

2003年7月水俣宝川内土石流災害

—地質的背景・発生機構・今後の予測—

PREDICTION OF LARGE-SCALE DEBRIS FLOW BASED ON THE HOGAWACHI DEBRIS FLOW DESASTER IN 2003

北園芳人¹・長谷義隆²・工藤伸³・坂本省吾⁴・福田泰英⁵・岩内明子³

Yoshito KITAZONO, Yoshitaka HASE, Shin KUDO, Shogo SAKAMOTO,
Yasuhide FUKUDA and Akiko IWAUCHI

¹ 熊本大学大学院自然科学研究科環境土木工学 (〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1)

² 熊本大学大学院自然科学研究科地球環境科学 (〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1)

³ (株)アバンス (〒862-0942 熊本市江津 1-3-48)

⁴ 復建調査設計(株) (〒862-0913 熊本市尾ノ上 1-25-21)

⁵ 基礎地盤コンサルタンツ(株) (〒862-0954 熊本市神水 1-25-11)

Key Words: Hogawachi debris flow, prediction, planation surface, catchment area, slope deposits

1. はじめに

平成15年7月20日、午前4時過ぎ、水俣市宝川内地区および深川地区で発生した土石流は死者19人に及ぶ大災害をもたらした。災害直後より、多くの研究者、行政関係、コンサルタント関係などが現地調査を実施した。現在は、災害から約3年が経過しており、2基の砂防ダムと13基の治山ダムが構築され、また土石流発生源となった上流側右岸側の斜面崩壊地の対策工も完了している。

水俣宝川内の土石流災害発生に関わる事象について、それぞれの研究分野で現象把握や考察の程度に若干の相違はあるものの、発生原因やそのメカニズムについては概ね結論が得られている。筆者らも土石流発生後から災害発生現場や周辺地域にも数度の調査を行い、地質や斜面崩壊の原因および発生機構や流動の状況を推定し、その一部については、機会を得て報告した^{1) 2)}。ここでは、対策工事に際して実施された土石流発生源である崩壊地でのボーリング調査結果および崩壊地内での土留工の床掘面の観察結果を加えて、大規模土石流発生の地質的背景と発生機構を明らかにすると共に、さらに今後の対応、特に、類似の災害発生が予測される地域がどのような場所なのかについて考察を行うものである。

2. 土石流流動のメカニズム

災害発生の発端は、7月20日午前1時から6時に

かけて水俣、深川で時間当たり50mmを越える降雨があり、深川では2時から6時の間の降雨量は268mmに達し、特に午前4時から5時までの1時間雨量は91mmに達する集中豪雨であった。土石流が発生した宝川内地区の集川上流域は海拔350~400mの山地であることから、深川における観測値よりも多量の降雨があった可能性もある。

このような降雨状況の中で、後述する地質状況(肥薩火山岩類ステージ1の凝灰角礫岩をステージ2の溶岩が覆っている)により、地表から浸透した水が下部の凝灰角礫岩で止められ、その地下水圧により上部のステージ2の風化安山岩が崩壊して最初の斜面崩壊を起こした。径1~2m大の安山岩巨礫を含む崩壊土石は溪床に堆積し(ごく短時間河道を塞いだ可能性も考えられる)、上流側から供給された大量の河川水と共に、急勾配の溪床を一挙に流下し、以前より溪床に厚く分布していた崖錐堆積物



図-1 調査位置図



写真-1 溪床に厚く堆積している崩積物(↓)

(溪流兩岸の大小の斜面崩壊による崩積土が長年の間に溪床に堆積したものを巻き込んで大規模な土石流となったと推定される。

なお、坂本ほか³⁾は、空中写真と現地調査を基に、土石流の流路を詳しく描いているが、矢城山の山頂から南南西にほぼ1.5km離れた、標高465mの高まりのすぐ南斜面で発生した土石流は、その斜面を下って谷に入り、ほぼ南南東方向の谷(百間壕の東の谷)沿いに50m~70mの幅で流れ下っている。その後、約800m下流で「集(あつまり)」集落につながる緩斜面にでて幅を100~120mに広げ、谷出口の民家を巻き込んで宝川内川に達し、宝川内川では幅200mに広がっている。

