

# 2018年7月豪雨災害における広島県での土石流による被害地域と 土砂災害警戒区域の空間分析

Spatial Analysis of Affected Areas by Debris Flows in the Heavy Rain Disaster of July  
2018 and Sediment Disaster Warning Zones in Hiroshima

三浦 弘之<sup>1</sup>, 池奥 和歩<sup>2</sup>

Hiroyuki MIURA<sup>1</sup> and Kazuho IKEOKU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 広島大学 大学院先進理工系科学研究科

Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University

<sup>2</sup> 広島大学 工学部第四類 (研究当時)

Cluster 4, School of Engineering, Hiroshima University

This study analyzed spatial data of the affected areas by the debris flows in the heavy rain disaster of July 2018 and sediment disaster warning zones in Hiroshima prefecture. We revealed that almost 50% of the buildings in the affected areas are located still outside of the latest sediment disaster warning zones. Overflow and wide spreading of the debris from rivers were observed in the areas underestimated by the warning zones. Debris flow propagation analysis is performed to simulate the debris flow inundation areas based on the Flow-R and digital elevation model. We found that the analysis based smaller travel angle are required in order to reproduce the wide spreading of the debris in the downstream of rivers.

**Keywords:** debris flow, affected area, sediment disaster warning zone, GIS, simulation

## 1. はじめに

土砂災害は世界で頻発する災害のひとつであり、わが国においても豪雨や台風によって多くの土砂災害が発生している。特に中国地方は、斜面での安定性が低い風化花崗岩（まさ土）が広く分布しており、豪雨によって多くの土砂災害に見舞われてきた。広島県では、1999年6月広島市西部での土石流災害<sup>1)</sup>、2005年9月宮島での土石流<sup>2)</sup>、2009年7月東広島市志和での土砂災害<sup>3)</sup>、2014年8月広島市北部での土石流災害<sup>4, 5)</sup>が発生している。さらに、2018年7月上旬に発生した豪雨災害（以下、西日本豪雨）では、広島県内において8,000箇所以上の土石流・崖崩れが発生し、死者・行方不明者114名、被害建物約15,000棟（うち全壊1,029棟）、浸水建物約8,000棟（うち床上浸水2,926棟）の甚大な被害が生じた<sup>6)</sup>。

土砂災害を軽減するためにハード・ソフト面から様々な対策が講じられているが、代表的なソフト対策のひとつとして、土砂災害警戒区域等の公表<sup>7)</sup>が挙げられる。これは、土砂災害の危険度が高い地域をあらかじめ把握しておき、住民等に対して危険の周知、警戒避難体制の整備、住宅等の新規立地の抑制等を行うことを目的として実施されるもので、全国で土砂災害警戒区域および特別警戒区域の調査・公開が進められている。2015年の土砂災害防止法の改正に伴って、国土交通省は2019年度末

までに警戒区域指定のための基礎調査を完了させるよう各自治体に求めている<sup>8)</sup>。

このため、西日本豪雨は、警戒区域の調査・指定が進められている最中に発生したものであり、広島県では警戒区域として指定されていない地域で土砂災害が発生したケースも少なからずみられた。県民の約35%は、自宅が警戒区域内に入っているかどうかを知らない、という現状<sup>9)</sup>においては、未指定だった地域の住民が自宅の危険性を事前に把握することは、さらに困難であったことが予想される。広島県では、すでに西日本豪雨による被害と警戒区域の関係がある程度検討されている<sup>10)</sup>ものの、定性的な指摘にとどまっており、空間的かつ定量的な検討は行われていない。このため、豪雨災害による実被害データと警戒区域の関係を分析しておくことは、災害当時の状況の理解や指定された警戒区域の妥当性の検証のために重要と考えられる。

そこで本研究では、広島県を対象として土砂災害警戒区域のデータを用いて、その指定件数や範囲の推移を分析する。また、西日本豪雨で被災した広島県南部を対象として、土石流による土砂氾濫域や建物データを収集・整理した上で、土砂災害による被災建物の抽出を行う。さらに、航空写真の目視判読により建物の流出・倒壊を検出し、被害甚大地域を抽出する。土砂災害警戒区域、西日本豪雨による土砂氾濫域および被災建物データの空

間分析により、警戒区域と土砂氾濫域の関係を検討するとともに、警戒区域外に広がった土砂氾濫域の特徴を明らかにし、簡便な土砂流氾濫シミュレーションによって氾濫域の再現を試みる。

## 2. 対象地域と使用したデータ

土砂災害警戒区域（イエローゾーン）および土砂災害特別警戒区域（レッドゾーン）の指定の流れと概要について述べる。まず、1/2,500地形図等を用いて土砂災害が発生する恐れのある地域が特定され、現地踏査を含む基礎調査が実施され、その結果について住民への説明会が行われた後に警戒区域等として指定される。このうち、イエローゾーンは、「急傾斜地の崩壊等が発生した場合に、住民等の生命又は身体に危害が生じるおそれがあると認められる区域であり、危険の周知、警戒避難体制の整備が行われます。」とされ、レッドゾーンでは、「急傾斜地の崩壊等が発生した場合に、建築物に損壊が生じ住民等の生命又は身体に著しい危害が生じるおそれがあると認められる区域で、特定の開発行為に対する許可制、建築物の構造規制等が行われます。」とされている<sup>7)</sup>。特に土石流に対するイエローゾーンは、土石流の発生のおそれのある溪流において、扇頂部から下流で勾配が2度以上の区域が指定の対象となる<sup>7)</sup>。レッドゾーンについては、基礎調査によって発生土砂量および氾濫開始点を推定し、土石流の動きと建築物の影響を評価した上で決定される。

本研究では、主に西日本豪雨で甚大な土石流災害が発生した広島県南部を対象とする。広島県では、イエローゾーンとレッドゾーン等のGISデータが、ポータルサイトからダウンロード可能である<sup>11)</sup>。本研究では、2020年1月時点でダウンロードしたデータを利用した。このデータは、土石流、斜面崩壊、地すべりの3タイプのポリゴンデータとなっており、各ポリゴンに区域名、指定年月日、固有ID等の属性が与えられている。また、各タイプの警戒区域は独立に求められており、異なるタイプの警戒区域が重複する地域も多く存在する。ここで、レッドゾーンはイエローゾーンに比べて面積は小さく、イエローゾーンに含まれていることから、本研究ではイエローゾーン（以下、警戒区域と呼ぶ）のみを対象として分析する。また、ポータルサイトでは、警戒区域にはまだ指定されていないが、基礎調査が完了しているエリアもポリゴンデータとしてダウンロード可能である。本研究では、基礎調査データも警戒区域のひとつとしてみなして分析することとする。

