

# 「時間防災学」の視点による土石流災害の発生リスク評価に関する研究

## Assessment of Disaster Risk Caused by Debris Flow in Viewpoint of Time-related Disaster Prevention Research

鈴木素之 Motoyuki SUZUKI (山口大学大学院理工学研究科)



土石流は同じ溪流で繰り返し発生することから、土石流の発生回数・間隔、規模、影響範囲を解明することができれば、溪流ごとの土石流の発生リスクを算定・評価することができ、将来の防災に役立てられる。このような着想から、土石流堆積物に発生時に巻き込まれた植物片の炭化物に対する放射性炭素年代測定と地域に残る歴史資料調査を核とする研究アプローチにより、現在から過去1000年間の長時間スケールで防災を考える「時間防災学」を提唱するに至った。本稿では時間防災学の視点による土石流災害のリスク評価研究の有効性や発展性について述べる。以下に山口県防府市、広島市安佐南区および安佐北区で発生した土石流災害の発生年表を示した上で、その文理融合した研究手法と今後の展望について言及する。

キーワード：土石流、年代測定、古文書、リスク評価 (IGC：A-1, A-2, B-11, C-6, E-6)

### 1. はじめに

豪雨や地震など自然災害が頻発する日本において、安心で安全な暮らしを維持していくには、いつ・どこで・どのような災害が発生したのかを明らかにし、それを後世に伝承するとともに、何世代にもわたる長期的なタイムスパンで防災対策を推進していくことが重要である。図-1に示すように、地震災害や津波災害と比べて、土石流のような局所的かつ再来性の強い土砂災害に対する長期評価はほとんど検討されてこなかった。その理由の一つとして、地震や津波のように比較的広い範囲に面的な被害をもたらすものとは違い、土砂災害は狭い範囲の点状の被害であり、人命は当然のこと家屋・農作物・牧畜などに被害が出ない

かぎり、土砂災害は歴史アーカイブに必ずしも記録されないためと考えられる。このことから、崩壊・流下プロセスで樹木を巻き込み、古いものから順に堆積していく土石流に対しても活断層や津波堆積物の調査と同様な発生頻度の評価が可能であると考え、過去に起きた土石流の発生年代を推定するために、遺跡発掘や活断層調査で利用される放射性炭素 ( $^{14}\text{C}$ ) 年代測定法 (以下、 $^{14}\text{C}$  法と略記する) の適用に着眼した。そこで、筆者は現在から1,000年間ほど遡ったタイムスパンで防災を考える「時間防災学」という新しい学術領域を提案し、学部横断型の研究プロジェクトチームを編成してそれに取り組んでいる。

この研究プロジェクトでは、 $^{14}\text{C}$  年代測定と歴史資料(古文書、古地図、国絵図)の解析によって、土石流の発生年代とその発生間隔を解明して、地域の災害履歴を考慮した『土砂災害発生年表』を完成させることを目指している。また、その過程で種々の土石流の特性に適した年代測定法、試料のサンプリング、土石流堆積物の組成・構造の評価、歴史資料の検索・解読方法など構成要素技術を体系だてて確立・整備することを目指している。

このような「時間防災学」の視点から、2009年7月に山口県防府市で発生した豪雨による土砂災害の特徴とその発生頻度を明らかにするために、現地調査、 $^{14}\text{C}$  年代測定、地形解析、地誌の収集・整理などにより、本地域の土石流発生サイクルについて検討していたところ、奇しくも2014年8月に同じ花崗岩地帯の広島市で大規模な土石流災害が発生した。広島市は防府市と同様に風化した花崗岩とまさ土が表層地盤の広範囲に分布する地質特性を有することから、目下、これら二つの土石流災害に対して土砂災害履歴の解明を進めている。



図-1 土砂災害リスクの長期評価の必要性

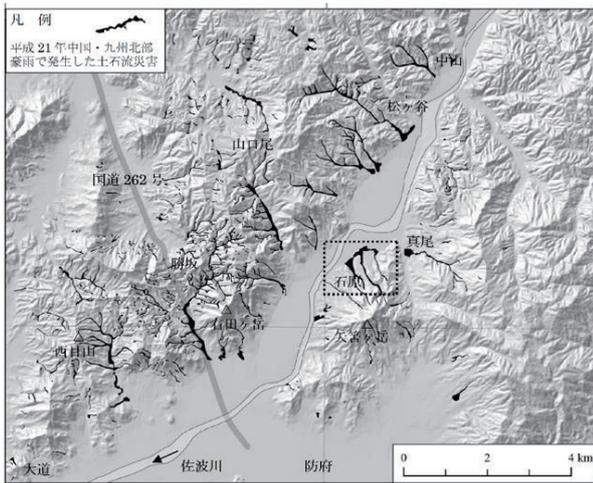


図-2 2009年7月21日に発生した防府地域の土石流発生分布

本研究では、図-2に示す防府市石原地区の土石流発生溪流の下流域にあり、また佐波川氾濫域内にある小規模扇状地において、ジオスライサーを用いて連続試料採取を実施し、試料土から抽出した植物片の炭化物に対する<sup>14</sup>C年代測定により、土石流堆積物の形成年代を測定した。次いで、広島市安佐南区八木地区ならびに安佐北区可部東地区にて土石流発生溪流の側岸にみられた新旧土石流堆積物から採取した炭化物に対して<sup>14</sup>C法による年代測定を行った。これらの年代測定結果をもとに、三地区の土石流の発生回数と発生間隔を算定した。さらに、得られた年代測定結果と地域に残る歴史資料を照合することで、算定した土石流発生時期の確度を検証した。

本文では、土石流発生溪流の土石流堆積物の組成・構造・年代測定結果に基づいて、過去1,000年間の土石流の発生履歴を調査する技術の現状と昨年の広島災害ならびに2009年防府災害の被災地への適用事例を述べる。また、試作した防府地域の『土砂災害発生年表』について紹介する。なお、本稿は著者の既報<sup>1)~7)</sup>をもとに技術展望の視点で再構成したものであることをお断りする。

## 2. 土石流堆積物の形成年代の測定に関する既往研究

### 2.1 年代測定技術の概要

崩壊や土石流の発生年代を算定するための年代測定法として樹木編年学、放射性炭素年代測定、宇宙線核種生成年代測定などが開発されており、それぞれの特性や適用範囲・条件が明らかにされている<sup>8)~10)</sup>。崩壊土砂に巻き込まれた樹木片の炭化物に対しては主として<sup>14</sup>C年代測定が用いられ、崩壊・土石流の発生頻度の推定・検討がなされている<sup>11)~15)</sup>。<sup>14</sup>C年代測定の精度は最近の研究の進展により±数十年のレベルまで向上している。筆者らの研究<sup>1)~6)</sup>の特色としては①土石流堆積物に残留する可能性の高い植物片の炭化物をターゲットにして<sup>14</sup>C年代測定法を

