

# 富士山の 永久凍土が消える！ —土石流発生への影響—

池谷 浩

いげやひろし

(財)砂防・地すべり技術センター 理事長

## はじめに

2007年11月6日付読売新聞に「変わる富士山①『温暖化——解ける永久凍土』と題した記事が掲載された。内容は富士山に存在する永久凍土が徐々に解けているということ、そして永久凍土の融解が侵食を加速して山の姿を変えてしまうかも知れない、というものである。特に永久凍土の融解については国立極地研究所の資料からということで次のように記述されている。

「1976年の永久凍土の下限は南側斜面で標高3200m前後だったが2001年までの25年間で約300m上昇した」

これが事実とすると標高3500mより標高が低い1976年以前の永久凍土地域は、2001年以後には季節凍土地域に変化したことになり、結果として土砂の生産・流出が変化していることが考えられる。そこで大沢川を例として富士山における永久凍土の融解による土砂災害への影響について調べてみた。

## 1. 気象変化の実態

気象の変動、とりわけ地球温暖化の影響を検討する場合、一般的に平均気温の上昇と気温変動幅の増大、降雨量の変化の影響を確認することが必要である。そこで、富士山御中道(標高2350m)での気象観測データから前述の事実があるかどうかを調べた。

### 1-1 気温の時系列的変化

#### ①地上気温の変化

地上気温として御中道午前9時の年間平均気温の変化を調べたのが図-1である。

欠測の多い山岳地域でのデータの性格上データ数が充分とは言えないが1970年～2006年の36年間に大きな変化は見られない。すなわち年間を通しての平均気温の変化は、少なくとも御中道の午前9時の定時観測からは明らかでない。そこで1970年から2007年までの各年、各月の最高・最低気温の変化を調べてみた(図-2)。最高気温では6月、7月、8月及び10月がわずかながら上昇傾向にあり、最低気温では1月が低下傾向、7月は上昇傾向にあることがわかった。

