

博士論文

中世山城跡の地形改変が土砂移動に与える影響  
(要約)

2023年9月

広島大学大学院総合科学研究科

猪股 雅美

# 目次

## 第1章 序論

1. 1	はじめに	……	1
1. 2	研究の背景		
1. 2. 1	大雨発生回数の変化と豪雨による土砂災害	……	1
1. 2. 2	広島県の土砂災害と地形改変	……	3
1. 2. 3	中世の城跡	……	6
1. 3	研究の対象地域		
1. 3. 1	東広島市の課題	……	7
1. 3. 2	東広島市の山城跡	……	10
1. 4	研究の目的と方法	……	12
1. 5	本論文の構成	……	13

## 第2章 GIS（地理情報システム）を用いた平成30年7月豪雨の分析

2. 1	平成30年7月豪雨について	……	15
2. 2	平成30年7月豪雨の雨量	……	15
2. 3	研究方法		
2. 3. 1	分析範囲	……	16
2. 3. 2	雨量	……	16
2. 3. 3	地質別分類	……	17
2. 3. 4	地形の特徴	……	18
2. 4	研究結果		
2. 4. 1	分析範囲の面積	……	19
2. 4. 2	雨量	……	20
2. 4. 3	地質別分類	……	21

2.4.4	地形の特徴	……	21
2.5	考察	……	22
2.6	第2章のまとめ	……	22
第3章 下部斜面で土砂移動が発生していた城跡の抽出と分析			
3.1	城跡の地形改変と土砂災害	……	23
3.2	研究方法		
3.2.1	下部斜面で土砂移動が発生した遺跡の抽出	……	23
3.2.2	城跡の立地する地質と比高	……	26
3.2.3	城跡下部斜面の崩壊箇所の地形の特徴	……	27
3.2.4	土砂移動の崩壊面積比	……	27
3.3	分析結果		
3.3.1	下部斜面で土砂移動が発生した遺跡の抽出	……	29
3.3.2	城跡の立地する地質と比高	……	29
3.3.3	城跡下部斜面の崩壊箇所の地形の特徴	……	31
3.3.4	土砂移動の崩壊面積比	……	32
3.4	考察	……	33
3.5	第3章のまとめ	……	34
第4章 遺構図による城跡遺構における土砂移動の特徴把握			
4.1	城跡の地形改変箇所と土砂移動	……	35
4.2	調査方法		
4.2.1	平成30年7月豪雨での土砂移動と城跡遺構	……	35
4.2.2	城跡での過去の土砂移動履歴	……	36

4. 3	調査結果	
4.3.1	平成 30 年 7 月豪雨での土砂移動と城跡遺構	…… 37
4.3.2	城跡での過去の土砂移動履歴	…… 39
4. 4	考察	…… 41
4. 5	第 4 章のまとめ	…… 42
第 5 章 城跡の現地調査と地形改変部の土壌分析		
5. 1	調査対象の山城跡	…… 43
5. 2	研究方法	
5.2.1	山城跡の現地調査	
(1)	GPS による空堀の位置確認	…… 44
(2)	山城跡の下部斜面調査	…… 45
5.2.2	山城跡空堀部の土壌分析	
(1)	空堀部の土壌硬度の測定	…… 46
(2)	空堀内土壌の粒度分析	…… 46
5. 3	分析および調査結果	
5.3.1	山城跡の現地調査結果	
(1)	GPS により確認した空堀の位置	…… 47
(2)	山城跡の下部斜面	…… 49
5.3.2	山城跡空堀部の土壌分析結果	
(1)	空堀部の土壌硬度	…… 51
(2)	空堀内土壌の粒度	…… 52
5. 4	考察	…… 54
5. 5	第 5 章のまとめ	…… 55
第 6 章 城跡の集水域と流下方向の可視化		
6. 1	シミュレーションによる可視化	…… 56

6. 2	調査対象	.....	56
6. 3	研究方法		
6.3.1	土石流シミュレーションによる流下方向の確認	.....	58
6.3.2	模型を用いたARシミュレーションでの流下方向の可視化	.....	59
6. 4	結果		
6.4.1	土石流シミュレーションの結果	.....	62
6.4.2	模型を用いたARシミュレーションの結果	.....	63
6. 5	考察	.....	63
6. 6	第6章のまとめ	.....	64
第7章 中世山城跡で発生した土砂移動の地質的影響			
7. 1	土砂移動の要因	.....	65
7. 2	研究目的	.....	65
7. 3	研究方法		
7.3.1	遺構図による調査		
(1)	東広島市と近接する安芸国を構成する三市との比較	.....	67
(2)	岡山県との比較	.....	69
7.3.2	崩壊面積比の地質別比較	.....	70
7.3.3	空堀内部の土壌分析	.....	71
7.3.4	空堀下部斜面の窪地形内部に混在した岩石の分析		
(1)	岩石の肉眼観察と薄片観察	.....	73
(2)	岩石のX線回析	.....	75
7. 4	研究結果		
7.4.1	遺構図による調査結果		
(1)	東広島市と近接する安芸国を構成する三市との比較	.....	77
(2)	岡山県との比較	.....	79