土石流が通った流路の上流域では、しばしば川底の堆積物がえぐり取られてこの地域を構成する地質が露出し、基盤の四万十層群とこれを不整合に覆う凝灰角礫岩、さらにこれを覆う溶岩が観察される。また、流路に沿ってはそれ以前に堆積していた崩積土の断面が観察される(写真-1)。

3. 集川流域の地表踏査結果

大規模な土石流が発生した集川流域について、地形の特徴を把握するために空中写真判読(既往写真、1974年撮影)を行い、また10回の現地調査を実施した結果を図-2および図-3に示す。

集川流域内に分布する地質は、下位より四万十層群、肥薩火山岩類、土石流堆積物-1、土石流堆積物-2、入戸火砕流堆積物(シラス)、崖錐堆積物および土石流堆積物-3(今回)・河川成堆積物である。

(1) 四万十層群(S)

この地域の基盤岩である四万十層群は砂岩や頁岩からなり、宝川内川や集地区の右岸側(災害を受けた側)の集落や、土石流が発生した集川の標高160m付近と230~270m付近の溪床に露岩がみられる。露出している四万十層群は地層の傾斜が急で断層や褶曲が認められ、内部の構造は複雑である。

(2) 肥薩火山岩類(Tb, An1, An2)

肥薩火山岩類については、豊原ほか⁴⁾⁵⁾の地質図があり、永尾ほか⁶⁾では、火山活動のステージ区分が示されている。これらの成果を基にすると、この地域には肥薩火山岩類のステージ1とその上に重なるステージ2が分布する。

a) ステージ1: 凝灰角礫岩(Tb, An1)

ステージ1の凝灰角礫岩は、主に割れ目の少ない凝灰角礫岩からなり、集川沿いでは少なくとも上下2枚の凝灰角礫岩が認められる。集川流域に露岩する凝灰角礫岩の大部分は下位の凝灰角礫岩であり、径数cm~1m大の安山岩礫や黒色スコリアや白色軽石を多く含み、マトリックスは固結していて礫とマトリックスは分離しにくく、しばしば成層構造が観察される。下位の四万十層群との関係は、標高160m付近ではほぼ東西方向の断層で接し、標高230m付近では四万十層群を不整合に覆っているのが観察される。

b) ステージ2: 輝石安山岩溶岩(An2)

ステージ2の溶岩は、柱状節理や板状節理が発達する安山岩であり、集川流域では、右岸側(今回崩壊が発生した側)の斜面では山地上部を構成して広く分布するのに対し、左岸側では、今回の崩壊地の対岸の山体上部に広く分布するものの、これより下流側の左岸側には殆ど分布しない(図-3)。今回の崩壊地では、下流側の側方滑落崖沿いには柱状節理が発達した硬質安山岩溶岩が分布するが、表層部には玉ねぎ状風化が顕著にみられる。また崩壊地中央部から上流側滑落崖に分布する安山岩溶岩は、風化が進んでいて土砂化や粘土化が顕著である。

(3) 土石流堆積物-1 および土石流堆積物-2 (Tf1, Tf2)

集川流域では、過去に発生した土石流堆積物(ここでは2層確認)が観察される。

土石流堆積物-1は、集川流域で最も古い土石流堆積物であり、下流域で左岸側の台地下部を構成している。層相は、全体的に褐色を呈するマトリックスの非常に締まった砂礫層で、礫は風化被殻をもつ風化礫主体であり礫分が非常に多い特徴をもち、礫の上方粗粒化が比較的明瞭にみられる。土石流堆積物-2は、マトリックスが比較的締まった砂礫であるが、含まれる礫は殆ど新鮮であり、風化被殻を持つ礫は見当たらない。下流域左岸側台地の斜面では、土石流堆積物-1の上位に土石流堆積物-2が重なっているのが観察され、今回発生したような、集川下流域まで大量の土砂を運んだ土石流は、今回の災害以前に少なくとも

