

高知県大川村を襲った幻の土砂災害、山津波の正体を暴く

高知大学大学院黒潮圏海洋科学研究科流域圏環境科学講座 村井 政徳

高知大学理学部自然環境科学科防災科学講座 横山 俊治

I. はじめに

幻の土砂災害と呼ばれている山地災害がある。

それは、地方の方言として、おうじゃれ、蛇抜け（じゃぬけ）、山しお、猫まくり、鉄砲水、山津波といった名前と呼ばれてきた。おうじゃれは大きな「ザレ」＝崩れに由来する。蛇抜けは丸い断面をもった長い土石の流れをイメージしたもので、木曾地方でよく使われる。山しおは「山潮」、すなわち山から谷を駆け下ってくる土石の流れを海の高潮に例えた言葉である。猫まくりは群馬県の方言で、当地の主要産業であった蚕を飼うときに使うムシロを「ねこ」と呼んでいるが、土砂の流れる様子を丸めた「ねこ」に例えている。あるいは、土石の流れが「ねこ」の片方をもって上下に揺すっている様子に似ているからという説がある。このほかに、猫の手の動く様子に似ているからという説や、「根っこまくり」が訛ったものという説もある。鉄砲水は飛騨地方の方言で、突然に多量の水を含んだ土石が谷から跳び出すように流れてくる様子をイメージしている。

高知のように南海地震の来襲による津波被害が問題視されている地方では、海から押し寄せてくる津波に比較して、山から来る土石の流れを山津波と呼ぶことに現実味を感じるかもしれない。昨年発生したスマトラの大津波の映像は世界に発信され、津波とはどのような現象なのか理解が深まったはずである。では、一昨年の台風災害で山津波の理解は深まったであろうか？

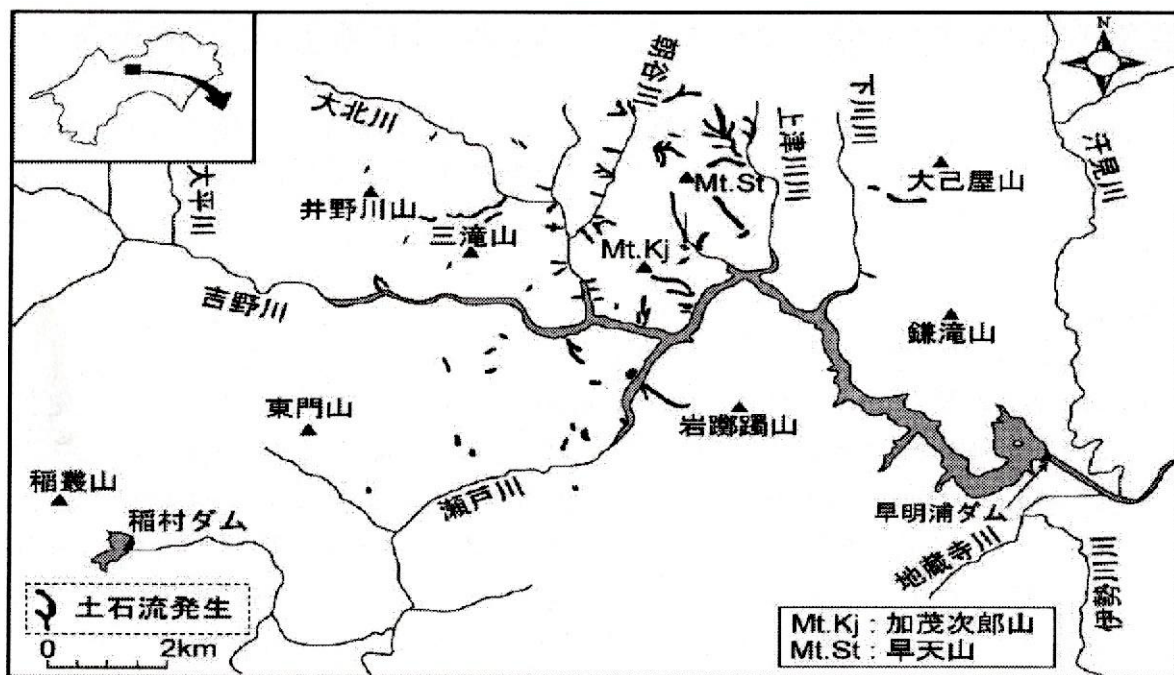
この幻の土砂災害の学術用語は土石流である。最近、土石流はマスコミによって一般社会にも定着したように思われる。土石流はもはや幻の土砂災害ではなくなったと考えている研究者もいる。しかし、そうであろうか？ いまも、土石流が発生してから停止するまでの間の、土石の流れ下る様子をリアルにイメージすることが難しいことに変わりはない。一方、最近では危険な現場から早々に避難していることが多く、土石流が目撃される機会はむしろ少なくなっている。それでも、我々は土石流の実相を正確に捉えていると言いきれるであろうか？

