

災害報告

2014年8月20日に広島市で発生した集中豪雨に伴う土砂災害

Sediment-related disasters induced by a heavy rainfall in Hiroshima-city on 20th August, 2014海堀 正博^{*1}

Masahiro KAIBORI

中谷 加奈^{*5}

Kana NAKATANI

福塚 康三郎^{*8}

Kozaburo FUKUTSUKA

中野 陽子^{*10}

Yoko NAKANO

石川 芳治^{*2}

Yoshiharu ISHIKAWA

長谷川 祐治^{*5}

Yuji HASEGAWA

吉野 弘祐^{*9}

Kosuke YOSHINO

島田 徹^{*11}

Toru SHIMADA

里 深 好 文^{*3}

Yoshifumi SATOFUKA

松本 直樹^{*6}

Naoki MATSUMOTO

長野 英次^{*10}

Eiji NAGANO

堀 大 一 郎^{*11}

Daiichiro HORI

松村 和 樹^{*4}

Kazuki MATSUMURA

高原 晃 宙^{*7}

Teruyoshi TAKAHARA

福田 真^{*10}

Makoto FUKUDA

西川 友 章^{*11}

Tomoaki NISHIKAWA

Key words : debris flow, extreme torrential rainfall, field investigation, Sabo works effect

1. はじめに

2014年8月20日未明に広島市で発生した豪雨に伴う土砂災害により、死者74名という甚大な被害が発生した。広島市安佐北区三入（気象庁）では1時30分からの3時間雨量217.5ミリを観測した。この3時間雨量は、当該観測所の最高記録であるだけでなく、過去の記録から突出して大きな値である。また、前日の18時までは先行降雨がほとんど降っていないこと、土砂災害の発生箇所分布が3時間雨量の強雨域の分布と一致していることから、短時間の豪雨がこの災害の誘因となったと考えられる。調査団が実施した現地調査等により、土石流の発生した溪流の源頭部では、風化が進み脆くなった花崗岩や堆積岩などの岩盤が確認され斜面表層部の崩壊の素因となったと考えられる。また、過去の地形図の比較から山麓部において宅地造成が徐々に進んできたことが確認され、土石流の流下・到達する範囲における土地利用形態も今回の大きな被害拡大の素因の一つと考えられる。

公益社団法人砂防学会は、土砂災害の発生原因とそのメカニズム、土砂の流下・氾濫・堆積と被害の実態、災害復旧の手法および今後の土砂災害対策のあり方と研究課題を検討するため、緊急調査団を編成し調査を実施した。

2. 被災地周辺の特徴

2.1 地形および土地利用

被害は安佐北区大林町～安佐南区緑井町周辺の北東－南西方向の狭い帯状の範囲（約3×20km）に集中して

いる（以下、同範囲を被害集中域と呼ぶ）（口絵図－1参照）。被災集中域以外では、やや南西部の安佐南区山本地区でのがけ崩れ被害を除いてほとんど確認されない。北部は主に安佐北区の根谷川左岸側流域であり、高松山（標高約340m）や三入地区東方のピーク（標高約230m）からなる低山地周辺において被害が顕著である。南部は主に安佐南区の太田川右岸側流域であり、阿武山（標高約585m）周辺において被害が集中している。

これらの被災集中域には国道54号やJR可部線が位置し、交通の要衝となっている。また、これらの交通インフラに沿って、大小の地形改変を伴う住宅団地の開発が進み、広島広域都市圏の一部を形成している。

口絵写真－3には被災直後の赤色立体地図と地形図の比較による土地利用の変遷を示した。1977年時点では土石流堆から構成される山麓斜面における宅地は疎らであるが、その後、都市のスプロール化に伴う宅地開発が進行してきたものと考えられる。また、阿武山周辺の赤色立体地図からは、後述する地質の違いが谷密度の違いとして現れていること、すなわち、北側の堆積岩類地域よりも南側の花崗岩類地域の方が明らかに谷密度の大きいことが見てとれる（口絵写真－3(2)の図－c）。

2.2 地質

被災地周辺には主に広島花崗岩類が広く分布し、一部に高田流紋岩類やホルンフェルス化した堆積岩類（ジュラ紀付加体）が分布する（図－1）。また、シームレス地質図には示されていないが、当該地域には北西－南東走向の花崗斑岩や石英斑岩等の岩脈が貫入する（図－2）。また、北東－南西方向の断層が存在し、当該断層の南西

*1 正会員 広島大学 Member, Hiroshima Univ. (kaibori@hiroshima-u.ac.jp) *2 正会員 東京農工大学 Member, Tokyo University of Agriculture and Technology *3 正会員 立命館大学 Member, Ritsumeikan Univ. *4 正会員 京都府立大学 Member, Kyoto Prefectural Univ. *5 正会員 京都大学 Member, Kyoto Univ. *6 正会員 独立行政法人土木研究所 Member, Public Works Research Institute *7 正会員 国土技術政策総合研究所 Member, National Institute for Land and Infrastructure Management *8 正会員 八千代エンジニアリング株式会社 Member, Yachiyo Engineering Co., Ltd. *9 正会員 アジア航測株式会社 Member, Asia Air Survey Co., Ltd. *10 正会員 朝日航洋株式会社 Member, Aeroasahi Co., Ltd. *11 正会員 国際航業株式会社 Member, Kokusai Kogyo Co., Ltd.

端は太田川沿いの沖積低地に伏在する可能性が高いことが示されている（図-1）。

2.3 災害履歴

表-1に広島市周辺でこれまでに発生した主な土砂災害の発生状況を示す。広島市周辺では、過去に土石流や斜面崩壊等による土砂災害が多発し、人的被害や家屋被害等の様々な被害を受けた地域であることが分かる。平



図-1 被災地周辺のシームレス地質図
(<https://gbank.gsj.jp/seamless/>)

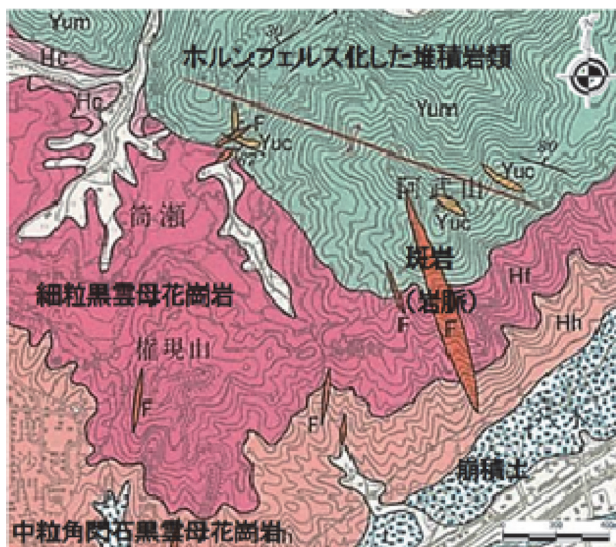


図-2 安佐南区八木地区周辺の5万分の1地質図
(<https://gbank.gsj.jp/geonavi/>)

