

セルフハザードマップ作成に向けた洪水時における 浸水範囲規定要因の検討

小山 拓志*・氏田 洵 悠**・土居 晴 洋***

【要 旨】 本研究は、2012年豪雨（平成24年豪雨）時における氾濫水の到達点、すなわち浸水範囲の末端部に着目し、現地調査を基に浸水範囲規定要因について検討した。その結果、氾濫水はブロック塀や地形などによってその流れが制限されたことが明らかとなった。一方で、氾濫水を制限する要因は、僅かな土地利用の変化や地形改変によって変化することが、過去の水害との比較によって見出された。つまり、地域構造の変化と共に、氾濫水の流れを制限する要因も短期間で変化する可能性がある。そのため、既存の洪水ハザードマップに、それらの情報を住民自らが書き込む「セルフハザードマップ」の作成が重要かつ効果的であると考えられる。

【キーワード】 ハザードマップ 洪水 浸水域 浸水範囲規定要因 土地利用

1 はじめに

1. 研究の背景

近年、我が国においては豪雨の発生頻度が増加傾向にあり、それに伴う大規模な水害が各地で相次いでいる。たとえば、2012年や2017年には、九州の北部を中心に記録的な豪雨となり、各地の河川が氾濫し、多くの人命が失われた（平成24年7月九州北部豪雨、平成29年7月九州北部豪雨）。また、2015年9月9日から11日にかけては線状降水帯による豪雨が発生し、関東から東北にかけて河川氾濫に伴う大規模な水害が発生している（平成27年9月関東・東北豪雨）。さらに、2018年には台風7号と梅雨前線などの影響により、西日本を中心として全国の広い範囲で記録的な豪雨が発生し、死者数が250名を超える大規模災害となった。一部の報道機関は、この水害による人的および物的被害がきわめて甚大であったことから、「平成最悪の水害」と報道した¹⁾。

内閣府は2010年に、大規模水害による被害を最小限に食い止めることを目的として、中央防災会議「大規模水害対策に関する専門調査会」を立ち上げている。その中で、大規模水害の特徴を踏まえ、(1) 広域避難対策の強化、(2) 避難率の向上、(3) 孤立者の救助・救援、(4)

令和3年11月19日受理

*こやま・たくし 大分大学教育学部社会認識教育講座（自然地理学）

**うじた・じゅんゆう 大分県立国東高等学校（自然地理学）

***どい・はるひろ 大分大学教育学部社会認識教育講座（人文地理学）

地下空間等における被害軽減、(5) 病院及び介護・福祉施設等における被害軽減等の各種対策の実施、の必要かつ重要性を示した²⁾。ところが、それ以降に発生した上述の大規模水害では、未だ多くの人命が失われ、経済的損失も著しいものとなっている。

2. 洪水ハザードマップの問題点と課題

大規模水害は、多くの場合豪雨による外水氾濫と内水氾濫が発生することで生じる。すなわち、前者は河川・湖沼からの越流や堤防の決壊などによって発生し³⁾、後者は河川以外の場所における排水不良によって発生する。いずれも、浸水被害をもたらすものだが、後者はその発生の原理から、とくに都市型水害や都市型洪水とも呼ばれている。これまでは、このような水害に対する対策として、ダムや堤防、放水路の建設・増設といった、いわゆるハード対策が実施され、一定の成果を挙げてきた。しかし、その一方で、未だ都市部を流れる河川では堤防の決壊が相次いでいることから、近年は「水害への備え」として、洪水やそれに関連したハザードマップの作成・配布、避難経路や気象情報の周知といった、いわゆるソフト対策の重要性も示されるようになった。実際に、2001年の水防法の改正に伴い、中小河川に対しても浸水想定区域の指定が義務付けられたことで、全国の市町村において洪水ハザードマップが作成され、その整備率は98%に達している(内閣府, 2018)⁴⁾。

その一方で、住民の利用という面から洪水ハザードマップの問題点を指摘した岡本(2015)は、そのひとつにハザードマップの改訂(更新)頻度の少なさを述べた。この点については、国土交通省が、これまで洪水、内水、高潮・津波に分かれていた各ハザードマップ作成の手引きを統合・改定し、2016年に『水害ハザードマップ作成の手引き』(国土交通省水管理・国土保全局, 2016)として公開したことで、徐々に改善されつつある。国土交通省はその手引きの中で、水害ハザードマップの作成にあたっての基本事項の検討として、事前に地域の水害特性と社会特性を把握する必要性を示している。ここでいう水害特性とは、水害の種別やそれによってもたらされる被害の規模・頻度などのことを指し、社会特性は、地域の住民等の年齢構成や要支援者の状況、地域単位での防災への主体性の有無、交通事情などを指す。そして、それらを踏まえた避難方法等を検討し、重点的に対策が必要な水害を選定したうえで、それらを分かりやすく水害ハザードマップに反映させるよう記されている。しかし、実際に大規模水害を経験した地域においても、未だ地域の水害特性や社会特性が反映されていない古いハザードマップが公開されている地域も多い。なお、大分県竹田市においては、平成22年に洪水ハザードマップが公表され、10年後の令和2年に更新された。

ハザードマップの改訂頻度の少なさがもたらす大きな問題として、社会特性の変化に伴う浸水範囲の変化が挙げられる。つまり、地域の社会特性が変化することで、過去の浸水実績とは異なる浸水域が将来発生する可能性があるため、過去の浸水実績のみを過信するのは危険である。そもそも、浸水範囲を規定する要因は、地表面の凹凸(地形)だけでなく、ブロック塀や擁壁、家屋、水路、盛土された道路といった構造物、あるいは水田・畑といった耕地など様々である。そして、これらは社会特性の変化に伴って長・短期間で変化するため、浸水範囲を予想するためには、それらの変遷を理解することが肝要であろう。しかし、短期間で浸水範囲が変化するような構造物や土地利用の変化は、改定頻度の低いハザードマップに反映されることはない。さらに、小縮尺で作成された洪水ハザードマップはメッシュで作成されているため、直線的な線は意味を持たず、そこから細かい判断をしてしまうと誤解が生じる可能性もある(鈴

木, 2015)。このような問題は、避難経路の確保にも大きな影響をあたえるため、ハザードマップの解決すべき課題の一つといえる。

3. 目的

以上を踏まえ筆者らは、上記の解決策のひとつとして、過去の浸水範囲を規定した要因が変化した場合に、住民自らが既存のハザードマップにそれらの情報を書き入れる（書き足す）ような、セルフハザードマップの作成が効果的であると考えた。そして、それらをデータとして蓄積していくことができれば、より詳細な浸水範囲をリアルタイムで予想することが可能となる。しかし、それらを実現させるためには、まずは僅かな構造物や土地利用の変化によって、実際にどの程度洪水時の浸水範囲が変化する（した）のかを検討する必要がある。そこで、本研究では、セルフハザードマップ作成に向けた試行として、過去に幾度も洪水の被害に見舞われ、かつ沖積平野が狭く浸水範囲の規定要因を検討しやすい大分県竹田市の市街地において調査を実施し、それらの変遷を検討した。

