

46. 昭和13年5月9日及び15日の 磐梯山麓川上温泉附近に於ける山 津浪並びに流下せる火山灰質土砂 の二三の物理的性質

地震研究所 飯田 汲 事

(昭和13年6月21日發表—昭和13年6月22日受理)

1. 緒 言

昭和13年5月9日及び15日の兩日に於いて磐梯山噴火口壁の東北端をなす燕岩附近の山腹に山崩れがあり、其れによつて福島縣耶麻郡猪苗代町宇山ノ神原地内川上温泉地帯に山津浪襲來し、死者2名負傷者數名を出し、家屋を流失、破壊或ひは埋没し川上温泉をして殆ど全滅に瀕せしめたのである。該地方に於いて斯様な慘事を惹起せしは明治21年7月15日に於けるかの有名な磐梯山の破裂の際にもあつたが、其の後今日迄約50年間幸ひ無事に経過して來た事として、今回の事件は土地の人をして再度の磐梯破裂或ひは其の前兆に非ずやとの想像を抱かしめたのであつた。

5月15日の山津浪發生後約1週間を経過してはゐたが、筆者は該地方に於ける山津浪調査を命ぜられしにより、該地方に至り5月21日より約5日間に亙り山津浪による被害及びその原因等について實地調査をしたのである。本文に於いてはそれ等の結果及び該地方より採取せる泥流物質なる火山灰質土砂に就いて測定したる2~3の物理的性質を述べ山崩れ、山津浪等の本性を究明する手段としたい考へである。

2. 崩壊地の位置及び其の附近の地形

山崩れ及び山津浪の發生したる位置及び其の附近の地形は第1圖に於て示した如くである。川上温泉は猪苗代町の北方9kmの處にあり、又崩壊地は川上温泉の西南約3kmの處にあつて磐梯山火口壁の東北端なる燕岩(土地の人は斯く呼ぶ)崖下である。川上温泉附近は海拔約700mであり、崩壊せる現場附近の最高所は海拔約1100mである。従つて此れから傾斜角を出して見ると約7~8°となる。又崩壊箇所は磐梯登山道の沿線であり、噴火口跡には崩壊現場の最高所を越えて至るのである。従つて崩

壊地は火口周壁をなす小山の北側斜面で、此の崩壊により生じた泥流が山津浪となつて川上温泉を襲つたのである。



第 1 圖 山津浜發生地附近の地形圖

A, 燕岩. B, 崩壊地より噴火湯に至る途中の窪地

Fig. 1. Topographical map in the neighbourhood of the landslide.

現在の磐梯山爆裂火口北側附近の山は明治 21 年に於ける大爆發の際に生じた泥流によつて形成されたもので、火山灰、火山礫等からなつてゐる。従つて只今の崩壊地も同様に火山灰、火山礫等から形成されてゐるであらう事は容易に想像される事であるが、實地踏査によつて一層明確に認められた次第である。尙火山灰質物質は如何なる程度に散布してゐるかを示すために第 2 圖を掲げて置く。

此の第 2 圖¹⁾は故關谷教授、菊地助教授によつて磐梯の大破裂直後調査され製作さ

1) 關谷清景 東洋學藝雜誌 5 (1888), 493.

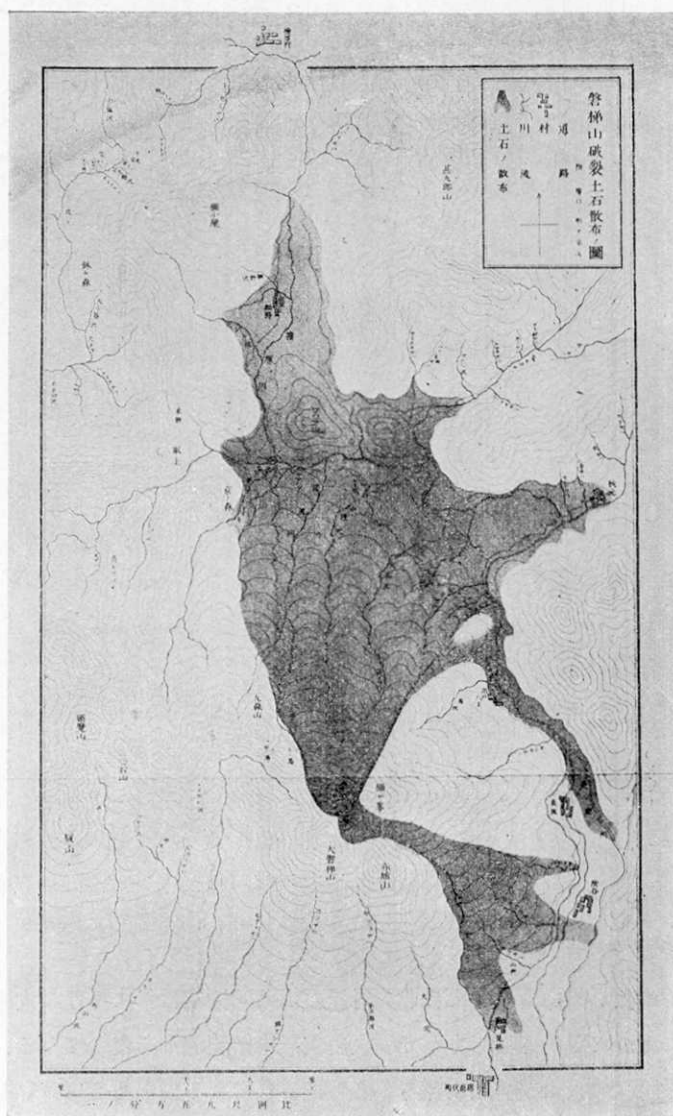
れたもので磐梯山破裂の際に於ける土石散布の有様を示した圖である。

此の圖から今回の慘狀を惹起した地方は明治 21 年に於ける磐梯山の破裂後に其の火山灰質土砂によつて生成されたものである事が判り、此の附近の地質の大略をも知る事が出来るであらう。

3. 5 月 9 日 及び15日の 山津浪

今回發生した山崩れによつて崩壊せる火山灰質土砂が水の作用を十分に受けて下流には泥流を押し出し結局山津浪の現象を表はしたため此の自然現象を特に山津浪と名付けて置く。

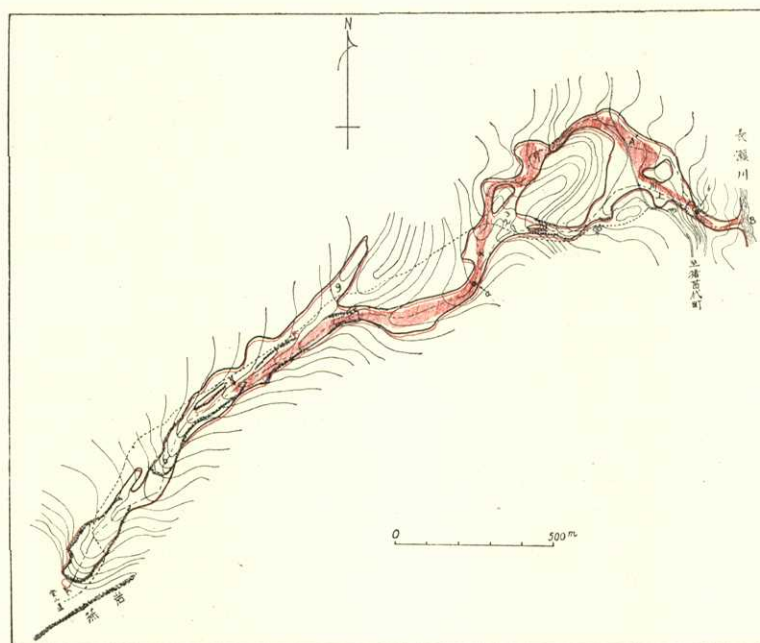
1) 5 月 9 日の山津浪 川上温泉にては 5 月 9 日午前 1 時頃磐梯山の方向より自動車の疾走する時或ひは檜原湖の水門を抜く時の如き“ゴォ”と云ふ音響が聞え其の後約 1 時間足らずにして土砂或ひは土石流の



第2圖 山津浪發生地附近に於ける明治 21 年磐梯破裂の際の火山灰質土砂分布圖（關谷、菊地兩博士による）

Fig. 2. The shaded area shows the distribution of volcanic sands, ash, etc. by the great eruption of Mt. Bandai on July 15, 1888. (By Sekiya and Kikuchi.)

襲來を受けたのである。此の時の崩壊箇所は燕岩より北東約 800 m の距離を隔てたる處にして第3圖中蔭影を附した處である。而して土砂の流出せる跡は第3圖に於い



第3圖 5月15日の泥流の跡(測量による)

[1~9 涌水或ひは河水の採取場所、等高線は10m毎に示してある。赤く蔭影を附した部分は5月9日の泥流の跡。ABは5月9日の崩壊部分、ACは5月15日の崩壊部分である。]

Fig. 3. Outline of the present mud flow (May 15, 1938). The shaded area shows the trace of the mud flow on May 9, 1938. Contour lines drawn every 10 m. Areas of A B and A C: the upper parts of the landslide on May 9 and 15, 1938, respectively. Water samples were taken from the places of Nus. 1~9.