2回発生したと推定される。

(4) 入戸火砕流堆積物（シラス）（P）

入戸火砕流堆積物は、非溶結の細粒軽石凝灰岩であり、集川下流域の兩岸台地の最上部を覆って分布している。本火砕流堆積物は、鹿児島湾北部の始良カルデラから約 29,000 年前(29,000 cal BP, 暦年代補正)に噴出した火砕流であり、集川流域では、下流域兩岸の狭い範囲に火砕流台地が残った状態である。なお、集川最下流部の砂防ダム床堀面の観察では、四万十層群と入戸火砕流との間に薄い円礫混り砂礫層（土石流堆積物-2）が分布しているのが確認された。また、入戸火砕流堆積物の上位には、土石流堆積物-2 よりも新しい時代の河川成堆積物である低固結の巨礫混じり砂礫層が分布する。

このことは、今回の災害発生以前に集川を流れ下った土石流は、約 29,000 年以上前に発生しており、その土石流堆積物が形成している谷出口の扇状地斜面の上で生活している人々が伝え聞くことのできる歴史時代以前の出来事であったことを示している。

(5) 崖錐堆積物（Dt）

集川の下流域の集落が位置する緩斜面は、宝川内川に向かって張り出した扇状地の上面に当たる。扇状地が周辺の溪流よりも発達していることは、集川流域内での移動土砂量が多いことを意味している。すなわち、溪流に面する斜面からの土砂供給量が多く（斜面崩壊が多い）、溪床には常に移動可能土砂が堆積している状況であったと推定される。

図-2 の空中写真判読図に示すように、今回の大規模土石流発生以前の集川の溪床には土砂が厚く堆積していると思われる緩斜面が中～下流域にかけて比較的連続的に分布している。また、この緩斜面の上方斜面、特に集川右岸側斜面には、肥薩火山岩類ステージ2の安山岩溶岩分布域内を崩壊頭部とする斜面崩壊跡地が多数読みとれる。

以上のことより、今回の大規模土石流の一部として流れ下った溪床堆積物は、主に集川兩岸斜面から供給された崖錐堆積物であり、過去2回発生が確認されたマトリックスの締まった土石流堆積物からは土砂の供給はなかったと考える。

(6) 土石流堆積物-3（今回）・河川成堆積物（Tf3）

今回の大規模土石流及び最近の洪水による堆積物で、集川下流部の扇状地を覆う形で最大径 3m 以上の巨礫を含む土砂が押し出している。また、集川の直上流の河床では、昔の水田面（昭和 59

年の製造日が記されたビニール袋が土に埋もれていた）を厚さ 50cm 程度の河川成堆積物（洪水堆積物）が覆っているのが確認され、さらに約 1m 下にも土砂に埋まった水田がみられた。この2層の水田を覆っている未固結砂礫層は、低地の水田が埋まる程度の小規模な洪水時に堆積したものである。

(7) 凝灰角礫岩上面の形状と地下水状況

一般にステージ1の凝灰角礫岩は地下水が浸透しにくく（難透水性層）、ステージ2溶岩は柱状節理や板状節理が発達することで隙間が多く、地下水を通しやすい（透水層）。また、難透水性層の凝灰角礫岩の上面が今回の崩壊地内中央部付近でごく緩やかな谷地形を形成していることから、ここに地下水が集まりやすい状況であったと考えられる。なお、土石流が発生した翌日（7月21日）の現地調査時においては、この凝灰角礫岩上面付近（溶岩との境界部付近）から、幾筋もの湧水が観察された（写真-2）。また、崩壊地内での土留工施工時に床堀面を観察する機会があったが、床堀面には高角度の断層が確認され、これは災害後の空中写真判読でリニアメントが判読された付近である。なお、晴天が1週間以上続いた後にもかかわらず、断層より下流側の床堀面の凝灰角礫岩（Tb）と安山岩溶岩（An2）の境界部からの湧水が多く、この地点で観察された。これに対して、断層より上流側の床堀り面には割れ目のない凝灰角礫岩（Tb）が分布していて湧水はまったく観察されな