II 調査地域概要と調査方法

1. 竹田市の概要と水害履歴

九州のほぼ中央で大分県の南西部に位置する竹田市（図 1）は、行政域が大野川流域の上流部を占めている。付近には、阿蘇山外輪山の東麓斜面、久住山の南麓斜面、また祖母山の北麓斜面を流下する河川が刻んだ河谷が無数に発達しており、中心市街地の標高は 240m で、竹田市域においては平坦地がきわめて少ないという特徴を有する。現在の竹田市は、2005 年に旧竹田市と隣接する 3 つの町が合併した結果、総面積は 478 km²、人口は 20,516 人（2021 年 10 月末日現在）となっている。また、人口減少が続き、高齢化が進展しているという点で、竹田市は典型的な中山間地域の特徴を備えている。

竹田市には、一級河川大野川水系の支川の一つである玉来川、稲葉川をはじめ、その支流が市域の概ね西から東に向かって流下している。これらの河川は、川幅が狭く川床が高いうえに蛇行するという特徴を呈しているため（千田, 2009）、竹田市においては豪雨のたびに洪水や土砂災害といった水害が多発する。竹田市における水害と土地利用変化についてまとめた土居（2015）によれば、竹田市では江戸時代（1603～1868 年）に 18 回、明治期以降（1868～2014 年）に 8 回の洪水が記録されていたと報告されている。さらに、この 30 年間だけでも、4 度の大雨を経験し、そのたびに洪水と土砂災害によって、人的被害と住宅損壊、農地被害が発生した（表 1）。本研究では、そのうち以下の 2 つの洪水に着目し、浸水範囲の規定要因について比較検討する。

1990（平成 2）年 7 月九州中北部豪雨（以下、1990 年豪雨と記す）：この水害による竹田市の被災者数は、市人口の約 5%に相当する 957 人で、死亡者数は 4 名であった。この豪雨では、稲葉川と玉来川で洪水が発生し、中心市街地や各所で浸水被害があった。特に、玉来川流域の拝田原地区の洪水被害は甚大で、流木が常盤橋にかかって越流し、短時間で地区全体を覆い、住宅の 2 階近くまで浸水したと報告されている（平野編, 1991）。また、氾濫水は、過去の洪水被害で初めて拝田原地区から鳥越峠を超えて、稲葉川流域の山手地区に流下した。竹田市における主要河川である稲葉川と玉来川の両河川が氾濫したことによって、かねて必要性が主張

されていた両河川上流におけるダム建設計画が加速した。その結果、稲葉川で建設されていた稲葉ダムは2011年に竣工した⁵⁾。なお、この豪雨では、稲葉川流域に立地している竹田観測所において、当時の観測史上第1位となる3時間降水量129mmを記録した(1990年7月2日)。

2012(平成24)年7月九州北部豪雨(以下、2012年豪雨と記す): この豪雨では、竹田市周辺において、2012年7月12日の3時から9時にかけて1時間あたり30~40mmの降水が続いた。わずか6時間ほどで250mmに達する降水があったことから、稲葉川・玉来川両河川ともに水位が上昇した。既にダムが完成していた稲葉川では、堤防上端近くまで水位は上昇したが越流しなかったのに対し、玉来川では拝田原地区を中心に数カ所で洪水が発生した(図1)。なお、2012年豪雨による竹田市の洪水被害の詳細は後述する。

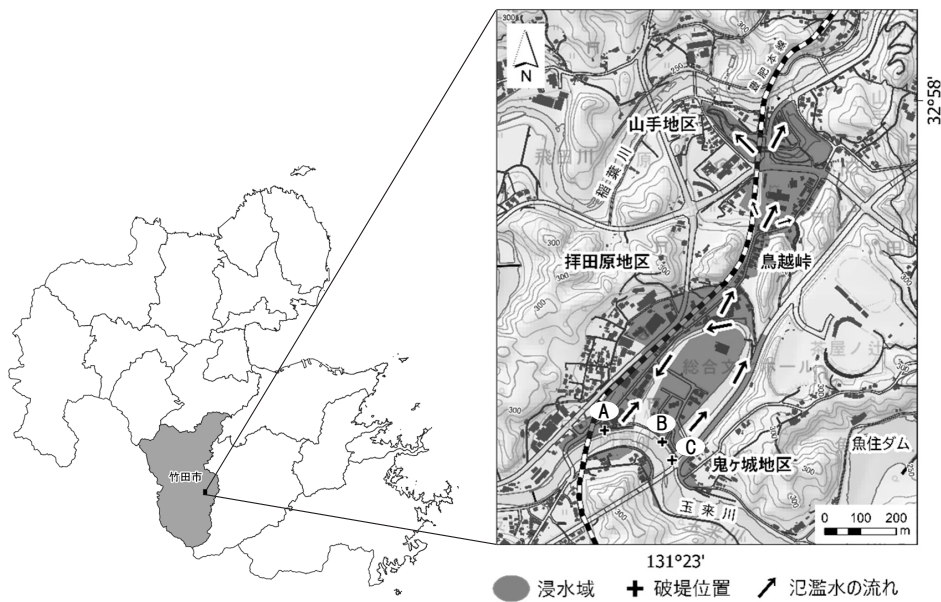


図1 調査地域の位置と2012年豪雨の浸水域および氾濫水の方向

破堤位置は土居(2015)を参考にした。浸水域および氾濫水の方向は、現地調査(聞き取り調査・浸水痕)と大分県竹田土木事務所資料、橋本ほか(2013)、土居(2015)を基に示した。

表1 近年の竹田市における洪水被害

西暦 (年)	和暦 (年)	月	誘因	降水量 (竹田:mm)	死者数 (人)	全壊家屋 (戸)	半壊家屋 (戸)	床上浸水 (件)	床下浸水 (件)	被害額 (億円)
1982	S.57	7	集中豪雨	252.0	7	16	10	257	100	約48
1990	H2	7	集中豪雨	457.0	4	39	53	265	162	約275
1993	H5	9	台風13号	306.5	4	9	10	37	61	約75
2012	H.24	7	集中豪雨	251.0	3	12	72	202	79	約81

