

## 避難シミュレータを利用した 避難誘導計画の検証及び立案支援の提案

山下 倫 央<sup>†1</sup> 副田 俊 介<sup>†1</sup>  
大西 正 輝<sup>†1</sup> 野田 五十樹<sup>†1</sup>

有害危険物質が施設内で散布された際、大規模施設の防災担当者等のおこなう対処行動がどの程度被害軽減に影響を及ぼすかを分析する。避難対象者の避難過程や有害危険物質の曝露量を計算するために、一次元歩行者モデルを用いた避難シミュレータを用いる。ターミナル駅構内で発生した CBR テロにおける危険物質の拡散を事例として取り上げて、1,024 通りの対処行動の影響を分析する。重回帰分析を用いて、対処行動が開始されるまでの早い・遅いがどの程度乗客の被害状況に影響を与えるかを検証する。

### Support of Specification and Preparation of Evacuation Planning with Evacuation Simulator

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

As described in this paper, we developed an evacuation planning assistance system for use before CBR attacks. With multiple regression analysis, we propose an analysis method for quantitative comparison of the effect of coping behaviors from the point of view of decrease in the damage. To calculate the damage quickly, our evacuation simulator with the one-dimensional pedestrian model was applied with systems designed to predict hazards of indoor gas diffusion. Our one-dimensional pedestrian model is designed to conduct simulations much faster, taking less than few minutes for simulation with ten thousands of evacuees. With our evacuation planning assist system, we investigated a simulated chemical attack on a major rail station. In our simulation, we showed a relation between the time necessary to begin coping behaviors of the managers and the damage to passengers.

#### 1. はじめに

近年、化学剤・生物剤・放射性物質を用いて都市部の人口密集地を対象とした無差別な攻撃の発生が懸念されている。有害危険物質を噴霧、気化、爆発に伴った拡散させるのが CBR テロの特徴である。CBR テロの最も深刻な事例の一つとして、1995 年の東京地下鉄サリン事件が挙げられる。特に化学テロの場合、即効性のある有毒物質が都市部で散布されると甚大な被害が短時間で生じる可能性がある。そのため、テロの標的となりやすい大規模施設の管理者や初動対応者（消防、警察、自治体等）は CBR テロに対する実効性のある対処計画を準備しておく必要があるが、十分な知識や経験がなく、被害を推定するツールも不足しているのが実情である。そのため、CBR テロの被害を推定し、対策を定量的に評価するためのツールが求められている。

CBR テロは発生すれば、地下鉄サリン事件の例を挙げるまでもなく、火災や地震と同様に多くの被害を出すことが容易に予想されるが、発生頻度が低く、発生への傾向も明確ではないため発生後の一般的な対処案は確立していない。また、CBR テロと一括りにしているが、散布される有害危険物質の種類や量、散布場所・時間によって被害の程度、範囲、期間も大きく変わるため、画一的な対処計画では全ての状況には対応できない。テロは人為的に被害を最大化させる意図を持っておこなわれるため、特定の状況のみを想定した対処計画ではかえって被害を拡大させる恐れもある。さらに、テロの状況を短時間で把握し、その状況に最も適した対処行動を取ることも困難であるため、対処計画は想定外の状況にもある程度対応できる柔軟性を持つ必要もある。そのため、想定される数多くのテロやその対処計画においてどのような意思決定や対処行動が定常的に被害軽減に高い効果を上げるか、ということを事前に把握し、テロ発生時には関係者が連携して効果的な対処行動を実施できる準備を整えておくことが重要である。また、対処計画の一般性を確保するためには、テロが発生した状況に対して異なる対処計画を実施した場合の被害を比較し、どのような状況においても一定上の効果を上げることが求められる。

CBR テロに対して一般性を持つ対処計画の立案に至らない技術的な要因の一つとして、複数の対処計画の比較検証に時間がかかってしまうことが挙げられる。屋内外の有害危険物質の拡散に関しては、屋内空調機器の性能評価技術や汚染物質拡散の環境アセスメント技

<sup>†1</sup> 産業技術総合研究所  
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology(AIST)