II. 土佐郡大川村を襲った台風 15 号による山津波

1. どのような降雨が山津波を発生させたか

2004 年 8 月 17 日から 18 日にかけて台風 0415 号（アジアネームはメーギー）からの暖湿流によって活発化した停滞前線の活動により、四国中央部付近を中心とした豪雨が発生した。高知県嶺北地方では 2004 年 8 月 17 日 0 時過ぎから雨が降りだし、同日 10 時から夕刻にかけて激しい雨を記録した。大川村役場のある小松地区では、17 日 16 時から 18 時に時間雨量 100mm を超す雨量が 2 時間も続き（2 時間で 205mm）、降り始めから 18 時までの累積雨量は 518mm に達した。山津波の発生は、時間雨量ピークを迎えるまでの 17 時～18 時にかけて集中している。

この台風による豪雨は北東南西方向に筋状にのびるのが特徴で、大川村東部と土佐町の北部にまたがる範囲で累積雨量 400mm を超え、山津波をはじめとする土砂災害が多発した。嶺北



山津波発生箇所分布図

地方に豪雨をもたらした降雨の中心は、その後四国山地を越えて北西方向に移動し、東予および西讃でも土砂災害を発生させることになる。

2. 山津波発生地域の地形・地質

山津波は早明浦ダムのダム湖上流にあたる吉野川左岸地域と吉野川左岸側の支流瀬戸川沿いに集中している。山津波の発生数は総数 97 箇所、そのうち 72 箇所が吉野川左岸地域で発生している。

山津波の発生した地域の地質は三波川帯と呼ばれる地質構造帯に属していて、高圧・低温型の変成岩である結晶片岩が分布している。結晶片岩は片理と呼んでいる面状の岩石組織が発達していて、それに沿って板状に剥がれやすい性質をもっている岩石である。現地で見られる代表的な結晶片岩には、泥質岩起源の黒色片岩・海底玄武岩起源の緑色片岩（四国の青石）・石英主体で、しばしば赤鉄鉱や紅廉石の色で赤みを帯びた石英片岩などの岩相がある。結晶片岩の特徴のひとつに褶曲がある。ミリオーダーからメートルオーダーの様々なスケールの褶曲によって片理はぐにゃぐにゃに曲げられている。

しかし、岩相の分布を追跡して地質図を描いていくと、各岩相は東西から東南東に延び、 $20 \sim 30^\circ$ で緩やかに北に傾いた板が重なったような分布をしている。このことは、岩相の分布に調和的な片理も大局的には緩やかであることを示している。

早明浦ダム上流地域では、吉野川は大局的には西から東に流れているために、吉野川の右岸側の斜面は斜面の傾き方向と結晶片岩の片理がつくる大局的な面構造のそれとが同じ側を向く構造をもっている。このような斜面を流れ盤構造の斜面と呼んでいる。一方、吉野川の左岸側の斜面は斜面の傾き方向と結晶片岩の片理がつくる大局的な面構造のそれが正反対になる受け盤構造をもっている。吉野川の右岸側の斜面は左岸側と比べると緩傾斜で、主に黒色片岩が分布し、片理に規制されて滑動したと思われる地すべり地形が発達している。これに対して、今回の山津波が多発した吉野川の左岸側の斜面は受け盤構造であることに加え、黒色片岩の上