て示してある如く川上温泉附近に於ては一つの谷間中ノ澤に沿うて居り、縣道(檜原猪苗代線)に於ては1m程度の高さを以て押し出して來たと云ふ事で、火山灰と云ふよりは寧ろ土砂石などが大部分を占めてゐたとの事である。

此の日の被害の有様は次の如くである。

縣	道	約 200 m 破壊
死	者	1 名 (4 歳の女兒)
川上小學校	共の他 2~3 軒	床上浸土
山林、畑、宅地等	の崩壊及び埋没	數町步

川上小學校に於ては床上約 1m 土砂が堆積した山である。此等の被害の有様は寫眞に示してある(第4圖~第7圖)。筆者の調査は5月21日からであつた爲以上の被害の状況が見られなかつたのであつたが、幸ひ猪苗代町長谷川及び清水の兩寫眞店の撮影せる寫眞があつた爲、それらによつて當時の土石流出の有様を知る事が出来た。此等の寫眞を見ると先づ目に付く事は泥流に混じて種々の大きさの岩塊が遠方に迄運び出されてゐる事である。又小學校附近に於ける土砂堆積の高さは小學校校舎及び校庭に於ける柳の木の埋れた有様から推定出来る。前述の如く此の土砂堆積の高さは約 1m 程と推定された。

此の日に於ける泥流の跡を土地の人の言を綜合して、測量によつて求めた第3圖の上に蔭影を附して見た。此の部分の總面積は約 72,000 m² 程度と思はれる。又此の日の山崩れ現場地は蔭影を附した部分の AB なる部分で長さ約 250m, 幅は廣い所で約 50m 程度であり、此の部分のみの面積は約 9,000 m² となる。

2) 5月15日の山津浪 前述の9日の土石流により縣道の破壊或ひは埋没又は人家、小學校の床上浸土等の事故發生したるため、川上温泉並に吾妻村字干貫部落民約 40名は川上分教場土砂岩石取除作業に、東京電燈株式會社秋元發電所工事飛島組人夫 19名は縣道發掘に従事する處、5月15日午後2時20分頃、大音響と共に9日の崩壊箇所の後方より燕岩の崖下に至る迄距離約 800m, 幅 50~100m に亘る再度の崩壊があり、(第3圖赤字 AC にて示せる部分)、此のために泥流は 2~3 の支流を作り本流は中ノ澤、山ノ神澤の 2流に分岐し川上温泉地帯に押し出し合流したが、縣道發掘に従事する人夫が音響を聞くと共に逃亡せしも數人の人は間に合はず負傷し其の中 1人は泥流にのまれ遂に長瀬川の本流に落ちて死亡した。其の他家屋等にも相當の被害を生ぜしめた。又七曲澤にも流出しかゝつてゐたが此の方面は途中で止り多量の泥水を 200m も下方に迄押し流した痕跡が認められた。此の場合には縣道に於ける泥流の高さは約 3m であり、流出せる物質は5月9日とは異り火山灰の水に溶解せるものが大部分であつたと云はれて居る。而して流出繼續時間は約 2時間であつて5月9日の場合と殆ど同じであつたと云ふ。尙泥流の本流は漸く長瀬川に達する程度であつた。

此の場合に於ける被害状況は猪苗代警察署の調査によれば次の如くである。

- | | | | |
|---------|-----|----|---------------------------------|
| a) 流 | 失戸數 | 7 | |
| | 棟數 | 11 | (住家, 流失 4 半流 3; 非住家, 流失 2 半流 2) |
| b) 床上浸土 | 戸數 | 5 | |
| | 棟數 | 6 | (住家 5 非住家 1) |

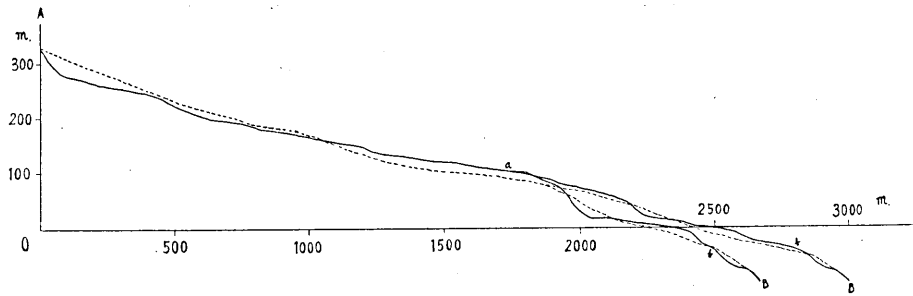
人婦女子が全部猪苗代町に避難して居る有様であつた。人家の約半分は流失し、流失しない家には土砂が見舞つて、破壊し或ひは大損害を與へ大慘狀を呈した。川上には小學校があるがそれは分教場であつて、生徒は約 50 人、先生が 1 人と云ふやうな状態で小學校の大きさは 6×12 m 及び 8×3 m 程度の 2 棟からなり一方は藁屋根であり、一方は小坂屋根であつて何れも平屋作りのものであつた。此の附近に於ける家屋は概ね藁ぶきの平屋作りの家が多いのであつた。家屋の被害及び流れた方向を示す有様は第 19 圖に示してある。此等は次節に於て再び述べる事にする。

4. 土砂流出跡の測量

山津浪の跡の稍々詳しい地形圖及び面積等を調査するために測量を行つたのであるが、此の測量にはポケットコンパスを使用し猪苗代町組合役場芳賀武氏の應援を得て測定したものである。測定は土砂流出後新たに出て来た河に沿うて行ひ、且つ測點は約 40 m ごとに求めたのである。測定を河に沿うて行つたのは現在の河或ひは泥流の流れの方向を知るための目的による外、河水の溫度測定、土砂の採取等種々なるものの測定上の便宜があつたからである。此の測定は場所によつては膝はおろか腰迄もぬかり込み、歩行困難な不便をも凌いで遂行したものである。出来上つた圖面は第 3 圖の如くである。此の測定に於いては一巡後即ちぐるりと廻つて始めの測點に達した場合に水平距離にして約 15 m 程の誤差を生じた。

第 3 圖に於ける等高線は 10 m 毎に入れてあり、又今回新たに出来た崖が入れてある。泥流の跡の全體の長さは約 3 km、幅は川上温泉附近に於いては縣道に沿うて約 300 m、其の他の部分に於いては廣い所で 130 m 程度である。プラニメータを使用して第 3 圖より面積を求めると總面積は $248,500 \text{ m}^2$ となる（泥流の先端は漸く長瀬川に達する程度であつたので長瀬川河岸迄測つた）。崩壊箇所は噴火口壁の外側斜面一帯にして稍々東北に向いて居り、出来た崩壊面は相當急傾斜をなしてゐたが、流出せる泥流は流路の途中に於いても處々を崩壊し崖を作つたと思はれる處が多々あつた。

次に今回新たに出来た河の流れが圖に示す如く泥流跡の略々中間を通つてゐるので、此の河に沿うて谷の斷面を縣道を標準に取つて圖示すれば第 18 圖の如くなる。實線で示したのが今回の斷面であるが點線で示したのが崩壊前の大體の斷面を示してゐる。第 18 圖には 2 本の實線が示してあるが、a 點より一つは中ノ澤を河に沿うて下つた場合のものであり、他の一つは a 點より山ノ神澤に沿うて長瀬川迄下つた場合のものである。此の山ノ神澤に沿うて測つた場合の方が中ノ澤に沿うて測つたものに比して距離が短い關係上、何れも長瀬川迄測つたのであるが最後の點は一致してゐる。

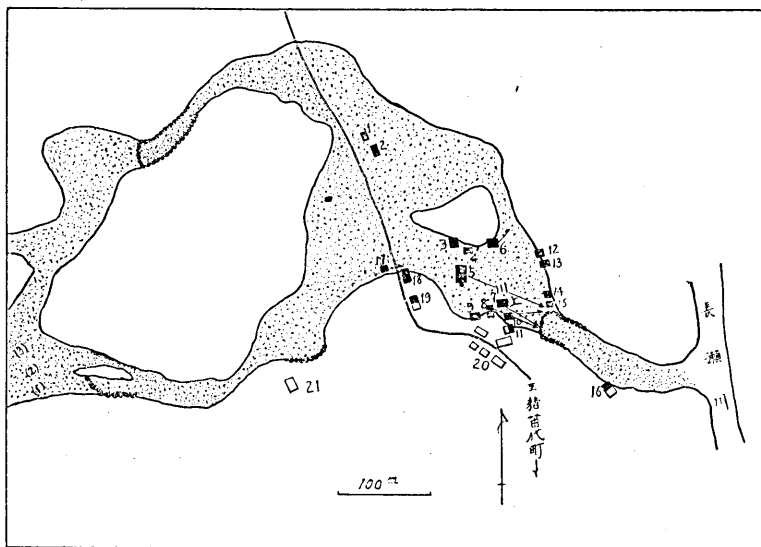


第18圖 泥流の跡に出来た谷に沿って切った断面圖
 (第3圖に於ける AaA'/bB 及び AabB の断面圖. 切斷箇所は第3圖
 中 ——— にて示す. 點線は舊の谷のプロファイルを示す)

Fig. 18. Profile of the section of AaA'/bB and AabB of Fig. 3. (Dotted line; profile of the valley before the mud flow.)

