

2014年8月広島土石流災害における 流木の発生と流動・堆積に関する研究

PRODUCTION AND DEPOSITION OF DRIFTWOOD DURING THE 2014
DEBRIS FLOW EVENT IN HIROSHIMA CITY, JAPAN

福岡 尚樹¹・永野 博之²・橋本 晴行³

Naoki FUKUOKA, Hiroyuki NAGANO and Haruyuki HASHIMOTO

¹九州大学大学院 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

E-mail: fukuoka.river@gmail.com

²群馬工業高等専門学校 (〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町 580)

E-mail: hr-nagano@cvt.gunma-ct.ac.jp

³九州大学大学院工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

E-mail: hasimoto@civil.kyushu-u.ac.jp

Key Words: debris flow, woody debris, driftwood, Hiroshima

1. はじめに

2014年8月20日未明に広島市では局所的に記録的な豪雨に見舞われた。この豪雨により、山間地では表層崩壊に基づく多数の土石流が発生し、発生した土石流は住宅地へと押し寄せ、死者74名の甚大な被害をもたらした。特に、広島市の北部に位置する安佐北区と安佐南区では土石流が集中的に発生し、被害が著しかった安佐南区の八木地区(図-1)では山裾の住宅街に複数の土石流が流下したことで52名の方が亡くなった。上山川では、土石流が下流の県営住宅に少なくとも3回流下したことで甚大な被害が発生したといわれている¹⁾(土木学会・地盤工学会, 2014)。

これまでに上山川で発生した土石流について研究がなされてきた。竹林・藤田(2014)²⁾は土石流の流下・氾濫シミュレーションを実施し上山川で発生した土石流の流動特性について調べた。砂防学会(2014)³⁾は調査団を組織し、崩壊・土石流の実態把握を中心とした調査を実施してきた。上山川で発生した土石流は河床河岸を大きく侵食して流下したことから、大量の土砂とともに流木が発生したと推測される。

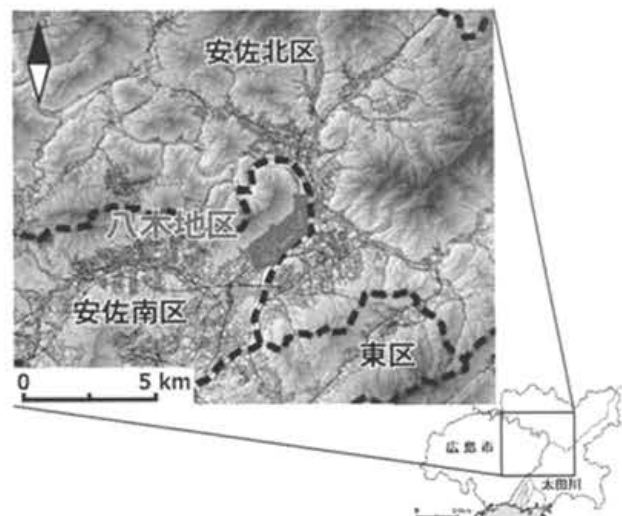


図-1 対象地区位置図

しかしながら、流出した流木と被害との関係性についてはまだ明らかにされていない。そのため、本研究では流出した流木と被害との関係性を明らかにすることを目的とし、八木3丁目の上山川を対象に、文献調査、現地調査および航空写真判読により、土石流氾濫範囲における家屋被害の状況、巨礫および流木の分布状況について調査を行った。

表-1 被害の概要⁴⁾

人的被害 (名)		住家被害 (棟)	
死者	74	全壊	179
重傷	47	半壊	217
軽傷	22	一部破損	189
計	143	床上浸水	1,084
		床上浸水	3,080
		計	4,749

2. 災害の概要

(1) 2014年8月豪雨の概要

2014年8月19日から20日にかけて、広島市内北部に位置する安佐北区や安佐南区は局所的な降雨に見舞われた。降雨は20日の2時～4時ごろに最も激しくなり、多いところで3時間に200mm以上の降雨が観測された。

これらの地区では多くの溪流で土石流が発生し、山麓に広がる住宅街を襲ったことで、多くの被害が生じた。この災害における人的被害および住家被害の概要を表-1に示す。表-1は8.20豪雨災害における避難対策等検証部会の調査結果(2015)⁴⁾をもとに作成した。広島市における人的被害は死者74名、重傷者47名、軽傷者22名で、建物(住家)被害は、全壊179棟、半壊217棟を含む合計4,749棟とされている。また、道路、橋梁、河川堤防などの公共土木施設の被害は1,333件発生したとされている。

