

DEMを用いた2018年7月豪雨災害における 広島県での土石流氾濫域と崩壊土砂量の推定

DEM-based Estimation of Debris Flow Inundation Areas and Soil Volume in Hiroshima following the July 2018 Heavy Rains Disaster

三浦 弘之¹
Hiroyuki MIURA¹

¹ 広島大学 大学院工学研究科 建築学専攻
Department of Architecture, Hiroshima University

Digital Elevation Model (DEM)-based debris flow simulation is applied to Hiroshima areas affected by the July 2018 heavy rains disaster. The failure starting points extracted from the post-event aerial photographs are given in the simulation. The result of the simulation successfully detected most of the inundation areas. The soil volume produced by the debris flows is estimated from the simulation and the change of the vegetation index between the pre- and post-event satellite Landsat images. The estimated soil volume almost agree with the result of the detailed survey.

Keywords : Debris flow, Simulation, Soil volume, the July 2018 heavy rains disaster, Hiroshima

1. はじめに

2018年7月上旬に発生した西日本における豪雨災害では、中国地方や四国地方をはじめ広域で土砂災害、河川氾濫、家屋浸水などの甚大な被害が発生した。特に広島県では、6月28日から7月8日までの総降雨量は500mmを超え、7月6日から7日にかけて県南部を中心として広域で多数の土砂災害が発生した。県内では、死者・行方不明者数は計114名（うち行方不明者は6名）、全半壊建物は計3917棟、床上・床下浸水した建物は計7935棟もの被害が発生した¹⁾。これらの被害の主な原因は土石流によるものであった。広島県では1999年6月、2014年8月にも大規模な土石流災害が発生しており²⁾、土砂災害警戒区域の見直し、砂防ダムの建設などの防災対策が行われている最中での災害であった。

土石流災害が発生した場合、どの地域でどの程度の範囲の土石流氾濫が起きているのか、また崩壊した土砂量がどの程度であるかを把握することは、災害直後の対応を考える上で重要であるが、本災害のように広範囲での災害情報を収集することは容易ではない。本研究では、広島県を対象として、数値標高モデル（DEM）に基づく比較的簡便な土石流シミュレーション手法³⁾を適用することで土石流氾濫域を迅速に推定する方法について検討すると共に、シミュレーション結果と衛星画像による情報を組み合わせることで、崩壊土砂量を簡便に推定する方法を検討した。

2. 使用したデータと土石流シミュレーション

本研究では、国土地理院の基盤地図情報によるDEMを利用した。5mメッシュのDEMには、レーザ測量によるものと写真測量によるものがあるが、本研究では両者をモザイク処理した上で、解析時間を軽減するために10mメッシュにダウンサンプリングしたものを以降の解析に使用した。対象地域のDEMによる標高段彩陰影図を図1に示す。また、主な被災地において約1週間後に撮影した現地写真を図2に示す。呉市天応西条では、市街地に

土砂が1m程度堆積しており、熊野町川角では3m以上の大きさの巨石が流出していることがわかる。

土石流シミュレーションには、Flow-R⁴⁾を用いた。この手法は、DEMに対して崩壊開始点を与えることで、地形条件に応じた土石流氾濫域を計算するものである。崩

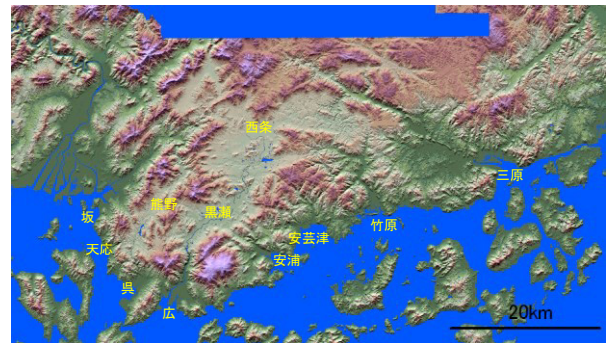


図1 広島県南部の標高段彩図



図2 主な被災地における現地写真
(2018年7月16日～17日撮影)

