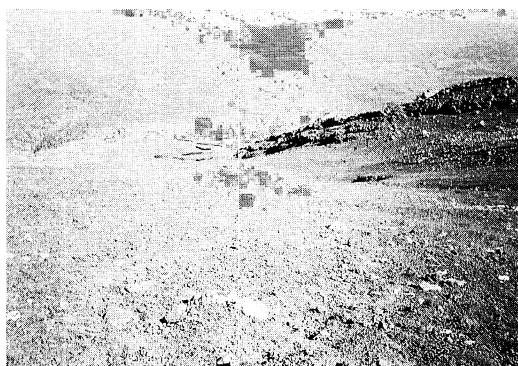


写真1 スコリアからなる斜面上に溶岩片が点在している吉田大沢内の傾斜角27°の斜面

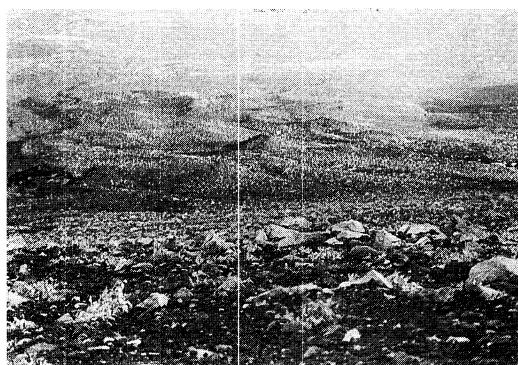
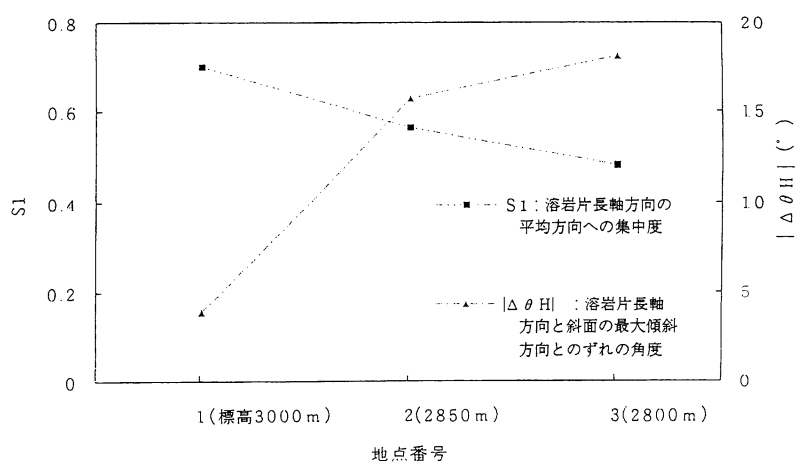


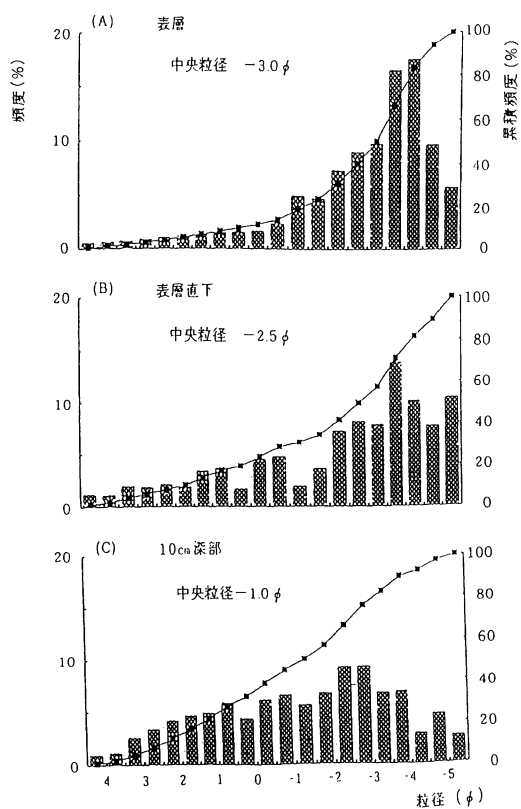
写真2 傾斜角27°の斜面下半部に見られる溶岩片の集積帯とそれ以下の傾斜角24～20°の起伏に富む斜面(富士山東斜面)

