

# 防災・減災のための 避難シミュレータの開発

横井 利彰 一宮 翔太 熊野 竜介 佐藤 圭祐 松田 隆明 安原 祥 高宮 正一

防災技術は長足に発展を遂げているが、火災自体を完全に防ぎきれない状況は、社会にとって未だに大きな脅威である。火災や地震などの災害が発生した場合の被害を最小限に抑えるためには、普段の避難訓練が重要である。しかし様々な状況下での訓練は容易ではない。そこで、本研究では、実際の訓練では困難な状況をコンピュータ上に再現し、現実に近い感覚を体験させることで、実際に災害に出会った際に類似した場面での「避難成功体験」を想起させ、冷静に避難ができるようにすることを目的とすることとした。このために、3次元グラフィクス技術である Java3D をベースとした避難シミュレータの開発を進めることとし、利用想定別に3つのモデルを策定して、その基盤となる技術の開発を行ったので、ここに報告する。今後、実用化に向けて各モデルを洗練させ、地域と連携して普及に取り組むことを目指している。

キーワード：防災，避難訓練，コンピュータ・シミュレーション，Java3D

## 1 まえがき

火災や地震などの災害から身を守るための手段の一つとして、事前に様々な想定下での避難訓練を適切に実施することが挙げられる。しかし様々な状況を設定することは困難であり、また年に何度も避難訓練を行うことは現実的に難しい状況にあるといえる。そこで当研究室では、通常の避難訓練を補いかつ発展させることを考え、リアルタイムのグラフィクス環境である Java3D を活用して、コンピュータ上で仮想的な避難訓練を行う基盤の開発を行ってきた[1]。これまで毎年の研究成果を横浜キャンパスで開催されるオープンキャンパス(2009年, 2010年)で体験型展示として紹介したほか、2011年2月には横浜市都筑区における第8回地域連携調査研究発

表会において発表を行っている。本稿では、この避難シミュレータの技術的課題の解決に取り組んだ内容について報告することとした。

## 2 災害と避難訓練

火災や震災に対する防災設備の技術は日々長足な発展を遂げているが、未だに火災自体を完全に防ぐことはできない状態にあり、依然として社会にとって大きな脅威となっている。図1は日本の過去5年間における火災による死亡者数の推移を表している[2]。平成16年の消防法改正による住宅用火災警報器の設置・維持の義務化もあって、減少傾向がみられるものの、未だに年間1,877人もの死者が出ている状況にある。消防庁は、地域防災を担う人づくりの必要性を訴えており、これまでのeラーニング方式による教育システム(防災・危機管理eカレッジ)だけでなく、今後は広く住民が防災に関する知識や技術を習得する機会をさらに増やしていくとともに、地域のリーダー役となる人材の育成に、より一層力を入れる必要がある、としている。

火災や震災から身を守るための手段は多数存在するが、被災当事者になり得る人に必要なのは、事前に避難訓練を適切に受け、万が一の時にそれを役立てられるようにすること、であるといえる。通常の避難訓練は、災害時にパニック状態に陥らないように、事前に避難経路などを覚えるための訓練であり重要な役割を有している。訓練は、学校、会社、公共施設などで定期的に行われ、地震を起因とする火災を想定したものが多い。しかし実際

---

YOKOI Toshiaki  
東京都市大学 環境情報学部 情報メディア学科教授  
ICHIMIYA Shota  
東京都市大学 環境情報学部 情報メディア学科4年生  
KUMANO Ryosuke  
東京都市大学 環境情報学部 情報メディア学科4年生  
SATO Keisuke  
東京都市大学 環境情報学部 情報メディア学科4年生  
MATSUDA Takaaki  
東京都市大学 環境情報学部 情報メディア学科4年生  
YASUHARA Sho  
東京都市大学 環境情報学部 情報メディア学科4年生  
TAKAMIYA Shoichi  
東京都市大学 環境情報学部 情報メディア学科4年生