位に黒色片岩よりも硬い緑色片岩が分布しているために斜面勾配が急で、谷には多数の滝が連続する。山津波は多数の滝が発達する谷を流れ下ったことになる。

3. どこで山津波は発生したか

山津波は山ひだや0次谷と呼ばれている開いた凹型斜面で発生した崩壊が始まりである。山ひだの下流はだんだんと凹地が深くなり、谷（1次谷）になっていく。山津波は尾根直下の山ひだの崩壊で始まり、谷に沿って流れ下っていった。

空中写真でみると、山津波発生源となった崩壊の規模は非常に小さく、先細りになっているようにもみえることがある。そこでは崩壊が起きているかどうかはわかりにくい。崩壊現場に赴くと、崩れたのは地山の岩盤ではなく、斜面に堆積している堆積物であることがわかる。

加茂次郎山鈴ヶ谷の山津波発生源には、緑色片岩の長径3m程度の巨礫を大量に含む岩屑が分布し、樹齢20～30年の杉林になっている。これらの岩屑も古い山津波の堆積物である。かつての山津波堆積物の分布を明らかにすることも山津波発生場所の推定に有効である。

崩壊跡地は長さ約40m、幅約10mで、高さ1～4mの滑落崖で取り囲まれている。崩壊跡には傾いたり倒れたりしたスギが流されずに残っているほか、むき出しになった緑色片岩の巨礫も散在している。滑落崖の外側の斜面にもクラックが発達していて、クラックを跨いで伸びる樹根は弦を張りつめたかのようにピーンと張っている。樹根の緊張方向は斜面下方を向き、未だに岩屑は不安定である。

4. 小さな山崩れから山津波に成長

加茂次郎山鈴ヶ谷の山津波発生源の崩壊跡では、滑落崖のすぐ外側の斜面に植わっているスギに泥が付着している。泥は、樹幹の下流側の面に沿って、高いものでは根元から2mの高さまでずっと付着している。一方、上流側の面には付着していない。この泥は崩壊時に斜面から泥を含んだ水が高速で噴き出したことを示しているものと解釈している。

滑落崖には泥水が噴き出したと考えられる穴が空いている。このような穴をパイプ孔と呼んでいる。パイプ孔は数10cm程度の奥行きがある。パイプ孔の奥には周囲よりも高透水性の地盤が続いていて、豪雨時にはそこが水ミチとなって地下水が流れると考えられている。岩屑の中に地下水を集中的に流すパイプが形成されていて、そのパイプの排水量を超える地下水が一気に流れてきたときにパイプは破壊され、それが山津波の発生源になったのである。

このような泥水が勢いよく噴き出したことを示すパイプ孔の存在や泥の付着した樹幹は加茂次郎山鈴ヶ谷以外の崩壊跡地でも観察される。山津波は谷に流れ込んだ地表水の勢いで谷底の堆積物が押し流されたものではないことが明らかになった。山の斜面地下には、我々が地表では見ることができない水ミチが網目状に走っていて、山ひだは水ミチが集まってくる場所に違いない。普段の水ミチは空っぽであるが、豪雨時にはその水ミチに沿って地下水が流れ、それが山ひだに集まる。地下水をうまく排出できないと、斜面は一気に破壊・流動化して山津波のたまごが生まれる。土石と泥水が混在一体化した土石流れは谷の堆積物を削り取り、樹木をなぎ倒しながら成長し、勢いを増していく。これが山津波である。

5. 山津波の破壊力

5.1 樹木をへし折る

山津波が流れ下った谷は樹木が失われて空いているので、空中写真でも望遠目視でも、どの谷のどこからどこまで山津波が走ったかを知ることができる。谷の中央部に植わっていたはずの樹木はほとんど根から掘り起こされて下流に押し流されてしまったのか、現在は跡形もなく

