

那珂川中流域におけるレーザーデータを用いた地域区分と洪水被害

Area Classification Using by Laser Data for Flood Damage
in the Middle Reaches of the Naka River in the Fukuoka Plain

黒木 貴一 磯 望 後藤 健介

Takahito KUROKI

Nozomi ISO

Kensuke GOTO

社会科教育講座

西南学院大学

長崎大学

黒田 圭介 宗 建 郎

Keisuke KURODA

Tatsuroh SOH

西南学院大学

西南学院大学

(平成23年9月30日受理)

要 旨

2009年7月中国・九州北部豪雨による那珂川町の洪水被害域を対象に、溢流・氾濫に関わる土地条件を2mメッシュのレーザーデータによる地形区分および流域区分の地域区分を通じて検討した。レーザーデータから作成した2方向からの陰影図の判読により水面、河床、法面、一般面、堤防の詳細な地形区分ができることを示した。上下流方向に見た地形区分毎の平均標高から、①洪水時に障害となる堰の直上流域と、橋に近接する場所で河床に多くの土砂が蓄積され、法面と河床との標高差が小さくなっており溢流しやすい、②何らかの自然的要因で法面と一般面との標高差が小さくなる場所でも溢流しやすいことが分かった。上下流方向に見た河床に関するレーザーデータの2時期の平均標高差分やその標準偏差から、溢流しやすい場の条件となる新たな土砂の堆積範囲や土砂の侵食と堆積の著しい範囲を明示できることが分かった。レーザーデータによる流域解析から、①2009年氾濫での浸水深は、集水規模0.1 km²程度を基準とする流域区分に対する比高表示により説明が可能となり、さらに②比高表示の解釈から氾濫水が流れやすい場所と湛水しやすい場所のあることが分かった。

キーワード：平成21年7月中国・九州北部豪雨、那珂川、レーザーデータ、地形、流域

I. はじめに

平成21年7月中国・九州北部豪雨（以後2009年豪雨と記す）で福岡県中部を襲った豪雨は、降り始めから3日間（7月24日から26日）の累加雨量が、那珂川町（南畑）で561 mmに達した。南畑では、24日夜間と26日午前中に2回の集中豪雨があり、その時の最大時間雨量は26日11時の75 mmだった。福岡平野では1999年と2003年に時間雨量

100 mmに達する集中豪雨があり、太宰府市や宇美町では土石流や洪水が発生し¹⁾、博多駅前の御笠川は兩年とも氾濫した²⁾。2009年豪雨はこれよりはるかに多い連続雨量とそれに匹敵する時間雨量を記録した。その際、那珂川流域では多数の斜面崩壊が発生し、那珂川は那珂川町から福岡市中心部に至る沿岸などで溢流・氾濫（以後2009年氾濫と記す）したため、多くの被害が出た³⁾。ただ

溢流・氾濫の実態は調査されたが、それらを誘導した土地条件（土地利用，土地被覆，地形条件など）に関する十分な検討がなされていない。そこで本研究では那珂川町での溢流・氾濫に関わる土地条件をレーザーデータによる地域区分を通じて検討し，その有用性を示す。

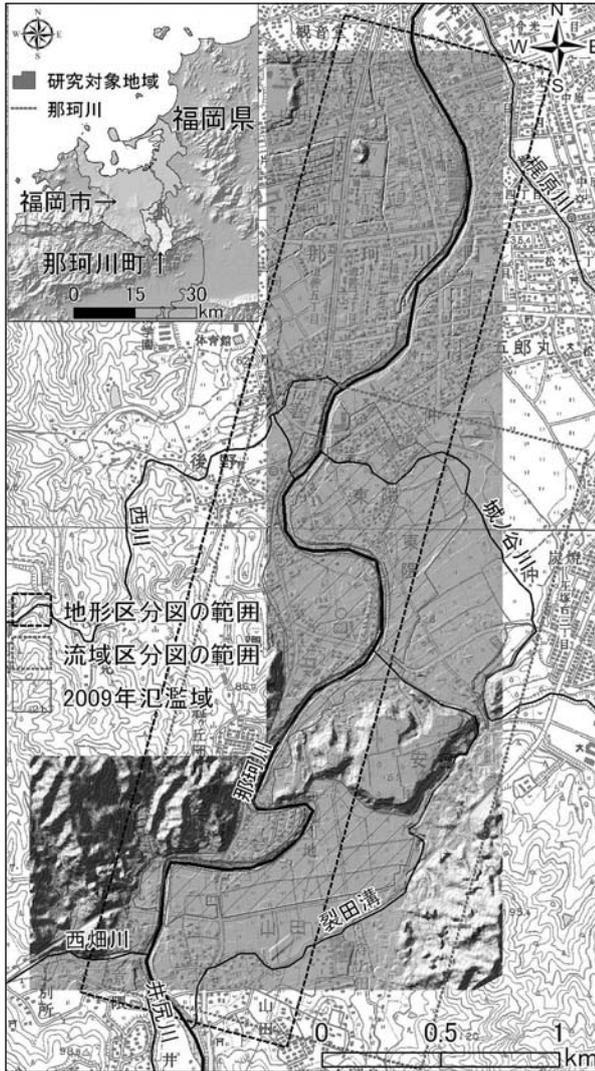


図1 研究対象地域

*背景には25000分の1地形図「福岡南部，不入道」を使用した。

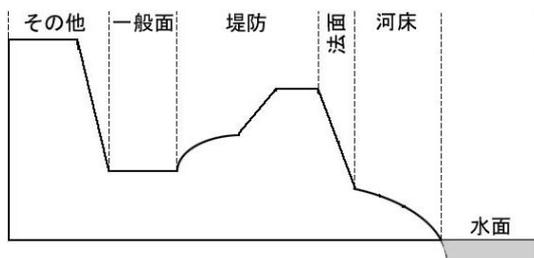


図2 地形区分モデル

II. 研究方法

1. 対象地域

福岡市の南に位置する那珂川町（約75 km²）の北部6 km²を研究対象地域とし，当該地域の那珂川及びその周辺の地形に着目した（図1）。那珂川は背振山地に発し，那珂川町と福岡市を流れ，途中で歓楽街のある中州地区を通過し博多湾に注ぐ延長約35 kmの二級河川である。那珂川町南部は標高800 m程度の背振山地がそびえ，北部は標高数10 mの平野が広がっている。平野の中央部には標高約60 mのAso-4の火砕流台地（安徳台）があって，平野は南北に分断されている。安徳台の東には日本書記に記載された古い人工水路（裂田溝（裂田水路））がある。