(2) 八木地区の被害と現地調査

広島市安佐南区八木地区は、今回の災害において最も被害の大きかった地区である。広島市における死者74名のうち、半数以上の41名が八木3丁目の住人であった⁴⁾。この地区では、県営緑ヶ丘住宅をはじめとした住宅地を、主に上山川流域から発生した土石流が襲い、大きな被害をもたらした。写真-1に被災した県営緑ヶ丘住宅の写真を示す。山麓に位置する住宅の多くは高度成長期に山裾の開発により造成された。

土石流が発生した上山川は、阿武山の南側に位置する土石流危険溪流である。上山川流域から発生した土石流の流下経路と氾濫範囲を図-2に示す。図-2は国土地理院⁵⁾の地形図をもとに作成した。土砂流出範囲は土木学会・地盤工学会の調査報告書⁷⁾と国土地理院の航空写真判読図⁵⁾を参考に作成した。八木3丁目は標高586mの阿武山の南側斜面に位置する。阿武山では溪流の多くが土石流危険溪流に指定されており、住宅街は山麓の斜面上に位置していた。上山川ではO₁、O₂、O₃で発生した土石流が下流の住宅を少なくと



写真-1 被災した県営住宅の写真(下流から上流側を臨む。2014年9月撮影)

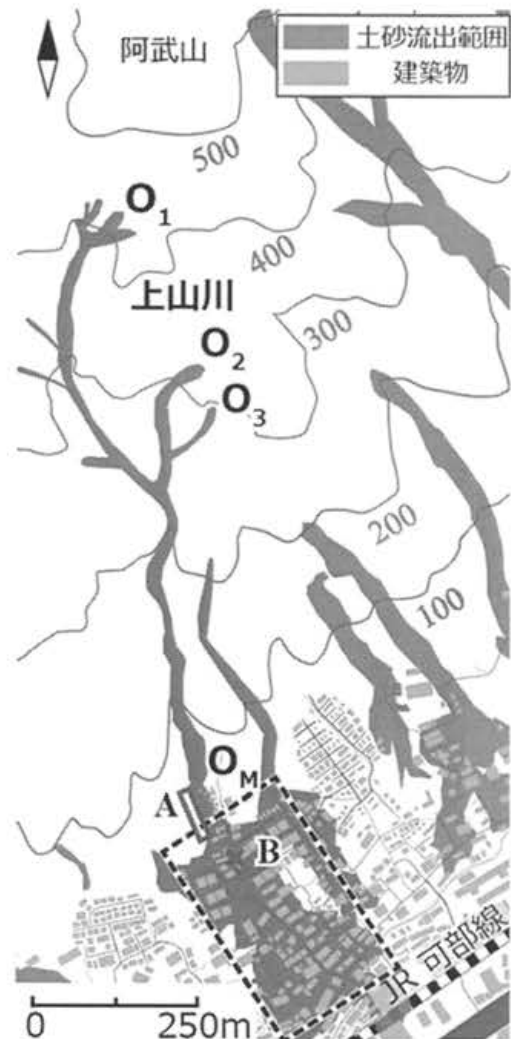


図-2 土石流の流下経路と氾濫範囲

も3回襲ったといわれており、その流出土砂量は約33,000m³と評価されている⁷⁾。

著者らの数名は、本災害で土石流の発生した溪流の調査を行っている(調査日:2015年3月11～12日)。上山川では、図-2のA地点における側岸の植生および樹高と、同図中B地点における住宅街の道路勾配につ

いて調査しており、県営緑ヶ丘住宅周辺の道路勾配が約 8.2°という結果を得ている⁶⁾。

3. 建物の被災状況

本災害における住宅の被災状況を調べるため、航空写真の目視解析を行った。航空写真は、国際航業株式会社の斜め写真⁷⁾(2014年8月20日撮影)を用いた。図-3に建物の被災状況図を示す。表示箇所は図-2中の破線で囲んだ範囲に該当する。図-3中の矢印は、それぞれ図-4および写真-1の撮影方向を表している。図-3中に波線で示される流路痕跡は、氾濫した土石流の主な流下経路であり、概ね住宅間の路地に沿って流下した。流失した家屋は、主に2つの流路痕跡に挟まれた領域に大部分が位置しており、その多くは谷出口付近に分布している。