そこで冬季の代表としての1月のデータを見ると、最高気温はあまり変化が見られないが最低気温に変化があり、近年は5℃近く下がっていることがわかった。す

図-1 御中道午前9時の年間平均気温

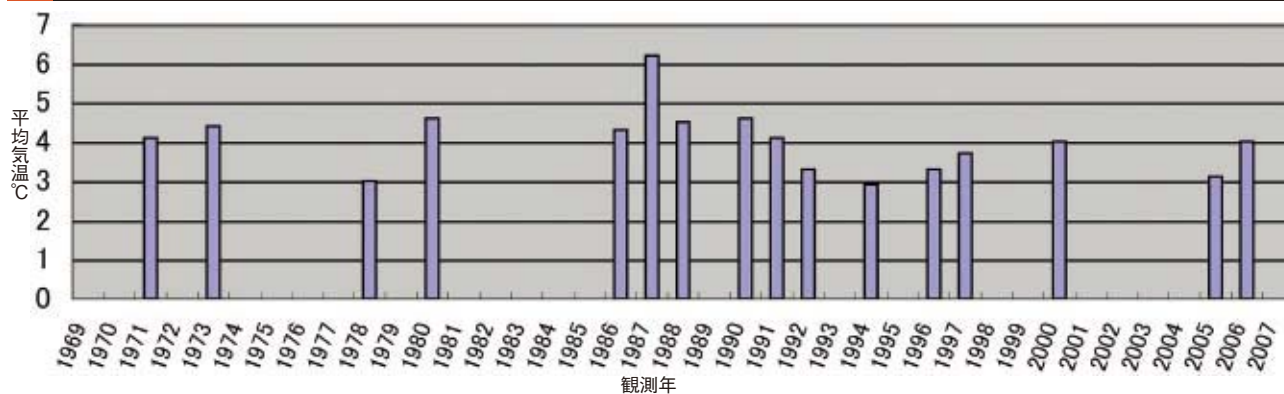
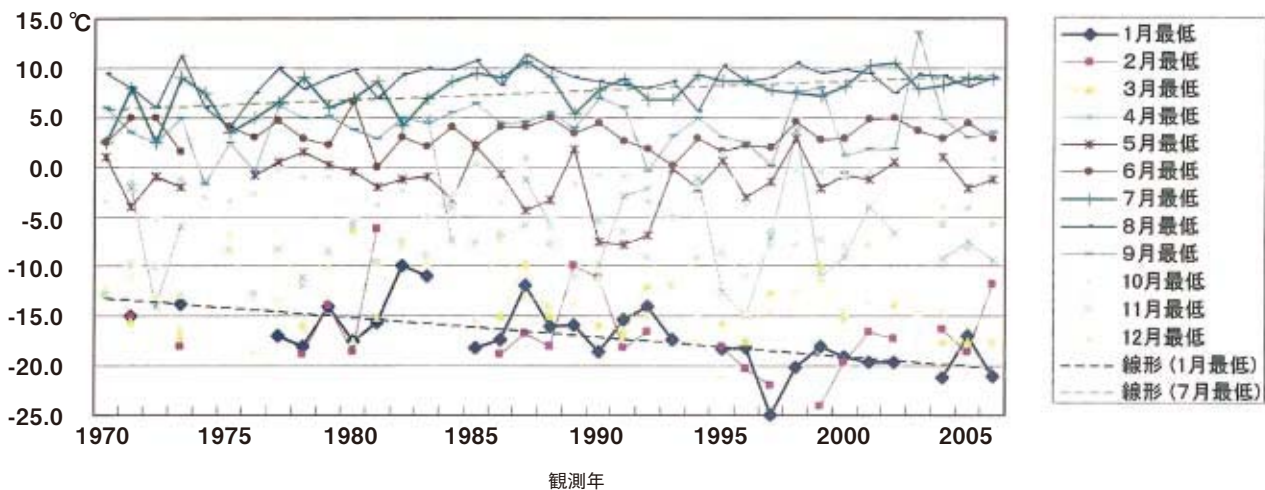
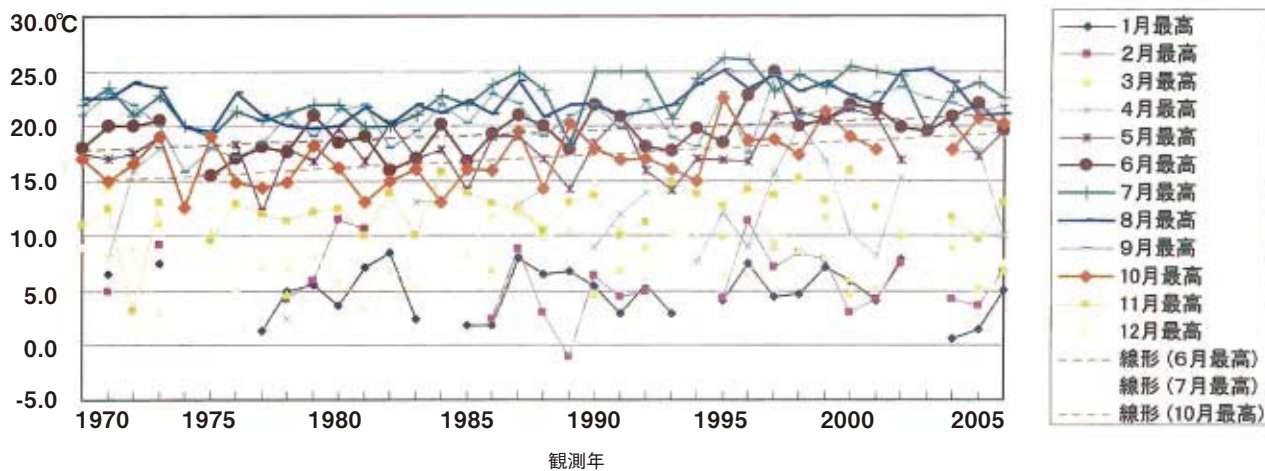