7.4.2	崩壊面積比の地質別比較	……	80
7.4.3	空堀内部の土壌分析	……	81
7.4.4	空堀下部斜面の窪地形内部に混在した岩石の分析結果		
(1)	岩石の肉眼観察と薄片観察の結果	……	83
(2)	岩石のX線回析結果	……	85
7.5	考察	……	87
7.6	第7章のまとめ	……	88
第8章 城跡の発掘調査現場での調査			
8.1	発掘調査現場で確認可能な事項	……	89
8.2	発掘調査が実施された城跡	……	89
8.3	調査項目		
8.3.1	城跡の堆積土厚と遺構の状態確認	……	92
8.3.2	堀切跡（発掘調査区域外）の調査	……	92
8.3.3	擁壁工事の関係者からの聞き取り	……	92
8.4	調査結果		
8.4.1	城跡の堆積土厚と遺構の状態	……	93
8.4.2	堀切跡（発掘調査区域外）の調査結果	……	94
8.4.3	擁壁工事の関係者からの聞き取り結果	……	94
8.5	考察	……	95
8.6	第8章のまとめ	……	96
第9章 総合考察			
9.1	本研究の各章で得られた結論と考察	……	97
9.2	山城跡下部斜面の土砂移動発生メカニズム	……	101

9. 3	本研究の意義	……103
9. 4	城跡下部での土砂災害リスクの高い地域の把握と提示	……104
9. 5	本研究の課題	……106
9. 6	今後の展望	
9.6.1	花崗岩以外の地質の検討	……106
9.6.2	1mDEM データの活用	……106
9. 7	研究成果の防災活動への展開	……108
9. 8	おわりに	……110
	引用文献	……111
	補遺 (Appendices)	……117
	謝辞	……119

## 博士論文の要約

本研究は、前近代の人為的な地形改変である中世山城跡が土砂移動に与える影響について明らかにすることを目的としたものである。広島花崗岩地域の東広島市を中心に、GIS（地理情報システム）による分析と現地調査や土壌分析、モデルによるシミュレーションなどをおこなうことで、研究の結論を得た。

第1章ではまず近年の気候変動による大雨発生回数の増加や、それに伴う土砂災害の増加、そして人為的な地形改変が土砂災害の要因となる事例を挙げた。地形改変履歴の公表対象外である中世山城跡が山中に多く残る東広島市は、人口の急増に伴う住宅地の拡大により、山城跡の近接地域付近にまで宅地開発が進みつつある。それゆえに既存の宅地に対する警戒区域の指定や災害履歴の把握のみでは、新規の開発地や避難経路の安全を十分に考慮できない現状がある。数m～数十mの切土や盛土を伴う山城の構造と、東広島市に立地する中世山城跡の過去の土砂移動履歴を示すことで、中世山城跡と土砂移動の関係について研究をおこなう必要性を述べた。

第2章では東広島市の分析範囲内について、GISを用いて平成30年7月豪雨で発生した土砂移動の崩壊箇所（土砂移動現象の崩壊源）の地質、傾斜・曲率といった地形の特徴について、50mmごとに雨量を区分した分布図を作成し、雨量別に分析した。その結果、総雨量が増加するほど崩壊密度も大きくなったことから、崩壊密度と総雨量には関連が見られた。また、これまで災害に脆弱とされていた花崗岩だけではなく、流紋岩が分布する地域でも、総雨量が350mmを超えるような豪雨の場合で土砂移動が多く発生することがわかった。さらに、尾根型の地形での土砂移動発生が、総雨量400mm以上の地域で多発していたこともわかった。これらの現象は先行研究（松下ほか、2010）より、多量の降雨によるものだと考えられる。雨量別に分析をおこなったことで、今後の豪雨時に東広島市の分析範囲において土砂移動が発生する大まかな雨量の指標を、地質や地形別に示すことができた。

第3章では、東広島市の分析範囲内において流域界を作成し、遺跡範囲とされる位置を含む下部斜面の流域界で、平成30年7月豪雨で土砂移動が発生していた遺跡を抽出した。その結果、下部斜面で土砂移動が発生していた遺跡の中でも特に中世山城跡が、分析範囲内の城跡124件のうち51件と突出して多く抽出された。51件の城跡の8割以上が広島花崗岩類に立地し、比高の大きい山城が多かった。そのため、土砂移動の要因として、花崗岩の山体であることが考えられた。しかし、抽出された城跡下部での崩壊箇所について、第2章と同様に傾斜・曲率といった地形の特徴を雨量別に分析し、分析範囲全域と比較し