表-1 広島西部山系直轄砂防事務所管内の
周辺の主な土砂災害履歴

発生年月日	西暦	発生場所		人的被害(人)		被害家屋(戸)	
		発生河川	発生位置	死者	負傷者	流出	全半壊 浸水
明治 19. 8. 3	1886	丸石川他	大野町他	20	-	18	-
明治 40. 7. 15	1907	矢野川他	広島市他	177	118	389	741
大正 12. 7. 12	1923	矢野川他	広島市他	15	11	37	35
大正 15. 9. 11	1926	山本川他	広島市他	103	58	110	150
昭和 3. 6. 24	1928	大塚川他	広島市他	35	-	-	-
昭和 20. 9. 17	1945	丸石川他	大野町、呉市他	1,775	1,054	1,330	5,502
昭和 26. 10. 14	1951	中津岡川他	大竹市、大野町、湯来町他	132	361	350	1,983
昭和 57. 7. 13	1982	丸石川他	廿日市市、広島市	6	1	1768	-
平成 3. 9. 27	1991	太田川他	広島市他	6	49	-	492
平成 5. 7. 27	1993	田吹川他	大野町市	3	-	81	12,167
平成 11. 6. 29	1999	大毛寺川他	広島市、呉市他	24	14	-	148

成11年6月の集中豪雨（6.29豪雨災害）では、最大時間雨量81mmを記録し、多数の人的被害や家屋被害を伴う大規模災害となり、土砂災害防止法制定の契機となった。図-3には同災害の主な発生箇所と今回の被災範囲を示した。土石流は主に広島花崗岩類で、一部は堆積岩類で発生しているものの、今回の被害集中域では発生していなかったことが分かる。

3. 降雨特性と土石流発生溪流の分布

3.1 降雨状況

広島県下では8月19日夜から20日明け方にかけて広島市を中心に猛烈な降雨を観測した。図-4に示すとおり、被害集中域近傍の高瀬観測所（国土交通省：1975

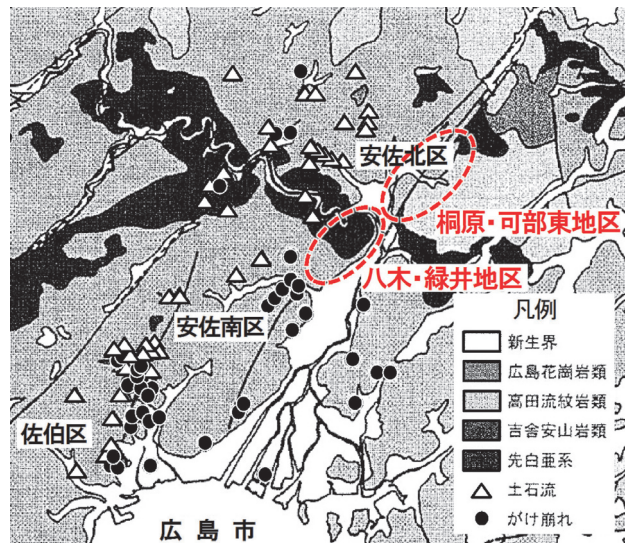


図-3 平成11年災害発生箇所と今回の被災範囲（応用地質学会中国四国支部¹⁾に加筆）

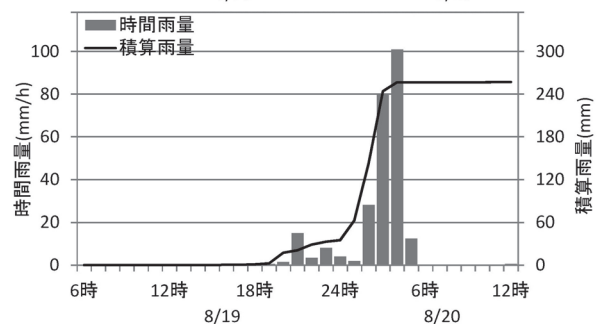
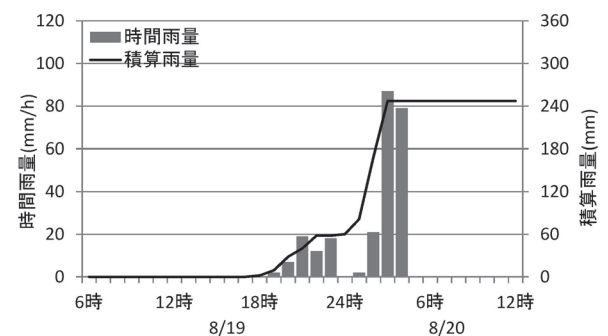


図-4 降雨の時間変化
(上図：高瀬（国土交通省），下図：三入（気象庁））

年観測開始)および三入観測所(気象庁：1976年観測開始)では、それぞれ、最大時間雨量は87mm(8/20 2:00-3:00)、101mm(8/20 3:00-4:00)、最大3時間雨量は187mm、209mm(いずれも8/20 1:00-4:00)、最大24時間雨量は247mm、257mm(いずれも8/19 4:00-8/20 4:00)を記録した。

既往の記録として、高瀬、三入の時間雨量、3時間雨

表-2 観測開始以来の高瀬・三入の極値
(上位5位)

時間雨量				
高瀬(1975年～)			三入(1976年～)	
順位	降水量(mm)	起日	降水量(mm)	起日
1	87	2014/8/20	101	2014/8/20
2	70	2000/7/4	60	1997/8/5
3	49	1988/7/21	58.5	2008/8/14
4	47	1984/7/19, 2008/8/14	56	1998/7/22
5	44	1997/8/5	48	1986/7/10, 1997/9/7

3時間雨量				
高瀬(1975年～)			三入(1976年～)	
順位	降水量(mm)	起日	降水量(mm)	起日
1	187	2014/8/20	209	2014/8/20
2	101	1988/7/21	101	1997/8/5
3	98	2010/7/13	88	1997/9/7
4	80	1997/8/5	85	2006/9/16
5	72	2000/7/4	83	1988/7/21

24時間雨量				
高瀬(1975年～)			三入(1976年～)	
順位	降水量(mm)	起日	降水量(mm)	起日
1	247	2014/8/20	257	2014/8/20
2	221	1995/7/2	234	1995/7/2
3	199	1983/9/27	219	1983/9/27
4	196	2010/7/13	211	1985/6/23
5	192	1985/6/23	195	2006/9/16

