

## 都市高速道路の災害時交通シミュレーションの開発と事業継続計画策定への活用

Development of traffic simulation for urban expressways and its application to Business Continuity Plan

山脇正嗣\*, 白木渡\*\*, 井面仁志\*\*\*, 保田敬一\*\*\*\*

Masashi YAMAWAKI, Wataru SHIRAKI, Hitoshi INOMO, Keiichi YASUDA

\*香川大学大学院, 信頼性情報システム工学専攻 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

\*\* 工博, 香川大学教授, 信頼性情報システム工学科 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

\*\*\* 博 (工), 香川大学教授, 信頼性情報システム工学科 (〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20)

\*\*\*\* 工博, (株) NEWJEC 道路グループ (〒531-0074 大阪市北区本庄東二丁目 3 番 20 号)

To minimize the influence of damage by the large earthquake, it is important to restore society's infrastructure such as traffic network promptly. Especially because the urban expressway is an important infrastructure to execute a prompt disaster restoration, early restoration after the disaster occurs is strongly requested and the decision of BCP in the urban expressway is advanced. Because neither the assumption of detailed disaster situation nor the effectiveness of measures is considered, the content of BCP is not specifically shown. Then, in this study, struck situation and behavioral situation of car are reproduced by using a traffic simulation system that authors developed by using MAS. And, we apply the system for decision of BCP in urban expressway by examining the method of prompt life rescue and the method of securing emergency access road.

*Key Words: Traffic simulation, Business Continuity Plan, Multi-Agent System*

キーワード: 交通シミュレーション, 事業継続計画, マルチエージェントシステム

## 1. はじめに

近年, 世界各地で大規模な地震が多発しており, 日本においても今後 30 年以内に非常に高い確率で東南海・南海地震の発生が予測されている。地震により発生した被害の影響を最小化するためには, 交通網等の社会インフラを迅速に復旧することが重要である。特に, 都市高速道路は, 負傷者の搬送や救援物資の輸送等, 迅速な災害復興を行なうために重要な社会基盤として位置づけられており, 災害発生時の被害の最小化, 速やかな復旧体制の構築が強く求められている。

このような背景に基づき, 首都高速道路や阪神高速道路等の都市高速道路事業では, 事業継続計画(Business Continuity Plan : BCP)の策定が進められている。BCP とは事業が存続できなくなるリスクを事前に分析・想定し, 事業継続に必要な重要業務や, その復旧時間と対応策などを定めた包括的な行動計画である。都市高速道路事業では, 被災後の迅速な道路サービスを重要業務と位置づけ, そのサービスを確保するために道路施設設備の復旧を可能にするための災害時対応策を取り決め, BCP として策定している。しかし, 実際に高速道路上で災害が発生した場合, 定められた BCP に従い適切に対応策を実施するために

は, 普段から被災時の被害状況を想定した防災訓練を実施し, 現状の対応計画・内容・手順の有効性と課題を明確にした上で BCP の内容を改善する必要がある。しかしながら, 膨大な交通量を誇る都市高速道路において防災訓練を実施することは時間的にもコスト的にも困難であると考えられる。

BCP を効果的に策定・改善するための方法として, 車両の走行状況を再現する交通シミュレーションの利用が考えられる。シミュレーションでは, 様々な被災状況と防災訓練実施状況を想定することが可能で, 実地訓練では実施できない被災状況が想定・再現できる。近年では, 多くの交通シミュレーションシステム<sup>1)3)</sup>が開発されているが, そのほとんどは通常時の交通渋滞対策や新たな都市計画を支援するための技術であり, 災害時における車両の避難誘導等の災害時対応策を検討し, BCP 策定支援のためにシミュレーションシステムが採用された例はほとんど報告されていない。

そこで本研究では, 既に BCP 策定がなされており, その概要がホームページ等で公開<sup>4)5)</sup>されている阪神高速道路を対象として, 被災時の高速道路の効果的な対応策を検討するためのシミュレーションシステムを開発する。システムの開発に際しては, 近年, 複雑系シミュレーションに関する研究に盛んに利用

