

## 国土の数値情報に基づく福岡平野における豪雨時の土地条件評価

Ground Condition for Heavy Rainfall Evaluated by the Digital National Land Information at Fukuoka Plain

黒木 貴一                      宗 建 郎                      磯 望

Takahito KUROKI  
社会科教育講座

Tatsuroh SOH  
西南学院大学

Nozomi ISO  
西南学院大学

後 藤 健 介                      黒 田 圭 介

Kensuke GOTO  
長崎大学

Keisuke KURODA  
西南学院大学

(平成24年9月30日受理)

### 要 旨

無償でダウンロード可能な国土の数値情報に関し、福岡平野を対象に豪雨時の洪水・氾濫を事例に様々な土地条件評価を試み、自然災害に対し脆弱な地域を合理的に評価できることが分かった。

基盤地図情報の5mDEMの活用を試みた結果、陰影図により詳細な地形区分が可能で、水文解析により二級河川に対する氾濫域の推定が概略可能だった。地形区分に対する平均標高の分析では、河床の比高に関する地形縦断曲線により御笠川では堰と対応する10区間を超す変化単位と橋に対応する約5区間周期の変化単位を識別できた。この曲線で比高が縮小する区間で2003年氾濫の越流が生じたことから、5mDEMでは河川の土砂堆積程度の把握と越流に脆弱な地域を予測できることが分かった。これは流域面積と河道体積とのギャップからも予測できた。国土数値情報の土地利用細分メッシュの活用を試みた結果、流出係数による土地利用の量的評価は、流出係数の空間分布とその変化の視覚化を通じて洪水・氾濫の注意喚起に活用でき、人口統計データによる土地利用の量的評価は、氾濫による被災人口の簡便な予測に利用できることが示された。さらに土地利用情報とDEMを組み合わせることによりハイドログラフを作成することが可能であり、過去及び将来の土地利用およびその変化に対する河川流量や災害危険性を比較的容易にシミュレートできることが分かった。

キーワード：国土の数値情報, 福岡平野, 自然災害, 標高, 土地利用

### I. はじめに

地理空間情報活用推進基本法に基づき多くの基盤地図情報が整備されてきた<sup>1)</sup>。各地理情報には、行政区画や街区の境界線、道路縁の線とともに数値標高モデル(250 m, 10 m メッシュなど)があり、

国土地理院ホームページより無償でダウンロードでき、多様な目的に対し様々なスケールでの土地条件解析が期待されている<sup>2)</sup>。一方、昭和49年の国土庁発足以降開始された国土情報整備事業により地価公示、公共施設、土地利用などの国土に

関する基礎的な地理情報の整備も進み、それらは国土交通省国土政策局国土情報課ホームページより無償でダウンロードできる。ダウンロードした地理情報は、無償提供されるデータ変換ソフトで shape ファイル形式への変換作業を通じて GIS (ArcView) で使用可能となる。

環境調査あるいは自然災害時には、各研究の中で独自取得する地理情報を利用することが多い<sup>3), 4)</sup>。これは無償提供される地理情報が、汎用性を意識し情報の拠り所を 25000 分の 1 地形図あるいはそれより小縮尺の地図に求めることが多く、当該研究では分析精度が十分ではないことが背景にある。無償提供される地理情報は、研究対象地域の紹介<sup>5)</sup>や地方史編纂事業で地域の姿を表現する<sup>6)</sup>際などに、小縮尺の地図要素として利用されることは多いが、災害や環境など比較的狭い範囲の現実課題に対する適用事例はあまり見られない。また地理情報の独自取得には相応の費用を要す。ところで 2012 年度より国土交通省が 1 級河川沿いで取得した地形図以上の精度を持つレーザー計測による数値標高データ (5 m メッシュ) も無償でダウンロード可能となった。そして当該データの利用により洪水、高潮、津波等による浸水被害の予測や土砂災害の危険性の調査等の高度化が期待されている。

そこで、国土数値情報の土地利用細分メッシュデータ (約 100 m)、基盤地図情報の数値標高データ (5 m メッシュ) を用いて、福岡平野における実際の自然災害を事例に、経済的な支援が少ない場合を考え、無償提供される地理情報がどの程度、現実の社会問題に適用できるかの検証を進め課題を検討した。

## II. 研究方法

### 1. 事例とする自然災害

福岡平野では近年自然災害が頻発している。例えば 1999 年福岡豪雨や 2003 年九州豪雨により御笠川が氾濫し博多駅は浸水し<sup>7)</sup>、2009 年中国・九州北部豪雨では那珂川が氾濫しその流域で浸水被害が出た<sup>8)</sup>。こうした浸水被害は近年になって始まったものではなく、歴史的に見れば北部九州一帯の災害史の中では必ずといって良いほど触れられる 1953 年 (昭和 28 年) 6 月の災害においても、福岡平野一帯でのその被害が記録されている<sup>9)</sup>。なお福岡平野を流れる二級河川は西より瑞梅寺川、室見川、樋井川、那珂川、御笠川、多々良川である (図 1)。

本稿では現実の被害に無償でダウンロードでき

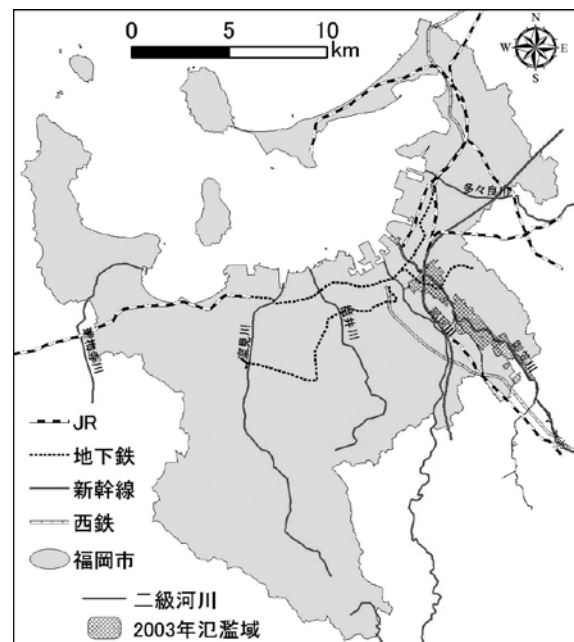


図 1 研究対象地域と二級河川

る地理情報がどのように活用可能かということの検証材料として 2003 年九州豪雨の氾濫域を扱うとともに、このような無償の地理情報の活用法の発展的可能性を検討するために歴史的な水害である 1953 年の災害時における室見川と樋井川の事例を中心に扱う。

### 2. 数値標高モデルの利用

基盤地図情報の数値標高モデル 5 m 及び 10 m メッシュ (標高) から、ArcView9 の Spatial Analyst の水文学解析ツールにより流域単位 (ポリゴン) を前者は 12000 メッシュ (0.3 km<sup>2</sup> 相当) の集水規模、後者は 3000 メッシュ (0.3 km<sup>2</sup> 相当) の集水規模に対し計算し、2003 年の浸水範囲と比較した。以後、数値標高モデルについてそれぞれ 5mDEM 及び 10mDEM と記述する。

5mDEM から陰影図を作成し、陰影図による地形区分を行い、地形区分別の標高を求め、2003 年の越流地点と比較した。本稿では黒木ほか (2012)<sup>10)</sup> の内容に沿い、河口から上流の約 12 km 区間の、御笠川及び堤内 50 m 幅で上下流方向に 100 m 間隔の 118 解析区間に対する標高分析の結果を整理する。