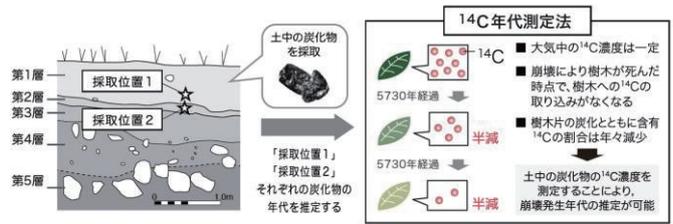


図-3 放射性炭素年代測定（AMS法）による土石流堆積物の形成年代の測定

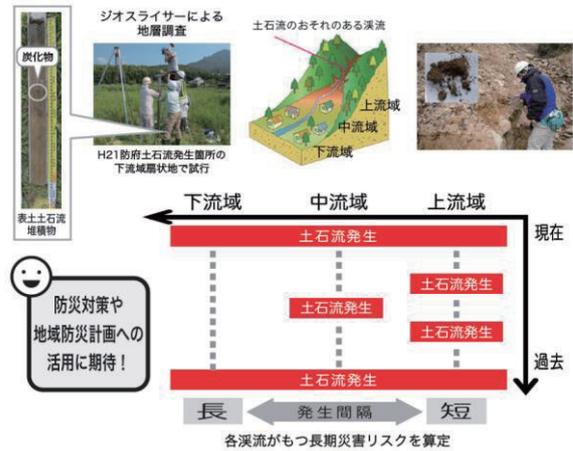


図-4 溪流の各流域での土石流の発生頻度と溪流全体のリスクの算定・評価

採用していること、②土石流の発生間隔を算出するために新旧土石流堆積物の層序や基盤岩の被覆状況に着目していること（図-3）、③土砂災害イベントの確度を検証するために地域に残る歴史資料と年代測定結果を照合・精査していることである。筆者らの研究を除くと、溪流沿いに累積する新旧の土石流堆積物層に対する年代測定はほとんど実施されてないようである。また、地誌に記録された災害イベントや地名をもとに崩壊の発生間隔や頻度を調べる研究が進められているが<sup>16), 17)</sup>、歴史資料をもとに年代測定結果の信頼度が評価された研究も少ない。

### 2.2 土石流堆積物に対する放射性炭素による年代測定

前述のとおり、筆者らの調査においては土石流堆積物に残留する可能性の高い樹木片の炭化物を採取し、<sup>14</sup>C年代測定を実施している。図-3は<sup>14</sup>C法の原理を模式的に示したものである。生物が大気から<sup>14</sup>Cの取り込みをやめた時点から体内の<sup>14</sup>Cは5,730年の半減期で減少していくので、現在の炭化物の<sup>14</sup>C濃度比を測定して、土石流堆積物の形成年代を決定する。現地での土石流堆積物の調査においては、土石流の発生間隔を算出するために、新旧土石流堆積物の層序や基盤岩の被覆状況に着目した。

なお、年代測定結果の利用としては、図-4に模式的に示すように、溪流の上流から下流にそって土石流発生年代と間隔を明らかにすれば、発生頻度が算出でき、それに各流域に到達した土石流の発生インパクト（規模や影響範囲）の評価結果を加算することにより、次式から土石流危険溪流の長期災害リスクが算定可能と考えている。

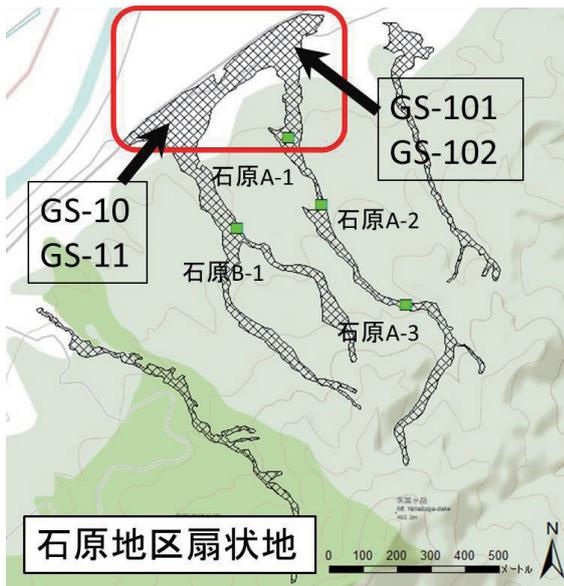


図-5 石原 A, B 地区の土石流扇状地 (平面図)



写真-1 石原地区でのジオスライサー調査と土中の炭化物

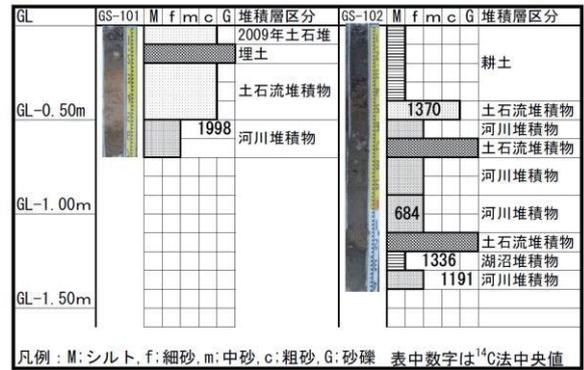
(長期災害リスク) =  $\Sigma$  (発生頻度) × (発生インパクト)

したがって、この方法により、各溪流が持つ土石流災害リスクの相対評価が可能となり、防災対策や地域防災計画に利用できるものと考えている。

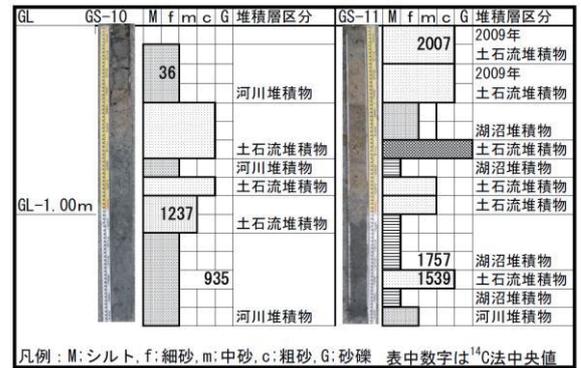
### 3. 2009年7月21日に発生した防府市の土石流災害

2009年7月21日、山口県防府市を中心に各地で多数の崩壊と大規模な土石流が発生し(図-2)、山口県内で22人の死者が生じた<sup>18)</sup>。崩壊箇所数は航空写真と現場踏査によって確認されただけでも670箇所を超えた<sup>7)</sup>。防府市では観測史上最多となる275mmの24時間雨量を記録し、また水の侵食に弱い風化した花崗岩とその残積土であるまさ土が分布していることから、崩壊の発生には記録的豪雨に加えて土質および地質的な要因が関与したものと考えられる<sup>19)~21)</sup>。防府市では1993年8月2日の集中豪雨においても複数箇所での崩壊が発生した。このことから、防府市は土砂災害の発生頻度の高い地域であるといえ、過去何度も土砂災害が繰り返し発生していたと推測される。今回の土石流災害では防府市の真尾、石原、勝坂、奈美の4地区で被害がとくに大きかった。

また、防府市とその周辺地域の過去の災害を遡及的に明らかにするために、『台風・気象災害全史』<sup>22)</sup>および『防府



(a) 石原 A 地区 (GS-101, GS-102)



(b) 石原 B 地区 (GS-10, GS-11)