されているマルチエージェントシステム (MAS : Multi-Agent System) <sup>6)</sup>を用いて、災害時における人間の心理と行動特性を考慮した被災状況を再現する。具体的には、大規模地震発生時に高速道路上で起こりうる様々な被災状況(車両同士の衝突・段差の発生等)を再現し、BCP で対象とされている被災後の迅速な人命救助・緊急走行路の確保等に関する対応策の有効性、必要に応じて改善策を検討することで、本研究で開発するシステムがBCP 策定支援ツールとして有効であることを検証する。

## 2. MASによる災害時交通シミュレーションの開発

### 2.1 MASの適用

MAS (Multi-Agent System) とは、自律した複数の主体が相互に依存しあうシステムであり、複数の「エージェント」と「環境」から構成される。それぞれのエージェントは、目標を達成するために自律した行動を行なう主体であり、環境はエージェントが目標を達成するための行動に影響を及ぼす対象である。高速道路における車両の行動においては、個々の車両が持つ特性により様々な行動が出現し、それらの相互作用により、全体的な行動が決定されると考えられる。

そこで、本研究では、高速道路における車両の行動においては、車両等をエージェント、周辺の空間を環境とし、MAS でモデル化することによって、災害時における高速道路上の被災状況(衝突車両や道路上の段差発生等)が、車両や人間の行動全体に及ぼす影響を把握する。まず、MAS を用いて高速道路における交通シミュレーションモデルを構築する。具体的には、シミュレーションモデルの構成エージェントとして、車両エージェント、災害エージェント、管理者エージェントの3つのエージェントを設定する。シミュレーション環境対象として、恒常的に通行車両の多い阪神高速道路1号環状線を設定する。

### 2.2 車両エージェントの設定

本研究では、高速道路を走行する車両エージェントを、「普通車両」と「大型車両」の2種類に分類する。各車両のサイズについては文献<sup>10)</sup>を参考に普通車両(車長5m, 車幅2m)、大型車両(車長10m, 車幅2m)で設定する。また、車両エージェントには、視覚機能、受信機能、行動機能を付与し、通常時と災害時における人間の心理と行動特性をエージェントの設定規則に反映することにより、実際の車両の行動により近いシミュレーションを行う。

#### (1) 視覚機能

車両エージェントは、視野範囲内の環境を判断し、行動を決定する視覚機能を有し、その視野範囲は、文献<sup>11)</sup>を参考にしてモデル化を行なった。図-1 に普通車両エージェント、図-2 に大型車両エージェントの視野範囲を示す。なお、各エージェントとも進行方向に対して左右の視野は高速道路の幅とする。

#### (2) 受信機能

高速道路走行中に災害が発生した場合、車両運転手の行動は道路状況の情報量の差により大きく変化すると考えられる。

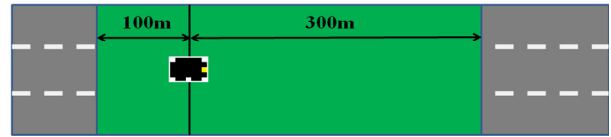


図-1 普通車両の視野範囲

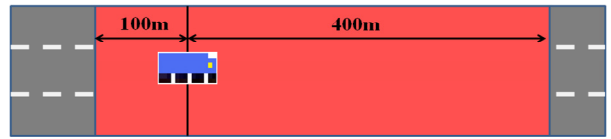


図-2 大型車両の視野範囲

そこで本研究では、車両エージェントに、後述する管理者エージェントからの災害・交通情報と災害エージェントが送信する危険情報を受信する機能を持たせている。

#### (3) 行動機能

車両エージェントは、上述の視覚機能と受信機能を発揮して得た情報をもとに、各々の走行速度を自ら決定し、移動する行動機能を有することになる。車両の走行速度は、ドライバーの年齢や性格、また、道路状況等によって大きく変化すると考えられるため、本研究では車両エージェントの走行速度として時速0, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180kmの12種類の速度を設定している。各車両エージェントは以下に示す行動規則に従い、12種類の走行速度のうち環境に応じた最速の速度を選択し移動することができる。

行動規則については、高速道路上の走行に関する規則と高速道路上からの避難に関する規則の2種類を設定した。規則を設定する際には、約50種類程の内容を考慮したため紙面の都合上全ての内容を提示することはできないので、ここでは特に重要な規則のみ以下に記載する。ただし、行動規則内の各種パラメータについては、現状の研究段階では著者らの経験を参考にパラメータ値を仮定している。