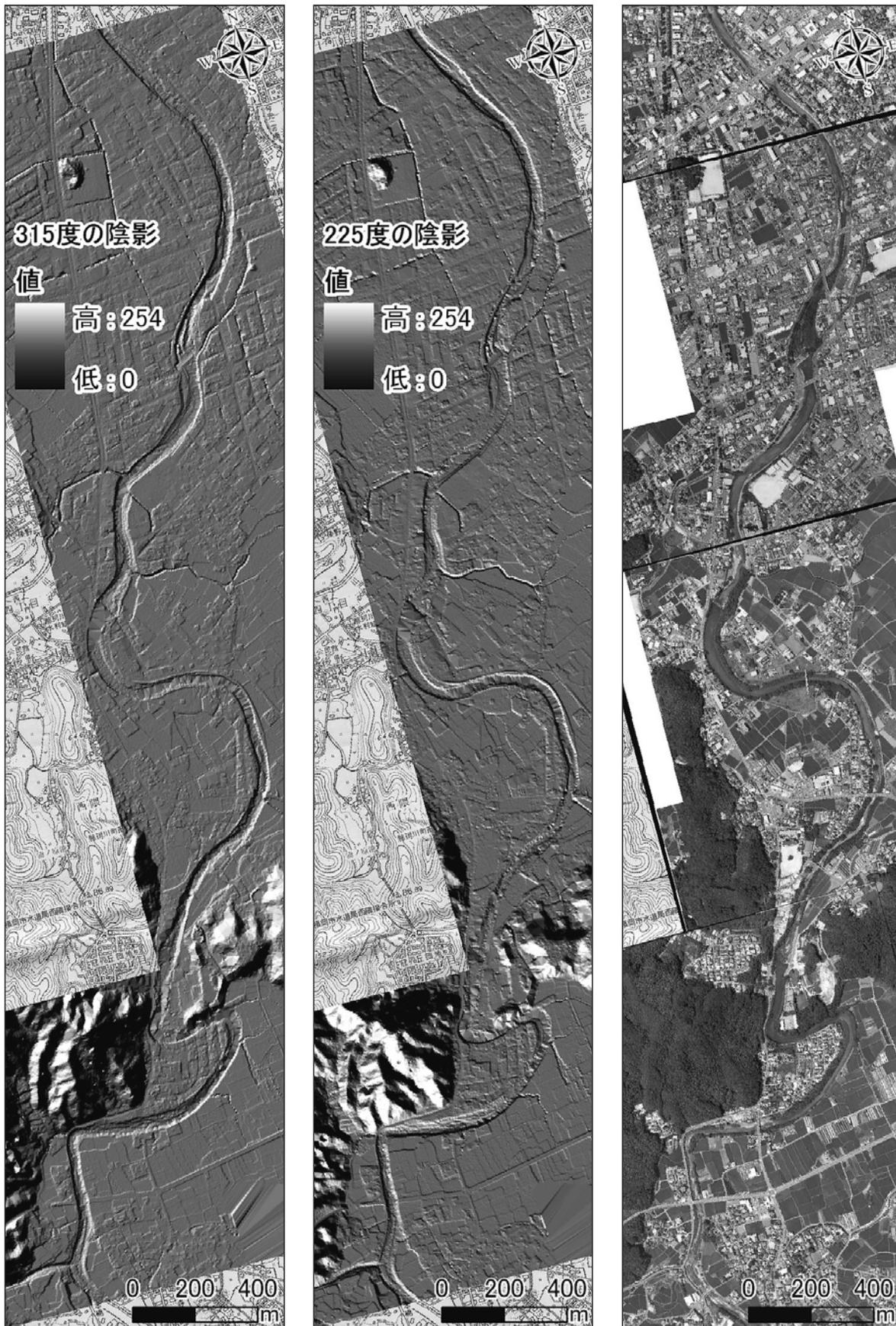
2. 地形区分

2 mメッシュのレーザーデータ（2007年）（国際航業のRAMS-e）を用いて地形区分を行う。地形は，一般面（旧河道や後背湿地），堤防（人工堤防と自然堤防），法面（河岸），河床，水面，その他（山地・丘陵，段丘）とした（図2）。一光源方位の陰影図は，場所により視覚的印象が変化するため地形判読では複数方位あると良い⁴⁾。そこで，光源高度を45度とし光源方位を315度と225度とする陰影図2種（図3(1)と(2)）を用意し，両者を比較しつつ地形を区分した。その際，植生によるDEMの精度低下域を確認するため国土地理院撮影の10000分の1カラー空中写真（2007年）（図3(3)）も併用した。

一般に地形区分ではステレオペア空中写真の実体視判読を実施する⁵⁾が，広域を対象とする場合には，衛星画像による判読⁶⁾やDEMを用いた自動分類⁷⁾が知られている。一方，狭い範囲に空中写真判読を実施することを想定すれば，画像の粗さ，立体感の消失，樹木等植生による地表被覆が問題となり，スケールが増すほど地形区分は困難となる。しかしレーザーデータは，色彩による景観印象は得られないが，画像解析で微妙な立体感を強調でき，樹木等植生による地表被覆はあまり問題とならない。既に山地・丘陵地の斜面に対しては，近年レーザーデータによるGISを用いた微地形区分手法が多く検討されたが^{8), 9)}，平野の微地形に関しては十分ではなかった。そこで本研究では，レーザーデータによる平野の微地形区分を試みる。

3. 地形毎の標高解析

研究対象地域の最上流地点（河川距離0 m）か



(1) 315度の陰影

(2) 225度の陰影

(3) 空中写真

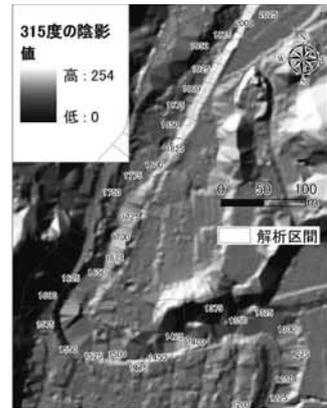
図3 地形判読に用いた陰影図と空中写真 *背景には那珂川町全図No.1を使用した。



