

# 3次元全球地図上での高速水害シミュレーション

山口悟史\*, 池田務\*\*, 岩村一昭\*

\*株式会社日立製作所 中央研究所

\*\*株式会社日立エンジニアリング・アンド・サービス システム開発本部

## 1. 目的

頻発する水害への効果的な対策が世界各地で求められている。対策の検討には、コストの低いシミュレーションにより対策の効果を把握することが有効である。そこで本研究では、PC (Personal Computer)で高速に動作するソフトウェアによって、地球上の任意の地域における水害をシミュレート可能にすることを目的とした。この目的を実現するためには、a) 地球上の全ての地域においてシミュレーションに必要な地形データを用意し、かつ b)任意の地域について高速に水害をシミュレート可能なソフトウェアを作成すればよいと考えた。ところが、従来の技術では a) 入手可能な地形データの精度が地域ごとに異なる、b)水害のシミュレーションに長い時間がかかる、という課題があった。そこで本研究ではこれらの課題を、a)全球地図システム日立 DioVISTA®、および b) Dynamic DDM を用いた高速水害シミュレータを組み合わせることにより解決する手法を提案する。さらに、目的が達成されていることを検証するため、提案手法を用いて作成したソフトウェアの動作速度を計測した結果を報告する。

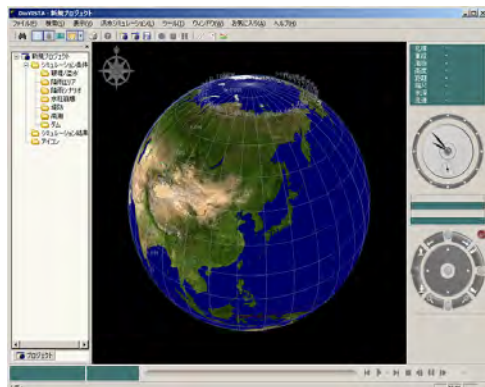
## 2. 方法

### a) 日立DioVISTA®を用いた全球地形データセットの作成

日立 DioVISTA®は株式会社日立エンジニアリング・アンド・サービスが開発した、地球の任意の地域を3次元表示可能な地図システムである(図1)[1]。この地図システムは緯度、経度、高度、時間および「詳細度」の5軸でデータを管理することが特徴である。この地図システムには、地形などある物理量について詳細度ごとに異なる値を定義でき、かつ任意の詳細度の値を出力できる。したがって精度が異なる地形データを詳細度が異なる地形データとして格納し、格納された地形データから最高精度の地形データを出力することが可能になる。

著者らは日本主要都市について高精度(分解能 5 m)の地形データを用意した。さらに日本全土に中精度(解像度 50 m)の地形データを、さらに全球に低精度(分解能 90 m)の地形データを用意した(表1)。これにより、地球の任意の地域についてその地域で入手した地形データのうち最高精度のデータを出力可能になった。

a)



b)



図1: 日立 DioVISTA®動作画面。a)地球表示、b)都市詳細表示。©DigitalGlobe/日立ソフト。

表 1: 作成した全球地形データセットの元データ

| データソース         | 作成機関  | 範囲     | 水平分解能 | 鉛直精度   |
|----------------|-------|--------|-------|--------|
| SRTM DEM       | NASA  | 全球     | 90 m  | 1 m    |
| 数値地図 50 m メッシュ | 国土地理院 | 日本全土   | 50 m  | 1 m    |
| 数値地図 5 m メッシュ  | 国土地理院 | 日本主要都市 | 5 m   | 0.15 m |

### b) Dynamic DDMを用いた高速水害シミュレータの作成

Dynamic DDM は著者らが開発した、水害シミュレーションを高速化する計算手法である[2]。この計算手法は、浸水領域周辺に限定してシミュレートでき(図 2)、かつ浸水領域の拡がりに先行して計算領域を拡げることができる。この手法により水害を高速にシミュレート可能になった。