#### a) 高速道路上の走行に関する規則

- ・実際のドライバーの多くは走行中に視野内に事故車両を確認した場合、危険を察知したり、関心を持ったりすることにより走行速度を低下させると考えられるため<sup>12)</sup>、車両エージェントは視野範囲内に災害エージェントを発見した場合、主に回避行動を行うが、災害エージェントからの危険情報を受信した場合、速度を低下させる。本研究では、危険情報を受信する確率を70%と仮定する。また、危険情報を受信した場合の速度を低下させる確率を80%、停止する確率を20%と仮定する。
- ・高速道路走行時の車間距離については、通常走行時には最低でも50m、渋滞時では5m確保する必要があると考えられているため<sup>13)14)15)</sup>、車両エージェントは走行車線上のエージェントとの間隔を最低5m確保し、その確率を99%と仮定する。また、5m以内に接近した場合には、接近した2種類のエージェントは、ともに20%の確率で危険度大の災害エージェント、80%の確率で危険度小の災害エージェントにエージェントの種類が変化すると仮定する。
- ・視野範囲内に流出ランプを発見した場合、阪神高速道路の平

成16年4月の平均交通量のデータに合わせて、流出ランプもしくは次の道路区間へ移動する。

- ・視野範囲内に流入ランプから車道へと流入する車両エージェントを発見した場合は、自身の行動速度を落とし流入を優先させる。

#### b) 高速道路上からの避難に関する規則

- ・視野範囲内の車両エージェントの90%が流出ランプに向かっていた場合、30%の確率で異常事態が発生したと判断し、自身も流出ランプに向かう。ただし、視野範囲内の流出ランプ付近における車両エージェントの60%が停止行動を行っていた場合、避難に時間を要すると判断し、次の流出ランプに向かう。
- ・管理者エージェントが流出ランプにおいて強制排出処理を実施している場合は、その流出ランプから必ず避難する。
- ・管理者エージェントから災害情報を受信した場合、30%の確率で最寄りの流出ランプに向かい避難を開始する。

### 2.3 災害エージェントの設定

本研究における災害エージェントとは、高速道路上で発生した事故車両を想定している。災害エージェントのサイズは、車両エージェントの普通車両と同じサイズ(車長5m、車幅2m)と設定する。さらに、災害エージェントとして、危険度大の災害エージェント(大破して火災・爆発等の恐れがある)、危険度小の災害エージェント(損傷が小さく危険性が少ない)の2種類を設定する。

災害エージェントは、実際の事故車両と同様に、移動は不可能と設定する。また、災害エージェントは接近する車両エージェントに自身の危険情報を送信し、車両エージェントの走行速度を低下させる行動をとる。危険情報の送信対象は、危険度の大きい災害エージェントの場合(図-3 参照)、30m以内に接近する車両エージェント、危険度の小さい災害エージェントの場合(図-4 参照)、10m以内に接近する車両エージェントと設定する。

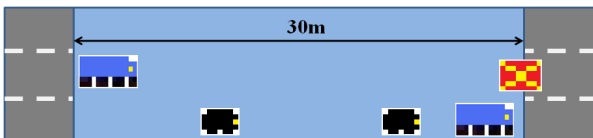


図-3 危険度大の災害エージェントの危険情報の送信範囲



図-4 危険度小の災害エージェントの危険情報の送信範囲

### 2.4 管理者エージェントの設定

本研究における管理者エージェントは、本シミュレーション利用者である高速道路管理者を想定している。管理者エージェントは、高速道路への進入車両の制限や、車両エージェントに対する災害情報の送信等の行動をシミュレーション実行中にリ

アルタイムに実施することにより、車両エージェントの走行支援や被災時の避難誘導等を行う。シミュレーションにおいて管理者エージェントが実施可能な行動内容は現時点で以下の4種類である。

- ・高速道路進入車両の制限
- ・高速道路出口付近の交通信号制御
- ・車両エージェントへの災害情報の送信
- ・車両エージェントの強制排出処理

### 2.5 シミュレーション環境の設定

本研究では、図-5に示した阪神高速1号環状線をシミュレーションの対象環境として設定する。阪神高速1号環状線は阪神高速道路の各路線を連絡する役割を担っている重要路線であり、路線内は右回りの一方通行となっている。また、阪神高速道路を利用する車両の約50%が集中するため、渋滞の発生が常態化し、交通事故が発生しやすい状況にある。そのため、大規模な地震が発生した場合、急な減速による車両の追突事故や横転事故等に伴い大渋滞が発生すると予測される。被災直後の渋滞では、新たな追突事故や車両火災等の2次災害による被害を拡大させるだけではなく、負傷者の救助や救援物資の輸送等を行う緊急車両の走行を妨害し、迅速な災害復興の妨げにもなるため、被災直後に車両を迅速に避難させる避難誘導等の効果的な災害時対応策が求められている。

