

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510239

研究課題名(和文) 写實的災害イメージ生成のための実測モデリングによる対話的シミュレーション

研究課題名(英文) Interactive Simulation for Photo-realistic Flood Disaster Scenery Generation with Measurement-based Modeling

研究代表者

安室 喜弘 (Yasumuro, Yoshihiro)

関西大学・環境都市工学部・准教授

研究者番号：50335478

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：津波や台風などの広域規模で想定される被災状況を，身近な局所環境における具体的影響として，各地域別，程度別のシミュレーションにより推定される情報を3次元映像化する技術を提案した．屋外用レーザー scanner による3次元計測の計画・運用・モデル化の基盤技術を開発し，粒子モデルに基づく固液混層流としてシミュレーションと組み合わせ，水害の予測状況を利用者に分かり易いCGとして可視化する技術的な枠組みを検討した．最終的に，利用者視点での実写風景に整合させて表示する拡張現実感表現による浸水被害予測状況の映像化を実現した．

研究成果の概要(英文)：It is important to spur the self-reliant efforts to cope with the inevitable disaster by preparing individual acting plans in emergency situations. Hazard map is prevailed lately, but 2D mapped estimated flooding distribution does not really give a clear image of what is going to happen in individual vicinity. This project proposes a novel method for creating a flooded imagery, which can be used for an interactive type of hazard maps. The proposed method is based on a combination of fluid simulation and measured 3D models of the actual environment which is capable of producing estimated flooded situation under several different climate conditions. Furthermore, an augmented reality (AR) technique is developed to display a photo-realistic flooded imagery by overlaying estimated flooding situation onto actual photos and videotaped surroundings, so that the user can be encouraged to associate the disaster information with the action you have to take.

研究分野：画像工学

キーワード：安心の社会技術 ハザードマップ 災害イメージ 浸水シミュレーション 拡張現実感

### 1. 研究開始当初の背景

東日本大震災での津波に代表されるような大規模な被害のほか、極めて短時間の豪雨による内水氾濫や地下浸水といった都市型水害が近年頻発しており、ハード面での整備により自然の猛威を封じ込めることの限界と、避難行動における判断の速さが生死を分ける局面を多く目の当たりにしている。

防災意識が高まる昨今、国土地理院発行のメッシュデータなどのように汎用的な地理情報に基づいた広域での災害シミュレーションや被災予想が可能となっているが、局地的に予想される状態については、地図上に描かれた抽象的な予想情報からは、一般市民にとっては想像の域を出ない場合も多い。

一方、災害情報の共有に関する取り組みが各自治体でも進んでおり、例えば兵庫県では、洪水や土砂災害、高潮、津波による危険度や避難情報を記載した CG ハザードマップを充実させている<sup>文献</sup>。同マップでは、河川の浸水想定区域、土砂災害危険箇所などの他、津波の 3 次元 CG 動画といった情報を備えている。3 次元動画は、配信はオンラインであるが、動画制作はオフライン処理によるため、対象地点、浸水程度、観察視点などを任意に選んで観ることはできない。大規模な水害を身近に起こり得る事態と捉え、市民レベルでの防災意識を高めるためには、明確な災害イメージと行動の判断材料が重要である<sup>文献</sup>。ICT の活用も含め、ますますソフト面での対応が望まれている現状がある。

### 2. 研究の目的

本研究では、津波や台風などの広域規模で想定される被災状況による、身近な局所環境での具体的影響として、各地域別、程度別のシミュレーションにより推定される情報を、3 次元映像化する技術の創出が目的である。

詳細な形状計測に基づいて実環境を写實的にモデル化し、起こり得る災害状況をリアルタイムシミュレーションにより対話的な可視化技術を開発する。この技術的枠組みにより、各地域に密着した被災状況を、様々な想定下で分かりやすく視覚化し配信するという専門性の高い技術が、安全なまちづくりの施政において手近になることが期待できる。

### 3. 研究の方法

研究の枠組みとしては、(1) 浸水被災予測に必要な環境の 3D モデル化、(2) 粒子法に基づいた流体シミュレーションによる浸水挙動の表現、(3) 拡張現実感を利用した現地ユーザ視点での浸水予測状況の可視化が、それぞれポイントとなる。