### 3. 土地利用情報の利用

国土数値情報の土地利用細分メッシュ (昭和 51 年と平成 18 年) を 100 m グリッド化して使用した。土地利用区分は、田、畑 (畑、果樹園、そ

表 1 国土数値情報の土地利用区分の読み替え

s51	土地利用等区分	流出係数	h18	土地利用等区分	流出係数
1田	水田	0.7	1田	水田	0.7
2畑	畑原野	0.6	2その他の農用地	畑原野	0.6
3果樹園	起伏のある土地及び樹林0.50-0.75	0.625			
4その他の樹木畑	山地	0.7	5森林	山地	0.7
5森林	山地	0.2	6荒地	開地	0.2
6荒地	開地	0.2	7建物用地	密集市街地と一般市街地の中間値	0.85
7建物用地A	密集市街地	0.9	8建物用地B	一般市街地	0.8
8建物用地B	一般市街地	0.8	9幹線交通用地	道路	0.85
9幹線交通用地	道路	0.85			
Aその他の用地	住宅公園団地などの中層住宅団地や1戸建て住宅の多い地域	0.5	Aその他の用地	住宅公園団地などの中層住宅団地や1戸建て住宅の多い地域	0.5
B湖沼	水面	1	B湖沼	水面	1
C河川地A	畑原野	0.6	C河川地及び湖沼	水面	0.6
D河川地B	開地	0.2	E海浜	開地	0.2
E海浜	開地	0.2	F海水域	水面	1
F海水域	水面	1	Gゴルフ場	芝、樹木の多い公園	0.21

の他の樹木畑), 森林, 荒地, 建物 (建物用地 A, 建物用地 B), 幹線交通用地, その他の用地, 水域 (湖沼, 河川地 A, 河川地 B, 海水域), ゴルフ場とし, これらを土地被覆状況に読み替える。次に土地被覆状況に対する雨水の流出程度に関し, 河川砂防技術基準<sup>11), 12)</sup>に記載された土地利用等区分に定められた流出係数を土地利用細分メッシュの土地利用区分 (平成 18 年基準) に読み替えて対応付け (表 1), GIS のオーバーレイ解析から分布図とし, 2003 年の浸水範囲と比較した。

地形図から別途独自に作成した福岡市の 10 m メッシュ土地利用図に対し土地利用情報に読み替えられる統計データの利用を検討した。土地利用空間に統計データを読み替える手法は, 黒木 (1998)<sup>13)</sup>を参照した。

統計局ホームページから, 平成 17 年国勢調査の市区町村別人口及び世帯数と昼間人口データ, 市区町村別産業大分類別 15 歳以上就業者数を用いた。同ホームページから, 平成 22 年学校基本調査の小学校児童に関する第 3 表, 中学校生徒に関する第 4 表, 高等学校生徒に関する第 5 表のデータを用いた。福岡県庁ホームページから平成 19 年教育便覧の福岡市の大学学生数データを用いた。さらに各統計データから土地利用 1 メッシュに相当する 100 m<sup>2</sup> 当り人口密度を求めた。この人口密度を用いて 2003 年の浸水範囲での被害想定を実施した。

#### 4. 土地利用情報と数値標高モデルの組み合わせ利用

土地利用情報を流出係数と対応させることによって災害研究へとつなぐ研究の発展的な検討を行う。ここでは無償ダウンロードできるデータが整備されていない時期の災害について土地利用情報を作成し, 流出係数を対応させることで過去の災害における河川流量を算出する。室見川と樋井

川を分析対象とし, この二つの河川で 1953 年の災害時にどれほど流量があったのかを算出した。

その算出に先だち現代の土地利用情報と雨量および河川流量とを用いて, 土地利用情報と河川流量との適合を検証する。検証には雨量と流量の実測値が得られた 1993 年 8 月 9 日から 10 日のデータを用いた<sup>14)</sup>。その後 1953 年に近い年代の土地利用情報と当時の雨量とを用いて河川流量の試算を行う。この雨量のデータは 1953 年 6 月 25 日から 26 日のデータを用いた<sup>9)</sup>。

室見川と樋井川の流域は国土地理院発行の「数値地図 50 m メッシュ (標高)」を基にして GIS (ArcView9) を用いて水の流下方向を 100 m 四方のメッシュで算出し, 流域を決定した。

土地利用情報の作成には 2 万 5 千分の 1 地形図を用いた。地形図は雨量データの年代に近く, かつ測量による修正が行われている図を利用することとした。1953 年の流量計算には 1936 年 (一部 1938 年) の地形図を, 現代の流量計算には 2005 年 (一部 1998 年) の地形図を用い, 地図記号から土地利用図を作成した。

土地利用区分は都市化の進展に伴う環境変化を捉えられるよう, 一般宅地, 樹木宅地, 学校, 水田, 畑, 果樹園, 森林, 竹林, 水域, 空地, 交通施設, 荒地, その他, 鉄道, 密集市街地, ゴルフ場とした。

この土地利用区分に応じて雨水の流出度合いを示す流出係数を対応させて流出係数分布図を作成した (表 2)。流出係数は河川砂防技術基準に記載された土地利用等区分に定められた流出係数を用いた<sup>11), 12)</sup>。

各地点を土地利用ごとに小規模な流域と捉え, 流出係数および時間毎の雨量を合理式 (1) に代入してそれぞれの地点からの雨水の流出量を算出した<sup>15)</sup>。

(1) 合理式

$$Q_{max} = \frac{1}{360} \cdot C \cdot I \cdot A$$

$Q_{max}$ : ピーク流出量 (m<sup>3</sup>/s), C: 流出係数, I: 流達時間 T における降雨強度 (mm/h), A: 流域面積 (ha)

各地点からのこの流出量を 3 次メッシュごとに集計し, 流下方向へと時間の経過とともに移動させることでシミュレートを行い, 3 次メッシュそれぞれの時間ごとの河川流量を算出した。流下方向への移動時間は流速によって決まる。マンニングの式から平均流速は斜度, 径深, 粗度係数によ

て算出することができる<sup>15)</sup>。流下方向を決定する際に用いた標高データから斜度を算出し、100 mメッシュごとの平均流速を計算して3次メッシュごとに集計した。3次メッシュの範囲内には河川

だけでなく多様な土地利用が含まれ、また斜度も多様であることから、径深を0.05, 粗度係数を0.03として計算した結果、0.01 m/sから3.80 m/sまでの広い範囲での平均速度が算出された。シミュレートに際してはこの中間値である1.91 m/sを全体の流下速度として採用した。

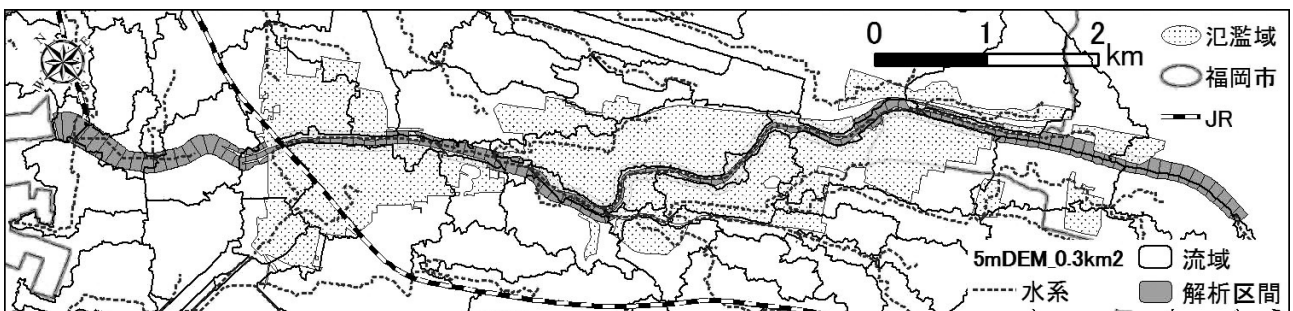
表2 土地利用と流出係数の対応

土地利用	土地利用等区分	流出係数
1一般宅地	一般市街地	0.8
2樹木宅地	樹木を多く持つ高級住宅地や、畑地などが割合残る部外地域	0.35
3学校	住宅公園団地などの中層住宅団地や1戸建て住宅の多い地域	0.5
4水田	水田	0.7
5畑	畑原野	0.6
6果樹園	起伏のある土地及び樹林0.50-0.75	0.625
7森林	山地	0.7
8竹林	勾配の緩い山地	0.3
9水域	水面	1
10空地	浸透面の野外作業場などの、間地を若干持つ工場地域や庭が若干ある住宅地域	0.65
11交通施設	道路	0.85
12荒地	間地	0.2
13その他	その他の不浸透面	0.8
14鉄道	間地	0.2
15密集市街地	密集市街地	0.9
16ゴルフ場	芝、樹木の多い公園	0.21