術がベースとなり、精緻化や高速化が図られてきた。それに対して、人の動きを計算する避難シミュレーションでは歩行アルゴリズムの開発による精緻化はおこなわれて再現精度の向上は実現しているものの、大規模な避難に対する計算速度の向上が課題として残っている。本論文では、このような技術的課題を踏まえて CBR テロに対する避難誘導計画の立案支援システムを提案する。北九州市消防局と協力し、ターミナル駅で発生した化学テロの際の対処行動を扱い、対処行動の開始までの所要時間と乗客の被害状況の關係に着目する。

## 2. 避難誘導計画の立案支援システム

本論文で提案する避難誘導計画の立案支援システムは、産業技術総合研究所が開発した避難シミュレーション、三菱重工株式会社が開発した屋外拡散予測システム、東京大学とアドバンスソフト株式会社が開発した屋外拡散予測システムの3つの構成要素からなる。

図1には、立案支援システムの構成要素とデータフローの概要が示されている。次章以降で各構成要素の詳細を説明する。図1に示されているように、第一に、屋内外拡散予測システムが対象施設内または対象地域における有害危険物質の濃度変化を計算し、指定地域における有害危険物質の濃度の時間変化を出力する。次に、避難シミュレーションが避難シナリオに従って避難対象者の避難過程を計算し、全避難者の避難完了時間と有害危険物質の性質や濃度の時間変化に基づいて各避難者の曝露量と被害状況を出力する。施設の防災担当者や初動対応者（消防、警察、自治体）の対処行動は、危険物質の拡散の覚知、消防への通報、避難開始の指示、負傷者の救助が挙げられる。避難シナリオとは、施設の防災担当者や初動対応者（消防、警察、自治体）の対処行動と避難者の取りうる避難行動の実行可能な組み合わせの中の一つとする。避難シナリオに沿って避難者の挙動を計算した後、重回帰分析を用いて避難者の被害状況に基づいて対処行動の効果を算出する。

立案支援システムの利用者として大規模施設の管理者や初動対応者を想定して、CBR テロによって生じた被害を見積もり、対処計画を事前に評価することを目的としている。

## 3. 気体拡散予測システム

### 3.1 屋内拡散

屋内危険物質拡散予測システム EVE SAYFA (Enhanced Virtual Environment Simulator for Aimed and Yielded Fatal Accident) は地下鉄、ショッピングモール、高層ビルで火災や CBR テロが発生した場合被害の拡大防止や軽減を目的として、安全性を評価するために開発されてきた<sup>8),12)</sup>。

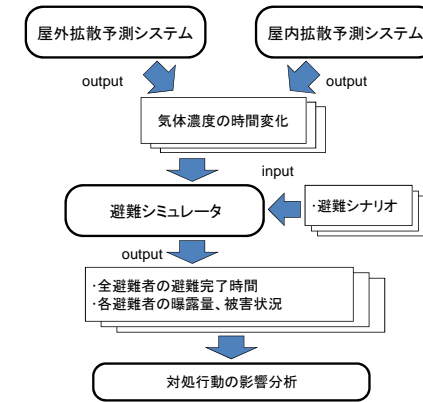


図1 システムの構成要素とデータフローの概要

EVE SAYFA は、災害の発生地点から、経過時間に沿った拡散の範囲、速度、状況をシミュレートし、詳細な再現性を持つ三次元モデルである EVE SAYFA 3D と高速計算が可能な一次元モデルの EVE SAYFA 1D の二つの気体拡散のシミュレーションモデルを選択的に利用可能である。EVE SAYFA 3D では、Large eddy simulation を利用した数値流体力学の解析モジュールによって実在の建物の設計データを使った大規模建物空間における高精度で詳細な有害危険物質の拡散シミュレーションがおこなわれる。EVE SAYFA 1D では、大規模な施設全体を部屋、廊下、階段、壁、窓といった要素を結合して表現したマクロモデルで表現し、各要素における気体濃度の推移を計算する。

