

GISを用いた飯塚市街地の地形特性に基づく 地表面流の挙動解析

ANALYSIS OF BEHAVIOR OF OVER-LAND FLOW BASED ON GEOPHYSICAL
CHARACTERISTICS USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

重枝 未玲¹・寺町 賢一¹・碓 正敬²・高崎 秀一³・

松木 洋忠⁴・秋山 壽一郎⁵・中山 比佐雄⁶・田邊 武司⁷

Mirei SHIGE-EDA, Kenichi TERAMACHI, Masataka IKARI, Syuuichi TAKASAKI,
Hirota MATUKI, Juichiro AKIYAMA, Hisao NAKAYAMA and Takeshi TANABE

¹正会員 博(工) 九州工業大学准教授 工学部建設社会工学科 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

²正会員 (株)東京建設コンサルタント (〒170-0004 東京都豊島区北大塚1丁目15番6号)

³正会員 (株)東京建設コンサルタント (〒810-0801 福岡市博多区中洲5丁目6番20号)

⁴正会員 国土交通省九州地方整備局大分河川国道事務所長 (〒822-0013 福岡県直方市溝堀1丁目1-1)

⁵フェロー会員 Ph.D. 九州工業大学教授 工学部建設社会工学科
(〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

⁶正会員 有限会社 シエスタクラブ (〒820-8517 福岡県飯塚市川津680-41)

⁷学生会員 九州工業大学大学院 工学研究科建設社会工学専攻 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

An analysis of behavior of over-land flows based on geophysical characteristics using geographic information system (GIS) was conducted. Firstly, the digital surface model (DSM), which is the data of the surface of ground, was verified against the data of bed elevation in the map of the city planning whose scale is 1/2500. Secondary, using digital surface model, a behavior of over-land flow was analyzed. Finally, the analyzed behavior of over-land flow was compared with the flood process examined in the field study and numerical simulation. It shows that the GIS and DSM are useful tool and data for examining the behavior of the inundation flows.

Key Words : *Geographic Information System (GIS), Digital Surface Model (DSM), over-land flow analysis, flood process*

1. はじめに

近年、豪雨による洪水氾濫が頻発し、甚大な被害が生じている。ここ数年間で、東海(2000年9月)、九州(2003年7月)、新潟・福島(2004年7月)、宮崎(2005年9月)などの数多くの豪雨災害が発生した。近年の豪雨は想定範囲を超えており、観測史上最大規模の豪雨やそれに近い規模の豪雨が発生することも稀ではなくなっている。このような背景から、洪水氾濫対策は「氾濫を防止する対策」から「氾濫をある程度許容し氾濫による被害の最小化を基本とする減災」へ転換する方向にある¹⁾。

減災を目的とした洪水氾濫対策には、避難体制などの

危機管理対策や水害防備林等による氾濫流制御に基づく家屋等への被害軽減対策などが挙げられる。これらを講じるためには、氾濫流の挙動を高い精度で予測することが不可欠である。

一般に、氾濫流の挙動を予測するためのツールとして氾濫解析が用いられる。高い精度で氾濫流の挙動を予測するためには、(1) 氾濫解析モデルの予測精度が高いこと、(2) 解析に用いるデータ、例えば、河床高、氾濫原の地盤高、市街地構造、土地利用などのデータの精度が高いことが求められる。

