

# 視覚センサネットワークを用いた避難シミュレータとその実験構想

## Evacuation Simulator using Vision Sensor Networks and Its Experiment Plans

小泉 智史\*1  
Satoshi Koizumi

中西 英之\*2  
Hideyuki Nakanishi

石黒 浩\*3  
Hiroshi Ishiguro

石田 亨\*2  
Toru Ishida

\*1 科学技術振興事業団 CREST JST CREST    \*2 京都大学情報学研究科 Kyoto University    \*3 大阪大学工学研究科 Osaka University

In order to give the people a chance to participate in evacuation training a virtual city space simulator we developed is equipped with a 3D virtual space and a multi-agent simulation design language for non-computer-specialists. To acquire knowledge for evacuation simulation, we prepared two experiments. In the first experiment, effects of two training methods for evacuation in the virtual space were compared. In the second experiment, both instructors and evacuees exist in the real space. Instructors guide them by voice via an augmented space where a real and virtual space co-exists. This augmented space connects a real and virtual space by vision sensor networks. In this paper, we describe the evacuation simulator and preliminary experiment results.

### 1. はじめに

我々が開発した仮想都市空間シミュレータ[Nakanishi 1999]は、避難訓練や避難シミュレーションの際に、市民が参加する機会を与えるために、3次元仮想空間のユーザインタフェースと、計算機の非専門家向けのマルチエージェントシミュレーション設計言語を有している。そこで、社会的なインタラクションを必要とする避難シミュレーションに対する知見を得るために、二段階で構成される実験を準備した。

第一段階として、避難シミュレータとしての仮想都市空間シミュレータの有効性と限界を検証するために、3次元仮想空間のみを用いた避難訓練実験を行い、そして第二段階では、実空間と仮想空間を融合した避難シミュレータを用いて避難誘導実験を行う。第二段階の実験に向けて、現実空間における人間の行動を把握するために、地下鉄京都駅舎へ28台の視覚センサから構成されるセンサネットワークシステムを設置し、旅客の歩行軌跡データと長時間の映像記録を収集している。そして、同駅の仮想駅舎を構築し、センサネットワークシステムにより獲得される現実の駅舎にいる避難者の位置に基づき、仮想駅舎内に避難者を可視化し、現実世界と仮想世界が融合したシミュレータを実現する。そこで、仮想駅舎にいる誘導者が携帯電話公衆網を通して、避難者を誘導する実験を行う。これら2つの実験を通して、市民の避難行動の習得効果を評価し、仮想空間を用いた新たな避難シミュレータの確立を目指す。

さらに、駅舎に設置された視覚センサネットワークシステムは、知覚情報基盤のプロトタイプであり、このシステムを用いることにより、人間の行動を知覚することを目的としている。そこで、長時間記録された映像に基づき、動線を導出することで、日常生活における人間の行動を解析する。それとともに、人間の群行動を可能な限りモデル化することにより、行動辞書を作成し、分散視覚環境における人間の日常生活行動の認識システムの構築を目指している。

### 2. 仮想都市空間シミュレータ

バーチャルリアリティ(VR)型のシミュレーション空間は、その

連絡先:小泉智史,科学技術振興事業団 デジタルシティ研究センター,京都市中京区河原町二条一之船入町 366 河原町二条ビル 2階, Tel 075-257-6214, Fax 075-257-6216, Email satoshi@digitalcity.jst.go.jp

場にいるような体験だけでなく、能動的な空間探索や、仮想世界とのインタラクションを可能にする[Wilson 1997]。そのため、VR型の災害シミュレータの研究が盛んに行われてきており[Tate 1997]、京都市市民防災センターのように、市民の体験用としてシミュレータを展示する事例も出てきている。これらのシミュレータはほとんど全て個人用であるが、日常で行われている避難訓練では、施設の利用者が集まって集団行動を体験するのが通例である。集団行動の訓練を行うためのマルチユーザ型VRシミュレータの研究も行われており[Singhal 1999]、これらを用いた仮想的な集団訓練が、将来行われるようになるであろう。そこで我々は、ゲーム感覚に留まらない、よりシミュレーションという側面を重視した避難訓練を実現するために、集団行動の研究と、VRシミュレータの研究を融合することを試みた。

我々は、マルチエージェントシミュレーションと、そこに人間が参加するためのVRインタフェースである仮想都市空間を接続するといアプローチで、マルチユーザ型の避難シミュレータを実現している。

