

バーチャルリアリティ (VR) を用いた避難行動の基礎解析

Analysis of Evacuation Behavior using Virtual Reality

目 黒 公 郎*・芳 賀 保 則**・山 崎 文 雄***・片 山 恒 雄*

Kimiro MEGURO, Yasunori HAGA, Fumio YAMAZAKI and Tsuneo KATAYAMA

1. は じ め に

不特定多数の人間が利用する地下施設や大規模構造物を建設する際には、強度上の安全性はもちろん、災害時の人間行動を考慮した空間の安全設計とその評価が防災対策上極めて重要である。これまで災害時の人間行動は、過去の災害事例調査¹⁾、被験者実験²⁾、コンピュータシミュレーション³⁾などを主として研究が行われてきた。しかしこれらの方法には、過去の災害事例については「データ数が少ないし、基本的に死者の行動は不明である」、被験者実験については「災害時の環境設定は危険が伴うし、大規模な構造物を対象とした実験は実施困難である」といった欠点があった。またこれらの研究を基に、コンピュータによる群衆モデルのシミュレーションが行われているが、従来のシミュレーションでは「モデルやパラメータが多く、仮定に基づくし、誘導灯などの細かい情報を加味できない」などの欠点があった。

筆者らは、最近数年間にわたり災害時における人間の避難行動について、実験的・解析的な手法を併せて研究を行ってきた。特に昨年は、先に述べたような問題点の解決を目的として、バーチャルリアリティ (以下 VR) を用いた避難行動シミュレータを開発し、VR 技術を応用した閉空間からの避難行動解析の可能性を確認した⁴⁾。ここでは図 1 に示すように、同じ構造を持つ実際の迷路を用いた実験 (実迷路実験) と VR 迷路を用いたシミュレーション (VR 迷路実験) を行い、両者の比較から VR 空間での避難行動の再現性の確認と、VR シミュレーションの訓練効果を評価する。そしてそれらの結果から、閉空間からの避難行動特性を分析する。

*東京大学生産技術研究所 附属国際災害軽減工学研究センター

**東京ガス(株)

***東京大学生産技術研究所 第 5 部

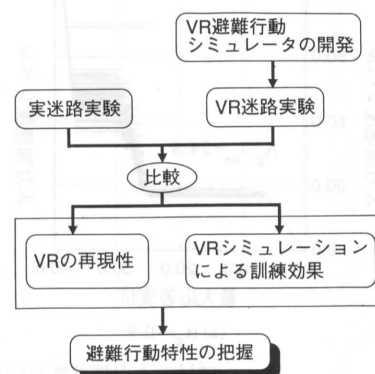


図 1 解析の流れ

2. VR システムの構成

本研究で用いた VR システムの構成を図 2 に示す。DOS/V 互換パソコンに画像処理ボードを組み込んだハードシステム上に、VR 開発用ツールとして W. インダストリー社の World Tool Kit (WTK) を用いてシミュレータのシステムを構築した。仮想空間を構成する迷路内の壁やドア等は、Auto CAD を用いて作成し、スキャナーで取り込んだ写真画像を貼り付けるなどして現実感を高める工夫もした。VR 実験時に用いる画像の入出力装置には、そ

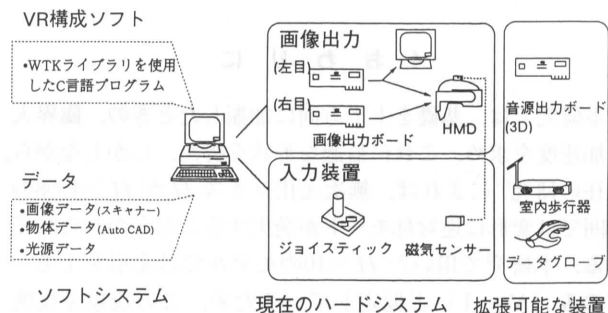


図 2 VR システムの構成

れぞれヘッド・マウンテッド・ディスプレイ (HMD) とジョイスティック、頭の動きを計測する磁気センサーを用いている。HMD は両目の画像に視角差を与えることで被験者に立体的に見える映像を提供する装置である。HMD に取り付けられた磁気センサーによって計測された頭の動きから画像の座標変換を行い、被験者の頭の動きに合わせた映像を HMD 上に映し出す。