これまでの氾濫解析では、氾濫対象領域を直交格子²⁾や一般曲線座標に基づく構造格子⁴⁾などにより分割し、市街地構造については土地利用や構造物の形状・配置な

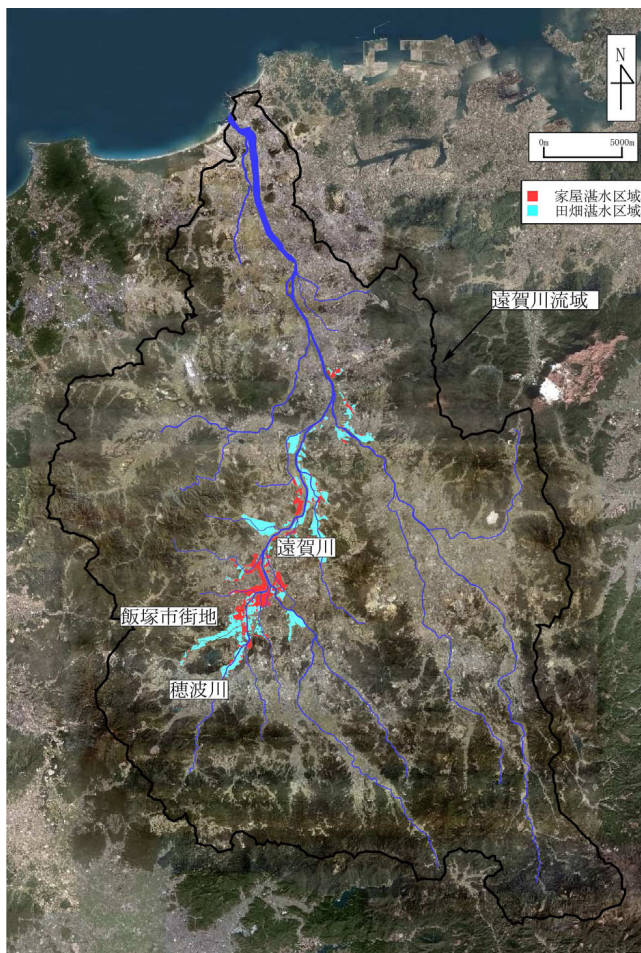


図-1 遠賀川流域と2003年九州豪雨災害時の
遠賀川流域の湛水域

どに応じて、等価粗度係数や建物占有率に応じた粗度係数または抵抗係数などの情報を各計算格子に与える^{2), 3)}ことで、地盤高については数値地図50m(標高)や1/2,500地形図の単点標高と等高線を用い作成された標高を各計算格子に与えることで、氾濫解析データが作成されてきた。また、最近では非構造格子を用い、より効率的に市街地構造を取り扱えるモデルも開発されている^{5), 6), 7)}。これら氾濫解析データの作成は、基本的にtextデータをベースに行われ、計算格子と各情報との対応をとりながら作成するため多大な労力と時間が必要となる。また、メッシュサイズによっては地盤高などの情報を平均化するため誤差を生じる可能性もある。このように、高精度でかつ効率の高いデータの作成には、氾濫原の地形特性を踏まえることが重要となる。

近年、コンピュータ技術の発展により、上記のような空間データが地理情報システム(GIS : Geographic Information System)により整理されつつある。GISは、データを総合的に管理でき、そのデータの加工や視覚的な表示を容易にできるシステムである。このようなシステムの開発に加え、高精度な地盤高や市街構造に関するデータも整理されつつある。例えば、これまでの地盤高