資料: 竹田市誌編集委員会編(2009):『竹田市史』を基に作成。

2. 竹田市における土地利用の変化

竹田市における土地利用変化の詳細については、土居(2015)によって報告されているため、ここではそれを要約する。

まず、竹田市における明治期以降の土地利用変化をみると、1976年で最も大きな面積を占めていたのは森林で、70.2%であった。次いで、田の19.1%が大きく、それ以外は全て5%未満であった。また、畑などを示すその他の農用地が4.7%、市街地にあたる建物用地は1.8%である。一方で、1987年から1997年にかけては、竹田市の土地利用の構成には大きな変化が確認されている。すなわち、森林が最大の土地利用であることは変わらないが、その比率は65.7%にまで低下した。代わって、建物用地が3.5%に増加したほか、田とその他の農用地も増加した。つまり、森林が減少して、市街地が拡大したことが大きな特徴である。そして、このような都市的土地利用が増加したのは、竹田市における人口減少期にあたることを指摘している。

さらに、同報告では、竹田市内の拝田原および山手地区の土地利用の変化を、1947年と1976年、2008年の空中写真を活用し、年代ごとにそれぞれ整理している。それによれば、1947年の最大の都市的土地利用は、竹田市の中心市街地であった。1947年の竹田市の中心市街地は江戸時代の城下町であり、明治以後に稲葉川の対岸に鉄道駅が開設された。そのため、同年には稲葉川の左岸にも市街地がひろがっている。拝田原・山手地区では、低地部と背後の斜面の境界部付近に集落が分布しており、山手地区では、水力発電所と学校が稲葉川の右岸にあった。

また、拝田原地区で都市的土地利用が拡大したのは、1960年代・1970年代で、1976年には拝田原地区の低地部はほとんど都市的土地利用で充填された。1969年には、国道バイパスが玉来川の左岸に沿って開通し、1968年に開業した竹田医師会病院と1974年に移転してきた竹田警察署はこの国道バイパス沿線に立地する。明治期には桑畑であった蛇行の屈曲部において、1976年に竹田文化会館がオープンした。この時期は竹田市の人口は既に減少傾向であったが、まとまった都市的開発の用地が乏しい竹田市にあって、拝田原地区は貴重な開発適地であった。

1990年代以降をみると、大規模な都市的開発はそれまでの河谷低地から丘陵地に移行した。1995年に完成した竹田市総合運動公園はその一例である。また、竹田市は一部の丘陵地を造成し、1990年以降に市役所や小学校を中心市街地から移転させるとともに、市民向けの住宅を供給した。20世紀後半以降は、住宅開発や商業施設、公共施設が河谷低地に立地していった。さらに、頻発していた洪水の対策として、河川堤防の整備や河道のショートカットなどの事業がおこなわれた。

3. 調査方法

3-1. 浸水範囲・浸水高

2012年豪雨における詳細な浸水状況を整理するため、2013年6月から現地踏査と室内作業によって、浸水範囲および浸水高のデータを取得した。まず浸水範囲は、洪水直後の空中写真から泥や流木の堆積状況を読み取り概観したのち、大分県竹田土木事務所作成の「竹田土木管内浸水区域図」⁶⁾を参考資料として現地踏査をおこない推定した。また、現地踏査の際、付近の住民に対して当時の浸水状況について聞き取り調査をおこない、前述の地図に得られた情報を書き加え整理した。

浸水高については、竹田市街地の32地点で測定した。測定方法は、地表面から浸水痕までの比高をレーザー距離計（トゥルーパルス 360B：以下、レーザー距離計）や巻き尺等を用いて計測した。また、浸水痕跡を計測する際には、建造物の外壁等に付着していた泥の上限の値を用いた。しかし、現地踏査は災害発生から約2年が経過していたため、泥の付着が認められず浸水高を測定できない地点もあった。そのような地点では、地域住民への聞き取り調査によって浸水高を推定し、その上限から地表面までの比高を浸水高として用いた。さらに、既往研究によって計測された、橋本ほか（2013）の9地点と、土居（2015）の19地点のデータも活用した。

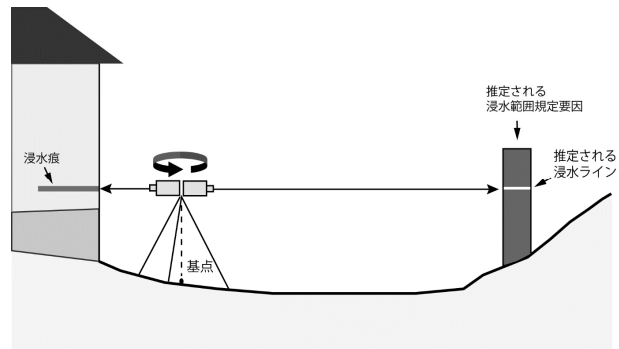


図2 浸水範囲規定要因と浸水高の推定方法

浸水痕が不明確な地点では、付近の浸水痕を基にレーザー距離計で計測し、規定要因と浸水高を推定した。

3-2. 浸水範囲規定要因

上述した方法で得られた浸水範囲・浸水高のデータと、洪水直後に撮られた写真資料の判読、および現地での聞き取り調査の結果を基に、洪水発生時に市街地に流れ込んだ氾濫水が制止あるいは遮断された要因を明らかにした。また、現地において浸水範囲末端部付近で浸水痕が不明確な箇所については、付近の浸水痕を基にレーザー距離計を用いてそのラインを推定し、浸水範囲の規定要因を検討した。

3-3. 浸水範囲規定要因の変化と浸水範囲の関係

1990年豪雨と2012年豪雨における浸水範囲の差異について、それを規定した要因の変化に着目しながら検討した。ただし、それぞれの豪雨については降水量や破堤位置、流心などが異なるため、浸水範囲が異なる要因を単純に比較検討することはできない。そこで、まずは両豪雨で浸水範囲が縮小した地点と拡大した地点をそれぞれ抽出し、その地点の土地利用の経年変化を、ゼンリン住宅地図や空中写真を活用して明らかにした。さらに、両豪雨を経験した付近の住民から詳細な聞き取り調査をおこない、浸水範囲規定要因の変化が確実に浸水範囲を変化させたことと判断できた地点を事例として取り上げた。また、浸水範囲や浸水範囲規定要因に関するデータは、地理情報システム（Esri Arc GIS Pro）によって地図化した。

III 2012年豪雨時に竹田市で発生した洪水の概要

1. 降水量

大分県では、2012年7月12日未明から、県西部を中心に激しい雨となり、13日は昼前から昼過ぎにかけて西部、北部、中部を中心に激しい雨となった。竹田観測所のデータによる