なお、土砂災害危険度の分布を表す既存のデータとして、土砂災害警戒区域等の他に、土砂災害危険箇所（土石流危険溪流、地すべり危険箇所、急傾斜地崩壊危険箇所）がある。しかし、土砂災害危険箇所は、主に1/25,000の地形図による判読結果に基づいており、土砂災害警戒区域等と比べて判読精度は高くない。また、土砂災害危険箇所には、法的拘束力がなく、広島県では2002年以降更新されていない。このため本研究では、信頼性が高く、最新のデータである土砂災害警戒区域のみを対象として分析することとした。

広島県における警戒区域の分布を図1に示す。図中の色は警戒区域として指定された年を表している。県内のほぼ全域にわたって警戒区域が分布していることがわかる。また、警戒区域の指定は2003年から始まっているが、2013年以前は限られた地域のみが指定されていた。広島

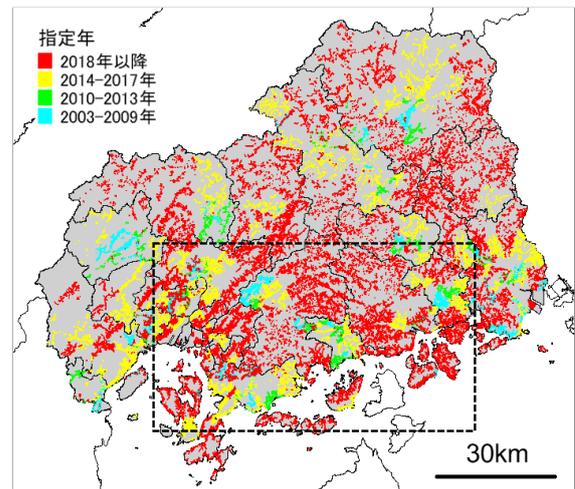


図1 広島県における土砂災害警戒区域の分布（破線枠は本研究の対象地域を表す。）

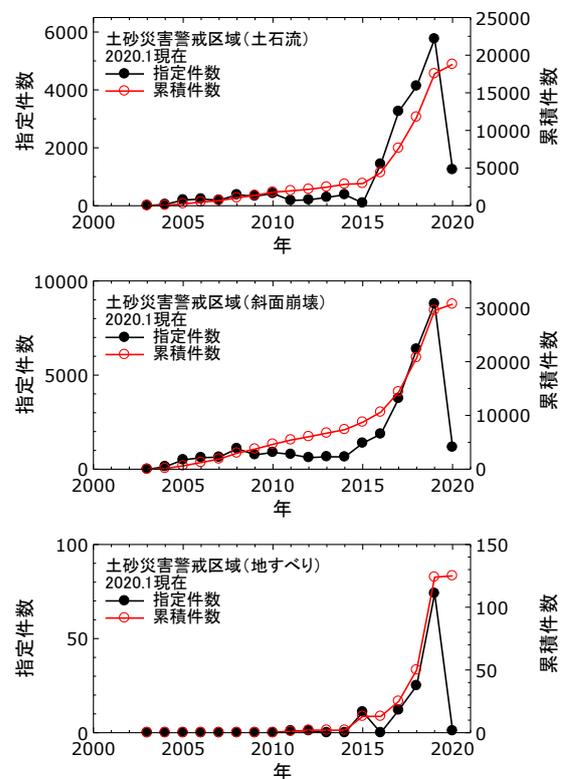


図2 広島県における警戒区域の指定件数の推移

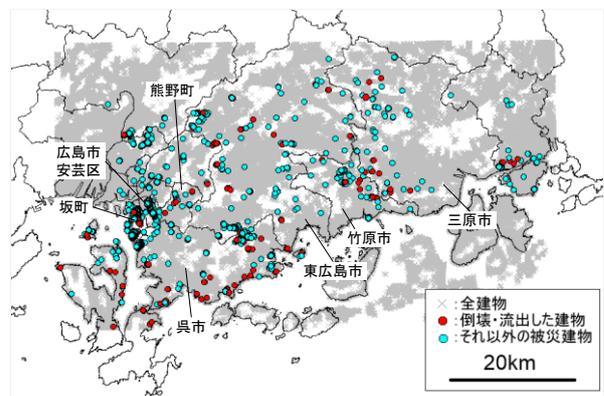


図3 広島県南部の建物分布と被災建物（被災建物総数 6,230 棟、倒壊・流出建物数 466 棟）

市で土石流災害が発生した2014年以降、指定がより広域で進み、特に西日本豪雨が発生した2018年以降に県全体の地域へ指定が加速的に進んでいることがわかる。

図2は、3タイプの土砂災害に対する年ごとの警戒区域の指定件数（ポリゴン数）およびその累積件数の推移を表している。2020年の件数は基礎調査のデータ件数（警戒区域としては未指定）を表す。広島県では、地すべりに対する指定件数は累計でも150件弱と少ないが、土石流と斜面崩壊に対する指定件数は累計でそれぞれ約2万件、3万件と非常に多い。また、指定件数は土砂災害防止法が改正された2015年以降増加し、西日本豪雨が発生した2018年以降はさらに急激に増加していることがわかる。警戒区域のポリゴンデータから面積を算出したところ、土石流、斜面崩壊、地すべりの警戒区域の総面積はそれぞれ約800km<sup>2</sup>、約250km<sup>2</sup>、約11km<sup>2</sup>となった。広島県では、警戒区域の指定件数自体は斜面崩壊が多いが、面積では土石流に対する警戒区域が最も大きく、土石流による影響が最も大きいものと懸念されている。

西日本豪雨による土砂災害データとして、広島大学の地理学グループがまとめ、日本地理学会により公開されているもの<sup>12)</sup>を利用した。このデータは、広島県南部を対象として災害後の航空写真から目視判読された、土砂が崩壊した範囲（浸食域）と土砂が堆積した範囲（堆積域）を表すポリゴンからなる。本研究ではこれらの範囲をまとめて土砂氾濫域データとして解析に利用した。対象地域では約7000箇所の崩壊がみられた。

建物データとして、国土地理院が公開している基盤地図情報<sup>13)</sup>による建物データを利用した。このデータは建物の輪郭を表すポリゴンデータであるが、以降の検討では、ポリゴンの中心点にポイントデータとして変換したものを利用した。また、住家・非住家の区別はせず全てのデータを利用した。本研究で対象とする広島県南部（図1中の点線枠）における建物の分布を図3に示す。灰色点が各建物の位置を表す。対象地域では計約95万棟の建物が含まれている。図中の色付きの丸で示した点は、西日本豪雨の土砂氾濫域内に含まれる建物を表している。この詳細については後述する。