仮想都市空間 FreeWalk は基本的に、音声チャットが可能なマルチユーザの仮想環境である。ネットワークを介して、多数のユーザがアバターとなって、同じ仮想空間に集ることができ、近くにいる他のアバターと音声で会話ができる。FreeWalkを含む避難シミュレータの構成図を図1に示す。この基本機能に加えて、街の3次元モデルを表示する



図1. 仮想都市空間シミュレータFreeWalkの構成図

仮想都市機能, アバターの現実感を増すための歩行アニメーション機能, 物理的インタラクションのための衝突回避モデル, 非言語的コミュニケーションのためのジェスチャー機能などを備えている。以上の機能は, 3次元チャットツールやオンラインゲームでもほぼ同様に実装されている。これだけの機能があれば, 学校やオフィスで行われている従来の避難訓練をネットワーク上で行うことが可能である。地下鉄京都駅の VRML モデルが作成済みであり, 仮想地下鉄京都駅の中でマルチユーザの避難訓練イベントを開くことができる。

しかしながら, 京都駅は普段, 大勢の旅客や買物客で溢れかえっている。参加者を数十人集めたとしても, 現実味のある避難訓練にはならない。数百人規模の避難訓練を, それよりずっと少ない参加者で実施するには, 群集エージェントが必要になる。また, パニックに陥った群集を再現することで, 災害現場の状況をよりリアルに再現することができる。FreeWalk は, アバターとの集団行動に参加可能な群集エージェントを備えている。歩行やジェスチャーなどのアニメーションはエージェントもアバターも全く同じであり, 見た目には区別が無い。アバターとのコミュニケーションのために, エージェントは音声認識・音声合成機能を持っている。

我々は, このような, 人間集団の中で社会的インタラクションに従事するエージェントを社会的エージェントと呼び, その社会的影響の解明を試みている[Nakanishi 2003]。多数の群集エージェントを効率良く表示したり[Tecchia 2002], 動かしたり[Musse 2001]する研究が行われている一方, 人間(アバター)との社会的インタラクションに関する研究は皆無である。

FreeWalk の最大の特徴は, エージェント・アバター間の社会的インタラクションのプラットフォームである点である。我々の避難シミュレータで避難訓練を行う場合は, まず群集の避難行動をマルチエージェントシミュレーションとして設計し, その後, 一部のエージェントをアバターに置き換える。FreeWalk は, この置き換えを可能にする。一方, 図 1 に示すように, マルチエージェントシミュレーションの設計を可能にするのが, シナリオ記述言語 Q である。

```
(defscenario Kaoru
  (scene1 (!walk :route '(PLACE_A PLACE_B))
    (!turn :to Yoko)))
(defscenario Yoko
  (scene1 (!walk :route '(PLACE_B)
    (?position :name Kaoru :distance 2)
    (go scene2))
  (scene2 (!turn :to Kaoru)
    (!speak :to Kaoru :sentence "こんにちは")))
```

図 2 .シナリオ記述例 2 人のエージェントの待ち合わせ

Q は, マルチエージェントシミュレーションを構成する各エージェントの行動ルールを記述するための言語である[Ishida 2002]。シミュレーションを, その流れに沿って複数の場面に分割し, 各場面ごとに現象 A を知覚した場合は行動 B を実行せよ」という if-then ルールの集合を記述するようになっている。図 2 に記述例を示す。避難シミュレータ FreeWalk/Q におけるシミュレーションの実施手順をまとめると次のようになる。まず, シミュレーション設計者(避難訓練主催者)がシナリオを書く。このシナリオはシミュレータの起動時に読み込まれる。Q 処理系はシナリオを解釈し, 各エージェントが実行すべき知覚や行動のリストを FreeWalk に送信する。

FreeWalk は仮想都市空間の状態を全て管理しており, Q から受信したリストに従って, この状態の読み出しと変更を実行する。これと並行して FreeWalk は, アバターの操作入力も処理する。このような仕組みによって, マルチユーザ・マルチエージェントシミュレーションが可能となっている。