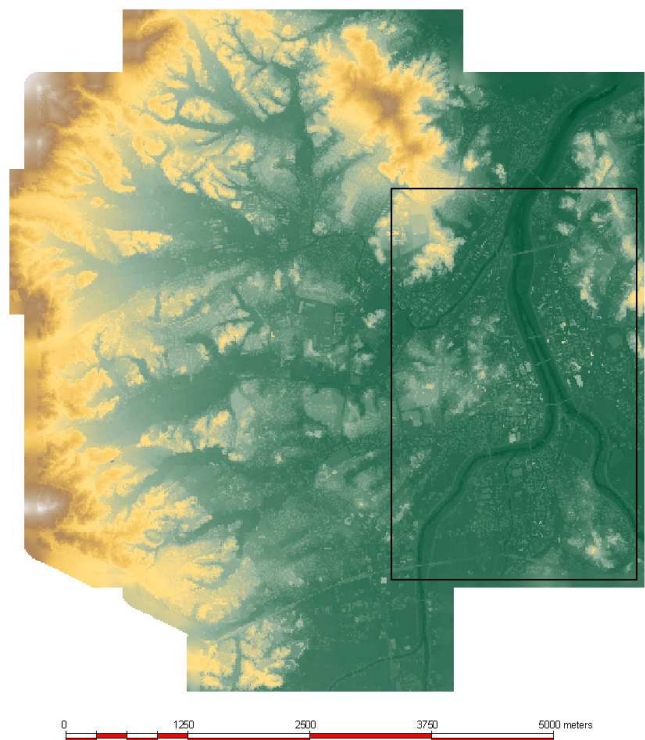


図-2 DSMデータによる飯塚市周辺の地盤高コンター

データに用いられていた数値地図標高(50m)では最大で10m程度の誤差があったが、航空機搭載のレーザープロファイラーにより作成された地盤高データ(数値地図標高(5m))では0.3m程度の誤差になっている。また、地上分解度1mの人工衛星画像も入手可能となっている。このような高解像度の空間データをGISで整理することで、精度の高い氾濫解析データを容易に作成することが可能になると考えられる。

このようなデータの中でも、標高データは氾濫流の挙動を支配するため、そのデータの精度は極めて重要である。先述したレーザープロファイラーによる標高データには、構造物などの高さ情報までも含んだDSM(Digital Surface Model)データと、DSMデータから構造物などの高さ情報を取り除いたDEM(Digital Elevation Model)データがある。通常、氾濫解析ではDEMデータが標高データとして用いられるが、都市部では構造物等が氾濫流の挙動に影響を及ぼすことから、構造物等の高さを含んだDSMデータの方が適していると考えられる。しかし、氾濫解析の標高データとしてDSMデータが活用されている例は、著者らの知る限りなく、その有用性はわかっていないのが実状である。

本研究では、以上のような背景を踏まえ、GISにより整理された河道・氾濫原に関するデータに基づき、精度が高くかつ計算効率の高い氾濫解析データの作成方法の構築を最終的な目的としている。ここでは、氾濫解析データの作成のための基礎資料を得る目的で、DSMデータの妥当性の検証、2003年7月の遠賀川豪雨災害で

