

1 はじめに

平成 23 年に起こった東日本大震災での津波や、ここ数年頻発するゲリラ豪雨などのように、日本では近年も水害による被害が相次いでいる。大震災では人的被害や建物の浸水被害の他、土砂災害のような二次災害も起こり、大きな被害が出ている。ゲリラ豪雨では、短時間で多量の降水量を記録するため、河川の氾濫や地下の浸水、下水の逆流といった都市型水害がみられる。

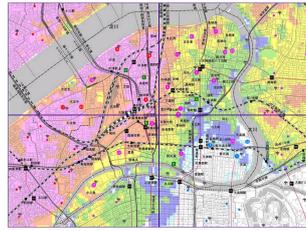


図 1: 二次元の浸水予想 [1]

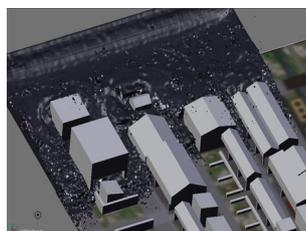
このような背景の中、防災への意識が高まっている。災害を未然に防ぐ取組だけでなく、災害が起きた時の被災規模の予想やとるべき行動を周知することも重要である。本研究では、CG を用いた浸水のシミュレーションを行い、水害が起きた時の状況を生活者の視点で可視化し、対策に役立てることを目的とする。既存の浸水シミュレーションは特定の場所で行われており、浸水予想図は図 1 のような二次元のメッシュマップで表示されていることが多い。私たちが見ている景色が浸水時にどのような状況になるか、人の目線での浸水時状況を視覚情報として示すことで、防災意識の向上を図る。

2 関連研究および技術

人間は体感的な経験だけでなく、頭の中で描かれた疑似体験によっても学習効果があるため、被災状況をイメージするだけでも災害意識向上の効果がある [2]。近年では、人間がより浸水災害時のイメージを行いやすいよう、その手助けとなる工夫の一つとして、シミュレーションが挙げられる。これには二つのタイプがあり、一つは、図 1 のような二次元表記の浸水予測図である。名前は浸水深予想や防災マップなど様々ではあるが、どれも平面的な地図にそれぞれの地域で予想される浸水深を色別に塗り分けたものである。もう一つは、立体的なシミュレーションを行った、図 2 のような三次元 CG シミュレーションである。こちらは立体的に表現されているため、建物などと比較しながら浸水深をイメージしやすいものとなっている。どちらもそれぞれの特定条件に沿ってシミュレーションした結果であり、これによって人間が災害時の状況をよりイメージしやすくなった。また、これらの浸水予想に関する資料は各地域の自治体 HP などに掲載されており、効率的な防災計画に役立てられている。



(a)[3]



(b)[4]

図 2: 既存の浸水予想

3 提案手法

本研究は、任意の場所を対象として浸水被災イメージを生成する方法を提案する。生活者の視点での写実的なシミュレーションをおこなうために、地図情報と現地の写実情報に基づいた建物の 3D モデルを作成し、CG を用いたシミュレーションを行う。3D モデルには実在する景色を撮影した画像データを用いてテクスチャをマッピングし、さらに物理的な障害物として設定する。その障害物と流体が干渉する物理シミュレーションを行うことで、浸水時の状況を仮想空間で再現する。また、より人の目線での見え方に近づけるため、その仮想空間に存在する人のスケールでカメラの位置を設定する。

3.1 3D モデルの作成

仮想空間で実在する 3D モデルを作成するには、まず俯瞰視点の地図情報を基に、建物の輪郭を型どった立体オブジェクトを作成する。こうして地図上に並んだ立体モデルを障害物として設定することで流体との物理シミュレーションが可能となる。また、仮想空間のモデルを現実のものへと近づけるため、実在する建物の画像データをテクスチャとしてモデルに適用する。地図上で対応する建物の画像データは、Google ストリートビューを利用する。

3.2 流体シミュレーション

流体シミュレーションには格子法と粒子法があるが、本研究では格子法を扱う。格子法の中でも、非圧縮性粘性流体ならびに気液液液二相流体の流れ解析法として、格子ボルツマン法が近年注目されている。

格子ボルツマン法 (Lattice-Boltzmann Method: LBM) は、流体の表面の動きを計算する、アート分野に根ざした流体力学の計算方法であり、膨大な数のパーティクル (粒子) が移動して相互に衝突する流体の表面を、三角形のラティスの集合として扱い、パーティクルの衝突による力の移動が流体の動きを作る。この方法論は、説得力のある流体の動きの作成に有効で、流体の特性に影響する様々なパラメーターを設定できる。計算が局所的に行われるため、アルゴリズムを並行化できる。LBM は、CG アニメーションのように流体と固体が細かく相互作業を及ぼすシミュレーションで望まれるものである。