D列3行(以降、列と行を用いてD3のように表現する)に位置していた集会所の北側は、土石流の直撃を受けたことにより土砂・流木に埋もれていた。C3(集会所の西側)に位置する家屋は土石流によって一部が流失した。D7, E8, C9では、土砂と流木の堆積による流路の閉塞が確認された。D7の流路では複数の流木が十字路に集積し、流木群が流路を閉塞していた。この地点では、車が浮き流されている状況が確認されており、流路の閉塞によって流れが堰き上げられ、上流側の水位が上昇したと考えられる。6-11行では、流失した家屋が下流へ流されていた。流された家屋は下流の家屋へ衝突していた。C列の9-11行にかけて流失した家屋が4軒存在し、C10では土石流により家屋が2つに分断され流されており、土石流は勢いを保ったまま谷出口から約300m下流まで住宅街を流れたと考えられる。

図-3中のC5では道路が東側へ曲がっているが、流路痕跡は道路方向に従わず直進している。これは湾曲部の先の土地(C5)が駐車場で、道路に比べ低く開けた土地になっているためである。図-4に災害前の県営緑ヶ丘住宅周辺の地形を示す。画像はGoogleマップ⁸⁾の機能を用いて、ストリートビュー(2013年11月)を立体的に表示したものである。表示範囲は図-3中の太枠部(B-E列, 2-6行)に該当し、表示方向は図-3の矢印図4の向きである。住宅街は斜面上に位置しており、道路には勾配がある。一方、宅地や駐車場、畑などは平地となっており、斜面に沿って階段状に存在している。土石流は図-4の矢印方向に流路を拡大し、平地伝いにB6側へも流下した。流路の拡大は、下流の被害地域を拡大した一方で、C列の道路沿いの被害を軽減したとも考えられる。このように斜面上に住宅街が存在する地域では、路地と平地の位置関係が被害の発生範囲や程度に関

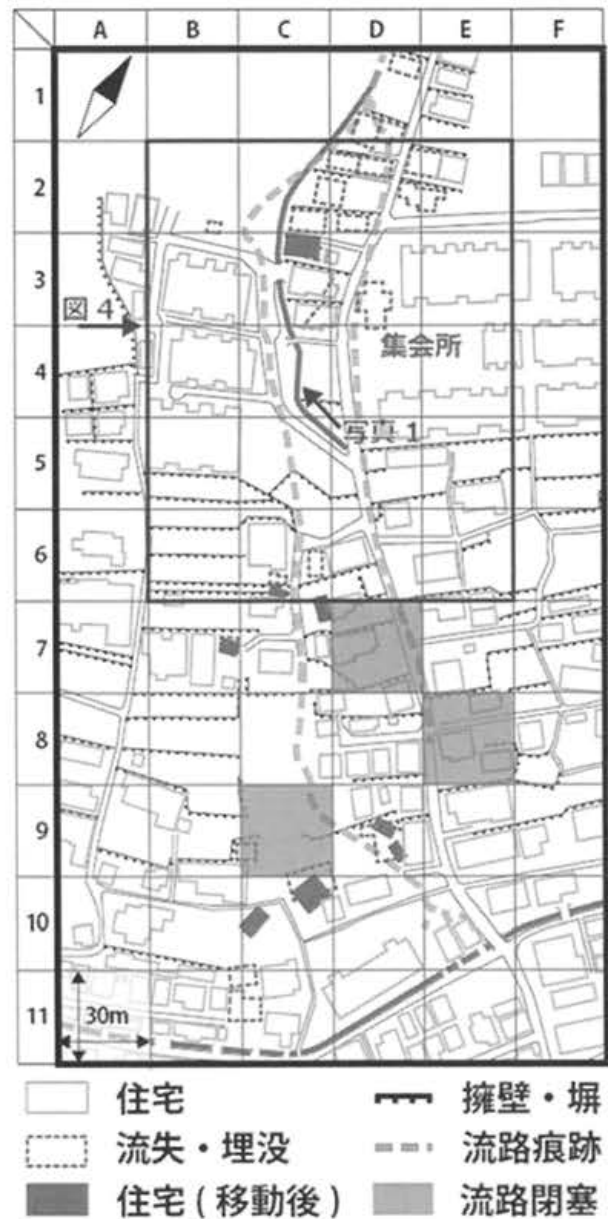


図-3 建物の被災状況



図-4 災害前の県営緑ヶ丘住宅周辺の地形
(Google マップストリートビュー, 2013年11月)