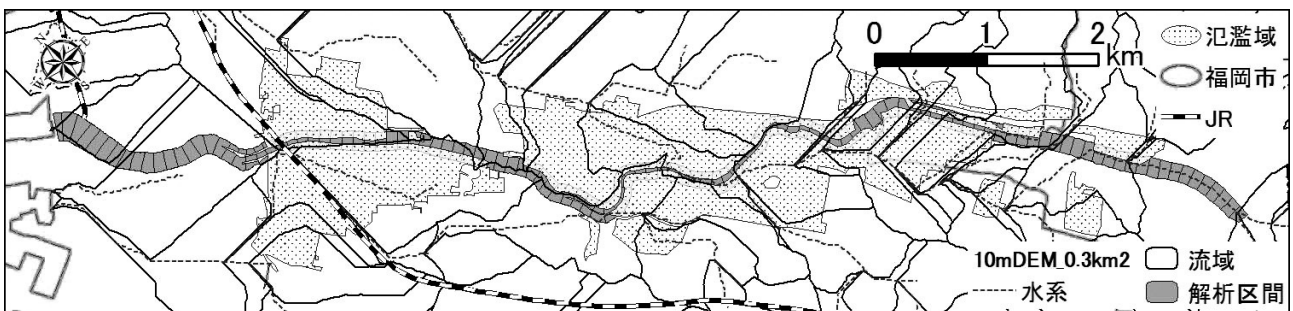
### Ⅲ. 個別データ利用による研究結果

#### 1. 数値標高モデルによる氾濫域の予測

図2は5mDEM及び10mDEMによる御笠川周辺の流域分布である。両者に計算による水系および2003年氾濫域を併記した。5mDEMによる流域境界線は複雑で細かいのに対し、10mDEMによるものは直線的で粗い。また前者の水系は実際の御笠川に良く一致するが、後者の水系は直線的で実際の御笠川にほとんど重ならない。さらに5mDEMによる流域形状は、その伸び方向が御笠川の流下方向に近いのに対し、10mDEMによるものはあまり定まっておらず御笠川を横断することが多い。ここで各流域と氾濫域とを比較すると、10mDEMによるものは流域境界と氾濫域境界があまり調和しない。しかし5mDEMによるものは、流域境界と氾濫域境界の一致することが多く、また水系とも関連づけて見ると流域の下流端に氾濫域が集中することが読み取れた。つまり



(1) 5mDEM



(2) 10mDEM

図2 DEMで計算された流域

5mDEM で計算した流域は現実の氾濫域が生じた地形条件をよく再現している。

したがって、5mDEM で計算した流域は、少なくとも御笠川規模の二級河川に対し、今後の氾濫域の推定に活用できることが分かった。

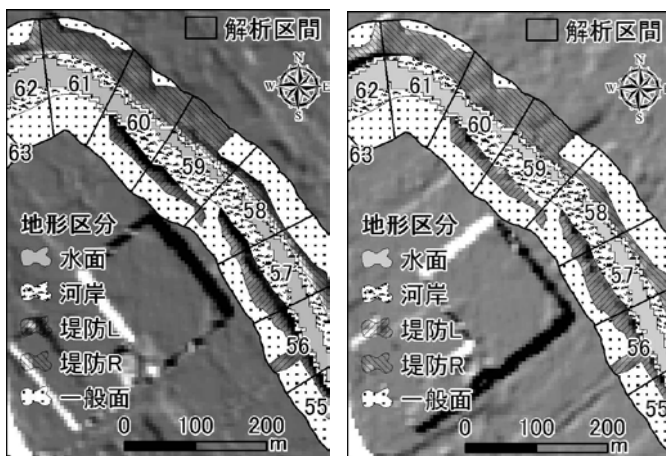
## 2. 数値標高モデルによる越流範囲の地形条件

地形区分は通常ステレオペア空中写真の実体視判読で実施する<sup>16)</sup>が、レーザーデータでは山地・丘陵地の斜面に対してGISを用いた微地形

区分手法が検討され<sup>17), 18)</sup>、平野の微地形に関しては最近まで十分ではなかった。そこで黒木ほか(2012)<sup>19)</sup>では有償の2mメッシュのレーザーデータを用いた地形区分法を考案し、地形を介して越流場所と標高との間の関連性を指摘した。本稿ではレーザーデータによる無償の5mDEMによる同様の試みを紹介する。

図3は福岡平野の御笠川に対して5mDEMによる2種類の陰影図に、その判読による地形区分を重ねた。低い方から地形は水面、河岸、堤防L・R、一般面、その他である(図4)。解析区間に対し地形区分毎の平均標高を求め、さらに一般面に対する各地形の比高をグラフ化したところ(図5)、河岸の標高変化に顕著な特徴が表れた。

河岸の比高は一般面以下の負値であり、最大-4.76mを示す。比高変化は、下流に向かって次



(1) 315°方向

(2) 225°方向

図3 陰影図と地形区分

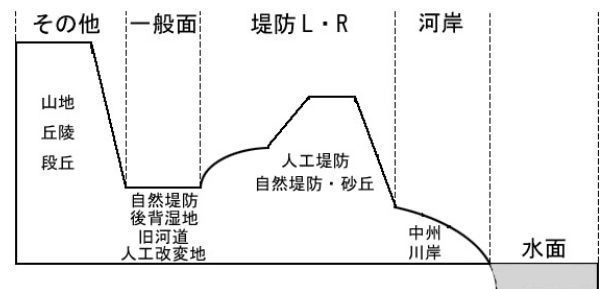


図4 地形区分モデル

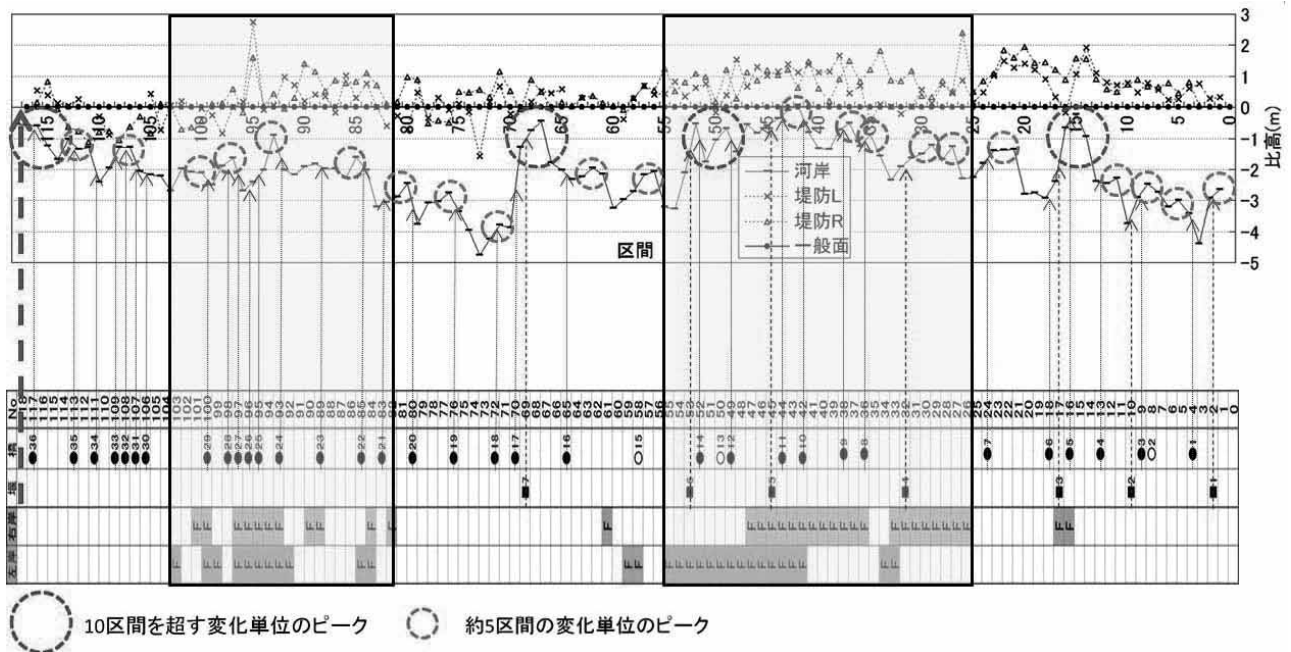


図5 一般面に対する地形別比高と河川の条件 (原図はカラー)