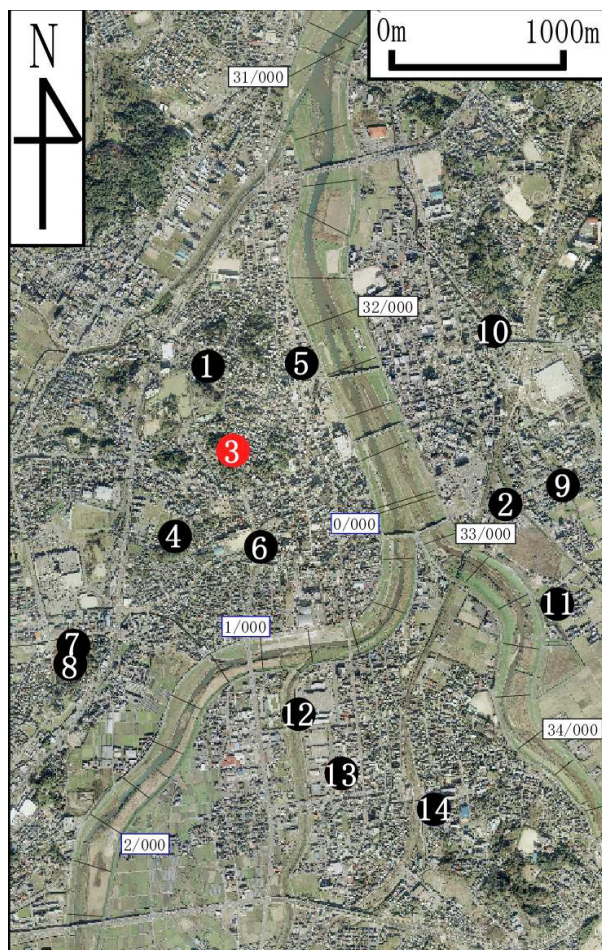


図-3 比較を行った標高点

甚大な被害を受けた飯塚市の地形特性の把握、GISを用いた地表面流の挙動の把握を行い、標高データとしてのDSMデータの有用性を検討した。

2. 遠賀川流域の概要と2003年7月豪雨災害の概要

遠賀川は、その源を福岡県嘉麻市馬見山に発し、幹川流路延長61km、流域面積1,026km²の一級河川である。

遠賀川流域は、流域内の人口密度が650人/km²と比較的高いことが特徴である。図-1に遠賀川流域の航空写真を示す。流域は三方を福智山地、英彦山地、三郡山地といった山々に囲まれている。

遠賀川では度々洪水が発生し、特に明治22年7月、明治38年7月、昭和10年6月、昭和16年6月、昭和26年6月に大洪水が発生している。特に昭和26年6月の洪水では、流域内の死傷者231名(死者20名)、浸水家屋数38,791戸に達する甚大な被害が生じた。また、最近では平成15年7月19日に、集中豪雨による内水氾濫が生じ甚大な被害が生じている。特に、遠賀川の中下流域では低地部に住宅地が発達しており、頻繁に内水氾濫が生じている。

図-1は、2003年九州豪雨災害時の遠賀川流域の湛水

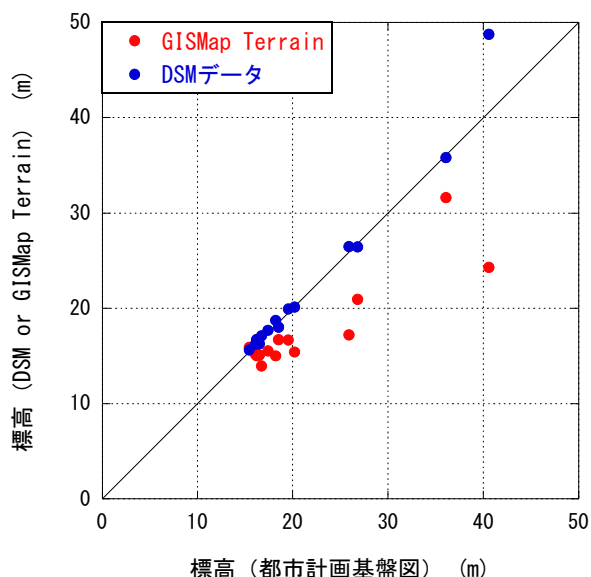


図-4 都市計画基盤図の標高とDSMデータとの比較

域を示したものである。浸水区域は遠賀川と穂波川沿いに広がっており、家屋浸水区域の大部分が飯塚市周辺に集中していることがわかる。飯塚市の旧飯塚地区では最大で約1.5mの浸水深となり、歴史ある劇場や中心商店街、文化施設をはじめとして周辺一体が大きな被害を受け、床上浸水1,569棟、床下浸水724棟をはじめ電気・水道・ガスなどのライフラインにも大きな被害が生じた。被害総額は約180億円余と推計されている。また、飯塚市に隣接する穂波町でも床上浸水460棟、床下浸水341棟などの被害が生じた。家屋罹災率は、飯塚市で6.93%、穂波町で7.91%となっており、これらの数字が両地域での浸水被害の深刻さを物語っている。

3. GISを用いた地形特性の把握と表面流の挙動の検討

ここでは、2003年九州豪雨災害で大きな被害を受けた飯塚市周辺の地形特性とそれに基づく表面流の挙動について検討した。

(1) GISの概要

GISは、文字や数字、画像などを地理的位置と結び付けてコンピュータ上に保管し、必要に応じてそのデータに記載されている位置や場所から様々な情報を統合して分析し、わかりやすく表現できるシステムである。GISは、地上にある様々な物体の地理的位置を表す図形情報と、地名や道路、建物等の特性を表す文字、数値、写真などの属性情報から構成される。図形情報と属性情報は互いにリンクしており、道路や建物の属性の検索や属性