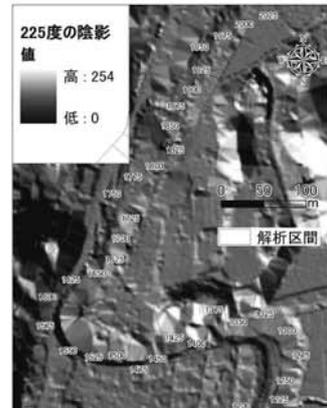
図4 解析区間
*背景は図3と同じ。



図5 地形区分
*背景は図3と同じ。



(1) 光源方位 315 度の陰影



(2) 光源方位 225 度の陰影



(3) カラー空中写真



(4) 地形区分

図6 地形判読の過程
*(4)の背景は図3と同じ。

ら下流方向に25 m 間隔で解析区間を設定し(図4), 各区間に対する地形区分毎の平均標高(2007年)と標高差(2002年と2007年)を解析した。各々の結果と2009年豪雨による溢流地点とを比較し, 地形区分より見た溢流に関わる那珂川の土地条件を整理した。

4. 流域毎の標高解析

同レーザーデータから ArcView 9.3の Spatial Analyst の水文解析ツールにより研究対象地域の流域単位(ポリゴン)を集水規模別(25000及び75000メッシュ)に計算した¹⁰⁾。それぞれ0.1 km², 0.3 km²に相当する。比較のため基盤地図情報の10 m メッシュ標高データから集水規模0.3 km²の流域単位も計算した。流域区分図各々に対し流域単位別に最低標高に対する比高分布図を作成した。結果を2009年豪雨による氾濫域はもとより, その浸水深や堆積土砂の層厚分布と比較し, 流域区分より見た氾濫に関わる那珂川流域の土地条件を整理した。

III. 地形分布とその特性

図3(1)では光源方向と同じ走向(NW-SE方向)を持つ地形の判読は難しく, NE-SW方向を持つ地形の判読が容易である。図3(2)では光源方向と同じ走向(NE-SW方向)を持つ地形の判読は難しく, NW-SE方向を持つ地形の判読が容易である。両者ともに那珂川の河道を示す凹部の陰影が南北に連続していること, 堤内では直線的な凹凸で示される道路や道路に囲まれた凸部の住宅地の陰影が明瞭である。両者の判読から平野の微地形区分が可能となり, 地形区分図(図5)が作成できた。ここでは起点から1500 m 付近の陰影図や地形区分などに解析区間を重ね合わせた図6を用いて判読の基準を示しつつ地形の特徴をまとめる。

標高は水面, 河床, 法面, 一般面, 堤防の順序に高い。水面および樹木の多い場所で, レーザーデータ取得密度が小さくなり地形は粗い三角形で表現されるため, 水面は空中写真と対比するとより確実に区分できる。次に法面より下で水面より上で, 水面側に狭長な崖を持つ広い平坦面を河床として区分する。河床は, 滑走斜面側に攻撃斜面側より多く幅広く見られるが断続的である。堤防より下で河床より上にあり, 堤外側に見られる狭長な地形を法面として区分する。法面は幅約10 mで, 急傾斜の崖が多く, 著しい急斜面地と合流点付近を除けばほぼ連続的である。一般面と法面と

の間にある微高地を堤防として区分する。狭長な人工堤防と幅広い自然堤防の明瞭な区分基準を設定しにくいため両者ともに堤防とした。堤防は2 m 未満の幅の場所や全く無い場所も多くありレーザーデータでは容易に判読できず, 結果は断続的な分布となった。

このように2 m メッシュのレーザーデータから作成した2方向からの陰影図により水面, 河床, 法面, 一般面, 堤防を区分でき, その分布の特徴を示すことができた。なお法面は最も全体的に分布する地形である。

IV. 地形毎の標高分布の特徴

図7は解析区間に対する地形毎の標高に関する解析結果を示す。図7(1)は解析区間に対する地形毎の平均標高をグラフ化した。図7(2)は法面の標高を基準0 m とし, 解析区間における地形毎の相対標高をグラフ化した。図7(3)は解析区間に対する橋・堰と2009年氾濫での溢流地点を示す。図7(4)は解析区間に対する2002年から2007年の河床の標高差と標準偏差をグラフ化した。本章では図7(1)と(2)のグラフの特徴をまとめ, 結果を図7(3)や(4)と対照して2009年氾濫の要因を考察する。

平均標高(1)は, 一般面が18.5 m ~34.6 m, 堤防が18.0 m ~35.5 m, 法面が15.9 m ~33.8 m, 河床が14.1 m ~31.3 m, 水面が13.4 m ~31.2 m, その他が29.7 m ~44.0 m にあり, 低い方から概ね水面, 河床, 法面, 一般面, 堤防, その他であり, 図2のモデルとの相違は無い。水面および河床の標高は, 1800 m, 3400 m, 4400 m 付近に4 m 程度の急低下が認められる。一方, 一般面, 堤防, 法面の標高は, 約0.18度の一定勾配で低下する。詳しく見ると1200-1800 m, 3000-3400 m, 3800-4400 m の区間では, 一般面と堤防の標高低下が緩やかになっている為, 盛土や堤防の嵩上げなどの人為的影響が考えられる。ただ全区間の標高差に対し地形毎の標高差は小さいため, (1)では地形毎の標高の特徴を十分に読み取れない。そこで全体に分布する法面を基準とする解析を進める。

相対標高(2)は, 一般面が-0.4 m ~3.5 m, 堤防が-0.3 m ~3.2 m, 河床が-3.8 m ~1.0 m, 水面が-4.9 m ~-0.7 m, その他が1.3 m ~14.6 m にあり, 低い方から概ね水面, 河床, 一般面, 堤防, その他である。法面と河床との標高差は-3 m から0 m の範囲に多くあり, 3500 m 付近より上流では約-1.5 m で, それより下流では約-2.5 m であり上流より約1 m 小さい。前者では, 1500