### 3. 土砂災害警戒区域内の建物棟数の検討

本章では、警戒区域内に含まれる建物棟数を分析する。まず、警戒区域データの指定年月日から、西日本豪雨が発生した2018年7月以前に指定された警戒区域データを抽出し、①2018年7月以前に指定された警戒区域、②2018年8月から2019年12月までに指定された警戒区域、③基礎調査が完了した区域、すなわち2020年1月以降に指定される予定の警戒区域として、それぞれの範囲に含まれる建物棟数をカウントした。本解析では、各建物をポイントデータとして扱っているため、警戒区域の範囲を表すポリゴン内に建物のポイントが含まれていれば、その建物は警戒区域内に含まれているものとしてカウントした。

表1に①～③の各土砂災害タイプの警戒区域内に含まれる建物数とその割合を示す。また、各タイプの警戒区域で重複してカウントした建物を除いた棟数とその割合も併せて表右側に示す。①に含まれる棟数は18万棟弱で全体の20%弱であり、その中でも土石流の警戒区域に含まれる棟数が約14%と最も多い。また、②に含まれる棟数は約8万棟で割合は約8%であった。約1年半という短い期間の割に多くの建物が警戒区域に含まれたことがわかる。基礎調査された地域を含めて①～③の全ての警戒区域に

表1 広島県南部における警戒区域内に含まれる建物数とその割合

	土砂災害		建物棟数		割合(%)	
	土砂災害	建物棟数	割合(%)	建物棟数	割合(%)	
①2018年7月以前に指定された警戒区域	土石流	129,596	13.65	177,196	18.67	
	地すべり	206	0.02			
	斜面崩壊	72,439	7.63			
②2018年8月から2019年12月までに指定された警戒区域	土石流	57,182	6.02	76,738	8.08	
	地すべり	451	0.05			
	斜面崩壊	30,282	3.19			
③基礎調査された区域	土石流	5,830	0.61	7,267	0.77	
	地すべり	0	0.00			
	斜面崩壊	1,667	0.18			
全警戒区域(①+②+③)	土石流	191,919	20.22	260,495	27.44	
	地すべり	657	0.07			
	斜面崩壊	104,367	10.99			
建物総数		949,286	-	-	-	

表2 警戒区域に含まれる被災建物数とその割合

分類	棟数	割合(%)
①2018年7月以前に指定された警戒区域内	1,339	21.49
②2018年8月から2019年12月までに指定された警戒区域内	1,817	29.17
③基礎調査された区域内	67	1.08
警戒区域外	3,007	48.27
合計	6,230	-

含まれる棟数は約26万棟で、対象地域全体の30%弱の建物が警戒区域内に立地していることがわかった。

## 4. 西日本豪雨による被害地域の特徴

### (1) 建物被害の抽出

西日本豪雨による土砂氾濫域データと建物データを用いて、土砂氾濫域に含まれる建物棟数をカウントした。以降では、土砂氾濫域に含まれる建物を、被災建物と定義する。ここで、被災建物は、土砂が建物中心のポイントまで到達した建物を表し、必ずしも構造被害等の影響が現れたものを表しているわけではないことに注意を要する。両データの重ね合わせの結果、被災建物数は対象地域全体で6,230棟と求まった。

ここで、西日本豪雨で被害の大きかった地域を抽出するため、上記の被災建物を対象として、土砂災害によって倒壊・流出した建物の抽出を行った。国土地理院で公開されている災害前後の航空写真<sup>14)</sup>から、目視判読によって完全に倒壊ないし流出した建物を抽出した。上空からの画像では、小～中程度の建物被害を判読することは困難であるが、倒壊・流出した建物の判読は比較的容易で精度が高い<sup>15)</sup>ことから、倒壊・流出した建物のみ判読することとした。図3中に示した色付き丸は被災建物の位置を表し、そのうち倒壊・流出と判読された建物計466棟の位置を赤丸で示している。その結果、被災建物全体の約8%が倒壊・流出したと推定された。

### (2) 被災建物と土砂災害警戒区域の関係分析

西日本豪雨による被災建物のうち、どの程度が警戒区域として指定されていたかを検討することは、今後の対策を考える上で重要である。被災建物を対象として、上述の①～③それぞれの警戒区域に含まれる棟数をカウントした結果を表2に示す。これをみると、西日本豪雨の発生当時は、被災建物の約20%しか警戒区域としてカバー

表3 被害が大きかった計18地域の倒壊・流出建物数、被災建物数、警戒区域に含まれる建物数の割合、警戒区域外の被災建物数

地名	倒壊・流出建物数	それ以外の被災建物数	被災建物数	警戒区域内の被災建物数の割合(%)			警戒区域外の被災建物数
				①	①+②	①+②+③	
広島市							
安芸区矢野東7丁目	16	68	84	0.0	94.0	94.0	5
安芸区矢野(全体)	25	2,233	2,258	0.0	28.2	28.2	1,621
安芸区上瀬野町	14	0	14	0.0	0.0	100.0	0
安佐北区口田町	24	53	77	93.5	93.5	93.5	5
東区馬木	9	180	189	0.0	92.6	92.6	14
坂町							
坂東・坂西	32	595	627	42.1	42.1	42.1	363
小屋浦	36	679	715	0.0	54.3	54.3	327
熊野町川角5丁目	13	21	34	88.2	97.1	97.1	1
呉市							
天応西条	5	733	738	11.0	34.0	34.0	487
仁方町	23	11	34	82.4	82.4	82.4	6
吉浦新出町	4	20	24	100.0	100.0	100.0	0
安浦町中畑	29	30	59	59.3	98.3	98.3	1
安浦町下垣内	17	72	89	57.3	100.0	100.0	0
安浦町水尻	4	33	37	97.3	97.3	97.3	1
東広島市							
中河内	7	1	8	0.0	100.0	100.0	0
西条町下三永	1	2	3	100.0	100.0	100.0	0
竹原市							
東野町	5	46	51	11.8	43.1	43.1	29
西野町	6	52	58	79.3	79.3	79.3	12
三原市木原	10	10	20	100.0	100.0	100.0	0
合計*	264	4,771	5,035				2,867
* 安芸区矢野7丁目の重複は除く							



図4 坂町小屋浦にある水害碑 (2019年10月29日著者撮影)