高精度なシミュレーション結果を得るためには、水害における水の流れを浅水方程式により表現すればよいことが知られている。著者らは 2004 年に福井市で発生した水害について浅水方程式を使用したシミュレーションの精度を検証し、現地調査による浸水域[3]とシミュレーションによる浸水域が面積比 ± 90% で一致する結果を得た(図 3) [4]。浅水方程式を以下に示す。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2}{h^{4/3}} M \sqrt{u^2 + v^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2}{h^{4/3}} N \sqrt{u^2 + v^2} \quad (3)$$

ただし、 $h$ : 水深、 $H$ : 水位(= $h+L$ ,  $L$ : 標高)、 $M, N$ : それぞれ  $x, y$  方向の単位幅あたりの流量、 $u, v$ : それぞれ  $x, y$  方向の流速( $u=M/h, v=N/h$ )、 $g$ : 重力加速度、 $n$ : マニングの粗度、 $q$ : 単位時間・単位面積あたりの流入量である。

高速水害シミュレータではこの浅水方程式を Dynamic DDM を用いて実装することにより、高精度かつ高速なシミュレーションの実現を試みた。

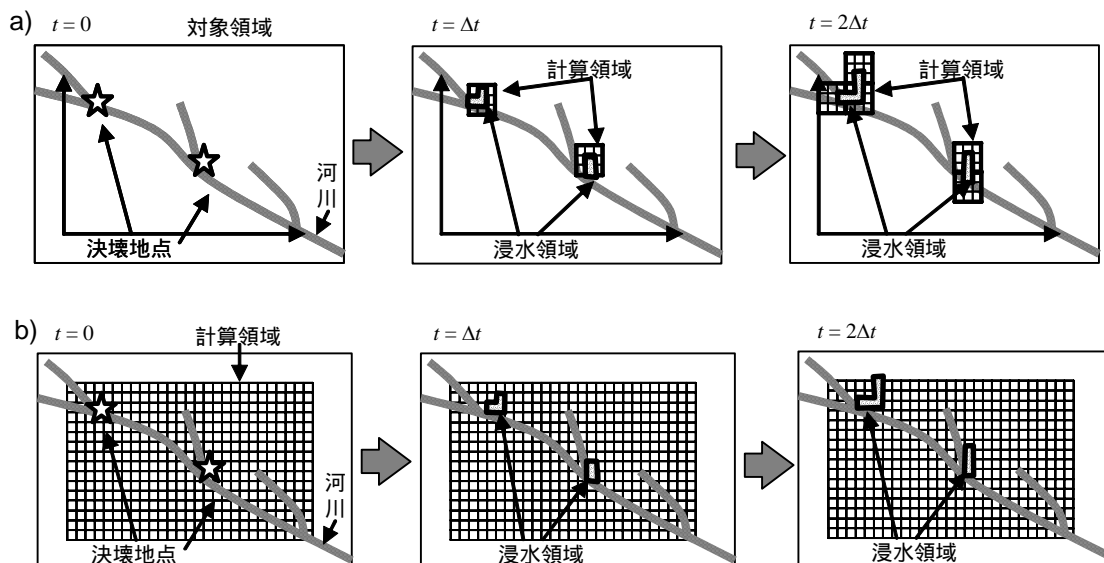


図 2: 水害シミュレーションの計算領域。a)Dynamic DDM を用いた場合、b)従来手法を用いた場合。

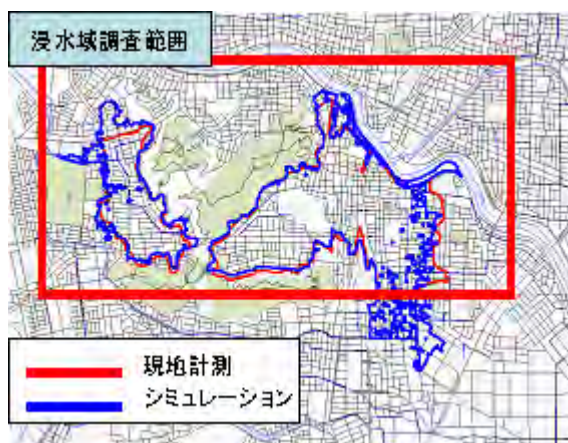


図 3: 現地計測による浸水域とシミュレーションによる浸水域の比較。現地計測による浸水域は山本[3]の調査に基づく。シミュレーションの格子間隔は 10 m とした。

### 3. 結果

上記手法 a) b)により、地球上の任意の地域における水害をシミュレート可能なソフトウェア(日立 DioVista®/Flood Simulator)を作成した。このソフトウェアは 3 次元地図上でシミュレーションの条件を設定でき(図 4, 5)、かつシミュレーション実行中にシミュレーションの途中結果がアニメーション表示される(図 6)。また、都市の形状データを利用して浸水した都市景観を生成することができる(図 7)。

本ソフトウェアが本研究の目的を達成していることを検証するため、ソフトウェアの動作速度を計測した。計測する環境は市販されているノート PC とした(表 2)。また、シミュレーションの対象を 2004 年に福井市で発生した水害とし、2004 年 7 月 18 日 12 時から 18 時までの 6.5 時間をシミュレートした。図 6 に計測中の動作画面を示す。このソフトウェアは上記の水害を 2 分 16 秒でシミュレートした。実際の水害継続時間が 6.5 時間であったことから、シミュレーションでは実際の 1/172 の時間で結果を得たことになる。

表 2: 計測した PC のスペック

|        |                                      |
|--------|--------------------------------------|
| 型式     | IBM ThinkPad® T43p                   |
| CPU    | Intel® Pentium® 4 Processor 2.13 GHz |
| OS     | Microsoft® Windows® XP Professional  |
| メモリ    | 1024 MB                              |
| ビデオカード | ATI Mobility™ FireGL™ V3200          |