### 3. 視覚センサネットワーク

#### 3.1 システム概要と地下鉄京都駅への実装

現実空間における人間の行動, すなわち歩行行動を把握するシステムを地下鉄京都駅舎に導入した。このシステムは, 図 3

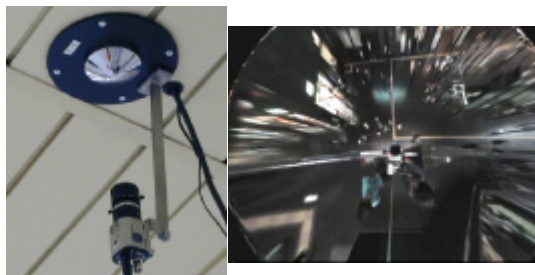


図 3 .視覚センサとその撮影映像

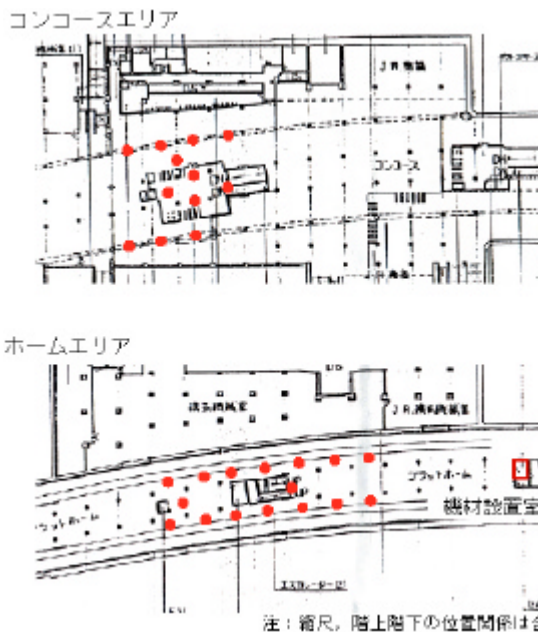


図 4 .地下鉄京都駅舎に設置した視覚センサ群

左のような視覚センサ 28 台から構成されるセンサネットワークシステムである。設置した視覚センサは, 特殊な形状を持つ反射鏡と CCD カラーカメラで構成されている。反射鏡は, カメラ光軸に直交する平面を画面上に等比に表示するように設計されており, これにより, 通常のカメラより撮影画角を広げるとともに, 通常の広角カメラに現れるマイナスの歪曲(樽型歪)がない映像での撮影が可能になっている。この視覚センサを天井に設置すると, 図 3 右のように撮影された映像となり, 容易に床面上の位置を把握することができる。

地下鉄京都駅舎には, 図 4 中の赤丸で示したように, コンコースエリアに 12 台, ホームエリアに 16 台を図に示した位置の天井に設置されている。図 5 は, 実際に設置されている様子を映したものである。これにより, 地下鉄車両の乗降口から改札口まで, またその逆方向の人間の流れを把握することができる。

本システムは、28 台の視覚センサの他に、7 台の 4 画面入力装置、7 台の画像処理用計算機、1 台の解析用計算機、そして 7 台の映像記録用 HDD レコーダにより、構成されており、駅舎内にある一室に設置されている。図 6 に、その最小構成となるシステムの模式図を示す。4 画面入力装置は、4 台の視覚センサから送られてくる映像を一本のビデオ信号に変換し、画像処理用計算機へ出力している。入力されたビデオ信号に対し、背景差分処理を行うことにより移動物体の領域を抽出し、その領域情報を TCP/IP 通信により解析用計算機に伝送する。7 台の画像処理用計算機から送られてきた情報を元に、解析用計算機は、視覚センサの設置位置及び地図情報と整合することにより、移動物体の位置を検出するとともに、検出位置ごとに ID を振り分



図 5 .地下鉄京都駅舎内に設置された様子 (左上：コンコースエリア, 右下 ホームエリア)

け、それぞれの ID について追跡を行っている。ログとして保存される追跡結果とともに、HDD レコーダにより記録された映像をもとに、群集歩行の解析や認識に利用することになる。この解析に基づいて、マルチエージェントに対する行動ルールを作成し、仮想都市空間シミュレータ FreeWalk/Q に反映させていく。

また、視覚センサネットワークシステムにより、獲得された映像を地図情報に基づいて貼り付けることで、動画地図を生成したり、歩行軌跡を累積していくことにより、実時間での動線を生成したりすることが可能となる。

### 3.2 避難誘導システム

前述の仮想空間シミュレータ FreeWalk/Q で作られる仮想空間内におけるエージェントの位置を、視覚センサネットワークにより獲得される位置情報に基づくことにより、現実空間と仮想空