の火災は、昼間の時間帯だけに起こるものではなく、夜間に発生することも多い。そのため、実際の火災に備えて実施される避難訓練も、様々な状況下を想定して頻繁に行われることが望ましいが、実際に様々な状況下で、年に何度も避難訓練を行うことは現実的には困難を伴うため、これを補うシステムが必要とされているといえる。

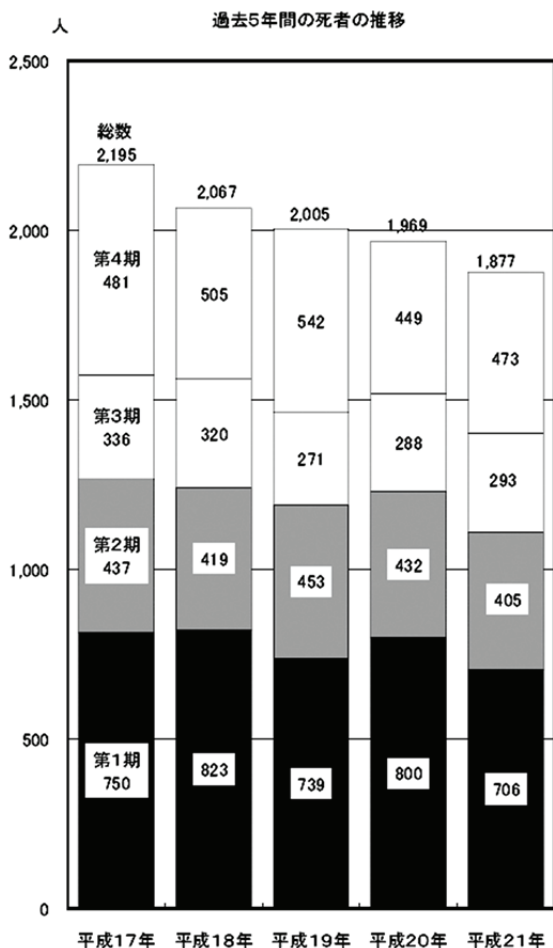


図1 総務省消防庁 平成21年（1月-12月）の火災による死者数の推移

### 3 避難シミュレータの提供機能と開発モデル

防災訓練の現状を受けて、もしコンピュータ上で仮想的な避難訓練を行えるようにすれば、通常の避難訓練で不足する点を補うことができるのではないかと考え、2008年度から避難シミュレータの開発研究を進め、簡単な体験が可能な展示用モデルを制作してきた(図2～5)。

コンピュータ上で行う仮想的避難訓練での期待効果は、以下のようにまとめられる。

#### (1)「避難成功体験」までを含めた想起

生活空間における災害時イメージを体験しておくことで、実際の場面で慌てることなく冷静な判断を下すことや、煙・炎に対する防御姿勢の想起、崩壊状況に応じた



図2 体験展示用避難シミュレータの起動画面



図3 平常時の廊下の表示例



図4 煙発生時の廊下の表示例

避難路の想起、につながると考えられる。

#### (2) 集団行動心理を加味した避難実験

同時に複数の人間が参加できるようなモデルを提供することで、自分たちの集団における集団行動心理を把握することができるほか、避難誘導に効果があるといわれ



図5 停電時の廊下の表示例

る「率先避難者」のあり方に関する研究プラットフォームとなる可能性も広がるものと考えられる。

### 3. 1 提供機能

避難シミュレータでは、通常の訓練を補うような機能が必要なほか、普及のためにはその利用者の環境への十分な配慮が必要であると考え、以下の4項目を基本的な提供機能と位置づけた。

#### (1) 建物内部の忠実な再現

訓練対象となる生活空間をなるべく忠実に再現するために、高機能でかつ開発環境が整っているグラフィクス環境としてJava3D [3]を採用した。Fog (霧) 機能により、煙による視界不良を再現できるほか、照明の制御によって、昼間/夜間/停電時などの設定が可能となる。