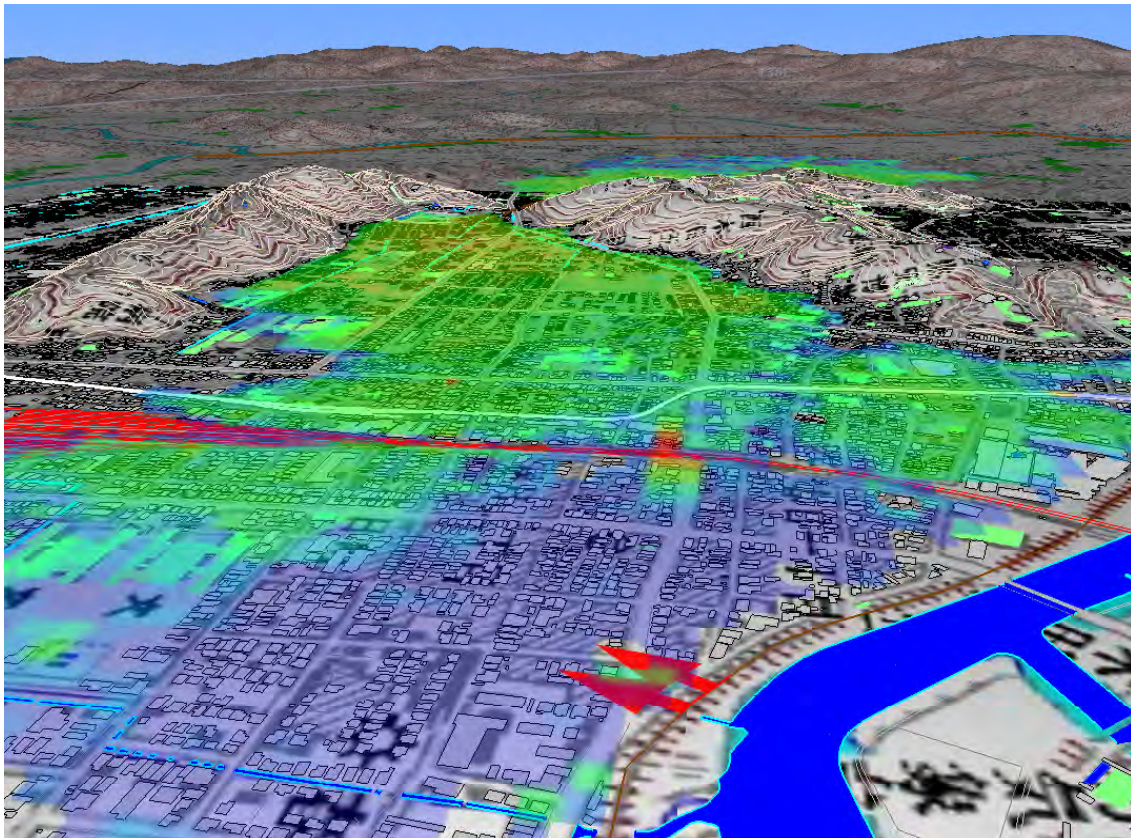


図 4: 堤防決壊箇所の拡大図。画面下部の矢印の方向部分が決壊すると指定した。

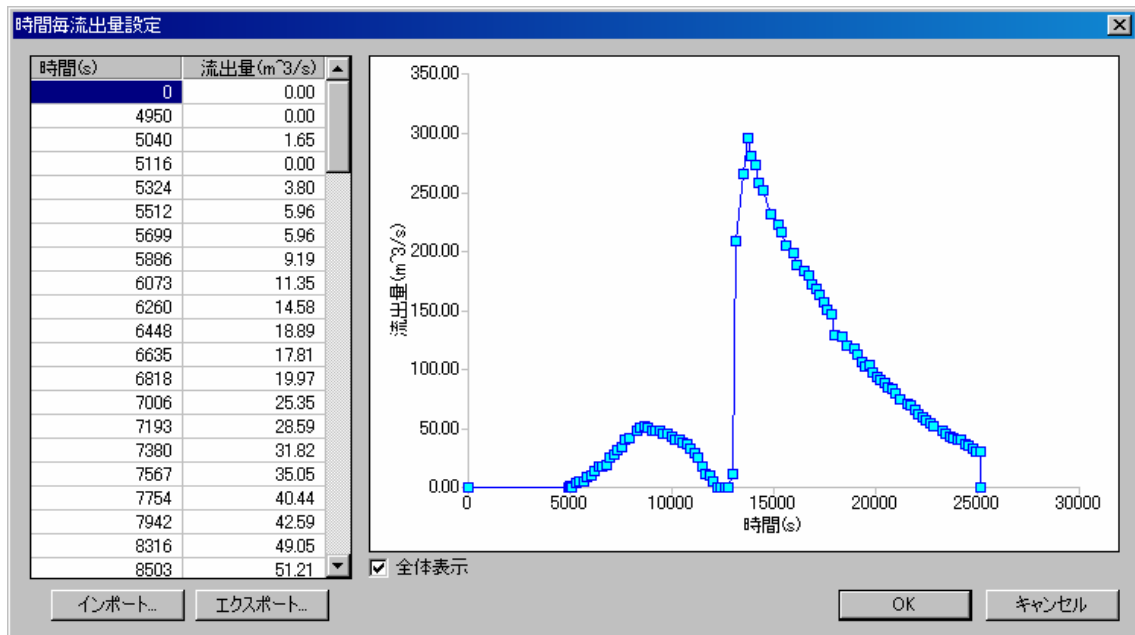


図 5: 流出量時系列設定のインターフェース。この条件を入力すれば決壊地点から市街地へ流れ込む水量が時々刻々変わることをシミュレーションで考慮することができる。