量、24時間雨量を表-2に示す。いずれにおいても当該地区における今回の降雨は、観測史上過去最大となっており、特に3時間雨量は過去の降雨と比較しても突出して大きく、短期間に非常に多くの降雨があったことが伺える。参考までに、今回の降雨の年超過確率規模を表-3に示す。高瀬では、時間雨量では300～400年、最大3時間雨量では500年を超える規模に相当する。一方、三入では、時間雨量、最大3時間雨量とも500年を超える規模に相当する。なお、年超過確率規模の計算に際しては、適合度が高く、推定誤差が最小となる最適モデルを用いたが、適合度が基準($SLSC \leq 0.04$)を満たしていない場合は最もSLSC値が小さい手法を採用²⁾した。

3.2 斜面崩壊(土石流発生溪流)の分布と降雨特性の関係

災害後に撮影されたオルソ画像を用いて、「崩壊地」「土石流流下範囲」「土石流堆積範囲」「泥水浸水範囲」の4種類の判読を行った(口絵図-1)。

また土砂移動範囲の判読結果(「崩壊地」「土石流流下範囲」「土石流堆積範囲」と、雨域の分布を図-5に示す。今回の降雨は、短時間に非常に強いものであったこともあり、3時間雨量と24時間雨量の雨域分布は比較的同様の傾向を示しており、広島市安佐南区から北東方向に多雨域が確認できる。一方崩壊地はこれらの多雨域の分布と同様に、安佐南区八木・緑井地区から安佐北区可部東・桐原地区へと南西から北東方向にかけて多く分

表-3 降雨の年超過確率規模

観測所	所管	評価 期間	雨量	年超過確率	選定手法	年超過確率規模										備考
						2	5	10	50	100	200	300	400	500		
高瀬	国土 交通省	1975 年 ～ 2013 年	時間雨量：87 mm	300～400 年	GEV 分布	30.4	39.3	45.8	62.3	70.3	78.9	84.2	88.1	91.2	SLSC = 0.058 ^{※1}	
			3 時間雨量：187 mm	500 年以上	GEV 分布	52.6	64.0	72.6	94.9	106.0	118.1	125.7	131.4	135.9	SLSC = 0.069 ^{※1}	
			24 時間雨量：247 mm	200～300 年	GEV 分布	124.4	159.4	179.8	217.9	231.7	244.2	250.9	255.5	258.9		
三入	気象庁	1976 年 ～ 2013 年	時間雨量：101 mm	500 年以上	岩井法	33.0	42.1	48.0	60.6	65.9	71.1	74.2	76.4	78.1	SLSC = 0.045 ^{※1}	
			3 時間雨量：209 mm	500 年以上	Gumbel 分布	57.8	69.5	77.2	94.3	101.6	108.8	113.0	116.0	118.3		
			24 時間雨量：257 mm	100～200 年	GEV 分布	131.5	170.5	192.5	232.3	246.1	258.3	264.8	269.2	272.4		

※1：SLSC値が0.04を上回る場合、SLSC値が最も小さくなる手法を選定した。

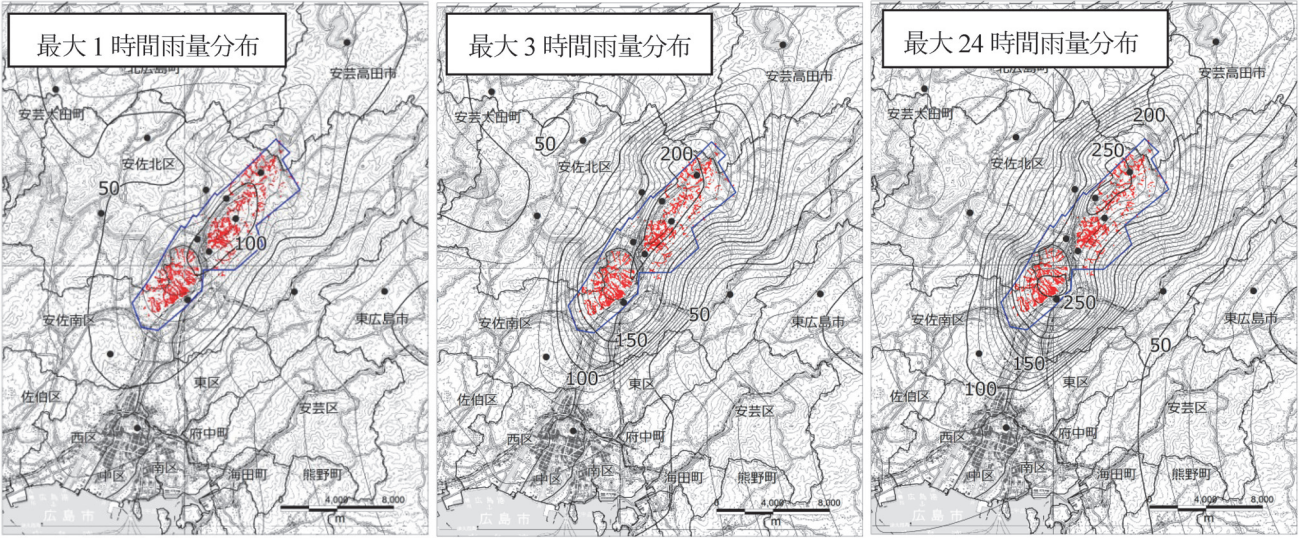


図-5 斜面崩壊(土石流発生溪流)と雨域分布
(図中赤色は崩壊地、土石流流下範囲、土石流堆積範囲を表している)

布していることが確認された。

4. 土石流の発生域から流下域にかけての特徴

本調査では、安佐北区高松山周辺および安佐南区八木地区周辺において、土石流の発生した溪流の一部で現地踏査を実施した。調査を行った溪流は、口絵図-1に溪流の名称を示している。

4.1 高松山周辺地区

4.1.1 根谷川支川 97 (安佐北区可部東六丁目) の土石流 (北緯 $34^{\circ}31'13''$, 東経 $132^{\circ}31'24''$ 付近)

本溪流は高松山の南東向き斜面に位置し、流域面積 0.03 km^2 , 延長 300 m , 標高差 150 m の規模を持つ溪流である。流域全体が花崗岩を主体とした地質で、風化が強く進んでいる状態にある。流域源頭部で表層崩壊が発生し、滑落崖から噴き出した多量の水が土砂を伴い流動化して谷出口まで一気に流れ下り、家屋や道路に甚大な被害を与えた。

源頭部の崩壊発生場所の地質は主に風化の進んだ花崗岩であり、 2 m の高さで滑落崖を形成している。土層には $\phi 0.5 \text{ m} \sim 1.0 \text{ m}$ の礫も多数含んでいる (写真-1)。崩壊発生後の流水により、崩壊面には最大で深さ 2.0 m のガリー侵食も発生しているが、岩盤の露頭は見られない。源頭部崩壊地の勾配は 40° 前後である。また、滑落崖付近には大小含め多数のパイピング孔が確認できた。周辺の斜面土壌の浸透能を大きく超えるような短時間の集中豪雨がパイプフローの噴出につながり、崩壊発生の直接的な要因になったと考えられる。