災害発生時の阪神高速道路シミュレーションモデルを構築するにあたり、本研究では2次元空間座標を採用する。座標軸のサイズについては普通車両エージェント1台の大きさを考慮して、座標軸の1マスのサイズを3mと設定する。



図-5 阪神高速1号環状線

### 2.6 時間のモデル化

各車両エージェントは、時間tから時間t+1の間に、2.2節に示した行動規則に基づき、最速の速度を選択し移動する。また、災害エージェントは時間tから時間t+1の間に、2.3節に示した行動機能に基づき、自身の危険情報を車両エージェントに送信する。なお、本シミュレーションの1ステップは実時間の2秒に対応しているものとする。

### 2.7 災害時交通シミュレーションシステム

2.2～2.6 節において概説したシミュレーションモデルに基づき、災害時の交通シミュレーションシステム(図-6 参照)を開発する。システムの開発にはJAVA を採用することにより、Web ブラウザが利用可能なコンピュータであれば、シミュレーションが利用可能である。また、構築した交通シミュレーションシステムの主な特徴を以下に示す。



- ① シミュレーション画面
- ② 条件設定箇所
- ③ 結果表示画面
- ④ 開始・終了・停止ボタン
- ⑤ 環状線の位置表示画面
- ⑥ エージェント編集画面

図-6 交通シミュレーションシステム

(システムの特長)

- ・高速道路上で起こりうる被災状況として、事故車両の発生と車両同士の衝突が再現可能である。
- ・車両の行動を可視化することにより容易に行動の傾向や特徴を把握することが可能である。
- ・一般道へ降りた車両数や経過時間等がシステム画面上に数値で表示されるので、刻一刻と変化する車両の避難状況を定量的に判断することが可能である。
- ・シミュレーションの途中においても、エージェントの数や環境等の条件変更が可能であり、状況変化を想定した災害対応策の検討が可能である。

3. 阪神高速道路 BCP 策定支援へのシミュレーションの活用

3.1 阪神高速道路 BCP の現状

阪神高速道路 BCP<sup>45)</sup>では、大阪市内の活断層である上町断層帯を震源地とする直下型地震を中心に、他の直下型地震や東南海・南海地震及びこれに伴う津波の発生を災害事象として想定し、災害発生後に道路サービスの早期復旧を可能とするため、最優先事項を「人命救助」及び「道路復旧による緊急交通路の

確保」とした上で、具体的な被災後の対応策を以下の表-1 に示すように時系列で目標を定めている。しかし、実際に高速道路上で災害が発生した場合、定められた BCP に従い適切に対応策を実施するためには、具体的に被災状況を想定した防災訓練を通じてその内容を精査し、継続的に BCP の改善を図る事が重要である。しかし、現実的には具体的な被災状況を想定した防災訓練の実施は容易ではない。

そこで本研究では、2 章で概説した災害時交通シミュレーションシステムを用いて、大規模地震発生時に高速道路上で起こりうる被災状況を再現し、現状の阪神高速 BCP における対応策の有効性と改善策について検討する。その結果を踏まえて、開発したシステムが都市高速道路の BCP 策定支援ツールとして有効であることを検証する

3.2 阪神高速道路 BCP における対応策の検討

(1) BCP 対応策検討のための交通シミュレーション

阪神高速道路 BCP においては、「状況の把握」を3時間以内で実施することを目標時間としている。その内容は、「被災者対応」、「本線上、料金所、システム、建設中路線の状況把握(救護活動を含む)」(表-1 参照)である。ここでは、このうち被災者対応(緊急車両用の車道確保と残存車両の避難誘導)を迅速に行うための渋滞解消対応策、具体的には情報掲示板やラジオ等を通じた災害情報の発信処理について検討する。