(1) 環境の 3D モデル化のためのレーザスキャナの運用最適化手法

身の回りの環境を 3 次元の「オブジェクト」として仮想化することにより、後述の浸水を表現する粒子法によるオブジェクトとしての「水」との干渉を力学的に計算することが

可能となる。設計図面に基づくよりは、ありのままの現状を 3 次元データすることを主眼に置き、既設のレーザスキャナを活用した。

サーバ・クライアントシステムの実装

研究開始当初より、我々の技術シーズの一つとして、数値計画法を用いたレーザスキャナ配置計画の最適化手法<sup>文献</sup>の利用を考えていたが、机上での事前計画と、作業開始時の現場状況とでは、さまざまな不可避な差異が生じ、スキャンを実施するためには、計画の修正あるいは立案のやり直しが必要となる場合がある。したがって、比較的計算負荷の高い機能をサーバ側に具備して、現場の状況を合わせて、スキャン配置計画の最適化計算に必要なパラメータを入力できるクライアント端末と通信させるシステムによる、柔軟で実用性の高い運用の実現を図った。図-1 に示すように、クライアント側には HTML5 の基準を積極的に採り入れ、3 次元グラフィックスの描画と操作により、現地で 3 次元モデルを編集することによって、スキャン計画に必要なパラメータが自動算出される仕組みを確立した。

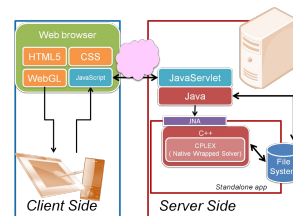


図-1 サーバ・クライアントシステム

SFM (Structure from Motion) の活用による現場とモデルとの整合性の向上

現地周辺の地形、植生などによる、スキャナから対象物の視認性の影響を、詳細に考慮するために、事前調査で簡単なビデオ撮影を行い、さまざまな視点からの撮影画像を収集して、写真測量の原理で得られる現地シーンの 3 次元復元を行う SFM (図-2 参照) を活用する方法を提案した。煩雑な事前作業を要せずに、現地状況を詳細に勘案したスキャン計画の立案が可能になる。

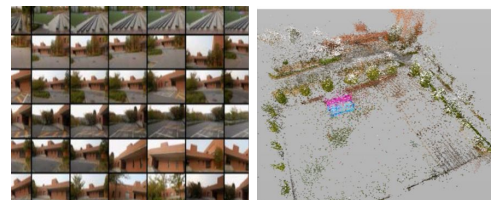


図-2 SFM により画像群 (左) から再構成された被写体の 3 次元点群 (右)

(2) 粒子法に基づく浸水状況の可視化手法

津波や河川の氾濫のほか、局地的な降雨量と排水設備の許容量の関係から浸水深の予測が可能であるが、このような浸水予測に対して、市民一人一人の所在地や現在地点における浸水予測状況を分かりやすく可視化するためには、3 次元空間での地物と浸水との関

係を再現する必要がある。図-3 に示すように、レーザスキャンを用いて得られる地物の形状データと仮定の浸水挙動とをシミュレーションにより同一空間で干渉させることにより、この可視化が可能となる。実測される地物の3次元データを粒子モデルに置き換えることにより、比較的容易に流体と固体との干渉挙動を計算できるため、これにより得られる浸水水面情報を後述の浸水状況可視化プロセスで用いる。

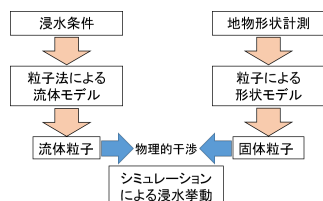


図-3 粒子法による浸水挙動の表現

### (3) マーカレス拡張現実感表示による浸水状況の動画オーサリング

シミュレーションにより身の回りでの詳細な浸水深が推定されれば、実空間と照らして水面を可視化することにより災害イメージが明瞭になる。そこで、任意の実写映像シーンに合わせて、浸水水面を重畳する拡張現実(AR)表現を実現する。カメラ視線の動きは、映像の動きから自然特徴点の追跡により推定することができ、地物と浸水の関係は3次元モデルと水面との幾何学的関係で表現できるため、カメラ視点から見たときの地物と水面との隠れ関係を描画することによりAR表現が実現できる。(図-4)