4.1.2 根谷川支川 97 と 98 の間の沢 (安佐北区可部東六丁目) の土石流 (北緯 $34^{\circ}31'27''$, 東経 $132^{\circ}31'27''$ 付近)

本溪流は根谷川 97 の東側に位置し、延長 350 m , 標高差 190 m , 流域面積 0.04 km^2 の流域で、土石流危険溪流としては把握されていなかった。源頭部では南北 2 箇所斜面崩壊が発生し、流動化した土砂が谷出口で氾濫した。溪流内は主に花崗岩が分布しており、上流側では節理が発達し、強い風化を受けて溪床に露出している。



写真-1 根谷川支川 97 の源頭部の様子

源頭部の斜面崩壊は、南側は長さ (水平) 20 m , 幅 10 m , 深さ 2 m (写真-2), 北側は長さ (水平) 25 m , 幅 10 m , 深さ 2 m であり、傾斜はいずれも約 35° である。

南側の崩壊地頭部ではパイピング孔が多数確認でき、北側では崩壊地上方にある高松城跡の平坦地に井戸跡が残されていることから、本溪流では地下水が地表近くを流れていることが推測される。

4.1.3 根谷川支川 86 (安佐北区可部町桐原) の土石流 (北緯 $34^{\circ}32'21''$, 東経 $132^{\circ}32'23''$ 付近)

地質は花崗岩からなり、風化を帯びマサ土化を呈している。本沢の源頭部の崩壊は、標高 210 m 付近で発生し、幅 12 m , 長さ (水平) 20 m , 深さ 1.5 m , 傾斜 34° を呈している (写真-3)。

崩壊面には $\phi 2 \sim 3 \text{ cm}$ のパイピング孔がいくつか認められる。崩壊下部の両側部は花崗岩中の斜交する節理に規制されてボトルネック状を呈している。これ以外に、崩壊は標高 145 m 付近と標高 125 m 付近の右岸側に存在し、いずれも周辺の植生は常緑広葉樹からなる。これらの崩壊は、前者が幅 10 m ・長さ (水平) 26 m ・深さ



写真-2 根谷川支川 97 と 98 の間の溪流源頭部南側の崩壊と崩土の様子



写真-3 根谷川支川 86 の源頭部の崩壊状況
崩壊下部は花崗岩に規制されている

0.7 m・傾斜 35°、後者が幅 15 m・長さ（水平）20 m・深さ 0.7 m・傾斜 39°の規模を呈し、崩壊深さは 1 m 未満と浅い。

4.1.4 根谷川支川 85（安佐北区可部町桐原）の土石流 （北緯 34°32′20″，東経 132°32′14″ 付近）

地質は花崗岩を主体とし、流紋岩質溶結凝灰岩が一部で認められ、隣接する根谷川支川 86 に比べ、マサ土化が進んでいる。源頭部の崩壊は標高 220 m 付近に位置し、幅 12 m・長さ（水平）22 m・深さ 1.2 m・傾斜 31°を呈しており、崩壊面には ϕ 1~2 cm の多数のパイピング孔とリル・ガリーが認められる（写真-4）。これ以外に、崩壊は標高 190 m 付近の左岸側に幅 8 m・長さ（水平）15 m・深さ 1.2 m、標高 140 m 付近の右岸側に幅 20 m・長さ（水平）22 m・深さ 0.8 m、標高 130 m 付近の左岸側に幅 8 m・長さ（水平）55 m・深さ 1.0 m が存在し、いずれも周辺の植生は常緑広葉樹からなる。流下域の上流部の溪床には、岩盤の露頭はほとんど認められず、 ϕ 10~30 cm 大の花崗岩の角礫を混入するマサ土が分布し、流水はこの中を伏流して途中の花崗岩の亀裂部から湧出している。

4.2 阿武山周辺地区

4.2.1 鳥越川（安佐南区緑井八丁目）の土石流 （北緯 34°28′51″，東経 132°28′55″ 付近）

本溪流は阿武山の南東向き斜面に位置し、流域面積 0.33 km²、延長 830 m、標高差 270 m の規模を持つ。流域全体が花崗岩を主体とした地質で、風化が強く進んでいる状態にある。流域内の複数の 0 次谷源頭部で表層崩壊が発生し、流動化した土砂が土石流として谷出口まで一気に流れ下り、家屋や道路に甚大な被害を与えた。

源頭部の崩壊発生場所は、いずれも風化の進んだ花崗岩の上に層厚 0.5 m~1.0 m 程度のマサ土が薄く被覆する土質状況を示し、表層のマサ土が花崗岩との境界を滑り面とし、風化の進んだ花崗岩を一部侵食し、最大 ϕ 0.5 m 程度の礫と共に崩落した。また、その境界付近には大小含め多数のパイピング孔が確認できた（写真-5）。



写真-4 根谷川支川 85 の流下域に見られる花崗岩亀裂部からの湧出

4.2.2 太田川支川 75（安佐南区八木三丁目）の土石流 （北緯 34°29′15″，東経 132°29′35″ 付近）

本溪流は、阿武山の南東側、阿武の里団地の背後に位置し、延長 1 km、標高差 500 m、流域面積 0.19 km² であり、下流域は明瞭な扇状地形となっている。流域の地質は、地質図からは、上流域には付加体堆積岩が分布し中~下流域には花崗岩類が分布する（前出図-1）。しかし、土石流として流下している礫の殆どが付加体堆積岩と一部が斑岩類であり、花崗岩は含まれていない。源頭部の崩壊は、稜線から 30 m 下方の付加体堆積岩の強風化部で発生しており、水平長 15 m、幅 6 m、深さ 0.8 m、崩壊面上部にはパイピング孔が見られる（写真-6）。稜線付近には崩壊地が 3 箇所確認され、いずれも深さ 1 m 未満の表層崩壊である。崩壊地の下方は、溪床勾配 40~35°で露岩しており、崩壊土砂は侵食深 0.5 m~2.0 m で移動している。阿武山山頂より水平長 500 m 地点右岸側に水平長 150 m、幅 10 m、深さ 1 m の崩壊地があり、崩壊土砂は対岸に 7 m 乗り上げているが河道を閉塞した痕跡は見られない。以上のことから、本溪流では源頭部や溪岸の崩壊を起因として土石流が発生したと考えられる。