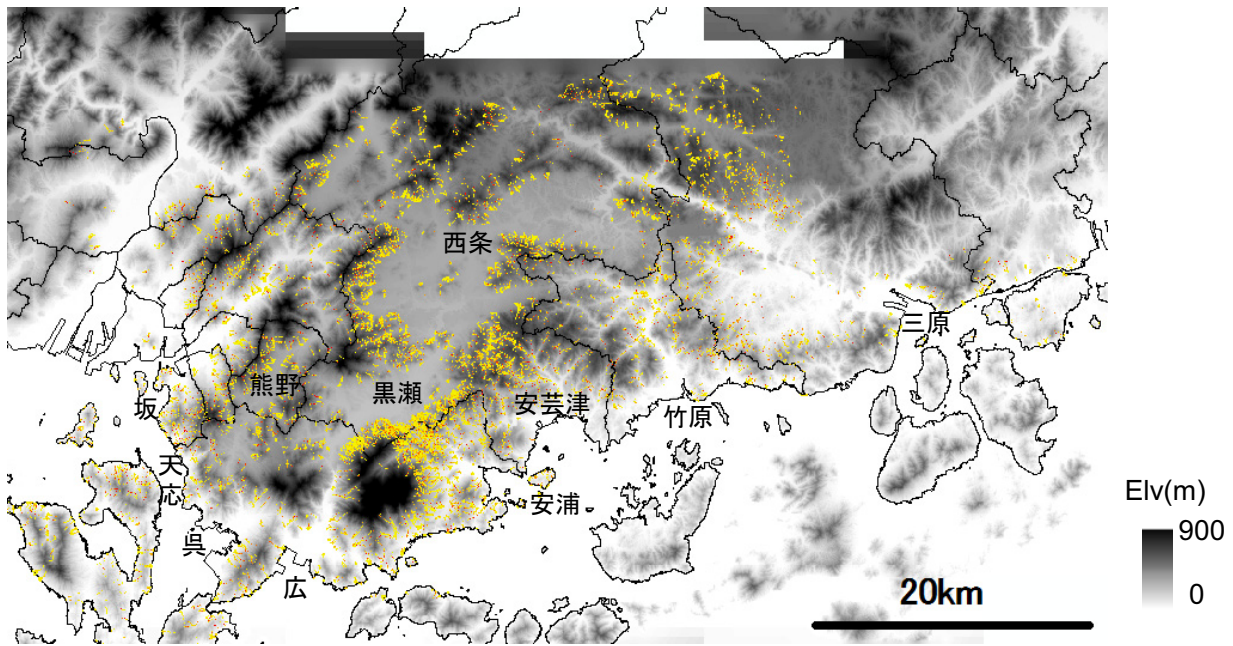


図3 広島県南部における土石流氾濫シミュレーション結果

壊土砂量を考慮しておらず、推定される氾濫域はある解析条件下で考えられる最大の氾濫域を表すものであるため、全体的に実際の氾濫域よりも過大評価の傾向となる。また、DEMに現れない砂防ダム、建物、樹木の影響、土砂の堆積による流路の変化も考慮していない。河川、池などの水域は周囲と同じ標高をもつ地盤と仮定する。その他解析に使用する各種パラメータは文献³⁾による値を使用した。このパラメータは、2014年広島土石流災害の氾濫域を概ねカバーするように設定したものである。

崩壊開始地点については、広島大学地理学グループにより航空写真の目視判読で得られた斜面崩壊発生源のデータ⁹⁾を利用した。このデータの第一報は災害から約10日後に公開されたもので、各斜面崩壊の発生源が点データとして与えられている。その後、第三報より土石流の発生源と崖崩れの発生源に分類されたものが公開された。これによると、県内では約8500箇所が崩壊が発生し、そのうち土石流の発生源が約90%で、崖崩れは10%程度であった。本研究では、これらのデータのうち、DEMの範囲内にある約6700地点の土石流の崩壊発生源のデータを利用して解析を行った。