図-2 各年、各月における最高、最低気温の変化

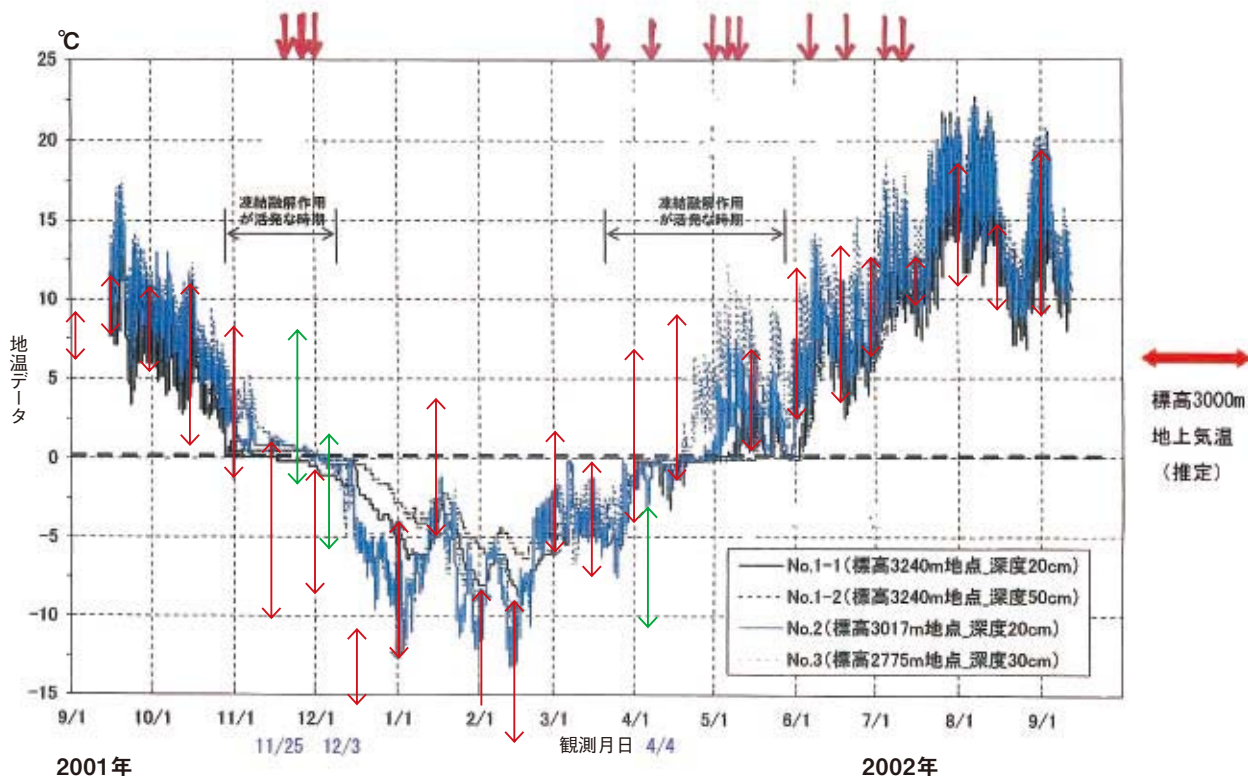


なわち、最高気温と最低気温の両者の間の差に変化が見られるのである。最高気温と最低気温の差は1971年～84年の平均が20.8℃、85年～95年が20.9℃であるのに対し96年～2006年の平均値は24.8℃となっている。

ただし、1971年～84年の間は欠測が多い。その影響があるかどうかは不明である。

また、夏季の代表としての8月のデータからは最高気温が微増しており、最高と最低の差分は若干だが拡大し

図-3 地中温度と土石流発生時期



ている。

次に土砂の生産に関係すると考えられる凍結・融解の時期として11月を選んでデータを調べてみた。その結果、最高気温はあまり変化がないが最低気温が上昇傾向にあることがわかった。そして最高気温と最低気温の差が年々小さくなっている傾向が伺えた。

これら時期を限定した気温変化の実態から次のことが言えるようである。まず最高と最低気温の経年変化からは明確な結論を得ることはできなかったが、一つだけ言えるとすると冬季に寒さが増し夏季に暑さが増すという、気温変動の幅が大きくなってきているということである。また、暑さが秋季まで影響してきているらしいことも言えそうである。

②地中温度の変化

国立極地研究所による富士山の永久凍土は地中50cm～数十mに存在していると考えられている。そこでその地中の温度の変化について調べてみた。

2001年秋から2002年秋までの1年間の大沢崩れ両岸の標高2800～3200mの地点で地中温度の測定が実施されている★<sup>1</sup>。

それによると各地点での温度の変化は図-3のように

示された。そこでいくつかの地点の内標高3000mの地点の地中温度と地上気温を比較するべく、御中道の地上気温から想定した標高3000mの地上気温の毎月1日、15日の最高値と最低値を示したのが図-3の赤線(⇄)である。11月や12月でも気温の高い日があり、また4月には気温の低い日もあるので、その状況を緑線(⇄)で補足している。