3. 実 験

実験は、1994年12月19、20日と1995年1月9日の3日間

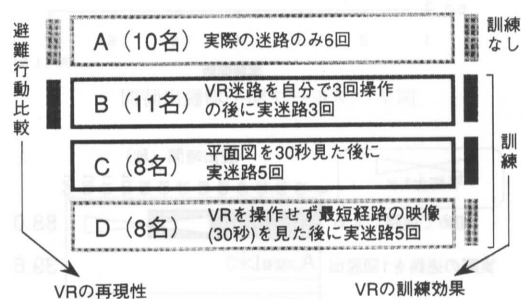
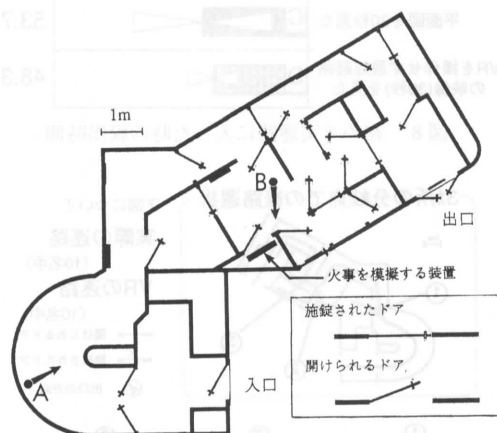
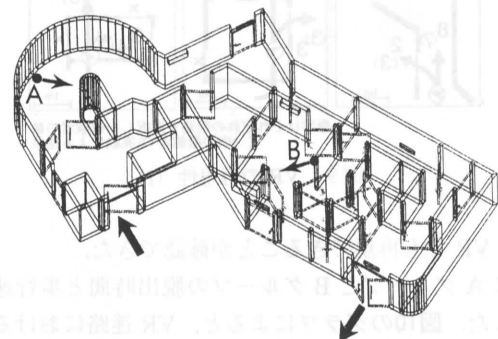


図3 実験グループ



(a) 迷路の平面図



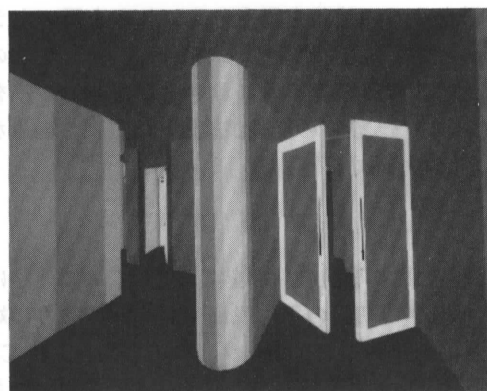
(b) 上方の視点から見た迷路の構造

図4 迷路の構造

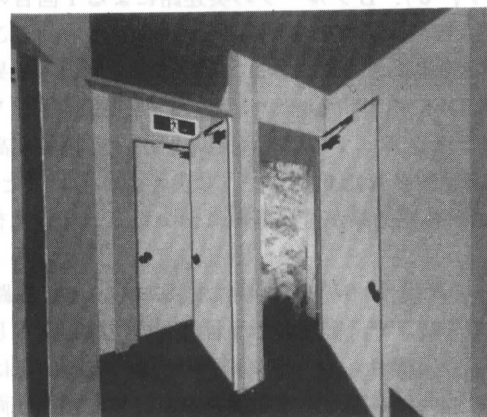
で実施した。被験者の母集団特性を均質にするために、東京大学大学院修士課程の学生を中心とした男性37名に被験者になってもらった。池袋防災館にある煙体験コーナーの迷路を借用し、その傍らに VR シミュレーションシステムを設置した。

図3に示す様に被験者を4つのグループに分け、「事前に訓練を受けたか否か」「その訓練では何を用いたか? 実迷路か、VR 迷路か、平面図か」などの条件を変えながら、グループごとの脱出時間や脱出経路等を計測し、避難行動特性を比較した。実験は訓練を含めて各グループ7回ずつ実施した。最終回(7回目)は、被験者が迷路に入ると同時に照明を全て消して実験を行った。ただし事前に被験者には、実験中に照明を消すことは一切伝えていない。実験に用いた迷路の構造を図4に、HMD に写し出される映像(ただし片目分)を図5にそれぞれ示す。

図6に VR 迷路実験の様子を示す。VR 実験では、被験者によって VR の操作能力に大きな差がある。そこで煙体験コーナーと同じ構造の VR 迷路実験を行う前に、構



(a) A地点から見たVR映像



(b) B地点から見たVR映像(右手に火事を模倣する装置が見える)