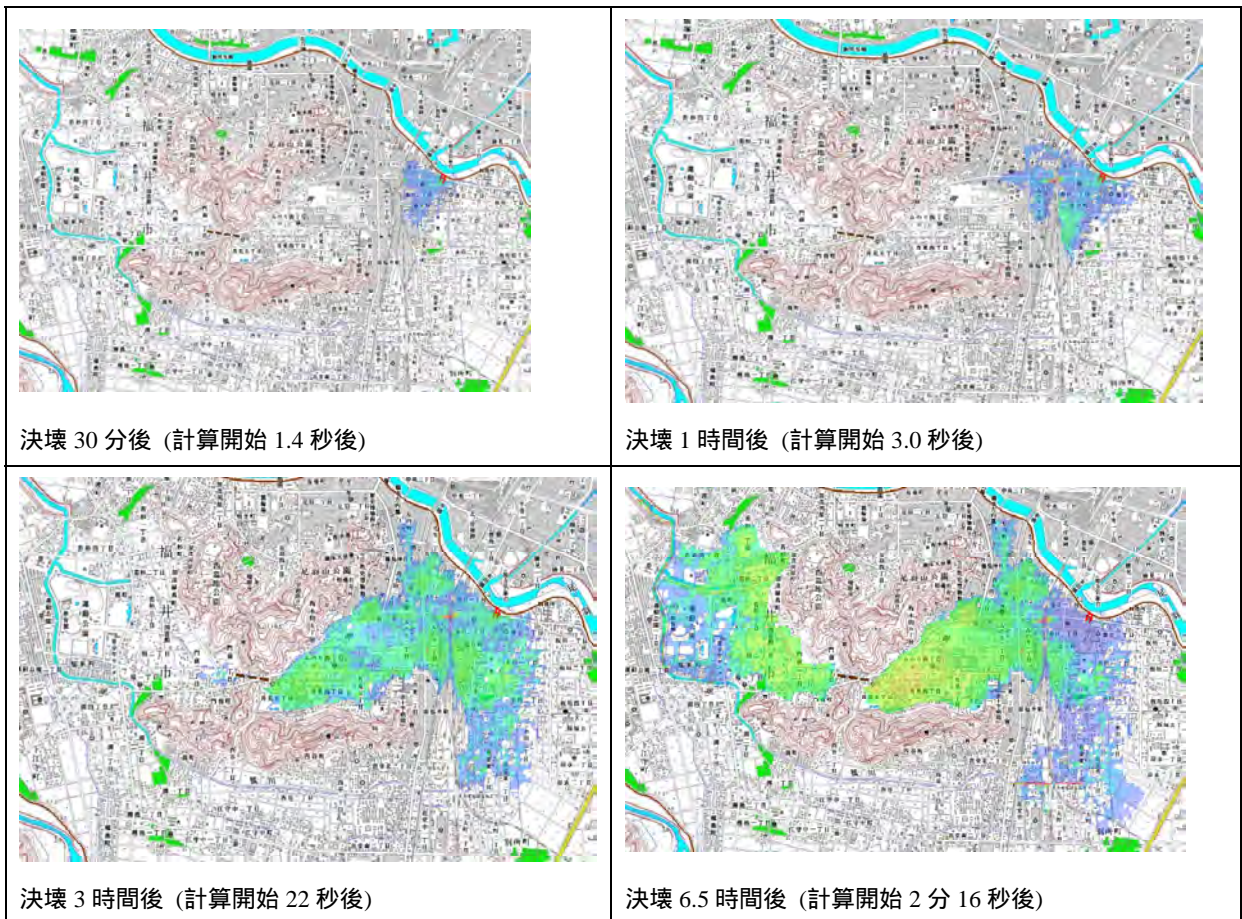


図 6: シミュレーション結果とそれに要する時間。色は浸水深を表す(青 1 cm、緑 1 m、赤 4 m)。格子間隔は 25 m とした。

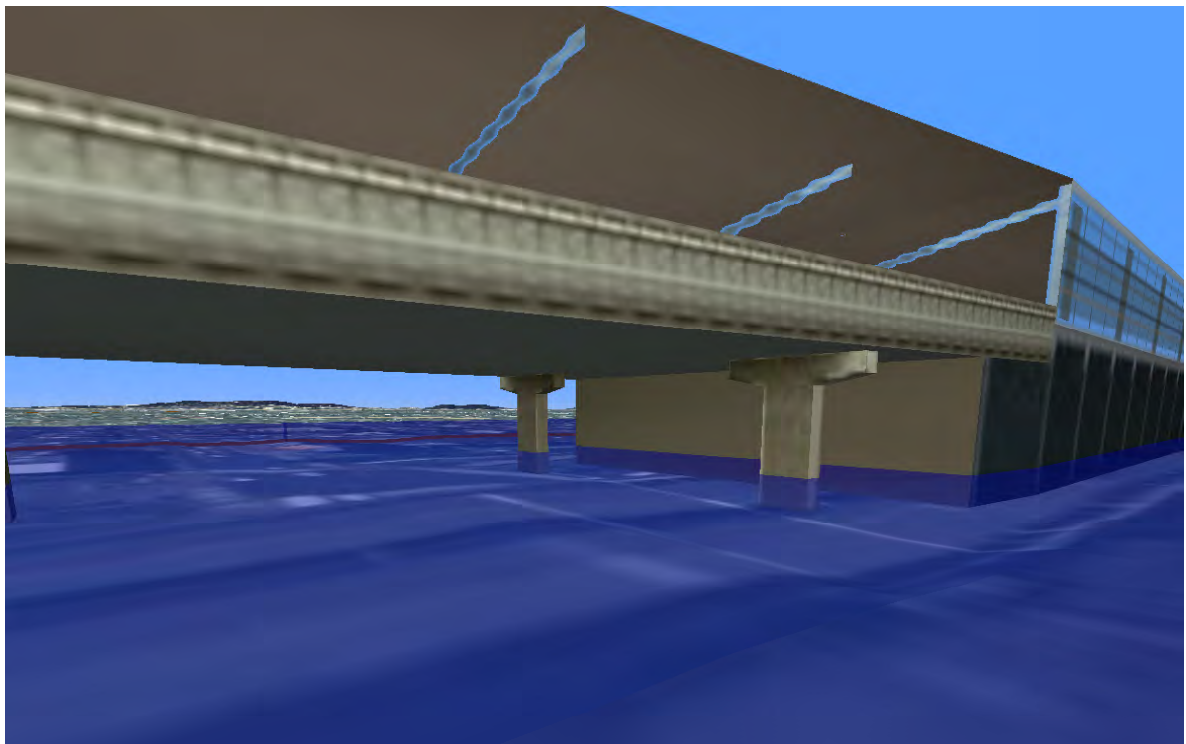


図 7: 浸水した都市景観。ビルディングや高架道路などの 3 次元形状データを地図上に配置すれば、浸水した都市の景観がシミュレーション実行中に表示される。

## 4. 議論

一般に、結果が短時間で得られるほどそのシミュレータは有用と言える。ところが、どの程度の時間で結果を出力すればどの程度有用か、という定量的な研究はなされていない。そこで、実際の 1/172 の時間でシミュレートすることにより実現可能と思われる業務を列挙し、本ソフトウェアの有用性を論じる。

### 1) 自治体の緊急時の防災業務支援

自治体は緊急時にその時点で最適と考えられる判断に基づき、住民へ避難勧告などをする必要がある。ある箇所では堤防が決壊する危険が高まった場合、本ソフトウェアを用いれば 6.5 時間後の結果を 2 分程度で得られる。また、入力した決壊箇所等が妥当であれば、結果の精度は図 3 に示す程度と考えられる。情報が得られるタイミングと精度から、この情報は避難対象とする地域の判断に有用と考えられる。