第に比高が縮小する区間 1-16, 区間 17-53, 区間 54-69, 区間 70-118 に区分され, 各区間の下流端では比高が最小となる。ただ区間 17-53 では区間 35 より下流で, 区間 70-118 では区間 85 より下流で比高変化が少ない。これら 4 区間の下流端及び比高変化の少ない区間では堤防 L・R の比高も同時に高まるため, 河岸の比高縮小に対する人為的な越流対策が伺われる。さらに河岸の比高には約 5 区間周期の変化単位が認められた。

御笠川に架けられた橋(人道橋は白丸で表示)と設置された堰(可動)と, 2003 年九州豪雨に伴う越流地点を左右岸別に区間で示し, 河岸に関する地形縦断曲線の対応区間を矢印で示した(図 5)。最下流の矢印は海を示す。10 区間を超す変化単位の末端には, 堰 3, 堰 6, 堰 7 が設置されており, 区間 70-118 の末端は海である。各区間の末端ほど縮小する比高は, 堰・海によりその上流側で土砂蓄積が進んできたことを示す。約 5 区間周期の変化単位で比高の縮小する区間には橋が多くあり, 特に堰が近接しない区間 8, 38, 76, 85 などの対応が明瞭である。つまり橋脚により橋付近での土砂蓄積が進んでいることを伺わせる。

越流は, 断続的な 1 区間あるいは 2 区間で多数生じ, 3 区間以上連続することもあった。全体的には越流区間は上流の区間 26-55, 下流の区間 82-103 に区分でき, そこは 10 区間を超す変化単位の中で比高変化の少ない区間に良く一致する。既に下流部の越流に対しては海が洪水の停滞を招き溢流に結び付いたと説明されている<sup>20)</sup>, が堤外の土砂の蓄積による河床上昇も地形条件として考えられる。区間 70 より上流部では, 越流が連続する区間 16-17, 区間 26-33, 区間 36-47, 区間 42-55 の末端にそれぞれ堰 3, 堰 4, 堰 5, 堰 6 が位置する。

堰上流の河岸比高が縮小するため, 堰で河水が停滞し洪水位が上昇し越流し, かつ堰上流に土砂が蓄積されたことが考えられる。区間 70 より下流部では橋が多く, 橋 21, 22, 23, 29 と越流区間との対応が読み取れる。橋付近で河岸比高が縮小するため, 洪水時に橋により洪水位が上昇し越流し, また橋により土砂が蓄積したことが考えられる。

このように 5mDEM による地形区分の比高に関する地形縦断曲線から地形変化を詳しく読み取れる。中でも一般面に対する河岸の比高では, 10 区間を超す変化単位と約 5 区間周期の変化単位が認められ, 前者は堰との後者は橋との対応が良いが, それぞれ 2003 年氾濫の越流範囲と一致していた。つまり 5mDEM による地形区分の比高に関する地形縦断曲線から, 河川の土砂堆積程度とともに越流に脆弱な場所も見出した。

### 3. 流域と河道体積

図 5 では区間に対する支流合流の影響も検討したが, 地形縦断曲線に明瞭な特徴は見えなかった。そこで 5mDEM により合流点を基準とした流域を計算し, さらに区間ごとに水面と河岸の面積に, 低い堤防に対する両者の比高をそれぞれ乗じて加算し, 水面上の河道体積を求めた(図 6)。流域は区間 1-64 までが約 63 km<sup>2</sup>, 区間 65-96 までが約 81 km<sup>2</sup>, 区間 97-118 までが約 88 km<sup>2</sup> である。一方河道体積は, 区間 14-17 付近で約 1 万 m<sup>3</sup>, 区間 30-52 付近で約 1 万 m<sup>3</sup>, 区間 74 より下流で約 1 万 5 千 m<sup>3</sup> であり, 各区間の直前の約 2 万 m<sup>3</sup>, 約 2 万 m<sup>3</sup>, 約 2 万 7 千 m<sup>3</sup> に対し半減している。これはある区間を通過できた洪水が河道体積の半減する区間で通過できず越流に結びつきやすいことを示す。この半減区間は, 流域面積の

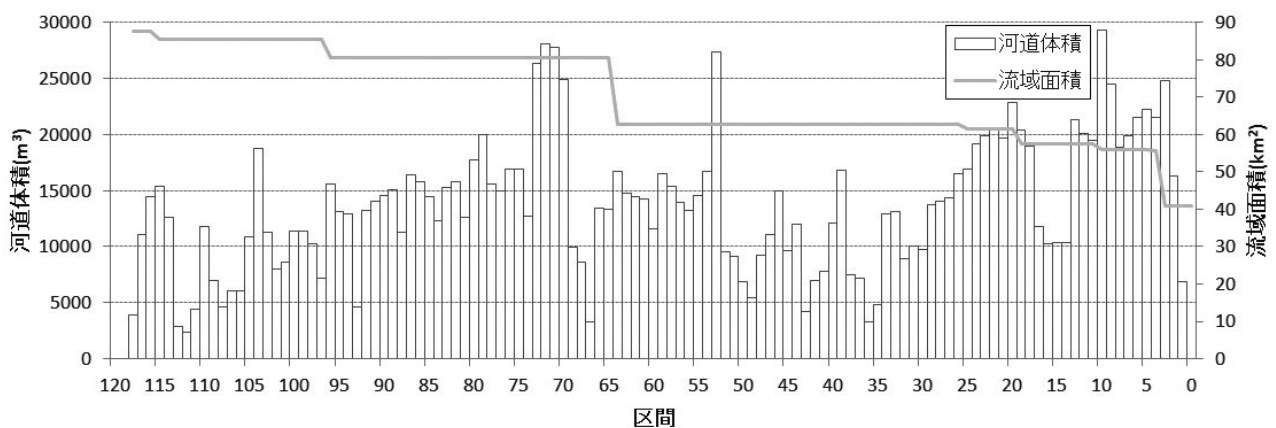


図 6 合流による流域増加と河道の体積



折れ線グラフを河道体積の棒グラフのピークに接するように描いたため、折れ線グラフ下の空白面積が大きい場所に相当する。これを図5と比較すると、半減区間と2003年の越流範囲との一致は明瞭である。

このように、5mDEMで計算した流域面積と河道体積とを比較することで、越流に脆弱な場所を見出せることが分かった。

#### 4. 土地利用情報による氾濫域の背景理解

福岡平野で氾濫被害が生じた背景には、アスファルトやコンクリート舗装が多く、地下に雨水が浸透しにくいいため、比較的短時間に雨水が河川に流入することが上げられる。したがって雨水の流出（浸透）の程度を示す土地被覆状況とその変化を空間的に明らかにすることは、都市河川を持つ平野の防災を考える上で重要である。そこで土地被覆状況の適切な量的評価と分布表示方法を検討した。

図7は平成18年の土地利用細分メッシュによる福岡平野を中心とする土地被覆分布である。福岡市都市圏の拡大が進み、建物用地A・Bの分布が福岡市の南方にまで連続しており、都市圏周囲にある田や森林との境界が明瞭である。

図8はその土地被覆分布を表1に基づき数値化した流出係数分布であり、そこに福岡市と二級河川の流路と流域を示した。

各河川の下流域全体に建物による流出係数の高い範囲が広がっている。特に御笠川流域ではその20 km 上流域まで流出係数の高い範囲が広がっている。他の二級河川でも上流域の河道周辺に流出係数の高い範囲が集中している。瑞梅寺川流域では田や森林による値0.6-0.7が広く分布し、流路を直交するように流出係数の高い範囲が線状に分布する。