と、7月12日の午前1時頃から徐々に雨脚が強まり、午前8時頃まで強い雨が降り続いた(図3)。特に、7月12日午前5時20分からの3時間降水量は135.0mmに達した。これは、1990年豪雨で記録した、それまでの観測史上第1位であった129.0mmを上回る値であった。

また、玉来川流域では、7月12日の午前6時に1時間降水量98.0mmを記録し、午前9時までの3時間

降水量は236.0mmとなった。また、降り始めから2日間の総降水量は、397.0mmに達した。この2日間降水量を1990年豪雨時の値と比較すると、1990年豪雨の417.9mmを若干下回るものの、3時間降水量で比較すると236.0mmで、1990年豪雨時の192.5mmを上回っていた。このことから、2012年豪雨がいかに短時間で集中的に激しい雨が降ったかが良く分かる。

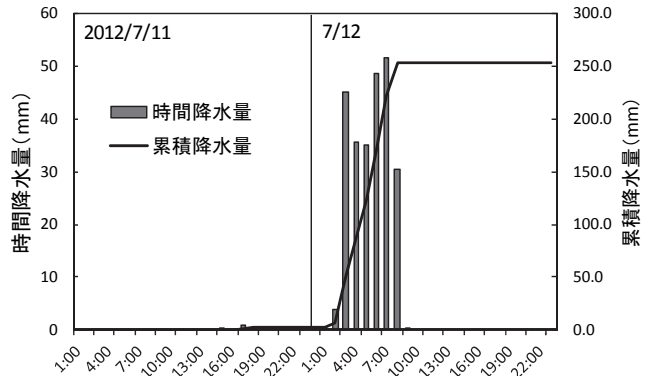


図3 竹田市の時間降水量と累積降水量 (2012/7/11~12)

資料：気象庁 (www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php)

2. 玉来川の出水経過と被害状況の概要

短時間に記録的な雨量をもたらした2012年豪雨では、河川の水位が短時間で極端に上昇し、特に玉来川からの氾濫水による浸水被害が顕著であった。橋本ほか(2013)は、玉来川流域の洪水は、異常な水位上昇による超過洪水であると述べている。2012年豪雨時の浸水域および破堤位置、氾濫水の方向を図1に、浸水高を図4に示した。

洪水発生直後に現地調査をおこなった土居(2015)や橋本(2013)は、拝田原・山手地区における浸水状況の概要をまとめている。ここでは、それらの成果と現地における聞き取り調査の結果を基に、玉来川の出水経過と被害状況を整理する。

1990年時と2012年時の大きな違いは、蛇行により屈曲していた玉来川の本流がショートカットされた点である。そして、2012年豪雨では、新しい本流の3地点(図1:破堤位置A~C)から、河川水が拝田原地区へと流入した。まず、A地点はJR豊肥線の玉来鉄橋から本流をショートカットするために築堤された場所である。土居(2015)によれば、本流側の堤防に破損はなく、反対の旧河道側に破損があったとのことである。これにより、本流の右岸にも水が流れ込み、山際まで浸水した。二つ目は阿蔵集落にあたるB地点である。本流のショートカットをおこなうために阿蔵集落は河道の両岸に分断された。その両岸をつなぐため、1989年に阿蔵新橋が建設された。この橋の橋梁部分に上流から流されてきた流木が集積したことで、両岸へ氾濫水が流れ込んだとされている。三つ目はC地点で、当時玉来川に掛かっていた阿蔵新橋のすぐ下流側である。ここでは、ショートカットの為に新しく建設された堤防の大部分が破壊さ

れ、大量の氾濫水が旧河道を反時計回りに遡っていった。また、玉来新橋に集積した流木によって上流側へのせき上げが生じ、水位が上昇したとの報告もある（たとえば、土木学会九州北部豪雨災害調査団，2013）。

玉来川左岸側に位置する阿蔵地区や拝田原地区では、破堤部に近いということもあって、建造物の被害が多く人的被害も生じた。特に、拝田原地区では堤防上端から2.5mまで水位が上昇したとされている（橋本ほか，2013）。また、拝田原地区の西隣の玉来地区においては、玉来川の滑走斜面の平坦地と対岸にいくつかの商業施設が立地している。これらの施設の敷地内と周辺の民家が浸水した。特に、商業施設に近い場所で30cm、河岸に近い場所で1m程度の浸水があった（土居，2015）。

さらに、玉来川の氾濫水は、玉来川左岸の旧河道および周辺の低地部を浸水しただけでなく、JR 豊肥本線の線路および県道 135号線を伝い、山地に挟まれた狭窄部である鳥越峠を乗り越えて、北東の山手地区に扇状に流れ込んでいったとされる（土居，2015）。また、付近の住民への聞き取り調査の結果も勘案すると、氾濫水は県道 135号線に沿い北西方向に流れた水と、勢いを保ったまま北側に流れた水、さらに JR 豊肥本線の法面に沿って北東方向に流れ込んでいった水の3つの流れがあった。

一方、山手地区では、玉来川からの氾濫水による浸水被害を受けただけでなく、氾濫水が JR 豊肥本線の線路を伝ってきたことにより、線路下のバラストを流出させ、それによって被害を受けた家屋もあった（竹田市，2013）。また、同地区には、稲葉川本流の旧河道が公園として利用されている地点がある。この公園には、稲葉川へと続く排水施設があるが、稲葉川が増水していたために排水機能が十分に発揮されなかったと報告されている（竹田市，2013）。それに加え、山手地区周辺は三方を山地に囲まれていることから、玉来川から流れ込んだ水が旧河道に溜り、辺り一帯は湖のようになった。付近の住民への聞き取り調査によれば、一旦旧河道に溜った水は県道 8号線に沿って北東方向へ流れ、向山手地区に被害をもたらしたとされている。

IV 浸水範囲規定要因の分類と分布

本研究では、現地における測量と聞き取り調査によって、2012年豪雨時の浸水範囲規定要因を次のように分類した。すなわち、人工物であるコンクリート壁（大型ブロック積擁壁含む）、