ないのである。此等の切斷面の位置は第3圖に破線で示してある。

第19圖は川上温泉附近を擴大して畫いたもので、家屋の被害及び流れた方向等を示したものである。圖中黒くなつてゐる家屋は今回の山津浪のために流失、破壊されたものは勿論、床上浸土砂のために使用に耐へなくなつて壊したのものをも含んでゐ



第19圖 山津浪による家屋の被害分布及び流された方向
 1, 2, 3, 4, 5 は5月9日の山津浪の際に1m以上の土砂が床上に浸入した家屋。1~19は5月15日の山津浪により流失、半流失、破壊された家屋, 20~21は被害を免れた家屋。5は川上小學校(1), (2), (3)は水を採取せる位置を示す。

Fig. 19. Distribution of houses that were demolished by the mud flow.

る。泥流路の中央に位置してゐた川上分教場は約 100 m 下流に流されたが、其の他の人家でも 50m 程度流されたものは 2~3 あつた。此等は何れも圖の如く長瀬川に至る流路に於ける崖の上にて食ひ止められたのであつた。

5. 山崩れ前後の状況

5 月 9 日の場合は 8 日午後には相當烈しい降雨があり、山の方に於いてはみぞれをも混じた程度で可なり荒れた天候であつたとの事であるが、15 日には非常によい天氣であつて 9 日の山崩れ後はあまり雨にも見舞はれない有様であつた。川上温泉附近に於いては山崩れ前に於いて温泉の温度の變化、澤の水の濁濁、井戸水の變化、微動の存在等の如き異常が殆ど認められなかつたとの事であるが、前兆と云ふが如きものを後になつて考へて見ると七曲澤に出口を有してゐた水が多小減じたやうに思はれるとの事であつた。次に動物に就いてである。明治 21 年の磐梯山破裂の時には蛇や野兎が多數移動した由であつて、破裂前の地變をよく動物が感知した由であるが、今回は斯様な事實もないとの事であつた。只噴火湯に食量などを運搬する役をなす牛が 8 日にも 15 日にも相當鳴き叫んだ（通常餘り鳴き叫んだ事がない由である）との事であつたが、此れも後になつての思ひ出であつて當時は何の前兆であるかを知る由もなかつたものと思はれる。

次に崩壊現場地に於いてもその當時は何も變つた事が認められなかつたのであつた。噴火口内に於ては何等の異常が認められなかつた由であり、噴火湯に於ては崩壊時に於ける岩石落下の音さへも聞えなかつたと云ふ。又地變として考へなければならぬ事は噴火口北方の崖壁をなす燕岩の前側に現在 1 m 程度の食違ひを生じて下つてゐるが、此れは數年前から年々沈下が認められ現在の如くになつたのだとの事である。斯様な事實があつたとすれば燕岩附近の地下に堆積してゐると思はれる火山灰、砂礫の如きものが地下水などに影響されて其の緻密度を異にした爲か或ひは又他の作用によつて變化を生じ斷層面に沿うて沈下したものと考へられる。斯様な事實は崩壊の原因の一つに數へられるであらうが、何れにしてもその崩壊直前の前兆は殆どないと云つてもよい位のものである。

泥土砂の流出後に於ける川上温泉附近の状況を述べると溪谷を流下する水量が増加した外温泉、井戸水等には何等の變化も認められなかつた程度である。

崩壊現場地に於いては頂上崖下より 150 m 下方の崩壊岩石の間からゴンゴン水が流出してゐる。斯様な事實を綜合すると此の附近の地下には相當の水が溜められてあつたもののやうに思はれる。又燕岩崖下の崩壊せざりし部分に残存せる約 3 m の積

雪には大なる幾多の割れ目が生じて居り(第14圖), 尙 15 日崩壊せる山の頂上には崩壊崖より約 20 m 噴火湯寄りの所に帶狀をなして約 40 m の長さの龜裂が生じてゐた。

又噴火口附近に於ける山崩れ後の状況を調べて見ると次の如くである。

噴火湯に於ては温泉の涌出量の減少及び温度の降下等が認められた。涌出量の變化を測る尺度になるものを考へると、平年に於いては湯をたたへて置く湯元の小池があふれて居る程度であつた由であるが、調査當時に於てはあふれる所ではなく却つて淵より約 5 cm も下つて居る状態であつた。今年は積雪量も平年よりは遙に多かつた故涌出量も平年よりは尙多い筈であるが事實は却つて逆の現象を示してゐた。従つて相當減少してゐるものと思はれた。温度は 70°C 内外の由であるが今回は 59°C (氣温 10.6°C) と測定された。温泉の温度は氣温により變化するのであるが、此の低下は氣温の低下よりやゝ著しいやうに思はれた。次に噴氣孔から出てゐる水蒸氣の勢力であるが、此れは多少勢力が弱くなつたやうに見受けられるとの事である。水蒸氣の出る箇所は大小合計 6 位であつて、明治21年の大破裂當時は相當烈しく數も多かつたが其の後は凋落の一途を辿り現在の様に微々たるものになつてしまつた由である。

6. 泥 流 の 速 度

1) 5 月 9 日の泥流の速度を川上温泉の人々によつて聞いた資料から求めて見よう。

5 月 9 日の山津浪發生は丁度眞夜中の事であつた爲、流出物を認めるが如き事は出来ず殊に此の地方には電燈が無い關係もあつたであらうが、兎に角人々は磐梯山の方向から檢原湖の水門を抜くやうな音或ひは自動車の疾走する時の如き音を聞いたとの事である。此れが唯一の速度決定の手掛りとなるのみである。丁度眞夜中の事故相當遠方の音迄聞えたものと思はれるし又人々が感づく程であつたから可なり大きな音であつたものと思はれる。従つて此の音は崩壊箇所附近から發生したものと考へてもよいであらう。

川上温泉の人々が音を聞いてから約 30 分程經過して土砂の流れが來たとの事であつて、此の時間も人によつては相當に色々で 1 時間と云ひ或ひは 20 分と云ひ或ひは 1 時間以上だと云ひ判然とはしないが、約 30~50 分程度の時間と推定される。川上温泉より崩壊現場迄は約 1700 m である。従つて土砂が流れ出すと同時に音が出たものとすれば音は約 330 m/sec の速度を持つて傳播するから音が川上温泉迄到達する時間は約 5~6 分である。従つて土砂流の要した時間は約 40 分程度となる。故に此の場合の平均速度 V は

$$V = \frac{1700}{40 \times 60} \approx 0.7 \text{ (m/sec)}$$

となり最初の土砂流の平均速度は毎秒 1 m 未満のものと推定される。

5月9日は土砂流であつた上その土砂流が松の木や白樺、山毛櫸などを倒して押し出した爲、途中に於ては相當の摩擦があつたものと思はれる。従つて崩壊現場附近の速度は相當大なるものであつたらうと想像される。

2) 5月15日の泥流の速度を求めて見よう。此の場合には惨事が晝間でもあり、又規模が9日の場合に比して相當に大きかつた關係上、よく物の流れる有様や色々なものが速度測定の手掛りとなつた。

先づ川上温泉附近の泥流速度を家屋の流れた距離と時間、人夫が縣道から逃げた時間や距離と崩壊の音を聞いた時間等から求めて見る。

i) 川上小學校が 100 m を約 5 秒位で流失したと云ふからその速度は

$$V = 20 \text{ m/sec}$$

となる。此の 5 秒位と云ふのはアツト云ふ間に流失したと云ふ事であるから斯様にとつたのである。人によつては 2~3 秒で流失したと云ふ人もある。従つて此の場合の速度は多く見積つて 30 m/sec、少く見積つて 20 m/sec であらうと思はれるから平均 25 m/sec の速度位と考へてよい。

ii) 縣道にゐた人夫が約 400 m 上方の崖を流下する泥流の音を聞いて約 50 m の距離を幸じて逃げた人もあり、逃げ遅れて泥に埋つた人もあるが、之等から泥流の速度を出して見ると次の如くなる。

音を聞いてから其の方向を見てそれから走り出すために 50 m を逃げのびるに多く見積つて 15 秒位と考へられる。驚きの餘り却つて足が出ない場合もあらうが 100 m を相當速くかけても 20 秒位と思はれるから、以上の如く取つたのである。従つて此の場合の 15 秒は最大に過ぎるかも知れないが斯く取るときは泥流の速度 V は

$$V = \frac{400}{15} = 26 \text{ (m/sec)}$$

となる。大體此の程度のものと思はれる。

iii) 次に泥流の跡から判断する方法である。即ち泥流が流下する場合に彎曲した流路を取る時には、その外側が高くなつてゐると云ふ事を利用して求めた。此の方法は中村(左)博士²⁾が十勝岳泥流の速さを求められた時にも用ひられて居る方法であつて、今泥流は重力と摩擦とにより等速運動をなすものとし、その外側の高くなるのは

2) 中村左衛門太郎 地球 6 (1926), 79~82.