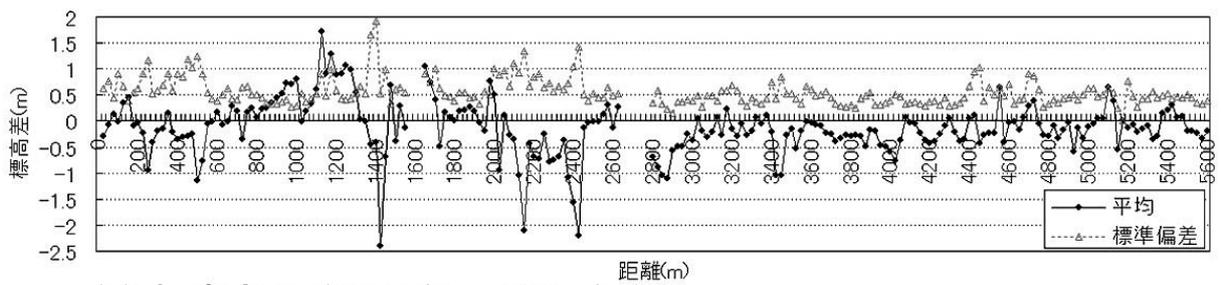
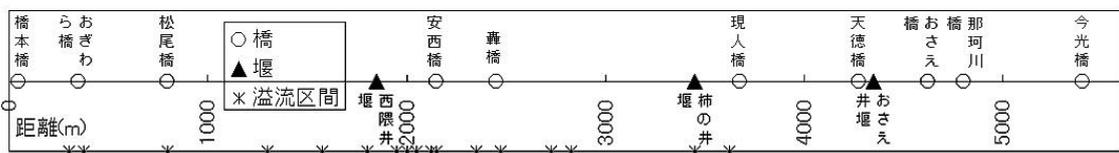
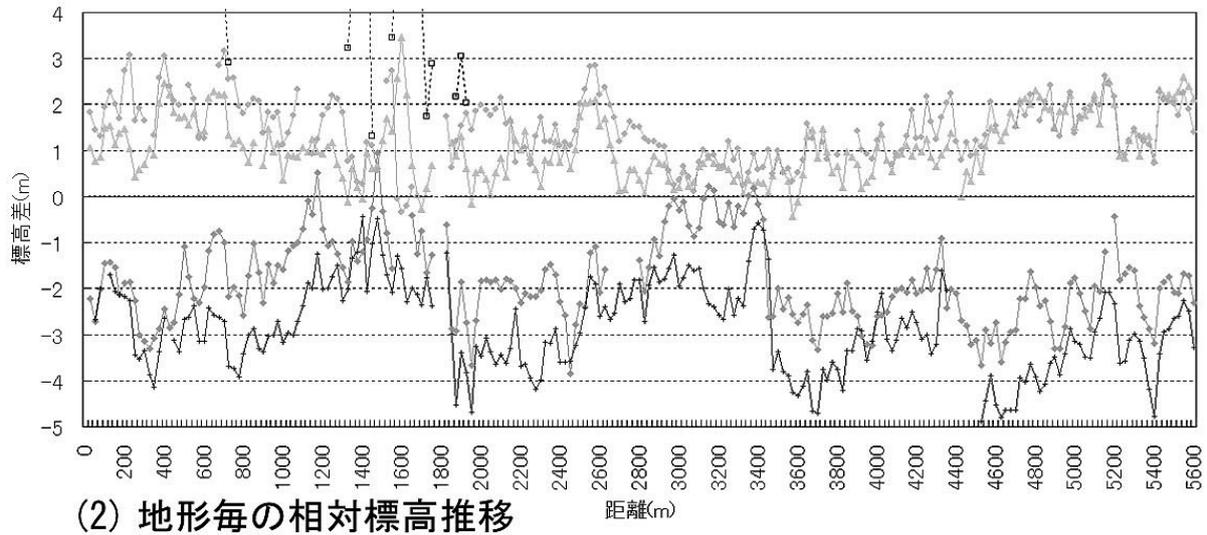
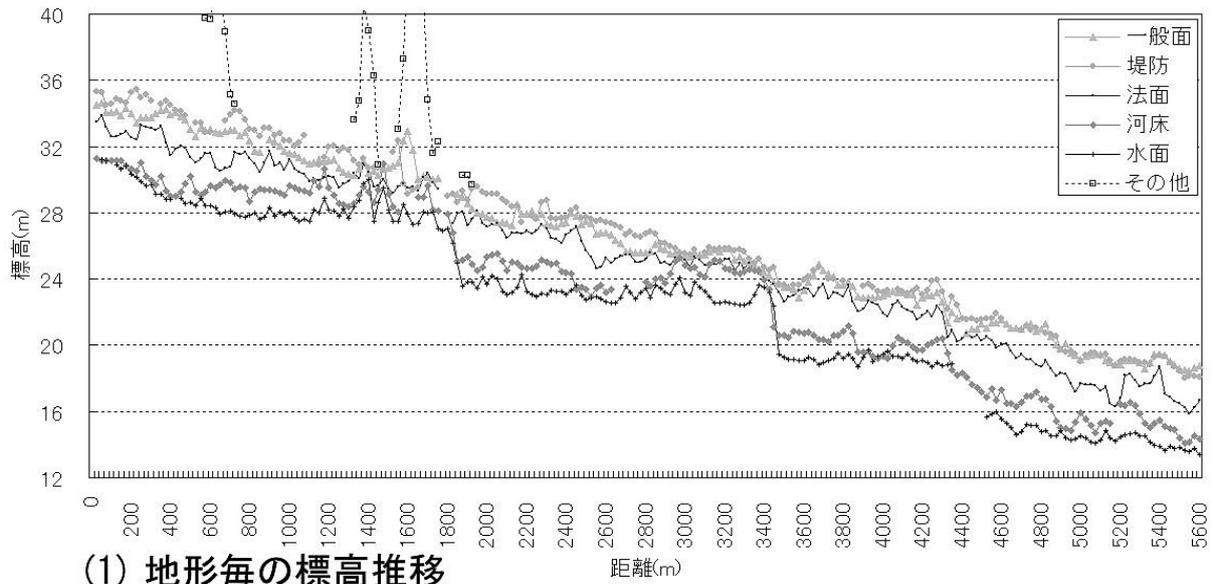