写真-2 土石流発生翌日の崩壊地内の湧水（↓）

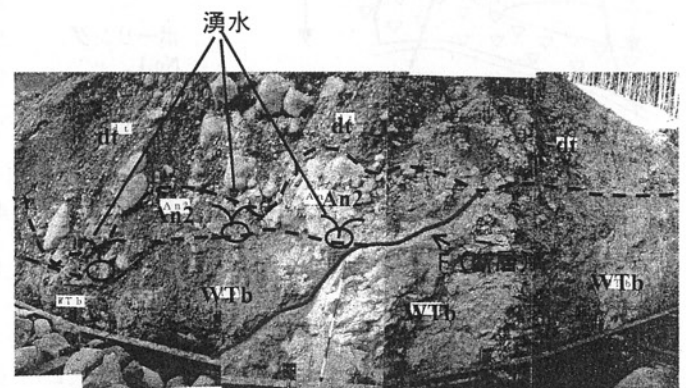


写真-3 崩壊地内の土留工床堀面にみられる断層
断層(F)より左側には湧水多く右側には湧水なし
WTb:風化凝灰角礫岩 An2:安山岩溶岩 dt:崖錐堆積物

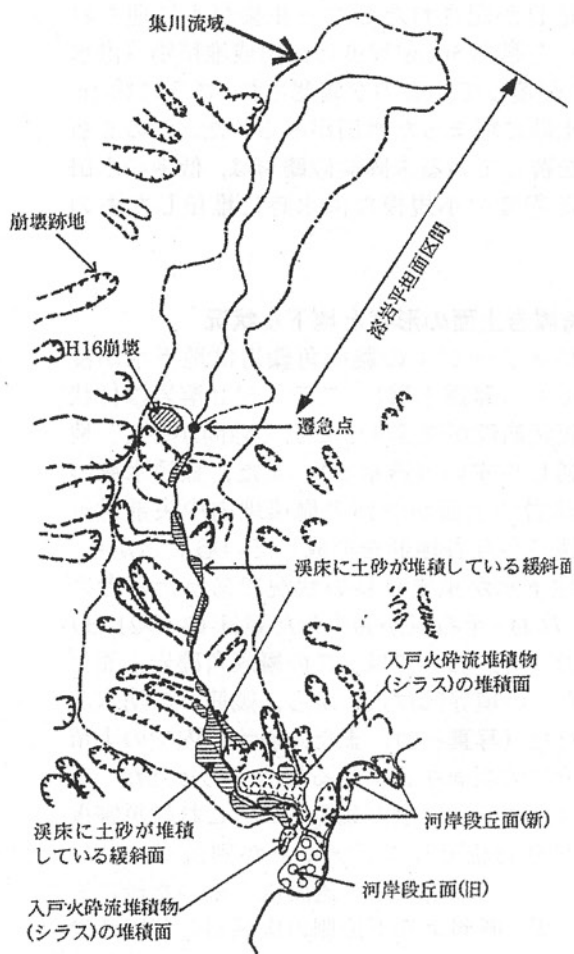


図-2 空中写真判読図

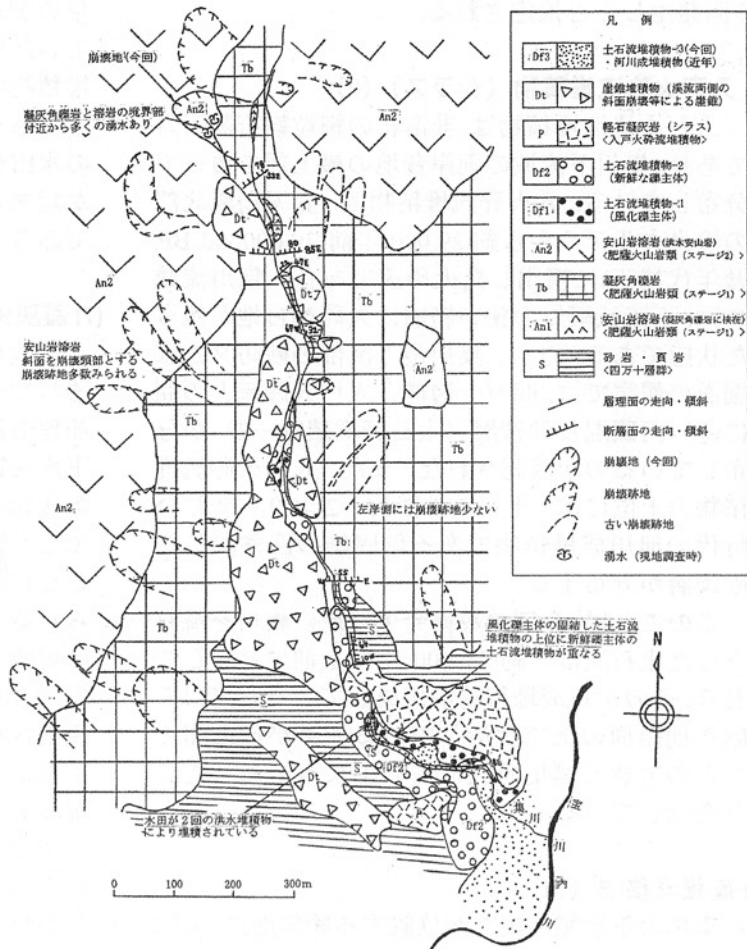


図-3 地質平面図

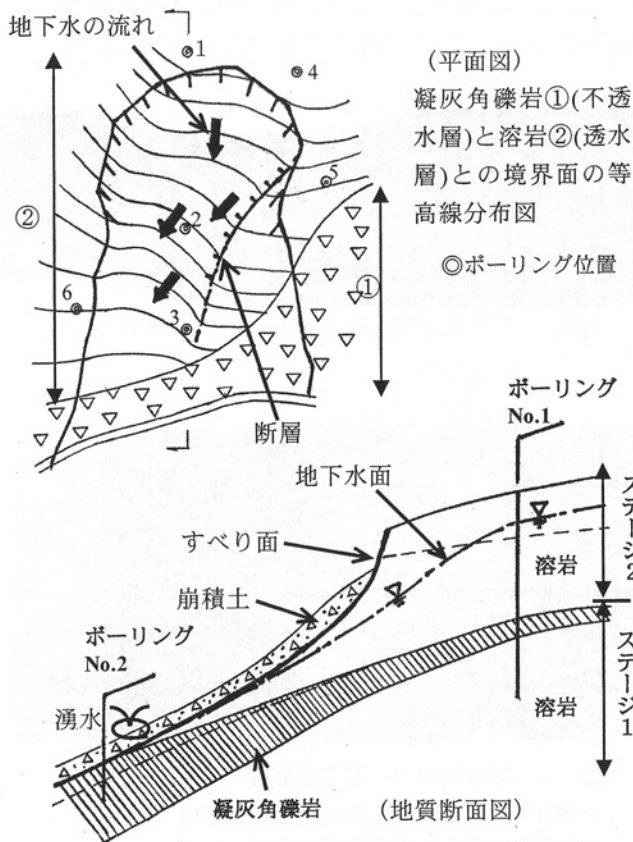


図-4 崩壊地平面図および地質断面図

かった(写真-3)。以上のことは、斜面崩壊の誘因となったと考えられる崩壊地内での地下水流動方向を、難透水層である凝灰角礫岩(Tb)の上面分布形状が規制していたことを示唆するものであり、特に断層によって崩壊地上流側の難透水層分布高度が相対的に高かったために、地下水は崩壊地下流側に集められる状況で流動したと推定される(図-4)。

なお、空中写真判読では、ステージ2の溶岩が山地上部に広く分布している集川右岸側斜面では、溶岩分布域内を崩壊地頭部とする斜面崩壊跡地が多数みられるのに対し、ステージ1の凝灰角礫岩主体の左岸側斜面で判読される崩壊跡地は非常に少ない状況である(図-2)。

4. 肥薩火山区における土石流発生の予測

(1) 集川では大規模な土石流が発生したのに隣の渓流では発生しなかったのか?