失われている。しかし、径 1m 近くある大木が根元近くのところでへし折られているのが観察される。折れ口はかなりささくれ、ささくれたところに砂礫が挟まっている。

5.2 流木も危ない

山津波でへし折られた樹木は山津波とともに谷を流れ下っていく。土石だけでなく、流木も破壊力があって危ないのである。大川村の山津波はスギの植林地の中を流れているので、流木はスギがほとんどである。スギの高さは 18 ~ 24m であるので、流木は植わっている樹木に確実に引っかかる。引っかかった樹木が一時的ではあるにせよ、谷をダムアップしたに違いない。ダムアップされたことで山津波は威力を増すであろう。流木が樹木をへし折った可能性もある。流れる過程で、流木も折れたはずである。流木に折れたものが多いのはそのためである。早明浦ダムに流れ込んだ流木の中には切断された樹木がかなりあった。山中に放置された間伐材も危険な流木になることを示している。

1999 年 6 月の広島市の山津波や 2003 年 7 月の九州太宰府の山津波では、土石ではなく、流木が民家の二階を破壊している。また、流木は土石よりも遠くまで流れるので、洪水流中の流木も構造物を破壊する。2005 年 9 月の台風 14 号では岩国の錦帯橋の橋桁を流失させた。

5.3 樹木に小石が突き刺さる

山津波の流れ下った谷では、樹木はへし折られなくともさまざまなダメージを受けている。そのひとつが小石の突き刺さり現象である。突き刺さっている小石は緑色片岩と石英が多く、その大きさは数 mm から数 cm で、最大 56mm であった。多くの小石は樹皮が剥がれ落ちたところに突き刺さっている。また、樹幹に小石は埋め込まれていないが、小石の衝突痕と思われる穴や樹木をかすめた削り傷が残されているものがあつた。小石の突き刺さっている方向は山津波の流れの方向を示しているものと考えている。小石の多くは山津波の流下方向を示す樹木の上流側から突き刺さっている。しかし、一部の小石は谷の側面から突き刺さっている。これは谷の側面にあたって方向を変えた山津波の流れの方向を示しているのかもしれない。

小石の突き刺さり現象は樹木にとっては大きなダメージにはならないが、山津波に巻き込まれた人にとっては致命傷になるかもしれない。

5.4 巨礫を押し流す

山津波で巨礫が押し流されることは昔から知られている。山津波の先頭を巨礫群が流れている映像がある。山津波の流れの中で巨礫は上へ、上へ、そして前へ、前へと押し出される。このようにして、巨礫であっても密度の高い泥水の中では浮き上がり、押し流される。

今回の大川村の山津波でも多くの巨礫が運ばれた。いくつか紹介をしておく。瀬戸川左岸の寺谷で発生した山津波で運ばれた砂質片岩（砂岩が源岩）が最も大きく、その大きさは $8.0 \times 4.6 \times 1.5\text{m}$ で重さにして約 150t あつた。折れた流木がこの巨礫の下敷きになっていた。

加茂次郎山鈴ヶ谷の山津波では、 $2.0 \times 2.6 \times 5.6\text{m}$ で重さ約 80t の石英片岩の巨礫が流された。この谷には過去の山津波で運ばれたと考えられる緑色片岩の巨礫がある。現地ではこの巨礫をエボシ岩と呼んでいる。今回の山津波でエボシ岩は移動しなかったが、これまでの豪雨時にはいくばかりか下流に移動しているらしい（和田晴幸氏証言）。

5.5 谷底堆積物を削り取る

加茂次郎山鈴ヶ谷の山津波をみると、発生源の崩壊量よりも山津波堆積物の堆積量の方が多いので、谷底に堆積していた過去の山津波堆積物や谷の両側斜面から崩れてきた崖錐堆積物を山津波が削り取って自ら成長していったものと思われる。ただ、実際に削り取られた跡が残っ