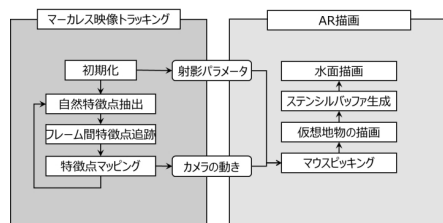


図-4 マーカレスARによる浸水表現手法

## 4. 研究成果

前章の各方法論について、次に成果を示す。

### (1) 環境の3Dモデル化のためのレーザスキャナの運用最適化手法

提案手法において、クライアント側にはタブレットPC (Sony XPERIA, NVIDIA Tegra2 1GHz, 1 GB RAM) を、サーバ側にはデスクトップPC(Core2 Quad, 2 GHz, 2 GB RAM) を用いて実装した。(図-5) 大学構内でのスキャン実験を行ったところ、事前計画で考慮されていなかった植生や、外構などにより、計画されたスキャナ位置からは対象物を見通せ



図-5 実装したクライアントを利用する様子

ないという問題があったが、現場で計画を改善しながらスキャンを実施することが可能となった。改善前後のスキャン計画で計測結果を比較すると、対象物壁面の計測漏れを最大15%解消できたケースも確認された。

### (2) 粒子法に基づく浸水状況の可視化手法

計測により得られた自家用車の3次元メッシュ形状モデルを約1400個の粒子モデルに変換し、約11,000個の流体粒子モデルと干渉させたシミュレーション例を図-6に示す。個体を表現する粒子モデルは汎用性があり、あらゆる地物に置き換えられる。流体粒子で構成される水面を抽出することにより、局所的な地物や地形を反映した予測浸水深の情報として利用できることがわかった。

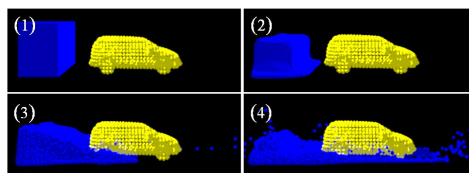


図-6 流体・固体の干渉シミュレーション例

### (3) マーカレス拡張現実感表示による浸水状況の動画オーサリング

比較的軽微なタブレットPC (Sony製VAIO Duo11, Windows8 Pro, Intel Core i7 2.0GHz) に提案手法を実装し、図-7に示すように、架空の浸水深を身の回りの環境においてAR表示させる実験を行った。詳細な浸水深情報が得られれば、地物と水面との隠れ関係が適切に表現された、浸水状況のAR表示映像の生成が可能となった。このように、任意の身近な生活環境において、予想浸水深の程度を映像化することが災害イメージの想起と行動の判断基準として有効であると考えられる。また、ライブ映像だけでなく、既存の映像資料を素材として利用することも可能であり、従前のハザードマップに対する情報の拡充にも利用できるものとする。



図-7 地物形状に合わせたAR表現の例

### <引用文献>

- 石井一郎 他, 防災工学 第二版, 森北出版, 2005.
- 兵庫県CGハザードマップ  
<http://www.hazardmap.pref.hyogo.jp/hazmap/top.htm>
- Dan et al., Shape Measurement Planning of Outdoor Constructions with Mathematical Programming and its Practical Applications, International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, pp. 319-329, 2010.

5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計8件)