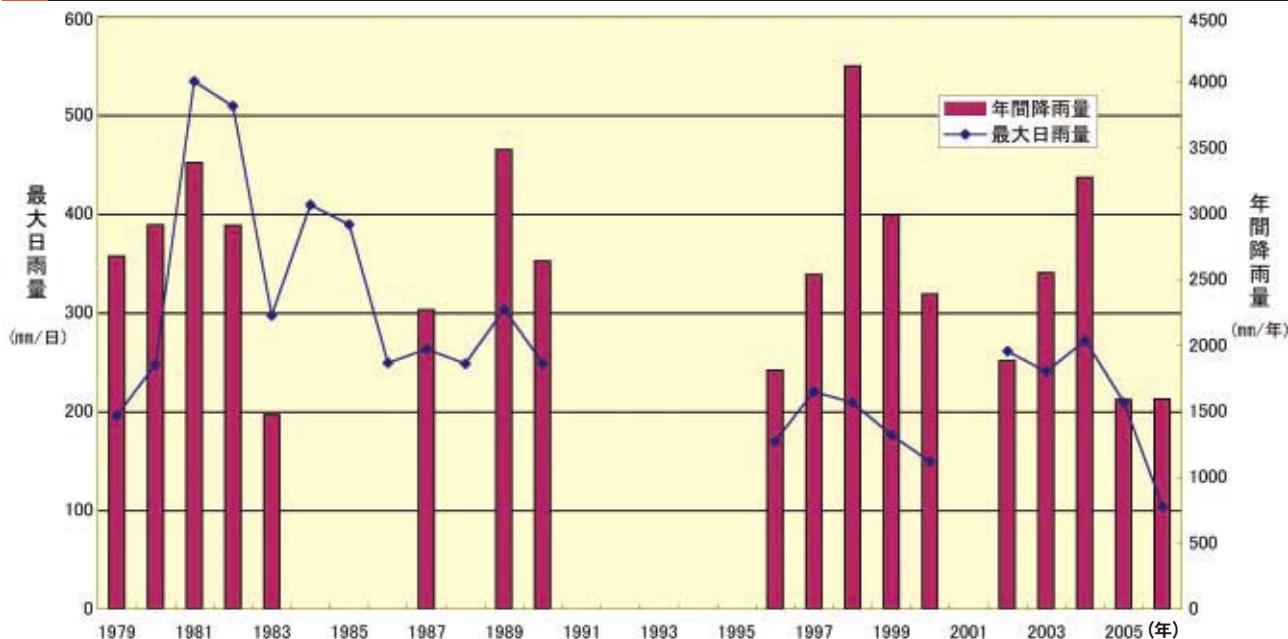
図-3から地中温度が0℃を境に上下する期間、すなわち凍結と融解が起こりうる期間として10月末～12月上旬と3月末～5月中旬頃が想定される。特にこの間の地中温度は当然の事ながら地上気温とほぼ連動していることも図-3から明らかである。

1-2 降雨量の時系列的变化

温暖化の影響が降雨量にどのように表れているのかも興味のあるところである。そこで御中道観測所での降雨量データを調べた。1979年からの年間降雨量(欠測の多い年は除く)の変化を見るかぎり全体としては降雨量の年ごとの変動が大きくなっていると言えそうである図-4。また最大日雨量はここ10年ほど減少している傾向が見られる。ただし、観測値には欠測が多く、ま



図-4 富士山の最大日雨量と年間雨量(御中道)



た強風の影響や観測年も短いことを考えると決定的な事実は得られていない。

## 2. 富士山大沢川における土砂生産メカニズム

### 2-1 谷壁崩壊のメカニズム

大沢川における土砂生産源は大沢川の谷壁をなす側方斜面の崩壊が主となっている。

富士山の地質構造は固い溶岩の層と比較的柔らかい火山碎屑物の層の互層構造となっている。まず、風雨や凍結・融解の繰り返しにより火山碎屑物の層が流出する。そして、その後自重で溶岩層が崩れ落ちる★2。このようにして大沢川の水源部の谷は拡大していつている。実際の谷壁の溶岩層と火山碎屑物層の状況を写真-1に示した。

写真-1に示した。

### 2-2 溪床の変化に伴う土砂生産メカニズム

土砂の生産源としてもう一つ考えられるのが大沢川の溪床の一部を構成する滝の後退である。滝の後退のメカニズムとしては谷壁部と同じように風雨によって火山碎屑物が流出し、その後溶岩層が崩壊するものである。

一方、土石流の流下時に火山碎屑物が吸い出されたり、又は震動により火山碎屑物が流出して空洞ができ、溶



写真-1 現地での谷壁崩壊状況★2

岩層の崩壊に結びついていることも考えられる。また滝の後退はその部分の谷の側壁の不安定化をもたらし、新たな谷壁の崩壊をもたらすことになる。

## 3. 大沢川における土砂移動メカニズム(土石流の発生)

### 3-1 土砂移動のメカニズム

ここまで述べてきたように土砂生産(崩壊)→溪谷部での堆積→土石流という土砂移動メカニズムをとりま

図-5 土砂移動のメカニズム

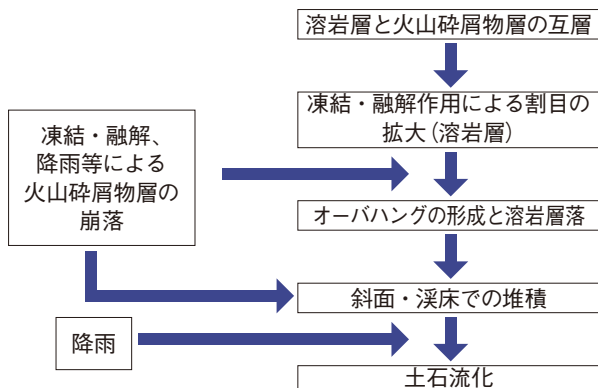


写真-2 標高3500mの地表面クラック★1

とめると図-5のようになる。

特に土砂生産の要因として源頭部における凍結・融解の繰り返し作用が大きな役割を果たしていて、富士山の永久凍土の消滅=季節凍土の発生は、今後土砂移動メカニズムへ影響を与えるものと考えられる(写真-2参照)。