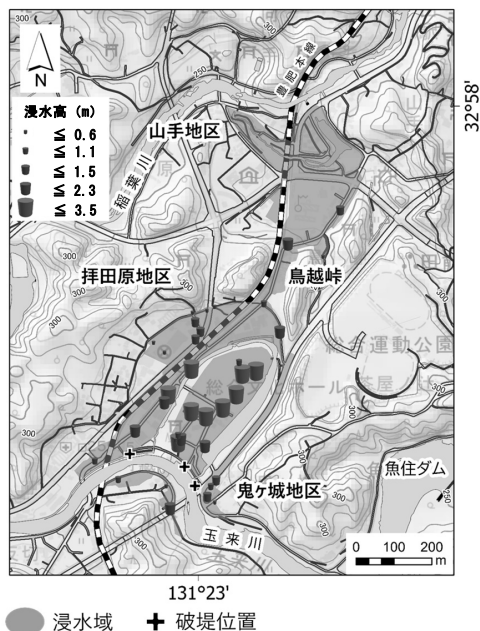


図4 2012年豪雨の浸水高

破堤位置は土居（2015）を参考に示した。浸水域および浸水高は、現地踏査（聞き取り調査・浸水痕）と大分県竹田土木事務所資料、橋本ほか（2013）、土居（2015）を基に示した。

ブロック塀、石壁、家屋、法面、堤防、道路（盛土を含む）、畑地と、それら以外に該当する地形（山地等）の、計 9 種類である。これらの総延長距離は、3927.3m であった。以下にそれぞれの概要を示し、図 5 に概観（一部）を、図 6 に分布と割合を示す。

a) **コンクリート壁（大型ブロック積擁壁含む）**：石やブロックを積み重ね、胴込めコンクリートによって一体化されているものや水路擁壁などを、コンクリート壁（大型ブロック積擁壁含む）と分類した。これは、比高約 1~2m で、特に扨田原地区で多く確認され、全体で見ると 14.7% の割合を占めていた。一方で、付近の浸水痕から推測された浸水高の値とコンクリート壁の比高を比較すると、場所によってはわずか 10~30cm 程度の水位上昇で、コンクリート壁を乗り越えていた可能性があった地点も多く存在した。

b) **ブロック塀**：コンクリートブロックを単純に積み重ねて造られた塀を、ブロック塀と分類した。これは、浸水範囲規定要因としての割合は小さかった（1.3%）が、家屋の周囲に設置させていることが多かったため、扨田原地区や鬼ヶ城地区といった住宅の多い地区で確認された。比高は、家屋の周囲に設置されているものが約 1~2m で、土地の区画境界に設置されているものは、1m 以下のものが多かった。ブロック塀に関しても、2012 年豪雨時より単純に水位が 50cm 程度上昇すると、乗り越えてしまう可能性が高い地点が散見された。

c) **石壁**：切石を積み上げて造られた壁を石壁と分類した。2012 年豪雨では山手地区でのみ確認され（2.9%）、比高は約 3~5m とコンクリート壁やブロック塀に比して高いものが多く、住宅地の基礎部分の外壁として用いられていた。また、ブロック塀は氾濫水によって倒壊あるいは半壊しているものが散見されたが、石壁の顕著な損壊は認められなかった。

d) **家屋**：一般的な住宅用の建築物を家屋と分類した。特に、阿蔵地区や山手地区の平屋が主で、割合としては全体の 4.9% であった。また、家屋外壁の浸水痕の比高から、概ね地表面から 50cm 程度で氾濫水が止められている地点が多かった。

e) **法面**：切土や盛土によって作られた人工的な斜面で、表面がコンクリート舗装されているものと緑化されているものを、それぞれ法面として分類した。2012 年豪雨では、これによって氾濫水が堰き止められている箇所が約半数を占めていた（51.3%）。法面の比高は場所によって異なるが、鬼ヶ城地区の県道沿いで 1~2m 程度、阿蔵地区玉来川右岸側の住宅地付近では、10~15m 程度であった。一方、緑化した法面は、鳥越峠の狭窄部や扨田原地区の JR 豊肥線線路付近に存在する。鳥越峠の狭窄部に存在する法面は地山掘削による法切工のため、その比高はほぼ山地の標高と同じである。

f) **堤防**：治水のために土砂などを盛って作られた構造物を、堤防として分類した。2012 年豪雨では、飛田川地区、向山手地区（公園内）、稲葉川の旧河道内でこれによる氾濫水の堰き止めが確認された（10.4%）。向山手地区の公園においては、地表面から堤防上端までの高さが、概ね 10~20m であった。また、聞き取り調査によると、2012 年豪雨時の飛田川地区では、氾濫水が堤防部分で止まり、家屋に目立った浸水被害は生じなかった。しかし、氾濫水の水位は堤防の上端付近まで上昇しており、次の水害で水位が上昇すれば、乗り越えていく可能性があることを住民は危惧していた。

g) **道路（盛土を含む）**：道路建設によって浸水範囲が規定されていた箇所を、道路（盛土を含む）と分類した。これは、道路や橋の建設の際に、盛土やかさ上げによって微高地が形成され、それによって氾濫水が堰き止められていた箇所も含まれている。2012 年豪雨では、扨田原地区や山手地区、飛田川地区、鬼ヶ城地区で確認された（7.9%）。

h) 畑地： 農作物を栽培している耕作地，あるいは耕作放棄地を畑地として分類した。2012年豪雨ではその割合は小さかったが（1.8%），阿蔵地区や鬼ヶ城地区において認められた。特に，畑地の場合は明瞭な高低差が無いため，畑地に存在する僅かな高まり程度で氾濫水が止まった様子であった。

i) 地形（山地等）： 山地や丘陵地の山際などによって浸水範囲が規定されていた箇所を，地形（山地等）と分類した。2012年豪雨では，山手地区や阿蔵地区において，僅かに確認されたのみであった（4.7%）。この規定要因は，地表面から10m以上の地点が多かった。