写真-5 鳥越川源頭部の土石流発生地点



写真-6 太田川支川 75 の源頭部の状況

4.2.3 五反田川（安佐南区八木四丁目）の土石流 （北緯 34° 29′ 18″，東経 132° 29′ 44″ 付近）

地質は、地質図からは、下流域では花崗岩となっている（前出図-1）が、この土石流も流下している礫のほとんどが付加体堆積岩と一部が斑岩類であり、一部流紋岩質溶結凝域灰岩、中流～上流域ではホルンフェルス・チャート・砂岩等からなり、小規模な断層が認められるものの、花崗岩は含まれていない。花崗岩分布域に比べ、ホルンフェルス・チャート等からなる付加体が分布する区域では岩質的に風化・侵食に対する抵抗力が強いため地形勾配は急であるとともに礫径は大きく礫量も多い。

源頭部の崩壊は標高 470 m 付近に位置し、幅 7 m・水平長 25 m・深さ 1.0 m と規模は小さい。ただし、勾配は 40° と急で ϕ 0.1～0.6 m 大のホルンフェルスの角礫を混入する砂質粘土からなり、中下流に比べ細粒分が多く含水比は高い（写真-7）。崩壊面には ϕ 2～4 cm のパイピング孔が多数認められる。また、上流域の山腹斜面では立木の根元に小枝の巻きつきや表層土層（A 層）の流出が認められることより、多量の表面流が発生していたことが推察される。

4.2.4 太田川支川 71（安佐南区八木八丁目）の土石流 （北緯 34° 29′ 45″，東経 132° 30′ 21″ 付近）

本溪流は太田川橋の右岸側に位置し、延長約 1 km、標高差 460 m、流域面積 0.19 km² である。地質図上は山裾部に花崗岩の分布が示されている（前出図-1）が、実際には谷出口より上流側の地質はすべて付加体堆積岩からなり、溪床や流域内の斜面には堅硬な泥質岩ないしチャート・ホルンフェルスが断続的に露出している。

土石流の源頭部は、主稜線より水平長約 200 m に位置する集水地形の中央底部にあたり、勾配約 18° の緩斜面に生じた水平長 30 m、幅 10 m、深さ 5 m の細長く深い崩壊地である（写真-4.8）。崩壊地は表層部約 1 m を粘土質の風化層に覆われた厚い崖錐堆積物からなり、上端部には湧水跡が見られる。崩壊地末端には遷急線があり、それより下流側約 100 m の区間は約 22° とやや急な斜面になっているが、ガリーはほとんど形成されておら

ず、崩壊土砂は草木を押し倒しながら地表面を流下している。

流域の山腹斜面や支溪には大規模な土砂移動痕跡が認められないことから、本溪流では、主流路上流～中流の谷底部にたまった崖錐堆積物が豪雨による多量の表流水・伏流水によって流動化し、土石流となって流下したものと考えられる。

5. 土石流の流下・堆積域の特徴

5.1 高松山周辺地区

5.1.1 根谷川支川 97（安佐北区可部東六丁目）の土石流

中流部から下流域の区間は溪床勾配が 18° と上流域より緩くなり、上流域では花崗岩の露頭が目立っていたこと（写真-9）と対照的に、多量の ϕ 0.5 m～1.0 m 級の礫とマサ土主体の土砂の堆積が始まっている。また、これらが堆積した後の後続流による幅 3.0 m、深さ 1.0 m 程度の侵食も確認された。下流域は谷出口にかけて勾配が 13° とさらに緩くなり、礫だけでなく土砂の堆積も顕著となり、堆積厚は 2.0 m 程度と推定された。

谷出口より下流側は、宅地造成が行われている扇状地であり、現在は住宅地となっている。谷出口に最も近くにあった家屋が土石流の直撃を受け基礎ごと破壊された



写真-8 太田川支川 71 の源頭部の様子



写真-7 五反田川の源頭部の崩壊状況



写真-9 根谷川支川 97 の溪流内の様子

ように、土石流は2.0 m程度の高さで住宅地へ流下し、多くの家屋へ甚大な被害を与えた。周辺には ϕ 2.0~3.0 mの巨礫も点在し、流木の堆積も認められた。

住宅地内を通過する生活用道路は平均で5°程度と急勾配であり、土石流の流下方向に対して直交に近い方向であるにも関わらず、土石流の大部分がそこを流下した。家屋等の建物は土石流の流れに対して障害物となり得るため、障害物が無く開けた道路上に方向を変え流下したのと考えられる。

5.1.2 根谷川支川 97 と 98 の間の沢（安佐北区可部東六丁目）の土石流

源頭部の斜面崩壊から下流側約150 mは勾配約22°のほぼ直線状の区間であるが、それより下流側は約30°右岸側に曲流している。曲流部では土石流の流下痕跡が認められ、左岸側では比高8 m、右岸側では比高4 mとなっており、外湾側にせり上がったことが確認できる。曲流部より下流では徐々に溪床勾配が緩くなり、谷出口付近では約10°となる。

谷出口より下流側約200 mの区間はパークゴルフ場の棚田状のコースとなっており、ここに最大礫径 ϕ 1.8 m、平均 ϕ 0.1 mの土石流堆積物や流木が堆積している。パークゴルフ場より下流は樹林帯となっていたが、土石流の一部は樹木をなぎ倒し、突き抜けてさらに下流へ到達している。また、左岸側の氾濫域を中心に土石が樹林帯で捕捉され、森林内には細粒の土砂が流れ込んだ程度のところも見られた（写真-10のa）。土石流は、パークゴルフ場の棚田状の地形を流下しているため、地形の影響を受けて減衰したものと考えられる。さらに、土石流の一部は流下方向に対して約40°斜交する道路（写真-10のb、道路の縦断勾配は約9°）に沿って流下し、路面には土砂・流木の堆積や陥没、舗装の波状変形などの流下痕跡が多く見られた。

5.1.3 根谷川支川 86（安佐北区可部町桐原）の土石流 沢が左に曲流する標高125 m付近の谷出口から氾濫

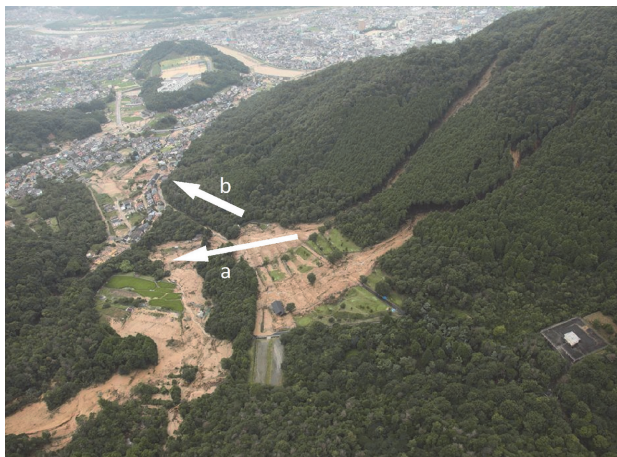


写真-10 土石流の流出の様子
根谷川支川 97 と 98 の間の沢
(国際航業株式会社/株式会社パスコ撮影)