ている現場が少なく、もともと谷底に地山の岩盤が露出していたところも多いので、谷のどこに堆積していた堆積物をどれくらい削り取ったかを推定することは難しい。

5.6 田畑をえぐる

谷からあふれ出て田畑を流れた山津波は激しく田畑をえぐって深い溝（ガリー）を刻んでいる。さらに、深い溝の底を流れるようになった山津波は地中に横穴を掘って削っているところもある。この例から明らかなように、土石混じりの泥水の侵食力は相当なものである。上述の谷底堆積物にはガリーも認められず、侵食の実態は不明であったが、間違いなく侵食は起こっているはずである。山津波が発生した谷では、谷を横切る道路の盛土の下流側がえぐられているが、これも土石混じりの泥水の侵食によるものである。山津波の規模が小さくても盛土の先駆はしばしば起きていた。

6. 動いている山津波の素顔

6.1 土石の前を流木がゆく

山津波が流れ下った谷は、谷沿いの樹木がすっかり押し流されて黄褐色の地肌がむき出しになっているので、遠望でもはっきりとわかる。山津波が発生していなければ、樹木が茂っていて、遠望で谷筋をのぞき込むことはできない。にもかかわらず、山津波堆積物の中には流木は少ない。土石の流れの中に巻き込まれた流木は樹皮が剥がれ、幹の表面がささくれている。このささくれは土石が流木に衝突したときにできたものと思われる。豪雨が去った後、早明浦ダム湖では、流木が湖面をびっしり埋めた。これらの流木は山津波で倒され運搬されたものである。ガードレールに捕捉された流木にのしかかるように土石が堆積している例は流木が土石の前を流下したことを示す証拠である。実際、土石の前を流木が流れていくのを目撃した人もひとりいた。

6.2 滝の上から飛び出す

山津波が流下した谷には多数の滝が発達している。滝の高さは数 m から 10m を超える。山津波は滝上から勢いよく飛び出しているように見える。そのように考えるのは滝をつくっている崖に植わっている樹木や草木のダメージが小さいからである。

2004 年台風 0415 号による木沢村の山津波災害では、民家は滝の直下にありながら破壊されず、屋根の上には多数の土石が載っている。滝上から飛び出した山津波が滝の直下の民家を飛び越したものとみられる。

このような事例は、山津波は滝上から飛び出すだけの流速をもっていたことを示している。と同時に、滝から飛び出すことで、山津波は河床との摩擦によるエネルギーの損失が少なく済んだと考えている。

6.3 路面を走る

県道 17 号線だけでなく、生活道が谷を横切るところでは、道路よりも上流側の谷の勾配が緩くなり、土石の堆積が始まっている。県道 17 号線では、道路を越えて流下した山津波も早明浦ダムの湖底に達したところ（道路から湖底まで高さ約 30m くらい）か、谷の途中で停止している。しかし、上津川ではアスファルト舗装の道路面を流れた土石は高さ 10 cm の路肩縁石を越えることなく、路面を薄く広がりながら、流れていく。

土居トンネル坑口では路面に流れた土石の跡が道路法面の擁壁やトンネルの内壁に付いている。土石跡の上面の勾配は 3° くらいで、約 70m 流れて、土石の高さが縁石の高さくらいになっている。路面にでた土石は、路面上を流れることで急激に薄くなったために、路肩から流れ

出ることが少ないのである。

6.4 山津波の流れやすさ：等価摩擦力による評価

等価摩擦係数（標高差／崩壊・流動長）は、0.18～1.03の範囲にあり、概ね0.3～0.8を示す。2003年大分県日田市（第四紀阿蘇火砕流堆積物が分布）の流動性崩壊の0.170～0.175、花崗岩分布地域で発生した2003年大宰府崩壊・山津波の0.217～0.357、1999年広島災害の山津波の0.15～0.35に比べると大きな値を示し、他の地域の山津波より今回高知県で発生した山津波は流動性に乏しい。

6.5 二階建て民家の屋根を越えた山津波

山津波が発生した溪流には、山津波の流下に伴って生じたさまざまな流下痕跡が残っている。この流下痕跡は、1 溪岸斜面上の立木下流側に付着した泥、2 溪岸斜面上の立木に突き刺さった礫、3 溪岸斜面上に巻き上げられた溪床礫、4 溪岸斜面上の立木の根元に捕捉物であり、山津波が通過した時の水位を表している。