その彎曲による遠心力の作用と考へれば

$$\frac{F}{g} = \frac{V^2}{\rho g} = \tan \theta$$

となる。茲に F は遠心力 V は泥流の速度、 ρ は曲率半径、 g は重力加速度、 θ は泥流表面の傾斜である(第20圖)。 θ 、 ρ は實地に求められるから V が測定出来る。従つて速度 V は

$$V = \sqrt{\rho g \tan \theta}$$

であり、今 $\rho = 100$ m、 $\theta = 15^\circ$ の測定値を入れて計算すれば、 $V = 13$ m/sec

となり稍々小さな値となつたが、此の速度は泥流の底部の速度を與へるものと思はれる。従つて川上温泉附近に於ける泥流の表面部分の速度は約 25 m/sec 程度と考へられるが、泥流下部の速度は約 10 m/sec 程度であつたのであらう。

次に縣道より 600 m 上流に於ける速度を上述の iii) の方法により求めると

$$\theta = 20^\circ, \quad \rho = 63 \text{ m}$$

$$\text{故に} \quad V = 15 \text{ m/sec}$$

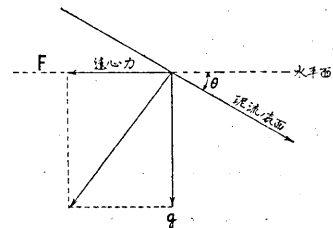
となり縣道より 1500 m 上流に於ける速度は

$$\theta = 30^\circ, \quad \rho = 55 \text{ m}$$

$$\text{なるにより} \quad V = 18 \text{ m/sec}$$

等となる。之等の値は何れも川上温泉の蔭道附近に於いて同様に求めて求めた値より稍々大きく、上流に行くに従つて増大して居る。又處々の松の木や白樺の木の 2~3 m の高さの所に泥流の跳ね上つた跡が見られたが、是等から速度を推定すると相當速く、やはり毎秒 30 m 前後と思はれる。此の速度は明治 21 年の磐梯大破裂に際して生じた泥流の 21 m/sec なる速度³⁾ と殆ど同じ程度のものであらう。従つて明治 21 年に於いても今回と同程度の速度を持つた山津浪が襲來したものと思はれる。

十勝岳泥流⁴⁾ は山頂から約 2.5 km の距離の處では約 30 m/sec の速度を有して居り、山頂より 24 km の距離にある上富良野では約 10 m/sec の速度を有してゐた。今回の泥流の速度も之等のものと殆ど同じ大きさのものに考へられる。



第20圖 泥流に作用する力
Fig. 20. Centrifugal force (F) and g.

3) S. SEKIYA and Y. KIRUCHI, "The Eruption of Bandai-san," *Trans. Seism. Soc. Japan*, 13 (1890), 139~222.

4) 中村左衛門太郎 前掲.

7. 火山灰質土砂の二三の物理的性質

被害地から採取して来た火山灰質土砂の 2~3 の物理的性質特に粘性係數、凝集強度、摩擦角、ヤング率等を調べて見た。之等は山崩れや泥流を支配する有力な要素であると考へられる。

1) 粘 性 係 數

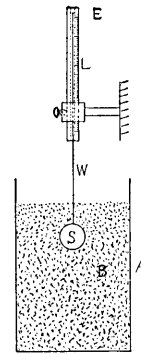
泥土の流れを支配する一つの要素として泥土の粘性が大切であると考へられるがその粘性係數が如何なる値を有するかを知り度いと考へ採取せるものを實驗室に於いて以下に述べる如き方法によつて調べた。

崩壊地に於ける土砂の含水量は可なり多く 40~60% の程度と推定されるにより、此の火山灰及び土砂等は殆ど流體と考へられる。流體の粘性係數測定法として Stokes の方法があるが、今回は水分の多量な所の値を知るのが目的である爲、Stokes の方法を用ひて行つた。然しながら泥土の場合にはその中を落下する球の運動を直接觀測出來ないので細い針金(直徑 0.2 mm)にてポオルベアリング用の鋼鐵球を吊し第 21 圖に示せる如き装置によつて A なる硝子容器に入れた土砂(B)中を落下する球(S)の速度を測定した。鋼鐵球(S)に附した針金(W)の先端 E が細き硝子管を落下する距離を硝子管に附した目盛(L)にて測定し、且落下に要した時間をストップウオッチにて測り、鋼鐵球の落下速度を求めた。泥土の粘性係數 η は

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{(\rho - \rho') r^2 g}{V}$$

から求められる。茲に r は鋼鐵球の半径、 ρ はその密度、 ρ' は土砂の密度、 V は鋼鐵球の落下する速度である。用ひた球の密度は 7.77~7.80 である。

粘性係數の含水量に對する變化を求めるために水を加へて含水量を變じ以上の測定を繰り返した。水分が増加すると球の落下速度も増すので球の半径の異なるものを適當に變じて測定した。此等の値は第 I 表に示した如くである。



第 21 圖 粘性係數測定實驗裝置
 A ガラス製圓筒(高さ 40 cm, 直徑 10 cm)(Vessel)
 B 火山灰質土砂 (Volcanic mud)
 E ガラス管 (Glass tube)
 L 尺 度 (Scale)
 W 細い針金 (Steel wire)
 S 鋼 鐵 球 (Steel ball)

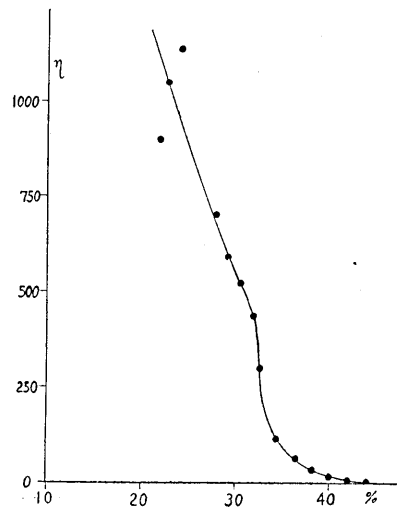
Fig. 21. Apparatus for the measurement of the viscosity coefficient of volcanic mud.

第I表 土砂の粘性係数

含水量 Water cont. %	土砂の密度 ρ'	球の直径 d (cm) Dia. of ball	粘性係数 η (c.g.s.) Viscosity coeff.	落下速度 V cm/sec
22.0	1.80	3.50	902	4.41
22.8	1.84	2.85	1050	2.52
24.2	1.85	2.55	1140	1.84
27.9	1.85	2.06	700	1.97
29.2	1.90	1.68	590	1.53
30.6	1.91	1.26	525	0.97
32.0	1.89	1.03	435	0.78
32.7	1.88	1.03	300	1.14
34.5	1.87	0.79	115	1.75
36.5	1.86	0.79	63	3.20
38.2	1.86	0.65	35	3.91
40.0	1.84	0.50	15	5.42
42.0	1.80	0.47	8	9.03
43.9	1.79	0.32	6	5.54

又粘性係数の含水量に対する変化は第22圖に示せる如くであつて、含水量の増加と共に急激に小となつて居り、含水量32~33%に至ると不連続的に小となる傾向が見られる。尙水分の減少と共に急激に泥土が硬くなる關係上測定には誤差が含まれる許りでなく土砂も流體の性質を失ふやうになるので、此の方法によつて求めた値は實際の粘性係数とは異つた破壊強度の如きものであるかも知れない。

今以上とは異つた方法によつて泥流の粘性係数を求めて見よう。但し土砂の流が2平行平面にて限られたみぞの中を定状態で流れてゐると假定する。泥流の粘性係数を μ 、速度を u 、 y 軸を泥流と直角方向に、 x 軸を泥流の方向に z 軸を深さの方向にとる(第23圖)。 d はみぞの幅である。又 α は xy 面が水平面となす角である。然るときは次の運動方程式を得る。



第22圖 火山灰質土砂の粘性係数の含水量による變化
縦軸: 粘性係数 横軸: 含水量

Fig. 22. Relation between the viscosity coefficient of volcanic mud and the water content.

$$\left. \begin{aligned} \mu \Delta u + \rho g \sin \alpha &= 0, \\ \frac{\partial p}{\partial y} &= 0, \\ \frac{\partial p}{\partial z} &= \rho g \cos \alpha. \end{aligned} \right\}$$

上式から u 及び p を求めれば

$$u = \frac{1}{2} [\varphi(y+iz) + \Phi(y-iz)] - \frac{\rho g}{2\mu} z^2 \sin \alpha, \quad p = \rho g z \cos \alpha + p_0$$

となる⁵⁾。

今川上小學校の附近に於ける泥流の粘性係数を求めて見ると次の如くなる。

$$u = 25 \text{ m/sec}, \quad d = 40 \text{ m}, \quad \alpha = 14^\circ, \quad z = 2 \sim 3 \text{ m}, \quad \rho = 1.8$$