### 3.2 屋外拡散

屋外拡散予測システム MEASUREST は、市街地に散布された場合の空气中濃度等を計算し、被害者数を予測するシステムで、気流データベース、拡散モデルおよび被害予測モデルで構成される<sup>10),11)</sup>。広域気象データは、インターネットを通じて、外部から提供される。気流、地形、人口のデータベースも、事前にシステムに保存される。当該地域の気象観測データを基に、将来に亘る気流分布を予測する。気流分布には、予め作成した16方位の風向分の気流場データベースを使用し、複数の気流場データを結合させた非定常気流場の作成する。次に、気流予測結果に基づき、散布された剤の拡散予測解析（粒子モデル）をおこなう。これにより、計算領域内の任意地点の任意時刻（10分間隔）における剤の濃度及び濃度積算量を求める。

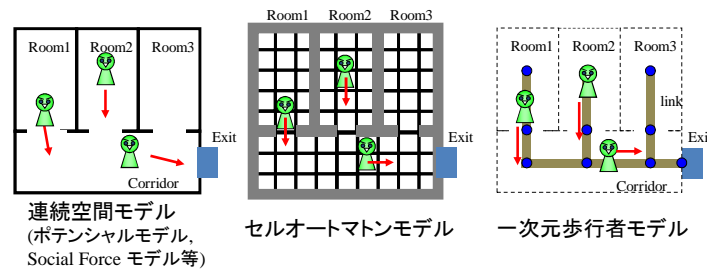


図 2 空間モデルの例

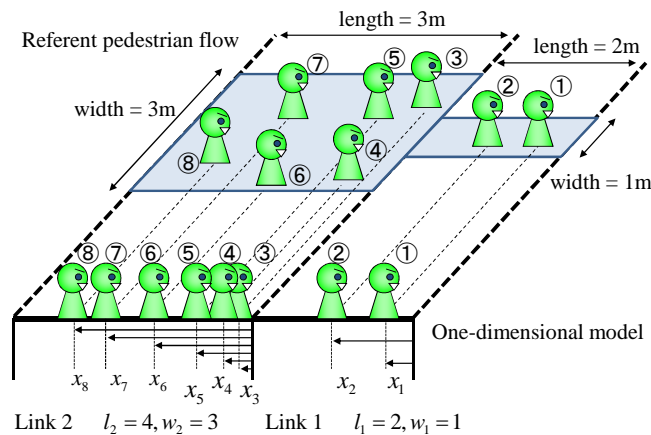


図 3 一次元歩行者モデル

## 4. 避難シミュレータ

### 4.1 一次元歩行者モデル

近年、多くの避難シミュレーションが開発されており<sup>2)</sup>、それらの多くは避難者が移動する空間の表現に、連続空間上を歩行者が移動する連続空間モデル<sup>1),3),4),6),7)</sup> や空間をグリッド状に分割したセル上を歩行者が移動するセルオートマトンモデル<sup>5),9)</sup> を採用している。

連続空間モデル上での移動モデルでは、歩行者が二次元平面上で障害物や他の歩行者を回

避したり、パーソナルスペースを確保したり、目的地方向へ移動するという条件を満たす移動方向、移動距離や移動速度を算出している。連続空間モデルにおける歩行者の移動モデルとして、連続空間上で他の歩行者や障害物もたらす作用を集積して移動方向や速度を決定するポテンシャルモデル<sup>1),3)</sup>、近くの歩行者や障害物から反発力を受けて移動方向の加速度を決定する Social Force モデル<sup>7)</sup>、歩行者間のパーソナルスペースの重複範囲から移動方向の速度を決定するモデル<sup>6)</sup>、要素パネと仮想パネを導入して歩行者の移動方向の加速度を決定する楕円形個別要素法<sup>4)</sup> 等が挙げられる。これらの移動モデルでは、0.1 秒程度を 1 シミュレーションステップとして歩行者の移動を精緻に計算するため、多くの避難者が密度の高い状況にいる場合には移動に関する計算量が増加し、高い再現精度は実現できるが計算時間は延びてしまう。そのため、多数の避難条件下での避難誘導計画の効果を比較検証するためには適さない。

セルオートマトンモデルにおける歩行者の移動モデルとしては、目的地方向の空いたセルへ確率的に移動したり、過去の通過した歩行者の挙動を模倣したりといった比較的単純なアルゴリズムが採用されているため、避難者の移動の計算には計算負荷がかからない場合が多い。実際の計算機上で計算する場合には、歩行者が移動可能な全領域を 50cm 四方程度のセルに分割し、避難者の有無、周囲のセルとの隣接状況、避難者の通過履歴等を計算機のメモリ上に確保する。そのため、避難の対象とする領域の拡大に従ってセル数が二乗に比例して増加してしまうため、広範囲に渡る避難を扱う場合には必要なメモリの確保が困難になる場合がある。