ただし、源頭部での谷壁の崩壊が無限に続くものではないので、ある時期(例えば、溪床からの安息角を考慮して一定の谷幅となった時点)までの影響と考えてよいだろう。

### 3-2 土石流の発生・発達プロセス

過去に大沢川に発生した土石流を表-1に示した。この発生時期(月日)を地温・地上気温の年間変化の図(図-3)に記入して比較してみると、おおむね凍結・融解が活発な時期又はその直後で発生していることがわかる。

これは凍結・融解で土砂が生産され谷底に土砂の堆積が生じ、そこに多量の表面流が加わって土石流として流動したこと(図-5参照)の証明でもある。図-3をもとに凍結・融解を考慮した土砂の生産と流動の月別の状況は表-2のようにまとめられる。

では大沢川では谷底部への土砂の堆積ほどのくらいの量となっているのであろうか。すでに述べたように大沢川では谷の兩岸の斜面が凍結・融解により崩壊し、谷底部へ土砂は一時的に堆積する。2001年からその谷底部での堆積土砂量を調べた国土交通省富士砂防事務所のデータによると図-6のように示される。図からもわかるように谷底部での堆積土砂量がある限界値を超え、そこに豪雨が加わると堆積土砂が流動化する。

限界堆積土砂量と限界降雨量との関係は表-3のようにまとめられる。表-3でいう大雨とは大沢川水源部において表面流が充分発生する降雨のことであり、堆積物の量の大小は土石流として流下した土砂量が一つの目安となるだろう。

これらの堆積土砂量はすべてが凍結・融解による源頭部からの谷壁の崩壊土砂ではなく、降雨による崩壊土砂や中流部等の溪岸や溪床の侵食及び滝の後退に伴う土砂が土石流流動の過程で加わり土石流を発達させていることも考えられる。これらのことから、谷の出口附近の溪床勾配が約1/7と土石流の流下区間に当たる大沢川では、流域の上流部での土石流の土砂濃度によっては流下区間において流送土砂の平衡が保たれる事もありえるということが言える。

## 4. 気候変動と土砂の生産・流動の実態

### 4-1 永久凍土層の解消と崩壊

大沢川の水源を形成する通称大沢崩れにおいて、永久凍土が形成されていたとされる時期(1970年頃まで)とそれ以後における大沢崩れの形状の変化を調べてみると、空中写真による地形変化から1971(昭和46)年から1988(平成10)年までの谷幅の変化(拡大幅)は、28年間で標高3200~3500mの左岸において20~30m、右

表-1 大沢川における土石流データ (国土交通省富士砂防事務所のデータに筆者が加筆)

	発生年月日		総雨量 (mm)	日雨量 (mm)	最大時間雨量 (mm)	最大流量 (m <sup>3</sup> /s)	最大流速 (m/s)	最高水位 (m)	扇状地堆積土砂量 (m <sup>3</sup> )	流動中の土石流濃度 (Cd)
1	1972	昭和47年5月1日	168	144	26				130,000	0.35
2	1972	昭和47年5月5日	139	129	22				200,000	0.50
3	1972	昭和47年6月8日	213	117	31				120,000	0.39
4	1972	昭和47年7月6日	293	188	81				30,000	0.02
5	1972	昭和47年7月12日	551	361	100				20,000	0.07
6	1979	昭和54年4月8日	150	150	45				45,000	0.17
7	1979	昭和54年5月8日	140	111	26				26,000	0.11
8	1991	平成3年11月28日	226	166	39	283.47	11.5	2.6	182,000	0.36
9	1997	平成9年6月20日	321	221	63	198.62	9.6	2.6	195,000	0.30
10	1997	平成9年11月26日	298	283	33	226.75	10.0	3.0	199,000	0.32
11	2000	平成12年11月21日	260	149	37	1423.90	15.9	5.4	280,000	0.43
12	2004	平成16年12月5日	162	106	31	182.70	15.0	1.4	113,000	0.33