図5 VRによる映像

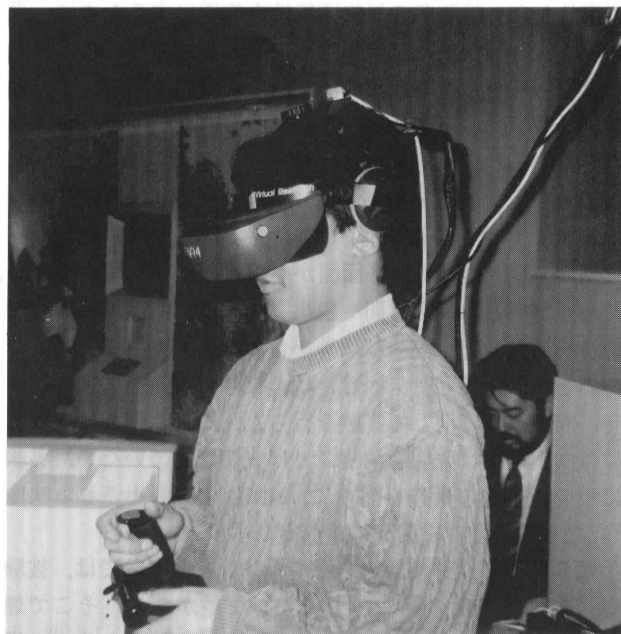


図6 VR実験の様子

造の簡単な2つの迷路を用意し、これらを用いたシミュレーションを繰り返し体験してもらい、VR操作法の修得と各被験者のVR迷路実験における学習能力の差を予め確認しておいた。全ての実験が終了した後に、簡単なアンケートを行い感想を聞いた。

4. 実験結果

1) **訓練の効果** 事前の訓練を全く受けないで迷路に入ったAグループの初回の平均脱出時間が88秒なのに対し、事前に迷路を体験したグループ(Aの2回目, B, C, Dの1回目)は、いずれも34~48秒早く迷路から脱出できている(図7, 8)。Bグループの実迷路による1回目の脱出時間が、Aグループの2回目と近いことから、ここで用いた程度の複雑さの迷路では、VR体験3回分の効果が実体験1回分に相当するといえる。また最短経路をVRで体験したDグループの平均脱出時間が、当初最も高い学習効果が予想されたCグループよりも良かったことから、VRによる体感効果が避難訓練において高い有効性を示すことがわかる。

2) **VRの再現性** VRの再現性を調べるために迷路内の3箇所の分岐点で、実験の1回目にはどの経路を選択したかを調査した(図9)。初めの分岐点では、方向的には右側が出口に近いにも関わらず、通路を直進する傾向が両者の実験で確認された。同様に残りの2つの分岐点でも、両者の実験ともに直進する傾向が認められた。これらのことから、定性的には、人間の避難時における進行方向の選択性

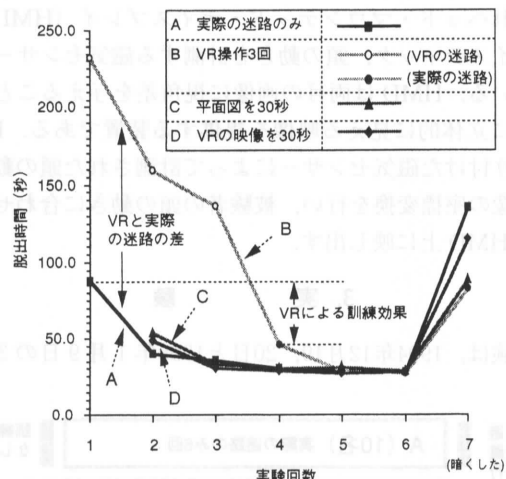


図7 グループ別平均脱出時間

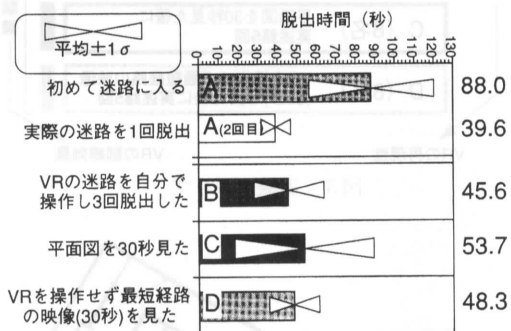


図8 初めて実迷路に入った時の脱出時間

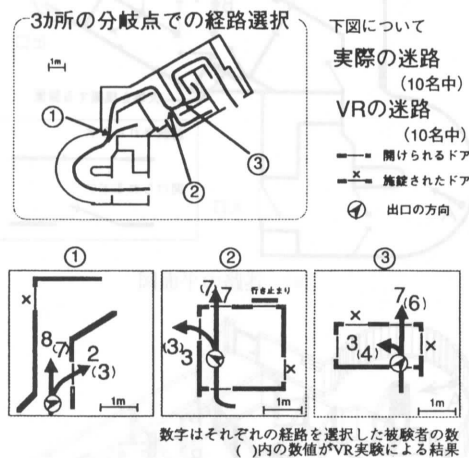


図9 VRの再現性 (1)

向が、VRでも再現できることが確認できた。

次にAグループとBグループの脱出時間と歩行速度を比較した。図10のグラフによると、VR迷路における脱出時間が実際より2~3倍程度遅くなっているが、減少していく傾向は似ている。一方、迷路を脱出するまでの平均歩行