とすれば

$$\mu \approx 10^3 \sim 10^4 (\text{c.g.s.})$$

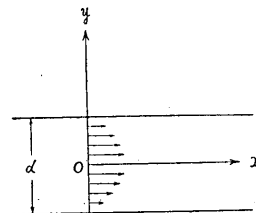
となり、前述の實驗室に於いて求めた値に比して大となつてゐる。採取せる土砂は自然状態のものであるから大小の石片があるため實驗室に於いてはそれ等を適當に取除いて測定したのである。従つて實際のは實驗室に於ける値のよりも稍々大となる可きであると考へられる。實驗に用ひた火山灰質土砂の mechanical ratio は 70% の砂 (粒徑 1.1~0.2 mm) と粒徑 0.07 mm のもの 20%、粒徑 0.005 mm のもの約 10% であつた。又眞の密度は 2.50 である。

次に縣道などに於いて泥流によつて運搬されて來た相當大なる石塊が止つて土砂に埋没或ひは頭を出してゐるがそれについてその石塊を靜止せしめるために作用する力 F を計算して見よう。

今一樣な流體の流れの中に自由に動き得る球がありとし、その密度を ρ 、球の半径を a 、泥流の速さを V とすれば球を靜止せしめるに要する力 F' は

$$F' = \frac{4\pi a^3}{3} (\rho - \rho') g + 6\pi \mu a V$$

となる。茲に μ は粘性係數であり、 ρ' 、 ρ は泥流及び岩石の密度である。 μ 、 ρ' 、 V 等には前述の値を代入し岩石塊を大體球と假定して F' の値を求めれば



第 23 圖 泥流の表面
Fig. 23. Surface of mud flow.

5) M. LAGALY, *Gerl. Beit. z. Geophys. Suppl.*, 2 (1933), 14.

此等については次の機會に詳しく述べる考へである。

$$F' \approx 7 \times 10^4 \text{ dyne/cm}^2$$

となる。従つて実際には此の値より大なる力が作用したものであらうと考へられる。茲に於ける岩石の値には高さ 4m 周囲 12m の略球形をなした岩石で密度が 2.65 のものを採用した。而して之は寫眞に示した縣道上に流出せるものである。此等の値も泥流の性質を知る上に多少手掛りとなるものと思はれる。

2) 弾性係數

弾性係數を求める爲に採取して來た土砂を適當に水分を蒸發せしめ柱狀體となし、之を振動盤の上に乗せて其の共鳴する周期を測定し、それより土柱を傳る縦波及び振波の速度を求めた。而して結局従來の方法⁶⁾によつて、 E , μ , σ 等の弾性係數を測定した。その値は次の如くである。

第 II 表 土砂の弾性係數

含水率 Water cont. %	密度 ρ	縦波の速度 V_l (m/sec)	横波の速度 V_t (m/sec)	ヤング率 F (c.g.s.)	剛性率 μ (c.g.s.)	Poisson's ratio σ
0	1.86	200.0	115.0	$\times 10^8$ 7.13	$\times 10^8$ 2.46	0.46
4.5	1.89	170.0	104.0	5.46	2.04	0.34
5.0	1.91	130.0	78.8	3.23	1.18	0.36
7.2	1.94	95.1	56.8	1.75	0.62	0.40
10.0	1.93	80.0	46.6	1.23	0.42	0.47

上表より知られる如く含水量の増加と共に急激にその弾性係數が小となつて居り、之等は土に於いて屢々求めたものと同一の傾向を示して居る。

3) 凝集力及び摩擦角

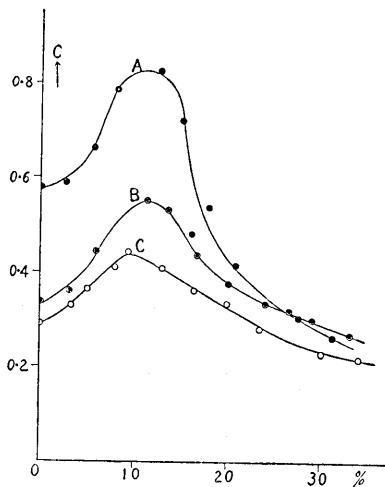
山崩れ地送り等の場合には送り面が假定されるが、その送り面に沿うて一部の表土層が滑り落ちるのであつて、その滑落を惹起する主なる力は土層に働く重力である。又これを止めようとする主なる力は送り面に沿へる摩擦と土粒の凝集力とである。即ち送り落ちるか起らないかと云ふ所では重力による力と摩擦等による力とが釣合にあるのである。此等を式にて表はせば

$$F' = \mu N + AC$$

となる。茲に F' は重力により送り面に沿うて土砂を落下させようとする力、 N は送り面に直角に働く力で A は送り面の面積、 μ , C は摩擦係數と單位面積に於ける凝集力を示すものである。従つて山崩れを考へる場合に於いては μ , C 等の諸種の値が必

6) M. ISHIMOTO and K. IIDA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 14 (1936), 632; 15 (1937), 67.

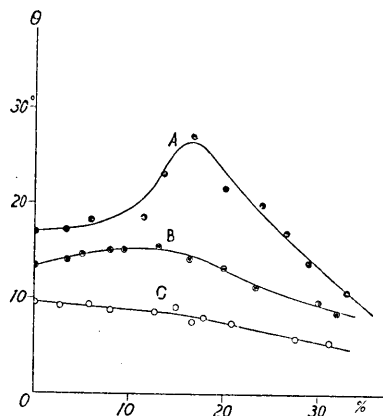
要である。今回に於ける之等の値は如何程であらうかを求めるために剪断抵抗器を用ひて測定した。即ち土砂を上中下三重になつてゐる杵に詰め、上から 10, 20, 30 kg 等の壓力を加へて、中央の杵を水平に横に引抜く時の力を測定したのである。剪断抵抗器は $4^2 \times 6$ cm の容積を有する小型のものを鐵道省大臣官房研究所から借用して測定した。それらの測定値を含水量に對する變化として求めたのを圖示すれば第 24 圖第 25 圖の如くなる。第 24 圖は凝集力の變化を示し、第 25 圖は摩擦角の變化を示してゐる。凝集力は含水量のある値に於いて即ち 10% 程度にて maximum となり尙含水量を増加すると凝集力は減少してくる。又摩擦角も含水量のある値に於いて増加する傾向を有してゐるが、土砂の種類によつて異つてゐる。然しながら含水量 30% 以後に於いては凝集力も、摩擦角も減少の程度を高め、結局今回の如き泥流に於いては非常に小なるものである事が容易に推定される所である。即ち實驗によつて含水量



第 24 圖 凝集力の含水率による變化
縦軸：凝集力 横軸：含水率
A No. 1. B No. 2. C No. 3.

Fig. 24. Relation between the cohesive force of volcanic mud and the water content.

A, B, C in these figures correspond to those in Table III (showing different grain sizes).



第 25 圖 摩擦角の含水率による變化
縦軸：摩擦角 横軸：含水率
A No. 1. B No. 2. C No. 3.

Fig. 25. Relation between the frictional angle of volcanic mud and the water content.

と共に凝集力、摩擦角の急激に減少する有様をたしかめ得た次第で、今回の如き水分の過飽和状態に於ける土砂に於いては凝集力、摩擦角の急激な減少を來し重力による力との安定が破れて流出したものと考へられる。

又土砂に於いても比較的あらひ粒子を含んだものはある含水率に於いて大なる凝集

力及び摩擦角を有してゐる事が第24~25圖から判るのである。圖中A, B, C等の記號は粒子の比較的大なるものから小なるものに至る順序を示せるもので、第III表中の土砂の種類分類記號と一致してゐる。

測定せる土砂の機械的分析の結果は第III表に示してある。

第III表 機械的分析表

土砂の種類	篩目 (Tyler の標準篩目)						silt	clay
	8	14	28	48	100	200		
A	6.58	10.44	14.32	15.36	16.92	12.44	15.18	8.76
B	0	10.80	23.68	19.38	14.74	9.28	13.14	8.98
C	3.58	2.20	4.70	10.60	10.30	20.50	28.27	30.15

4) 涌水の pH

火山灰質土砂は酸性であるとの事である⁷⁾が、採取して來た澤からの涌水を化學教

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH	7.6	5.9	7.4	5.0	6.9	5.9	7.2	6.5	5.6

室野口學士の援助を受けて pH を測定して見た。その結果によると川上温泉の湯は7.1~7.0であり他は上表の如くである。測定は6月2日で採取後約1週間である。

此の表(表中の番號は第3圖に示してある)にて見られる如く相當に酸性の強いものも見受けられた次第である。之等から水の酸性強度の地理的分布が求められる筈であるが、以上の材料では未だ不十分だし相當複雑してゐるやうにも思はれるので只測定値を示す程度に止める。尙参考迄に示すが、吉村信吉氏⁸⁾による長瀬川の pH は2.8であつて相當に酸性が強いやうである。

8. 山津浪の原因



第26圖 磐梯山噴火口東側壁の崩壊
Fig. 26. Landslide of the crater-wall of Mt. Bandai.