### 2) 企業の水害対策支援

企業が自社の所有する物件の水害リスクを軽減するためには、対策を具体的に実施する必要がある。所有物件で起こりうる水害を明確にイメージできれば、対策を実施する強い動機付けになる。本ソフトウェアを用いれば、図 7 に示すように物件が浸水した景観アニメーションを生成できる。また、堤防が決壊する箇所を変更するなど、前提条件を変更した場合のシミュレーション結果を 2 分程度で得られる。情報の持つ具体性と前提条件の多様性から、この情報は企業の水害対策支援に有用と考えられる。

### 3) 災害報道支援

災害報道においては、災害の全体像を短時間でわかりやすく伝える必要がある。本ソフトウェアを用いれば、決壊後時々刻々拡大する景観のアニメーションを 2 分程度で作成できる。動画作成にかかる時間的コストから、この情報は災害報道支援に有用と考えられる。

## 5. 結論

PC で高速に動作するソフトウェアによって地球上の任意の地域における水害をシミュレート可能にすることを目的とし、以下の課題 a),b)の解決を試みた。

a) 地形データの精度が地域ごとに異なるという課題を解決するため、日立 DioVISTA®を用いて地形データセットを作成した。これにより地球の任意の地域についてその地域で入手した地形データのうち最高精度のデータを出力可能になった。

b)水害のシミュレーションに長大な時間がかかるという課題を解決するため、Dynamic DDM を用いて高速水害シミュレータを作成した。これにより任意の地域について高速に水害をシミュレート可能になった。

このソフトウェアを通常の PC で動作させた場合の計算時間を計測した結果、継続時間 6.5 時間の水害を 2 分 16 秒でシミュレートすることがわかった。したがって、上記解決策により本研究の目的は達成できると考えられる。

今後、著者らはシミュレーション結果のさらなる精度向上に取り組む予定である。現在低精度の地形データを利用している地域について、高精度な地形データの収集方法を検討している。また、すでに高精度な地形データが入手できる地域に対しては用水路や排水路などの人工水路の影響を反映可能なシミュレーション方法を検討している。

## 謝辞

本論文で使用した地図の作成に当たっては、以下のコンテンツを利用した。国土地理院発行の数値地図 25000(地図画像)、数値地図 50m メッシュ(標高)および数値地図 5m メッシュ(標高)(承認番号平 17 総使、第 635 号)、株式会社ゼンリンの住宅地図 Zmap-TownII (承諾番号: Z06A-第 2396 号)、NASA Earth Observatory Global Land Cover Facility のデータセット、DigitalGlobe/株式会社日立ソフトウェアエンジニアリングの衛星写真、株式会社キャドセンターのランドマークコンテンツ。

## 参考文献

- [1] 株式会社日立エンジニアリング・アンド・サービス: リアルタイム洪水シミュレータDioVISTA /FloodSimulator, ウェブサイト, <http://www.hitachi-hes.com/products/product04/p048.html>, 2006.
- [2] 山口悟史, 岩村一昭: Dynamic DDM による氾濫シミュレーションの高速化, 情報処理学会 研究報告 数値モデル化と問題解決, Vol.2006, No.95, pp1-4, 2006.
- [3] 山本博文, 福井市街足羽川左岸および鯖江市河和田地区における浸水被害について, 平成 16 年 7 月新潟・福島、福井豪雨災害に関する調査研究, 平成 16 年度科学研究費補助金(特別研究促進費(1))研究報告書, 課題番号 16800001, p121, 2007.
- [4] 山口悟史, 岩村一昭: 2004 年足羽川洪水事例による氾濫シミュレーションの精度検証, 第 61 回年次学術講演会講演概要集 CD-ROM, 土木学会, 2006.