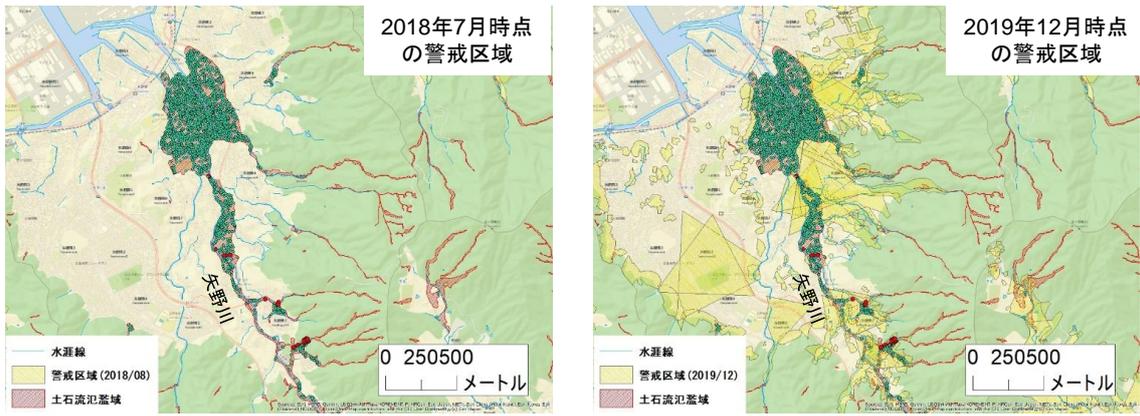
していなかったことがわかる。つまり、残りの80%の被災建物は、警戒区域外に立地していたことになる。また、①～③までの最新の警戒区域データを用いても被災建物の半数程度しかカバーしておらず、残りの半数は警戒区域外に立地している。

この原因を検討するため、被害が大きかった地域を対象として詳細に分析することとした。土砂災害によって死者が発生した地域ないし倒壊・流出建物が3棟程度以上確認された地域の計18地域を対象とした。表3に対象地域の地名と倒壊・流出建物数や被災建物数を示す。ここで、広島市安芸区矢野については、特に被害が大きかった矢野東7丁目を個別に分析した。これら18地域の被災建物数は約5,000棟で、被災建物全体の約80%をカバーしている。

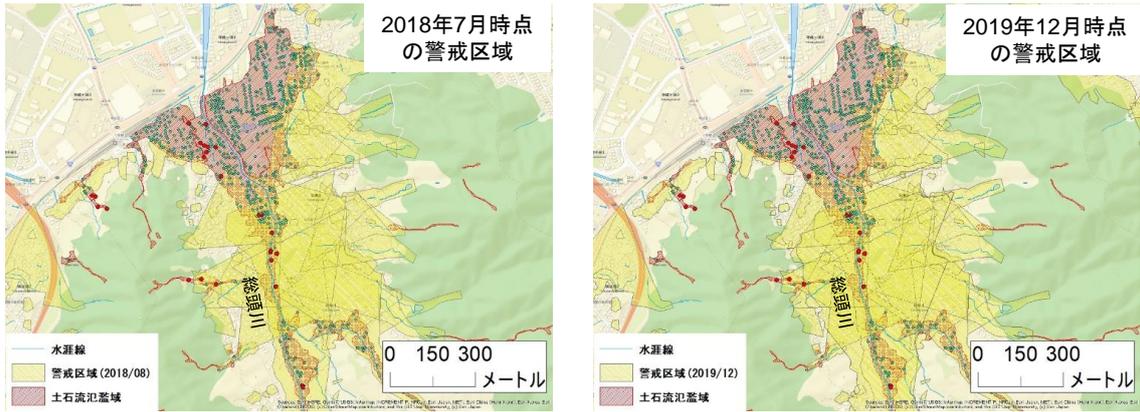
特に、安芸区矢野全体で約2,200棟の被災建物が存在し、被災建物全体の約35%がこの地域に分布していたことがわかる。

各地域の被災建物に対して、①～③の警戒区域に含まれる割合を計算した結果を表3に併せて示している。表中の①は2018年7月時点の警戒区域に含まれる被災建物棟数の割合（以下、カバー率と呼ぶ）を、①+②は、2019年12月時点の警戒区域によるカバー率を、①+②+③は基礎調査された地域も含めた警戒区域全体によるカバー率を表す。また、警戒区域外にある被災建物棟数も示している。これを見ると、西日本豪雨当時の①時点では、被害が大きかった安芸区矢野や坂町小屋浦は、警戒区域に全く指定されていなかったことがわかる。特に、坂町小屋浦では現在も町内に残されている水害碑（図4）に示されているように、1907年にも大雨による土石流で44名の死者が発生する災害が発生しているにもかかわらず、警戒区域に指定されていなかった。また、呉市天応西条や東広島市中河内においても、災害当時はほとんどの地域が警戒区域に指定されていなかった。一方で、2002年時点における土砂災害危険箇所のマップ<sup>1)</sup>をみると、これらの地域は全て危険箇所として指定されていた。このため、これらの地域では、土砂災害の危険性自体が見逃されていたわけではなく、警戒区域として指定するための基礎調査や住民への説明会の実施が間に合わなかったものと考えられる。

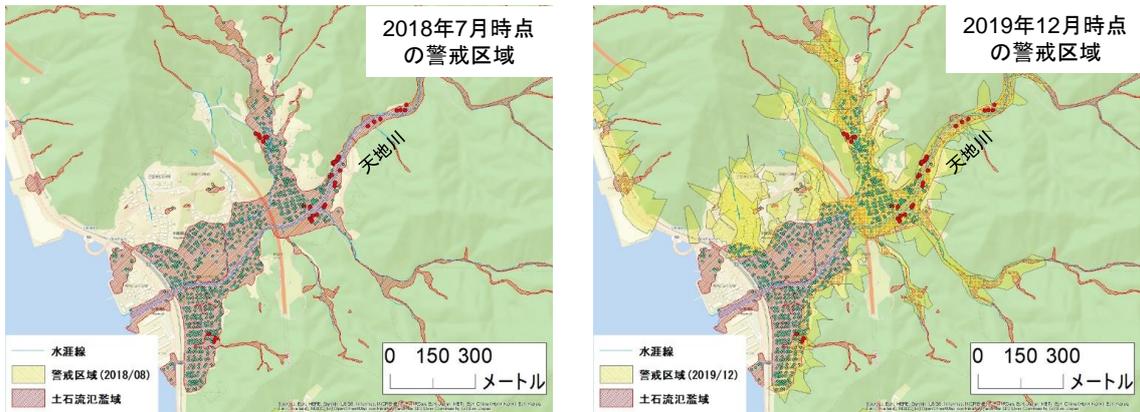
一方で、西日本豪雨後に多くの地域が警戒区域に指定されたため、現在ではほとんどの地域においてカバー率は80%以上となっていることがわかる。ただし、最新のデータにおいても安芸区矢野、坂町坂東・坂西、坂町小屋浦、呉市天応西条ではカバー率は依然として50%程度