本研究では、対処行動の影響評価のために、避難対象者が数千人いるターミナル駅における数百の避難シナリオの結果を比較することを想定しているため、従来の人流モデルに比べて高速計算が可能で広範囲の領域を扱うことができる一次元人流モデルを用いる。一次元人流モデルは他の人流モデルとは異なり、歩行者の移動可能範囲が長さを持つリンクとして表現され、リンクはノードによって接続される。図 2 で示されるように一次元人流モデルでは、避難者が移動する部屋や廊下はリンクとして扱われ、ノードがリンクの結節点となっている。図 2 では、連続空間上を避難者が移動するモデル、セルオートマトンモデル、本論文で用いる一次元人流モデルで同一の対象をモデル化している例を示している。

本論文で利用する一次元人流モデルは、歩行者の二次元平面上での相互作用を一次元に写像しているため、渋谷駅前のスクランブル交差点で見られるような対向流における櫛状の列が形成される過程やその際の速度減衰、多数の避難者が扉に殺到した際の一時的に流量が低下してしまうアーチ現象を直接的に再現することはできない。しかし、一次元歩行者モデル

は二次元平面上における避難者の移動方向や移動速度を決定する計算過程を省略することができるため、避難者が一定方向に移動する状況を高速に計算することには適している。また、対向流やアーチ現象における速度減衰も事前に発生条件とその影響や継続時間が明確であれば、一次元歩行者モデルに織り込むことは可能である。本論文でおこなう重回帰分析を用いた対処行動の影響評価には、多数の避難シナリオの結果を比較する必要があるため、高速計算に適した一次元歩行者モデルを採用した避難シミュレーション NetMAS を利用する。

#### 4.2 避難者の速度

図3で示されているように本論文で用いている一次元人流モデルでは、図中の上部に表わされる二次元平面上を移動する歩行者 (Referent pedestrian flow) を図中の下部の一次元のリンク上に縮約し、歩行者の位置をリンク上のどこにいるかという一次元の情報で記述する。実際の歩行者が移動する場合、比較的歩行者の密度が高い状態では、歩行者は自然発生的に列を作って移動することが確認されている。一次元歩行者モデルではこの列を仮想レーンとみなし、仮想レーン上の歩行者の速度は直前の歩行者との距離によって決定されると定義する。あるリンク上で形成可能な仮想レーンの数はリンクの幅  $w$  に比例すると考え、直前の歩行者を  $w$  人前の歩行者とする。

図3の場合、Link 1 は幅が 1m であるため仮想レーン数は 1 で、歩行者 2 の直前の歩行者は歩行者 1 となる。Link 2 は幅が 3m であるため仮想レーン数は 3 で、歩行者 8 の直前の歩行者は歩行者 5 となる。リンクの先頭にいる歩行者 3 の直前の歩行者はノードを跨いで Link 1 の最後尾の歩行者 2 となる。歩行者 4 と 5 の直前の歩行者は存在せず、壁までの距離を直前の歩行者までの距離として歩行速度の計算をおこなう。

一次元人流モデルにおいて、歩行者の歩行速度は Helbing らの提案する Driving Force と Social Force の二つの力に基づいて決定されるとする<sup>7)</sup>。Driving Force は速度が低下した歩行者が周囲に他の歩行者がない場合の移動速度である自由流速度に戻ろうとする力で、時刻  $t$  における歩行者  $i$  の Driving Force  $f_i^{dr}(t)$  は、

$$f_i^{dr}(t) = m_i \frac{v_i^0 - \dot{x}_i(t)}{a_0}, \quad (1)$$

と定義されている。ここで、 $\dot{x}_i$  は時刻  $t$  における歩行者  $i$  の速度、 $v_i^0$  は歩行者  $i$  の自由流速度、 $m_i$  は歩行者  $i$  の質量、 $a_0$  は速度回復の速さを表す無次元の正のパラメータである。

