

防災研究・防災対策のための複合現実型情報提示 - ジオラマを利用した対話型動的 3D ハザードマップ -

坂井 陸一[†] 横江 祥吾[†] 木村 朝子[‡] 柴田 史久[‡] 田村 秀行[‡]

† ‡ 立命館大学情報理工学部 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1 丁目 1-1

E-mail: † {r_sakai, yokoe}@rm.is.ritsumeikan.ac.jp, ‡ {asa, fshibata, hideytam}@is.ritsumeikan.ac.jp

あらまし 現実の光景にCG映像を重畳表示するMR技術は新たな情報提示技術としての発展を期待されている。本稿では、MR技術の新しい応用分野として、防災研究・防災対策を取り上げ、過去にあった顕著な災害状況や今後起こり得る災害のシミュレーション結果をMR情報提示するシステムを実現する。まず、ジオラマ（地形縮小模型）にCG映像を重ねるMRシステムを開発し、洪水シミュレーション結果を観察するアプリケーションや地下構造を観察するアプリケーションを実装、その有効性を確かめた。さらに、今後モバイル型MRシステムを活用して屋外へと展開する計画に関しても言及する。

キーワード 複合現実感, 防災

Mixed Reality Based Information Presentation for Disaster Prevention Studies and Disaster Measures - Showing an Interactive Dynamic 3D Hazard Map Superimposed on Diorama -

Rikukazu SAKAI[†], Shogo YOKOE[†], Asako KIMURA[‡],

Humihisa SHIBATA[‡], and Hideyuki TAMURA[‡]

† ‡ College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University 1-1-1 Nojihigashi,

Shiga, 525-8577 Japan

E-mail: † {r_sakai, yokoe}@rm.is.ritsumeikan.ac.jp, ‡ {asa, fshibata, hideytam}@is.ritsumeikan.ac.jp

Abstract Mixed-Reality, a technique to superimpose CG image on real scene, is expected as a new way of information visualization and presentation. We take up "Disaster Prevention Studies and Disaster Measures" as new application field of MR technology, and develop a system of visualizing simulations of the disasters that have occurred previously or has a possibility for occurring in the future. First, we developed a system of superposing CG image on diorama (geographical miniature model). Next, we implement the application to observe the flood simulation results or subsurface construction, and confirm the effectiveness. Furthermore, we offer another suggestion that is the way to expand this system to mobile type to use it outdoors.

Keyword Mixed Reality, disaster prevention

1. はじめに

現実空間と仮想世界を融合する複合現実感 (Mixed Reality; 以下 MR) は、近年活発な研究開発が行われ、これまでに医療、建築・都市設計、工業製品の設計・組立、対話型エンターテインメント等への応用が試みられている [1] [2]。MR 技術は、人工現実感 (VR) の発展形であるが、実世界の自然な光景にも人工的な工作物上にも、コンピュータで生成した多様な電子データを重畳描画して表現できることから、むしろフル CG 画像を用いる VR よりも用途は広く、新しい情報提示技術として発展する大きな可能性を秘めている。

我々は、MR 技術の新しい応用分野として、防災研究・防災対策を取り上げて研究を開始した。かけがえ

のない人命や文化遺産を守るための防災対策や、万一災害が発生した場合にその影響を最小に食い止めるための防災研究には、最新技術を活用して防災を万全なものとするのが期待される。一方、情報技術側から見れば、防災という課題は対象が明確であるが、不正確な情報提供が許されない厳しい課題でもある。従って、このような課題に耐え得るように開発・改良された情報技術は、他の用途にも広汎な波及効果をもたらすことが期待できる。

本稿では、主として想定災害のシミュレーション結果をジオラマ上に表示する MR システムについて、その目的・意義、具体的なシステム、問題解決に関して述べる。また、今後モバイル型 MR システムを活用し

て屋外へと展開する計画に関しても言及する。

2. 防災情報の MR 情報提示の意義

現在防災研究は多岐に渡り、最新技術を駆使して活発に行われている。しかし、その研究成果である災害予測や、それを基にした既存のハザードマップでの災害情報の表現力は乏しい。平面の地図上に災害範囲を塗りつぶしたもののや、災害箇所を示したもの、グラフや数値データ等が表示されているに過ぎない。