図7 解析区間の標高分析結果

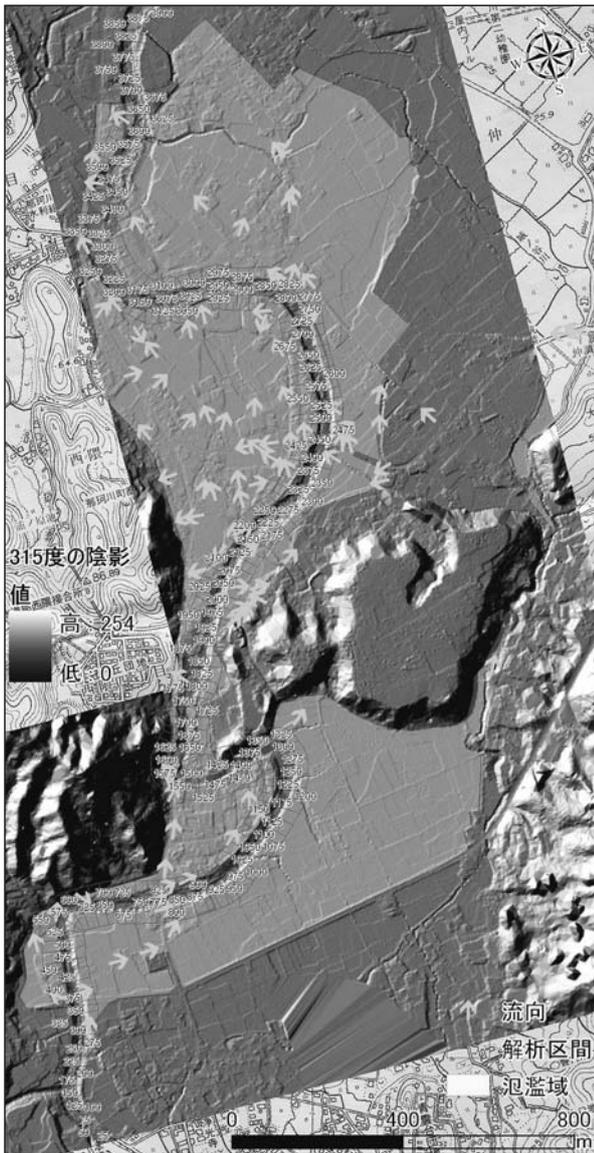


図8 2009年氾濫の流向

*背景は図3と同じ。

mと3400 m付近に向かって法面との標高差が徐々に縮小し、最接近後に反転し急拡大する。標高差の最接近区間では、河床の平均標高が法面を上回る結果ともなった。このような標高差の変化は、後者では4300 mと5200 m付近に見られる。

(2)を(3)と対照する。5200 m付近を除けば、各該当区間付近には堰が設置されている。(2)のグラフ形状にある頂部の平坦さから判断すると、大きな河床上昇区間は西隈井堰では1150 mより下流に、柿の井堰では2900 mより下流にあり、両堰とも上流側約500 m区間に河床を高める影響を強く及ぼしている。また200 m, 700 m, 2100 m, 2300 m, 3500 m, 4600 m, 4800 m付近では、堰ほど顕著ではないが法面と河床との標高差が数100

m区間で約1.5 m増減する変化が認められる。これら区間付近には橋がある。一方、法面と堤防との標高差は平均すると約1.5 mあり、上下流での相違は法面と河床との標高差に比べ小さい。また、標高差は600 m, 2600 m, 5200 m付近に向かって増加し約3 mとなり、以降は縮小し1400 mと3000 m付近では0 m程度まで減少する。法面と一般面との標高差にも同様の増減傾向が認められる。このため法面に対する堤防や一般面の標高差の増減は河床のそれとあまり調和しない。つまり自然堤防（堤防一部）形成と人工的な堰や橋との関連性は薄く、それらの形成要因は別途自然的要因を検討する必要があることを示す。既報告³⁾の氾濫水の流向と解析区間を重ね（図8）ると、2009年の溢流点（矢印の起点）は300 m, 375 m, 800 m, 1300 m, 1575 m, 1800 m, 1950 m, 2000 m, 2050 m, 2125 m, 2150 m, 2350 m, 2475 m, 2725 m, 2825 m, 3450 m, 3625 m付近にある。これらを(3)で対照すると、多くの区間が堰や橋と近接し、溢流はそこで土砂の堆積に結びつく洪水の停滞が生じたことが背景にあったと考えられる。しかし、1300 m, 1575 m, 2825 mには目立った障害がない。これら区間は、堤防と河床との標高差が極端に近接する区間に相当しており、何らかの自然条件により洪水が堤防を溢流しやすかったことが考えられる。さらに1575 mおよび2825 m区間は、那珂川の転向する場所であつ堰による大きな河床上昇が近傍まで及ぶ場だったことも要因として考えられるが、後者についてはこの後で検討する。

まとめると、洪水時に障害となる堰の上流ほど、橋に近接する場所ほど河床に多くの土砂が蓄積されてきたため、法面と河床との標高差が小さくなり、そのような場所では溢流が生じやすかったことが分かった。また何らかの自然的要因で法面と一般面との標高差が小さくなる場所でも、溢流が生じやすい。

2002年から2007年の河床の標高差とその標準偏差(4)の解釈では、レーザーデータの高さ精度は約±15 cmなので、十分信頼できる±0.3 mを超える標高差に注目する。(4)の標高差は、解析区間の600 mから1300 mまで徐々に拡大するが、これを(2)と対照すると、西隈井堰による土砂堆積範囲のより上流側に土砂が付加したことになる。この間の大量の土砂堆積の要因には2003年7月九州豪雨に伴う洪水が考えられる。写真1（2010年2月3日撮影）は、(4)で約1 mの標高上昇を示している1250 m付近の2009年豪雨後の状況である。堤

防の法面を侵食すると同時に、河岸に厚さ1.5 m以上の新しい土砂が堆積し、その土砂は水面下にも続く。したがって堰の上流側への土砂の付加が継続しており、洪水時の溢流のリスクは高まってきたことを示す。

また西隈井堰と柿の井堰間では、西隈井堰の直下流は約0.5 m上昇したが、同堰と柿の井堰間の上流側全体は約0.5 m 標高が低下し、下流側では変化が見られない。ところが100 m, 400 m, 800 m, 1850 m, 2175 m, 2425 m 付近では標準偏差が0.5 m以上あり堆積と侵食の標高変化が著しかったことを示す。なお、局所的に標高が2 m以上低下した1425 m, 2175 m, 2425 m 付近は、河畔林の密度が高く2002年のレーザーデータが十分取得されていない可能性もあり注意が必要である。一方、柿の井堰より下流ではほとんど標高差はない。しかし、標準偏差は3400~3700 m, 4400~4800 m 付近で高まっており、この区間では堰や橋による土砂の堆積と侵食が激しくなっている可能性がある。写真2（2009年8月2日撮影）は、(4)で約0.5 mの標高上昇を示している西隈井堰直下流1850 m 付近の2009年豪雨後の状況を示す。河床に厚さ約1 mの新しい土砂が堆積していたため、標準偏差の高い場所も洪水時の溢流のリスクが高まったものと思われる。