また、Social Force は前方にいる歩行者に対してパーソナルスペースを確保しようとする力で、時刻  $t$  における歩行者  $i$  が前方にいる歩行者  $j$  から受ける Social Force  $f_i^{soc}(t)$  は、

$$f_i^{soc}(t) = a_1 \exp \frac{r_{ij} - d_{ij}(t)}{a_2}, \quad (2)$$

と定義されている。ここで、 $r_{ij}$  は歩行者  $i$  と  $j$  の半径の和、 $d_{ij}$  は歩行者  $i$  と  $j$  の距離である。また、 $a_1$  と  $a_2$  は正の実数である。

Driving Force(式1) と Social Force(式2) の定義を用いて、一次元人流モデルにおける時刻  $t + \Delta t$  の歩行者  $i$  の速度を、

$$m\dot{x}_i(t + \Delta t) = m\dot{x}_i(t) + \frac{v^0 - \dot{x}_i(t)}{a_0} - a_1 \exp \frac{r - (x_i(t) - x_{i-w}(t))}{a_2}. \quad (3)$$

と定義する。ここで、仮想レーンを導入しているため避難者  $i$  の直前の歩行者は歩行者  $i - w$  となり、歩行者  $i$  は  $i - w$  番目の歩行者を Social Force の対象とする。また、全ての歩行者の質量は  $m$ 、自由流速度は  $v^0$ 、半径は  $r/2$  としている。

### 5. 対処行動の影響分析

本章では、下記に示す重回帰分析を用いた対処行動の影響分析を提案する。

#### (1) 可能な行動の数え上げ

このパートでは、施設管理者と避難者の取りうる行動やそれらの行動が開始されるまでの時間を列挙する。ここでは、「施設管理者には取りうる対処行動が、避難誘導の開始と被害者救助のための消防機関への連絡、の二つがあるとす。」という例を用いて提案手法を説明する。この例では、避難誘導に関しては、出口 A への誘導と、出口 B への誘導の 2 通りが考えられ、誘導を開始するまでには、3 分 (管理者の判断が早い) と 6 分 (判断が遅い) の 2 通りが考えられる。消防機関への連絡に関しては、5 分 (管理者の判断が早い) と 10 分 (管理者の判断が遅い) の 2 通りが考えられる。

#### (2) 全てのシナリオにおける被害の算出

立案支援システムを用いて、事前に設定した全てのシナリオにおける避難者の被害状況を計算する。ここでの全てのシナリオとは、取りうる対処行動と開始までの時間の全ての組み合わせのことをいう。前述の例の場合は、出口 A または B の選択で 2 通り、避難誘導の開始時間で 2 通り、消防機関への連絡までの時間で 2 通り、であるので、 $2 \times 2 \times 2 = 8$  通りのシナリオが生成される。

#### (3) 対処行動の影響分析

このパートでは、重回帰分析を用いて対処行動の影響を算出する。本手法では、独立変数は施設管理者や避難者の取りうる行動やその開始時間となる。従属変数は各シナ

表 1 有害危険物質の曝露の影響

曝露量 ( $mg \cdot min/m^3$ )	1	200	1,000	2,000	20,000
実際の被害	目の痛み	喉痛や頭痛	呼吸困難	半数致死	全致死
避難シミュレーション における影響	最大移動速度 40% 減	最大移動速度 90% 減	停止	停止	停止
被害状況	軽度	中度	重度	重度	重度

表 2 管理者の対処行動と開始までの所要時間

管理者	対処行動		開始までの 所要時間 (分)	
			早	遅
在来線	1	化学テロの覚知	5	10
	2	消防や他組織への通報	3	6
	3	列車の運行停止	3	6
	4	乗客へ避難命令	3	6
新幹線	5	乗客へ避難命令	3	6
	6	列車の運行停止	3	6
モノレール	7	乗客へ避難命令	5	6
	8	列車の運行停止	3	6
ホテル	9	宿泊者へ避難命令	3	6
消防	10	乗客の救助	20	30

リオにおける重度の被害者とする。従属変数を常に比例尺度で表現することが難しいため、取りうる行動とその開始時間を表現するためにダミー変数を用いる。

## 6. シミュレーション

避難誘導計画の立案支援システムを用いて、我々はターミナル駅において化学テロが発生した場合を扱う。この事例は北九州市消防局の協力でおこなわれ、駅管理者の対処行動を開始するまでの所要時間と被害状況の関係を明らかにして、駅管理者の対処行動の効果に対する知識を共有することが目的である。