7) 地學雜誌 1 (1889), 19.

8) 吉村信吉 地理學評論 14 (1938), 68~69.

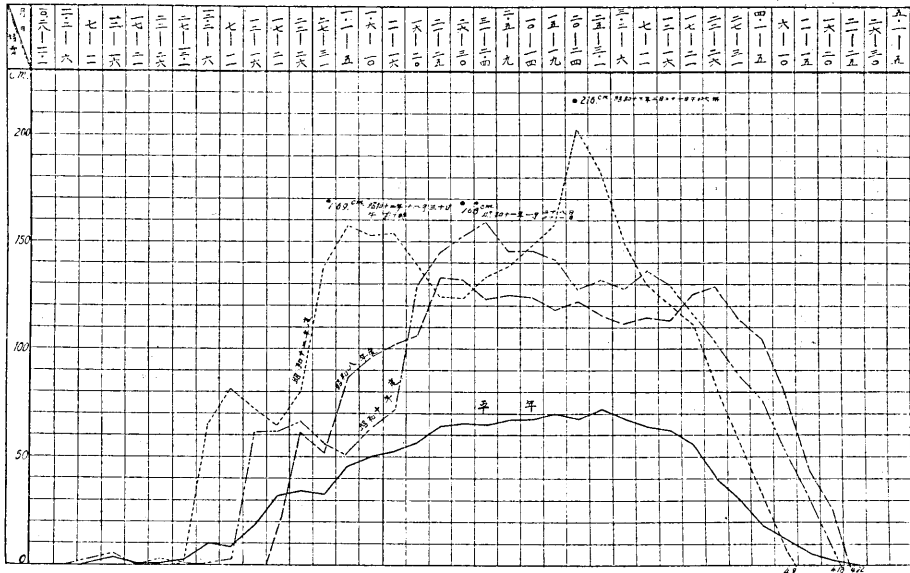
今回の山津浪の原因と考へられる點の一二を述べて見る。

現在の磐梯山爆裂火口北側附近の山は明治 21 年の大破裂の際に出来たものである事はよく知られて居り、本文に於いても既に述べた所であるが、今回の崩壊附近の山を形成してゐる火山灰質の物質が、過飽和状態の地下水によつて崩壊し今回の山津浪を惹起したもののやうに考へられる。即ち地下水の作用が最も主要な役割をなしてゐるやうに考へられた。

明治 21 年に出来た火口壁の崩壊が其の後引き續いて行はれ噴火口内に落ち込んで居る。火口壁の崩壊は寫眞第 26 圖によつてもその有様の大略が伺はれるであらう。昭和 6 年 6 月 26 日長雨の爲楯ヶ峰中腹に當る一帯が大音響と共に崩壊したが如きは、其の規模の大なるものなるため地元民をして磐梯鳴動の前兆に非ずやとの不安を起させた程であつて、火口壁の風化、浸蝕等による破壊作用は絶えず全壁に互つて行はれてゐる。燕岩に於ても寫眞第 12 圖の如く鉛直方向に平行せる割れ目が多數出来て居り、崖下には岩石がかけ落ちて堆積して居る。5 月 15 日崩壊せし現場の頂上(第 1 圖 A)と燕岩との間には川上温泉口より磐梯登山への登山道がある。此の登山道は相當谷間にあつたものであるが、岩石崩壊と共に徐々に高められて現在の如き有様となり火口内に至る峠となつて居る。此處より火口内に入るのであるが、此の邊には岩塊の下に小さな沼の如き水溜りの存在するのが氣づかれるのである(第 1 圖 B の邊)。此の水溜りが噴火湯附近より流出して來たる水によつて出来てゐるのであるが、此の水が今回崩壊せる部分の地下に多年に互つて浸透してゐたものと思はれる。それは此の水溜りから漏れて出る水の川上側への出口が數十年來判然として居らず疑問の一つとなつてゐた事にも據るが、尙此の水の地下に浸透してゐたと思はれる燕岩の前側には數年來斷層面さへ發達し土地沈下の傾向も認められる程度になつてゐた事にもよる。

斯様に明治 21 年以來水が火山灰に浸透し飽和状態に達してゐると思はれる程度になつてゐた所へ偶々今年の大雪があり、その雪解けの水量の増加により急に過飽和に達したものと思はれる。

試みに今年の積雪状態を示すと第 27 圖の如くである。此の圖は福島縣會津測候所の調査によるもので猪苗代町に於ける積雪量である。圖に於ける平年の値は 13 年間の平均を示し、積雪量は毎日午前 10 時 5 日毎の平均の値である。本年の積雪は平年に比して多く殊に 2 月 20 日前後に於いては平年の 3 倍もあり、測候所開所以來の 216cm なる記録をも示してゐる。尙今年の雪は平年のとは異り水分を多く含有し密度の大なる雪であつたと云はれてゐる。然も平年に比して著しく早く消えてゐる事が目立つてゐるのである。即ち本年は非常に澤山の雪が降りその割合に早く消えて水とな



第 27 圖 昭和 12~13 年と平年に於ける積雪量の比較
(昭和 8~9 年及び 10~11 年の兩年に於いても平年より其の積雪量は大きであつた。)

Fig. 27. Time variation in the amount of snowfall (comparison of 1937~1938 and annual year).

つたのである。以上は今回の崩壊現場とは約 9 km の距離を隔てた猪苗代町に於いての観測であるが、崩壊現場地附近に於いては尙一層の積雪を蒙つたものと思はれる。筆者が調査を行つた 5 月下旬に於いても尙約 3 m の残雪を有してゐた程であり、その残雪の丁度中間部分が 5 月 15 日の崩壊によつて取り去られたのである。

又崩壊せる當時の 5 月前後に於ける降水量を示したのが第 IV 表及び第 V 表である。但し此れは猪苗代町に於ける値である。之等の表から知られる如く 1 月から 4 月迄は降雪による降水量が大部分であつて、之等の量の相當に大なる事は既に述べた。尙 5 月に於いては降水量も減じて居り、殊に 5 月 15 日前後に於いては快晴であつた。従つて山の残雪も相當に消失したものと考へられる。又 5 月 9 日の場合には前日來雨も降つてゐたのであつて、此の場合には雨によつて山の残雪が消失したのであらう。何れにしても烈しい雨か或ひは快晴の後に崩壊が起つてゐるやうである。但しとけた水がすぐ土砂の中深く迄滲透して崩壊の端緒となつたかは不明であり、又 15 日に崩壊せる部分が 9 日の崩壊に續いてすぐ崩壊せずして約 1 週間もの間隔があつたのは如何なる原因によるか判明しない。

此の地方の火山灰質土砂は著しい吸濕性を有し、而も實驗上から知られた如く水の

第IV表 1月より4月迄の降水量 (Precipitation) (會津測候所調査による)

月 日	1	2	3	4	月 日	1	2	3	4
1	1.7 ^{mm}	14.1	—	—	16	1.7	—	—	9.1
2	17.2	0.3	4.2	—	17	1.7	28.8	—	—
3	18.9	0.1	5.5	1.1	18	—	40.7	0.3	6.7
4	8.8	0.0	1.3	5.5	19	0.8	54.3	0.6	0.0
5	6.0	1.2	0.0	18.1	20	12.5	37.4	—	—
6	0.0	1.0	2.8	0.9	21	1.3	17.5	—	—
7	0.6	4.4	2.4	0.2	22	0.9	0.3	6.6	—
8	22.9	1.1	0.2	5.4	23	1.6	0.7	23.8	11.7
9	5.5	4.0	0.1	1.0	24	2.7	0.2	13.1	3.2
10	1.2	1.0	4.3	0.1	25	0.0	1.7	0.8	17.0
11	0.4	11.0	0.1	14.4	26	4.7	0.1	2.6	—
12	15.5	3.9	1.2	0.3	27	3.9	1.1	—	0.1
13	9.3	10.2	0.1	1.1	28	0.3	0.4	7.2	0.1
14	0.1	16.6	—	—	29	1.4	—	0.9	9.9
15	—	17.0	0.1	13.2	30	5.1	—	—	—
					31	—	—	—	—

第V表 5月1日より20日迄の降水量 (會津測候所調査による)

時 日	22—2 ^h	2—6 ^h	6—10 ^h	10—14 ^h	14—18 ^h	18—22 ^h	sum
1	— ^{mm}	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	0.9	4.1	5.0
3	1.3	3.2	9.8	0.8	0.3	—	15.4
4	—	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	0.4	1.1	1.5
7	0.3	0.2	0.1	—	—	—	0.6
8	—	—	0.0	8.8	1.9	1.1	11.8
9	4.3	5.2	1.5	0.3	0.5	0.6	12.4
10	5.1	—	0.1	—	—	—	5.2
11	—	—	—	—	0.0	—	0.0
12	—	—	—	0.0	3.1	0.5	3.6
13	3.7	3.3	—	—	—	—	7.0
14	—	—	—	—	—	—	—
15	—	—	—	—	—	—	—
16	—	—	—	—	—	—	—
17	—	—	—	—	0.0	7.0	7.0
18	0.2	0.0	0.1	0.7	3.0	1.1	5.1
19	—	—	—	—	—	1.8	1.8
20	0.0	—	0.1	0.0	0.0	—	0.1