このように、河床に関するレーザーデータの差



写真1 1250m付近の2009年豪雨後の状況



写真2 1850m付近の2009年豪雨後の状況

分から、溢流しやすい場の条件となる新たな土砂の堆積範囲や土砂の侵食と堆積の著しい範囲を明示できることが分かった。

V. 流域とその特性

あらかじめ既報告³⁾の浸水深を整理しておく(図9)。住宅地・水田①および水田②付近で最も深く1 m以上である。特に旧河道で攻撃斜面側に位置する②付近では水深2 mを示す地点があった。そのほか周囲より地盤の低い住宅地③、旧河道に位置する水田④および住宅地・水田⑤では浸水深が深かった。一方、①や③の西側の住宅地でも浸水は見られたが全体的に40 cm以下と浅く、一部全く浸水痕跡の確認できない場所もあった。また

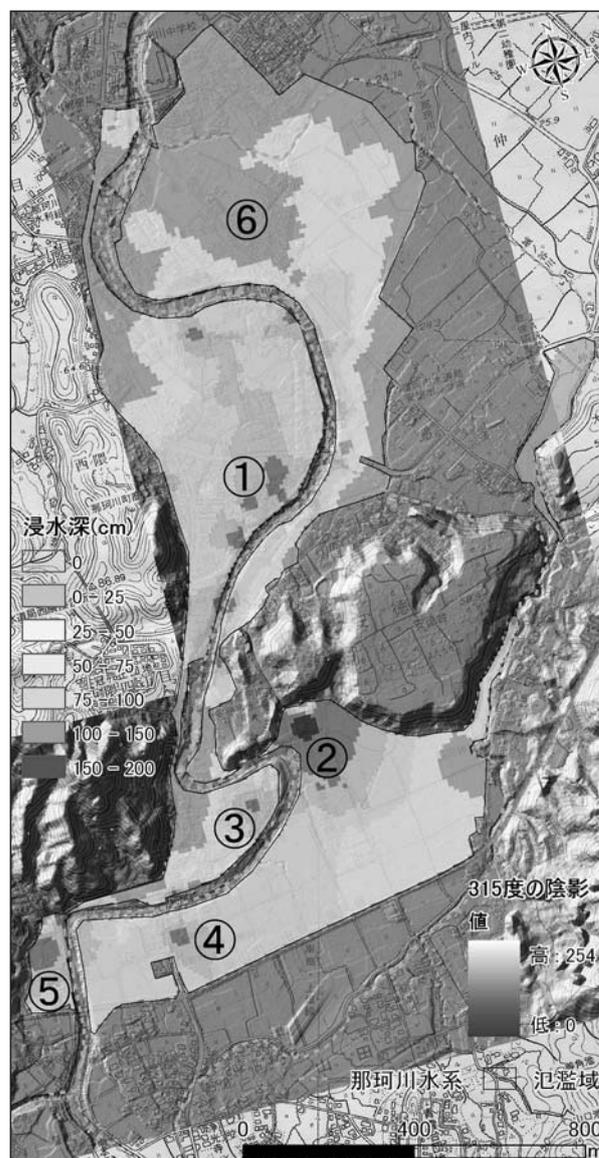


図9 2009年氾濫の浸水深

* 背景は図3と同じ。

昭和13年の地形図でも住宅地となっていた自然堤防に位置する⑥付近では周囲に比べ特に浸水深は浅かった。つまり標高ではなく比高が低く、地盤が周囲よりも低い場所で浸水深が深かった。この状況を図示するための標高データ精度と適切な流域単位規模を検討する必要がある。

図10は10 m メッシュ標高データから計算した集水規模0.3 km²の流域単位における最低標高に対する5 m までの比高分布であり、そこに氾濫域を重ねた。河床付近を除く堤内の比高分布と氾濫域との関係を見る。氾濫域に重なる各流域単位内の比高は5 m 近くあり、実際の浸水深幅（2 m 未満）とは大きく異なる。また図10には流域単位境界に氾濫域により不自然な不連続線が生じ、比

高分布は実際の浸水深分布と調和が少ない。つまり10 m メッシュ標高データでは実際の個々の氾濫域を識別できず、浸水深分布の背景を説明しにくい。

図11は2 m メッシュレーザーデータから計算した集水規模0.3 km²の流域単位における最低標高に対する5 m までの比高分布であり、そこに氾濫域を重ねた。図11の②では実際の氾濫域及び浸水深と調和的な比高幅（約2 m）と比高分布を得た。しかしそれ以外の①、③、④、⑤は、氾濫域が比高5 m 以内の範囲に含まれない。これはこの集水規模の流域単位で見た場合、最低標高と最高標高の差が大きすぎたことが原因と思われる。すなわち氾濫域は氾濫水的那珂川本流への排出が滞るこ