図-6 ジオスライサーによる地盤調査をもとに作成した土層断面図

市史 上巻』<sup>23)</sup>に対して中国地方、山口県、防府市で過去に発生した災害に関する記事を検索した。『防府市史 上巻』<sup>23)</sup>の洪水関係の記述から、1663年~1951年の間に洪水等がおおよそ67回発生しており、4年に1回の頻度で佐波川は何度も洪水災害を繰り返し発生していたことが歴史資料から読み取れている。

## 4. 防府市石原地区の地盤特性

### 4.1 調査の概要

本研究では、石原地区で発生した二つの土石流をそれぞれ石原 A および石原 B と命名している。図-5に示すように、石原 B 地区では GS-2~GS-11 の 10 箇所、石原 A 地区では GS-101, GS-102 の 2 箇所でジオスライサー<sup>24), 25)</sup>による連続試料採取を実施し、土層区分を行った。なお、写真-1に示すように、本調査では全長2mのジオスライサーを用いた。また、採取した試料から植物起源の含有炭化物を採取し、<sup>14</sup>C法による年代測定を実施した(写真-2)。得られた年代測定結果は『山口県災異誌』<sup>26)</sup>に記載されている災害記録と照合することで、土石流発生年代の確度の検証を行った。

### 4.2 ジオスライサーによる地盤調査とサンプリング

図-6(a)に石原 A 地区の GS-101, GS-102 で採取した土層断面図を、同図(b)に石原 B 地区の GS-10, GS-11 で採取し

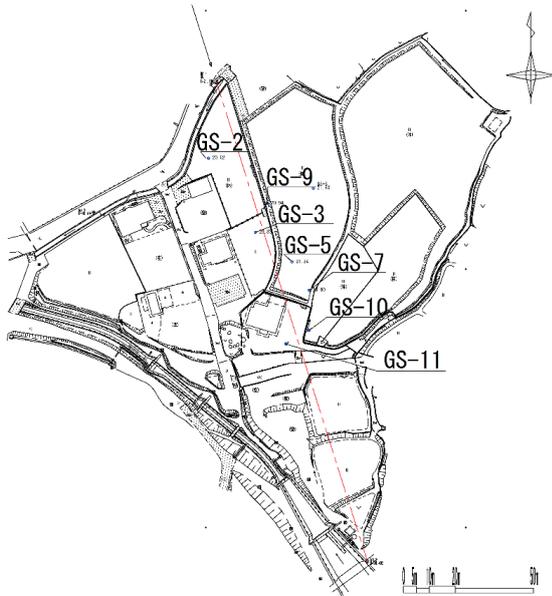


図-7 石原 B 地区のジオスライサー調査の位置図

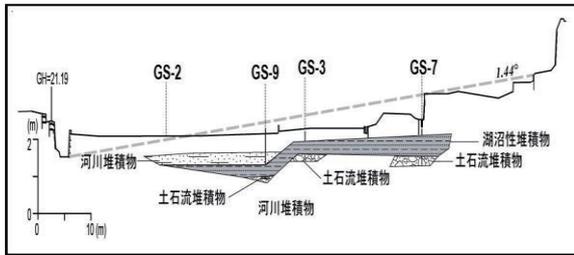


図-8 図-7 中の赤色の測線の地盤断面図

た土層断面図を示している。両図を見ると、いずれの試料においても、土石流堆積物と河川性および湖沼性堆積物が互層になっており、前述したように、過去に洪水が繰り返し起こっていたことがわかる。佐波川は、河川整備以前に洪水をしばしば起こしており、氾濫原一面が湖沼のようになった古い写真が現存している。そのため、土石流の末端の凹地では水がたまり、土砂が静穏な環境で堆積したと考えられるので、そのような場所の堆積物は湖沼性堆積物であると認定した。なお、土石流堆積物は逆グレーディングして堆積するので、河川性堆積物と区別して認定した。また、最下位層に土粒子の粒径が均一な河川性の砂があることが確認された。一方、土石流堆積物は土粒子の粒径が不均一であり、河川性堆積物のそれと一致しない。また、土石流堆積物は主にシルトで構成された湖沼性堆積物に覆われていることがわかる。

地層の成因を検討するために、図-7 に石原 B 地区でのジオスライサー調査位置の詳細図を示す。石原 B 地区は、溪流出口に小さな扇状地（沖積錘）を形成し、扇状地が佐波川氾濫源と接する地形であることから、河川と溪流の起源が異なる堆積物が指状に分布しているものと考えられる。GS-10 および GS-11 でのジオスライサー調査の結果から、河川起源の堆積物は氾濫時の均質な砂主体層と静穏期のシルト等細粒分主体層に区分することができ、また溪

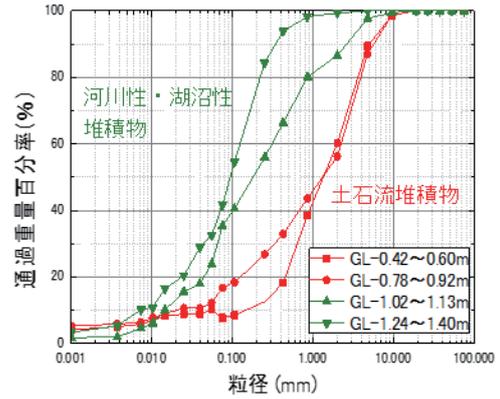


図-9 地点 (GS-10) の各試料の粒径加積曲線

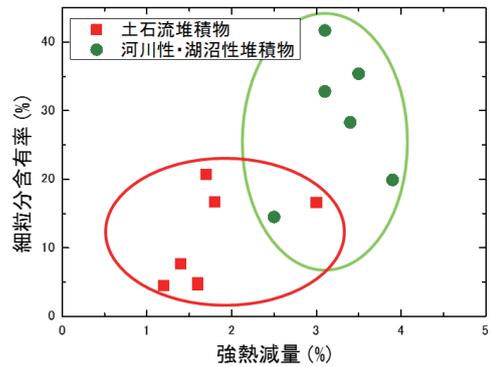


図-10 強熱減量と細粒分含有率の関係

流から供給された堆積物は粗砂～砂礫等の不均質な粗粒分であることが判明した。また、2009 年 7 月の豪雨で発生した土石流では粗砂主体の土石流堆積物が下流域に堆積したことから、上記の堆積物層はこの時の土石流堆積物であると認定した。

図-8 は図-7 の中央部をほぼ南北に切った地盤断面図であり、地形の最急勾配は約 1.4 度である。最下流の GS-2 から最上流の GS-7 までの土層断面図を読み取った地盤断面図であるが、本図から最下層は河川性堆積物であり、次いで土石流堆積物、湖沼性堆積物が分布していることがわかる。湖沼性堆積物は侵食を伴わないことから、層序の欠損は考えにくい。その点から、連続試料中の土石流層の欠落の可能性は極めて小さいものと考えられる。河川性堆積物はすべての箇所での最下層で、また氾濫源に近い GS-2 では上位層でも認められた。また、図-6(b)に示した GS-10 と GS-11 での土層柱状図では、GS-10 最下層の河川性堆積物が GS-11 では深部にもぐりこみ、その間に湖沼性堆積物が厚く分布する状況が認められた。土石流堆積物の層数も両位置では異なることから、現況地形とは異なって、河川性堆積物や土石流堆積物の分布は平面的にも不規則な状況にあることが推察される。

