

# 高速道路における緊急地震速報受信時の

## 車両走行シミュレーション

Numerical simulation on driving behavior

under earthquake early warning

丸山 喜久

千葉大学大学院工学研究科 准教授

Yoshihisa Maruyama

Associate Professor, Graduate school of Engineering, Chiba University

### 概要

気象庁による緊急地震速報のテレビ・ラジオを通じた提供が 2007 年 10 月に始まったが、自動車交通や集客施設など、速報が事故や混乱を引き起こす恐れがあるケースも以前から指摘されていた。本研究では、研究代表者の先行研究である 2 台のドライビングシミュレータを連動させた緊急地震速報下での走行模擬実験（DS 実験）から得られた被験者の運転特性をモデル化し、マルチエージェントシミュレーション（MAS）上で DS 実験の再現性を検討する。また多数台の地震時の走行シミュレーションを行い、起こりうる危険性を定量的に評価することを目的とする。

### Abstract

It is anticipated that traffic accidents may occur because of the Earthquake Early Warning (EEW). The present authors introduced two driving simulators synchronized by server to perform virtual driving tests when the EEW is transmitted. To consider more realistic driving conditions, the agent-based model simulation was employed in this study. The behaviors of agents (drivers) were modeled based on the results of the driving simulator experiments. According to the numerical simulation of three moving vehicles under the EEW, a lower accident rate was observed on condition that more drivers turned on hazard lights after receiving the EEW.

## 1. 研究の目的

気象庁による緊急地震速報のテレビ・ラジオを通じた提供が2007年10月にスタートした。緊急地震速報とは、「地震の発生直後に、震源に近い地震計でとらえた観測データを解析して震源や地震の規模(マグニチュード)を直ちに推定し、これに基づいて各地での主要動の到達時刻や震度を推定し、可能な限り素早く知らせる情報」である<sup>1)</sup>。この情報を利用して、列車やエレベーターをすばやく制御させて危険を回避したり、工場、オフィス、家庭などで避難行動をとることによって被害を軽減させたりすることが期待されている。

自動車交通や集客施設など、速報が事故や混乱を引き起こす恐れがあるケース<sup>2)</sup>も指摘されていた。丸山・山崎<sup>3)</sup>は、ドライビングシミュレータを用いた地震走行模擬実験を行い、地震早期警報が運転者に提供された場合にもたらされる効果を検討している。震動による道路変状を想定し、自車前方の障害物回避の対応状況を地震動早期警報の有無で比較すると、地震動早期警報が行われない場合は11名中9名が障害物に衝突したのに対して、早期警報の効果で11名の被験者のうち9名が回避に成功した。このように早期警報を与えることにより、とくに単独走行の走行車両に対しては、震動による道路変状に対する事故を防ぐことができるといえるだろう。清野ら<sup>4)</sup>は、高速道路を走行する自動車への地震動早期警報の適用を想定し、その効果を定量的に評価するため、走行車両数6台(走行車線と追い越し車線にそれぞれ3台ずつ)の質点系モデルによる数値シミュレーションを行っている。早期警報が受信できる車両とできない車両が混在する時に、衝突の危険性が生じる場合があることを述べている。

以上の背景を踏まえて、本研究では研究代表者の先行研究である2台のドライビングシミュレータを連動させた緊急地震速報下での走行模擬実験(DS実験)<sup>5)</sup>から得られた被験者の

運転特性をモデル化し、マルチエージェントシミュレーション(MAS)上でDS実験の再現性を検討する。また複数台の地震時の走行シミュレーションを行い、起こりうる危険性の評価を行うことを目的とする。

## 2. 研究経過および研究成果

### (1) マルチエージェントシミュレーションによるDS実験再現性の検討

DS実験で得られた速度データを参考にエージェントの速度 $v_t$ をモデル化した。速度の状態を減速(ブレーキペダルもアクセルペダルも踏まない状態)、ブレーキ(速度を下げるためにブレーキペダルを軽く踏む状態)、停止(停車するためにブレーキペダルを強く踏む状態)、加速(速度を上げるためにアクセルペダルを踏む状態)と区分した。減速時の速度を式(1)、ブレーキ時の速度を式(2)、停止時の速度を式(3)、加速時の速度を式(4)で表すこととし、DS実験データから運転者の走行特性をアクセルやブレーキのかけ方の違いで「やや緩やかにかける人」をタイプ1、「やや急にかける人」をタイプ3、「タイプ1とタイプ3の中間」をタイプ2として、3タイプに分け、それぞれのタイプについて $S_L, B, S_T, A$ の4つの定数の値を定めた。