均方向に集中しているということを表す。斜面下方になるほど、S1値が小さくなり、 $|\Delta\theta H|$ 値が大きくなることから、溶岩片長軸方向は集中度が低くなり、斜面の最大傾斜方向とのずれも大きくなる傾向がある。しかしながら、 $|\Delta\theta H|$ 値は最大でも20°以下におさまっていることから、溶岩片の長軸方向は斜面傾斜方向に平行にそろっているということがいえる。

溶岩片はスコリア層の中には含まれず、スコリア層上にもみ点状に点在している。表層と表層直下、10 cm深部でサンプリングし、ふるいを用いて粒度分析した結果が第6図である。シルト・粘土($\leq 4\phi$)はほとんど含まれていない。砂($4\sim 1\phi$)は表層直下や10 cm深部には多少含まれているが、表層にはあ



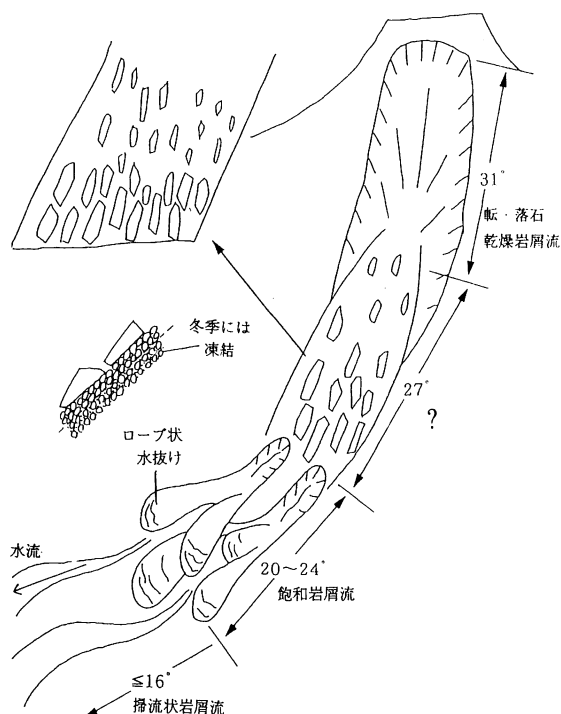
第5図 吉田大沢における傾斜角 27° の斜面上の溶岩片の長軸方向



第6図 吉田大沢における傾斜角 27° の斜面を構成するスコリア層の粒度組成
A: 表層, B: 表層直下, C: 10cm深部 (ふるいによって分析)

まり含まれていない。従って、表層では水分を保持できないと考えられる。表層スコリアの平均粒径は $-3 \sim -4 \phi$ (約1cm)である。12月に、雪で覆われていないところでも非常に滑りやすかった。これは地中の水は凍っているが、表面は水分を保持できず、水抜けが生じて完全に固結していないために、表層のスコリアは凍結層の上に浮いたような状態になっているからである。

傾斜角 27° の斜面の特徴をまとめると(第7図)



第7図 吉田大沢における傾斜角 27° の斜面の特徴

- 1) 崖からの転・落石や乾燥岩屑流によって生じる 31° の斜面から、連続的につながっている。
- 2) 水が関与していると考えられる 24° 以下の斜面は、 27° の斜面とは不連続である。
- 3) 斜面長1km以上の極めて平滑で、直線的な岩屑斜面である。
- 4) スコリア層上に溶岩片が点在し、斜面下方ほど溶岩片の数も多くなり、サイズも大きくなる。スコリア層の中には溶岩片は含まれていない。