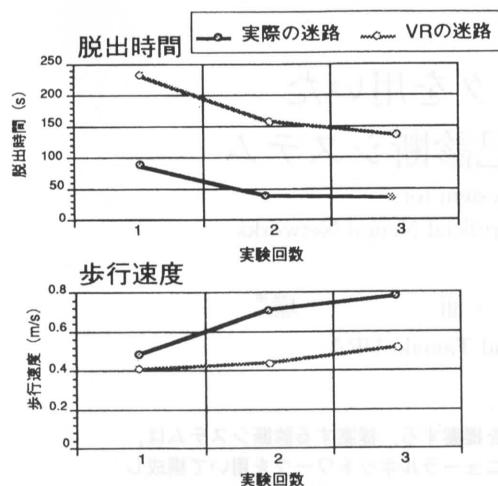


図10 VRの再現性 (2)

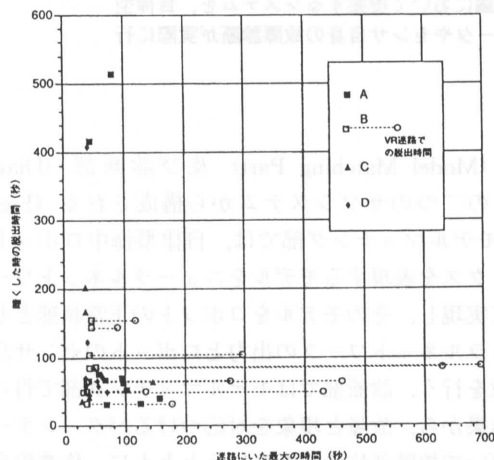


図11 迷路脱出最長時間と照明なしでの脱出時間の関係

速度を見ると、1回目では両者の差は小さいが、2・3回目では実迷路実験では歩行速度が高まるのに対して、VR迷路実験ではその率が低い。これは、今回設定したVRシミュレータの歩行速度や操作性の問題、HMDの視野角などに原因があると思われる。

3) 災害時の避難行動 図7を見ると、いずれのグループも事前の訓練で6回目には完全に最短経路を学習し、速やかに脱出行動ができていたにもかかわらず、照明がなくなると、とたんにそれまでの数倍もの脱出時間を要してしまう結果が得られた。そこで図11に示すように、横軸に6回目までの実験における各被験者の最長脱出時間を取り、照明無しでの脱出時間との関係をプロットしてみた。最長脱出時間とは、1回の実験で最も長く迷路内にいた時間であり、

この値が大きい被験者は、実迷路にしろVR迷路にしろ、脱出経路を見つけるために迷路内をうろろし、結果的に最短経路以外の部分も含めて迷路内の構造を学習していたといえる。一方、最長脱出時間が短い被験者は、速やかに避難行動をとっていた人たちであり、最短経路以外のルートに関しては十分認識していなかったものと思われる。アンケート調査からも後者の人たちが、照明が消えたことで気が動転し、自分の位置や方向を見失って脱出に大変苦労したという回答を多く得ている。避難訓練の目的が災害軽減であることを考えると、脱出訓練において重要なのは訓練の回数ではなくその内容であることがうかがえる。最短経路を覚えて避難するだけの訓練や日常的に決まったルートだけを利用している地下鉄や地下街などで、何かのアクシデントがあった場合などに、同様なことが起こり得ると考えると、この結果の持つ意味は重要である。

5. ま と め

同じ構造を持つ実迷路とVR迷路を用いた避難行動実験を行った。両者の結果を比較・検討することによって、VRシミュレーションによる疑似避難体験が、実際の避難行動において訓練効果として現れることが確認できた。また、歩行速度の設定や操作性に改善が必要だとはいえ、VRを用いて避難時の経路選択の特性を再現できる可能性が確認された。

避難訓練のマネリ化、参加者の減少と意識の低下、訓練の安全性の問題などを考えると、防災教育や避難訓練などへのVRの利用価値は高い。本研究を通して、実際に建設する前の計画や設計段階で、対象となる施設や構造物の安全性を評価する手法としてもVRが大きな可能性を持つことが認識された。(1995年8月16日受理)

参 考 文 献

- 1) 例えば、森田耕一：プレイタウンにいた53名の人たち(大阪千日デパート火災より)、火災、Vol. 23, No.1, pp. 28-34, 1973.
- 2) 例えば、横山秀史・永田茂・山崎文雄・海老原学：迷路実験による緊急時の人間行動特性、土木学会論文集, No. 441/I-18, pp. 107-115, 1992.
- 3) 例えば、横山秀史・目黒公郎・片山恒雄：避難行動解析へのポテンシャルモデルの応用、土木学会論文集, No. 513/I-31, pp. 225-232, 1995. 4.
- 4) 芳賀保則・目黒公郎・山崎文雄・片山恒雄：バーチャルリアリティを用いた避難行動シミュレータの開発、第49回土木学会年次学術講演会概要集, 第4部, pp. 234-235, 1994. 9.