本研究では、大規模地震発生時に事故車両が発生した後で、管理者が災害情報発信処理を実施した場合の、車両の行動状況と渋滞の解消状況を、高速道路のサービス指標として式(3.1)に示す車両の走行自由率  $S_c$ (高速道路上を自由に走行できる度合い)として対応策の有効性を検証する。

$$S_c = \frac{C_s}{C_t} \quad (3.1)$$

式(3.1)において、 $C_s$ はシミュレーション開始時の車両数、 $C_t$ は時刻  $t$ における残存車両数である。また、 $S_c$ の評価は、表-2 に示すような、災害情報を送信するタイミング、災害情報を受信する車両エージェントの割合(災害情報受信率)を考慮した5ケースで行った。シミュレーションの設定を以下に示す。

(シミュレーションの設定)

- ・避難誘導内容：被災後の災害情報の発信
- ・事故車両の発生：シミュレーション開始から1分後
- ・事故車両の種類：危険度小の災害エージェント
- ・事故車両発生箇所：図-7 参照

表-1 阪神高速道路 BCP における被災後の対応策(文献<sup>45)</sup>より一部抜粋)

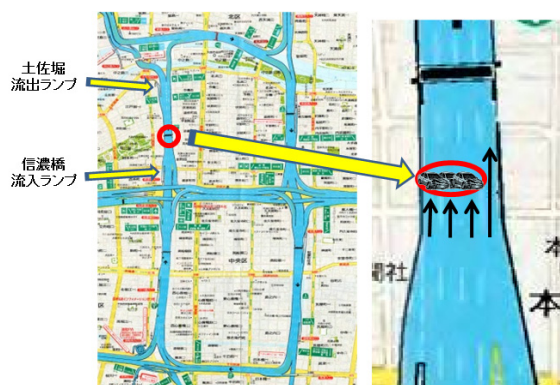
復旧目標時間	開始すべき事項	具体的行動		
		実務体制の確立等	人命救助/交通路の確保	その他
3 時間以内	●状況の把握	<ul style="list-style-type: none"> <li>・社員の参集状況の把握</li> <li>・初動体制の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・被災者対応</li> <li>・本線上、料金所、システム、建設中路線の状況把握(救護活動を含む)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・記者発表の実施</li> <li>・お客様への情報発信</li> </ul>



- ・事故車両の撤去作業：実施されない
- ・流入ランプからの流入制御：事故発生から 30 分後
- ・車両混入率：普通車 95%，大型車 5%
- ・シミュレーション回数：全ケースにおいて 50 回
- ・被災後の 2 次災害：本稿では考慮しない
- ・初期車両エージェント数：1400 台
- ・全流入ランプからの平均流入車両数：2400 台/h
- ・環状線外の全道路領域からの平均流入車両数：7500 台/h

表-2 シミュレーションケース

	対応策	災害情報送信時間	災害情報受信率
CASE1	なし	なし	なし
CASE2	災害情報発信	事故発生から 30 分後	100%
CASE3	災害情報発信	事故発生から 30 分後	50%
CASE4	災害情報発信	事故発生から 60 分後	100%
CASE5	災害情報発信	事故発生から 60 分後	50%



信濃橋流入ランプ～土佐堀流出ランプ間の直線部

(信濃橋流入ランプから北に 200m, 土佐堀流出ランプから南に 700m の地点の 4 車線のうち 3 車線が通行不能になった状態)