5) 溶岩片は長径が平均20cm程度、最大2m、表面は比較的平らで、長軸方向は斜面の最大傾斜方向にそろっている。

6) 冬季、地中は氷が張り、固結するが、表層は完全に固結しない。

以上の特徴から、 27° の斜面上におけるスコリア粒子の移動には、水は関与していそうにないと考えられる。そこで、 27° の斜面では、 31° の斜面から転・落石や乾燥岩屑流によって移動してきた溶岩片がスコリア斜面上を滑動することによって、スコリア粒子を動かしているのではないか。いいかえれば、 27° の傾斜角はスコリア斜面上における溶岩片の滑動限界傾斜角ではないかと推測した。

V 滑動限界傾斜角に関する実験

1) 目的と方法

27° の傾斜角はスコリア斜面上における溶岩片の滑動限界傾斜角ではないか、という仮説を検証するために、アクリル板製の樋に物体(以下から滑動体とする)を置いて、徐々に樋の勾配を上げたり、下げたりしながら、滑動体が滑り出す限界の角度を求

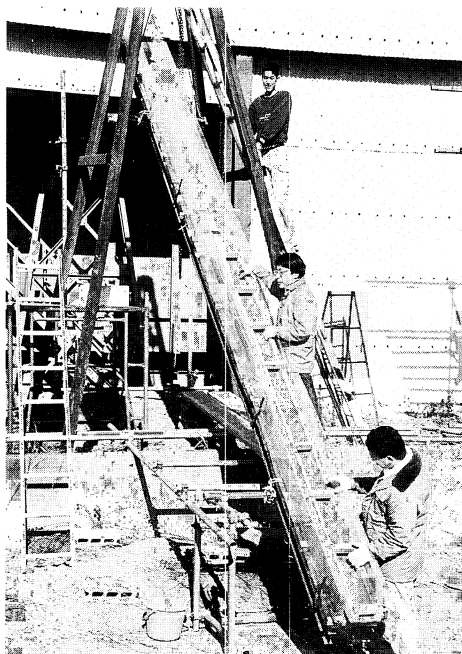


写真3 急勾配の樋を用いた滑動実験の様子

めた。樋の底面の状態と滑動体とを変化させて、それぞれの場合の滑動限界傾斜角を求めた。

2) 実験装置 (写真3)

樋は幅20cm、深さ29cm、長さ8mの透明アクリル板製のものをを用いた。樋の底面のアクリル板は表面が汚れていて、多少粗度がある。滑動体は表1に示してある。碎石張り付け合板は、合板に径5～13mmの碎石をアクリル・シーラントで張り付けたものである。モルタル板は合板の上にコンクリートで固めたもの、礫埋め込みモルタル板は、合板の上に径5～10mmの礫を埋め込んだコンクリートで固めたものである。樋の底面に碎石(径5～13mm)を敷く場合は1～2粒子敷き詰めた。また、礫を敷く場合には一定の厚さになるよう、スクレーパーで厚さ5cm程度敷き詰めた。なお、礫の安息角は約32°、碎石の安息角は約34°である。

3) 結果 (第1表)

はじめに、滑動体の荷重による影響がないことを、合板または碎石張り付け合板の上に何ものせない場合と軽量ブロック、重量ブロックをのせた場合とで、滑動限界傾斜角を求めて、確かめた。

結果をまとめると、滑動限界傾斜角は、

- 1) 底面は平らで、滑動体の底面も平らな場合 22°
- 2) 底面は平らで、滑動体の底面には凹凸がある場合 26.5°
- 3) 底面は礫または碎石を敷いた状態で、滑動体の底面は平らな場合 26～28°
- 4) 底面は礫または碎石を敷いた状態で、滑動体の底面には凹凸がある場合 30.5°

現地に似た条件は、底面に礫または碎石を敷き、滑動体の底面は平らな場合である。この場合の底面は現地でのスコリア斜面に、滑動体は溶岩片に想定される。この条件での滑動限界傾斜角は26～28°であった。底面と滑動体の底面のどちらも凹凸がある場合は、礫と礫がかみ合って、非常に滑りにくくなるが、どちらか一方が平らな場合は比較的滑りやすい。滑動体が滑動する際に、底面の礫の表層2～3粒子層のみが滑動体に引きずられるように変位し、表層礫は下方へ運ばれた。表層2～3粒子分の厚さの礫が移動するために、滑動体が滑動しやすくなる