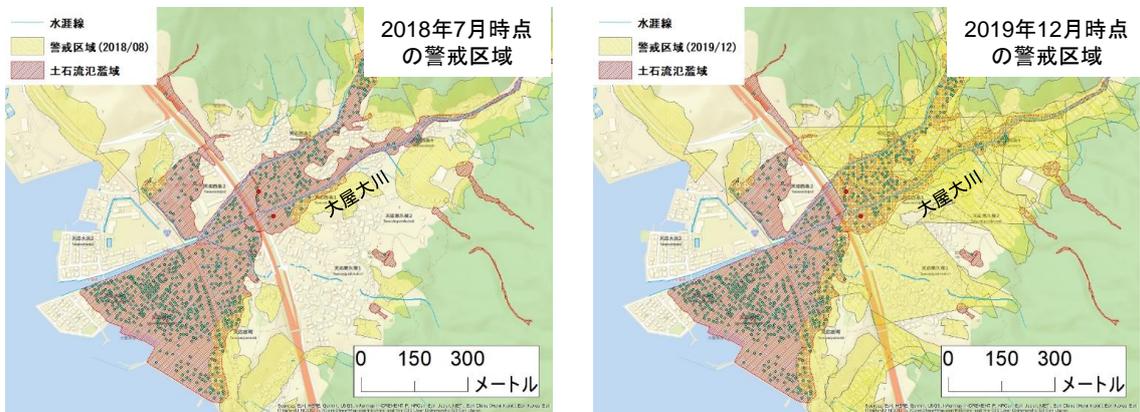
広島市安芸区矢野



坂町坂東・坂西



坂町小屋浦



呉市天応西条

図5 広島市安芸区矢野，坂町坂東・坂西，坂町小屋浦，呉市天応西条における西日本豪雨による土石砂氾濫域（赤色）・被災建物（赤点・水色点）と警戒区域（黄色，左：2018年7月時点，右：2019年12月時点）

以下と低い。これら4地域における警戒区域外の被災建物数は約2,800棟であり、全体の警戒区域外の被災棟数の約90%は上記の4地域に集中していた。

4地域の拡大図を図5に示す。図には、西日本豪雨による土砂氾濫域、被災建物、2018年7月時点および2019年12月時点の警戒区域の分布を示している。これをみると、西日本豪雨当時は多くの建物が警戒区域外にあったことが確認できる。また、土砂氾濫域は最新の警戒区域よりもさらに下流側に広がっているために、カバー率が低くなっていることがわかる。西日本豪雨を経験しても、土砂氾濫域全体が警戒区域として指定されていない理由は明らかでないが、2章のはじめに述べた土石流のイエローゾーンの指定条件である扇頂部からの勾配が2度以上という条件を満たさなかったこと、氾濫域の下流端部では土砂の堆積はわずかであり、家屋等への影響は小さいと判断されたこと、などが原因と考えられる。ここで、警戒区域を事前に想定される土砂氾濫域ととらえるのであれば、西日本豪雨による氾濫域は、想定される氾濫域よりもさらに下流側に広がったものと考えられる。

図5中には、国土地理院による水涯線も表している。安芸区矢野では矢野川、坂町坂東・坂西では総頭川、坂町小屋裏では天地川、呉市天応西条では大屋大川といった河川が存在しており、河川に沿って土石流が流出している様子が確認できる。例えば、呉市天応西条では図6に示すように、大屋大川において最大2m以上の土砂や樹木の堆積がみられ、比較的傾斜が緩やかな市街地において河道が閉塞されることによって、水や土砂が市街地にも溢れ、広域での土砂氾濫につながった。このことは、既往の分析<sup>10)</sup>によっても指摘されており、土石流の氾濫域と河川が交わり、かつ低地において河道閉塞が発生した場合、河川の溢流によってより広域に氾濫域が広がることを示している。

このため、土石流氾濫域を事前に評価するには、予想される氾濫域のうち、傾斜の緩やかな市街地内に河川が存在するかどうかを把握しておく必要があるものと考えられる。

## 5. 土石流氾濫シミュレーションによる検証

前章の図6に示したような、河道閉塞・河川の溢流によって生じる広範囲への土砂氾濫域をシミュレーションにより再現するための条件を検討しておくことは、土石流氾濫域の予測手法の高精度化を考える上で重要である。本検討では、災害前の地形データを用いて土石流氾濫シミュレーションを実施することで、広域での土砂氾濫域を再現するための条件について検討する。既往の研究<sup>16)</sup>では、簡便な土石流氾濫シミュレーション手法として、Horton *et al.* (2013)によるFlow-R<sup>18)</sup>が用いられており、2014年8月に広島市で発生した土石流氾濫域や同地域の土砂災害警戒区域を精度良く再現できることが確認されている<sup>16)</sup>。そこで本研究でもFlow-Rを用いて検討を行う。

Flow-Rは、土石流による崩壊開始点の位置を与え、数値標高モデル (DEM) により下流側で土砂が氾濫する範囲を推定するもので、崩壊土砂量は考慮できないものの、土質情報等の詳細な情報が不要なため、簡便に広域の土砂氾濫域を推定できる。本手法では、まず崩壊開始点 (ピクセル) に氾濫危険度の値として1.0を与え、その周囲の標高の低い全てのピクセルに対して、勾配の大きさに応じて危険度を分配する。危険度が分配された全てのピクセルに対して同様の処理を繰り返し、各ピクセルに

おける危険度を算出する。氾濫域の末端部が終了条件を満たしたときに計算を終了する。解析条件として、あらかじめ与える崩壊開始点の他に、計算終了条件として到達角を設定する。到達角は、崩壊開始点から氾濫域末端部までの水平到達距離と標高差のなす角として定義され、氾濫域の末端部が設定した到達角 (下限到達角) に達した場合、計算を終了する。本研究では、まず三浦・日朝<sup>16)</sup>により用いられたパラメータを与えて氾濫域を計算した (以下、初期条件とする)。このパラメータは、2014年広島市土砂災害による土砂氾濫域を再現するために検討されたものであり、当時指定されていた警戒区域も概ねカバーされることが確認されている。解析手法やその他のパラメータの詳細については、文献<sup>16)</sup>を参照されたい。なお、解析に使用するパラメータのひとつである下限到達角は、計算終了の条件として用いられるものであり、2章で示した土石流のイエローゾーンの指定条件に用いられる勾配とは定義が異なる。初期条件では、既往の文献<sup>18)</sup>も参考にして、下限到達角は7度と設定されている。また、DEMについては国土地理院が公開する基盤地図情報のもの (解像度5m) を利用した。崩壊開始点については、日本地理学会で公開されているデータ<sup>12)</sup>を用いた。