鈴ヶ谷での山津波が通過した水位は5m以上で、高いものでは7mにもなる。鈴ヶ谷以外の9つの溪流でも3.5mより高い水位で山津波が通過している。

6.6 オリンピック100m走ランナー並みのスピード

今回発生した山津波の流速を流下痕跡から推定した水位の高さをもとに推定してみる。位置エネルギー／運動エネルギー方程式： $U = (2gh)^{1/2}$ より算出する方法を用いて流速を求めると（ U : 山津波の流速（m/s.）、 g : 重力加速度（ $=9.8\text{m/s}^2$ ）、 h : 山津波の通過した高さ（m））、鈴ヶ谷での山津波が通過した高さは4.8～7.0mであったので、流速は9.7～11.7m/sとなる。これは時速にすると約35～42km/hに相当し、オリンピックの100m走ランナーでも山津波から逃れることは出来ないスピードである。

III. 山津波災害の被害軽減に向けて

2004年、四国には6個の台風が上陸し、崩壊、山津波、地すべり、洪水、高潮、塩害、風倒木と多種多様の災害が発生し、台風災害の総合商社の感があった。

山津波も複数の地質体で発生した。その多くは崩壊に起因しており、従来言われていたような河川流の侵食による溪床堆積物の流動化に起因した山津波はほとんど皆無であったように思われる。このことは単に降雨の監視だけで山津波の発生が予測できるものではないことを示していて、崩壊発生の予測が必要になる。それには、崩壊発生の地形・地質条件の把握が必要になる。さらに、大川村の山津波がそうであったように地中のパイプ孔の分布や形態も問題にしなければならない。山津波発生の予測は相当難しい。

2004年に四国で発生した山津波をみていると、地質体ごとに、山津波発生の引き金となった降雨量や降雨強度が異なっている。このほかに、発生材料（地質）、発生規模、流れやすさの指標である等価摩擦係数が異なっている可能性もある。それらを地質ごとに整理することによっても、山津波の中期予測と防災に役立てることができよう。

長野県南木曾町伊勢小屋沢水害記念碑「悲しめる乙女像—蛇ぬけの碑—」は、個々人が兆候を捉えて山津波から身を守る術が書かれている。同じような内容は各県の防災パンフレットにも記されている。しかし、自然から離れた日常生活を送り、しかも、早期に避難していなければ、自宅に閉じこもって豪雨の通り過ぎるのをじっと待っている現代人にとって、蛇抜けの碑が自らの身を守る術になりうるか疑問である。

まずは、自分の家の建っている場所、通勤・通学路がどのような自然条件のところなのか、知っておく必要がある。国や県の作成している土石流危険渓流マップによる確認も重要である。台風10号で大規模な山津波を発生させた徳島県旧木沢村の阿津江、「アヅ」と「エ」は共に災害地名である。地名からも過去の災害履歴を知ることができる。高知県では良く目にする災害地名は「潰（ツエ）」のつく地名である。

そのうえで、家の近くに渓流があったら、たとえ普段は水が流れていない渓流であっても、上流まで歩いてみて個人が自分の目でチェックしてみることをお勧めする。天気の良い春の日にハイキングを兼ねた裏山点検と渓流点検は防災意識の高揚にもなろう。地域の砂防ボランティアの方の案内があれば、なお良い。

一世代くらい前に何もなかったからといって山津波は安心できない。大川村のような高知県の山間地域は、平地と比較するとどこでも山津波の危険があるということになって、慣れっこになってしまうのも危険である。しかし、加茂次郎山の鈴ヶ谷では、道路の近くに過去の山津波堆積物が厚く堆積していて、過去に山津波が繰り返し発生していたことを示している。道路のすぐ出口のところが滝になっている渓流では山津波は飛んでくる。山間地域であっても、特別に注意すべき谷というものを抽出することはできる。今回山津波の発生した谷も要注意である。