ともいえる。この結果から、吉田大沢の傾斜角27°の斜面はスコリア層上における溶岩片の滑動限界傾斜角であるといえる。

第1表 種々の滑動体の滑動限界傾斜角(θ)

底面*	滑動体*	θ°
アクリル板	1号	22
	1号+50kgの荷重	22.5
	1号+82kgの荷重	22
	2号	26.5
	2号+50kgの荷重	26.5
碎石(1～2粒子)	2号+82kgの荷重	26.5
	軽量ブロック	26
	3号	27
	軽量ブロック	30
	3号	28
軽量ブロック 礫(5cm厚)	4号	30.5
	5号	27

*樋の底面の材質

アクリル板：透明アクリル製の樋の底面(ややざらついている)

軽量ブロック：ブロック塀用のブロック(幅19cm、長さ39cm)の平滑な面を上にして樋の底面に敷き詰めた

碎石：径5～13mmのホルンフェルスの角礫
礫：径5～10mmの亜円礫～亜角礫

*滑動体

1号：合板(幅19cm×長さ360cm、重量10.2kg)

2号：碎石張り付け合板(19cm×360cm、14.9kg)

3号：モルタル板(19cm×360cm、35.4kg)

4号：礫埋め込みモルタル板(19cm×360cm、44.4kg)

5号：鋼材(10cm×300cm、10.9kg)

軽量ブロック：底面に敷いたものと同じ

VI 考察

溶岩片長軸方向が斜面の最大傾斜方向に平行にそろっていることから、ソリフラクションが働いているのではないかと考えられるが、斜面の表層にはシルト・粘土はほとんど含まれず、砂もあまり含まれていないため、水分を保持できないので、ソリフラクションはそれほど働かないと考えられる。また、働いているとしても、27°の斜面の成因としてはそれほど大きな営力ではないと考えられる。

吉田大沢の傾斜角27°の斜面では、傾斜角31°からの転・落石や乾燥岩屑流によって移動してきた溶岩片がスコリア斜面上を滑動し、斜面下方まで達す

るものもあれば、途中で停止するものもある。斜面上の溶岩片は、その前面のスコリアが風などによって飛ばされると、安定感をなくし、動きやすくなる。そして、いったん動き出した溶岩片は再びスコリア斜面上に滑動し、斜面下方まで達すると、スコリア層上に堆積している多量の溶岩片に衝突し、止まりやすくなる。斜面下方になるほど多量の溶岩片が堆積し、勾配も多少緩くなるため、溶岩片は滑動しにくく、余計に多量の溶岩片が堆積しやすくなると考えられる。

また、底面に礫を厚く敷いた場合の実験結果から、溶岩片がスコリア層上を滑動する際には、それに引きずられるように底面のスコリアも表層2～3粒子の厚さの粒子のみが移動すると考えられる。冬期には地中の水は凍っているが、表層は完全に固結していないため、表層のスコリアは余計に移動しやすい。溶岩片がスコリア層の中には含まれず、スコリア層上のみ点状に存在しているのは、移動するスコリア層は厚みをもたず、表層のスコリアのみが移動するためである。また、雪代雪崩が起きても、傾斜角27°の斜面ではスコリア層を深く削ることはないであろう。

東斜面の傾斜角27°の斜面で、幅約5m、深さ約50cmの縦筋状の溝が幅約10mおきごとにみられた(写真4)。この溝は縦断的には直線的で、横断的にはU字型をしている。これはこの斜面上を溶岩片が