係すると考えられる。

4. 流木の特性

(1) 流木の発生

上山川では土石流が3回発生したことで、約33,000m³の流出土砂が発生した⁹⁾と言われている。また既往研究⁹⁾によると、上山川では側岸侵食により大量の流木が河道に流入し、その量は470m³(実質量)と推測された。

図-5に、溪流側岸に自生する樹高のヒストグラムを示す。調査箇所は図-2のA地点であり、溪流谷出口右岸に自生する樹木40本を対象とした。測定時に樹高を直接測ることは困難であったため樹高をスタッフとともに写真に収めることで長さを推定した。樹木のほとんどは広葉樹であった。既往研究¹⁰⁾によれば、上山川が流れる阿武山の主な植生はシラカシである。

樹高は平均10.7m(最大:15.4m, 最小:6.9m)で標準偏差2.0(m), 変動係数:0.2であった。流出流木の長さは平均3.7mであったことから、流木は土石流に取り込まれ、流下する過程で折れて小さくなったと推測される。

(2) 流木の流出状況

流木の流出状況を図-6に示す。各メッシュの色の濃淡は流木本数の多少を表し、数値は流木の平均長さを表す。流木は地表に露出したもののうち、長さ1m以上のものを対象とした。流木の分布は流路痕跡と概ね一致した。流木は家屋に衝突するか、路地に流れ込むか、平地に流れ込むことで停止した。流路上に位置するメッシュにおける流木の平均長さは流路沿いのそれと比較して長かった。流路の下流端のメッシュにおける流木の長さは比較的短かった。流木の堆積の特徴として、短い流木ほど遠くへ流れた。長い流木の多くは家屋が流失した流路上に存在した。また、流路閉塞が確認された地点は流木の分布域と重なった。

流木の本数が多かったメッシュはD2, D7, C9, C10で、本数はそれぞれ15, 16, 19, 21本だった。D2では流木は住宅北側に堆積した。D7では路地に流木が堆積し流路を閉塞した。上流側では水位が上昇した。C9では流木が畑に流れ込んで停止していたほか、住宅と住宅の間に流木が堆積し水位を堰き上げていた。C10は住宅が2つに分断される被害が生じていた箇所である。流木は分断された家屋よりも下流側に堆積していた。B8, B9では流木が畑に流れ込んで停止していた。流木は路地に沿って流れ、道路沿いの駐車場や畑などの開けた土地に流出し停止した。

D1, D2は流失した家屋が最も多く、D2に堆積し

た流木数が多かった。E2には流木のほか瓦礫と化した家屋の一部が流路沿いに多く堆積した。C2では家屋が流失し、その一部がC3へと押し流される被害が生じているが、流木は存在しなかった。土木学会・地盤工学会の資料¹⁾によると土砂の堆積痕から土石流の第1波、2波、3波の氾濫範囲が推測されている。これによると土石流の第1波は谷出口付近で氾濫し、氾濫域はD列のD2までと推測された。さらにD1, D2における家屋被害とD2の堆積流木本数が多かったことから、家屋に被害を与えた主な原因は流木である可能性が高いと推測された。第2波以降はC2側へ流下したとされている。後続流には主に巨礫が含まれていたと考えられる。C2, C3に流木が存在しなかったのは、後続流により流木が下流へ押し流されたためだと考えられる。

B3は流路上に位置しないが平均長さが4.0mとなっている。B3はC2の流路の延長上に位置しており、流路上に位置していると考えられる。またB3とB4の関係を考えると、土石流はB3では県営住宅北側の路地を西へ流れ突き当たりで南側へと曲がりB4へ流入する。B3には7本の流木が存在し、その平均長さは4.0mであったのに対し、B4では3本の流木の平均長さは2.5mであった。B4, D8, D9のように住宅が密集し路地が狭い箇所の流木平均長さは小さい傾向にあった。

図-7は各メッシュにおける最大流木長と家屋面積の占有率との相関をとったものである。流木が存在するメッシュの多くは家屋面積の占有率が低い傾向が確認された。また、占有率が1に近づくにつれ、堆積した流木の長さは短くなるばらつきが減少する傾向が見られた。

流木長はメッシュ内の最大流木長を、側岸に自生する立木の最大樹高で除すことにより正規化した値である。立木の最大樹高は現地調査の結果15.4mだった。占有率の定義は、各メッシュにおいて家屋が占める面積の割合である。すなわち30×30mのメッシュの総面積900m²の中に家屋が存在するとき、家屋が占める面積をメッシュの総面積で除した値を占有率とした。