#### (2) 可搬性・拡張性・提供の容易さ

Java3Dは、プログラミング言語Javaの上で動作する3次元グラフィクス機能であり、実行環境と開発環境は全世界に無償で提供されていることから、避難シミュレータを普及させるのに適している。

#### (3) 多様な操作環境の提供への対応

Java言語の開発環境およびコミュニティが提供するソフトウェアを活用することで、キーボード・マウス・ゲームパッド・加速度センサーコントローラなど、要望に応じて様々な入力装置に対応させることができる。

#### (4) ネットワーク環境への対応

Java言語は、公開当初からネットワーク機能が重視されてきた経緯があり、コンピュータ教室での連携利用や、インターネット経由での配布・連携などにも対応が容易となっている。

### 3. 2 3つの開発モデル

本研究の避難シミュレータ開発では、想定する利用者側の要求に応じて、主に3つのモデルを策定して進めて

いる。

#### (1) 「現実感重視モデル」

多数の画面を用いて没入感を重視するモデルで、立体音の提供による臨場感、直感的動作での体験を可能とするための無線センサーを活用するものである。現実感を深めるなかで防御姿勢の学習 (姿勢を低くして進む、ハンカチで鼻や口を多くなど)を深めてもらうことも含む。

#### (2) 「小・中学校 教室向けモデル」

一般のコンピュータ教室があれば利用が可能な「同時参加体験」を重視するモデルで、ネットワーク経由で全参加者の動きが自画面に反映される。各自の操作では、姿勢を低くすることで煙による視界不良が減ることを学び、集団行動で陥りやすいパターンについて身をもって体験し、また指導教員が集団の行動の様子をみて、その後の指導に生かす。

#### (3) 「インターネット配信モデル」

本シミュレータをJava言語で開発していることを生かして、世界各地での活用を推進するためにインターネット上で配布することや、一同に会することが難しい組織構成員に対して、各地から同時参加できる形態としたモデル。利用者が、自分の生活空間のモデルを自作することが望ましいことから、建物モデルの簡易作成環境を目的としたモデル作成ソフトウェアの開発を並行して行っている。

## 4 避難シミュレータの必要機能と技術的解決策

避難シミュレータが提供すべき機能を実現するためには、Java言語でのユーザインタフェースデザイン、ネットワーク機能の活用のほか、Java3D API(Application Programming Interface)を用いた新たな機能の開発や他のソフトウェア (OpenAL, OpenGL) との連携による課題解決が必要である。以下では、その主要な技術的課題の解決方法についてまとめる。

### 4. 1 多画面化とモデル連携機能

没入感を向上させるためには、周囲や上方/下方を含めた映像を提供する必要がある。しかし、一台のコンピュータに複数のディスプレイカードを増設して複数画面を表示させることは、過度な負担をかけることになり描画更新頻度の低下を招く。そこで解決策として、複数台のコンピュータ間で同報通信で視点情報を共有し、分担して各画面の描画を行う方法を採用することとした。コンピュータ間の通信手順には高速に情報伝達ができる無手順方式のUDP (User Datagram Protocol)を用い、視点の位置と回転状態の数値を、スレッドで動作する通信プログラム経由で授受することとした。

他方、避難シミュレータを実行中には、炎や煙の発生・



停電など、場面内での動的変化が起きる。そこで、これらについても UDP による通信で情報を伝達する仕組みを入れ、連携する複数のコンピュータ間で同時に仮想空間内の建物モデル等を変化させる機能を実現した（具体的には、出火位置の情報（炎オブジェクトの座標）、煙の濃度（煙の種類を指定した番号）、電灯の点灯（点灯・消灯状態））（図6、図7）。