### 6.1 シミュレーション設定

本論文で設定する化学テロは、ターミナル駅構内で有害危険物質が散布された状況を想定している。駅構内の有害危険物質の濃度変化は屋内拡散予測システム (EVE SAYFA 1D) が計算する。約 9,000 人の乗客や駅利用者の動きは、避難シミュレーションが計算する。各乗客の有害危険物質の曝露量は、有害危険物質の濃度とそのエリアの滞在時間の積によって算出する。使用が想定されている有害危険物質の曝露量とその影響を表 1 に示す。対象と

表 3 避難者の速度関数のパラメータ

自由流速度 $v_0$	1.02	パラメータ $a_0$	0.962
避難者の半径 $r/2$	0.522	パラメータ $a_1/m$	0.869
		パラメータ $a_2$	4.68

なるターミナル駅は、在来線、新幹線、モノレール、ホテル、複数の商業エリアが合わさった複合商業施設で、各機関に管理者がいる。

ここでは 10 パターンの管理者の対処行動を設定し、各対処行動に対して開始までの所要時間が早く開始された場合と遅く開始された場合の 2 通りを設定する。設定された対処行動と開始までの所要時間を表 2 に示す。対処行動の開始が遅れると有害危険物質による乗客の被害は拡大してしまう。対処行動がおこなわれる順序が図 4 に示されており、例えば、在来線の管理者は、(1) 化学テロ発生時の覚知、(2) 消防、新幹線、モノレール、ホテルの管理者への通報、(3) 在来線の緊急停止、(4) 乗客への避難命令の 4 つの対処行動をおこなう。

各対処行動は、2 種類の開始までの所要時間が設定されており、例えば、対処行動 4 (乗客への避難命令) であれば、早く行われた場合の避難命令の発令までの所要時間は 3 分で、遅い場合の所要時間は 6 分となっている。

設定した条件下では、各対処行動が開始されるまでの所要時間の組み合わせは、 $2^{10}$  (=1,024) 通りあるため、シナリオ数は 1,024 となり、この全ての場合についての 9,000 人の被害状況を計算する。避難シミュレーションにおいては、化学テロが覚知され、避難命令が発令されるまで、各乗客は駅構内を移動し、プラットフォームで電車を待つ。避難命令が発令された後は、乗客は駅係員の指示に従って避難する。

また、本論文で用いている一次元歩行者モデルにおける避難者の速度関数 (式 3) のパラメータには表 3 で示される値を用いた。

### 6.2 重回帰分析の適用

1,024 通りの避難シナリオの計算時間は Intel(R) Core(TM) 2 Quad CPU Q6600 @ 2.40GHz. を用いて 1 時間 15 分だった。

図 4 で重回帰分析の結果が示されており、各対処行動の開始までの早い・遅いが重度及び中度被害者数にどの程度影響を与えているかを示している。中度被害者数に関しては、対処行動 1 (化学テロの覚知) が早く開始されると 178 人、対処行動 4 (在来線における避難命令の発令) が早く開始されると 134 人減らすことができることを示している。重度被害者数に関しては、対処行動 1 が早く開始されると 62 人、対処行動 4 が早く開始されると 21 人、対処行動 10 (消防機関の救助) が早く開始されると 24 人、減らすことができることを示し



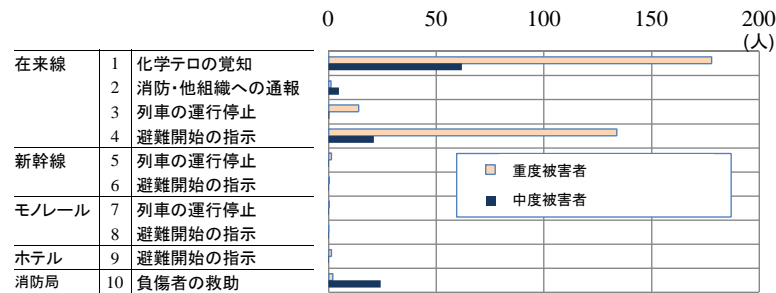


図4 重回帰分析の適用結果

ている。

重回帰分析を用いることで、各対処行動の影響を重度・中度の被害者数によって定量的に示すことができた。その結果、対処行動1(化学テロの覚知)と対処行動4(在来線における避難命令の発令)が影響力の大きい対処行動であることが確認された。北九州市消防局がおこなった机上訓練において、本論文で示した結果は利用され、ターミナル駅の各施設の管理者で共有された。