図9は土地利用細分メッシュに基づく平成18年の流出係数分布図から昭和51年のものを減算した。御笠川と那珂川の下流で博多や天神を含む沿岸部の約5 km 四方は変化なし(-0.05-0.05)の一方で、その周囲の約5 km-10 km 帯では0.15-0.45の上昇を示すことが明示された。すなわち、昭和51年から平成18年間に、御笠川では上流域の、那珂川と樋井川では中流域の、多々良川と室見川では中下流域の流出係数が高まり、その付近での既存施設に対し、洪水による影響が高まったと考えられる。なお、図9には2003年氾濫域と2009年氾濫域を示した。2003年氾濫域と流出係数の高まった範囲との関係を見ると、2003年氾濫域

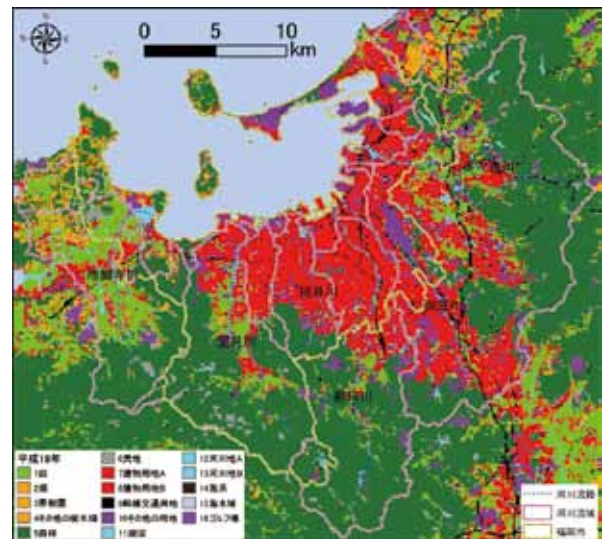


図7 平成18年の土地被覆分布

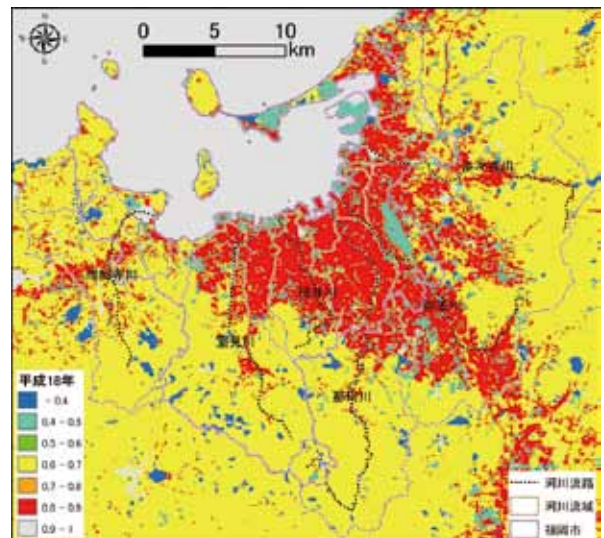


図8 平成18年の流出係数分布

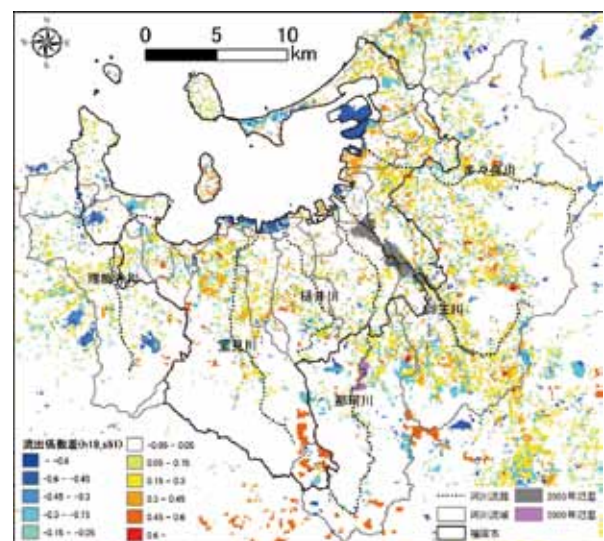


図9 平成18年と昭和51年の流出係数差分

の特に上流域が流出係数の高まった範囲に囲まれていることが鮮明になる。同様の分析は平成16年度から進められている福岡市史編纂事業で整備された地形図による土地利用図でも試行されており共通する結果が得られている<sup>21)</sup>。この発展的検討は以下の章で紹介する。

このように、土地利用区分に流出係数を関連付けてメッシュ単位で表示すると、福岡平野内各所の流出係数分布とその変化を地図化でき、御笠川上流では広い範囲で流出係数が高まり、その付近での既存施設に対し洪水による脆弱性が高まっていることを空間的に示せた。したがって土地利用情報に流出係数を組み合わせ分析することで、氾濫に注意を要する地域抽出により役立つと考えられる。

5. 土地利用情報による氾濫域の影響評価

2011年東北地方太平洋沖地震では、海岸平野を中心に津波に襲われ、地域の社会経済活動が直ちに停止した。ここでは福岡市史編纂事業で地形図から整備された土地利用情報<sup>22)</sup>を用いて2003年氾濫域が直ちに出現したと仮定しその影響を評価する。

表3は国勢調査のデータによる夜間人口から漁業までの人口密度と、学校基本調査と教育便覧のデータによる教職員から学校人口までの人口密度を土地利用別に示す。ここではその土地利用の昼夜の利用者・状況を考慮し、地形図による土地利用に人口密度の項目を対応付けた。メッシュ小計は、その項目の人が存在する土地利用別のメッシュ数を示し、項目別の人口データの分母とする。各土地利用に対する項目別の数字が1メッシュ(100m<sup>2</sup>)当り人口密度である。

次にArcView9により土地利用図に2003年氾

表3 土地利用別の人口密度

項目	夜間人口	在宅人口	運輸業	商業・公務	農業	林業	漁業	教職員	生徒・学生	学校人口	昼間人口	メッシュ数
人数(人)	1401279	752447	36070	574828	4133	62	829	32910	230872	263782		
一般宅地	1.218	0.654	0.031	0.416								1.101
樹木宅地	1.218	0.654										0.654
学校								0.437	3.064	3.5		3.5
水田					0.012							0.012
畑					0.012							0.012
果樹園					0.012							0.012
森林						0.000047						0.000047
竹林						0.000047						0.000047
水域							0.01					0.01
空地				0.416								0.416
交通施設			0.031									0.031
荒地						0.000047						0.000047
その他				0.416								0.416
鉄道			0.031									0.031
密着市街地	1.218	0.654		0.416								1.07
ゴルフ場				0.416								0.416
メッシュ小計	1150629	1150629	1177911	1382610	331070	1313801	82279	75358	75358	75358		

単位:人/100m<sup>2</sup>

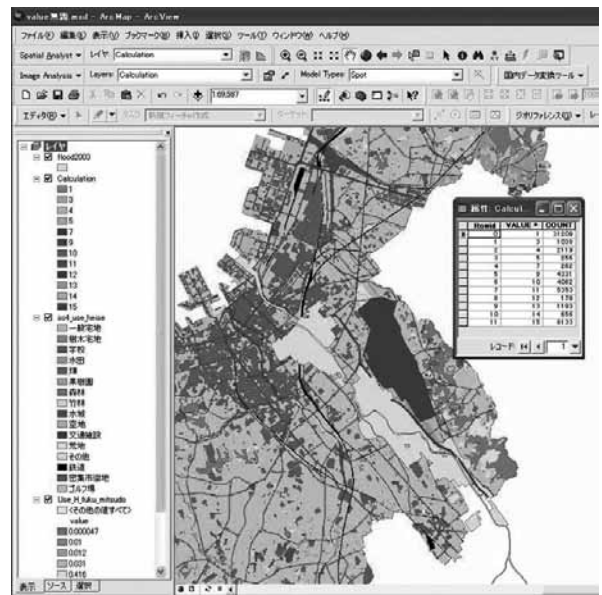


図10 2003年氾濫域の重ね合わせ(原図はカラー)