#### 4.3 採取試料の物理特性

ジオスライサーにより GS-10、GS-11、GS-101、GS-102 で採取した各試料に対して土の含水比試験、土粒子の密度

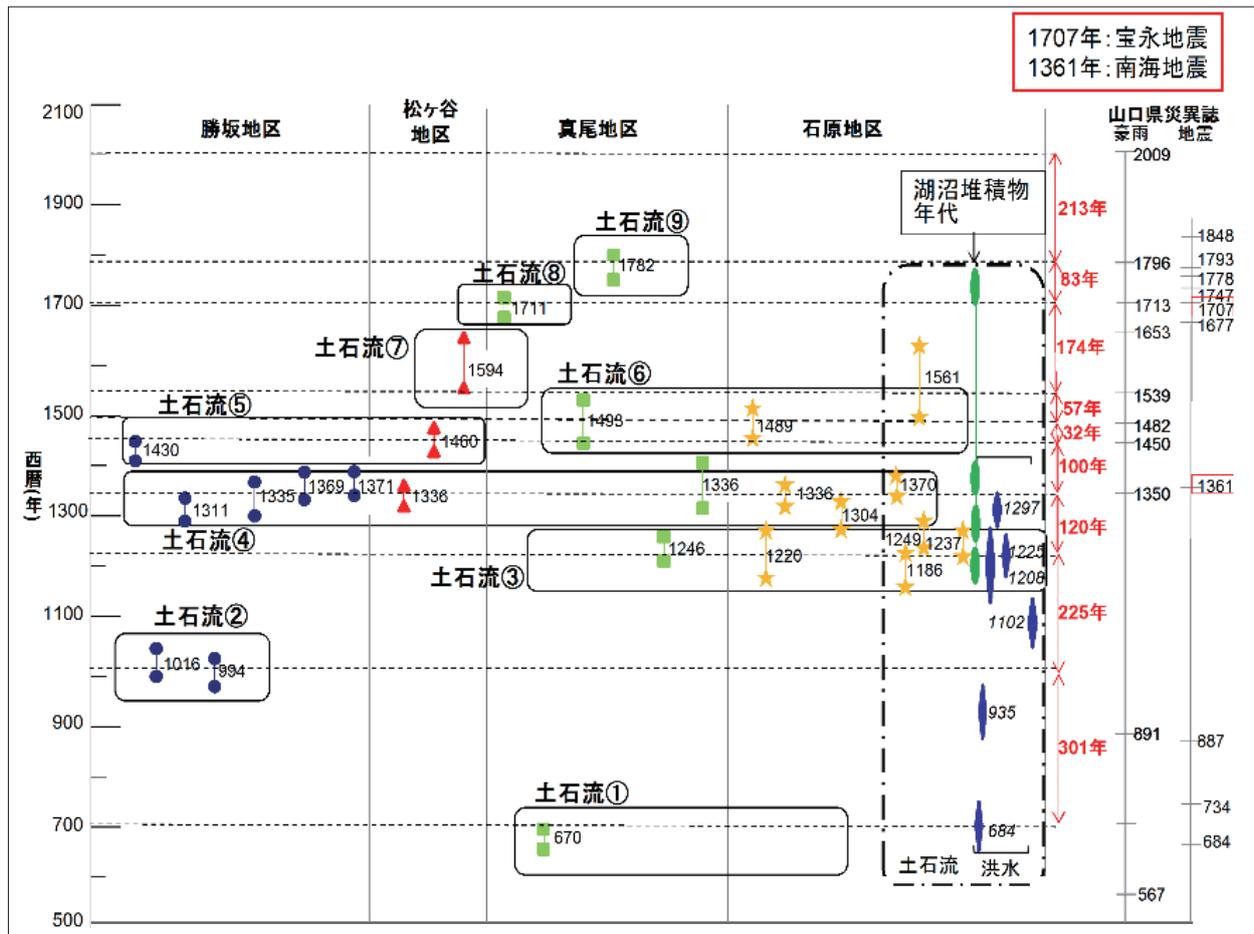


図-11 防府地域の土砂災害発生年表

試験、土の粒度試験、土の強熱減量試験を実施した。図-9に代表的な試料の粒径加積曲線を、図-10に各試料の細粒分含有率と強熱減量の関係を示す。図-9からわかるように、河川性あるいは湖沼性堆積物の方が分布する粒度の範囲が狭く、粒径加積曲線が全体として土石流堆積物よりも左側にシフトしている。また、細粒分含有率に明白な違いが見られ、河川性および湖沼性堆積物の方が土石流堆積物よりも大きい値を示しており、粘土分やシルト分に富んでいることがわかる。また、試料採取地点ごとに強熱減量  $L_i$  を見ると、深度が深くなるにつれて  $L_i$  の値が大きくなっている。強熱減量値は風化の程度を表す指標の一つであり<sup>27)</sup>、一般的に風化が進行すると強熱減量値が増加すると言われている。したがって、下層になるにつれて風化の度合いが大きくなっていると言える。土石流堆積物に限ってみると、強熱減量値は1.2~3.0%の範囲となっており、河川性および湖沼性堆積物に比べると風化の度合いは小さい。図-10に示したように、土石流堆積物と河川性および湖沼性堆積物を比べると、強熱減量値と細粒分含有率の分布域に明白な違いが見られた。ただし、地層が異なる箇所が強熱減量による風化程度の評価には注意が必要である。

## 5. 防府市石原地区の土石流発生頻度

### 5.1 放射性炭素による年代測定結果

土石流堆積物中から採取した炭化物 (GS-3~GS-102 で採取した計 19 試料) に対して  $^{14}\text{C}$  法 (加速器質量分析法: AMS 法) による年代測定を実施した。本稿で取り上げた石原地区の土石流扇状地を除いて、各地区における年代測定に用いた試料は土石流に削剥された溪流側岸で観察された新旧土石流堆積物中から採取したものである。年代値は  $\delta^{13}\text{C}$  による補正を行った後、OxCal4.2 (較正曲線データは 2013) の IntCal13 による暦年較正を行った。 $^{14}\text{C}$  法による測定結果から、土石流は A.D.1200 頃から A.D.1500 頃の間、洪水は A.D.700 頃から A.D.1300 頃までに集約されることがわかった。

これまでに得た  $^{14}\text{C}$  年代測定結果と地域に残る古文書の災害イベントを照合したうえで、図-9の『防府地域の土石流災害発生年表』を試作した。年表には A.D.500~A.D.2100 までの勝坂、松ヶ谷、真尾、石原の各地区の土石流堆積物の形成年代と山口県防災誌に記録されている豪雨と地震による被害イベントを示している。同図からわかるように、防府地域の土石流は、2009年7月21日の土石流災害以前の①~⑨の時期に土石流が発生していたことが見て取れる。本稿で示した防府市石原地区の土石流扇状地の結果は、