$$v_t = -S_L \cdot (t - t_0) + v_0 \quad (1)$$

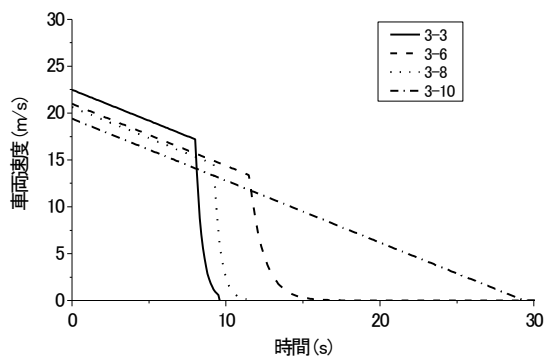
$$v_t = B^{(t-t_0)} \cdot v_0 \quad (2)$$

$$v_t = S_T^{(t-t_0)} \cdot v_0 \quad (3)$$

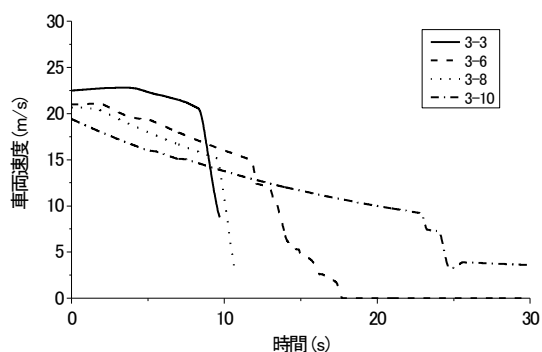
$$v_t = A^{(t-t_0)} \cdot v_0 \quad (4)$$

ここで、 $t$ は時刻、 $t_0$ は減速、ブレーキなどの開始時間、 $v_0$ はそのときの速度を表している。

以上のように定めた速度変化のモデルによって、DS実験がどの程度再現されるかを検討した。図1にMASによる解析結果とDS実験の結果を比較する。DS実験3では、前方車には緊急地震速報が与えられ、後方車には何も与えられていない。被験者番号3-3、3-8では緊



(a) MAS



(b) DS 実験

図1 MAS と DS 実験の前方車の走行速度の時間変化

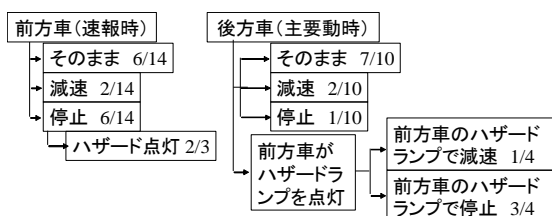


図2 DS 実験に基づき運転行動ごとに設定した確率(前方車に緊急地震速報が与えられた場合)

急地震速報を受けた前方車の被験者が急停車してしまったため、後方車が前方車に追突する事故が生じている<sup>5)</sup>。図1はDS 実験とMASの前方車走行速度を比較しているが、その他、後方車速度、車間距離などを比較しても、MASにおける運転者のモデル化はある程度妥当なものと判断された。

## (2) 2台走行モデルの事故率の検討

研究代表者らが実施したDS 実験では、前方車だけに緊急地震速報を提供した場合、14組中2組が追突事故を起こした<sup>5)</sup>。DS 実験では、多数の被験者を用意して実験を行うことは困難であるため、MASなどの数値シミュレーションを利用して、多角的な検証を加えることが望ましい。そこで、前項でMASがDS 実験を再現できることが確認されたので、2台の車両が連なって走行している際の事故率を検討することとした。

2台の走行時の車間距離は、33.4m~45.4mの一様分布、車速は平均22m/s、標準偏差1.1m/sの正規分布を仮定した。また、DS 実験におけるアンケート調査結果や各被験者の実験時のログを分析し、図2のような運転行動パターンモデルを作成した。以上のような設定で2台の車両が連なって走行している際に、前方車だけに緊急地震速報が与えられた場合の事故率をモンテカルロ・シミュレーションによって算出した。試行回数を500回程度にすると算定される事故率が安定し、約3.6%となった。DS 実験における値と比べるとかなり小さな事故率であるが、DS 実験の試行回数が限られていること、またDS 実験における被験者の車間距離が空中写真などから読み取れる車間距離よりもかなり小さかったことなどが影響していると考えられる。