図5 浸水範囲規定要因の概観（一部抜粋）

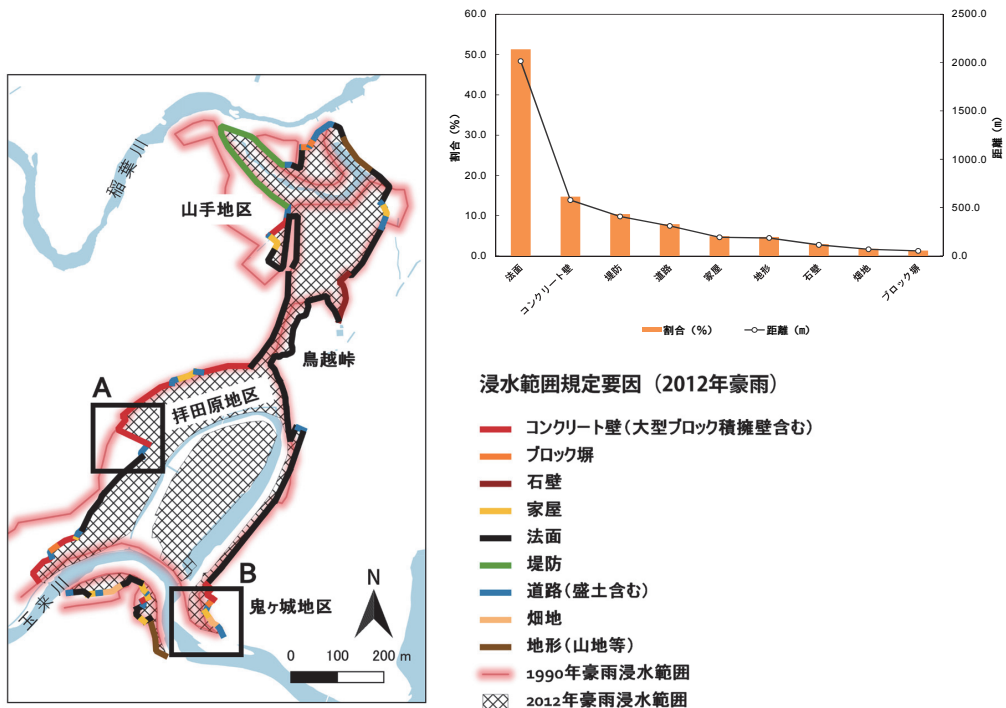


図6 2012年豪雨における浸水範囲規定要因の分布と割合

図中のアルファベットと四角は図7，図9の範囲。1990年豪雨の浸水範囲は，「竹田市洪水ハザードマップ（稲葉川・玉来川・大野川）」（平成22年3月発行）を基に示した。

V 浸水範囲規定要因の変化と浸水範囲の関係：1990年豪雨と2012年豪雨の比較

1. 浸水範囲が縮小した事例：拝田原地区

2012年豪雨における拝田原地区内の一部では、1990年豪雨よりも浸水範囲が縮小した地点が存在した（図6：A）。その要因を検討するため、1947年から数年おきに国土地理院が撮影した空中写真とゼンリン住宅地図によって土地利用の変化を整理し、浸水範囲を比較検討した（図7）。

当該地点は、少なくとも1947年頃から1982年頃までは、区画の全域が農地として利用されていた。1976年に撮影された空中写真には、農地が広い面積を占めていることが分かると共に、農地の北側に竹田警察署（白い建物：1974年にこの地点に移設）が既に立地していることが認められる。1985年頃から1990年頃までは、農地の南側に建物が建設されていたことが、住宅地図によって確認された。1992年頃から2003年頃までは建物の用途が変わっただけで、大きな土地利用変化はなかった。その後、2004年頃に農地として利用されていた区画の北側に、現存する店舗や駐車場が建設された。すなわち、この地点の土地利用は、50年程度で農用地から建物用地へと変化したことになる。既述したように、このような土地利用の変化は、拝田原地区で住宅を目的とする農地転用が盛んにおこなわれていた時期と一致する（1993年～2004年）。また、1976年と2012年に撮影された空中写真を使ってそれぞれ地形判読をしたところ、農地利用されていた時期は現在より土地が低いことが明らかとなった。このことから、当該地点では店舗建設にあたって盛土したと推測される。

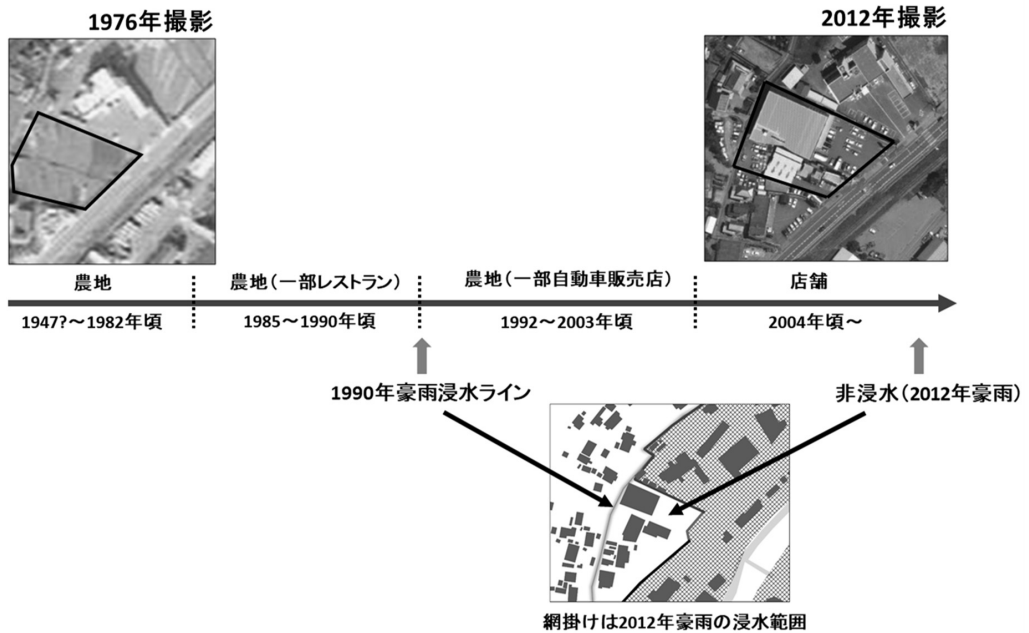


図7 拝田原地区における土地利用と浸水範囲の変化

範囲は図6中のAに対応。使用した空中写真は、1976年に国土地理院撮影が撮影したCKU763-C15と、2012年撮影の「熊本県玉来川地区4正射画像」である。

1990年豪雨では、農地利用されていた区画と隣接する警察署が立地する区画が共に浸水した。その一方で、2012年豪雨では、かつての農地（現在の店舗が立地する区画）北側に位置する警察署付近は浸水したものの、店舗が立地する区画は浸水被害を免れている。

この地点の地形断面図を作成したところ（図8）、浸水範囲規定要因となった水路が最も低く、そこから南西方向（店舗側）に向かって高度が増すことが分かる。2012年豪雨時の氾濫水は、旧河道を反時計回りに（図8の北東方向から）流れ込んできたものと推測されるため、警察署側から浸水した。この微高地の一部は、店舗建設の際の盛土にあたりと推測されるため、2012年豪雨の氾濫水はまさに水路擁壁と盛土の地点で止まったことが明らかである。

一方で、1990年豪雨時の浸水範囲が広範だった理由は、当時の氾濫水の

流心方向が定かではないため不明である。少なくとも1990年豪雨時には店舗建設による盛土はおこなわれていないため、周辺の土地は現在よりも低かった。そのため、氾濫水を止めるような要因が存在せず、広い範囲が浸水してしまったと考えるのが妥当であろう。