\*雨量データは大滝観測所の値を用いている。

表-2 凍結・融解を考慮した土砂の生産と流動

1月～3月末	・凍結が卓越、凍結融解は少なく、土砂生産も少ない ・降雨は雪となるため土石流の発生は少ない。
4月～5月	・凍結融解の頻度高い。特に4月中旬以降は大沢崩れ全域で土砂生産起こりやすい。 ・地中には凍土層が存在。そのため降雨は地下に浸透しにくく表面流となりやすい。 ・谷底の堆積物がある量になると土石流化。
7月～10月	・季節凍土層はなくなり降雨は浸透。 ・土石流発生のためには相当量の降雨が必要となる。
11月～12月初旬	・4-5月と同じ
12月初旬～12月末	・1-3月末と同じ

表-3 限界降雨量と限界堆積土砂量との関係

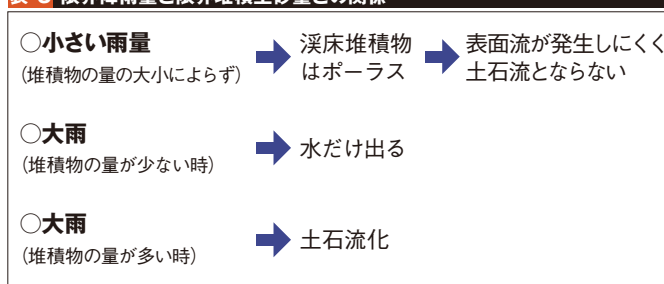
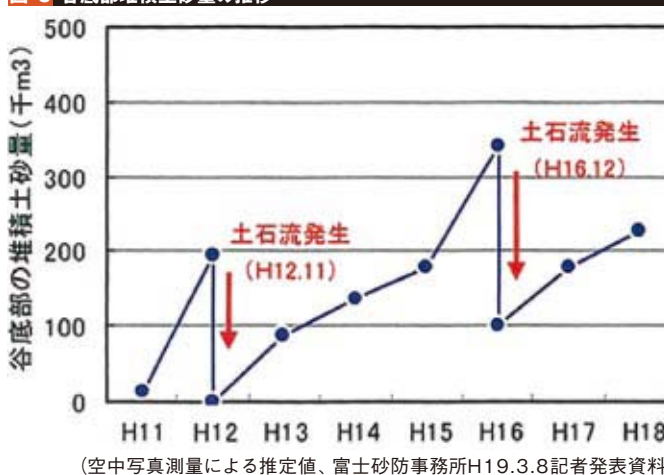


表-4 昭和に入ってから土石流発生間隔

1941 (昭和16)年	8年
1949 (昭和24)年	23年
1972 (昭和47)年	7年
1979 (昭和54)年	12年
1991 (平成 3)年	6年
1997 (平成 9)年	3年
2000 (平成12)年	4年
2004 (平成16)年	

図-6 谷底部堆積土砂量の推移



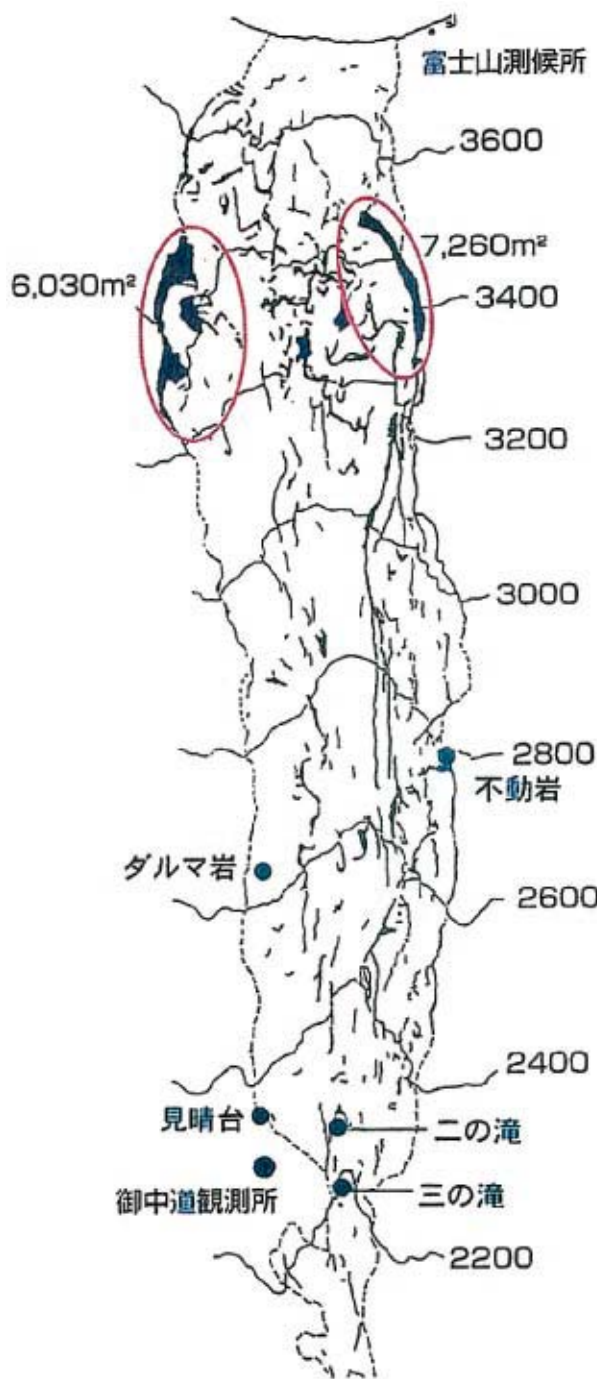
岸では10～20mとなっている。谷が側方に拡大するということは、それだけ谷の側面の土砂が崩壊したことを意味するものである。