た結果、城跡下部では、分析範囲全域と比較して、雨による影響をより大きく受けていた。さらに地形改変の影響を把握するために崩壊面積比を算出し、比較した結果、350mm以上400mm未満の総雨量地域において城跡下部斜面の崩壊面積比は分析範囲全域の約3倍であった。城跡の下部斜面での崩壊面積比が大きい事は、崩壊土砂量が増大していることを示しており、地形改変の影響が考えられる結果といえる。つまり、平成30年7月豪雨において下部斜面で土砂移動が発生していた遺跡の中でも特に中世山城跡が突出して多く抽出されたのは、花崗岩の山体であることだけではなく、城跡の地形改変が影響しているという結果となった。これは、降雨の流下が遅くなる平坦部の郭や、集水の際に流入速度が大きくなると考えられる急傾斜の切岸、集水しやすい窪地である堀切や堅堀などといった空堀部などの、数m～十数mの高低差を持つ切土・盛土の人為的地形改変を伴う山城遺跡の特徴が要因と考えられる。

第4章では、城跡のどのような地形改変が土砂移動に影響しているかを調べるため、城跡遺構と平成30年7月豪雨における城跡下部斜面での土砂移動について、城跡の略測図である遺構図（村田・服部，2003）を用いて崩壊箇所上部遺構を調査した。さらに、遺構図に記載された過去の土砂崩れの跡についても同様の調査をおこなった。その結果、平成30年7月豪雨での土砂移動と遺構図に記載された過去の土砂崩れ跡の崩壊箇所上部遺構は、堀切などの空堀下部が最も多かった。城跡の地形改変で特に空堀が土砂移動に影響していることが判明したことは、崩壊源の予測につながる結果といえる。

第5章では、GISの分析では把握することができない山城跡の下部斜面について、東広島市西条町の、鏡山城跡、ががら山城跡（鏡山城ががら地区）、八幡山城跡、陣ヶ平城跡、二神山城跡、阿瀬地城跡、卯月城跡で現地調査をおこなった。山城跡7件全ての崩壊斜面周辺で、土砂災害の素因とされる広島花崗岩のマイクロシーティング構造が確認されていることから、調査地域では上部からの集水の増加で容易に土砂移動が発生する地質であると考えられた（千木良，2002）。さらに空堀の位置を確認した山城跡では、各空堀から平成30年7月豪雨で発生した土石流の崩壊源にかけての斜面には、流路の痕とみられる1m程度の深さの溝状の窪地形が続き、土中の湿度が保たれた水分が多い場所に生育する多年生シダ植物のウラジロ（村田・谷城，2006）が繁茂していたため、周辺よりも集水していることがわかった。また、遺構図が存在する各山城跡の空堀位置の土壌硬度は1.3～8.2〔mm〕（0.01～0.09〔MPa〕）の測定値であり、「超軟弱地盤」と評価される値であった。一方、遺跡内の空堀ではない地点での表土の土壌硬度は、各山城跡の空堀位置平均値と比較して4.43倍の支持強度であった。7件の山城跡のうち、ががら山城跡と二神山城跡については空堀内部の土壌を採土杖により採取して粒度分析をおこなった。その結果より、空堀内は透水性の大きい粗粒砂や中粒砂で構成されていることがわかった。以上の空堀部の土壌硬

度と粒度分布による土壌特性の分析より、空堀部が超軟弱地盤であり、深部まで透水性の大きい粗粒砂や中粒砂で構成される未固結の土壌で埋まっていることが確認できた。

第6章では地形改変が土石流流路に与える影響について確認するため、災害前の地形データを用い、地形データのみを用いた土石流シミュレーションと、遺構図に基づき設定した城跡遺構の地形改変部が反映した模型に **Augmented Reality** (拡張現実) の技術を用いて実施した降雨シミュレーションの結果を比較した。その結果、城跡遺構が反映した模型では、平成30年7月豪雨時と流下方向が一致した。地形データのみを用いた土石流シミュレーションの結果は実際の流下方向とは異なったことから、城跡の空堀部が周囲よりも透水性が大きい地盤となっているなど、土質が大きく異なるにもかかわらず、地形に大きくは反映していないことが影響していると考えられた。集水域と流下方向が可視化されたことにより、空堀部が未固結堆積土で埋まり、周囲の土壌と比較して透水性が大きいことが示された。