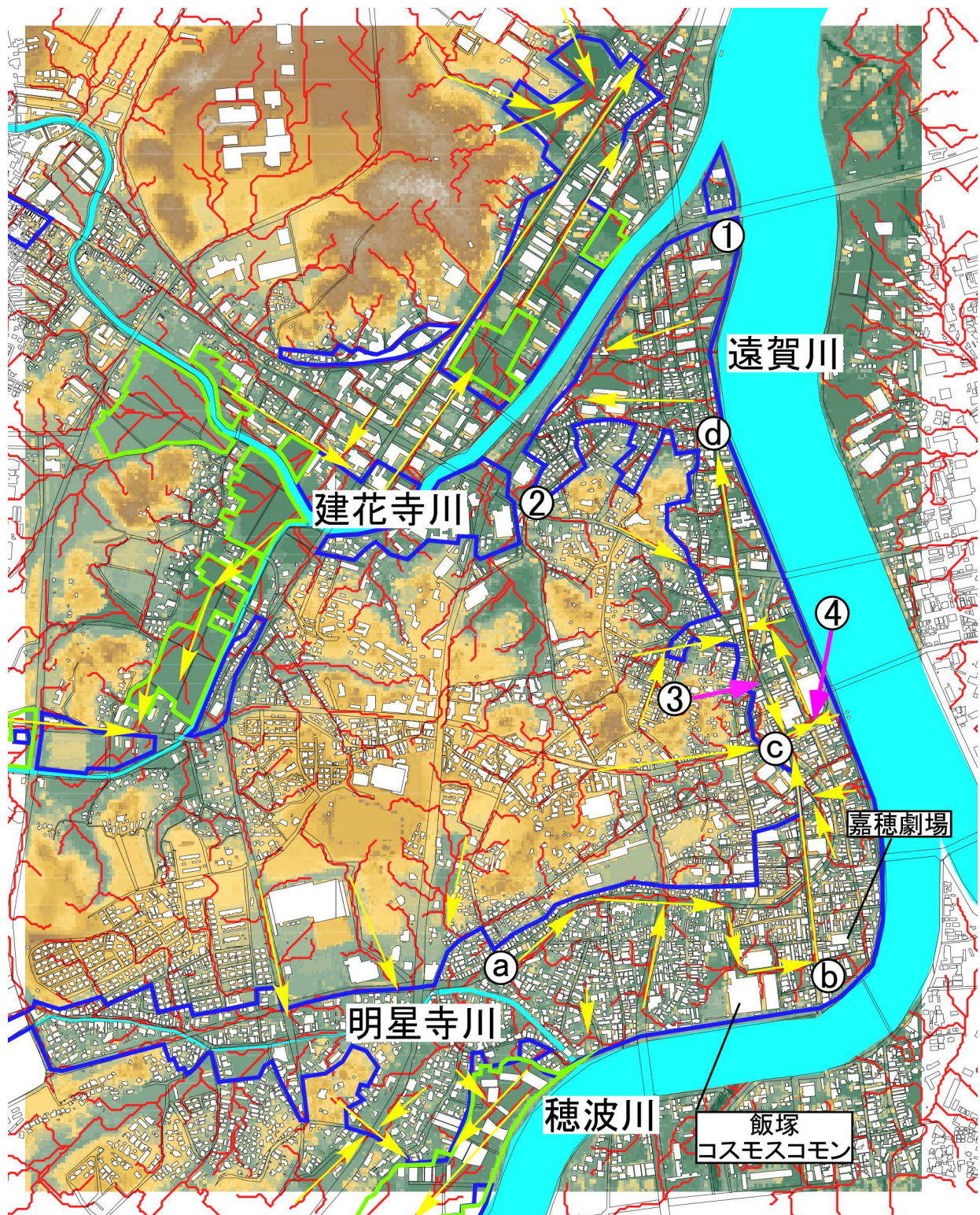


図-5 DSMデータに基づく地表面流の流路とその挙動

情報からの物体の特定などが可能となる。本研究ではGISソフトとして、ラスター・ベクタデータのいずれの処理機能を有するTNTmips⁸⁾を用いた。

(2) DSM データに基づく地盤高とその精度の検証

図-2は、DSMデータによる飯塚市周辺の標高コンターを示したものである。この図から地盤高のみならず、

河道線形や市街地構造などの形状までもが解像されていることが確認できる。また、周りを山で囲まれており、飯塚市街地の標高が周辺の標高に比べ低いことがわかる。

次に、図-2の四角で囲まれた箇所について、1/2,500の都市計画基盤図の任意の基準点(15箇所)の標高と比較することで、DSMデータの検証を行った。比較を行った位置は図-3に示す通りである。図-4は、横軸に都市計画

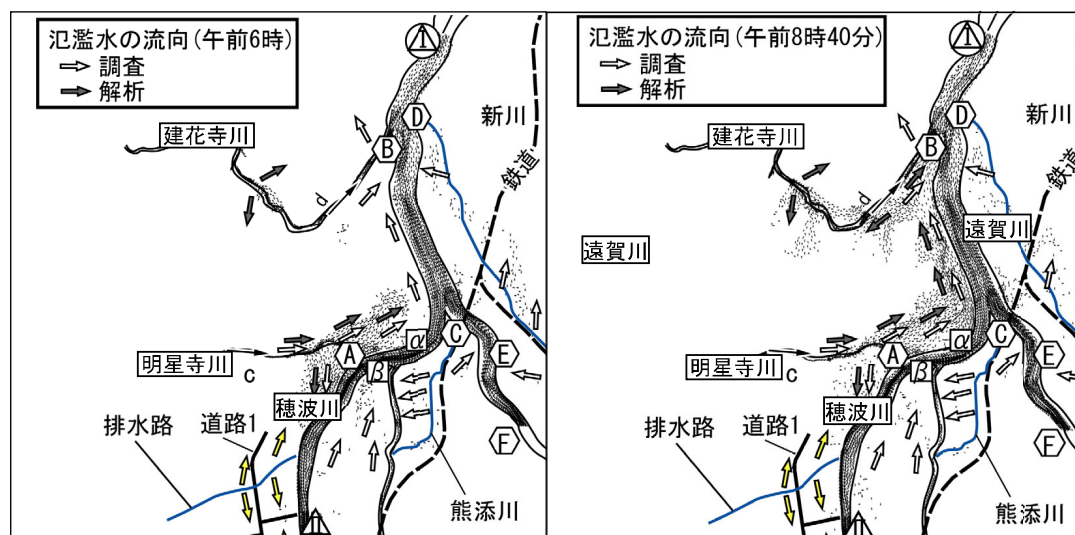


図-6 現地調査および氾濫解析より推察された氾濫プロセス¹⁰⁾

基盤図から読み取った値、縦軸にDSMデータから得られた標高データを示したものである。図中の線に近いほど、DSMデータの標高が都市計画基盤図の標高と一致していることを表す。また、国土地理院の数値地図50mメッシュ(標高)を10mメッシュ間隔にしたGISMap terrain⁹⁾との比較も併せて示している。この図より、GISMap terrainに比べ、DSMデータによる標高データの精度が高いこと、特に平地の部分では精度よく計測されていること、などがわかる。また、DSMデータには標高が一致していない箇所が1箇所ほど存在する。ここは、図-3に示す赤い塗りつぶしで示す場所であり、そこでの土地利用は森林であった。従って、この箇所での違いが生じた理由としては、樹木による誤差や、また、その箇所が急斜面でありDSMデータの基になるレーザープロファイラーデータ自体に誤差が含まれていること、などが考えられるが現段階ではその詳細は不明である。