同図中の一点鎖線で囲んだ範囲になる。土石流に関しては、『山口県災異誌』<sup>26)</sup>との整合から、既存区分の③A.D.1220, ④A.D.1350, ⑤A.D.1482に属することがわかった。一方、洪水に起因する河川性堆積物は古い順にA.D.700頃(災異誌ではA.D.702), A.D.900頃(同A.D.891), A.D.1100頃(特定できず)の年代を示し、その他に土石流と同時期のA.D.1200前後に集約される。また、静穏期を示す湖沼性堆積物の年代を見るとA.D.1200前後, A.D.1300前後を示し、以降はA.D.1700前後まで飛んで、A.D.1200以前は認められなかった。したがって、以上の結果から、石原地区では土石流、河川氾濫、湖沼の各堆積物の年代はA.D.1200から1300年間に集中することがわかった。河川氾濫はそれ以前から約200年間隔で生じているものの、A.D.1300頃以降は確認できなかった。

## 5.2 土石流と洪水の発生頻度の評価

これまでの研究<sup>1)~3), 5)</sup>から、防府地域ではA.D.700頃以降に土石流が少なくとも9回発生したことが判明しているが、A.D.1200~A.D.1400年代に集中している状況が認められた。石原地区の土石流扇状地でも同様の傾向が認められた。一方、洪水に起因する河川性堆積物はA.D.1200頃以前にも160年~250年間隔で形成され、豪雨は約200年間隔で定期的に生じていたと考えられる。

豪雨と土石流の発生が必ずしも一致しないことは①A.D.1200以前には土石流を引き起こす不安定土砂が溪流に存在しなかった。②豪雨は佐波川上流で降り、防府地域には大きな雨量は認められなかった。③土石流の痕跡を洪水氾濫がかき消した等の理由が考えられるが、②の降雨の偏りは長い期間で同じ偏りがあったとは考えにくく、③はA.D.1200~1300頃の河川性堆積物中に土石流の痕跡が認められることから、過去の洪水すべてが土石流堆積物を削剥したとは考えにくい。この他、図-11に示すように、土石流⑧、⑨のように地震が頻発する時期に土石流の発生間隔が短くなっているようである。したがって、花崗岩・まさ土地帯で、地震によって地盤の緩みが生じたときに大雨が降ると土石流がより発生しやすいことが示唆される。

## 5.3 防府地域における過去の災害と人間活動の関係

防府地域は周防国の国府が置かれた地であり、古くから山と人との関わりがあった地域と考えられる。平安末期のA.D.1180頃には東大寺再建のために、重源が佐波川上流の山奥から木材を切り出して奈良まで運び出した、という歴史記載もあり、昔から樹木の伐採がおこなわれた地域でもある<sup>28)</sup>。そのために、過去に切り出された木材片が土石流に巻き込まれて多量に残存することも十分に考えられ、防府地域の土石流堆積物の年代測定で<sup>14</sup>C法が有効である所以である。これらの大量伐採がその後の豪雨で土石流を引き起こした一因と考えられ、図-12に模式的に示したサイクルの人間の活動と自然災害の関連が存在していた可能性がある。

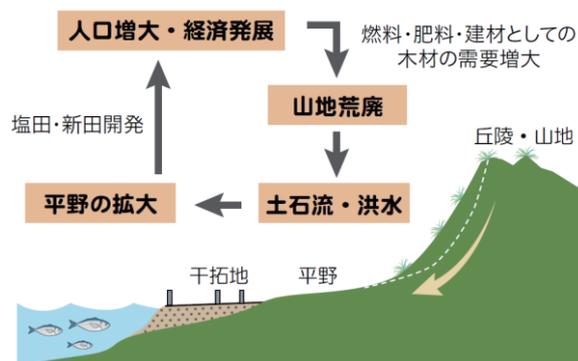


図-12 社会的変化と土砂災害発生の関係

## 5.4 まとめ

防府地域での災害履歴の検討結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 石原地区土石流発生溪流の下流域には小規模な扇状地が形成され、その地下は河川性、湖沼性、土石流の各堆積物が指交状に分布する。
- (2) 石原地区では本川氾濫域に到達した大規模な土石流がA.D.1220頃以降、2009年の災害を加えて4回発生していた。
- (3) 河川氾濫はA.D.700頃以降に約200年毎に発生しているが、土石流の発生は1200年以降に限定されることから、豪雨以外の発生要因(木材の切出し等)がある可能性が高い。
- (4) これまでの結果をふまえて、防府地域の土石流発生時期と間隔が概略判明したが、氾濫に起因する河川性堆積物の形成時期を踏まえて、この地域の土石流発生は往時の人間活動と関連している可能性が考えられる。すなわち、災害ポテンシャルは各時代の人間活動によって増減していると考えられる。

## 6. 広島市安佐南区・安佐北区の土石流発生頻度

### 6.1 被害の概要

広島市安佐南区八木、緑井、山本地区、安佐北区可部地区の周辺では、2014年8月19日から20日にかけて降り続いた集中豪雨により、複数の箇所でも土石流や斜面崩壊が発生し、多くの被害が発生した<sup>29)</sup>。広島市西部地区周辺においては、1999年6月29日に土砂災害が発生し、土石流の発生や土砂崩壊によって多くの被害を生じた<sup>30)</sup>。このように、今回の被災溪流においても過去に繰り返し土砂災害が発生していた可能性が高い。広島市の土石流発生溪流においても、現地調査を行い、土石流扇状地の地層構成の観察と、それに含まれる炭化物や木片等の採取を行った。以下に、それらの結果と古文書記録などにみられる過去の土砂災害との比較・検討を行う。