が始まって現流路に沿って扇状に広がっており、県道を乗り越えて土砂や流木が堆積している。堆積礫は、平均 ϕ 0.15 m、最大 ϕ 1 m程度の花崗岩礫からなる。なお、本溪流には施設がなかったため、県道より上流にあった家屋2戸と集会所が被災している（写真-11）。

5.2 阿武山周辺地区

5.2.1 鳥越川（安佐南区緑井八丁目）の土石流

谷出口から流域中流部までは、溪床から3 m程度の高さの溪岸に土石流の痕跡が認められる。この区間の溪床勾配は10~15°である。溪床には ϕ 1.0 m程度の礫が多く堆積し、中には ϕ 2.0 m程度の巨礫も点在している。谷出口より上流100 m地点には治山谷止工が設置されているが、副堤の前庭部が著しく洗掘され、基礎部が1.0 m程度浮き上がったような状態になっており、流下した土石流の激しさが伺える。

谷出口より下流側は、過去の土石流で形成された扇状地に大規模な宅地造成が行われている。谷出口を境に勾配は上流方向の10°に比べ下流方向は6°と緩くなっているものの、 ϕ 2.0~3.0 mの巨礫を含んだ土石流は2.0 m程度の高さで下流側に広がる住宅地へ流下し、多くの家屋へ甚大な被害を与えた。土石流は扇頂部付近の家屋を直撃し、そこで勢いが減衰され巨礫が堆積すると背割堤のような状態となり、そこから左右に分かれて流下する形態を示している。家屋等の建物は土石流の流れに対して障害物となり得るものであり、実際に土石流は家屋が無い扇状地の左右端付近を通過する道路に沿って流下し、5°以上の勾配を持つ扇状地末端付近まで多量の土砂及び巨礫と共に到達したことが確認できた（写真-12）。

5.2.2 太田川支川 75（安佐南区八木三丁目）の土石流

阿武山山頂より長さ（水平）500 m地点より下方の扇頂部までは溪床勾配21°、幅27 m、堆積深2 m、礫平均 ϕ 0.3 mの土砂が堆積している。ほぼ直線的な谷筋であるが方向を10°程度右岸側に曲流する地点で土砂および流木の局所的な堆積が見られ、後続流による侵食痕跡が



写真-11 根谷川支川 86 の堆積域の状況
道より上の家屋2戸と集会所が被災した

ら堆積深 5 m 程度であることが確認できる。扇頂部付近の溪床勾配は 14° 、土砂の堆積幅は 30 m 程度であり、水平長 200 m を流下して阿武の里団地に到達する地点の堆積幅は 140 m、分散角度 29° 、平均礫径は 0.1 m である。土石流の流下痕跡が 2 つに枝分かれしている付近には、高さ 2~3 m の土石流堆が確認される。団地内に流入した土石流は、山側や道路沿いの建物を大きく損傷しているが、家屋のほとんどが原形を留めており、建物の 1 階がほぼ堆積土砂に埋もれているものの、下流側へ大きく傾くということは確認できなかった（写真-13）。このことは、団地内に流入した土石流には巨石が少なく、巨大な岩石の直撃による破壊が少なかったためと考えられる。土石流は、勾配 12° の団地内道路に沿って人家に損傷を与えながら流下し、道路がクランク状になっている部分で木造家屋に衝突して向きを変え、勾配 6° 付近の堅牢建物（鉄筋 4 階）で停止している。今後、土石流による家屋の損傷を考える上で、建物周辺において流れの方向が大きく変化することの影響について調べる必要がある。細粒分の土砂は道路に沿って水深 0.7 m で流下し、勾配 3° 以下となる JR 可部線まで到達している。



写真-12 鳥越川谷出口より下流の様子



写真-13 阿武の里団地に流入した土石流
勾配 12° の道路沿いを流下した

5.2.3 五反田川（安佐南区八木四丁目）の土石流

土石流は、標高 80 m 付近の勾配が 10° 前後の住宅地から堆積傾向が強まっている。左側の旧流路方向を流下した土石や流木は、勾配が 15° 弱の住宅地の最上流に位置する鉄筋コンクリート製の 3 階建ての家屋（倒壊せず）の角にぶつかった（写真-14）後、勾配が約 12° 超の範囲で下流側の木造家屋を倒壊させながら標高 70 m 付近で停止している。フロント部の礫は $1.0\text{ m} \times 1.2\text{ m}$ の規模を呈する。また、直進した土石流も、同様に木造家屋を倒壊させながら標高 70 m 付近で停止している。ただし、細粒分の多い土砂は住宅の間を縫うように JR 可部線の付近まで及んでいる。

5.2.4 太田川支川 71（安佐南区八木八丁目）の土石流

土石流の発生源となっているガリー区間より下流側は、水平長で約 40 m にわたって勾配約 30° の急流区間があり、付加体堆積岩の新鮮な露岩が見られる。その下流側区間では、北北東-南南西方向に連続する破碎帯が複数条あり、付近は岩盤の侵食強度が低下し、下刻が進行している。破碎帯区間より下流側では、勾配が 15° 以下と緩くなり、堆積傾向が強まる。谷出口の上流約 70 m に位置する右岸側への曲流部では、両岸に土石流の流下痕跡が認められ、右岸と左岸でそれぞれ 4 m と 7 m で外湾側への顕著なせり上がりが認められる。

谷出口付近は勾配が 11° で、放射状に土石が氾濫・堆積している（写真-15）。礫は、最大礫径が 2 m、平均礫径が 50 cm である。土石流は、谷出口から約 100 m 下流の範囲にある家屋を押し流すあるいは 1 階部分を埋めており、国道 54 号の盛土（最大高さ 4 m）に規制されている。堆積土砂は八木用水や国道盛土の開口部を閉塞したため、盛土上流側にあたる細野地区の広範囲が湛水し、多くの建物が泥水に浸かった。なお、谷出口左岸側では、谷出口直近に位置する建物にもかかわらず、急傾斜地対策工によって土石流の直撃を免れた例も見られた。



写真-14 五反田川の堆積域の状況
土石や流木は、家屋（倒壊せず）の角にぶつかった

6. 流木の流出について

今回の災害において、流木の流出した溪流は数多くあったが、現地調査の際流木の多くは整理・除去されており、その中で流出した流木量が多く、流出時の状態が保持されていた2溪流について調査した。可部91と可部92において流出した流木量を現地での観察・概査の結果から概算すると可部91溪流で110 m³、可部92溪流で570 m³と見積もられる。こうした流木量を既往の調査データのグラフ上に追記して比較したものが図-6である。今回調査したプロットが既往調査の上限付近にあることが分かる。

7. 家屋の影響を考慮した土石流の数値シミュレーション

GISと連携した土石流シミュレーションシステムHyper KANAKO⁴⁾を利用して、太田川支川75で発生した土石流の数値シミュレーションを実施した。今回の災害では、特に谷出口付近に存在した家屋での被害や、谷出口から住宅間を通る道路上に土砂・流木・水が流動したことが確認されている。これまで土石流の氾濫・堆積過程を検討する際に、家屋などの扇状地における構造物