今後、仮に南西方向（店舗側）から氾濫水が流れてきた場合には、地形に沿って（盛土されている店舗側から警察署側へ）水が勢いよく流下する可能性も否定できない。すなわち、2012年豪雨では盛土や水路擁壁によって氾濫水が止められたが、逆に盛土によって生み出された高低差が、将来的に浸水範囲を広げる可能性もある。このように、土地利用や高低差の僅かな変化は、浸水範囲を縮小させる可能性がある一方で、拡大させる危険性もあるといえる。

2. 浸水範囲が拡大した事例：鬼ヶ城地区

玉来川左岸側に位置する鬼ヶ城地区（図6：B）の一部は、1990年豪雨で浸水してはいるものの、2012年豪雨ではより広範が浸水した。この地区は、玉来川に架かっていた阿蔵新橋に近接しており、2012年豪雨ではショートカットの為に新しく建設された堤防の大部分が破壊され、大量の氾濫水が旧河道を反時計回りに遡っていった（図1：破堤C）。

この地区の住民に聞き取り調査をおこなったところ、1990年豪雨で付近は浸水したものの、当時は集落の家屋が浸水することは無かったとのことであった。しかし、2012年豪雨では、集落内の家屋の一部が床上浸水の被害にあった（図9）。この要因を検討するため、空中写真によ

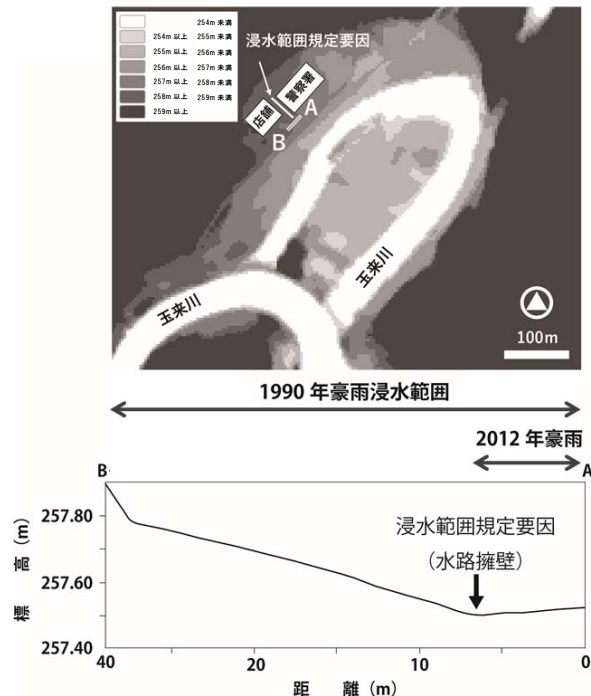


図8 浸水範囲が縮小した地点の地形断面
背景図は国土地理院の5m-DEMを基に作成した

る判読と、どちらの水害も経験した周辺住民へ聞き取り調査をおこなった。

住民への聞き取り調査の結果、2012年豪雨における氾濫水の流れは、1990年豪雨と異なることが明らかとなった。すなわち、1990年豪雨の氾濫水はこの地区に流れ込んできたものの、氾濫水の多くは現在の玉来新橋のあたりから、玉来川へ直接流れ込んでいったとのことであった。一方で、2012年豪雨では、氾濫水の流心が集落方向へと移動した。

当該地点の地形断面を作成したところ（図10）、玉来新橋の橋台部からは集落に向かって概ね1m20cm程度下がり、その最低地点から40cm程度高いところに集落は立地している。1990年豪雨では、一部の氾濫水が集落方向に流れ込んだものの、集落の手前で氾濫水は止まったとされる（おそらく盛土による微高地）。しかし、2012年豪雨では、この微高地を乗り越えて集落の内部にまで氾濫水が到達した。

この理由として、一つは2012年豪雨では玉来新橋の橋脚に流木が集積し、上流へのせき上げが生じて水位が上昇したことが挙げられる。つまり、1990年豪雨時よりも、そもそも氾濫水のエネルギーが大きかった可能性がある。これに加えて、玉来新橋の建設によって橋台部分が2m程度かさ上げされたことも大きな要因の一つであると推察される（図9）。2つの豪雨を経験した住民からの証言によれば、この2mのかさあげによって本来は無かった高低差が生まれ、直接玉来川へと流れ込んでいた氾濫水が、2012年豪雨では橋の手前から屈曲するかたちで集落方向へと流れ込んだとされる。このように、新たな道路や橋の建設によって、これまで無かった高低差が生まれ、それによって浸水範囲が変化することもある。



図9 鬼ヶ城地区における土地利用と浸水範囲の変化

範囲は図6中のBに対応。使用した空中写真は、1976年に国土地理院撮影が撮影したCKU763-C15と、2012年撮影の「熊本県玉来川地区4正射画像」である。

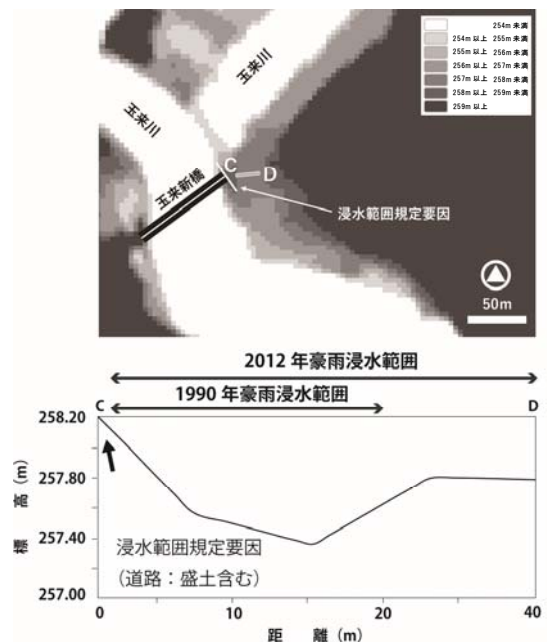


図10 浸水範囲が拡大した地点の地形断面
背景図は国土地理院の5m-DEMを基に作成した。

VI セルフハザードマップ作成に向けて

本研究では、僅かな構造物や土地利用の変化によって、実際にどの程度洪水時の浸水範囲が変化したのかを、竹田市で発生した二つの水害を基に検討した。その結果、氾濫水はコンクリート壁やブロック塀、あるいは盛土も含む道路や山地といった地形などによって、その流れが制限されたことが明らかとなった。一方で、過去の水害と比較した結果、氾濫水を制限する要因は、土地利用の変化や新たな構造物の建設や解体などによって変化している。