以上のように、森林部等では若干の誤差がある可能性は残るが、都市部でのDSMデータによる標高データの精度が非常に高いことが確認された。

(3) DSM データに基づく表面流の挙動の検討

GISでは標高データを用いることで、傾斜方位を求めることができ、その傾斜方位から水が移動する方向を求めることができる。このような解析は通常、流水解析⁸⁾と呼ばれる。上記のようなDSMデータに基づき、流水解析を行えば、構造物の影響を考慮しつつ、雨水あるいは氾濫水などの地表面流の移動方向を把握することができ、ひいては氾濫解析データを作成する際に詳細なデータが必要となる箇所を特定することができる。そこで、ここではTNTmips⁸⁾により流水解析を行い、それに基づき地表面流の挙動について検討した。

図-5は、DSMデータに基づき流水解析を行い、地表

面流の流路を求めたものである。図中の赤色のラインは、地表面流の流路を、青と緑色のラインは2003年の九州豪雨災害での湛水区域を表している。黄色の矢印は、流路と傾斜方位に基づき求めた地表面流の流路方向である。また、図中には街路や構造物等などの市街地構造も併せて示している。これより、地表面流の流路の多くは、街路に沿ってのびていることが確認できる。従って、当然のことながら、地表面流は街路に沿って流れることがわかる。また、湛水区域との比較を行うと、流路の末端の多くは湛水区域に集中していることも確認できる。このように、DSMデータに基づけば、地表面流の動きを把握することができ、降った雨あるいは氾濫水がどのような経路をたどって湛水していくかを予測することができると考えられる。

そこで、これらのデータと現地観測と氾濫解析に基づき検討した飯塚市の氾濫プロセス¹⁰⁾を比較・検討することで、この解析の妥当性と氾濫プロセスのより詳細な検討を行った。

図-6は、飯塚市を対象に現地調査および氾濫解析に基づき、氾濫水の挙動を検討した結果である¹⁰⁾。図中の白の矢印が調査結果から、図中の塗りつぶしの矢印が解析結果から得られた氾濫水の挙動である。また、図中のベクトルは解析結果より得られた氾濫水のベクトルである。これらの結果より、検討された氾濫プロセスは次の通りである。(1) 明星寺川、建花寺川より氾濫が発生し、(2) 明星寺川からの氾濫水は、矢印のように標高の低い、さらに図中のBの片島排水機場へと湛水が拡大していった。(3) 建花寺川からの氾濫水は、湾曲の影響と支川の影響により、氾濫が発生し、それが図中の矢印のように拡大していった。

このような氾濫プロセスを、図-5の地表面水の挙動に照らし合わせると、氾濫水の広がり方向と湛水域での地

表面流の移動方向は概ね一致していることが確認できる。このことから、流水解析に基づき求めた地表面流の挙動の妥当性が確認できる。併せて、現地調査と氾濫解析から考察した氾濫プロセスは概ね正しいと考えられる。

そこで、以下では、図-5の地表面の移動方向と地形特性から、より詳細な氾濫プロセスを考察する。まず、明星寺川からの氾濫水は、(1) 上記の検討結果と同様に、飯塚市街に向けて流下し、飯塚市街では図中の黄色の矢印に沿って広がる。その広がり方は、図中のa→b→cへと広がる。氾濫水が広がる方向には、2003年の九州豪雨災害に甚大な被害を受けた嘉穂劇場やコスモスコンなどがあることから、その妥当性が窺える。また、(2) 氾濫水の広がりがc地点に到達すると、③の地点で標高が高くなるため、そこを迂回するように、d地点へと広がる。(3) d地点は他の場所に比べ標高が高いため、そこで一時的に氾濫水の広がりは遅くなる。その後、湛水位が増加するにつれて、②方向に氾濫水は広がり湛水し、湛水が①にまで到達する。①の標高は23.79mであり、周辺の地盤高よりも高いことから、最終的な湛水位は、その程度であったと考えられる。また、建花寺川からの氾濫水は、(1) 支川との合流部付近から氾濫が生じ、それが、黄色の矢印の方向へと広がったと考えられる。