(3) 流出流木の特性

流出流木の長さを求めヒストグラムを作成した(図-8)。発生頻度は長さ1mごとにとった。流木の実際の長さを測ることは困難であったため、航空写真と住宅地図を用いて流木の長さを0.1m単位の精度で推定した。住宅地図はゼンリン住宅地図(2014年6月)を用いた。斜め写真では手前と奥で被写体

の大きさが異なる。そのため流木の長さはそれぞれ近隣の住宅の長さを参考にして推定することにした。まず住宅の長さを地図より求め、その長さをもとに流木の長さを推定した。ヒストグラムは目視で判別可能な流木のうち、長さ 1m 以上のものを対象として作成した。目視解析の結果、流出流木の長さに対する発生頻度は、対数正規分布とおおむね一致した。流出流木の総数は 196 本で平均 3.7m（最大 13.4m，最小 1.1m）であった。標準偏差 1.9(m)，変動係数 0.5 であった。

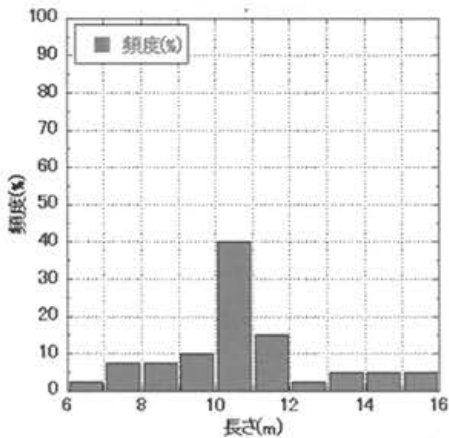


図-5 側岸に自生する樹高のヒストグラム



総数：196 本 $\bar{L}=3.7\text{ m}$ $1.0 \leq L \leq 13.4$

凡例
N=0 1 5 10 15 20

図-6 流出流木の平均長さとお本数分布

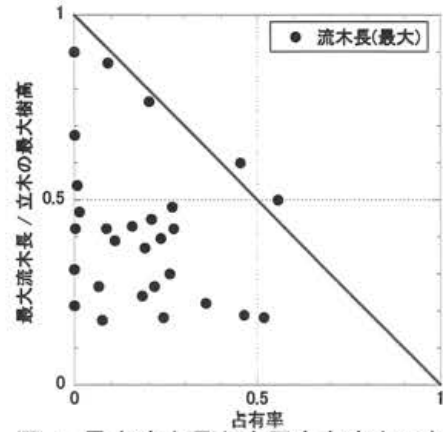


図-7 最大流木長と家屋占有率との相関図

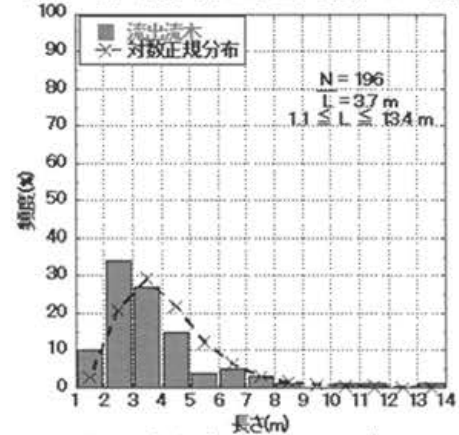


図-8 流出流木のヒストグラム



総数：99 個 $\bar{d}=1.8\text{ m}$ $1.0 \leq d \leq 4.5$

凡例
N=0 1 5 10 15 20

図-9 巨礫の平均直径とお個数分布

5. 巨礫の特性

図-9 に巨礫の分布状況と平均直径を示す。巨礫は表面に露出した礫のうち、直径 1.0m 以上のものを対象とし、直径は流出流木と同様の手法で求めた。巨礫の分布は流路痕跡と概ね一致した。巨礫の多くは流路沿いあるいは、駐車場や樹林などの平坦な土地に堆積した。流木の多くは流路方向に対し横断的な分布を示していたのに対し、礫の分布は流路痕跡とほぼ一致した。しかし、駐車場や樹林畑などの平地に流入した巨礫は流下方向に対して横断的に堆積した。礫の分布状況は C5 が最も多く 23 個だった。そのほか D4 に 13 個、C7 に 11 個、C6、C10 に 7 個ずつ存在した。特に住宅に移動や流出が生じるなど被害が大きかった地点の下流では巨礫数が多い傾向にあった。また巨礫の約半数が 4～7 行の区間に存在した。流木の本数が多いメッシュと礫の個数が多いメッシュは一致しなかった。