一例として、代表的な土石流被災地のひとつである熊野町川角5丁目での解析結果を図7に示す。図中のグレースケールで表した範囲が、Flow-Rによって推定された土砂氾濫域を表す。値は土砂氾濫の危険度の高さを表し、値が大きなピクセルほど土砂や水が集まりやすく氾濫の危険度が相対的に高いことを表す。ここでは、文献<sup>16)</sup>での結果と同様に、Flow-Rによって得られた危険度の値が0.0003以上のピクセルを土砂氾濫域として表示すること



図6 呉市天応西条の大屋大川の閉塞と土砂氾濫の様子 (2018年7月17日著者撮影)

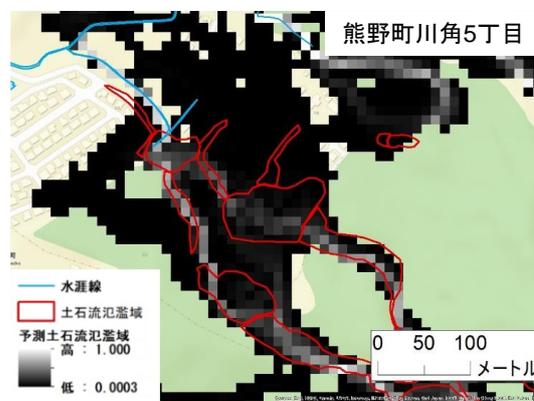


図7 熊野町川角における初期条件による土砂氾濫シミュレーション結果 (赤枠が2018年7月豪雨による土砂氾濫域、黒～白色がシミュレーションによって推定された氾濫域を表す。図8～10も同様。)

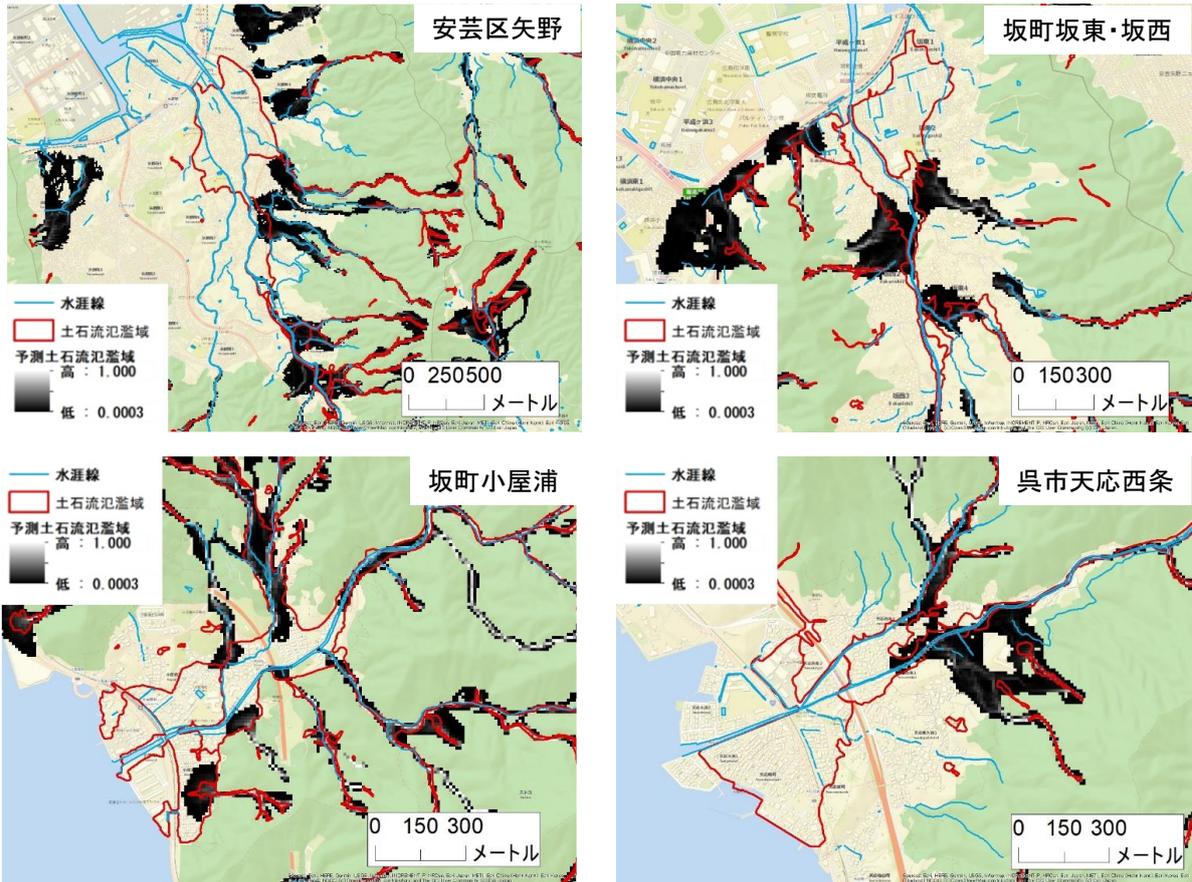


図8 4地域における初期条件を用いた土石流氾濫シミュレーション結果

とした。この地域の主要な被災範囲には河川等の水路はない。図7には比較のため、目視判読された土砂氾濫域も示している。その結果、初期条件による解析結果は、実際の土砂氾濫域よりもやや過大評価であるものの、実氾濫域の約97%の範囲をカバーできていた。つまり、初期条件による解析では、河川等の水路がない場合の土石流については、概ね再現できることが確認できる。

一方で、同じ初期条件を用いて、安芸区矢野、坂町坂東・坂西、坂町小屋浦、呉市天応西条で計算した結果を図8に示す。いずれの地域でも、解析結果は実際の氾濫域よりも過小評価となっており、氾濫域を再現できていないことがわかる。特に下流の末端部の氾濫域が解析では抽出できていない。このため、これらの地域の氾濫域を再現するには、より小さな下限到達角の設定が必要と考えられる。そこで、呉市天応西条を対象として、下限到達角を4〜1度に変更した場合の解析結果を図9に示す。下限到達角以外は初期条件と同じである。これをみると、下限到達角を1度の条件であれば、実際の土砂氾濫域をカバーできていることがわかる。この場合、実際の氾濫域の約89%をカバーできていた。他の3地域での、下限到達角を1度とした場合の結果を図10に示す。安芸区矢野の氾濫域の約93%、坂町坂東・坂西の氾濫域の約89%、坂町小屋浦の氾濫域の約82%の範囲をカバーする結果が得られた。