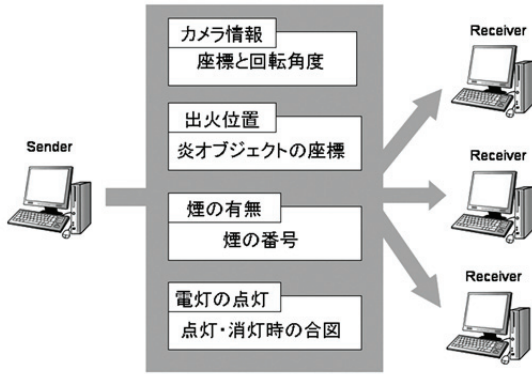


図6 ネットワーク上でのモデル連携概念図



図7 3画面連携の実現例

#### 4. 2 避難者の行動制約機能

##### 「壁面等での衝突判定」

避難シミュレータの仮想空間内では、建物内の壁面・柱・ドアなどの配置物との衝突判定による移動制限、階段での昇降移動などを可能とする必要がある。空間移動制限を行う手法としては、物体同士に Java3D の衝突検知機能を追加する方法がまず考えられる。しかし、これは

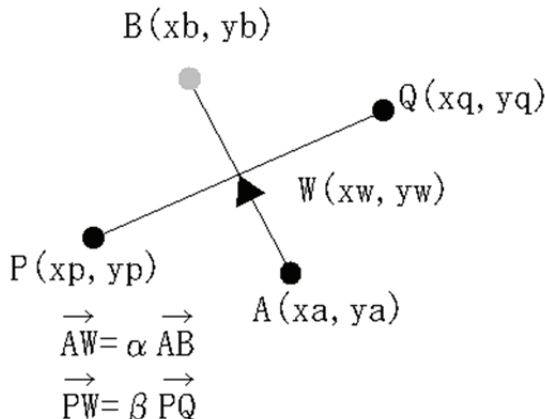


図8 衝突判定のための計算モデル

比較的計算負荷が重い処理であり、物体が高速で移動する場合には、正しく処理できないことがあることがわかった。そこで、視点の移動ベクトルと、判定対象物体の幅方向ベクトルとの交差判定による手法を採用することにした。この場合、物体ごとに衝突判定用のデータを作成する必要があるが、正確な衝突判定が可能である。

図8において、点Aを視点の現在位置、点Bを次の時刻での視点移動先位置、点Pと点Qは例えば壁面の左右端とする。また、点Wは、 $\vec{AP}$ と $\vec{BQ}$ それぞれを含む2直線の交点を表すものとする。ここで式(1)、(2)で $\alpha$ と $\beta$ を定義する。

$$\vec{AW} = \alpha \vec{AB} \quad (1), \quad \vec{PW} = \beta \vec{PQ} \quad (2)$$

この $\alpha$ と $\beta$ が、 $0 < \alpha < 1$ かつ $0 < \beta < 1$ を満たすときに、衝突したと判定できる。 $\alpha$ と $\beta$ は式(1)、(2)を各点のx、y座標成分で表して、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $x_w$ 、 $y_w$ に関する連立一次方程式を代数的に解くことで、式(3)、(4)の計算式を得る。

$$\alpha = \frac{(xp-xa)*yq+(xa-xq)*yp+(xq-xp)*ya}{(xb-xa)*yq+(xa-xb)*yp+(xp-xq)*yb+(xq-xp)*ya} \quad (3)$$

$$\beta = -\frac{(xb-xa)*yp+(xa-xp)*yb+(xp-xb)*ya}{(xb-xa)*yq+(xa-xb)*yp+(xp-xq)*yb+(xq-xp)*ya} \quad (4)$$

##### 「階段での昇降処理」

階段部分と踊り場を、別扱いのゾーンとして扱うこととし、ゾーンへの進入と退出を検知するために、透明な判定壁を設ける。視点移動との交差判定を行うことで、階段内移動モードに切り替えて、階段での位置に応じて視点の高さを変化させることで昇降処理を可能とした。

