

## CBRテロ被害予測のためのシミュレータ

副田 俊介<sup>†1</sup> 山下 倫央<sup>†1</sup> 野田 五十樹<sup>†1</sup>

高速人流シミュレータを利用することで、CBRテロ災害の被害への対処機関間の連携が与える影響を推定する手法を提案する。CBRテロ災害の対象として想定されている大規模施設の運営には複数の機関がかかわることが多い。この場合、各機関単体での対処だけではなく、各機関間の連携も減災に影響を与える。本論文では、災害の覚知や、災害に関する情報の伝達にかかる時間について、各要素がどの程度被害に影響を与えるかについて予測する手法を提案する。

本手法は、まず各要素についての対処の方法を列挙し、次にそれら全ての組合せについて連成シミュレーションを用いることで被害の予測を行う。次に、得られた結果に重回帰分析を行い、どの要素がどの程度被害に影響を与えているかを推定する。

また、ターミナル駅で発生した化学剤によるテロ災害について本手法を適用し、分析を行った。その結果、災害が発生した箇所ですぐ避難勧告を出すことが減災に最も大きな影響を与えていることが判明した。

### Simulator to Estimate Damage by CBR Terrorism

SHUNSUKE SOEDA,<sup>†1</sup> TOMOHISA YAMASHITA<sup>†1</sup>  
and ITSUKI NODA<sup>†1</sup>

We propose a method to estimate the influence of the cooperation of organizations coping with CBR terrorism. CBR terrorism is an attack aiming at many people, and is expected to occur in large buildings run by multiple organizations. It is important to know, how the cooperation of such organizations will effect on the damage done by CBR terrorism. The proposed method first runs the simulators under many scenarios, then combine their results to see what kind of reaction is important to reduce the damage.

<sup>†1</sup> 産業技術総合研究所

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

#### 1. はじめに

近年、テロリストによる生物兵器、科学兵器、および放射能汚染による市民を対象とした攻撃(CBRテロ)への危機感が高まりつつあり、活発に研究が行われている<sup>1)</sup>。そのため、CBRテロを対象とした机上訓練<sup>2)</sup>などが行われているが、対策が十分といえる状況ではない。その原因の一つとして、実際に発生したCBRテロの件数は国内外ともに少なく、CBRテロの想定を立てたり、被害の予測をすることが難しいことが挙げられる。

CBRテロ災害は人の密集した地域、例えばターミナル駅や大規模集客施設などで発生することが想定されている。このような大規模な施設の運営には、複数の事業者が存在することが珍しくない。そのため、大規模な施設を対象としたCBRテロ災害への対処計画を立案する上では、避難誘導の方法だけではなく、事業者間の連携も重要となる。本論文では、被害の覚知や情報の伝達、被害への対処の速さが災害の被害へどのような影響を与えるかを推定する手法(対処評価手法)を提案する。

#### 2. 被害予測シミュレーション

提案手法を実現するためには、CBRテロ災害による被害を予測する必要がある。そこで、有害物質の拡散シミュレーション<sup>3),4)</sup>と人流シミュレータ<sup>5)</sup>を組み合わせた連成シミュレーションを利用する。有害物質拡散シミュレーションや、入力データ編集機能とあわせた被害予測システム全体の概要を図1に示す。

シミュレータの利用者は、まずシミュレーションをしたいCBRテロ災害のシナリオを準備する。ここで言うシナリオは次の要素を含む：

- シミュレーションを行う場所(地図上の位置や建物)
- 散布された有害物質の性質
- 有害物質が散布された場所
- 有害物質が散布方法や量
- 有害物質の拡散に影響する要素
- 被災者の人数や配置
- 個々の被災者の設定(避難速度や避難経路への理解)