C5 は駐車場として利用されていた。道路はここで東側に曲がっているが、土石流は道路に沿って直進し平地の駐車場に堆積した。C9 で流路は東側へ曲がり、D9 へと流れていた。C10 に礫が 11 個存在したことから、はじめは C9 から C10 へ流れ、堆積が進むにつれて D9 へと流路が変わったと考えられる。

直径の全平均は 1.8m だった。直径の平均値が最も大きかったメッシュは C5 で、個数が最も多いメッシュと一致した。巨礫の最大直径が大きかったメッシュは、住宅被害が大きかった地点の下流に多く分布数の多いメッシュと一致した。流路沿いに立地する住宅への被害は流木よりも礫による影響が大きかったと考えられる。

6. 結論

上山川で発生した土石流について以下のことが判明した。住宅街に流下した土石流は、駐車場や畑地に流入したことで流路が拡大し、下流地域の被害を拡大した一方で、道路沿いの家屋へ被害が集中するのを軽減したと考えられた。

流木と礫の分布状況は流路と概ね一致した。しかし流木の分布は礫のそれと比べ、流路方向に対してより横断的に分布する傾向が見られた。流路閉塞が確認された地点は流木の分布域と重なった。流出流木の長さに対する発生頻度は対数正規分布とおおむね一致した。

流木の本数が多いメッシュと礫の個数が多いメッシュは一致しなかった。流木と礫の分布状況から、被害をより広範囲に拡大したのは流木であった可能性が高いと推測された。

謝辞：本研究は、一部、平成 28 年度科学研究費(課題番号:16K18160, 代表:永野博之)のもとに実施した。また、本学技術専門職員の池松伸也氏には多大なる助力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会・土木学会中国支部・地盤工学会:平成 26 年広島豪雨災害合同緊急調査団調査報告書, 2014.
- 2) 竹林洋史, 藤田正治:2014 年 8 月に広島市安佐南区八木三丁目で発生した土石流の流動特性. 自然災害研究協議会中国地区部会研究論文集, 第 1 号, pp.31-34, 2015.
- 3) 海堀正博, 石川芳治, 里深好文, 松村和樹, 中谷加奈, 長谷川祐治, 松本直樹, 高原晃宙, 福塚康三郎, 吉野弘祐, 長野英次, 福田真, 中野陽子, 島田徹, 堀大一郎, 西川友章:2014 年 8 月 20 日に島市で発生した集中豪雨に伴う土砂災害, 砂防学会誌, Vol.67, No.4, pp.49-59, 2014.
- 4) 広島市:8.20 豪雨災害における避難対策等検証部会:平成 26 年 8 月 20 日の豪雨災害避難対策等に係る検証結果, pp.11-12, 2015.
- 5) 国土地理院:広島市内-写真判読図(8/28・30・31 垂直写真)
http://maps.gsi.go.jp/#14/34.502454/132.509794/&ls=std%7Chisai1408oame_hiroshima3&disp=01&lcd=hisai1408oame_hiroshima3&vs=c1j0l0u0f0&d=vl
- 6) 福岡尚樹, 橋本晴行, 高岡広樹:2014 年 8 月 20 日広島市安佐南区八木地区で発生した土石流災害について, 自然災害科学, 34 巻, 特別号, pp.111-119, 2015.
- 7) 国際航業株式会社:【速報】平成 26 年 8 月 広島市豪雨災害, 8 月 20 日撮影 斜め写真 広島市北部周辺, 2016 年 5 月 31 日現在
http://www.kkc.co.jp/service/bousai/csr/disaster/201408_hiroshima/
- 8) Google マップストリートビュー:
<https://www.google.co.jp/maps/place/%E5%BA%83%E5%B3%B6%E7%9C%8C%E5%BA%83%E5%B3%B6%E5%B8%82/@34.4803211,132.4856305,246a,20y,90h,41.69t/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x355a9908eef34fbb:0x7e4ce50cfc1f772!8m2!3d34.3852029!4d132.4552927>
- 9) N. Fukuoka, H. Takaoka, H. Nagano, H. Hashimoto, An Investigation into the 2014 Debris Flow Event with Driftwood in Hiroshima City Japan, IAHR APD 2016 Colombo, Sri Lanka, 2016. (掲載予定)
- 10) 久保田哲也, 飯塚三太:2014 年広島土石流災害における流木の特徴について, 第 34 回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, pp.59-60, 2015.

(2016. 5. 31 受付)