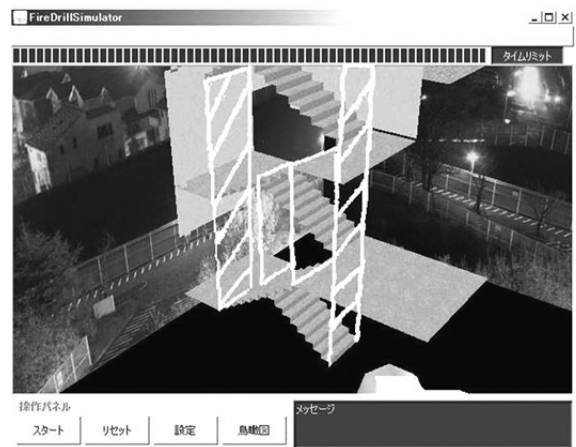


図9 階段ゾーン判定用仮想壁面

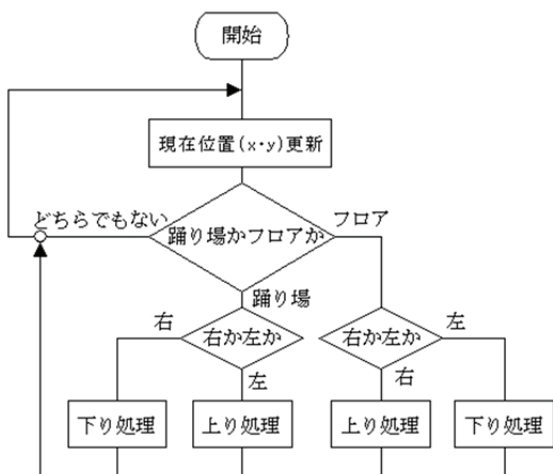


図10 階段での判定処理の流れ

### 4.3 立体音再生機能

災害現場の状況を、臨場感をもって再現するには、音環境も充実させることが必要である。現在の Java3D API では、立体音の生成機能は提供されていない。そこで現在立体音を扱うことのできる公開ライブラリである OpenAL (Open Audio Library) [4] を採用することとし、その際 Java プログラムから OpenAL を利用するためのライブラリ JOAL (Java bindings for OpenAL API) を用いることで、Java 言語での立体音利用を可能とした。しかし、Java3D プログラムからこのライブラリ直接利用することはできなかつたため、Java3D によるグラフィクス描画プログラムと、OpenAL を扱う Java プログラムを別々に作り、視点と音源の位置情報等をネットワーク経由で送受させて連携させ、実質的に Java3D モデルでの三次元音像の利用を実現させることとした(図11)。

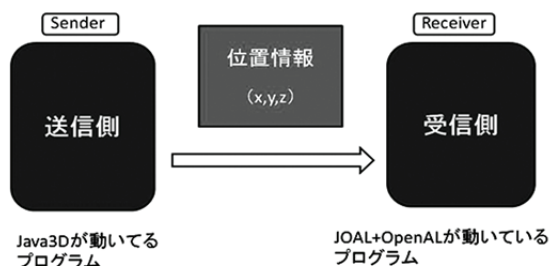


図11 ネットワーク経由での Java3D と OpenAL の連携

### 4.4 多人数同時参加機能

先に述べた3種類の避難シミュレータモデルのうち、「小・中学校 教室向モデル」では、多人数の同時参加を想定している。この場合、全参加者の視点位置と向きをサーバに集めてから再配信し、それぞれのシミュレータ上で各参加者に対応する人物モデルを表示させることが必要となる。ログイン動作には信頼性の高い TCP

通信 (Transmission Control Protocol) を用い、常に化する位置情報の送受信には、同報通信が可能で送信処理が単純な UDP を用いることとした。

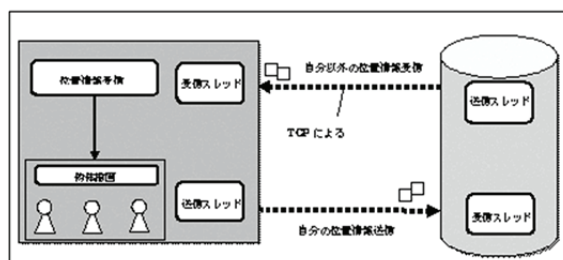


図12 連携概念図 (サーバ, クライアント)