表4 2003年氾濫域の被災人口予測

項目	空室人口	在宅人口	運輸業	商業・公務	農業	林業	漁業	教職員	生徒・学生	学校人口	昼間人口	メッシュ数
一般宅地	38013	20411	968	12983							34361	31209
樹木宅地	0	0										0
学校								454	3180	3633	3633	1038
水田					25							25
畑					3							3
果樹園					0							0
森林						0						0
竹林						0						0
水域							43					43
空地				1690								1690
交通施設			166									166
荒地						0						0
その他				496								496
鉄道			20									20
密着市街地	9906	5319		3383								8702
ゴルフ場				0								0
人数小計	47919	25730	1154	18552	29	0	43	454	3180	3633		

単位:人

濫域を重ね、その範囲の土地利用別に10mのメッシュ数を計上する(図10)。

表4は2003年氾濫域の被災人口予測である。表の右端列が土地利用別のメッシュ数であり、これらを項目別の人口密度に乗じて被災人口とする。この結果、たとえば2003年氾濫域が昼間に生じた場合、水田では25人、畑では3人が被災すると予測される。

このように、土地利用情報に土地利用に読み替えられる項目を持つ人口密度を関連付けてメッシュ単位で計上すると、福岡平野で予想される氾濫による被災人口を簡単に推定できる。

6. 土地利用情報による河川流量試算

1953年6月の災害において福岡平野は広範囲で浸水被害を経験した(図11)。この時の災害は福岡県において特に地すべりや山崩れを多く引き





図 11 1953 年災害時の福岡平野の浸水被害

起こし、その発生個所は福岡県内で 5167 箇所、面積は 824.12 万  $m^2$  という大災害であった<sup>9)</sup>。筑後川流域や遠賀川流域での浸水被害も大きく様々な記録が残されているが、一方で二級河川など中小河川の状態がどのようなであったのかは詳しいデータが当時の災害記録の中にあまり見られないため、二級河川の室見川と樋井川との当時の状況の復元を試みる。

まずは実測値が得られている 1993 年 8 月 9 日と 10 日の室見川における河川流量を計算し、実測値との比較を行う。実測値は室見川が市街地に入る地点に当たる田村大橋での計測値であるため、同一地点に観測点を設定し、同時に樋井川にも 1953 年災害時における河川流量を計算するための観測点を、当時において市街地に入る地点に設定する (図 12)。

現代の土地利用をみると樋井川流域はそのほとんどが市街地化しており、最上流域のみが森林である (図 13)。一般宅地や密集市街地といった市街地が流域内に占める割合は 55.7% であり、森林や竹林は 27.1%、水田や畑は 3% に満たない。室見川流域は下流域が市街地であるが、上流域と中流域は森林および水田が多く残っている。市街地は 19.4% であり、森林や竹林は 61.6%、水田や畑も 11.1% を占めている。

流出係数はこの市街化が進んでいる地域で非常に高くなっている (図 14)。また市街化地域と非市街化地域の対比が明瞭に現れている。

図 15 は 1993 年 8 月 9 日から 10 日の雨量と観



図 12 室見川と樋井川の流域

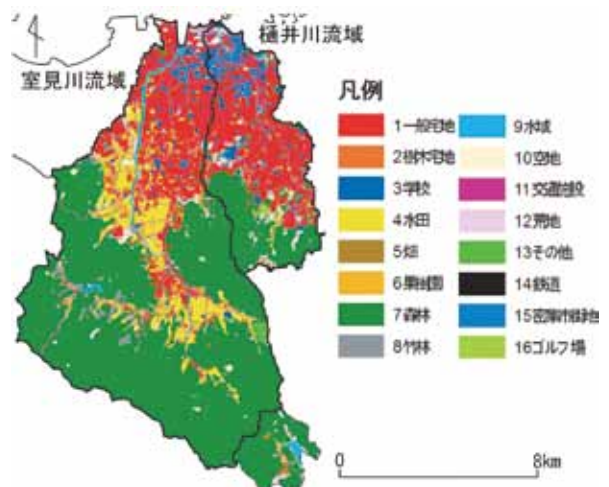


図 13 現代の土地利用

測地点における実測値、そして河川流量の計算値のグラフである。シミュレートの実測値は河川流量がピークを迎える時間をよくとらえている。

実測値における河川流量のピークは 8 月 10 日午前 9 時であり、その時間の観測地点における流量は  $282.78 m^3/s$  である。シミュレートによる同時刻の河川流量は  $305.27 m^3/s$  であり、その誤差は 7.95% であった。

シミュレートによる計算値はピークより前が実測値よりも高く、ピークより後が実測値よりも低

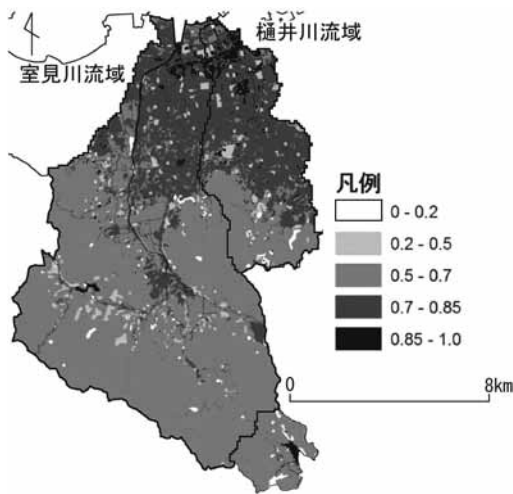


図 14 現代の流出係数分布

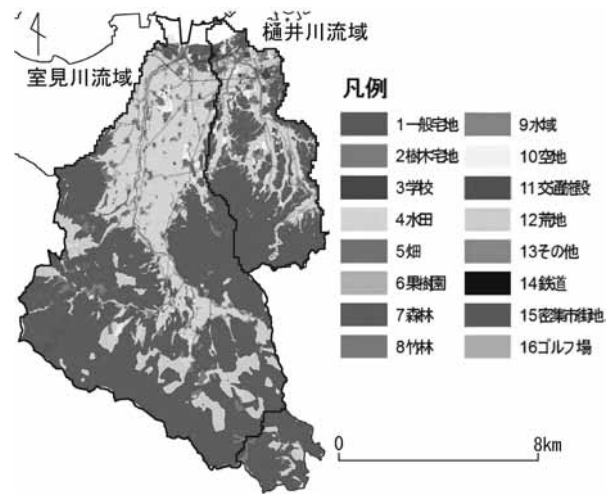


図 16 シミュレート用の土地利用 (原図はカラー)

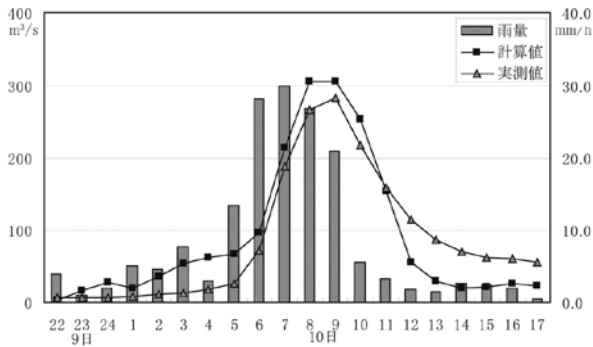


図 15 1993年8月9日・10日の室見川河川流量

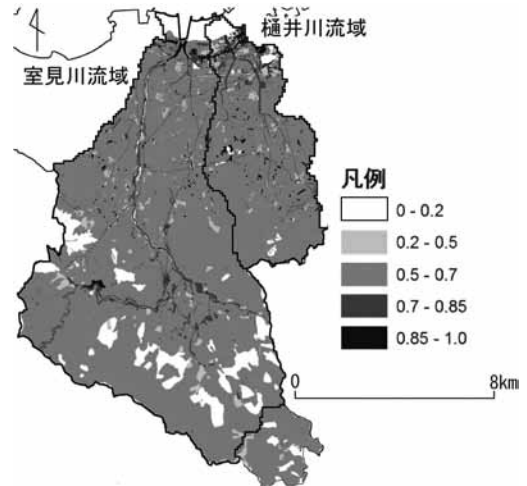


図 17 シミュレート用の流出係数分布

い傾向を示している。また雨量の変化による流量変化は実測値よりも計算値の方が明確に現れている。つまり地表面上に降った雨が実際よりも早く流水として評価され、実際の河川の流下よりもシミュレート上では早く流下している水が存在することを示している。