### 6.2 安佐南区八木地区

今回の調査位置は安佐南区八木地区である(図-13)。土

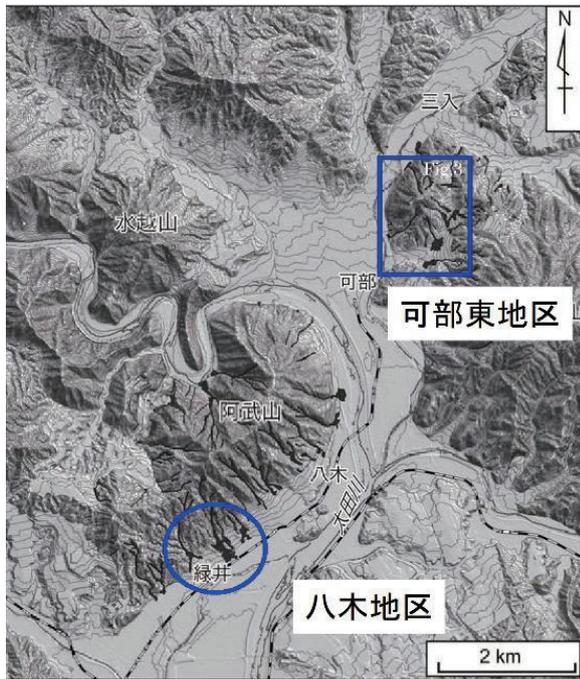


図-13 八木および可部東地区の調査位置

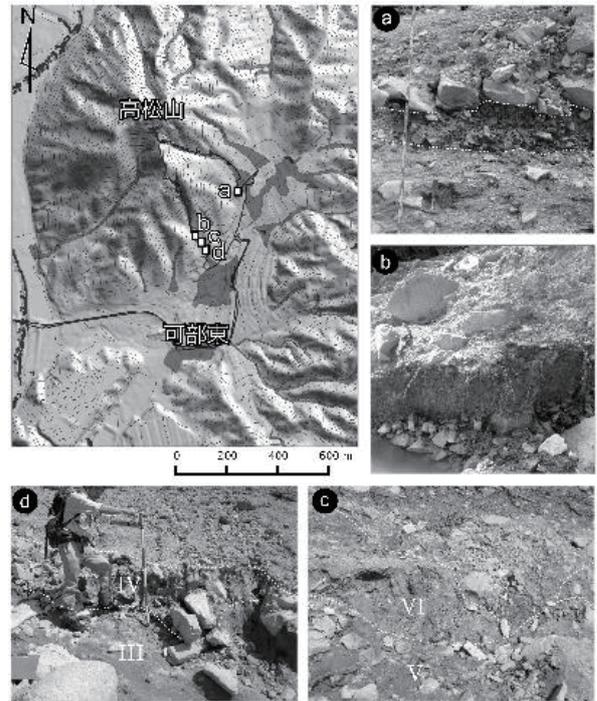


写真-2 可部東地区の土石流分布と古い土石流堆積物の状況

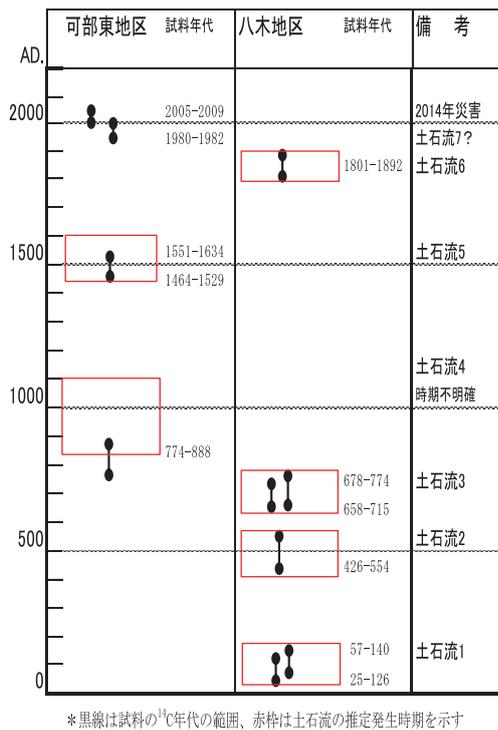


図-14 八木地区と可部東地区の過去の土石流発生時期の対比

石流堆積物は、巨礫や転石などの粗粒物が卓越するが、流下域の下流部や停止域では細粒な堆積物も含まれることがある。調査ではこれらの地域を重点的に観察し、年代測定に有効な炭化物等の存在に特に注意してサンプリングを行った。以下に地区の概要を述べる。

八木地区は阿武山の南東麓に位置し、その下流域には住宅地と県営住宅があり、多くの溪流で土石流が発生し、甚大な被害が発生した。県営住宅から下方斜面にかけては、

勾配がしだいに緩くなり氾濫・堆積域となる。当地区の土石流堆積物は直径 1~3m を超える巨石や角礫を含む粗粒分が主体である。県営住宅の約 150m 上流では土砂や流水によって堆積物が洗掘され、過去の堆積物の状況が目視できる状況であった。観察の結果、本溪流でも礫の構成やマトリックスの固結度などから、過去の土石流堆積物を複数枚確認することができた。また、八木地区で採取した試料を分析し、6 箇所の試料から年代を示す結果が得られた。八木地区の溪流では少なくとも 4 層の過去の土石流堆積物が確認され、それぞれ A.D.25-140, A.D.426-554, A.D.658-774, A.D.1801-1892 の年代を示す結果が得られた。

溪流の過去の土石流堆積物を調査し、その年代結果から過去の土石流の発生時期を図-14 にまとめた。安佐北区可部東地区の溪流での結果もあわせて示す。全ての地層から年代試料が得られていないため、時期が不明確な部分も存在するが、現時点で 7 回の土石流の履歴が推定される。このうち、『祇園町誌』<sup>31)</sup>には東山本地区（八木地区の約 5 km 南方）で嘉永 3 年（1850 年）6 月 1 日の山崩れが記載されている。また、天文元年（1532 年）4 月 2 日の『陰徳太平記』<sup>32)</sup>による「蛇王池」の記述には土石流の発生がうかがえる。これらを年代測定結果と対比すると、それぞれ「土石流 6」と「土石流 5」の時期に該当すると推定される。

### 6.3 安佐北区可部東地区

安佐北区可部東地区では高松山の標高 300m 付近から放射状に複数の土石流が生じたほか、鬼ヶ城山西麓にも樹枝状の流下跡を示す土石流が発生した（図-13）。両山に挟まれた可部東 6 丁目では、花崗岩の巨礫を含む土砂が住宅地を襲った。また、災害溪流の源頭部には差別侵食によると

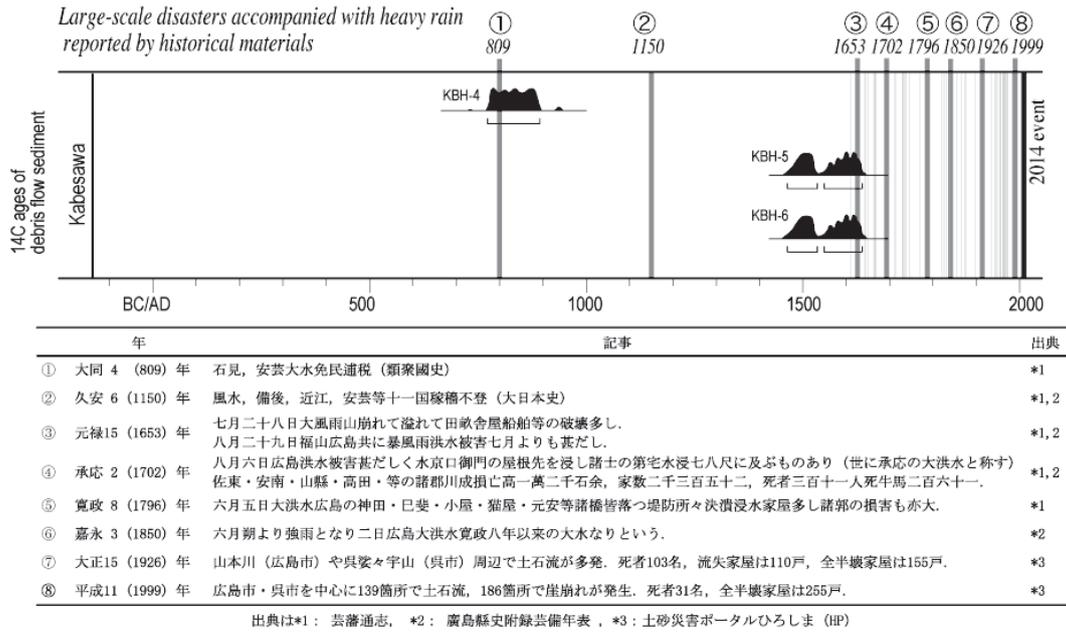


図-15 史料に基づく土砂災害史と土石流堆積物年代

思われる凹地が形成され、裁頭谷となっている。この地形が集水地形として働くことで、周囲よりも規模の大きな土石流が発生したと推察される。そして、この溪流沿いには、今回の出水によって下刻された溪床で、過去の土石流堆積物を複数枚確認することができる（写真-2）。