対象地域全体でのシミュレーション結果を図3に示す。東広島市黒瀬周辺の山地で多くの斜面崩壊が発生しており、その周辺では広い範囲が氾濫域として推定された。主な被災地におけるシミュレーション結果を図4に示す。図左がシミュレーション結果、図右が災害後の航空写真を表す。呉市天応西条における結果をみると、実際の土石流氾濫域に比べて推定結果はやや小さい。この地域では、町の中心部を東西方向に川（大屋大川）が流れており、土石流発生時に上流から流れてきた土砂が川に流れ込み、堆積した土砂が下流で川の流路がせき止められたことによって、溢流した土砂や水が市街地に氾濫したため、広範囲に土砂が流出した。本解析では、河川の水の流れによる影響については考慮していないことから、推定結果がやや過小評価になったものと推察される。また、熊野町川角や安芸区矢野東の地域では、実際の被災地域をカバーする範囲が氾濫域として推定されているが、全体的にや

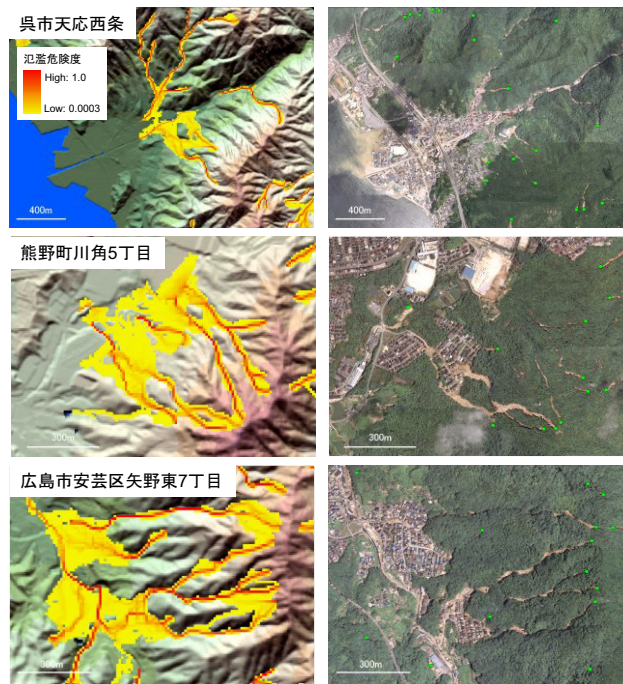


図4 主な被災地におけるシミュレーション結果と災害後の航空写真の比較

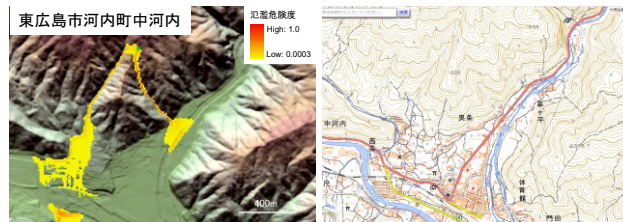


図5 警戒区域に指定されていない箇所での土石流シミュレーション結果とハザードマップ

や過大評価の傾向にある。これは、上で述べたように、本シミュレーションではそもそも考えられる最大の氾濫域を推定するものに加え、DEM に現れない小規模な地形の変化や水路の影響が考慮されていないことが一因と考えられる。しかし、限られた情報しか得られない災害直後において、迅速かつ広域に土石流による影響範囲を把握するには、本手法はある程度有効であると考えられる。