上記の結果から、土石流氾濫域に河川等の水路がない場合、初期条件によって実際の氾濫域を再現できるのに対して、氾濫域に水路があり、市街地において河道閉塞による溢流が発生した地域では、下限到達角を小さくすることで、実際の氾濫域を概ね再現できることがわかっ

た。このことは、土石流による河道閉塞・越流を考慮した氾濫域の予測を行うには、考慮しない場合と条件を変えて分析する必要があることを示している。このため、現在警戒区域に指定されている地域の中でも、区域内に河川等の水路が存在する場合、より広範囲に土砂が氾濫する可能性がある。今後、土砂災害警戒区域やハザードマップの検証を行うには、河川等の水路の有無などを考慮して分析する必要がある。

## 6. 結論

本研究では、2018年西日本豪雨で甚大な土砂災害が発生した広島県を対象として、土砂災害警戒区域の指定件数、面積の推移を把握した上で、土砂氾濫域での建物被害と警戒区域の関係を空間分析により明らかにした。その結果、主な被災地となった広島県南部では、2019年末の時点で、計約95万棟の建物のうち、30%弱が警戒区域内に立地していること、西日本豪雨による被災建物のうち約20%は災害ときに警戒区域として指定されていたが、その他の80%は警戒区域外であったこと、2019年末現在の警戒区域でも被災建物の約半数は警戒区域外にあることを明らかにした。また、警戒区域外に被災建物がみられる地域は、土砂氾濫域に河川などの水路があり、河道閉塞による溢流の発生により広範囲に土砂が氾濫した4地域に集中していた。このような河道閉塞による溢流が発生した地域の氾濫域は、一般的な土石流氾濫シミュレーション手法では再現することは困難で、より下流側に氾濫域が広がる条件で評価する必要があることを示した。