水俣宝川内土石流の発生状況については、筆者らは、単に斜面崩壊のみで今回の規模の土石流が発生したのではなく、崩壊地より上流部の雨水の浸透しやすい緩斜面(集水域)からの大量の地下水の供給

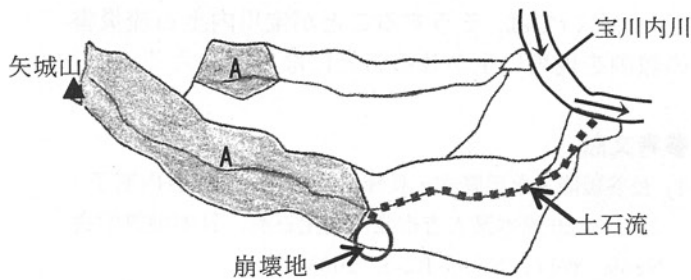


図-5 土石流が発生した集川とその東隣り溪流の遷急点より上流緩斜面の集水域(A)面積の違い

が規模の大きい土石流が生じた大きな要因と考え、上流部の集水域の広さを重視している。そこで、肥薩火山区の5万分の1地形図を用い、ほぼ溶岩原面にあたる基本的に緩やかな起伏をもつ地形面のうち、遷急点より上流側の集水域の面積が流域全体の面積の約50%以上を占める流域を抽出した(後述)。また、今回土石流が発生した集川と土石流が発生しなかった東隣の溪流とで遷急点より上流側の集水面積を比較すると、圧倒的に集川の面積が大きいことが分かった(図-5)。すなわち、土石流発生の重要な要因としては、単にその地区の雨量というよりも、1つの流域上流部の地下水かん養域の広さが重要であると考えられる。

(2) 土石流発生源となる崩壊が起こりやすい斜面の特徴

今回の土石流発生直後の崩壊地からの湧水状況や地表踏査結果より、肥薩火山区においては山体下部に分布する肥薩火山岩類ステージ1の凝灰角礫岩が難透水路、その上位に溶岩平坦面を構成して分布するステージ2の安山岩溶岩(その分布形状や分布量から「洪水安山岩」⁶⁾と呼ばれている)が透水路を形成している。溶岩平坦面上に降った雨水は、割れ目の多い溶岩に浸透して地下水となって凝灰角礫岩の上面地形(地下に分布するので実際には観察できない)に規制されて流下していき、凝灰角礫岩と溶岩の境界部が地表に露出した部分(遷急点となっている部分)で地表に流出する。この地表に流出する部分において、今回の崩壊が発生しており、図-3に示すように、過去に同じ形態の崩壊が多数発生していることがわかる。このことから、崩壊が起こりやすいのは、ステージ1の凝灰角礫岩とステージ2の安山岩溶岩の境界部が地表に露出する溪流の遷急点付近の斜面であり、割れ目に富む安山岩溶岩(透水路)が崩壊するのが典型的な崩壊パターンと考えられる。

(3) 土石流が大規模土石流へ発展する鍵は溪流の移動可能土砂量である

今回の土石流では、氾濫土砂量は10万 m^3 と見積もられており、土石流発生の引き金となった斜面崩壊の土砂量(5万 m^3)の約2倍の土石が集集落に達したことになる。これは、溪床や兩岸斜面に厚く堆積していた未固結の土石(溪床堆積物や崖錐堆積物)が土石流により削りとられて流出したためである。現地調査でも、土石流が通過した溪床は全面露岩しているのが確認され、溪床堆積物の全てが流出していた。

このことから、大規模土石流発生の危険性の高い溪流を抽出する場合、移動可能土砂が大量に分布している溪流を識別する必要がある。方法としては、図-2のように空中写真判読により、a)兩岸斜面における崩壊跡地や崩壊地の分布状況(崩壊跡地が多いと崩壊土石が斜面や溪床に厚く堆積している可能性あり)、b)溪床に移動可能土砂が厚く堆積していると思われる緩斜面の有無を把握することが挙げられる。また、熊本県では平成9~10年度に現地調査を踏まえて整備された「土石流斜面カルテ」を利用して移動可能土砂量の把握ができると考える。