##### 2.1 人流シミュレータ

人流シミュレータは高速に計算する必要があるため、ネットワーク型の人流シミュレータを利用した。通常のシミュレータでは人が移動する空間を2次元的に表現するのに対し、

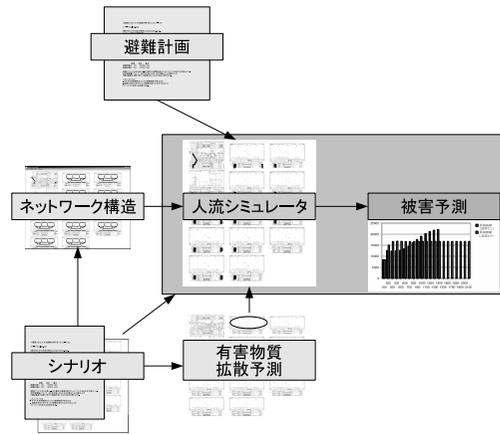


図 1 CBR テロによる被害予測システム概観図

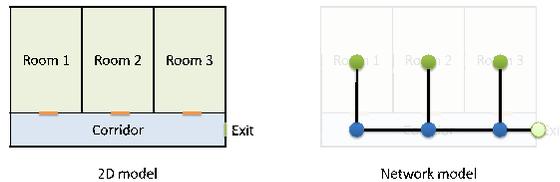


図 2 通常の人流シミュレータの空間のモデル化と NetMAS の空間のモデル化の比較。

ネットワーク型人流シミュレータでは人が移動する経路に注目し、空間を 1 次元的に表現している (図 2)。このような単純化を行うことで、高速な人流シミュレーションを実現している。

また、本シミュレータでは 1 人の被災者を、1 つのエージェントとして表現しており、このエージェントがネットワーク構造として表現された被災地を移動することで避難の様子をシミュレーションしている。

## 2.2 歩行者の速度

歩行者の速度は周囲にいる歩行者の人数や距離によって変化する。この影響を歩行者シミュレーションに反映するために、エージェントの前にいるエージェントの影響を考慮した

歩行者モデルを利用した。

このモデルでは、一つの通路 (ネットワークの辺) を、その通路の幅に応じて複数の仮想的なレーンに分割する。エージェントは同じ辺の上にいる直前エージェントではなく、自分のレーンにいる直前エージェントの影響を受けると仮定した。

ここで、歩行者の速度の変化を、自分のレーンにいる直前のエージェントとの距離  $d_i$  を利用して、次のように定めた：

$$\frac{dv}{dt} = \frac{a}{d_i} + \frac{b}{d_i^2}$$

ここで、 $a, b$  は定数であり、空間型シミュレータで得られた結果を利用して調整した結果、 $a = -0.5, b = -0.5$  を得た。

## 2.3 経路選択

エージェントは、基本的には予めシナリオから与えられた通りの経路を通り、避難勧告が出た際には最寄りの非常口へと避難する。

エージェントは通常の通勤客や購買客を現しているため、通常の状態では目的とする交通機関や店、出入口の間を与えられたシナリオ通りに移動する。ただし、テロ災害が発生し、エージェントが位置する機関から避難勧告が出た場合には、そのエージェントはその位置から最も近い非常口へと移動する。ここでは機関の誘導等がある前提で、道に迷ったり、間違った出口へ移動することはないものとする。

## 3. 対処評価手法

各機関の対処を評価する方法として、対処の方法によってどの程度被害が異なるかを調べる方法を提案する。具体的には、次のように行う：

- (1) 各機関の対処すべき内容 (要素) を列挙
  - (2) 対処の全ての組合せに対して被害がどの程度になるかをシミュレーションで予測
  - (3) 得られた結果に重回帰分析を行い、どの対処がどのような影響を与えるかを評価
- 対処の内容については、次を考える：

- (1) 災害の覚知
- (2) 避難勧告・避難誘導の開始
- (3) 他機関への災害の伝達

また、特殊な対処として救助隊の到着も考える。これは、シミュレーションの終了条件として扱う。

表 1 対処の要素

事業者	対処		対処の時間 (分)	
			速	遅
在来線	1	覚知	5	10
	2	他事業者や防災機関への連絡	3	6
	3	列車の運行停止	3	6
	4	避難勧告	3	6
新幹線	5	避難勧告	3	6
	6	列車の運行停止	3	6
モノレール	7	避難勧告	5	6
	8	列車の運行停止	3	6
ホテル	9	避難勧告	3	6
災害対処機関	10	rescuing insured passengers	20	30

#### 4. 実 験

新幹線・在来線・モノレールのある駅を想定した実験を行った。この駅では、各交通機関を運営する事業者以外に、駅に付属するホテルや商業施設などを運営する事業者が存在する。このうち、在来線のコンコースで化学剤が散布されたという想定で実験を行った。朝の通勤ラッシュ時を想定し、50分程度の間合計約2,300人が登場する(人数や時間はシナリオによって変わる)。