また、災害予測を 3D-CG で表現したものもあるが、これらは一般に固定視点のムービーや、視点移動が出来ても操作が煩雑なものが多い。想定災害をプレゼンテーションするという目的には、平面地図は見慣れた地理情報との関連がつけやすいが、リアリティに欠け、住民に危機意識を持たせづらい。また、固定的な情報提示となるため、被プレゼンテーション者個々人の必要とする情報を、柔軟かつ説得力をもって提示する能力に欠けている。

MR 技術を防災プレゼンテーションへ用いることを考えた場合、従来の情報提示手法に比べて、以下のような特長がある。

- 可変な（動的かつ更新可能な）CG 映像の両眼立体視表示
- 体験者の任意視点移動
- 体験者複数人での複合現実空間の共有

こうした情報提示能力に優れ、直観に訴えるプレゼンテーション手法の実現により、防災対策の検討・見直し、行政や住民へのプレゼンテーションに威力を発揮すると考えられる。

重畳描画の対象となる実物・実世界としては、大局的な情報提示の場合に屋内でジオラマ（地形縮小模型）を導入する。平面地図に比べて、ジオラマは立体感や対象地域を識別しやすいという利点があり、体験者がメンタルモデルを形成しやすい。一方、臨場感のある局所的な情報提示には過去の災害や想定災害の現場に出かけ、実世界の光景そのものを用いる。

本研究では、取り扱う災害として洪水・土砂災害・火災等を想定し、各々の専門家による災害シミュレーション結果の表示を行なう。また、過去の被災史の可視化結果や、地震研究に役立つ地中データの MR 表示に関しても試みている。

3. ジオラマ上へ MR 提示と位置合わせ手法

3.1. 予備実験システム

災害の研究対象は多数の歴史的文化的文化財が現存する京都を対象にし、三条大橋付近を中心とした 6km × 5km の領域をカバーする、縮尺 1/4,000 のジオラマを用いることにした。ユーザはビデオシースルー HMD（Canon VH-2002）を使ってジオラマを覗き込むこと

で、PC で作成された CG 映像をジオラマ上に重畳描画された光景を見ることができる。

予備実験システムとして、山岳部には樹木を植えたが、市街地の地表面は更地のままとし、ここに幾何学的位置合わせ手法として用いる ARToolKit[3]のマーカを多数貼り付けた（図 1）。これは、まず安定した幾何学的整合性を得るためと、MR 情報提示の意義を防災研究者たちに評価してもらうための方策である。

このシステムの場合、仮想空間側の情報としては、航空写真データをテクスチャマッピングし、さらに幾何形状データを有する建造物の 3D-CG を重ねることで MR 表示としている（図 2）。この状態の京都市に洪水シミュレーション結果をさらに重畳表示して見せたところ、防災研究の専門家から高い評価を受けた[4]。これまでにない新しい感覚のハザードマップであり、防災研究者にとっても住民にとっても、大いに魅力的な情報提示方法であるとの評価である。

この予備実験システムは、当初、屋外型 MR 災害体験システムのプロトタイプとして製作したものであるが、好評のため、このままジオラマを活用するシステムとして発展させることになった。ただし、システムの実装上、以下の問題点が発生していた。

- (a) ARToolKit のマーカがジオラマの景観を損ねているため、メンタルモデル構築の妨げになる。
- (b) 建築物の幾何形状データが膨大であるため、対象地域全体で建造物をリアルタイム 3D-CG 表示できない。



図 1 ジオラマとマーカ



図 2 航空写真と建物の重畳



図 3 改良した新ジオラマ



図 4 単色マーカ

3.2. 改良型ジオラマ MR システム

上記の(a)(b)の問題を解決するため、市街地部分に代表的な建築物、神社仏閣、道路・川を作り込み、本格的なジオラマを作成した(図3)。即ち、航空写真も建築物もCG映像表示せず、この改良ジオラマ上には、想定災害のシミュレーション結果のみをMR重畳描画する方向への変換である。なお、このジオラマは正確な縮小模型ではなく、対象地域である京都市を象徴的に表現したもので、ある程度対象地域の景観を知っておれば、場所の認識が容易になり、メンタルモデル構築を促進ように作成されている。