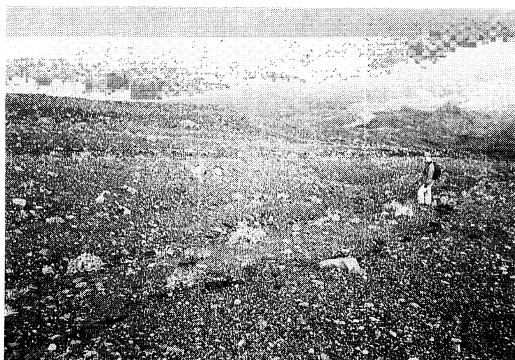
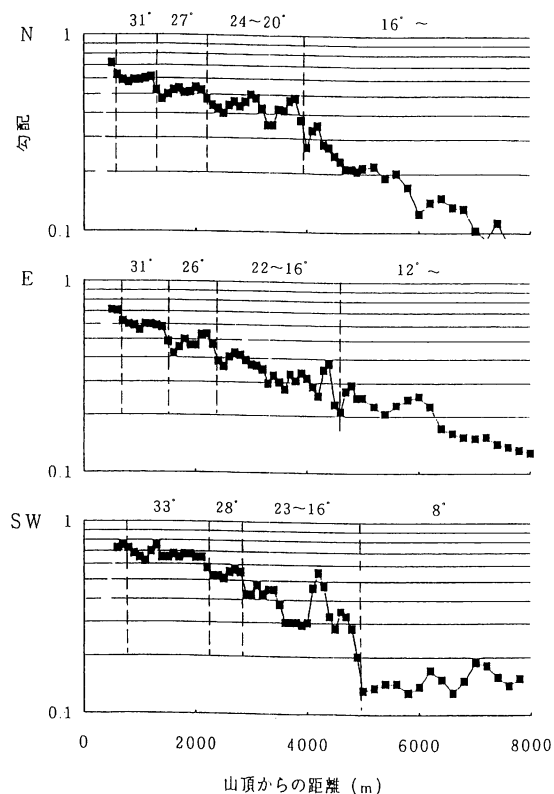


写真4 傾斜角27°の斜面に発達している縦筋状の溝 (富士山東斜面)

滑動して形成されたとは考えにくい。むしろ、雪代雪崩によって生じたのではないかと考えられる。関口(1994)は筋状地形のみられる斜面では、全層雪崩が頻繁に発生し、その分布は豪雪地帯の分布と概ね一致すると説明している。しかし、滑動実験の結果から、荷重による影響はなく、底面の物質より明らかに大きな物体が存在すれば、同様に27°の斜面で滑動すると考えられる。従って、氷雪層も27°の斜面上を滑動し、この斜面を形成している原因の一つであろう。

第8図は富士山吉田大沢、東斜面、南西斜面の勾配変化図である。どの斜面も、比較的つながっている谷底の勾配をとった。また、どの斜面も寄生火山の影響が少ない。この図から富士山の斜面形は4つの斜面に区分できる。すなわち約32°、約27°、約



第8図 富士山の勾配分布図

N: 吉田大沢の勾配分布図, E: 東斜面の勾配分布図, SW: 南西斜面の勾配分布図

20°、10数°～である。吉田大沢に限らず、どの斜面にも27°前後の勾配一定区間がみられる。従って、吉田大沢に限らず、富士山の傾斜角27°の斜面はスコリア層上を溶岩片、または氷雪層が滑動することによって形成されるのであろう。

富士山の斜面における砂礫の流動プロセスは次のように考えられる。約32°の斜面（区間Ⅰ）では転・落石や乾燥岩屑流が生じ、移動してきた溶岩片は約27°の斜面（区間Ⅱ）ではスコリア層上を滑動し、斜面下方で停止する。約20°の斜面（区間Ⅲ）になると、スコリア粒子間の間隙が水で飽和された飽和岩屑流、または雪代雪崩が砂礫を取り込みながら流れ下る。10数°～の斜面（区間Ⅳ）では完全に表面流を伴った掃流状岩屑流が生じる。