## (3) 速報受信台数の違いとハザードランプの点灯率の違いによる事故率の比較

より現実に近い状況を再現するため、同一車線に3台(Car1, Car2, Car3)の車両を配置した検討を行った。モデル化に関しては、前項の2台走行モデルの際の考え方に乗っ取っているが、車間距離は首都高速道路を撮影した空中写真などを参考に30m~60mの一様分布とした。また、緊急地震速報を受信した際や減速、停車する際にハザードランプを点灯する割合をハザードランプ点灯率としてパラメータに追加

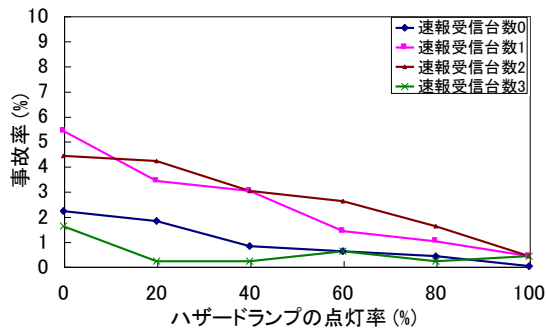


図 3 速報受信台数ごとのハザードランプの点灯率と事故率の関係（試行回数 500 回）

した。また、緊急地震速報の受信率（受信台数）もシミュレーション上で変化させることとした。

前項と同じように試行回数 500 回のモンテカルロ・シミュレーションを実施し、緊急地震速報の受信率、ハザードランプ点灯率と事故発生率の関係を評価した（図 3）。速報受信台数に関しては、速報をすべての車に受信させることができれば、事故率は少なくなることが分かった。しかし、現状では技術的な面からそれは困難であると考えられる。一方で、速報受信の格差があったとしても、ハザードランプの点灯率を上昇させることができれば、事故率は減っていくことが分かった。つまり、ハザードランプを点灯させることを徹底させることが賢明であろう。しかし、ハザードランプの点灯率が 100% になったとしても、ハザードランプを点灯させた運転者が停止をしたり、また前の車のハザードランプを見た運転者が停止をしてしまったりすると事故につながる場合があった。つまり、ハザードランプを点灯させた運転者、またハザードランプを見た運転者のとるべき行動を周知させておかないと事故につながる危険性があることが分かった。速報を受け取った運転者は、ハザードランプの点灯とともに急な停止をせずに落ち着いて減速するということが、また前の車のハザードランプを見た運転者

もハザードランプの点灯とともに減速するということが周知させる必要があるだろうと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 気象庁：<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kaisetsu/index.html>
- 2) 目黒公郎，藤縄幸雄：緊急地震速報—揺れる前にできること—，東京法令出版，2007。
- 3) 丸山喜久，山崎文雄：ドライビングシミュレータを用いた地震動早期警報の効果検討，土木学会論文集，No.787/I-71，pp. 177-186，2005。
- 4) 清野純史，土岐憲三，チャールズ・スコーション，藤井俊介：高速道路走行中の自動車に対する地震対策について，地域安全学会論文集，No.9，pp. 321-330，2007。
- 5) 山崎文雄，丸山喜久，坂谷将人：複数のドライビングシミュレータを連動した走行模擬実験による緊急地震速報の影響評価，地域安全学会論文集，No.9，pp. 289-294，2007。

### 3. 今後の課題と発展

緊急地震速報は一般運用がすでに開始されていることから、高速道路で緊急地震速報を受信した際の望ましい運転行動について広く周知していくことが望まれる。また、将来的には、緊急地震速報と連動してハザードランプが自動的に点灯するようなシステムを個々の自動車へ搭載していくことなど、緊急地震速報に対応した自動車のインテリジェント化が期待される。

### 4. 発表論文リスト

- 1) Yoshihisa Maruyama, Fumio Yamazaki, Masato Sakaya: Experiments of earthquake early warning to expressway drivers using synchronized driving simulators, *Earthquake Spectra*, Vol. 25, No. 2, pp. 347-360, 2009.
- 2) 丸山喜久，山崎文雄：道路交通にもたらず緊急地震速報の影響 — 高速道路で緊急地震速報を受信したら —，画像ラボ，Vol. 20, No. 3, pp. 7-12, 2009.