増加と共に著しく其の性質を異にするのである。水の滲透した土砂は其の表面が日光などに當つて乾くと急に硬くなる。其の爲に土砂の中の部分は軟く恰も鶏卵の殻と中味の如き状態となつてゐる。従つて中味に相當する土砂の部分に餘分な水などが加はり殻の部分に相當する土砂が其の壓力に耐へきれなくなると、今迄保たれてゐた釣合が破られ中味に相當する土砂流が押し出すのである。

尙崩壊発生現場は活火山なる磐梯山の噴火口壁北側の斜面にあつた事故、今回の事件は火山活動による地變と密接なる關係にあるであらうと考へられるが、此れに關しては判然と確める事が出来なかつた。

9. 結 語

以上述べた如く、今回発生した山崩れによる地變は相當に大規模であつたが、其の割合に人畜の被害は少なかつたのは幸ひであつた。それは最初比較的小規模なる山津浪が5月9日に發生し、此れにより人々は多少不安の念を抱いて警戒して居た爲であつた。其處へ15日に至り再度の大規模なる山津浪が襲來して來たので人々は素早く避難した次第である。

崩壊せる現場附近を見ると、地下に貯へられた水溜りの水が恰も堤防を缺潰するが如く火山灰質土砂の堆積せる弱い部分を破つて押し出したと云ふが如き感が深い。

又火山灰質土砂の物理的性質の2~3を述べたが水に對する影響は顯著であつて、山津浪の現象を説明するのに有力のやうに思はれる。

原因に就いては尙考究を要する事であり、地下水丈を取り上げる事は當を得て居ない事は勿論であり、他にも種々な原因があつてそれ等の原因が結合して今回の慘事を惹起したのであらう事は容易に想像される所であるが、其の中でも地下水の過飽和による原因が有力な役割をなしてゐるものと考へられる。尙地下水の火山灰に對する化學的作用も考慮しなければならぬ問題であると考へられる。

明治21年の磐梯大破裂の際の火山灰質土砂の下に埋没されたと思はれる山毛櫛の大木片(長さ1.6m 直徑1.5m)が今回の泥流と共に巖附近より距離約2kmもある下流の地點迄運び出されてゐるのが2~3見られたのである。従つて今回の崩壊せる土砂は全く明治21年の磐梯大破裂の際に積つた火山灰質土砂にして、それが長年の間地下水によつて浸透され飽和状態となり、今年の大雪解を待つて5月9日の崩壊の先驅部分を出しその後方が安定を失つて續いて5月15日の再度の崩壊となり、上流に於いては明治21年の磐梯大破裂前の谷間に沿ひ又下流に於いては現在存在せる谷に沿うて流下したものと考へられる次第である。今後も多少の崩壊があらうが現在見

られる今回新しく出来た谷川の排水口が閉塞されない限りは餘り大なる慘事を引き起すものとも考へられない。

猪苗代附近に最近 2~3 の局發地震があり、即ち昭和 10 年 3 月の中川流域の局發地震（磬梯山より 50 km の距離で西南の方向）あり、昭和 11 年 11 月會津若松附近の局發地震（磬梯山より 10 km の距離で西南方向）があり何れも弱震程度で數日にして止み、主に上下動を伴つた地震である。此等は今回の山崩れと何等かの關係がありはしないかとの懸念を抱く人もあるが直接の關係はないと思はれる。然しながら磬梯山附近に於いて斯様な局發地震が存在する事は別の意味に於いて注目に價する事だと思はれる。

末筆乍ら今回の山津浪調査に當り種々調査上の便宜を與へて下さつた福島縣猪苗代町猪苗代警察橋本署長並びに猪苗代町長青木常吉氏、同組合役場助役原田小平氏、猪苗代町壽田直吉壽田勇兩氏、川上温泉區長小板橋久三郎氏の諸氏に對し深く感謝の意を表す。猶被害地の測量に助力せられた福島縣農林技手芳賀武氏並びに氣象學的の材料を與へて下さつた會津測候所長佐藤煌氏に厚く御禮申し上げる次第である。

尙土砂の力學的性質を求めるために剪斷抵抗測定器を御貸し下さつた鐵道省土質調査委員會に對し、又涌水の pH 測定に御便宜を與へて下さつた東大化學教室の野口喜三雄學士に對し深く感謝の意を表す。



第4圖 a) 5月9日縣道檜原猪苗代線に押し出した土石



第4圖 b) 5月9日縣道に押し出した土石及び泥



第5圖 a) 5月9日の山津浪による縣道の破壊



第5圖 b) 5月9日の山津浪に襲はれた死者を出した人家

Figs. 4~5. A mud flow invaded the Kawakami Hot Springs (May 9, 1938).



第6圖 a) 川上小學校附近に於ける泥流の跡
(5月9日の山津浪による)



第6圖 b) 5月9日の山津浪に襲はれた川上小學校
(床上没土約1m)



第7圖 a) 5月9日の山津浪に襲はれた川上温泉



第7圖 b) 5月15日の山津浪に襲はれ流失した川上小學校, 校庭に残存せる柳の木

(震研集報 第十六號 圖版 飯田)

Fig. 6. a) General view of the Kawakami Hot Springs. Fig. 7. b) The primary school was demolished by the mud flow (May 15).



第8圖 a) 5月15日縣道に押し出した土砂



第8圖 b) 5月15日の山津浪に襲はれた川上温泉
家屋の多くは流失埋没す



第9圖 a) 5月15日の山津浪による家屋の被害



第9圖 b) 5月15日の山津浪により流された家屋

(震研集報 第十六號 圖版 飯田)

Figs. 8~9. General view of the mud flow (May 15).



第 10 圖 a) 5 月 15 日の泥流により
運搬された縣道上の大石塊



第 10 圖 b) 5 月 15 日の泥流跡の測
量



第 11 圖 a) 5 月 15 日川上温泉瀧の湯
上方に新しく出来た瀧



第 11 圖 b) 燕岩崖下に於ける 5 月 15 日
の崩壊現場地

(震研彙報 第十六號 圖版 飯田)

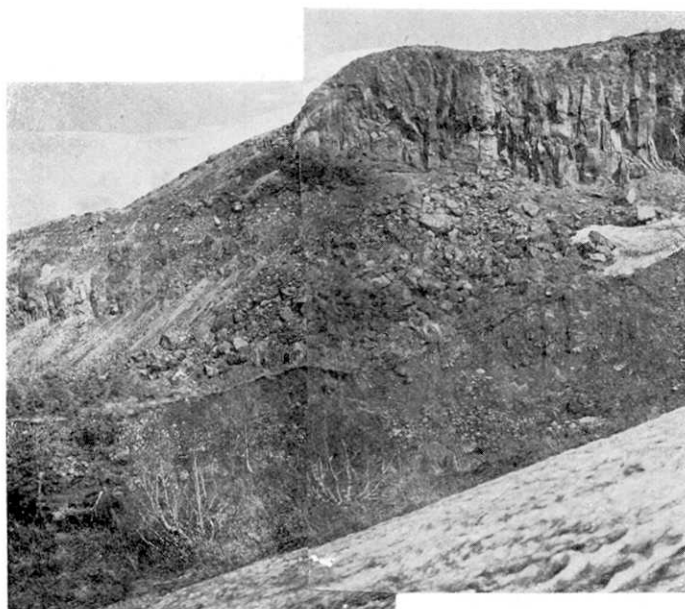


第 12 圖 a) 5 月 15 日の山津浪による家屋の被害



第 12 圖 b) 5 月 15 日の山津浪による家屋の被害(床上没土)

Fig. 12. a, b) Destruction of houses due to the mud flow (May 15).



(震研彙報 第十六號 圖版 飯田)

第 13 圖 a) 燕岩屋下の崩壊現場地.

Fig. 13. a) The upper part of the landslide.