現在、竹田市では「防災マップ」という名称で web 版や冊子版が公開されており、浸水想定区域だけでなく浸水継続時間なども示されるようになった。また、各河川の洪水ハザードマップには、「想定し得る最大規模の降雨」により河川が氾濫した際の、浸水想定区域が示されるようになってきている。そして、最も新しい玉来川の洪水ハザードマップ（令和 2 年 3 月発行）には、これまで示されていた 1990 年豪雨の浸水区域ではなく、2012 年豪雨時の浸水区域が網掛けによって示されている。このように、大規模な洪水が発生した際には、その時の被害状況をハザードマップに反映し、可能な限り迅速に更新していくことが重要である。

その一方で、2012 年豪雨から既に 10 年近くが経過している（執筆当時：2021 年）。この間、竹田市の人口減少なども相まって、市内における土地利用の変化も認められるため、本研究で対象とした浸水範囲の規定要因も変化し続けている。もちろん、土地利用といった大きな変化だけでなく、たとえばブロック塀の撤去や古い家屋の解体、新たな道路の建設（盛土）など、ミクロな変化も著しい。そのため、将来的に 1990 年豪雨や 2012 年豪雨と同等レベルの洪水が発生した際には、これまで以上に浸水範囲が拡大（縮小）する可能性もある。

ところが、短期間で変化するような、あるいは規模の小さな浸水範囲規定要因については、現在のハザードマップの更新頻度や作成技術に鑑みると、全てを反映させることは困難である。そのため、筆者らは本研究の成果も踏まえ、以下を提案する。

- 1) 既存の洪水ハザードマップを閲覧するだけでなく、なぜそこに水が流れるのか、何によってその水は止まるとされているのかを確認する。
- 2) 過去の水害で氾濫水が家屋やブロック塀といった構造物で止められていた場合、現状を確認する。
- 3) 浸水範囲を規定する要因や、地域における土地利用あるいは高低差（地形）の変化に関する情報（上記 2）の情報含む）を、既存のハザードマップに住民自らが適宜書き込む作業をおこなう（セルフハザードマップの作成）。

このような僅かな変化は、自治体レベルで把握することは困難である。また、現在のハザードマップの作成技術ではこれらを反映させられないため、住民個人や自治会レベルで対応する必要がある。また、このような作業を日ごろおこなうことは、地域や地区単位の防災・減災意識の向上にも繋がると共に、簡易的な災害図上訓練（DIG）にもなる。今後は、実際に浸水範囲規定要因を書き込んだセルフハザードマップを作成し、その効果を検証したい。

謝辞

2012年豪雨の被害に関する資料は、大分県竹田土木事務所より提供を受けた。ここに感謝の意を表します。なお、本研究は、第2著者の氏田が平成26年度に大分大学教育福祉科学部（当時）に提出した卒業論文が主体となっている。その後、第1著者である小山と第3著者である土居が追加調査を実施すると共に、図表を含め大幅な加筆修正をおこなった。また、本稿の骨子は、2015年度地理科学学会春季学術大会で発表した。

注

- 1) たとえば、朝日新聞「暮らし再建、途方もない道 西日本豪雨1ヵ月」。2018年8月7日朝刊
- 2) 記者発表資料「大規模水害対策に関する専門調査会報告 首都圏水没～被害軽減のために取るべき対策とは～の公表について。（内閣府防災情報のページ：http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/daikibosugai/pdf/100402_kisya.pdf（最終閲覧日：2020/5/12）
- 3) 外水氾濫には高潮も含まれる。
- 4) 内閣府（2018）：『平成30年版 防災白書 附属資料48 ハザードマップの整備状況資料』。（http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h30/honbun/3b_6s_48_00.html（最終閲覧日：2020/5/15）
- 5) 現在（執筆当時：2021年）は、玉来川にも洪水調整のための治水ダム（玉来ダム）が建設中である。
- 6) 大分県竹田土木事務所（2013）：『竹田土木管内浸水区域図平成24年7月12日出水（平成24年7月19、20日調査）』。大分県竹田土木事務所
- 7) 浸水範囲規定要因の割合は、各規定要因の距離を総延長距離（3927.3m）で除して求めた。

参考文献

- 岡本耕平（2015）：地域住民の様々な実態に配慮したハザードマップ。鈴木康弘編（2015）：『防災・減災につなげるハザードマップの活かし方』、岩波書店、pp.178-195。
- 国土交通省水管理・国土保全局（2016）：第2章 水害ハザードマップの作成にあたっての基本事項の検討。国土交通省水管理・国土保全局（2016）：『水害ハザードマップ作成の手引き』、12-29。
- 鈴木康弘（2015）：第1章 ハザードマップをめぐる状況。鈴木康弘編（2015）：『防災・減災につなげるハザードマップの活かし方』、岩波書店、pp.1-18。
- 竹田市（2013）：『7.12 竹田市豪雨災害検証会議』。70p。
- 竹田市誌編集委員会編（2009）：『竹田市誌』。第1巻、竹田市、589p。
- 竹田市誌編集委員会編（2009）：『竹田市誌』。第2巻、竹田市、566p。
- 竹田市誌編集委員会編（2009）：『竹田市誌』。第3巻、竹田市、303p。
- 千田昇（2009）：水辺（低地）の地質と地形。竹田市誌編集委員会編（2009）：『竹田市誌』。第1巻、14p。
- 土居晴洋（2015）：中山間地域における水害と土地利用変化：2012年九州北部豪雨における大分県竹田市の事例。大分大学教育福祉科学部研究紀要、37、pp.27-41。
- 土木学会九州北部豪雨災害調査団（2013）：『平成24年7月九州北部豪雨災害調査団報告書』。103p。
- 橋本彰博、田井明、小松利光、池畑義人（2013）：大野川水系玉来川の洪水被害。『平成24年7月九州北部豪雨災害調査団報告書』土木学会九州北部豪雨災害調査団、pp.67-76。
- 平野宗夫編（1991）：『1990年7月九州中北部豪雨による災害の調査研究 研究成果報告書』。234p。

A Factorial Estimation on Regulating Flood Area for Developing Their Self-made Hazard Map in the Event of a Flood

KOYAMA, T., UJITA, J. and DOI, H.

Abstract

Northern Kyushu Heavy Rain in 2012 caused severe floods on valley bottom plains in Taketa City, Oita Prefecture. The authors recorded the flood range focusing on the end of the flooded area at the microtopography level by their fieldwork, and they established that block walls and slight height differences formed by land-use changes and terrain modifications controlled the overflowing running water by comparing the former flood cases. However, changes in a regional structure such as population and economic condition may affect the controlling factors overflowing water in the short term. Hence, the authors recommend the self-made hazard map of each local citizen to secure disaster prevention essential and effective.

【Key words】 a hazard map, flood, flood area, controlling factors on a flood area, land use