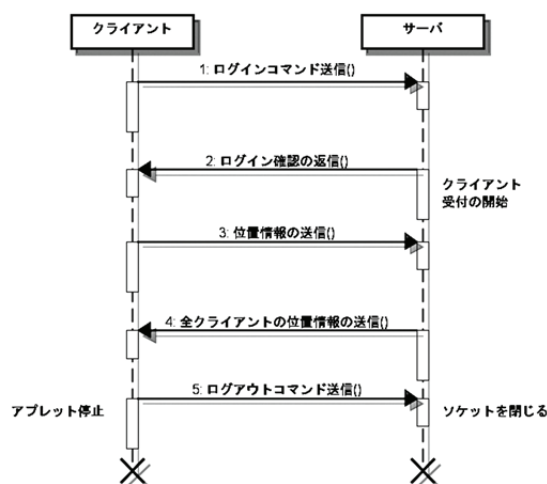


図13 連携動作シーケンス例

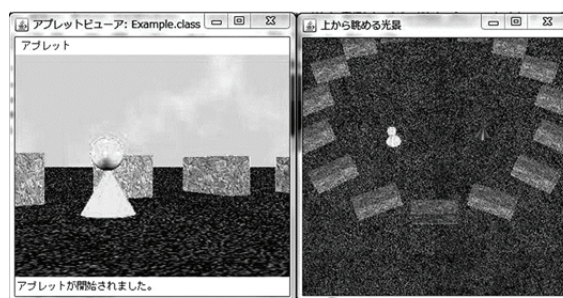


図14 ネット連携検証モデル動作例

### 4.5 物理計算エンジンによる建物崩壊考慮機能

地震などの災害では、避難の最中に壁・天井・柱などの崩壊が起きる。たとえこれらを剛体として扱うとしても、現実感を保ちながら実時間で起きる現象を再現するには、多くの計算資源が必要である。そこで本稿ではまず、シミュレータとは別に考えて物理計算部分のみを検討することとした。今回使用する物理計算エンジンは、C++でかかれた Bullet を Java に移植した JBullet [5] とした。図15に天井と柱の崩壊モデルを、図16に JBullet を用いたリアルタイム・シミュレーションの様