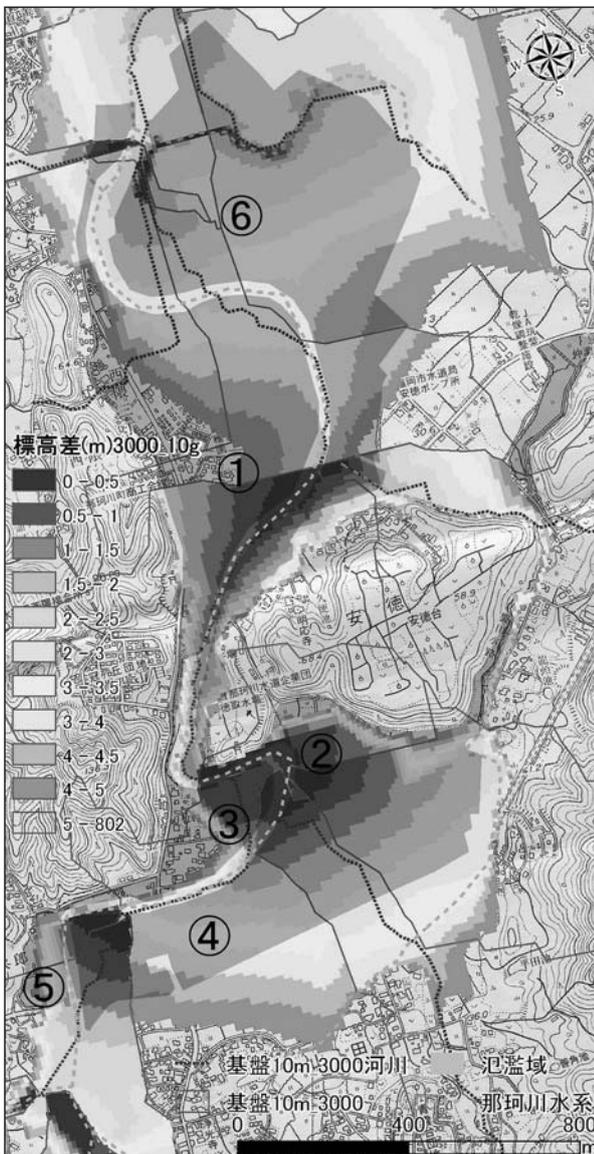


図10 集水規模0.3 km²の比高分布（10 m メッシュ）
* 背景は図3と同じ。

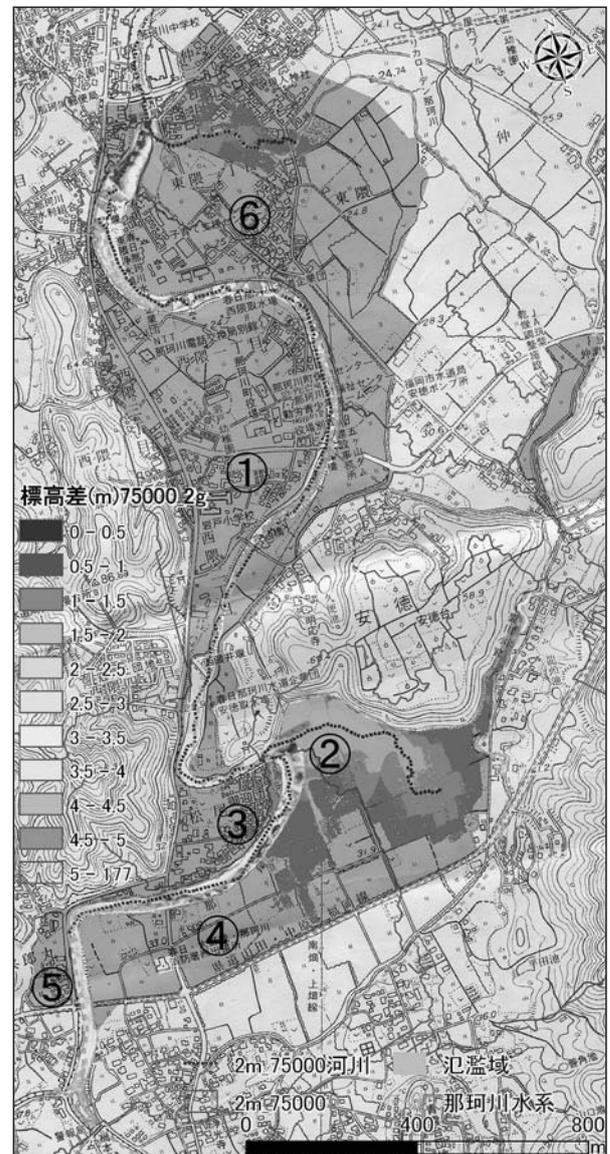


図11 集水規模0.3 km²の比高分布（2 m メッシュ）
* 背景は図3と同じ。

とで形成された性格を持ち、実際の氾濫域を包括する流域単位は 0.3 km^2 よりも狭かったと考えられる。

図12は2 mメッシュレーザーデータから計算した集水規模 0.1 km^2 の流域単位における最低標高に対する5 mまでの比高分布であり、そこに氾濫域を重ねた。④を除き②, ③, ⑤, ⑥において、実際の氾濫域及び浸水深と調和的な比高幅(約2 m)と比高分布を得た。例えば、⑥では東が西よりも浸水深が深かったこと、③ではより東側で浸水深が深かったことを適切に示している。また①では比高幅が2 m以上である。図8と比較すると、①は溢流した氾濫水が南から北へ通過した場所にあること、図9と比較すると、①は南北に伸びる

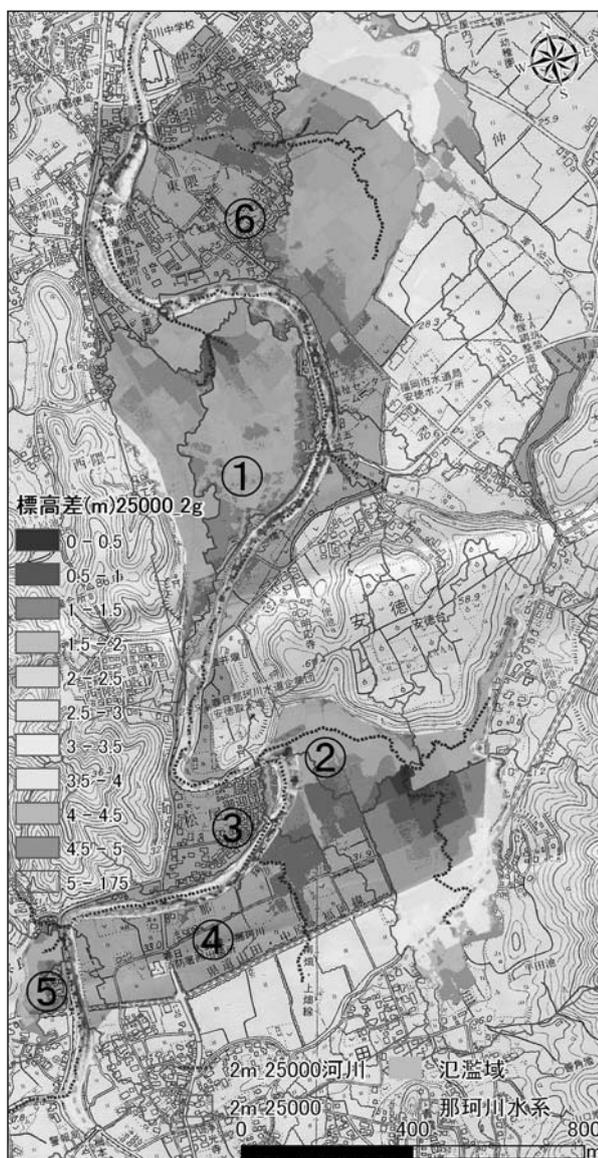


図12 集水規模 0.1 km^2 の比高分布(2 mメッシュ)
*背景は図3と同じ。

微高地と那珂川の自然堤防に挟まれた領域での浸水深が深かった場所に当たる。このことから、氾濫域は氾濫水的那珂川本流への排出が滞ることで形成される性格は薄かったものと考えられる。一方、調和的だった②, ③, ⑤は、氾濫水的那珂川への排出が何らかの理由で滞る内水氾濫的状况が生じていたと考えられる。