また、この1971年以後28年間の崩壊の拡大の主な区域が標高3200～3500m附近 (図-7参照) である★<sup>2</sup>ことを考えると、崩壊地が拡大した原因の一つとして永久

凍土層が解消されて季節凍土層へ変化したことが考えられる。すなわち、季節凍土層に変わった活動層が気温変化に伴い凍結・融解作用の繰り返し作用を受け、その結果溶岩層での割目の拡大や火山砕屑物層の崩落などが生じたと考えられることができる。



図-7 過去28年間(1970~1998)の崩壊地の拡大部分<sup>★2</sup>



#### 4-2 気候変動と滝の後退

大沢川に存在するいくつかの滝は一般的には前述のようなメカニズムで後退している。しかし、より明確な後退は土石流の通過時の震動や火山砕屑層の吸い出し、岩石の衝突による溶岩層の破壊による後退であろう。

富士砂防事務所の資料集<sup>★2</sup>によるとF2、F3の滝付近での滝の後退は1919年～1971年までの52年間に約

15m(年平均0.29m)、1971年～1999年までの28年間に約20m(年平均0.71m)とされている。すなわち近年の方がそれ以前より2.45倍早く滝の後退が進んでいることになる。

これは直接気候変動により滝が後退したのではなく、後述するように土石流の発生頻度が増えた事による滝の後退と言えるだろう。

谷の後退は河床を低下させることから両側斜面を不安定にし崩壊の拡大をもたらすことが考えられる。なお、標高1550m附近に位置している大滝の平均後退は推定で約2000年間に約40m(年平均0.02m)であり、最近30年間はほとんど変化していないことがわかっている。

#### 4-3 気候変動と土石流

富士山大沢川での土砂災害(土石流災害)について歴史的な視点からその発生状況を見てみる<sup>★3</sup>と、明治・大正時代の57年間に土砂災害を伴う明らかな記録は3回ある。すなわち年平均発生回数は0.05回となる。1926(昭和元年)年～1972(昭和47年)の47年間には3回、年平均発生回数は0.06回に対し、直轄砂防事業が開始された1973年から2006年までの34年間には7回発生している、すなわち年平均発生回数0.20回と他の期間の約3～4倍の値を示している。

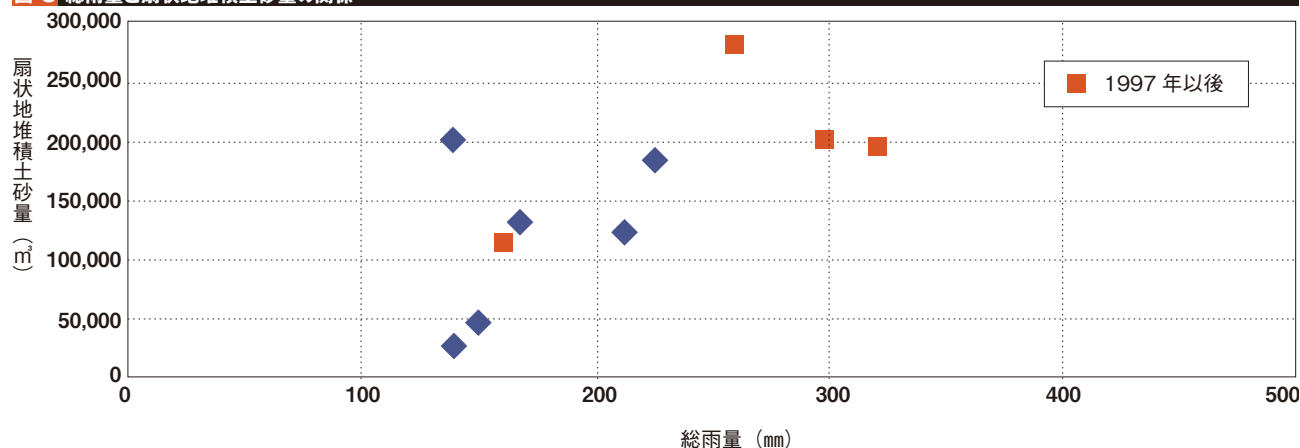
一方、富士山の気象データからは前述のように気象観測値の変動幅が大きくなっていることが示唆された。そこで総雨量と扇状地での堆積土砂量(土石流等により大沢扇状地まで流出した土砂の量とその時の総雨量)との関係<sup>図-8</sup>を見てみると、総雨量が大きくなると堆積土砂量も大きくなる傾向が認められることから、流出土砂量と総雨量には相関関係があることがわかる。しかも最近の土石流の発生は総雨量が多いこともあって、土砂量としても20万m<sup>3</sup>を越すような多量の土砂流出が見られている。