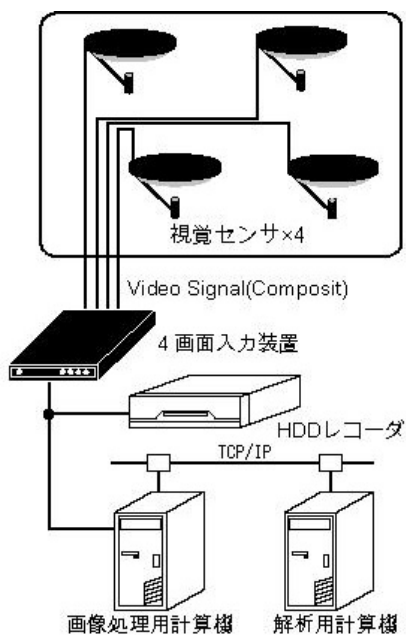


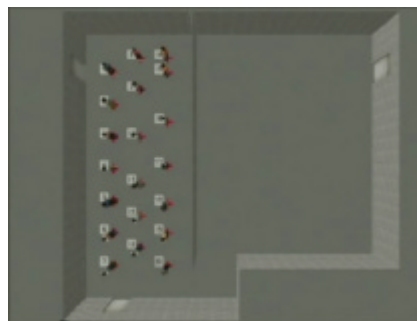
図 6 .視覚センサネットワーク

間を融合することが可能となる。この融合された空間内において、実空間に存在する誘導すべき避難者は、エージェントとして可視化される。避難者らは、会話に必要なインタフェースとして、携帯電話を所持しており、これを通して避難者エージェントは発話し、誘導するアバターやエージェントらの声を聞くことができる。避難者へ呼びかける音声は、各避難者ごとに合成される音像となる。ただし、携帯電話のスピーカは、モノラルであるため、距離による音量減衰のみが、空間共有感を生み出す唯一の効果である。

## 4. シミュレーション実験

我々は、避難シミュレーションにおける知見を得るために、二段階の実験を用意した。第一段階では、主に開発した避難シミュレータにおける評価を行うために、実際に行われた避難実験を基づいたシミュレーション実験と、その教育効果を比較する実験を行った。第二段階では、構想の段階ではあるが、視覚センサネットワークを用いた避難シミュレータによる避難誘導実験を試みる。

### 4.1 避難シミュレーション実験



(a) 鳥瞰型



(b) 没入型

図 7 .避難シミュレーションの教育効果比較実験

避難シミュレータを通して、科学的知見を得るためにも、さらには訓練に用いるためにも、シナリオ (群衆エージェントの行動ルール) を適切に設計しなければならない。そこで、過去に避難誘導法の研究として行われた実験 [Sugiman 1988] を再現できるように、群衆エージェントの行動ルールを設計することを試みた。

この実験は、図 7 に示すように、左右に仕切られた部屋の左側に集まっている 16 名の避難者を 4 名の誘導者が右側にある正しい避難口まで誘導するというものである。左側の部屋に存在する出口は間違いであり、避難者がその出口から避難することを、誘導者は防がなければならない。当初、避難者が誘導者の指示に気づくまでの間は、自分の判断で行動するよう、避難エージェントの行動ルールを設計したが、実験結果とは違うシミュレーション結果が出た。そこで、誘導者の指示に気づくまでは、

他人の行動を真似るように、行動ルールを再設計した結果、実験結果と酷似した結果を得られた。これは、パニック状態の群集が一斉に同じ出口に殺到する現象と共通する行動ルールである[Helbing 2000]。このような共通ルールが必要であることが判明したことにより、現実空間で行われた実験を再現するアプローチが、仮想空間で行われるシミュレーションの設計に有効であるといえる。

#### 4.2 避難シミュレーションの教育効果比較実験

設計した避難シミュレーションの教育効果を検証する実験を、被験者約 150 人を集めて行った。我々は、この実験を行う際に、以下のような 2 つの仮説をたて、検証を行った。

1. 三次元仮想空間の中で、社会的インタラクションを含むような身体運動の学習を行う場合に、被験者が主観的に捉えた空間に、自らを基準として自我中心的に内在し、能動的な身体活動を行うことが有効である。
2. 被験者が視空間を鳥瞰図として捉える外在的な局在を通じた学習に先行して、積極的な身体的活動を媒介とした学習体験を行うことが有効である。

この実験では、避難の様子を真上から眺める鳥瞰型(図 7(a))と、仮想空間の中で避難を体験する没入型(図 7(b))の 2 種類による違いを比較した。被験者を鳥瞰型のみを使用するグループ、没入型のみを使用するグループ、そして併用するグループに分け、没入型体験が与える教育効果について観測した。さらに、併用するグループを、先に鳥瞰型を見るグループと没入型による体験を先に行うグループに分け、順番の違いによる影響を調べた。調査方法は、事前・事後におけるアンケート調査と、そして実験後における個別インタビュー調査とした。

その結果、併用する場合が、一番教育効果が高く、次に高いのが鳥瞰型のみの場合であった。ただし、没入型の体験後に、鳥瞰型を見る場合は、鳥瞰型のみの場合との間に、大きな差異は見られなかった。一方、鳥瞰型を見た後に、没入型を体験する場合では、鳥瞰型のみの場合においても、没入型を体験する場合においても、学習できていない項目を学習できており、最も教育効果が高い結果となった。したがって、仮説 2. については、その仮説が立証された。しかしながら、仮説 1. については、現在、実験結果を解析中であり、その検証を終えていない。