なお、図 4 に示す被災地域はいずれも土石流警戒区域に指定されており、災害前にもある程度は土砂災害に対する危険性が認識されていた。しかし、本災害では、警戒区域外においても規模の大きな土石流が発生したケースも少なくない。例として、東広島市河内町におけるシミュレーション結果と広島県のハザードマップ⁶⁾を図 5 に示す。この地域では 3 名の死者が発生するほどの被害が生じたが、右に示すハザードマップに示すように、この周辺は土石流警戒区域に指定されていなかった。広島県では 2014 年の災害をうけて警戒区域指定のための基礎調査を進めている最中であったものの、本地域は基礎調査が完了していないために警戒区域として指定されていなかった可能性がある。文献³⁾で実施したように、崩壊発生源を特定しない手法で土石流氾濫シミュレーションを行えば、本地域は危険地域として把握できた可能性もあることから、今後の防災対策を考える上でも迅速な危険箇所の把握が必要であろう。

なお、本シミュレーション結果に道路データを重ね合わせた図を作成することで、被害を受けた可能性のある道路、今後同じ箇所でも土石流が発生すれば被害を受ける可能性のある道路として抽出した。作成したマップは広島県をはじめとして各市町村に対して、今後の注意を促す情報として配布した。

3. 土石流シミュレーションと衛星画像解析の組み合わせによる崩壊土砂量の推定

災害後の廃棄物処理計画を計画するには、できるだけ災害直後に迅速に廃棄物量を把握することが望ましい。土石流災害においては、廃棄物の中でも崩壊した土砂の量が最も多くを占めるため、崩壊土砂量を推定することが重要である。一般に、崩壊土砂量を推定するには、災害前後の航空レーザ測量による標高差分を用られるが、広域でのレーザ測量を行うには多大な労力と時間を要する。そこで本研究では、土石流シミュレーションと衛星画像解析を組み合わせることにより、簡便かつ広域に崩壊土砂量を推定する手法を検討する。

災害前の画像が整備され、かつ災害直後にも無料かつ簡便に入手できる衛星画像として、米国地質調査所が公開する Landsat 画像⁷⁾がある。分解能は 30m とやや粗いが、広域の情報が得られることから本解析に利用することとした。災害前の画像として 2018 年 4 月 20 日に撮影されたもの、災害後の画像として 2018 年 7 月 16 日に撮影されたものを使用した。災害前後の Landsat-8 画像を図 6 に示す。拡大すると、土石流が発生した箇所では、植生が流出し、表土が現れていることがわかる。

解析の流れを図 7 に示す。土石流では上流側の土砂が流出し、下流側へと移動する。下流側の土砂は広範囲へ流出すること、河川や家屋に流出した土砂量を把握することは容易ではないことから、土石流に発生した土砂量は上流側の浸食量を推定することが適当である。一般に、土石流は自然斜面で発生することが多く、土砂が流出す