可部東地区では、1 溪流（可部沢）3 地点で採取した過去の土石流堆積物中に含まれていた炭化物や材、有機質土の <sup>14</sup>C 年代測定を実施した。現地調査と年代測定の結果、可部沢では A.D.1956 以後、8-9 世紀以後、16~17 世紀頃に土石流が発生していた可能性が高いと考えられる。

図-15 に広島市や広島県の歴史が取りまとめられている『芸藩通志』<sup>33)</sup>、『広島縣史』<sup>34)</sup>等で、風水害の被害が大きいあるいは“山崩れ”と記載されている災害（①~⑧）と土石流堆積物の年代を合わせて表示した。上記の史料からたどれる最も古いイベントは大同 4 年（A.D.809）に発生した大水である。記事には「石見・安芸で“大水”があり、免税されたところのみで、このときに広島市安佐北区で土石流が発生していたかは定かではない。しかし、当時の中央政府に伝える程の大災害であったと推察される。年代の一致性から判断すると、土石流堆積物から推定されるイベントのうち 8-9 世紀以後のイベントは 809 年、16~17 世紀頃のイベントは 1653 年の記録に対比される可能性がある。

#### 6.4 まとめ

広島地域での災害履歴の検討結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 八木地区と可部東地区の溪流の過去の堆積物の全ての地層から年代試料が得られているわけではないため、時期が不明確な部分も存在するが、現時点で 7 回

の土石流の履歴が推定される。

- (2) 可部東地区と八木地区は直線距離が約 6 km 離れているが、過去の発生時期は同時期のものは現時点では確認できない。

## 7. 現時点の技術成果と今後の展望

土石流堆積物の組成や構造の把握、年代測定のような科学的方法とともに、先人が残した古文書（自然災害記録）の解析を組み合わせることで、土砂災害の発生頻度がある程度評価できることが解ってきた。また、現時点では、まだ必ずしも十分とはいえないが、防府市や広島市の花崗岩・まさ土分布地帯において長期的なサイクルで土砂災害が発生してきたことが明らかになった。このことは、降雨や地震などの外力の発生サイクルとともに花崗岩の風化・侵食の進み方に関係していると考えており、風化花崗岩帯の風化度と崩壊発生源の関係については、地盤工学の観点での検討が必要である。

また、防府市や広島市と同様な地質の長野県南木曾町において 2014 年 7 月に土砂災害が発生し、その周辺は過去に何度も土石流による被害を受けていた場所であった。このような災害の発生後に、「昔、ここで災害が起きた話なんて聞いたことがない」「安全な場所だと思っていた」といった住民の声が聞こえてくることもある。この理由の一つとして、過去の災害の記録や伝承が伝わっていないためと考えられる。そこで、図-16 に示すように、数値標高モデル (DEM)、電子地質図、土砂災害影響範囲、土石流の発生年代・回数を地理情報システム (GIS) 上で階層的に表示し、解析画面上で過去の土石流の崩壊源頭部の位置、

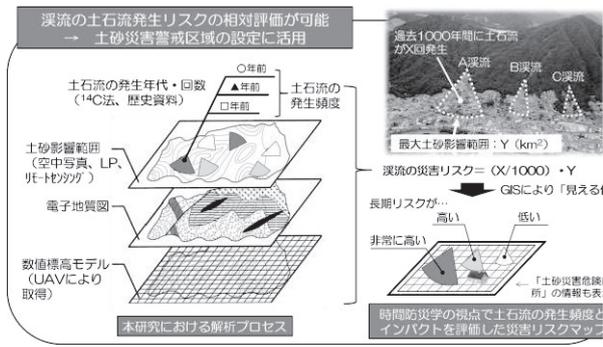


図-16 「時間防災学」の視点で土石流の発生頻度とインパクトを評価した災害リスクマップの作成 (図中の写真: 国土地理院)

発生規模, 影響範囲, 溪流がもつ長期リスクを表示すれば, 今後想定される被災リスクの程度と範囲を把握することができる. これにより, 住民の安全に対する慣習的誤解の解消がはかられ, 社会資本整備の新たな合意形成にも有効である.

この研究が将来的に進展して, 土砂災害に対する長期リスク評価法が確立されれば, 土砂災害警戒区域の指定を促す土石流危険溪流の客観的なリスク判定が可能となり, 防災事業の効果的な整備にも十分に寄与できる. さらに言えば, 再来性の強い深層崩壊や洪水, 火砕流など種々の自然災害と有機的に連結した研究展開も期待できる. 今後は, 地盤工学, 応用地質学を核として人文社会系学域に波及させたいと考えている.

### 謝辞

本研究の結果をまとめるにあたり, 地盤工学会中国支部平成21年7月21日豪雨による山口県防府地区の土砂災害に関する調査研究委員会(委員長: 兵動正幸 山口大学教授)のメンバーから多くの指摘や貴重な助言をいただいた. 国土交通省山口河川国道事務所からは航空測量データを, 山口県土木建築部からは空中写真を提供いただいた. また, 本研究を遂行するために, 調査研究を開始した平成21年度から順次, 科研費特別研究促進費(代表者: 羽田野袈裟義, No.21900001), 科研費基盤研究(B)(代表者: 中田幸男, No.22360187), 科研費基盤研究(A)(代表者: 三浦房紀, No.24241057), 平成25年度山口大学「呼び水プロジェクト」(戦略的研究推進プログラム)(代表者: 鈴木素之), 国土技術研究センター研究開発助成金(代表者: 鈴木素之), 科研費挑戦的萌芽研究(代表者: 鈴木素之, No.26560185), 科研費特別研究促進費(代表者: 山本晴彦, No.26900001)の各助成金の一部もしくは全部を使用した. 関係各位には謝意を表すしだいである. また, 現地調査から結果の整理・検討では阪口和之氏(アジア航測), 楮原京子氏(山口大学), 松木宏彰氏(復建調査設計), 松原輝

明氏(元山口大学大学院生, 現復建調査設計), 福田千緩氏(元山口大学学生, 現山口県), 小笠原洋氏(復建調査設計), 金折祐司氏(山口大学), 進士正人氏(山口大学), 森下徹氏(山口大学), 判野充昌氏(山口県防災・砂防ボランティア協会), 來山尚義氏(復建調査設計), 土田孝氏(広島大学), 後藤聡氏(山梨大学), 稲垣秀輝氏(環境地質), 高山陶子氏(アジア航測)に参加・協力いただいた. ここに記して改めて謝意を表すしだいである. なお, 放射性炭素年代測定はパレオ・ラボに依頼したことを付記しておく. 最後になりますが, 本災害でお亡くなりになった方々に哀悼の意を表しますとともに, 被害に遭われた方々に改めてお見舞いを申し上げます.