この結果は、現実には3次メッシュ内部において土地利用や斜度に応じた流速に違いがあり、集水に時間的な違いがあることや、各地点を貯留現象の考慮が必要ない小流域と見なして河川内などにおける貯留を考慮していないことが原因として考えられる。しかしこのシミュレートでは観測時間全体における流量の総量で見ると、実測値と計算値は3.12%の誤差であった。そこで実測値とシミュレートの計算値の誤差が小さく、流量のピーク時間もうまく捉えられる本モデルを、1953年6月水害の河川流量試算に適用する。

図 16 はシミュレートに用いた土地利用情報である。現代の土地利用と比べると市街地が少なく

水田および森林が全体に多い。特に樋井川流域の市街化が進んでおらず、水田の分布から谷地形を読み取ることもできる。また山間部には多くの荒地がみられ、植林が進む前の山間部の景観が見取れる。

樋井川流域における市街地が占める割合は8.2%と、現代に比べて非常に小さく、それに対して水田が22.6%、森林および竹林が54.1%と、非常に高い値を示す。また室見川流域では市街地の占める割合はさらに低く3.6%である。一方で水田は24.5%、森林が56.2%であり、加えて荒地が8.1%を占める。

そのため流出係数は現代に比べて低い値を示す地区が大きく広がっている (図 17)。1953年6月水害は甚大な被害をもたらした豪雨災害であった

が、同じ雨量であれば河川に集まる水量は現代よりもずっと少なかったと考えられる。

1953年6月の豪雨は25日午前9時に降り始め、26日の17時には一度終息する。その後27日から再び降り始め、29日まで雨が続く。今回のシミュレートは福岡で観測された最も高い1時間雨量を含む25日から26日にかけての雨量データを用いて行った。このときの雨は短時間に集中的に豪雨を降らせており、25日の午後21時に一度強い雨が降った後、勢いはいったん衰え、24時から翌26日1時の1時間に57.4mmという非常に強い雨が観測されている。その後再び雨の勢いは衰えるものの、26日午前6時にもう一度1時間に45.3mmという強い雨が降り、そしてようやく終息へと向かう(図18)。

室見川の観測点である田村大橋付近では、強い

雨が降ってから1時間後に増水し始めて、約2時間後に河川流量のピークが訪れている。最も河川流量が大きくなったのは26日午前2時であり、このときの流量は490.72 m<sup>3</sup>/sであった。その後

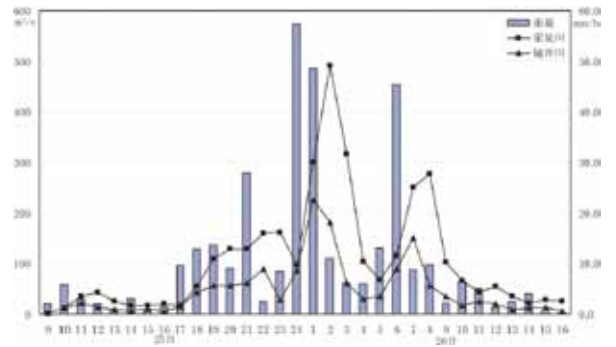


図18 1953年6月25日・26日の河川流量

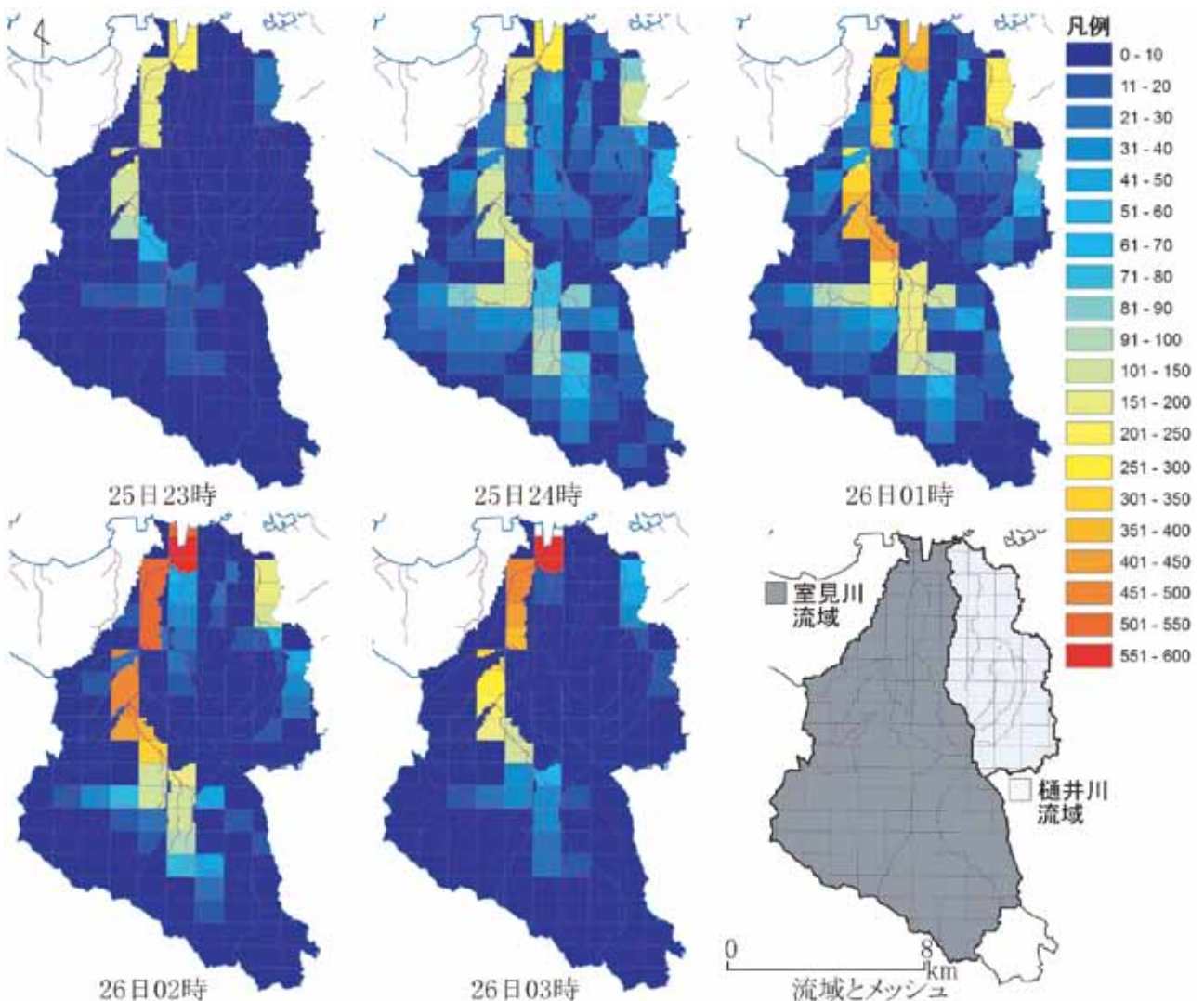


図19 1953年6月水害の流量シミュレート



26日午前8時にも再び増水し、276.57 m<sup>3</sup>/sに達している。この時は午前6時の降雨が影響しているものと考えられるが、午前7時には雨が収束しており、午前6時から見て1時間後である7時の増水から8時のピークまでの流量変化は小さい。強い雨が2時間降り続くとことが流量を大きく増大させる要因となっていると考えられる。