このように、那珂川の2009年氾濫は、2 mメッシュレーザーデータによる集水規模 0.1 km^2 程度を基準とする流域区分と比高表示によりその浸水深の説明が可能と思われる。またこの比高表示により氾濫水が流れやすい場所と湛水しやすい場所の識別のできるようになった。

VI. まとめ

平成21年7月中国・九州北部豪雨に伴う那珂川町での氾濫被害の調査結果を元に、溢流・氾濫に関わる土地条件を2 mメッシュのレーザーデータによる地域区分を通じて検討した。その結果、以下の内容を明らかにした。

- 1) レーザーデータから作成した2方向からの陰影図により水面、河床、法面、一般面、堤防を地形区分でき、その分布の特徴を示せる。
- 2) レーザーデータの地形区分毎の標高解析から、①洪水時に障害となる堰の上流ほど、橋に近接する場所ほど河床に多くの土砂が蓄積されてきたため、法面と河床との標高差が小さくなり、そのような場所で溢流が生じやすく、また②何らかの自然的要因で法面と一般面との標高差が小さくなる場所でも溢流が生じやすい。
- 3) 河床に関するレーザーデータの2時期の標高差分から、溢流しやすい場の条件となる新たな土砂の堆積範囲と土砂の侵食と堆積の著しい範囲を明確化できる。
- 4) レーザーデータによる流域解析から、①那珂川の2009年氾濫での浸水深は、集水規模 0.1 km^2 程度を基準とする流域区分と比高表示により説明が可能となり、さらに②比高表示により氾濫水が流れやすい場所と湛水しやすい場所を識別できる。

今日、地理空間情報活用推進基本法に基づき全国のDEM(250 m, 10 m, 5 mの各メッシュ)が整備されつつある¹¹⁾。そして本研究で使用したレーザーデータは民間企業で頒布されているDEMの一種である。これまで50 m DEMを用いた広域での地形・地質条件が判読可能な傾斜量図作成¹²⁾、5 m DEMを用いた中縮尺での地形区分や活断層トレース¹³⁾、5 mより細かいDEMを用いた斜面崩壊、地震による地表変動、植生区分への活用⁹⁾

など、DEMは多様な目的に対し様々なスケールでの土地条件解析に使用できることが示された。しかし実際の自然災害の実態とその背景に関し、DEMによりどの程度説明可能かの検証がまだ十分ではなかった。そこで本研究では、2 m DEMによる地域区分を通じて那珂川の2009年氾濫の実態とその背景の説明を試みたものである。

謝辞

本研究は、平成22年度河川整備基金助成金による研究課題「異常豪雨による都市域の大規模氾濫災害に関する調査研究（代表：橋本晴行）」と平成23年度科学研究費補助金（基盤研究（C））；課題番号23501243「都市域における時空間地理情報を用いた氾濫原の特性評価の研究」（代表：黒木貴一）の一部を利用した。また平成21年度福岡教育大学の自然地理学演習受講生の現地調査成果の一部を使用した。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 後藤健介・磯望・黒木貴一・陶野郁雄・植村奈津子・谷山久実・御厨えり子（2004）：四王寺山脈（太宰府市域）における土石流災害。自然災害研究協議会西部地区部会報，28，101-104.
- 2) 黒木貴一・磯望・後藤健介・張麻衣子（2004）：2003年九州豪雨による博多駅周辺の洪水災害と土地条件。自然災害研究協議会西部地区部会報，28，117-120.
- 3) 黒木貴一・磯望・後藤健介・黒田圭介（2010）：平成21年7月中国・九州北部豪雨による那珂川町の洪水被害と地盤条件。2010年春季学術大会日本地理学会発表要旨集，77，p261.
- 4) 小池克明・上堀内利道・三箇智二（2004）：多方位DEM陰影図の分解能と抽出リニアメントの関係。情報地質，15(2)，90-91.
- 5) 武田裕幸・今村遼平（1976）：建設技術者のための空中写真判読。共立出版，219p.
- 6) 大倉博・春山成子・大矢雅彦・スーウィット ウイブーンセート・ランブン シムキン・ラサミー スワウィラカムトン（1989）：衛星リモートセンシングによるタイ中央平原の水害地形分類。国立防災科学技術センター研究速報，83，1-25.
- 7) 岩橋純子（1996）：標高データ（DEM）を用いた地形分類手法。測量，46(4)，25-30.
- 8) 八木浩司・檜垣大助・吉松弘行・相楽渉・高木洋一・内山庄一郎（2003）：空中レーザー高精度地形図の地すべり・微地形判読への応用。日本地すべり学会誌，39，421-427.
- 9) 佐藤浩・岩橋純子・小荒井衛・神谷泉・小室勝也（2010）：国土地理院における高解像度DEMの整備とそれを活用した地理情報解析研究。地形，31(4)，359-382.
- 10) 川崎昭如・吉田聡（2006）：図解！Arc GIS Part 2 GIS実践に向けてのステップアップ。古今書院，180p.
- 11) 鎌田高造（2009）：基盤地図情報のグランドデザインについて。地図，47(3)，9-14.
- 12) 神谷泉・黒木貴一・田中耕平（2000）：傾斜量図を用いた地形・地質の判読。情報地質，11(1)，11-24.
- 13) 岩橋純子・大塚力・星野実・佐藤忠（2011）：航空レーザー測量による5 m DEMを用いた変動地形の観察。日本地球惑星科学連合2011年大会，2011年大会プログラム，HGM021-P02.