Melton (1965) はアリゾナ州の岩盤斜面では傾斜角28°の斜面を記載している。この斜面では岩盤の上に大きな岩塊がのっている。Meltonは傾斜角28°は平板上における岩片の動摩擦角と一致すると説明している。しかし、実際、岩盤は全くむき出しになっているわけではなく、多少細かい砂礫が岩盤の上に存在していると考えられる。この砂礫はまわりの崖から風化したものや、岩片が移動する際の岩盤と摩擦による破片が考えられる。従って、この斜面でも、また他の斜面でも、底面の礫に比べ明らかに大きな物体が斜面上にのっている斜面では、斜面上の物体が滑動することによって27°程度の傾斜は斜面が形成されると考えられる。

Ⅶ おわりに

以上のように、本研究では現地調査とそれに基づいた実験によって、富士山吉田大沢における傾斜角27°の斜面の成因を解明した。その結果は以下のようである。傾斜角27°の斜面ではスコリア層上に溶岩片が点在している。実験では現地に似た条件の樋の底面に礫や碎石を敷いた状態で、その上に底面が平らな滑動体を置いた場合、滑動限界傾斜角は26～28°となり、現地での斜面傾斜角と一致する。従って、吉田大沢の傾斜角27°の斜面はスコリア層上における溶岩片の滑動限界傾斜角であり、溶岩片がスコリア層上を滑動することによって形成されると結

論される。また、スコリア層上を活動する物体は溶岩片に限らず、氷雪層も考えられる。そして、吉田大沢に限らず、富士山全域の斜面においても、また他の山地斜面においても約27°の斜面がみられることから、乾燥した裸地で、底面の物質に比べ明らかに大きな物体が斜面上にのっている2粒径混合の斜面では、斜面上の物体は滑動しやすく、傾斜角27°の斜面が形成されるのであろう。

しかし、吉田大沢では突風によって溶岩片やスコリアが飛ばされたり、雪代雪崩や凍結・融解作用など、様々な現象が考えられるので、一概にはいえないかもしれない。突風はあらゆる方向から発生するため、斜面上の物質に与える力を想定するのは難しい。雪代雪崩はその滑り面がどのような状態なのか明らかでない。これは冬季の現地調査や雪崩の再現実験など、困難ではあるが、これから期待したい。

謝 辞

本稿は筆者のひとりである加藤の卒業研究である。この論文をまとめるにあたり、筑波大学の地形分野の先生方から指導・助言を受けました。また、筑波大学水理実験センターの山本憲志郎さんには、格別の御指導をいただきました。

筑波大学大学院地球科学研究家の中野彰夫さん、研究生の原 暁生さん（現在、㈱アイ・エヌ・エー）には現地調査や実験、また論文作成の際にいつもたいへん参考になるアドバイスをいただきました。共に勉強した松本至巨さん（現在、筑波大学大学院地球科学研究科）にも現地調査や実験を快く手伝っていただきました。そして、筑波大学水理実験センターの飯島英夫さんには実験の際にいつもお世話になりました。

また、専修大学付属高等学校教諭の小岩清水さんには、寒冷地形談話会やその後も雪代雪崩を中心にご指導いただきました。富士山に200回以上登頂された大貫金吾さんには、冬季の富士山に連れていっていただき、大変貴重な体験をしました。これらの方々に深く感謝致します。

引用文献

- 池田 宏・伊勢屋ふじこ・小玉芳敬（1993）：大井川上流の沖積錐における岩屑の流動・堆積．筑波大学農林技術センター演習林報告，9，149-173.
- 関口辰夫（1994）：全層雪崩発生斜面における筋状地形の特徴．雪氷，**56**，145-157.
- 濱野一彦（1992）：『富士山ーその自然のすべて』，同文書院，355p.
- 富士自然動物園協会（1995）：「富士登山ハンドブック」．自由国民社，294p.
- 守屋以智雄（1983）：「日本の火山地形」．東京大学出版会，135p.
- Melton, M. A. (1965) : Debris-covered hillslopes of the southern Arizona desert—consideration of their stability and sediment contribution. *Journal of Geology*, **73**, 715-729.