樋井川が市街地に達する樋井川観測点では、流量のピークが強い雨の1時間後に訪れている。最も流量が大きい時間は26日の午前1時であり、このときの流量は225.16 m<sup>3</sup>/sであった。樋井川は室見川に比べて流域が狭いため、同じ雨量でも流量は小さく、ピーク時でも室見川の約半分であったことが分かる。しかし一方で強い降雨があった場合、室見川よりも早くその影響が市街地へと達していたことも、この結果は示している。

図19は最も強い雨が降り始める前の25日午後23時から26日午前3時までの、対象地域内の河川流量のシミュレート結果である。強い雨が降り始めると、流域全体にわたって地表面や各支流の流量が高くなり、次第に本流へと収束していく様子が示されている。

特に室見川においては山間部からの支流が集まる地点において、強い降雨から1時間後に下流よりも流量が大きくなっている。この地点は両側から山地が迫ってきている狭窄部であり、この上流部分には扇状地が形成されている。この地点に流水が集まるということと土砂の堆積や災害の危険性との関連も示唆される結果である。

上述のように土地利用情報とDEMを用いる本手法によって、災害時の流量データが残されていない樋井川および室見川における1953年当時の流量を、一地点だけではなく河川流域全体において求め、流下の特徴を捉えられることが分かった。

#### IV. まとめ

無償でダウンロード可能な国土の数値情報に関し、福岡平野を対象に実際の豪雨に伴う洪水・氾濫を事例に様々な土地条件評価を試み、自然災害に対し脆弱な地域を合理的に評価できることが分かった。それぞれの結果は以下の通りである。

- 1) 5mDEMで計算した流域は実際の御笠川の氾濫域と共通性があるため、二級河川に対し今後の氾濫域の推定に活用できる。
- 2) 5mDEMによる地形区分の比高に関し、御笠川では一般面に対する河岸の比高の地形縦断曲線に10区間を越す変化単位と約5区間周期の変化単位が認められ、前者は堰と後者は橋との対応が

よい。

- 3) 一般面に対する河岸の比高の縮小区間は、2003年氾濫の越流範囲と対応が良い。
- 4) 5mDEMで計算した流域面積と河道体積とを比較すると、両者のギャップが越流範囲と対応が良い。
- 5) 土地利用細分メッシュの流出係数による量的評価は、流出係数の空間分布とその変化を地図化でき氾濫に注意を要する地域抽出に役立つ
- 6) 土地利用情報に土地利用に読み替えられる項目を持つ人口密度を関連付けることで氾濫による被災人口を簡単に推定できる。
- 7) 土地利用情報に基づき実測値に近いハイドログラフを作成できるため、無償の土地利用細分メッシュや数値標高モデルを利用して比較的容易に洪水時の河川流量を算出できる。
- 8) 無償ダウンロードできる地理情報が整備されていない時期でも、地形図により土地利用情報を用意すれば河川流量に関わる洪水氾濫の検討が進められる。

#### 謝 辞

本研究は平成24年度科学研究費補助金(基盤研究(C)); 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」(研究代表者 黒木貴一)及び23501253「土砂災害発生に関する経年的変化の検討」(研究代表者 磯望)の一部を利用した。ここに記して謝意を表す。本稿は日本地理学会2011年秋季学術大会<sup>23)</sup>及び2012年春季学術大会<sup>24)</sup>で発表した内容に若干の検討を加えてまとめた。

#### 参考文献

- 1) 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.
- 2) 柴崎亮介(2008): 地理空間情報活用推進基本法入門. 日本加除出版, 250p.
- 3) 佐藤 浩(2004): 火山活動終了後の雲仙普賢岳・溶岩ドーム周辺の地形変化. 地形, 25-1, 1-22.
- 4) 小荒井衛・中埜貴元・乙井康成・宇根寛・川本利一・醍醐恵二(2011): 東日本大震災における液状化被害と時系列地理空間情報の利活用. 国土地理院時報, 122, 127-141.
- 5) 宗 建郎・黒木貴一・磯 望・黒田圭介・後藤健介(2011): 地形図を利用した河川環境変化の長期評価—福岡市の事例—. 地域防災研究論文集, 3, 57-63.

- 6) 宗 建郎 (2009) : GIS を利用した考古学情報データベース作成—福岡市史考古特別編における試み—, 市史研究福岡, 4, 15-29.
- 7) 黒木貴一・磯 望・後藤健介・張 麻衣子 (2005) : 2003 年九州豪雨による浸水状況から見た福岡市博多駅周辺の土地条件, 季刊地理学, 57, 63-78.
- 8) 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.
- 9) 西日本水害調査研究委員会編 (1957) : 昭和 28 年西日本水害調査報告書, 土木学会西部支部, 589p.
- 10) 黒木貴一・磯 望・宗 建郎・後藤健介・黒田圭介 (2012) : 基盤地図情報の 5mDEM による御笠川の氾濫の地形条件分析, 第 6 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 141-146.
- 11) 国土交通省河川局監修, 社団法人日本河川協会編 (2005) : 国土交通省河川砂防技術基準 同解説・計画編, 山海堂, 230p.
- 12) 建設省河川局監修, 社団法人日本河川協会編 (1976) : 建設省河川砂防技術基準 (案) 計画編, 山海堂, 224p.
- 13) 黒木貴一 (1998) : 原単位法を用いた環境の定量評価—地理情報としての土地利用区分の活用—, 土木研究所報告, 198, 88p.
- 14) 福岡県 (1996) : 室見川工事実施基本計画策定業務委託報告書, 福岡県, 231p.
- 15) 土木学会 水理委員会・水理公式集改訂小委員会編 (1999) : 水理公式集 [平成 11 年版], 社団法人 土木学会, 713p.
- 16) 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.
- 17) 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.
- 18) 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, 359-382.
- 19) 黒木貴一・磯 望・後藤健介・黒田圭介・宗 建郎 (2012) : 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, 福岡教育大学紀要, 第 61 号, 第 2 分冊, 13-23.
- 20) 橋本晴行・南里康久・中島蘭子 (2000) : '99 年 6 月福岡水害における博多駅周辺の浸水被害について, 自然災害西部地区部会報・論文集, 24, 89-92.
- 21) 黒木貴一・宗 建郎・磯 望・後藤健介・黒田圭介 (2011) : 国土の数値情報に基づく福岡平野における豪雨時の土地被覆状況評価, 2011 年春季学術大会日本地理学会発表要旨集, 79, p272.
- 22) 黒木貴一・磯 望・宗 建郎・黒田圭介・後藤健介・西木真織 (2010) : 旧版地形図情報を GIS 化する際の課題—福岡市史の場合—, 2010 年秋季学術大会日本地理学会発表要旨集, 78, p187.
- 23) 黒木貴一・宗 建郎 (2011) : 自然災害に対する土地利用情報の可能性—福岡平野を事例として, シンポジウム「アジアにおける持続可能な土地利用の形成に向けて」, 2011 年秋季学術大会日本地理学会発表要旨集, 80, p9.
- 24) 宗 建郎・黒田圭介・黒木貴一・後藤健介・磯 望 (2012) : 土地利用の長期的変化による河川流量への影響—福岡市における事例研究—, 2012 年春季学術大会日本地理学会発表要旨集, 81, p230.

#### 参考ホームページ

- 国土地理院ホームページ：基盤地図情報の閲覧・ダウンロード, <http://www.gsi.go.jp/kiban/etsuran.html> (2012 年 7 月 24 日閲覧)
- 国土交通省国土政策局国土情報課ホームページ：データ閲覧・ダウンロードサービス, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html> (2012 年 7 月 24 日閲覧)
- 統計局ホームページ：政府統計の総合窓口「e-Stat」, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do> (2012 年 8 月 7 日閲覧)
- 福岡県庁ホームページ教育便覧, <http://www.pref.fukuoka.lg.jp/fl3/kyoikubinran.html> (2012 年 8 月 7 日閲覧)