図-7 事故発生箇所

## (2) シミュレーション結果と考察

各ケースのシミュレーション結果として、図-8 に走行自由率  $S_c$  の推移状況を示す。

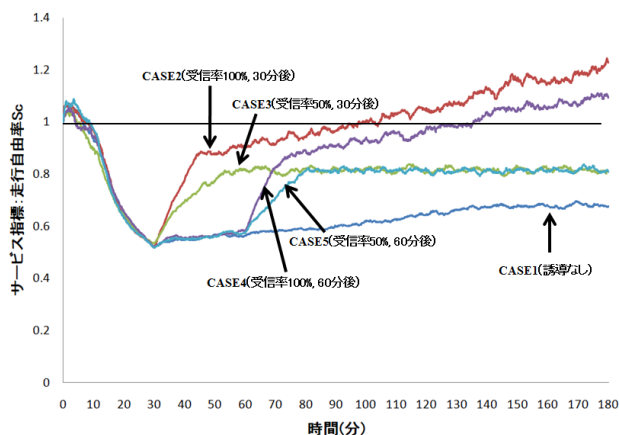


図-8 サービス指標  $S_c$  の推移状況

図-8 に示した内容から、シミュレーション開始から 1 分経過後の事故車両の発生以降、渋滞の伝播により走行自由率  $S_c$  の値が急激に低下し、最悪の場合は  $S_c=0.52$  と、災害発生前の約半分まで  $S_c$  が低下していることが分かる。その後、災害情報発信処理を実施しなかった CASE1 の道路状況では、高速道路の渋滞がほとんど解消されず、 $S_c$  の復旧速度が非常に遅くなっていることが分かる。しかし、災害情報発信処理を実施した CASE2～CASE4 と発信処理を実施しなかった CASE1 を比較した場合には、CASE2～CASE4 の方が  $S_c$  の復旧速度が大幅に速くなっていることが分かる。また、災害情報受信率の高低と情報発信のタイミングの遅速に着目して、CASE2, CASE3, CASE4, CASE5 をそれぞれ比較した場合には、情報発信のタイミングが早い CASE2・CASE3 の方が、タイミングが遅い CASE4・CASE5 よりも  $S_c$  の復旧速度が速いことが分かる。しかし、時間が経過するにつれて、 $S_c$  の値が徐々に近づいている。シミュレーション実行時の様子を確認したところ、各流出ランプにおいて避難による渋滞が、タイミングの遅速に関係なく同様に発生してしまうことがその原因であった。さらに、情報受信率が高い CASE2・CASE4 の方が、受信率が低い CASE3・CASE5 と比較して、情報発信のタイミングの遅速に関係なく  $S_c$  の復旧速度が速く、「被災者対応」の目標としている 3 時間以内に、 $S_c$  の値が 1.0 以上の状態になり、走行自由率が災害発生前よりも高い状態にまで回復していることが分かる。

以上の結果より、被災時に高速道路管理者が災害情報発信処理を実施することにより、実施しなかった場合よりも被災後の渋滞を迅速に解消し、走行自由率  $S_c$  を被災前の状態に近い値まで復旧させることができた。さらに、渋滞を解消することによって、走行車両の避難誘導に加えて緊急車両用の走行路も確保することが可能になり、阪神高速道路 BCP における「状況の把握」事項内の被災者対応を迅速に実施可能なことを本シミュレーションで検証できた。また、災害情報の発信のタイミングを速く、情報を受信する車両の数が多くなるほど、迅速な緊急車両用の車道確保と残存車両の避難誘導が可能で、災害情報発信の有効性が向上することが確認できた。

今回のシミュレーションでは災害情報受信率が 100% の高速道路上に存在する全車両が情報を受信した場合を想定したが、実際の被災状況では受信率が 100% になる確率はかなり低いと考えられる。そのため、この結果を踏まえて、今後、高速道路管理者は迅速に被災状況を確認し、災害情報をより多くのドライバーが受信できるように、道路カメラ・道路情報板の増設や、携帯メールへの情報の自動発信等の改善策を実施することが BCP の改善を行う上で重要であると考えられる。

## 4. おわりに

本研究では、MAS を用いた避難シミュレーションシステムを開発し、阪神高速 BCP 策定への活用方法を検討した。システムの構築には、実際の車両運転手が有している視覚・受信・行動機能を備え、災害時における人間の心理と行動特性を考慮す

ることで、より現実に近い交通シミュレーションを実施できるように工夫した。また、開発したシステムを用いて、阪神高速道路の重要路線である環状路線を対象に、大規模地震発生時の高速道路の被災状況と、高速道路管理者が被災後の対応策として災害情報発信処理を実施した場合の車両の行動状況を再現し、阪神高速道路 BCP における災害時対応策の有効性の検討と改善策について検討することで、本研究で開発したシステムの有効性を検証した。その結果、被災時における渋滞の解消状況と車両の避難状況を視覚的かつ定量的に評価でき、本研究で開発したシステムが都市高速道路の BCP の策定・改善に活用できる可能性を確認した。