### 参考文献

- 1) 阪口和之, 鈴木素之, 中田幸男, 兵動正幸: 平成21年7月山口県防府市で発生した土石流の特徴と発生頻度の歴史的评价, 第6回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 土木学会西部支部, pp.77-82, 2012.
- 2) 阪口和之, 鈴木素之, 松原輝明, 兵動正幸: 山口県防府市における土石流発生域の地形・地質特性と過去の土石流・崩壊発生サイクル, 地盤工学会誌, Vol.62, No.9, pp.26-29, 2013.
- 3) 阪口和之, 楮原京子, 松木宏彰, 鈴木素之: 山口県防府地域における大規模土石流の発生周期, 第7回土砂災害に関するシンポジウム論文集, pp.19-24, 2014.
- 4) Suzuki, M., Kagohara, K., Sakaguchi, K., Matsugi, H.: Formation of Sediment Production Areas and Recurrence Cycle of Debris Flows in the Cretaceous Granitic Region, Proc. of 8th Asian Rock Mechanics Symposium, 2014.
- 5) 山口大学時間学研究所編: 時間学の構築 I - 防災と時間 -, 恒星社厚生閣, p.262, 2015.
- 6) 鈴木素之, 阪口和之, 松木宏彰, 楮原京子: 時間防災学の視点による2009年7月防府災害および2014年8月広島災害における土石流の長期的発生頻度の推定について, 地域性を考慮した地盤防災減災技術に関するシンポジウム, 地盤工学会九州支部, pp.65-70, 2015.
- 7) 阪口和之, 鈴木素之, 松原輝明, 高山陶子: 平成21年7月に山口県防府市で発生した土砂災害における源頭部崩壊と土石流の状況とその地形的特徴, 地盤工学ジャーナル, Vol.10, No.3, pp.403-414, 2015.
- 8) Cerling, T. E., Webb, R. H., Poreda, R. J., Rigby, A. D. and Melis, T. S.: Cosmogenic  $^3\text{He}$  ages and frequency of late Holocene debris flows from Prospect Canyon, Grand Canyon, USA, Geomorphology, 27:93-111, 1999.
- 9) Lang, A., Moya, J., Corominas, J., Schrott, L., Dikau, R.: Classic and new dating methods for assessing the temporal

- occurrence of mass movements, *Geomorphology*, 30:33-52, 1999.
- 10) Corominas, J. and Moya, J.: A review of assessing landslide frequency for hazard zoning purposes, *Engineering Geology*, 102: 193-213, 2008.
- 11) Irmiler, R., Daut, G., Mäusbacher, R.: A debris flow calendar derived from sediments of lake Lago di Braies (N. Italy), *Geomorphology*, 77:69-78, 2006.
- 12) 杉原成満, 海堀正博, 久保田哲也, 柏原佳明, 古川浩平: 放射性炭素年代測定法を用いた山口県防府市の土砂移動頻度に関する一考察, *砂防学会誌*, Vol.63, No.3, pp.27-33, 2010.
- 13) Unkel, I., Ehret, D. and Rohn, J.: Recurrence analysis of the mass movement activity at Stambach (Austria) based on radiocarbon dating, *Geomorphology*, 190:103-111, 2013.
- 14) 西山賢一, 若月 強: 和歌山県那智川流域における土石流の発生頻度, *地形*, 第 35 巻, 第 4 号, pp.351-366, 2014.
- 15) 西山賢一, 若月 強: 日本の山地斜面における豪雨に起因した斜面崩壊・土石流の発生頻度, *応用地質*, 第 55 巻, 第 6 号, pp.325-333, 2015.
- 16) 井上公夫: 伊豆大島元町の土砂災害史, *地理*, 第 59 巻, 第 2 号, pp.10-19, 2014.
- 17) 脇水健次, 西山浩司: 広島市八木およびその周辺地区の郷土資料から浮かび上がった土石流災害の特徴, *自然災害研究協議会中国地区部会研究論文集*, 第 1 号, pp.15-18, 2015.
- 18) 総務省消防庁: 災害情報, <http://www.fdma.go.jp/bn/data/011002251707333418.pdf>
- 19) 地盤工学会 2009 年 7 月豪雨による山口県土砂災害緊急調査団: 2009 年 7 月 21 日豪雨による山口県防府地区での斜面災害, *地盤工学会誌*, 第 57 巻, 第 12 号, pp.39-42, 2009.
- 20) 鈴木素之, 兵動正幸, 阪口和之, 河内義文, 川崎秀明, 中田幸男, 朝位孝二, 吉本憲正, 石蔵良平: 2009 年 7 月 21 日豪雨による山口県防府地区での土石流災害の実態とその発生メカニズムの多角的検討, *地盤と建設*, Vol.28, No.1, pp.185-194, 2011.
- 21) 大川侑里, 金折裕司, 今岡照喜: 白亜紀防府花こう岩体で発生した土石流の分布と性状, *応用地質*, 第 52 巻, 第 6 号, pp.248-255, 2012.
- 22) 宮澤清治, 日外アソシエーツ編集部: 台風・気象災害全史<シリーズ災害・事故史 3>, 日外アソシエーツ, 2008.
- 23) 防府市教育委員会: 防府市史 上巻, pp.65-81, 1980.
- 24) 中田高, 島崎邦彦: 活断層研究のための地層抜き取り装置 (Geo-slicer), *地学雑誌*, Vol.106, pp.59-69, 1997.
- 25) 原口強, 島崎邦彦, 小島圭二, 中田高: 地層抜き取り装置による軟弱地盤における定方位連続地層採取方法, *地盤工学会誌*, Vol.46, pp.24-26, 1998.
- 26) 下関地方気象台: 山口県災異誌, 1953.
- 27) 村田秀一, 兵動正幸, 安福規之: 風化度に着目した乱さないまさ土の圧縮・せん断特性, *土木学会論文集*, No. 382, pp.131-140, 1987.
- 28) 高橋透: 山口県の防府地域における砂防の歴史—古い写真が語るもの—, NPO 法人山口県防災・砂防ボランティア協会講演会, 2008.
- 29) 山本晴彦, 小林北斗: 2014 年 8 月 20 日に広島市で発生した豪雨と土石流災害の特徴, *自然災害科学*, Vol.33, No.3, 293-321, 2014.
- 30) まさ土地帯の風化及び降雨浸透特性と斜面災害に関する研究委員会: まさ土地帯の風化及び降雨浸透特性と斜面災害に関する研究報告書, *地盤工学会中国支部*, 2003.
- 31) 祇園町誌編纂委員会編: 祇園町誌, 1970.
- 32) 香川正矩編: 陰徳太平記, 合本 1(巻 1-18), 犬山仙之助, p.232, 1911.
- 33) 頼杏坪, 加藤株鷹, 頼舜壽, 黒川方樹, 津村聖山, 吉田吉甫, 正岡元翼編: 芸藩通志, 第一巻, 図書刊行会, p.456, 1981.
- 34) 広島県庁編: 広島縣志 附録 芸備年表, 帝国地方行政学会, p.86, 1925.

(2015 年 9 月 27 日 受付)