ジオラマの改良に伴い、ARToolKitのような大きな人工的マーカが使用不可になったため、位置合わせ手法も全く新たに考え直すことを余儀なくされた。ベースシステムとしては、キャノン製MR Platform System[5]を導入し、磁気センサとマーカ認識のハイブリッド方式を採用することとした。磁気センサだけでは、ジオラマとCG映像をぴったり静止して重ね合わせるのが困難なためである。

ハイブリッド方式とはいえ、人為的マーカを利用する以上、それがジオラマの魅力を台無しにするような武骨なものになることは避けなければならない。ここでは、図4に示す鴨川にかかる橋や大きな交差点にのみ単色のマーカを貼り付けて、ジオラマのもつメンタルモデル構築を極力妨げないように配慮した。

この方式では、体験者が自分の近くの領域を見下ろす場合には、確実にマーカを捉えることができるため、かなり安定した仮想と現実の幾何的位置合わせ精度を確保できる。しかし、一辺が3,4mあるジオラマの向こう半分に視線を向けた場合、マーカが小さいため正しく識別できず、位置合わせの乱れが頻出した。だからといって、マーカを大きくすることはできないので、恣意的に加えたマーカでなく、このジオラマ自身の画像特徴を用いるテンプレート・マッチング法で問題解決を図ることにした。

3.3. 実世界の画像特徴によるテンプレート・マッチング

恣意的な人工マーカを用いるのではなく、対象となる実世界の光景の画像から特徴的な領域を選び出し、それをテンプレート・マッチングすることにより特徴点のトラッキングを行ってカメラの位置姿勢を推定する方法も開発されている[6]。本システムの場合は、対象となるジオラマは確定して、テンプレートと目立つ領域も選びやすいので、実世界の特徴を利用する方法には適している。加えて、磁気センサとのハイブリッド法の場合、大体の視線方向やHMD姿勢情報も利用できるため、予め準備しているテンプレートを適応的に切り替えて用いることも可能である。

以下は、本システムに実装した位置検出処理の概略である。

(1) 特徴点の観測スクリーン座標系での座標値計算

磁気センサを元にした世界座標系から、観測スクリーン座標系への変換式を用いて、特徴点の観測スクリーン座標系での座標値を求める。

(2) テンプレート生成

HMDの位置姿勢情報を参照し、あらかじめ用意しておいた様々な視点位置ごとのテンプレート画像から、現在の視点に近い位置からのテンプレート画像を選択する。そのテンプレート画像を、再びHMDの位置姿勢を参考にして、回転・拡大縮小処理をしてテンプレート画像を生成する(図6)。

(3) マッチング

マッチング精度を上げるために、生成されたテンプレート画像、入力画像共に2値化・エッジ検出を行い(図7, 図8)、得られた画像間でマッチングを行う。

(4) 位置合わせ誤差の修正

マッチングによって求められた特徴点の座標値と、初期値として設定した磁気センサを元にした特徴点の座標値の差を補正する。誤差の補正にはMR Platform Systemのマーカを用いた位置補正機能を使っている。

以上4つの処理を毎フレーム実行し、位置合わせを行っている。テンプレート・マッチングを用いた補正によって、より安定した位置合わせが実現できた。

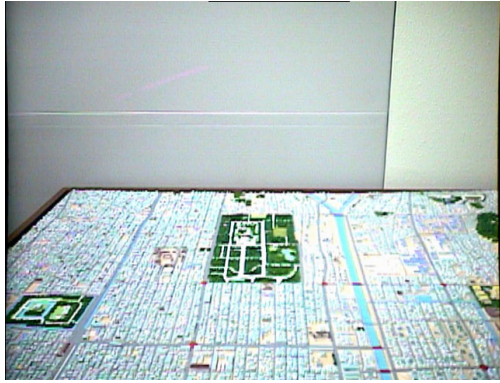


図 5 HMD 内蔵カメラ入力画像



図 6 テンプレート



図 7 微分画像



図 8 カメラ入力画像の微分

本システムでは、室内に設置したジオラマ上でのみ MR 表示を行うことを条件としているため、ある程度視点方向が限定される。しかし、位置合わせのレベルとしては、最高精度が要求される。この目的に合致する手法として上記を開発したが、この方法は地形模型だけでなく、建築物のミニチュア、工業製品のラピッド・プロトタイプング結果、保守点検の対象となる対象物に MR 表示を行なう場合にも有効であると考えられる。