(4) 過去の大規模土石流発生履歴を示す扇状地

今回大量の土石が氾濫して大きな被害が発生した集集落は、集川の谷出口から本流の宝川内川に向かって広がる典型的な扇状地地形の上に位置している。この扇状地を構成する堆積物は、約29,000年前よりも昔に発生した少なくとも2回の大規模土石流による氾濫土砂であることが明らかとなった。今回の土石流氾濫範囲は、ほぼ扇状地地形と一致していることから、集川では大規模土石流が数万年単位で繰り返し発生してきたと推察され、今回約3万年ぶりに発生したことになる。すなわち、肥薩火山区においては、溪流出口の扇状地地形は、過去に大規模土石流が発生した履歴を示唆していると考えられる。

なお、今回被害を被った集地区のみならず、地元で暮らす人々は、「先祖代々暮らしている安全な土地」としてこのような扇状地を認識している場合が多いのが現状である。今後、土石流のみならず土砂災害の防災・減災を目指していく上では、災害の発生頻度は必ずしも、人間が認識できる時間スケールとは一致しないことを念頭に置く必要がある。

(5) 大規模土石流の発生予測

宝川内土石流災害から導き出した「肥薩火山区」で大規模土石流発生の要因をもつ溪流の特徴は以下のとおりである。

- ① 溪流途中で凝灰角礫岩(難透水路；肥薩火山岩類ステージ1)上位の割れ目の多い安山岩溶岩(透水路；同ステージ2)境界が分布し、地形

の遷急点となっている。

- ②遷急点付近の溪流幅が狭くなっており、それより上流側の緩やかな起伏をもつ溶岩台地上面の集水面積が溪流内で非常に広い(全集水面積の約50%以上を占める)。
- ③溪流の両岸斜面に崩壊跡地や崩壊地が多数分布する。
- ④溪床に大量の土砂が堆積していると思われる緩斜面が分布する。
- ⑤溪流の谷出口に明らかな扇状地が存在する。

「肥薩火山区」として地形・地質状況が類似する宝川内川流域周辺域について、①～⑤のうち、公表されている地質図や市販の国土地理院発行の地形図で容易に判読できる①②⑤に基づいて、大規模土石流発生予測溪流を抽出し図-6に示した。その結果、水俣川水系および湯出川水系に限っても、大小約15箇所の該当地が見つかった。これらの溪流に関しては、空中写真判読や現地調査によって上記③④をさらに確認する必要がある。もちろん、ここで示したすべての溪流において、宝川内と同等規模の被害がでるとは言えないが、今後の土石流災害を含めた土砂災害防止や軽減に向けては、これらの溪流を詳細調査必要対象溪流として優先度を上げるなどの配慮が望まれる。少なくとも、「肥薩火山

区」においては、そうすることが宝川内土石流災害の教訓を現場に生かせることになると思う。

参考文献

- 1) 長谷義隆・永尾隆志・長峰 智・工藤 伸・岩内明子：2003.07.20 熊本県人吉市宝川内土石流，日本地質学会 News, Vol.6, No.9, P.2-5, 2003.
- 2) 荒牧昭二郎・長谷義隆・工藤 伸・坂本省吾・岩内明子：平成15年7月水俣宝川内土石流災害報告—地質的背景・発生機構・今後の予測—，熊本県自然災害研究会要旨集, P.35-44, 2004.
- 3) 坂本隆彦・佐藤隆春・木村一成：水俣市集地区を襲った土石流とその堆積物，地球科学, 57, P.253-255, 2003.
- 4) 豊原富士夫・村田正文・長谷義隆：表層地質図，土地分類基本調査「水俣・出水(御所浦町を除く)」，熊本県, P.21-35, 1988.
- 5) 豊原富士夫・村田正文・長谷義隆：表層地質図，土地分類基本調査「佐敷・大口」，熊本県, P.22-36, 1990.
- 6) 永尾隆志・長谷義隆・長峰 智・角縁 進・阪口和之：不均質なマグマソースから生成された後期中新世～中期更新世の肥薩火山岩類—火山岩の分布と化学組成の時空変化からの証拠—，岩鉱, 94, P.461-481, 1999.