各機関について対処すべき要素が1つから4つ存在する。また、各要素について、対処の遅速で2通りの条件を考えた。これらを列挙したものが表1である。

これら10要素に2つの選択があるので、合計で $2^{10} = 1,024$ 通りの組み合わせが存在する。この全てについて、3回づつシミュレーションを行った(3)。

各エージェントは、有害物質への暴露量(暴露時間と有害物質の濃度の積)に応じ、被害を受ける。暴露量が一定値を越えた場合には速度が半分に、更に一定値を越えた場合には行動不能となる。この状態をトリアージの色に準えて黄タグ(速度が半分の状態)、赤タグ(行動不能の状態)と呼ぶ。本実験では、黄タグと赤タグになった人数の合計を被害とした。

各対処について、速い場合を0、遅い場合を1と仮変数を与え、重回帰分析を行った。その結果決定係数0.946を得た。

また、分析の結果のうち、各要素の係数を示したものが表2である。

ここでは、在来線での避難勧告が最も大きな値となっている。これは、被害が発生した箇所からできるだけ早く人を避難させることが重要であることを示している。

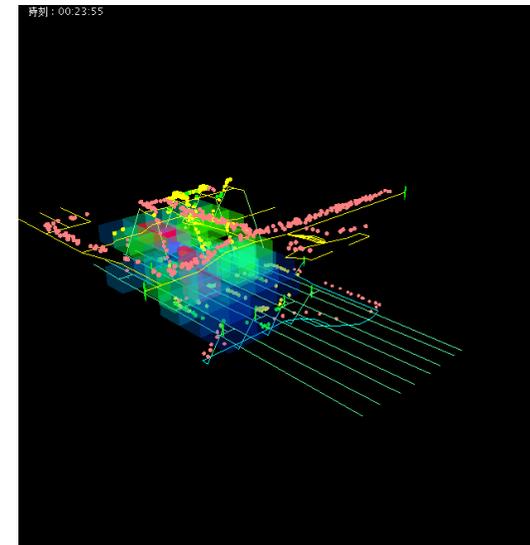


図 3 シミュレーション画面

表 2 分析の結果(係数)

事業者	対処		係数
	1	2	
在来線	1	覚知	0.424
	2	他事業者や防災機関への連絡	0.930
	3	列車の運行停止	0.766
	4	避難勧告	219
新幹線	5	避難勧告	110
	6	列車の運行停止	15.1
モノレール	7	避難勧告	0.878
	8	列車の運行停止	1.99
ホテル	9	避難勧告	1.08
災害対処機関	10	rescuing insured passengers	0.583

#### 5. おわりに

連成シミュレーションの結果を利用し、CBR テロ災害時における各機関の対応や連携の、被害に与える影響を調べる方法を提案した。また、駅を対象として実験を行った結果災害が

発生している地点で、人を早く避難させることが重要であるとの結果が得られた。

今後の課題としては、エージェントの行動ルールを複雑にすることで、どのような変化があるかを調べる必要があると考えられる。

謝辞 本研究は文部科学省平成19年度安全・安心科学技術プロジェクトの援助により行われました。ここに謝意を示します。

### 参 考 文 献

- 1) V. Balasubramanian, D. Massaguer, S. Mehrotra and N. Venkatasubramanian: "Drillsim: A simulation framework for emergency response drills", ISI, pp. 237–248 (2006).
- 2) PHP・危機管理シミュレーション研究会：“新たな脅威とのたたかい”, PHP 総合研究所 (2006).
- 3) 大場：“流体・拡散方程式の環境問題への応用と高速数値解法 (第16回年会「総合講演」)”, 応用数理, **17**, 1, pp. 53–56 (20070326).
- 4) 奈良, 加藤, 黄, 朱：“3155 火災シミュレータ eve sayfa による火災の数値解析と精度の検証：浮力ブルームのles解析 (市街地火災性状, 防火)”, 学術講演梗概集. A-2, 防火, 海洋, 情報システム技術, **2006**, pp. 317–318 (20060731).
- 5) 副田, 山下, 野田：“CBR テロを想定した避難シミュレータ”, 情報処理学会研究報告. ICS, [知能と複雑系], **20**, pp. 67–71 (2008).
- 6) 副田, 山下, 野田：“ネットワーク型マルチエージェント人流シミュレータのモデル化とパラメータ調整”, 第23回人工知能学会全国大会 (2009).