4. 防災研究への適用事例

上述のジオラマを活用する MR 情報提示システムを用いて、2つのアプリケーションを実際に作成した。

4.1. 洪水シミュレーション結果の可視化

立命館大学都市システム工学科江頭教授・伊藤講師らの研究グループ提供による洪水シミュレーション結果を、ジオラマ上で MR 可視化した(図 9)。洪水シミュレーションの計算結果を基に CG 映像を作成し、ジオラマ上に重畳表示している。シミュレーション計算に用いられている連続体の支配方程式は、以下の通りである[7]。

・質量保存則

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

・河床せん断力

$$\tau_b = g \frac{n^2(M^2 + N^2)}{h^{7/3}}$$

・運動保存則

$$x: \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial \beta u M}{\partial x} + \frac{\partial \beta v M}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho}$$

$$y: \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial \beta u N}{\partial x} + \frac{\partial \beta v N}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho}$$

このシミュレーションは膨大な計算時間(約1週間)を要するため、実時間でパラメータを変化させて、直ちに再計算結果を描画することはできない。しかし、洪水の広がりをリアルタイムで観察したいという要求があるため、予めいくつか想定される条件下で行ったシミュレーション結果を、細かな時間単位で保持しておき、それらを逐次表示していくことで、洪水のアニメーション表示を実現している(図 10)。

また、洪水の様子を観察するのに有用な機能として、以下を実装した。

- 想定した条件の変更(パラメータ変更)によって、浸水の程度を瞬時に切り替えて視認する機能
- 異なった条件での洪水の広がりの比較や、同条件で異なった時刻での広がりを濃度や色の違いで比較できる機能(図 11)。

また、これらの機能の利用や、洪水の浸水アニメーションの再生・停止等の実行を、円滑に且つ直観的に行うための操作パレットを開発した。ペン型デバイスで CG 表示したパレット上のボタン等を実行することにより、再生・停止・再生速度変更といったコマンドが実行でき、洪水の動的なハザードマップが対話型操作で観察可能となっている。



図 9 洪水の MR 表示

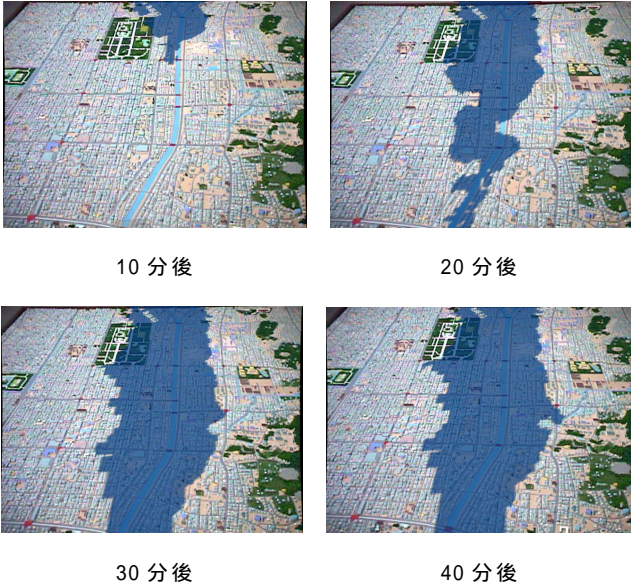


図 10 浸水進行のアニメーション



図 11 濃度・色調の違いによる比較表示

4.2. 地下構造情報の可視化

地震災害に関しては、地震研究のためのデータをジオラマに重畳させて見る機能を提供することにした。これまで、地下構造を効果的に提示する有効な方法がなかったが、本システムは、ジオラマ上に地中の情報を浮かび上がらせ、3D-CG像として立体映像表示する。利用者が視点移動しながら、以下のデータをじっくりと観察できることを目指した[8]。