写真-15 太田川支川 71 の谷出口付近の氾濫状況 国道 54 号の盛土が土石流を規制している

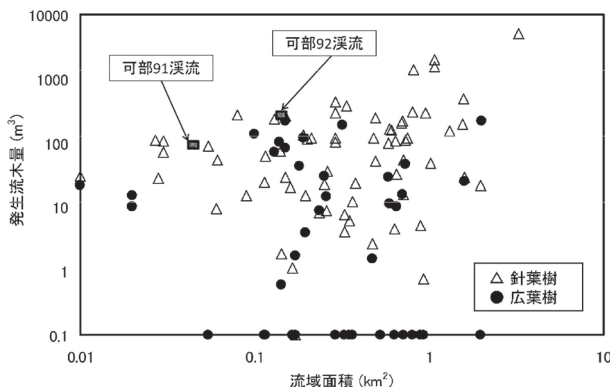


図-6 流域面積と発生流木量の関係
(国土技術政策総合研究所資料 (2007 年)³⁾に加筆)

を考慮することはほとんど無かったが、最近の研究では土石流の氾濫解析でも家屋の影響を考慮した検討が行われている⁵⁾。本報告では、地形形状に加え地盤高を補正する手法で建物の影響を考慮した条件で検討を行った。

供給ハイドログラフは土石流が発生した8月20日（8月19日から）の高瀬雨量観測所（国土交通省所管）の雨量を元に24時間雨量の総量が流出率0.7（山地）で流出するとし、土石流の継続時間を350秒、ピーク継続時間を250秒と仮定して算出し、台形型のハイドログラフを仮定した。また、当該溪流から土石流により流出した土砂量については現地調査や測量資料などから約22,200 m³と推定し計算上は同量（空隙込み）の土砂を上流側の流路部に移動可能な土砂として設定している。また、地形データは太田川河川事務所より提供された平成21年に撮影されたLPデータを使用した。

図-7上段に家屋が存在しない場合の最大痕跡（水深+堆積厚の最大値）、および計算終了時の堆積厚の結果を、下段に家屋を考慮した場合（高さ6m、二階建てを想定）の結果を示す。解析の結果、以下の事象が確かめられた。

- (1) 家屋を考慮の方が現象をよく再現している。
- (2) 家屋を考慮することで、相対的に地盤高が低い道路が表現され、土石流が道路上を移動する現象が確認された。
- (3) 家屋を考慮すると、家屋を考慮しない場合よりも右岸（南）側に氾濫・堆積が広がる。
- (4) 家屋を考慮すると、谷出口に面する道路上に堆積が集中し、災害前後の土砂移動状況とも対応する。
- (5) 谷出口での土砂の堆積状況から、透過型砂防堰堤（家屋が不透過部、道路が透過部）のような機能を発揮したと推測される。

8. 砂防・治山施設の効果

広島県のホームページに示された土砂災害危険箇所によると、今回の災害が発生した被害集中域には約190箇所の土石流危険溪流がある。また、調査団が行った聞き取り調査によると、前述の被害集中域における砂防堰堤・治山堰堤の設置されている溪流数は、砂防堰堤と治山堰堤が重複している溪流が無いと仮定して34溪流とされる。したがって、施設の整備されていた溪流数の割合は、2割程度と想定され、施設の整備されていなかった溪流が大半をしめていたと考えられる。本調査団は、限られた調査人員・日程の制約から、2つの施設に限定して現地調査を実施した。

安佐北区大林3丁目の下ノ谷川に設置されている砂防堰堤の堆砂状況を確認した。今回発生した土石流により砂防堰堤は満砂状態となり、上流側には土砂および流木が多量に堆積していた（写真-17）。下流側へは細粒分の土砂がわずかに流出した痕跡があるものの、巨礫や流木の流出は確認できなかった。また、安佐北区可部町桐原の根谷川支川85においても治山施設（有効高6m程