(2006. 5. 19 受付)

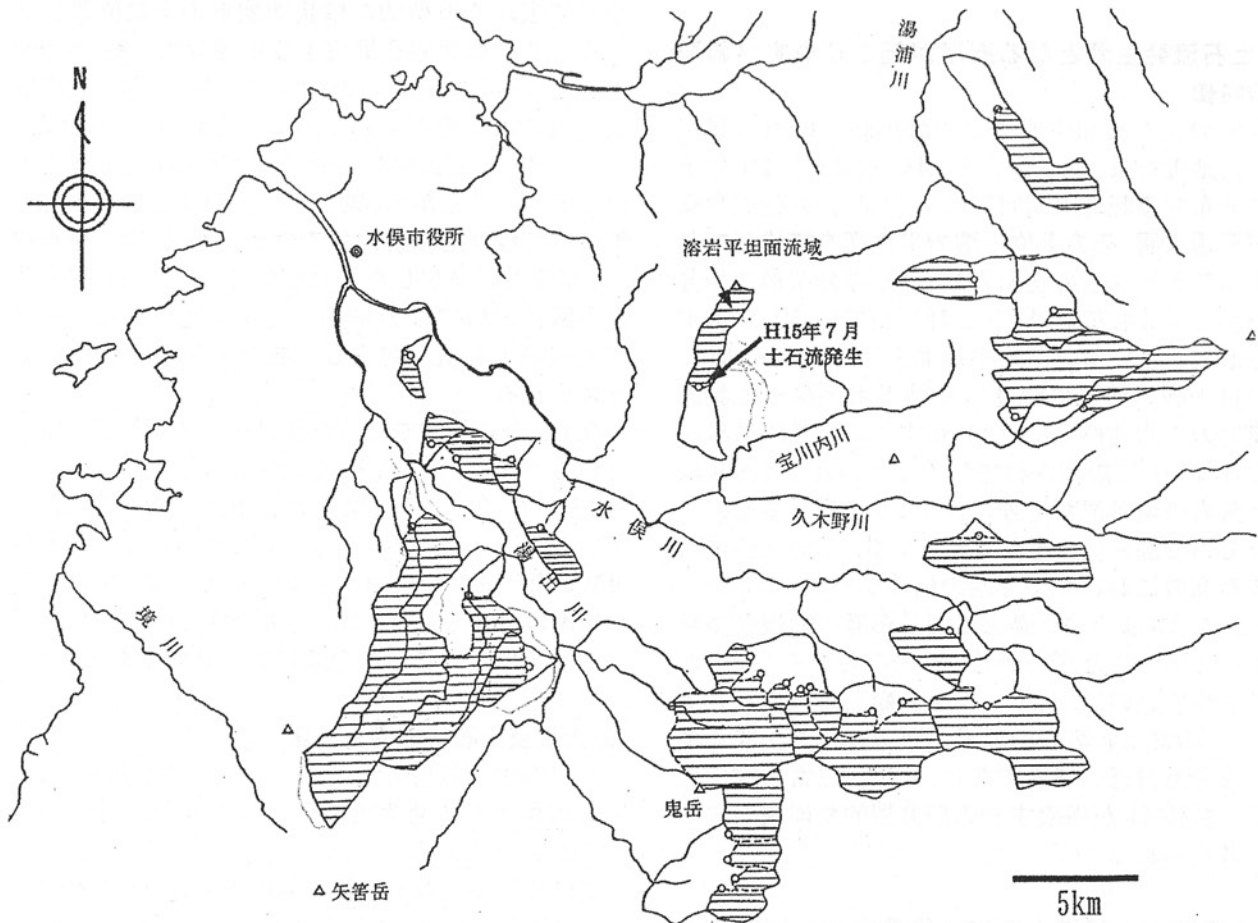


図-6 大規模土石流の発生が予測される溪流の分布