3次元地下構造のメッシュデータ

データ点数：3072点，メッシュ間隔：100m

京都盆地のボーリングデータ

データ点数：約2000点

座標系：公共座標系第 系

(1) 地層の断面と境界面の表示

メッシュデータを用いて地層の断面と各層の境界面（層上面）を表示する（図12）。地中データが十分に密に存在する場合に対して、以下の表示機能を達成した。

- 任意範囲の地層の上昇表示
- 地形の切断による任意断面表示

- 地層断面のワイヤフレーム切替え表示
- 各地層の境界面表示

本システムでは、ジオラマ上の任意の領域を指定し、地下構造を表示できる。また、地層の断面をワイヤフレーム表示に切替え、覗き込んで各層の境界面を観察できる。

(2) ボーリングデータの表示

地中データは計測が容易でなく、地下構造モデルを形成するのに十分な量のデータが入手できるとは限らない。そこで計測データが疎な場合を想定し、以下の機能をもつボーリングデータの表示方法を開発した（図13）。

- ボーリング調査の計測地点の表示
- ボーリング地点におけるデータの柱状図表示
- 地表面のワイヤフレーム切替え表示

本機能により、データの疎密状態、計測地点におけるデータを視認できるので、地上・地下のデータ対応や各データの信頼性等が把握できる。

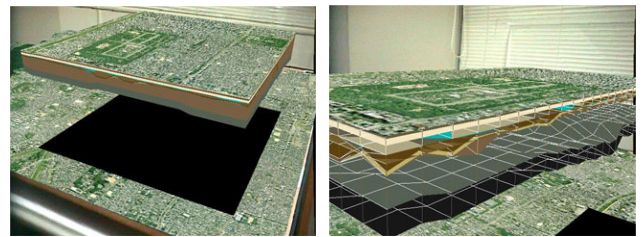


図 12 地層の断面と境界面のMR表示

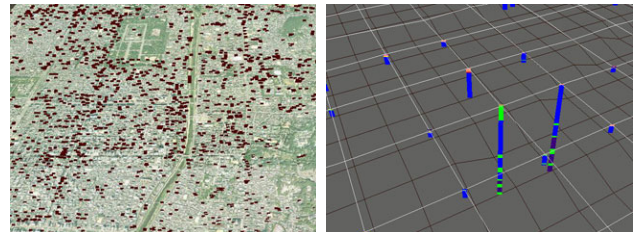


図 13 ボーリングデータの表示（左：計測点，右：柱状図）

5. 屋外型システムへの発展形

ジオラマを用いたMR情報提示以外にも、以下のようなMRシステムの実現を目指している。

5.1. 可般型機器を用いた災害体験

土砂災害のような、瞬間的で比較的小規模な災害は、前述のようなジオラマ上にMR表示しても効果は大きくない。むしろ、災害が起こりそうな現場で、MR災害仮想体験を提示することがより効果的であると考えられる。我々は、防災の対象となる地域・神社仏閣に実際に出向き、その現場で災害のシミュレーション結果を現実世界と結び付けて複合現実感体験できるシステムを目指している。

対象地域を東山山麓の文化財近辺（南禅寺・永観堂

等)とし、京都東山地域についての土砂災害危険解析[9]のデータを利用し、これをもとに土砂災害のCGを作成、より臨場感のある屋外でのMR土砂災害体験システムを実現する(図14)。

屋外でのMR体験のための可搬型機器およびシステムは、「多様な可搬型機器に対応可能な複合現実感システムの共通フレームワーク」[10]を利用して行なう。



図14 土砂災害の現地MR体験(予想図)

5.2. モバイル端末による非常時の避難誘導

災害の発生は不測の事態であり、非常時に万人が冷静な避難行動をとることは難しい。そこで、普及率の高い携帯電話・携帯情報端末に着目し、災害発生時に適切な緊急避難情報を、モバイル端末上にMR表示する可搬移動型システムの開発を行なっている。