子を示す。

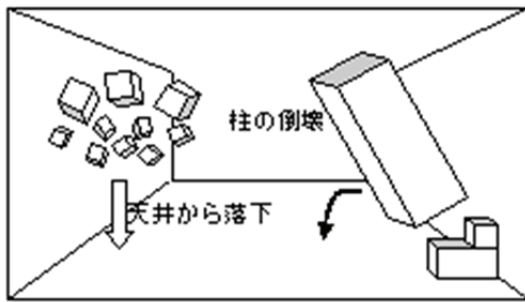


図 15 倒壊モデル例

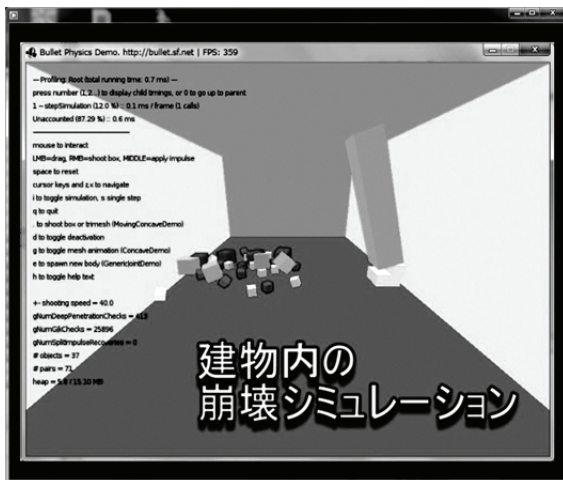


図 16 JBullet による崩壊シミュレーション例

#### 4. 6 Java3D モデルの簡易作成支援機能

現在開発を進めている避難シミュレータでは、本学横浜キャンパス 3 号館を再現している。今後、インターネットを通じて避難シミュレータを本学外に提供してゆく場合、その利用者にあわせた施設モデルの作成が必要となる。しかし、利用者自身が施設モデルを一から作成することは、必ずしも容易なことではない。そこで、施設の防災責任者や、小・中学校の先生といった防災訓練の責任者となる人物を対象として、専門的知識を持たなくても Java3D 用の施設モデルを作成でき、かつ、避難シミュレータに対応したフォーマットでデータが出力される「Java3D モデル簡易作成ソフト」の開発を行った。必要

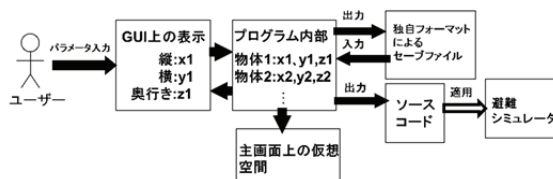


図 17 モデル作成ソフトの機能概念図

機能として策定したのは、①GUI による対話的モデル作成、②シーングラフの可視化・編集、③作成モデルの保存・読み込み、④テンプレート部品の管理、である (図 17)。

画面の構成と各部の機能は、以下の通りである。①基本情報入力部、② 使用可能物体リスト、③ 詳細設定部、④ 物体の生成及び削除ボタン、⑤ シーングラフ、⑥ 視点変更用 GUI、⑦ ライトと座標軸の有無、⑧物体表示部分本ソフトウェアを使用することによりソースを一から書く場合に比べ、Java3D による 3DCG モデルを作成する手間を大幅に削減することが見込まれる。

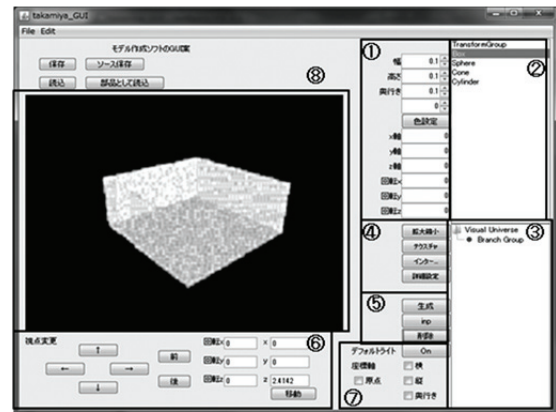


図 18 モデル作成ソフトの画面構成と作成例

## 5 まとめ

本報告では、実際の訓練では困難な状況をコンピュータ上に再現して現実に近い感覚を体験させることで、被災時に避難成功体験を想起させ冷静な行動を誘導するための「避難シミュレータ」の開発について、その具体的な技術的課題の解決について取り組んだ内容をまとめた。その中で、利用想定別に 3 つのモデルを策定して、基盤となる技術の開発を行い、実用化への目処をつけることができた。

2011 年 2 月には横浜市都筑区における第 8 回地域連携調査研究発表会において概要の発表を行ったところ、都筑消防署の消防司令長はじめ地域防災に係わる方から強い関心を頂くことができた。今後は、具体的な普及に向けたフェーズへと研究をシフトしてゆきたいと考える。

## 参考・引用文献

- [1] 横井利彰・泰江和徳, Java3D と SunSPOT を活用した避難シミュレータ基盤の開発, 第 29 回 日本シミュレーション学会大会 JSST2010 発表論文集, 145 頁-148 頁, 2010 年.
- [2] 総務省消防庁: 「平成 19 年 (1 月～12 月) におけ

る火災の状況」,

<http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/2008/200903-1houdou.pdf>

- [3] Henry Sowizral, et. al. : The Java 3D API 仕様, 株式会社アスキー, 1999.
- [4] OpenAL, <http://connect.creativelabs.com/openal/default.aspx>
- [5] JBullet -Java port of Bullet Physics Library, <http://jbullet.advel.cz/>