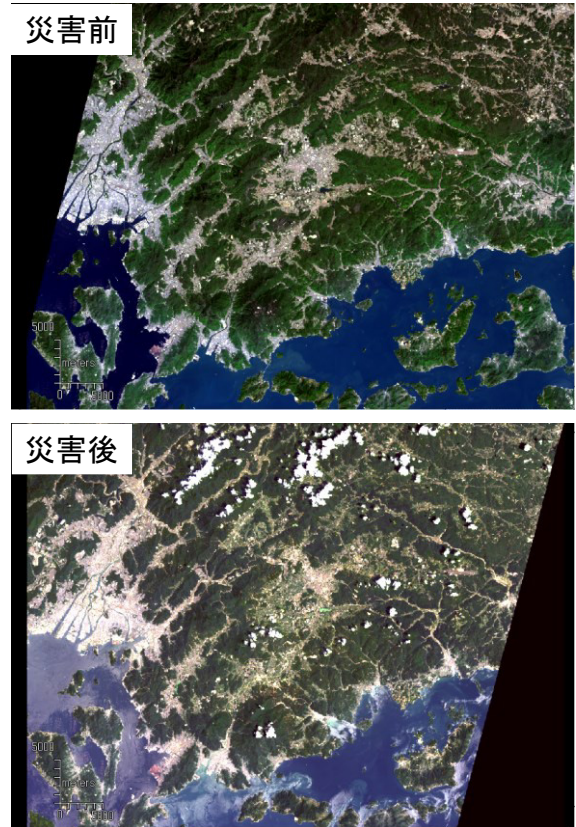


図 6 災害前後の Landsat-8 画像の比較

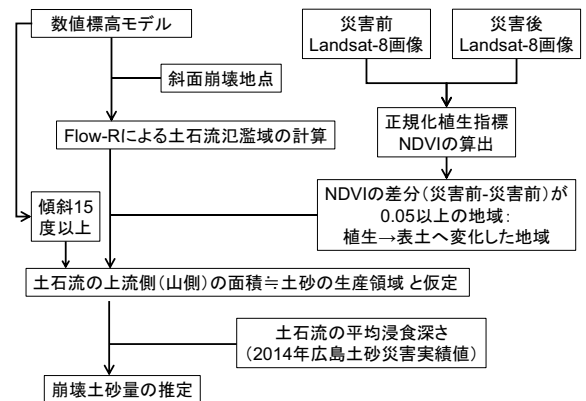


図 7 土石流シミュレーションと衛星画像解析による上流面積および崩壊土砂量の推定の流れ

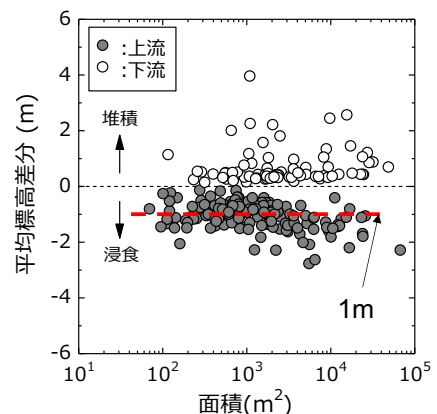


図 8 2014 年広島土石流災害における各土石流における上流側・下流側の平均標高差分^{2)に加筆}

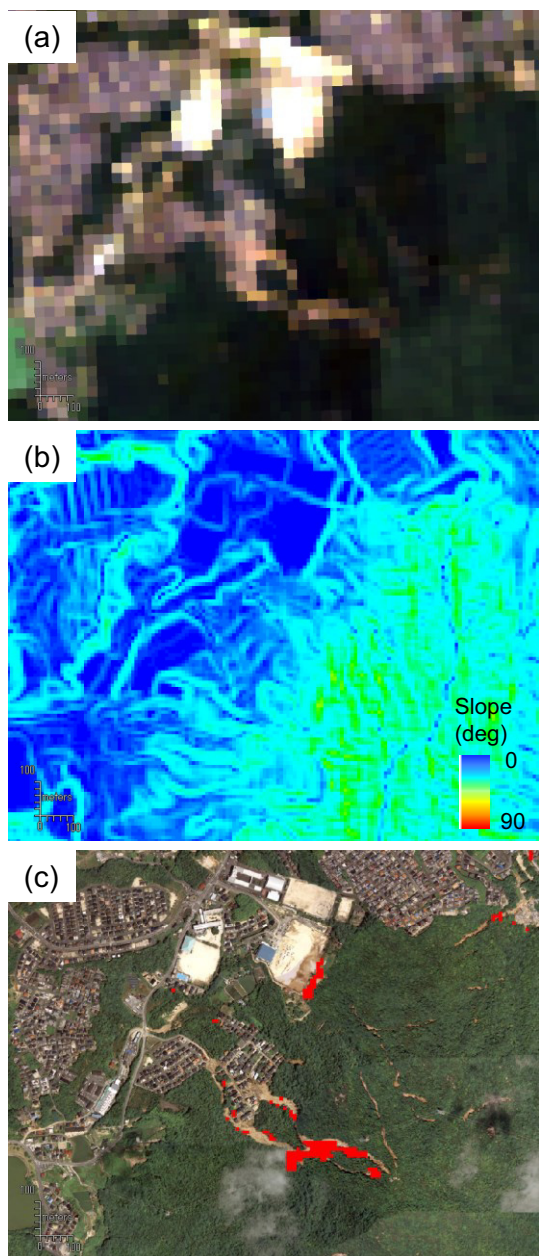


図 9 (a) 熊野町川角における災害後 Landsat 画像、
(b) DEM による傾斜分布、(c) 災害前後の Landsat
画像から植生が減少した地域の分布