1. 北田 祐平, 安室 喜弘, 檀 寛成, 西形 達明, 石垣 泰輔, 井村 誠孝, SfM に基づいた屋外レーザスキャンの最適計画 (2015): 土木学会論文集 F3, Vol. 70, No.2, pp.1\_257-1\_264. 査読有
2. 安室 喜弘, 鵜野 康平, 地物と水面の位置関係を考慮した浸水状況の AR 化手法 (2015): 土木学会論文集 F3, Vol. 70, No.2, 2015, pp.1\_222-1\_226. 査読有
3. 井上 裕貴, 安室 喜弘, 檀 寛成, 小林 晃, パイプライン館内形状の連続的な三次元画像形状計測手法(2015): 土木学会論文集 F3, Vol. 70, No.2, pp.1\_243-1\_248. 査読有
4. Yusuke Inui, Yoshihiro Yasumuro, Hiroshige Dan, A Server-Client System for Optimized Planning of Outdoor 3D Laser Scanning, Journal of Society for Social Management Systems (2015): Vol. 3, SMS13-272. 査読有
5. 増田達紀, 石垣泰輔, 島田広昭, 戸田圭一, 密集市街地における外水氾濫時の地下空間浸水について (2015):土木学会地下空間シンポジウム論文・報告集, 第20巻, pp.109-116. 査読有
6. 寺田光宏, 石垣泰輔, 島田広昭, 密集市街地における地下駅浸水について (2015):土木学会地下空間シンポジウム・報告集, 第20巻, pp.117-122. 査読有
7. 檀 寛成, 最適化技術が現場で真価を発揮するには (2014):オペレーションズ・リサーチ, 2014, Vol.59, No.5, pp.260-226. 査読有
8. 戸田圭一, 石垣泰輔, 尾崎平, 西田知洋, 高垣裕彦, 氾濫時の車の漂流に関する水理実験 (2012):土木学会河川技術論文集, Vol.18, , pp.499-504. 査読有

〔学会発表〕(計22件)

1. 安室喜弘, エジプト考古学における3次元測量計画とその利用について(2015): 日本情報考古学会, 03/28. 大阪大学(大阪・豊中)
2. Hiroki Inoue, Hiroshige Dan, Akira Kobayashi and Yoshihiro Yasumuro, Inner Surface Measurement with RGB-D Camera Using Multiple Light Markers (2014): 14th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR2014), 2014, 11/16-18. Sharjah (UAE) 査読有
3. Yuhei Kitada, Hiroshige Dan, Yoshihiro Yasumuro, Taisuke Ishigaki, Tatsuaki Nishigata, Masataka Imura, 3D-Scan Planning of Outdoor Constructions Based on Structure from

Motion and Mathematical Optimization (2014): 14th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR2014), 11/16-18. Sharjah (UAE) 査読有

4. 安室喜弘, 浦中勇佑, 防犯灯シミュレーションのための実測に基づいたモデル化手法(2014): 土木情報学シンポジウム, 09/24-25. 土木学会(新宿・東京) 査読有
5. 北田祐平, 安室喜弘, 檀寛成, 西形達明, 石垣泰輔, 井村雅孝, SfM に基づいた屋外レーザスキャンの最適計画(2014): 土木情報学シンポジウム, 09/24-25. 土木学会(新宿・東京) 査読有
6. 安室喜弘, 鵜野康平, 地物と水面の位置関係を考慮した浸水状況の AR 化手法 (2014): 土木情報学シンポジウム, 2014, 09/24-25. 土木学会(新宿・東京) 査読有
7. 和田章宏, 井村誠孝, 黒田嘉宏, 浦西友樹, 大城理, 気管内圧を考慮した肺変形シミュレーション(2014): 計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会若手研究発表会, 01/17. 常翔学園(大阪市)
8. Gregory De COSTA, Taisuke ISHIGAKI, Yosuke MORIMOTO, Taira OZAKI, and Keiichi TODA, Drifting condition of motor vehicle and road configuration during flood (2014): 19th IAHR-APD Congress, 4, 09/21-24. Hanoi(Vietnam) 査読有
9. 吉川雅志, 森本陽介, 川中龍児, 石垣泰輔, 島田広昭, 内水氾濫時の大規模地下空間浸水時の安全非難について(2014): 土木学会第69回年次学術講演会, 09/10-12. 大阪大学(大阪・豊中)
10. 浅野統弘, 森本陽介, 尾崎平, 石垣泰輔, 津波氾濫時における密集市街地の地下空間浸水について(2014):土木学会第69回年次学術講演会, 09/10-12. 大阪大学(大阪・豊中)
11. Ryosuke Yokohata, Masataka Imura, Yuki Uranishi, Shunsuke, Yoshimoto, Yoshihiro Kuroda, Osamu Oshiro, Pitching Simulation with usculoskeletal Model of Hand (2014): Digital Human Modeling Symposium, 05/20-22. Tokyo (Japan) 査読有
12. Yoshihiro Yasumuro, Masanori Aoki, Hiroshige Dan, Taisuke Ishigaki, Tatsuaki Nishigata, Masataka Imura, Object Surface Modeling for Particle-Based Fluid Simulation (2013): The First International Conference on Civil and Building, Engineering Informatics (ICCBIEI2013), 11/07-08. Tokyo (Japan) 査読有
13. Hiroshige Dan, Yoshihiro Yasumuro, Taisuke Ishigaki, Tatsuaki Nishigata, Masataka Imura, A Practical Scan Planning for Shape Measurement of Outdoor Constructions (2013): The First International Conference on Civil and Building, Engineering Informatics (ICCBIEI2013), 11/07-08. Tokyo (Japan) 査読有