今後の研究課題を以下に示す。

#### (1) 多様な被災状況の考慮

本稿では、比較的単純な被災状況と車両の行動を考慮したが、今後は大規模地震発生時に起こりうる多様な被災状況、すなわち車両を降りて避難を行う避難者の存在や、新たな事故車両の発生や車両火災等の2次災害の発生を考慮した、より詳細な対応策の検討を行っていきたいと考えている。

#### (2) 行動規則におけるパラメータの修正

現状の車両エージェントの行動規則におけるパラメータについては、主に著者らの経験を参考に設定しているため、被災経験者、高速道路利用者や管理者等、関係者の意見を参考に行動規則の改良を実施したいと考えている。

#### (3) シミュレーションの再現性の確認

シミュレーションの再現性については、通常時に渋滞が発生する道路領域での渋滞の発生等については、現状のシミュレーションで再現可能である。しかし、事故等が発生した被災状況における交通行動の再現性は検証していないため、今後は実際の事故データ等を用いた被災時のシミュレーションを行うことにより、その再現性を検証したいと考えている。

#### (4) サービス指標の検討

本稿では、高速道路のサービス指標として走行自由率  $S_c$  を設定しているが、今後は、混雑長から時間信頼性を考慮する等、より交通工学的観点から、高速道路利用者にとっての最適なサービス指標について詳しく検討したいと考えている。

#### 謝辞

本研究を実施するに当たり、阪神高速道路株式会社から貴重な資料の提供を頂くとともに、有益な助言を賜った。関係各位に御礼申し上げます。また、本研究は、平成22年度文部科学省科学研究費補助金基盤研究(C)の助成を受けて実施したものである。関係各位に御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) ユーデック株式会社 HP-交通シミュレーション WATSim : <http://www.udec.co.jp/software/watsim>.
- 2) 服部宏充, 中島悠, 加藤整: 大規模マルチエージェント交通シミュレーション, 自動車技術, pp.38-44, Vol.64(3), 2010.3.
- 3) 坂本邦宏: 地区交通計画支援ツールとしての交通シミュレーションモデルの開発と適用に関する研究, 都市計画, p. 101, Vol.53(4), 2004.4.
- 4) 阪神高速道路: 阪神高速道路株式会社事業継続計画 (BCP)[第1版], 高速道路と自動車, Vol.51, No.9, 2008.4.
- 5) 阪神高速道路株式会社 HP-BCP に対する取り組み : <http://www.hanshin-exp.co.jp/company/torikumi/jisin/BCP20080401.html>.
- 6) 竹下史朗, 小林一郎, 山田文彦, 上野幹夫: マルチエージェントモデルを用いた洪水・避難シミュレータの開発, 土木学会情報利用技術シンポジウム, Vol.16, pp.203-212, 2007.10.
- 7) 近田康夫, 濱政洋, 城戸隆良: マルチエージェントを用いた避難行動シミュレーション, 土木学会情報利用技術シンポジウム, Vol.17, pp.29-38, 2008.10.
- 8) 杉原卓治, 加賀屋誠一, 内田賢悦: 震災時における歩行者と自動車の交錯を考慮した避難行動シミュレーション, 安全問題研究論文集, Vol.2, pp.89-94, 2007.11.
- 9) 大内 東, 山本 雅人, 川村 秀憲: “マルチエージェントシステムの基礎と応用-複雑系工学の計算パラダイム-”, 株式会社コロナ社, 2002.4.
- 10) 西成 活裕, 田村 正隆: “よくわかる渋滞学”, 株式会社ナツメ社, 2009.8.
- 11) 有友春樹, 白木渡, 井面仁志: Live Design による参加型避難シミュレーションシステムの開発, 安全問題研究論文集, 土木学会, Vol. 1, pp.13-18, 2006.11.
- 12) 自動車交通運転 Web : <http://www.safety1.biz/wakimi.html>.
- 13) 玉置龍洋, 安江里佳, 北栄輔: セルオートマトンによる自動車専用道路の交通シミュレーション, 情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用, Vol.46, pp.30-40, 2005.6.
- 14) TAMPOPO\_FREEWAY 車間距離-最低限の車間距離 : <http://www.asahi-net.or.jp/~jh9h-sgur/old/shakan-01.htm>
- 15) 牧下寛, 松永勝也: 運転者の属性と車間距離の関係-乗用車の運転者に対する調査-, 国際交通安全学会誌, Vol.26(1), pp.57-66, 2000.12.

(2010年8月06日受付)