LBM とは、流体を多数の仮想粒子の集合体 (格子気体モデル) で近似し、各粒子の衝突と並進とを粒子の速度分布関数を用いて逐次発展させることにより、そのモーメントを計算することによって、流体の熱流動場を求めるシミュレーション法である [5]。LBM では、空間の離散化に数種類の格子が用いられ、粒子の分布や衝突の演算子およびシミュレートすべき流体の種類によって、いくつかの基本的なモデルに分類される。LBM において空間は規則的な格子によって一様に離散化される。時刻 t 、位置ベクトル r の格子点近傍における一連の粒子運動 (衝突と並進) は、分布関数 $f_a(t, r)$ を用いて

$$f_a(t + \tau, r + c_a\tau) = f_a(t, r) + \Omega_a[f_a(t, r)] \quad (1)$$

と表される．この式は格子ボルツマン方程式と呼ばれ，ここで τ は時間刻み， c_a は分布関数 f_a で示される粒子の並進速度である．右辺第二項の Ω_a は，衝突による粒子分布の変化を表す衝突演算子であり， \square 内の分布関数の集合 $f(t, r) = f_a(t, r); a = (p, k, i)$ は， Ω_a が全ての粒子を含む相互作用の総和であることを意味している．ここでの $a = (p, k, i)$ とは正方形格子および立体格子上で，速さが複数種類存在する粒子分布のことであり， $c_a = k\sqrt{pc}$ と表され， p は副格子形状の種類， k は速さの倍率， i は速度方向の指標のことである．式 (1) の左辺は，衝突過程後に粒子が $c_a\tau$ 離れた近接の格子点に移動する並進過程を表しており，この式からわかるように LBM は陽的な時間発展スキームである．LBM における基本的な計算手順を図 3 に示す．

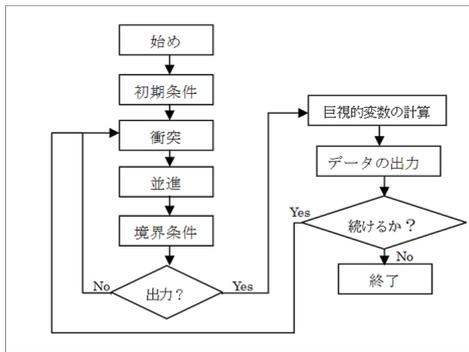


図 3: LBM における計算の流れ図

4 実験

4.1 実在する場所の 3D モデルの作成

本研究では 3D モデルを作成するにあたって，SketchUp Pro を用いて地図に基づいたモデル作成を行った．SketchUp Pro は，米 Google Inc. が開発・提供している 3 次元モデリングソフトウェアであり，基本的に平面図形をプッシュ/プルするだけで立体的なモデルを作成できるため，簡単な操作で 3D モデルを作成できる．また，テクスチャとしてストリートビューの画像を用いることが可能である．これらの機能を使って作成した梅田の一部の街モデルが図 4 である．



図 4: 梅田の 3D モデル

4.2 Fluid シミュレーション

今回は効率的かつ迅速的にシミュレーションを行うため，格子ボルツマン法が実装された CG シミュレーションソフト，Blender を用いた．Blender は，オープンソースの三次元コンピュータグラフィックスソフトウェアの一つであり，特徴的で効率の良い独自のユーザインタフェースを持つ．3D モデルの作成，モデリングやレンダリング機能を備えたフリーソフトであるが，様々な物理シ



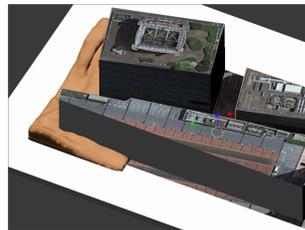
図 5: シミュレーションの全体像

ミュレーションも可能である．

本研究では，物理シミュレーション機能の中の Fluid シミュレーションを用いる．作成した 3D モデルをインポートし，障害物として設定を行う．その他に流体シミュレーションに必要な Domain オブジェクトや Inflow オブジェクトを追加し，流体の設定を行い，シミュレーションを実行する．

5 結果

作成した 3D モデルを Blender にインポートし，障害物としての設定を行い，障害物と流体の干渉シミュレーションとして動作させることができた．図 6 の (a) のように，水が流れるような挙動も確認できた．図 6 の (b) のように，発生する流体の厚みが大きすぎる問題が見受けられた．これは，モデルを現実世界のスケールを忠実に，正確に作成していないことに加え，流体の物理的特性の設定が不十分であることが原因と思われる．



(a)



(b)

図 6: 浸水の様子

6 おわりに

本研究は，実在する空間を仮想空間で 3D モデル化し，CG を用いた物理シミュレーションと組み合わせることで，浸水時の被災イメージを生成する手法を示した．

3D モデルを作成し，障害物として設定することで，物理シミュレーションを行った際に，流体とモデルが干渉の様子を観察することができた．これにより，建物の配置や水の流入源の位置関係によって，水の流れや浸水深がイメージしやすくなった．また，地図に基づいた立体オブジェクトの作成や，ストリートビューの画像を用いることで，より実在空間に近いモデル化が実現可能となった．今後の課題としては，流体の物理的設定を改善して現実の物理条件や気象データなどを基にしたパラメータ設定の指針を確立することが挙げられる．また，標高を考慮したシミュレーションへの応用も考えられる．

参考文献

- [1] 大阪市 各地区の防災マップ (北区)
<http://www.city.osaka.lg.jp/kikikanrishitsu/page/0000011595.html>
- [2] 東京大学目黒公郎教授 国内有識者インタビュー:2007年4月
<http://e-public.nttdata.co.jp/files/user/img/bf2008/pdf/DIGITAL%20GOVERNMENT2007.pdf>
- [3] 和歌山大学防災研究教育センター 防災アーカイブス，津波 CG
<http://www.wakayama-u.ac.jp/bousai/bousai.old/index-old.htm>
- [4] Blender で SIM 水害シミュレーションの研究：ぱすてる，2008．<http://pastel.slmame.com/e382157.html>
- [5] 格子気体法・格子ボルツマン法 新しい数値流体力学の手法：蔦原 道久，高田 尚樹，片岡 武 pp. 56-80，コロナ社，1999．