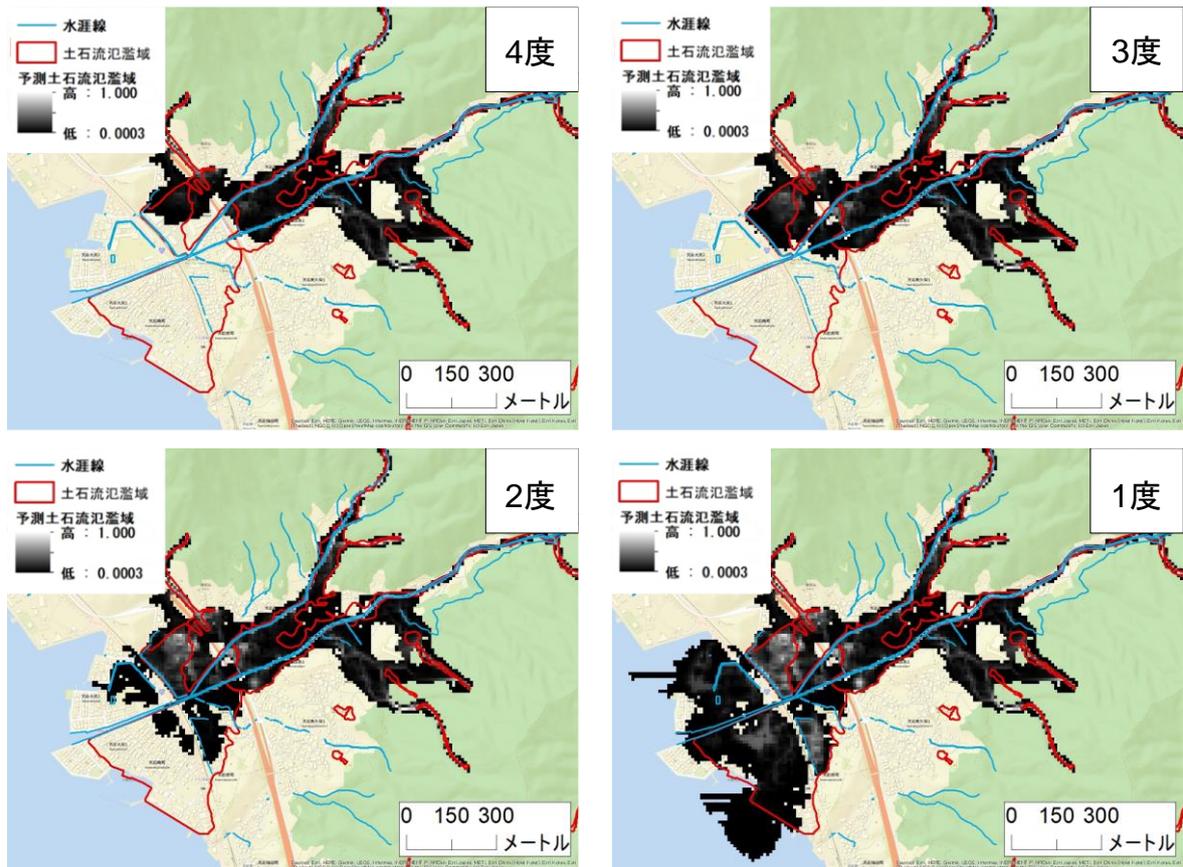


図9 下限到達角の違いによるシミュレーション結果の比較（呉市天応西条）

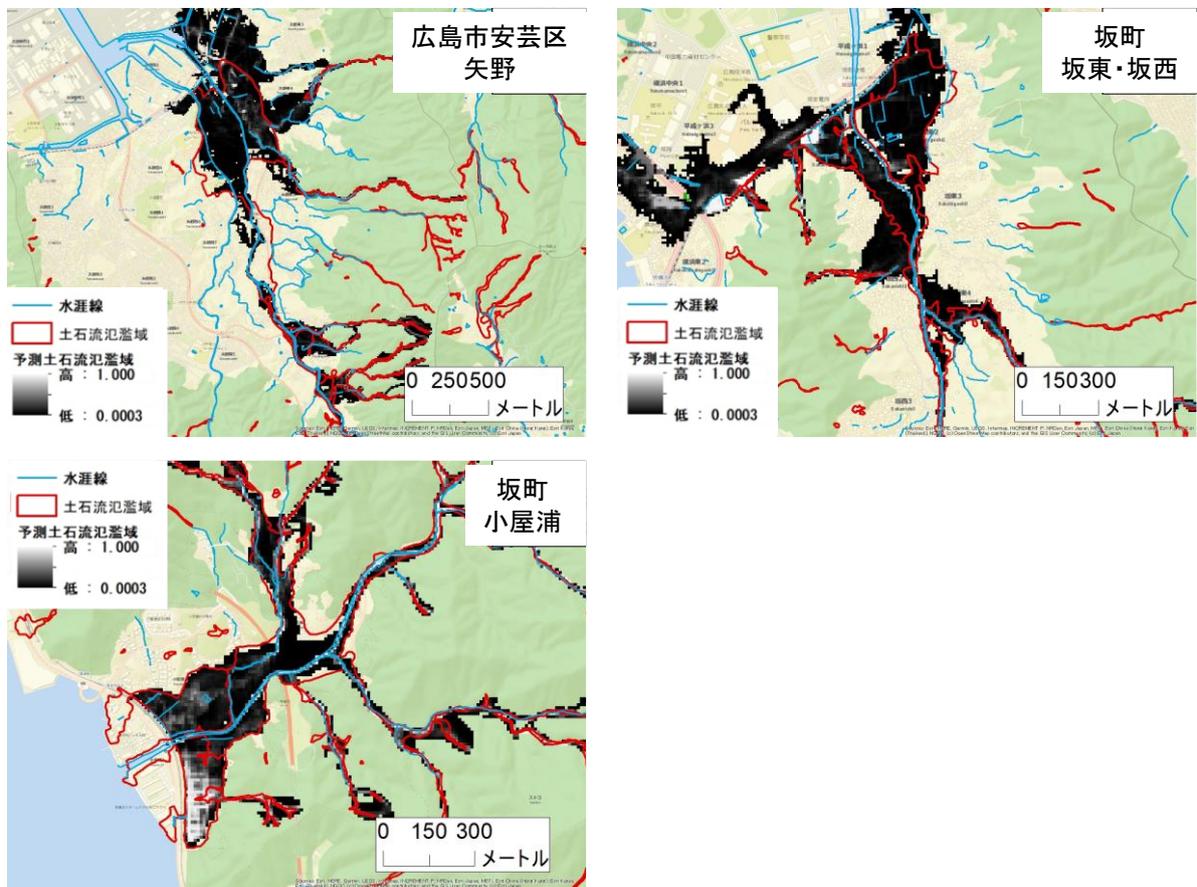


図10 安芸区矢野，坂町坂東・坂西，坂町小屋裏における下限到達角1度によるシミュレーション結果

なお、本論文では土砂災害警戒区域と西日本豪雨時における土砂氾濫域の2次元的な広がりに関する分析にとどまっており、基礎調査時に想定された崩壊形態・崩壊規模と実際の崩壊形態・規模との比較など、3次元的なデータ分析を含む検証が今後の検討課題と考えられる。

## 謝辞

本研究は、JSPS 科研費（19H02408）の助成を受けたものである。本研究では、土砂災害ポータル広島による土砂災害警戒区域データ、日本地理学会の土砂氾濫域のデータ、国土地理院による基盤地図情報データを利用した。

## 参考文献

- 1) 海堀正博, 石川芳治, 牛山素行, 久保田哲也, 平松晋也, 藤田正治, 三好岩生, 山下祐一: 1999年6月29日広島土砂災害に関する緊急調査報告(速報), 砂防学会誌, Vol.52, No.3, pp.34-43, 1999.
- 2) 海堀正博, 浦真, 吉村正徳, 藤本英治: 2005年9月6日広島県宮島で発生した土石流災害, 砂防学会誌, Vol.58, No.5, pp.18-21, 2006.
- 3) 加納誠二, 土田孝, 中川翔太, 海堀正博, 中井真司, 来山尚義: 2009年に東広島市志和町内地区で発生した土砂災害の調査について, 地盤工学ジャーナル, Vo.6, No.2, pp.243-259, 2009.
- 4) 三浦弘之, 弓真由子: 非線形写像法による航空レーザ測量データの幾何補正とそれに基づく2014年広島豪雨災害での崩壊土砂量の推定, 地域安全学会論文集, No.27, pp.283-291, 2015.
- 5) 土田孝, 森脇武夫, 熊本直樹, 一井康二, 加納誠二, 中井真司: 2014年広島豪雨災害において土石流が発生した溪流の状況と被害に関する調査, 地盤工学ジャーナル, Vol.11, No.1, pp.33-52, 2016.
- 6) 広島県: 平成30年7月豪雨災害による被害等について(最終報), <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/323003.pdf>, (アクセス日: 2020年4月1日).
- 7) 国土交通省: 土砂災害防止法の概要, <http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/linksinpou.html>, (アクセス日: 2020年4月1日).
- 8) 国土交通省: 基礎調査の完了に向けてラストスパート! ~土砂災害警戒区域等の基礎調査が約94%完了~, [https://www.mlit.go.jp/report/press/sabo01\\_hh\\_000080.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/sabo01_hh_000080.html), (アクセス日: 2020年4月1日).
- 9) 広島県: 平成30年7月豪雨災害を踏まえた今後の水害・土砂災害対策のあり方検討会: 土砂災害警戒区域等における検討事項, <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/332033.pdf>, (アクセス日: 2020年4月1日).
- 10) 広島県: 平成30年7月豪雨災害を踏まえた今後の水害・土砂災害対策のあり方検討会, 土砂災害警戒区域等における検討概要, <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/334474.pdf>, (アクセス日: 2020年4月1日).
- 11) 土砂災害ポータルひろしま: <https://www.sabo.pref.hiroshima.lg.jp/portal/top.aspx>, (アクセス日: 2020年1月31日).
- 12) 日本地理学会: 平成30年7月豪雨(西日本豪雨), <https://ajg-disaster.blogspot.com/2018/07/3077.html>, (アクセス日: 2020年4月1日).
- 13) 国土地理院: 基盤地図情報ダウンロードサービス, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>, (アクセス日: 2020年4月1日).
- 14) 国土地理院: 平成30年7月豪雨に関する情報, <https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30.taihuu7gou.html>, (アクセス日: 2020年4月1日).
- 15) 三浦弘之, 翠川三郎: 人工衛星光学センサ画像の目視判読による2008年中国四川地震での北川県南東部の建物被害分布, 日本地震工学会論文集, 第10巻, 第3号, pp.46-57, 2010.
- 16) 三浦弘之, 日朝健太: 数値標高モデルによる経験的な土石流氾濫域の予測手法の都市域に対する適用性の検討, 地域安全学会論文集, No.31, pp.309-318, 2017.
- 17) Miura, H.: Fusion analysis of optical satellite images and digital elevation model for quantifying volume in debris flow disaster, *Remote Sensing*, Vol. 11, No. 9, 1096; 2019, <https://doi.org/10.3390/rs11091096>.
- 18) Horton, P., Jaboyediff, M., Rudaz, B. and Zimmermann, M: Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol.13, pp.869-885, 2013.

(原稿受付 2020.5.16)  
(登載決定 2020.8.29)