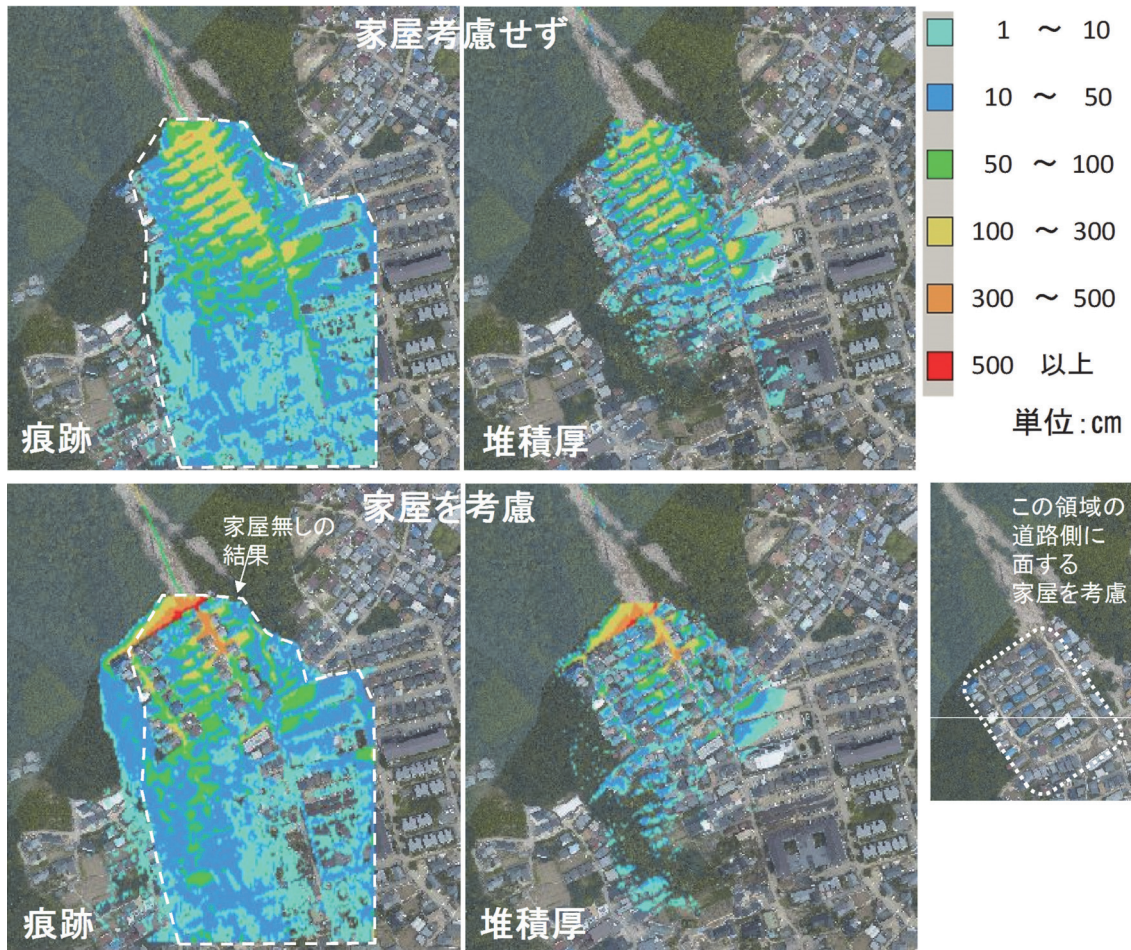


図-7 家屋を設定しない場合（上段）および考慮した場合（下段）の計算結果
（背景画像は災害後のオルソ画像：太田川河川事務所提供）



写真-16 可部 92 溪流における流木の堆積状況（撮影 H 26 年 8 月 24 日）

度)によって土石流が捕捉された状況が確かめられた(写真-18)。

なお、本調査団が砂防・治山の施設の整備状況について聞き取り調査を行ったところ、既設の堰堤の一部では流出土砂の一部が堰堤を越えて下流に流出したものもあるとのことである。本災害における砂防・治山施設の効果評価には、さらに詳細な調査が必要と考えられる。

9. おわりに

今回の災害は、3つの大きな要因が被害を拡大させたといえる。1つ目は、誘因となった豪雨が8月20日午前1時過ぎから午前4時にかけて急激に強まったことである。真夜中の最も災害対応の困難な時間帯で、過去に

も大きな災害がこのような時間帯で発生している。2つ目は、豪雨の規模が例えば、当該地域では500年に一回という規模をはるかに上回る未曾有の降り方であったことである。当該地域の過去の経験を活かすことができなかった理由もここにあるといえる。3つ目は、そのような誘因がもたらされた地域が、大都市の人家の密集する地域であったことである。しかもこれらの人家は、水の集まりやすい流路沿いの地域や、さらに安佐南区では比較的勾配の大きな所にも密集していた。1999年6.29広島土砂災害以後も小規模な宅地開発が継続的にそのような場に広がっていたことが、全国的に見て決して大規模とはいえない土砂移動現象でも74名もの命を奪う大災害となってしまった要因であるといえる。



写真-17 砂防堰堤の堆砂状況
(安佐北区大林3丁目, 下ノ谷川)



写真-18 根谷川支川85の治山堰堤の堆砂状況

なお、地質の違いや勾配の違いでの土石流の破壊力の違いも調査から明らかになった。花崗岩類地域では、安佐南区緑井で 6° 、八木三丁目県営緑が丘住宅のある地区で 8° 程度の人家が多数、巨石混じりの土石流により甚大な被害を受けていた。堆積岩類地域でも八木四丁目八木が丘団地では 12° ～ 15° の勾配にあった人家が多数、巨石混じりの土石流により大きな被害を受けていた。一方で、堆積岩類地域の土石流が発生した八木三丁目阿武の里団地の人家は最上部でも 12° 以下であったために、堆積岩の石礫の直撃よりは大量の泥水の流体圧と流木による被害が目立っていた。

行政側からは、前夜の21時50分以降、数回自主避難の呼びかけ（避難準備情報）が行われていたが、避難勧告等の発令は土石流等の発生後の午前4時15分以降となってしまった。土砂災害警戒情報の発表がすでに午前1時15分になされていたことから、避難勧告等の遅れを指摘する声も多い。しかし、豪雨の経緯を見ると、真夜中の大雨のさなかに避難勧告に盲目的に従って避難所に向かうという避難行動をとってしまったために犠牲になった人が多く出たかも知れない。現時点では、土砂災

害警戒情報の発表後直ちに避難勧告等に結びつけられなかったことと、犠牲者の数や被害の大きさとの関係はまだ明らかにされたわけではなく、今後慎重に検証されなければならない事例であると思われる。

土砂災害防止法による警戒区域等の指定は、安佐北区の可部地区のみがなされていたが、調査団調査の聞き取りをした範囲では、この地域では自主的な警戒・避難行動が早い段階から行われていた。住民にしっかりと土砂災害の危険性について理解を促し、自主的な協力が得られる環境を作ることこそ、最も緊急になされるべきことではないかと思われる。

なお、調査にあたっては、広島市消防局安佐北消防署の皆様から現地の案内や立入許可申請等で多大なる支援を受けた。中国地方整備局、太田川河川事務所、広島県砂防課の各位からもさまざまな情報をいただき参考にさせていただいた。また、本報告の一部は、公益財団法人河川財団の河川整備基金の助成を受けて行われた。ここに記して衷心より感謝いたします。最後に、今回被災された方々や地域が一日でも早くもとの平穏さを取り戻せますことを心から祈念しております。

参考文献

- 1) 応用地質学会中国四国支部：1999.6.29 広島・呉土砂災害速報－花崗岩地域における土砂災害－，応用地質，Vol. 40，No. 5，p. 316-321，1999
- 2) 気象庁：異常気象リスクマップ・確率降雨量の推定手法，http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/riskmap/cal_qt.html，参照 2014-09-04
- 3) 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）解説，国土技術政策総合研究所資料，No. 364，p. 42，2007
- 4) 堀内成郎・岩浪英二・中谷加奈・里深好文・水山高久：LPデータを活用した土石流シミュレーションシステム「Hyper KANAKO」の開発，砂防学会誌，Vol. 64，No. 6，p. 25-31，2012
- 5) 中谷加奈・里深好文・藤田正治・水山高久：平成24年7月に京都府亀岡市南条で発生した土石流の検討－構造物の影響を考慮して－，自然災害科学，Vol. 33，No. 1，p. 17-27，2014

補足

公益社団法人砂防学会 2014年8月広島大規模土砂災害緊急調査団団員名簿（敬称略）

団長：海堀正博（広島大学大学院総合科学研究科教授）

団員：（第一次調査8月23-24日）海堀正博，石川芳治，下田義文，松村和樹，里深好文，中谷加奈，長谷川祐治，加藤誠章，上森弘樹

（第二次調査8月30-31日）海堀正博，松本直樹，高原晃宙，島田徹，福塚康三郎，長野英次，吉野弘祐，福田真，中野陽子，阿部美沙，堀大一郎，西村智博，西川友章，河合貴之，斎藤愛，小泉和也，庄司浩，山田真吾，江川佳苗，中井真司，吉富健一，稲山諒

（第三次調査9月6-7日）海堀正博，南哲行，野呂智之，笠井美青，菊池英明，飯島康夫，中島悠介，久保田史郎，矢野孝樹，末峯章

協力者：柳迫長三（広島市消防局安佐北消防署）

(Received 5 October 2014)