第 13 圖 b) 崩壊現場地の最上部分

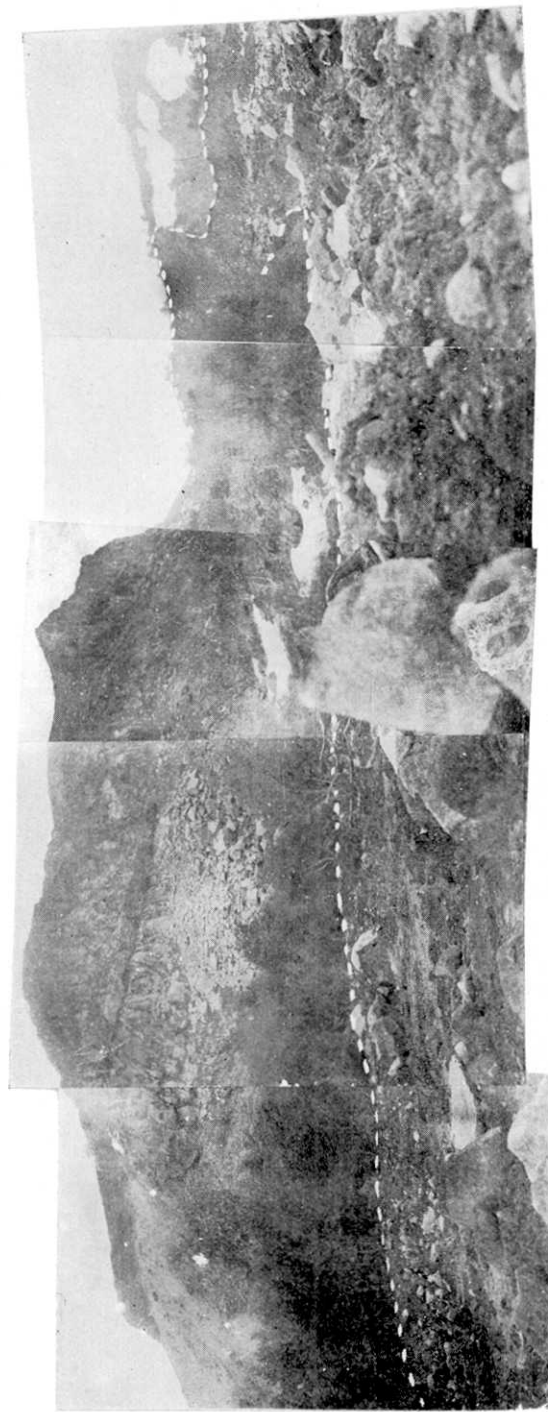
Fig. 13. b) The upper part of the landslide.



(震研彙報 第十六號 圖版 飯田)

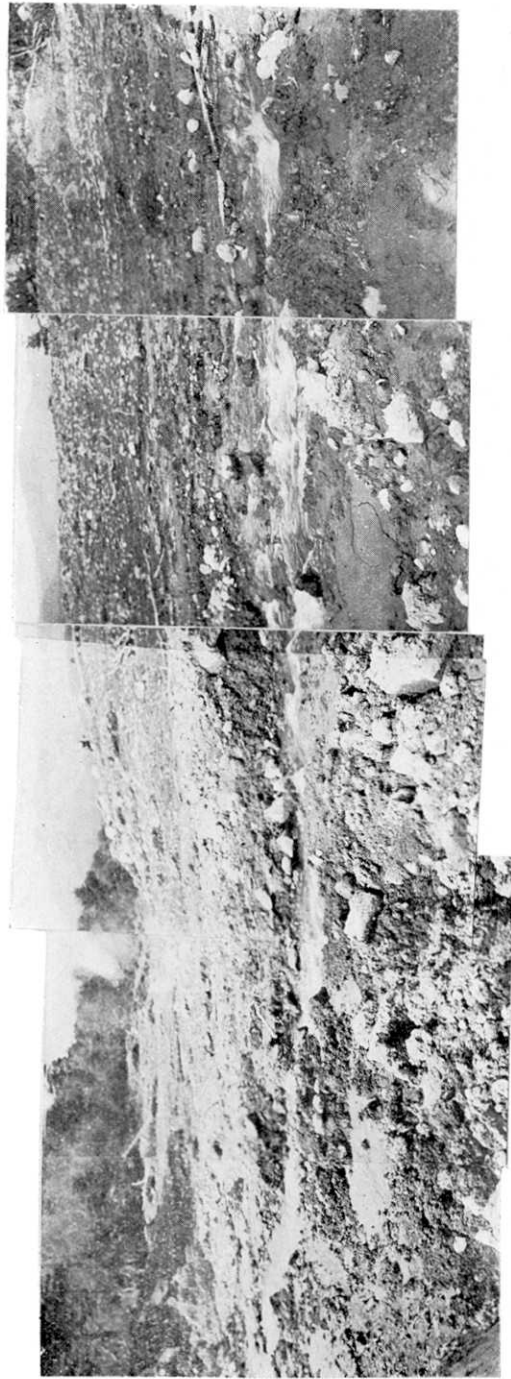
第 14 圖 a) 燕岩崖下の残雪の割れ目

Fig. 14. a) Cracks of Snow at the upper part of the landslide.



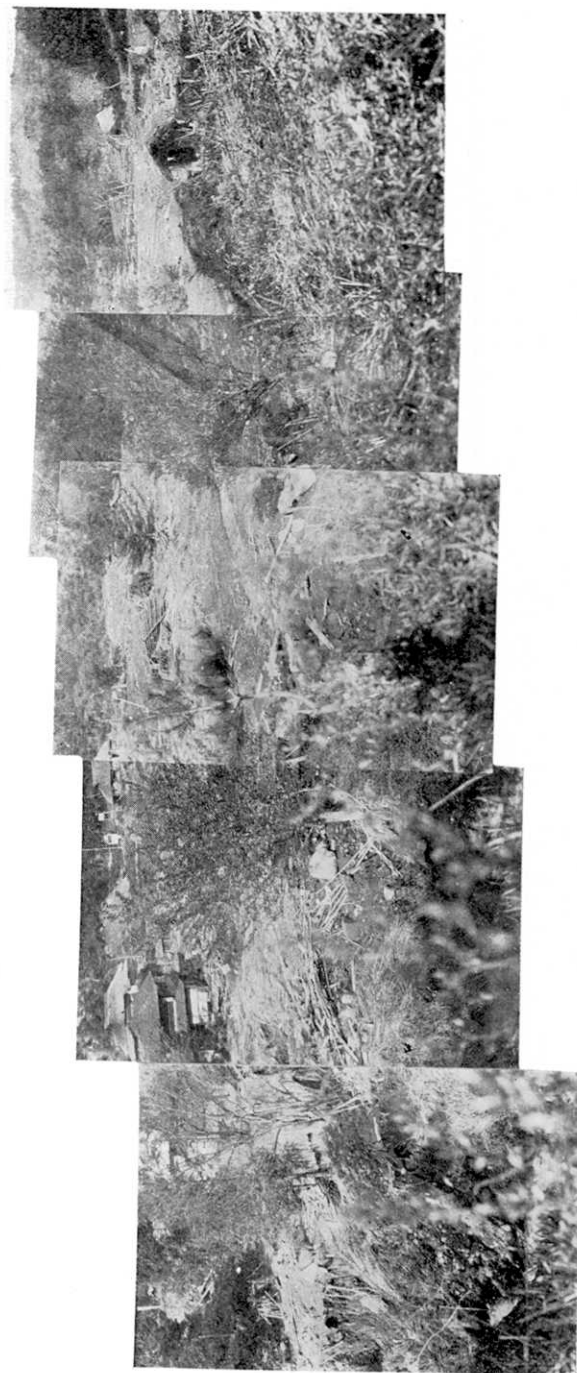
第 15 圖 燕岩附近に於ける崩壊地 (崩壊現場地を隔たる 300 m の地点より望む)

Fig. 15. The upper part of the mud flow.



第 16 圖 土砂流の跡 (川上温泉より 500 m の山腹, 此の邊より 3 方に分岐して川上温泉に押し出した。)

Fig. 16. The middle part of the mud flow.



第17圖 川上温泉に於ける山津浪の跡

Fig. 17. View of the destruction of houses at the Kawakami Hot Springs.

46. *The Mud Flow that occurred near the Explosion-crater of Mt. Bandai on May 9 and 15, 1938, and some Physical Properties of Volcanic Mud.*

By Kumizi IIDA,

Earthquake Research Institute.

On May 9 and 15, 1938, a mud flow invaded the Kawakami Hot Springs, a resort about 3 km from the explosion-crater of Mt. Bandai, Iukusima Prefecture, and besides demolishing ten houses, killed and wounded a few people.

This paper gives a general description of the mud flow and its phenomena, namely, certain physical properties such as the coefficient of viscosity, modulus of elasticity, cohesive force, and the frictional angle of the mud. In the present case the velocity of the mud flow was estimated about 25 m/sec, the coefficient of viscosity of the mud taken from Kawakami arrived at by experiment is of the order of 10 (c.g.s.) with 40 per cent water content, and 10^3 (c.g.s.) with a 23 per cent water content. This coefficient decreases somewhat rapidly with increase of water content. The modulus of elasticity decreases also with the water content, but its cohesive strength suddenly increases between 5~15 per cent water content, the maximum value being reached at 10 per cent. The frictional angle of certain kind of mud increases also between 10~20 per cent water content. The frictional angle and the cohesive strength of the mud as it flowed on May 9 and 15 must have been smaller than the foregoing values, as, according to estimate, the water content of the mud at that time was about 40~60 per cent.

The action of the underground water that penetrated the volcanic ash remaining in the explosion-crater since the great eruption of Mt. Bandai in 1888, seems to be one of the most important causes of the present disaster. It is worth noting in this connexion that more snow fell this year in that district than at any time during the last ten years. Owing to the water from the melting of these snows, the volcanic ash became super-saturated with water, thus disturbing the stability of the volcanic sands, resulting in the present mud flow.