14. Yoshihiro Yasumuro, Shizuka Kusakabe, Hiroshige Dan, Masahiko Fuyuki, 3D barrier free verification for wheel chair access (2013): Proceedings of the 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR2013), 10/30-31. London (UK) 査読有
15. Hiroshige Dan, Yoshihiro Yasumuro, Taisuke Ishigaki, Tatsuaki Nishigata, Masataka Imura, 3D-scan planning of outdoor constructions based on photogrammetric model and mathematical optimization (2013): Proceedings of the 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR2013), 10/30-31. London (UK) 査読有
16. Yukinori Kawae, Yoshihiro Yasumuro, Ichiroh Kanaya, Fumito Chiba, 3D Reconstruction of the “Cave” of the Great Pyramid from Video Footage (2013): Digital Heritage International Congress, 10/28-11/01. Marseille (France) 査読有
17. Hiroshige Dan, Yoshihiro Yasumuro, Taisuke Ishigaki, Tatsuaki Nishigata, Onsite Planning of 3D Scanning for Outdoor (2012): Proceedings of the 12th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR2012), Nov.2-3. Taipei (Taiwan) 査読有
18. Yoshihiro Yasumuro, Takashi Shimomukai, Hiroshige Dan, Masahiko Fuyuki, Solar Radiation Survey Method with Image Stitching (2012): Proceedings of the 12th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR2012), 2012, Taipei (Taiwan) 11/2-3. 査読有
19. Masataka Imura, Yoshihiro Kuroda Osamu Oshiro, Real-time Rendering Method of Virtual Liquid in Mixed Reality Environment with Automatic Generation of Sound Effect (2012): Proceedings of the International Display Workshops, 12/01-03. Kyoto (Japan) 査読有
20. 堀川康太, 木原隆典, 井村誠孝, 大城理, 三宅淳, 細胞内物理環境の流体シミュレーション(2012): 生体医工学シンポジウム, 09/07-08. 大阪大学(大阪・豊中) 査読有
21. 西田知洋, 戸田圭一, 石垣泰輔, 尾崎平, 高垣裕彦, 氾濫時の車の移動限界に関する水理実験(2012): 土木学会関西支部年次学術講演会, 06/09. 神戸高専(神戸・兵庫)
22. 吉川雅志, 高垣裕彦, 石垣泰輔, 戸田圭一, 尾崎平, 水災害時の水没者に作用する流体力と抗力係数に関する実験(2012): 土木学会関西支部年次学術講演会, 06/09. 神戸高専(神戸・兵庫)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

安室 喜弘 (YASUMURO, YOSHIHIRO)  
 関西大学・環境都市工学部・准教授  
 研究者番号: 50335478

### (2) 研究分担者

西形 達明 (NISHIGATA, TATSUAKI)  
 関西大学・環境都市工学部・教授  
 研究者番号: 40121892

石垣 泰輔 (ISHIGAKI, TAISUKE)  
 関西大学・環境都市工学部・教授  
 研究者番号: 70144392

井村 誠孝 (IMURA, MASATAKA)  
 大阪大学・基礎工学研究科・准教授  
 研究者番号: 50343273

檀 寛成 (DAN, HIROSHIGE)  
 関西大学・環境都市工学部・助教  
 研究者番号: 30434822