シミュレーションの結果自体は、テロ発生の覚知と発災箇所近くの避難開始を素早くおこなうことが被害を軽減させるという常識的で、新たな発見というものではない。しかし、素早く対処行動を開始することがどの程度被害者を減らすことができるかを定量的に示したことに意義がある。実際に化学テロが発生した場合には、どのような対処行動が事態に適しているかを十分に検討している時間はない。事前に対処行動の優先順位を決めておき、テロ発生後には優先順位の高い対処行動を素早く実行することが被害を軽減させるためには重要である。そのため、テロ被害を多数のシナリオから定量的に推定し、管理者間で優先度の高い対処行動を共有することを支援する本システムは非常に有用なツールである。

## 7. 終わりに

本論文では、避難シミュレータと屋内外拡散予測システムが連携した避難誘導計画の立案支援システムを提案し、重回帰分析を用いてテロ発生時の対処行動の優先順位付けをおこなった。ターミナル駅で発生した化学テロにおける被害状況の推定を立案支援システムの適用事例として取り上げた。

## 謝 辞

本研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)平成21年度産業技術研究助成事業(若手研究 Grant)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) 浅野美帆, 井料隆雅, 桑原雅夫 (2008) 交錯交通の容量評価のためのマイクロ歩行者行動モデル. 交通工学, Vol. 43, No.4, pp.80-89.
- 2) 池田由華 (2010) シミュレーションベンチマークの結果. 日本火災学会避難シミュレーションモデルの現状とこれからのに関するシンポジウム予稿集. pp. 38-55.
- 3) 木村 謙, 佐野 友紀, 林田 和人, 竹市 尚広, 峯岸 良和, 吉田 克之, 渡辺 仁史 (2009) マルチエージェントモデルによる群集歩行性状の表現. 日本建築学会計画系論文集 74(636), pp. 371-377.
- 4) 杉本太一, 目黒公郎 (2003) 楕円形個別要素法を用いた避難行動解析に関する基礎的研究. 土木学会地震工学論文集, 第 27 号, pp.1-4.
- 5) 森下信, 中塚直希 (2002) セルオートマトンによる緊急避難時の群衆流解析. 機械力学・計測制御講演論文集: D & D, pp.308.
- 6) 劉建宏, 大枝良直, 角知憲 (2008) パーソナルスペースを用いた障害物を回避する歩行者の群集流動. 土木学会論文集 D, Vol.64, No.4, pp.513-524.
- 7) Helbing, D., and Molnar., P. (1995) Social Force Model for Pedestrian Dynamics. Physical Review E51:4282-4287.
- 8) Nara, M., Kato, S., Huang, H., and Zhu, S.W. (2006) Numerical analysis of fire on disasters with "EVE SAYFA", a fire simulator, and its validation? LES for thermal plume. Summaries of Technical Papers of 2006 Annual Meeting of Architectural Institute of Japan. pp. 317-318 (In Japanese).
- 9) Nishinari, N., Kirchner, A. Namazi, A. and Schadschneider, A. (2003) Simulations of evacuation by an Extended Floor Field CA model, Proceeding of Traffic and Granular Flow '03, pp. 405-410.
- 10) Ohba, R., Kouchi, A., and Hara, T. (2007) Hazard Projection System of Intentional Attack in Urban Area. 11th Annual George Mason University, Conference on "Atmospheric Transport and Dispersion Modeling" (Poster).
- 11) Ohba, R., Yamashita, T., Ukai, O., and Kato, S. (2008) Development of Hazard Prediction System for Intentional Attacks in Urban Areas. Seventh International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia (USMCA2008). pp. 687-696.
- 12) <http://venus.iis.u-tokyo.ac.jp/english/Research/field-e/evesayfa/index.html>