このように、DSMデータを用いた流水解析により市街地での地表面流の挙動が把握可能となる。また、氾濫水の広がる経路も把握することが可能となる。このような挙動を把握することで、氾濫解析のデータ作成を行う際に、どの区間をどの程度詳細なデータとすればよいかを把握することができ、効率的な氾濫解析データの作成へとつながると考えられる。また、避難行動等を検討する上で非常に有用な情報を得ることもできる。

4. おわりに

本研究では、レーザープロファイラーによるDSMデータの妥当性の検証、DSMデータに基づく2003年7月の遠賀川豪雨災害で甚大な被害を受けた飯塚市の地形特性を把握、さらに、GISを用いた流水解析から地表面流の挙動について検討を加えた。その結果、地表面流の挙動は、現地調査および氾濫解析から推察された氾濫プロセスと同じような挙動を示すこと、また、現地調査や市街地構造などを考慮していない氾濫解析からは得られなかった、氾濫水が広がりやすい街路等を特定できることがわかった。このように、都市部での地形特性を考える上でDSMデータが有用であることが確認された。

しかしながら、氾濫水が広がりやすい街路等の情報を上手く活用するためには、河道からの氾濫箇所等を特定

する必要がある。そのためにはやはり氾濫解析を行う必要がある。今後は、上記のような情報を踏まえ、より計算効率が高くまた、避難計画等に必要な情報が得られる氾濫解析データの作成について検討したいと考えている。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金基盤研究B(課題番号：17360237、研究代表者：秋山壽一郎)の助成を受けるとともに、河川懇談会の活動の一環として、国土交通省遠賀川河川事務所と共同で研究を行ったものである。本研究を実施するに当たり、遠賀川河川事務所の関係各位には現地調査の実施やデータの提供など多大な協力を得た。また、本研究を遂行するに当たり、本学学部4年生の一丸正行君には、データ整理等で多大な協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 豪雨災害対策総合政策委員会：総合的な豪雨災害対策の推進について、社会資本整備審議会河川分科会，2005。
- 2) 栗城 稔・末次忠司・海野 仁・田中義人・小林裕明：氾濫シミュレーション・マニュアル(案)ーシミュレーションの手引き及び新モデルの検証ー，土研資料第3400号，1996。
- 3) 末次忠司，栗城稔：改良した氾濫モデルによる氾濫流の再現と防災への応用に関する研究，土木学会論文集，No.593/II-44，pp.41-50，1998。
- 4) 福岡捷二，川島幹雄，横山洋，水口雅教：密集市街地の氾濫シミュレーションモデルの開発と洪水被害軽減対策の研究，土木学会論文集，No.600/II-44，pp.23-36，1998。
- 5) 川池健司，井上和也，戸田圭一，野口正人：低平地河川流域での豪雨による都市氾濫解析，土木学会論文集，No.761/II-67，pp.57-68，2004。
- 6) 椿 涼太，藤田 一郎，岡部 健士：航空レーザー測量を用いた高解像度非構造格子の自動生成と氾濫解析，土木学会論文集B，Vol. 62, No. 1，pp. 41-52，2006。
- 7) 秋山壽一郎・重枝未玲：河道特性と市街地構造を考慮した越水・破堤氾濫シミュレーション，水工学論文集，第50巻，pp.691-696，2005。
- 8) オープン GIS：TNT 入門日本語テキスト，<http://www.opengis.co.jp/html/getstart/getstart.htm>。
- 9) 北海道地図株式会社：空間情報データベース『GIS MAP Terrain』。
- 10) 秋山壽一郎・重枝未玲：飯塚市を中心とした都市域のダイナミック氾濫解 -2003 年 7 月遠賀川豪雨災害を対象として-，水工学論文集，第 49 巻，pp.619-624，2005。

(2007. 9. 30受付)