第7章では、遺構図による過去の崩れ跡調査、平成30年7月豪雨における東広島市分析範囲内の城跡での崩壊面積比の地質別比較、立地する地質が異なる城跡の空堀内部土壌分析、空堀下部斜面の窪地形内部に混在した岩石の地質別分析、の4つの手法で地質が城跡下部での土砂移動に与える影響の程度を検討した。それぞれの結果は、城跡の立地する地質で過去の土砂崩れ跡数に大きく違いがあり、特に花崗岩に立地する城跡で多いこと、中世山城跡の空堀下部斜面で発生した土砂移動は花崗岩と流紋岩では同程度に地形改変の影響があること、しかし風化による生成物の違いにより空堀内土壌の透水性が異なり、花崗岩類に立地する山城跡の空堀のほうが流紋岩類に立地する城跡より、豪雨の際に下部斜面への排水量が増えること、を示した。これらの結果から、花崗岩地域に立地する山城跡に土砂移動発生の危険性が高いことがわかった。

第8章では、比高が20mと低丘陵に立地する、藤が迫城跡(八本松正力)の発掘現場を調査した。平城に分類されるような比高の小さい城跡でも、堀切部下部で土砂の流出を確認できたことなどから、城跡下部の土砂移動には人為的な地形改変が影響しており、山中に立地する城跡に限ったリスクではないと考えられる。低丘陵の城跡でも空堀が下部斜面への流路となっていることが確認できたため、山麓で住宅地開発が進む地域においては山城跡と同様の土砂災害リスクとして注意が必要であることがわかった。

各章の結果より、城跡の空堀内部の土壌が未固結で透水性が大きいこと、空堀から崩壊源まで窪地形が続き、窪地形にウラボシが群生していること、などにより、豪雨時に透水性が大きい山城跡の空堀に集まった水が流下し、流れ込んだ先の斜面で土砂移動を発生さ

せたことがわかった。空堀遺構が流路となっていることは、AR による降雨の流下方向の可視化などからも確認ができた。城跡下部斜面の土砂移動は土砂移動事例の一部ではあるが、中世山城跡の下部斜面で土砂移動が発生するメカニズムや、土砂災害リスクとなる危険箇所を特定したことは、将来発生する土石流流路の予測を可能にし、城跡下部において、新規住宅の開発や今後の避難計画等の立案といった防災に役立てることができると考えられる。

本研究では、前近代の人為的な地形改変である中世山城跡が土砂移動に与える影響について調査・分析をおこなった。その結果、地形を改変して造られた山城遺構の空堀が、豪雨時の流路となり、空堀下部斜面での土砂移動の発生に影響していることを確認した。特に花崗岩地域に立地する山城跡に、土砂移動発生リスクが高いことが判明した。

## 論文目録

氏名 猪股 雅美

### 学位論文

論文題目 (和文) 中世山城跡の地形改変が土砂移動に与える影響  
—広島花崗岩地域を中心として—  
(英文) The influence of the artificial terrain alterations of medieval mountain castle sites on mass movements: examples in the area of Hiroshima granite

公表の方法 広島大学学術情報リポジトリで全文を公表するほか、広島大学大学院人間社会科学研究科紀要「総合科学研究」に要旨を公表し、次のとおり分割して公表する。

第2章から4章 関係論文の1

第5章 関係論文の2

第7章 自然災害科学 学会誌に投稿予定 (2024年4月)

### 参考論文

#### I 関係論文

1 著者名：猪股雅美

論文題目：中世山城の特徴的な地形改変が土砂移動に与える影響  
—広島県東広島市を対象とした平成30年7月豪雨災害のGIS分析—  
雑誌名：地質と文化 (査読制度あり) 第6巻第1号, 1頁-17頁, 2023

2 著者名：猪股雅美

論文題目：東広島市の中世山城跡の空堀遺構と土砂移動  
雑誌名：地質と文化 (査読制度あり) 第6巻第1号, 18頁-28頁, 2023

#### II その他

1 著者名：猪股雅美, 岩佐佳哉, 横川知司, 志方宥紀, 橋村侑希, 熊澤綾乃, 田中春香

論文題目：地域の自然災害リスクの理解を深める総合型防災活動  
—小・中学生と大学生との防災交流を通じて—  
雑誌名：防災教育学研究 (査読制度あり) 第3巻第2号, 63頁-74頁, 2023

2 著者名：福田直三, 土田 孝, 猪股雅美, 川崎梨江, 山土博三, 坂手顕介

論文題目：2018.7 豪雨被災経験を活かした防災マップ  
雑誌名：第10回土砂災害に関するシンポジウム論文集 (査読制度あり)  
181頁-186頁, 2020