図15はそのイメージ図である。本システムでは、避難誘導の対象となる地域に設置された2次元パターン・コードを、携帯端末のカメラで撮影する方法でユーザの位置を決定し、その場に見合った避難誘導情報を端末に矢印等で重畳表示する。

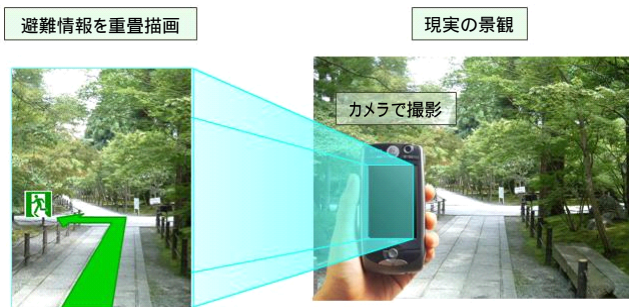


図15 避難誘導情報の重畳表示

6. むすび

我々は、複合現実感技術の新しい応用分野として防災研究・防災対策分野を選び、これまで開発したシステム事例、および今後の発展計画を述べた。近年、従来の想定を上回る大規模災害が世界各地で起こり、防災研究が一層の注目を集め、その研究成果の効果的な提示が強く求められている。その反面、防災情報システムには、あまり先端の情報提示技術が用いられておらず、MR情報提示の例を示しただけで、当該分野か

らは高い評価と大きな期待が寄せられた。

こうした新規応用分野は良い実問題を与えてくれる恰好の対象である。本稿で述べたジオラマ上へのMR提示のために工夫した位置合わせ手法などは、MR技術の有用性をアピールする実用的な事例であると考えられる。

謝辞

洪水シミュレーション結果のご提供や土砂災害に関するご指導は、本学都市システム工学科江頭進治教授・伊藤隆郭講師のご好意によるものである。本研究の実験や検討の一部は、研究室在籍の学生、大川卓哉君・田宮聡君・松中正法君らの協力を得た。皆様に深甚の感謝の意を表します。

本研究の一部は、文部科学省の21世紀COEプログラム「文化財を核とした歴史都市の防災研究拠点」及びハイテク・リサーチ・センター整備事業「防災と安全のための複合大規模センサシステムおよびロバストネットワークの構築」によるものである。

文 献

- [1] 田村秀行：“複合現実感—現実と仮想の融合—”，バイオメカニズム学会誌，Vol.25，No.2，pp.58-61，2001。
- [2] S. K. Feiner (田村秀行訳)：“複合現実感がひらく第3の視界”，日経サイエンス，2002年7月号，pp.40-49。
- [3] 加藤博一，Mark Billinghamurst，浅野浩一，橋啓八郎：“マーカー追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション”，日本VR学会論文誌，Vol.4，No.4，pp.607-616，1999。
- [4] 坂井陸一他：“複合現実型情報提示とその防災研究への応用(1)～水災害シミュレーション結果の表示”，信学総大2005。
- [5] S. Uchiyama, K. Takemoto, H. Yamamoto, and H. Tamura: “MR Platform: A basic body on which mixed reality applications are built”, Proc. IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2002), pp.246-253 2002.
- [6] 加藤博一，汐崎徳男，橋啓八郎：“テクスチャ画像からオンライン生成されたテンプレートのマッチングに基づく拡張現実感のための位置合わせ手法”，日本VR学会論文誌，Vol.7，No.2，pp.119-128，2002。
- [7] 土木学会編：水理公式集 - 平成11年版 - ，第2編，丸善，1999。
- [8] 大川卓哉他：“複合現実型情報提示とその防災研究への応用(2)～地下構造データの効果的表示法”，信学総大2005。
- [9] 江頭進治，伊藤隆郭，Kaushal Raj Sharma.：“京都における文化財を含む地域の土砂災害危険領域の解析”，日本水文科学学会誌，Vol.35，No.3，pp.119-128，2005。
- [10] 柴田史久他：“多様な可搬型機器に対応可能な複合現実感システムの共通フレームワークの設計と実装”，日本VR学会論文誌，Vol.10，No.3，pp.323-332，2005。