る際に樹木等の植生も流出することから、土石流上流側では植生が災害後に減少する。そこで、災害前後の Landsat 画像から正規化植生指標 NDVI を算出し、その変化を利用することとする。NDVI は、近赤外域バンド画像と赤色バンド画像を用いて、画素値の差分をそれらの和で除した値で定義され、+1 に近い値ほど植生である可能性が高いピクセルを表す。そこで、災害後に NDVI が顕著に減少した地域を、植生から裸地に変化した箇所として抽出する。さらに、前章で行った土石流シミュレーションによる氾濫域かつ傾斜が 15 度以上の地域を抽出する。それら全てを満たす地域が土石流の上流側を表す地域として抽出し、それらの面積を算出する。

抽出された地域の面積から土砂量を推定するためには、浸食深さを掛け合わせる必要がある。図 8 に示すように、文献²⁾による 2014 年の土石流災害におけるレーザ測定の観測結果から、浸食深さは、地点毎に変化するものの、

土石流の上流面積によらず平均的に 1m 程度であった。このことを利用して、全ての土石流で平均 1m の深さの土砂が流出したものとして、崩壊土砂量を推定することとした。図 9(a)は熊野町川角周辺における災害後 Landsat 画像の拡大図、(b)は DEM による傾斜の分布、(c)は航空写真に災害前後の画像から植生が減少した地域を重ね合わせた結果を表す。小規模な土石流については、抽出できていないものの、規模の大きな土石流は抽出できていることがわかる。

前章での土石流シミュレーションにより氾濫域と推定された面積は計約 $1.23 \times 10^8 \text{m}^2$ (123km²) となった。さらに、衛星画像等との組み合わせ解析により、土石流の上流側と推定された範囲は、約 483 万 m² (4.83km²) と推定された。これに平均浸食深さ 1m を掛け合わせると、全体での崩壊土砂量は約 480 万 m³ と推定された。国土交通省の推計によると、広島県南部で流出した土砂量は少なくとも 400 万 m³ との報道がある⁸⁾。この推計での対象範囲や推計方法については明らかでなく、本推定結果の方が 20% 程過大評価ではあるものの、概ね対応する値が得られたものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、2018 年 7 月豪雨災害において広域で甚大な土石流被害が発生した広島県を対象として、DEM による土石流シミュレーションを行い、実際の氾濫域との比較および土石流警戒区域との関係を議論した。さらに、シミュレーション結果と災害前後の衛星画像解析とを組み合わせることにより、崩壊土砂量を推定する方法を検討した。推定結果は、国の推計値と概ね同程度であり、簡便に崩壊土砂量を推定するには本手法が有効である可能性を示した。

謝辞

本研究では、国土地理院による基盤地図情報の数値標高モデルおよび米国地質調査所による Landsat-8 画像を利用した。

参考文献

- 1) 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>, 2018.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) Horton *et al.* : Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 869-885, doi:10.5194/nhess-13-869-2013, 2013.
- 5) 広島大学平成 30 年 7 月豪雨災害調査団（地理学グループ）：平成 30 年 7 月豪雨災害による広島県の斜面崩壊分布図（第四報）, 2018.
- 6) 土砂災害ポータルひろしま：<http://www.sabo.pref.hiroshima.lg.jp/portal/Top.aspx>, 2018.
- 7) USGS: *Earth Explorer*, <https://earthexplorer.usgs.gov/>, (アクセス日 2018/8)
- 8) 中国新聞：流出土砂量 400 万立方メートル 広島県南部、14 年災害の 8 倍, 2018 年 8 月 2 日記事, 2018.