これらの事実から今後気候変動により一降雨による総雨量が増すと土石流に伴う流出土砂量も増加してることが考えられる。

そこで総雨量と既往の土石流の土砂濃度を調べてみた。1回の総雨量と流出した土砂量から流動中の土石流の土砂濃度Cdを国土交通省の指針<sup>★4</sup>により次式で算出したものである。

$$V = \frac{10^3 \cdot P \cdot A}{(1 - \nu)} \left[ \frac{Cd}{1 - Cd} \right] Kf、$$

図-8 総雨量と扇状地堆積土砂量の関係



ここにVは扇状地の堆積土砂量、Pは総雨量、Aは流域面積、Kfは流出補正係数である。

指針の式から計算した各土石流の土砂濃度の値を表-1に記した。表からわかるようにほとんどの土石流が総雨量に関係なく、濃度として0.3~0.4の間に入る値を示す結果となっている。

すなわち大沢川の溪床に不安定な堆積土砂が充分あれば総雨量に関係なく土砂濃度0.3~0.4の値の土石流が発生することを意味している。

なお、表-1に示した土石流の内、流動中の土砂濃度が0.02~0.07の値の流れは厳密には土石流と言うより土砂濃度の高い洪水流と言ったほうがよい。そこで図-8には記入していない。

一方前述のように標高3000~3500mのいわゆる大沢崩れ源頭部での季節的凍結・融解による崩壊の拡大により、谷底部への土砂供給が充分行われやすい状況にあること、凍結・融解現象に降雨が加わると山腹崩壊が発生しうること、土石流の発生が生ずると溪床にある滝の後退も生じやすくなることなどから、移動可能な溪床堆積物の存在は今後も充分ありうると考えてよいだろう。加えて、気候変動により豪雨の発生頻度も増加すると仮定すると富士山大沢川における土石流の発生は回数が増加し、その規模は降雨量に比例して大規模化することがありうると考えることができる。

ちなみに昭和に入ってからの大沢川における土石流発生の間隔は表-4のようであり、2000年以後は以前に比して土石流発生が頻発していることがわかっている。

## おわりに

全国的な気候変動が論じられている今日、富士山でもその影響があるのかどうか、あるとしたら土砂災害にどのように関係してくるのだろうかという視点で過去の資料を調べ直してみた。

その結果、夏季に暑さが増し、暑さは秋季にまで影響してきている可能性があることや、同一地点での気温の変動幅の増大の可能性があることがわかってきた。また、富士山の山頂部の永久凍土の解消が季節凍土に変化して大沢川の谷壁の崩壊を助長している可能性が考えられ、その崩壊土砂が不安定な堆積土砂として溪谷の溪床に堆積し、その後の大雨により土石流化しているとも考えられる。そこで今後も上流域での土砂供給が充分におこなわれると、土石流の量も降雨量に比例して大きくなるのが想定される。

土石流災害から地域の安全と安心を確保するためには、これまであまり視野に入っていなかったと思われる永久凍土の解消についても十分な調査を行うとともに、必要な対策を実行していくことが大切である。

本文作成に際して観測資料等を国土交通省富士砂防事務所から提供していただいた。記して感謝の意を表する次第である。

### ★参考文献

- 1 国土交通省富士砂防事務所：平成14年度富士山大沢崩れ計測解析業務資料
- 2 国土交通省中部地方整備局富士砂防工事事務所：資料集、富士山大沢崩れ、平成13年3月
- 3 国土交通省富士砂防工事事務所：富士山の自然と社会、2002年3月
- 4 国土交通省砂防部、国土交通省国土技術政策総合研究所：砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)及び同解説、全国治水砂防協会、平成19年11月