#### 4.3 地下鉄京都駅における避難誘導実験

3.2 節で述べた現実空間と仮想空間を融合した避難誘導システムを用いて、地下鉄京都駅舎での避難誘導実験を行うことを考え、現在は視覚センサネットワークを駅舎に設置した段階である。今後は、仮想都市空間シミュレータと視覚センサネットワークとのインタフェースを構築し、避難誘導実験を試みる予定である。

この実験では、現実空間と仮想空間を共有する点に着目し、その優位性について検証する予定である。現実空間の避難者へのインタフェースとして携帯電話を利用し、誘導を行うことは、構内スピーカによる一斉アナウンスのように画一的な情報を全体に流すのと異なり、現地にいる駅員と同様な振る舞いを与えることができると考えている。これにより、避難者の群集を細分化して誘導できるので、全避難者が一箇所の出口に集中するような状況を回避できると予想している。

#### 5. おわりに

本稿では、避難シミュレータの基盤となる仮想都市空間シミュレータ FreeWalk/Q の概要について解説し、現実空間の人間の行動を把握する視覚センサネットワークシステムについて紹介し

た。そして、これら 2 つを融合することにより、仮想空間と現実空間を融合した、新たな避難シミュレータを提案するとともに、それらの実験構想について論じた。

今後は、教育効果比較実験で明らかになった事象について、社会心理学的見地から分析を進めていくと同時に、地下鉄京都駅における避難誘導実験の実施に向けて、現地の構造などに依存した群衆エージェントの行動ルールを設計していくために、視覚センサネットワークから獲得された映像情報を解析していく予定である。

京都駅のような、大勢が訪れる公共施設における危機管理は、市民にとって重要である一方、市民が参加する機会是与えられていない。学校やオフィスのように、施設の利用者が集い避難訓練を実施する機会がない。我々は、京都駅とい物理的な公共空間に対応するデジタルな公共空間を提供することにより、市民参加による危機管理を実現していく。

#### 謝辞

この研究は、科学技術振興事業団 CREST の支援により、「デジタルシティのユニバーサルデザイン」プロジェクトにおいて実施された。また、地下鉄京都駅舎への視覚センサネットワーク導入に向けて、京都市総合企画局情報化推進室、京都市交通局及び関係者のご協力に感謝する。

#### 参考文献

- [Nakanishi 1999] Nakanishi H., Yoshida C., Nishimura T. and Ishida T.: FreeWalk: A 3D Virtual Space for Casual Meetings, *IEEE MultiMedia*, Vol. 6, No. 2, 1999 .
- [Wilson 1997] Wilson, P. N.: Use of Virtual Reality Computing in Spatial Learning Research, N. Foreman and R. Gillett Ed., *A Handbook of Spatial Research Paradigms and Methodologies*, Psychology Press, 1997 .
- [Tate 1997] Tate, D. L., Sibert, L. and King, T.: Using Virtual Environments to Train Firefighters, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1997 .
- [Singhal 1999] Singhal, S. and Zyda, M.: Networked Virtual Environments: Design and Implementation, Addison-Wesley 1999 .
- [Nakanishi 2003] Nakanishi, H., Nakazawa, S., Ishida, T., Takanashi, K. and Isbister, K.: Can Software Agents Influence Human Relations? - Balance Theory in Agent-mediated Communities -, *AAMAS-2003*, 2003 .
- [Tecchia 2002] Tecchia, F., Loscos, C. and Chrysanthou, Y.: Image Based Crowd Rendering, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 22, No. 2, 2002 .
- [Musse 2001] Musse, S. R. and Thalmann, D.: Hierarchical Model for Real Time Simulation of Virtual Human Crowds. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 7, No. 2, 2001 .
- [Ishida 2002] Ishida, T.: Q: A Scenario Description Language for Interactive Agents, *IEEE Computer*, Vol. 35, No. 11, 2002 .
- [Sugiman 1988] Sugiman, T. and Misumi, J.: Development of a New Evacuation Method for Emergencies: Control of Collective Behavior by Emergent Small Groups, *Journal of Applied Psychology*, Vol. 73, No. 1, 1988 .
- [Helbing 2000] Helbing, D., Farkas, I. J. and Vicsek, T.: Simulating Dynamical Features of Escape Panic, *Nature*, Vol. 407, No. 6803, 2000 .